

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA
KATEDRA FYZICKÉ GEOGRAFIE A GEOEKOLOGIE



**VLIV SNĚHOVÉ POKRÝVKY NA ODTOK VODY Z POVODÍ
V ZALESNĚNÉM A NEZALESNĚNÉM PROSTŘEDÍ**

INFLUENCE OF SNOW COVER ON CATCHMENT OUTFLOW IN WOODED AND
UNWOODED ENVIRONMENT

diplomová práce

Bc. Ivo Hintnaus

České Budějovice, 2011

Vedoucí diplomové práce: RNDr. Zdeněk Kliment, CSc.

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Název práce:

Vliv sněhové pokrývky v zalesněném a nezalesněném prostředí na odtok vody z povodí

Cíle práce:

Diplomová práce se zabývá hodnocením sněhových srážek a sněhové pokrývky jejich prostorovým rozložením v povodích Zbytinského a Tetřívčího potoka. Snaží se zjistit, jakou měrou se podílí sněhová pokrývka na odtoku zejména při jarním tání, jakou roli hrají při formování odtoku ze sněhové pokrývky antropogenní zásahy, zalesnění terénu a další fyzicko-geografické faktory jako např. teplota, srážky, expozice nebo sklonitost terénu.

Použité pracovní metody, zájmové území, datové zdroje:

Vedle literární rešerše je práce zaměřena na měření sněhové pokrývky v daných územích. Studijní území leží na párových experimentálních povodích Zbytinského a Tetřívčího potoka nedaleko obce Zbytiny v pramenné oblasti šumavské Blanice. Práce bude vycházet z vlastního terénního měření sněhové pokrývky, které bude porovnáváno s daty ČHMÚ ze stanice Spálenec. Předpokládá se využití dat z kontinuálního monitoringu odtoku prováděného od roku 2006 a dalších dostupných digitálních mapových podkladů.

Rád bych poděkoval RNDr. Z. Klimentovi, CSc. za odborné vedení a pomoc při terénních měřeních, za věcné připomínky a poskytnutí datových podkladů. Dále bych chtěl poděkovat RNDr. Michalu Jeníčkovi, Ph.D. za cenné rady a poskytnutí přístrojového vybavení k terénnímu měření. V neposlední řadě děkuji rodičům za všeobecnou podporu.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně a 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 Českých Budějovicích dne 22. července 2011

.....

Obsah:

1. ÚVOD	7
2. CÍLE PRÁCE	8
3. STRUKTURA PRÁCE	9
4. SOUČASNÝ STAV POZNATKŮ	10
4.1. Fyzikální vlastnosti sněhu	10
4.1.2. <i>Další vybrané fyzikální vlastnosti sněhu</i>	12
4.1.3. <i>Kvalita sněhu</i>	12
4.1.4. <i>Měrné teplo</i>	13
4.1.5. <i>Latentní teplo</i>	14
4.1.6. <i>Tepelná vodivost</i>	14
4.1.7. <i>Albedo</i>	14
4.2. Vývoj sněhové pokrývky	15
4.3. Vliv fyzicko-geografických faktorů na akumulaci a tání sněhové pokrývky ...	17
4.3.1. <i>Srážky a teplota</i>	17
4.3.2. <i>Solární radiace</i>	18
4.3.3. <i>Větrné proudění</i>	19
4.3.4. <i>Reliéf</i>	19
4.3.5. <i>Vegetace</i>	21
4.4. Metody výzkumu sněhové pokrývky	23
4.4.1. <i>Staniční měření</i>	23
4.4.2. <i>Expediční měření</i>	24
4.4.3. <i>Distanční měření</i>	24
4.5. Klasifikace hydrologických modelů	25
4.5.1. <i>Klasifikace podle stupně kauzality</i>	26
4.5.2. <i>Klasifikace podle míry časové a prostorové diskretizace</i>	26
4.6 . Modelování odtoku ze sněhu	27
4.6.1. <i>Modely energetické bilance</i>	27
4.6.2. <i>Indexová metoda</i>	28
4.6.3. <i>Model HEC- HMS</i>	30
5. VYMEZENÍ A CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ	32
5.1. Geologické poměry	34
5.1.1. <i>Hydrogeologické poměry</i>	34
5.2. Geomorfologické poměry	36

5.3. Sklonitost	37
5.4. Expozice.....	38
5.5. Pedologické poměry	40
5.6. Vegetační poměry	43
5.7. Klimatické poměry	45
5.7.2. Teplotní poměry	47
5.7.3. Srážkové poměry	49
5.7.4. Sněhové poměry	53
5.7.5. Větrné poměry.....	58
5.8. Odtokové poměry	60
6. METODIKA	63
6.1. Sběr dat v terénu	63
6.1.1. Zpracování dat.....	65
6.2. Modelování odtoku ze sněhové pokrývky	66
6.2.1. Příprava v ArcGIS	67
6.2.2. Model přímého odtoku	67
6.2.3. Model odtokové ztráty.....	68
6.2.4. Stanovení hodnot odtokových křivek (CN).....	69
6.2.5. Model podzemního odtoku	69
6.2.6. Meteorologický model.....	70
6.2.7. Sestavení modelu.....	74
6.2.8. Časové řady.....	75
6.2.9. Simulace a kalibrace modelu	75
7. VÝSLEDKY	77
7.1. Vyhodnocení měření v sezóně 2009/2010.....	77
7.2. Vyhodnocení měření v sezóně 2010/2011	79
7.3. Vliv fyzicko-geografických faktorů na rozložení sněhové pokrývky	82
7.3.1. Nadmořská výška	82
7.3.2. Vegetace.....	87
7.3.3. Sklonitost.....	92
7.3.4. Expozice	96
7.3.5. Větrné poměry.....	101
7.3.6. Zastínění terénu.....	108
7.4. Modelování odtoku	114
7.4.1. Kalibrace modelu HEC- HMS	114
7.4.2. Simulace zimní sezóny 2009/2010 (18. 11. 2009– 30. 3. 2010).....	115

7.4.3.	<i>Simulace od 17. 2. do 4. 3. 2010</i>	118
7.4.4.	<i>Simulace zimní sezóny 2010/2011 (8. 11. 2009 - 30. 3.2010)</i>	120
7.4.5.	<i>Simulace od 5. 1. do 30. 1. 2011</i>	122
7.4.6.	<i>Modelování vodní hodnoty sněhu v zimních sezónách 2009/2010 a 2010/2011</i> 124	
8.	DISKUZE.....	126
9.	ZÁVĚR.....	132
10.	SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK.....	134
10.1.	Seznam obrázků.....	134
10.2.	Seznam tabulek.....	137
11.	SEZNAM LITERATURY A DALŠÍCH ZDROJŮ:.....	138
11.1.	Literatura:.....	138
11.2.	Datové a mapové zdroje:.....	143

1. ÚVOD

Sníh představuje v České republice důležitý klimatický a hydrologický prvek, jež ovlivňuje přírodní prostředí i lidskou činnost. Nejdůležitějším zdrojem vodnosti našich řek jsou srážky spadlé v podobě deště nebo sněhu. Sněhová pokrývka významně ovlivňuje zásoby povrchových i podzemních vod v období zimních oblev, proto je v problematice hydrologie sněhu věnována pozornost v souvislosti s povodněmi způsobenými táním sněhové pokrývky. Naše horské a podhorské oblasti jsou významným zdrojem akumulace sněhu a povodně způsobené táním sněhové pokrývky zde mají často původ.

Ke studiu tématu hydrologie sněhu je nezbytná znalost procesů akumulace a tání a jejich vývoj v čase. Akumulace a tání sněhové pokrývky jsou ovlivněny mnoha faktory souvisejícími s klimatem, reliéfem nebo vegetací. Klimatickými faktory ovlivňujícími prostorové rozložení jsou teplota, srážky, solární radiace nebo činnost větru. Charakter reliéfu má vliv na rozmístění sněhové pokrývky prostřednictvím nadmořské výšky, expozice, nebo sklonitosti. Důležitým prvkem pro akumulaci a tání je vegetace, kde hrají rozhodující roli typ pokryvu a hustota porostu.

S rozvojem výpočetní techniky došlo k rozvoji modelování srážko-odtokových procesů. Matematická reprezentace srážko-odtokového procesu má dlouhou historii, od 80. let minulého století se stává významným nástrojem hydrologů a vodohospodářů. V současné době je měření a modelování odtoku z tajícího sněhu u nás i v zahraničí věnována významná pozornost. Základní informační vstup pro zpracování hydrologických předpovědí tvoří údaje o výšce sněhové pokrývky a její vodní hodnotě. V zimním období jsou tyto informace důležitým podkladem pro stanovení vodních zásob v povodí.

2. CÍLE PRÁCE

Cílem práce je přispět k poznání procesů akumulace a tání sněhové pokrývky v malých povodích a objasnit faktory ovlivňující tyto procesy vzhledem k odtokovým poměrům.

Práce se zabývá hodnocením sněhové pokrývky a jejím prostorovým rozložením v experimentálních povodích Zbytinského a Tetřívčího potoka. Prostorové vyhodnocení variability sněhové pokrývky zahrnuje zpracování a interpretaci dat získaných v terénu. Cílem práce je popsat faktory ovlivňující akumulaci a tání sněhu v malých povodích. Mezi hlavní faktory ovlivňující prostorovou variabilitu jsou klima, reliéf a vegetace. Práce se snaží objasnit, které faktory mají rozhodující roli při akumulaci a tání sněhu v obou výzkumných povodích.

Předmětem zájmu práce je využití hydrologických modelů ke zjištění vlivu vegetace a antropogenních změn na odtokové procesy se zaměřením na zimní období. Vliv krajinných změn na odtokový proces v experimentálním povodí Zbytinského a Tetřívčího potoka zkoumali Kliment a Matoušková (2005) nebo Malý (2008). Důležitou veličinou je množství vody akumulované ve sněhové pokrývce, které je důležitou vstupní informací pro hydrologický model. Pomocí hydrologického modelu bude na základě skutečných a simulovaných hydrogramů porovnán vliv sněhové pokrývky na odtok v antropogenně ovlivněném povodí Zbytinského potoka a v přírodně blízkém, převážně zalesněném povodí Tetřívčího potoka.

3. STRUKTURA PRÁCE

V diplomové práci je zpracována literární rešerše hodnotící přehled dosavadních poznatků o tématu sněhové pokrývky. První část je věnována přehledu fyzikálních vlastností sněhu a fáze vývoje sněhové pokrývky. Další kapitola se zabývá rozбором jednotlivých fyzickogeografických faktorů ovlivňující prostorové rozložení sněhové pokrývky. V rámci rešerše je uveden přehled vybraných metod měření sněhové pokrývky. V části popisující modelování odtoku ze sněhové pokrývky je popsána indexová metoda a metoda energetické bilance. V závěrečné kapitole je uveden stručný přehled modelu HEC-HMS. Fyzickogeografická charakteristika popisuje vlastnosti přírodního prostředí povodí a nastiňuje, jaký vliv by mohly mít tyto procesy spjaté s táním sněhové pokrývky na odtok v zimním období.

Výsledky jsou prezentovány v praktické části. První část se zabývá zhodnocením zimních sezón 2010 a 2011 z hlediska prostorového rozložení sněhové pokrývky a vodní hodnoty sněhu. V následující kapitole jsou popsány fyzicko-geografické faktory ovlivňující sněhovou pokrývku a její prostorovou variabilitu ve dvou sledovaných zimních sezónách. Modelování odtoku v povodí Zbytinského a Tetřívčího potoka v programu HEC-HMS je rozděleno podle období, ve kterých byly prováděny jednotlivé simulace.

Závěr aplikované části je věnován diskusi nad získanými výsledky, možnosti dalšího výzkumu a vyvození závěrů.

4. SOUČASNÝ STAV POZNATKŮ

4.1. FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI SNĚHU

Dingman (2002) popisuje sníh jako zrnité porézní prostředí, skládající se z ledu a pórů. Pokud je teplota sněhu pod bodem tání ledu (tj. 0 °C), obsahují póry pouze vzduch (s vodní párou). Při teplotě tání jsou póry vyplněny mimo vzduchu i kapalnou vodou. Dále mohou být ve sněhové pokrývce přítomny další příměsi a nečistoty, které mohou významně ovlivňovat její vlastnosti (Dub a Němec et al., 1969).

4.1.1.1. *Vlhkost*

Vlhkost sněhu je definovaná jako obsah kapalné vody v určitém objemu. Ve sněhu se vyskytuje ve třech formách – hygrokopická, gravitační a kapilární. Hygrokopická voda je držena povrchem zrn proti gravitační síle a nepřispívá do odtoku. Kapilární voda je držena povrchovým napětím v kapilárních prostorech kolem ledových krystalů. Tato složka se mění pod vlivem kapilárních sil, ale do odtoku začne přispívat až při tání.

Pro odtok z tajícího sněhu je důležitou složkou gravitační voda. Tato voda vytéká ze sněhu pod vlivem gravitační síly. Kapalná voda se ve sněhu začne pohybovat poté, co podíl „neredukované“ vody dosáhne asi 3 - 4 % (Singh a Singh, 2001).

Vodní kapacita sněhu je definovaná jako maximální množství vody, které může sníh v daném stavu udržet proti gravitačním silám. Závisí na výšce, hustotě, množství ledových vrstev. Obvykle má sníh o teplotě 0 °C kapacitu 2 – 5 % své váhy. Ta závisí také na sklonu svahu. V rovných oblastech může být vyšší než v hornatých oblastech, neboť na svazích je vyšší odtok (Singh a Singh, 2001).

4.1.1.2. *Hustota*

Hustota je jednou ze základních fyzikálních charakteristik sněhu. Vyjadřuje poměr objemu vody, která by vznikla okamžitým roztáním sněhu k jeho objemu před roztáním (Hříbík a Škvarenina, 2007). Proces růstu hustoty v čase může být urychlen silným větrem, vysokými teplotami a střídavým táním. Hustota sněhu se zvyšuje ke konci zimy s nárůstem

teplot vzduchu v období jarního tání a se změnou struktury sněhové pokrývky. Průměrná hustota sněhu v různém typu sněhu je uvedena na tabulce č. 1.

Tabulka č. 1 : Průměrná hustota různých typů sněhu

<i>Popis sněhu</i>	<i>hustota (kg/m³)</i>
<i>Nový sníh (nízké teploty, bezvětří)</i>	<i>10 – 30</i>
<i>Nový sníh (po spadnutí v bezvětří)</i>	<i>50 – 70</i>
<i>Vlhký nový sníh</i>	<i>100 – 200</i>
<i>Usedlý sníh</i>	<i>200 – 300</i>
<i>Hluboký starý sníh</i>	<i>200 – 300</i>
<i>Větrem stlačený sníh</i>	<i>350 – 400</i>
<i>Firn</i>	<i>400 – 650</i>
<i>Velmi vlhký sníh a firn</i>	<i>700 – 800</i>
<i>Ledovec</i>	<i>850 – 910</i>

Zdroj: Singh a Singh (2001) upraveno

4.1.1.3. Vodní kapacita

Vodní kapacita sněhu je definovaná jako maximální množství vody, které může sníh v daném stavu udržet proti gravitačním silám. Závisí na výšce, hustotě, množství ledových vrstev. Obvykle má sníh o teplotě 0° C kapacitu 2 – 5 % své váhy. Ta závisí také na sklonu svahu. V rovných oblastech může být vyšší než v hornatých, neboť volné odvodňování je na svazích větší (Singh a Singh, 2001).

4.1.1.4. Vodní hodnota

Vodní hodnota sněhu je bezrozměrné číslo, udávající poměr objemu vody, která by vznikla roztáním sněhu k jeho původnímu objemu (Hrádek a Kuřík, 2004). Pro hydrologii je nejdůležitějším údajem o sněhové pokrývce celkový objem akumulované vody, který nakonec vstupuje do hydrologického cyklu. Ten je charakterizován jako zásoba vody ve sněhové pokrývce (Snow Water Equivalent) a lze ho vyjádřit jako výšku vodní hladiny, která by vznikla roztáním veškerého sněhu (Dingman, 2002):

Velikost SWE, případně její změna je výslednicí cyklu tří základních procesů (*I*): srážkového přísunu *P*, výměny vodních par vypařováním, sublimací či kondenzací *E* a odtoku ze sněhové pokrývky *O* (DeWalle a Rango, 2008):

$$SWE = P \mp E - O. \quad (1)$$

DeWalle definoval vodní hodnotu sněhu podle rovnice

$$SWE = d \cdot \frac{\rho_s}{\rho_w}, \quad (2)$$

kde d je výška sněhu v [m], ρ_s je hustota sněhu v [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$] a ρ_w je hustota vody $1 \cdot 10^3$ [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

4.1.2. Další vybrané fyzikální vlastnosti sněhu

4.1.2.1. Tvar a velikost zrn

Nově formované krystaly sněhu mají hexagonální tvar. Když dopadnou ve větším množství na zem, mění díky metamorfóze svůj tvar a roste hustota. Proto může sněhová pokrývka obsahovat zrna různých tvarů.

Velikost zrn je velmi proměnlivá. Minima jsou měřena u čerstvého sněhu, maxima pak u firnu. Na obrázku č. 1 jsou uvedeny tvary krystalů a jejich velikost v mm.





















4.1.2.2. Tvrdost

Tvrdost je základním parametrem mechanických vlastností sněhu. Popisuje odolnost vůči penetraci. Primárně závisí na hustotě a teplotě sněhu.

4.1.3. Kvalita sněhu

Kvalita sněhu je obdobou obsahu ledu ve sněhu a popisuje se jako podíl váhy ledu ve sněhu a celkové váhy sněhové pokrývky. Hodnoty se pohybují od 0,95 po 0,70 a méně při tání.

Obrázek č. 1: Tvar krystalů a jejich velikost v mm

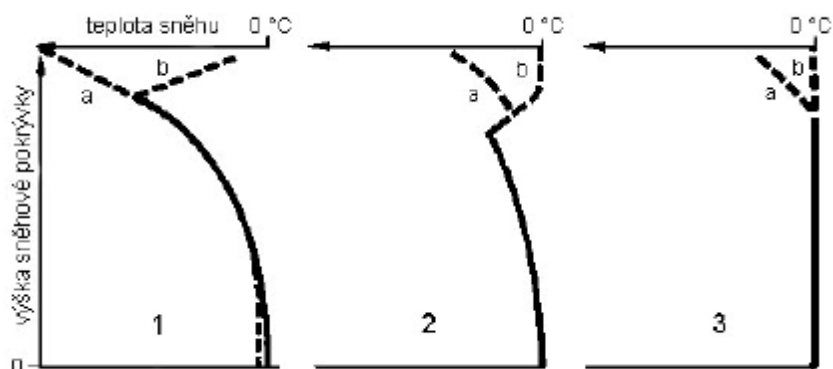
ČÁSTEČKY	KRYSTALY	KÓD	GRAFICKÝ SYMBOL	VELIKOST (mm)
DESTIČKY		F1		0-12
HVĚZDICE		F2		1-8
SLOUPKY A PYRAMIDY		F3		1-4
JEHLICE		F4		2-8
PROSTOROVÝ DENDRIT		F5		2-8
UZAVŘENÉ SLOUPCE		F6		1-4
NEPRAVIDELNÉ KRYSTALY		F7		1-8
SNĚHOVÉ KRUPKY		F8		1-5
LEDOVÉ KRYSTALY		F9		0-55
KRUPKY		F0		5-100

Zdroj: Singh a Singh (2001)

4.1.4. Měrné teplo

Měrné teplo sněhu je teplo, kterého je zapotřebí ke zvýšení teploty jednotkové hmotnosti sněhu o jeden stupeň. V malém měřítku dochází k výchyilkám v závislosti na čistotě a teplotě, ale pro většinu praktických účelů se tyto variace zanedbávají a počítá se s hodnotou $2,0934 \text{ kJ kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$. Měrné teplo suchého sněhu můžeme považovat za stejné jako u ledu stejné hmotnosti, neboť příspěvek vzduchu v pórech je nevýznamný (Singh a Singh, 2001).

Obrázek č. 2: Teplota sněhové pokrývky v závislosti na její výšce. 1 – zima, 2 – jaro, 3 – přelom jara a léta. v noci (a) a ve dne (b)



Zdroj: (Dietrich a Schöniger, 2003)

4.1.5. Latentní teplo

Latentní teplo tání je definováno jako množství tepla potřebného k přeměně určité váhy sněhu z pevného skupenství do kapalného, bez změny teploty. Latentní teplota sněhu je rovna nebo nižší než latentní teplo ledu, v závislosti na úhrnu kapalné vody ve sněhu. Obvykle se pro sníh při 0 °C stanovuje 333,5 kJ. kg⁻¹ při standardním tlaku (Singh a Singh, 2001).

4.1.6. Tepelná vodivost

Tepelná vodivost k_c (cal.cm⁻¹.sec⁻¹.°C⁻¹) je míra rychlosti přenosu tepla a dle Singha a Singha (2001) ji lze popsat jako

$$q = -k_c \frac{dT}{dz}, \quad (3)$$

kde q je tepelný tok a dT/dz je tepelný gradient. Tepelná vodivost velmi závisí na hustotě a zrnitostní struktuře sněhové pokrývky. U vlhkého sněhu rovněž závisí na obsahu volné vody.

4.1.7. Albedo

Množství odraženého záření (z celkového dopadajícího) se nazývá albedo. Je jedním z nejdůležitějších parametrů pro modelování tání sněhu. Záleží na výšce Slunce, délce vln, teplotě, výšce sněhové pokrývky a jejím stáří. Přehled hodnot albeda u vybraných povrchů je uveden v tabulce č. 2. Lze ho definovat jako podíl přicházejícího a odrážejícího záření, což můžeme vyjádřit jako (Singh a Singh, 2001):

$$\alpha = \frac{S_r}{S_i}. \quad (4)$$

Singh a Singh (2001) uvádí, že znečištěný nebo zaprášený sníh má albedo nižší a absorbuje tak více energie než normální sníh. Povrchové znečištění sněhu má větší vliv na spektrum viditelného světla než na infračervenou oblast záření. Dále uvádí, že v závislosti na stavu sněhové pokrývky a výšce Slunce, se může hodnota albeda pohybovat od 0,29 u velmi

porézního, špinavého, vodou nasyceného sněhu do 0,86 u čistého, kompaktního a suchého, což je výrazně větší interval, než ten, který uvádí Singh a Singh (2001)

Tabulka č. 2: Průměrné albedo jednotlivých typů sněhu

Typ sněhu	albedo
Nový sníh, suchý	0,85
Nový sníh, vlhký	0,8
Starý sníh, suchý, čistý	0,7
Starý sníh, vlhký, čistý	0,6
Starý sníh, vlhký, středně znečištěný	0,5
Starý sníh, vlhký, velmi znečištěný	0,4
Firn vlhký, velmi znečištěný (bílý)	0,4
Firn vlhký, velmi silně znečištěný (šedý)	0,3

Zdroj: Singh a Singh (2001).

4.2. VÝVOJ SNĚHOVÉ POKRÝVKY

Dingman (2002) shrnuje popis vývoje sněhové pokrývky do několika fází. Doba předcházející době tání, během níž roste SWE, se nazývá období akumulace. Během této periody je celkový energetický vstup záporný a průměrná teplota sněhu klesá. Doba tání sezónní sněhové pokrývky začíná, když je vstup celkové energie kontinuálně kladný a lze jí rozdělit do třech fází: akumulace, dozrávání a tání sněhu. Tyto procesy nelze striktně vymezovat, pouze slouží jako charakteristický jev pro jednotlivá období vývoje sněhové pokrývky (Singh a Singh, 2001).

Proces akumulace sněhové pokrývky začíná při vypadávání srážek při nulové nebo záporné teplotě. V našich podmínkách sněhové vločky většinou padají při teplotách kolem nuly, mezi -1 a +1 °C. Mezi hlavní faktory určující rozmístění sněhu patří podle Daňhelka et al., (2003) a Hrušková (2006) skupina geomorfologických faktorů, kde hrají významnou roli nadmořská výška a reliéf. Mezi vlastnosti reliéfu se uplatňují především sklonitost, orientace svahu, zastínění terénu. Ve skupině meteorologických faktorů jsou významnými faktory ukládání sněhové pokrývky teplota vzduchu, vítr, evapotranspirace. Významnou roli při akumulaci sněhu hraje vegetace. Mezi vlastnosti podílející se na akumulaci jsou druhové složení a hustota porostu. Jednotlivé faktory nepůsobí izolovaně, ale komplexně. Např. horský terén představuje překážku proudícímu vzduchu, který podmiňuje redistribuci sněhu, sklonitost a orientace terénu ovlivňují množství dopadajícího slunečního záření. Blöschl a Kirnbauer (1992) uvádějí, že prostorová variabilita akumulovaného sněhu v alpských

povodích je funkcí redistribuce sněhu, zatímco proces tání sněhu je dodatečně řízen prostorovou variabilitou energetických toků (Marks, Winstral, 2001).

Akumulovaný sníh postupně podléhá metamorfóze. Metamorfóza (dozrávání) je proces změny struktury sněhu, při kterém se mění tvar a velikost sněhových krystalů. Základní procesy metamorfózy sněhu jsou popsány v tabulce č. 3.

Tání sněhu nastává při zvýšení teploty sněhu na 0 °C a jeho nasycení gravitační vodou, které je dané retenční objemovou kapacitou sněhu (Pecušová, 2003). Je to fázová přeměna spotřebovávající energii, kde je tedy potřeba sněhové pokrývky dodat dostatečné množství tepla. Tání sněhové pokrývky má obecně za následek přesun vzniklé vody prostory mezi sněhovými (firnovými) zrny do spodní části sněhové pokrývky, případně až na podloží. Zde se voda buď vsákne do půdy, nebo se v závislosti na mikroreliefu soustřeďuje na jejím povrchu a v případě svažitého terénu odtéká. Tavná voda po dosažení půdního povrchu infiltruje anebo odtéká. Odtokovou odezvu výrazně zkracuje, je-li půda zmrzlá či nasycená (DeWalle a Rango, 2008). Pro dobu a rychlost tání v určitém povodí jsou rozhodující nadmořská výška, expozice a vegetační kryt (Pobříšlová, Kulasová, 200). Tání ovlivňují také další faktory, např. charakter reliéfu (sklonitost, křivost, zastínění) nebo meteorologické vlastnosti (teplota, srážky, vítr, solární radiace). Přítomnost lesa tlumí restrukturalizaci sněhové pokrývky a advekční tání, mikroklima mýtin velice výrazně tlumí tání sněhu a tím prodlužuje trvání sněhové pokrývky (Kantor et al., 2003). Ke konci zimního období je intenzita tání sněhu vyšší v bukovém porostu v porovnávání se smrkovým porostem (Kantor, 2007).

Tabulka č. 3: Procesy metamorfózy sněhu

proces	efekt	doba výskytu
destruktivní metamorfóza (ET – equi. temperature)	vznik dobře spojených ledových zrn	krátce po sněhových srážkách
Konstruktivní metamorfóza (TG – temperature gradient)	vznik nedokonale spojených ledových zrn a dutinové jinovatky	během zimy v pokrývce za teplot nižších než 0 °C
opakované tání a mraznutí (MF – melt-freeze cycles)	dobře spojená ledová pokrývka tvořená velkými zrny	v období tání a za deště
působení tlaku	postupná přeměna na firu a ledovcový led	v případě trvalé sněhové pokrývky

Zdroj: DeWalle a Rango (2008)

4.3. VLIV FYZICKO-GEOGRAFICKÝCH FAKTORŮ NA AKUMULACI A TÁNÍ SNĚHOVÉ POKRÝVKY

Procesy akumulace a tání sněhové pokrývky v horských oblastech jsou důležitým prvkem hydrologické bilance. Nejen výška, ale i distribuce, doba trvání a kvalita sněhové pokrývky každoročně závisí na mnoha faktorech, které můžeme dělit na skupinu geografických a klimatických faktorů. Geografické faktory, mezi které patří nadmořská výška, reliéf a vegetace (Fliegl, 2009) ovlivňují rozmístění sněhové pokrývky nepřímo. Klimatické faktory uplatňující se při akumulaci a tání patří teplota, srážky, solární radiace, větrné proudění.

4.3.1. Srážky a teplota

Rozložení sněhové pokrývky, výška a doba trvání nebo kvalita závisí na množství a charakteru zimních srážek a teplotě vzduchu. Teplota se projevuje při tání sněhové pokrývky v závěru zimní sezóny, kdy určuje skupenství srážek. Podle Kantora (1979) představuje sněhová pokrývky v horských polohách v průměru 25–30 %.

Vliv srážek na sněhovou pokrývku se řídí jejich vlastnostmi: tvar srážek, úhrn (množství), doba trvání a intenzita. S rostoucí nadmořskou výškou srážek nejprve přibývá až po tzv. výšce pásma maximálních srážek (asi 2 až 3 km nad hladinou moře), ve vyšších polohách bývá pozorován úbytek srážek s rostoucí nadmořskou výškou. Vertikální srážky mohou mít charakter konvekční, což jsou většinou termické srážky ve formě přeháněk s větší intenzitou a krátkou dobou trvání, typické pro letní část roku. Cyklonální srážky vypadávají v oblasti cyklón (především frontální srážky), mají menší intenzitu, ale delší dobu trvání. Orografické zesílení srážek nastává v horských nebo i vrchovinných oblastech. Důležité jsou orografické srážky zejména v extrémních situacích, jako jsou povodně, popř. zimní sněhové bouře. Turbulentní srážky jsou představovány drobným mrholením nebo jemným sněžením (Singh a Singh, 2001).

Teplota vzduchu má velký vliv na charakter sněhové pokrývky, která se musí pohybovat pod bodem mrazu, a teplota povrchu, aby sníh ihned po dopadu netál. Vlastnosti sněhu jsou často závislé právě na teplotě vzduchu a jeho vlhkosti. Kladné teploty způsobují tání sněhové pokrývky a odtok kapalné vody do povodí. Ve sněhové pokrývce dochází

k sublimaci, což je přímá změna pevného skupenství látky v plynné. K sublimaci sněhové pokrývky dochází při teplotách pod bodem mrazu a má za následek ústup sněhu. Jde o přeměnu, při které se pevná látka mění přímo na plyn, aniž by došlo k tání pevné látky. Pevná látka se tedy nemění v kapalinu. Sníh se odpařuje (sublimuje) v závislosti na teplotě vzduchu, jeho vlhkosti a také rychlosti větru.

4.3.2. Solární radiace

Sluneční energie (sluneční záření, solární radiace) představuje hlavní zdroj energie pro sněhovou pokrývku. Sluneční záření nazýváme vzhledem k vlnovým délkám jako krátkovlnné. Energie slunečního záření může být druhotně transformována na energii dlouhovlnného záření, jež vyzařují pozemská tělesa (Netopil a kol., 1984).

Krátkovlnné záření představuje hlavní zdroj energie pro tání sněhové pokrývky. Bilance krátkovlnného záření je vždy kladná, to znamená, že dodávky energie jsou větší než jejich výdej. Velká část slunečního záření se odráží od zemského povrchu (albedo). Konkrétní hodnoty albeda jsou však rozdílné mezi ročními obdobími (albedo v letní sezóně činí ca 20 %, v době kdy je zem pokryta sněhem činí až 80-95 %). Solární radiace má v roce jediný vrchol (roste od května do června a klesá od srpna do září).

Zdroji dlouhovlnného záření (rozsah 6,8-100 μ m) jsou atmosféra a zemský povrch (Singh a Singh, 2001). U dlouhovlnného záření za jasné oblohy a teploty 0°C převládá vydaná energie nad energií dodanou. Uvažujeme-li například oblohu bez oblačnosti, teplotu vzduchu 2 °C, teplotu sněhové pokrývky 0 °C, její hodnotu emisivity 1 a 50% relativní vlhkost vzduchu, tak to při těchto podmínkách znamená tento úbytek pro sněhovou pokrývku většinovou energetickou ztrátu (DeWalle a Rango, 2008). Při zatažené obloze se snižuje výdej energie a zvyšuje se energie dodaná, rozdíly se tak snižují (DeWalle a Rango, 2008). Na rozdíl od krátkovlnného je dlouhovlnné záření atmosférou sice silně pohlcováno, ale nedochází k jeho rozptylu (Singh a Singh, 2001).

Sluneční záření proniká i do sněhové pokrývky. Při sněhové pokrývce s vysokou hustotou může sluneční záření pronikat až do hloubky 25 cm. Pohlcená energie urychluje proces metamorfózy a snižuje albedo (DeWalle a Rango, 2008).

4.3.3. Větrné proudění

Povrch sněhové pokrývky je pod neustálým působením vzdušného proudění. Vítr ovlivňuje charakter vegetačního krytu, rozložení sněhové pokrývky, teploty, distribuci půdního a organického materiálu a rozdělení dešťových srážek. Vliv větru se nejvíce projevuje na otevřených prostranstvích (Jones, 2001) nebo nad alpínskou hranicí lesa. Vítr se uplatňuje při ukládání sněhové pokrývky, svým působením redistribuuje sněhová zrna. Akumulace sněhu obecně nastává v závětrném prostoru terénních struktur a je určena převládajícím směrem větru. U vlhkého sněhu nastává při mírném větru větší akumulace na návětrné straně. Valivý pohyb částic, kdy sněhová zrna nemohou být nesená větrem (5 mm vrstvička nad povrchem), se nazývá creep (rolling). Saltace je skákavý transport sněhových částic (největší efektivita řádově cm nad povrchem). Turbulentní difúze (suspenze) je pohyb sněhových částic nesených vzduchem aerodynamickými silami (až 100 m nad povrchem). Působením větru zahrnuje také erozi sněhové pokrývky, transport sněhu z exponovaných míst s nízkou aerodynamickou drsností, sublimaci zvířeneho sněhu a ukládání sněhu v místech s vyšší aerodynamickou drsností. Přenos sněhu je výrazně ovlivňován vnějšími faktory. Na povrchu sněhové pokrývky vznikají čeřiny, sněhové brázdy kolem vyvýšených předmětů a převějí nad závětrnými prostory. Jiný postup vychází z vlivu reliéfu na pole rychlosti větru, kdy se parametry určují prostřednictvím charakteristik tvaru reliéfu (Marks, Winstral, 2002). Např. Blöschl et al. (1992) vyjádřili parametry větru jako funkci zakřivení a sklonitosti terénu. Na povrchu sněhové pokrývky působí ledové krystalky unášené větrem jako brusný prach (Ellenberg, 1988). Brusný prach uhlazuje sněhovou pokrývku, dodává konečnou podobu její morfologii a přitom negativně působí na vegetaci vyčnívající na sněhový příkrov. Díky působení brusného prachu se stává povrch aerodynamicky hladký ve srovnání se zemským povrchem. Rychlost proudění je vyšší nad sněhovou pokrývkou než po povrchu s vegetací, turbulentní přenos latentního tepla mezi atmosférou a povrchem je menší pro povrch se sněhem než pro povrch krytý vegetací.

4.3.4. Reliéf

Reliéf ovlivňuje charakter a výšku sněhové pokrývky nepřímo. Mezi vlastnosti reliéfu podílejících se na rozmístění sněhové pokrývky patří nadmořská výška, expozice, sklonitost nebo křivost reliéfu.

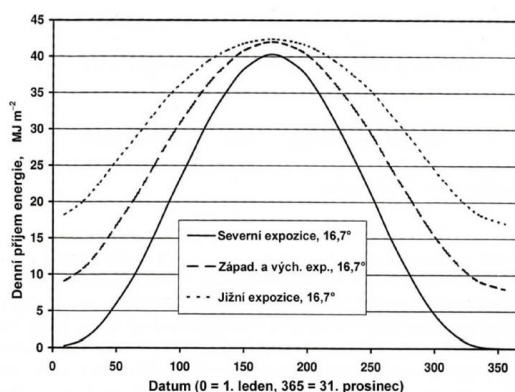
Nadmořská výška ovlivňuje mocnost a charakter sněhové pokrývky nepřímo. S rostoucí nadmořskou výškou mohou přibývat srážky, obvykle klesá teplota, zvyšuje se rychlost větru a ubývá vegetace. V našich pohraničních horách stoupá průměr sezónních maxim výšky sněhové pokrývky přibližně o 15 cm na 100 metrů nadmořské výšky (Tolasz *et al.*, 2007). Průměr sezónních maxim výšky sněhové pokrývky překračuje u nejnižších poloh 11 cm, v polohách horských maxima běžně překračují výšku jeden metr. Absolutní maximum výšky sněhové pokrývky (345 cm v březnu 2005) bylo od roku 1961/1962 zatím naměřeno na Labské Boudě. Rozdíl mezi meteorologickými stanicemi v nižších polohách a ve vyšších je patrný při porovnání například měsíčních maxim. V nižších polohách překračují průměry měsíčních maxim výšky sněhové pokrývky 5 cm v prosinci, 7 cm v lednu i v únoru a 4 cm v březnu. Ve vysokých polohách překračují 50 cm v prosinci, 70 cm v lednu a 90 cm v únoru a březnu. Vodní hodnota obecně roste s přibývajícím nadmořskou výškou. Mnohé výzkumy však toto tvrzení vyvracejí, v plné míře se nedoceňuje význam ostatních faktorů, jako například vliv vegetace na tvorbu a regulaci zásob vody vázaných ve sněhových srážkách. (Hříbik a Škvarenina, 2007). Podle výzkumů z Vysokých Tater roste množství vody zhruba do výšky 1700 m n. m. až na hranici pásma kosodřevin a alpínského holého pásma. Průměr sezónních maxim vodní hodnoty sněhu je v podmínkách ČR 25 mm v nížinách, ve středních polohách 100 mm a v horských polohách 300 mm.

