

Univerzita Palackého v Olomouci
Přírodovědecká fakulta
Katedra geoinformatiky

Bc. Petra TOLASZOVÁ

VYUŽITÍ DISTANČNÍCH DAT
PŘI MONITORINGU SNĚHOVÉ POKRÝVKY

diplomová práce

Vedoucí práce: Mgr. Pavel SEDLÁK, Ph.D.

Olomouc 2008

Prohlašuji, že jsem zadanou práci zpracovávala samostatně a že jsem
v seznamu literatury uvedla veškerou použitou literaturu a elektronické zdroje.

V Olomouci 7. 5. 2008

Bc. Petra TOLASZOVÁ

Zadání diplomové práce

Bibliografická identifikace

Jméno a příjmení autora	Bc. Petra TOLASZOVÁ
Název práce	Využití distančních dat při monitoringu sněhové pokrývky
Typ práce	Diplomová / Magisterská
Pracoviště	Katedra geoinformatiky, Přírodovědecká fakulta UP v Olomouci
Vedoucí práce	Mgr. Pavel Sedlák, Ph.D.
Rok obhajoby práce	2008
Abstrakt	Cílem diplomové práce bylo provést vizuální interpretaci sněhové pokrývky na šikmých snímcích z let 2006 a 2007 pro území sjezdové tratě „A“ pod Petrovými kameny v Jeseníkách. Dále tato práce obsahuje teoretický základ pro monitorování sněhové pokrývky, krátké shrnutí družicových systémů vhodných pro monitoring sněhové pokrývky a klasifikaci družicového snímku z družice Landsat.
Klíčová slova	DPZ, sněhová pokrývka, klasifikace obrazu
Počet stran	50 + 13
Počet příloh	20 (12 vázaných, 3 volné, 5 na DVD)
Jazyk	Čeština

Bibliographical identification

Author's first name and surname	Bc. Petra TOLASZOVÁ
Thesis title	Using of Remote Sensing Data in Snow Cover Monitoring
Type of thesis	Master
Department	Department of Geoinformatics, Faculty of Science, Palacký University in Olomouc, Czech Republic
Supervisor	Mgr. Pavel Sedlák, Ph.D.
Publication year	2008
Abstract	The aim of this thesis was to perform the visual interpretation of the snow cover on the oblique photo images of the ski slope in the Jeseníky Mountains for years from 2006 till 2007. This work contains the theoretical basis of snow cover monitoring, the overview of satellites acceptable for this application and the sample classification of the Landsat satellite image.
Keywords	Remote Sensing, Snow cover, Image classification
Number of pages	50 + 13
Number of appendices	20
Language	Czech

OBSAH

ÚVOD	9
TEORETICKÁ ČÁST DIPLOMOVÉ PRÁCE	10
1. Úvod	10
2. Vlastnosti sněhu a ledu	11
2.1 Kryosféra	11
2.2 Definice sněhu, sněhové pokrývky a ledu	11
2.3 Vznik sněhu	13
2.4 Vybrané fyzikální vlastnosti sněhové pokrývky	13
2.4.1 Teplota	13
2.4.2 Vodní hodnota sněhu	13
2.4.3 Hustota sněhové pokrývky	13
2.4.4 Porosita	14
2.4.5 Velikost zrn	14
3. Vlastnosti sněhu a ledu na snímcích	15
3.1 Spektrální chování ledu a sněhu	15
3.2 Viditelné a blízké IR pásmo	15
3.3 Mikrovlnné pásmo	16
4. Družice	18
4.1 Vhodné senzory	18
4.1.1 CryoSat	18
4.1.2 ICESat	19
4.1.3 Terra	20
4.1.4 RADARSAT	21
4.1.5 Landsat 7	21
4.2 Projekty zajišťující monitoring	23
4.2.1 GLIMS	23
4.2.2 EOS	23
4.2.3 Další projekty a aplikace	24

PRAKTICKÁ ČÁST DIPLOMOVÉ PRÁCE	25
1. Úvod	25
2. Fyzickogeografická charakteristika zájmového území	26
2.1 Klimatologická charakteristika zájmového území	26
3. Použitý software	29
3.1 ERDAS IMAGINE 8.5	29
3.2 ArcView GIS 3.3 + Image Analysis	29
3.3 ArcGIS 9.2	30
4. Data	31
5. Postup práce	32
5.1 Geometrické korekce	32
5.2 Klasifikace sněhové pokrývky v prostředí ArcView GIS	33
Oříznutí vrstev a snímků	34
Plocha sněhové pokrývky	34
Rastrová analýza	34
5.3 Zpracování mapy odtávání sněhu	34
5.4 Určení data výskytu poslední sněhové pokrývky v bodech	35
6. Výsledky zpracování	36
6.1 Procentuální zastoupení sněhové pokrývky na snímcích	36
6.2 Porovnání odtávání v jednotlivých letech	39
6.3 Rastrová analýza	41
6.4 Analýza fenologických bodů	41
7. Klasifikace snímku z Landsatu	43
8. Diskuze	45
ZÁVĚR	46
RÉSUMÉ	47
LITERATURA	48
PŘÍLOHY	51

SEZNAM TABULEK A OBRÁZKŮ

Tab. č. 1: Srovnání pásem pro monitoring sněhové pokrývky	15
Tab. č. 2: Počet dní se sněžením na stanici Praděd v období 1947 – 1997	27
Tab. č. 3: Počet dní se sněhovou pokrývkou na meteorologické stanici Praděd v období 1947 – 1997	28
Tab. č. 4: RMS chyba při rektifikaci snímků v roce 2006 a 2007	33
Tab. č. 5: Procentuální zastoupení sněhové pokrývky na snímcích	36
Tab. č. 6: Datum poslední souvislé sněhové pokrývky	40
Tab. č. 7: Datum posledního výskytu sněhu ve fenologických bodech	42
Obr. č. 1: Cryosat	19
Obr. č. 2: Sněhová pokrývka severní polokoule, senzor MODIS	21
Obr. č. 3: Pobřeží Antarktidy pohledem družice Radarsat a přístroje SAR	22
Obr. č. 4: Zájmové území	43
Graf č. 1: Plocha sněhové pokrývky na snímcích v roce 2004	37
Graf č. 2: Plocha sněhové pokrývky na snímcích v roce 2005	37
Graf č. 3: Plocha sněhové pokrývky na snímcích v roce 2006	38
Graf č. 4: Plocha sněhové pokrývky na snímcích v roce 2007	38
Graf č. 5: Průměrná měsíční teplota v zimním půlroce na stanici Šerák v období 2003/2004 – 2006/2007	39
Graf č. 6: Průměrná měsíční teplota v Olomouckém kraji v zimě 2006/2007 v porovnání s dlouhodobým normálem (1961 – 1990)	40

ÚVOD

Cílem diplomové práce je popsat možnosti využití dálkového průzkumu Země při monitoringu sněhové pokrývky a získané poznatky využít při řešení praktické části diplomové práce.

Teoretická část práce poskytuje přehled o možnostech družicových systémů, které jsou vhodné pro monitoring sněhu a ledu, poskytuje přehled dat DPZ, které lze využít při monitoringu sněhové pokrývky. Podává základní přehled o fyzikálních vlastnostech a chování sněhu.

V praktické části jsou zpracovány snímky, které zachycují odtávání sněhu na sjezdovce „A“ pod Petrovými kameny v Jeseníkách pro roky 2006 a 2007, a následně jsou provedeny statistické analýzy pro výstupní vrstvy odtávání sněhu pro roky 2004 – 2007.

Textová část práce je zpracována dle zásad publikace prof. Voženílk. [10]

K diplomové práci je vytvořen prezentační poster a internetová prezentace. Je rovněž přiloženo DVD se vstupními a výstupními daty.

TEORETICKÁ ČÁST DIPLOMOVÉ PRÁCE

1. Úvod

V této části diplomové práce jsou popsány základní fyzikální charakteristiky sněhu, ledu a sněhové pokrývky. Je zde popsáno spektrální chování sněhu a ledu na snímcích v jednotlivých pásmech (ve viditelném, blízkém infračerveném, infračerveném a mikrovlnném pásmu). Dále pak je uveden výčet nejdůležitějších družic vhodných k monitoringu sněhu, sněhové pokrývky a ledu a jejich základních parametrů a výčet nejznámějších projektů zabývajících se monitoringem sněhové pokrývky.

2. Vlastnosti sněhu a ledu

2.1 Kryosféra

Termín **kryosféra** má svůj základ v řeckém slově *kryos*, které označuje námrazu nebo ledový chlad. Označuje povrch planety Země, kde se voda nachází v pevném skupenství – zahrnuje mořský led, jezerní led, led na tekoucí vodě, sněhovou pokrývku, ledovce, ledové čepičky, ledové příkrovy a také trvale zmrzlou půdu (permafrost). [28]

Jak už bylo popsáno v úvodu, zmrzlá voda se na Zemi vyskytuje v různých podobách. Doba, po kterou tyto podsystemy kryosféry zůstávají v pevném skupenství, se ale velice liší. Sníh na pevnině a led na sladké vodě se většinou vyskytují pouze sezonně. Také většina mořského ledu se vyskytuje jen po část roku, nebo po několik chladnějších let; stále se vyskytuje jen v nejchladnějších oblastech Arktidy a Antarktidy. [28]

Většina celosvětového množství ledu se nachází v Antarktidě, zejména v ledovém příkrovu Východní Antarktidy. Pokud jde ale o rozlohu, zabírá v zimě na severní polokouli sníh a led větší oblast, která tvoří v lednu průměrně 23 % zemského povrchu severní polokoule. [28]

Existuje mnoho základních fyzikálních vlastností sněhu a ledu, které ovlivňují výměnu energie mezi povrchem a atmosférou. [28]

Obor zabývající se zákonitostmi trvalé sněhové pokrývky a ledovců se nazývá **glaciologie**. [19]

2.2 Definice sněhu, sněhové pokrývky a ledu

Sníh je definován jako padající nebo uložená ledová částice formovaná především sublimací (UNESCO/IAHS/WMO 1970). Přibližně 5 % všech srážek, které dopadnou na zemský povrch jsou sněhové, a na Arktický region připadá z těchto 5 procent něco mezi 50 až 90 %. [8]

Sníh představuje tuhé srážky, které se skládají z ledových krystalů nebo jejich shluků rozličných tvarů; základním tvarem je šesticípá destička, nejznámějším

šesticípá hvězdička nebo její část. Při vyšších teplotách má sníh podobu velkých chumáčů, naopak při teplotách nižších než $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ jsou sněhové vločky menší. [11]

Sněhová pokrývka se vytváří při záporných teplotách zemského povrchu, případně při velké intenzitě sněžení i za nízkých kladných teplot, ale bez delšího trvání. Sněhová pokrývka má především význam klimatologický a hydrologický. Teplota sněhové pokrývky je vzhledem k jejímu vysokému albedu nižší než teplota povrchu půdy bez sněhu. Malá tepelná vodivost sněhu dále způsobuje, že ztráty tepla z jeho povrchu jsou menší než z půdy, která si tak zachovává vyšší teplotu. [11]

Sněhová pokrývka není útvar stálý, ale vlivem měnících se vlastností vnějšího prostředí prodělává hluboké změny, které představují její metamorfózu, v jejímž průběhu dojde k rozpadu, degeneraci, rekrytalizaci a ke konečnému zničení původní struktury. [6]

Sněhová pokrývka je významná ve všech prostorových měřítkách a může významně ovlivňovat procesy, které jsou velmi často předmětem zájmu hydrologie, klimatologie, biologie a některých dalších vědních oborů [8]

Přechod mezi sněhem a ledem nazýváme **firn** – starý sníh přeměněný táním a opakovaným zmrznutím do zhutnělé podoby. Proces přeměny sněhu ve firn je nazýván firnovatění, resp. regelace.

Při běžném atmosférickém tlaku tekutá voda tuhne v **led** při teplotě $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, pouze v případě přítomnosti příměsí se může vyskytovat stále tekutá pod bodem mrazu jako tzv. přechlazená voda. Mezi jednotlivými krystaly ledu není žádný vzduch. Led je obvykle tvořen malými zrny dohromady vytvářejícími shluk, tj. krystalickou pevnou látku.

Ledovec je nehomogenní přírodní těleso tvořené ledem. Vzniká hromaděním sněhu, který se pod vlivem okolí mění na firn, dále na firnový led až na led ledovcový. Ledovec je svou dynamikou a unášeným materiálem schopen významně modelovat reliéf.

