

**UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE**  
**Přírodovědecká fakulta**  
Katedra fyzické geografie a geoekologie



**Monitoring sněhové pokrývky v povodí Zlatého potoka**

Snow cover monitoring in the Zlatý brook catchment

Bakalářská práce

Slávek Podzimek

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Michal Jeníček

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu práce RNDr. Michalu Jeníčkovi za vedení práce, cenné rady a připomínky k práci.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, a že jsem všechny použité prameny řádně citoval.

Svoluji k zapůjčení této práce pro studijní účely a souhlasím s tím, aby byla řádně vedena ve fondu knihovny.

V Praze dne .....

Slávek Podzimek

# OBSAH

1	Úvod.....	5
1.1	Cíle práce.....	6
1.2	Struktura práce .....	6
2	Teoretické poznatky .....	7
2.1	Vznik kapalných a pevných srážek .....	7
2.1.1	Vývojové fáze sněhu .....	7
2.2	Fyzikální vlastnosti sněhu .....	8
2.2.1	Hustota sněhu .....	8
2.2.2	Tvary a velikosti krystalických jader .....	9
2.2.3	Vodní hodnota sněhu.....	9
2.3	Metody měření výšky sněhu .....	10
2.3.1	Staniční měření.....	10
2.3.2	Mobilní terénní výzkum .....	14
2.3.3	Měření sněhu DPZ .....	15
2.4	Vliv vegetace na ukládání sněhu .....	16
2.5	Vliv nadmořské výšky na ukládání sněhu.....	17
3	Fyzickogeografická charakteristika povodí .....	18
3.1	Geografická poloha .....	18
3.2	Geologická stavba .....	19
3.3	Geomorfologie .....	20
3.4	Půda.....	21
3.5	Klima.....	21
3.5.1	Teplotní poměry .....	22
3.5.2	Srážkové poměry.....	22
3.5.3	Sněhové poměry.....	23
3.6	Hydrologie.....	24
3.7	Vegetační pokryv .....	24
4	Materiál a metody.....	26
4.1	Měření dat .....	26
4.2	Rozdělení vegetačního pokryvu .....	28
4.3	Zpracování dat.....	29
5	Výsledky.....	31
5.1	Vyhodnocení bodových měření .....	31
5.2	Vyhodnocení interpolací .....	38
6	Diskuze.....	42
6.1	Chyby při měření a zpracování dat .....	42
6.2	Zhodnocení vlivu vegetace a nadmořské výšky.....	43
6.3	Náměty do budoucna.....	43
7	Závěr.....	45
8	Seznam použité literatury .....	46
8.1	Datové zdroje .....	47
9	Seznam použitých obrázků.....	48
10	Seznam tabulek .....	49

## **Monitoring sněhové pokrývky povodí Zlatého potoka**

### **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá problematikou hydrologie sněhu, variabilitou výšky a vodní hodnoty sněhové pokrývky v modelovém povodí Zlatého potoka situovaném v oblasti Krušných hor. Práce popisuje zpracování a analýzu naměřených dat během zimní sezóny 2008/2009. Zkoumá vlivu vegetačního pokryvu a nadmořské výšky na ukládání sněhové pokrývky. Práce ukazuje možnosti technik interpolací charakteristik sněhu. Popisuje metody měření základních hydrologických vlastností sněhu.

**Klíčová slova:** hydrologie sněhu, vodní hodnota sněhu, sněhová pokrývka, Krušné hory

## **Snow cover monitoring in the Zlatý brook catchment**

### **Abstract**

The bachelor thesis handles the issue of snow hydrology. It deals with the variability and water equivalent of the snow cover in the basin of the Zlatý Brook in the Ore Mountains. It processes and analyses the data taken during the winter season of 2008/2009. It examines the influence of vegetation cover and altitude on the accumulation of the snow cover. It also presents the possibilities of interpolation of the snow characteristics and methods of measuring the basic hydrological attributes of snow.

**Key words:** snow hydrology, snow water equivalent, snow cover, Krušné hory

# 1 Úvod

V mírném podnebném pásu je sníh nedílnou součástí života především v zimním období. Přináší nejen radosti v podobě zimních sportů, ale také působí starosti. Množství sněhu v zimním období ovlivňuje dopravu v horských i městských oblastech. Během jarního období dochází často k rychlému tání, které je umocněno kapalnými srážkami, prudkým oteplením, větrem a nerovnoměrným uložením sněhu v horských oblastech. Jarní povodně působí často velké ztráty na majetku a někdy i na lidských životech. Znalost množství vody akumulované ve sněhové pokrývce v horských oblastech je důležitá pro předpověď, která může ochránit majetek a lidské životy. Modely pro výpočet odtoku ze sněhové pokrývky v dnešní době již poskytují použitelné výsledky, avšak stále je potřeba jejich další zdokonalování. Pro lepší nastavení těchto modelů je důležité podrobně znát zákonitosti ukládání a tání sněhu.

Na ukládání sněhové pokrývky má kromě rozdělení atmosférických srážek vliv např. vegetace a geomorfologický charakter oblasti. Vegetace způsobuje intercepci, tedy zachycování sněhu v korunách stromů. Takto zachycený sníh někdy zůstane na větvích po velmi dlouhou dobu. Vlivem větru nebo vlastní hmotnosti spadne na zem v podobě ledových krystalů či v období tání v podobě kapek. Vegetace chrání sníh ležící pod ní před přímým slunečním zářením, a tak nedochází k roztávání sněhu v takové míře jako na volných prostranstvích bez vegetace.

Dalším velmi zásadním vlivem působícím na ukládání sněhu v horských oblastech je nadmořská výška. Během zimy často v nižších polohách prší nebo po dopadnutí na zem sníh roztává a v horských oblastech sněží a vytváří se sněhová pokrývka. V podmínkách horských poloh se sněhová pokrývka akumuluje po několik měsíců zimního období. Oproti tomu v nižších polohách dochází během zimy několikrát k oblevám sněhu.

Tato práce se věnuje zhodnocení výše uvedených faktorů v modelovém povodí Zlatého potoka, které má výškový rozdíl 268 metrů a plochu 5,6 km<sup>2</sup>. Území povodí je pokryté smrkovými monokulturami, které vytváří mnoho rozmanitých skupin lesního porostu od otevřených ploch přes mýtiny až po hustý těžko průchodný les.

## 1.1 Cíle práce

Před zpracováním práce byly stanoveny následující cíle:

- Analýza měření sněhu, jenž proběhla ve třech kampaních v zimě 2008/2009 v povodí Zlatého potoka
- Zhodnocení vlivu nadmořské výšky na výšku sněhové pokrývky a vodní hodnotu sněhu ve sledovaném povodí
- Zhodnocení vlivu vegetace na ukládání sněhu, výšku sněhové pokrývky a vodní hodnotu sněhu

## 1.2 Struktura práce

V první část jsou uvedeny informace o hydrologických a fyzikálních vlastnostech sněhu a jeho významu pro hydrologii. V další části jsou metody získávání dat ve stanicích, sněhoměry, terénním výzkumem a pomocí dálkového průzkumu země (dále jen „DPZ“). Tyto části jsou především rešeršemi odborné domácí, světové literatury a vědeckých článků. Třetí část popisuje fyzickogeografické charakteristiky experimentálního povodí, z hlediska hydrologie, geomorfologie, geologie, pedologie a klimatu. Čtvrtá kapitola se věnuje metodice, tedy popisu získávání a zpracování podkladových dat, které jsou podrobeny analýze. Výsledky a popis analýz dat jsou uvedeny v páté části práce. V poslední části je kritická diskuze nad měřením, zpracováním a analýzou naměřených charakteristik sněhové pokrývky.

## 2 Teoretické poznatky

V této kapitole jsou popsány fyzikální charakteristiky sněhu, vliv vegetace na ukládání a tání sněhu. Dále jsou uvedeny metody měření sněhu ve stanicích, terénním výzkumem a pomocí DPZ.

Pod pojmem sněhová pokrývka rozumíme vrstvu sněhu nebo ledu, která přímo nebo nepřímo vznikla v důsledku vypadávání pevných srážek (sníh, kroupy, sněhové krupky, sněhová zrna, zmrzlý déšť, námrazové krupky, náledí, zmrázky). Nepatří sem ledovka, která vzniká při dopadu kapalných srážek na zmrzlý povrch (Netopil, 1984).

### 2.1 Vznik kapalných a pevných srážek

Kapalné srážky v atmosféře vznikají nabalováním kapiček vody na tzv. kondenzační jádra, většinou částičky prachu, mořské soli a ledových krystalů. Když se jejich velikost zvýší natolik, že je výstupné proudy nemohou udržet, dojde k jejich vypadávání. Podle teploty vznikají buď srážky kapalné (dešťové) nebo pevné, sněžení (Netopil, 1984).

Aby se jednalo o sněhovou pokrývku, musí po spadnutí na zem sníh zůstat v pevném skupenství, proto je důležité, aby podklad, na který spadl sníh, měl teplotu stejnou nebo nižší než 0°C. Další faktorem, který má vliv na to, aby se spadlý sníh mohl označovat sněhovou pokrývku, je plocha, kterou pokrývá. Podle metodické příručky ČHMÚ pro pozorovatele se měří pouze výška souvislé sněhové pokrývky, pokrývající alespoň polovinu půdy na pozemku stanice, a musí být vyšší než 0,5 cm, jinak je označována jako poprašek (Žídek a Lipina, 2003).

#### 2.1.1 Vývojové fáze sněhu

Sníh prochází 3 hlavními vývojovými fázemi

- akumulace sněhu
- dozrávání sněhu
- tání sněhu

Akumulace sněhu je proces vypadávání sněhových srážek, které následně zůstávají na povrchu a nedochází k jejich okamžitému roztátí. Sníh vypadává v různých tvarech a velikostech. Vliv na vypadávání sněhu má vítr spolu s orografickými vlastnostmi oblasti, např. návětrným efektem. To znamená, že na návětrných plochách reliéfu se hromadí méně sněhu než na závětrných plochách (DeWalle a Rango, 2008).

Při dozrávání sněhu dochází k změně molekulární struktury. Mění se šesterečná soustava vloček a jejich velikost. Tento proces je velmi ovlivněn střídáním kladných a záporných teplot sněhové pokrývky. Sníh sesedá a zvyšuje se jeho hustota.

Každá tato fáze je závislá na energetických procesech uvnitř sněhové pokrývky. Tyto procesy lze vyjádřit rovnicí 1 (Jelínek, 2007)

$$Q_m = Q_n + Q_g + Q_c + Q_e + Q_p \quad (1)$$

$Q_m$  – výsledná bilance tepla [J]

$Q_n$  – teplo dodané slunečním zářením [J]

$Q_g$  – teplo z půdního podloží [J]

$Q_c$  – teplo dodané vrstvou vzduchu [J]

$Q_e$  – latentní teplo [J]

$Q_p$  - teplo dodané srážkami [J]

Pokud je  $Q_m$  kladné dochází ke zvyšování tepla sněhu na hranici 0°C. Při dosažení této hranice dochází k tání sněhu. Přejít z tuhého skupenství do kapalného. Kapičky vody pomalu stékají do spodních částí sněhové pokrývky. Pokud není půda zmrzlá vsakují se a tvoří bazální odtok, jinak odtékají po povrchu. Záporná bilance  $Q_m$  má za důsledek promrzání sněhu.

## 2.2 Fyzikální vlastnosti sněhu

### 2.2.1 Hustota sněhu

Hustota sněhu je pro hydrology důležitým ukazatelem (viz tab. 1). Sníh se po spadnutí přeměňuje. Hlavní přeměnou je změna tvaru krystalu a fyzikálních vlastností sněhu. Na tuto přeměnu působí několik činitelů: srážky, teplota, vítr, opakované tání povrchové vrstvy sněhu. Avšak čas bývá tím dominantním faktorem přeměny sněhu z vločky na firm (Singh a Singh, 2001).

Tab. 1: Hustota sněhu v závislosti na charakteru sněhu.

Typ sněhu	Hustota [g.cm <sup>-3</sup> ]
Nový sníh (za nízkých teplot v bezvětří)	0.01-0.03
Nový sníh	0.05-0.07
Navlhý nový sníh	0.10-0.20
Sesedlý sníh	0.20-0.30
Větrem zhuštěný nový sníh	0.35-0.40
Firm	0.40-0.65
Velmi mokrá sníh a firm	0.70-0.80





















Zdroj: Singh a Singh, 2001



## 2.2.2 Tvary a velikosti krystalických jader

Sněhové krystaly se formují v šesterečné krystalografické soustavě. Když se nahromadí na zemském povrchu, začnou se modifikovat a časem se zvyšuje jejich hustota. Tvar a velikost především závisí na teplotě a vlhkosti, při které vznikají. Tvary jsou různé a na obrázku 1, vidíme jejich klasifikaci podle IAHS/Unesco/WMO z roku 1970. Nejčastěji vznikají dendrity při teplotě blízké 0°C, které se spojují v tzv. vločky (Singh a Singh, 2001).

Obr. 1: Tvary a velikosti sněhových krystalů.

Název	Tvar krystalu	Označení krystalu	Grafický symbol	Velikost (mm)
Destičky		F1		0-12
Hvězdice		F2		1-8
Sloupky (Pyramidy)		F3		1-4
Jehlice		F4		2-8
Dendrity		F5		2-8
Uzavřené sloupky		F6		1-4
Nepravidelný krystaly		F7		1-8
Krupky		F8		1-5
Ledové kuličky		F9		0.5-5
Kroupy		F0		5-100

Zdroj: Singh a Singh, 2001

## 2.2.3 Vodní hodnota sněhu

Z hydrologického hlediska je vodní hodnota nejdůležitější kazatel sněhové pokrývky. Tato hodnota ukazuje množství vody akumulované sněhovou pokrývkou ve zkoumaném povodí. Měří se v milimetrech - jako srážky. Vodní hodnota sněhu je množství vody, které vznikne po rozpuštění sněhu a přepočtení na plochu, ze které byl odebrán. Nejmenší vodní hodnotu má čerstvě napadlý sníh za nízkých teplot, cca 1 cm prašanu je 1 mm vody (Singh a Singh, 2001).

Znalost množství vody v akumulovaném sněhu je zásadní pro předpověď odtoku vody z povodí při jarním tání a pro předpovídání lavinového nebezpečí (DeWalle a Rango, 2008).

Vodní hodnota je měřena všemi klimatologickými a meteorologickými stanicemi jednou týdně v pondělí (Bercha a kol., 2007). Stanic je asi 800 a pro operativní potřeby je 300 stanic. Měří se v blízkosti stanice na volném prostranství srážkoměrem nebo na stanicích ležících ve vyšších nadmořských výškách váhovým sněhoměrem. Dle potřeby je prováděno též terénní měření nepravidelné během zimního období. Obtíže provázené při měření vodní hodnoty, např. průřez odběrného válce a vypadávání vzorků, vedly k odvození vzorce pro výpočet vodní hodnoty L. Němcem (Bercha a kol., 2007). Tato metoda umožňuje spočítat vodní hodnotu na základě dat, pořízených na srážkoměrných a klimatologických stanicích. Tato metoda ukázala podhodnocení měření vodní hodnoty sněhové pokrývky prováděné na meteorologických stanicích ve středních a vyšších nadmořských výškách.

## 2.3 Metody měření výšky sněhu

Při měření se zjišťují dvě hlavní vlastnosti sněhové pokrývky, výška a vodní hodnota. Přičemž výška se měří jednoduše, ale pro hydrologické potřeby je zásadní vodní hodnota, která se dopočítává z výšky sněhu a hmotnosti.

### 2.3.1 Staniční měření

Vodní hodnotu sněhu měří srážkoměrné i klimatologické stanice ČHMU jednou týdně v pondělí. Tato síť je tvořena 209 klimatickými, z toho 35 profesionálními a 585 srážkoměrnými stanicemi. Měření je prováděno sněhoměrnou latí v blízkosti stanice, která většinou leží ve volném prostranství mimo dosah lesa (ČHMU, 2009).

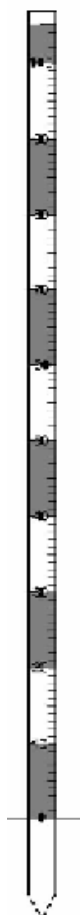
Pro měření nově napadlého sněhu se používá očištěné prkénko, které se položí na starý sníh a lehce zatlačí, tak aby nevyčnívalo nad sněhovou pokrývkou. Měří se nejlépe na místě nerušené větrem. Neleží-li souvislá vrstva sněhové pokrývky, položí se prkénko na půdu a v blízkosti prkénka se zapíchne hůlka, aby při zapadání prkénka sněhem bylo k nalezení a dala se změřit výška nového sněhu (Žídek a Lipina, 2003).

K měření celkové výšky sněhu se používá sněhoměrné tyče nebo latě (obr. 2), která je umístěna v prostoru tak, aby nebyla ovlivňována větrem výška sněhové pokrývky. Nejčastěji se používají 2 až 3 m dlouhé tyče.

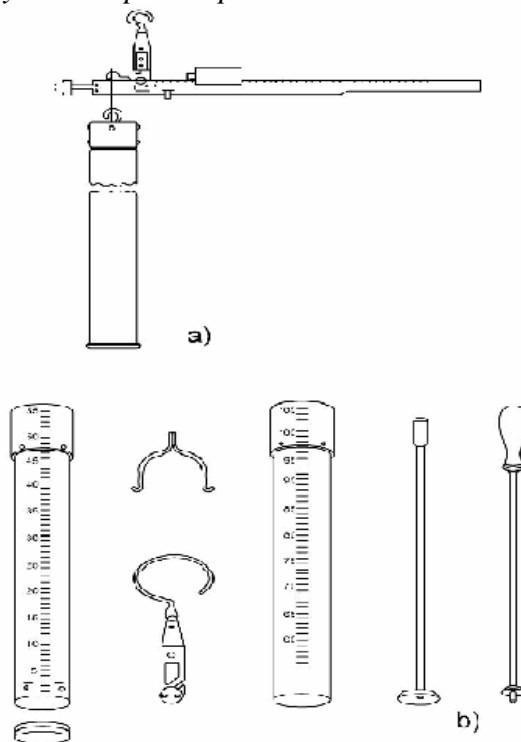
**Váhový sněhoměr** (obr. 3) se používá pro zjištění vodní hodnoty sněhu. Využívá se na vybraných stanicích, kde se vyskytuje vysoká vrstva sněhu. Váhový sněhoměr jsou v podstatě nerovnoramenné váhy, které mají na delším rameni posuvná závaží pro hrubé a jemné vyvažování. Na kratší rameno se zavěšuje odběrný válec, který je 1 m (pro horské stanice až 2 m) dlouhý s plochou průřezu  $50 \text{ cm}^2$ , dále je na tomto rameni vyvažovací závaží

k vyvážení vah před začátkem měření (při prázdném odběrném válci). Celý přístroj se zavěšuje na hák (Žídek a Lipina, 2003).

Obr. 2: Sněhoměrná lať.



Obr. 3: Váhový sněhoměr a) Váhový sněhoměr složený a připravený k vážení, b) váhový sněhoměr rozložený odběrný válec a píst na pěchování sněhu.



