

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování



URČOVÁNÍ ROZSAHU SNĚHOVÉ POKRÝVKY
POMOCÍ DRUŽICOVÝCH SNÍMKŮ
VE VÝCHODNÍCH KRKONOŠÍCH
A NA BROUMOVSKU

Estimation of snow cover extend using satellite data
in eastern Giant mountain and Broumov district

ENVIRONMENTÁLNÍ MODELOVÁNÍ

vedoucí práce: Ing. Jiří Pavlásek, Ph.D.

konzultant: RNDr. Petra Hesslerová, Ph.D.

vypracovala: Anna Poesová

duben 2012

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
Katedra vodního hospodářství a environmentálního
modelování
Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Poesová Anna

Environmentální modelování

Název práce

Určování rozsahu sněhové pokrývky pomocí družicových snímků ve východních Krkonoších a na Broumovsku

Anglický název

Estimation of snow cover extend using satellite data in eastern Giant mountain and Broumov district

Cíle práce

Určení rozsahu sněhové pokrývky na vybraném území pomocí družicových snímků

Metodika

- 1) Rešerše literatury
- 2) Získání a zpracování družicových snímků zvolené oblasti
- 3) Vyhodnocení snímků pro účely identifikace sněhové pokrývky
- 4) Dodatečné zpracování oblastí s nedostupnými informacemi
- 5) Stanovení rozsahu sněhové pokrývky ve vybraných termínech v dané oblasti
- 6) Porovnání výsledků s jinými metodami zjišťování rozsahu sněhové pokrývky

Harmonogram zpracování

červenec - listopad 2011 - zpracování dostupných zdrojů literatury

prosinec 2011 - příprava na zpracování družicových snímků

leden - březen 2012 získání a zpracování získaných družicových snímků

duben 2012 - vyhodnocení dat a dokončení práce

Rozsah textové části

cca 40 stran

Klíčová slova

sněhová čára, DPZ, interpolace

Doporučené zdroje informací

DINGMAN, S. L., 2002: Physical Hydrology - 2nd Edition. Prentice-Hall, Inc., New Jersey, s. 639.

HALOUNOVÁ, L., PAVELKA, K., 2005: Dálkový průzkum země. ČVUT, Praha, s. 192.

Vedoucí práce

Pavlásek Jiří, Ing., Ph.D.

prof. Ing. Pavel Pech, CSc.
Vedoucí katedry



prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.
Děkan fakulty

V Praze dne 25.4.2012

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci na téma „Určování rozsahu sněhové pokrývky pomocí družicových snímků ve Východních Krkonoších a na Broumovsku“ vypracovala samostatně za využití uvedené literatury a podle pokynů vedoucího diplomové práce.

V Zásnukách dne 29. dubna 2012

.....

Anna Poesová

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala Jirkovi Pavláskovi za trpělivost, shovívavost a rady při psaní diplomové práce. Velké mé díky patří též Petře Hesslerové za pomoc s klasifikací družicových snímků a neocenitelně vlídný přístup (obdobně jako některých další „gisáků“ z katedry KAGUP).

Velkou trpělivostí a silnými nervy se museli obrnit mí blízcí, za což mají můj velký obdiv.

ABSTRACT

Diploma thesis investigates an estimation of snow cover on the small area in distrikt North-East Bohemia (East part of Gigant Mountain and Broumov distrikt). Main part of this thesis was determining of location snow line at 3 dates, freeware download and using satellite data. I compare this result with snow line from dates of ČHMÚ.

Satellite data was observed on the type of snow cover in software MultiSpec. These informations were compared with interpolation's data. These interpolation's data are derived by interpolation of points measures in the meteorological's network.

Snow line was determined by 2 ways: basically and more current analysis. Basically analyse used only snow data from satellite. Categories of this data were: 'snow', 'maybesnow' and 'withoutsnow.' Current analysis used the same snow's data and other data were altitude, exposition of hillside and type of vegetation. This currently analyse was done only in local area. This local area is situated between Gigant Mountains and Podkrkonoší.

Resumes from this thesis are maps of intermediate snow line. Second using was a compare snow line from satellite's data and interpolation's data.

KEYWORDS

snow line, remote sensing, interpolation

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá způsobem určení rozsahu sněhové pokrývky na malém území severovýchodních Čech (východní část Krkonoš a Broumovský výběžek). Základem bylo určit polohu sněhové čáry ze tří časově odlišných, online dostupných a využitelných družicových snímků a následně tuto sněhovou čáru porovnat se sněhovou čárou z dat ČHMÚ.

Družicové snímky z družice Landsat 7 se analyzovaly podle typu sněhové pokrývky v softwaru MultiSpec. Tyto informace byly dále porovnány s interpolovanými hodnotami ČHMÚ, která vznikla interpolací bodových měření v síti meteorologických stanic ČHMÚ.

Sněhová čára byla určována dvěma způsoby: základní a přesnější analýzu. Pro základní analýzu byl využit pouze sněhový snímek analyzovaný na kategorie 'snih,' 'asisnih' a 'bezsnehu.'. Přesnější analýza využívala stejného snímku a ještě do ní vstupovala výšková data, informace o vegetační pokrývce a expozici svahů. Tato přesnější analýza byla provedena pouze na malém území nacházejícího se na pomezí Krkonoš a Podkrkonoší.

Výsledně vznikly mapy přechodné sněhové čáry a porovnání mezi sněhovou čárou určenou z družicových dat a čárou modelovanou z pozemního bodového měření.

KLÍČOVÁ SLOVA

sněhová čára, DPZ, interpolace

OBSAH

1	Úvod.....	1
1.1	Struktura práce	2
1.2	Cíl práce	2
2	Literární rešerše.....	3
2.1	Sníh	3
2.1.1	Sněhová pokrývka v ČR	5
2.1.1.1	Výskyt sněžení	6
2.1.1.2	Nový sníh	6
2.1.1.3	Souvislá sněhová pokrývka.....	6
2.1.1.4	Zásoba vody ve sněhové pokrývce.....	6
2.1.1.5	Celková výška sněhové pokrývky.....	7
2.1.2	Rozloha sněhové oblasti - Sněhová čára.....	7
2.2	Družicové snímky	9
2.2.1	Dálkový průzkum země	9
2.2.2	Rozlišování povrchů pomocí DPZ.....	9
2.2.3	Druhy dat.....	10
2.2.4	Vlastnosti dat dálkového průzkumu Země.....	10
2.2.4.1	Nízké a středně vysoké rozlišení.....	11
2.2.4.2	Vysoké rozlišení.....	11
2.2.4.3	Velmi vysoké rozlišení.....	12
2.2.5	LANDSAT 7.....	13
2.3	Interpolace.....	15
2.3.1	Topo To Raster.....	15
2.3.2	IDW	16
2.3.3	DEM1	16
2.3.4	Orografická interpolace.....	17
2.3.5	Spline	17
2.3.6	Natural Neighbors	17
2.4	Spektrální indexy	18
2.4.1	NDSI	18
2.5	Využití sněhových analýz v praxi.....	19
2.5.1	SCA.....	19
2.5.2	Využití v Alpách	19

2.5.3	FLOREO	20
2.5.4	Zohlednění lesního zápoje.....	20
3	Popis zájmového území.....	21
3.1	Broumovská vrchovina	21
3.2	Krkonoše a Podkrkonoší	22
4	Popis vývoje sněhové pokrývky pro zimu 2011/2012	24
5	Metodika	27
5.1	Použitý software.....	27
5.2	Příprava dat	28
5.2.1	Družicová data	28
5.2.2	Interpolovaná data.....	29
5.3	Analýza dat.....	30
5.3.1	Postup.....	31
5.3.1.1	Velké území.....	31
5.3.1.2	Malé výřezy s nadmořskou výškou	31
5.4	Výsledky	35
5.4.1	Obraz 31. 1. 2012.....	35
5.4.2	Obraz 3. 3. 2012.....	37
5.4.3	Obraz 19. 3. 2012.....	42
6	Diskuze.....	46
6.1	Vyhodnocení družicových snímků.....	48
6.2	Přesnost analýz v ArcGIS	49
6.3	Použití výsledných hodnot	49
7	Závěr	50
8	Přílohy	51
9	Literatura	66

1 Úvod

Sněhová pokrývka je významnou zásobárnou sladké vody na Zemi nerovnoměrně rozložené po celé planetě. Základním pravidlem je, že množství sněhu se zvyšuje od rovníku k pólům a od nejnižších nadmořských výšek až k nejvyšším oblastem Země. Poslední dobou se kvůli globálnímu oteplování zvětšuje rychlost tání ledovců a sněhové srážky nejsou tak mohutné a intenzivní, jako byly před 100 lety. Tyto faktory ovlivňují klima celé planety – zvyšují se hladiny světových moří, zmenšuje se rozloha zemských i horských ledovců a čára ledu se posouvá do vyšších nadmořských výšek.

Zásoba vody ve sněhové pokrývce je jednou z nejdůležitějších charakteristik sněhu, které jsou vodohospodáři sledovány kvůli ekonomickým dopadům na lidský majetek (např. pro účely předpovědní povodňové služby). Při jarním tání tvoří sněhová pokrývka hlavní zásobárnu vody pro celá povodí. Obvykle se na hraničních českých horách každoročně naakumuluje dostatečná sněhová pokrývka, která v závislosti na počasí taje i několik měsíců. Ze sněhové pokrývky jsou zjišťovány fyzikální vlastnosti, které slouží jako vstupní parametry do hydrologických modelů. Sněhová čára může být v těchto modelech považována za zpřesňující vstupní veličinu, která upřesňuje plošný rozsah výskytu sněhové pokrývky. Tato čára je ovlivněna mnoha klimatickými a orografickými činiteli, takže občas může docházet k tomu, že nadmořské výšky různých typů sněhových čar mají rozdílnou hodnotu.

Určování sněhové čáry pomocí družicových snímků je v České republice proces relativně mladý a je na začátku vývoje. V soukromé sféře se tímto problémem zabývá firma GISAT. Sněhová čára také zpřesňuje modely Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ), ale tato čára byla určována pouze dle subjektivního odborného odhadu.

Analýza družicových dat má vždy charakter velmi individualistický. Stejný obraz můžou 2 zpracovatelé zpracovávat odlišnými způsoby, stanovovat jiné hranice odrazivosti a nakonec i trochu odlišně interpretovat. Z toho plyne, že u zpracování družicových dat záleží na cíli analýzy, druhu dat a v neposlední řadě zkušenosti zpracovatele.

1.1 Struktura práce

Práce je členěna do sedmi hlavních kapitol, z nichž první čtyři jsou typu rešeršního a seznamovacího s problematikou tématu a zbylé tři kapitoly se zabývají analýzou, která byla vypracovaná v rámci diplomové práce.

První čtyři kapitoly obsahují literární rešerši sněhové problematiky a problematiky sněhových dat, popis území Krkonoš a Broumova a teoretický popis letošní zimy (2011 – 2012).

Kapitola Metodika se zabývá řešením postupu (jak byla analýza provedena) a výsledky, které z této práce vznikly. Výsledky pomocných analýz jsou částečně prezentovány obrazově. Kapitola Diskuze se zabývá možnostmi analýzy družicových snímků a závěrečnými výsledky.

1.2 Cíl práce

Cílem práce bylo zjistit možnosti určování sněhové čáry na větších územích pomocí družicových snímků.

Dílními cíle práce byly:

- rešerše literatury
- získání a zpracování družicových snímků zvolené oblasti
- vyhodnocení snímků pro účely identifikace sněhové pokrývky
- dodatečné zpracování oblastí s nedostupnými informacemi
- stanovení rozsahu sněhové pokrývky ve vybraných termínech v dané oblasti
- porovnání výsledků s jinými metodami rozsahu sněhové pokrývky

2 Literární rešerše

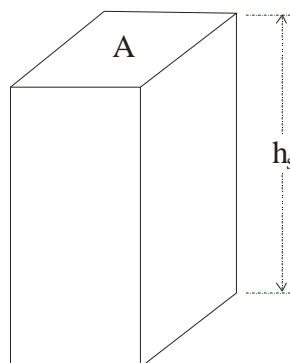
2.1 Sníh

Tato kapitola popisuje obecné vlastnosti sněhové pokrývky. Tyto vlastnosti můžou být brány jak z pohledu fyzikálních vlastností sněhu, tak časoprostorových statistických ukazatelů vypovídající o sněhové pokrývce. Některé z níže uváděných vlastností jsou v čase proměnlivé a tím ovlivňují fyzikální charakteristiky sněhové pokrývky, jiné jsou uváděny pouze jako teoretický základ k dané problematice.

Dingman (2002) popisuje sníh jako zrnité porézní prostředí zahrnující led a póry. Pokud je teplota nižší než 0°C (teplota tání), jedná se o sníh se vzduchem a vodními párami v pórech. V opačném případě se do pórů dostává voda a začíná vznikat 3-fázový systém.

Pro popsání níže zmiňovaných charakteristik sněhu je určen reprezentativní vzorek sněhu s vlastnostmi h_s [m] – výška sněhové pokrývky, a A [m²] – rozloha zájmového území (obr. 1).

Obr. 1: Rozměry reprezentativního vzorku sněhové pokrývky pro popis charakteristik sněhu (Dingman, 2002)



Objem sněhu (*snow volume*) V_S se vypočítá z následujícího vzorce:

h_s ... výška sněhu v zájmového území [m]

A ... rozloha zájmového území [m²]

$$V_S = h_s \times A = V_i + V_W + V_A \quad [\text{m}^3]$$

V_i ... objem ledu [m³]

V_W ... objem vody [m³]

V_A ... objem vzduchu [m³]

Tento objem sněhu zahrnuje vzduch obsažený mezi krystaly, krystaly sněhu i vodu.

Pórovitost sněhu (*porosity*) ϕ je definována jako poměr objemu pórů k celkovému objemu sněhového vzorku.

$$\phi = \frac{V_w + V_A}{V_s} \quad [-]$$

Hustota (*density*) ρ patří mezi základní charakteristiky sněhu. Je definovaná jako hmotnost na jednotku objemu.

$$\rho_s = \frac{M_i + M_w}{V_s} = \frac{\rho_i \cdot V_i + \rho_w \cdot V_i}{V_s} \quad [\text{kg/m}^3]$$

M_i ... hmotnost ledu [kg]
 M_w ... hmotnost vody [kg]
 V_s ... celkový objem sněhu [m³]
 V_i ... objem ledu [m³]
 ρ_i ... hustota ledu [kg/m³]
 ρ_w ... hustota vody [kg/m³]

Zásoba vody ve sněhové pokrývce (*snow water equivalent*) SWE určuje objem vody ve sněhu. Je definována jako výška vodního sloupce, kterou získáme kompletním roztáním sněhu na uvažované ploše.

$$SWE = \frac{V_m}{A} \quad [\text{m}]$$

$$SWE = \frac{\rho_s}{\rho_w} \times h_s \quad [\text{m}]$$

ρ_s ... hustota sněhu
 ρ_w ... hustota vody
 h_s ... výška roztátého sněhu [m]
 V_m ... objem rozpuštěné vody [m³]

K výpočtu SWE lze použít i další metody, které např. zohledňují i denní úhrn srážek, výšku nového sněhu, celkovou výšku sněhové pokrývky a průměrný denní tlak vodní páry (Klose, 2008).

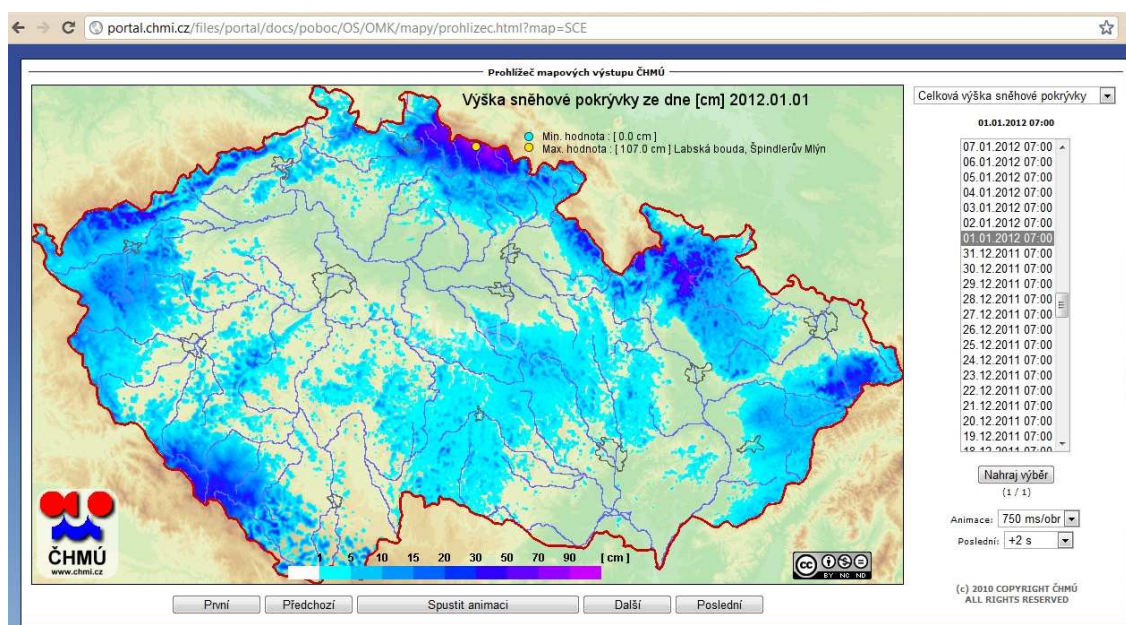
Výška sněhové pokrývky h_s je měřena sněhovou latí. Dingman (2002) i Hrádek a Kuřík (2008) udávají přesnost měření na ± 1 cm. K umístění sněhoměrné latě jsou vybírána místa s co nejlepší homogenní charakteristikou sněhového pole pro celou měřenou lokalitu a současně s minimálním ovlivněním větrem. V místech s nestálou či malou sněhovou pokrývkou se měří min. na 3 místech a výsledný výsledek je zprůměrnován (pro tento způsob se používají přenosné měřící latě).

2.1.1 Sněhová pokrývka v ČR

Sníh je jedním ze skupenství koloběhu vody a je specifický tím, že vypadává a ukládá se v pevném skupenství. Sněhová pokrývka tvoří zásobu vody, v které se během zimních akumulčních měsíců voda ukládá. Na jaře dochází k roztávání - část se jí dostává do podzemních vod a část odtéká povrchovými vodami. Tato povrchová voda zvyšuje v jarních měsících průtoky vody v korytech a při velkém množství, nedostatečné předpovědi a ochraně může působit značné škody na lidském majetku. Z tohoto důvodu je snaha vodohospodářů odhadovat množství zásob vody ve sněhu a manipulovat s vodou v nádržích (upouštět) tak, aby byly schopny zadržet jarní tání.

Za kvantitativní činitele pro měření sněhové pokrývky jsou v této práci považovány charakteristiky, které jsou měřeny v síti klimatologických a srážkoměrných stanic ČHMÚ a jsou uváděny dále v práci. Tyto charakteristiky jsou vysvětleny na základě Atlasu podnebí Česka (Tolasz et al. 2007). Toto měření je prováděno 1 × týdně a to každé pondělí v 7 hodin ráno. Následně jsou data zpracovávána na pracovištích ČHMÚ.

Obr. 2: Ukázka sněhové aplikace ČHMÚ; Celková výška sněhové pokrývky z 1. 1. 2012 (ČHMÚ, 2012c)



Pokud se vyskytuje souvislá sněhová pokrývka, měří se ještě následující veličiny:

- výskyt sněžení
- celková výška sněhové pokrývky
- výška nového sněhu
- vodní hodnota sněhové pokrývky

Měřená data se zpracovávají metodou orografické interpolace. Vzniká mapa, která je online dostupná na stránkách ČHMÚ (viz obr. 2).

2.1.1.1 Výskyt sněžení

Za den se sněžením je považován den, kdy spadnou srážky v podobě sněhu. Můžou být v podobě sněžení (sněhové krupky či vločky), zmrzlého sněhu i deště se sněhem, který vypadává při teplotách blízkých 0°C. Intenzita sněžení se hodnotí podle dohlednosti na slabé, mírné a silné sněžení. Dále se rozlišuje zda je sněžení trvalé či občasné.

V horských oblastech se dle Tolasz et al. (2007) dlouhodobě vyskytuje až 110 dnů se sněžením.

2.1.1.2 Nový sníh

Souvislá řada měření nové výšky sněhu není v ČR nijak dlouhá. Je to měřená charakteristika relativně nová a začala se zjišťovat pro určení náročnosti daného místa (např. kvůli údržbě komunikací). Nová sněhová pokrývka se na stanicích ČHMÚ měří každý den ráno v 7 hodin pokud v uplynulých 24 h padaly pevné srážky. Je měřena na sněhoměrném prkénku, z kterého se po každém měření sníh odstraňuje. Prkénko je umístěno na místě s minimálním ovlivněním větru.