2.3 Vznik sněhu

Vznik sněhu je třeba chápat jako součást koloběhu vody odehrávajícího se v atmosféře. Výparem vody z povrchu Země se do atmosféry dostává velké množství vodní páry. Pokud dojde k přesycení vodní párou nebo k poklesu teploty pod tzv. **rosný bod**, vodní pára v atmosféře kondenzuje a vzniká déšť. Pokud je teplota nižší než 0 °C, změní se plynné skupenství vody přímo v pevné, dojde ke krystalizaci. Tento proces je vázaný na tzv. **krystalizační centra**, kterými jsou např. ledová jádra nebo částičky prachu. Vlivem valenčních sil se obrovské množství vodních molekul sdružuje do útvarů šesterečné krystalické soustavy a vznikají sněhové krystaly. [42]

2.4 Vybrané fyzikální vlastnosti sněhové pokrývky

2.4.1 Teplota

Teplota vzduchu je nejvýznamnějším činitelem ovlivňujícím teplotu sněhové pokrývky. Povrch sněhové pokrývky má teplotu blízkou teplotě vzduchu. Teplota sněhu těsně nad zemí dosahuje obvykle teplot kolem 0 °C. Ve sněhové pokrývce dochází k vyrovnávání teploty mezi relativně konstantní teplotou těsně u země a pohyblivou teplotou atmosféry. Proměnlivá teplota ovzduší se promítá do hloubky sněhové pokrývky se zpožděním a s ubývajícím intenzitou. Zóna s největším teplotním gradientem se nazývá aktivní vrstva. Aktivní vrstva dosahuje hloubky 15 – 25 cm. [7]

2.4.2 Vodní hodnota sněhu

Vodní hodnota sněhu vyjadřuje množství vody ve sněhové pokrývce. Vykazuje se v mm vodního sloupce. Jde o výšku vodního sloupce, který vznikne roztátím vrstvy sněhové pokrývky. Vodní hodnotu můžeme výpočtem stanovit z hustoty a výšky sněhové pokrývky. [7]

2.4.3 Hustota sněhové pokrývky

Hustota sněhu vyjadřuje hmotnost sněhu na jednotku objemu a značně závisí na jeho stlačení a upěchování. Hustota sněhu se pohybuje přibližně od 0,05 g/cm³ u suchého prachového sněhu až do 0,7 g/cm³ u ledovcového firnu. [7] Typická hodnota hustoty čerstvého sněhu je 0,1 Mg/m³. [8]

2.4.4 Porosita

Porosita sněhu je poměr objemu vzduchu uzavřeného v určitém druhu sněhu k celkovému objemu tohoto sněhu. [7]

2.4.5 Velikost zrn

Velikost zrn (krystalů) je často definována jako průměrný poloměr ledového krystalu, ačkoli někdy se bere v úvahu i forma a orientace krystalu. Typická velikost zrn se pohybuje v rozmezí 0,1 až 3 mm. [8]

3. Vlastnosti sněhu a ledu na snímcích

Pomocí dálkového průzkumu Země je možné získat regionální charakteristiky sněhové pokrývky. [5] Sněhová pokrývky dobře odrážejí krátkovlnné záření. Čerstvá sněhová pokrývky mají albedo 0,8 – 0,9. Stará, mokrá sněhová pokrývky mají albedo cca 0,5. Sněhová pokrývky dobře pohlcují dlouhovlnné záření. [7]

Porovnání jednotlivých pásem pro monitoring sněhové pokrývky je uvedeno v převzaté tabulce č. 1

Tab. č. 1: Srovnání pásem pro monitoring sněhové pokrývky. Upraveno podle [5]

	viditelné/blízké infračervené pásmo	infračervené pásmo	mikrovlnné pásmo
Rozsah sněhové pokrývky	ano	ano	ano
Hloubka sněhové pokrývky	ano, pouze ale v tenké vrstvě	špatně detekovatelná	ano, pouze v tenké vrstvě
Vodní hodnota sněhu	ano, pouze ale v tenké vrstvě	špatně detekovatelná	ano, pouze v tenké vrstvě
Albedo	ano	ne	ne
Teplota	ne	ano	špatně detekovatelná

3.1 Spektrální chování ledu a sněhu

Většina druhů povrchů má na snímcích z různé části elektromagnetického spektra jiný odstín šedi či jinou barvu – odrážejí různé množství záření. Znalost **spektrálního chování** dovoluje indikovat procesy, které jsou v krajině patrné až později. Poznání mechanismů spektrálního chování je základním nástrojem pro rozlišování druhů povrchu a jejich mapování metodou DPZ. [43]

3.2 Viditelné a blízké IR pásmo

Sníh i led mají ve viditelné a blízké IR oblasti spektra vysokou **odrazivost**. Ta převyšuje odrazivost ostatních objektů na zemském povrchu do té míry, že intenzita odraženého záření leckdy překračuje rozsah detektoru radiometru. Stejně vysokou odrazivost mají také horní vrstvy oblaků, které tvoří ledové krystalky. [2]

Spektrální odrazivost sněhu však vykazuje hluboká minima na vlnových délkách mezi 1,55 – 1,75 μm a 2,1 – 2,3 μm . Tyto vlnové délky odpovídají příslušným absorpčním pásům vody. Tak prudký pokles spektrální odrazivosti o více než 90 % je mezi přírodními objekty zcela výjimečným jevem. [2]

Spektrální odrazivost mraků je téměř konstantní v celém vlnovém rozsahu odraženého záření, tj. od 0,3 do 3,0 μm . Rozptyl slunečního záření v mracích totiž nezávisí na vlnové délce. V oblasti tepelného záření jsou odrazivosti oblačnosti a sněhu podobné, protože obě látky mají většinou shodnou teplotu i stejnou hodnotu emisivity. [2]

Obsah prachových příměsí určuje odrazivé vlastnosti sněhu (zvláště ve viditelné oblasti spektra) a je jeho stavovým parametrem. Znečišťující látky snižují odrazivost sněhu. Velikost sněhových částic je dalším důležitým parametrem – s růstem velikosti částic klesá odrazivost sněhu. Tento jev je výraznější v blízké infračervené oblasti, kde jsou rozpoznatelné i malé rozdíly velikostí částic. [2]

Stáří sněhu rovněž ovlivňuje spektrální odrazivost. Čerstvý sníh má odrazivost až několikrát vyšší, zejména v MIR pásmu (střední infračervené pásmo) díky větší vodní hodnotě sněhu. [2]

3.3 Mikrovlnné pásmo

U vlnových délek mikrovlnného záření jsou velmi důležité odlišné dielektrické vlastnosti vody a ledu, tudíž lze pomocí tohoto záření snadno rozlišovat skupenství. Tání způsobuje změnu intenzity emitovaného i odraženého záření. Tající voda ve sněhu obaluje sněhové granule a způsobuje výrazný vzestup pohltivosti, proto je uvnitř sněhové vrstvy malý rozptyl, díky nárůstu absorpce roste emisivita. Je-li sníh tvořen ledovými krystalky, je jeho emisivita naopak menší a logaritmicky klesá s tloušťkou sněhové vrstvy. [2]

Chování mořského ledu je určováno dielektrickými vlastnostmi a prostorovým uspořádáním ledu. Mikrovlnné záření se používá pro rozlišení jednotlivých druhů ledu. X-pásmový radar s vlnovou délkou 3,2 cm lze použít pro rozlišení druhů a tloušťky ledu. [2]

Polarizace mikrovlnného záření ovlivňuje rozpoznávání. Horizontální polarizace se hodí pro zjišťování síly přemrzlého a firnového sněhu. Horizontálně polarizované záření je povrchovou slupkou propuštěno, vertikálně polarizované záření je ledovou vrstvou značně pohlceno. [2]

Díky vysokému albedu lze sněhovou pokrývku velmi efektivně mapovat právě pomocí družic. Na základě znalosti spektrálního chování sněhové pokrývky lze k jejímu zvýraznění na mapách použít poměrový index **NDSI** (*Normalized Difference Snow Index*). [27]

4. Družice

Sněhová pokrývka byla poprvé pozorována na snímcích z družice TIROS-1 v roce 1960. Sněhová pokrývka je od roku 1966 pravidelně monitorována ve viditelném pásmu a od roku 1978 je pro pravidelné snímání sněhové pokrývky použito pasivní mikrovlnné snímání. [17]

V prosinci roku 1972 NASA vypustila satelit Nimbus-5 s mikrovlnným skenerem ESMR, který jako první registroval záření emitované od povrchu Země v mikrovlnném pásmu o velikosti 1,55 cm, jenž bylo odraženo jak od mořského ledu, tak od ledovců. Rozlišení těchto snímků bylo 25 km. [17]

4.1 Vhodné senzory

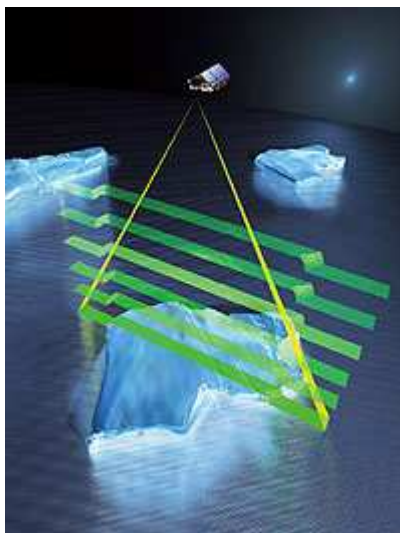
Tato podkapitola je výčtem nejdůležitějších senzorů z hlediska snímání kryosféry. Ačkoli se v dnešní době kolem naší planety pohybuje relativně velké množství družic nejrůznějších organizací a určených k nejrůznějším účelům, není ani jedna z nich určena výhradně pro sledování kryosféry.

Přístrojů vhodných ke sledování a studiu kryosféry je samozřejmě mnohem více. Prakticky jakýkoliv senzor snímající ve vhodných vlnových délkách je v glaciologii využitelný. Níže je však uveden výčet nejdůležitějších a nejvíce využívaných přístrojů v tomto oboru.

4.1.1 CryoSat

Toto se mělo změnit s vypuštěním družice CryoSat, kterou vyvinula **Evropská kosmická agentura** (ESA) a byla vypuštěna 8. 10. 2005. Při výstupu na orbitu však selhal motor nosné rakety, v důsledku čehož raketa nedosáhla oběžné dráhy Země a spadla do moře. Hlavním iniciátorem satelitní mise CryoSat byl profesor Duncan Wingham (University College London), jehož návrh byl schválen roku 1998. Dlouhý 4,6 metru a 2,34 metru široký CryoSat měl být platformou pro první měření novým instrumentem SIRAL (*Synthetic Aperture Interferometric Radar Altimeter*). **SIRAL** byl prvním senzorem svého druhu, který dokázal měřit i plovoucí led v oceánech. Předchozí generace radarových altimetrů (např. mise ERS-2 či Envisat) přispívají měřením v polárních oblastech, ale jejich data nejsou dostatečně spolehlivá v určování okrajů ledovců, kde je změna (tání) největší. Také jejich rozlišení je přes

oceán nedostatečné v rozeznání plovoucích ker a ledovců. Tyto mezery měly být vyplněny pomocí SIRALu, který byl pro tato měření optimalizován. Oproti původním misím byly na CryoSatu instalovány dvě antény, které by jako lidské oči mohly zprostředkovat prostorový obraz polárních změn. Americký satelit **ICESat** (*Ice, Cloud and Land Elevation Satellite*) vyslaný do vesmíru roku 2003 byl taktéž zaměřen na studium polárních oblastí. Na rozdíl od CryoSatu však byl více orientován na atmosférická měření. Priorita CryoSatu spočívala ve velice přesném měření systémem SIRAL, který měl měřit nezávisle na počasí a také doplnit data z oblastí, které nebyly zmapovány misí ICESat. ICESat měl být využit ke kalibracím měření CryoSatu. [34]



Obr. č. 1: Ukázka, jak měl Cryosat pracovat [34]

Dobrou zprávou je, že ESA již schválila vyslání družice **CryoSat-2**, která by měla být vypuštěna v březnu roku 2009.

4.1.2 ICESat

ICESat (*Ice, Cloud and Land Elevation Satellite*) je družice vyvinutá americkým Národním úřadem pro letectví a kosmonautiku (NASA) a provozovaná v rámci programu EOS (*Earth Observing System*). Byla úspěšně dopravena na oběžnou dráhu dne 12. 1. 2003. Z hlediska kryosféry je jejím nejdůležitějším senzorem **GLAS** (*Geoscience Laser Altimeter System*). Jak už název napovídá, jedná se o laserový výškoměr – lidar. Sleduje především povrchovou topografii ledovců a její změnu v čase. Na senzoru GLAS jsou umístěny 3 laserové vysílače, které emitují pulsy v infračervené a viditelné části spektra o vlnové délce 1064 a 532 nm. V jednom

momentě však může být v provozu jen jeden laser. Tento laserový puls je vysílán 40x za sekundu. GLAS drží rekord mezi všemi vesmírnými senzory v počtu měření – pořizování údajů o zemském povrchu. [25]

4.1.3 Terra

Družice Terra (původní označení EOS AM 1) byla úspěšně odstartována dne 18. 12. 1999. Je vlajkovou lodí programu EOS a na své palubě nese několik přístrojů vhodných pro sledování kryosféry.

a) **ASTER** (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*)

Jedná se o superspektrální senzor snímající ve 14 pásmech. Viditelná (VIS) a blízká infračervená (NIR) část spektra je snímána pomocí čtyř pásem (0,5 – 0,9 μm). Ve střední infračervené části spektra označované jako SWIR (1,6 – 2,5 μm) funguje dalších 6 pásem, posledních 5 pásem pak pracuje v termální části spektra označované jako TIR (8 – 12 μm). Z hlediska glaciologie sleduje zejména pohyb ledovců a jejich rozlohu. [38]

b) **MODIS** (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*)

Jedná se o superspektrální senzor snímající ve 36 pásmech. Tato pásma pokrývají část spektra odpovídající vlnovým délkám 0,4 – 14,4 μm . Díky počtu pásem dodává kvalitní data s velmi vysokým radiometrickým rozlišením. Tento senzor je umístěn i na sesterské družici AQUA. [38]

c) **MISR** (*Multi-angle Imaging SpectroRadiometer*)

Jedná se o multispektrální senzor snímající ve 4 pásmech. Viditelnou část spektra (VIS) pokrývají 3 pásma (B 446 nm, G 558 nm, R 672 nm). Čtvrté pásmo je v blízké infračervené části spektra (NIR 866 nm). Z hlediska glaciologie slouží snímky především k vymezení základních druhů povrchů, tedy k odlišení sněhové a ledové pokrývky od ostatních povrchů. [38]



Obr. č. 2: Sněhová pokrývka severní polokoule, zima 2001 – 2002, senzor MODIS [35]