Zdroj: Žídek a Lipina, 2003      Zdroj: Žídek a Lipina, 2003

**Srážkoměr** se skládá z velké srážkoměrné nádoby, která se umísťuje na podstavec tak, aby horní okraj velké srážkoměrné nádoby byl ve výšce 1 m nad terénem (viz obr. 5). Na stanicích v pozorovací síti ČHMÚ se standardně používají srážkoměry se zachytnou plochou 500 cm<sup>2</sup>. Jedním typem srážkoměru je **ombrometr**. Pro zjišťování vodní hodnoty sněhu je srážkoměr vyhříván topným tělesem, aby sníh roztál v nálevce a stekl do nádoby. Vodní hodnota sněhu se zjistí přelitím obsahu této nádoby do kalibrovaného odměrného válce. **Ombrograf** umožňuje měřit srážkové úhrny kontinuálně. Srážky stékají do nádoby s plovákem, na plovák je napojeno registrační zařízení, které zapisuje údaje na otáčející se papír. Takto vytvořený záznam se nazývá ombrogram. Jedná se o průběh celkového množství srážek v čase, z něho se dá odvodit intenzita srážek. Na stanicích se používají pouze sekundárně při výpadku elektrického proudu. Primárně se používají elektrické **člunkové srážkoměry** (viz obr. 4). Zachycené srážky jsou sváděny na dělený překlápěcí člunek. Po naplnění jeho jedné poloviny příslušným objemem vody (odpovídajícím úhrnu srážek např.

0,1 mm) se člunek překlopí, čímž z první poloviny vyteče voda a srážka začne stékat do druhé poloviny. Překlopení je zaznamenáno a jejich počet určuje celkový úhrn srážek. Člunkové srážkoměry se vyrábí s různou záchytnou plochou (např. 200 cm<sup>2</sup> nebo 500 cm<sup>2</sup>) (ČHMÚ, 2009).

Obr. 4: Člunkový srážkoměr.



Zdroj: ČHMÚ, 2009

Obr. 5: Srážkoměr.



Zdroj: [www.envitech-bohemia.cz](http://www.envitech-bohemia.cz)

### Radioizotopický sněhoměr

Nukleární technologie se od 50. let začala používat a osvědčila se jako vhodný nástroj pro hydrologii (Singh a Singh, 2001). Mnoho sněhoměrů je v poslední době vynalezeno na bázi pohlcení radioaktivního záření, které je vyzařováno přes sněhovou pokrývku. Gama záření je pohlcováno sněhovou pokrývkou podle rovnice 2:

$$I = I_0 e^{-\mu W} \quad (2)$$

- **I** je intenzita vyzařovaného záření [W]
- **I<sub>0</sub>** je snížení intenzity záření [W]
- **μ** koeficient absorpce radioaktivního záření vodou [-]
- **W** vodní hodnota sněhu [mm]

Takto lze kontinuálně měřit vodní hodnotu sněhu. Nejvíce se používá ve vzdálených horských oblastech s velkým množstvím sněhu, díky tomu, že není nutná přítomnost obsluhy během celé zimy. Informace poskytuje několikrát denně, a tím je možné zjistit charakter sněžení a sledovat jeho průběh z hlediska zvyšování vodní hodnoty sněhu. Existují dva

základní typy radioizotopických sněhoměrů, vertikální, kdy senzor vysílá paprsky mezi ramenem a zemí a horizontální, kdy měří vodní hodnotu mezi dvěma trubkami.

Vertikální radioizotopický sněhoměr se skládá ze dvou částí a to z zářiče gama záření, CO ( doba použití 5 let), který je uzavřený v olovu. Leží na povrchu stejně jako okolní terén, aby nedocházelo k odchylkám vůči okolí sněhoměru. Druhá část je Geiger-Mullerův detektor (dále jen GM) intenzity gama záření. GM se umístí na kraji ramena přesně nad střed svazku paprsků gama zářiče. Rameno je vysoko tak, aby bylo vždy výše než sněhová pokrývka. Dalším možným uspořádáním je, že zářič se umístí na rameno a GM leží ve stejné rovině s terénem. Při tomto uspořádání je dosaženo eliminace chyby způsobené velkým teplotním kolísáním, jelikož GM je takřka nepoužitelný za nižší provozní teploty než je  $-30^{\circ}\text{C}$ .

Horizontální radioizotopický sněhoměr se skládá ze dvou tyčí kolmých na povrch ve vzdálenosti půl metru. V jedné tyči je detektor a ve druhé je zářič. Používá se zde izotop  $^{137}\text{Cs}$ . Detektor a zářič jsou umístěny naproti sobě a mohou se pohybovat po tyčích. Tak lze změřit vodní hodnotu v jakémkoliv profilu. Díky tomuto přístroji je možné zaznamenat změny v hustotě sněhu a tvorbě ledu.

Norský geotechnologický ústav vynalezl a testuje nový **vibrační strunový tenzometr** (Singh a Singh, 2001). Je plně automatický a zaznamenává sněhové srážky s přesností na 0,1 mm. Hmotnost tuhých srážek rozvibruje strunu a podle frekvence měří množství srážek.

Stanice ČHMÚ povětšinou měří sníh na otevřeném prostranství (ČHMÚ). Potřeba měření sněhu v lesnatém a horském prostředí nutí pracovníky jezdit do terénu. Vysoké náklady na terénní měření a potřeba znalosti aktuálních stavu charakteristik sněhu vedly k vývoji automatického snímače. Jeden z těchto senzorů je **sněhový polštář**. V Norsku je používá od roku 1967 k měření vodní hodnoty sněhu (Sorteberg, 2001). Tlakové polštáře jsou naplněné nemrznoucí kapalinou a potrubím spojené s nádržkou. Kapalina je stlačena do nádržky hmotností spadlého sněhu na polštář. V nádržce je automatický plovák, který poskytuje informace o výšce hladiny. Podle ní se vypočítá vodní hodnota sněhu na polštáři. Využívá se především v horských oblastech, kde je velké množství sněhu. Sleduje vodní hodnotu sněhu od prvních akumulací až do jeho roztátí. Díky tomu můžeme jednoduše monitorovat průběh zimní sezóny. Podle předpokládané výšky sněhu se používají různé velikosti polštářů. Podle plochy polštáře se určuje maximální vodní hodnota pro, kterou je použitelný (Singh a Singh, 2001). Přesnost sněhového polštáře se pohybuje okolo 30 % do 300 mm a okolo 50 % při měření vodní hodnoty sněhu větší než 300 mm (Sortberg, 2001).

Používají se například na stanici Svratouch a na experimentálním povodí ČHMÚ Uhlířská v Jizerských horách (viz obr. 6). Na stanici Svratouch jsou hodnoty výšky sněhu a vodní hodnoty sněhu znehodnocovány větrem, jelikož na ploše polštáře vytváří návěje nebo je z ní sníh odfoukáván. Sněhový polštář typu Sommer o velikosti 9 m<sup>2</sup> byl zkoumán na meteorologické stanici Souš. Výsledky měření vodní hodnoty polštářem bylo podhodnoceno oproti měření pomocí váhového sněhoměru. Důvodem by mohlo být převívání sněhu větrem (Jirák, 2007).

*Obr. 6: Sněhoměrný polštář Hejnická na experimentálním povodí Uhlířská.*



*Zdroj: ČHMÚ, 2009*

**Optický sněhoměr** byl vynalezen pro bezobslužné stanice na měření výšky sněhové pokrývky (Singh a Singh, 2001). Je plně automatický a informace o výšce sněhu předává do stanic přes GSM bránu. Skládá se ze dvou latí na jedné je zdroj xenonového světla a na druhé lati jsou rozmístěné fotočlánky. Množství aktivních fotočlánků udává výšku sněhu, jelikož fotočlánek je aktivován přímým světlem první latě.

### **2.3.2 Mobilní terénní výzkum**

Mobilní nebo také expediční měření výšky a vodní hodnoty sněhu se provádí v důsledku nízké hustoty staniční sítě. Stanice bývají povětšinou na otevřených plochách, a tak se musí sbírat data v terénu z lesních ploch. Sbíráni dat z míst jiných, než v okolí stanic slouží k lepší informovanosti o množství vody v akumulovaném sněhu. Díky těmto měřením se mohou lépe nastavit modely pro určení odtoku vody z povodí, při zadávání pouze staničních dat.

Při terénním výzkumu se měří data o výšce, hustotě a vodní hodnotě sněhu. Nejdříve se vytvoří síť měřených bodů. Síť bodů se vytváří tak, aby body ležely rovnoměrně na celém povodí a vystihovaly charakter povodí – všechny typy vegetačního pokryvu a nadmořské

výšky, orientaci svahů, sklonitost svahů. Dalším způsob, který používá při svých výzkum ČHMÚ je vymezení několika zájmových profilů ve stejné nadmořské výšce, cca 100 m dlouhých, po celém území zkoumaného povodí (Bercha a kol., 2007). Profily lze vytvořit i po spádnících svahů vystihující již zmíněné charakteristiky povodí (Barták, 1995). Profily musí zahrnovat všechny typy vegetačního pokryvu, sklonitosti svahů, orientace svahů. Výzkum se provádí během celého zimního období od prvních akumulací sněhu až po jeho roztátí ve sledovaném povodí (Singh a Singh, 2001).

Standardně se k měření používá sněhoměrná lat' na měření výšky sněhu, váhový sněhoměr na zjištění vodní hodnoty a hustoty sněhu nebo sněhoměrný válec.

Další možností jak měřit vodní hodnotu sněhu je pomocí přírodního gama záření vyzařovaného povrchem země. Ruční detektor gama záření je schopen měřit průměrnou vodní hodnotu sněhu v šířce 8 metrů podél profilu. Před napadnutím sněhu se musí změřit radiace země na sledovaném profilu. Její znalost je zásadní pro výpočet vodní hodnoty z radiace naměřené i se sněhovou pokrývkou. Touto technikou se dá měřit od 10 do 300 mm vodní hodnoty sněhové pokrývky s přesností od 2 do 6 mm. Podobně lze vodní hodnotu měřit pomocí letadla, ve kterém je uložen detektor gama záření. Výhodou této metody je pokrytí větší rozlohy zkoumaného území. Nevýhodami oproti ručnímu detektoru jsou peněžní náklady na provoz a nepřesnost, která se pohybuje okolo 10%. Detektor je schopen měřit pouze vodní hodnotu od 10 do 100 mm, protože zde do výpočtu vstupuje také výška letadla, která nesmí být větší než 300 m od povrchu, kvůli znečištění vzduchu a množství vodní páry v něm obsažené (Carroll, 2001).

Nevýhodami terénního výzkumu jsou vysoké provozní náklady, fyzická a časová náročnost na pracovníky výzkumu, protože se pohybují v těžkém terénu za nepříznivých klimatických podmínek. Avšak terénní výzkum nejlépe vystihuje variabilitu vlastností sněhu a poskytuje nejlepší informace o zásobách vody ve sněhové pokrývce (DeWalle a Rango, 2008).

### **2.3.3 Měření sněhu DPZ**

První měření sněhu pomocí družice proběhlo roku 1972 družicí NOAA. V té době měřila sněhovou pokrývkou asi každých 16 až 18 dní, dnes se měří již dvakrát během 24 hodin. Využívá viditelné, blízké infračervené a mikrovlnné části spektra. Snímky nelze pořídit pokud je oblačnost nad zájmovým územím a během polární noci. Poskytuje pouze informace o rozloze sněhové pokrývky nikoliv o její mocnosti. K měření sněhu je využíváno pasivního mikrovlnného záření, které funguje na závislosti mocnosti sněhové pokrývky a pohlcování

dlouhovlnného záření. Teplota je nepřímo úměrná mocnosti sněhové pokrývky. (DeWalle a Rango, 2008)

Mapy rozsahu a mocnosti sněhové pokrývky jsou tvořeny pomocí algoritmů založených na empirických vztazích. Jasová teplota je zaznamenávána na družici Nimbus na frekvenci 18 a 37 GHz. Čím větší mocnost sněhu, tím se změří větší rozdíl jasových teplot, jelikož sníh absorbuje méně záření na nižší frekvenci. Tímto způsobem lze mapovat sněhovou pokrývku o mocnosti 5 – 70 cm, tudíž oproti realitě podhodnocuje její mocnost (Singh a Singh, 2001).

Fyzikální vlastnosti sněhu jsou velmi rozdílné od vlastností ostatních přírodních ploch, což umožňuje využití DPZ ke zkoumání sněhové pokrývky. Viditelné spektrum (0,4 - 0,7  $\mu\text{m}$ ) nám poskytuje informace pouze o rozloze sněhové pokrývky. Infračervené spektrum (0,7 - 1,1  $\mu\text{m}$ ) poskytuje informace o množství vody v blízkosti povrchu, jelikož je citlivé na molekuly vody (DeWalle a Rango, 2008).

Družice, které se používají pro potřeby hydrologů a jejich vlastnosti shrnuje tabulka 2. Data základních charakteristik sněhové pokrývky pořízená družicemi jsou stále nepřesná, avšak poskytují ten nejlepší zdroj informací pro odlehlé oblasti, kde nejsou zapotřebí velmi přesná měření nebo kde nelze měřit jiným způsobem. Nejpřesnější data jsou při srovnání dat z terénního, staniční a družicového výzkumu.

Tab. 2: Družice měřící viditelnou a blízkou infračervenou částí spektra.

Družice	Senzor	Prostorové rozlišení	Šířka záběru	Rok vypuštění
NOAA	AVHRR	1100 m	2400-3000 km	1972
Landsat	MSS	80 m	185 km	1972
	TM	30 m	185 km	1982
	ETM+	15 m	185 km	1999
NOAA	GOES	1100 m	Geostacionární	1975
DMSP	OLS	600 m	3000 km	1982
Terra/Aqua	MODIS	250, 500, 1000 m	2300 km	1999
	ASTER	15, 30 m	60 km	1999

Zdroj: DeWalle a Rango 2008

## 2.4 Vliv vegetace na ukládání sněhu

Sníh výrazně působí na lesní dřeviny velmi kladnými účinky, jako jsou ochranná funkce před nízkými teplotami a promrznutím půdy. Ovšem má také negativní účinky, sněhové kalamity, polomy a ohýbání větví důsledkem tíhy sněhu. Les má podstatný vliv na ukládání sněhu, postupné tání a odtok vody z povodí. Dále zadržuje na povrchu korun stromů sníh (intercepce). Zabraňuje korunami stromů pronikání slunečnímu záření, které působí rychlé tání sněhu (Škvarenina a Hribík 2007).



Hustota vegetace a koruny stromů jsou významné při tání sněhu. Na otevřených místech probíhá tání sněhu podstatně rychleji, než v zalesněných oblastech. K tomuto jevu dochází pouze při větší vrstvě zásob sněhu. V oblastech s nízkou sněhovou pokrývkou se takto rozdílně neprojevuje (Škvarenina a Hribík, 2007). Pod korunami stromů nepůsobí sluneční záření, je pod nimi pomalá výměna tepla, jelikož vzduch pod stromy proudí pomaleji. Délka trvání a intenzita tání je závislá na druhové, věkové skladbě lesa a hustotě stromů (Škvarenina a Hribík, 2007).

Vliv vegetace na výšku sněhové pokrývky a vodní hodnotu byl prokázán výzkumem ČHMÚ na stanici Dvoračky a také v Jizerských horách (ČHMÚ, 2009b). Zde se měřila výška sněhu na mýtině a v lese. Na mýtině je prokázána vyšší vodní hodnota a výška sněhu než v lese. Při tání se sněhová pokrývka déle držela v lesním porostu (ČHMÚ, 2009a).

Vlivem vegetace na ukládání sněhové pokrývky se také zabývá studie Pobříšlové a Kulasové (2000) v Jizerských horách na povodí Uhlířská. Byla zde měřena se výška sněhové pokrývky a její vodní hodnota na mýtině a v lese. Měření byla prováděna jednou týdně na vybraných profilech ve třech bodech. Na začátku zimy bylo naměřeno více sněhu na mýtině než v lese. Důsledkem byla intercepce sněhu v korunách stromů. Ovšem na konci zimy bylo prokázáno větší množství v lese. Důsledkem mohlo být několik oblev během zimy a mikroklima lesu vzniklé při jarním tání.

Výzkum v Rocky Mountines přinesl poznatky vlivu mezi vegetací a ukládáním sněhu (Liston, 1998). Stromy mají vliv na ukládání sněhu, jelikož v závětrích stromů se vytváří závěje. Sníh zde běžně leží do konce června. Při tání sněhu, voda ze závějí zvyšuje vlhkost půdy a zabraňuje pronikání světelného záření k půdě, čímž dochází ke zkrácení vegetačního období na tomto území. Zkrácením vegetačního období v závějových plochách za stromy vzniklo střídání pásů stromů a luk kolmých na převládající směr zimních bouří.

## **2.5 Vliv nadmořské výšky na ukládání sněhu**

Vliv nadmořské výšky byl prokázán při výzkumu v povodí Myjavy (Hollá, 2007). Tento jev se prokázal jak měřením ve stanicích, tak terénním výzkumem provedeným pracovníky Slovenského hydrometeorologického ústavu.

Průzkumu v Národní Parku Nízké Tatry, v horském masívu Kráľovej hole v zimě 2005/06 se zabýval hydrofyzikální charakteristikou sněhové pokrývky (Škvarenina a Hribík, 2007). Monitorovala se výška a vodní hodnota sněhu na jižních svazích na 11 lokalitách, ve výškovém rozpětí 900 až 1900 m n. m. Ve vyšších nadmořských výškách se držel sníh déle, v některých případech až o měsíc.

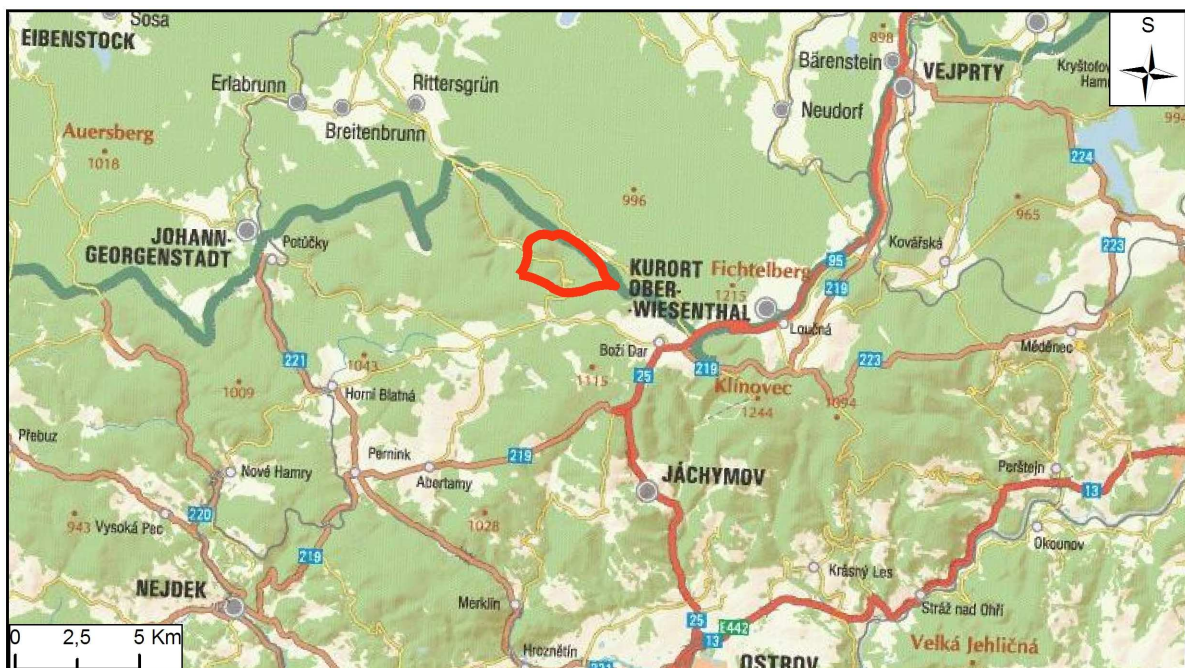
### 3 Fyzickogeografická charakteristika povodí

V této kapitole je uveden popis experimentálního povodí Zlatého potoka z hlediska jeho fyzicko-geografických charakteristik.