Počet dní s výškou nového sněhu alespoň 5 cm nastává v horských oblastech dvacetkrát častěji než v nížinách (obdobně to je u výšky 10 cm). Za extrémní případy se považuje výška nového sněhu alespoň 20 cm, která nastává v nížinách jen ojediněle (Tolasz et al., 2007).

2.1.1.3 Souvislá sněhová pokrývka

Podmínkou měření výšky sněhové pokrývky je její souvislost. Dle metodiky ČHMÚ (Židek, Lipina, 2003) se sněhová pokrývka považuje za souvislou, je-li plocha měřící stanice a její blízké okolí pokryto minimálně z půlky sněhovou pokrývkou vyšší než 1 cm. Pokud je sněhový pokryv měřené stanice vyhodnocen jako nesouvislý, výška sněhu se neměří.

2.1.1.4 Zásoba vody ve sněhové pokrývce

Zásoba vody ve sněhové pokrývce, v práci dále označována jako *SWE*, je velmi podstatnou charakteristikou např. pro vodohospodáře. Je měřena v síti klimatologických

stanic jednou týdně v pondělí ráno. V nižších polohách není toto měření dostatečné, protože občas kvůli rychlému tání nemusí být změřeno největší množství sněhu.

Tolasz et al. (2007) uvádí, že při teplotách pod $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ se mluví o prachovém sněhu, jehož SWE je menší než 1 mm na výšku 1 cm. Při teplotě kolem $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ padá vlhký až mokrá sněž s SWE 1 až 2 mm na 1 cm výšky sněhu. Čerstvý sněž se postupně slehává a zvláště při teplotách kolísajících kolem bodu mrazu dosahuje hustota sněhu postupně až $0,5\text{g/cm}^3$, tedy 5 mm vody na 1 cm výšky. To jsou hodnoty dosahované hlavně na konci zimy v horských oblastech.

2.1.1.5 Celková výška sněhové pokrývky

Celková výška sněhu je v České republice ovlivněna nadmořskou výškou, množstvím a charakterem zimních srážek a teplotou vzduchu. U českých pohraničních hor Tolasz et al. (2007) udává průměrné zvyšování max. výšky sněhové pokrývky o 15 cm na 100 výškových metrů. Výška sněhu je také ovlivněna expozicí svahu k převládajícímu proudění vzduchu, slunečním svitem, geomorfologií terénu a případně vegetací.

Tolasz et al. (2007) uvádí maximální měřenou výšku sněhové pokrývky 345 cm. Tento údaj byl měřen na Labské boudě v březnu 2005 a Tolasz et al. (2007) to uvádí za maximální naměřenou hodnotu od zimní sezóny 1961/1962. V tuto dobu (březen 2005) byl na některých horských stanicích překročen absolutní měřený extrém.

Výška sněhové pokrývky je jediná fyzikální veličina, u které se pozorovatelé snaží o její denní měření (za předpokladu celistvé sněhové pokrývky). Ostatní charakteristiky jsou měřeny jednou týdně.

2.1.2 Rozloha sněhové oblasti - Sněhová čára

Hrádek a Kuřík (2002) definují sněhovou čáru, která ohraničuje plochu zemského povrchu se souvislou sněhovou pokrývkou. Výskyt sněhové čáry je závislý na nadmořské výšce, od určité nadmořské výšky se již může vyskytovat trvalá sněhová pokrývka. Tato čára se také nazývá trvalou sněhovou čárou.

Waldinger (1999) definuje **přechodnou sněhovou čáru** jako hranici mezi zasněženou plochou a holým povrchem v daný časový okamžik. Tato přechodná čára může jít po zemi i po ledovci a neustále mění polohu vzhledem k nadmořské výšce; v létě je nejvýše, v zimě naopak klesá směrem k moři. V oblastech, kde sněž přes rok nikdy neroztaje, se mluví o **trvalé sněhové čáře**. Její nadmořská výška se každoročně mění, což je způsobeno srážkami a teplotami během roku. Je to hranice mezi

akumulační (sníh zůstává) a ablační (sníh taje) zónou. Měří se na konci tání. **Klimatická sněhová čára** je počítána jako průměrná hodnota trvalých sněhových čar během několika let. Průměrná sněhová čára je obvykle určována v oblastech, kde ledovce nevykazují přírůstek ani ztrátu sněhu.

Dle Ottova slovníku naučného je **orografická sněhová čára** ovlivněna tvarem terénu, v kterém se vyskytuje a je považována za celoroční. Orografická sněhová čára obvykle vyznačuje polohu jednotlivých sněhových polí udržujících se po celý rok např. ve slujích nebo horských údolích.

Jako podmínky, co nejvíce ovlivňující polohu sněhové čáry, Waldinger (1999) udává srážky, teplotu, zeměpisnou šířku, nadmořskou výšku, reliéf, topografie a expozici svahu.

2.2 Družicové snímky

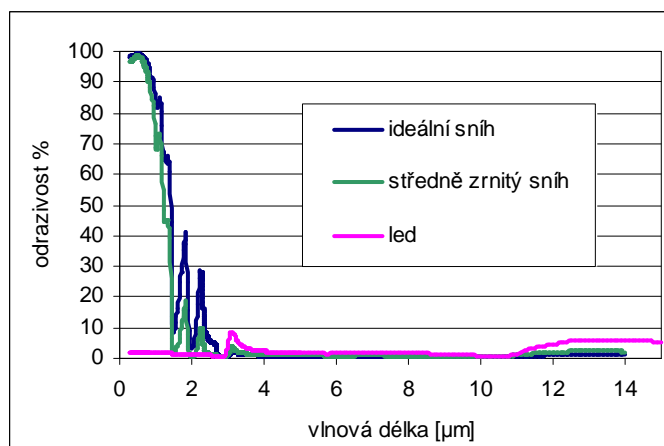
2.2.1 Dálkový průzkum země

Družicové snímky jsou pořizovány jako data dálkového průzkumu Země (DPZ), anglicky *Remote sensing*, což je věda shromažďující informace o zemi bezkontaktním způsobem. Pořízení snímku je založeno na záznamu elektromagnetické záření, které je odraženo od předmětů, případně emitováno vlastním zemským povrchem. Zdrojem odraženého záření je Slunce, nebo v některých případech sama měřící aparatura. Pro analýzu a interpretaci snímků je potřeba znát charakteristiky, za jakých byly dané snímky pořízeny – tzv. přístrojové parametry: časový okamžik měření, vlnovou délku měřeného záření, případně polarizace a místo měření.

2.2.2 Rozlišování povrchů pomocí DPZ

Sníh i led mají ve viditelné a blízké infračervené (IR), anglicky *infrared*, oblasti spektra vysokou odrazivost. Občas bývá dokonce vyšší, než je spektrální rozsah radiometru. Halounová a Pavelka (2005) uvádějí, že spektrální odrazivost u viditelného a blízkého IR pásma je vysoká (obdobně jako u vrchní vrstvy oblaků).

Obr. 3: Porovnání spektrální odrazivosti různých typů sněhové pokrývky (zdroj: upraveno z NASA – Kalifornia Institute of Technology, 2009)



Spektrální odrazivost ovšem vykazuje hluboká minima na vlnových délkách mezi 1,55 μm až 1,75 μm a 2,1 μm až 2,3 μm. U přírodních objektů je takto veliký (o více než 90%) pokles odrazivosti výjimečným jevem. Na příkladech různých druhů forem sněhu ukazuje obr. 3 závislost vlnové délky na odrazivosti.

2.2.3 Druhy dat

Snímky mohou být pořizovány více způsoby. Na způsobu pořízení záleží, jaký formát budou mít výstupní data.

Jedním ze základních dělení je způsob zobrazení. Zde se rozlišují obrazové a neobrazové výstupy. **Obrazové** výstupy jsou ve formě obrazu, v analogové, dnes však již víceméně v digitální podobě. **Neobrazovými** výstupy se míní např. grafy, které tvoří formu jednorozměrné funkce.

Dalším kritériem snímku při základním dělení snímků je způsob pořízení. Zde se rozlišují letecká (konvenční) a družicová (nekonvenční) data.

Konvenční data jsou snímky s malým rozsahem vlnových délek, jsou pořizovány z letadel v jednom okamžiku, méně již z družicových skenerů na filmový materiál. Analýza těchto snímků má delší historický vývoj než rozvoj nekonvenčních snímků, proto byla dostatečně propracována a vyvinuta.

Nekonvenční data jsou snímána pomocí elektromagnetického záření postupně po řádcích skenery, které jsou nesené na družicích. Záznam se zaznamenává do digitální podoby, obsahuje jiná zobrazení než fotografická data. V DPZ se nyní pro zpracování používají většinou tyto snímky, protože mohou zaznamenat více informací – dle počtu a druhu pásem,

2.2.4 Vlastnosti dat dálkového průzkumu Země

Družicové snímky jsou pořizovány skenery (senzory), umístěnými na družicích, méně již na letadlech. Jedna družice může nést více senzorů o různých vlastnostech. V posledních desetiletích se využití družicových snímků přesunulo z oblasti vojenské a výzkumné také do komerční oblasti, čímž se rozšířily možnosti využití pro mnohé obory lidské činnosti. Kolem Země nyní obíhá mnoho družic, která stále pořizují data. Objem pořizovaných dat se stále rozrůstá, zejména díky startům nových a lépe vybavených družic.

Základními parametry snímku jsou:

velikost družicové scény: globální, oblastní, lokální, detailní

spektrální rozlišení: panchromatická a monochromatická

typ pásma: multipolarizační, hyperspektrální, multispektrální

druh vlnových délek, v nichž je měření prováděno: např. panchromatická, infračervená, tepelná, mikrovlnná apod.

směr záběru osy: svislá, šikmá

prostorové rozlišení: jednou z nejpodstatnějších specifík družicových dat, které je většinou zlepšováno, je jejich prostorové rozlišení. Prostorové rozlišení je velikost, jakou má délka hrany 1 pixelu na snímané scéně a dle tohoto kritéria můžeme specifikovat nízké, střední, vysoké a velmi vysoké rozlišení (GISAT, 2012).

2.2.4.1 Nízké a středně vysoké rozlišení

Data jsou pořizována většinou v multispektrálním režimu, který zároveň zahrnuje i viditelnou a infračervenou část optického spektra. Díky širokému záběru obrazu je možno je pořizovat i v krátkých frekvenčních intervalech (jedno až několikadenní frekvence).

Nízké rozlišení – LR (z anglického *Low Resolution*) má rozlišení kolem 1 km. U středně vysokého rozlišení – MR (z anglického *Medium resolution*) se šíře pixelu pohybuje kolem 100 m.

Z těchto snímků se převážně tvoří mapy měřítka kolem 1: 1 000 000. Jedná se např. o družice Terra (senzor MODIS), Meteosat MSG, Envisat či SPOT 4, 5. Využívají se pro globální a kontinentální mapování, mapování stavu vegetace, monitoring rozsáhlých přírodních katastrof či sledování stavu a vývoje atmosféry.

Příklady rozlišení dat pomocí různých senzorů z vybraných družic je uveden v tab. 1.

Tabulka č. 1: Příklad základních vlastností družic s nízkým a středně vysokým rozlišením (zdroj: GISAT – stránka družice)

Družice	Senzor(y)	Rozlišení [m]	Počet pásem
Envisat	Meris	300	12
SPOT 4	Vegetation 1	1000	4
SPOT 5	Vegetation	1000	4
Meteosat MSG	GERB, SEVIRI	40000; 1000, 3000	7; 12
Terra	MODIS	250, 500, 1000	36

2.2.4.2 Vysoké rozlišení

Družicová data vysokého rozlišení – HR (z anglického *High Resolution*) jsou pořizována současně v panchromatickém a multispektrálním režimu a významným podílem spektrálních pásem pokrývajících jednotlivé části infračerveného optického spektra.

Z tohoto rozlišení lze tvořit mapy v měřítkách 1:100 000 – 1:25 000. Ty se využívají např. pro regionální mapování, využití land-use, sledování lesní těžby, klasifikaci a pozorování lesních porostů, urbanismus či tvorbu DTM (digitální model terénu). Z družic se např. jedná opět o Terra (senzor Aster), celou řadu družic Landsat (1-7) či Spot (1-5). Příklad vlastností snímků pořízených z vybraných družic je uveden v tabulce č. 2.

Tabulka č. 2: Příklad základních vlastností družic vysokého rozlišení (zdroj: GISAT – stránka družice)

Družice	Senzor	Rozlišení [m]	Počet pásem
SPOT 4	HRVIR_PAN	10	1
Landsat 7	ETM+	15, 30, 90	8
IRS-P6	AWiFS	56	4
Terra	Aster	15, 30, 90	14

2.2.4.3 Velmi vysoké rozlišení

Družicová data velmi vysokého rozlišení VHR (z anglického *Very High Resolution*) se vyznačují prostorovým rozlišením okolo 1 m. Data bývají pořizována v kombinaci panchromatického a multispektrálního režimu.

Vysoké rozlišení umožňuje vzniku map měřítek od 1:25 000 do 1:5 000. Využívá se pro podrobné mapování, urbanistické studie, mapování dopravních sítí, plánování a projektování liniových staveb, mapování půdní eroze, monitorování povrchových dolů a skládek, rekultivaci, tvorba DTM, pojišťovnictví. Družice jsou na vysokém stupni vývoje a dokáží se přizpůsobit požadavkům podle toho, co je v určitou dobu zájmovým objektem. Příklady družic s velmi snímající ve velmi vysokém rozlišení jsou v tabulce 3.

tabulka č. 3: Příklad základních vlastností družic velmi vysokého rozlišení (zdroj: GISAT – stránka družice)

Družice	Senzor	Rozlišení [m]	Počet pásem
WorldView	MS	0,5	8
QuickBird	MS, PAN	2,4; 0,6	4;1
TopSat 1	RALCam MS	5	3
NOAA	AVHRR	1,09	6

Multispektrální senzor (MS) zachycuje vlnové délky do oddělených obrazových pásem.

Panchromatický senzor (PAN) je senzor citlivý na světlo obvykle v celém rozsahu viditelného a částečně i blízkého infračerveného světla. – tzn., zachycuje světlo všech barev do jednoho obrazu (jednoho výsledkového pásma), výsledkem je černobílý snímek v různých stupních šedi.

2.2.5 LANDSAT 7

Pro analýzu družicových dat v této práci byly použity snímky z družice LANDSAT 7.

Tato družice byla vypuštěna na oběžnou dráhu v roce 1999 a je pokračovatelem série družic Landsat. Družice jsou vypouštěny americkým úřadem NASA (*National Aeronautics and Space Administration*). Obdobně jako družice v předchozí řadě je Landsat 7 využívána pro podrobné snímkování planety.

Senzorem ke snímání je senzor ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*). Ten byl vyvinut na základě skeneru ETM pro Landsat 4 a 5, ale vlastnostmi a vybavením se více podobal skeneru LANDSAT 6 (ten se ovšem vůbec nepodařilo dostat na oběžnou dráhu). Prioritou pro Landsat 7 bylo přidání panchromatického kanálu a dvou zesilujících kanálů zlepšujících prostorové rozlišení pro termální kanál a přidání dvou solárních kalibrátorů. Jako první snímá v 8 kanálech.

Mezi hlavní prvky ETM+ skeneru je panchromatický kanál (PAN) s 15 m rozlišením na kanálu č. 8, viditelné kanály (odražené světlo) v modrém, zeleném, červeném, blízké infračervené záření (NIR – *near infrared radiation*) a středně infračervené záření (MIR – *mid-infrared radiation*) s 30 m rozlišením na kanálech 1-5 a 7. Na kanálu č. 6 se nalézá tepelné infračervené záření (TIR – *Thermal infrared radiation*). Celá aparatura je kalibrována s přesností 5 % (Landsat 7, Handbook, 2012).

V květnu 2003 vznikly na Landsatu 7 technické problémy, které mají za následek vypadávání řádků při snímání obrazu. Celková rozloha dobře zmapovatelného území tvoří přibližně pouze 1/7 snímku (což tvoří přibližně 45 km²), zbylé území je snímáno pouze s vypadanými řádky (GISAT, 2012).

Přesné parametry družice a skeneru jsou vypsány v tabulkách 4 a 16.

Tabulka č. 4: Vlastnosti jednotlivých pásem Landsatu 7 (zdroj: Landsat 7, Handbook)

Satelit	Senzor	Rozsah vlnové délky [μm]	Kódování spektrálního pásma	Rozlišení [m]
Landsat 7	ETM+	(1) 0,45 – 0,52	Blue	30
		(2) 0,52 – 0,60	Green	30
		(3) 0,63 – 0,69	Red	30
		(4) 0,76 – 0,90	NIR	30
		(5) 1,55 – 1,75	SWIR	30
		(6) 10,4 – 12,5	TIR	60
		(7) 2,08 – 2,35	SWIR	30
		(8) 0,52 – 0,90	PAN	13 × 15

2.3 Interpolace

Interpolace je způsob, jak početně doplnit neznámé hodnoty do datových řad, které nejsou známy. Tento způsob získávání dat je využitelný pro mnoho měření, která jsou prováděna pouze bodově a vzniká z nich prostorový výstup.

Pro zobrazování výsledků nebo práci s prostorovými daty se často využívají geografické informační systémy (GIS). Jedním z nejvíce používaných nástrojů je software ArcGIS. Pro interpolaci bodových údajů tento program využívá především interpolačních metod, jako jsou Topo To Raster, IDW (*Inverse Distance Weighing*), Spline či Natural Neighbors. Konkrétní metoda pro řešení daného problému se vybírá na základě charakteru interpolovaných dat.

Stříž a Němec (2011) uvádějí, že ČHMÚ používá pro interpolaci sněhových dat následující metody:

- 1) jedno-parametrické interpolační metody
- 2) dvou-parametrické metody (naměřená hodnota a nadmořská výška)
 - Regresní modely
 - *DEMI*
 - Orografická interpolace
- 3) více parametrické modely
 - *MWLR (Multiple Weighted Linear Regression)*: lokální lineární regrese

Některé z těchto metod jsou běžně dostupné v ArcGIS (např. jedno-parametrické), jiné jsou částečně založeny na principu metod z ArcGIS, ale jsou do nich přidány další vstupující prvky (např. *MWLR*).

2.3.1 Topo To Raster

Topo to Raster se řadí mezi nástroje prostorové analýzy. Tento způsob tvorby digitálního modelu terénu (DTM, DEM - *Digital Elevation models*) byl přímo vyvinut pro správnou tvorbu hydrologických DTM. Způsob tvorby využívá běžně dostupná výšková data. Metoda je založena na výpočtu iterací konečných diferencí. Pracuje na základě výpočtu účinnosti lokálních interpolačních metod (obdobných jaké je IDW) ovšem bez spojitostních ztrát (jako např. metoda Spline). Tato metoda jako jediná v ArcMapu 9.3 využívá pro interpolaci jiné vstupy než pouze body (využívá body, linie i polygony). (ArcGIS, 2009).

2.3.2 IDW

Tato metoda (znázorněná na obr. 4) je založena na váženém průměru hodnot naměřených na bodech s tím, že bližší hodnoty mají větší váhu než hodnoty vzdálenější. Jedná se o jedno-parametrický model.

$$z = \sum_{i=1}^n w_i \cdot z_i$$

kde

$$w_i = \frac{1}{d_i^k}$$

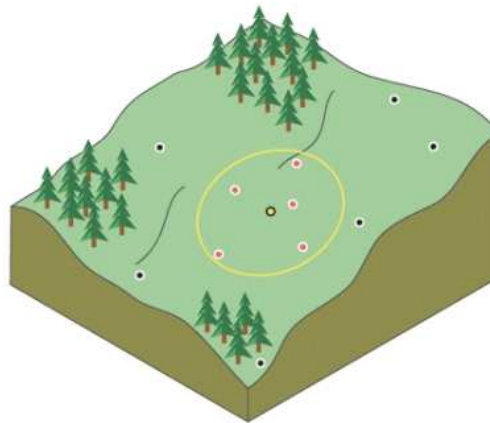
z ... počítaná hodnota

z_i ... známé hodnoty

d ... vzdálenost od známého bodu

w_i ... váhová funkce, pro $k = 1$ nepřímo úměrná vzdálenosti

Obr. 4: Schéma metody IDW (ArcGIS, 2009)



Tato metoda je charakteristická tím, že zadané body nemusí přímo procházet interpolačním výsledkem. Vlastností této metody je, že neextrapoluje (tzn. nenalézá hodnoty mimo zadané zájmové pole).

2.3.3 DEM1

Tato metoda patří do skupiny dvou-parametrických regresních modelů. Stříž a Němec (2011) popisují tuto metodu jako lineární regresi mezi naměřenou hodnotou a její nadmořskou výškou.

a, b ... regresní koeficienty

$$Y = a + bX$$

Y ... naměřená hodnota, např. vodní hodnota sněhu naměřená na meteorologické stanici

X ... nadmořská výška, např. meteorologické stanice

Data jsou počítána pouze pro nejbližší stanice.