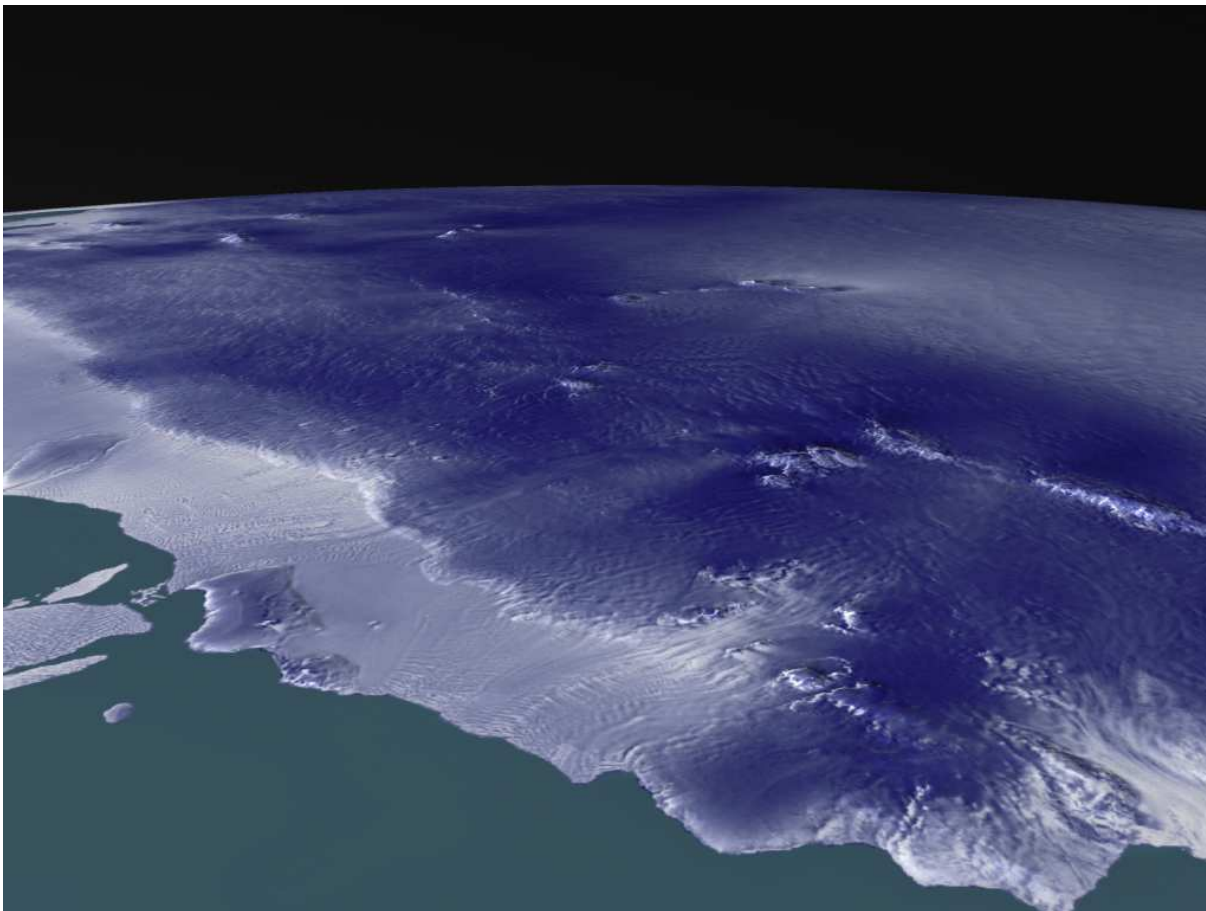
4.1.4 RADARSAT

Kanadská družice RADARSAT byla úspěšně vypuštěna 4. 11. 1995. Jejím úkolem je sledovat přírodní zdroje a změny prostředí na Zemi. Pro sledování kryosféry nese na palubě přístroj **SAR** (*Synthetic Aperture Radar*). SAR pracuje v radarovém pásmu C a emituje mikrovlnné pulsy o vlnové délce 5,6 cm, výška dráhy je cca 800 km. [33]

4.1.5 Landsat 7

Družice Landsat 7 byla úspěšně vypuštěna 15. 4. 1999. Jedná se o sedmou družici programu Landsat, který je zaštiťován úřady NASA a USGS (*U.S. Geological Survey*). Nejdůležitějším přístrojem na palubě je multispektrální senzor **ETM+** (*Enhanced Thematic Mapper +*), který pracuje v 8 pásmech pokrývajících část spektra odpovídající vlnovým délkám 0,45 – 12,5 μm . Náplní práce tohoto senzoru je mapovat různé druhy povrchů a jejich změny. [29]

Snímek z družice Landsat byl použit v kapitole 7 praktické části práce.



Obr. č. 3: Pobřeží Antarktidy pohledem družice Radarsat a přístroje SAR [33]

Mezi další využívané družice a přístroje patří např. družice **DMSP** (*Defense Meteorological Satellites Program*) v gesci US Air Force a senzor **SSM/I** (*Special Sensor Microwave Imager*), družice **NOAA** se senzorem **AVHRR** (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) nebo družice **ERS-2** a její přístroj **AMI**. V minulosti byly využity např. družice Nimbus-5 a její senzor ESMR či **Nimbus-7** se senzorem **SMMR** (*Scanning Multichannel Microwave Radiometer*), která byla aktivní do roku 1987. V provozu byly také experimentální družice IRS-P, které testovaly přístroje MOS (*Multispectral Optoelectronic Scanner*) a WiFS (*Wide Field Sensor*) se zaměřením na vegetaci, geologické mapování a monitoring sněhové pokrývky. [23]

4.2 Projekty zajišťující monitoring

Tato podkapitola je výčtem nejdůležitějších projektů DPZ zabývajících se monitoringem kryosféry. Informace o sněhové pokrývce jsou důležité z různých důvodů (sociální, environmentální) a využívají se v mnoha oborech lidské činnosti jako například zemědělství, průmysl či doprava.

4.2.1 GLIMS

Global Land Ice Measurements from Space je projektem navrženým k monitorování ledové pokrývky v globálu. Do tohoto projektu je zapojeno více než 60 institucí z celého světa, ale hlavním koordinačním střediskem je *University of Arizona*, konkrétně pak *Department of Hydrology and Water Resources*. [20]

Mezi činnosti pracovníků projektu GLIMS patří vytváření softwarových nástrojů pro aplikace sledování ledovců, vytváření regionálních center pro sledování místních ledovců nebo vytváření databáze ledovců na Zemi. **GLIMS Glacier Database** je spravována organizací *National Snow & Ice Data Center*. [20]

I když jsou téměř všechna data využívaná v projektu GLIMS pořízena senzorem ASTER z družice Terra, využívají se i další senzory jako TM (Landsat 5), ETM+ (Landsat 7), SAR (RADARSAT) a GLAS (ICESat). [20]

4.2.2 EOS

EOS (*Earth Observing System*) je stěžejní součástí projektu amerického úřadu NASA pro sledování povrchu Země. V rámci EOS je vyčleněno několik programů, přičemž z hlediska sledování kryosféry je nejdůležitější program *The Role of Polar Ice Sheets and Sea Level*, který sleduje a studuje vliv tání ledovců na výšku hladiny oceánů a moří. Součástí tohoto programu jsou podprogramy jako je například *Global Snow and Ice Cover*, jehož cílem je sledovat pokrytí sněhem a ledem v globálním měřítku. K tomuto účelu bylo využíváno služeb senzoru SMMR na družici Nimbus-7. Dnes se využívá senzor SSM/I na sérii družic DMSP. Dalším podprogramem je **Antarctic Ice Sheet**, který sleduje v relativně podrobném měřítku antarktické ledovce. K tomuto účelu využívá senzor AVHRR na družici NOAA. Pro preciznější měření využívá radary a laserové výškoměry umístěné na jiných družicích projektu EOS. [18]

4.2.3 Další projekty a aplikace

Mezi další programy a projekty zajišťující monitoring kryosféry patří například **WGMS** (*World Glacier Monitoring Service*), **AMM** (*Antarctic Mapping Mission*) nebo programy evropské vesmírné agentury ESA, které srovnávají data pořízená pozemním výzkumem s daty pořízenými pomocí DPZ. Jde především o programy CryoVex nebo IceSAR.

Z regionálních aplikací lze uvést projekt ESA *Snow cover monitoring in Alpine regions using ENVISAT optical data* [18], nebo projekt *Monitoring Swiss alpine snow cover variations using digital NOAA-AVHRR data* [24], který byl součástí projektu Hydrologického atlasu Švýcarska.

Za zmínku také stojí program *Polar View* podporovaný ESA a Evropskou komisí s projektem *Snow cover monitoring – Central Europe*. K monitorování jsou použita data z družic ENVISAT-ASAR a NOAA-AVHRR (s rozlišením 1 km). Výsledky tohoto projektu jsou dále přebírány organizacemi jako je například Německá meteorologická služba (DWD), a to k aktualizaci hydrologických modelů, k vyhodnocování odtávání apod. [41]

Informace primárně o kryosféře, respektive DPZ snímky, jsou dostupné v mnoha tematických databázích či inventářích. Jako příklad uvádím WGI (*World Glacier Inventory*), *GLIMS Glacier Database* (viz výše) nebo *Landsat 7 Glacier Inventory*.

Nelze opomenout, že v rámci **UNEP Global Resource Information Database (GRID)** lze nalézt mnoho zdrojů týkajících se studia kryosféry. Např. v rámci sekce **GEO** (*Global Environment Outlook*) je to projekt *Global Outlook for Ice and Snow* – je zde dostupná jednak komplexní zpráva [22], jednak řada převážně regionálních studií (viz [21]), z nichž lze uvést *Glacier shrinking on Cumberland Peninsula, Baffin Island, Canadian Arctic* nebo *Ice avalanches of the Nevados Huascarán in Peru* nebo velice zajímavou *The Cryosphere World Map*.

Většina projektů provozuje solidní vlastní internetové prezentace. Pro bližší informace, prezentační obrázky či přímo obrazové výstupy je lze jen doporučit.

PRAKTICKÁ ČÁST DIPLOMOVÉ PRÁCE

1. Úvod

S rostoucí nadmořskou výškou se sníh stává jedním z rozhodujících faktorů prostředí. Málo známým aspektem ve vztahu sněhové pokrývky a horské vegetace je problematika vlivu zhutněného sněhu na vegetaci, která se může projevovat na lyžařských tratích. [15] Touto problematikou se zabývá grantový projekt VaV/620/15/03 „**Vliv rekreačního využití na stav a vývoj biotopů ve vybraných VCHÚ** (CHKO Beskydy, Krkonošský národní park, CHKO Jeseníky, Národní park a CHKO Šumava)“, který je spoluřešen na Katedře ekologie a životního prostředí Přírodovědecké fakulty UP v Olomouci.

Pro první praktickou část práce tak byly použity šikmé snímky sjezdovky „A“ (severovýchodní svah Petrových kamenů v NPR Praděd) v Jeseníkách z let 2004 až 2007. (Příloha č. 1)

Cílem této části práce bylo vytvořit z dostupných snímků mapu pro každý rok, která zachycuje odtávání sněhové pokrývky v oblasti sjezdové tratě a v okolní oblasti s přirozenou akumulací sněhové pokrývky. Vznikly tak podklady pro podporu botanického výzkumu v CHKO Jeseníky v rámci zmíněného projektu.

Mapy pro rok 2004 a 2005 byly již vytvořeny, avšak aby byla sjednocena legenda na všech mapách, byly tyto mapy vytvořeny znovu – se stejnou legendou, která byla použita pro roky 2006 a 2007.

Druhou praktickou úlohou bylo zpracování klasifikace snímku z družice Landsat, pořízeného senzorem ETM+ v roce 2000.

2. Fyzickogeografická charakteristika zájmového území

NPR Praděd vznikla v roce 1991 vyhláškou MŽP ČR. Její rozloha činí 2031,40 ha. Pradědská rezervace vznikla spojením šesti dřívějších státních přírodních rezervací. Celé území NPR Praděd se nachází v 1. zóně CHKO Jeseníky. Uvnitř rezervace ovšem leží několik ploch, které jsou z rezervace vyjmuty a spadají pouze do 1. zóny CHKO (především pozemky ubytovacích zařízení, sjezdových tratí a lyžařských vleků). [30]

Petrovy kameny (1446 m n. m.) můžeme v geomorfologickém členění ČR zařadit do celku *Hrubý Jeseník*, podcelku *Pradědská hornatina*, okrsku *Kamzičnická hornatina* a podokrsku *Vysokoholský hřbet*. [31] Třetí nejvyšší vrchol Hrubého Jeseníku a Moravy tvoří tři mohutná skaliska vysoká 7 m. [32]

Geologicky je hora budována metamorfovanými horninami, zejména fylity a kvarcity. Vrcholové skalisko Petrových kamenů je mrazovým srubem. Reliktem po době ledové jsou mrazem tříděné polygonální půdy. Petrovy kameny leží na hlavním evropském rozvodí mezi Baltským a Černým mořem. Divoká Desná odvádí své vody do Moravy a Dunaje, Bílá Opava do Odry. Petrovy kameny jsou z botanického hlediska unikátním místem evropského významu. Přežívají zde **relikty doby ledové** – řada vzácných lišejníků a mechů, vrba bylinná a zejména dva jesenické endemické druhy: zvonek jesenický a lipnice jesenická. [32]

Petrovy kameny jsou jako přírodní rezervace o rozloze 19,1 ha součástí NPR Praděd a vstup na ně je zakázán a tvrdě sankcionován. Platí zde zákaz scházení ze značené cesty. V zimním období se však na svahu pod Petrovými kameny s jistými omezeními lyžuje.