#### 3.1 Geografická poloha

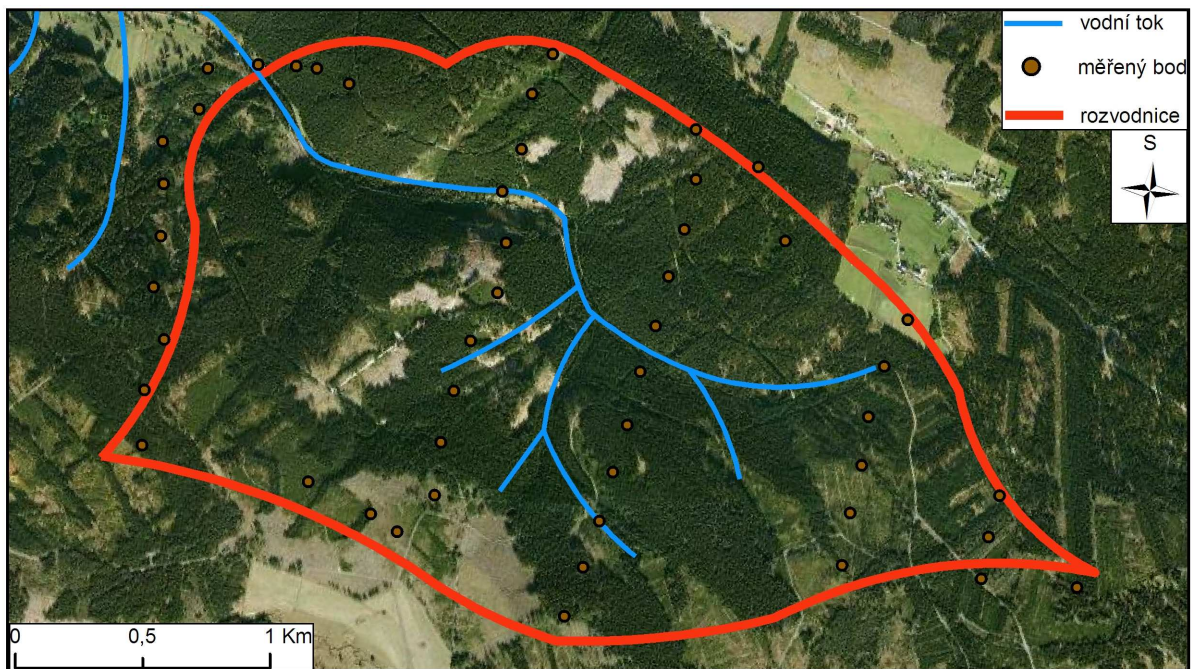
Povodí Zlatého potoka se nachází v západní části Krušných hor (viz obr. 7 a 8), pět kilometrů severozápadně od nejvyššího vrcholu Klínovce a asi 3 km západně od obce Boží Dar. Nejvyšším bodem je vrchol ve východním cípu povodí měřící 1035 m n. m., dalším vrcholem je Tetřeví hora (1006 m n. m.) a nejnižším bodem povodí je závěrový profil s hladinoměrem v nadmořské výšce 767 m. Zlatý potok pramení mezi obcemi Boží Dar a Tellerhäuser. Protéká obcí Zlatý Kopec a poté teče dále do Německa. Zde se vlévá do potoka Schwarzbach a ten dále teče do řeky Mulde, která se vlévá do Labe.

Obr. 7: Okolí povodí Zlatého potoka.



Zdroj: [www.mapy.O2active.cz](http://www.mapy.O2active.cz), 2009, upraveno

Obr. 8: Satelitní snímek zájmového území.



Zdroj: [www.maps.google.cz](http://www.maps.google.cz), 2009, upraveno

### 3.2 Geologická stavba

Krušné hory tvoří spolu se Smrčínami dvě assyntská antiklinoria tvořená krystalickými břidlicemi a žulovými tělesy. Krušné hory zasáhlo vrásnění mladoassyntské a variské. Parovinné zarovnění vzniklo koncem druhohor a v oligocénu. Zdvih Krušných hor dokončily v pliocénu a miocénu horotvorné pohyby. Krušnohorských zlom vznikl variským vrásněním. Parovinný povrch byl mladými zlomy rozdělen a vysunut do rozdílných výšek. Na některých zlomech vznikla svahová údolí (Kunský, 1975).

Většinu území povodí Zlatého potoka tvoří paleozoické fraunbašské souvrství tvořené chloriticko-seritickými fylity místy s ambitem, hojným sekrečním křemenem nebo grafitem. Na jihu do povodí zasahuje terciérní nefelinit. Údolí je tvořeno kvartérními aluvii a splachy. Podél údolí je několik zlomů zakrytých kvartérními sedimenty (MŽP, 2009).

Zlatý potok leží na průlomovém kolektoru, se zvýšenou propustností v připovrchové zóně zvětralin a rozevřených puklin s odhadnutou transmisivitou  $1 \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ , tvořeným svory, fylity a svorovými rulami. Na jihu leží regionální izolátor tvořený neovulkanity a jejich tufy, zde jako kolektor působí jen připovrchová zóna puklin a zvětralin vysoko nad úrovní erozní báze v morfologických elevacích. Na východě zasahuje do povodí Zlatého potoka rašelinové prostředí s nevyhraněnou hydrogeologickou funkcí (MŽP, 2009).

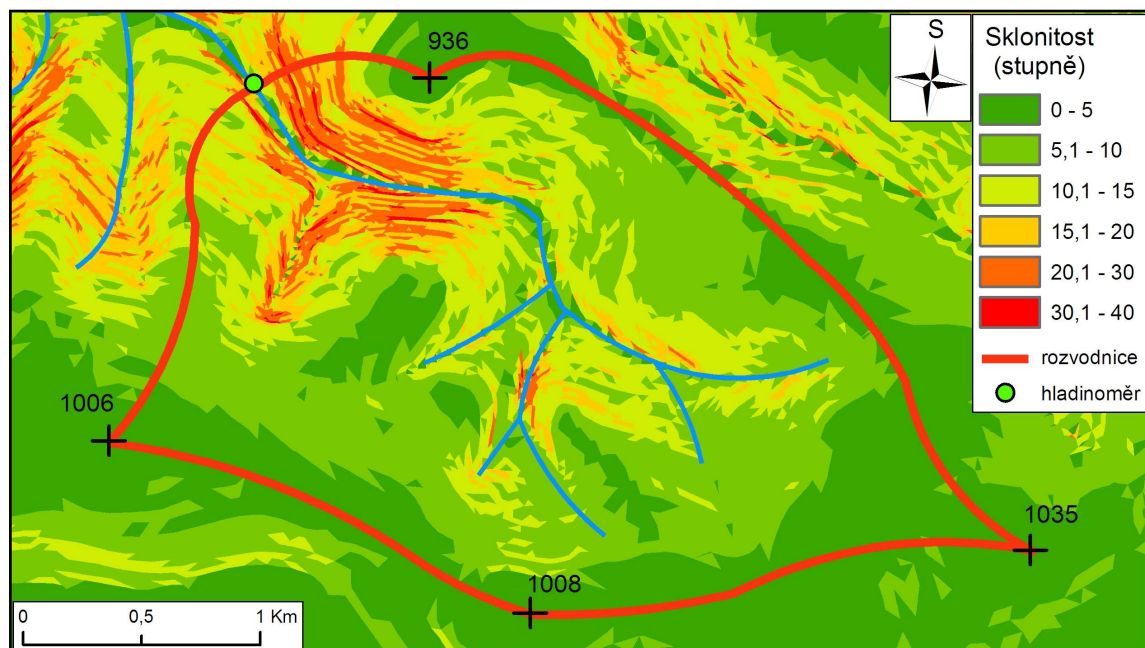


### 3.3 Geomorfologie

Krušné hory představují parovinně ukloněnou questu k severozápadu. Z hor vyčnívají hřbety, odlehlíky, čedičové kupy a tabulové vrchy. Směrem na českou stranu se svažují stupňovitě zlomovými svahy. Krušné hory se dělí na čtyři části, Klínoveckou vrchovinu, Děčínskou vrchovinu, Slavkovský les a Tepelskou vrchovinu. Nejvyšší je Klínovecká hornatina s nejvyššími vrcholy Klínovcem (1244 m n. m.) a Fichtelbergem (1214 m n. m.), který leží na německé straně (Kunský, 1975).

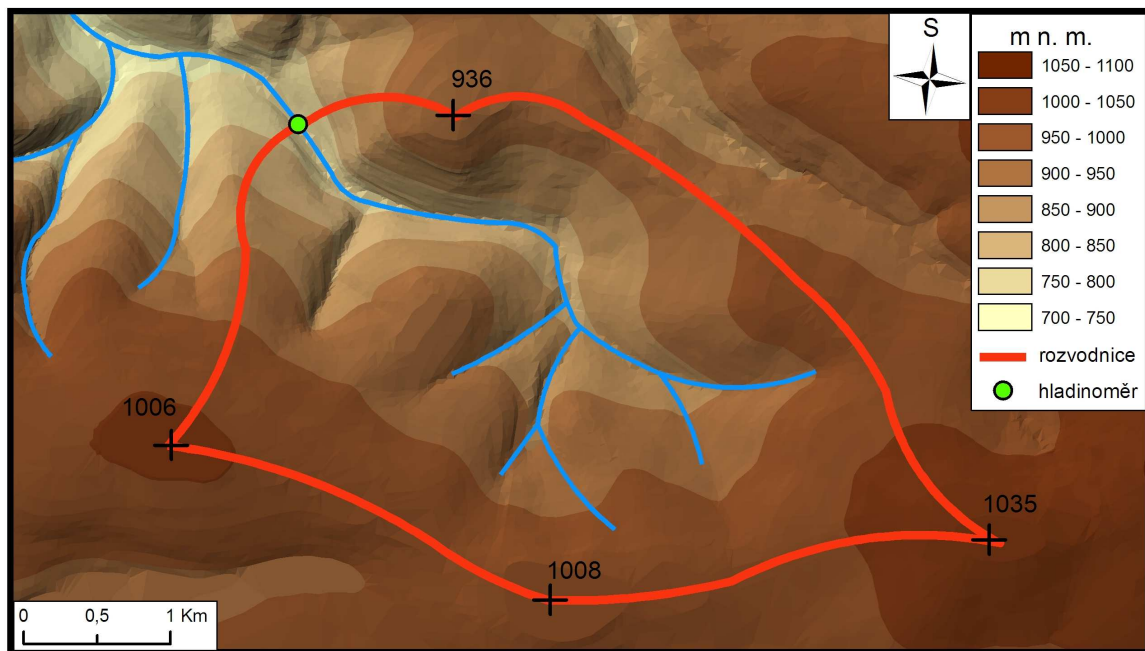
Povodí Zlatého potoka se řadí ke Klínovecké vrchovině a svým charakter odpovídá nejvyšší partiím Krušných hor. Údolí má zlomový původ a zařezává se směrem k západu, kde je rozdíl mezi vrcholky a vodním tokem až 239 m (viz obr. 10). Nadmořská výška je od 1035 m n. m. na východě v pramenné oblasti až k 767 m n. m. u hladinoměru v západní části povodí, průměrná nadmořská výška je 927 m n. m.. Sklonitost se zvyšuje od východu, kde jsou hlavně rovinné plochy okolo 5°, k západu kde svahy dosahují až 40°. Průměrná sklonitost území je 11° (viz obr 9).

Obr. 9: Sklonitostní poměry v povodí Zlatého potoka.



Zdroj: DMU 25, upraveno

Obr. 10: Výšková členitost povodí Zlatého potoka.



Zdroj: DMU 25, upraveno

### 3.4 Půda

V Krušných horách se převážně vyskytují horské humusové a kambizemní podzoly, které leží na silikátových podkladech. Na povrchu půd se hromadí značné množství surového humusu (Neühaslová, 1998).

Na území povodí Zlatého potoka převažují podzoly, dále do povodí zasahují gleje a na západě kambizemě (MŽP, 2009).

### 3.5 Klimatické poměry

Klima hlavního hřbetu Krušných hor spadá podle Quittovy klasifikace chladné klima - C5 a podle Köpenovy klasifikace – boreální klima Dfc. (Tolasz a kol., 2007)

Celkový roční úhrnu srážek je cca 1200 mm a v zimní období 300 mm. Průměrná roční teplota v okolí povodí Zlatého potoka se pohybuje okolo 5 °C, lednový průměr je -3 °C a v červenci je průměr 11 °C. Průměrná roční rychlost větru činí 8,8 ms<sup>-1</sup> a zimní průměrný rychlost větru je 6 ms<sup>-1</sup> (Tolasz, 2007).

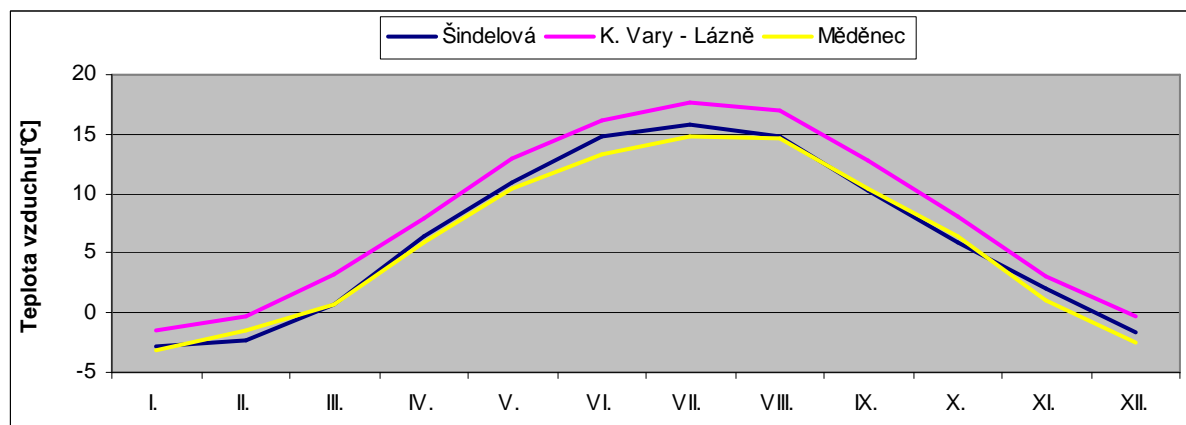
Střední Evropu ovlivňuje mnoho povětrnostních situací, které jsou dané polohou tlakových útvarů. Jedna ze situací, mající vliv na počasí Krušných hor, je západní cyklonální situace. Tlaková níže se pohybuje od Islandu k jižní Skandinávii. Rychle postupující fronty bývají doprovázeny výraznou oblačností zasahující přes střední Evropu. Na návětrných svazích Krušných hor jsou srážky silnější než na závětrných. V oblasti tzv. srážkového stínu,

Žatecko, je roční úhrn srážek okolo 400 mm a na hřebenech Krušných hor je o 1000 mm více. V zimě bývá doprovázena silnými větry a námrazou. Další situací je severozápadní cyklonální situace, která přináší do horských oblastí silný vítr. Severní cyklonální situace je považována za velice chladnou a do severní pohraničních hor přináší největší srážky. Průměr minimálních lednových teplot je  $-6^{\circ}\text{C}$  a maximálních je  $-2^{\circ}\text{C}$ . Od východu přináší výrazné ochlazení a sněžení severovýchodní a východní cyklonální situace, kdy se průměrné lednové teploty pohybují od  $-10^{\circ}\text{C}$  do  $-4^{\circ}\text{C}$ . Časté sněžení, někdy až kalamitní stavy, přináší brázda nízkého tlaku ve střední Evropě. Sněhová pokrývka často dosahuje i dvou metrů a vytváří vláhovou rezervu pro jarní měsíce (Seifert, 1993).

### 3.5.1 Teplotní poměry

Teplotní poměry v oblasti měří meteorologické stanice ČHMÚ (viz obr. 11). Teplotní průběh je ukázán na třech stanicích Šindelová, Karlovy Vary - Lázně a Měděnec. Karlovy Vary měří teplotu v nadmořské výšce 606 m, Šindelová v 563 m a Měděnec v 827 m. Nejvyšší teploty jsou naměřeny v červenci na všech stanicích a minimálních teplot se dosahuje v lednu. Nejnižší teploty jsou naměřeny na stanici Měděnec a nejvyšší ve stanici Karlovy Vary – Lázně.

Obr. 11: Průměrné měsíční teploty vzduchu na meteorologických stanicích ČHMÚ v letech (1990 – 2009).



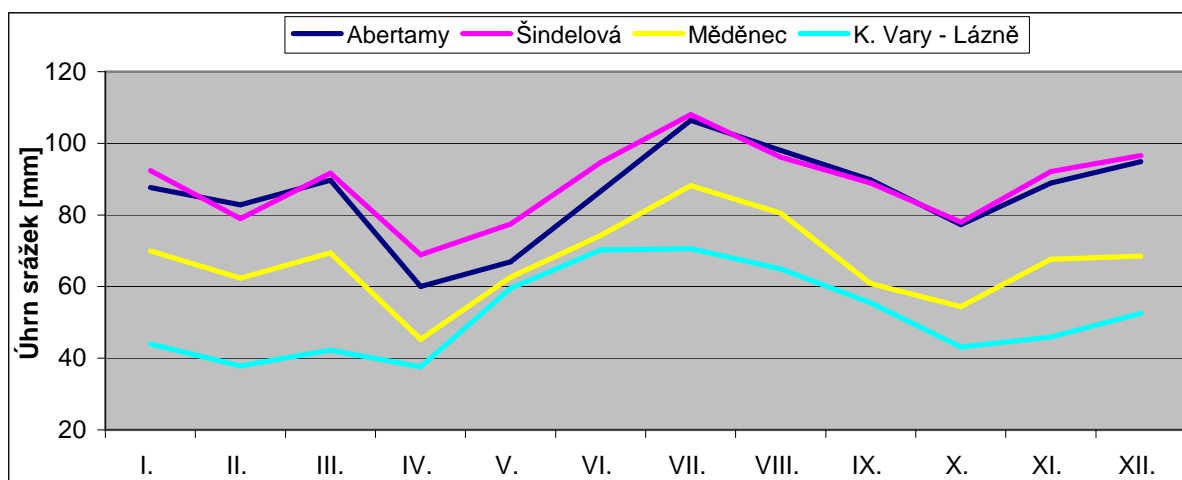
Zdroj: ČHMÚ

### 3.5.2 Srážkové poměry

Pro charakteristiku srážkových poměrů v oblasti výzkumu byla použita data ze čtyř meteorologických stanic ČHMÚ, Abertamy, Šindelová, Měděnec a Karlovy Vary – Lázně (viz obr. 12). Nadmořská výška stanice Abertamy je 870 m n. m. (více informací v předchozí kapitole). Průběh srážek v období listopad 2006 až duben 2009. Nejnižší měsíční úhrn srážek je v dubnu a v září. Nejnižší úhrny jsou naměřeny ve stanici Karlovy Vary – Lázně.