2.3.4 Orografická interpolace

Metoda je počítána z bodových měření, která využívá lineární regresní závislosti úhrnu srážek na nadmořské výšce (ČHMÚ, 2004). Je to vážený průměr metody *IDW* a *DEMI*, kde váhou průměru je koeficient determinace lineární regrese. Tzn. v místech, kde lineární model dobře vystihuje dané okolí (vysoké R^2), tak výsledná hodnota bude více podobná hodnotě z lineárního modelu (g_1) a naopak. (Stříž a Němec, 2011).

$$g^F = (gR^2 * g_1) + (1 - gR^2 * g_2)$$

g^F ... výsledná hodnota
 gR^2 ... hodnota koeficientu determinace
 R^2 [0..1]
 g_1 ... hodnota vypočtena metodou *DEMI*
 g_2 ... hodnota vypočtena metodou *IDW*

2.3.5 Spline

Metoda spline má velmi výhodné vlastnosti pro aproximaci. Přesně prochází naměřenými body, tudíž není vhodná do míst s velikými výškovými rozdíly blízko sebe. Tato metoda je schopná extrapolace (celkovou extrapolací vytvoří vrcholy/údolí a pokud je jejich nejvyšší/nejnižší bod zaměřen, tak výsledná interpolovaná křivka jím bude procházet).

2.3.6 Natural Neighbors

Základní rovnice je stejná jako pro metodu *IDW*. Rozdíl je ve váhové funkci, kterou tu tvoří Thiessenovy polygony.

Thiessenovy polygony jsou počítány na základě poloviční vzdálenosti mezi sousedními body a následnému určení těžiště daného polygonu jako odpovídající vzdálenosti pro výpočet. Tato metoda nevytváří vrcholy a prohlubně, je vhodná pro velký objem vstupních dat a nezáleží u ní zda jsou vstupní data pravidelná či nepravidelná.

2.4 Spektrální indexy

Spektrální indexy jsou využívány jako jeden z možných způsobů zvýraznění družicových snímků. Jsou založeny na principu jednoduchých aritmetických operací s dvěma či více pásmy multispektrálního obrazu. Cílem je využít vlastností spektrální odrazivosti pro zvýraznění obrazu. Indexy jsou mnohdy závislé na roční době, kdy byly analyzované snímky pořízeny, či na charakteru snímaného území. Tyto důvody vysvětlují, proč lze občas využívat některé specifické indexy na zcela odlišný povrch, než byl původní záměr. Výsledný obraz lze pomocí prahovacích metod upravit. Obrazům, které z této úpravy vzniknou se říká masky, které dále mohou být využívány jako vstupy pro další úpravy obrazů.

Indexů existuje velké množství. Jedny z nejvyužívanějších jsou vegetační indexy, např. *NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)*. Dalšími indexy jsou např. vodní, teplotní nebo sněhové.

2.4.1 NDSI

Index *NDSI (Normalized Differece Snow Index)* je obecně využíván pro mapování sněhové pokrývky. Jedná se o poměrový index využívající 2. a 5. kanálu družice Landsat.

$$NDSI = \frac{TM 2 - TM 5}{TM 2 + TM 5} \quad TM \dots \text{ příslušný kanál družice Landsat}$$

Hendriks a Pellikka (2008) uvádí, že *NDSI* je často využíván pro rozpoznání mezi sněhem, půdou, skálami a oblačností. Typické hodnoty pro obrazy z Landsatu pro určení sněhu jsou obvykle mezi 0,5 – 0,7 a liší se pro jakýkoliv obraz v závislosti na dopadajícím světle. Proto není příliš praktické analyzovat velkou scénu pouze pomocí jednoho obrazu (doporučuje se rozdělit na více menších scén).

Tento index lze také využít pro rozlišení oblaků od vegetace, neboť mraky mají velmi podobné spektrální pásmo jako sníh. Pro určení mraků uvádí Choi a Bindschadler (2004) nejlepší hodnotu mezi 0,56 a 0,79. Z toho vyplývá, že hodnota sněhu a oblačnosti si je velmi podobná a špatně se od sebe odlišuje.

Při využití dat z jiných snímačů se můžou pro výpočet tohoto indexu používat jiné kanály. U MODISu to je např. kanál 4 a 6. Poměrový index vypadá tudíž následovně (Salomonson et Appel, 2004):

$$NDSI = \frac{c4 - c6}{c4 + c6} \quad c \dots \text{ příslušný kanál družice MODIS}$$

2.5 Využití sněhových analýz v praxi

Mapování sněhové pokrývky pomocí vlnové odrazivosti povrchu využilo již mnoho výzkumných prací a na toto téma se řešilo velké množství projektů. Jedním z často citovaných autorů těchto prací je americký profesor z kalifornské university Santa Barbary Jeff Dozier, zabývající se převážně hydrologií sněhu a DPZ.

2.5.1 SCA

Automatické mapování horské sněhové pokrývky dílčím rozlišením pixelů z družice Landsat, popsal Dozier a Rosenthal (1996). Jedná se o plně automatickou metodu využívající družici Landsat a tvořící kvantitativní odhad dílčí sněhové pokrývky v každém pixelu. Jarní a zimní scény byly modelovány s lineární závislostí pro regresní a stromové modely. Pro odlišení sněhové pokrývky od mraků se využil princip stromových modelů. Algoritmus tohoto modelu byl testován na družicových scénách Landsat a byl validován s leteckými barevnými fotografiemi o vysokém rozlišení. Z této validace vyplývá, že přesnost rozlišení modelem je odpovídající přesnosti z leteckých snímků. Výhodou mapování z družic je nižší cena, rychlejší dosažení výsledků a zmapování mnohem většího území.

Na principu tohoto automatického rozpoznávání povrchů byla vytvořena aplikace *Snow Covered Area (SCA) Program*. Vstupem do programu je obrazový balík s 6 reflektivními TM kanály, kde pro každý pixel musí být určena vzdálenost mezi Zemí a Sluncem v astronomických jednotkách, cosinus slunečního zemského úhlu a odhadovaná dráha záření pro každý pixel. SCA provádí všechny početní operace najednou pro jeden pixel a vypočítává zdánlivou odrazivost pro každý kanál, kde následně odstraňuje oblačnost za použití dalším stromových klasifikací.

Výstupem je 2 kanálový obraz: na kanálu č. 0 je zobrazena sněhová pokrývky ve škále 0 – 100, která zobrazuje procentuální zastoupení sněhu na daném pixelu. Kanál 1 zahrnuje oblaka (0 = oblačnost, 1 = bez oblak).

Tento algoritmus byl testován v Siera Nevadě v Kalifornii, ale může být uplatněn v jakýkoliv horách s podobnou střední nadmořskou výškou.

2.5.2 Využití v Alpách

Dozier, Painter (2004) využili mapování z družic pro zjištění veličin vstupujících do modelu odtoku ze sněhu v Alpách. Vstupními daty byly snímky z družic Landsat (kanály 4 – 5 – 7) a NOAA. Zjišťovanými veličinami byly velikost sněhových krystalů

(*grain size*), albedo, *SWE* a rozsah sněhové pokrývky. Bez sněhová pokrývky byla oblast vyhodnocena tehdy, je-li $NDSI > 0,4$ a $TM4 > 0,11$. Pro lesní oblasti je pixel určen jako sněhový pokud $0,1 < NDSI < 0,4$.

2.5.3 FLOREO

Projekt Floreo (*Demonstration of ESA Environments in support to FLOod Risk Earth Observation monitoring*) má včas upozornit na předpověď vzniku rizikových povodňových situací a to převážně v jarních měsících, kdy je větší pravděpodobnost vzniku povodní z tajícího sněhu. Úkolem je tudíž monitoring sněhové pokrývky a především předpovědět její vývoj v čase.

Floreo využívá data středního rozlišení z družice MODIS (rozlišení 250 km), která pořizuje snímky ČR každý den odpoledne a ASAR (rozlišení 150m, přelet 10 – 14 dní, zpracování bez omezení oblačnosti). Přestože frekvence přeletů je značně vysoká, k předpovědi lze využít jenom cca 25-30 snímků za zimu, neboť ostatní jsou znehodnoceny oblačností (Floreo, 2012b).

Vyhodnocená data jsou použita pro zpřesnění výsledků sněhového modelu, který vychází z bodového měření ČHMÚ. Dále jsou výsledky představovány v podobě animace na stránkách <http://floreo.cz>.

2.5.4 Zohlednění lesního zápoje

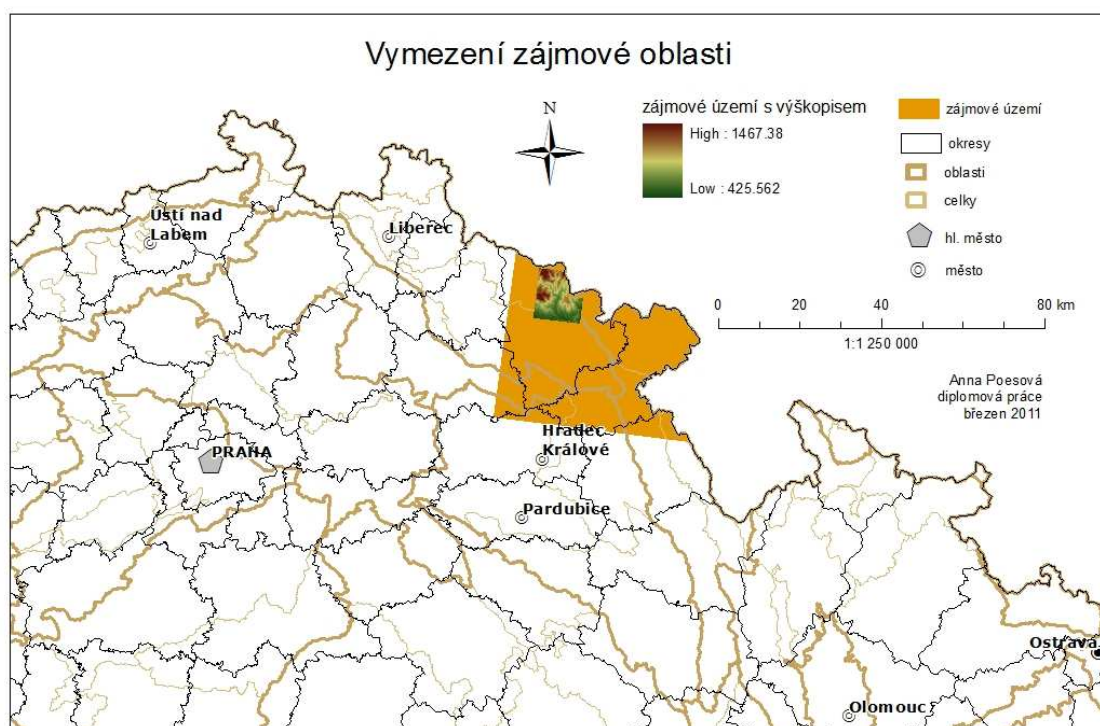
Kombinací lesního zápoje a oblačnosti se zabývali Klein et al. (1998). Za použití snímků z družice MODIS vytvořili algoritmus, který by byl použitelný pro tvorbu sněhových globálních map s denní frekvencí a rozlišením 500 m. Při určování sněhu považovali za největší problém oblačnost a lesní zápoj. Pro modelování sněhové pokrývky na stojících stromech využili spojení 2 modelů: odrazivý sněhový model spolu s odrazivostí modelu pro lesní zápoj (GeoSAIL). Pomocí spojení těchto dvou modelů byly zkoumány vlivy různého typu lesa na sněhovou pokrývku, hustoty zapojení lesní koruny či velikosti sněhových zrn a byla tak zlepšována kvalita modelu. Pro zlepšení algoritmu bylo navrženo použití indexu *NDSI* a *NDVI*. Rozdíl těchto 2 indexů vyjadřoval rozdíl mezi pokrytou a nepokrytou vrstvou vegetace.

3 Popis zájmového území

Zájmové území zobrazené na obr. 6 bylo vybráno na základě družicových scén poskytovaných družicí Landsat 7. Celá scéna má rozlohu 31 476 km², ovšem kvůli přesnější analýze bylo zvoleno pouze zájmové území zahrnující východní Krkonoše a Broumovský výběžek, které má rozlohu 2 210 km² (údaj z ArcGis analýzy).

Přestože celková analýza byla prováděna na českém i polském území, výsledky se zabývají pouze českým územím. Sledované území patří do Krkonošsko-jesenické soustavy. Hlavní zájmové geomorfologické celky jsou Krkonoše, Krkonošské podhůří a Broumovská vrchovina. Z jihu nepatrně zasahují do zájmového území Orlické hory, Podorlická pahorkatina, Orlická tabule, Východolabská tabule a Jičínská pahorkatina. Na území se vyskytují pahorkatiny (200 – 600 m n. m.), vrchoviny (600 – 900 m n. m.) a hornatiny (900 – 1600 m n. m.).

Obr. 6: Vymezení zájmové oblasti v kontextu geomorfologických celků
(zdroj: podkladová mapa – <http://geoportal.cenia.cz>)



3.1 Broumovská vrchovina

Velmi členitá Broumovská vrchovina dosahuje průměrné výšky 527 m n. m. s nejvyšším vrcholem Královeckým Špičákem (880 m n. m.). Na území se vyskytují pískovcová skalní města (Adršpašské a Teplické skály), která mohou mít trochu jiné spektrální odrazivosti než holé povrchy.

Wikipedia (2012) uvádí zalesnění této oblasti přibližně 35% z celkové rozlohy 535 km².

Dle Atlasu podnebí Česka (Tolasz et al. 2007) je průměrné roční maxima denních úhrnů srážek v rozmezí 45 – 50 mm, průměrná zimní teplota vzduchu na většině území mezi -3 až -2 °C, první sníh v průměru napadá mezi 10. 11: až 30. 11. a průměrné datum poslední sněhové pokrývky bývá mezi 31. 3. a 20. 4.

3.2 Krkonoše a Podkrkonoší

Krkonoše jsou nejvyšším pohořím České republiky a zároveň nejvyšším pohořím střední Evropy severně od Alp. Průměrná nadmořská výška dosahuje 901 m n. m, nejvyšším vrcholem je Sněžka (1602 m n. m), zároveň se zde vyskytuje 15 z 20 nejvyšších vrcholů ČR. Geomorfologie pohoří je velice členitá, což je následkem třetihorního alpínského vrásnění. Údolí se táhnou převážně ve směru SZ k JV. Dle Správy KRNAP (KRNAP, 2012a) leží 9,3% pohoří nad alpínskou hranicí lesa. Vyskytují se zde specifické ekotopy, kde se může sníh vyskytovat odlišně od okolního okolí (rašelinisté, mrazem tříděný reliéf – mrazové půdy, kary, skalní hradby, závětrné prostory), které váží sníh jiným způsobem než běžný povrch.

Na západním okraji zájmového území se nalézá místo zvané Mapa republiky, které je na jižním svahu Studniční hory. Toto území je charakteristické tím, že sněhová pokrývky na něm leží mnohem déle než v okolí. Ukládání sněhu v těchto místech je ovlivněno severními a severozápadními větry, které přichází z Modrého dolu a dále blízkostí sedla Luční hory, kudy proudí velmi chladný vzduch (v nejstudenějších chvílích může teplota vzduchu klesat až k -30 °C).

Atlas Podnebí (Tolasz et al., 2007) uvádí rozsah maximálních denních úhrnů srážek mezi 60 – 70 mm. Úhrn srážek je jeden z nejvyšších v českých horách. Průměrný roční úhrn na úpatí je kolem 800 mm, na hřebenech se pohybuje v rozmezí 1200 až 1400 mm. Na hřebenech převažují roční srážky pevné (ať již v podobě sněhu či krup).

Teplota vzduchu klesá s přibývajícím nadmořskou výškou o 0,5 °C – 1 °C na 100 výškových metrů. Správa KRNAP uvádí (KRNAP, 2012) průměrné roční teploty mezi 0 °C – +6 °C. Nejstudenější je vrchol Sněžky, kde je udávána teplota 2 °C. V Atlasu podnebí (Tolasz et al., 2007) je uváděna průměrná zimní teplota vzduchu od -6 do -2 °C. Ovlivňujícím prvkem sněhové pokrývky může být inverzní počasí. Vyskytuje se převážně v podzimních a zimních měsících v různých délkách (obvykle několik dnů, výjimečně i týdnů).

Dle Tolasze et al. (2007) se první sněhová pokrývka v průměru vyskytuje od 2. poloviny října, ve vrcholových partiích roztává až kolem poloviny května.

4 Popis vývoje sněhové pokrývky pro zimu 2011/2012

ČHMÚ vydává pro každý týden obecnou zprávu o stavu sněhové pokrývky pro celou ČR. Zdrojem dat pro tyto týdenní sumarizace jsou data měřená každé pondělí v 7 hodin ráno na meteorologických měrných stanicích (obr. 7). Pro sezónu 2011/2012 začal tento monitoring v pondělí 12. 12. 2011.

Následující rešerše letošní zimy byla zpracována na základě dat online dostupných na stránkách ČHMÚ (ČHMÚ, 2012a) a je zaměřena na vývoj sněhové pokrývky v zájmovém území.

V prvním monitorovacím týdnu (5. – 11. 12. 2011, měřeno 12. 12. 2011) ležela souvislá sněhová pokrývka v Krkonoších, nesouvislá na Broumovsku. V nejvyšších horských partiích byla hodnota SWE až 150 mm, v podhůří do 50 mm a na Broumovsku pod 20 mm.

Při měření 19. 12. 2012 se sněhová pokrývka v Krkonoších a Podkrkonoších rozšířila a vyskytovala se již od 300 m n. m., v horských partiích bylo naměřeno až 120 cm výšky sněhu (Lysá hora). Na Broumovsku se souvislá sněhová pokrývka nevyskytovala. Díky teplotě nad nulou a silnému větru došlo ke zvýšení hodnoty hustoty sněhové pokrývky. Vodní hodnota sněhu v nejvyšších horských partiích dosahovala 200 mm.

V týdnu k 26. 12. 2011 došlo k výrazné oblevě, čímž se zmenšila pokrývka převážně na Broumovsku v povodí Stěnavy. Ve vysokých horských oblastech již je pokrývka tak vysoká, že se nemění její rozloha, ale pouze její kvantitativní a kvalitativní vlastnosti – v tomto týdnu došlo ke zvýšení hustoty a vodní hodnotě sněhu. V jižní části území se sníh nevyskytuje.

Vzhledem k dalšímu oteplení během posledního týdne roku 2011 je měření 2. 1. 2012 charakterizováno zvýšením nadmořské výšky sněhové čáry na hodnotu okolo 500 m n. m. ve východních Čechách. Rozloha sněhové pokrývky se zmenšila na Broumovsku i v Podorlické pahorkatině a Orlické tabuli. Byl patrný stálý nárůst vodní hodnoty sněhu ve vrcholových partiích hor.

První týden roku 2012 (měření 9. 1. 2012) byl charakteristický značným přírůstkem srážek, přibližně od 400 – 500 m n. m. sněhových. V Peci p. Sněžkou bylo naměřeno 5. ledna 45 cm nového sněhu.

Další týden měřen 16. 1. 2012 se stále vyskytovaly srážky; hranice sněhové čáry se posouvá přibližně k 600 m n. m.. V nejvyšších horských polohách dosahovala vodní hodnota sněhu dokonce již přes 500 mm.

V pondělí 23. 1. byla sněhová pokrývka konstantní po celém území, kromě oblasti jižně od vodní nádrže Rozkoš.

Pondělí 30. 1. byla sněhová pokrývka měřena na většině území (vyjma JV oblasti). Na Lysé hoře bylo naměřeno 234 cm sněhové pokrývky s vodní zásobou vody 864 mm.

První únorový týden (měřeno 6. 2. 2012) byl charakteristický silnými mrazy (většina horských stanic uváděla většinou pod -20°C), při nichž většinou nevypadávaly srážky – max. výška nového sněhu byla naměřena 2 cm. Vodní hodnota sněhu byla obdobná jako při předchozím měření.

Následující týden 6. – 12. 2. byla situace konstantní, přes území procházela silná oblačnost. Sněhová pokrývka v pohraničních horách byla stále okolo 200 cm, vodní hodnota sněhu se pohybovala od 20 mm (nejnižší partie zájmového území) až po 900 mm, které byly na vrcholcích hor.

Týden od 14. do 20. 2. 2012 se vyskytovaly bohaté sněhové srážky při teplotách pod 0°C . Výška sněhové pokrývky byla v průměru obdobná jako minulý týden, maxima (255 mm) byla naměřena na Pančavské louce v západních Krkonoších.

Měření v pondělí 27. 2. 2012 bylo poznamenáno silnou oblevou v minulém týdnu a dešťovými srážkami. Vodní hodnota sněhu se tak navýšila i v nižších oblastech, v horských oblastech stále zůstávala dostatečná sněhová pokrývka s konstantní průměrnou výškou kolem 200 cm.

Na přelomu února a března (27. 2. – 4. 3. 2012) pokračovala obleva a teploty se pohybovaly stále nad 0°C . To zapříčinilo zvyšování vodní hodnoty sněhu na celém území (max. hodnota je uváděna v intervalu 750 - 1000 mm). Během 2 dnů se vyskytovaly srážky, které, přestože v nejvyšších oblastech byly sněhové, tak celkovou výšku sněhové pokrývky obecně snížily.