Expozice a sklon má nepřímý vliv na ukládání a tání sněhové pokrývky. Tyto faktory ovlivňují množství solární energie na sněhovou pokrývku. Svahy s jižní expozicí jsou více dotované solární energií než svahy severně orientované. Na výšku nebo vodní hodnotu sněhové pokrývky má vliv převažující proudění, kdy mohou horská pásma působit jako bariéra a způsobovat tak větší mocnosti sněhové pokrývky na jižních svazích. Vegetace může mít na severních svazích menší vliv na rozmístění sněhové pokrývky než na jižních (Hříbik a Škvarenina, 2007). Na obrázku č. 3 je znázorněn rozdílný příjem solární energie pro různou expozici na svahu se sklonem 16, 7° na 50° s. š. V průběhu roku je vidět nejvyšší příjem v letních měsících a nejnižší příjem solární energie v zimních měsících. Svahy se severní expozicí mají nejnižší příjem energie ze sluneční radiace po celou sledovanou dobu. Jižní expozice má vždy hodnoty solární energie nejvyšší.

Sklonitost má značný vliv na ukládání a tání sněhové pokrývky. Plochy s vyšší sklonitostí mají obecně menší mocnosti sněhové pokrývky než rovinné plochy. S vyššími sklonitostmi se otvírá prostor pro působení dalších činitelů, např. větru nebo slunečního záření. Při procesu akumulace a tání sněhu se na sklonitějších územích drží sněhová pokrývka méně. Tající voda nebo voda z dešťových srážek má v důsledku vyšší sklonitosti lepší

podmínky pro odtok. Mezi sklonitostí a množstvím dopadajícího záření platí přímá úměrnost, kde se se zvyšující sklonitostí zmenšuje pohledový faktor oblohy. Vztah pohledového faktoru a sklonitosti je znázorněn v tabulce č. 4.

Obrázek č. 3: Vliv expozice na denní příjem solární energie na svahu se sklonem $16,7^{\circ}$ na 50° s. š.



Zdroj: DeWalle a Rango (2008)

Tabulka č. 4: Viditelnost oblohy pro jednotlivé sklony svahu

Sklon svahu [°]	Pohledový faktor oblohy
0	1,000
5	0,998
10	0,992
15	0,983
20	0,970
30	0,933
45	0,854
90	0,500

Zdroj: DeWalle a Rango (2008)

4.3.5. Vegetace

Vegetace je velmi významným faktorem podmiňujícím prostorové rozložení sněhové pokrývky. Zadržuje část sněhových srážek na svém povrchu, zároveň odráží a pohlcuje část sluneční radiace v korunách stromu a tím napomáhá sublimaci. První skupinou faktorů ovlivňující sněhovou pokrývku v souvislosti s vegetací jsou biotické faktory, mezi které patří druhová skladba lesa, stáří, fenologická fáze, struktura a hustota porostu. Mezi abiotické faktory patří síla a intenzita sněžení, stav korun (vlhký povrch, námraza), rychlost větru

relativní vlhkost, působení horizontálních srážek, sluneční záření a teplota, sublimace a intenzita tání (Hribík a Škvarenina, 2007).

Vegetace má vliv na výšku a charakter sněhové pokrývky na počátku zimy, kdy dochází k akumulaci. Více sněhu leží na mýtinách a loukách, v lese je v důsledku intercepce méně sněhu, kdy dochází k zachycení sněhových srážek na koruny stromů. V zimním období bývá několik kratších nebo delších oblev a při nástupu jarního tání zůstává vlivem zastínění a lesního mikroklimatu více sněhu v lese. Pod korunami stromu pak probíhá tání sněhu déle a s nižší intenzitou než na volné ploše (DeWalle, Rango, 2008). Podle Kremsiho (2008) je na otevřeném prostranství o 20 až 45 % větší akumulace sněhu než v lese a lesní porost složený z jehličnatých lesů může na svých korunách zadržet až 80 % sněhu. Vegetační kryt má často dominantní vliv na výšku sněhové pokrývky a může překrýt vliv dalších faktorů.

Studie v 80. letech prokázaly vliv lesa na výšku a vodní hodnotu sněhové pokrývky, kdy na otevřených plochách bývá více sněhu než ve smrkových porostech v průměru o 15 – 50 % více (Brechtel 1984; Imbeck 1984; Brechtel et al. 1984; Ernstberger, Sokollek 1984; Kronfellner- Kraus, Schaffhauser, 1984). Sledování rychlosti tání sněhové pokrývky v různých typech lesa popisuje Kantor et al. (2007). Výzkumy prokázaly, že tání výrazně ovlivňuje absolutní množství akumulované sněhové pokrývky, její kvalita, struktura a vývoj meteorologické situace (přístup tepla, slunečního záření a výskyt kapalných srážek). Přímá závislost na typu lesa nebyla nalezena.

Ukládání sněhu v zimním období ovlivňuje kromě charakteru lesa také jeho plošné uspořádání. Hustší koruny jehličnanů s vysokou intercepací ovlivňují ukládání sněhu i další vývoj jeho vlastností. Jednoznačně odlišný způsob ukládání sněhu s tvorbou mohutných sněhových návějí se vytváří více v okolí smrkového porostu. Největší množství sněhové pokrývky zachycuje smrk ztepilý. Je to dáno výškou porostu, pokryvností korun a tvorbou návějí kolem jedinců smrku. Schopnost mladého smrkového porostu akumulovat v zimním období velké množství srážek uvádí také Kantor a Šach (2002) a Kantor et al. (2007). Fišera (1991) uvádí, že v hustším porostu dochází k výraznější akumulaci sněhu v korunách stromů, čímž dochází ke zpomalení odtávání. Rozdíl v mocnosti výsledné sněhové pokrývky není tak výrazný jako zpomalení odtávání, jež je zapříčiněno vyšším podílem stínu daného porostu. Kantor dále uvádí, že v důsledku odlišného intercepčního procesu sněhových srážek v dospělých smrkových a bukových porostech je výška i vodní hodnota sněhu v celém období ukládání sněhu vždy vyšší v bezlistých listnatých porostech Krečmer (1971) uvádí, že dospělý smrkový porost zadrží v korunách zhruba 40 % množství nového sněhu.

Tabulka č. 5: Intenzita tání a sublimace v bukovém, smrkovém porostu a na volné ploše

období	plocha	intenzita tání a sublimace (mm·den ⁻¹)
12.-16.3. 2004	volná plocha	15,7
	buk	17,6
	smrk	6,8
17.3.-4.4. 2006	volná plocha	17,1
	buk	19,6
	smrk	3,9
24.3.-11.4. 2006	volná plocha	13,6
	buk	14,8
	smrk	4,2

Zdroj: (Hříbik a Škvarenina, 2007, upraveno)

4.4. METODY VÝZKUMU SNĚHOVÉ POKRÝVKY

Mezi hlavní metody měření charakteristik sněhové pokrývky patří staniční, expediční měření a měření na základě DPZ. Základní měřené údaje sněhové pokrývky jsou výška (SCE) a vodní hodnota (SWE nebo SVH). Vodní hodnota sněhu je daleko cennější údaj představující množství akumulované vody ve sněhové pokrývce. Staniční měření představuje základní zdroj dat pro získání charakteristik o sněhové pokrývce v prostoru, expediční měření bývá díky finanční a časové náročnosti doplňkovou metodou. V obou případech je výběr lokality klíčovým faktorem ovlivňujícím reprezentativnost měření pro území, které by měla stanice pokrývat. Meteorologické stanice se převážně instalují na otevřené plochy a tak nemohou vystihnout charakteristiky sněhové pokrývky na zalesněných plochách, které mohou ve zkoumané oblasti převažovat (Kremsa, 2008).

4.4.1. Staniční měření

Pravidelné měření charakteru sněhové pokrývky se provádí v síti klimatických a srážkoměrných stanic. V rámci jednotlivých podniků povodí dochází k rozšiřování sítě CHMÚ. klimatologických stanicích měříme v zimním období v 7 hodin ráno. Výška samotného nově napadlého sněhu se měří v 7 hod, ve 14 hod a v 21 hodin. Výšku sněhu měříme s přesností na centimetry. Je-li výška sněhu nižší než 1 cm označujeme ho jako poprašek.

V rámci staničního měření se vyčleňují dvě základní skupiny, tzv. termínová a kontinuální měření. Výška sněhové pokrývky je měřena na otevřené ploše pomocí sněhoměrné latě, nově napadlý sníh pomocí sněhoměrného prkénka. Pro zjištění vodní hodnoty se používá nádoba staničního srážkoměru, popřípadě váhový srážkoměr.

Kontinuální měření vychází vedle běžných termínů měření také z automatického provozu. Výška sněhové pokrývky je zjišťována pomocí např. pomocí optických zařízení pracujících na principu odrazu od povrchu sněhové pokrývky nebo pomocí ultrazvukového odrazu. Vodní hodnota se měří pomocí sněhových polštářů, které zjišťují automaticky váhu pomocí tlaku vyvíjeného ležící sněhovou pokrývkou. Zjišťování přírůstku vodní hodnoty se měří pomocí automatických vyhřívaných srážkoměrů. Bezkontaktní kontinuální měření vodní hodnoty, které jsou založené na principu měření míry zeslabení záření detekovaného snímačem umístěným nad sněhovou pokrývkou (Jeníček et al. 2008).

4.4.2. Expediční měření

Sněhoměrné měření slouží k doplnění nebo ověření hodnot získaných ze staniční sítě. Měření se provádí většinou na menších plochách, např. na menších povodích, kde je větší prostorová variabilita sněhové pokrývky v důsledku členitosti reliéfu nebo vegetačního pokryvu. Základem je vytyčení sítě měrných bodů. Síť se volí tak, aby byly body rovnoměrně rozmístěné po celém sledovaném území a zároveň aby dobře charakterizovaly místo odběru. Body se mohou vytyčit i mimo sledované území v případě následného zpracování hodnot pomocí interpolačních technik. Vlastní měření se provádí za pomoci váhového sněhoměru. Váhový sněhoměr se skládá ze sněhoměrné tyče a laminátového válce o ploše 50 cm². Délka válce se pohybuje v závislosti na sněhových a podmínkách v povodí. Popis průběhu měření včetně vzorce výpočtu vodní hodnoty je uveden v metodice. Podle Jeníčka et al. (2008) jsou limitujícími faktory terénního měření časová a finanční náročnost.

4.4.3. Distanční měření

S rozvojem výpočetní techniky v posledních několika desetiletích se rozvinul výzkum v oblasti určování parametrů sněhové pokrývky pomocí Dálkového průzkumu Země (DPZ). Metoda DPZ je velmi přínosná při určování plošného rozsahu sněhové pokrývky. Mezi největší výhody patří získání informací z velkých a vzdálených území v reálném čase.

Mezi základní prostředky DPZ řadíme snímače, které jsou umístěné na letadlech nebo družicích. Metoda DPZ vychází z předpokladu, že sněhová pokrývka má jiné fyzikální vlastnosti než ostatní přírodní povrchy na Zemi.

Družicové systémy představují perspektivní oblast vývoje DPZ (Jeníček et al. 2008). Monitoring zemské atmosféry je jedním ze základních úkolů, kde se zjištěné informace využívají k určování rozsahu zasněžené plochy na zemském povrchu. Na základě družicových radarových nebo mikrovlnných snímků není možné stanovit ani výšku sněhové pokrývky, ani její vodní obsah (Řezáčová, 2007). I přes rychlý vývoj jsou využívána data zatím na úrovni států. Pro získání údajů o výšce a vodní hodnotě sněhové pokrývky je využití satelitních pozorování stále omezené v přesnosti a v prostorovém rozlišení.

Další variantou je využití leteckého snímkování, kde je měřena voda akumulovaná ve sněhové pokrývce rozdílem míry zeslabení přirozeného terestrického gama záření. Pomocí letadla se snímačem se nejprve změří intenzita gama záření bez sněhové pokrývky, poté jsou ve stejné trase změřeny plochy se sněhovou pokrývkou a z rozdílu mezi měřeními je vypočtena výsledná vodní hodnota.

4.5. KLASIFIKACE HYDROLOGICKÝCH MODELŮ

Z obecného pohledu poskytují hydrologické modely tohoto typu základní prostředek pro simulaci srážko-odtokových procesů v povodí. Hydrologické modely se od sebe odlišují přístupy k hodnocení srážko-odtokového režimu. Srážko-odtokový model představuje zjednodušený kvantitativní vztah mezi vstupními a výstupními veličinami určitého hydrologického systému (Daňhelka et al. 2003). Nejčastěji se při klasifikaci hydrologických modelů vychází z přístupů shrnutých v metodikách Světové meteorologické organizace WMO (World Meteorological Organisation). Bližší seznámení s nimi přináší například práce Jeníčka (2005). Klasifikace podle WMO vychází z několika principů (Becker, Serban, 1990):

- Účel aplikace
- Typ systému, který je simulován
- Zohlednění hydrologického procesu, který je modelován
- Princip a příčiny a důsledku
- Míra časové a prostorové diskretizace

Z hlediska použití je možno hydrologické modely dělit do tří kategorií (Jeníček, 2005). První kategorii představují modely používané v operativní hydrologii pro krátkodobější předpovědi vodního stavu či průtoku v určitém měrném profilu. Data se získávají v z automatických nebo meteorologických stanic a slouží k tvorbě předpovědního systému FFS (Flood Forecast System). Další využití vychází z dlouhodobějšího řešení protipovodňové ochrany či řešení nejrůznějších technických staveb (mosty, čističky odpadních vod, plavební kanály apod.). Jsou to modely aplikované pro návrhovou a projekční činnost v oblasti vodního hospodářství. Třetí kategorií jsou hydrologické modely využívané pro výzkum jednotlivých komponent srážko-odtokového procesu. Příkladem jsou experimentální povodí s vlastní sítí měřících stanic.

4.5.1. Klasifikace podle stupně kauzality

Klasifikace dělí hydrologické modely na deterministické a stochastické. Skupina deterministických modelů je popsána vztahem mezi výstupními (závislé proměnné) a vstupními (nezávislé proměnné) veličinami.

Deterministické modely struktury a složitosti vnitřních vazeb se dále dělí na hydrodynamické, koncepční a black-box. Přehled deterministických modelů je znázorněn na obrázku č. 4. Naopak v případě stochastických modelů chybí vazba mezi příčinou a důsledkem v rámci hydrologického jevu. Většina hydrologických modelů má deterministickou stavbu, avšak obsahuje stochastické elementy (Daňhelka et al., 2003). Stochastické modely se dělí na pravděpodobnostní a modely generování časových řad.

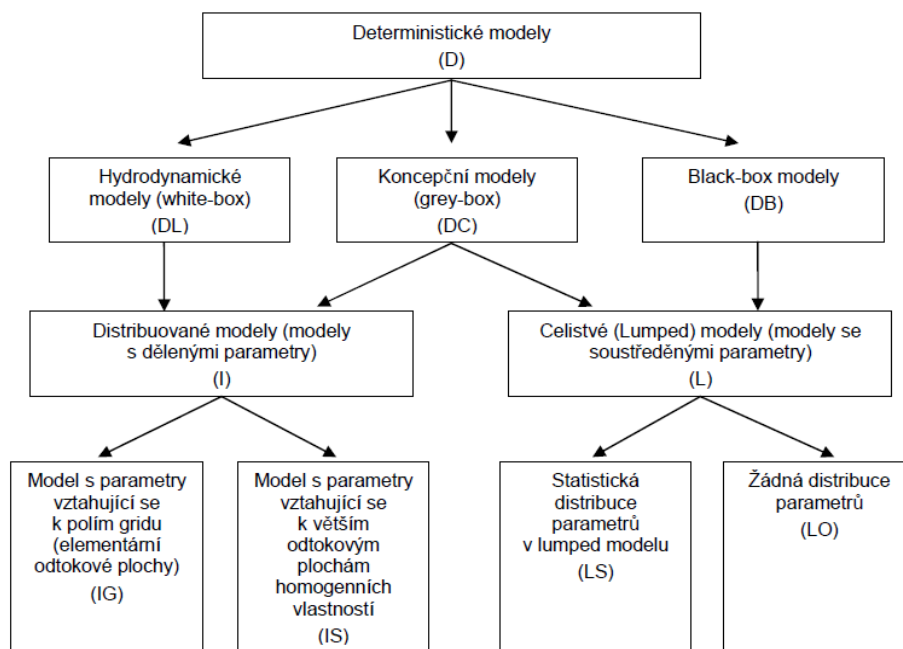
4.5.2. Klasifikace podle míry časové a prostorové diskretizace

Prostorová diskretizace dělí modely na modely celistvé (lumped) a distribuované. Třetí skupinou jsou modely semi-distribuované (Jeníček, 2005).

Celistvé modely využívají soustředné parametry, kdy je povodí rozčleněno na jednotlivá subpovodí, která jsou považována za homogenní. Příkladem celistvého typu je americký model HEC-HMS (Hydrologic Engineering Centre – Hydrologic Modelling System). Distribuované modely založené na distribuovaných parametrech dělí povodí pomocí sítě-gridu nebo do nepravidelné trojúhelníkové sítě na elementární odtokové plochy. Pro

každé pole gridu existuje charakteristická hodnota parametru. Principem prostorové diskretizace u semi-distribovaných modelů je rozdělení povodí na menší celky uživatelem na základě definovaných kritérií. Při jejich vytváření by mělo být respektováno prostorové rozdělení hydrologických parametrů, půdních a topografických charakteristik, které mohou ovlivnit typ a režim odtoku (Daňhelka et al., 2003).

Obrázek č. 4: Klasifikace deterministických modelů



Zdroj: Becker, Serban (1990) in Jeníček (2005)

4.6. MODELOVÁNÍ ODTOKU ZE SNĚHU

4.6.1. Modely energetické bilance

Při modelování tání a odtoku sněhové pokrývky se využívá dvou základních přístupů. Metoda založená na energetické bilanci kvantifikuje energetické toky na rozhraní atmosféra-sníh- půda. Tento fyzikální přístup k modelování odtoku ze sněhu vychází z rovnice

$$Q_m = Q_{nr} + Q_h + Q_e + Q_p + Q_g + Q_q, \quad (5)$$

kde Q_n je přenos radiace Q_e je přenos latentního tepla, Q_h je přenos sensitivního tepla, Q_g je přestup tepla přes rozhraní sněh-půda, Q_p je energie dodaná srážkami, Q_q je změna vnitřní energie ve sněhové pokrývce.

Na výměně energie se podílí krátkovlnné a dlouhovlnné záření vlivem turbulentního nebo konvektivního přenosu latentního a sensitivního tepla. Konvektivní přenos latentního tepla nastává díky změně skupenství vody, zatímco konvektivní přenos sensitivního tepla nastává vlivem rozdílu mezi teplotou vzduchu a sněhu.

Metody založené na energetické bilanci se považují za přesnější, protože podrobněji popisují jednotlivé procesy probíhající ve sněhové pokrývce. Vyžadují ale velké množství vstupních údajů, které jsou požadovány na kalibraci, validaci i vlastní modelování. V praxi se obecně pro výpočet parametrů využívají určitá zjednodušení.

Podle Singha a Singha (2001) se množství vody z taje sněhu vypočte z rovnice:

$$M = 0,0031 \cdot Q_m. \quad (6)$$

Kladná hodnota Q_m označuje tání sněhové pokrývky.

4.6.2. Indexová metoda

Tato metoda využívá spojitosti mezi táním a další veličinou, která má vztah k energetické bilanci. Nejvíce rozšířenou je metoda teplotního indexu. Celková bilance sněhové pokrývky a její teplotní deficit je vyjádřen pomocí teploty.

Model tání sněhu vychází ze vztahu

$$DDF = M \cdot (T_a - T_b), \quad (7)$$

kde M je množství roztátého sněhu v $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$, DDF je teplotní index (Degree-Day Factor) v $[\text{mm} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot \text{den}^{-1}]$. Stanovení teplotního indexu je klíčovou veličinou pro zjištění tání sněhové pokrývky. Ta je průměrná teplota vzduchu za sledované období ve $^\circ\text{C}$ a T_b je kritická teplota ve $^\circ\text{C}$, při které začíná tání sněhové pokrývky. Tání probíhá pouze za předpokladu $T_a > T_b$. K výpočtu T_a lze použít průměrnou teplotu (denní nebo hodinovou) ale také

maximální nebo minimální teplotu nad bodem mrazu, či hodinovou teplotu nad bodem mrazu (Jeníček, 2009). Kritická teplota T_b se ve většině případů stanovuje na $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, Singh a Singh (2001) uvádí, že nejlépe se metoda osvědčuje při průměrné teplotě nad $2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Podle Hocka (2003) může nesprávně vystihovat metoda tání při teplotě kolísající kolem $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ke zlepšení popisu podmínek panujících ve sledovaném území se kromě rozčlenění reliéfu na subpovodí často člení reliéf na výšková pásma.

4.6.2.1. *Metody teplotního indexu*

Teplotní index DDF (Degree-Day Factor) je klíčovou veličinou pro zjištění tání sněhové pokrývky. Je charakterizován jako denní úbytek vodní hodnoty sněhu při zvýšení teploty o jeden stupeň Celsia nad kritickou teplotu, při které začíná proces tání. Teplotní faktor ovlivňují fyzicko-geografické podmínky v povodí: vegetace (zastínění), reliéf (expozice), větrné poměry, plošné pokrytí sněhem, znečištění povrchu sněhu, sněhu, meteorologická situace, sezónní vliv, ledovcová nebo sněhová pokrývky (DeWalle, Rango 2008). Teplotní index DDF se pohybuje v rozmezí hodnot od 1 do $8\text{ mm}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}\cdot\text{den}^{-1}$. Denní chod teplotního indexu DDF se mění v závislosti na změně teploty, a proto je třeba při simulaci tání lépe využít metodu energetické bilance. Z této metody je pak snadnější odvození proměny DDF během dne (Hock, 2003 in DeWalle a Rango, 2008; Kuusisto, 1980). Metoda energetické bilance je ovšem náročnější na odvození vstupních dat. Martinec (1977, in Singh a Singh 2001) udává vztah mezi teplotním faktorem, hustotou vody a hustotou sněhové pokrývky jako:

$$DDF = 1,1 \cdot \left(\frac{\rho_s}{\rho_w}\right). \quad (8)$$

DDF je teplotní index [$\text{mm}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}\cdot\text{den}^{-1}$], ρ_s je hustota sněhu [$\text{v kg}\cdot\text{m}^{-3}$] a ρ_w hustota vody. V době tání se hodnota DDF zvyšuje v závislosti na zvyšování hustoty sněhové pokrývky se zvyšující se teplotou.

Federer et al. (1972) vycházel z předpokladu vlivu vegetace na tání sněhu. V odlišném krajinném pokryvu jsou jiné předpoklady pro charakter tání. Přítomnost lesa zpomaluje tání díky zastínění, díky kterému sněhová pokrývky přijímá méně tepla v období beze srážek. V povodích na severovýchodě USA byly Federerem et al. (1972) odvozeny hodnoty DDF:

Otevřené plochy 4,5 – 7,5 mm/°C/den (9)

Listnaté lesy 2,7 – 4,5 mm/°C/den

Jehličnaté lesy 1,4 – 2,7 mm/°C/den.

Kuusistův přístup pro odvození teplotního indexu DDF je založen také s ohledem na vegetaci:

$$DDF = 0,292 - 0,164 \cdot C_c \quad (10)$$

C_c je podíl plochy pokryté korunami stromů.

Při dešťových srážkách se hodnota teplotního indexu zvyšuje Singh a Singh (2001). Pro odstranění vlivu dešťových srážek byla odvozena rovnice

$$a = a' + 0,0126 \cdot P, \quad (11)$$

kde a je teplotní index, a' je teplotní index bez vlivu tání způsobeného deštěm a P (mm) úhrn srážek.

4.6.3. Model HEC- HMS

Tento model je uznávaný srážko-odtokový model využitelný pro celou řadu hydrologických úkolů. Model HEC-HMS (Hydrologic-Engineering Center- Hydrologic Modeling System) se řadí do skupiny celistvých lumped modelů. Je vyvíjen od 60. let armádou USA a je často používán jak v zahraničí, tak v České republice. Model je dostupný ve verzi 3. 5. v licenci freeware a je volně ke stažení na internetových stránkách [http:// www.hec.usace.army.mil/](http://www.hec.usace.army.mil/).

4.6.3.1. Struktura HEC – HMS

Model HEC – HMS vychází z principu rozdělení povodí na menší celky (subpovodí), které mají homogenní hydrologické vlastnosti a jsou k nim vztahovány počáteční podmínky v povodí. Jedná se o celistvý (lumped) model se soustřednými parametry. Model se skládá

z jednotlivých komponent reprezentující srážko-odtokový proces: *Meteorologický model*, *Model objemu odtoku*, *Model přímého odtoku*, *Model podzemního odtoku*, *korytový model*, ostatní komponenty – model výpočtu nádrže, kanálu, odběru vody atd. Pro každý typ modelu lze využít celou řadu technik uvedených v tabulce č. 5. Kalibraci parametrů je možné provádět manuálně nebo automaticky. Model je využitelný v povodích do 500 km². Optimalizace parametrů se provádí na kratších časových řadách. V extenzi ArcHydro Tools je možné využít k výpočtu některých hydrologických parametrů pro model HEC-HMS. Pro vizualizaci a zpracování hydrologických časových řad a výsledků simulací je k dispozici databázový systém HEC-DSSVue.

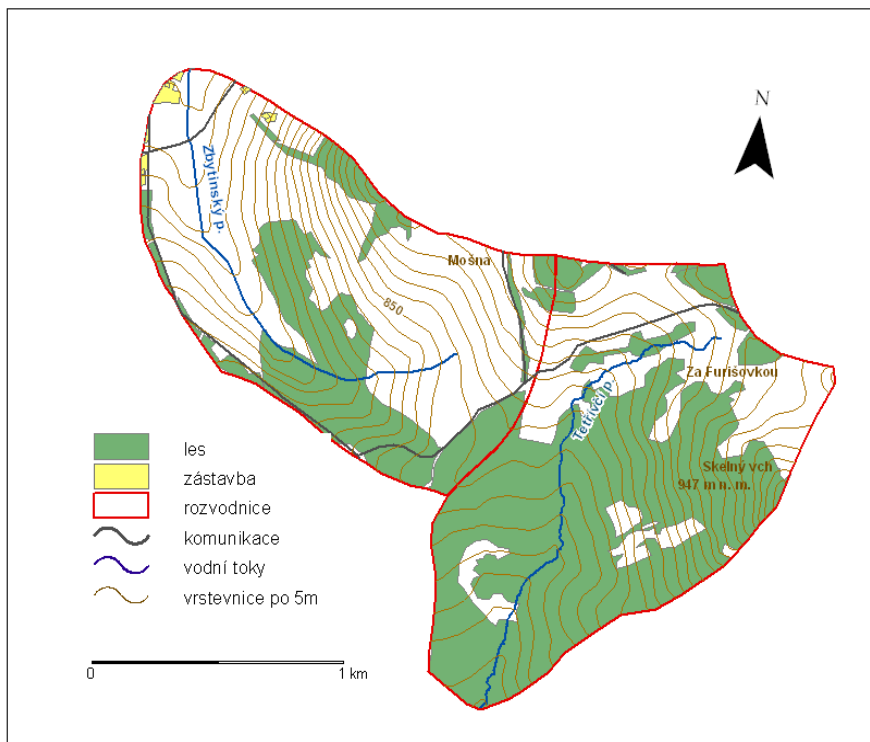
5. VYMEZENÍ A CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

Povodí Zbytinského a Tetřívčího potoka se nachází v ORP Prachatice, mezi Prachaticemi a Volary na svazích Prachatické a Želnavské hornatiny. Zájmové území zahrnuje dvě povodí ležící mezi obcemi Zbytiny a Koryto v povodí horní Blanice.

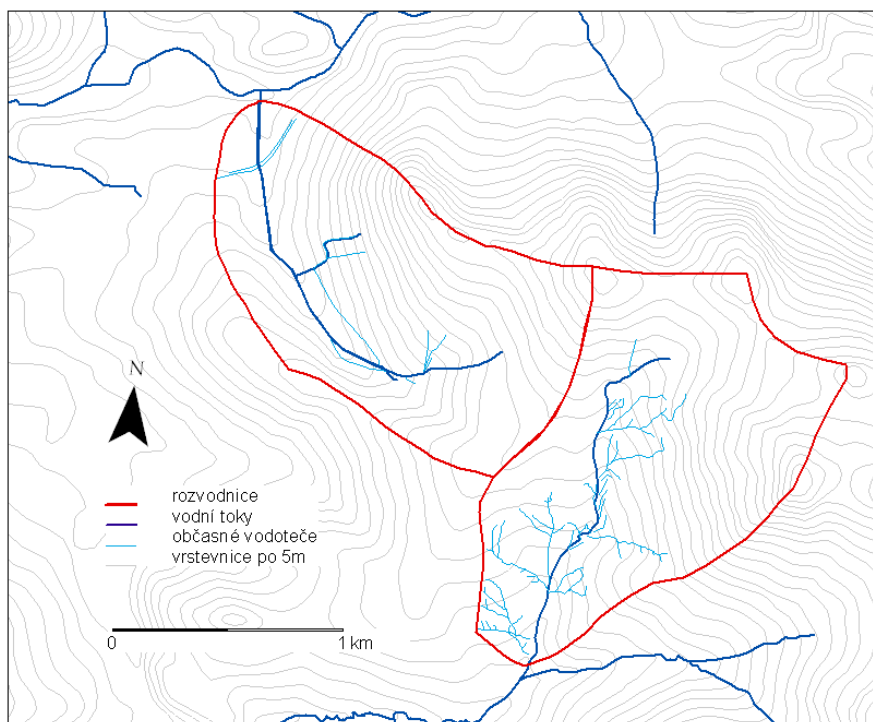
Prameny Zbytinského potoka leží ve východní části povodí v nadmořské výšce 860 m. Tento 1933 m dlouhý tok protéká jehličnatým lesem a poté teče přes louky až k ústí na okraji obce Zbytiny v nadmořské výšce 780 m. Nenašli bychom zde žádný významný přítok, pouze několik menších občasných vodotečí pramenících z porušené meliorace. Sledovaný tok je levostranný přítok Zbytinského potoka (hydrologické pořadí 1-08-03-008). V rámci Zbytinského potoka je nejvyšší vrchol v povodí Mošna (907,7 m n. m.). Nejnižší místo se nachází v měrném profilu, již v obci Zbytiny. Celková plocha povodí je 1,556 km².

Tetřívčí potok pramení na mýtinách v lokalitě Za Furišovkou v 990 m n. m. Nejvyšší bod na území obou povodích se nalézá při východní rozvodnici vrchol Skelný vrch (947, 1 m n. m.). Tok protéká převážně zalesněným terénem a několika mýtinami. Ústí se nachází v jehličnatém lese v nadmořské výšce 825 m. Z celkové plochy povodí 1,622045 km² zaujímá plocha modelového povodí k měrnému přelivu 1,617 km². Nejnižší bod je stejně jako v případě Zbytinského potoka v měrném profilu nedaleko jeho ústí do Tetřívčího potoka (1-08-03-006). Tok nemá žádný významné přítoky, pouze odvodňovací strouhy, které jsou pozůstatkem po tehdejší hospodářské činnosti. Základní geometrické charakteristiky toků jsou uvedeny v příloze č. 1. Hypsografické poměry jsou uvedeny v příloze č. 2. Přehledová mapa a hydrografická síť jsou znázorněny na obrázku č. 5 a č. 6.

Obrázek č. 5 a 6: Přehledová mapa a hydrografická síť povodí Zbytinského a Tetřívčeho potoka



Zdroj: Zabaged 2005



Zdroj: Malý (2008), upraveno

5.1. GEOLOGICKÉ POMĚRY

Území povodí horní Blanice, kam patří obě sledovaná povodí, je tvořeno převážně moldanubickými horninami. Severní část povodí horní Blanice tvoří jednotvárná série složená z několika typů rul a migmatitů.

Ústí Zbytinského potoka zasahuje do linie procházející mezi jednotvárnou sérií a křišťanovickým granulitovým masivem, kterým je tvořeno povodí Zbytinského potoka. Granulity a granulitové ruly jsou lemovány nesouvislým, až stovky metrů širokým pruhem amfibolitů či serpentinitů. Tento pás se táhne od Volar přes Zbytiny až ke Škříněrovu. Horniny v celém povodí jsou tvořeny horninami prekambriického až paleozoického stáří ze 74 % plochy povodí. Kvartérní sedimenty ležící v bezprostřední blízkosti toku jsou zastoupeny z 26%. Povodí je díky svojí malé rozloze poměrně homogenní geologickou skladbou hornin. Nad prameništěm se nachází oblast tvořená orturulami (10 %), které přecházejí až do povodí sousedního Tetřívčího potoka.

Povodí Tetřívčího potoka má obdobnou geologickou skladbu jako v případě povodí Zbytinského potoka. Patří do granulitového komplexu (Kodym, 1961). Granulity jsou zastoupeny na 67% plochy povodí, pás ortoruly ležící na severozápadě se nachází na 6,5% plochy. V okolí vlastního toku nalezneme nivní sedimenty (4 %). Nivní sedimenty jsou uloženy v údolních niv toků, jsou nejčastěji prachovité a jemně písčité sedimenty, na které navazují písčito-hlinité až hlinito-písčité sedimenty (19 %) (Svoboda a kol., 1961). V pramenné oblasti převládá stejně jako u Zbytinského potoka smíšený sediment (3,5 %).

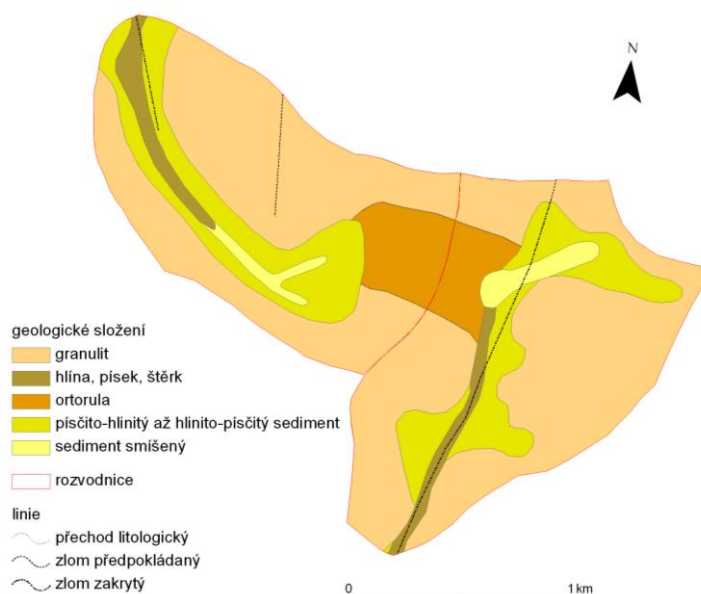
5.1.1. Hydrogeologické poměry

Podle Albrechta a kol. (2003) spadá studované území do hydrogeologického rajonu „Krystalinikum v povodí horní Vltavy a Úhlavy“ s omezenými zásobami vod. Od roku 1978 je část studovaného území v rámci CHKO Šumava vyhlášena Chráněnou oblastí přirozené akumulace vod (Albrecht a kol. 2003). Jednotvárné geologické složení má odezvu ve stejnorodosti hydrogeologických poměrů celého území. Podzemní vody jsou zastoupeny pouze puklinovými vodami krystalinika a žuly a průlinovými vodami eluvia, sutí a kvartérních sedimentů. Podle Kříže (1983) patří krystalinikum obecně k oblastem chudším na podzemní vodu. Ke snížení hladiny podzemní vody přispívá plošné zemědělské odvodnění, které urychluje a zvyšuje průměrný a minimální odtok z území (Švihla, 1992). V celé oblasti

odtok mnohonásobně převyšuje vsakování. Geologické poměry sledovaného území jsou uvedeny na obrázku č. 7.

Podle výsledků diplomové práce Novosadové (1985) může meliorační odvodnění ovlivnit výskyt pramenů. Mělké podzemní vody jsou odvodněny drenážemi a nemohou napájet dříve existující prameny. Nejvyšší hustota pramenů byla zjištěna v oblastech hornatin, které mají značnou výškovou členitost, vysoký podíl zalesněných ploch a také vyšší úhrn srážek. Proto bychom hledali největší hustotu i pramenů v oblastech Křišťanovického granulitového masivu. Vydatnost pramenů je ve sledovaném území malá. Často jde o odtoky z meliorací. Podle Novosadové je největší množství pramenů, které mají nejmenší vydatnost (řádově setiny $l \cdot s^{-1}$). Mají však vzhledem ke své vydatnosti malý význam. Prameny zůstávají perspektivním zdrojem pro místní zásobování malých obcí a samot. Jejich využití je především ekonomicky výhodné, k výhodám patří dobrá kvalita pramenů. Plošné odvodnění spolu s regulací toků představuje největší ohrožení podzemních vod po stránce kvantitativní. Platí to zejména pro oblasti s mělkým oběhem podzemních vod. Zemědělství také nejvíce ohrožuje kvalitu podzemních vod. Zásobování menších sídel, která jsou četná v hornaté části území, je nadále závislé na zásobách podzemních vod.