2.1 Klimatologická charakteristika zájmového území

Podle **Klimatických oblastí Československa** (Quitt, 1971) je horská část CHKO Jeseníky řazena k chladné oblasti, ostatní území pak patří k mírně teplé oblasti. [26]

Pro **CHKO Jeseníky** jsou charakteristické velké klimatické rozdíly na poměrně krátkých vzdálenostech, což úzce souvisí s velkými rozdíly v nadmořské výšce. Počasí na obou stranách hlavního hřebene Hrubého Jeseníku bývá často zcela

odlišné. Každoročně se v Hrubém Jeseníku vyskytují inverze, kdy ve vyšších polohách je teplo a slunečno, zatímco v údolích a kotlinách jsou mlhy. Na některých lokalitách se výrazně uplatňuje vliv mikro a mezoklimatu. [26]

První soustavná pozorování počasí byla v blízkosti Pradědu zahájena v srpnu 1933, a to na **Ovčárně** ve výšce 1306 m n. m. Pozorování zde trvala do roku 1938. V letech 1941 až 1945 bylo pozorování prováděno na **vrcholu Pradědu**. Po krátké odmlce bylo pozorování obnoveno až v listopadu 1946. Definitivní ukončení provozu stanice bylo 15. 9. 1997. Dnes je v CHKO Jeseníky v provozu profesionální meteorologická stanice **Šerák** (od roku 2004). [4, 6]

Z pozorování z let 1947 – 1997 víme, že první **sněžení** můžeme v okolí Pradědu očekávat v průměru kolem 2. října, i když výskyt tohoto jevu kolísá v mezích značně širokých: od 29. srpna (1947) do 3. listopadu (1961). Obdobně kolísá i datum posledního sněžení, které připadá průměrně na 20. května, nejdříve na 2. dubna (1966) a nejpozději na 18. července (1996). Počet dní se sněžením trvá na Pradědu průměrně 87 dní, maximálně 125 dní v kalendářním roce 1952 a minimálně 52 dní v roce 1963. [4, 9]

Tab. č. 2: Počet dní se sněžením na meteorologické stanici Praděd v období 1947 – 1997 [4]

Rok	P1 = Počet dní se sněžením							1947	1948	1949
P1								84	92	87
Rok	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959
P1	92	85	125	79	87	109	98	69	88	63
Rok	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969
P1	68	70	122	52	77	110	86	94	83	95
Rok	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
P1	112	92	73	101	89	84	99	103	87	105
Rok	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
P1	99	107	73	83	74	92	75	81	95	55
Rok	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996			
P1	72	72	91	79	75	104	82			

Na vrcholu Pradědu se **souvislá sněhová pokrývka** vytváří průměrně 5. října a končí 21. května, tj. období 229 dní. Počet dní se souvislou sněhovou pokrývkou je průměrně 173 dní, maximálně 204 dní v kalendářním roce 1992 a minimálně 129 dní v roce 1959. Nejdřívejší datum první souvislé sněhové pokrývky bylo v období

1947/48 – 1996/97 zaznamenáno 1. září 1995, nejpozdější datum první souvislé sněhové pokrývky bylo 4. listopadu 1961. Nejdřívější datum poslední souvislé sněhové pokrývky je 16. dubna 1966 a nejpozdější datum poslední souvislé sněhové pokrývky je 19. července 1996. [4, 9]

Podle metodiky měření na stanicích ČHMÚ se rozlišuje sněhová pokrývka a souvislá sněhová pokrývka. **Sněhová pokrývka** je vrstva sněhu o mocnosti minimálně 0,5 cm. **Souvislá sněhová pokrývka** je vrstva sněhu o mocnosti alespoň 1 cm přinejmenším na polovině pozemku meteorologické stanice a jejího nejbližšího dohledného okolí (je to tedy částečně subjektivní stanovení).

Tab. č. 3: Počet dní se sněhovou pokrývkou na meteorologické stanici Praděd v období 1947 – 1997 [4]

Rok	P2 = Počet dní se sněhovou pokrývkou										1947	1948	1949
P2											197	162	159

Rok	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959
P2	175	172	201	157	179	192	203	154	165	129

Rok	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969
P2	146	140	193	131	144	194	158	169	132	173

Rok	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
P2	188	169	183	179	186	185	180	186	173	195

Rok	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
P2	197	169	168	169	171	188	166	188	189	151

Rok	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
P2	142	188	204	169	171	196	183

3. Použitý software

K řešení praktické části diplomové práce byl použit následující software: Erdas Imagine 8.5, ArcView GIS 3.3 s extenzí Image Analysis a ArcGIS 9.2.

V práci byly využity také produkty Microsoft Office 2002, grafický program CorelDraw 9 a programy na tvorbu animací Foto2Avi a program XnView.

3.1 ERDAS IMAGE 8.5

Software **Erdas Imagine** umožňuje zpracovávat různé typy geografických dat. Především je zaměřen na zpracování leteckých a družicových snímků, a to od vytvoření ortosnímků až po vyhodnocení informací o typu pokryvu, aktualizaci polohopisu a mapování výškopisu. Kromě klasických kartografických výstupů mohou být geografická data využívána a prezentována ve formě 3D GIS. Erdas Imagine je dále připraven i na řešení celé řady GIS úloh. K dispozici jsou nástroje pro prostorovou analýzu, je možno vytvářet či využívat vektorová data ve standardních formátech firmy ESRI. Unikátní je možnost provádět integrovanou analýzu rastrových i vektorových dat a nástroj pro tvorbu uživatelských algoritmů v grafickém prostředí. [12]

3.2 ArcView GIS 3.3 + Image Analysis

ArcView GIS je geografický informační systém, který patří do třídy tzv. desktop GIS. Je to tedy GIS pro koncové uživatele, kterým umožní snadnou práci se všemi informacemi, které mají vztah k mapě.

Kromě obvyklých funkcí desktop aplikací obsahuje ArcView GIS celou řadu funkcí pro prostorové analýzy – překryvy, protínání ploch, vytváření ochranných pásem, vyhledání sousedících prvků a další. Prostřednictvím ArcView GIS je možné k prostorovým datům relačně připojovat další databáze. Pro práci s tabulkami systém nabízí celou řadu nástrojů pro třídění, dotazy, výběry, statistiky, výpočty i editaci tabulek. Aplikace přímo pracuje s celou řadou jak vektorových, tak i rastrových formátů dat, a uživatel tak může bez nutnosti jakékoliv konverze používat data z různých zdrojů. [13]

ArcView GIS je jednoduše rozšiřitelný – pomocí tzv. extenzí umožňuje uživatelům provádět celou řadu nadstavbových analýz. Stejně tak lze jeho funkcionality rozšířit použitím interního skriptovacího jazyku Avenue.

Image Analysis je extenzí, která otevírá uživatelům cestu k využití obrazových dat mnoha formátů. Nabízí základní paletu nástrojů pro zpracování obrazu. Disponuje funkcí pro automatické ohraničení prvků na snímku či nástrojem pro geometrické sesazení snímků a vektorů či jejich rektifikaci do souřadnicového systému. Výhodou modulu zároveň je, že využívá datový formát img systému Erdas Imagine.

3.3 ArcGIS 9.2

ArcGIS je nástupcem ArcView GIS a současnou vlajkovou lodí firmy ESRI. Je k dispozici ve třech licencích podle dostupné funkcionality: *ArcView*, *ArcEditor* a *ArcInfo*. Systém se skládá ze tří základních integrovaných aplikací (*ArcMap*, *ArcCatalog* a *ArcToolbox*) je opět rozšiřitelný pomocí extenzí. Oproti ArcView GIS lze použít i externí skriptovací jazyky.

Mapy, data a metadata vytvořená pomocí ArcGIS Desktop lze dále sdílet s mnoha uživateli, ať už prostřednictvím volně dostupné prohlížečky ArcReader, uživatelských aplikací ArcGIS Engine nebo pokročilých webových služeb, které zabezpečuje ArcIMS či ArcGIS Server. [14]

4. Data

Vstupními daty byly snímky sjezdovky „A“ pod Petrovými kameny pro rok 2006 a 2007, které byly vyfoceny fotoaparátem F65 s objektivem Sigma, ohnisková vzdálenost objektivu 100, foceno na diafilm Velvia ISO 50. Snímky pořizoval M. Banáš anebo zaměstnanec vysílače na Pradědu z fixního bodu na jižním úbočí Pradědu v nadmořské výšce cca 1390 m n. m. Následně byly snímky převedeny skenováním do digitální podoby. Dodány byly v obrazovém formátu jpg.

Snímky byly pořizovány v nepravidelném intervalu od 1 do 5 dnů. V roce 2006 bylo nasbíráno celkem 23 snímků od 20. 4. do 11. 6. a v roce 2007 celkem 19 snímků v období od 12. 4. do 24. 5.

Pro výpočet plochy sněhové pokrývky na každém snímku, pro rastrovou analýzu a pro tvorbu map odtávání sněhové pokrývky byly k dispozici i snímky a vytvořené vektorové vrstvy sněhové pokrývky pro rok 2004 (24 snímků v období 5. 4. až 8. 6.) a 2005 (22 snímků od 16. 4. do 12. 6.).

Dalšími vstupními daty byly již vytvořené vrstvy odtávání pro roky 2004 a 2005, vrstva ohraničení sjezdovky a vrstva ohraničení zájmového území.

5. Postup práce

Údaje z let 2004 a 2005 byly pro potřeby projektu zpracovány Mgr. Pavlem Sedlákem, Ph.D. Metodicky tedy tato práce navazovala, nicméně byly provedeny některé nové analýzy, a to i zpětně, tj. za roky 2004 – 2007.

5.1 Geometrické korekce

Geometrické korekce slouží k úpravě snímku tak, aby vzájemná poloha objektů v obraze odpovídala poloze objektů ve skutečnosti. V tomto případě skutečnost pomineme, protože se jedná o šikmé snímky a jejich nasazení do geografického souřadnicového systému (např. S-JTSK) by obraz značně zdeformovalo. V této aplikaci stačí, když všechny snímky budou stejně usazeny vůči sobě v negeografickém souřadnicovém systému. Zde bylo opět navázáno na již udělanou práci a snímky z let 2006 a 2007 byly rektifikovány ke snímku z 16. 4. 2005.

Rektifikace je obecný proces transformace polohy všech obrazových prvků (pixelů) z jednoho souřadnicového systému do druhého (v podstatě deformace obrazu) na základě sběru identických bodů na dvojici obrazů (tzv. vlíčovacích bodů). Následným krokem je **převzorkování**, tj. proces transformace DN hodnot do nové soustavy (zpět do pravidelné mřížky). Výsledkem jsou tedy stejně usazené snímky, tj. porovnatelné. [1]

Pro geometrické korekce byl zvolen Erdas Imagine ve verzi 8.5. V modulu *Data Preparation* se nachází položka *Image Geometric Correction*. V záložce *Set Geometric Model* jsem vybrala **polynomickou rektifikaci 1. řádu**. Polynomická transformace provádí výpočet pomocí souřadnic vlíčovacích bodů, přičemž výpočet pro polynom 1. řádu je nejrychlejší – jedná se pouze o posunutí, změnu měřítko a rotaci bodů. Minimální počet vlíčovacích bodů pro 1. řád je 1 bod. Pomocí jednoho bodu lze vypočítat pouze posun, pomocí dvou posun a změnu délek a s použitím tří bodů posun, změnu délek a otočení. Teprve v tomto případě se jedná o úplnou transformaci pro 1. řád. [2] Při rektifikaci byl brán ohled na co možná nejmenší **RMS chybu** (viz Tab. č. 4) a na správné sesazení snímků.

5.2 Klasifikace sněhové pokrývky v prostředí ArcView GIS

Dalším krokem bylo samotné zpracování snímků nástroji ArcView GIS 3.3 s extenzí Image Analysis. Nejprve byla založena nová polygonová vrstva pro každý snímek se jménem shodným s rektifikovaným obrazem (datum pořízení snímku). V **Seed Tool Properties** byly nastaveny vlastnosti nástroje, zejména *Seed Radius* (tolerance při výběru podobných pixelů) a vlastnost *Include Island Polygons* (kompaktnost vybrané oblasti nebo možnost nezahrnovat ostrovní polygony do výběru), který pak byl použit pro výběr sněhové pokrývky postupně na všech snímcích. Na jednom snímku bylo vždy potřeba několikrát měnit parametr *Seed Radius* – pro výběr velkých nebo malých ploch sněhu. Tímto způsobem vznikla vrstva s překrývajícími se polygony. Použitím funkce *Union Graphics* v záložce *Edit* byly polygony sloučeny, odstraněny zbytečné hranice a odstraněno překrývání.

Tab. č. 4: RMS chyba při rektifikaci snímků
v roce 2006 a 2007

2006		2007	
Datum	RMS chyba	Datum	RMS chyba
20.4.	0,2071	12.4.	0,5684
23.4.	0,8857	14.4.	0,3744
26.4.	0,7272	16.4.	0,4837
27.4.	0,4036	18.4.	0,3169
1.5.	0,3836	21.4.	0,5514
3.5.	0,3208	23.4.	0,7927
5.5.	0,3009	25.4.	0,6348
7.5.	0,4095	27.4.	0,5716
9.5.	0,0148	29.4.	0,5841
11.5.	0,4854	1.5.	0,4954
13.5.	0,8352	3.5.	0,1359
15.5.	0,4399	7.5.	0,1622
17.5.	0,3891	9.5.	0,2007
19.5.	0,4901	10.5.	0,2614
21.5.	0,5495	12.5.	0,3874
23.5.	0,4445	13.5.	0,5452
25.5.	0,2940	17.5.	0,3834
27.5.	0,4369	19.5.	0,4504
29.5.	0,4388	21.5.	0,2444
3.6.	0,1684	24.5.	*
5.6.	0,0949	* nebyl důvod k rektifikaci, na snímku už nebyl sníh	
8.6.	0,3948		
11.6.	0,6337		

Oříznutí vrstev a snímků

Výsledné vrstvy a všechny rektifikované snímky byly oříznuty vrstvou zájmového území (obdelnik.shp) pomocí extenze *Geoprocessing*, resp. nástroje *Subset Image* v *Image Analysis*. Pouze jediná vrstva (04-26 v roce 2006) je při levém okraji menší než zájmové území, a to z důvodu špatného záběru fotoaparátu.