Maximálních úhrnů se dosahuje v červenci a druhé významné maximum je v období prosince a ledna. Nejvyšší naměřené úhrny jsou na stanicích Abertamy a Šindelová.

Obr. 12: Průměrný měsíční úhrn srážek v meteorologických stanicích ČHMÚ v letech (1980 – 2009).

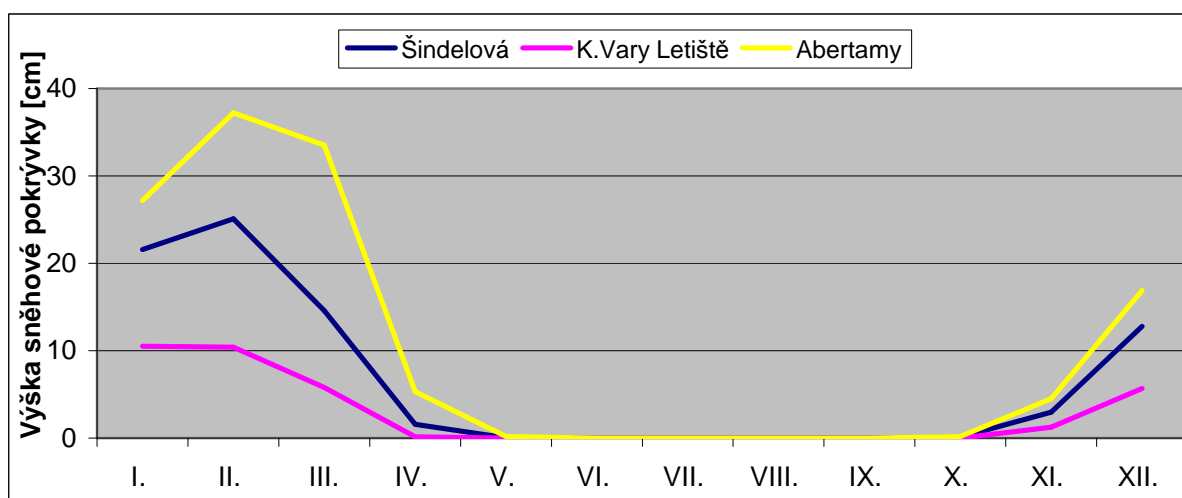


Zdroj: ČHMÚ

### 3.5.3 Sněhové poměry

Na obrázku 13 je roční průběh průměrné denní výšky sněhové pokrývky změřené na meteorologických stanicích ČHMÚ. Nejvyšší průměrná sněhová pokrývka, byla změřena na stanici Abertamy v únoru. Průměrná denní výška zde činí 37 cm. Zde také leží nejdéle a to od září až do května. Nejnižších naměřených hodnot sněhové pokrývky se dosahuje na stanici Karlovy Vary – Letiště. Další charakteristika sněhových poměrů v povodí Zlatého potoka je uvedena v tabulce 3.

Obr. 13: Průběh výšky sněhu v meteorologických stanicích ČHMÚ v letech (1980 – 2009).



Zdroj: ČHMÚ

Tab. 3: Charakteristiky sněhu v povodí Zlatého potoka..

počet dní se sněžením	90 - 100
průměr sezóních úhr výšky nového sněhunu	250 - 350 cm
průměrné datum prvního sněžení	10. 10. - 20. 10.
průměrné datum posledního sněžení	30. 4. - 10. 5.
průměrný počet dní s výškou nového sněhu $\geq$ 5 cm	25
průměrný počet dní s výškou nového sněhu $\geq$ 10 cm	10
průměrný sezóní počet dní se sněhovou pokrývkou	140
průměrný sezóní počet dní se sněhovou pokrývkou $\geq$ 5 cm	100 - 130
průměrný sezóní počet dní se sněhovou pokrývkou $\geq$ 20 cm	75 - 100
průměrný sezóní počet dní se sněhovou pokrývkou $\geq$ 50 cm	30 - 50
průměrný sezóní počet dní se sněhovou pokrývkou $\geq$ 100 cm	5 - 10
průměr sezóních maxim výšky nového sněhu	75 - 100 cm
průměr sezóních maxim vodní hodnoty sněhové pokrývky	200 - 300 mm
datum prvního sněhové pokrývky	20. 10 - 31. 10.
datum poslední sněhové pokrývky	20. 4. - 30. 4.

Zdroj: Tolasz, 2007

### 3.6 Hydrologie

Rozloha povodí byla vypočítána v programu ArcGIS na základě mapových podkladů DMU 25 na 5,6 km<sup>2</sup>, délka rozvodnice na 10 km (viz tab. 4). Vzdálenost mezi nejvyšší kótou a hladinoměrem byla spočtena na 3,8 km. Nejdelsí kolmý profil na tok Zlatého potoka je 2,4 km dlouhý. Zlatý potok v této části povodí má délku 3 km (tab. 4).

Tab. 4 Hydrologická charakteristika povodí.

Délka povodí	5,6 km <sup>2</sup>
Délka rozvodnice	10 km
Úhrnná délka toků	5,4 km
Nejvyšší kóta	1035 m n. m.
Nejnižší kóta	767 m n. m.
Průměrný sklon povodí	11°

Zdroj: vlastní měření, DMU 25

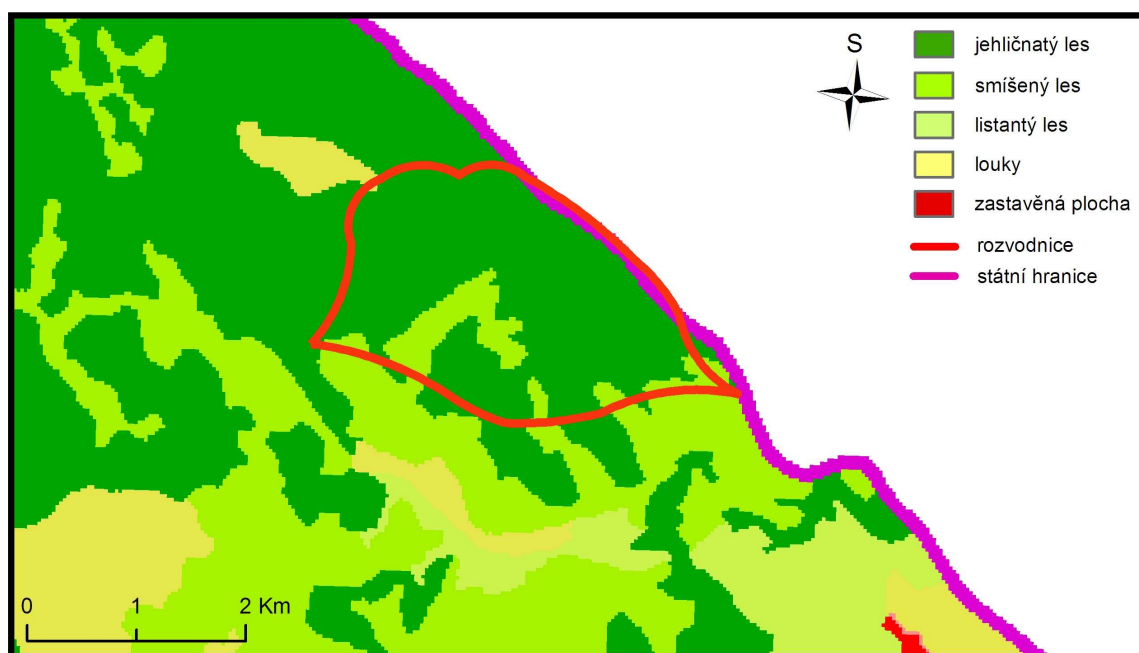
### 3.7 Vegetační pokryv

Přirozenou potenciální vegetací v oblasti jsou montánní květnaté i acidofilní bučiny (jedliny), společenstva klimaxových i podmáčených smrčín, horských, zčásti i submontánních blatkových rašelinišť. Ve zkoumané části povodí Zlatého potoka se vyskytují převážně smrčiny (Neühaslová, 1998).

Krušné hory patří do třídy českého oreofytikum, přirozená vegetace zde jsou smrkové bučiny, které leží na celé ploše povodí (geoportal.cenia.cz, 2009). Podle Corine leží na území povodí smrkové a smíšené lesy (viz obr. 14). Za poslední roky došlo k přírůstkům jehličnatých porostů na východě zkoumaného území.



Obr. 14: Vegetační pokryv povodí Zlatého potoka.



Zdroj: CORINE Landcover, 2000; [geoportal.cenia.cz](http://geoportal.cenia.cz)

## 4 Materiál a metody

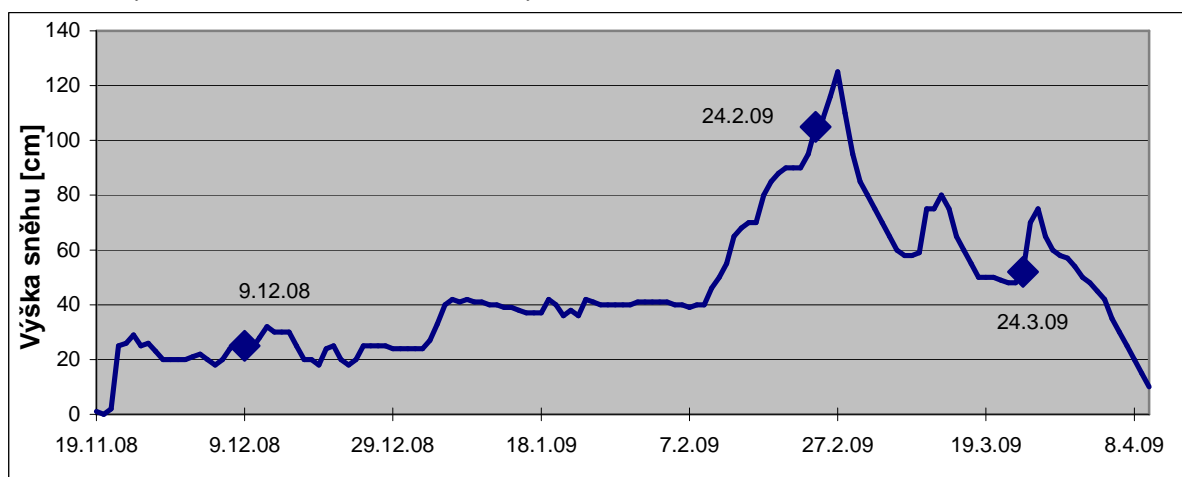
V této kapitole jsou charakterizovány metody použité při zpracování bakalářské práce a metody, kterými se zpracovávala a analyzovala data.

### 4.1 Měření dat

Data se měřila ve třech termínech měření, první proběhlo 9. 12. 2008. Měření v povodí Zlatého potoka začalo kolem 11 hodiny, bylo skoro jasno, teplota se pohybovala okolo  $-4^{\circ}\text{C}$  a vál slabý vítr. Měření skončilo okolo 19 hodiny a dohromady bylo naměřeno 77 bodů. Další expedice proběhla 24. 2. 2009 a zahájení proběhlo opět až kolem 11 hodiny. Především den začalo sněžit a sněžilo i v den měření. Měření se konalo ve dvou skupinách. Z časových důvodů bylo změřeno pouze 48 bodů a expedice skončila okolo 18 hodiny. Teplota vzduchu se pohybovala okolo  $-1^{\circ}\text{C}$ . Třetí expedice byla 24. 3. 2009, měření začalo okolo 10 hodiny a bylo ukončeno v cca 15 hodin.

Průběh výšky sněhu v zimě 2008/2009 ukazuje obrázek 15. Jsou zde znázorněny dny, kdy bylo provedeno měření. Obrázek ukazuje dvě velké oblevy mezi druhým a třetím měření. Maximální výška sněhu naměřená ve stanici Abertamy je 125 cm, dne 27. 2. 2009. V den prvního měření byla výška sněhové pokrývky v Abertamech 25 cm, v den druhého měření byla 105 cm a při třetím měření činila 52 cm.

Obr. 15: Výška sněhu na stanici Abertamy v zimě 2008/2009.



Zdroj: ČHMÚ

Zkoumané povodí ohraničené rozvodnicí se protnul profily v severojižním směru. První profil vede přes Tetřeví vrch kolem hladinoměru, který uzavírá sledované povodí. Profily jsou od sebe vzdálené 400 m a jednotlivé body jsou od sebe přibližně 200 m dle terénu (viz obr. 16). Na každém bodu bylo použito měřidlo SM 50–150. Jedná se o sněhoměrný

válec dlouhý 150 cm s průřezem 50 cm<sup>2</sup>. Nejdříve se zapíchlo měřidlo do sněhu a byla odečtena výška sněhu. Udusal se sníh uvnitř a poté bylo měřidlo zvednuto a zváženo. Dále změřena výška sněhu v okolí bodu na několika místech, aby se zjistila průměrná výška sněhu charakteristická pro okolí bodu.

**výška sněhu (průměr)** – průměrná výška sněhu, vytvořená několika měřeními v okolí bodu a jejich zprůměrováním – dále **vsp**

**výška sněhu (pro SWE)** – výška sněhu naměřená odměrným válce – dále **vsv**

**hmotnost** – hmotnost zváženého válce se vzorkem sněhu

**vegetace** – vegetační skupina charakteristická pro okolí bodu (více viz kap. 4.2)

**sklon** – sklonitost v okolí bodu

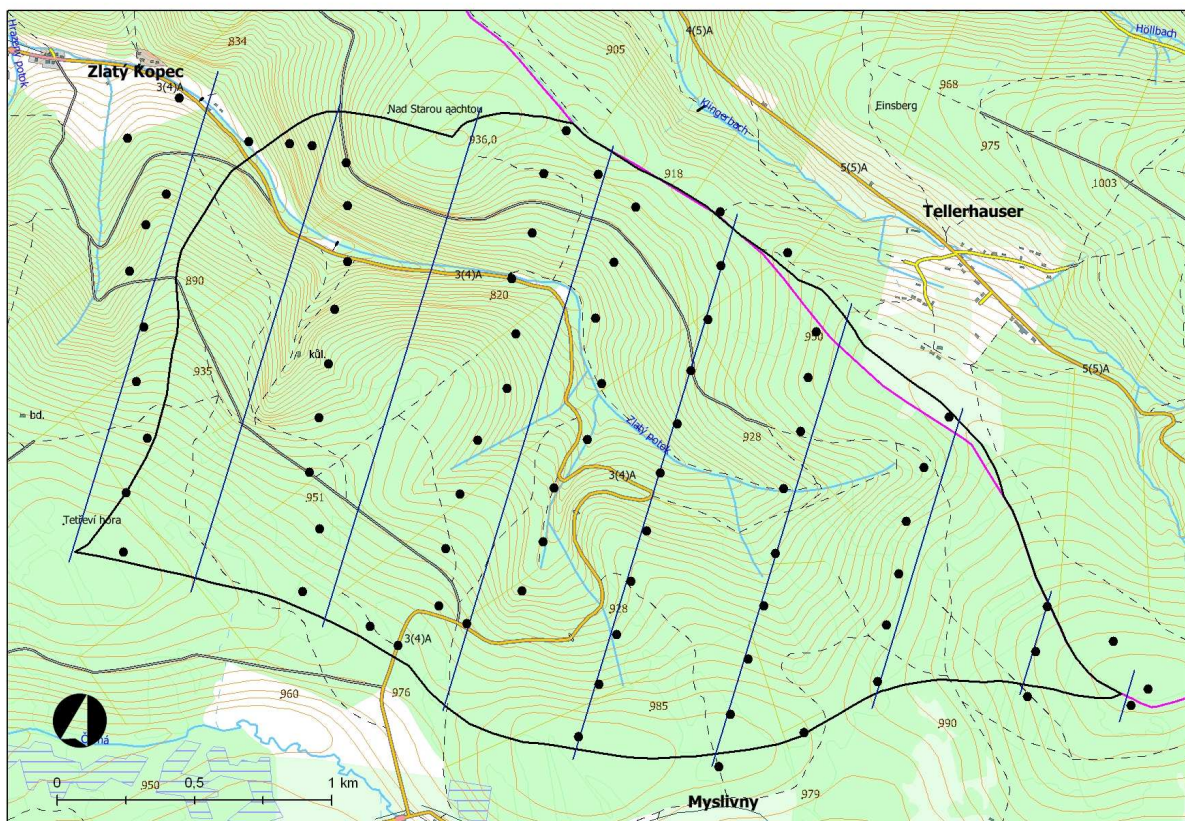
1 – sklonitost okolo 0° - 2°

2 – sklonitost 2° - 10°

3 – sklonitost více než 10°

**expozice** – expozice svahů vůči světovým stranám

*Obr. 16: Mapa povodí Zlatého potoka s vytyčenými profily a body.*



*Zdroj: DMÚ 25, vlastní měření*



## 4.2 Rozdělení vegetačního pokryvu

Pro potřeby vlastního výzkumu byl vegetační pokryv rozdělen do 5 skupin. Do první skupiny spadají body, které leží na volném prostranství, palouku nebo na louce. Druhá skupina jsou body ležící na mýtině nebo v blízkosti okolí shluku stromů, které stojí samostatně na volném prostranství, a tím mají vliv na vítr a ukládání sněhu. Třetí skupina jsou body ležící v lese. Jedná se o stromy, které nejsou vzrostlé, výška stromů nesmí být větší než cca 5m. Do čtvrté skupiny spadají body ležící ve vzrostlém lese, ve kterém když člověk zvedne hlavu vidí nebe. Pátá skupina zahrnuje body ve vzrostlém hustém lese, ve kterém když člověk pohlédne vzhůru nevidí nebe. Všechny skupiny jsou pro lepší charakterizování vyfocené na obrázku 17 .