Následující týden (měřeno 5. 3. 2012) pokračoval obdobný stav počasí jako minulý týden, rozloha sněhové pokrývky se menšila, denní maxima teplot se pohybovala mezi $5 - 9^{\circ}\text{C}$.

V týdnech od 12. do 25. 3. odtála převážná část sněhové pokrývky v krkonošském podhůří a celém povodí Stědavy. Vyšší vodní hodnoty sněhu se vyskytovaly již jen v nejvyšších partiích a během tohoto týdne roztála sněhová pokrývka na velkém území.

Během posledního březnového týdne (26. 3. – 1. 4.) pokračuje tání, teploty se obvykle nedostávají pod bod mrazu, sníh se drží pouze v nejvyšších partiích nejvyšších

hor (Krkonoš, Jeseníku, Šumavy, Moravsko-Slezských Beskyd a okolí Klínovce v Krušných horách).

Obr. 7: Mapa meteorologických měrných stanic ČHMÚ v zájmové oblasti a jejím okolí (ČHMÚ, 2012b)



Stanice, na nichž se měří sněhová pokrývka. Rozdílné piktogramy rozlišují měřené charakteristiky a automaticnost dané stanice. Data pro sněhovou pokrývku výše zmiňovaného popisu roku jsou měřeny na všech zobrazených stanicích, proto nepovažují za nutné v této práci rozlišovat jednotlivé druhy měřících stanic.

5 Metodika

Analýza sněhové pokrývky byla provedena na území zahrnující přechod z nejvyšších partií hor (Sněžka, 1602 m n. m.) do nižších poloh (až do pahorkatiny) kolem Bříšťan (260 m n. m.) – viz kapitola 3. Zároveň byla určena sněhová čára pro celé území a následně pro menší výřez, který byl také zpřesněn dalšími informacemi.

Pro práci byla využita data volně stažitelná z internetu. Družicové scény byly vybrány a staženy z USGS Global Visualization Viewer (<http://glovis.usgs.gov/>). Interpolovaná mapa byla získána pouze jako obrázek ze stránek ČHMÚ (<http://www.chmu.cz>). DTM byl vytvořen z výškopisných dat “ZABAGED – výškopis 3D”, které poskytl Český úřad zeměměřičský a katastrální (ČÚZK). Jedná se o mapové listy 03-42-02, 03-42-03, 03-42-07, 03-42-08, 03-42-12, 03-42-13, 03-42-14, 03-42-17, 03-42-18 a 03-42-19 (viz obr. 6) v měřítku 1:10 000.

Cílem práce je porovnat reálnou sněhovou situaci (družicové snímky) s hodnotami z bodových měření (interpolované snímky ČHMÚ). Zahrnutí výškových parametrů v podobě digitálního modelu terénu či pokrývky lesa slouží k zpřesnění analýz pro jednotlivé snímky.

Podstatou bylo získat co možná nejkompaktnější datové řady snímků jednoho území v ČR tak, aby na nich bylo možno identifikovat sníh a zároveň se na nich vyskytovalo minimum oblačnosti za období zima 2011/2012. Tyto podmínky vyhovovaly nejlépe pro družicovou scénu WRS-2 (*Worldwide Reference System 2*) č. 190/25 z družice Landsat 7, která pokrývá území východních Čech a severní Moravy.

Družicové scény jsou ze dnů 31. 1. 2012, 3. 3. 2012 a 19. 3. 2012.

Vrstvy týkající se malého území jsou v analýze označovány písmenem “m” na začátku.

5.1 Použitý software

Analýza družicových snímků byla zpracována v softwaru MultiSpec (© Purdue Research Foundation) ve verzi 2/20/2012. Tento software je vyvíjen pro zpracování interaktivní analýzy zemského povrchu multispektrálních obrazových dat, které jsou pořizovány např. z družic Landsat či skeneru AVIRIS (MultiSpec, 2012). Na stránkách Purdue University (<https://engineering.purdue.edu/~biehl/MultiSpec/index.html>), která se podílí na jeho vývoji, je možno celý program stáhnout zdarma.

Výsledné analýzy byly tvořeny v softwaru ArcGIS 9.3. Pracováno bylo s vektorovými, rastrovými daty a podkladovými mapami z geoportálu Cenia (<http://geoportal.cenia.cz>).

Práce byla vytvořena také s využitím programů GoogleEarth a Microsoft Excel.

5.2 Příprava dat

5.2.1 Družicová data

Družicová data byla stažena ve formátu LE71900252011316ASN00.tar.gz, což znamená 2× zazipovaný soubor a název popisuje parametry snímku (viz níže).

L E 7 190 025 2011 31 6 ASN 00

L = Landsat

E = Sensor ETM

7 = druh satelitu (v tomto případě Landsat 7)

190 = WRS sloupec

025 = WRS řádek

2011 = rok pořízení

31 6 = den a měsíc pořízení

ASN = identifikátor pozemní stanice

00 = verze

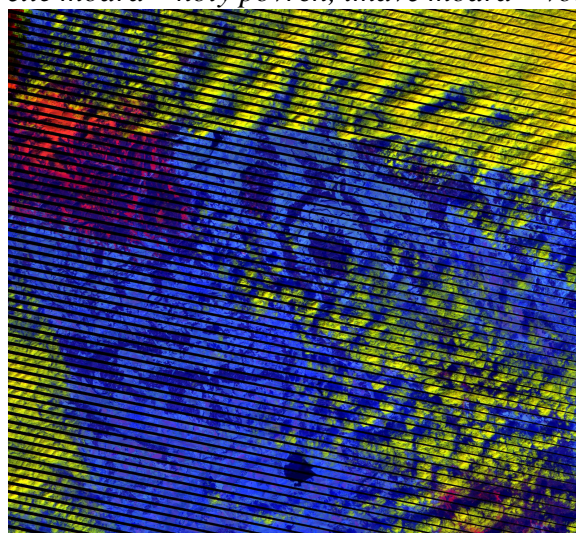
Přestože tento soubor poskytuje 9 obrazů, tak pracovní snímek byl složen pouze z prvních 7 kanálů. Vynechán byl teplotní kanál č. 8 a panchromatický kanál č. 9., protože tyto kanály neobsahují data podstatná pro sněhovou analýzu. Důvodem pro vynechání těchto kanálů byla větší náročnost na software a jeho následnou zvýšenou nestabilitu a chybovost při zobrazování výsledků.

Ze sedmi kanálového snímku byl vypočten 1 kanálový 8-bitový snímek sněhového indexu *NDSI*. To znamená, že tematický obraz je tvořen z 256 kategorií, které je následně metodou hustotních řezů rozdělit do příslušných kategorií (‘bezsněhu,’ ‘asisnih’ a ‘snih’). Další možnost identifikace těchto kategorií byla provedena na základě **neřízené klasifikace**. Tato klasifikace je založena na shlukování (clusterové analýze) pixelů do množin, které shlukují spektrálně podobně povrchy. Těmto spektrálním třídám je následně nutné přiřadit obsah tematický. Daná třída se určuje na základě porovnání klasifikovaného obrazu s reálným obrazem. Pro porovnání bylo využito zobrazení původního 7 kanálového snímku na kanálech 5 – 4 – 3 (zobrazeno prostřednictvím kanálů RGB – red, green, blue) – viz příloha č. 1. Sníh se při tomto zobrazení jeví tyrkysově, bez sněhové oblasti jsou v odstínech červené a tmavě jsou většinou lesnaté plochy bez sněhové pokrývky na jejich povrchu, ale sněhová pokrývka

leží převážně na zemi (pod korunami stromů, proto neposkytuje přímý odraz a plocha se tak nejeví jako čistý sníh).

Dalším dílčím bodem bylo ze snímku odstranit vrstvu vody. Voda má podobné spektrální odrazivost jako sníh nebo vrstvy mraků, proto zde bylo využito řízené klasifikace, konkrétně metody **trénovacích ploch**. Pro zvýraznění vodních ploch se využilo zobrazení kanálů 4 – 5 – 7 (obr. č. 8), neboť nejlépe odlišují vodní plochy od okolí. Tyto kanály byly též využity pro tvorbu masky. Trénovací plochy byly určeny na nádrži Rozkoš. Prahová hodnota byla zvolena 10 %. Maska vodní plochy byla následně odečtena pomocí rastrové kalkulačky z obrazu NDSI. U snímku z 31. 1. vznikla nová vrstva 'voda,' u dalších 2 snímků tato byla vrstva vody odečtena a klasifikována jako 'bezsněhu.'

Obr. č. 8: Zájmové území (a Polsko) 19. 3. 2012 zobrazeno na kanálech 4 – 5 – 7 (žlutá – oblaka, světle modrá – holý povrch, tmavě modrá – voda, červená – sníh)



Snímek byl nakonec uložen ve formátu geotif (*.tif). Výhodou tohoto formátu je, že si podrží vlastnosti o umístění snímku a zároveň vzniká soubor *.kml, který je možno využít např. v aplikaci GoogleEarth.

5.2.2 Interpolovaná data

ČHMÚ vytváří pro každý týden k pondělí mapu sněhové pokrývky z bodových dat měrných stanic. Údaje se zpracovávají v programu ArcGIS (aplikace ArcMap) pomocí orografické interpolace, což byla metoda původně určená pro rozložení srážek. Pro zpřesnění výpočtu se poslední dobou přidává i tzv. nulová izochiony – sněhová čára. Každá ze 7 poboček ČHMÚ určuje tuto hodnotu dle subjektivního odborného odhadu ve svém regionu. Pro celou ČR se tyto izochrony zprůměrnují.

Interpolovaný snímek byl stažen z internetu jako obyčejný bitmapový soubor. Pro následnou analýzu bylo nejprve nutné provést georeferenci v ArcGIS 9.3 a teprve poté provést vektorizaci plochy sněhu. Sněhová pokrývka na rastrovém obrázku je rozdělena podle výšky sněhové pokrývky po 5 cm. Vzhledem k tomu, že tato práce se nezabývá měřením výšky ale pouze rozlohou sněhové pokrývky, byla tato výšková data sněhu vypuštěna. Výstupem z interpolovaných dat, která jsou používána pro další analýzu, je polygonová vrstva sněhové pokrývky s 2 hodnotami: 'snih' a 'bezsnehu.'

5.3 Analýza dat

Analýzy byly prováděny v ArcGIS 9.3 v souřadnicovém systému WGS 1984, 33N zóny. Tato data jsou uvedena ve výsledcích.

Pro každé datum se analyzoval snímek celého území a menšího výřezu z území. Vzhledem k časové posloupnosti analyzovaných snímků se předpokládal vývoj úbytku sněhové pokrývky.

Analýzy byly směřovány k odpovědím na následující otázky, neboť je považují za jedny z možných parametrů vlastností sněhové pokrývky, které jdou zjistit z družic.

- Co lze analyzovat z volně dostupných dat z internetu a jaké jsou omezující parametry?
- Jakým způsobem volit výšku sněhové čáry?
- Co ovlivňuje určení sněhové čáry?
 - nadmořská výška
 - lesní porost
 - expozice svahu
- Vyskytuje se sníh i pod určenou hranicí sněžné čáry?
- Vyskytují se místa bez sněhové pokrývky nad hranicí sněžné čáry?
- Kvantitativní porovnání sněhové oblasti na družicových datech a interpolovaných.
- Jaká je možnost extrapolace do velkého území?

5.3.1 Postup

Družicový snímek byl umístěn do ArcGIS. Funkcí ExtractToMask byl snímek oříznut, tak aby data na snímku byly pouze z území ČR a vzniklo tak zájmové území (velké, rastrové). Další práce je rozdělena na malé a velké území.

5.3.1.1 Velké území

Sněhová čára na velkém území byla zjišťována pouze vizuálním odhadem, kde souvislá pokrývka 'asisnih' přecházela do 'bezsněhu' oblasti. Z této analýzy byla zcela vyloučena místa bez sněhu v horských oblastech. Pro přibližné zjištění, zda se sněhová čára vyskytuje na území přibližně ve stejných nadmořských výškách byl snímek nahrán do softwaru GoogleEarth. Bylo vytipováno několik náhodných míst přechodu bez sněhové oblasti a oblasti asi se sněhem, která byla dále vyhledána na mapách zahrnující nadmořskou výšku (www.mapy.cz). Následně vytvořena polygonová a rastrová vrstva této pokrývky sněhu.

Nad interpolovaným snímkem vznikla polygonová vrstva sněhové pokrývky s hodnotami 'snih' a 'bezsněhu.' Ta byla převedena na rastr pro další výpočty.

Následně vznikla analýza rozdílu (funkce Minus) interpolovaných a družicových dat. Vyčíslila se rozloha dvou území: první – hodnota pokrývky je na obou vstupních rastrech stejná; druhá – pokrývka typu vstupních rastrů je různá.

Družicová vstupní data byla převedena na polygony a spočítána rozloha pro každý druh pokrývky zvlášť za účelem kvantitativního porovnání.

5.3.1.2 Malé výřezy s nadmořskou výškou

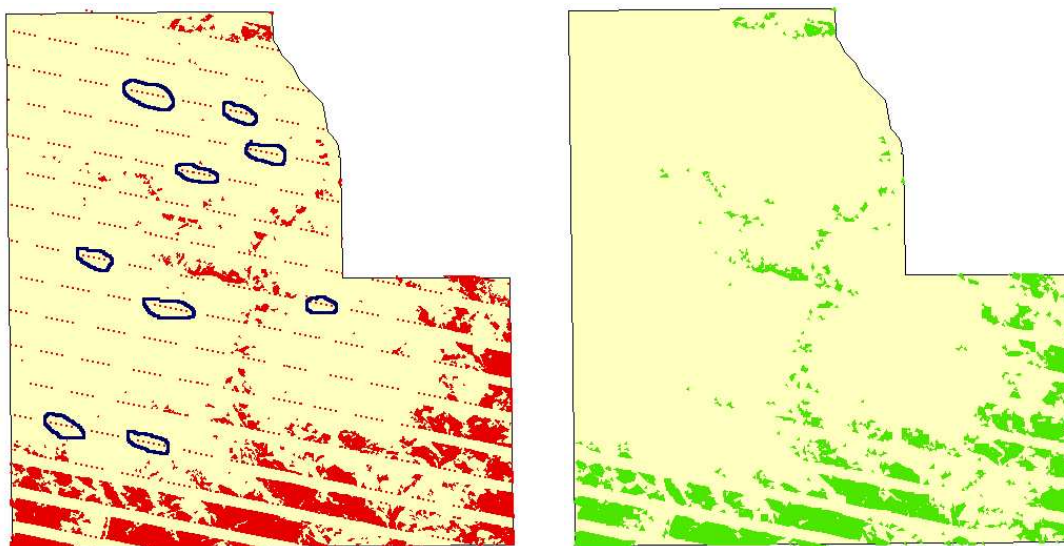
Malé výřezy byly zvoleny k přesnější analýze určení sněhové čáry z důvodu zahrnutí DTM, tedy výškových informací. Z polygonové vrstvy území a polygonové vrstvy malého území (vytvořeno ručně) funkcí Clip vznikla polygonová vrstvy malého území s rozlišenými sněhovými druhy pokrývky ('bezsněhu,' 'asisnih' a 'snih'). Obdobně tak vznikla rastrová vrstva z družicového snímku (fnc ExtractByMask).

Pro vytvoření DTM bylo nejprve potřeba každou vrstvu vrstevnic transformovat (funkcí Project) do souřadnicového systému WGS, neboť data byla nastavena pro S-JTSK Krovak EastNorth. Z vrstevnic (hlavní, zesílená, doplňková), dolní a horní břehové linie a břehovky byl vytvořen DTM s hranicemi určenými z polygonové vrstvy malého území za využití funkce TopoToRastr (příloha č. 2, obr. č. **SER**).

Na některých snímcích musela být provedena manuální úprava dat (obr. č. 9). Důvodem bylo zřetelně mnoho bez sněhových polygonů geometricky rozmístěných po

celém obraze a jejich nelogický výskyt i v nejvyšších polohách malého území. Tato anomálie vznikla již při klasifikaci pokrývky v MultiSpecu, kdy byly za sněž označeny pixely s vyšší prahovou hodnotou na hranici pokrývky 'nodata' a zbylé pokrývky. Evidentně se nejedná o oblast 'bezsněhu'. Jednalo se o polygony stejně veliké a rovnoměrně rozložené. Výběr proběhl pomocí atributového výběru ("GRIDCODE" =0 AND "area"=900). Tato vybraná data byla nahrazena hodnotou '3'='nodata.'. Výhodou tohoto polo-manuálního odstranění je větší pravděpodobnost správného zobrazení ploch bez sněhové vrstvy. Tento postup ovšem nelze automaticky provádět na každý snímek - musí se zohledňovat lidský úsudek, zda předělat nebo nechat analýzu ze softwaru.

Obr. č. 9: Porovnání vrstvy bez sněhové pokrývky z 19. 3. 2012 před a po korekci



červená vrstva – před korekcí, zelená vrstva – po korekci, modré ovály – příklad smazaných dat, žlutá podklad – výřez území s výškovými daty

Kvůli zahrnutí DTM do sněhové pokrývky byl DTM překlasifikován funkcí Reclassify na 15 výškových pásem pomocí přirozených zlomů (Natural Breaks). Hodnoty byly vyčísleny následovně:

Tabulka 5: Rozdělení výškových stupňů DT po reklasifikaci

hodnota	nadmořská výška [m n. m.]	hodnota	nadmořská výška [m n. m.]
1	424 – 513	9	953 – 1014
2	513 – 570	10	1014 – 1071
3	570 – 631	11	1071 – 1132
4	631– 692	12	1132 – 1189
5	692 – 757	13	1189 – 1246
6	757 – 823	14	1246 – 1315
7	823 – 888	15	1315 – 1465
8	888 – 953		

Reklasifikovaný rast byl převeden funkcí RastrToPolygon na polygon.

Dalším hodnotícím parametrem pro výskyt sněhové pokrývky byla zvolena expozice svahu. Tento prvek byl vytvořen funkcí Aspect z DTM, která vytvoří rastr bez atributové tabulky a zobrazuje expozici vůči světovým stranám. Hodnota je vypočítávána z každého pixelu zvlášť. Jako 'flat' jsou označeny rovné plochy, které se na malém zájmovém území nevyskytují. Kvůli využití v analýzách musel být tento výsledný rastr převeden na polygony.

Výsledné určení nadmořské výšky sněhové čáry bylo zjišťováno z vrstvy, která zahrnovala 4 předchozí vstupní informace (typ pokrývky, výškové informace, druh lesní pokrývky a expozice svahů). Z této vrstvy byly zjišťovány (pomocí atributového výběru za různých podmínek) možnosti výšky sněhové čáry. Vzhledem k vývoji tání byl v každém obrazu kladen důraz na trochu jiné ukazatele, které byly následně analyzovány u každého obrazu zvlášť.

Při analýze se vycházelo z následujících teorií:

- Je-li typ pokrývky 'asisnih' na lesním povrchu, je této ploše přiřazena hodnota 'snih' neboť se sníh se může nacházet pod korunami či v jejich koruně (kde také nebude mít stejnou spektrální odrazivost jako sníh na loukách). Bartoš, Šlupák a Černohous (2009) uvádějí rozdíl ve sněhovém pokryvu různých druhů stromů. Při porovnání volné plochy a lesních porostů byla sněhová pokrývka nejvíce podobná v porostu břízy. Naopak nejvyšší hodnoty sněhu byly naměřeny pod smrkovým porostem.

Při ukládání sněhu záleží na aktuálním počasí: jsou-li teploty dlouhodoběji pod 0 °C, čerstvý sníh zpravidla zůstává v korunách stromů a výška sněhové pokrývky na zemi se tak může v danou chvíli podobat výšce v březovém porostu. Zde se již projevuje efekt, o kterém hovoří například Krečmer (1971), který uvádí, že dospělý smrkový porost zadrží v korunách zhruba 40 % množství nového sněhu.

Na začátku zimy působí klečové porosty spíše jako nakypření sněhové pokrývky (Bartoš, Šlupák, Černohous, 2009), na konci zimy naopak kleč působí jako velká akumulací plocha. Např. Janášková (2006) udává rozdíly výšky sněhové pokrývky v kleči a na holých pláních v jarních měsících až o 50 cm.

- Na jižním svahu (obvykle zahrnut i jihovýchodní a jihozápadní svah) sníh odtává rychleji než na severních.
- V menších údolích se může vyskytovat příznivé mikroklima, které ovlivní délku trvání sněhové pokrývky.

- Zástavba obvykle působí jako zdroj tepla, tudíž sníh bude pravděpodobněji odtávat od zástavby.