Plocha sněhové pokrývky

Stanovení plochy sněhové pokrývky bylo provedeno pomocí volně dostupného Avenue skriptu (Příloha č. 3), který do tabulky doplnil informaci o ploše a obvodu prvků. Plocha byla určena pouze relativně (absolutní výpočet na šikmém snímku by byl komplikovaný), stoprocentní plocha představuje plochu na snímku, kde se sníh může vyskytovat (není započtena obloha, ale plocha stromů ano).

Rastrová analýza

K rastrovým analýzám bylo nejprve potřeba převést všechny vektorové vrstvy na grid pomocí příkazu *Theme – Convert to Grid*. Byl získán grid s hodnotou 1 pro místa se sněhovou pokrývkou a hodnotou *NoData* pro místa bez sněhové pokrývky. Reklasifikací bylo docíleno gridu s hodnotou 1 pro sníh a hodnotou 0 pro „nesníh“. Takové gridy mohly vstoupit do analýzy. V rámci ročníku byly jednotlivé gridy sečteny a výsledky jsou interpretovány v kapitole 6.3.

5.3 Zpracování mapy odtávání sněhu

Posledním krokem bylo vytvoření samotné mapy znázorňující **odtávání sněhu na svahu pod Petrovými kameny**. Vizualizace proběhla v produktu ArcGIS 9.2, jenž poskytuje lepší nástroje pro tvorbu map než jeho předchůdce. Zároveň byla sjednocena legenda pro předešlé roky a znovu vytvořena mapa i pro roky 2004 a 2005.

Mapa byla nazvána „Odtávání...“, i když je zřejmé, že v průběhu zimního období mohlo přisněžit, což bylo i pozorováno (viz Tab. č. 5). Nepravidelnost pořizování snímků navíc zakrývá menší oscilace. Obecně však botaniky zajímal právě **proces odtávání sněhu** ve vztahu k výskytu a vývoji sledovaných rostlin, proto také bylo snímkováno období od dubna do června, kdy už celkově vzato dochází k úbytku sněhové pokrývky.

Z důvodu přehlednosti a návaznosti jsou na mapách zobrazeny pouze vybrané časové horizonty. Nebylo možné použít ve všech letech stejné termíny, protože se plně nepřekrývaly. Uvedené měřítko a směrovka jsou pouze orientační. Byly sestrojeny přibližně. Především měřítko se na šikmém snímku výrazně mění – tím víc, čím více se profil (zakřivení) terénu odlišuje od roviny fotografie.

5.4 Určení data výskytu poslední sněhové pokrývky v bodech

Samostatnou kapitolou pak bylo určení data výskytu poslední sněhové pokrývky ve fenologických bodech, jejichž poloha byla vyznačena na letním snímku zájmového území (Příloha č. 2). Snímek byl v Erdas Imagine rektifikován s konečnou RMS chybou 0,342.

Následovala vektorizace 40 bodů do nové bodové vrstvy v ArcView GIS a přeložení nad jednotlivé snímky (resp. vektorové vrstvy sněhové pokrývky) a odečtení termínu posledního snímku, kdy se ještě v daném místě vyskytovala sněhová pokrývka. (Tab. č. 7)

6. Výsledky zpracování

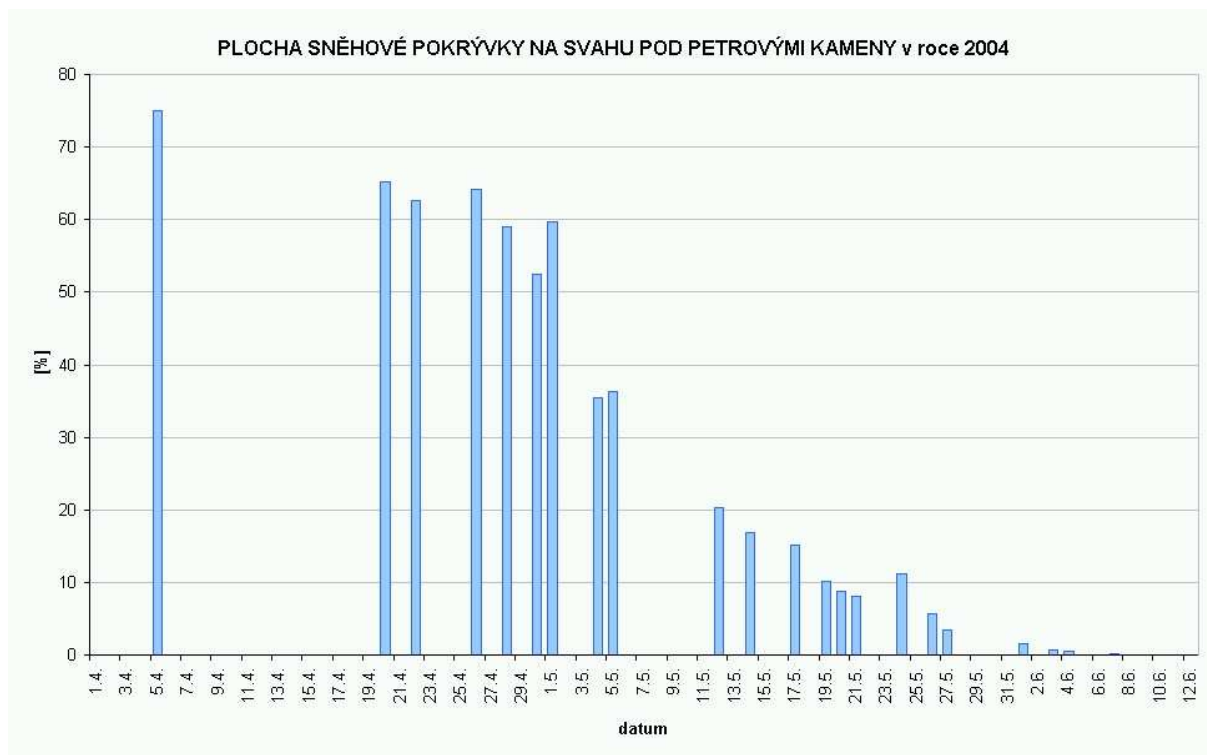
6.1 Procentuální zastoupení sněhové pokrývky na snímcích

Procentuální zastoupení sněhové pokrývky na snímcích v daných letech shrnuje tabulka č. 5 a grafy č. 1 – 4. Zastoupení sněhové pokrývky je zde podhodnoceno, neboť se jedná o šikmý snímek, ve kterém stromy zastiňují plochu, kde se s vysokou pravděpodobností vyskytuje sníh. Červená čísla v tabulce poukazují na dny, kdy došlo k přisněžení oproti předešlému snímku.

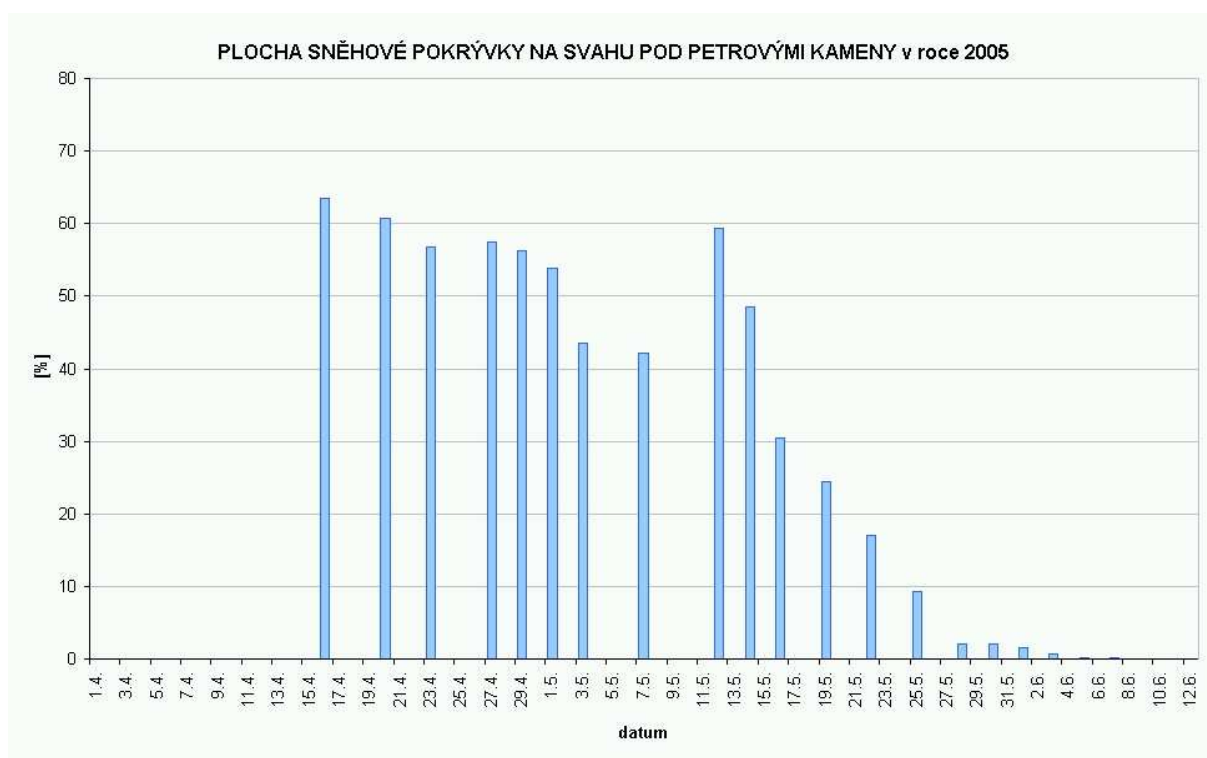
Grafy jsou konstruovány na sjednocené časové ose, aby bylo množství sněhu meziročně porovnatelné. Výrazně tak např. vystupuje situace, kdy se v květnu 2007 oproti předešlým rokům na svahu vyskytovalo už jen velmi malé množství sněhu. V roce 2005 je patrné významné přisněžení dne 12. 5. až na hodnotu téměř 60 % plochy – tento rok se tak sněhová pokrývka udržela nejdéle.

Tab. č. 5: Procentuální zastoupení sněhové pokrývky na snímcích

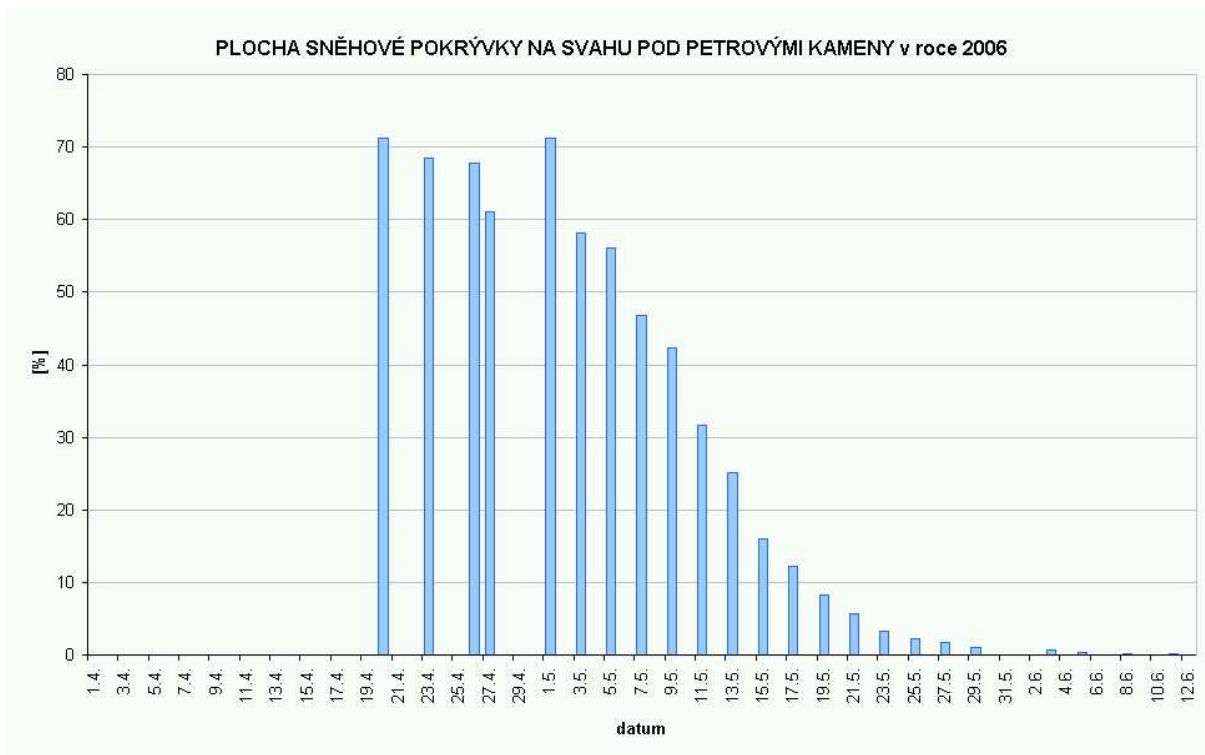
2004		2005		2006		2007	
Datum	%	Datum	%	Datum	%	Datum	%
5.4.	74,98	16.4.	63,56	20.4.	71,25	12.4.	64,57
20.4.	65,13	20.4.	60,79	23.4.	68,47	14.4.	64,95
22.4.	62,61	23.4.	56,80	26.4.	67,79	16.4.	62,01
26.4.	64,19	27.4.	57,54	27.4.	61,08	18.4.	57,99
28.4.	58,99	29.4.	56,24	1.5.	71,19	21.4.	60,67
30.4.	52,43	1.5.	53,80	3.5.	58,20	23.4.	54,10
1.5.	59,64	3.5.	43,46	5.5.	56,12	25.4.	38,89
4.5.	35,37	7.5.	42,22	7.5.	46,87	27.4.	27,48
5.5.	36,35	12.5.	59,32	9.5.	42,25	29.4.	20,25
12.5.	20,29	14.5.	48,60	11.5.	31,66	1.5.	19,40
14.5.	16,79	16.5.	30,38	13.5.	25,07	3.5.	17,16
17.5.	15,14	19.5.	24,44	15.5.	15,99	7.5.	10,06
19.5.	10,16	22.5.	17,04	17.5.	12,14	9.5.	5,55
20.5.	8,72	25.5.	9,33	19.5.	8,18	10.5.	5,55
21.5.	8,15	28.5.	2,10	21.5.	5,64	12.5.	3,58
24.5.	11,23	30.5.	2,10	23.5.	3,20	13.5.	2,12
26.5.	5,61	1.6.	1,49	25.5.	2,22	17.5.	0,97
27.5.	3,39	3.6.	0,62	27.5.	1,69	19.5.	0,43
1.6.	1,50	5.6.	0,23	29.5.	1,02	21.5.	0,22
3.6.	0,66	7.6.	0,21	3.6.	0,62	24.5.	0,00
4.6.	0,50	10.6.	0,08	5.6.	0,38		
7.6.	0,13	12.6.	0,04	8.6.	0,16		
8.6.	0,04			11.6.	0,16		