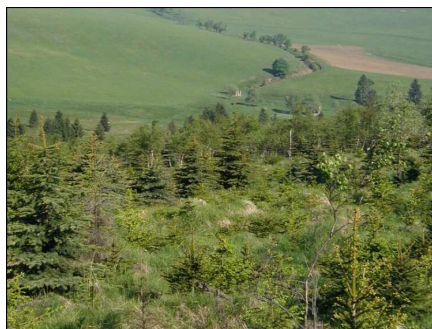
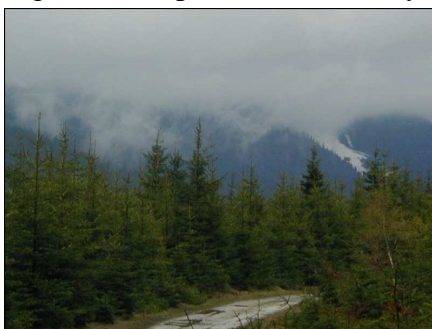
*Obr. 17: Rozdělení vegetačního pokryvu do skupin.*  
vegetační skupina 1 – otevřené plochy



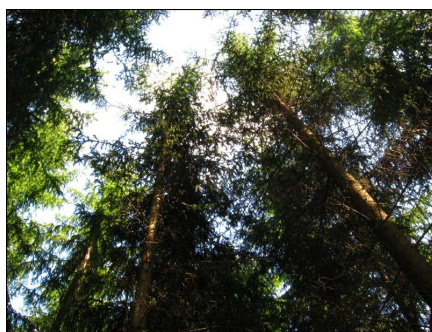
vegetační skupina 2 - mýtiny



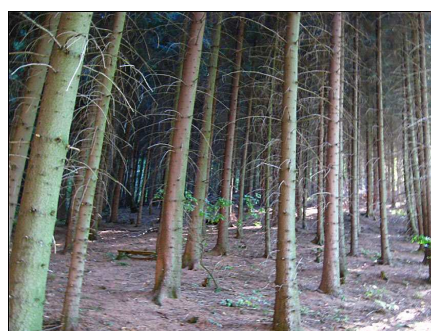
vegetační skupina 3 – nevzrostlý les



vegetační skupina 4 – vzrostlý les



vegetační skupina 5 – hustý les



*Zdroj: Foto: autor*

### 4.3 Zpracování dat

Z hmotnosti naměřené se odečetla váha měřidla, která činila 1,96kg s pérkem na zavěšení a 1,86kg bez pérka, a tím se zjistila čistá hmotnost sněhu. Z těchto dat byla vypočítána vodní hodnota sněhu podle vzorce:

$$\mathbf{VHS=200*m*(vsp/vsv)}$$

kde **VHS** je vodní hodnota, **m** je čistá hmotnost sněhu. Hmotnost sněhu se musí násobit číslem 200, aby se získala průměrná hodnota pro 1 m<sup>2</sup>, jelikož naměřená hmotnost je z plochy 50 cm<sup>2</sup>. Výsledná hodnota se dále násobí podílem průměrné výšky sněhu **vsp** v okolí bodu a výškou sněhu **vsv** v trubce, kterou se odebíral vzorek na vážení. Vynásobením podílu výšek sněhu se získala charakterističtější data vodní hodnoty sněhu. Pro další práci s výškou sněhu byla použita pouze data o průměrné výšce sněhu v okolí bodu. Body byly rozděleny do skupin podle vegetačního pokryvu, nadmořské výšky a zpracovány do grafů. Vytvořily se bodové grafy výšky sněhu a vodní hodnoty. K bodovým grafům se vytvořily lineární regresní závislosti. Jejich spolehlivost byla hodnocena na základě koeficientu determinace R<sup>2</sup>. Tyto hodnoty se následně vložily do tabulky s ostatními hodnotami pro jednotlivé vegetační skupiny ve všech měřeních.

Souřadnice bodů naměřené pomocí přístroje GPS byly vyexportovány do .txt. a následně převedeny do programu MS Excel. Zde byly zpracovány do formátu dbf, který podporuje změnu bodů do shapefile v programu ArcGIS. V ArcGIS byly transformovány ze souřadnicového systému WGS84 do systému J-TSK, aby se mohly sjednotit s dalšími vrstvami.

Data o charakteristikách sněhu psaná ručně během měření byla vložena do programu MS Excel pro další zpracování. Pro další výpočty a analýzy byla použita pouze data, která byla měřena během všech expedic.

Při zpracování v programu ArcGIS byly použity vrstevnice získané z databáze DMU 25. K této vrstvě se vytvořily kóty, vodní tok a rozvodnice. Z těchto dat byl vytvořen shapefile, který se použil pro vytvoření 3D modelu funkcí 3D Analyst, ke kterému byl připojen shapefile s naměřenými body. K naměřeným bodům se připojila tabulka s naměřenými charakteristikami sněhu ve formátu dbf. Z 3D modelu byla vytvořena mapa sklonitosti, pomocí funkce slope ze souboru funkcí 3D Analyst. Dále se použily naměřené hodnoty výšky sněhu a vodní hodnoty při třetím měření k vytvoření interpolačních map, pomocí souboru funkcí Spatial Analyst v programu ArcGIS.

Použily se následující interpolační techniky:

- IDW (Inverse distance weighting) – lineární průměr hodnot ovlivněn inverzní vzdáleností od sousedních bodů, vhodná pro interpolaci povrchů pokud je hustota bodů taková, že dostatečně pokrývá daný jev, čím blíže je bod interpolovanému, tím větší váhu má ve výsledném průměru
- Spline – kubické funkce interpolačních křivek, každá křivka je interpolována zvlášť,
- Kriging – geostatická metoda, váha je počítána podle variogramu

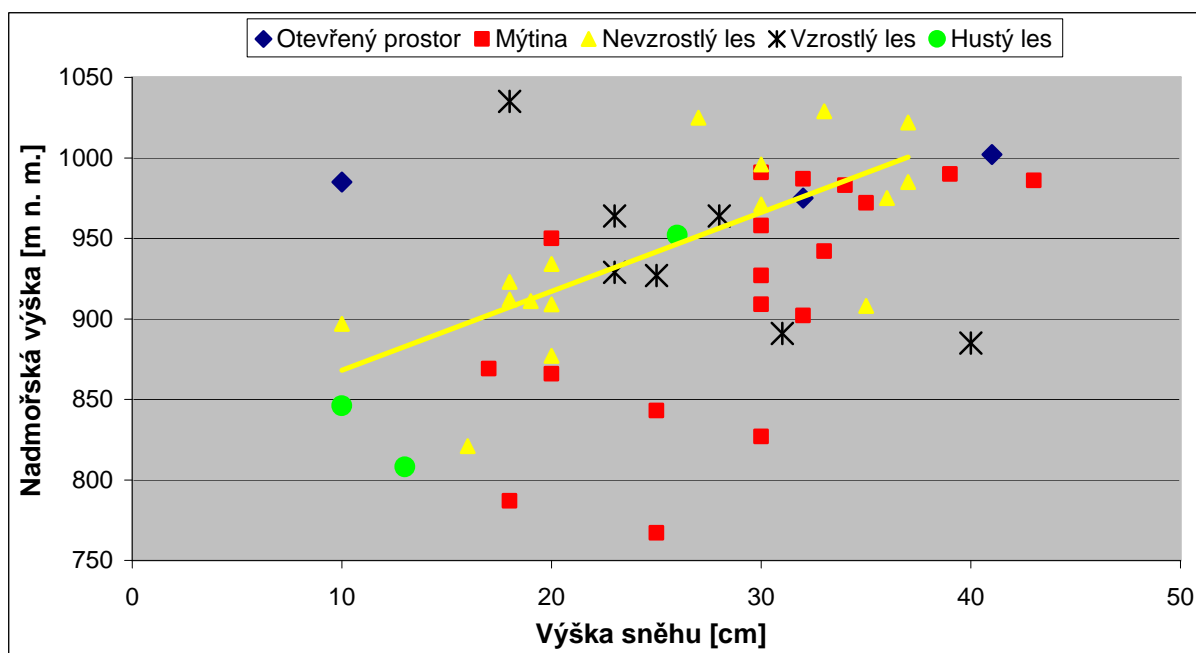
Jednotlivé interpolační techniky byly nastaveny takto - IDW (váha 2), Spline (regularized, váha 0,1) a Kriging (ordinaty spherical). Velikost pixelu byla nastavena na 15x15 m. Dále byly hodnoty rozděleny do 6 skupin podle přírodních mezí.

## 5 Výsledky

### 5.1 Vyhodnocení bodových měření

Vliv nadmořské výšky na výšku sněhové pokrývky, naměřené během expedice, je zobrazen na obrázcích 18, 19 a 20. První obrázek znázorňuje výšku sněhové pokrývky dne 9. 12. 2009. Zde je patrný vliv na nadmořské výšky ležící v nevzrostlém lese, který je znázorněn lineární regresní závislostí. V tabulce 5 jsou znázorněny koeficienty determinace  $R^2$ . U vegetační skupiny - nevzrostlý les dosáhl koeficientu determinace 0,5. Vysokých hodnot koeficientu determinace je dosahováno v hustém lese. Tyto hodnoty nelze považovat za relevantní z důvodu malého počtu měřených bodů. V dalších měření je tento jev patrný nejen v hustém lese, ale i na otevřené ploše. Hodnoty koeficientu determinace u vegetačních skupin mýtina a nevzrostlý les se s časem zvyšují, což ukazuje na skutečnost, že vliv nadmořské výšky na výšku sněhové pokrývky je zřetelnější na konci zimy, než na jejím počátku. Ve vzrostlém lese byly dosaženy hodnoty koeficientu determinace 0,64, zde byl ovšem trend opačný, s nadmořskou výškou klesá naměřená výška sněhové pokrývky. Při dalším měření bylo dosaženo hodnoty 0,26 a při třetím měření 0,09. Mohlo by to znamenat, že opačný trend byl časem zmírněn. Opačný trend mohl důsledkem výběr místa odběru vzorku a také nedostatek měřených bodů v této vegetační kategorii.

Obr. 18: Výška sněhové pokrývky naměřená dne 9. 12. 2009.

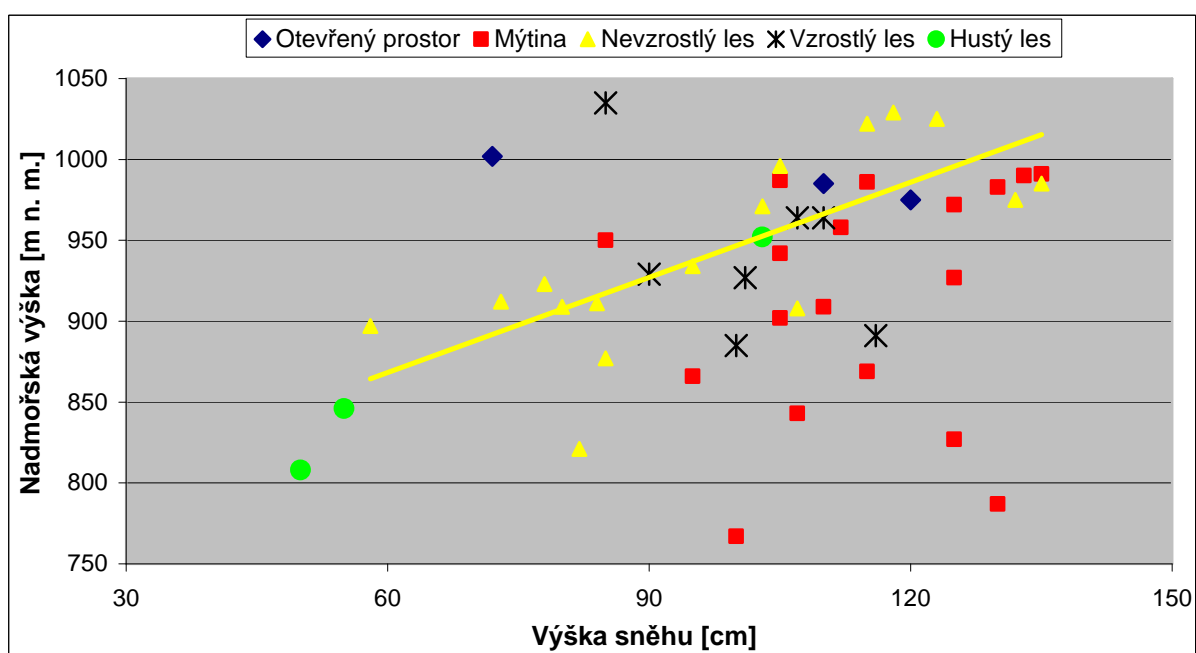


Tab. 4: Hodnoty koeficientu determinace  $R^2$ .

Datum měření	9.12.2008	24.2.2009	24.3.2009
Otevřená plocha	0,17	0,97	0,69
Mýtina	0,42	0,41	0,57
Nevzrostlý les	0,51	0,55	0,73
Vzrostlý les	0,64	0,26	0,09
Hustý les	0,82	0,97	0,95

Výška sněhové pokrývky naměřená při druhém měření dne 24. 2. 2009 je na obrázku 19. Lineární regresní závislost je podobná jako u prvního měření ze dne 9. 12. 2008. Vliv nadmořské výšky na vegetační skupinu nevzrostlý les.

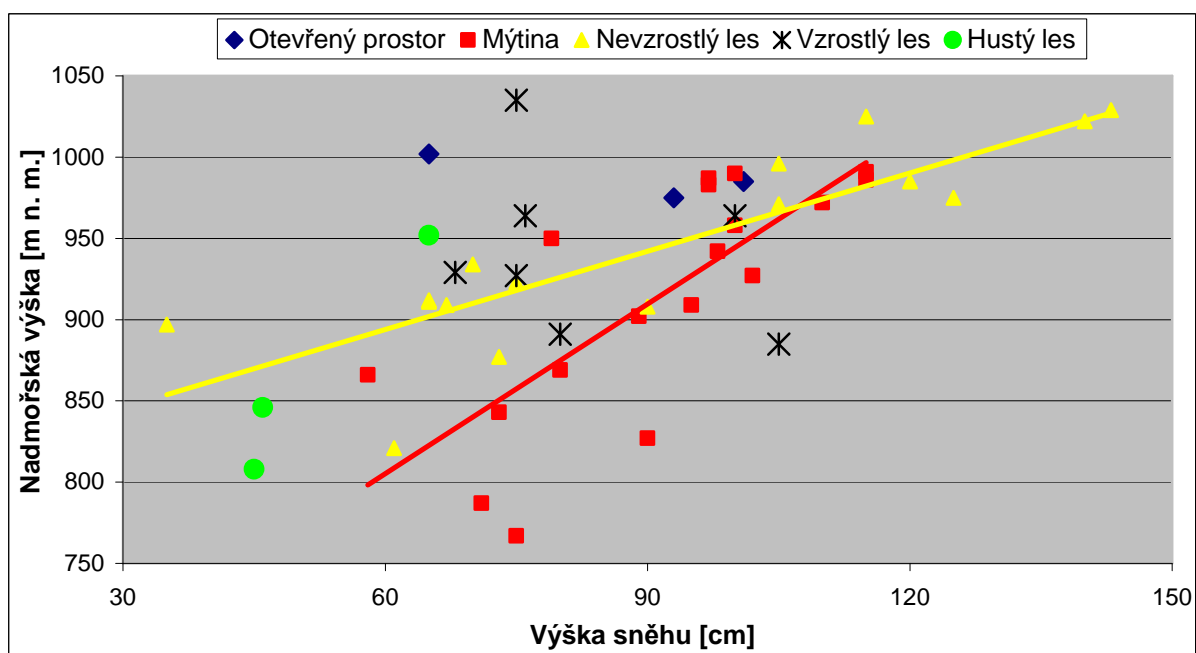
Obr. 19: Výška sněhové pokrývky naměřená dne 24. 2. 2009.



Na obrázku 20 je znázorněn stav výšky sněhu při měření dne 24. 3. 2009. Nejnižší hodnoty jsou dosahovány v hustém lese. Pomocí lineární regresní závislosti byl dokázán vliv nadmořské výšky na výšku sněhové pokrývky u vegetačních skupin mýtina a nevzrostlý les. Hodnota koeficientu determinací byla dosažena u vegetační skupiny mýtina 0,57 a u nevzrostlého lesa 0,73. Menší sněhová pokrývky než 60 cm leží na bodech ležících níže jak 900 m n. m. a naopak na bodech ležících výše než 900 m n. m. leží většinou více jak 90 cm sněhu. Na bodech ležících na mýtině byla lineární regresní závislost nadmořské výšky až na konci zimy. Mohlo by to znamenat, že vliv nadmořské výšky na výšku sněhové pokrývky vzrůstá s časem. Během zimy několikrát stoupnou teploty nad bod mrazu a sníh taje, dochází k oblevám viz obr 15. Oblevy a padání sněhu, které probíhají po celou zimu, by mohly být příčinou, proč se vliv nadmořské výšky na výšku sněhové pokrývky zvyšuje během zimy.



Obr. 20: Výška sněžové pokrývky naměřená dne 24. 3. 2009.



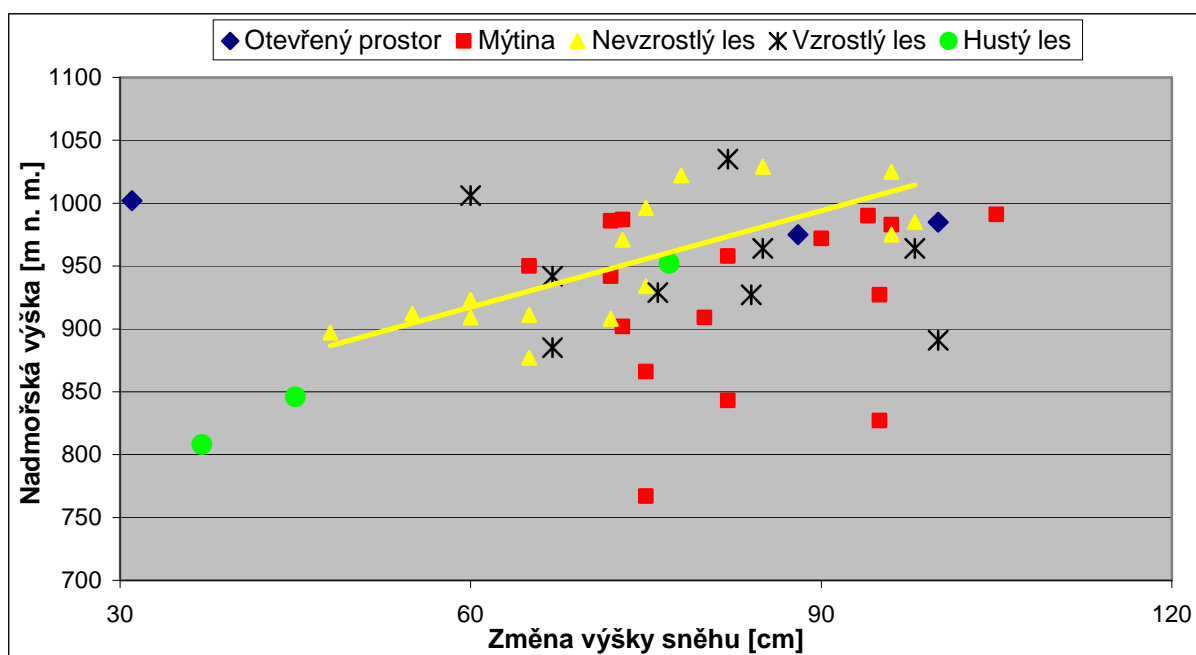
Rozdíl mezi prvním a druhým měření ukazuje na průběh ukládání sněhu v tomto období (obr. 21). Dle tabulky 6 se potvrdila lineární regresní závislost rozdílu výšky sněhu na vegetační skupině nevzrostlý les. U této skupiny došlo k největším přírůstkům sněhu a naopak nejméně přibyl sníh na bodech ležících v hustém lese.

Tab. 6: Hodnoty koeficientu determinace  $R^2$ .