5.4 Výsledky

5.4.1 Obraz 31. 1. 2012

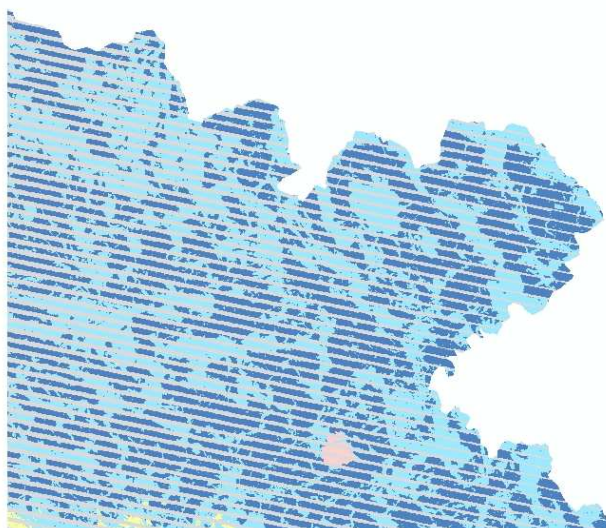
Celá družicová scéna byla ovlivněna oblačností pouze z 10 % a to v místech mimo vybrané území. Obraz zájmového území není znehodnocen oblačností. Jako prahové hodnoty indexu *NDSI* pro rozlišení typu sněhové pokrývky v MultiSpecu byly zvoleny následující meze:

bez sněhu	0 – 73
asi sněh	74 – 190
sněh	191 – 254
nodata	255

Celé území

Na obrázku č. 10 je patrné, že sněh se vyskytuje skoro na celém zájmovém území. Na obrazu je velmi malý podíl bez sněhové oblasti. Hodnota 'asisnih' na JV rohu je situována v lesním porostu (dle Google Earth), proto byla hodnota sněhové čáry zvolena na předělu 'bezsnehu' a 'asisnih.' Jedná se o nadmořskou výšku **260 m n. m.**

Obr. č. 10: Výstupní rast z Multispecu z 31. 1. 2012



Kvantitativní zastoupení jednotlivých typů sněhových povrchů je shrnuto v tabulce č. 6.

Tabulka č. 6: Porovnání základní analýzy družicových a interpolovaných dat z 31.1.2012

družicová data	interpolovaná data
----------------	--------------------

typ povrchu	rozloha [km ²]	% podíl	Rozloha [km ²]	% podíl
bez sněhu	21,65	0,98	0	0
asi sníh	671,55	30,39	0	0
sníh	862,92	39,04	2 210,13	100
nodata	648,11	29,32	-	0
voda	5,90	0,27	0	0

Rozdíl mezi interpolovanými a družicovými daty je 9,4 km². Mapa výsledné sněhové čáry se nachází v příloze, obr. č. 29.

Malý výřez

Z atributové tabulky výsledné vrstvy vznikly exportem do tabulky *.dbf 2 sumarizace (tabulky č. 7 a 8) podle typu sněhové pokrývky. Tyto tabulky jsou prvním vstupem do hodnocení, zda na daném území prochází či neprochází sněhová čára. Druhým vstupem se stala vizuální vrstva (viz příloha č. **TT** a názorný obrázek č. 11). Na každém obrázku jsou tyrkysově zvýrazněny polygony, u nichž se musí rozhodnout, jakým způsobem budou do analýzy zahrnuty. Tzn. bude-li sněžná čára procházet v jejich blízkosti či budou zahrnuty do kategorie sněhové.

Tabulka č. 7: Tabulka pro analýzu pokrývky 'bezsnehu'

type povrchu	počet polygonů v dané kategorii	min. hodnota nadmoř. výšky [m n. m.]	max. hodnota nadmoř. výšky [m n. m.]	min. plocha rozlohy [m ²]	max. plocha rozlohy [m ²]
les	68	424-513	888-953	576,34	10800
louka	15	424-513	823-888	576,34	4612,59
zástavba	4	570-631	631-692	1228,86	9026,99

Na základě relativní vzdálenosti a hustší míře výskytu byla stanovena hypotéza, že polygony v JZ rohu by mohly být bez sněhové pokrývky. Vzhledem k tomu, že tyto polygony ovšem leží v pásmu lesa, byla tato hypotéza zamítnuta a polygony označeny za území 'asisnih'.

Tabulka č. 8: Tabulka pro analýzu pokrývky 'asisnih'

type povrchu	počet polygonů v dané kategorii	min. hodnota nadmoř. výšky [m n. m.]	max. hodnota nadmoř. výšky [m n. m.]	min. plocha rozlohy [m ²]	max. plocha rozlohy [m ²]
křoví	2	1246-1315	1315-1465	420000	420000
louka	621	424-513	1132-1189	576,3	3890000
zástavba	140	424-513	823-888	576,3	3890000

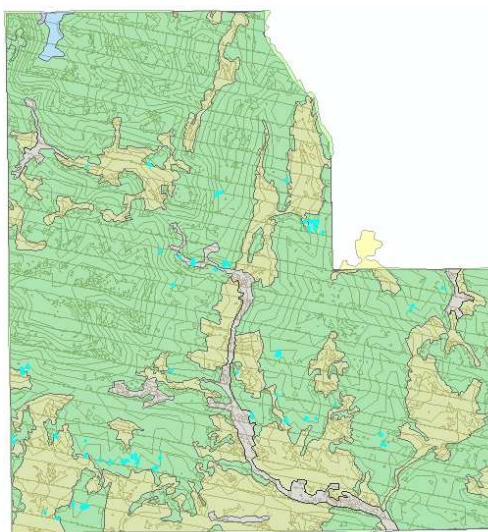
Jako vstupní parametr pro analýzu oblasti 'asisnih' byl do analýzy přidán ještě aspekt expozice vůči světovým stranám. Byla provedena obdobná analýza: vybrání

polygonů s pokrývkou 'asisnih' → z těchto polygonů vybrány ty, které mají vegetační pokryv označen jako 'zastavba,' louka' a 'krovi' → z tohoto výběru byly vyloučeny plochy, které mají jižní expozici svahu.

Interpolovaná vrstva z ČHMÚ nebyla do této analýzy vložena, neboť její hodnota je na celém malém území stejná – celistvá sněhová pokrývka.

Z výše uvedených výsledků pro malé území vyplývá, že sněhová čára se nenachází na sledovaném území, tudíž její hodnota musí být nižší než **424 m n. m.**

Obr. č. 11: Vizuální ukázka výstupu analýzy sněhové pokrývky v závislosti na lesní pokrývce.



Pro tvorbu výsledné mapy byly všechny polygony bez sněhu nahrazeny pracovní hodnotou 11 (znamená přechod do kategorie 'asisnih') a polygony 'asisnih' nahrazeny hodnotou 12 (znamenající přechod do kategorie 'snih'). Na výsledné mapě (příloha č. **WER**) nemůže být sněhová čára vykreslena.

5.4.2 Obraz 3. 3. 2012

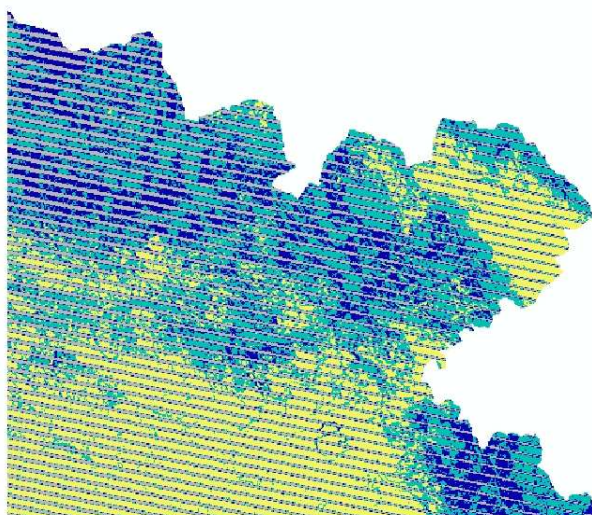
Celá družicová scéna byla ovlivněna oblačností pouze z 1 %. Obraz zájmového území není znehodnocen oblačností. Jako prahové hodnoty pro rozlišení typu sněhové pokrývky v MultiSpecu byly zvoleny následující meze:

bez sněhu	0 – 42
asi sníh	43 – 184
sníh	185 - 254
nodata	255

Velké území

Dle obrázku č. 12 se přechodová čára mezi územím 'bezsněhu' a 'asisnih' vyskytovala kolem nadmořské výšky 400 m n. m., v Broumovském výběžku to bylo spíše 450 m n. m.. Obě tyto hodnoty byly odečteny u hranice lesa, tudíž se přikláním k vyšší hodnotě sněžné čáry – **450 m n. m.**

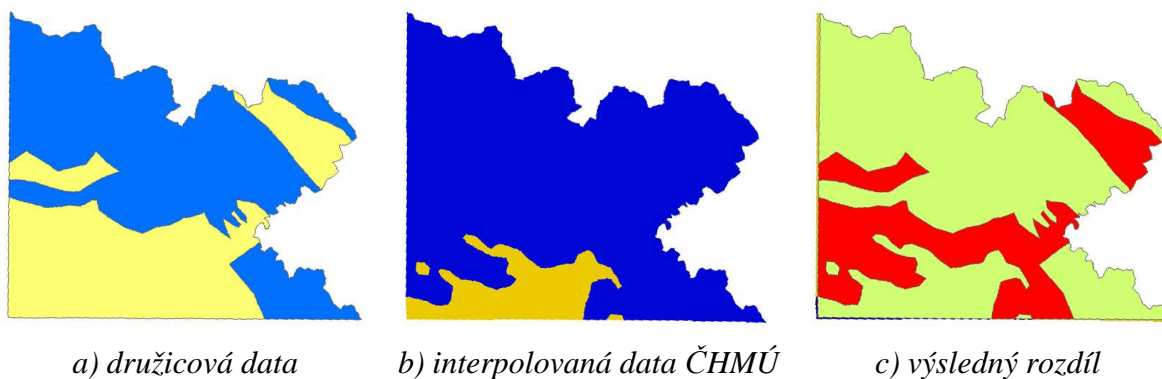
Obr. č. 12: Klasifikace zájmového území z MultiSpecu, 3. 3. 2012



Analýza rozdílu mezi družicovými a interpolovanými hodnotami byla znázorněna graficky – viz obrázek č. 13. Na ploše 679 km² byl definován jiný typ sněžové pokrývky, na ploše 1 531 km² byl definovaný stejný typ sněžové pokrývky. Z obdobné analýzy byly zjištěny kvantitativní výsledky pro porovnání interpolovaných a družicových dat (tabulka 9).

Obr. č. 13: Rozdíl mezi družicovými a interpolovanými daty 3. 3. 2012

(modrá – sněh, žlutá – bez sněhu, červená – rozdíl mezi daty z družic a interpolovaných hodnot, zelená – stejně analyzovaná družicová a interpolovaná data)



Tabulka 9: Kvantitativní porovnání sněžových charakteristik na družicových

a interpolovaných datech

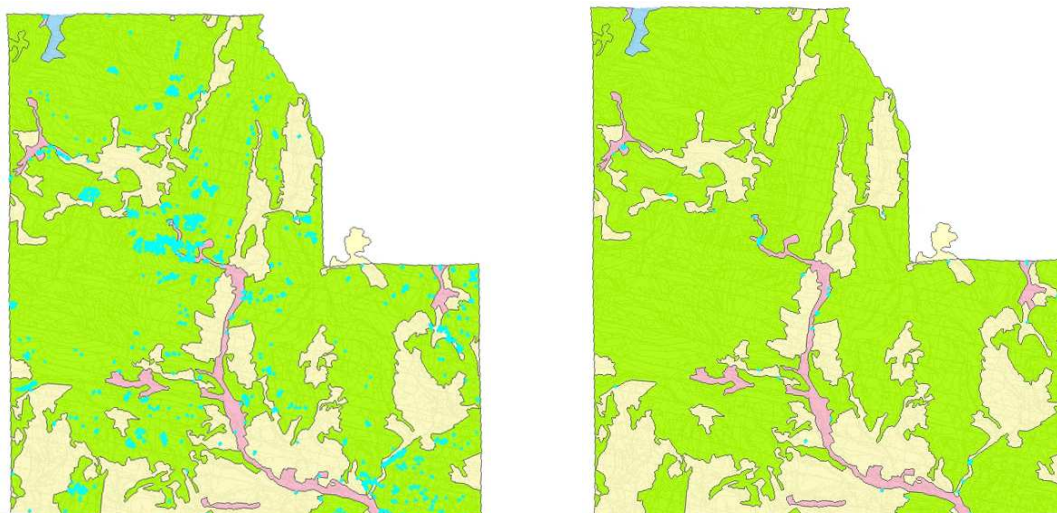
typ povrchu	družicová data		interpolovaná data	
	rozloha [km ²]	% podíl	rozloha [km ²]	% podíl
bez sněhu	724,07	32,79	926,00	41,93
asi sněh	623,89	28,26		
sněh	214,68	9,72	1282,25	58,06
nodata	645,43	29,23		

Obrázek 30 znázorňuje přechodnou sněhovou čáru.

Malé území

Před analýzou se na snímku také nacházelo větší množství polygonů bez sněhové pokrývky s geometrickou přesností na hranici 'nodata' a 'data.' Tato data byla vybrána a nahrazena hodnotou 'nodata.'

Obr. 14: Vybraná vrstva 'bezsnehu' 3. 3. 2012 (tyrkysový výběr)



a) Všechny bez sněhové polygony.

b) Bez sněhové polygony na loukách, zástavbě a křoví bez jižních, JV a JZ svahů.

Ze vstupní atributové tabulky vzniklé z vrstev malé území, expozice svahů, reklasifikace nadmořských výšek a lesů vznikl výběr (obr č. 14b)): vybrané bezlesé oblasti bez jižních, jihovýchodních a jihozápadních svahů.

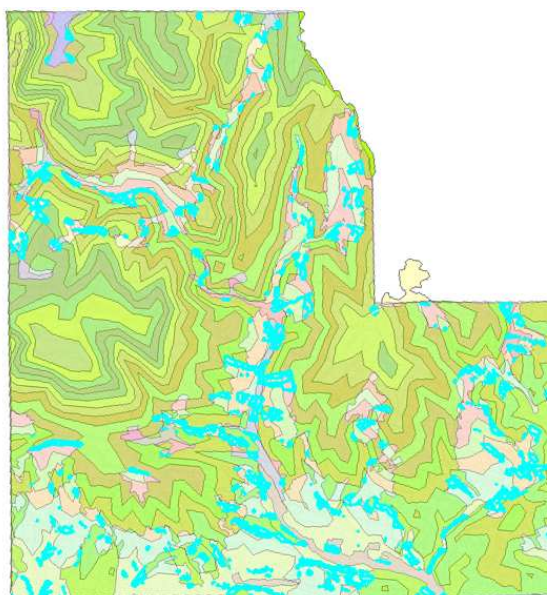
Všechny polygony z družice klasifikované jako bez sněhové, byly při analýze překlasifikovány na 'asisnih', neboť nebyla zjištěna pravidelnost a dostatečné zastoupení bez sněhových polygonů na území.

Tabulka 10: Analýza pro bez sněhové oblasti bez lesa a expozice J, JV a JZ svahů

type povrchu	počet polygonů v dané kategorii	min. hodnota nadm. výšky [m n. m.]	max. hodnota nadm. výšky [m n. m.]	min. plocha rozlohy [m ²]	max. plocha rozlohy [m ²]
louka	22	424-513	888-953	203,19	118564,44
zástavba	18	424-513	757-823	337,13	42867,41

Klasifikace 'asisnih' oblasti byla více ovlivněna subjektivitou řešitele. Více byl kladen důraz na výškovou stupňovitost (viz tabulka 5). Z hlediska lesů se stále vycházelo ze stejné hypotézy jako v předchozích případech – sníh není na vrcholcích stromů, ale pod nimi stále leží, tudíž tyto plochy byly klasifikovány jako sněhové.

Obr. č. 15: Oblast 'asisnih' z 3. 3. 2012.



Tyrkysově jsou označeny oblasti bez lesa, bez J, JV a JZ svahů.

Výška sněhové čáry byla v na větším území odhadnuta na 450 m n. m.. Z tohoto důvodu byla pozornost zaměřena na tuto nadmořskou výšku. Proběhla samostatná analýza 1. výškového stupně (od 424,44 do 513,91 m n.m.). Byla provedena tak, že z 1. výškového stupně byly vyřazeny lesy, svahy jižní, jihovýchodní a jihozápadní expozice, a zahrnuto pouze území s 'asisnih'. Výsledek této analýzy je na obrázku č. 16. Tato analýza byla vyčíslena pouze na rozlohu vybraného území (tabulka č. 11).

Obr. č. 16: Výskyt 'asisnih' v nejnižším výškovém stupni na jihu území.



Tyrkysově jsou označeny plochy bez lesů a jižní, JV a JZ expozice svahů.

Z této analýzy byl vyvozen závěr, že zájmovým (vybrané polygony v obrázku č. 16) polygonům bude přiřazena hodnota sněhu, neboť leží vždy v sousedství ploch sněhových a nejsou dostatečně souvislé, aby mohly být klasifikovány jako bez sněhové.

Tabulka č. 11: Rozloha jednotlivých typů území k obrázku 16

	rozloha [km ²]
louka	92,88
zastavba	18,04

Pro zajímavost bylo ještě zjišťováno, kolik vrstevnic má výšku nebo jsou menší než 450 m n. m.. Tato analýza je vidět na obrázku č. 17:

Obrázek č. 17: Jižní část malého území zobrazené vrstevnicemi.



Tyrkysově jsou zvýrazněny vrstevnice menší nebo rovny 450 m n. m.

Obrázek č. 17 považují za potvrzení výsledku analýzy, která určuje hodnotu sněžné čáry na 450 m n. m. Tudíž se sněhová čára na malém území neprojeví. Celé území je tak opět analyzováno jako souvislá sněhová pokrývka.

5.4.3 Obraz 19. 3. 2012

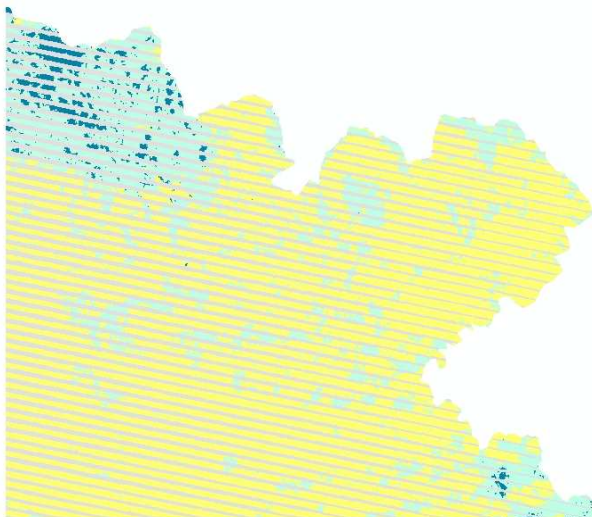
Celá družicová scéna byla ovlivněna oblačností z 69 %. Tato oblačnost částečně zasahovala nad Broumovský výběžek a částečně z JZ území (viz obr. WE). Jako prahové hodnoty pro rozlišení typu sněhové pokrývky v MultiSpec byly zvoleny následující meze:

bez sněhu	0 – 20
asi sněh	21 – 178
sněh	179 – 254
nodata	255

Velké území

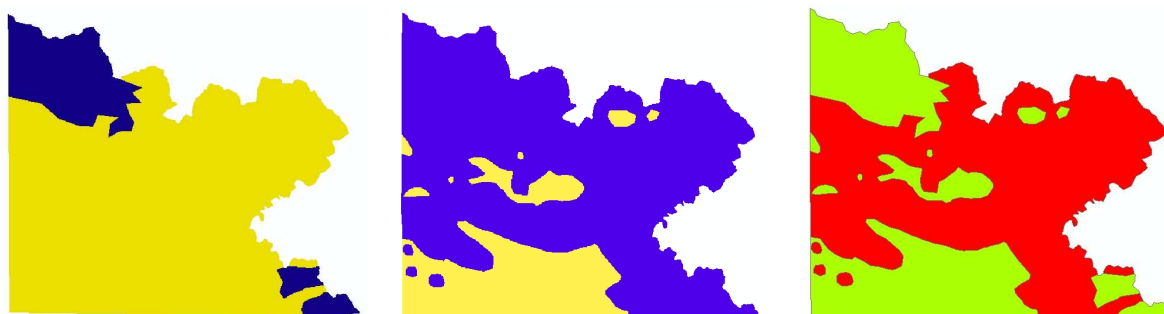
Sněhová čára byla určena přibližně na přechodu mezi typem pokrývky 'asisnih' a 'bezsnehu.' Hodnota byla pomocí GoogleMaps a portálu <http://mapy.cz> určena na **610 m n. m.** Obr **doplněno** zobrazuje sněhovou klasifikaci zájmového území pro 19. 3. 2012.

Obr. **doplněno**: Klasifikace zájmového území z MultiSpec, 19. 3. 2012



Podle družicového snímku byla tato sněhová čára zamalována do velkého území (obr. č. 18). Stejná pokrývka byla analyzována na území o rozloze 841 km², rozdílná pokrývka byla analyzována na území o rozloze 1 400 km². Kvantitativní popis výsledků podle typu povrchu je v tabulce 12.