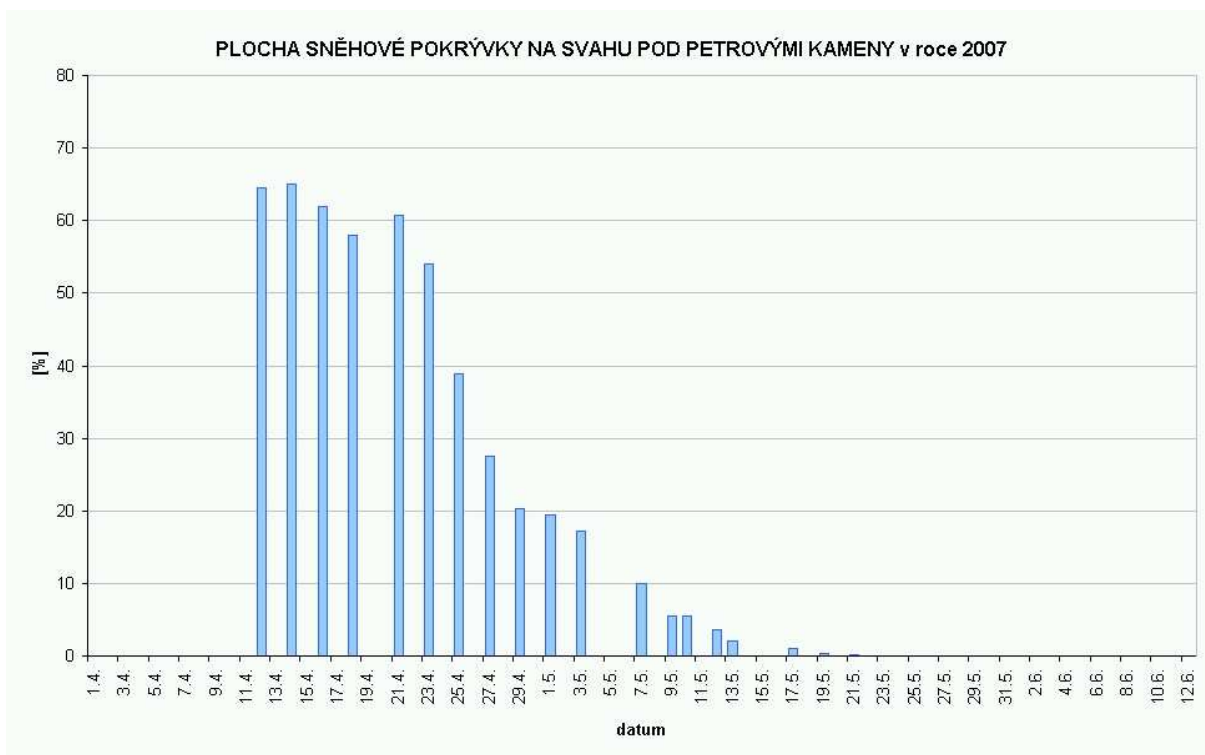
Graf č. 1: Plocha sněhové pokrývky na snímcích v roce 2004



Graf č. 2: Plocha sněhové pokrývky na snímcích v roce 2005



Graf č. 3: Plocha sněhové pokrývky na snímcích v roce 2006



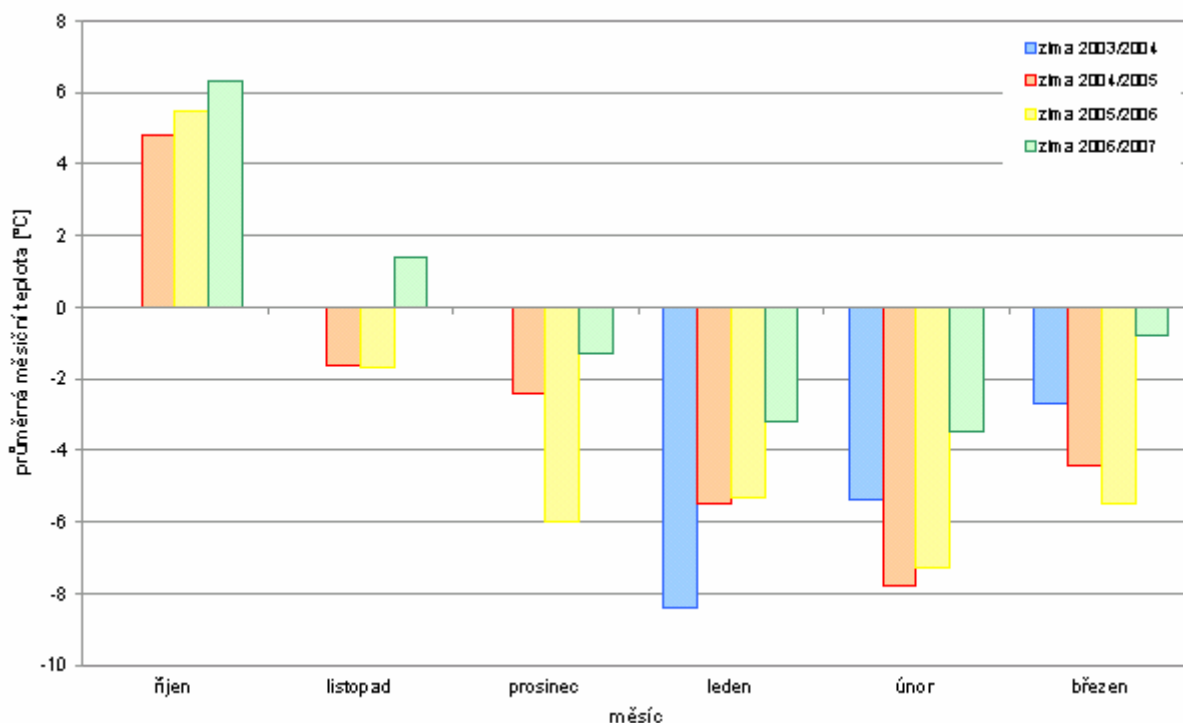
Graf č. 4: Plocha sněhové pokrývky na snímcích v roce 2007

6.2 Porovnání odtávání v jednotlivých letech

Pro tuto kapitolu byly sestaveny mapy viz Příloha 4 – 7. Zajímavé by bylo dát informaci těchto map a grafů č. 1 – 4 do souvislosti např. s provozem sjezdovky, počtem lyžařů, denní teplotou vzduchu, srážkami či výškou sněhové pokrývky na svahu a sledovat míru korelace.

Na výsledných mapách je patrné, že sníh odtává rychleji v přirozeném prostředí než na sjezdové trati. Setrvání sněhu je znatelné i na vedlejší sjezdovce napravo od vyznačené sjezdovky ve směru ze svahu.

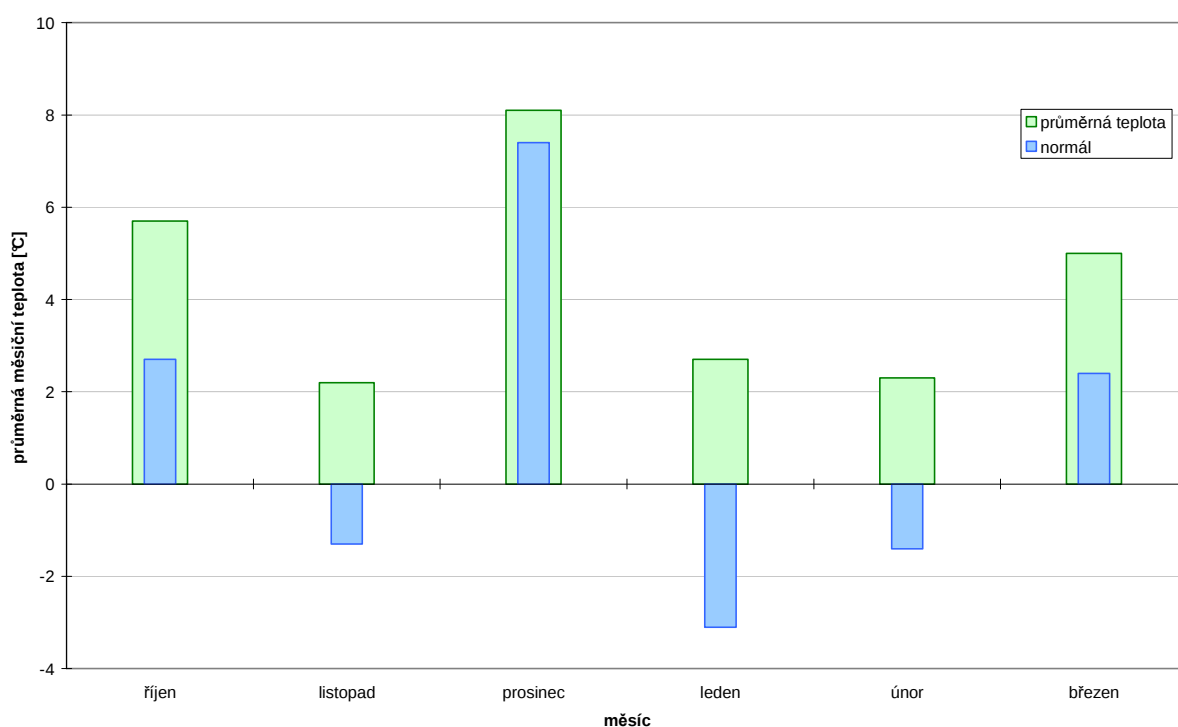
V roce 2007 odtál sníh mnohem dříve než v předešlých letech, což je mimo jiné způsobeno také tím, že zima v sezoně 2006/2007 byla velmi mírná, teplotně nadnormální. Toto tvrzení lze doložit grafem č. 5 s průměrnou měsíční teplotou vzduchu na profesionální meteorologické stanici Šerák (1327 m n. m.), která je umístěná nejbližší a ve srovnatelné nadmořské výšce, a také grafem č. 6 průměrných měsíčních teplot v celém Olomouckém kraji v období zimy 2006/2007 v porovnání s normálem období za 1961 – 1990.



Graf č. 5: Průměrná měsíční teplota v zimním půlroce na stanici Šerák v období 2003/2004 – 2006/2007 [4]
(Stanice Šerák začala měřit od 1. 1. 2004, proto nejsou uvedeny průměrné teploty měsíců říjen – prosinec 2003)

Na všech čtyřech mapách lze pozorovat fenomén delšího setrvání sněhu na pravé (východní) straně sjezdovky ve směru dolů. Příčinu se však nepodařilo odhalit.

Z mapy v roce 2005 je vidět, že sněhu bylo v sezoně dostatečné množství, zima byla dlouhá nejen v Jeseníkách.



Graf č. 6: Průměrná měsíční teplota v Olomouckém kraji v zimě 2006/2007 v porovnání s dlouhodobým normálem (1961 – 1990) [4]

Pro porovnání je uvedena tabulka č. 6, ve které je uveden poslední den se souvislou sněhovou pokrývkou na stanici Šerák a stejný den odvozený z řady snímků.

Tab. č. 6: Datum poslední souvislé sněhové pokrývky [4]

	Podle řady snímků	Na stanici Šerák
2004	1.5.	24.5.
2005	14.5.	12.5.
2006	7.5.	8.5.
2007	23.4.	15.4.

6.3 Rastrová analýza

V této kapitole byla zkoumána četnost setrvání sněhu v obrazových prvcích zájmového území. Předchozí kapitola se zabývala tím, kde je sníh nejdéle, tato pozoruje, kde je ve zkoumaném období nejčastěji. Podává tak odlišný pohled na odtávání s tím, že ukazuje jakýsi průmět všemi snímky, a není tedy citlivá na situaci, kdy sníh určitého dne překryje již holá místa dnů předchozích (přisněžení). Místa, kde se sníh vyskytoval na všech snímcích daného roku, jsou tak na mapách v přílohách č. 8 – 11 znázorněna nejtmavší barvou.

Z map opět vystupuje tmavá východní strana označené sjezdovky. Ve spodní třetině sjezdovky se tmavě vykreslují okraje silnice, tedy odhrnutý sníh z cesty. Rok 2005 je charakteristický celkově tmavší barvou, tedy souvislejší pokrývkou na většině snímků. Nejsvětlejší je naopak rok 2004, souvislejší pokrývka se udržuje především v areálu sjezdovky.

6.4 Analýza fenologických bodů

Cílem analýzy bylo určení data posledního sněhu ve fenologických bodech (Příloha č. 2) v daných letech. **Fenologické body** jsou místa, kde se provádí sezonní sledování fenologického vývoje rostlin, resp. vlivu sněhové pokrývky na daný druh vegetace. Celkově se pozoruje i druhového složení vegetace na sjezdové trati a v okolním přirozeném prostředí.