Obrázek č. 7: Geologické poměry povodí Zbytinského a Tetřívčího potoka



Zdroj: Cenia (2005)

5.2. GEOMORFOLOGICKÉ POMĚRY

Geomorfologické zařazení zájmového povodí vychází z podrobného geomorfologického členění reliéfu Čech Balatky a Kalvody (2006). Povodí horní Blanice se nachází na území dvou celků- Šumava (podcelek Želnavská hornatina) Šumavské podhůří (podcelek Prachatická hornatina). Hranice mezi těmito dvěma podcelky prochází údolím Zbytinského potoka. Podcelek Prachatická hornatina má výškové rozpětí od 430 m n.m. do 1096 m n.m., střední výška 675,9 m n. m., převládající relativní výšková členitost je 200-500 m, střední sklon 7° 42' a orografická třída plochá hornatina. Podcelek Prachatická hornatina se dále dělí na okrsek Libínská hornatina (podokrsky Libínský hřbet a Zbytinská vrchovina). Podcelek Želnavská hornatina má výškové rozpětí od 693 m n. m. do 1228 m n. m., střední výšku 921,1 m n. m., převládající relativní výškovou členitost 200-500 m, střední sklon 7° 40' a orografickou třídu plochá hornatina. Podcelek Želnavská hornatina leží v jižní části povodí horní Blanice a patří sem též velká část povodí Zbytinského a povodí Tetřívčího potoka. Dále se dělí na okrsky Křišťanovická vrchovina a Knížecí hornatina. Okrsek Křišťanovická vrchovina (podokrsek Skalinská hornatina, Arnoštovská pahorkatina) leží v okolí území obce Křišťanov a zasahuje až do VÚ Boletice. Okrsek Knížecí hornatina (podokrsek Chlumská hornatina) leží v oblasti masivu Knížecího stolce.

Tabulka č. 7: Geomorfologické členění na území povodí horní Blanice

Celek	podcelek	okrsek	podokrsek
Šumava	Želnavská hornatina	Křišťanovická vrchovina	Skalinská honatina
			Arnoštovská pahorkatina
Šumavské podhůří	Prachatická hornatina	Libínská hornatina	Knížecí hornatina
			Chlumská hornatina
			Libínský hřbet
			Zbytinská vrchovina

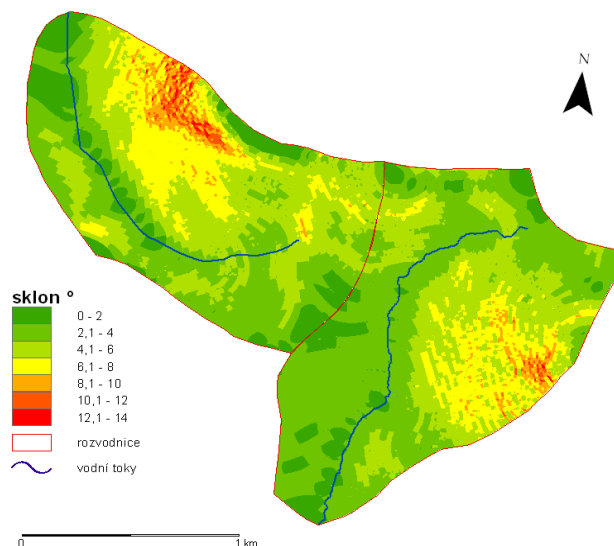
Zdroj: Balatka a Kalvoda (2006)

5.3. SKLONITOST

Sklonitost je jedním z významných faktorů ovlivňujících akumulaci a tání sněhové pokrývky. Vyšší sklonitosti podporují tání na otevřených i zalesněných plochách a urychlují odtok z území. Při pohledu obrázků č. 8 a tabulku č. 8 je patrné, že obě povodí jsou si podobná. Nejčastější sklonitost povrchu je u od 2° do 6°. Nejvyšší sklony terénu jsou v severní části povodí, v okolí bezejmenného vrcholu (885 m n. m.). Naopak nejmenší sklonitost je v údolnici samotného Zbytinského potoka a při jeho ústí. Nejčastěji plošně zastoupená sklonitost se pohybuje od 4° do 6°. Zbytinský potok má ve všech kategoriích od 4° až do 14° větší plošné zastoupení než povodí Tetřívčího potoka. Povodí Zbytinského potoka má vyšší průměrné sklonitosti (4,95°) i maximální sklonitosti (13,8°) než povodí Tetřívčího potoka.

Povodí Tetřívčího potoka má podobné sklonitostní charakteristiky. Průměrná sklonitost dosahuje 4,0° a maximální 12,3°. Nejvyšších sklonů reliéfu dosahuje v okolí Skelného vrchu (947,1 m n. m.). V porovnání s povodím Zbytinského potoka má téměř polovinu plochy povodí ve sklonech 2°-4° a téměř třetinu plochy v rozmezí 4°-6°. Tetřívčí potok má méně sklonitější reliéf, i přesto že je položen ve větších nadmořských výškách.

Obrázek č. 8: Sklonitostní poměry v povodí Zbytinského a Tetřívčího potoka



Zdroj: Cenia (2005)

Tabulka č. 8: Relativní zastoupení ploch o daném sklonu°

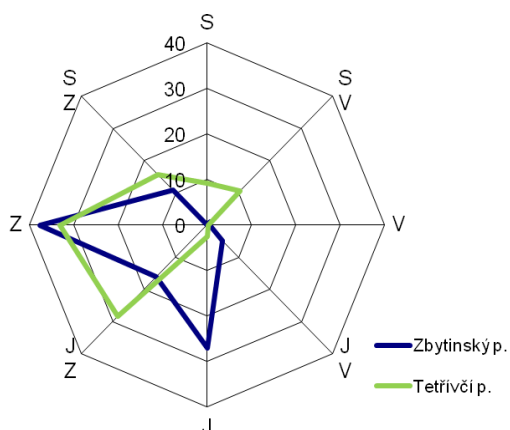
sklon	plošné zastoupení v %	
	Zbytinský p.	Tetřívčí p.
0 - 2°	11,5	8,5
2 - 4°	31,8	48
4 - 6°	34,4	28
6 - 8°	16,5	13,3
8 - 10°	4,1	1,9
10 - 12°	1,6	0,2
12 - 14°	0,1	0

Zdroj: Malý (2008)

5.4. EXPOZICE

Expozice je jedním z významných faktorů ovlivňujících množství energie přímého slunečního záření a významně ovlivňuje proces akumulace a tání sněhové pokrývky ve sledovaných povodích. Povodí Zbytinského i Tetřívčího potoka mají expozičně podobně orientované svahy. V povodí Zbytinského potoka jsou nejvíce svahy orientované na západ (37,8%). Svahy s jižní expozicí jsou zastoupeny ze 27% a jihozápadní orientace je zastoupena ze 16,2%. Povodí Tetřívčího potoka má nejčastější západní expozici (33,1%). Svahy orientované na severozápad jsou zastoupeny z 15,5 %. Východní a jihovýchodní expozice téměř chybí. Orientace svahů jihozápadním a západním směrem převažující u obou sledovaných povodích je příznivá pro významnější úbytky sněhu než na odvrácených severních svazích. Obě povodí jsou podle obrázku č. 10, 11 a tabulky č. 9 vyjadřující plošné zastoupení jednotlivých expozic z hlediska expozice podobné. Tato skutečnost může spolu s dalšími faktory jako jsou vyšší srážkové dotace, vegetační kryt, zastínění terénu podporovat akumulaci případně rychlejší tání sněhové pokrývky.

Obrázek č. 9 : Expozice svahů v povodí Zbytinského a Tetřivčího potoka



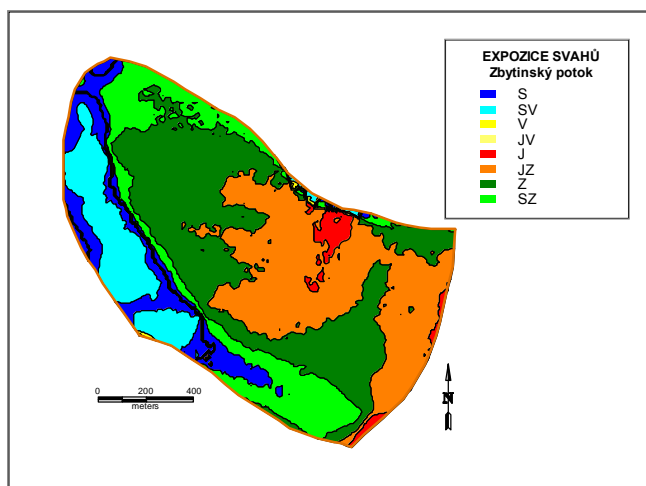
zdroj: Zabaged in Malý 2008

Tabulka č. 9: Relativní zastoupení ploch o dané expozici

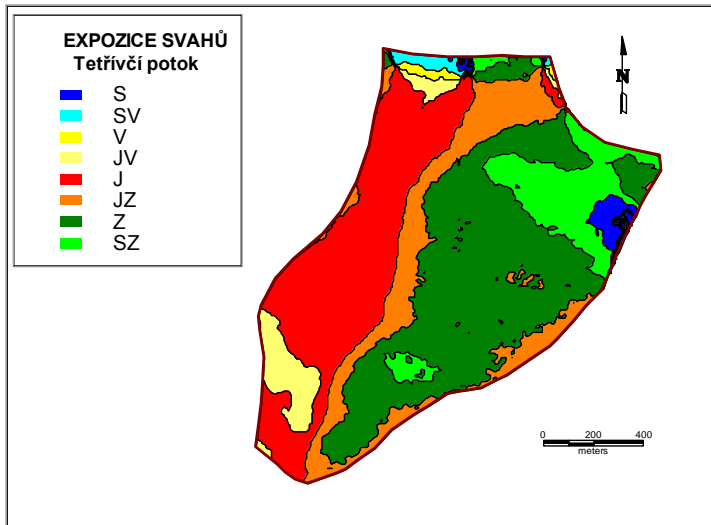
expoziční	plošné zastoupení %	
	Tetřivčí p.	Zbytinský p.
S	1,7	9,1
SV	0,9	10,6
V	0,7	0,3
JV	4,8	0,3
J	27	2,6
JZ	16,2	28,5
Z	37,8	33,1
SZ	10,9	15,5

zdroj: Zabaged in Malý 2008

Obrázek č. 10: Expozice svahů v povodí Zbytinského potoka



Obrázek č. 11: Expozice svahů v povodí Tetřívčího potoka



5.5. PEDOLOGICKÉ POMĚRY

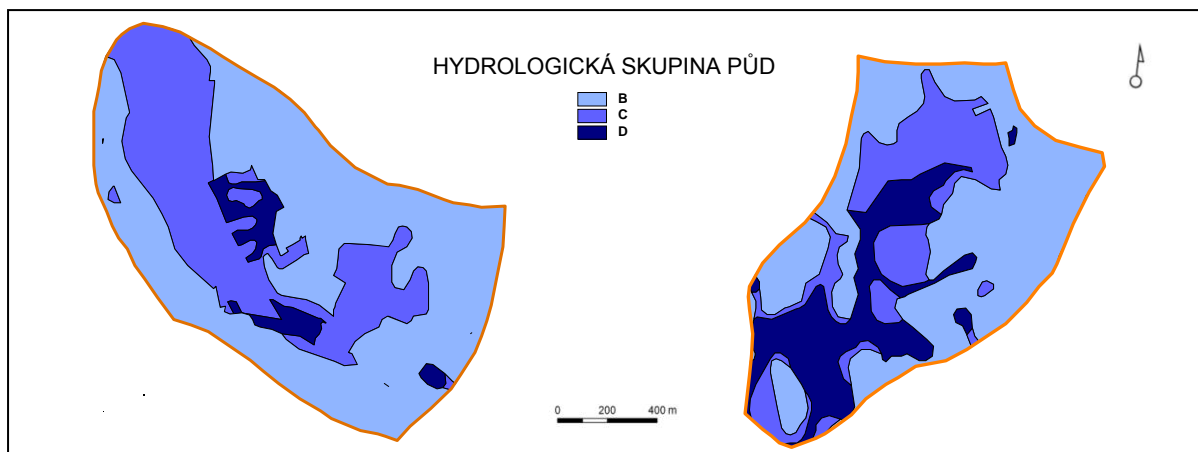
Obě sledovaná povodí jsou typické zastoupením jednotlivých půdních typů a subtypů pro podhorské oblasti. Výrazně zastoupené jsou v obou povodích kryptopodzoly. Podle pedologické mapy 1:50 000 (obrázek č. 12) převažuje v povodí Zbytinského potoka kambizem mezobazická (39 % plochy povodí) a kryptopodzol modální (31 %). Jsou to časté půdní typy podhorských oblastí, vznikající díky geologickým podmínkám a charakteru reliéfu. Kryptopodzol modální a kryptopodzol rankerový (0,3 %) jsou zastoupeny ve vyšších polohách povodí. Mezi lokality úzce vázané na místa s výskytem zvýšené podzemní vody patří glej histický (5 %) a kambizem oglejená mezobazická (25 %). Pedologické poměry Zbytinského potoka jsou znázorněny na obrázku č. 14.

V povodí Tetřívčího potoka se nacházejí podle mapy 1: 50 000 tři půdní typy. Na 62 % plochy povodí je zastoupena kryptopodzol modální. V dolní části toku se nachází glej histický, zastoupený v 19 %. Glej histický je lokalizován výhradně do okolí vodního toku. Kambizem oglejená mezobazická se vyskytuje v okolí vodního toku a vytváří dvě oddělené části. Jedna část leží při ústí a druhá se nachází v prameništi a pokračuje až do střední části toku. Kambizem oglejená mezobazická je zastoupena na 25% plochy povodí. Pedologické poměry jsou zobrazeny na obrázku č. 14.

Z pohledu hydrologických skupin půd se povodí značně liší. Hydrologická skupina půd reprezentuje infiltrační a retenční vlastnosti půdy (kategorie A až D). Kategorie A představuje půdy s vysokou infiltrační kapacitou a nejnižší odtokový potenciál, skupina D naopak půdy s nízkou infiltrační kapacitou a vysokým odtokovým potenciálem.

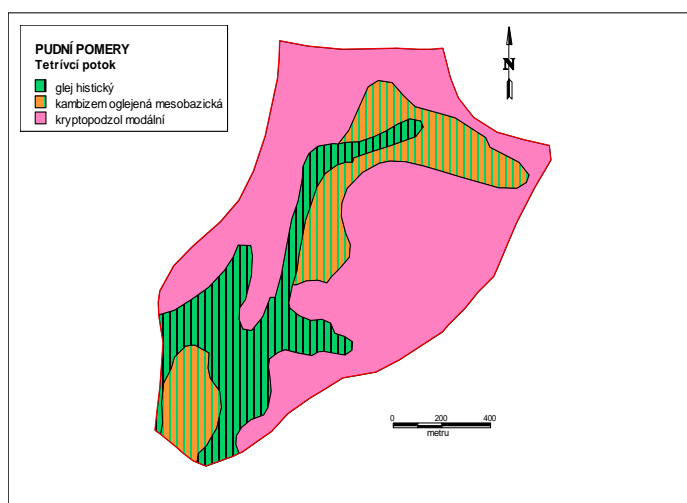
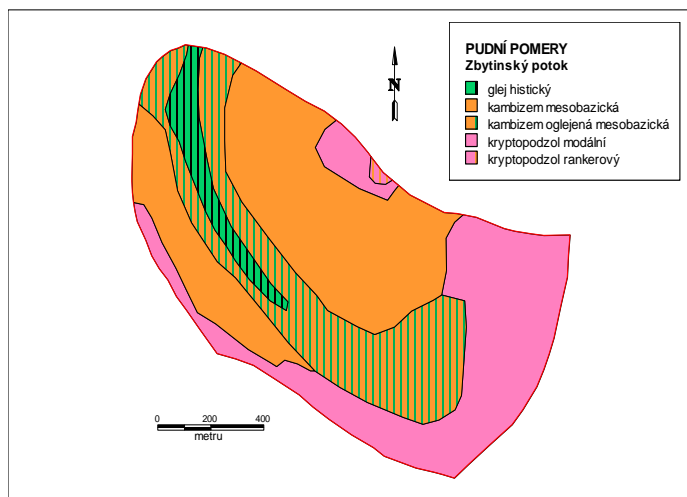
Malý (2008) vytvořil podle podkladů ÚHÚL (2008), MACKŮ (2008), JANEČKA (2002) a AOPK (2007) mapy hydrologických skupin půd ve sledovaných povodích (obrázek č. 12 a 13). Zbytinský potok má největší podíl skupiny B (téměř 2/3 plochy), což jsou půdy středně hluboké až hluboké se střední intenzitou infiltrace (0,06 - 0,12 mm/min). Druhou nejvíce zastoupenou skupinou jsou půdy C (1/3 plochy) s nízkou intenzitou infiltrace (0,02 – 0,06 mm/min). Rozsah této hydrologické skupiny odpovídá poloze mezobazických oglejených kambizemí. Hydrologická skupina D jsou těžké půdy s velmi nízkou infiltrační kapacitou (< 0,02 mm/min), ležící v povodí v lesních porostech. V povodí Zbytinského potoka jsou zastoupeny ze 4,6 %. Povodí Tetřivčího potoka je více vyrovnané- největší rozdíl je v zastoupení HSP „D“, tedy půd nejpříhodnějších ke generaci povrchového odtoku. Půdy hydrologické skupiny D tvoří v lesnatém povodí asi 22 % celkové rozlohy. Hydrologické vlastnosti půd tedy přispívají výskytu větších odtokových vln v povodí Tetřivčího potoka.

Obrázek č. 12 a 13: Hydrologická skupina půd v povodí Zbytinského a Tetřivčího potoka



Zdroj: ÚHÚL (2008), MACKŮ (2008), JANEČEK (2002), AOPK (2007) in Malý (2008)

Obrázek č. 14 a 15: Půdní poměry Zbytinského potoka a Tetřivčího potoka



Zdroj: AOPK (2007) in Malý (2008)

5.6. VEGETAČNÍ POMĚRY

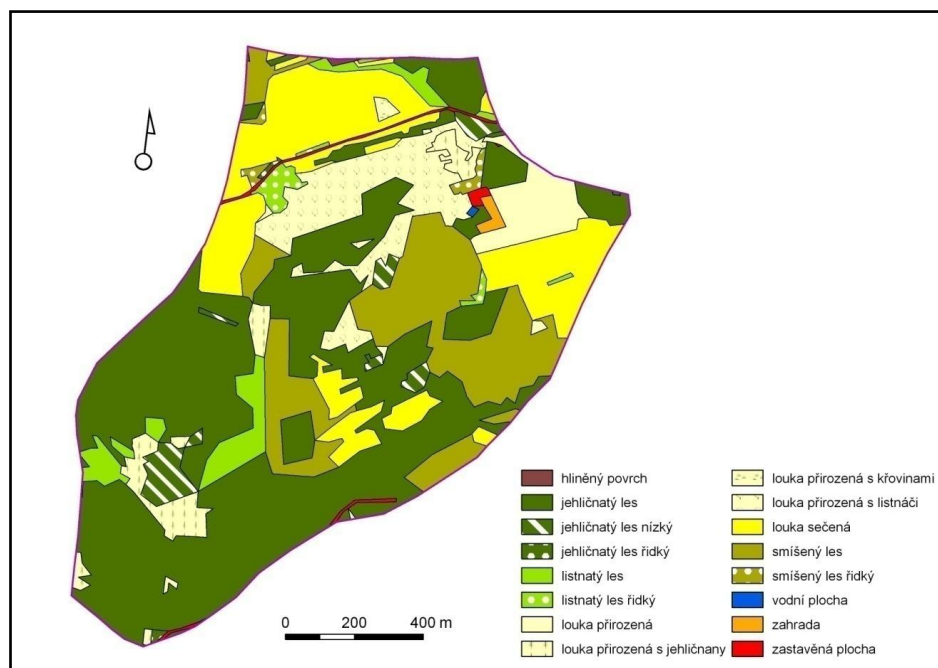
Povodí Zbytinského i Tetřívčího potoka mají rozdílných charakter krajinného krytu a jsou také rozdílné ve využití půdy. Zatímco povodí Tetřívčího potoka má charakter přírodně blízkého zalesněného terénu, povodí Zbytinského potoka je typické loukami s četnými antropogenní zásahy napovídající hospodářské využití území. Mapy zachycující vegetační kryt vychází z terénního mapování Malého v roce 2008 (obrázek č. 16 a 17). Plošné zastoupení vegetačních tříd je znázorněno v tabulce (příloha č. 4).

V povodí Zbytinského potoka převažují sečené louky zastoupené na 55,6 % plochy. Na 19,7% jsou jehličnaté lesy, smíšené lesy představují 9% a listnaté lesy jsou zastoupeny na 3,4% plochy povodí. Přirozené louky leží na 4,7% plochy povodí.

Podle tabulky č. 4 jsou v povodí Tetřívčího potoka nejvíce zastoupeny lesy 67,4 % (jehličnatý 47,8 %, smíšený 15,2 %, listnatý 4,4 %). Dalším nejvíce zastoupeným typem pokryvu jsou sečené louky zastoupené ze 16,8%. Přirozené louky jsou na 10,8% plochy území.

Využití půdy v obou sledovaných povodích byl v průběhu 2. pol. 20. století typický proces zatravňování a zalesňování. Povodí Zbytinského potoka bylo bohatší na orné půdy, docházelo zde k zatravňování. V povodí Tetřívčího potoka docházelo především k zalesňování a zatravňování až do dnešní podoby. Orná půda se na území obou modelových povodích v současnosti téměř nevyskytuje. Na území Zbytinského potoka převažují louky a pastviny, které jsou využívány pro chov skotu. Krajinná struktura se homogenizovala a hospodářské využití se postupně omezovalo. Vývoj krajiny lze charakterizovat postupným útlumem lidských činností a rozvojem přírodních procesů. Pozůstatky po hospodaření jsou umělé odvodnění v povodí Zbytinského potoka. Nyní je již nevyužívané, původně zaujímal 27 % plochy experimentálního povodí. V současnosti je odvodněná plocha pokryta sečenou loukou a drenážní systém se již dlouhou dobu neudrzuje. V povodí se umělé odvodnění nenachází, ale je zde systém umělých odvodňovacích příkopů, který zde vznikl za jiných vegetačních podmínek. Tyto občasné vodoteče jsou dokladem hospodářské činnosti v minulých letech. Vývoj změn využití půdy v letech 1947- 2005 experimentálních povodí je uveden v příloze č. 3.

Obrázek č. 16 a 17: Vegetační poměry v povodí Zbytinského a Tetřívčího potoka



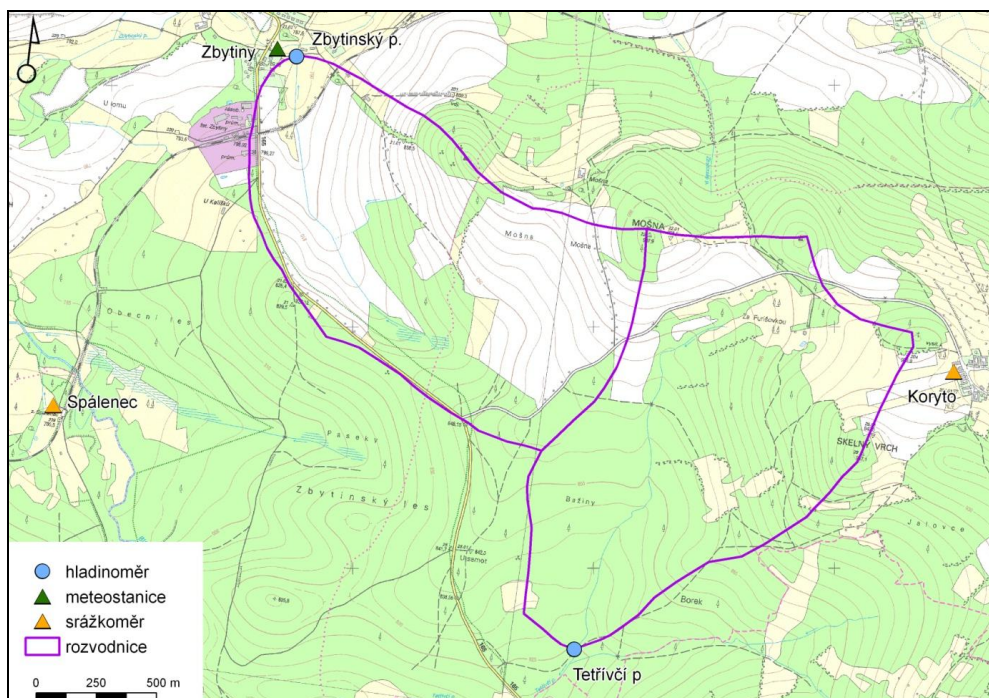
Zdroj: ČÚZK (2005b) in Malý (2008)

5.7. KLIMATICKÉ POMĚRY

5.7.1.1. Zdrojová data

Základním předpokladem pro analýzu faktorů ovlivňující parametry sněhové pokrývky jsou vedle terénního měření data ze srážkoměrných stanic. K tomuto účelu jsou ve sledovaném území a jeho blízkého okolí 3 stanice. V experimentálních povodích Zbytinského a Tetřívčího potoka probíhá kontinuální monitoring provozovaný Katedrou fyzické geografie a geoekologie již od roku 2006. Na obrázku č. 18 je zobrazena poloha stanic, ze kterých byly využity data.

Obrázek č. 18: poloha stanic v povodí Zbytinského a Tetřívčího potoka



5.7.1.2. Zbytiny (ZBY)

Stanice Zbytiny (ZBY) se nachází na experimentálním povodí Zbytinský potok před vyústěním toku na okraji obce Zbytiny, v nadmořské výšce 786 m n. m.. Stanice využívá srážkoměr a hladinoměr dvojího typu. Člunkový srážkoměr SR03, se sběrnou plochou 500 cm² zaznamenává data každých deset minut s přesností na 0,1 mm. Kromě již zmiňovaných

srážek pořizuje také záznam dalších meteorologických veličin, jako jsou teplota vzduchu, vlhkost vzduchu, sluneční radiace, směr a rychlost větru.

Měřicí stanice disponuje hladinoměry ultrazvukovou sondou a tlakovými čidly. Ultrazvuková sonda pořizuje záznam o výšce hladiny každých 10 minut. Oba typy hladinoměřů slouží ke vzájemnému ověřování správnosti naměřených dat. Z tohoto důvodu bylo v roce 2008 dodatečně instalováno tlakové čidlo, které pracuje nezávisle na ultrazvukové sondě.

5.7.1.3. *Tetřívčí potok (TET)*

V povodí experimentálního povodí Tetřívčí potok je kromě ultrazvukové sondy instalován měrný přeliv (kombinace Ponceletova a Thomsonova přelivu). Poloha stanice je stejně jako v případě povodí Zbytinského potoka několik desítek metrů před ústím. Informace o výšce hladiny a vypočteného průtoku je zaznamenáván v desetiminutovém intervalu.

5.7.1.4. *Koryto (KOR)*

Srážkoměrná stanice Koryto (KOR) vznikla z potřeby zpřesnit data o srážkách a porovnat je s daty naměřenými ve stanicích ZBY a KOR. Poloha stanice je na vysoko položených loukách v 922 m .n m. Stanice je exponována směrem na východ až jihovýchod. Automatický srážkoměr SR03 pořizuje záznam každých 10 minut. Jedná se o stejný typ překlopného člunkového srážkoměru se zachytnou plochou 500 cm² jako v případě stanice ZBY. Stanice KOR byla spuštěna v dubnu v roce 2008. V současné době je mimo provoz.

5.7.1.5. *Spálenec (SPA)*

Pro zpřesnění odtokové analýzy byla využita data z nedaleké stanice Spálenec (SPA) provozované ČHMÚ. Stanice leží v nadmořské výšce 787 m n. m. na levém břehu řeky Blanice. Data jsou zaznamenávána v 24 hodinovém kroku od 7:00 do 7:00 dalšího dne. Stanice monitoruje kromě denních srážkových údajů také výšky sněhové pokrývky a vodní hodnotu sněhu v týdenním časovém úseku.

5.7.1.6. *Data ze stanic*

Naměřená data ze stanic provozovaných Katedrou fyzické geografie a geoekologie (Zbytiny, Koryto, Tetřívčí p.) jsou přenášena prostřednictvím technologie GPS /GPRS a zasílána denně na internet. Na webu českobudějovické firmy Fiedler-Magr, poskytující datové služby pro hydrologické potřeby, jsou ze zabezpečené webové stránky k dispozici pro stažení ve formátu .xls. Data jsou průběžně stahována a zálohována za hydrologický rok pro všechny sledované charakteristiky.

5.7.2. Teplotní poměry

Podle Atlasu podnebí Česka (Tolasz et al., 2007) se průměrné roční teploty pohybují od 4° C do 6° C. Průměrná lednová teplota je v rozmezí -5°C do -3°C, průměrná červencová teplota je od 14° C do 17° C. Vybrané klimatické charakteristiky zájmové oblasti podle Atlasu podnebí Česka (Tolasz et al., 2007) jsou uvedeny v příloze č. 5 a 6.

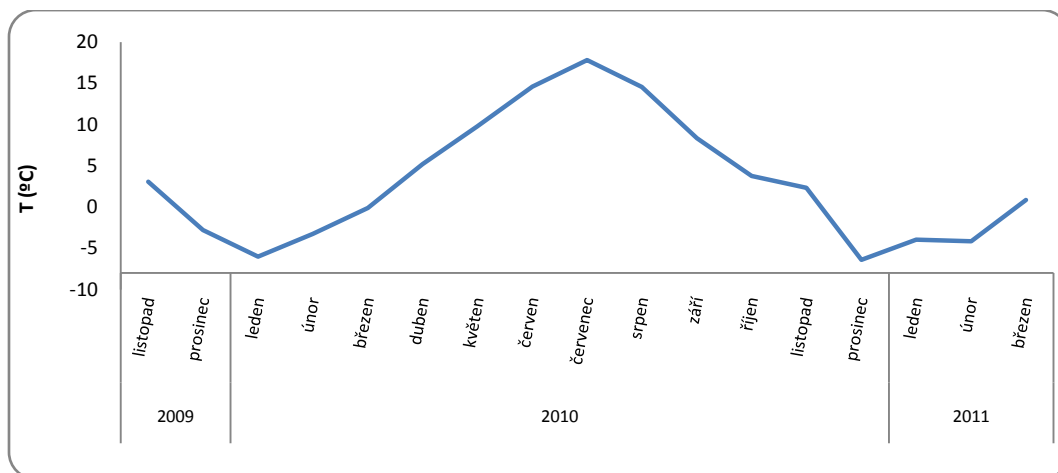
Povodí horní Blanice se podle Quitta (1971) řadí do chladné klimatické oblasti. Ta je dělena na 7 jednotek, z nichž CH1 je nejstudenější a CH7 nejteplejší. Povodí leží v této kategorii v nejteplejší jednotce, tedy v CH7, a je charakterizována velmi krátkým až krátkým, mírně chladným a vlhkým létem, dlouhým přechodným obdobím s mírně chladným jarem a mírným podzimem. Průměrná teplota dosahuje v lednu -3°C až -4°C, průměrná teplota v červenci je 15°C-16°C (Quitt, 1971).

Uvedené skutečnosti dokládá obrázek č. 19, který zachycuje chod průměrné roční teploty ve stanici Zbytiny (ZBY) od listopadu 2009 do března 2011. Nejnižší teplota nastala v roce 2009 a 2010 v lednu, nejvyšší v červenci. V roce 2011 byla nejnižší teplota naměřena v prosinci díky teplotně nadprůměrnému lednu a únoru. Teplota výrazně ovlivnila chod výšky sněhové pokrývky a její vodní hodnoty a ovlivnila zásadně sezónní chod. Maxima výšky a vodní hodnoty sněhu proto nastávala v roce 2011 již v prosinci a lednu. Tabulka s výčtem měsíčních srážek je uvedena v příloze.

Na grafu průměrné měsíční teploty v zimních sezónách 2010 a 2011 (obrázek č. 20) ve stanici Spálenec (SPA) je vidět odlišná poloha minima i maxima teplot. V sezóně 2010 je vidět minimální měsíční průměrná teplota v lednu, kdy průměrná teplota dosahovala -6°C. V únoru a březnu je vidět opětovný nárůst teploty. Sezóna 2010 má nejteplejší měsíc listopad, kdy byla průměrná teplota 3,1 °C. Nejnižší průměrné hodnoty v celé sezóně byly naměřeny

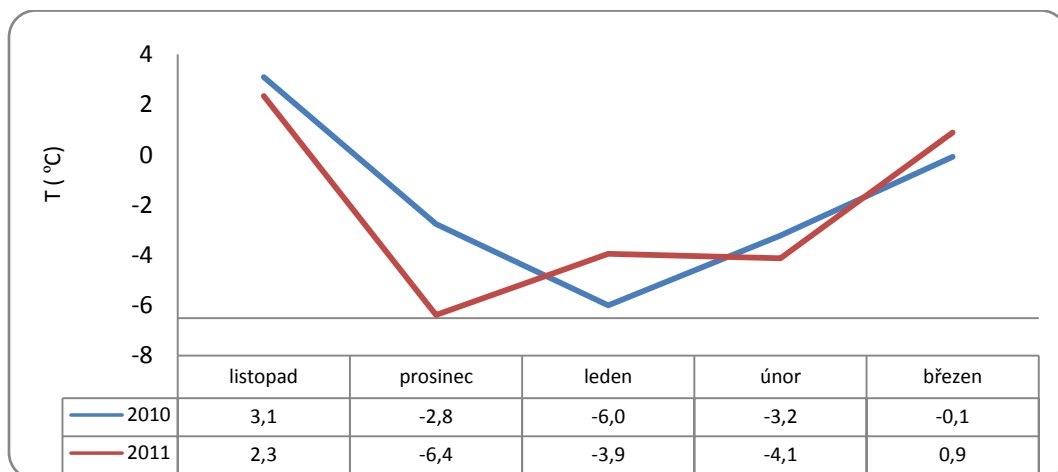
v prosinci (-6,4 °C). Leden byl výrazně teplejší než v předešlé sezóně, v únoru nastal propad průměrné teploty na -4,1°C. V březnu se již průměrná teplota dostala nad 0°C.

Obrázek č. 19: Průměrné měsíční teploty ve Stanici Zbytiny (ZBY) listopad 2008- březem 2011



Zdroj: ČHMÚ (2011)

Obrázek č. 20: Průměrná měsíční teplota v zimní sezóně v období 2009 – 2010 ve stanici Spálenec (SPA)



Zdroj: stanice Spálenec (SPA)

5.7.3. Srážkové poměry

Průměrné srážky jsou podle Atlasu podnebí Česka (2007) od 800 mm až do 1200 mm za rok. Podle Moravce a Votýpky (1998) se území řadí do kategorie s ročními srážkami nad 580 mm.

Pro hodnocení ročních úhrnů srážek byla využita data ze srážkoměrné stanice Spálenec (SPA) v období 1962 až 2010 (obrázek č. 21). Průměrný roční úhrn srážek je 744 mm (tabulka č. 10). Nejvyšší roční úhrny (1386,1 mm) byly zaznamenány v roce 2002 a naopak nejnižší roční úhrn 557 mm byl v roce 1973. Roky s nejnižšími a nejvyššími úhrny srážek jsou uvedeny v tabulce č. 10. Mezi deset nevyšších ročních úhrnů od roku 1962 se řadí období 2008-2010. Posledních šest let bylo srážkově nadprůměrných. Polovina z deseti nejdeštivějších roků nastala v posledním desetiletí, což značí vzrůstající trend v celkovém ročním úhrnu srážek. Mezi deset nejnižších úhrnů patří za posledních deset let pouze rok 2000. Více než tři nadprůměrně deštivé roky za sebou nastaly pouze v druhé polovině šedesátých let a v posledním desetiletí.