Obrázek č. 18: Rozdíl mezi družicovými a interpolovanými daty ze dne 19. 3: 2012. (modrá – sněh, žlutá - bez sněhu, červená – rozdíl mezi daty z družic a interpolovaných hodnot, zelená – stejně analyzovaná družicová a interpolovaná data)



a) družicová data

b) interpolovaná data ČHMÚ

c) výsledný rozdíl

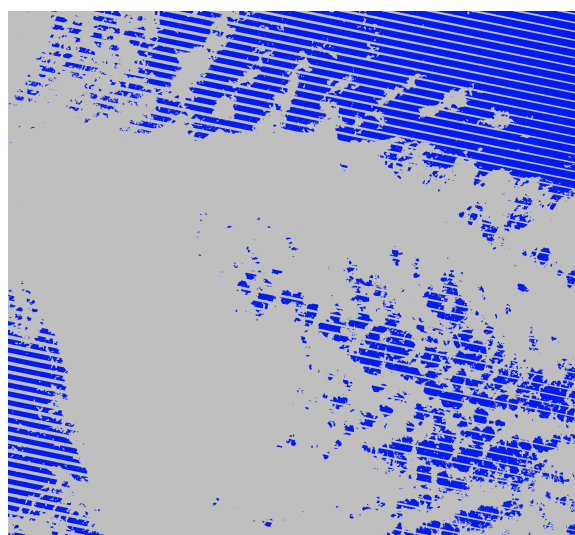
Tabulka č. 12: Kvantitativní porovnání sněhových charakteristik na družicových a interpolovaných datech

typ povrchu	družicová data		interpolovaná data	
	rozloha [km ²]	% podíl	rozloha [km ²]	% podíl
bez sněhu	1162,34	52,68	485,48	22,01
asi sněh	353,18	16,01		
sněh	50,78	2,30	1720,67	77,99
nodata	640,06	29,01		

Malé území

Pro účely přesnějšího určení sněhové pokrývky byl DTM pro tento obraz překlasifikován na drobnější kategorie (v předpokládaném výškovém pásmu po 10 m, výšky nad 800 m nebyly rozčleněny vůbec) – viz tabulka 15.

Obr. WQE: klasifikace mraků z MultiSpec, 19. 3. 2012



modrá – mraky, šedivá – území bez oblačnosti

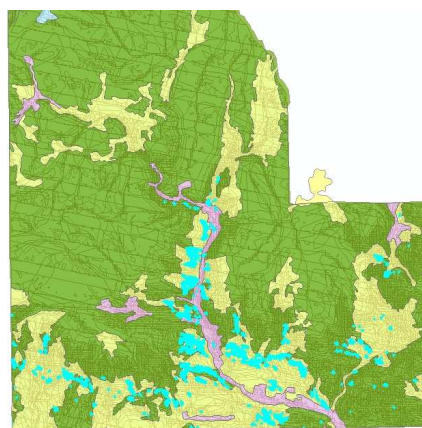
Na vstupním snímku se roztroušeně vyskytuje sněhová pokrývky v nejnižších sněhových pásmech. Vzhledem k tomu, že se nejedná o povrch pokrytý lesem, se

předpokládalo, že údaje jsou správné. Vzhledem k tomu, že tato pokrývka není celistvá, není možné jí brát za spodní hodnotu sněhové čáry.

Pokusná hodnota sněhové čáry byla zvolena 610 m. n.m.. Pro tuto hodnotu se vybralo území se sněhem. Z následujícího výběru byla vytvořena sumarizace zohledňující expozici svahů, porovnávacím prvkem byla zvolena rozloha (tabulka 13). Výsledek této analýzy nepotvrdil pravidlo, že na jižních svazích odtává sníh dříve.

Tabulka 13: Sněhové oblasti pod hranicí 610 m n. m. zohledněné dle typu expozice svahů

expozice svahu	počet polygonů	celková rozloha [m ²]
severní	100	160 892,31
jihovýchodní	293	472 440,23
jihozápadní	164	145 900,79
jižní	192	350 356,21
severní	46	70 439,13
severovýchodní	278	646 882,20
severozápadní	106	71 384,20
východní	240	450 825,96
západní	77	67 456,89



a) tabulkový výstup

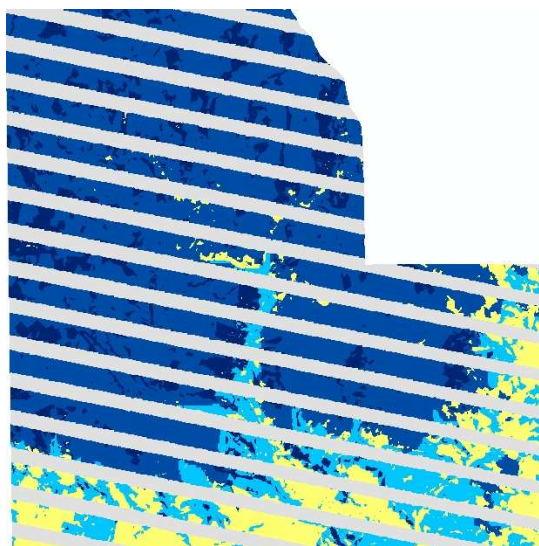
b) vizuální přehled na vrstvě lesního pokryvu, tyrkysová oblast se týká vybraných polygonů z tabulky

Dalším aspektem tohoto snímku je, že při analýze nebylo již zřetelně jasné, zda se jedná o sníh nebo nějakou přechodnou formu. Pravděpodobně to mohlo být ovlivněno vlastnostmi sněhu (více špinavý, větší hustota a tmavost).

Nadmořská výška pro sněhovou čáru byla nakonec zvolena za 610 m n. m., což je přibližná hranice mezi celistvým územím 'asisnih' a 'bezsnehu.' Plochy lesa jsou k tomuto datu více rozrůzněny co se týče sněhového pokryvu. Sněhová pokrývka se tu stále vyskytuje, ale v této době již rozhodně nelze mluvit o souvislé sněhové pokrývce. Obrázek č. 19 zobrazuje sněžnou čáru ve výšce 610 m n. m. Pod touto hranicí se ještě ovšem nachází typ sněhu 'asisnih.' Tato oblast byla ve výsledku překlasifikována na oblast bez sněhu s občasnými výskyty sněhových ploch. (příloha č. XX).

Obr. č. 19: Sněžná čára určená na 610 m n. m.

Tyrkysově plochy značí 'asisnih' a do výsledku byly překlasifikovány na 'bezsnehu'



6 Diskuze

Sněhová čára byla určena z dat, která byla získána bezkontaktním způsobem měření. Tento způsob má několik omezujících kladů i záporů:

- Výhodou je, že snímky na analýzu jde stáhnout z družice Landsat 7 relativně bez omezení. Vlastnosti těchto snímků už jsou ovšem trochu limitující.
- časový přelet jednou za cca 16 dnů je pro sněhové analýzy relativně dosti dlouhá doba, zvláště v době tání. Je-li nad daným územím v době přeletu zrovna oblačnost, je snímek zcela nepoužitelný a interval se zvětšuje. V těchto případech je obtížné najít souvislou časovou řadu snímků. Pro zlepšení tohoto kritéria by bylo lépe využít např. skener MODIS, který má dobu oběhu 1 den, ovšem s horším rozlišením než Landsat 7 a jeho data nejsou volně dostupná.
- Velké omezení způsobuje chyba na snímači ETM+ (vypadávání řádků při snímání), která výsledný obraz velmi znehodnocuje. Pokud by se vybralo území s nepoškozeným obrazem, vypovídací hodnota by se zvýšila.
- Oblačnost představuje velký problém při klasifikaci snímku. Je rozdíl mezi vysokou průsvitnou oblačností (např. *cirrus*) a těžkými mraky (např. *cumulus*). Pod *cumully* nejde povrch určovat vůbec a navíc zastiňují povrch Země, který nejde nijak odstranit. *Cirry* obvykle prosvítají, nezastiňují povrch stín a vyskytují se spíše na letní obloze.

Jakým způsobem volit sněhovou čáru?

Při vyhodnocování sněhové čáry se vycházelo se z upraveného družicového snímku s hodnotami 'snih', 'asisnih' a 'bezsnehu.' U přechodové hodnoty muselo být určeno, ke které kategorii se přiřadí. Hlavními kritérii pro výběr byla nadmořská výška a vrstva ledu, vedlejší expozice svahu a skutečnost, zda sousedí s plochou sněhu či s plochou bez sněhu. Kritéria, kdy určit hodnotu jako sněhovou či bez sněhovou nelze nijak zgeneralizovat a vytvořit přesný návod. Stejně tak jako u analýzy družicového snímku záleží na tom, kdo vyhodnocuje, na jeho znalosti území a zkušenosti.

Jak ovlivňuje lesní pokryv hodnotu a pravdivost dat?

Další problém pro analýzu tvoří lesní pokryv. Na lesním pokryvu nebyla sněhová pokrývka mnohdy zřetelná, neboť ležela pod lesním zápojem. Tento problém byl v malém území řešen pomocí nadmořských výšek, na velkém území bylo bráno, že se pod stromy vyskytuje sněhová pokrývka. Problémem zobrazení sněhu na lesním

území se zaobírají některé studie, např. Klein, et al. (1998) či Bartoš et al. (2006) a tento problém není zcela korektně vyřešen. Jistým řešením by byla možnost implementace do hydrologického modelu s tím, že by se rozdělily plochy bez lesa a zalesněné.

Jak zpřesňuje expozice svahu odhad sněhové čáry?

Expozice svahů se neukázala jako zásadně určujícím faktorem pro rozhodování při klasifikaci sněhové či nesněhové. Rozhodně tento faktor nelze využít v průběhu zimy, ale pouze při tání. Přesto tento faktor nijak výrazně neovlivňující a nerozhoduje závěry analýzy (viz analýza ve snímku z 19. 3. 2012, tabulka 13).

Nachází se sníh i pod sněhovou čarou?

V době tání se může jednat o nesouvislou sněhovou pokrývku a v takovém případě se sníh může nalézat i pod sněhovou čarou.

Nachází se místa bez sněhu i nad sněhovou čarou?

Tato možnost se na analyzovaných snímcích vyskytuje také (19. 3. 2012). Rozhodně se spíše jedná o ojedinělé výskyty, které mohou být dány chybnou klasifikací v daném místě nebo mikroklimatem dané oblasti (zástavba vydává více tepla a sníh kolem zastavěného území může odtávat rychleji než v chladnějších údolích). Další příčinou jsou jižní svahy, kde sníh odtává určitě rychleji než na severních svazích.

Kvantitativní porovnání sněhové oblasti na druž. a interpol. datech.

Po stanovení sněhové čáry na družicových datech z velkého území a přibližného zakreslení do území se rozdíl sněhových ploch vyčíslil graficky a početně.

Tabulka 14 udává souhrn rozlohy ploch, které byly rozdílně klasifikovány v družicové a interpolační analýze. Z toho vyplývá, že rozdílně určené plochy se vyskytovaly s postupným táním sněhu stále častěji a ve větší míře.

Tabulka 14: Plošné hodnoty překlasifikovaného malého území na sníh a bez sněhu

datum	Rozdíl určených ploch z družic a interpolovaných dat
31. 1. 2012	9,4 km ²
3. 3. 2012	679 km ²
19. 3. 2012	1 400 km ²

Jaká je možnost extrapolace do velkého území?

Při znalosti výškových dat je extrapolace velkým zvýšením pravděpodobnosti určení správných hodnot výsledku mezi interpolovanými a družicovými hodnotami. V analýze, která byla provedena v této práci se spíše než o přesná data (zvláště číselného vyjádření) jedná pouze o názornou ukázkou toho, jak by šel výsledek zpracovat.

6.1 Vyhodnocení družicových snímků

Práce vycházela ze snímků, kde byly kategorizované 4 typy pokrývky na obraze (‘bezsnehu,’ ‘asisnih,’ ‘snih’ a ‘nodata’). Nabízí se otázka, jak moc přesná tato klasifikace může být, jak by se analýza změnila při určení jiné vlnové délky vlastnosti sněhu.

Pro zpřesnění analýzy by bylo vhodné si vytipovat pokusný prostor, který by byl na snímku dobře identifikovatelný (např. skupina stromů, les s dobře identifikovatelným půdorysem), a na něm k danému dni vyhodnotit stav sněhové pokrývky. Tato hodnota by mohla posloužit jako trénovací plocha pro podobné odrazivosti v zájmovém území.

Obdobné zpřesnění bylo využito na snímku z 31. 1. 2012, kdy svahy na východ od Horního Maršova vykazovaly hodnotu ‘asisnih.’ Z rekognoskace terénu v daném čase bylo zřejmé, že tato oblast má být přeřazena do kategorie ‘snih’ (v udávaný čas byla výška sněhové pokrývky měřena kolem 0,7 m). Důvod, proč byly plochy vyhodnoceny jako ‘asisnehove’ je husté zapojení smrkového lesa. (viz příloha **EWR**). Listnatý les bude v tuto dobu více prosvětlenější a určení sněhu/“nesněhu“ by u něj neměl být takový problém. V této souvislosti by měl být brán zřetel na vegetaci území, neboť ve vyšších horských partiích převažují jehličnany, v nejvyšších partiích hor kleč, naopak níže se vyskytují více pásma listnatého opadavého lesa.

Pozorovaná družicová data a data interpolovaná ČHMÚ se výrazně liší v přesnosti. Je pravděpodobné, že data ČHMÚ jsou nadhodnocena. Je možné, že informace o výšce sněhové pokrývky ve vyšších nadmořských partiích vycházejí reálněji než v nižších polohách (záleží na hustotě měřících bodů, viz obr. č. 4), ale rozloha sněhové pokrývky je dosti nepřesná. Přestože je na interpolovaných snímcích výška sněhu rozdělena po 5 cm, na daném území není možné přesně rozpoznat, o jakou konkrétní hodnotu se jedná.

Využití Landsatových dat s rozlišením 30 m na pixel je v porovnání s mnohými ostatními analýzami prostorově velmi přesné, neboť nejvíce se používají snímky ze senzoru MODIS. Spíše se nabízí otázka, zda je tato přesnost nutná. Vzhledem

k nedokonalým určovacím praktikám sněhové čáry bych spíše volila menší rozlišení na úkor např. časového přeletu družice nad územím.

6.2 Přesnost analýz v ArcGIS

Analýza v ArcGIS dokáže být přesná, pokud vstupní data mají vypovídající hodnotu a výsledek je směřován k jasnému cíli.

Z výsledků získaných v oblasti, kde byla dostupná data DTM je zřejmé, že informace o topografii terénu mohou výrazně zvýšit přesnost definování ploch se sněhovou pokrývkou a bez ní a tím zpřesnit polohu sněhové čáry.

6.3 Použití výsledných hodnot

Hodnota sněhové čáry určená z malého výřezu lze extrapolovat do většího území. Poté by se velmi zpřesnila analýza porovnání pro velké území z družicových dat a interpolovaných hodnot.

Za předpokladu, že by sněhová čára vstupovala do hydrologických modelů a zjišťovala by se její hodnota pro větším území, by bylo třeba určit tuto optimální rozlohu. Pokud by tato sněhová čára měla být použita pro vstup do hydrologického modelu celé ČR, mělo by se území republiky rozdělit do několika dílčích částí, kde by se sněhová čára určovala pro každé území zvlášť (obdobně jako se to nyní dělá na ČHMÚ). Území by ale mohla být spíše rozdělena podle celistvosti družicových scén (u Landsat 7 by to odpovídalo přibližně 6-7 scénám) než podle „pozemních“ celků (např. povodí).

Zajímavé by bylo porovnat družicová data menšího rozlišení s interpolovanými daty ČHMÚ. Předpokládám, že takovéto porovnání by bylo více podobné a nebyly by na nich tak velké rozdíly jako u snímků s velkým rozlišením.

7 Závěr

Určení polohy sněhové čáry bylo provedeno z družicových dat, která byla volně dostupná na internetu. Z nich byl v softwaru MultiSpec analyzován druh sněhové pokrývky (´bezsnehu,´ ´asisnih,´ ´snih´ a ´nodata´) a následně byla tato vrstva dále analyzována v softwaru ArcGIS9.3. Analýza části území se zpřesňovala dodanými vstupními parametry, kterými byly nadmořská výška, pokrývka lesa a expozice svahu.

Vyčíslení výšky nadmořské výšky bylo provedeno na malém území na základě DTM, na velkém území byla tato hodnota pouze odhadnuta. Hodnoty určené z malého území by šly implementovat do většího území za předpokladu znalosti nadmořských výšek. Využití nadmořské výšky na malých územích by bylo možné pouze do hydrologických modelů malých (ideálně horských) povodí.

Porovnání družicových výsledků bylo provedeno s daty z ČHMÚ, která byla měřena bodově a následně interpolována.

Pro další zpřesnění výsledků zahrnujících výškové informace by bylo vhodné použít družicová data s menším rozlišením.

8 Přílohy

Příloha č. 1: Původní družicové snímky zájmového území

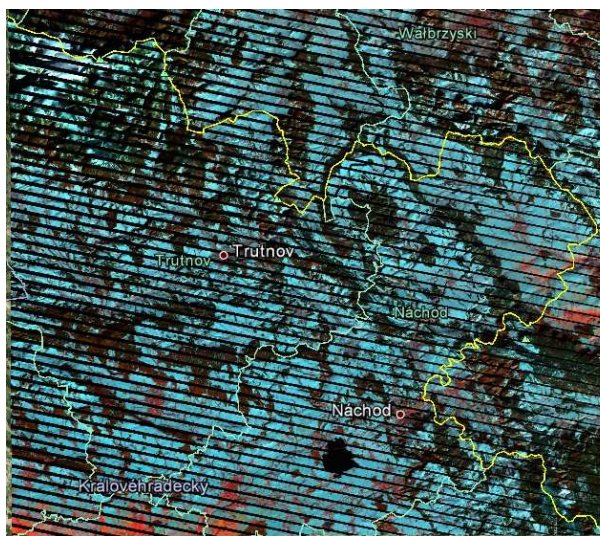
Příloha č. 2: Postup práce u některých používaných vrstev

Příloha č. 3: Mapové výstupy

Příloha č. 4: Fotografie území

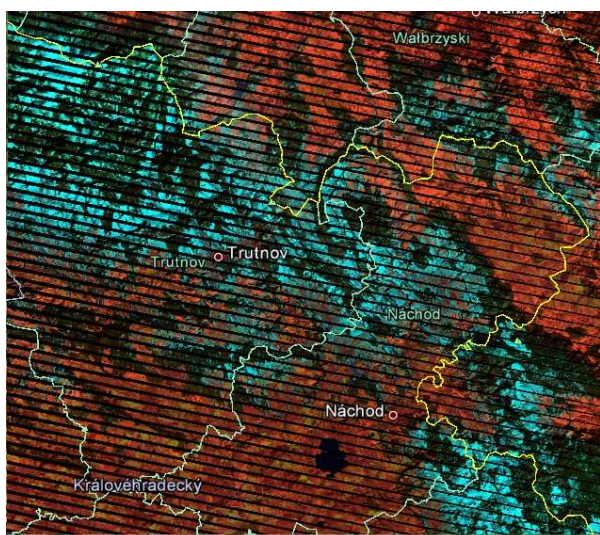
Příloha č. 5: Doplnující informace k datům v textu

Příloha č. 1 Původní družicové snímky zájmového území



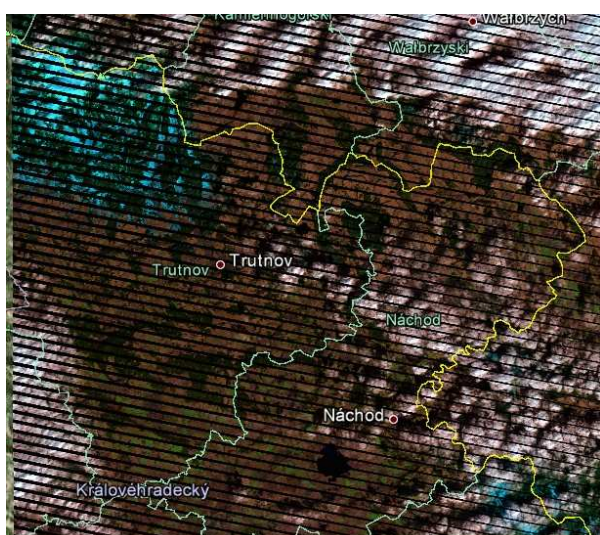
Obr. 20: Neanalyzovaný družicový snímek zájmového území (i s částí polského území) z 31. 1. 2012, zobrazený v *GoogleEarth* s hranicemi státu a okresu. Zobrazeno na kanálech 5 – 4 – 3.

červená – bez sněhové oblasti
tyrkysová – sněhové oblasti



Obr. 21: Neanalyzovaný družicový snímek zájmového území (i s částí polského území) z 3. 3. 2012, zobrazený v *GoogleEarth* s hranicemi státu a okresu. Zobrazeno na kanálech 5 – 4 – 3.