Přímo na sjezdovce se nachází 19 ze 40 bodů (v tabulce č. 7 označeny červeně). Z tabulky č. 7 lze vypožorovat (stejně jako z map odtávání), že na sjezdovce zůstává sníh po delší dobu. Navozují k tomu i zvýraznění nejdřívějšího (vždy mimo sjezdovku) a nejpozdějšího (vždy na sjezdovce) odtátí sněhové pokrývky v jednotlivých letech. Konkrétní dopady tohoto zjištění analyzují botanici přímo v terénu sledováním vývojových fází vybraných rostlin.

V roce 2007 odtál sníh celkově dříve než v předešlých letech – pouze dva body toto pravidlo porušily (48 a 92 v roce 2005).

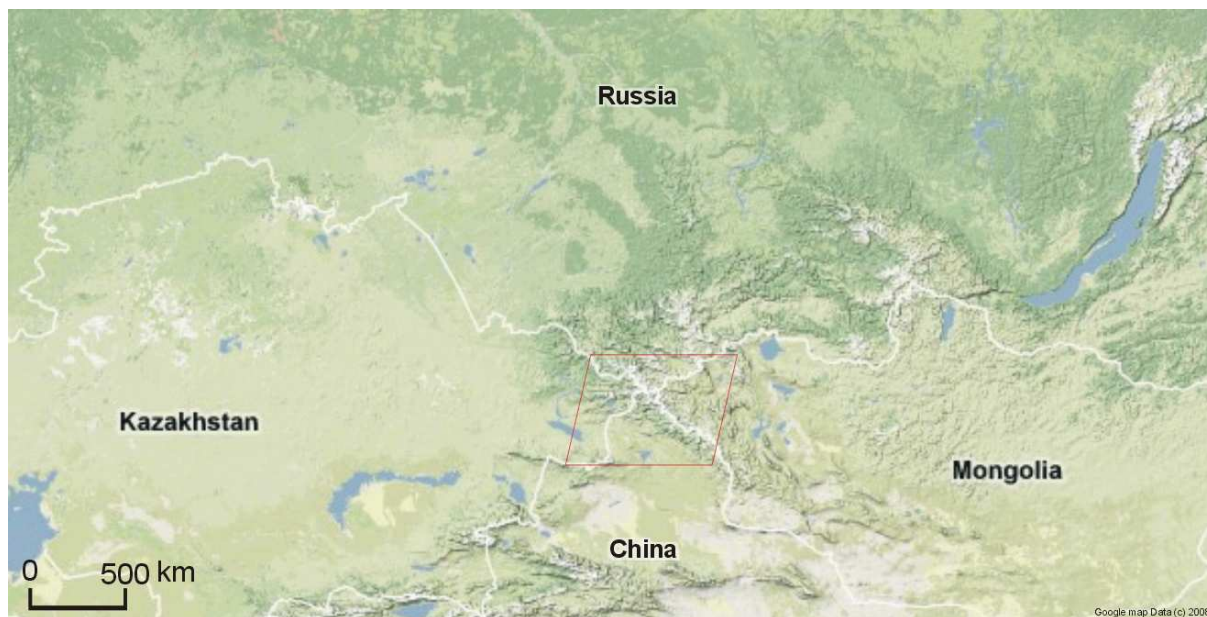
Bod č. 42 je téměř zakryt stromem, a tak určení data v jeho případě je odvozeno z charakteru nejbližšího okolí stromu.

Tab. č. 7: Datum posledního výskytu sněhu
ve fenologických bodech

číslo bodu	rok 2004	rok 2005	rok 2006	rok 2007
25	17.5.	16.5.	9.5.	25.4.
26	17.5.	19.5.	13.5.	27.4.
27	17.5.	22.5.	13.5.	27.4.
28	17.5.	22.5.	11.5.	3.5.
30	17.5.	22.5.	13.5.	3.5.
31	19.5.	25.5.	15.5.	3.5.
33	20.5.	22.5.	17.5.	3.5.
36	26.5.	25.5.	19.5.	7.5.
37	24.5.	25.5.	17.5.	7.5.
38	27.5.	25.5.	17.5.	7.5.
41	1.5.	12.5.	7.5.	23.4.
42	4.5.	14.5.	11.5.	21.4.
43	5.5.	3.5.	9.5.	25.4.
47	1.5.	29.4.	7.5.	25.4.
48	30.4.	20.4.	26.4.	23.4.
50	5.5.	19.5.	13.5.	23.4.
55	12.5.	22.5.	17.5.	23.4.
58	1.5.	16.5.	11.5.	23.4.
59	22.4.	29.4.	1.5.	16.4.
60	5.5.	19.5.	13.5.	23.4.
64	20.5.	25.5.	17.5.	7.5.
66	17.5.	25.5.	15.5.	3.5.
67	27.5.	22.5.	17.5.	29.4.
68	17.5.	25.5.	15.5.	16.4.
69	24.5.	25.5.	19.5.	3.5.
71	27.5.	28.5.	23.5.	7.5.
73	21.5.	25.5.	21.5.	3.5.
74	21.5.	25.5.	21.5.	3.5.
75	27.5.	28.5.	21.5.	7.5.
76	27.5.	28.5.	21.5.	7.5.
85	1.5.	3.5.	7.5.	21.4.
86	4.5.	3.5.	9.5.	16.4.
88	5.5.	1.5.	9.5.	23.4.
90	4.5.	3.5.	13.5.	23.4.
91	1.5.	1.5.	9.5.	21.4.
92	26.4.	20.4.	1.5.	23.4.
93	5.5.	3.5.	13.5.	23.4.
94	1.5.	1.5.	11.5.	23.4.
96	4.5.	3.5.	11.5.	23.4.
98	1.5.	29.4.	5.5.	16.4.

7. Klasifikace snímku z Landsatu

Jelikož bylo vhodné v této práci ukázat také monitoring sněhu za pomoci družicového mapování, byl vybrán snímek území kazašského národního parku Katon – Karagaj z družice Landsat. Snímek pokrývá území na styku čtyř států (Kazachstánu, Ruska, Mongolska a Číny) viz Obr. č. 4.



Obr. č. 4: Zájmové území klasifikovaného snímku (Zdroj: <http://maps.google.com/maps?hl=en&tab=wl>)

Ke klasifikaci byl využit již předzpracovaný snímek z bakalářské práce M. Hovorkové (KGI PŘF UPOL 2007), který je v surové podobě dostupný na stránkách NASA (<https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>) a který M. Hovorková již převedla z původního formátu MrSID do formátu *.img a zároveň do souřadnicového systému WGS 84 – zóna UTM 45.

Snímky byly fyzicky uloženy po jednotlivých pásmech, bylo tedy nejprve nutné je spojit do požadované kombinace. To bylo provedeno v Erdas Imagine pomocí nástroje *Layer Stack* v nabídce *Interpreter – Utilities*. Výsledkem byl jeden multispektrální snímek ve formátu *.img.

Jako první byla provedena **neřízená klasifikace** obrazu do 8 klasifikačních tříd pomocí klasifikátoru ISODATA (*Classifier – Unsupervised classification*). Poté byla provedena **řízená klasifikace** pomocí klasifikátoru Maximum Likelihood. V prvním kroku musely být definovány tzv. trénovací plochy. Těch bylo celkem 28, ale ve své

podstatě obsahovaly jen dvě kategorie – sníh a „nesníh“. Tolik jich bylo zvoleno z toho důvodu, že sníh na snímku je značně proměnlivý – mění barvu od bílé, přes namodralou až po našedivělou.

Výsledky obou klasifikací byly v konečné fázi překonvertovány do vektorové vrstvy za účelem lepší vizualizace (viz Příloha č. 12).

Řízená klasifikace vyhodnotila jako sníh 1,57krát více plochy než neřízená klasifikace. Pokud za 100 % budeme považovat plochu, kde alespoň jedna z metod vyhodnotila sníh, pak lze říci, že v 61,7 % plochy se řízená a neřízená klasifikace shodovala, 37,1 % bylo vyhodnoceno jen řízenou klasifikací a 1,2 % bylo vyhodnoceno jen neřízenou klasifikací.

8. Diskuze

Rozhodujícím faktorem, který ovlivňuje vegetaci, je **délka trvání sněhové pokrývky** v prostředí s uměle zhutněnou sněhovou pokrývkou. V přirozeném prostředí je tato délka výrazně kratší. Zpoždění odtávání sněhové pokrývky na sjezdové trati (které je doloženo mapovými výstupy této práce) až o několik dnů je zapříčiněno právě provozem sjezdových tratí a množstvím přítomných lyžařů. Větším problémem než samotné sjezdovky jsou však pravděpodobně cesty vleků, kde je vyšší koncentrace projíždějících lyžařů na malé ploše. Na sjezdovce si cestou dolů už každý volí vlastní cestu. Na druhou stranu je na vleku menší dynamika pohybu rekreatantů, a nevznikají tak rýhy, které se na trati běžně vyskytují. Zásadním hlediskem je potom dostatečná hloubka sněhové pokrývky tak, aby nedocházelo k přímému narušení vegetace. K **udusávání sněhu**, což je také významný stresor, však stále dochází.

Výhodnější pro zpracování i následnou interpretaci dat by bylo, kdyby se snímkování provádělo v **pravidelných intervalech**, což je zásadní doporučení pro podobné projekty do budoucna. Pro každé konkrétní území je třeba mít vysledováno období, kdy začíná docházet k úbytku sněhové pokrývky. Toto období lze na počátku výzkumu odvodit např. ze záznamů nejbližší meteorologické stanice.

Pro relevantní závěry podobného výzkumu je vhodná **dostupnost komplexní charakteristiky zájmového území**. Např. doba provozu rekreačního zařízení, návštěvnost areálu, typ údržby či údaje meteorologického měření a pozorování, včetně výšky (hloubky) sněhové pokrývky.

ZÁVĚR

Monitorovat kryosféru můžeme prakticky v jakékoliv části spektra, přičemž různé jevy se sledují v různých částech. Nejpoužívanější monitoring je však ve třech oblastech elektromagnetického spektra. První je viditelná část spektra, která je ale často znehodnocována oblačností. Další využívanou částí spektra je blízká a střední infračervená. Opět bývá (i když méně) devalvována oblačností. Třetí velmi využívanou částí spektra je mikrovlnná, kterou již oblačnost nikterak nepostihuje.

Pomocí dálkového průzkumu země je možné získat nejen regionální charakteristiky sněhové pokrývky, ale sleduje se například i plošný rozsah sněhové pokrývky a ledovců, mocnost, pohyb ledovců či ker (směr a rychlost), tání, telení (lámání), stáří.

Družic vhodných k monitorování sněhové pokrývky je na oběžné dráze mnoho, avšak ani jedna není zaměřena ryze na sníh či led.

Podle dostupných informací by měla být tento rok vypuštěna do vesmíru družice CryoSat-2 s cílem monitorovat změny rozsahu a tloušťky ledu v polárních oblastech, a tím přispívat ke studiu globálních změn klimatu.

Řešitelům zmíněného projektu byly předány požadované relevantní výstupy včetně nově vytvořených dat. Zjištěné údaje byly dále interpretovány a využity pro potřeby botanického a biogeografického výzkumu v zájmové lokalitě. Vědce především zajímal vliv rekreačních aktivit (sjezdového lyžování) na konkrétní zmapované výskyty druhů rostlin v chráněném území. Metody DPZ a GIS jsou v takové aplikaci schopné poskytnout podklady pro nezbytný terénní výzkum botanického charakteru. Závěry zjištěné metodami DPZ a GIS musejí být dány do vztahu s výsledky terénního zkoumání konkrétních rostlin na zájmovém svahu a na základě míry korelace je pak usuzováno na sílu vlivu lidských aktivit na životní prostředí a případně také přistoupeno k omezení provozu rekreačních zařízení. V takové aplikaci je tedy důležitá kooperace odborníků různého vědeckého zaměření s tím, že geoinformatik zde zajišťuje zejména podporu.

RÉSUMÉ

The aim of this work was to describe the usage of RS data in snow cover monitoring. In the theoretical part the basic physical and chemical characteristics of snow and ice was proposed. The snow properties on the images from different bands were described. And the overview of satellites acceptable for monitoring of snow cover was made.

In the practical part the oblique photo images were processed at first. There was a set of 23 photos for year 2006 and 19 photos for year 2007. This part of the work was solved within the project of Ministry of Environment of the Czech Republic – *Assessment of tourism impacts on biotopes in large scale protected areas*.

The task was to create ESRI Shapefile layers of snow cover for each available image of years 2006 and 2007. And to create maps of snow cover where the snow melting would be shown for years from 2004 till 2007. Applied botanical part of the project was done by the leader of the project.

The geometric corrections with polynomial rectification were performed in Erdas Imagine software. The selection of the snow on the images took place in ArcView GIS with extension Image Analysis using the Seed Tool. The output map creation was done using ArcGIS. Using Avenue scripting language, the statistics of percentage of snow cover for each image was made.

The other outputs of my thesis were raster analysis outputs. The goal was to show the melting process in different point of view. The analysis of phenological points was also important.

The classification of the Landsat satellite image was performed – firstly by unsupervised classification, secondly by supervised one.