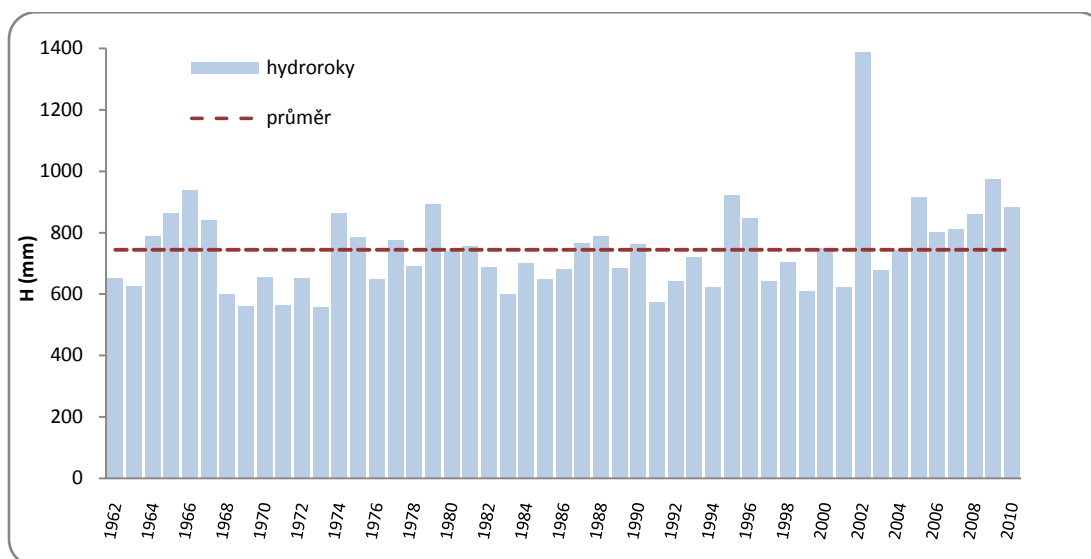
Tabulka č. 10: Charakteristika srážkových úhrnů v období 1961 – 2010 ve stanici Spálenec (SPA)

nejvyšší úhrny		nejnižší úhrny	
rok	mm	rok	mm
2002	1386,1	1973	557,6
2009	975,9	1969	560,0
1966	937,9	1971	563,3
1995	922,9	1991	573,1
2005	916,9	1983	600,7
1979	894,3	1968	600,7
2010	881,5	1999	608,0
1974	863,3	1994	621,2
1965	862,6	2001	622,1
2008	858,2	1963	624,9

1961-2010	
Avg	744,2
medián	721,4
min	557,6
max	1386,1
směrodatná odchylka	143,2

Zdroj: ČHMÚ

Obrázek č. 21: Roční úhrn srážek ve stanici Spálenec (SPA) v období 1961-2010



Zdroj: ČHMÚ

5.7.3.1. Hodnocení měsíčních srážkových úhrnů

Podle údajů za srážkoměrné stanice Spálenec (SPA) jsou nejdeštivější měsíce v roce červen a červenec. Jejich měsíční průměrná hodnota překračuje 90 mm. Srážkově nejslabší jsou zimní měsíce únor a leden, které mají průměrné hodnoty 42,7 a 41,8 mm. Minimální měsíční úhrn nastal v říjnu v roce 1965 (0,6 mm) a nejvyšší měsíční úhrn v srpnu 2002 (452,2 mm), v období před katastrofálními povodněmi 2002. Směrodatná odchylka značí větší rozkolísanost hodnotí srpen jako nejvíce variabilní z hlediska srážek. Větší variabilitu ukazují letní měsíce oproti zimním měsícům. Nejnižší variabilitu ukazuje listopad. Ostatní statistické údaje jsou obsaženy v tabulce měsíčních srážkových úhrnů za období 1962 – 2011 (tabulka č. 11).

5.7.3.2. Maximální denní srážkové úhrny

Pro hodnocení denních úhrnů srážek byly k dispozici data denních úhrnů srážek od roku 1984. Nejvyšší denní úhrny nastaly ve většině případů v letních měsících z přívalových dešťů, případně z dlouhotrvajících regionálních dešťů. Mezi deseti nejvyššími úhrny srážek byly naměřeny maxima osmkrát v srpnu. Dva nejvyšší úhrny nastaly v roce 2002. Absolutní maximum (126,6 mm) ve sledovaném období bylo naměřeno 11. 8. 2002. Rok 2002 je celkem

čtyřikrát mezi deseti nejdeštivějšími denními úhrny, což dokládá významnost této srážkové události.

Tabulka č. 11: Statistické charakteristiky měsíčních srážkových úhrnů, SPA (1961 – 2011)

měsíc	AVG	MED	MIN	MAX	SMOD
leden	42,7	34,9	8,5	118,2	27,1
únor	41,8	36,0	4,0	111,8	28,9
březen	49,6	43,1	14,2	127,3	25,0
duben	47,4	42,5	2,7	116,0	25,8
květen	79,5	76,8	15,0	202,1	35,3
červen	93,9	86,8	32,1	237,5	40,3
červenec	92,9	95,6	35,1	168,4	35,0
srpen	89,6	74,5	7,5	452,4	67,1
září	58,7	52,9	9,9	178,1	33,1
říjen	45,3	33,5	0,6	136,2	34,5
listopad	47,8	45,9	16,9	89,6	17,2
prosinec	53,4	47,4	4,3	140,0	33,5
XI-X	744,2	721,4	557,6	1386,1	143,2
XI-IV	283,5	281,2	153,8	420,7	62,4
V-X	460,7	428,6	281,5	982,8	115,1

Zdroj: ČHMÚ

Tabulka č. 12: Nejvyšší denní úhrny srážek v období 1984 – 2010 (SPA)

Den	mm
11.8.02	126,6
7.8.02	89,7
6.9.07	74
22.8.09	70,0
12.8.02	66
6.8.02	65,9
12.7.06	64,8
11.5.90	56
2.8.10	55,3
6.8.85	55,2

Pozn.: zvýrazněny dny, kde je k dispozici záznam z automatických srážkoměrů, ČHMÚ (2008)

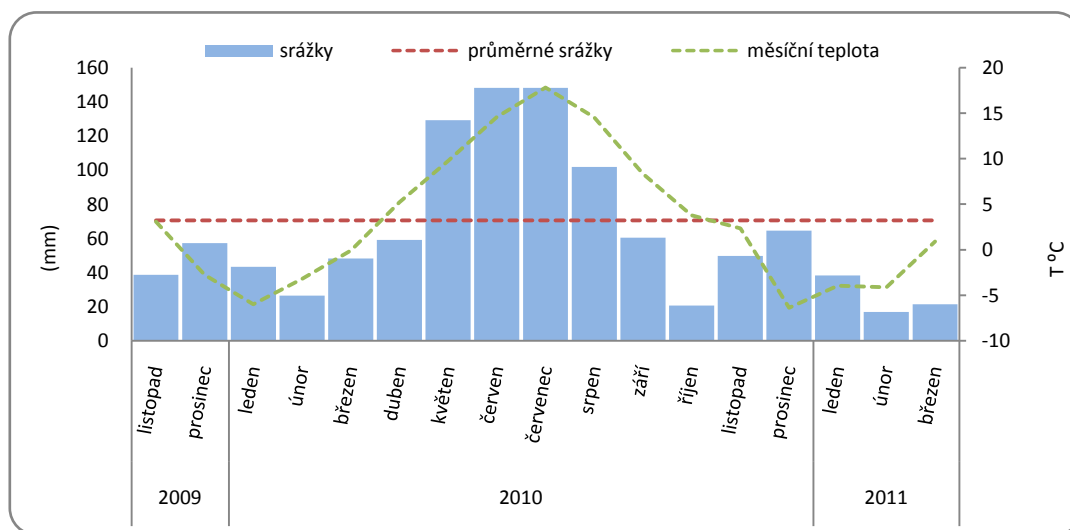
5.7.3.3. Hodnocení období listopad 2009 – březen 2011

Měsíční vyhodnocení vycházelo z dat ve stanici Spálenec. Graf měsíčních úhrnů (obrázek č. 22) ukazuje roční chod srážek s maximy v letních měsících a minimy v zimních. Nevyšší absolutní maximum nastalo v červnu 2009 (237,5 mm), což je druhý nevyšší měsíční úhrn od roku 1962. Vysoké měsíční srážky způsobila extrémní srážková epizoda (22. 6. – 24. 6. 2009). V roce 2010 byl také srážkově nejbohatší měsíc červen a spolu s ním červenec (oba 148,2 mm). Nejnižší srážkové úhrny nastaly v únoru 2010 (16,9 mm) v lednu 2009 (19,5 mm).

5.7.3.4. Zimní sezóna (listopad – březen)

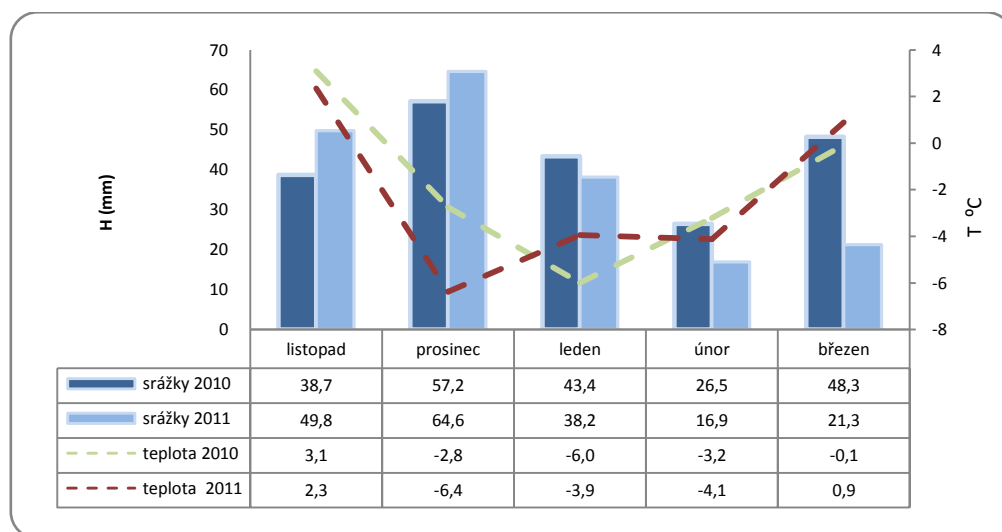
V období listopad-březen, tedy zimní sezóně, byly měsíční úhrny spadlých srážek podobné (obrázek č. 23). Srážkově nejchudší měsíc byl v obou sezónách únor. V hydrologickém roce 2010 spadlo v únoru 26,5 mm srážek a rok později, a v hydrologickém roce 2011 jen 16,9 mm. Nejvyšší úhrny nastaly v prosinci (57,2 a 64,6 mm). Listopad a prosinec byly srážkově bohatší v roce 2011, v ostatních měsících spadlo více srážek v roce 2010. Největší rozdíl je patrný v březnu, kdy v hydrologickém roku 2010 spadlo 48,3 mm a v hydrologickém roce pouze 21,3 mm srážek.

Obrázek č. 22: Měsíční úhrn srážek ve stanici Spálenec (SPA) v období listopad 2009- březen 2011



Zdroj: ČHMÚ

Obrázek č. 23: Měsíční srážky a teplota v zimní sezóně (listopad- březen) 2010 a 2011(SPA)



Zdroj: ČHMÚ

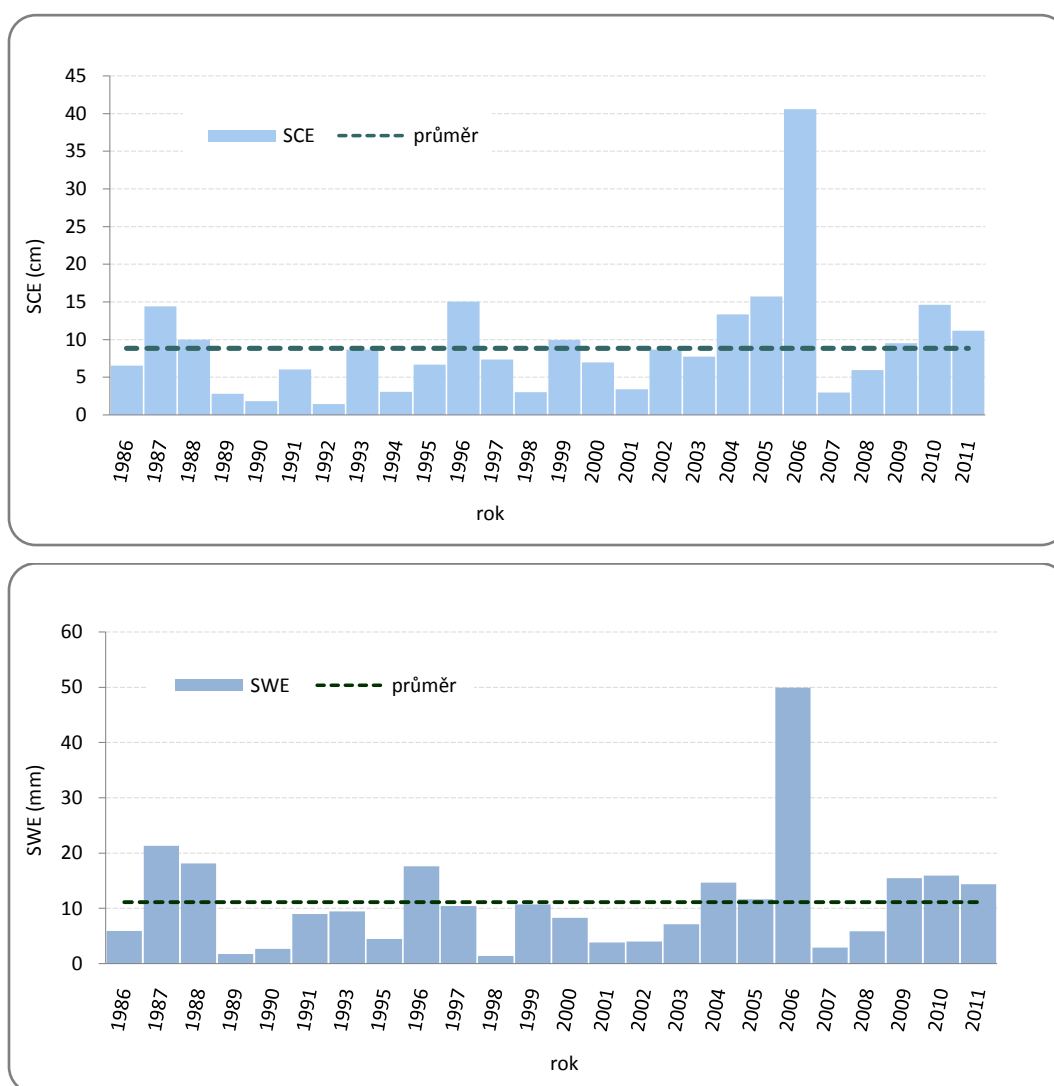
5.7.4. Sněhové poměry

Studované území má dlouhou mírnou až mírně vlhkou zimou s dlouhým trváním sněhové pokrývky (Quitt, 1971). Vybrané charakteristiky sněhové pokrývky použité v Atlasu podnebí Česka (2007) jsou uvedeny v příloze č 5.

Sledování údajů o sněhové pokrývce a vodní hodnotě ze stanice Spálenec (SPA) je k dispozici od roku 1986. Na stanici začalo systematické měření charakteristik, jako jsou výška sněhové pokrývky (SCE) a vodní hodnota (SWE) sněhu od roku 1985. Obrázek č. 24 znázorňuje průměrnou sezónní výšku ve stanici Spálenec (SPA) v letech 1986 až 2011. Nejvyšší průměrné sezónní hodnoty nastaly v roce 2006, kdy dosahovala výška sněhové pokrývky extrémních hodnot (40,6 cm). Nejmenší průměrná sezónní výška sněhové pokrývky (1,8 cm) byla zjištěna v roce 1990. Údaje za zimní sezónu 1992 a 1993 jsou neúplné a v konečném zhodnocení nebyly brány v úvahu. V sezónách 2010 a 2011 byla provedena sněhoměrná kampaň ve sledovaných experimentálních povodích. Obě zimní sezóny byly vzhledem k sezónní výšce sněhové pokrývky nadprůměrné. Nejvyšší maximum denní výšky sněhové pokrývky bylo zjištěno v roce 2006 (105 cm), nejnižší maximální denní výška sněhové pokrývky byla ve stanici Spálenec v roce 1994 (23 cm). Největší variabilita denní výšky sněhové pokrývky pomocí směrodatné odchylky byla zjištěna v roce 2006 (32,5). Nejnižší variabilita nastala v roce 1990 (3,9). Vybrané statistické údaje jsou znázorněny v tabulce č. 13.

Průměrná sezónní vodní hodnota sněhu byla vypočtena z dat naměřených v intervalu jednoho týdne. Zjištěné vodní hodnoty sněhu jsou velmi podobné průběhu výšce sněhové pokrývky (obrázek č. 25). Maximum vody akumulované ve sněhové pokrývce bylo zjištěno v roce 2006 (37,9 mm), kdy nastala povodňová událost v důsledku vody z tajícího sněhu. Nejnižší průměrná sezónní vodní hodnota nastala v roce 1998, kdy SWE dosahovala v průměru 1,6 mm. Nejvyšší variabilita byla zjištěna v roce 2006 (45,7) a nejnižší nastala shodně v roce 1989 a 1998 (oba roky 4,7).

Obrázek č. 24 a č. 25: Průměrná sezónní výška sněhové pokrývky (SCE) a vodní hodnoty (SWE) ve stanici Spálenec (SPA) v letech 1986 – 2011



Zdroj: ČHMÚ

Tabulka č. 13: Denní maximum, průměrná hodnota a směrodatná odchylka výšky sněhové pokrývky (SCE) a vodní hodnoty (SWE) ve stanici Spálenec (SPA) v období 1986 – 2011, Údaje za zimní sezónu (listopad- duben) 1992 a 1993 jsou neúplné.

SCE (cm)							
ROK	MAX	PRŮMĚR	SMODCH	ROK	MAX	PRŮMĚR	SMODCH
1985	4	0,1	0,6	1999	72	10,0	15,0
1986	25	6,5	7,5	2000	37	7,0	10,4
1987	48	14,4	15,2	2001	30	3,4	5,6
1988	77	10,0	16,7	2002	36	8,7	12,6
1989	25	2,8	5,3	2003	38	7,7	11,4
1990	24	1,8	3,9	2004	58	13,4	15,2
1991	36	6,0	9,7	2005	90	15,7	24,0
1992	14	1,5	3,5	2006	105	40,6	32,5
1993	65	8,7	13,7	2007	35	3,0	7,7
1994	23	3,0	5,2	2008	34	6,0	8,6
1995	50	6,7	12,6	2009	63	9,5	13,8
1996	56	15,1	14,5	2010	56	14,6	17,4
1997	28	7,3	7,7	2011	40	11,2	13,9
1998	28	3,0	6,0	celkem	46	9,5	12,2
SWE (mm)							
ROK	MAX	PRŮMĚR	SMODCH	ROK	MAX	PRŮMĚR	SMODCH
1985	4,9	0,4	1,4	1999	95,6	12,8	24,5
1986	31,8	7,2	8,6	2000	38,0	8,4	15,2
1987	65,4	24,6	25,4	2001	22,5	4,7	8,1
1988	130,2	21,4	34,2	2002	35,7	5,0	10,7
1989	15,0	2,2	4,7	2003	30,6	8,7	11,8
1990	27,7	3,3	7,6	2004	56,0	16,9	19,3
1991	64,3	10,8	16,2	2005	135,8	25,1	39,0
1992	10,0	2,3	3,9	2006	125,6	57,9	45,7
1993	61,1	10,9	15,2	2007	36,5	3,5	9,8
1994	42,0	5,6	11,6	2008	26,7	6,5	9,2
1995	42,0	5,4	12,9	2009	69,2	18,3	22,9
1996	39,2	12,5	13,2	2010	57,5	18,4	20,2
1997	39,2	12,5	13,2	2011	59,6	14,3	23,2
1998	17,2	1,6	4,7	celkem	54	13	17

Zdroj: ČHMÚ

Tabulka popisující počet dní se sněhovou pokrývkou (tabulka č. 14) je dělena na dvě základní části, průměrný počet dní se sněhovou pokrývkou, ve kterém nejsou zahrnuty dny beze sněhu a průměrný počet dní, ve kterém jsou uvažovány všechny dny v zimní sezóně (listopad – duben). Hodnoty v prvním případě mohou být odlišné v kategoriích počtu dní s minimální výškou sněhu ($SCE > 0\text{cm}$; $SCE > 5\text{cm}$; $SCE > 10\text{cm}$ a $SCE > 50\text{cm}$). Počet dnů se $SCE > 50\text{ cm}$ může být vyšší než v případě počtu dnů se sněhovou pokrývkou vyšší než 0 cm. Tento rozpor nastává v důsledku extrémních hodnot, které mohou zkreslovat celkové průměrné hodnoty. Reprezentativnější výsledky podává spodní část tabulky, kde jsou uvedeny hodnoty vypočtené s ohledem na celou zimní sezónu. Podle těchto hodnot je nejvyšší počet dní se sněhovou pokrývkou v lednu (21), dále pak v prosinci a únoru (oba 19) a nejméně v dubnu (3). Výška sněhové pokrývky nad 5 cm má nejvyšší počet dní v lednu a únoru (oba 17), což poukazuje na vrchol zimní sezóny vzhledem k výšce sněhové pokrývky. Počet dní se sněhovou pokrývkou vyšší než 10 cm nastává nejčastěji v únoru (15), v lednu pak průměrně 13 dní. Extrémní hodnoty výšky sněhové pokrývky nastávají nejčastěji v únoru (3). V březnu byly zjištěny průměrně 2 dny se sněhovou pokrývkou vyšší než 50 cm. Sezónní počet dní se sněhovou pokrývkou vyšší než 0 cm je 86, při $SCE > 5\text{cm}$ nastává průměrně ve 69 dnech, hodnota $SCE > 10\text{ cm}$ je v zimní sezóně v průměru 54 dnů a $SCE > 50\text{ cm}$ nastává průměrně v 6 dnech za sezónu.

Průměrné datum první sněhové pokrývky je 8. dubna (1986 – 2011), poslední sněhové pokrývky ve stanici Spálenec (SPA) je 16. listopadu. Sněhová pokrývky byla od roku 1986 zaznamenána ve stanici Spálenec (SPA) nejdříve 6. října a nejpozději byla první sněhová pokrývky naměřena 18.12. V případě poslední sněhové pokrývky ve stanici Spálenec (SPA) je interval v rozmezí od 7. března do 31. dubna. V květnu zatím nebyla ve Spálenci od doby systematického měření sněhových charakteristik zaznamenána sněhová pokrývky.

Výpočet průměrné hodnoty první a poslední sněhové pokrývky (tabulka č. 15) bral v úvahu vždy soubor dní v rozpětí hodnot sledovaného jevu. V praxi to znamená, že průměrná hodnota byla vypočítána jako vážený průměr četností od 6. 10. do 18. 12 pro výpočet první sněhové pokrývky a 7. 3. – 31. 4. ke zjištění poslední sněhové pokrývky.

Tabulka č. 14: Průměrný počet dní se sněhovou pokrývkou ve stanici Spálenec (SPA) v letech 1986 – 2011

průměrný měsíční a sezónní počet dní se sněhovou pokrývkou (1986 - 2011)				
nezahrnutý dny bez sněhové pokrývky				
	SCE > 0 cm	SCE > 5 cm	SCE > 10 cm	SCE > 50 cm
měsíc	počet dní	počet dní	počet dní	počet dní
listopad	10	9	8	0
prosinec	19	17	15	0
leden	21	18	18	29
únor	20	19	18	10
březen	15	13	15	10
duben	4	2	2	0
sezóna (XII - IV)	88	78	75	49

průměrný měsíční a sezónní počet dní se sněhovou pokrývkou (1986 - 2011)				
zahrnutý dny bez sněhové pokrývky				
	SCE > 0 cm	SCE > 5 cm	SCE > 10 cm	SCE > 50 cm
měsíc	počet dní	počet dní	počet dní	počet dní
listopad	8	6	4	0
prosinec	19	15	11	0
leden	21	17	13	1
únor	19	17	15	3
březen	15	13	10	2
duben	3	1	0	0
sezóna (XII - IV)	86	69	54	6

Zdroj: ČHMÚ

Tabulka č. 15: První a poslední sněhová pokrývka ve stanici Spálenec (SPA) v období 1986 – 2010

průměrné datum první sněhové pokrývky	8.4.
průměrné datum poslední sněhové pokrývky	16. 11.
období první sněhové pokrývky	6.10. - 18.12.
období poslední sněhové pokrývky	7.3. - 31.4.

Zdroj: ČHMÚ

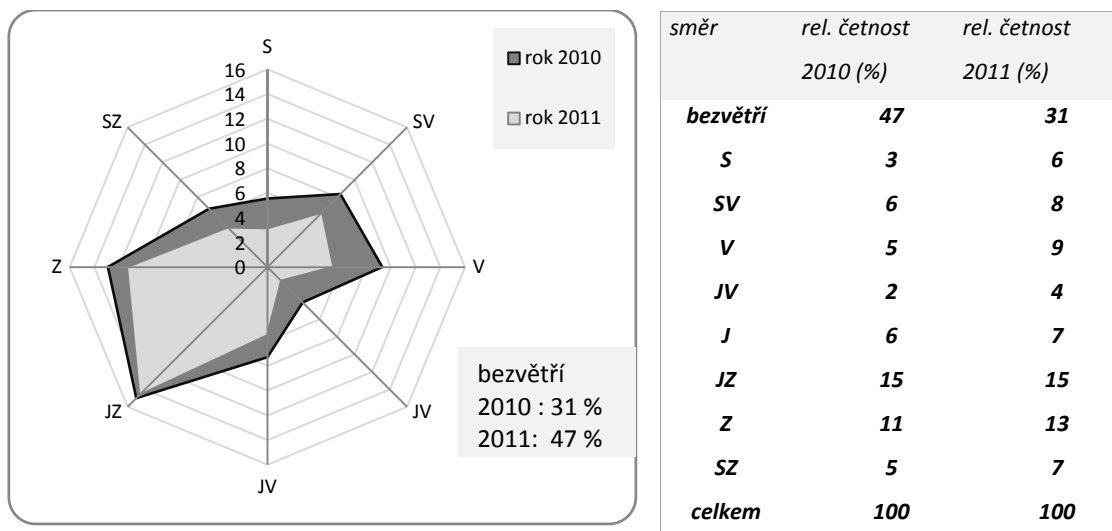
5.7.5. Větrné poměry

Vítr je významný faktor ovlivňující prostorové rozložení sněhové pokrývky. Vedle obecného proudění se na studovaném území uplatňují lokální větry, pro něž je rozhodující charakter reliéfu a teplotní rozdíly. Síla i směr lokálních větrů se mohou značně měnit. Větry s denním chodem, které ve dne vanou k vrcholům, v noci naopak shora dolů. Charakteristiky vycházejí ze stanice Zbytiny (ZBY), kde jsou zaznamenávány údaje o směru a síle větru (anemometr W2) každých 10 minut. Z obrázku č. 26 a tabulky č. 16 vyjadřující relativní četnosti směru větru je patrný převažující jihozápadní až západní směr proudění v obou zimních sezónách. Tento směr proudění přispívá k větším srážkovým dotacím, protože u obou povodí převažují svahy s jižní až západní expozicí. Nejčastější stav je v sezóně 2010 a 2011 bez větru (47%, 31 %). Větrné růžice jsou si v obou sezónách velmi podobné, liší se pouze ve stavu bezvětří.

Měsíční průměrné rychlosti větrů ve sledovaných povodích jsou poměrně nízké (obrázek č. 27). Nejnižší rychlosti v obou zimních sezónách nastaly v lednu (0,60 m/s a 0,81 m/s) a v únoru (0,68 m/s a 0,82 m/s). Naopak nejsilnější větry se vyskytovaly na začátku a na konci zimních sezón. Maximální průměrné rychlosti větrů byly změřeny v březnu (1,21 m/s a 1,2 m/s). Sezóna 2010/2011 měla vyšší průměrné rychlosti větrů ve všech sledovaných měsících s výjimkou března, kdy jsou hodnoty vyrovnané. Vítr a jeho vliv na akumulaci se zvyšuje s rychlostí proudění za předpokladu srážek. Nižší teploty podporují následné odvátí sněhových zrn. V zimní sezóně 2009/2010 byly srážkově nejbohatší měsíce leden a únor, zatímco v sezóně 2010/2011 to byly hlavně prosinec a leden. Větrné proudění mohlo ovlivnit akumulaci sněhových zrn více v zimní sezóně 2010/2011, protože ve zmiňované měsíce byly větší průměrné rychlosti větru než v sezóně předešlé.

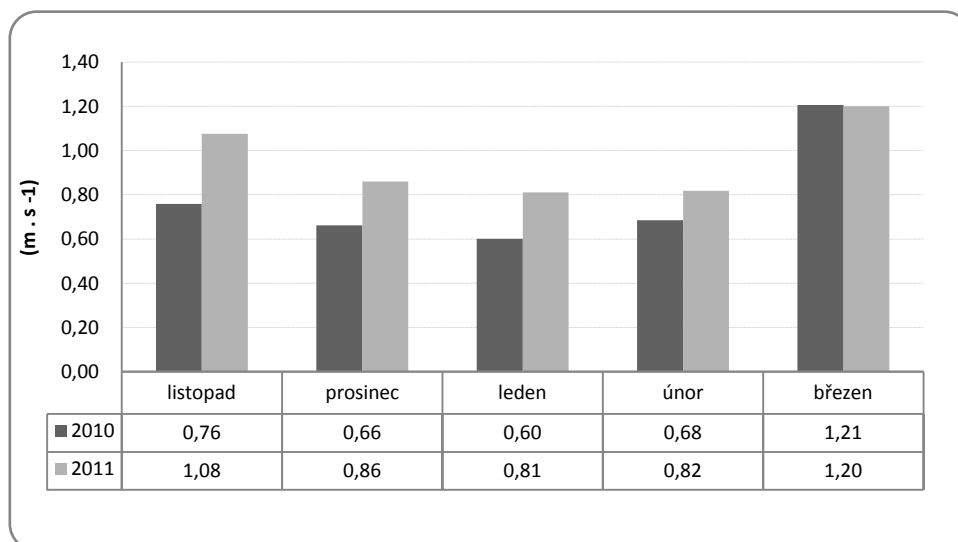
Obrázek č. 26: Proudění vzduchu v povodí Zbytinského a Tetřívčího potoka ve stanici Zbytiny (ZBY) v zimní sezóně 2010 a 2011

Tabulka č.16: Proudění vzduchu v povodí Zbytinského a Tetřívčího potoka ve stanici Zbytiny (ZBY) v zimní sezóně 2010 a 2011



Zdroj: stanice Zbytiny (ZBY)

Obrázek č. 27: Průměrné měsíční rychlosti rychlosti větrů v povodí Zbytinského a Tetřívčího potoka ve stanici Zbytiny (ZBY)



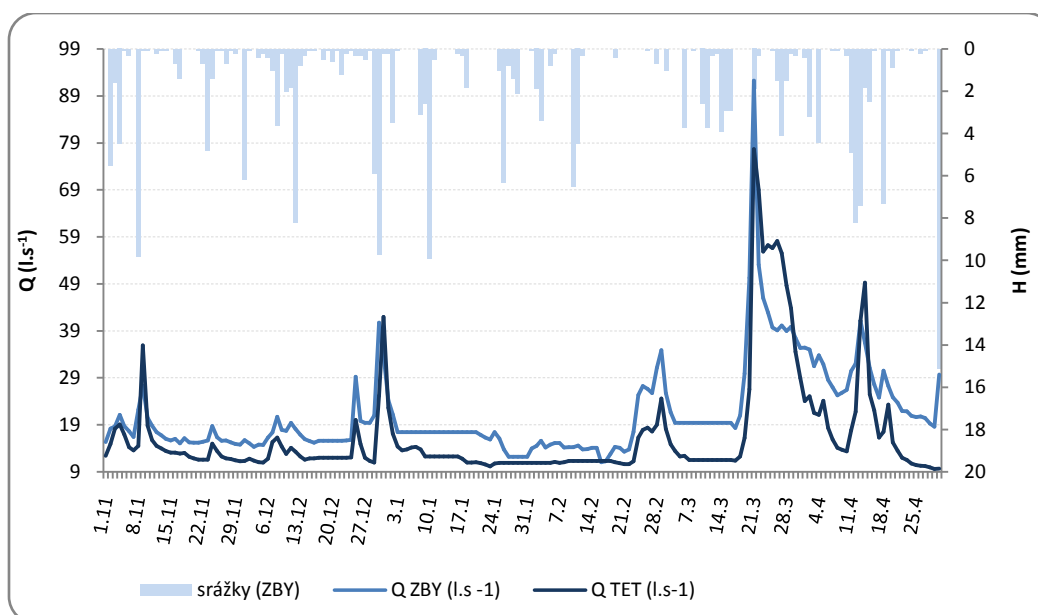
Zdroj: stanice Zbytiny (ZBY)

5.8. ODTOKOVÉ POMĚRY

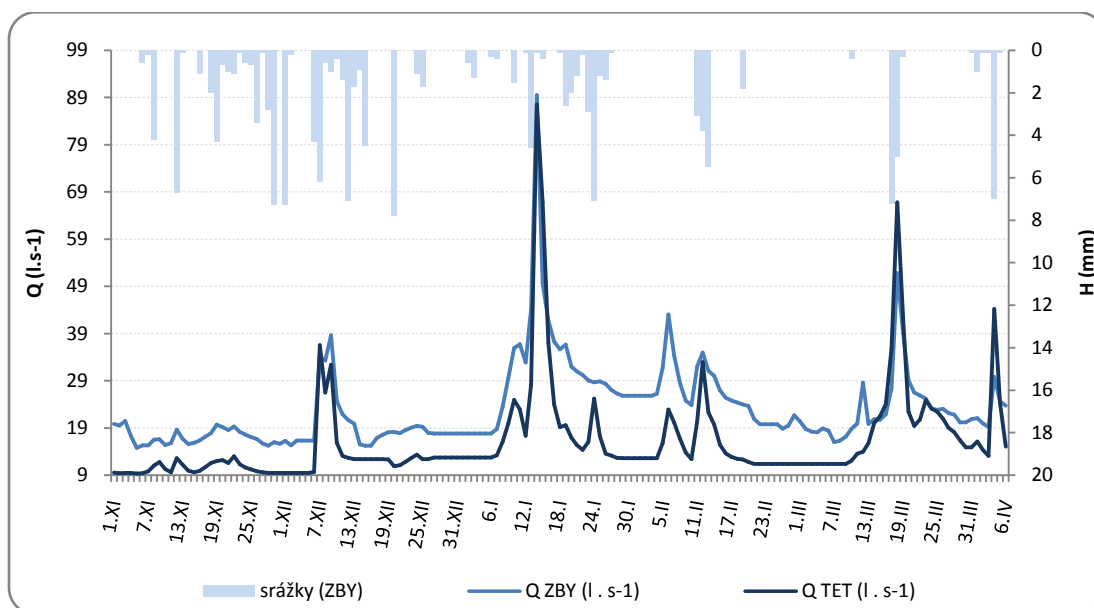
5.8.1.1. Denní průtoky

Hodnocení průměrných denních specifických průtoků zaměřené na zimní část roku naznačuje velké výkyvy v době tání (obrázek č. 28 a 29). Doba tání je v grafech zřetelná prudkým zvýšením průtoků, který byl v zimní sezóně 2009/2010 a 2010/2011 ve většině případů zřetelnější v povodí Zbytinského potoka. Nejvyšší průtoky v sezóně nastaly v druhé polovině března (20. - 24. března) s kulminačním vrcholem 21. 3. V období zimní sezóny lze na hydrogramu pozorovat výkyvy spjaté s oblevou a táním sněhové pokrývky v důsledku vyšší teploty, případně v důsledku srážkové činnosti při teplotách nad bodem tání. V sezóně 2010/2011 byl nejvyšší průtok v polovině ledna (13. – 15. 1.), s kulminačním vrcholem 14. ledna. Vliv srážek na zvýšený průtok se projevil spíše u menších událostí. Na hydrogramu lze pozorovat větší rozkolísanost sezónního režimu toků. Častým problémem pro hladinoměry jsou ledové jevy, které znemožňují určit správnou výšku hladiny. Na grafech jsou dobře vidět období se zamrzlou vodní hladinou- od 27. 12. 2010 – 6. 1. 2011 a 31. 1. 2011- 2. 2. 2011.

Obrázek č. 28: Průměrné denní specifické průtoky v zimní sezóně 2009/2010



Obrázek č. 29: Průměrné denní specifické průtoky v zimní sezóně 2010/2011



Vybrané statistické prvky denních specifických průtoků v zimní sezóně 2009/2010 a 2010/2011 jsou uvedeny v tabulce č. 17. Průměrné denní specifické průtoky mělo v obou sledovaných sezónách nezalesněné povodí Zbytinského potoka. Průměrné hodnoty denních specifických průtoků byly vyšší v sezóně 2011. Pořadí jednotlivých událostí je vzhledem ke kvalitě konsumpcí problematické. I přesto je zřejmé, že datum výskytu maxim průměrných denních průtoků se u obou povodí bude patrně lišit (tabulka č. 18). Důležitou roli zde hraje nasycenost povodí. Maximálního průtoku ($59,5 \text{ l/s/km}^2$) bylo dosaženo v povodí Zbytinského potoka 21. 3. 2010. V povodí Tetřivčího potoka bylo dosaženo $51,6 \text{ l/s/km}^2$ také 21. 3. 2010. Druhý nejvyšší průtok ($57,7 \text{ l/s/km}^2$) nastal v povodí Zbytinského potoka 14. 1. 2011. Nižší minima specifického průtoku měl v obou sledovaných sezónách Tetřivčí potok.

Tabulka č. 17: Maximální, minimální a průměrné denní specifické průtoky v zimní sezóně 2009/2010 a 2010/2011 (listopad – březen)

$(\text{l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2})$		Zbytinský	Tetřivčí
qd max	2009/2010	59,5	51,6
	2010/2011	57,7	46,5
qd min	2009/2010	7,1	6,3
	2010/2011	9,5	5,7
qd mean	2009/2010	13,2	11,4
	2010/2011	15,0	13,1
qd median	2009/2010	11,3	8,5
	2010/2011	12,9	11,1

Tabulka č. 18: Maximální denní průtoky v zimní sezóně 2009/2010 a 2010/2011 (listopad – březen)

(l. s ⁻¹)	Zbytinský		Tetřívčí	
	qd	qd	qd	qd
2010	21.3	59,5	21.3	51,6
	22.3	34,2	22.3	36,7
	20.3	32,4	24.3	35,6
	23.3	29,6	26.3	35,3
	24.3	27,7	23.3	33,2
2011	14.1	57,7	14.1	46,5
	18.3	33,4	18.3	35,8
	15.1	32,0	15.1	35,3
	13.1	28,5	4.2	24,8
	6.2	27,8	30.1	24,7

5.8.1.2. Měsíční průtoky

Hodnocení měsíčních průtoků je uvedeno v tabulce č. 19 Z tabulky je vidět sezónní chod průtoků, který má vždy jedno maximum a naznačuje dobu tání. Je zde vidět rozdílnost obou sledovaných let, kdy v sezóně 2009/2010 nastalo maximum v březnu, v sezóně 2011 byly nejvyšší průtoky v lednu. Malý (2008) ve své práci uvádí maxima v březnu a v prosinci a nejméně v červenci. Při porovnání obou sledovaných povodí, mělo vždy vyšší průtoky nezalesněné povodí Zbytinského potoka. Sezóna 2010 má vyrovnané průtoky až do února, v březnu je patrná značná rozkolísanost. Naproti tomu sezóna 2011 má vysoký nárůst průtoků až do ledna, pak následuje rychlý pokles průtoků.