červená – bez sněhové oblasti
tyrkysová – sněhové oblasti

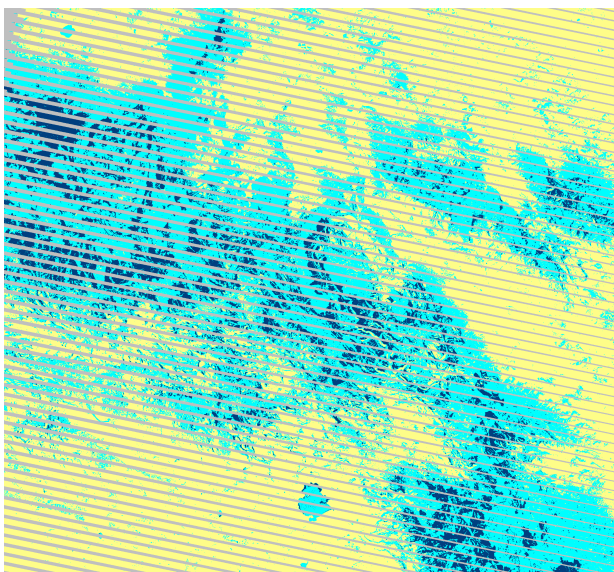


Obr. 22: Neupravovaný družicový snímek zájmového území (i s částí polského území) z 19. 3. 2012, zobrazený v *GoogleEarth* s hranicemi státu a okresu. Snímek je zobrazen na kanálech 5 – 4 – 3.

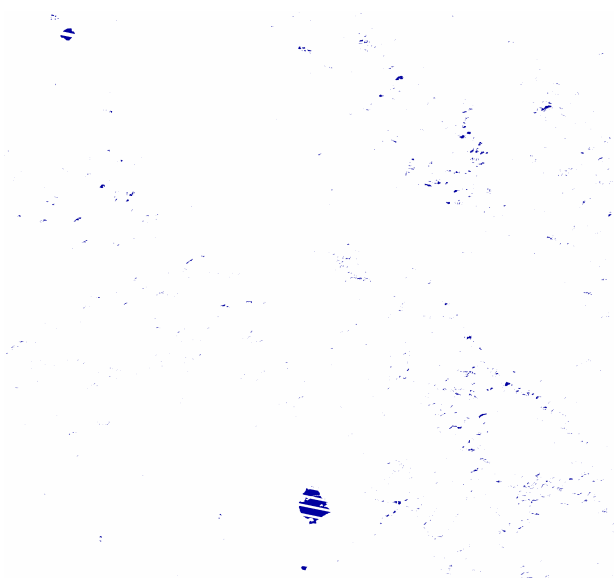
dohněda – bez sněhu,
tyrkysová – sněhové oblasti
bílá – oblačnost

Příloha č. 2: Postup práce u některých používaných vrstev

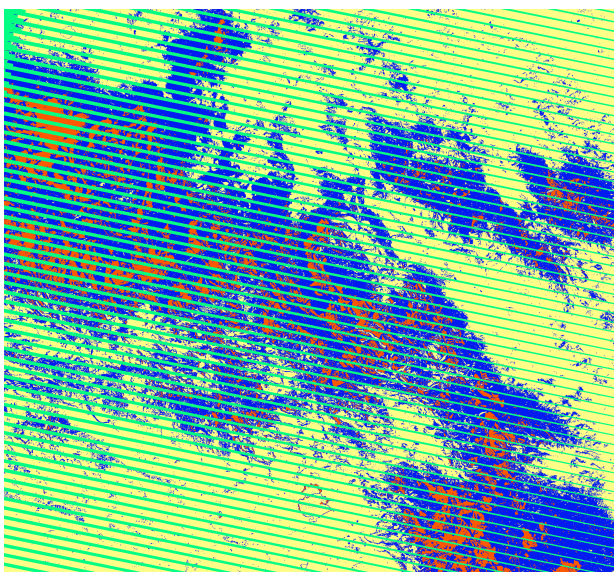
Obr. 23: Skládání obrazu 3. 3. 3012



NDSI Index

*žlutá – bez sněhu**tyrkysová – asi sněh**tmavě modrá – sněh*

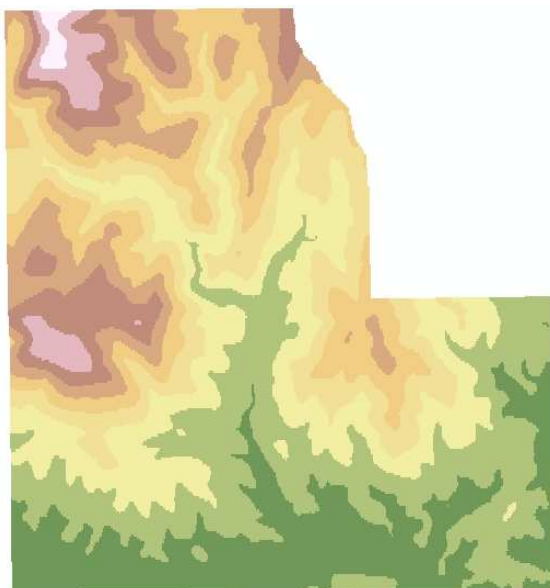
Pomocí trénovacích ploch byla určena voda (na jihu zřetelná nádrž Rozkoš, na severo-západě výraznější polské jezero Sosnowka).

modrá – voda

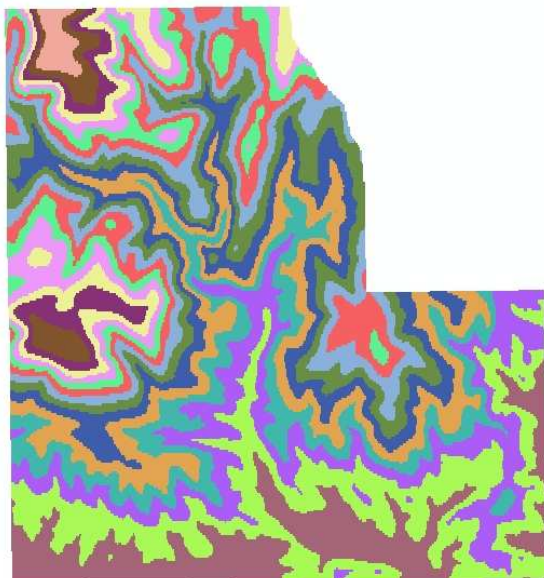
Po odečtení rastů byla vodní plocha nahrazena plochou bez sněhu a eliminovala tak plochu 'asisnih.'

*žlutá – bez sněhu**modrá – asi sněh**oranžová – sněh*

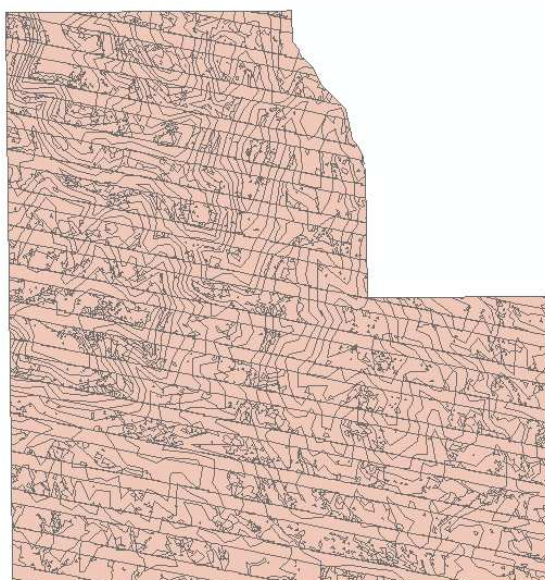
Obr. 24: Postupný vývoj práce na DTM



Vytvoření DTM z vrstevnic, výškových linií a polygonu hranice malého území.

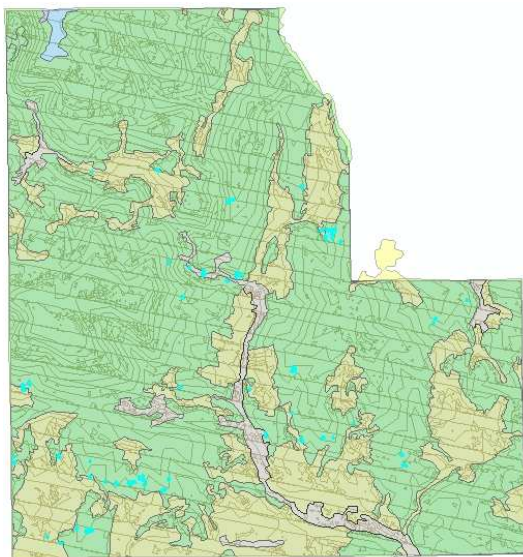


Reklasifikace daného DTM na 15 výškových stupňů a převedení této reklasifikace na polygony.

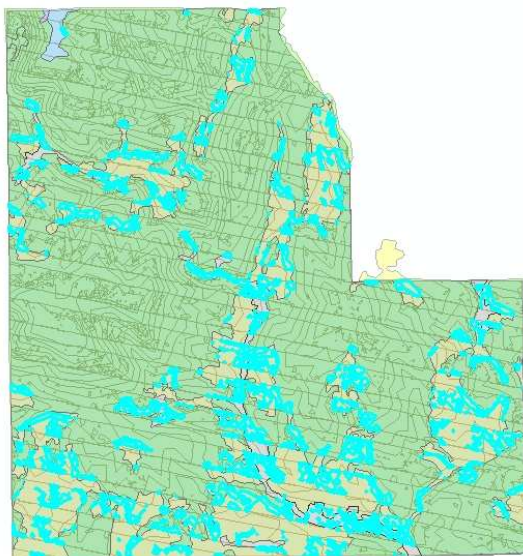


Propojení polygonové vrstvy neklasifikovaného DTM s vrstvou sněhové pokrývky a sněhu. Toto je výsledná vrstva pro určování nadmořské výšky sněhové čáry.

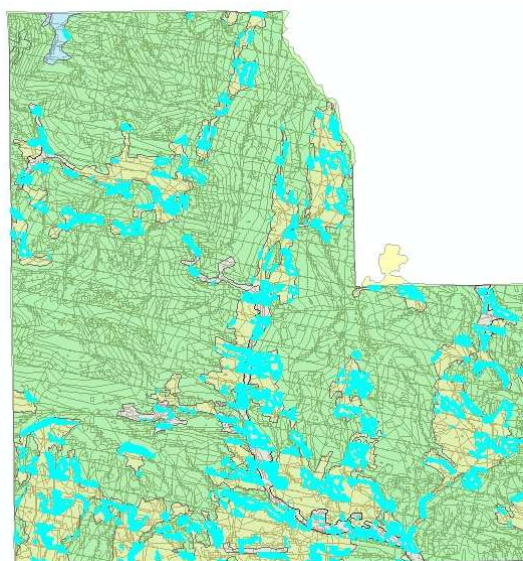
Obr. 25: příklad výběru různých druhů území



Tyrkysové polygony jsou polygony
‘bez snehu’ z 31. 1. 2012.



Tyrkysové polygony jsou výběrem
‘asisnih’ na území louky, křoví a zástavba
na všech svazích z 31. 1. 2012.



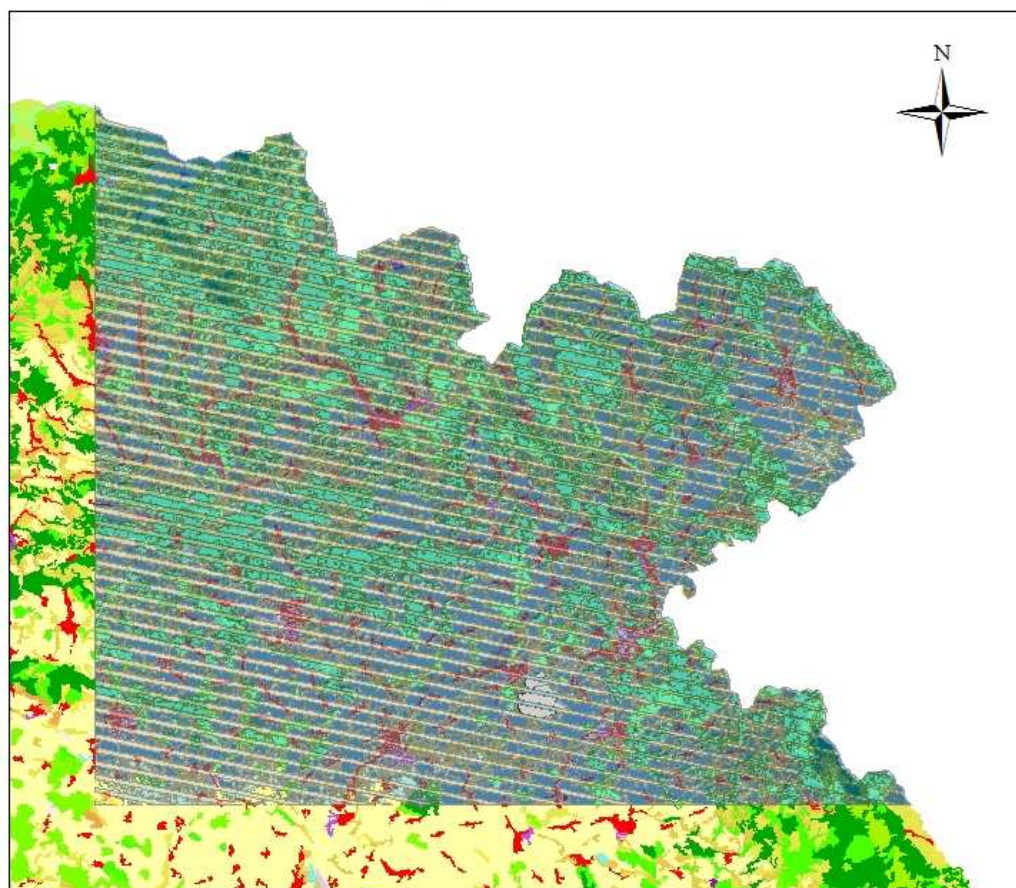
Tyrkysové polygony jsou výběrem
‘asisnih’ na území louky, křoví a zástavba
bez jižních svahů z 31. 1. 2012

Příloha č. 3: Mapové výstupy

Obr. 26: Mapa sněhové pokrývky v závislosti na lesním pokryvu pro celé území

Sněhová pokrývka a Corine

31.1.2012 zájmové území



CORINE 2006

- 1.1.1. Souvislá městská zástavba
- 2.3.1. Louky a pastviny
- 2.4.2. Směsice polí, luk a trvalých plodin
- 2.4.3. Zemědělské oblasti s přirozenou vegetací
- 3.1.1. Listnaté lesy
- 3.1.2. Jehličnaté lesy
- 3.1.3. Smíšené lesy
- 5.1.2. Vodní plochy

sněhové analyzované území

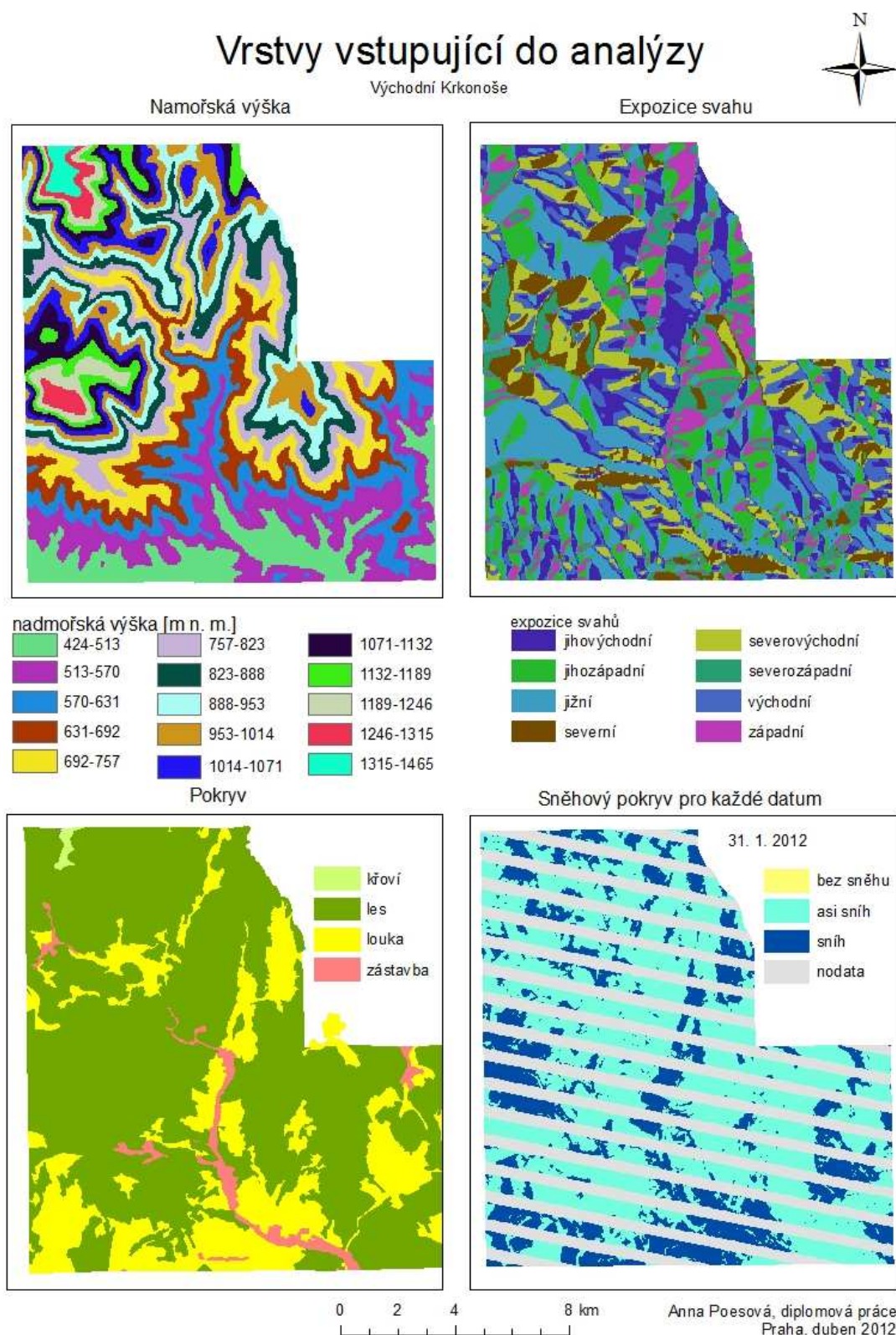
- bezsněhu
- asisnih
- snih
- nodata
- voda

0 5 10 20 km

Za podkladovou vrstvu je použita mapa z geoportalu www.geoportal.cenia.cz.
Sněhová vrstva je zobrazena transparentně.

Anna Poesová
diplomová práce
Praha, březen 2012

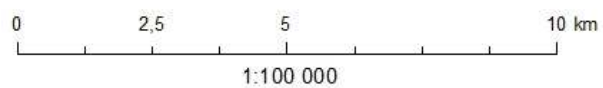
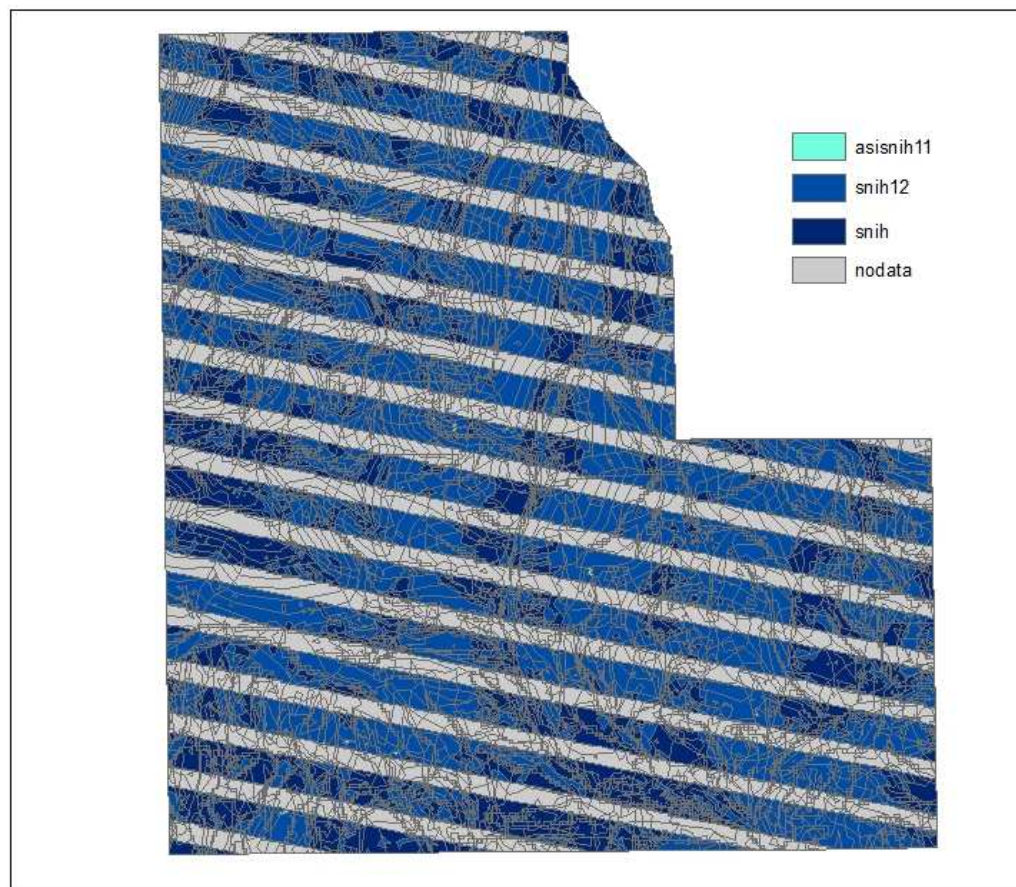
Obr. 27: Mapa vrstev vstupujících do analýzy



Obr. 28: Mapa analyzovaného malého území pro 31. 1.