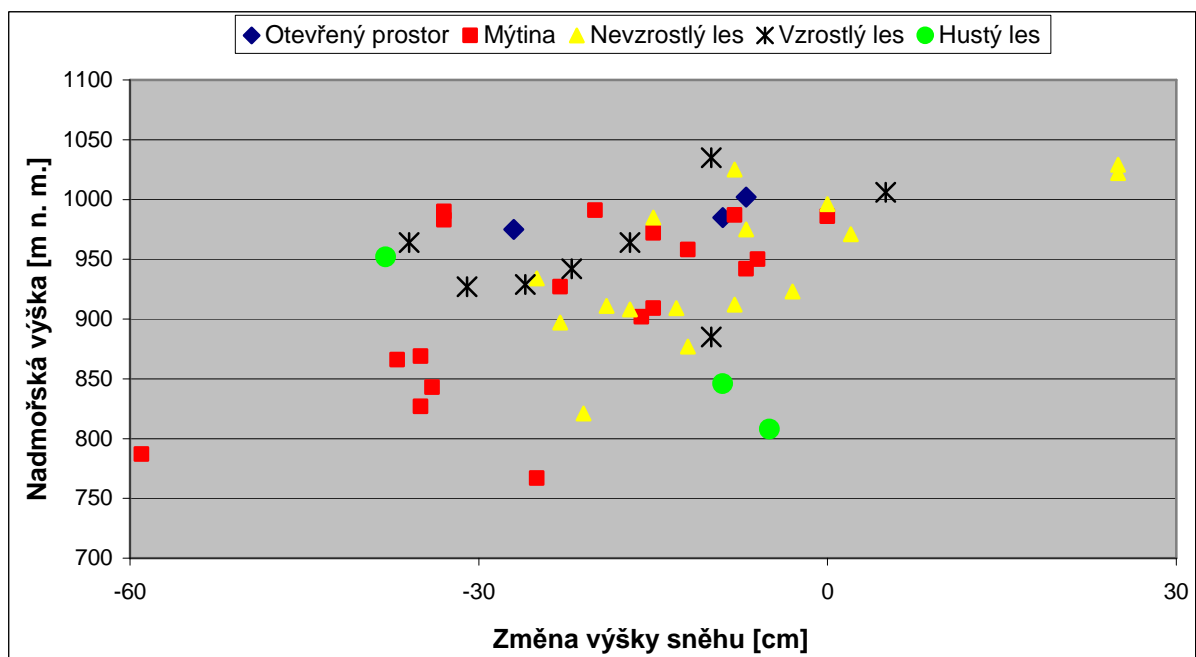
Rozdíl měření mezi	9. 12. 2008 - 24. 2. 2009	24. 2. 2009 - 24. 3. 2009
Otevřená plocha	0,73	0,69
Mýtina	0,03	0,38
Nevzrostlý les	0,57	0,49
Vzrostlý les	0,02	0,32
Hustý les	0,99	0,97

Změna mezi druhým a třetím měřením je spíše záporná, tedy došlo ke snížení výšky sněhu (obr. 22). Tento úbytek by mohl být způsoben dvěma oblevami mezi druhým a třetím měřením (viz obr 15). Úbytek měl nejmenší vliv na bodech v hustém lese a překvapivě na otevřených prostranstvích. K největším úbytkům došlo na bodech ležících na mýtině. Došlo k sesednutí a tím ke zvýšení hustoty sněhu. Vodní hodnota sněhu se mezi druhým a třetím měření změnila minimálně. Ve většině případů dalším sněžením byla zvýšena (obr 27).

Obr. 21: Změna výšky sněhové pokrývky mezi dny 9. 12. 2008 a 24. 2. 2009.



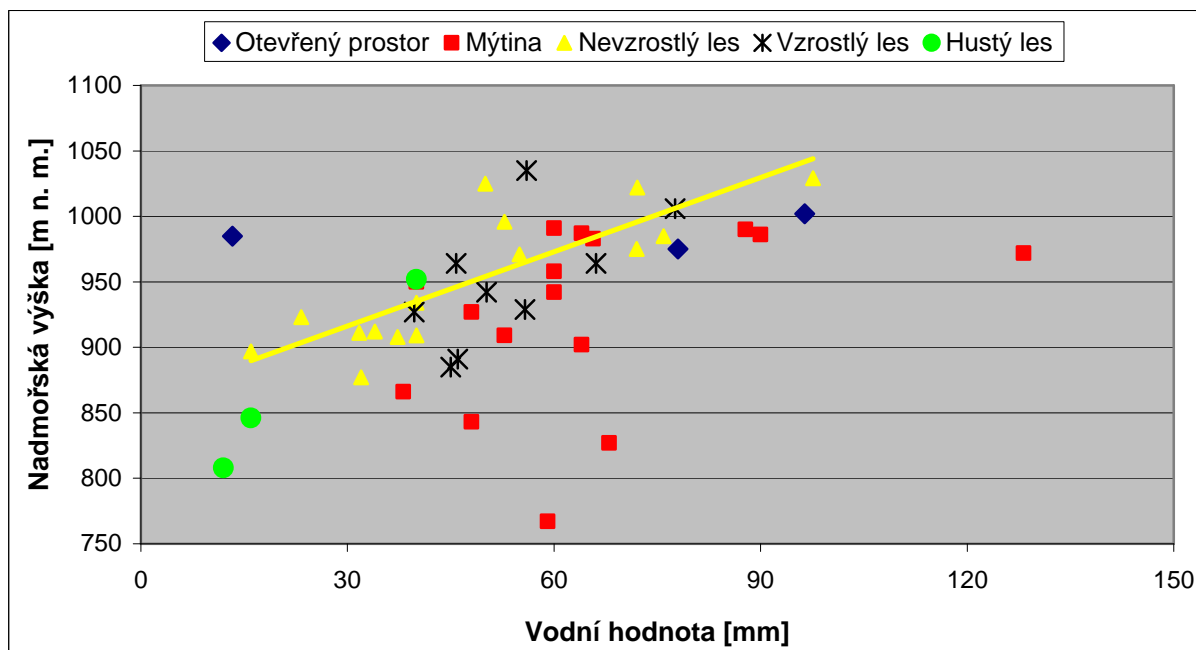
Obr. 22: Změna výšky sněhové pokrývky mezi dny 24. 2. 2009 a 24. 3. 2009.



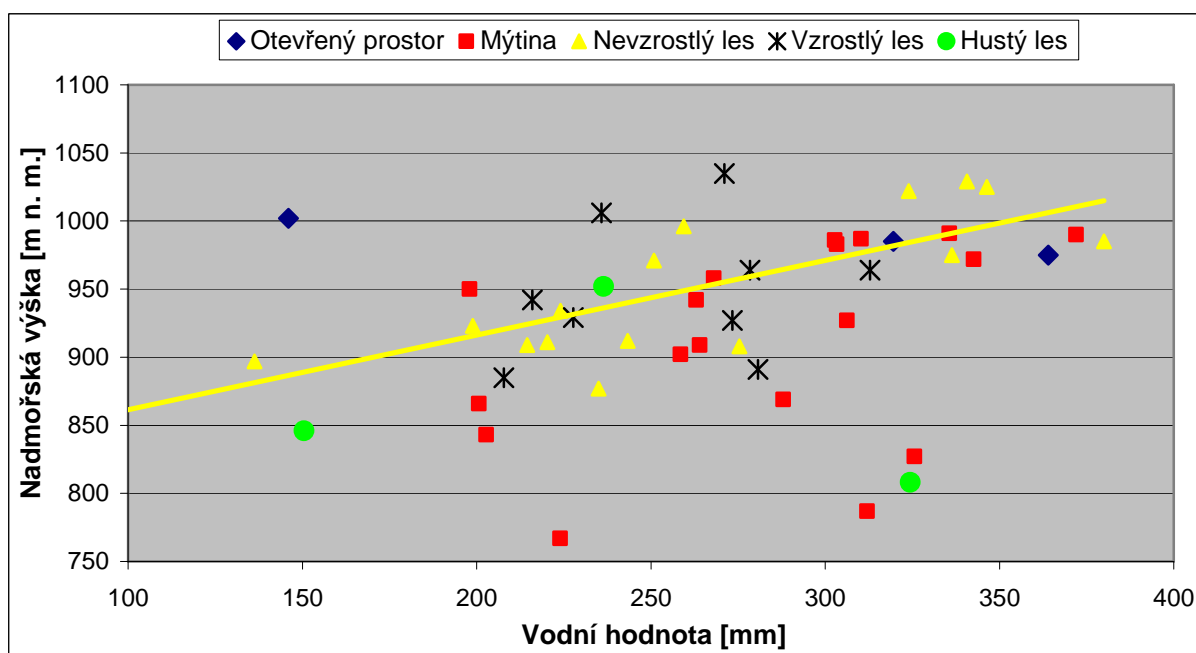
Na obrázcích 23, 24 a 25 je znázorněn vliv nadmořské výšky na vodní hodnotu u jednotlivých měření. Při všech měřeních lineární regresní závislost dokázala vliv nadmořské výšky na velikost vodní hodnoty u bodů spadající pod vegetační skupinu nevzrostlý les. Hodnoty koeficientu determinace dosáhly při měření dne 9. 12. 2008 0,67, při druhém 0,77 a při třetím měření dne 24. 3. 2009 0,68 (viz tab. 7). Nejvyšších vodních hodnot bylo naměřeno na bodech ležících na mýtině a v nevzrostlém lese. Nejmenších hodnot bylo naměřeno na bodech v hustém lese. Při druhém měření nebylo dosaženo lineární regresní

závislosti vodní hodnoty na nadmořské výšce. Přibližně 17 dní před měření začal padat sníh a stanice Abertamy změnila rozdíl mezi počátkem sněžení a měřením na 65 cm. Mohlo by znamenat, že vliv na vodní hodnotu má nadmořská výška větší při tání než při akumulaci sněhové pokrývky. Před ostatními měřeními došlo k oblevám. Může to být způsobeno tím, že v nižších polohách povodí docházelo k tání a ve vyšších polohách teplota byla pod bodem mrazu. Stanice Abertamy leží v nadmořské výšce 870 m. Tato výška patří do nižších poloh v povodí. Obleva se projevila v nižších polohách. Tento jev by mohl mít velký vliv na tání sněhové pokrývky na jaře a vznik odtoku vody.

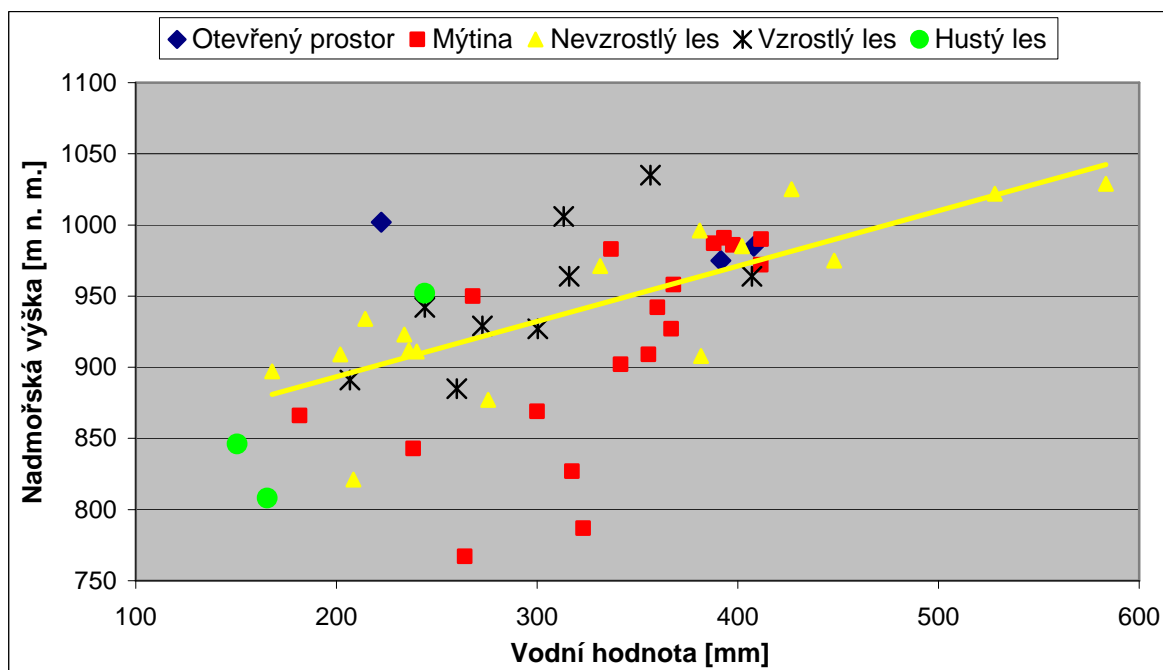
Obr. 23: Vodní hodnota sněhové pokrývky naměřená dne 9. 12. 2009.



Obr. 24: Vodní hodnota sněžové pokrývky naměřená dne 24. 2. 2009.



Obr. 25: Vodní hodnota sněžové pokrývky naměřená dne 24. 3. 2009.

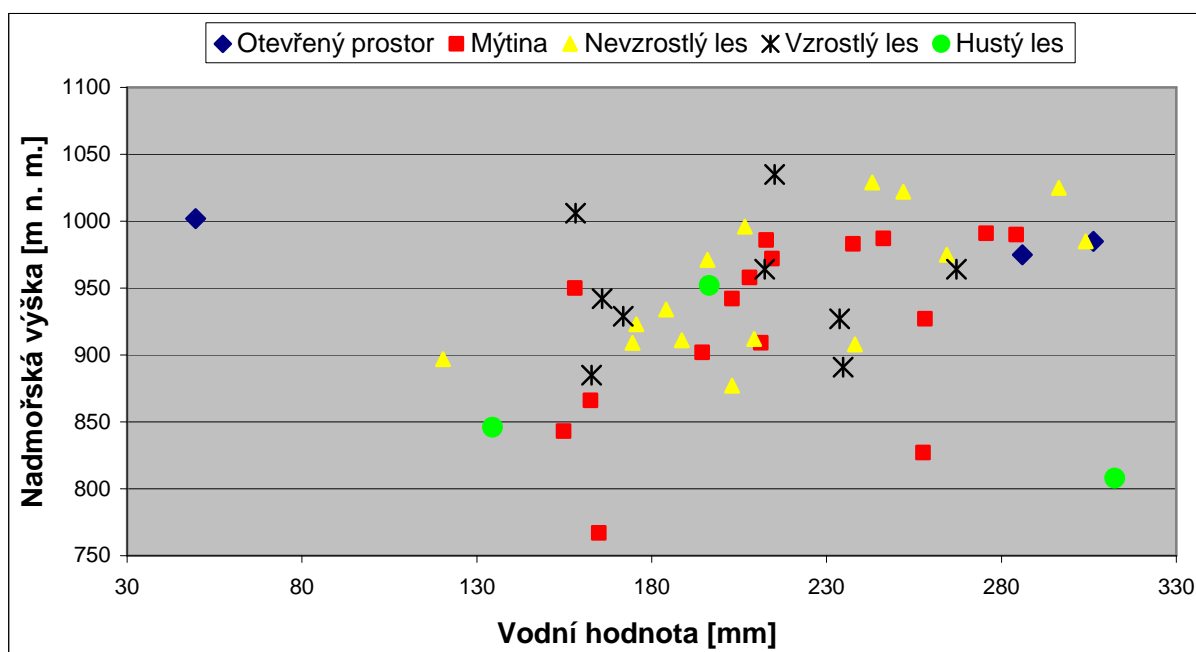


Tab. 7: Hodnoty koeficientu determinace  $R^2$ .

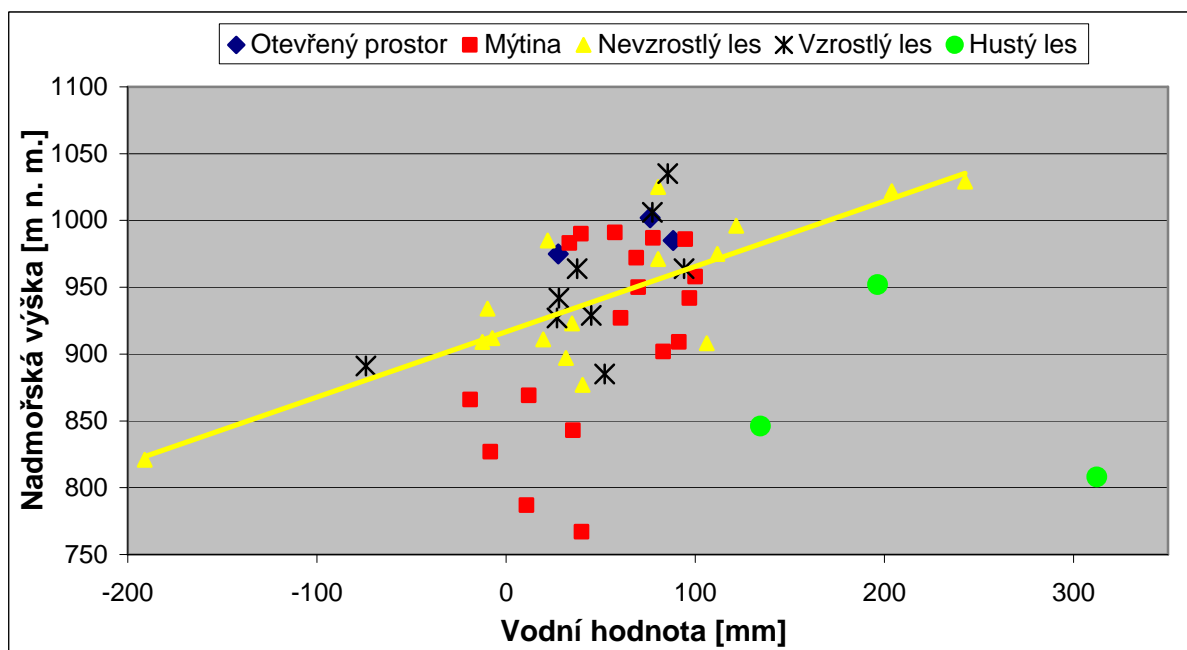
Datum měření	9.12.2008	24.2.2009	24.3.2009
Otevřená plocha	0,12	0,96	0,8
Mýtina	0,14	0,17	0,44
Nevzrostlý les	0,68	0,77	0,67
Vzrostlý les	0,38	0,06	0,47
Hustý les	0,98	0,06	0,84

Lineární regresní závislost (viz tab. 8) vlivu nadmořské výšky na vodní hodnotu se nedokázalo prokázat mezi druhým a třetím měření (viz obr. 26). Ovšem mezi únorovým a březnovým měření (obr 27) se lineární regresní závislost dokázala u vegetační skupiny nevzrostlý les, který byl prokázán koeficientu determinace 0, 65. Na měřeních provedených na bodech ležících v hustém lese došlo k značnému nárůstu vodní hodnoty sněhu. Sníh je zde zakryt korunami stromů před slunečním zářením a přímým vlivem kapalných srážek. Nedošlo k tání sněhu v takovém rozsahu jako u ostatních bodů.

Obr. 26: Změna vodní hodnoty sněhové pokrývky mezi dny 9. 12. 2008 a 24. 2. 2009.



Obr. 27: Změna vodní hodnoty sněhové pokrývky mezi dny 24. 2. 2009 a 24. 3. 2009.