Tabulka č. 19: Průměrné měsíční a specifické průtoky v Zbytinském a Tetřívčím potoce

rok	měsíc	ZBYTINSKÝ		TETŘÍVČÍ	
		Qm	qm	Qm	qm
2009	listopad	17,2	10,0	15,5	9,6
	prosinec	18,5	10,5	16,3	10,1
2010	leden	16,7	11,6	18,0	11,1
	únor	16,5	8,4	13,1	8,1
	březen	30,9	18,0	27,9	17,2
	duben	27,5	12,8	19,8	12,3
2010	listopad	17,1	11,1	10,8	6,7
	prosinec	19,6	12,7	18,4	11,4
2011	leden	36,8	23,7	29,5	18,2
	únor	26,0	16,8	23,2	14,3
	březen	23,0	14,8	23,8	14,7

6. METODIKA

6.1. SBĚR DAT V TERÉNU

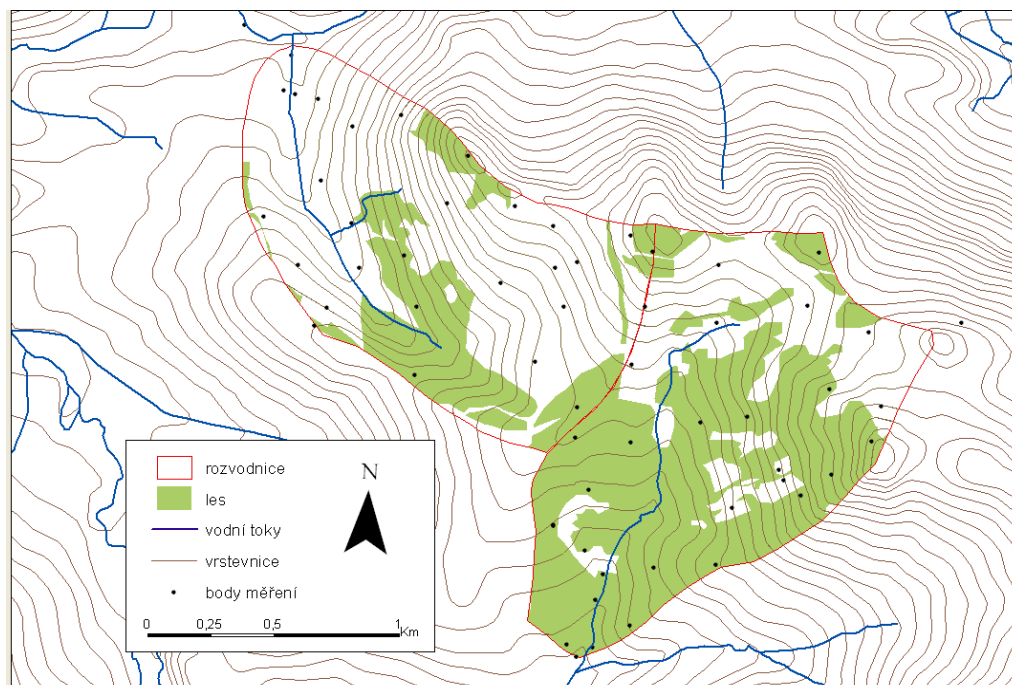
Práce vycházela z vlastního terénního měření sněhové pokrývky. Měření probíhalo v zimních sezónách 2010 a 2011. Byla vytvořena síť měrných bodů sloužící pro následnou interpolaci výšky sněhové pokrývky a její vodní hodnoty (obrázek č. 30). Poloha jednotlivých bodů se zaměřovala pomocí GPS. Díky tomu bylo možné body v terénu snadno dohledat, zároveň bylo použití GPS přínosné díky využitelnosti v programu Arc GIS. Souhrn měrných bodů je uveden v příloze č. 8.

Návrh sítě měrných bodů vycházel především ze zkušeností a znalostí terénu. Jedním z vytyčených cílů této práce bylo zjistit, jakou roli hrají při formování odtoku ze sněhové pokrývky antropogenní zásahy, zalesnění terénu a další fyzicko-geografické faktory jako např. teplota, srážky, expozice nebo sklonitost terénu. Důležité bylo při tvorbě sítě měrných bodů, aby místo odběru co nejlépe vystihovalo danou lokalitu a zároveň, aby body co nejlépe vyhovovaly potřebám pro následnou interpolaci. Důraz byl kladen na co nejlepší rovnoměrnost rozmístění bodů, zastoupení jednotlivých typů vegetačního pokryvu, jednotlivých výškových pásem, expozice nebo větrných poměrů. Pro první sezónu bylo vytyčeno 57 bodů v obou povodích. V dalších sezónách byly přidány nové body k zpřesnění sítě a lepší vystižení zejména pro interpolaci a typ pokryvu. Rozšíření sítě měrných bodů zahrnovalo nové body se zaměřením na polohu na mýtinách, listnatých lesích a v lesních plochách na hranici obou sledovaných povodích (obrázek č. 31). Území při ústí Tetřivčího potoka bylo v druhé sezóně (2011) objektem zájmu z hlediska nadprůměrně vysokých úhrnů vodní hodnoty a výšky sněhové pokrývky v sezóně prvního měření. První měření v sezóně 2009/2010 začínalo 22. února a pokračovalo 19. a 25. března a končilo 2.4. 2010.

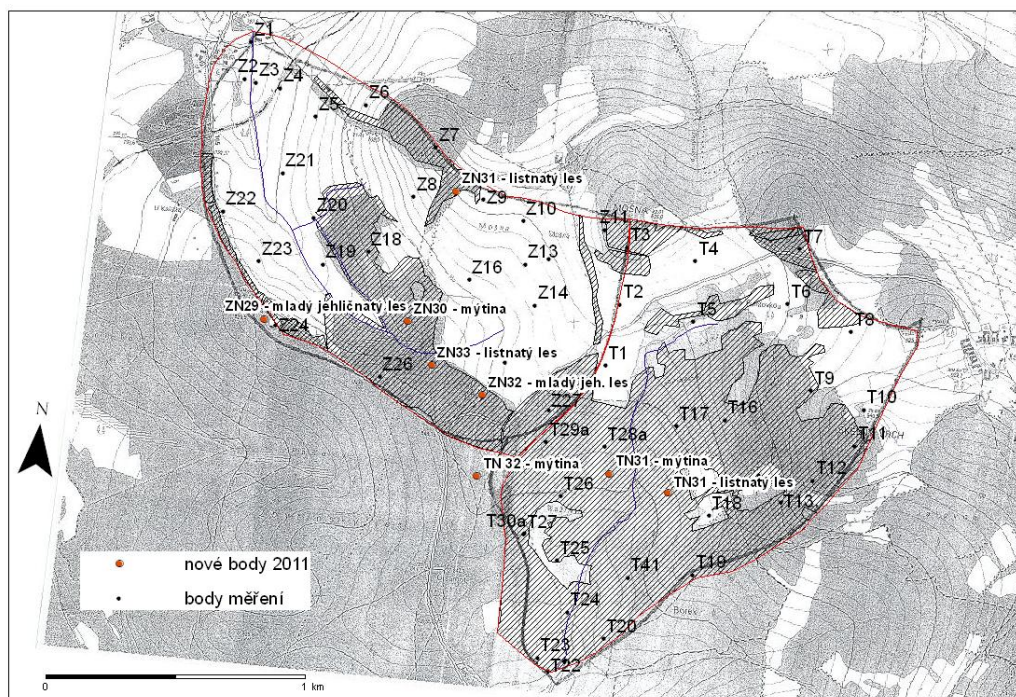
První měření reprezentuje dobu maximální výšky sněhové pokrývky a březnová a dubnová vystihují dobu tání. Jednotlivá měření měla charakter sněhoměrných kampaní, při vyšším sněhu musel být výjezd ve více lidech, obvykle spojen s údržbou srážkoměrné stanice a hladinoměru u ústí Zbytinského potoka. Pro měření výšky sněhu a vodní hodnoty bylo využito sněhoměrné soupravy SM 150-50. Souprava se skládá z odběrného válce, digitální váhy, závěsného vahadla a sněhoměrné tyče. Obsah průřezu měrného válce je 50 cm². V každém bodě se nejprve změřila výška pomocí sněhoměrné tyče: V okruhu několika desítek cm se zapsalo 5 měření výšky sněhu, z něhož byla určena výsledná výška sněhové pokrývky

v daném bodě. Poté byla změřena vodní hodnota pomocí sněhoměrného válce a digitální váhy.

Obrázek č. 30: Síť měrných bodů pro sezónu 2009/2010



Obrázek č. 31: Návrh nových bodů pro sezónu 2010/2011



Vodní hodnota byla vypočtena pomocí vzorce:

$$SWE = m/S \quad (12)$$

SWE – vodní hodnota v mm

m – váha v kg

S - plocha průřezu odběrného válce

Vodní hodnota pro daný sněhoměr: $SWE = 200 \cdot m$

Pro každý bod byl zaznamenán údaj do formulářů (příloha č. 7)) o typu pokryvu a větrných poměrech. Expozice a sklon byla vypočtena z dat digitálního modelu terénu (DMT 10).

Pro hodnocení typu pokryvu byla zvolena stupnice:

1 – mýtina

2 – louka

4 – jehličnatý les

5 – listnatý les

Pro hodnocení větrných poměrů bylo rozlišeno, zda jde o plochu chráněnou či nechráněnou vzhledem k větrnému proudění:

1 – chráněná plocha před větrem

2 – nechráněná plocha před větrem.

Pro hodnocení zastínění bylo rozlišeno, zda je měrný bod zastíněný či nezastíněný.

6.1.1. Zpracování dat

Vlastnímu zpracování v programu Arc GIS předcházela kromě sběru dat zpracování v tabulkovém MS Excelu. Zpracování v MS Excelu zahrnovalo kromě přepisu z formulářů zprůměrování naměřených hodnot výšky sněhové pokrývky a určení vodní hodnoty podle výše zmíněného vzorce. Při převodu dat (zeměpisných souřadnic a nadmořských výšek)

z GPS do ArcGIS byl využit MS Excel. Pak se již mohly připojit data zjištěná při sněhoměrných kampaních na základě ID jednotlivých bodů.

6.2. MODELOVÁNÍ ODTOKU ZE SNĚHOVÉ POKRÝVKY

Pro modelování sněhové pokrývky v povodí Zbytinského a Tetřivčího potoka bylo využito srážko-odtokového modelu HEC-HMS.

Model HEC-HMS se skládá z jednotlivých komponentů představujících srážko-odtokové události, Pro potřeby této práce bylo využito u modelu přímého odtoku Clarkova jednotkového hydrogramu (Clark's UH). Pro výpočet objemu odtoku byla zvolena metoda SCS Curve Number, využívajících CN křivek. Ke zjištění základního odtoku byla zvolena metoda exponenciálního poklesu (Recesion). Korytový model nebyl využit z důvodů malé délky povodí. Přehled komponentů a jednotlivých modelovacích technik je uveden v tabulce č. 20.

Tabulka č. 20: Komponenty a modelovací techniky v HEC - HMS

dílčí povodí (subbasin)		úsek toku (reach)	
<i>transformace přímého odtoku</i>	<i>výpočet objemu odtoku</i>	<i>odvození základního odtoku</i>	<i>korytový model</i>
<i>Clark's UH</i>	<i>Deficit and Constant Rate (DC)</i>	<i>Bounded Recession</i>	<i>Kinematic Wave</i>
<i>Kinematic Wave</i>	<i>Exponential</i>	<i>Constant Monthly</i>	<i>Lag</i>
<i>ModClark</i>	<i>Green and Ampt</i>	<i>Linear Reservoir</i>	<i>Modified Puls</i>
<i>SCS UH</i>	<i>Gridded DC</i>	<i>Nonlinear Boussinesq</i>	<i>Muskingum</i>
<i>Snyder's UH</i>	<i>Gridded SCS CN</i>	<i>Recession</i>	<i>Muskingum-Cunge</i>
<i>User-Specified S-Graph</i>	<i>Gridded SMA</i>		<i>Straddle Stagger</i>
<i>User-Specified UH</i>	<i>Initial and Constant Rate</i>		
	<i>SCS Curve Number (CN)</i>		
	<i>Smith Parlange</i>		
	<i>Soil Moisture Accounting (SMA)</i>		

Zdroj: HEC -HMS

6.2.1. Příprava v ArcGIS

Před samotnou prací s programem HEC-HMS bylo nutné připravit digitální model terénu pro hydrologické zpracování. ArcHydro Tools je volitelná extenze pro ArcGIS, kterou je možné vytvořit hydrologicky korektní model terénu. Při práci v ArcGIS byly vytvořeno několik gridů, které budou využity jako parametry pro srážko-odtokový model HEC-HMS. Na začátku je nutné přiřadit jednotlivých vrstvám jednoznačný identifikátor. Toho bylo docíleno pomocí funkce *Assign HydroID*. Odstranění bezodtokých depresí bylo provedeno pomocí funkce *Fill Sinks*. Dalším krokem je zjištění směrů odtoku za využití příkazu *Flow Direction*. Výpočet se provádí na principu posuvného okna 3 x 3 buňky. Nejprve určí funkce místo s nejnižší nadmořskou výškou a pak je postupně přiřazován jednotlivým buňkám. Ke zjištění akumulace odtoku byl využit v ArcHydro Tools příkaz *Flow Accumulation* a následně byla generována nejdelší dráha odtoku v povodí za pomoci nástroje *Longest Flow Path*. Pro zjištění přímého odtoku je třeba znalosti sklonu maximální délky údolnice v povodí (S_{1085}). Nástroje *Construct 3D line* a *Flow Path Parameters* se využívají ke zjištění parametrů akumulace odtoku.

6.2.2. Model přímého odtoku

Výpočet přímého odtoku byl jednou ze zásadních kroků, neboť popisuje velikost a tvar povodňové vlny. Ke kvantifikaci přímého odtoku byl vybrán Clarkův jednotkový hydrogram (*Clark Unit Hydrograph*), kde je nutné znát parametry: Doba koncentrace (T_c – *time of concentration*), retenční konstanta (R_c – *storage coefficient*) a doba doběhu (T_{lag}).

Doba koncentrace (T_c) vyjadřuje čas od konce efektivní srážky až po konci přímého odtoku. Hodnoty jsou odvozeny z metodiky SCS, která vychází ze znalosti doby doběhu (T_{lag}):

$$T_{lag} = \frac{L^{0,8} \cdot (S + 1)^{0,7}}{1900 \cdot \sqrt{Y}} \quad [\text{hod}]. \quad (13)$$

L je maximální délka toku v povodí ve stopách, S je potenciální maximální retenční půdy v palcích, Y je sklon povodí v %.

Doba koncentrace T_c je odvozena ze vztahu:

$$T_{lag} = 0,6 \cdot T_c \quad [hod]. \quad (14)$$

Doba koncentrace je čas potřebný pro odtok vody z nejzazšího bodu až po ústí toku, v našem případě po měrný profil. Povodí Zbytinského potoka má rychlejší dobu koncentrace díky menší ploše lesů a podpovrchovému odvodnění. K určení doby koncentrace byly provedeny úpravy rastru digitálního modelu terénu pro zjištění v ArcHydro Tools, které jsou popsány v předchozí kapitole.

Retenční konstanta (R_c) vyjadřuje dobu dočasného zadržení efektivní srážky v povodí, než odteče do závěrového profilu (Feldman, 2000):

$$R_c = A \cdot L^B \cdot S_{1085}^C \quad [hod], \quad (15)$$

kde L je maximální délka povodí v mílech, S_{1085}^C je sklon ve stopách na míli mezi 10 % a 85 % maximální délky údolnice. Pro Českou republiku platí koeficienty odvozené ČHMÚ: $A = 80$, $B = 0,342$ a $C = -0,79$ (Šercl, 2009). Retenční konstanta je vyšší u zalesněného povodí Tetřivčího potoka, naopak u povodí Zbytinského potoka můžeme očekávat menší hodnotu retenční konstanty díky vyšší sklonitosti a typu pokryvu.

6.2.3. Model odtokové ztráty

Americký ústav pro ochranu půdy vyvinul metodu SCS CN (Soil Conservation Service Curve Number), která popisuje efektivní srážku jako funkci úhrnu srážek, půdních vlastností, vegetačního krytu a předchozího nasycení (Feldman, 2000). Podle Jeníčka (2009) představuje odtoková ztráta část efektivních srážek nezachycených intercepce, povrchovou a podpovrchovou retencí:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad [mm] \quad (16)$$

P_e je kumulativní efektivní úhrn srážek v čase t , P kumulativní úhrn srážek v čase t , I_a je počáteční ztráta (Initial Abstraction) a S je potenciální maximální retence půdy, která je vypočeta dle následující rovnice:

$$S = \frac{25400 - 254 \cdot CN}{CN} [mm]. \quad (17)$$

Před začátkem přímého odtoku vznikají vlivem intercepce a akumulace v mikrodepresních polohách reliéfu ztráty. Odhad počáteční ztráty I_a je možné odvodit z metodiky Soil Conservation Services (SCS). Vztah vychází z rovnice:

$$I_a = 0,2 \cdot S [mm]. \quad (18)$$

6.2.4. Stanovení hodnot odtokových křivek (CN)

Stanovení hodnot odtokových křivek (CN) vychází z rozdělení území s podobnými fyzicko-geografickými vlastnostmi vzhledem k předpokladu k tvorbě povrchového odtoku. Hodnoty jednotlivých odtokových křivek lze stanovit na základě znalosti hydrologické skupiny půdy (HSP) a typu pokryvu. Pro každou kategorii krajinného pokryvu se určují celkem 4 hodnoty HSP (A, B, C, D). Kategorie typů hydrologických skupin půd vyjadřují kombinace infiltračních vlastností a sklonitosti. Hydrologické skupiny půd pro sledovaná území jsou uvedeny v kapitole popisujících půdní poměry. Tabulka popisující zastoupení ploch typů hydrologických skupin půd s danou hodnotou CN byla použita v práci Malého (2008). Pro zalesněná území se stanovují HSP pomocí map lesních typů, pro nezalesněné plochy se určují na základě hlavní půdní jednotky (HPJ). Průměrná hodnota odtokové křivky povodí se vypočte jako vážený průměr rozlohy elementárních ploch a odpovídajících hodnot CN, kterou zastupují (příloha č. 9 a 10). Odvození odtokových křivek pro území povodí Zbytinského a Tetřívčího potoka se blíže věnoval Malý (2008).

6.2.5. Model podzemního odtoku

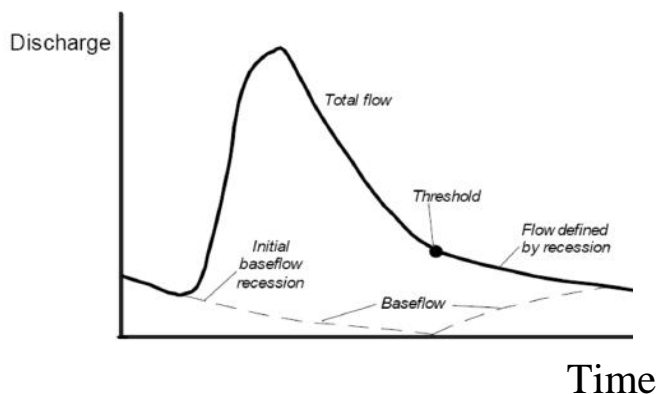
Základní odtok v povodí můžeme odvodit pomocí metody exponenciálního poklesu (*Exponential Recession Model*), který předpokládá, že podzemní odtok je odvoditelný z počátečního základního odtoku a exponenciální poklesové konstanty. Při výpočtech dochází k separaci hydrogramu, kdy se odděluje základní odtok od přímého (viz obrázek č. 32).

Poklesová konstanta je určena podílem základního odtoku v daném čase a základního odtoku v předešlém dni (Feldman 2000).

$$Q_r = Q_o \cdot k^t \quad [m^3 \cdot s^{-1}] \quad (19)$$

$Q_r \quad [m^3 \cdot s^{-1}]$ je podzemní odtok v čase t , $Q_o \quad [m^3 \cdot s^{-1}]$ je počáteční podzemní odtok. Parametr k^t [-] je poklesová konstanta. Program HEC- HMS vyžaduje zadání počáteční minimální průtok (*Initial Discharge*), poklesové konstanty (*Recession Constant*) a prahové hodnoty (*Threshold Type*). Poklesová konstanta byla vypočtena jako podíl počátečního a koncového průtoky epizody. Parametr byl stanoven podle manuálu programu HEC- HMS na 0,85. Hodnota bude pravděpodobně kalibrována. Prahová hodnota vyjadřuje velikost průtoky vzhledem ke kulminaci, kdy dochází ke zvýšenému základnímu odtoku na poklesové větvi hydrogramu (viz inflexní bod *Threshold type* - graf exponenciálního poklesu). Prahová hodnota byla podle pokynů manuálu nastavena na 0,1 a bude pozměněna při následné kalibraci.

Obrázek č. 32 : Metoda exponenciálního poklesu



Zdroj: Feldman (2000)

6.2.6. Meteorologický model

Model popisuje podmínky pro jednotlivá povodí, případně subpovodí, skládá se ze tří komponent: srážkové poměry, evapotranspirace a akumulace a tání sněhu (Schaffenberg, Fleming, 2009).

6.2.6.1. *Srážky*

Srážky jsou jedním ze základních parametrů vstupujících do modelu ve formě časových řad získaných ze srážkoměrných stanic. Často jsou využity ve formě úhrnů vztažených na plochu povodí. Do meteorologického modelu lze srážková data zadávat také ve formě vstupního gridu. Experimentální povodí mají malé rozlohy a díky malé relativní výškové členitosti zde lineární závislost mezi úhrnem srážek a nadmořskou výškou téměř neexistuje. Proto bylo možné vycházet z údajů nedaleké stanice CHMÚ Spálenec, případně ze stanice Zbytiny. Dešťové srážky jsou do modelu zadávány ve formě časových řad s hodinovým krokem.

6.2.6.2. *Evapotranspirace*

Celkový výpar se skládá z evaporace a transpirace. Velikost evapotranspirace se určuje experimentálně lyzimetry (ve kterých se váhově sleduje vodní bilance) nebo výpočtem na základě hodnoty výparu a druhu vegetačního pokryvu. Jeníček (2009) uvádí mezi možné metody výpočtu Monthly Average, kde se zjišťuje průměrná hodnota výparu pro každý měsíc. Metoda Priestley-Taylor nabízí možnost zadání vstupních dat v gridové formě (Gridded Priestly- Taylor). Pro modelování krátkých srážkoodtokových událostí nebyla evapotranspirace zohledněna (Jeníček, 2009).

6.2.6.3. *Sněhový model*

Pro účely této práce je to jeden z nejdůležitějších komponentů použitý pro modelování odtoku ze sněhu. V prostředí HEC-HMS se využívá dvou variant vstupních dat. Ke zjištění tání sněhové pokrývky je využita metoda teplotního indexu (*Temperature index*), další možností je využití tzv. *Gridded Temperature index*, kde se parametry zadávají v distribuované formě.

Ke zlepšení popisu podmínek panujících ve sledovaném území se kromě rozčlenění reliéfu na subpovodí často člení reliéf na výšková pásma. Doporučené dělení je podle Singha a Singha (2001) 300m pro vysokohorské oblasti a 100-200 m pro oblasti s nižší nadmořskou výškou. Dělení na výšková pásma záleží na uvážení zpracovatele, ale také na zkušenosti a

znalosti sledovaného území. V případě povodí Zbytinského a Tetřívčího potoka byly brány jako jeden územní celek.

Význam jednotlivých položek uveden v tabulce parametrů metody *Temperature index*. Parametr *PX Temperature* rozlišuje mezi kapalnými nebo pevnými srážkami. Je-li teplota vzduchu nižší než *PX Temperature*, srážky jsou brány jako sněhové. V opačném případě ($>PX\ Temperature$) se počítá s dešťovými srážkami.

Tabulka č. 21: Vstupní parametry metody *Temperature index*

Parametr	Význam	Jednotky
<i>PX Temperature</i>	Teplota rozlišující mezi kapalnými a pevnými srážkami	[°C]
<i>Base Temperature</i>	Teplota, při které začíná tání sněhu	[°C]
<i>Wet Meltrate</i>	Teplotní index tání v době vypadávání srážek	[mm.°C.d-1]
<i>Rain Rate Limit</i>	Denní srážkový úhrn, při jehož překročení se počítá s <i>Wet Meltrate</i>	[mm.°C.d-1]
<i>ATI-Meltrate Coefficient</i>	Koeficient, který je používán při výpočtu indexu tání v každém časovém kroku	
<i>ATI-Meltrate Function</i>	Závislost ATI a teplotního indexu tání (zohlednění sezónality teplotního indexu)	
<i>Meltrate Pattern</i>	Nepovinný parametr, který upravuje index tání v závislosti na ročním období	
<i>Cold Limit</i>	Prahová hodnota denního úhrnu srážek (pro výpočet teplotního deficitu)	[mm.d-1]
<i>ATI-Coldrate Coefficient</i>	Koeficient, který je používán při výpočtu teplotního deficitu v každém časovém kroku	
<i>ATI-Coldrate Function</i>	Závislost ATI a teplotního deficitu (zohlednění sezónality teplotního indexu)	
<i>Water Capacity</i>	Objem kapalné vody ve sněhové pokrývce (na počátku simulace)	
<i>Groundmelt</i>	Intenzita tání způsobená kladnou teplotou povrchu	[mm.d-1]

Zdroj: Fleming Schaffenberg, 2009

Výpočet tání sněhové pokrývky byl odvozen pomocí indexové metody (7) uvedené v rešerši. Mezi vstupní údaje patří teplotní index (*Degree Day Factor*). Výpočet teplotního indexu je uveden v tabulce č. 22. Odvození hodnoty teplotního faktoru pro povodí Zbytinského a Tetřívčího potoka byl využit vztah (9) podle Federera et al. (1972). Index zohledňuje rychlost tání v odlišných typech krajinného pokryvu. Výsledná hodnota pro povodí byla vypočtena jako vážený průměr hodnot odvozených Federerem ($1,4 - 7,5\text{ mm} \cdot \text{°C}^{-1} \cdot \text{den}^{-1}$), kde váhami je plocha zastoupení tří hlavních typů krajinného pokryvu. Výsledný teplotní faktor byl v další fázi kalibrován.

Tabulka č. 22: Teplotní index tání pro povodí Zbytinského a Tetřívčího potoka

Zbytinský	% zastoupení	FEDERER (mm .°C ⁻¹ . den ⁻¹)	FEDERER (mm .°C ⁻¹ . den ⁻¹)
otevřená plocha	0,65	4,5 - 7,5	
jehličnatý les	0,30	1,4 - 2,7	
opadavý les	0,05	2,7 - 4,5	1,57
Tetřívčí	% zastoupení	FEDERER (mm .°C ⁻¹ . den ⁻¹)	FEDERER (mm .°C ⁻¹ . den ⁻¹)
otevřená plocha	0,32	4,5 - 7,5	
jehličnatý les	0,48	1,4 - 2,7	
opadavý les	0,20	2,7 - 4,5	1,21

Intenzita tání sněhové pokrývky způsobená teplotou zemského povrchu (*Groundmelt*) závisí na podmínkách před zakrytím sněhovou pokrývkou. V případě že půda nebyla zmrzlá před pokrytím sněhem, může docházet v dolní části k tání sněhové pokrývky v důsledku vedení tepelné energie.

Pro jednotlivá subpovodí se odvozuje vodní hodnota sněhu pro každý časový krok. Vertikální teplotní gradient a průměrná teplota vzduchu se zadává pro rozlišení mezi kapalnými a pevnými srážkami, z čehož zjistíme ubývání nebo nárůst vodní hodnoty. Vertikální teplotní gradient (*Lapse Rate*) je pro podmínky ČR $-6,5 \cdot 1000 \text{ m}^{-1}$. Parametr plochy pokrytí (*Percent*) byl stanoven na 100%, protože obě povodí nebyly děleny díky malé rozloze i nízké relativní členitosti na subpovodí ani na výšková pásma. Průměrná výška povodí je uvedena v kapitole fyzicko-geografických charakteristik zájmových území.

Tabulka č. 23: Vstupní parametry pro subpovodí a výšková pásma

<i>Lapse Rate</i>	Vertikální gradient teploty [°C/1000 m]
<i>Percent</i>	Plocha výškového pásma v daném subpovodí [%]
<i>Elevation</i>	Průměrná nadmořská výška daného pásma [m n. m.]
<i>Initial SWE</i>	Počáteční hodnota SWE (vodní hodnota sněhu) [mm]
<i>Initial Cold Content</i>	Počáteční hodnota teplotního deficitu [mm]
<i>Initial Liquid Water</i>	Počáteční objem kapalné vody ve sněhové pokrývce [mm]
<i>Initial Cold Content ATI</i>	Počáteční hodnota ATI pro výpočet teplotního deficitu [°C]
<i>Initial Melt ATI</i>	Počáteční hodnota ATI pro výpočet teplotního faktoru tání [°C.d-1]

Zdroj: Fleming, Scharffenberg, 2009

Teplotní deficit sněhové pokrývky (*Cold Content*) vyjadřuje vodní hodnotu, která musí roztát, aby teplota sněhové pokrývky dosáhla hodnoty 0°C. Hodnota teplotního deficitu je

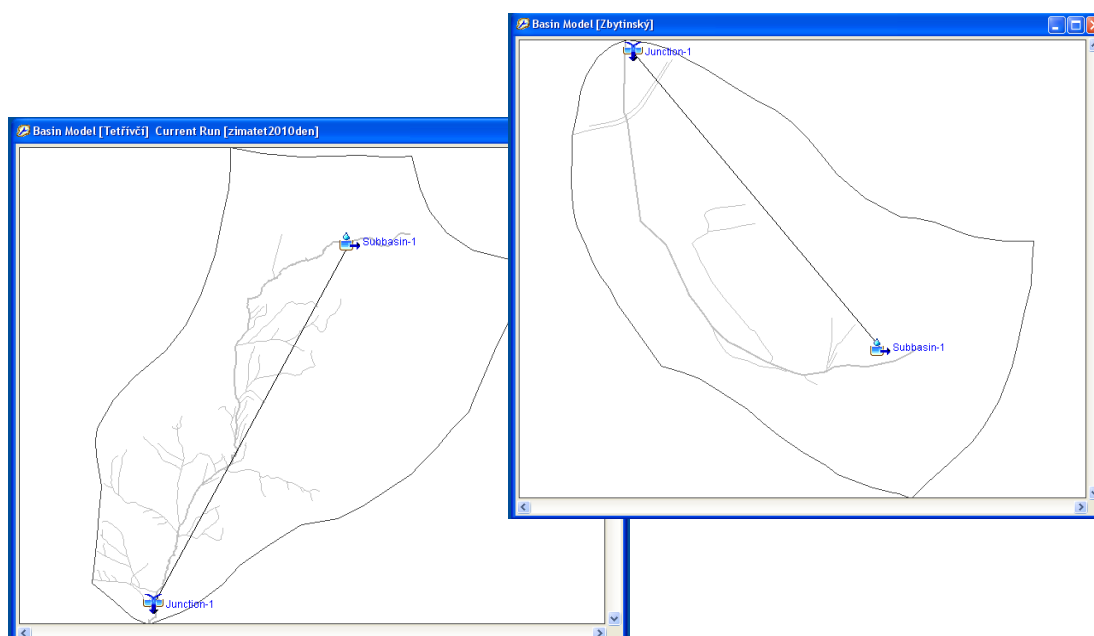
odvozena modelem HEC – HMS na principu funkce předchozí teploty (*Initial Cold Content ATI*) zohledňující teplotu sněhové pokrývky v závislosti na průběhu teploty vzduchu.

Hodnota teplotního deficitu je rovná 0°C pro „zralou sněhovou pokrývku“ a pro území bez sněhu. Kalibračním procesem je možné odvodit většinu parametrů vstupujících do sněhového modelu.

6.2.7. Sestavení modelu

Před provedením kalibrace a následné simulace událostí je nezbytným krokem vytvoření stromové struktury povodí. Struktura se skládá z dílčích povodí (Subbasin), ústí (Junction) a úseků toků (Reach), které jsou mezi sebou navzájem propojeny. Díky malé rozloze se území skládá v obou případech z jednoho dílčího povodí (Subbasin) a jednoho ústí (Junction). Ukázka struktury sledovaných povodí je na obrázku č. 33. Každé dílčí povodí je charakterizováno parametry popisující jeho vlastnosti a strukturu. Pro každé dílčí povodí se odvozují parametry na základě zvolených modelovacích technik. Dalším krokem je příprava časových řad průtoků, srážek, teploty vzduchu a jejich import do prostředí HEC-HMS.

Obrázek č. 33: Schéma povodí Tetřivčího a Zbytinského povodí v prostředí programu HEC-HMS



6.2.8. Časové řady

Jako vstupní data ve formě časových řad byly zpracovány údaje o teplotě, srážkách a průtoku v denním kroku. V úvahu byly brány údaje v případě srážek za stanice Spálenec (SPA), teplotní časové řady ze stanice Zbytiny (ZBY) a údaje o průtocích byly odvozeny z hladinoměřů v závěrových profilech Zbytinského a Tetřívčího potoka. Denní hodnoty byly odvozeny jako aritmetický průměr 10 minutových údajů zaznamenaných v uvedených stanicích. Srážkoměrná stanice ve Spálenci (SPA) je blízko ke sledovaným povodím a proto dobře vystihuje úhrn srážek ve sledovaných povodích. Stanice Koryto (KOR) umístěná ve vyšších polohách povodí Tetřívčího potoka nemá vyhřívání a přes zimní sezónu není využitelná. V případě stanice Zbytiny zde jsou pochybnosti o správnosti měření, srážky jsou pravděpodobně vyfoukávány ven z měřicího zařízení a stanice vykazuje při vyšších rychlostech proudění nižší úhrny.

6.2.9. Simulace a kalibrace modelu

Kalibrací modelu je označováno nastavení takových parametrů modelu, aby se hodnoty vypočítané modelem, co nejvíce blížily hodnotám naměřeným. Provádí se ve vybraných srážko-odtokových událostech s cílem dosáhnout co největší shody obou hydrogramů. V případě neshody upravují počáteční podmínky. Při porovnání shody se zjišťuje míra podobnosti obou hydrogramů pomocí objektivního kritéria. Program HEC-HMS nabízí manuální nebo automatickou kalibraci. Optimalizace parametrů probíhá na kratších časových řadách. Manuální kalibrace může být časově náročná, a proto je nutné zadat hraniční podmínky, kterých mohou jednotlivé parametry nabývat. K vyjádření shody mezi měřeními a modelovanými hodnotami se využívá objektivního kritéria. Nejčastější kritérium k interpretaci výsledků shody simulací je objektivní kritérium Nash-Sutcliffe (Nash-Sutcliffe, 1970). Dalším z mnoha kritérií je směrodatná chyba odhadu (RMSE), Relativní chyba kulminace (MF), Relativní objemová chyba (VE), suma absolutních nebo středních kvadratických odchylek nebo koeficient variace. Výpočet kritéria Nash-Sutcliffe (1970) je založen na vztahu:

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{OB_i} - Q_{SIM_i})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{OB_i} - \overline{Q_{OB}})^2}. \quad (20)$$

Q_{OB} je pozorovaný průtok, Q_{SIM} je modelovaný průtok, $\overline{Q_{OB}}$ je průměrný pozorovaný průtok. Výsledná hodnota se pohybuje v rozmezí od 0 do 1, přičemž čím blíže 1 tím větší shoda.

Procentní objemová chyba VE je dána vztahem (Daňhelka et al., 2003):

$$VE = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - Q_i)}{\sum_{i=1}^n (Q_i)}. \quad (21)$$

S_i je simulovaný průměrný průtok,
 Q_i je pozorovaný průměrný průtok.

Relativní chyba kulminace MF (Daňhelka et al., 2003) je vyjádřena vztahem:

$$MF = \frac{S_{max,i} - Q_{max,i}}{Q_{max,i}}. \quad (22)$$

$S_{max,i}$ je maximální simulovaný průtok,
 $Q_{max,i}$ je maximální pozorovaný průtok.

Samotná kalibrace je obtížná procedura, která vždy nezajišťuje jednoznačné řešení. Změna jednoho parametru se nemusí kompenzovat druhým parametrem. Špatná shoda mezi modelovaným a naměřenými daty může zapříčinit buď systematická chyba ve vstupních datech, chyba při měření nebo v důsledku hodnot nekalibrovaných parametrů a nekompletní struktury modelu (Daňhelka et al., 2003).