Analyzovaná sněhová pokrývka

31.1.

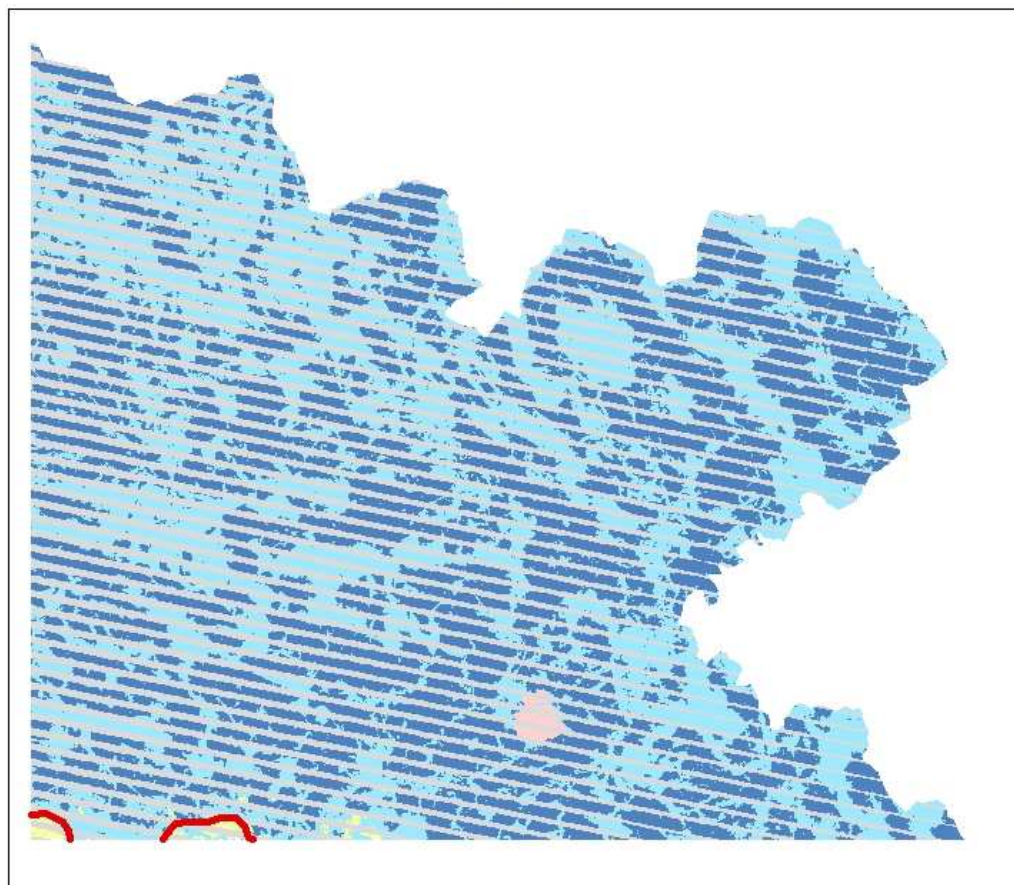


Anna Poesová
diplomová práce
Praha, březen 2012

Obr. 29: Mapa sněhové čáry pro 31. 1. 2012

Sněhová čára 31. 1. 2012

oblast východních Krkonoš a Broumovska



-  sněhová čára
-  bez sněhu
-  asi sníh
-  sníh
-  nodata
-  voda

0 2,5 5 10 km
1:350 000

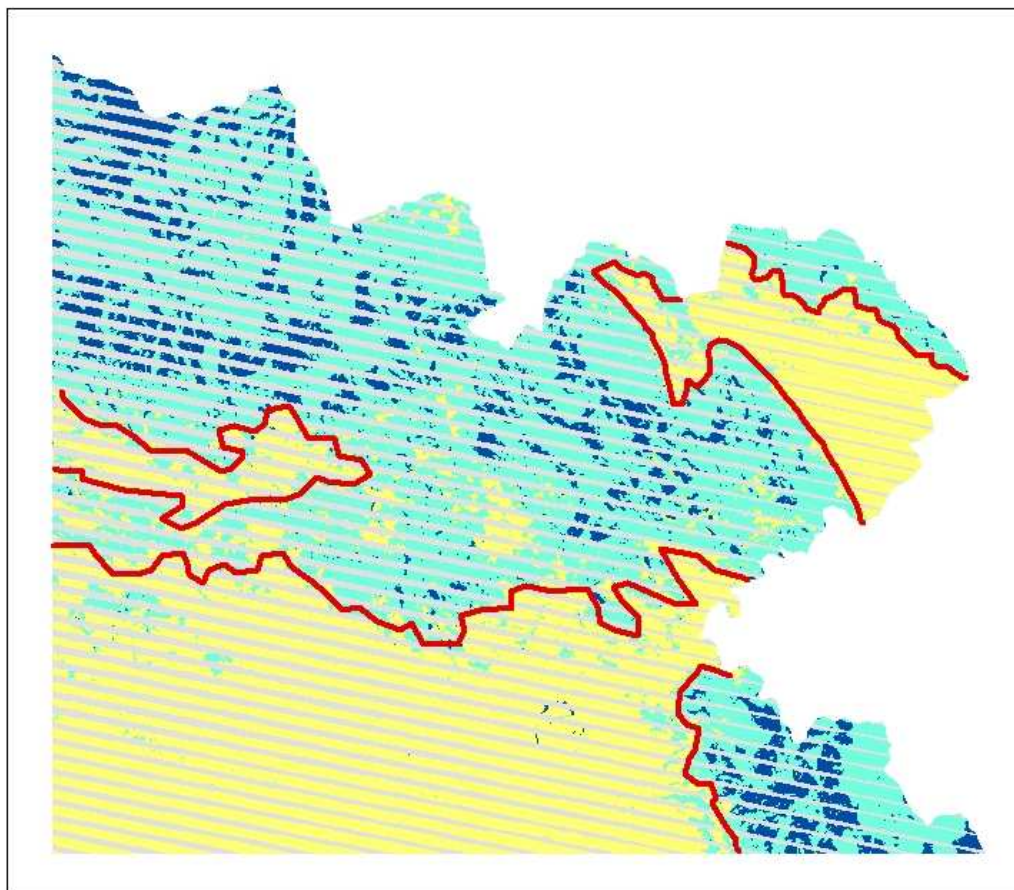


Anna Poesová
diplomová práce
Praha, duben 2012

Obr. 30: Mapa sněhové čáry pro 3. 3. 2012


Sněhová čára 3. 3. 2012

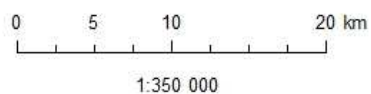
oblast východních Krkonoš a Broumovska



— sněhová čára

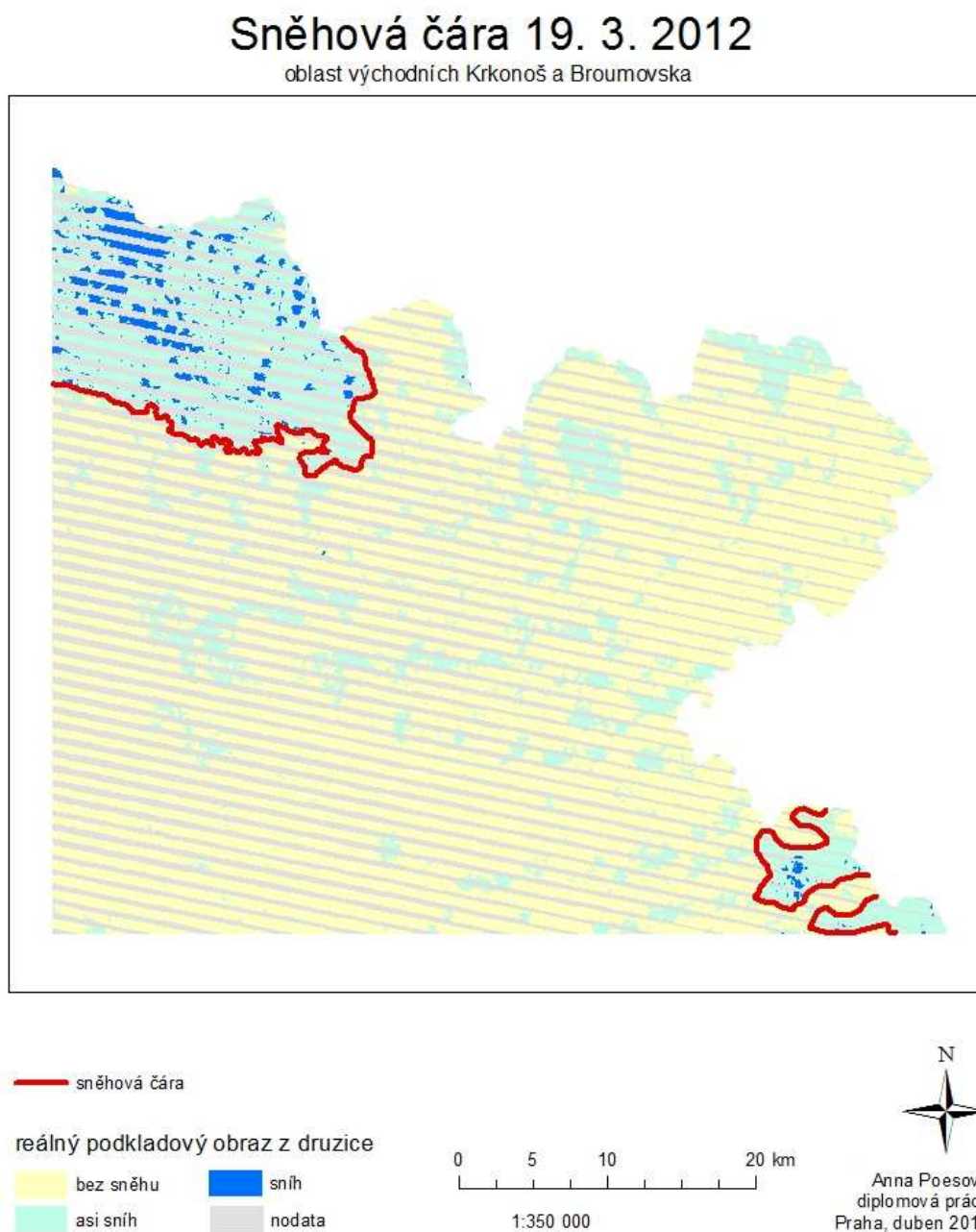
reálný podkladový obraz z družice

 bez sněhu	 sněh
 asi sněh	 nodata



Anna Poesová
diplomová práce
Praha, duben 2012

Obr. 31: Mapa sněhové čáry pro 19. 3. 2012



Příloha č. 4: Fotografie území

Obr. 32: Pohled na Studniční horu, 6. 3. 2011



Obr. 33: Pohled na Liščí horu a Sněžku 1. 3. 2011



Obr. 34: Panorama Lučnické hory s budními enklávami. Dobře rozlišitelné plochy se sněhem, asi sněhem a bez sněhu. Na obrázku je zřejmá závislost na nadmořské výšce a zalesnění. 10. 4. 2011.



Příloha č. 5: Doplnující informace k datům v textu

Tabulka 15: Výškové rozdělení DTM pro analýzu z 19. 3. 2012

hodnota v atributové tabulce	od [m n.m.]	do [m n.m.]
450	424	450
480	450	480
500	480	500
510	500	510
520	510	520
530	520	530
540	530	540
550	540	550
560	550	560
570	560	570
580	570	580
590	580	590
600	590	600
610	600	610
620	610	620
630	620	630
640	630	640
650	640	650
660	650	660
670	660	670
680	670	680
700	680	700
750	700	750
800	750	800
1465	800	1466

Tabulka 16: Charakteristiky družice (zdroj: Landsat 7, Handbook, 2012)

Družice	Start	Senzor	Rozlišení [m]	Komunikace	Stabilizace výšky letu [km]	Doba oběhu [dny]	Velikost scény [km×km]	Rychlost přenosu dat [Mb/s]
Landsat 7	duben 1999	ETM+	15 (PAN) 30 (MS)	přímé stahování na zapisovače	705	16	172 × 183	150

ZKRATKY POUŽITÉ V PRÁCI

AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer (název skeneru)
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
DPZ	Dálkový průzkum Země
DEM	Digital Elevation Model (digitální model terénu) (~ DTM)
DEM1	název interpolace
DTM	Digital Terrain Model (~ DTM)
ETM+	Enhanced Thematic Mapper Plus
GeoSail	Geo Scattering from Arbitrarily Inclined Leaves (typ modelu)
HR	High Resolution (vysoké rozlišení)
IR	Infra Red (infračervené)
KRNAP	Krkonošský národní park
LR	Low resolution (nízké rozlišení)
MR	Medium resolution (středně vysoké rozlišení)
MIR	Mid-Infrared Radiation = středně infračervené záření
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MS	multispektrální
MWLR	Multiple Weighted Linear Regression (model pro interpolaci dat)
NASA	National aeronautics and Space Administration
NDSI	Normalized Difference Snow Index
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration (název americké vládní agentury, po které jsou pojmenované družice)
PAN	panchromatický obraz
SCA	Snow Cover Area (software)
SPOT	Système Pour l'Observation de la Terre
TIR	tepelné infračervené záření
TM	Thematic Mapper
VHR	Very High Resolution (velmi vysoké rozlišení)
WRS-2	Worldwide Reference System 2
ZABAGED	základní báze geografických dat

9 Literatura

BARTOŠ, J., ŠPULÁK, O., ČERNOHOUS, V., 2009: Ukládání sněhu ve vztahu k dřevinám vysazeným na kalamitní holině v hřebenové partii horských poloh. Zprávy lesnického výzkumu 54, 3, s. 166-173.

ČHMÚ, 2012a: Hlásná a předpovědní povodňová služba. Online, dostupné z <http://www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/snih/aktual.htm>, citováno dne 10. 4. 2012.

ČHMÚ, 2012b: Meteorologické stanice ČHMÚ. Online, dostupné z http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/OS/stanice/ShowStations_CZ.html, citováno dne 15. 4. 2012.

ČHMÚ, 2012c: Prohlížeč map ČHMÚ. Online, dostupné z <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/OS/OMK/mapy/prohlizec.html?map=SC E>, citováno dne 10.3. 2012.

ČHMÚ, 2004: Hydrologická bilance České republiky za rok 2003. Online dostupné z http://voda.chmi.cz/opzv/bilance/zprava_bilance_03.pdf, citováno dne 6. 3. 2012.

DINGMAN, S. L., 2002: Physical Hydrology - 2nd Edition. Prentice-Hall, Inc., New Jersey, s. 639.

DOZIER, J., PAINTER, T., (2004): Multispectral and hyperspectral remote sensing of Alpine snow properties. Earth Planet. Sci., 32, s. 465–494.

FLOREO, 2012: Terra Modis – monitoring sněhové pokrývky. Online dostupné z <http://floreo.cz/Zdroje-dat/MODIS.aspx>, citováno dne 6. 3. 2012.

FLOREO, 2012b: Floreo. Online dostupné z <http://floreo.cz/>, citováno dne 20. 4. 2012.

GISAT, 2012: Družicová data. Online, dostupné z <http://gisat.cz/content/cz/druzicova-data/>, citováno dne 15. 3. 2012.

GISAT, 2012b: Vysoké rozlišení - Landsat 7. Online, dostupné z <http://gisat.cz/content/cz/druzicova-data/dodavana-data/vysoke-rozliseni/satelite/landsat-7>, citováno dne 3. 3. 2012.

HALOUNOVÁ, L., PAVELKA, K., 2005: Dálkový průzkum země. ČVUT, Praha, s. 192.

HALOUNOVÁ, L., 2009: Zpracování obrazových dat. ČVUT, Praha, s. 102.

Help ArcGIS, 2009: ArcGIS Desktop Help 9.3 – welcome. Online, dostupné <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=welcome>, citováno dne 17. 4. 2012.

HENDRIKS, J. P. M., PELLIKKA, P., (2008): Semiautomatic glacier delineation from Landsat imagery over Hintereisferner glacier in the Austrian Alps. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, 41, s. 55-75.

HRÁDEK, F., KUŘÍK, P., 2008: Hydrologie. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, s. 280.

CHOI, H., BINDSCHADLE, R., (2004): Cloud detection in Landsat imagery of ice sheets using shadow matching technique and automatic normalized difference snow index threshold value decision. *Remote Sensing of Environment*, 91, s. 237 – 241.

JANÁSKOVÁ B. 2006: Ukládání a odbourávání sněhu ve vrcholové oblasti východních Krkonoš. *Opera Corcontica*, 43: 57–80.

KLEIN, A., HALL, D., RIGG, G., (1998): Improving snow cover mapping in forests through the use of a canopy reflectance model. *Hydrological Processes*, 12 (11-Oct), s. 1723-1744.

KLOSE, Z., 2008: Kvantitativní vývoj sněhové pokrývky na experimentálním povodí Modrava 2. Diplomová práce, Česká zemědělská univerzita v Praze, s. 70.

KREČMER, V., 1971. Mikroklimatický a vodní režim obnovných sečí ve smrkových porostech středohorské oblasti Orlických hor. Dílčí závěrečná zpráva. Jíloviště-Strnady, VÚLHM.

KRNAP, 2012: Teplota – Správa Krkonošského národního parku. Online dostupné z <http://www.krnep.cz/teplota/>, citováno dne 20. 4. 2012.

KRNAP, 2012a: Spodní alpinský (subalpínský) stupeň. Online dostupné z <http://www.krnep.cz/spodni-alpinsky-stupen/>, citováno dne 20. 4. 2012.

LANDSAT, HANDBOOK, 2012: Landsat 7 Science Data Users Handbook. Online, dostupné z http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/pdfs/Landsat7_Handbook.pdf, citováno dne 5. 3. 2012.

MultiSpec, 2012: MultiSpec Home. Online, dostupné z <https://engineering.purdue.edu/~biehl/MultiSpec/index.html>, citováno dne 10. 1. 2012.

NASA – KALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY, 2009: Search – Spectral Library. Online, dostupné z <http://speclib.jpl.nasa.gov/search-1/viewplot>, citováno dne 14. 4. 2009.

OTTO, J., 1888-1909: Ottův slovník naučný, Ilustrovaná encyklopedie obecných znalostí. Praha, 1888-1909, 28. sv.

POESOVÁ, A., 2009: Využití DPZ při monitoringu charakteristik sněhové pokrývky. Bakalářská práce. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, s. 46.

ROSENTHAL, W., DOZIER, J., 1996: Automated mapping of montane snow cover at subpixel resolution from the Landsat Thematic Mapper. *Water resources research*, Vol. 32, No. 1, s. 115 – 130.

SALOMONSON, V. V., APPEL, L., (2004): Estimating fractional snow cover from MODIS using the normalized difference snow index. Remote Sensing Environment 89, s. 351 – 360.

STRÍŽ, M., NĚMEC, L., 2011: Prostorová analýza sněhových dat. In: HOLKO L. (ed.): XVI. Medzinárodné stretnutie sneharov, Ziar. Ústav hydrológie SAV, Liptovský Mikuláš, s. 89-98.

SNOW HYDROLOGY, UNIVERSITY OF CALIFORNIA, SANTA BARBARA, 2012: Snow Covered Area (SCA) Program, online dostupné z <http://www.snow.ucsb.edu/software/sca.htm>, citováno dne 2. 4. 2012.

TOLASZ, R. et al., 2007: Atlas podnebí Česka. ČHMÚ, Olomouc, s. 256.

WALDINGER, R., 1999: The spatial distribution of Alpine galciars and snowlines influencing factors and controls. Online dostupné <http://www.utexas.edu/depts/grg/hudson/grg394k/waldinger/waldinger.html>, citováno dne 20. 4. 2012.

WIKIPEDIA, 2012: Broumovská vrchovina. Online, dostupné z http://cs.wikipedia.org/wiki/Broumovská_vrchovina, citováno dne 15. 3. 2012.

ŽIDEK, D., LIPINA, P., 2003: Návod pro pozorovatele meteorologických stanic. Metodický předpis č. 13 ČHMÚ, Ostrava, s. 75.