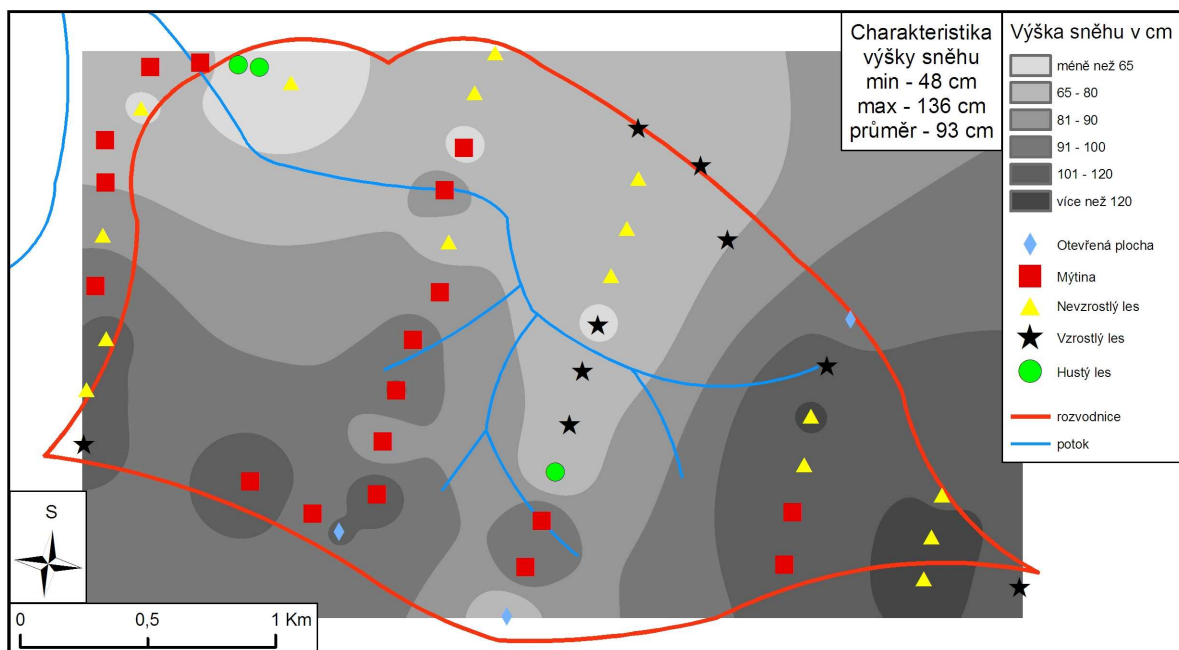
Tab. 8: Hodnoty koeficientu determinace  $R^2$ .

Rozdíl měření mezi	9. 12. 2008 - 24. 2. 2009	24. 2. 2009 – 24. 3. 2009
Otevřená plocha	0,81	0,42
Mýtina	0,26	0,33
Nevzrostlý les	0,45	0,65
Vzrostlý les	0	0,43
Hustý les	0,17	0,17

## 5.2 Vyhodnocení interpolací

Mapa vytvořená interpolační technikou IDW (obr 28) o výšce sněhu, prokázala vliv nadmořské výšky na ukládání sněhu. Nejvyšších hodnot bylo dosaženo v oblastech nejvyšších poloh, maximální hodnota je 136 cm, a naopak nejnižší výšky sněhu 48 cm v oblastech s nejnižší nadmořskou výškou nebo v oblastech bodů reprezentující vegetační skupinu - hustý les. Průměrná výška sněhu v povodí je 93 cm (viz tab. 9).

Obr. 28: Výška sněhu dne 24. 3. 2009 spočtená metodou IDW.

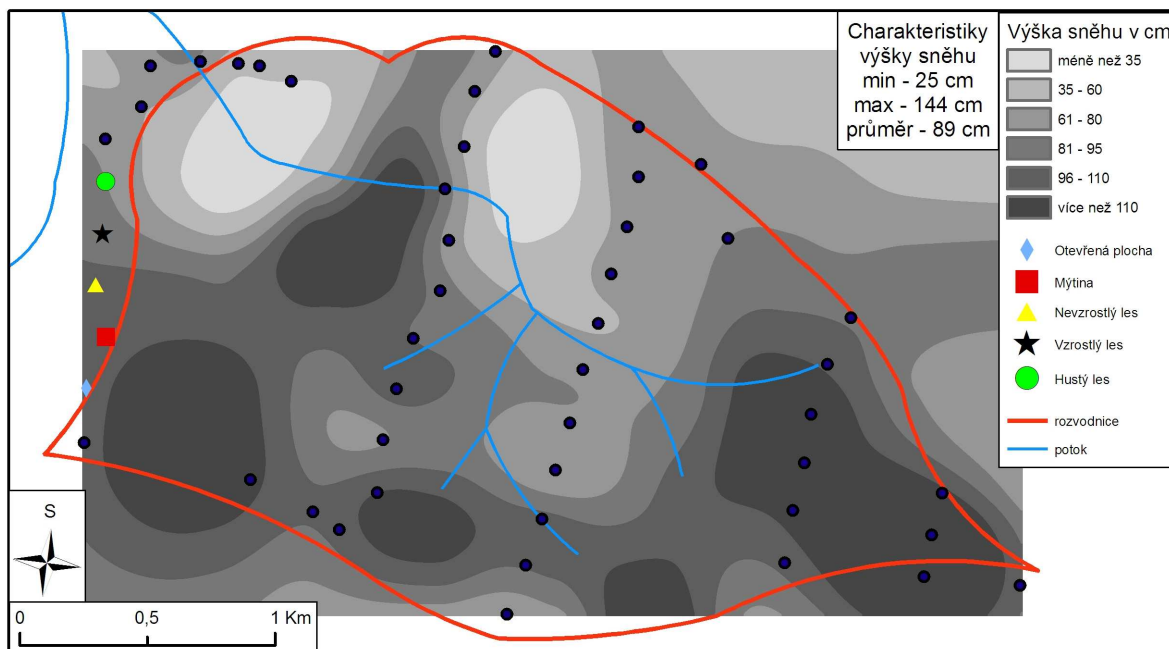


Výška sněhu ze dne 24. 3. 2009 spočítaná interpolační metodou Spline (viz obr. 29), se byla spočítaná nepřesně a neodpovídá realitě. Důvodem by mohlo být malé množství bodů a jejich nerovnoměrné rozmístění, které je zásadní pro přesný výpočet touto metodou. Nejvyšší hodnoty jsou v okolí bodů v hustém lese a v nižších polohách. Maximální výška sněhu je 144 cm a minimální hodnota 25 cm, průměrná hodnota je 89 cm.

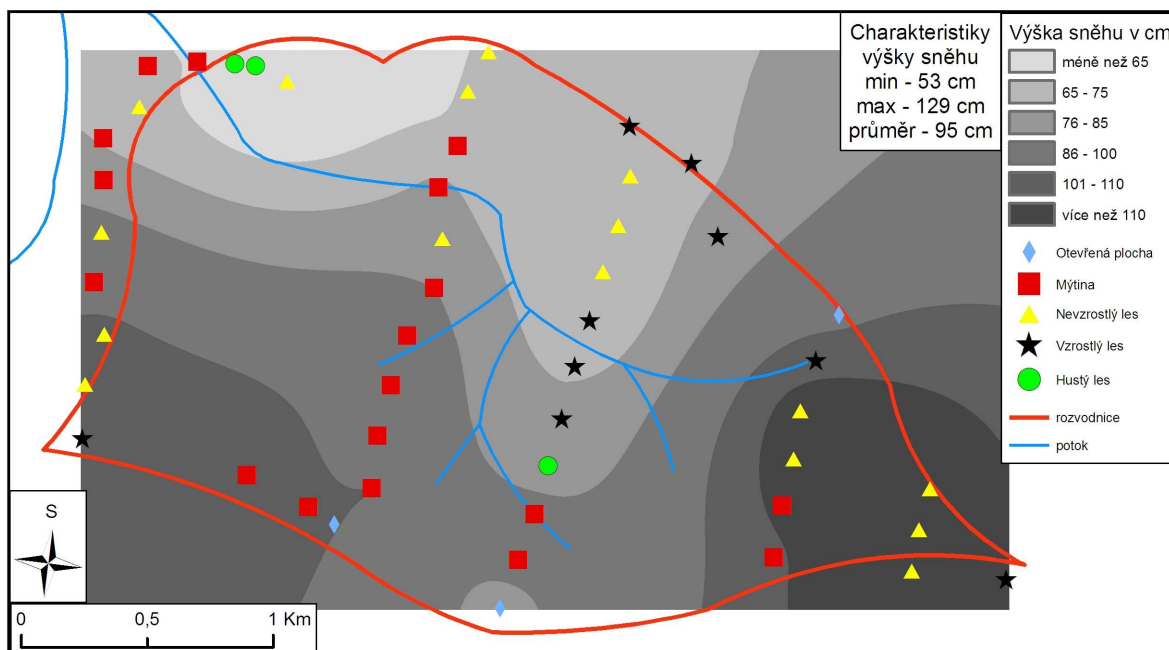
Metodou Kriging (viz obr. 30) byla spočítaná výška sněhu podobně jako metodou IDW. Metodou Kriging se nezobrazily tolik extrémy a došlo k jejich potlačení oproti metodě IDW.

Minimální výška byla metodou Kriging spočítaná na 53 cm a maximální výška na 129 cm. Proti metodě IDW má menší rozptyl o 12 cm.

Obr. 29: Výška sněhu dne 24. 3. 2009 spočtená metodou Spline.



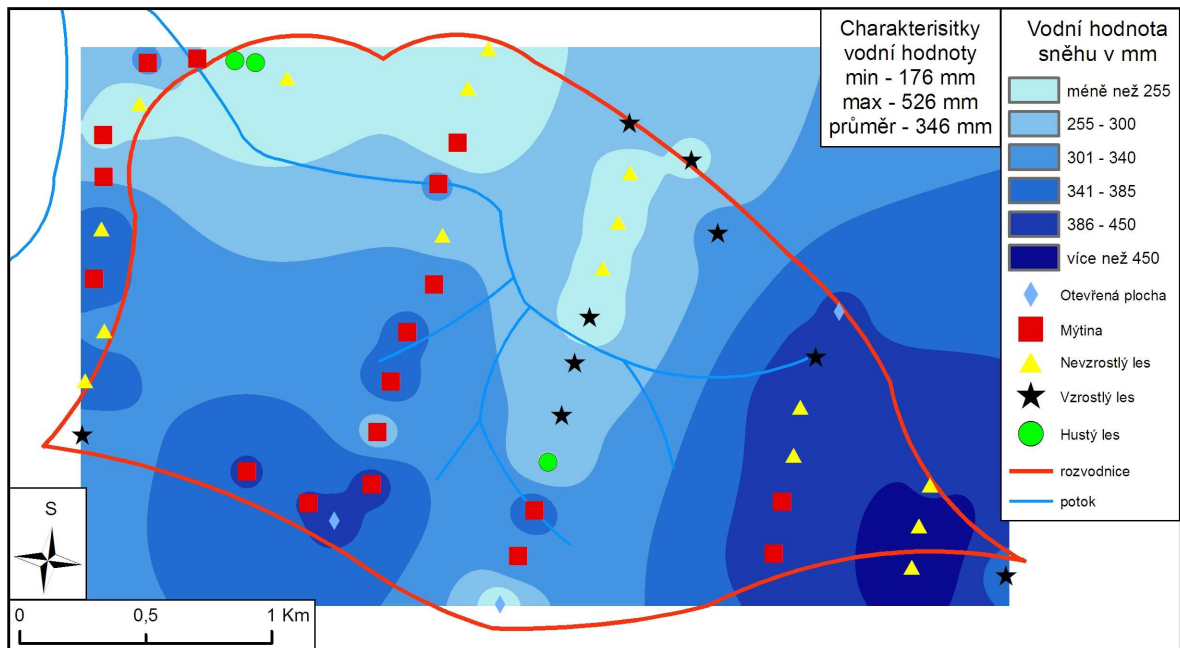
Obr. 30: Výška sněhové pokrývky dne 24. 3. 2009 spočtená metodou Kriging.



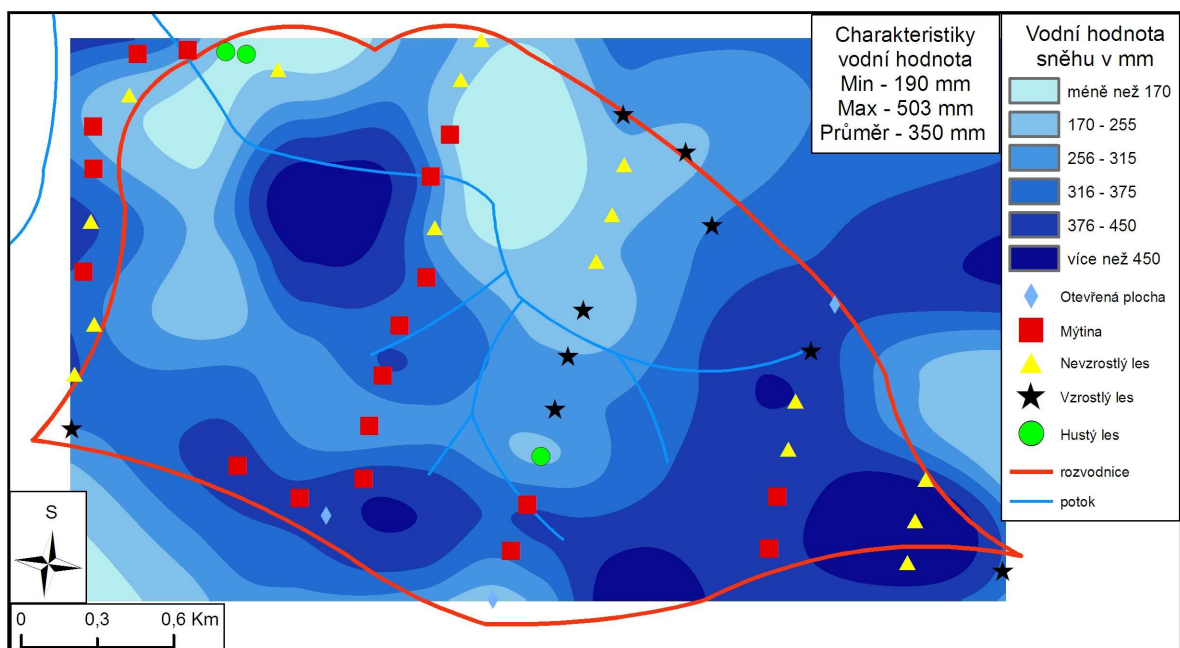
Vodní hodnoty sněhu jsou vyjádřeny stejně jako v případě výšky sněhu. Výsledky jsou ovšem při použití jednotlivých technik velmi rozdílné. Technika IDW (obr 31) a Kriging (obr 33) ukazuje na stejný fenomén jako v případě výšky sněhu. Tedy výskyt maximálních hodnot v lokalitách s nejvyšší nadmořskou výškou a minimálních hodnot v oblastech nižších

poloh a hustého lesa. Technikou IDW byl naměřen rozptyl 353 mm mezi minimální a maximální výškou sněhové pokrývky. Metoda Kriging spočetla menší rozptyl sněhové pokrývky o 40 mm. Mapa technikou Spline (obr 32) nám ukazuje větší variabilitu vodní hodnoty sněhu v povodí. Nejvyšších hodnot se zde dosahuje v oblasti vyšších poloh v blízkosti oblasti hustého lesa. Tato metoda není vhodná pro výpočet vodní hodnoty pro malý počet použitých bodů a jejich nepravidelné rozmístění.

Obr. 31: Vodní hodnota sněhové pokrývky ze dne 24. 3. 2009 spočtená metodou IDW

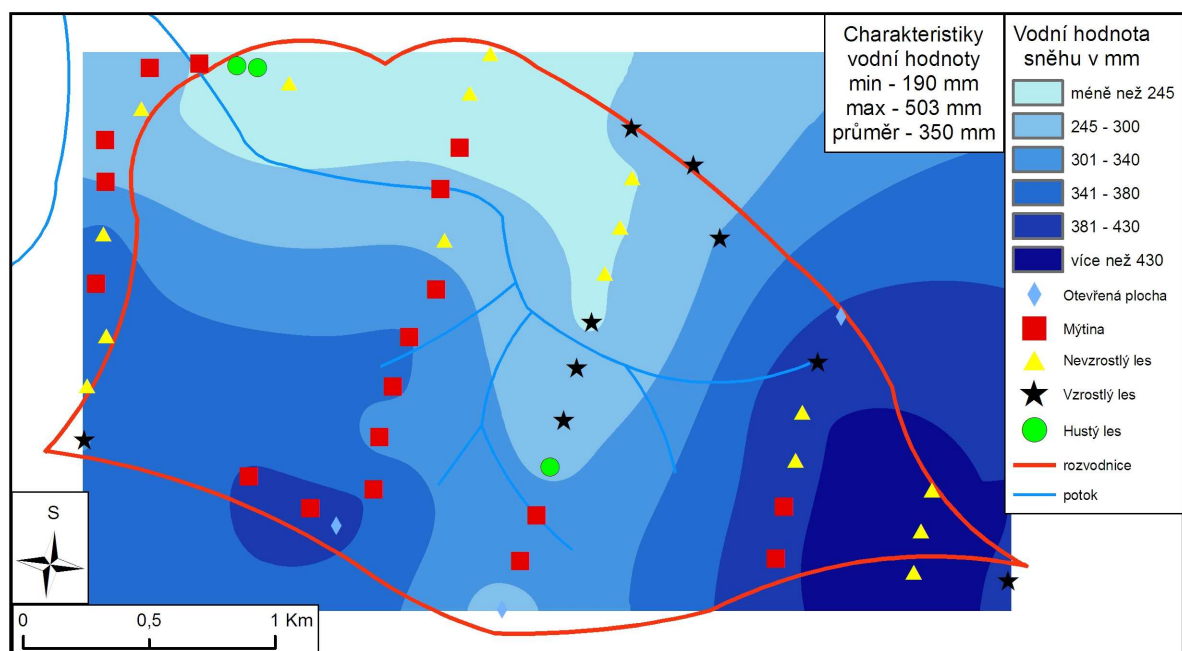


Obr. 32: Vodní hodnota sněhové pokrývky ze dne 24. 3. 2009 spočtená metodou Spline.





Obr. 33: Vodní hodnota sněžové pokrývky ze dne 24. 3. 2009 spočtená metodou Kriging.



Tab. 9: Charakteristiky sněžové pokrývky spočtené interpolačními technikami.

metoda	minimum	maximum	rozptyl	průměr	směrodatná odchylka
KRI_VS3	53	129	76	95	19
SPL_VS3	25	144	119	89	24
IDW_VS3	48	136	88	93	17
DW_VHS3	176	526	353	346	72
SPL_VHS3	190	503	313	350	78
KRI_VHS3	117	571	454	338	93

## 6 Diskuze

Proběhlé sněhoměrné expedice prokázaly vysokou variabilitu hodnot charakterizující vlastnosti sněhu, vodní hodnotu a výšku sněhu.