7. VÝSLEDKY

7.1. VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ V SEZÓNĚ 2009/2010

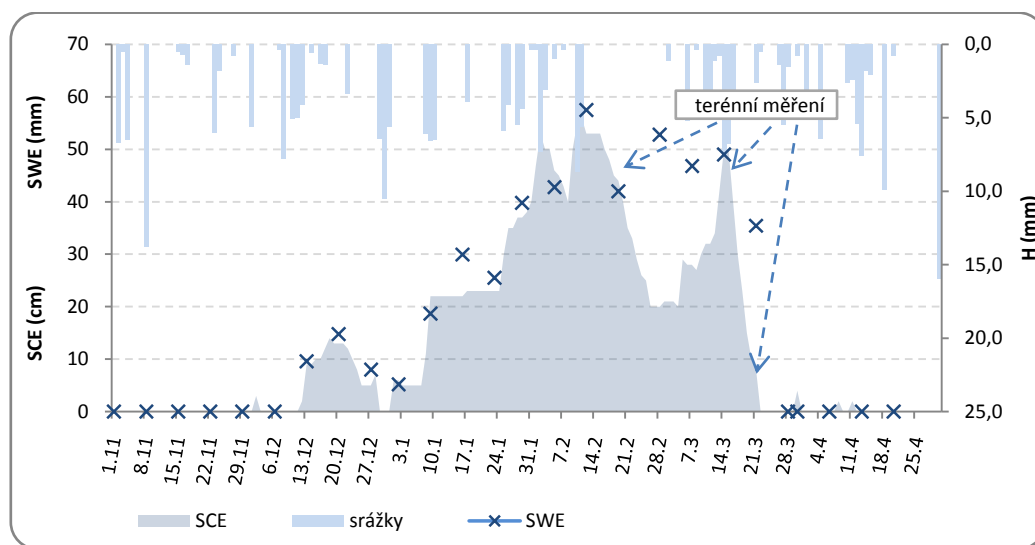
Zjištění mocnosti sněhové pokrývky (SCE) a její vodní hodnoty (SWE) patřilo k základním podkladům pro určení sněhových zásob v povodí. Zimní sezóna se lišila v porovnání s předešlými roky podprůměrnými teplotami a vyššími úhrny sněhových srážek. Nečekaně chladnou zimu ve střední Evropě ovlivňovala zejména rekordně silná negativní fáze arktické oscilace. Oblast vysokého tlaku vzduchu nad Severním ledovým oceánem měla za následek pronikání studeného arktického vzduchu. V lednu a v únoru ležela na většině území ČR sněhová pokrývky ve výšce několika desítek cm.

Sněhová pokrývky byla ve stanici Spálenec zaznamenána od 11. prosince do 9. dubna (obrázek č. 34). První maximum výšky sněhové pokrývky bylo změřeno v první polovině února (55 cm), další výrazný vrchol nastal v polovině března (50cm). SWE se vyvíjela odlišně od výšky sněhové pokrývky, docházelo k postupnému nárůstu až do maxima 15. února. Od 15. února vodní hodnota postupně klesala až do úplného roztání v druhé polovině března.

Celkově vysoké hodnoty SCE i SWE byly zjištěny při sněhoměrných kampaních 22. února 19. března (příloha č. 11, 12, 15 a 16). Další měření probíhala 25. března (příloha č. 14 a 17) a 2. dubna. První měření v únoru reprezentuje vrchol zimní sezóny, 19. března pak období s převažujícím odtáváním. Sněhoměrná kampaň 25. března odhalila nesouvislá sněhová pole velmi nízké hodnoty SCE a SWE (příloha č. 18). Při sněhoměrné kampani 2. dubna byly zjištěny pouze zbytky sněhu na loukách, pastvinách a v lese. Většina měrných bodů byla beze sněhu a v konečné fázi nebyla využita při tvorbě interpolovaných map. Souvislá sněhová pokrývky se držela v povodích až do druhé poloviny března. Poslední zbytky sněhu zmizely při prudkém oteplení první týden v dubnu.

Hodnoty SWE získané interpolací byly využity pro modelování odtoku v další kapitole. Příloha č. 11 nabízí srovnání minimálních, maximálních a průměrných hodnot SWE a SCE naměřených ve stanici Spálenec, naměřených při sněhoměrných kampaních a interpolovaných metodou Ordinary Kriging.

Obrázek č. 34 : Sezónní chod výšky sněhové pokrývky (SCE) v cm, vodní hodnoty sněhu (SWE) v mm a srážek v mm v zimní sezóně 2010 ve stanici Spálenec (SPA). Srážky (mm) a SCE (cm) jsou uvedeny v denním kroku, SWE (mm) v týdenním kroku.



Zdroj: ČHMÚ

7.1.1.1. Zbytinský potok

V povodí byla zjištěna maxima výšky sněhové pokrývky na levém břehu (47cm), nižší hodnoty se nacházely na převážně nezalesněných plochách. Ve vyšších partiích povodí byly 25. března (příloha č. 14) louky beze sněhu. Sníh se nejvíce držel v lese, na zastíněných plochách nebo v bezprostřední blízkosti lesa, což dokazuje mapa rozsahu sněhové pokrývky 25.3. (příloha č. 18).

Absolutní maximum vodní hodnoty (140 mm) bylo naměřeno na levém břehu toku 19. března (příloha č. 16). Větší hodnoty SWE byly zjištěny pouze v lese a okolí, v severozápadní části povodí. V dalších měřeních se vyšší vodní hodnoty nacházely při ústí toku a na levém břehu (příloha č. 17). Výška sněhu a vodní hodnota se nejvíce lišila v období tání, tedy při březnových sněhoměrných kampaních 19. a 25. března.

7.1.1.2. Tetřívčí potok

Podle výsledků sněhoměrných kampaní dosahovala mocnost sněhové pokrývky nejvyšších průměrných hodnot v povodí Tetřívčího potoka v polovině února a v březnu

(příloha č. 12 a 13). Vysoké hodnoty byly zjištěny na loukách, mýtinách a v lesním porostu při ústí toku. Absolutní maximum výšky sněhové pokrývky (54 cm) bylo naměřeno při ústí Tetřivčího potoka 19. března. 22. února bylo maximum výšky sněhové pokrývky 50cm. Nižší hodnoty SCE byly naměřeny při západní rozvodnici se Zbytinským potokem a ve středních částech toku. 25. března (příloha č. 14) se udržel sníh nejvíce při ústí toku. 25. března byla bez sněhu celá severní polovina povodí včetně lesa. Výjimku tvořil úzký pás podél lesa, kde se sníh udržel díky stínu vrhaného okrajem lesa.

Průměrná změřená vodní hodnota sněhu 22. února byla 64 mm, tedy v době maximální mocnosti sněhové pokrývky těsně před příchodem jarního tání (příloha č. 15). Druhá polovina března byla v této sezóně charakterizována pokračováním odtávání a zároveň docházelo k procesu akumulace nové sněhové pokrývky. Nejvyšší vodní hodnoty sněhu byly zjištěny v případě výšky sněhové pokrývky 19. března při ústí toku a v nejvýše položených, převážně nezalesněných částech (příloha č. 16). Průměrná vodní hodnota na měrných bodech k 19. 3. (77 mm) je vyšší než hodnoty v únoru (64 mm). Měření 19. března vykazuje největší variabilitu výšky sněhové pokrývky i největší rozkolísanost vodní hodnoty.

Průměrná vodní hodnota spočítaná interpolační metodou kriging (příloha č. 11) naznačuje sezónní chod sněhové pokrývky (63mm-79mm-15mm). Podle tabulky udávající průměrnou hodnotu akumulované vody ve sněhu (příloha č. 11) nastalo maximum při měření 19. 3. (79mm).

7.2. VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ V SEZÓNĚ 2010/2011

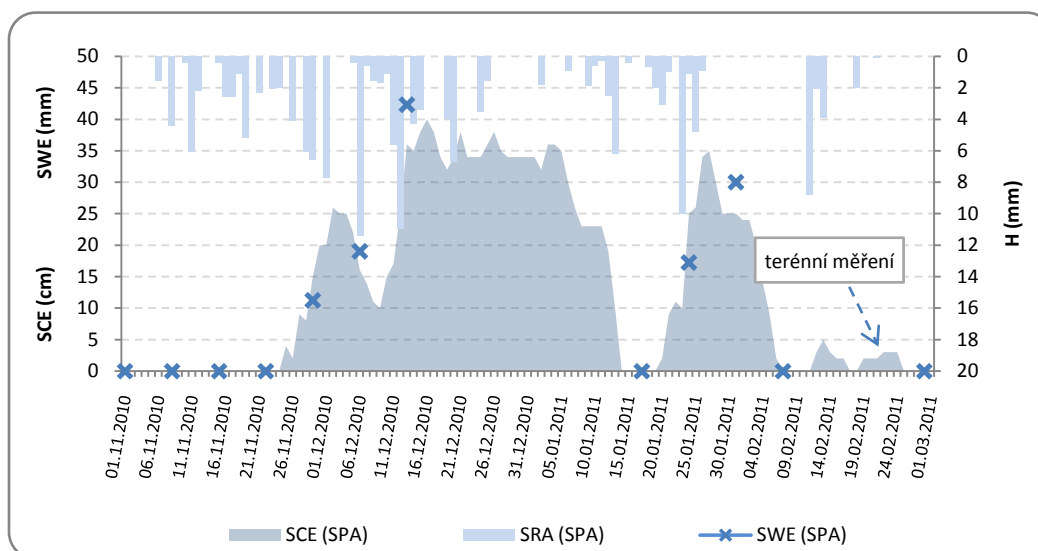
Průběh zimní sezóny se značně lišil od předchozího roku teplotním i srážkovým režimem. Zimní sezóna 2010/2011 byla teplotně podprůměrná, především díky velmi chladnému prosinci. Suchý a extrémně teplý únor způsobil podprůměrné hodnoty sněhových srážek v celé zimní sezóně.

První sněhové srážky bylo možno pozorovat ve stanici Spálenec od 24. listopadu (obrázek č. 35). Maximální hodnoty výšky sněhové pokrývky nastaly už 16. prosince. Druhý vrchol, který je charakteristický pro sezónní chod sněhové pokrývky ve fyzicko-geografických podmínkách ČR, nastal 27. ledna. Ve srovnání s předešlou sezónou 2009/2010 byly naměřené hodnoty charakterizující sněhovou pokrývkou ve stanici Spálenec nižší.

Díky nestandardnímu průběhu zimní sezóny se nepodařilo vystihnout dobu při maximální výšce sněhové pokrývky a vodní hodnoty. Sněhoměrná kampaň 25. února (příloha č. 20) reprezentuje dobu tání sněhové pokrývky, svým charakterem by se dala přirovnat k měření 25. března 2010. Stanice Spálenec byla již v tuto dobu beze sněhu.

Sněhová kampaň 26. února odhalila četná místa zcela bez sněhu. Daleko vyšší zakrytí terénu sněhovou pokrývkou má díky velkému zalesnění povodí Tetřívčího potoka. Mapy a tabulka (příloha č. 20, 21 a 22) znázorňující výšku sněhové pokrývky mají rozdílnou prostorovou variabilitu. Příloha č. 22 ukazuje skutečný rozsah sněhové pokrývky 25. 2. 2011.

Obrázek č. 35: Sezónní chod výšky sněhové pokrývky (SCE) v cm, vodní hodnoty sněhu (SWE) v mm a srážek v mm v zimní sezóně 2011 ve stanici Spálenec (SPA). Srážky (mm) a SCE (cm) jsou uvedeny v denním kroku, SWE (mm) v týdenním kroku.



Zdroj: ČHMÚ

7.2.1.1. Povodí Zbytinského potoka

V povodí Zbytinského potoka měly celkově nižší hodnoty oba sledované jevy (obrázek č. 20 a 21). Nejvíce ploch beze sněhu se vyskytovalo převážně na loukách vystavených slunečnímu záření. Maximální změřená výška (24 cm) byla zjištěna v zastíněné louce na severovýchodně orientovaném svahu. V povodí se potvrdil předpoklad vyšší vodní hodnoty sněhu v lese a nižší vodní hodnoty na loukách. Nejvyšší vodní hodnoty (SWE) byly naměřeny na zalesněném terénu v jihozápadní části povodí. Průměrná hodnota SWE vztažená k povodí Zbytinského potoka byla odhadnuta interpolační technikou Ordinary Kriging na 23

mm (příloha č. 19). Minimální i maximální SWE odhadnuté metodou Ordinary Kriging se značně liší od hodnot naměřených přímo v terénu. Tyto rozdíly jsou způsobeny metodou interpolace, která hodnoty značně shlazuje, vypočtená plocha pak neprochází naměřenými body. Průměrná hodnota interpolovaná se liší od průměrných hodnot naměřených, díky tomu že jsou hodnoty vztažené k ploše povodí. Při srovnání minimálních hodnot interpolovaných a naměřených se projevuje neschopnost interpolační techniky vystihnout plochy bez sněhové pokrývky.

7.2.1.2. *Povodí Tetřívčího potoka*

V povodí Tetřívčího potoka byly naměřeny vyšší mocnosti sněhové pokrývky než v případě Zbytinského potoka. V povodí se nacházejí dvě oblasti s vyššími hodnotami SCE i SWE (obrázek č. 20 a 21). Maximální hodnoty byly naměřeny ve vysoko položených loukách chráněných lesem, druhá pak leží při ústí toku v řídkém jehličnatém lese. Nejvyšší naměřená hodnota SCE (38 cm) byla zjištěna v ústí toku (příloha č. 19). Plochy bez sněhové pokrývky se nacházely na loukách při rozvodnici se Zbytinským potokem a na mýtinách větší rozlohy ve střední části toku (příloha č. 22). Tyto mýtiny mají charakter louky, protože nejsou chráněny před působením větru nebo slunečním zářením.

Prostorová variabilita vodní hodnoty sněhu byla daleko vyšší než v případě Zbytinského potoka. Prostorové rozložení vodní hodnoty a výšky sněhové pokrývky je téměř shodné. Maximum změřené vodní hodnoty bylo zjištěno na vysoko položené louce (bod s nejvyšší nadmořskou výškou) v severovýchodní části povodí. V porovnání je průměrná vodní hodnota sněhu u měrných bodů (34 mm) vyšší než u povodí Zbytinského potoka. V případě hodnoty odvozené interpolací byla zásoba vody akumulované ve sněhové pokrývce v celém povodí odhadnuta na 32 mm.

7.3. VLIV FYZICKO-GEOGRAFICKÝCH FAKTORŮ NA ROZLOŽENÍ SNĚHOVÉ POKRÝVKY

Na prostorovém rozložení sněhové pokrývky se podílelo mnoho faktorů. Podle mapových výstupů, grafů a poznatků z terénního měření se na prostorové variabilitě v sezónách 2009/2010 a 2010/2011 nejvýrazněji podílely reliéf (nadmořská výška, sklonitost, expozice) vegetace a klimatické poměry (teplota, srážky, větrné proudění nebo zastínění terénu).

7.3.1. Nadmořská výška

Nadmořská výška se ve výzkumných povodích neprojevila ve větší míře. Regresní analýza pomocí koeficientu determinace (R^2) nepotvrdila trend přibývání sněhu s nadmořskou výškou. Jedním z důvodů je fakt, že se jedná v obou případech plošně o velmi malá povodí. Závislost na nadmořské výšce se neprojevila také díky malé výškové členitosti. V povodí Tetřivčího potoka je převýšení 127 m a v případě povodí Zbytinského potoka pouze 119 m. Podle znalosti a zkušeností v terénu se nadmořská výška projevovала od 890 m n. m., patrnější byl tento jev na nezalesněných plochách.

7.3.1.1. Zbytinský potok

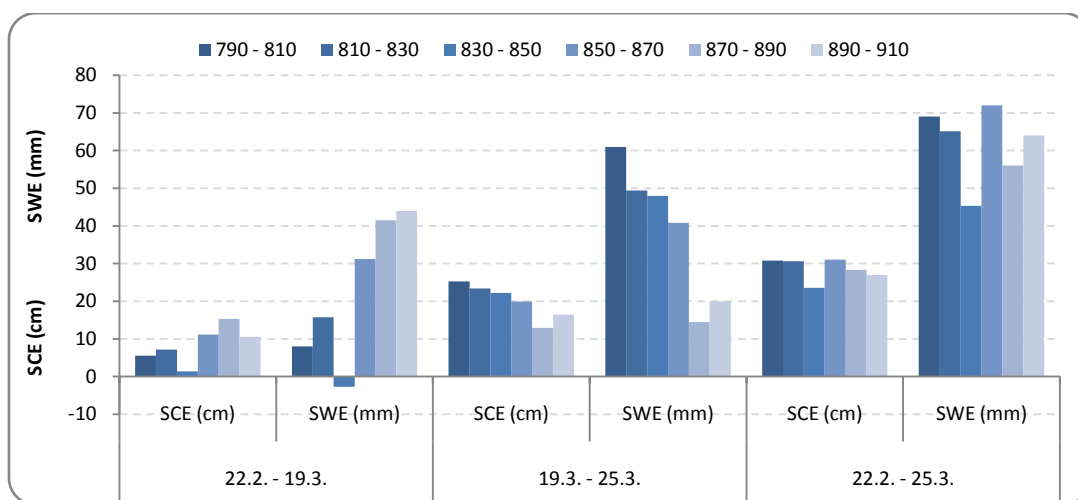
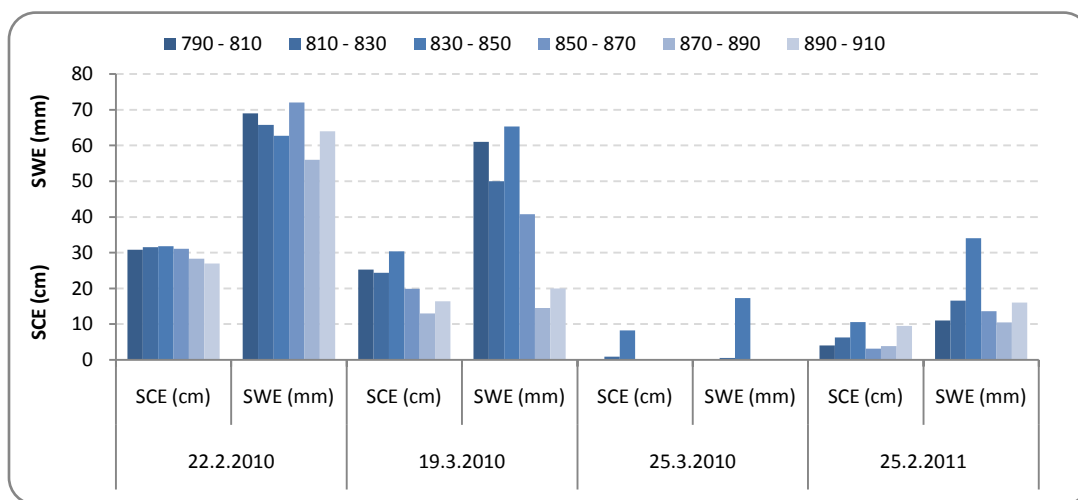
Obrázek č. 36 znázorňující rozložení průměrných výšek sněhu (SCE) a vodní hodnoty (SWE) v různých výškových pásmech poukázal na vyrovnanost mocnosti sněhové pokrývky i vodní hodnoty při vrcholu zimní sezóny (22. 2. 2010). Při dalších měřeních reprezentujících dobu tání (19. 3., 25. 3. a 25. 2.) jsou patrné větší rozkolísanosti.

Výsledky (obrázek č. 37) změn průměrných hodnot mezi jednotlivými měřeními ukazují malé rozdíly v první fázi odtávání u obou sledovaných hodnot sněhové pokrývky. Toto období (19. 3. – 25. 3. 2010) je doba mezi prvním a druhým vrcholem zimy, kdy dochází ke srážkové činnosti a při oblevách k odtávání. Ve výškovém pásmu 830-850 m n. m. došlo ke zvýšení vodní hodnoty. Období má vyšší úbytky v mocnosti sněhové pokrývky i vodní hodnoty ve vyšších nadmořských výškách. V období mezi druhým a třetím měřením (19. 3. – 25. 3.) jsou úbytky nižší s přibývajícím nadmořskou výškou s výjimkou nejvyššího pásma. Třetí

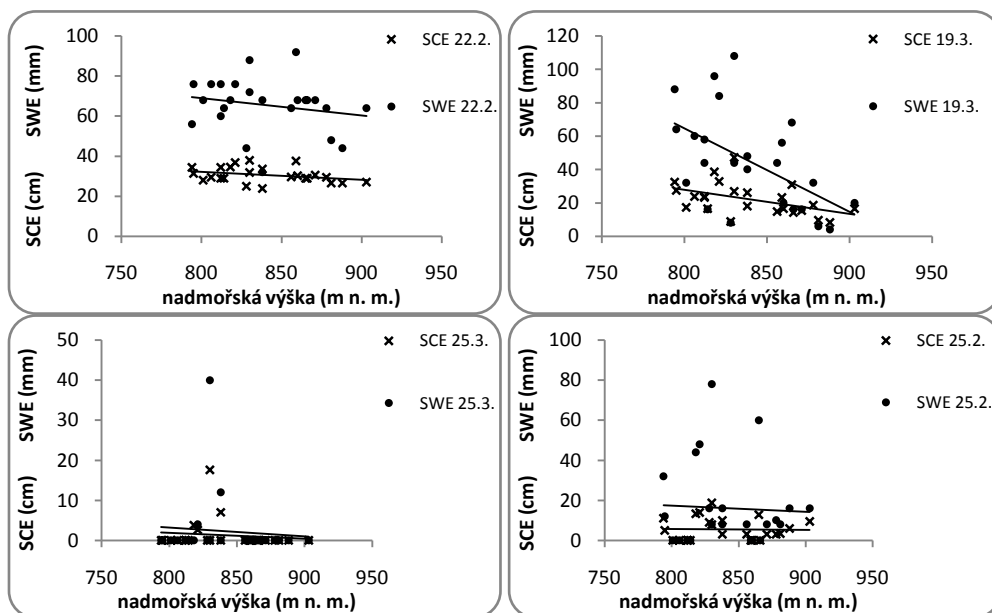
období mezi prvním a posledním teréním měřením (22. 2. – 25. 3.) již naznačuje celkovou větší vyrovnanost úbyvání sněhové pokrývky a vodní hodnoty ve všech výškových pásmech.

Obrázek č. 38 ukazuje v povodí Zbytinského potoka ubývání výšky sněhové pokrývky i vodní hodnoty s přibývajícím nadmořskou výškou. S postupující sezónou se trend mění, nejvýraznější trend je patrný 19. 3. a také ukazuje největší závislost v koeficientu determinace (tabulka č. 24). Nízké hodnoty koeficientu determinace byly zjištěny na začátku (22. 2. 2010) a na konci sezóny (25. 3. 2010 a 25. 2. 2011).

Obrázek č. 36 a 37 : Průměrná výška sněhu (SCE) a vodní hodnota sněhu (SWE) ve výškových pásmech a změna průměrné výšky a vodní hodnoty mezi jednotlivými sněhoměrnými kampaněmi v povodí Zbytinského potoka



Obrázek č. 38: Vztah SCE (cm) a SWE (mm) ke k nadmořské výšce 22. 2., 19. 3. 25. 3. 2010 a 25. 2. 2011v povodí Zbytinského potoka



Tabulka č. 24: Koefficient determinace v povodí Zbytinského a Tetřívčího potoka ve dnech terénních měření

R^2	22.2.		19.3.		25.3.		25.2.	
	SCE (cm)	SWE (cm)	SCE (cm)	SWE (cm)	SCE (cm)	SWE (cm)	SCE (cm)	SWE (cm)
Zbytinský	0,1	0,04	0,22	0,29	0,01	0,01	0	0
Tetřívčí	0,01	0,01	0,06	0,03	0,18	0,25	0,01	0

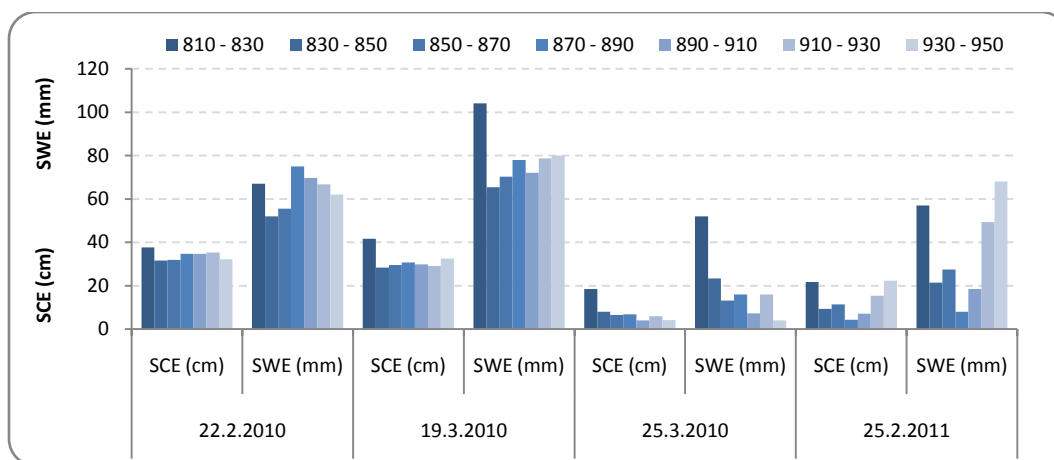
7.3.1.2. Tetřívčí potok

V povodí Tetřívčího potoka je podobné rozložení sněhu v jednotlivých výškových pásmech (obrázek č. 39) jako v povodí Zbytinského potoka. Při únorovém měření je vidět rozvnoměrnější rozložení než při ostatních měřeních. Vyšší hodnoty ve všech sledovaných dnech vykazuje nejnižší výškové pásmo, které se nachází při ústí toku. Sněhoměrná kampaň 19. 3. je na rozdíl od povodí Zbytinského potoka vyrovnanější, což je pravděpodobně účinek lesa, který zpomaluje tání. Měření 25. 3. má sestupnou tendenci s přibývajícím nadmořskou výškou. Situace 25. 2. 2011 charakterizující poslední fázi tání sněhové pokrývky je zcela odlišná od výsledků v povodí 25. 3. 2010. Nejprve lze sledovat ubývání obou sledovaných charakteristik a poté nárůst s přibývajícím nadmořskou výškou od výškového pásma 870 až 890m n. m.

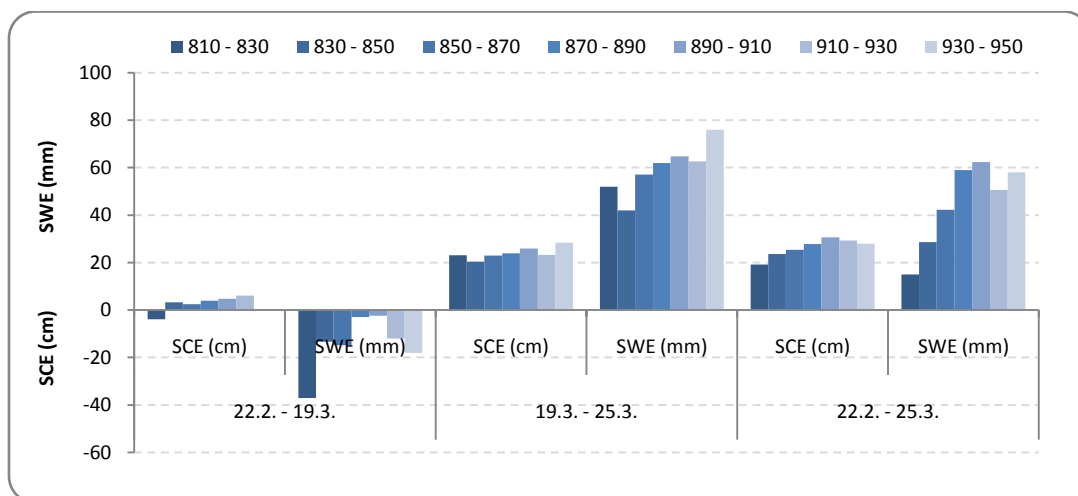
Při porovnání změn mezi jednotlivými dny měření (obrázek č. 40) je asi nejzajímavější situace mezi dny 22. 2. a 19. 3., kde je vidět nepatrný pokles výšky sněhové pokrývky a zároveň velký nárůst vodní hodnoty sněhu. Nárůst vodní hodnoty sněhu nastal v důsledku několika oblev a padání sněhových srážek. Růst teploty často způsobuje sesedání sněhové pokrývky, což vysvětluje pokles SCE 22.2. Zároveň však dochází k nárůstu vodní hodnoty sněhu. Další časové období již znázorňují rovnoměrný úbytek mocnosti sněhové pokrývky a zvyšující se úbytek vodní hodnoty sněhu s rostoucí nadmořskou výškou. Poslední úsek ukazuje změnu stavu mezi vrcholem a koncem zimní sezóny, kde je vidět ubývající mocnost sněhové pokrývky a výrazný nárůst úbytku vodní hodnoty s rostoucí nadmořskou výškou až do výškového pásma 890-910 m n. m.

Hodnocení pomocí koeficientu determinace (R^2) prokázalo v povodí Tetřívčího potoka 22. 2. trend rostoucí vodní hodnoty s přibývajícím nadmořskou výškou (obrázek č. 41 a tabulka č. 24). V případě SCE se v tento den neprojevil trend poklesu s nadmořskou výškou. Zajímavé je, že v povodí Zbytinského potoka byl trend v tento den opačný, tedy že SCE i SWE klesala s přibývajícím nadmořskou výškou. Na výsledcích z měření 19. 3. lze již oproti únorovému měření pozorovat pokles obou sledovaných hodnot s nadmořskou výškou, 25. 3. je tento trend výraznější. Situace na konci sezóny 2011 je odlišná od situace na konci zimní sezóny 2011. Změna SCE i SWE 25. 2. 2011 je s nadmořskou výškou zanedbatelná. Závislost je u všech měření v povodí Tetřívčího potoka velmi nízká, vyšší závislosti při porovnání obou sledovaných charakteristik lze pozorovat u SWE.

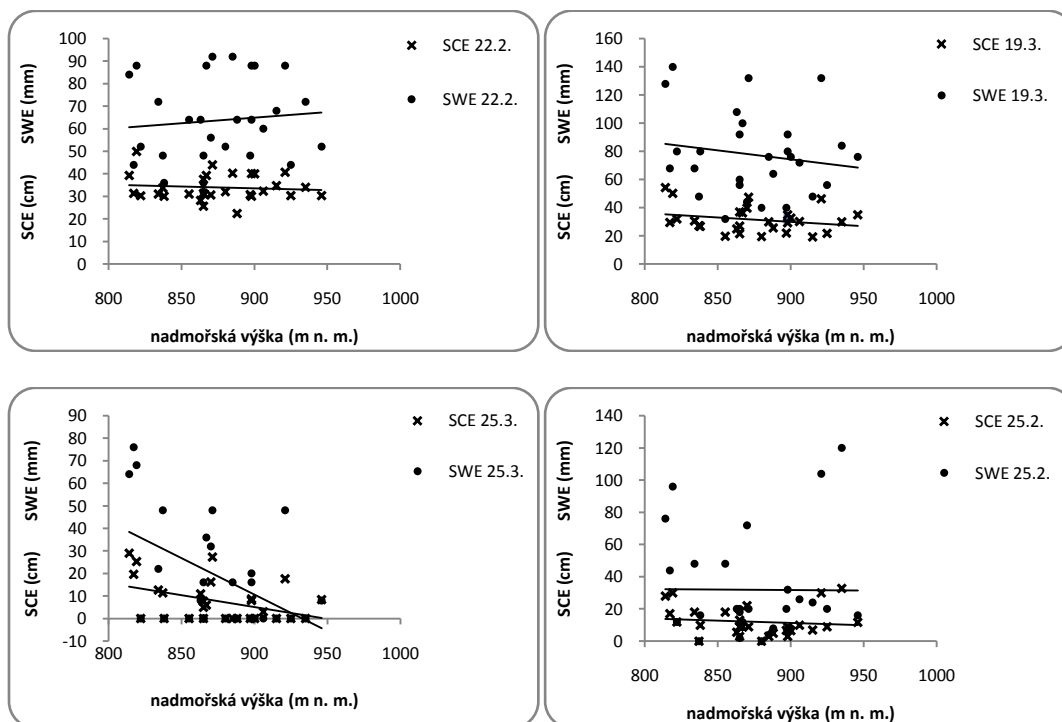
Obrázek č. 39 : Průměrná výška sněhu (SCE) a vodní hodnota sněhu (SWE) ve výškových pásmech v povodí Tetřívčího potoka



Obrázek č. 40: Změna průměrné výšky (SCE) a vodní hodnoty (SWE) mezi jednotlivými sněhoměrnými kampaněmi v povodí Tetřívčího potoka



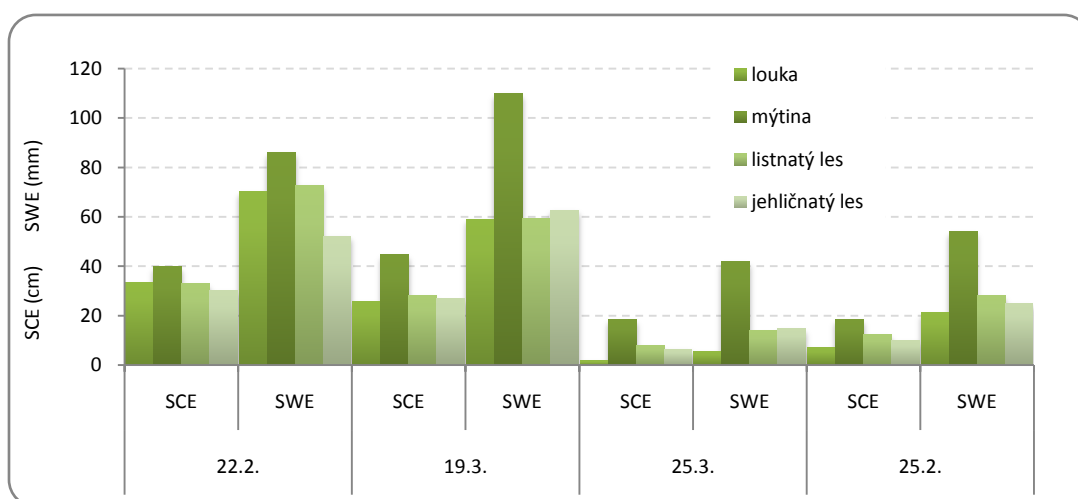
Obrázek č. 41: Vztah SCE (cm) a SWE (mm) ke k nadmořské výšce 22. 2., 19. 3. 25. 3. 2010 a 25. 2. 2011 v povodí Tetřívčího potoka



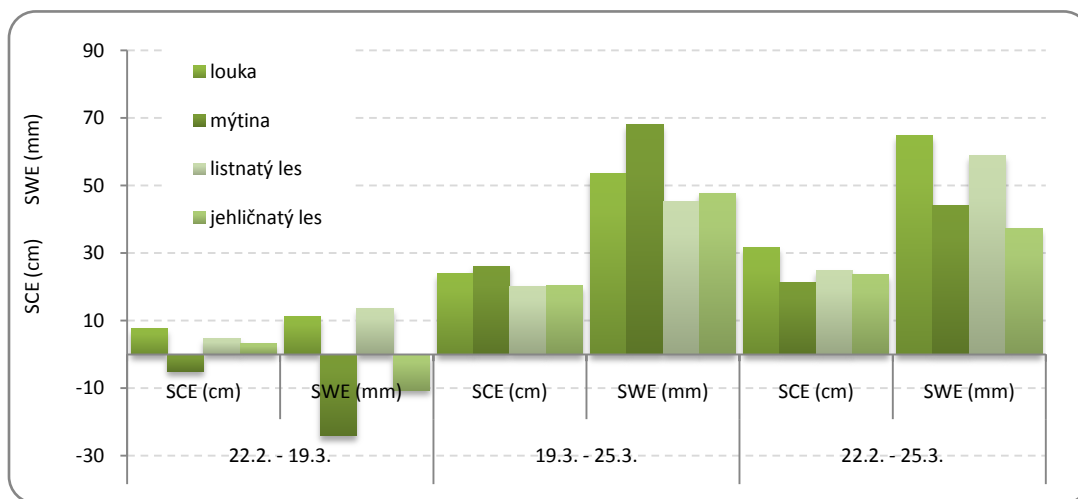
7.3.2. Vegetace

Režim akumulace a tání sněhové pokrývky v zalesněném prostředí se liší časově i prostorově od podmínek na otevřených prostranstvích. Podle obrázku č. 42, byly průměrné výšky sněhové pokrývky v jednotlivých typech vegetace nejvyšší na mýtinách. Při prvním měření, tedy ve vrcholné fázi zimy a v období s převažující akumulací sněhu nejsou rozdíly mezi jednotlivými typy pokryvu tak výrazné jako u dalších měření. Ve vrcholné fázi zimy je v jehličnatém lese pomalejší nárůst sněhové pokrývky v důsledku zadržování částí srážek na větvích (intercepce). Na loukách a v listnatých lesech jsou hodnoty SCE i SWE vyrovnané. Měření 19. 3. ukázalo vyrovnanost hodnot SCE a SWE u louky, listnatého ale také jehličnatého lesa a vysoké hodnoty u mýtin. Při nástupu jarního oteplení zůstalo v posledních fázích (25. 3.) vlivem zastínění a lesního mikroklimatu více sněhu v lese, což se projevilo na vyšších hodnotách SCE a SWE v jehličnatých i listnatých lesech v porovnání s loukou. je Výsledky v sezóně 2011 jsou podobné poslednímu měření v sezóně 2010, kdy zůstalo na mýtinách nejvíce sněhu a nejméně na loukách, což se projevilo jak u SCE, tak u SWE. Jehličnatý les má v poslední fázi zimy nejnižší hodnoty výšky sněhové pokrývky i vodní hodnoty.