LITERATURA

- [1] **DOBROVOLNÝ, P.:** *Dálkový průzkum Země. Digitální zpracování obrazu.* Brno, Přírodovědecká fakulta Masarykovy Univerzity, 1998. 200 s.
- [2] **HALOUNOVÁ, L. – PAVELKA, K.:** *Dálkový průzkum země.* Praha, Vydavatelství ČVUT, 2005. 192 s.
- [3] **HOVORKOVÁ, M.:** *Mapa vegetačního pokryvu NP Katon – Karagaj, Altaj, Východní Kazachstán.* [Bakalářská práce] Katedra geoinformatiky, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci, 2007. 41 s.
- [4] Interní databáze CLIDATA Českého hydrometeorologického ústavu.
- [5] **KOSKINEN, J.:** *Snow monitoring using microwave radars.* [Disertační práce] Espoo, Helsinki University of Technology, Laboratory of Space Technology, 2001. 31 s.
- [6] **LEDNICKÝ, V.:** *Sněhové poměry na Pradědu za období 1947/48 až 1971/72.* Hydrometeorologický ústav Ostrava. Meteorologické zprávy, 1973. s. 52 – 58.
- [7] **PAVELČÍK, P.:** *Vybrané fyzikální vlastnosti sněhové pokrývky a jejich vliv na vegetaci v alpském stupni.* [Bakalářská práce] Katedra ekologie a životního prostředí, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci, 2005. 65 s.
- [8] **REES, W. G.:** *Remote Sensing of Snow and Ice.* Cambridge University, England, 2006. 286 s.
- [9] **TOLASZ, R. (editor):** *Atlas podnebí Česka = Climate Atlas of Czechia.* Praha – Olomouc, Český hydrometeorologický ústav, Univerzita Palackého v Olomouci, 1. vydání, 2007. 256 s.
- [10] **VOŽENÍLEK, V.:** *Diplomové práce z geoinformatiky.* Olomouc, Univerzita Palackého v Olomouci, 1. vydání, 2002. 62 s.
- [11] **VYSOUDIL, M.:** *Meteorologie a klimatologie.* Olomouc, Univerzita Palackého v Olomouci, 1. vydání, 2004. 282 s.
- [12] **Arcdata Praha – Erdas Imagine** [online], [cit. 15. 11. 2007]. Dostupné z <<http://www.arcdata.cz/software/leica-geosystems/erdas-imagine>>
- [13] **Arcdata Praha – ArcView 3.x** [online], [cit. 15. 11. 2007]. Dostupné z <<http://www.arcdata.cz/software/esri/ostatni-software/arcview-3>>
- [14] **Arcdata Praha – ArcGIS Desktop** [online], [cit. 18. 4. 2008]. Dostupné z <<http://www.arcdata.cz/produkty-a-sluzby/software/esri/arcgis-desktop/>>
- [15] **BANÁŠ, M. – HOŠEK, J. – ZEIDLER, M. – DUCHOSLAV, M.:** *Předběžná zpráva o vlivu rozdílných podmínek na alpskou vegetaci – příkladová studie výzkumu na svahu pod Petrovými kameny* [online], [cit. 20. 4. 2008]. Dostupné z <www.marekbanas.com/soubory/soubor7.pdf>

- [16] **CAT. INIST** [online], [cit. 6. 4. 2008]. Dostupné z <<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=17310924>>
- [17] **CIOŁKOSZ, A.:** *Zmiany pokrywy lodowej na globie ziemskim* [online], [cit. 7. 4. 2008]. Dostupné z <http://www.czasiprzestrzen.wuw.pl/?id=str,zmiany_pokrywy,1,0>
- [18] **Earth Observing System** [online], [cit. 7. 10. 2007]. Dostupné z <<http://eospsso.gsfc.nasa.gov/index.php>>
- [19] **Glaciologie – ABZ.cz: slovník cizích slov** [online], [cit. 22. 11. 2007]. Dostupné z <<http://slovník-cizich-slov.abz.cz/web.php/slovo/glaciologie>>
- [20] **Global Land Ice Measurements from Space** [online], [cit. 12. 11. 2007]. Dostupné z <<http://www.glims.org>>
- [21] **Global Outlook for Ice and Snow, UNEP GRID-Arendal, Maps and graphics** [online], [cit. 20. 4. 2008]. Dostupné z <<http://maps.grida.no/go/collection/global-outlook-for-ice-and-snow>>
- [22] **Global Outlook for Ice and Snow, UNEP GRID GEO** [online], [cit. 20. 4. 2008]. Dostupné z <http://www.unep.org/geo/geo_ice/>
- [23] **Gisat / IRS / První generace družic IRS** [online], [cit. 2. 4. 2008]. Dostupné z <<http://www.gisat.cz/content/cz/dpz/prehled-druzicovych-systemu/irs/prvni-generace-druzic-irs>>
- [24] **HOLZER, T. – BAUMGARTNER, M.F. – APFL, G.:** *Monitoring Swiss alpine snow cover variations using digital NOAA-AVHRR data*. International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1995 [online], [cit. 20. 4. 2008]. Dostupné z <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=524020>
- [25] **ICESat** [online], [cit. 25. 3. 2007]. Dostupné z <<http://icesat.gsfc.nasa.gov/index.html>>
- [26] **Klimatické poměry** [online], [cit. 6. 4. 2008]. Dostupné z <<http://www.jeseniky.ochranaprirody.cz/index.php?cmd=page&id=398>>
- [27] **Kryosféra – GLOBAL.WEBZ.CZ** [online], [cit. 14. 6. 2007]. Dostupné z <<http://www.global.webz.cz/kryo.html>>
- [28] **Kryosféra – Wikipedie, otevřená encyklopedie** [online], [cit. 22. 11. 2007]. Dostupné z <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Kryosféra>>
- [29] **Landsat** [online], [cit. 12. 11. 2007]. Dostupné z <<http://landsat.gsfc.nasa.gov/>>
- [30] **Objekty cestovního ruchu NPR Praděd** [online], [cit. 15. 11. 2007]. Dostupné z <<http://www.geoinformatics.upol.cz/studium/bakalarky/Safarikova2001/CR/index.html>>
- [31] **Petrovy kameny** [online], [cit. 15. 11. 2007]. Dostupné z <<http://www.tisicovky.cz/cs/hory/hruby-jesenik/vysoka-hole-hlv8/petrovy-kameny-vv8a/>>
- [32] **Petrovy kameny – Wikipedie, otevřená encyklopedie** [online], [cit. 15. 11. 2007]. Dostupné z <http://cs.wikipedia.org/wiki/Petrovy_kameny>

- [33] **RADARSAT** [online], [cit. 12. 11. 2007]. Dostupné z <<http://www.space.gc.ca/asc/eng/satellites/radarsat1/default.asp>>
- [34] **Requiem pro satelitní misi CryoSat – National Geographic Česko** [online], [cit. 12. 11. 2007]. Dostupné z <<http://www.national-geographic.cz/detail.asp?id=1091>>
- [35] **SVS Animation – Global Snow Cover from MODIS** [online], [cit. 6. 4. 2008]. Dostupné z <<http://svs.gsfc.nasa.gov/vis/a000000/a002400/a002484/index.html>>
- [36] **SVS Animation – A tour of cryosphere** [online], [cit. 6. 4. 2008]. Dostupné z <<http://svs.gsfc.nasa.gov/vis/a000000/a003100/a003181/index.html>>
- [37] **SVS Animation – Blue Marble** [online], [cit. 6. 4. 2008]. Dostupné z <<http://svs.gsfc.nasa.gov/vis/a000000/a002900/a002915/index.html>>
- [38] **Terra** [online], [cit. 12. 11. 2007]. Dostupné z <<http://www.sci.muni.cz/~dobro/Terra.html>>
- [39] **Územní srážky a teploty** [online], [cit. 6. 4. 2008]. Dostupné z <<http://www.chmi.cz/OS/UData/>>
- [40] **Visible Earth – databáze snímků NASA** [online], [cit. 12. 11. 2007]. Dostupné z <<http://visibleearth.nasa.gov>>
- [41] **Vista – Geowissenschaftliche Fernerkundung GmbH** [online], [cit. 6. 4. 2008]. Poslední aktualizace 20. 11. 2007. Dostupné z <<http://www.vista-geo.de/engl/projects/frameset.htm>>
- [42] **Vlastnosti sněhu** [online], [cit. 11. 10. 2007]. Dostupné z <<http://ekologie.upol.cz/ku/zhoek/kurz2004/vlastnosti.pdf>>
- [43] **Výuka předmětu DPZ** [online], [cit. 12. 11. 2007]. Dostupné z <http://www.geogr.muni.cz/archiv/vyuka/DPZ_CVICENI/Texty/>

PŘÍLOHY

Seznam vázaných příloh

Příloha č. 1: Lokalizační mapa CHKO Jeseníky

Příloha č. 2: Lokalizace fenologických bodů na svahu pod Petrovými kameny

Příloha č. 3: Avenue skript

Příloha č. 4: Odtávání sněhové pokrývky na svahu pod Petrovými kameny na jaře 2004

Příloha č. 5: Odtávání sněhové pokrývky na svahu pod Petrovými kameny na jaře 2005

Příloha č. 6: Odtávání sněhové pokrývky na svahu pod Petrovými kameny na jaře 2006

Příloha č. 7: Odtávání sněhové pokrývky na svahu pod Petrovými kameny na jaře 2007

Příloha č. 8: Počet snímků se sněhovou pokrývkou na jaře 2004

Příloha č. 9: Počet snímků se sněhovou pokrývkou na jaře 2005

Příloha č. 10: Počet snímků se sněhovou pokrývkou na jaře 2006

Příloha č. 11: Počet snímků se sněhovou pokrývkou na jaře 2007

Příloha č. 15: Popis dat na DVD

Seznam volných příloh

Příloha č. 12: Řízená a neřízená klasifikace snímku z Landsatu

Příloha č. 13: Poster

Příloha č. 14: DVD

Seznam příloh na DVD

Příloha č. 16: Metadatový formulář

Příloha č. 17 – 20: Animace odtávání 2004 až 2007

Příloha č. 3: Avenue skript

```
theView = av.GetActiveDoc
thePrj = theView.GetProjection
if (thePrj.IsNull) then
hasPrj = false
else
hasPrj = true
end

theActivethemeList =
theView.GetActivethemes
if (theActivethemeList.Count = 0) then
MsgBox.Error("No active themes.", "")
Exit
end
```

Loop through the list of active themes. If you can't edit the theme inform the user.

```
For Each thetheme in
theActivethemeList
theFTab = thetheme.GetFTab
if (theFTab.CanEdit.Not) then
MsgBox.Info("Cannot edit table for
theme:"++thetheme.AsString,"")
Continue
end
```

Make the FTAB editable, and find out which type of feature it is.

```
theFTab.SetEditable(TRUE)
theType =
theFTab.FindField("shape").GetType
if (theType = #FIELD_SHAPEPOLY) then
```

If it's polygonal check for the existence of the fields "Area" and Acre and Perimeter. If they do not exist, create them.

```
AREA
if (theFTab.FindField("Area") = nil)
then
theAreaField =
Field.Make("Area", #FIELD_DOUBLE, 16, 3)
theFTab.AddFields({theAreaField})
else
ok = MsgBox.YesNo("Update Area
for"++thetheme.getName+"?",
"Calculate", true)
if (ok.Not) then
continue
end
theAreaField =
theFTab.FindField("Area")
end
```

```
ACRE
if(theFTab.FindField("Acres") = nil)
then
```

```
theAcresField =
Field.Make("Acres", #FIELD_DOUBLE, 16, 3)
theFTab.AddFields({theAcresField})
else
ok = MsgBox.YesNo("Update
Acres"++thetheme.getName+"?",
"Calculate", true)
if (ok.Not) then
continue
end
theAcresField =
theFTab.FindField("Acres")
end
```

```
PERIMETER
if (theFTab.FindField("Perimeter") =
nil) then
thePerimeterField =
Field.Make("Perimeter", #FIELD_DOUBLE, 16, 3)
theFTab.AddFields({thePerimeterField})
else
ok = MsgBox.YesNo("Update
Perimeter"++thetheme.getName+"?",
"Calculate", true)
if (ok.Not) then
continue
end
thePerimeterField =
theFTab.FindField("Perimeter")
end
```

Loop through the FTAB and find the projected area and perimeter of each shape and set the field values appropriately.

```
theShape =
theFTab.ReturnValue(theFTab.FindField(
"shape"), 0)
```

```
For Each rec in theFTab
theFTab.QueryShape(rec, thePrj, theShape
)
theArea = theShape.ReturnArea
theAcres = theArea*10000000000
thePerimeter = theShape.ReturnLength
theFTab.SetValue(theAreaField, rec, theA
rea)
theFTab.SetValue(theAcresField, rec, the
Acres)
theFTab.SetValue(thePerimeterField, rec
, thePerimeter)
end
```

```
theFTab.SetEditable(FALSE)
else
MsgBox.Info("You must use this script
on a polygon theme.",
"View.CalculateAcreage")
return Nil
end end
```

Příloha č. 15: Adresářová struktura:

data\vstupni_data\odtavani_snehu_2006_jpg (23 souborů)

data\vstupni_data\odtavani_snehu_2007_jpg (20 souborů)

data\vstupni_data\pomocne_soubory (2 soubory)

data\vstupni_data\snimky_landsat_2000\georef (9 souborů)

data\vystupni_data\fenol_body (2 soubory)

data\vystupni_data\klasifikace_landsat (4 soubory)

data\vystupni_data\odtavani2006\referencovane_img_orez (23 souborů)

data\vystupni_data\odtavani2006\shapefiles_orez_2006 (23 souborů)

data\vystupni_data\odtavani2007\referencovane_img_orez (19 souborů)

data\vystupni_data\odtavani2007\shapefiles_orez_2007 (19 souborů)

data\vystupni_data\vypocty\grid_2004 (24 složek)

data\vystupni_data\vypocty\grid_2005 (23 složek)

data\vystupni_data\vypocty\grid_2006 (24 složek)

data\vystupni_data\vypocty\grid_2007 (20 složek)

text\dp_tolaszova2008.pdf

text_prilohy\ (15 souborů)

text_prilohy\prilohy_pouze_na_dvd\animace_odtavani (8 souborů)

web\ (3 složky a 14 souborů)

web\css\ (3 soubor)

web\prilohy\ (24 souborů)