### 6.1 Chyby při měření a zpracování dat

Vliv na hodnoty sněhu má také charakter zimy i výběr termínů může ovlivnit výsledky. Při měření dne 24. 2. 2009 padal sníh a napadlo až 5 cm sněhu, což mohlo nepříznivě ovlivnit objektivnost výsledků. Během zimy dochází ke střídání oblev a akumulací. Častější měření by přispělo k lepší kvalitě výsledků.

Vliv na výsledky expedic má také typ sněhu. Při odebírání vzorků mohlo docházet k dílčím nepřesnostem. Jednou z nich bylo vytlačování sněhu při zasouvání odměrného válce do sněhu, válec se tak musel zasouvat do sněhu velmi pomalu. Také docházelo k občasnému vypadávání částí vzorků ze spodku profilu při vysouvání trubky ze sněhu. Odebírání vzorků se muselo i několikrát opakovat, aby vznikl reprezentativní vzorek, na což poukazuje Bercha a kol. (2006). Během zimy docházelo k oblevám a vytváření ledových krust ve sněhové pokrývce. Při prorážení těchto krust válcem docházelo ke ztrátám sněhu z válce, tento problém popisuje také Jeníček a kol. (2008). Při jejich výzkumu docházelo dokonce k rozdílu hmotností vzorků odebraných na témže místě až o 10 g. K vážení se používaly digitální váhy s přesností  $\pm 2$  g. Dalším vlivem je výběr místa pro odebrání vzorku. Tento výběr je na subjektivním uvážení pracovníka. Terén byl velmi různorodý a někdy se stávalo, že i na velmi malé ploše byly velké rozdíly výšek sněhu. Body z první expedice byly uloženy do GPS, avšak chyba určení bodu někdy v zalesněném prostředí činila i 10 m.

Při analýze měření sněhové pokrývky se došlo k závěru, že vybrané body pro vegetační skupiny, zejména hustý les a otevřená plocha, byly vybrány nedostatečně. Tyto skupiny obsahovaly velmi malý počet bodů, a proto jsou výsledky v těchto kategoriích zatíženy velkou chybou. Projevilo se to například při zjišťování míry spolehlivosti závislosti vlivu nadmořské výšky na charakteristiky sněhu. Body ležící na otevřeném prostranství byly pouze ve vyšších nadmořských výškách a body spadající do skupiny hustý les ležely v nižších polohách. Důvodem mohl být špatný výběr měřených bodů.

Při vypočítávání charakteristik sněhu programem ArcGIS, docházelo k chybám zejména u interpolační techniky Spline. Důvodem těchto nepřesností mohla být malá hustota bodů a jejich nerovnoměrné rozložení po celé ploše povodí. Tento problém popisuje také Jeníček (2007)

## 6.2 Zhodnocení vlivu vegetace a nadmořské výšky

Vliv vegetace na ukládání sněhové pokrývky se podařilo prokázat pouze mezi vegetačními skupinami otevřená plocha a hustý les. Ovšem tento závěr nelze brát směrodatně z důvodu malého počtu pozitivních bodů. U ostatních vegetačních skupin se neprokázal vliv vegetace na výšku sněhové pokrývky a její vodní hodnotu. Naměřené hodnoty výšky sněhu a vodní hodnoty u ostatních vegetačních skupin byly srovnatelné.

Zkoumáním vlivu vegetace na ukládání sněhové pokrývky se zabývá mnoho výzkumů. Hribíkem a Škvareninou (2007b) byl proveden výzkum vedoucí k závěru, že v zalesněných plochách dochází k menší akumulaci sněhové pokrývky a k delšímu období tání. Tento fakt se prokázal i na výzkumu ČHMÚ na Dvoračkách v Krkonoších a v povodí Uhlířská v Jizerských horách.

Vliv nadmořské výšky na variabilitu akumulace sněhové pokrývky se podařilo prokázat, především na bodech ležících v nevzrostlém lese u obou zkoumaných charakteristik sněhu. U bodů spadajících do vegetační skupiny mýtina se podařilo prokázat vliv jen u výšky sněhu a nikoliv u vodní hodnoty. Výzkumem vlivu nadmořské výšky se zabývala Hollá (2007) v povodí Myjavy na Slovensku. Také Škvarenina s Hribíkem (2007a) v horském masívu Kráľovej hole v Národním Parku Nízke Tatry na Slovensku. Oba tyto výzkumy prokázaly vliv nadmořské výšky na výšku a vodní hodnotu sněhové pokrývky v lese i na mýtině.

Nejvíce se vliv nadmořské výšky na vodní hodnotu sněhové pokrývky projevil při oblevách během zimy. Docházelo k většímu tání sněhu než ve vyšších polohách. Při změně teploty o 0,65 °C s každými sto metry nadmořské výšky byl rozdíl mezi nejnižším a nejvyšším místem povodí 1,55 °C. Prokazatelný byl vliv při porovnání vodní hodnoty při druhém měření s ostatními měřeními. Při druhém měření nebyl prokázán vliv nadmořské výšky na vodní hodnotu. Před druhým měřením napadlo v Abertamech 65 cm a nadmořská výška Abertam byla srovnatelná s nižšími polohami povodí. Mezi druhým a třetím měřením, tedy mezi 24. 2. 2009 a 24. 3. 2009, došlo ke dvěma oblevám. Při větší z nich došlo k úbytku sněhu o 67 cm. Takto rozsáhlá obleva zasáhla v povodí Zlatého potoka více nižší polohy než vyšší nadmořské výšky.

## 6.3 Náměty do budoucna

Měření na experimentálním povodí Zlatého potoka bylo provedeno poprvé a pro objektivnost tohoto měření by měly být provedeny měření i v dalších letech. Pro zjištění

vlivu vegetace na ukládání sněhu by výrazně přispěl výzkum lokality s jinými druhy vegetačních pokryvů, např. listnaté nebo smíšené lesy. Podobné měření bylo provedeno Hribíkem a Škvařeninou (2007).

Pro příští měření je vhodnější předchozí průzkum zájmového území a zdokumentování variability vegetačního pokryvu v závislosti s nadmořskou výškou, aby se nestalo, jako při tomto výzkumu, že budou pouze tři body v hustém lese a na otevřené ploše. Navíc vždy ležely v podobné nadmořské výšce. Časová náročnost je jistě negativem, ale jistě se vyplatí pro dosažení lepších výsledků.

## 7 Závěr

Sněhoměrná měření proběhla v zimní sezóně 2008/2009 v experimentální části povodí Zlatého potoka. Prokázala značnou variabilitu sněhové pokrývky. Jasně prokázat příčiny této variability nelze. Na variabilitu působilo mnoho faktorů. Mezi ně patřily vegetační pokryv a nadmořská výška.

Vliv vegetace na ukládání sněhové pokrývky nebyl tak jasně zřetelný jako vliv nadmořské výšky. Na konci zimní sezóny byl vliv zřetelnější než na jejím začátku. Nejvíce se od ostatních hodnot odchylovaly hodnoty výšky a vodní hodnoty sněhu na bodech v hustém lese. Při interpolacích se ukázaly nejnižší hodnoty výšek a vodní hodnoty sněhu na místech hustého lesa a naopak nejvyšší hodnoty výšky byly rovnoměrně rozprostřeny na ostatních typech vegetace. Vlivem vegetace byla vodní hodnota ovlivňována až sekundárně, jelikož rozdíly vodní hodnoty byly shodné u všech vegetačních pokryvů.

Výška sněhu byla ovlivněna více nadmořskou výškou než vegetací. Bylo to prokázáno v grafech i při interpolacích. Z grafů je jasně vidět, že s přibývajícím výškou rostla výška sněhu a i její vodní hodnota na všech typech vegetace. Stejný jev byl prokázán při interpolacích. Nejvyšších hodnot dosahovaly body ve vyšších polohách. Nadmořská výška měla vliv na vodní hodnotu, tato skutečnost byla nejlépe vidět na posledním měření. Mohlo by to znamenat, že občasné oblevy během zimy neměly takový vliv na sněhovou pokrývku ležící ve vyšších polohách jako na tu ležící v nižších polohách. Při těchto oblevách sněhu docházelo hlavně k zráním a sesedání sněhu, což se prokázalo při zjišťování změny vodní hodnoty mezi jednotlivými měřeními. Při ukládání sněhu nebyl tento jev natolik prokazatelný jako při tání. Pro lepší vyhodnocení vlivů na variabilitu sněhové pokrývky by bylo potřeba dalších měření. Měření by se mohla provádět na jiných povodích s různým typem vegetačních pokryvů a nadmořské výšky. Porovnávání výsledků by lépe přiblížilo problematiku vlivů na variabilitu sněhové pokrývky. Dosažené výsledky by pomohly při lepším nastavení modelů, které se používají pro předpovědi zásob vody ve sněhové pokrývce. Předpovědi by byly efektivnější a mohly by lépe upozornit na nebezpečí jarních povodní a ochránit majetek i lidské životy.

## 8 Seznam použité literatury

- BARTÁK, Z. (1995): Hydrologické předpovědi v povodí vodního díla Nýrsko. Práce a studie, Issue 26, Praha, ČHMÚ, s. 9-26.
- BERCHA, Š., ŘIČICOVÁ, P., NĚMEC, L. (2006): Posouzení reprezentativnosti měření vodní hodnoty sněhu při jarní povodni 2006. In HRIBÍK, M., HOLKO, L., ŠKVARENINA, J., Zborník zo seminára 12. stretnutie snehárov, Technická Univerzita Zvolen, s 50 – 57.
- CARROLL, T. (2001): Airborne gamma radiation snowsurvey program [online]. NOHRSC, Chansen [cit. 2009-08-12]. Dostupné z URL:  
[http://www.nohrsc.noaa.gov/technology/pdf/tom\\_gamma50.pdf](http://www.nohrsc.noaa.gov/technology/pdf/tom_gamma50.pdf)
- ČHMÚ (2009a): Data ze stanic ČHMÚ v Krkonoších [online]. [cit 2009-09-13]. Dostupné z URL: [http://www.chmu.cz/hydro/ohv/exp\\_pov/vyvoj\\_Krkonose.htm](http://www.chmu.cz/hydro/ohv/exp_pov/vyvoj_Krkonose.htm)
- ČHMÚ (2009b): Výzkum na experimentálním povodí Uhlířská [online]. [cit. 2009-09-13]. Dostupné z URL [http://cecwi.fsv.cvut.cz/jiz/pict\\_c.htm](http://cecwi.fsv.cvut.cz/jiz/pict_c.htm)
- DEWALLE, D., RANGO, A. (2008): Principles of snow hydrology. New York, Cambridge University Press, 409 s.
- HOLLÁ, M. (2007): Určenie zásob vody v snehovej pokrývke – povodie Myjava Slovenský hydrometeorologický ústav. In HRIBÍK, M., HOLKO, L., ŠKVARENINA, J. Zborník zo seminára 12. stretnutie snehárov, Technická Univerzita Zvolen, s. 68 – 74.
- HRIBÍK, M., ŠKVARENINA, J. (2007a): Dynamika snehovej pokrývky na výškovom tranzekte Kráľovej hole - Nízke Tatry v zime 2005/06. In HRIBÍK, M., HOLKO, L., ŠKVARENINA, J., Zborník zo seminára 12. stretnutie snehárov, Technická Univerzita Zvolen, s. 75 – 79.
- HRIBÍK, M., ŠKVARENINA, J. (2007b): Vplyv ihličnatého a listnatého lesa v rastovej fáze žrdoviny na vytváranie snehových zásob. In HRIBÍK, M., HOLKO, L., ŠKVARENINA, J., Zborník zo seminára 12. stretnutie snehárov, Technická Univerzita Zvolen, s. 88 – 98.
- JELÍNEK, J. (2007): Akumulace a tání sněhové pokrývky v povodí Rokytky v hydrologických letech 2007. Diplomová práce, PřfUK, KFGG, Praha, 85 s.
- JENÍČEK, M., KOCUM, J., JELÍNEK, J. (2008): Monitoring sněhové pokrývky v povodí Rokytky v letech 2007 a 2008. In Broža, V., Szolgay, J., Fošumpaur, P. (Eds.): Extrémní hydrologické jevy v povodích. Sborník příspěvků z Workshopu Adolfa Patery 4. 11. 2008, ČVÚT, Praha, s. 227-236.

- JIRÁK, J. (2007): Testování a provoz automatických stanic pro měření výšky a vodní hodnoty sněhové pokrývky. In HRIBÍK, M., HOLKO, L., ŠKVARENINA, J., Zborník zo seminára 12. stretnutie snehárov, Technická Univerzita Zvolen, s. 106 – 109.
- LISTON, G. (1998): Interrelationships among Snow Distribution, Snowmelt, and Snow Cover Depletion: Implications for Atmospheric, Hydrologic, and Ecologic Modeling [online]. Colorado, Department of Atmospheric Science, [cit 2009 –07–12]. Dostupné z URL: [http://ams.allenpress.com/perlserv/?request=get-document&doi=10.1175%2F1520-0450\(1999\)038%3C1474:IASDSA%3E2.0.CO%3B2](http://ams.allenpress.com/perlserv/?request=get-document&doi=10.1175%2F1520-0450(1999)038%3C1474:IASDSA%3E2.0.CO%3B2)
- KUNSKÝ, J. (1975): Československo fyzicky zeměpisně. Praha, Státní pedagogické nakladatelství, 249 s.
- NETOPIIL, R. a kol. (1984): Fyzická Geografie I. Praha, Státní pedagogické nakladatelství, 273 s.
- NEUHÄSLEROVÁ, Z. a kol. (1998): Mapa potenciální přirozené vegetace České republiky textová část. Praha, Academia, 343 s.
- POBŘÍŠLOVÁ, J., KULASOVÁ, A. (2000): Ukládání a tání sněhu v lese a na odlesněných partiích Jizerských hor. Opera Corcontica 37, 2000, s. 113–119.
- SEIFERT, V. (1994): Počasí kolem nás. Praha, Grada, 144 s.
- SINGH, P., SINGH, V. P. (2001): Snow and Glacier Hydrology. Kluwer Academic Publisher, Londýn, 742 s.
- SORTBERG, H.K., ENGESET, R.V., UDNAES, H.C. (2000): National Network for Snow Monitoring in Norway: Snow Pillow Verification Using Observations and Models. Norwegian Water Resources and Energy Directorate, Oslo, N-0301, s 7.
- TOLASZ a kol. (2007): Atlas podnebí česka. Praha, ČHMÚ, 256 s.
- ŽÍDEK, D., LIPINA, P. (2003): Návod pro pozorovatele meteorologických stanic [online]. ČHMÚ, Ostrava [cit. 2009-07-28]. Dostupné z URL: [http://www.chmu.cz/OS/pdf/metodicky\\_navod/MP.pdf](http://www.chmu.cz/OS/pdf/metodicky_navod/MP.pdf)
- MŽP (2009): Mapové výstupy fyzickogeografických charakteristik povrchu [online]. Geoportál.cenia.cz, Praha, [cit. 2009-08-22]. Dostupné z URL: [http://www.cenia.cz/\\_C12571B20041F1F4.nsf/index.html](http://www.cenia.cz/_C12571B20041F1F4.nsf/index.html)

## 8.1 Datové zdroje

DMU 25, VGHÚ, Geografická služba AČR

## 9 Seznam použitých obrázků

*Obr. 1: Tvary a velikosti sněhových krystalů.*

*Obr. 2: Sněhoměrná lať.*

*Obr. 3: Váhový sněhoměr a) Váhový sněhoměr složený a připravený k vážení, b) váhový sněhoměr rozložený odběrný válec a píst na pýchování sněhu.*

*Obr. 4: Člunkový srážkoměr.*

*Obr. 5: Srážkoměr.*

*Obr. 6: Sněhoměrný polštář Hejnická na experimentálním povodí Uhlířská.*

*Obr. 7: Okolí povodí Zlatého potoka.*

*Obr. 8: Satelitní snímek zájmového území.*

*Obr. 9: Sklonitostní poměry v povodí Zlatého potoka.*

*Obr. 10: Výšková členitost povodí Zlatého potoka.*

*Obr. 11: Průměrné měsíční teploty vzduchu na meteorologických stanicích ČHMÚ v letech (1990 – 2009).*

*Obr. 12: Průměrný měsíční úhrn srážek v meteorologických stanicích ČHMÚ v letech (1980 – 2009).*

*Obr. 13: Průběh výšky sněhu v meteorologických stanicích ČHMÚ v letech (1980 – 2009).*

*Obr. 14: Vegetační pokryv povodí Zlatého potoka.*

*Obr. 15: Výška sněhu na stanici Abertamy v zimě 2008/2009.*

*Obr. 16: Mapa povodí Zlatého potoka s vytyčenými profily a body.*

*Obr. 17: Rozdělení vegetačního pokryvu do skupin.*

*Obr. 18: Výška sněhové pokrývky naměřená dne 9. 12. 2009.*

*Obr. 19: Výška sněhové pokrývky naměřená dne 24. 2. 2009.*

*Obr. 20: Výška sněhové pokrývky naměřená dne 24. 3. 2009.*

*Obr. 21: Změna výšky sněhové pokrývky mezi dny 9. 12. 2008 a 24. 2. 2009.*

*Obr. 22: Změna výšky sněhové pokrývky mezi dny 24. 2. 2009 a 24. 3. 2009.*

*Obr. 23: Vodní hodnota sněhové pokrývky naměřená dne 9. 12. 2009.*

*Obr. 24: Vodní hodnota sněhové pokrývky naměřená dne 24. 2. 2009.*

*Obr. 25: Vodní hodnota sněhové pokrývky naměřená dne 24. 3. 2009.*

*Obr. 26: Změna vodní hodnoty sněhové pokrývky mezi dny 9. 12. 2008 a 24. 2. 2009.*

*Obr. 27: Změna vodní hodnoty sněhové pokrývky mezi dny 24. 2. 2009 a 24. 3. 2009.*

*Obr. 28: Výška sněhu dne 24. 3. 2009 spočtená metodou IDW.*

*Obr. 29: Výška sněhu dne 24. 3. 2009 spočtená metodou Spline.*



*Obr. 30: Výška sněžové pokrývky dne 24. 3. 2009 spočtená metodou Kriging.*

*Obr. 31: Vodní hodnota sněžové pokrývky ze dne 24. 3. 2009 spočtená metodou IDW*

*Obr. 32: Vodní hodnota sněžové pokrývky ze dne 24. 3. 2009 spočtená metodou Spline.*

*Obr. 33: Vodní hodnota sněžové pokrývky ze dne 24. 3. 2009 spočtená metodou Kriging.*

## **10 Seznam tabulek**

*Tab. 1: Hustota sněhu v závislosti na charakteru sněhu.*

*Tab. 2: Družice měřící viditelnou a blízkou infračervenou částí spektra.*

*Tab. 3: Charakteristiky sněhu v povodí Zlatého potoka.*

*Tab. 4 Hydrologická charakteristika povodí.*

*Tab. 4: Hodnoty koeficientu determinace  $R^2$ .*

*Tab. 6: Hodnoty koeficientu determinace  $R^2$ .*

*Tab. 7: Hodnoty koeficientu determinace  $R^2$ .*

*Tab. 8: Hodnoty koeficientu determinace  $R^2$ .*

*Tab. 9: Charakteristiky sněžové pokrývky spočtené interpolačními technikami.*