Obrázek č. 42: Průměrné hodnoty SCE (cm) a SWE (mm) ve vztahu k vegetaci 22. 2., 19. 3., 25. 3. 2010 a 25. 2. 2011.



Obrázek č. 43: Změna průměrné hodnoty SCE (cm) a SWE (mm) ve vztahu k vegetaci mezi jednotlivými měřeními v zimní sezóně 2009/2010



Změny mezi jednotlivými dny měření jsou uvedeny na obrázku č. 43. V první fázi je patrný nárůst výšky sněhové pokrývky na mýtinách, u ostatních typů pokryvu je patrný úbytek, nejvyšší na loukách. Vodní hodnota sněhu se zvýšila v prvním období také u jehličnatých lesů, což je důkazem akumulace a tání sněhu. Nejvyšší úbytek vodní hodnoty je patrný u listnatých lesů. V dalším období již převažuje tání, což se projevilo i na vyšších změnách SCE i SWE. V případě SCE je úbytek sněhové pokrývky vyrovnaný, nepatrně vyšší hodnoty lze pozorovat na loukách a mýtinách. Vodní hodnota sněhu nejvíce ubylo na mýtinách a nejmenší úbytek nastal v listnatých lesech. Při porovnání stavu mezi prvním a posledním měřením je patrný největší pokles výšky sněhové pokrývky na loukách, ostatní typy pokryvu jsou vyrovnané a liší se jen o pár cm. V případě vodní hodnoty je výrazný velký pokles vodní hodnoty sněhu na loukách a v listnatých lesech. Nejmenší rozdíl vodní hodnoty je v jehličnatém lese. Z terénního průzkumu vyplývá, že sněhová pole zůstávají nejen v lese, ale také na zastíněných okrajích lesa (např. horní svahy v jižní části povodí Zbytinského potoka nebo louky v severovýchodní části Tetřívčího potoka).

Změna výšky sněhové pokrývky a vodní hodnoty s nadmořskou výškou byla hodnocena v jednotlivých typech pokryvu (obrázek č. 44). Na mýtinách je s výjimkou prvního měření 22. 2. vzestupný trend SCE a SWE s nadmořskou výškou. U ostatních měření je již vidět sestupný trend u SCE i SWE. Nedostatek měrných bodů zde ovšem zkresluje výsledky.

Na louce je vidět vyrovnanost SCE i SWE na vrcholu sezóny (22. 2.) a trend růstu s nadmořskou výškou je velice nízký, stejně jako při měření 19.3. Na všech typech pokryvu je vidět, že SCE i SWE mají vždy stejný trend, tedy pokud roste nebo klesá výška sněhové pokrývky s nadmořskou výškou, roste nebo případně klesá vodní hodnota také. Na loukách se projevil 25. 3. 2010 a 25. 2. 2011 vzestupný trend s přibývajícím nadmořskou výškou.

V jehličnatých lesech (22. 2. a 19. 3.) se projevil rostoucí trend SCE a SWE s nadmořskou výškou, v závěru sezóny 2010 a 2011 je patrný pokles sledovaných hodnot s rostoucí nadmořskou výškou.

Zajímavé jsou výsledky měření v listnatém lese, kde se projevil zcela opačný trend než v jehličnatém lese. Na vrcholu sezóny (22. 2.) jsou hodnoty SCE i SWE vyrovnané, 19. 3. Již sledované hodnoty klesají. V závěru sezóny (25. 3.) lze pozorovat opět mírný nárůst SCE a SWE s nadmořskou výškou. Závěr sezóny 2011 je zcela odlišný od sezóny 2010, kdy je patrný pokles s nadmořskou výškou. Výsledky byly pravděpodobně zkresleny malým počtem pozorování v listatém lese, což se projevilo na tak výrazných změnách.

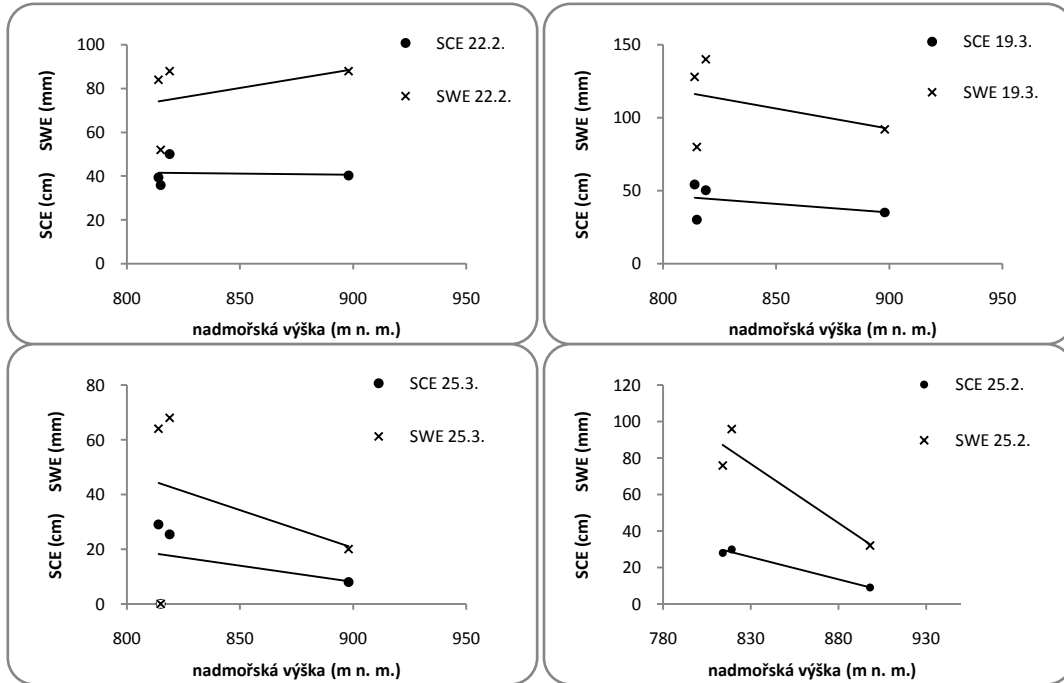
Podle hodnot koeficientu determinace u jednotlivých typů pokryvu (tabulka č. 25) nebyla prokázána dostatečně vysoká hodnota závislosti s výjimkou mýtin. Koeficient determinace 0,98 a 0,87 prokazuje sílu závislosti růstu SCE i SWE s nadmořskou výškou na mýtinách 25. 2. 2011. V důsledku malého počtu měření na mýtinách nelze brát tento výsledek jako věrohodný. U ostatních typů vegetačního pokryvu není podle regresní analýzy vysoká závislost na nadmořské výšce a rozložení výšky sněhové pokrývky je značně variabilní. V případě vodní hodnoty je situace velmi podobná.

Tabulka č. 25: Koeficient determinace u jednotlivých typech pokryvu ve dnech terénních měření

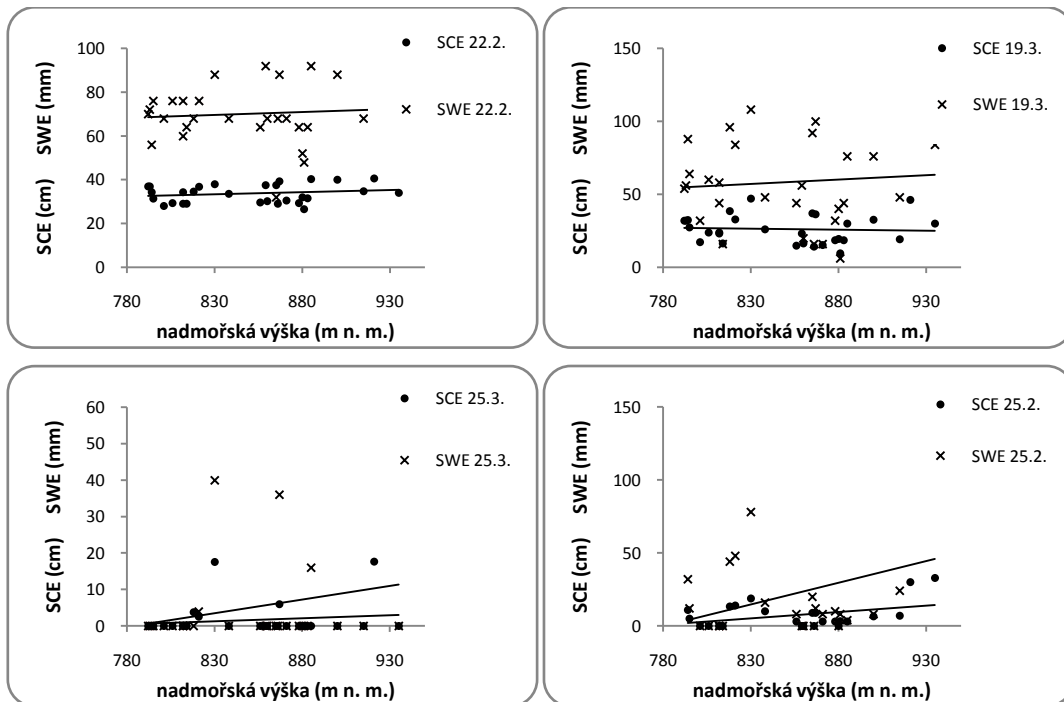
R^2	22.2.		19.3.		25.3.		25.2.	
	SCE (cm)	SWE (mm)	SCE (cm)	SWE (mm)	SCE (cm)	SWE (mm)	SCE (cm)	SWE (mm)
mýtina	0,00	0,16	0,17	0,16	0,12	0,13	0,98	0,87
louka	0,01	0,04	0,03	0,06	0,02	0,06	0,16	0,14
jehličnatý les	0,20	0,07	0,02	0,03	0,03	0,13	0,03	0,01
listnatý les	0,00	0,00	0,04	0,01	0,00	0,00	0,11	0,07

Obrázek č. 44: Vztah vegetace a SCE (cm) a SWE (mm) s nadmořskou výškou v povodí Zbytinského a Tetřivčího potoka 22.2., 19.3., 25.3.2010 a 25.2.2011

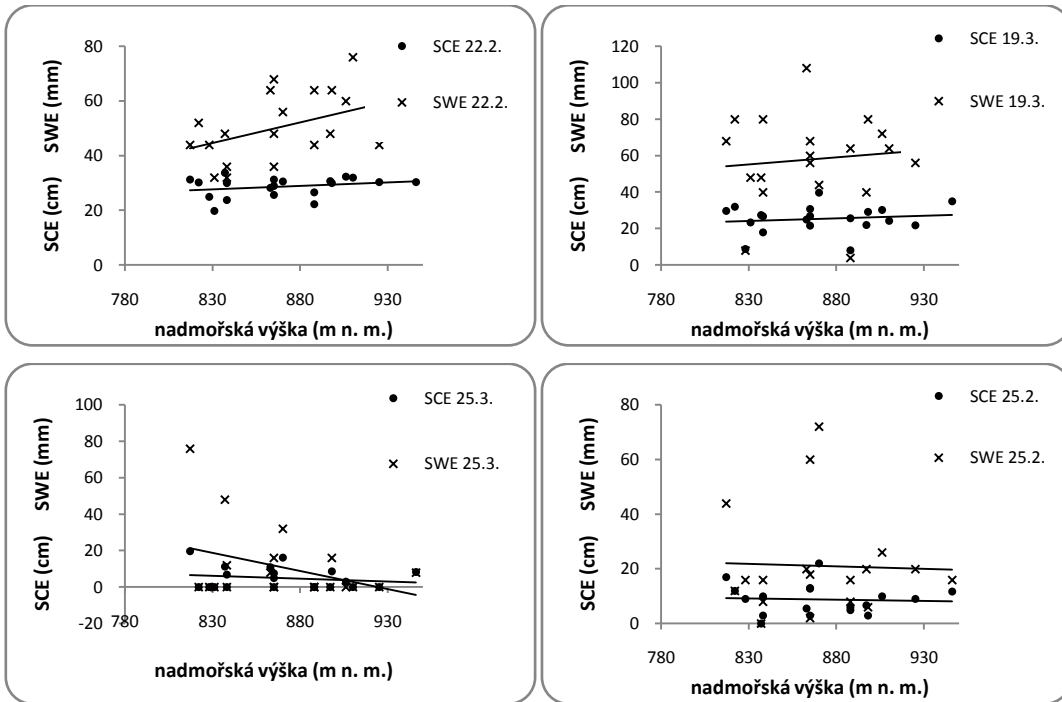
mýtina



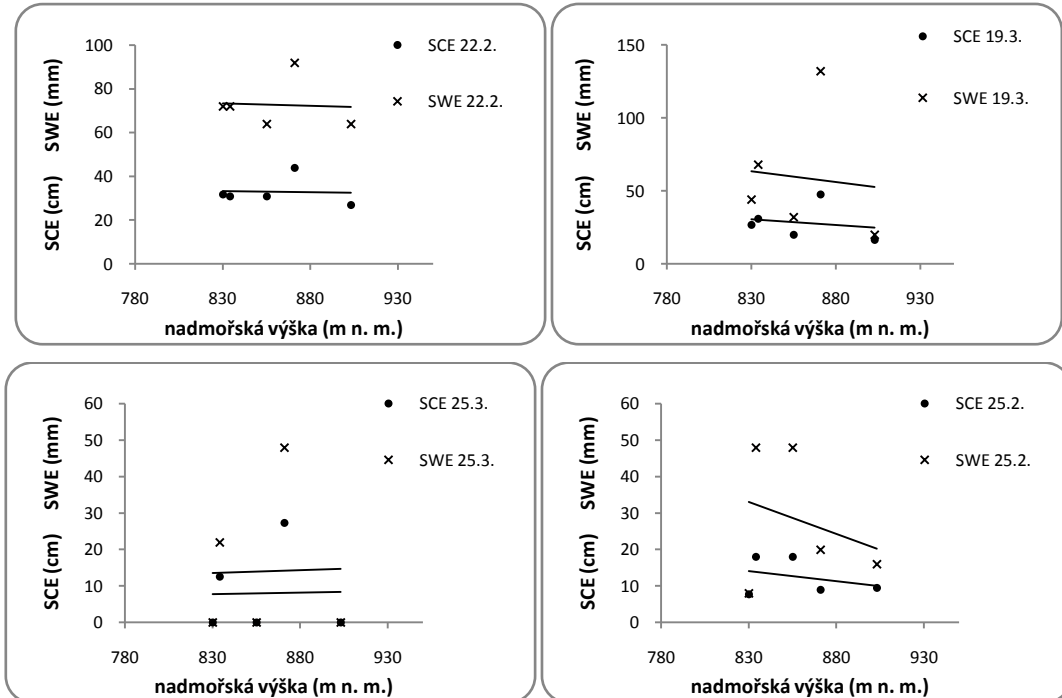
louka



jehličnatý les



listnatý les



7.3.3. Sklonitost

Výšková členitost a sklonitosti nejsou ani v jednom ze sledovaných povodí vysoké, přesto se zde projeví určité trendy s ohledem na variabilitu rozložení sněhové pokrývky a vodní hodnoty sněhu. Plochy byly rozděleny do tří tříd podle zastoupení měrných bodů na plochách se sklonitostí od 0 do 3°, od 3° do 5° a od 5° do 14°. Obecně lze říci, že se liší situace ve vrcholu zimní sezóny a v době tání. 22. února se vyskytuje větší vyrovnanost ve výšce sněhové pokrývky (SCE) i její vodní hodnoty (SWE) než v době tání (19. 3., 25. 3. a 25. 2 2011). Rozdíly byly zjištěny v odlesněném povodí a zalesněném povodí Zbytinského a Tetřívčího potoka.

7.3.3.1. *Zbytinský potok*

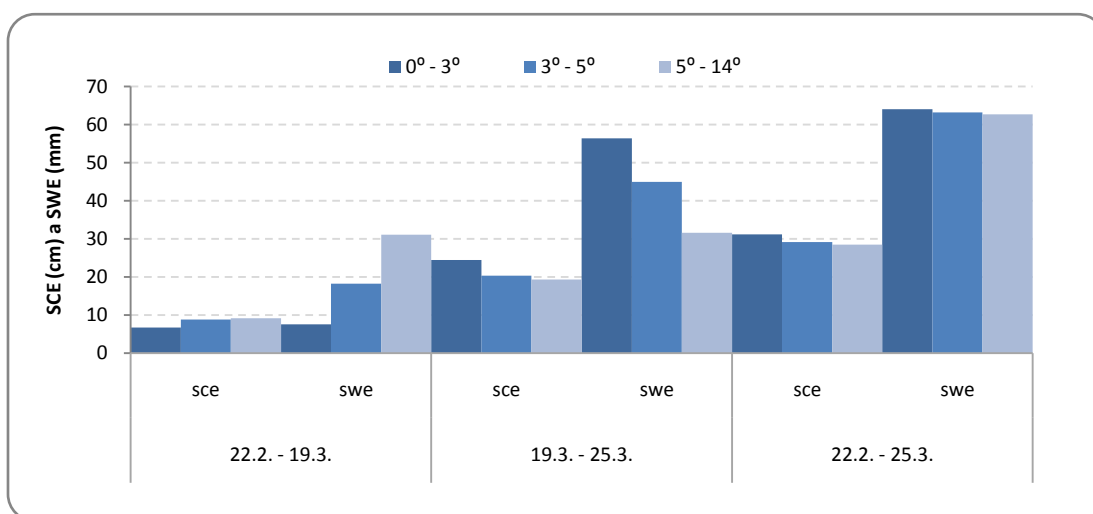
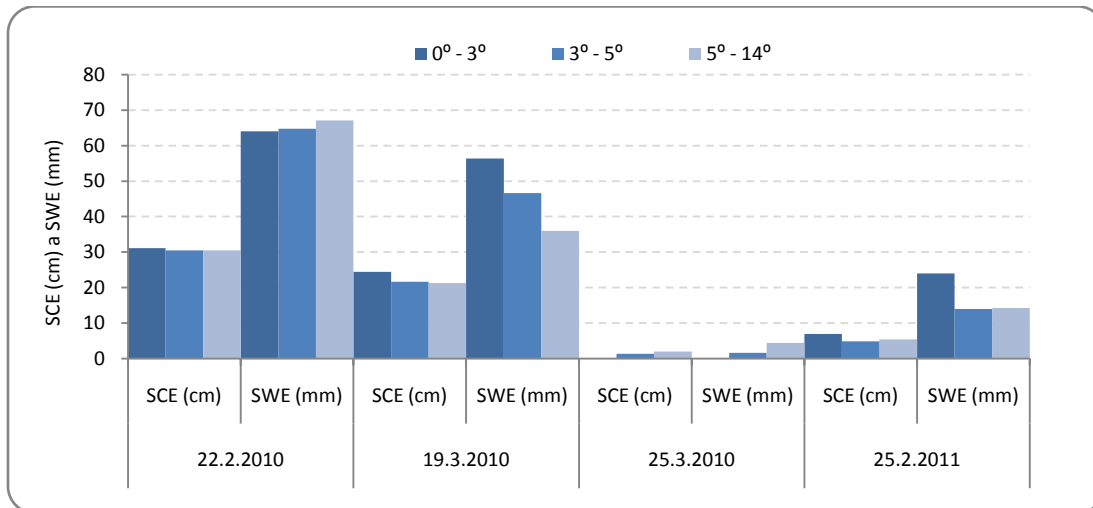
Výsledky terénních měření výšky sněhové pokrývky a vodní hodnoty v povodí Zbytinského potoka (obrázek č. 45) potvrdily rozdílnost stavu na vrcholu sezóny (22. 2.), a v době tání představující měření 19. 3. 2010, kdy se projevuje vliv sklonitosti. S rostoucí sklonitostí se snižují hodnoty jak mocnosti sněhové pokrývky, tak vodní hodnoty sněhu. V případě vodní hodnoty sněhu je tento jev více patrný, než u výšky sněhové pokrývky. V závěru zimní sezóny 2010 jsou patrné vyšší sledované hodnoty s vyšší sklonitostí. Závěr sezóny 2011 je vzhledem k rozložení sněhové pokrývky při určité sklonitosti odlišný, kdy naopak plochy s nejnižší sklonitostí mají nejvíce sněhu.

Změny mezi jednotlivými měřeními jsou znázorněny na obrázku č. 46. Z výsledků je patrná větší dynamika SWE než u SCE. Změna mezi prvním a druhým měřením ukazuje rovnoměrný úbytek SCE bez ohledu na sklonitost. V případě SWE lze pozorovat v tento den vyšší úbytky s vyšší sklonitostí. Další časový úsek (19. 3. – 25. 3.) je na plochách s různou sklonitostí odlišný. Vyšší úbytek nastal u ploch s nejnižší sklonitostí, naopak k nejmešimu úbytku došlo na nejsklonitějších plochách u SCE i SWE. Změna sledovaných hodnot se neprojevila na posledním časovém úseku udávající změnu stavu na vrcholu a na konci zimní sezóny. Hodnoty jsou vzhledem k různé sklonitosti víceméně stejné a odlišnosti SCE a SWE u jednotlivých sklonitostí jsou v řádu několika cm výšky a mm vodní hodnoty sněhu.

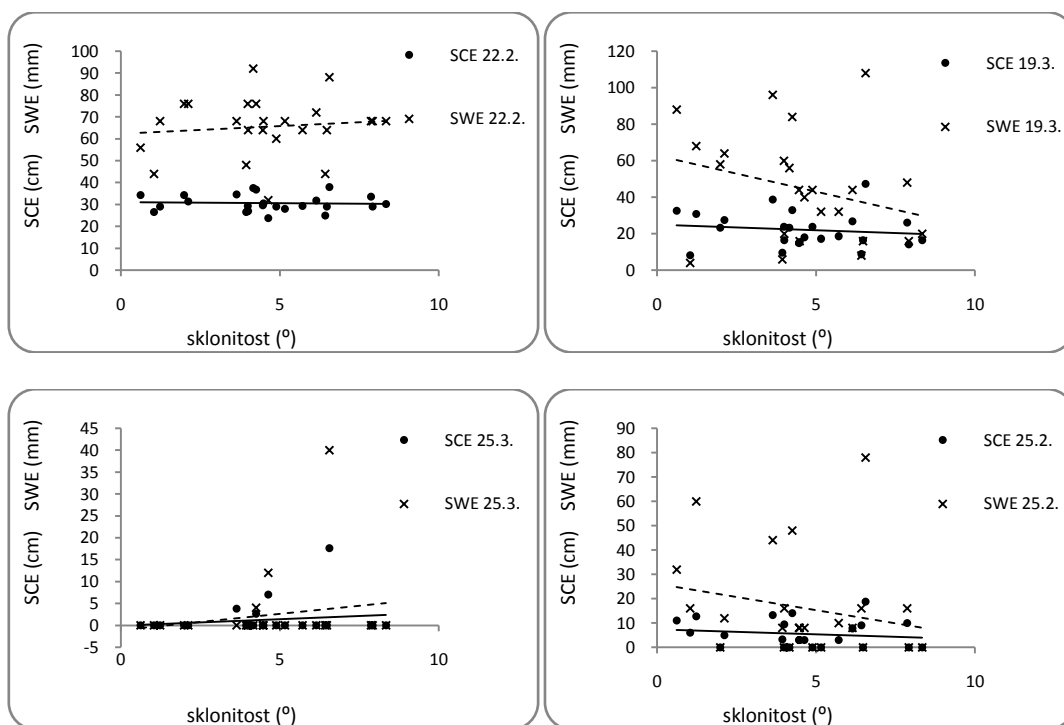
Bodový graf popisuje vztahy mezi sklonitostmi, výškou sněhové pokrývky a vodní hodnotou sněhu (obrázek č. 47). V tabulce č. 30 je pomocí koeficientu determinace R^2 sledována závislost mezi jednotlivými parametry. Lineární závislost naznačuje 22. 2. nárůst

hodnot u SWE s rostoucí sklonitostí, u SCE je patrný pokles s rostoucí sklonitostí. Situace 19. 3. ukazuje pokles s rostoucí sklonitostí u obou sledovaných hodnot sněhové pokrývky. Na konci sezóny je trend opačný, hodnoty SCE i SWE se s rostoucí sklonitostí zvyšují. Závěr sezóny 2011 je odlišný než od sezóny 2010. SCE i SWE klesají s rostoucí sklonitostí. Koeficienty determinace ukazují nízkou závislost u SWE i u SCE. Změny trendu v období tání jsou pravděpodobně důsledkem malé sklonitosti, vliv vegetace můžeme v málo zalesněném povodí vyloučit.

Obrázek č. 45 a č. 46: Průměrná výška sněhu (SCE) a vodní hodnota sněhu (SWE) vzhledem ke sklonitosti a změna průměrné výšky a vodní hodnoty mezi jednotlivými sněhoměrnými kampaněmi v povodí Zbytinského potoka



Obrázek č. 47: Vztah SCE (cm) a SWE (mm) ke sklonitosti 22. 2., 19. 3. 25. 3. 2010 a 25. 2. 2011 v povodí Zbytinského potoka

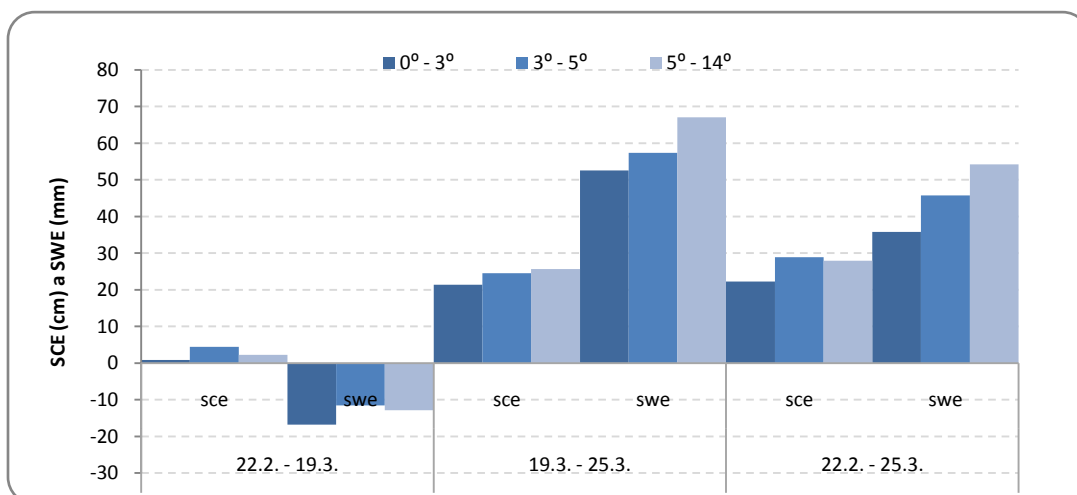
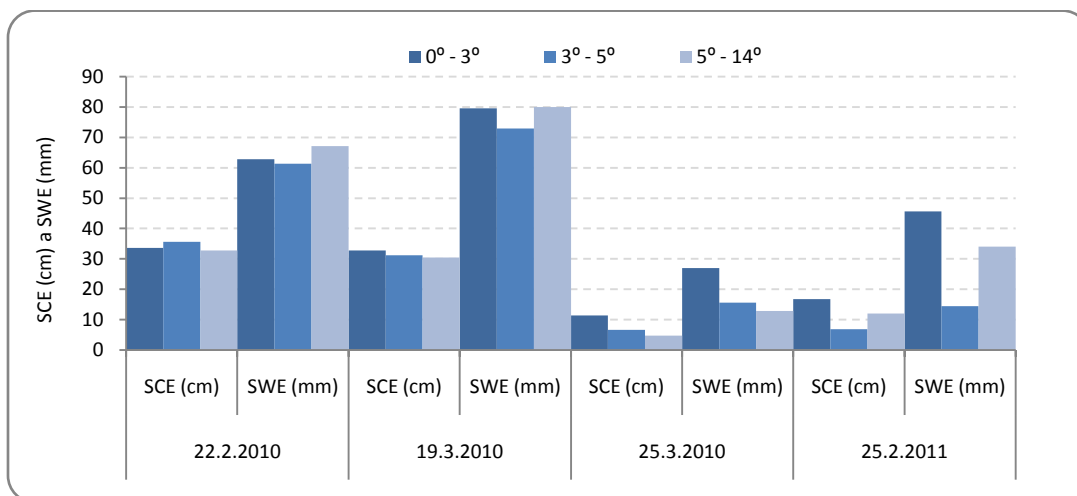


7.3.3.2. Tetřívčí potok

Při pohledu na výsledky měření v povodí Tetřívčího potoka jsou hodnoty (obrázek č. 48) 22. 2. vyrovnané a nesouvisejí se sklonitostí. V dalším měření (19. 3.) se sklonitost v důsledku vlivu lesa také neprojevuje. Na situaci 25. 3. jsou vidět vyšší hodnoty SCE i SWE u nízkých sklonitostí, naopak nejnižší hodnoty se vyskytují na nejvíce sklonitých plochách. V závěru sezóny 2011 jsou patrné nejvyšší hodnoty na plochách s nízkou sklonitostí a nejnižší ve třídě od 3° do 5°. Tání v povodí Tetřívčího potoka je patrné až při měření 25. 3., zatímco u Zbytinského povodí se tání projevuje již 19.3.

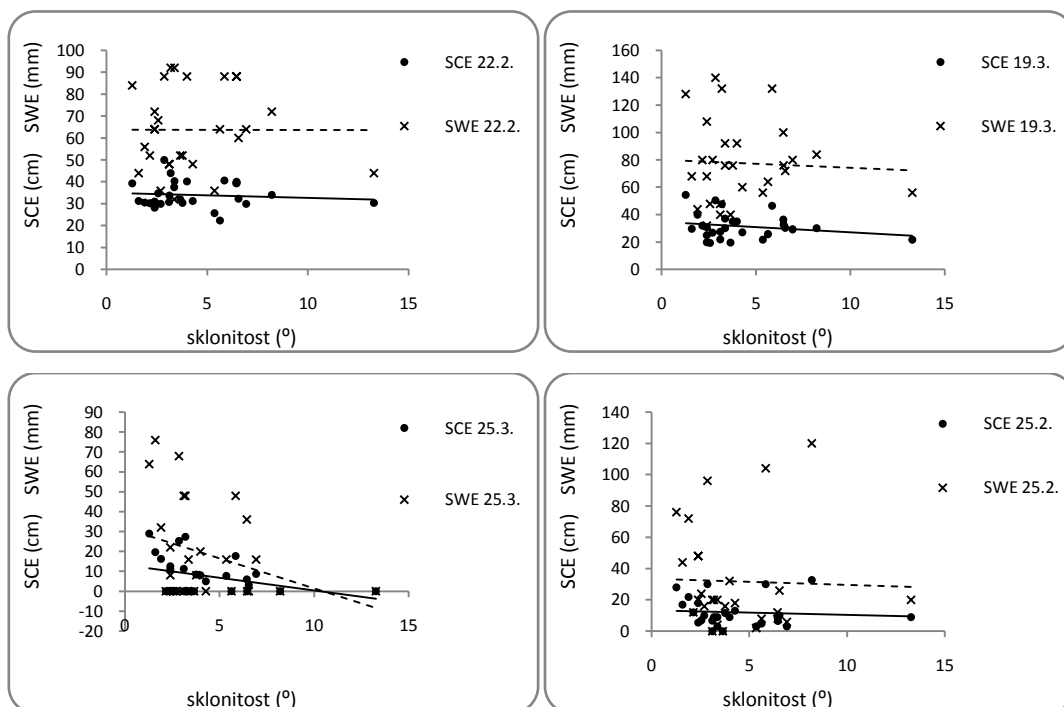
Rozdíly mezi měřeními prokázal první časový úsek znázorněný na obrázku č. 49. Výška sněhové pokrývky ubývala na rozdíl od vodní hodnoty sněhu, která se podle výsledků zvýšila. V dalších úsecích (19. 3. – 25. 3. a 22. 2. -25. 3.) jsou patrné větší úbytky sněhu na místech s vyšší sklonitostí.

Obrázek č. 48 a č. 49: Průměrná výška sněhu (SCE) a vodní hodnota sněhu (SWE) vzhledem ke sklonitosti a změna průměrné výšky a vodní hodnoty mezi jednotlivými sněhoměrnými kampaněmi v povodí Tetřívčího potoka



Hodnocení trendu zvyšující se SCE a SWE s rostoucí sklonitostí ukázalo nárůst obou sledovaných hodnot 22. 2. (obrázek č. 50). Naopak pokles SCE i SWE s rostoucí sklonitostí lze sledovat 19.3. Výraznější sklon má přímka u měření 25. 3., kdy je patrné tání v zalesněném povodí, a je již zřejmý vliv sklonitosti. V závěru sezóny 2011 (25. 2.) jsou hodnoty SCE a SWE stejně jako u Zbytinského potoka v sestupném trendu. Výsledky ukázaly velmi malou sílu závislosti zjištěných trendů (tabulka č. 26), maximum dosáhl koeficient determinace 25. 3. u SCE (0,12).

Obrázek č. 50: Vztah SCE (cm) a SWE (mm) ke sklonitosti 22. 2., 19. 3. 25. 3. 2010 a 25. 2. 2011 v povodí Tetřívčího potoka



Tabulka č. 26: Koefficient determinace v povodí Zbytinského a Tetřívčího potoka vzhledem ke sklonitosti ve dnech terénních měření

	R^2	Zbytinský	Tetřívčí
22.2.	SCE (cm)	0	0,01
	SWE (cm)	0,01	0
19.3.	SCE (cm)	0,02	0,04
	SWE (cm)	0,08	0,02
25.3.	SCE (cm)	0,03	0,12
	SWE (cm)	0,04	0,1
25.2.	SCE (cm)	0,03	0,01
	SWE (cm)	0,05	0

7.3.4. Expozice

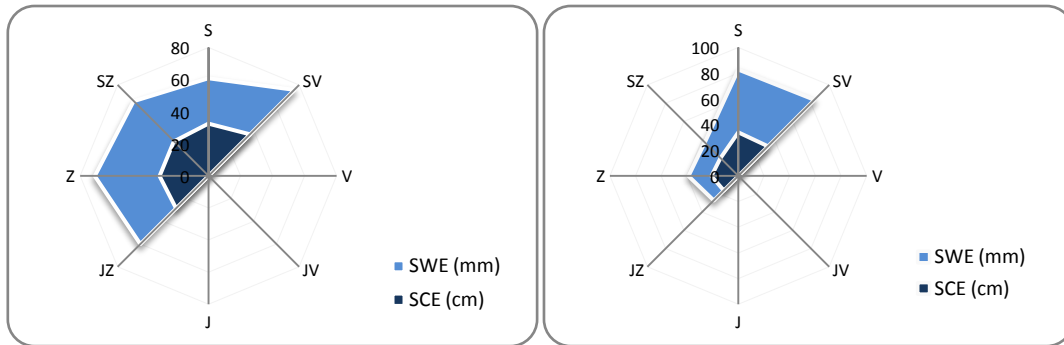
Expozice se projevila v obou sledovaných povodích odlišně. Výsledky ovlivnil typ pokryvu, který se projevil více v zalesněném Tetřívčím potoce. Výsledky mezi oběma povodími se liší zejména při březnových měřeních (19. 3. a 25. 3. 2010).

7.3.4.1. *Zbytinský potok*

Paprskový graf průměrné výšky sněhové pokrývky (SCE) a vodní hodnoty sněhu (SWE) změřené při sněhoměrných kampaních (obrázek č. 51) vypovídá o stavu sněhové pokrývky během zimní sezóny. První graf znázorňuje stav na vrcholu zimní sezóny 22. 2., při maximálních výškách sněhové pokrývky. Na různě exponovaných plochách je výška i vodní hodnota sněhu rovnoměrně rozmístěná. Vyšší hodnoty bychom našli u obou sledovaných parametrů, nejvíce u severovýchodní expozice, která má na tuto světovou stranu orientovaný pouze jeden měrný bod. Svahy s jižní, jihovýchodní a východní expozicí v grafech chybí, body s touto expozicí se nevyskytují ani na jednom z povodí. Na dalších měřeních je patrná větší rozkolísanost, všechny tři situace reprezentují období tání. Čím více je odtátého sněhu, tím větší variabilitu lze na grafech pozorovat. Situace z 19. března má velkou rozkolísanost, i když jsou hodnoty naměřeného sněhu srovnatelné s únorovým měřením. Mezi těmito daty docházelo k vypadávání sněhových srážek a zároveň k několika oblevám. Proces tání způsobuje větší rozdíly mezi mocností sněhové pokrývky a vodní hodnotou sněhu. Dochází ke slehnutí vrstvy sněhu vlivem vyšší teploty, aniž by se snížila vodní hodnota. Stav popisující graf z 25. března ukazuje, že většina sněhu již roztála a zbytky se nachází pouze na bodech se severní a severovýchodní expozicí. Závěrečnou fázi tání v sezóně 2011 ukazuje graf 25. 2. 2011, kdy je maximum SCE i SWE u bodu se severovýchodní expozicí.

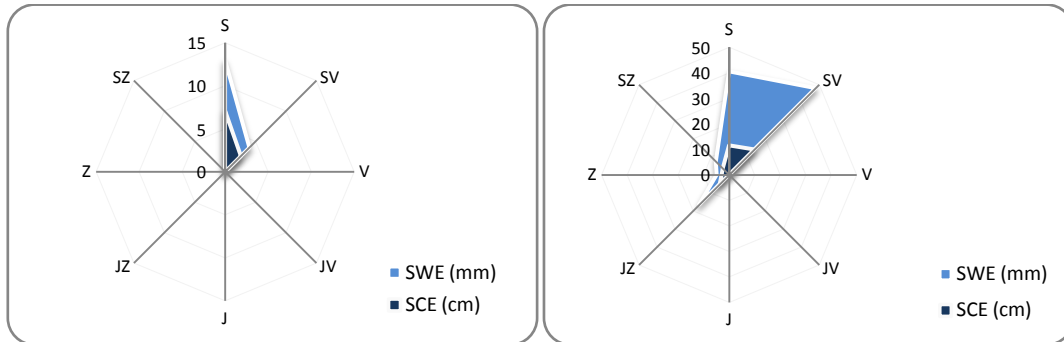
Podle výsledků z terénních měření (obrázek č. 52) se 22. 2. neprojevil vliv odchylky orientace bodu od jihu na SCE a SWE. Stav sněhové pokrývky 19. 3. se již v povodí Zbytinského potoka projevil na expozici větším sklonem přímky. Znamená to, že čím byl bod orientován blíže na jih, tím rychleji klesaly hodnoty SCE. U SWE je tento trend výraznější než u SCE. V závěru zimní sezóny byly poslední body se sněhovou pokrývkou orientované na sever a severovýchod, což se projevilo také na přímce. Znamená to, že čím více je bod orientovaný na sever, tím déle zde zůstává sníh. Stejná situace nastala v závěru sezóny 2011. Velikost závislosti hodnocená pomocí koeficientu determinace (tabulka č. 27) byla nejvyšší 19. 3. u SWE (0,27), naopak téměř žádná síla závislosti nebyla zjištěna 22. 2.

Obrázek č. 51: Průměrné výšky sněhové pokrývky SCE (cm) a vodní hodnoty sněhu SWE (mm) vzhledem k expozici svahů v sezóně 2009/2010 a 2010/2011 v povodí Zbytinského potoka



22.2.2010

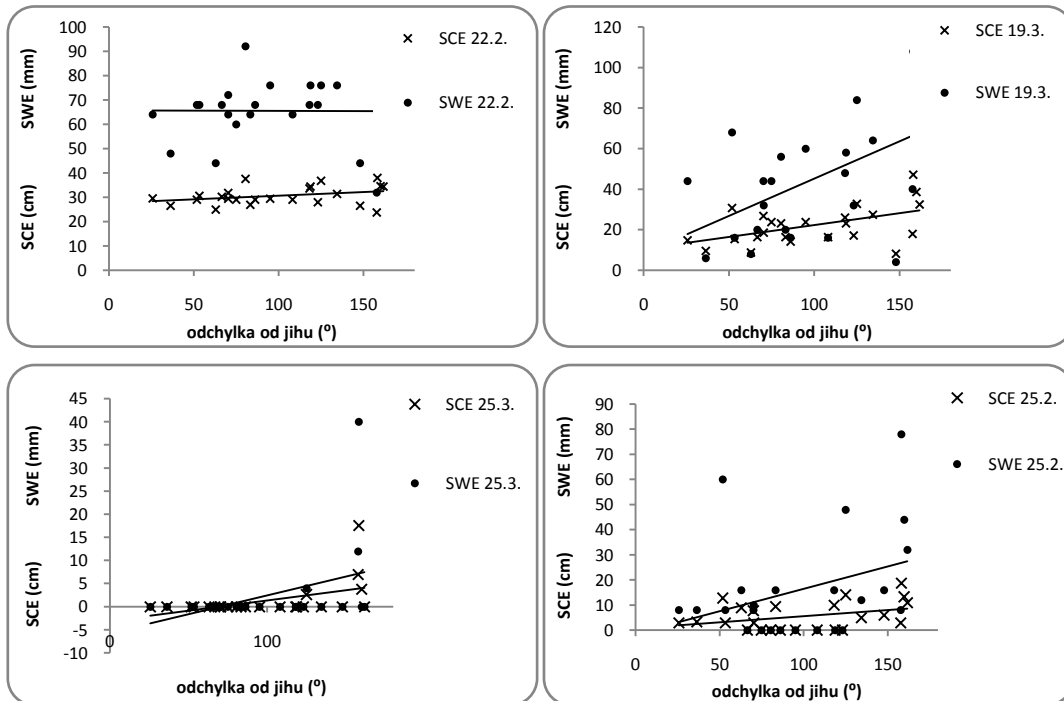
19.3.2010



25.3.2010

25.2.2011

Obrázek č. 52: Vztah výšky sněhové porývky a vodní hodnoty sněhu v povodí Zbytinského potoka v zimní sezóně 2010 a 2011.



Tabulka č. 27: Koeficient determinace v povodí Zbytinského a Tetřívčího potoka vzhledem ke sklonitosti ve dnech terénních měření

	R^2	Zbytinský	Tetřívčí
22.2.	SCE (cm)	0,1	0
	SWE (cm)	0	0,02
19.3.	SCE (cm)	0,25	0,01
	SWE (cm)	0,27	0
25.3.	SCE (cm)	0,23	0,04
	SWE (cm)	0,16	0,02
25.2.	SCE (cm)	0,13	0,04
	SWE (cm)	0,12	0,03

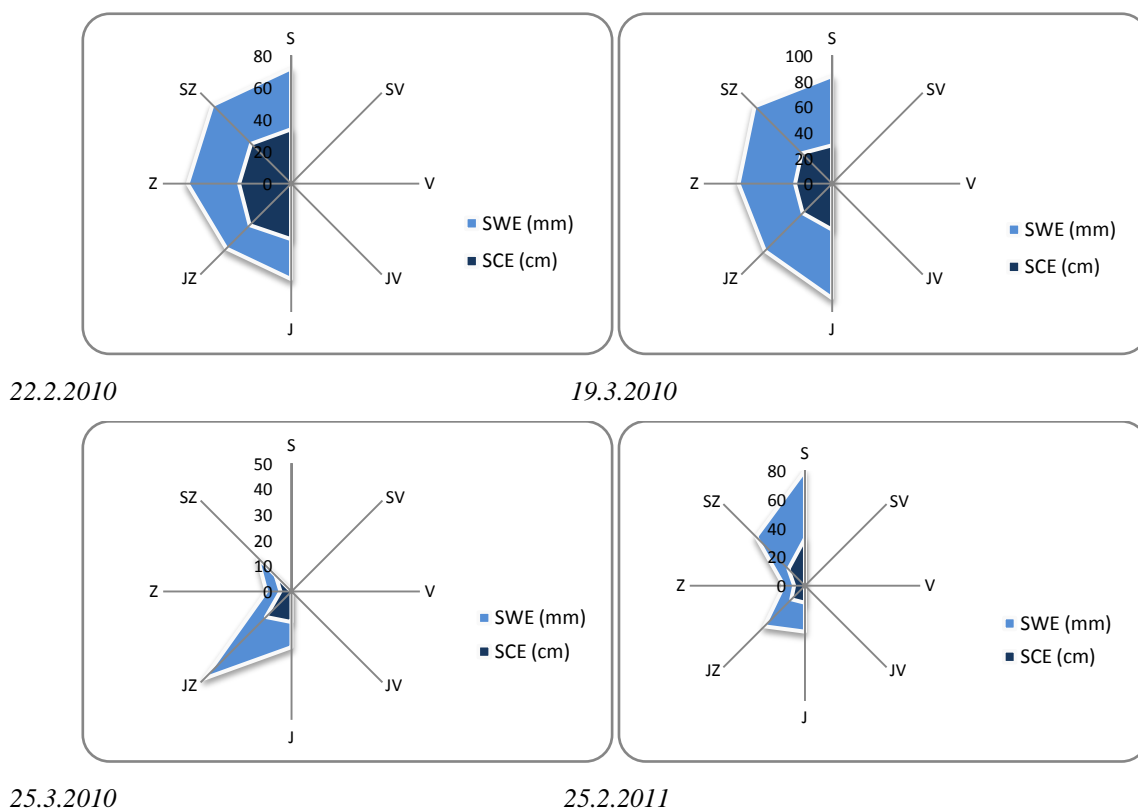
7.3.4.2. Tetřívčí potok

Z výsledků znázorněných na obrázku č. 53 je patrný vliv vegetace, která ovlivňuje nástup, rychlost a celkovou dobu tání. Na rozdíl od povodí Zbytinského potoka se projevilo tání až 25. 3., kdy jsou hodnoty SCE i SWE více rozkolísané než u předchozích dvou měření. Jsou zde vidět velké rozdíly mezi vodní hodnotou a mocností sněhové pokrývky, větší mocnost sněhové pokrývky u svahů orientovaných na jih až jihozápad. Důvodem vysokých hodnot SCE a SWE u bodů s jihozápadní a jižní expozice jsou body ležící na mýtinách a v lese. Na tomto grafu se projevilo náhodné a nerovnoměrné rozmístění měrných bodů vzhledem k expozici. Největší množství bodů ležících ve stínu lesa má právě jižní až jihozápadní expozici.

Vegetace zde hraje dominantní roli a v případě že by zde vegetace nebyla, graf by měl nejvyšší hodnoty orientované na sever. Poslední graf pochází ze sezóny 2011, která byla v únoru srážkově velmi slabá a teplotně nadprůměrná. Hodnoty měřené zhruba ve stejném období v roce se značně liší v obou sledovaných zimních sezónách. V sezóně 2009/2010 byly na konci února maximální hodnoty sledovaných jevů, v případě sezóny 2010/2011 jsou hodnoty 25. února výrazně nižší, dokonce jsou ještě menší než v březnu roku předešlého. Při měření v únoru 2011 byly nejvyšší hodnoty u mocnosti sněhové pokrývky u bodů se severní a severozápadní expozicí. U bodů s touto expozicí byla naměřena absolutní maxima ve sledovaných zimních sezónách. Vysoké hodnoty SWE jsou 25. 2. 2011 u bodů se severní a severozápadní expozicí, což jsou body s nejvyšší nadmořskou výškou a jsou většinu dne zastíněné. Vyšší hodnoty SCE i SWE jsou patrné u bodů s jižní a jihozápadní expozicí a při porovnání s povodím Zbytinského potoka se výrazně liší. Vysvětlit rozdílnost můžeme

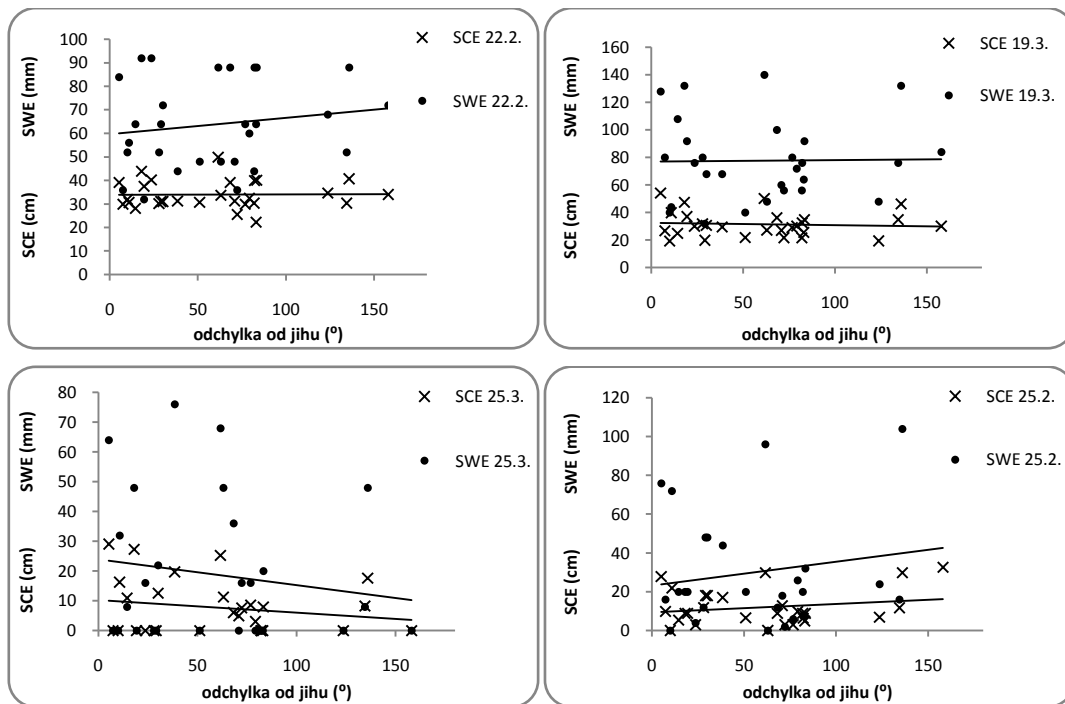
odlišným typem pokryvu, protože body s touto expozicí jsou u povodí Tetřivčího potoka v lese a mýtinách, zatímco body se stejnou expozicí leží v povodí Zbytinského potoka na loukách.

Obrázek č. 53: Průměrné výšky sněhové pokrývky SCE a vodní hodnoty sněhu SWE vzhledem k expozici svahů v sezóně 2009/2010 a 2010/2011 v povodí Tetřivčího potoka



Při porovnání vztahu SCE a SWE s expozicí (obrázek č. 54) 22. 2. se projevily výrazně trend a nárůst sledovaných hodnot a velikost odchylky od jihu je vyšší u SWE. Pokles SCE a SWE 19. 3. s růstem odchylky od jihu se projevily u SWE, u SCE je trend opačný. Situace na konci zimní sezóny 2010 je díky zalesnění dokonce opačná a hodnoty SCE a SWE se snižují s expozicí bližší severu. Konečná fáze sezóny 2011 je odlišná, sledované hodnoty sněhové pokrývky rostou s expozicí bližší k severu. Koefficient determinace (tabulka č. 31) byl u všech měření na rozdíl od povodí Zbytinského potoka malý, a ukazuje tak velmi malou závislost u těchto hodnot.

Obrázek č. 54: Vztah výšky sněhové pokrývky a vodní hodnoty sněhuv povodí Tetřívčího potoka v zimní sezóně 2010 a 2011. Odchylka daného místa od jihu, značí rozdíl ve ($^{\circ}$). 0° znamená jih, 180° je sever.



7.3.5. Větrné poměry

Hodnocení vlivu větru na akumulaci a tání sněhové pokrývky vycházelo z rozdělení měrných bodů ležících na chráněných a nechráněných lokalitách vzhledem k proudění větru. Vedle síly a směru větru má vliv na prostorové rozložení sněhu tvar reliéfu. Vítr se podílel na akumulaci v depresních polohách reliéfu a naopak na konvexních typech docházelo k vyvátí sněhové pokrývky. Okraj lesa funguje jako překážka v proudění na přenášení sněhových zrn. Unášecí schopnost větru se zde ztrácí a dochází k akumulaci. Vliv na akumulaci sněhu mají kromě okrajů lesa také jiné výrazné liniové prvky v terénu, převážně antropogenního charakteru: silniční a železniční násypy, kamenné zídky oddělující tehdejší pozemky, sloupy elektrického vedení, deprese po zemědělské nebo lesnické činnosti. Akumulace nastávala při okraji terénních nerovností na závětrné straně. V případě vlhčího sněhu akumulace probíhala na straně návětrné.

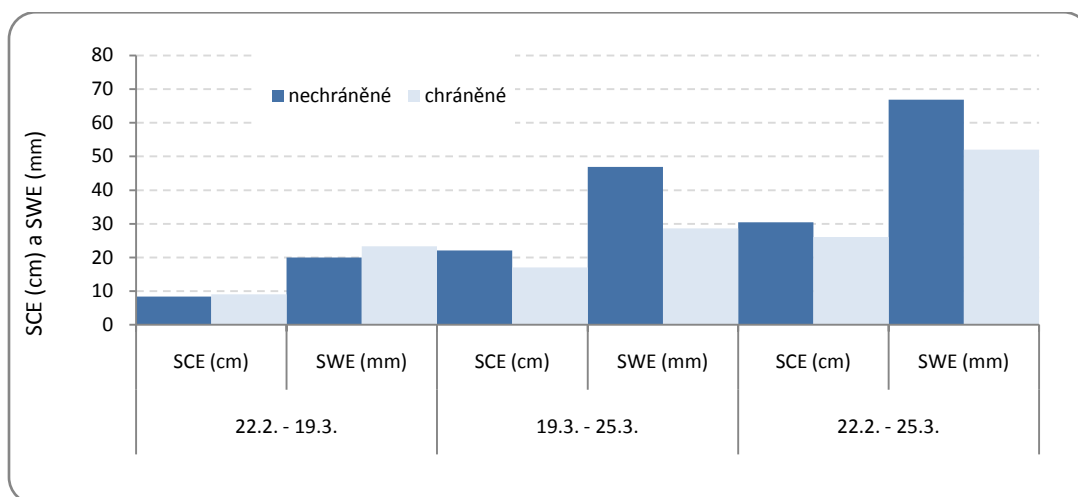
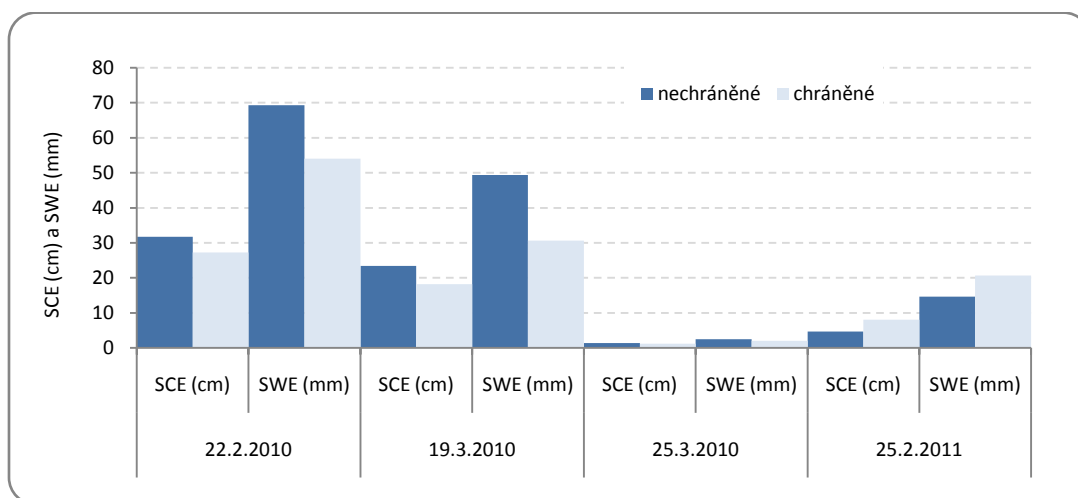
7.3.5.1. *Zbytinský potok*

Na obrázku č. 55 průměrné výšky a vodní hodnoty sněhu se rozdílně projevil vliv větru u ploch chráněných a nechráněných. V době vrcholné fáze zimy (22. 2. 2010) byly na chráněných plochách naměřeny vyšší hodnoty SCE i SWE než u ploch nechráněných. Rozdíl mezi těmito plochami byla vedle vegetace, expozice, sklonitosti nebo vlivu zastínění způsobena distribucí sněhových srážek pomocí větru. Předpokládá se také, že vítr bude mít větší vliv při akumulaci sněhu i když mají nechráněné plochy v době tání (19. 3., 25. 3. 2010 a 25. 2. 2011) méně sněhu než v případě chráněných míst. Při porovnání měření v závěru sezóny 2010 a 2011 (25.3. a 25.2.) lze pozorovat, že chráněné plochy mají v sezóně 2011 vyšší hodnoty SCE i SWE než nechráněné na rozdíl od sezóny 2010, kde jsou hodnoty více vyrovnané.

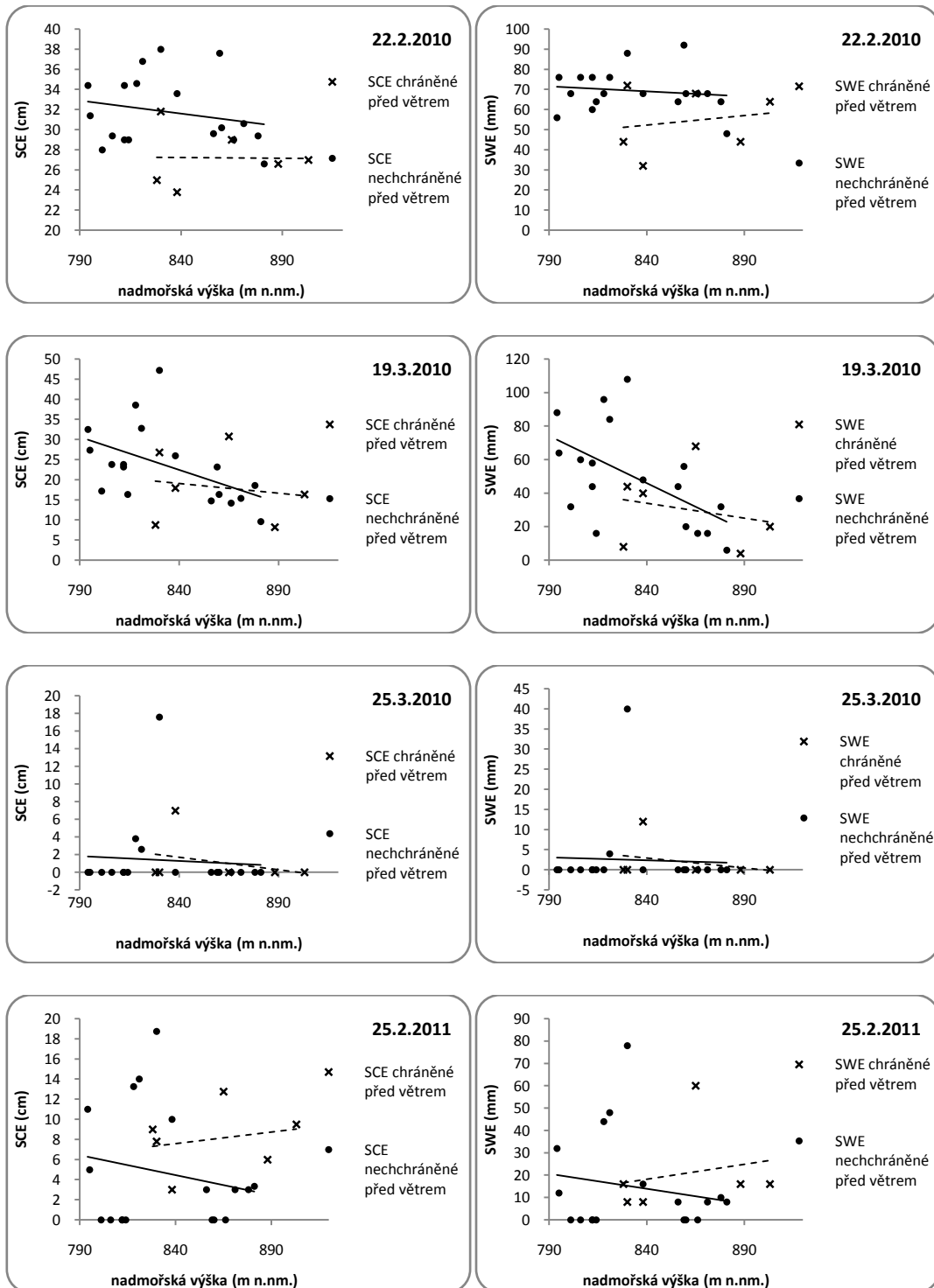
Změny mezi jednotlivými měřeními v zimní sezóně 2009/2010 vystihují odlišnost tání na sledovaných typech ploch (obrázek č. 56). Rozdíl mezi změnou u výšky sněhové pokrývky a vodní hodnoty u ploch nechráněných a chráněných popisuje první období mezi 22. únorem a 19. březnem. V případě nechráněných ploch došlo k pomalejšímu odtávání, v chráněných plochách dochází k většímu úbytku SCE i SWE. V druhém období je odtávání na nechráněných plochách podle očekávání vyšší. Poslední část grafu hodnotí průměrný počáteční a průměrný konečný stav na otevřených a chráněných plochách. Patrná je rychlejší odezva na vnější klimatické činitele v případě chráněných ploch.

Výsledky znázorňující vztahy chráněných a nechráněných ploch vůči větru (obrázek č. 57) prokázaly souvislost v povodí Zbytinského potoka s výškou sněhu a vodní hodnotou s rostoucí nadmořskou výškou. Zákonitosti klesajících hodnot obou sledovaných jevů prokazují spojnice trendu. Síla závislosti pomocí koeficientu determinace (tabulka č. 28) nebyla příliš vysoká v žádném z prováděných měření. Nejvyšší koeficienty determinace byly zjištěny při měření 19. 3. u nechráněných ploch (SCE- 0,26; SWE- 0,31). Nechráněné plochy vykazovaly ve všech měřeních klesající trend s rostoucí nadmořskou výškou. Chráněné plochy měly u SCE i SWE spojnice trendu sestupné s přibývajícím nadmořskou výškou. Vyjimku tvořily pouze situace 22. 2. 2010 u SWE a 25. 2. 2011 u SCE i SWE. Velmi nízké hodnoty koeficientů determinace jsou zapříčiněny malou výškovou členitostí a malou plochou povodí. Zákonitosti rozložení v prostoru jsou ovlivněny lokálními faktory, kde hraje dominantní roli přítomnost lesa.

Obrázek č. 55 a 56. Průměrná SCE a SWE na chráněných a nechráněných místech vůči větru a změna mezi průměrnými hodnotami SCE a SWE na chráněných a nechráněných místech vůči větru v povodí Zbytinského potoka



Obrázek č. 57: Vztah SCE a SWE k nadmořské výšce na chráněných a nechráněných plochách v povodí Zbytinského potoka



Tabulka č. 28: Koeficient determinace na chráněných a nechráněných plochách vůči větru ve vztahu s nadmořskou výškou.

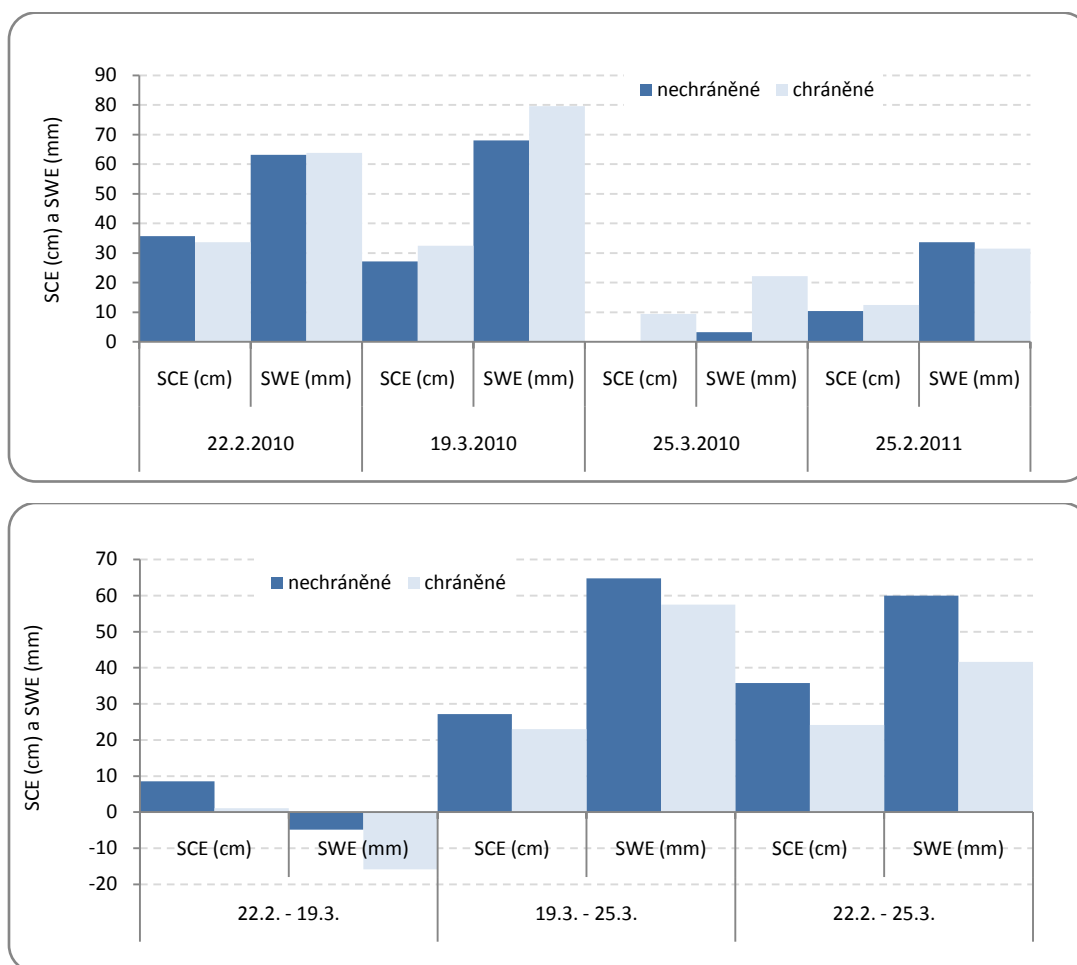
	R^2		Zbytinský	Tetřivčí
22.2.	SCE (cm)	ch	0	0,02
		n	0,05	0,13
	SWE (mm)	ch	0,04	0,01
		n	0,02	0,24
19.3.	SCE (cm)	ch	0,03	0,03
		n	0,26	0,08
	SWE (mm)	ch	0,05	0,02
		n	0,31	0,02
25.3.	SCE (cm)	ch	0,1	0,14
		n	0,01	-
	SWE (mm)	ch	0,1	0,22
		n	0	0,05
25.2.	SCE (cm)	ch	0,05	0,08
		n	0,04	0,55
	SWE (mm)	ch	0,05	0,04
		n	0,03	0,64
ch - chráněné před větrem				
n - nechráněné před větrem				

7.3.5.2. Tetřivčí potok

Výška sněhové pokrývky a vodní hodnota sněhu 22. 2. 2010 byla v povodí Tetřivčího potoka vyrovnanější než v případě povodí Zbytinského potoka (obrázek č. 58). Situace z 19. 3. potvrzuje vyšší hodnoty SCE a SWE na chráněných plochách, což se projevilo také 25.3. V sezóně 2011 byla na chráněných plochách vyšší SCE, v případě SWE bylo více sněhu na nechráněných plochách.

Změny mezi jednotlivými měřeními (obrázek č. 59) ukázaly vyšší úbytek na nechráněných plochách SCE, u SWE došlo k vyššímu nárůstu na chráněných plochách. Další dva časové úseky měly obdobné výsledky jako u povodí Zbytinského potoka, vyšší úbytek hodnot SCE i SWE nastal u nechráněných ploch.

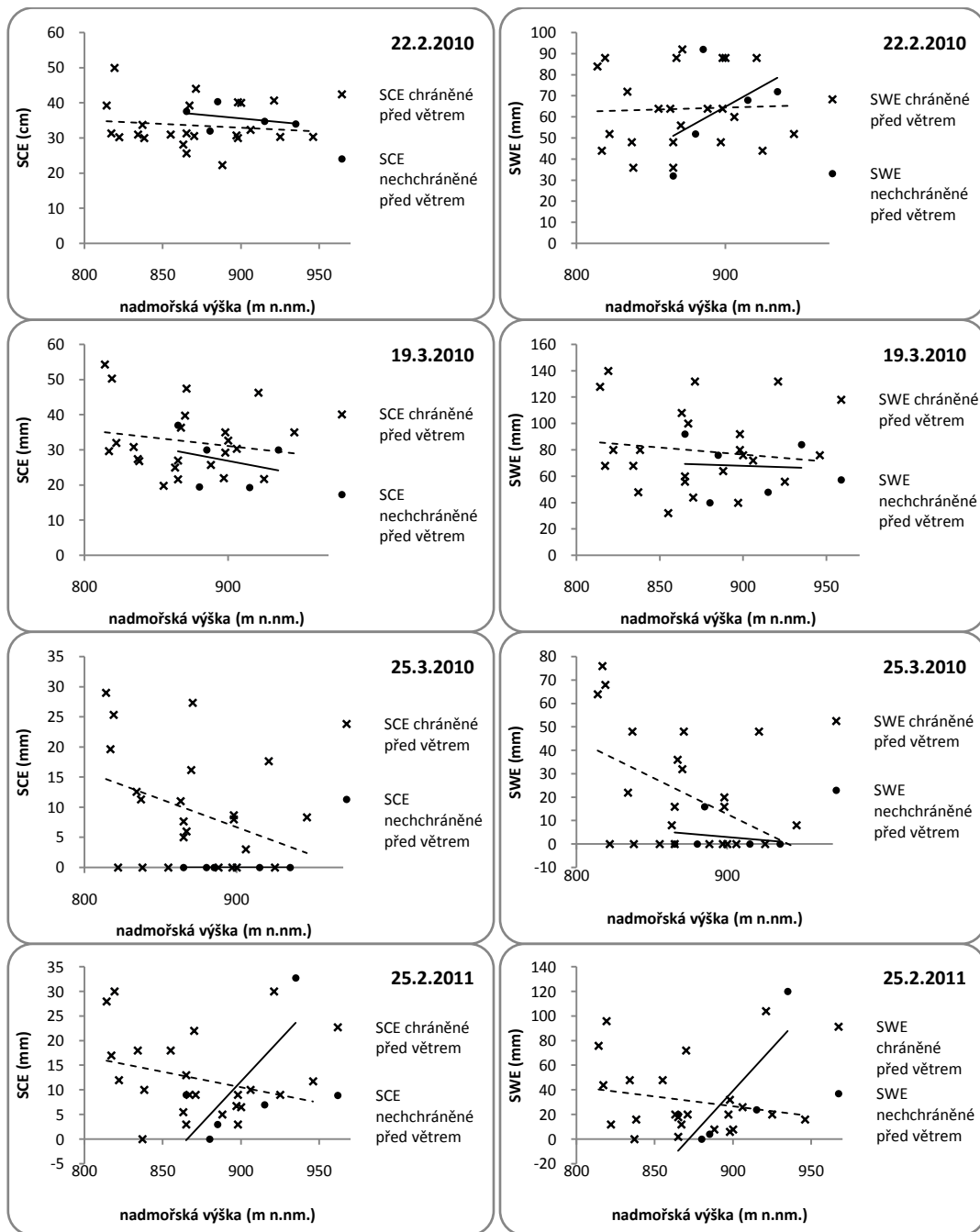
Obrázek č. 58 a 59 : Průměrná SCE a SWE na chráněných a nechráněných místech vůči větru a změna mezi průměrnými hodnotami SCE a SWE na chráněných a nechráněných místech vůči větru v povodí Tetřívčího potoka



Hodnocení vztahu mezi SCE a SWE na chráněných a nechráněných plochách ve vztahu k nadmořské výšce přineslo velmi různorodé výsledky (obrázek č. 60). Při pohledu na chráněné plochy jsou výsledné spojnice trendu klesající ve všech případech, což znamená pokles hodnot SCE i SWE s rostoucí nadmořskou výškou. Nejvyšší sklon má přímka u SCE a SWE 25.3. Bylo by ale chybné tvrdit, že na chráněných plochách ovlivnilo proudění větru prostorové rozložení v závěrečné fázi tání. Jedná se pravděpodobně o působení více činitelů s dominantním vlivem vegetace. Z výsledků na nechráněných plochách je patrný sestupný trend u SCE 22. 2. a 19. 3. U hodnot SWE byla 22. 2. spojnice trendu rostoucí se zvětšující se nadmořskou výškou, což je odlišný výsledek od SCE 22.2 vzhledem k tomu, že do této doby nedošlo k výrazným oblevám v povodí. V dalších měřeních měla již spojnice na nechráněných plochách sestupný trend a výsledky jsou obdobné u SCE a SWE. Situace na konci sezóny 2011 dává odlišné výsledky na chráněných a nechráněných plochách. Na grafu je patrný prudký sklon spojnice trendu a je zde vidět zcela opačný průběh přímky než je u

chráněných ploch. Výsledné hodnoty koeficientu determinace (tabulka č. 28) potvrdily závislost u nechráněných ploch (R^2 SCE- 0,55; R^2 SWE- 0,64). Výsledek může být ovlivněn malým počtem bodů na nechráněných plochách, kterých leží v povodí Tetřivčího potoka pouze 5, navíc jsou tyto body umístěny v nejvyšších polohách v povodí.

Obrázek č. 60: Vztah SCE a SWE k nadmořské výšce na chráněných a nechráněných plochách v povodí Tetřivčího potoka



7.3.6. Zastínění terénu

V obou sledovaných povodích došlo k rozdílnému vlivu zastínění na prostorové rozložení SCE i SWE. Výška sněhové pokrývky a vodní hodnota sněhu byla v obou sledovaných povodích ovlivněna dopadajícím slunečním zářením, především v lese nebo na rozhraní les-louka. Zastínění měrných bodů bylo způsobeno vegetací a dalšími objekty, převážně antropogenního původu: silniční nebo železniční násypy, budovy, sloupy elektrického vedení nebo deprese lokálního charakteru.

7.3.6.1. Zbytinský potok

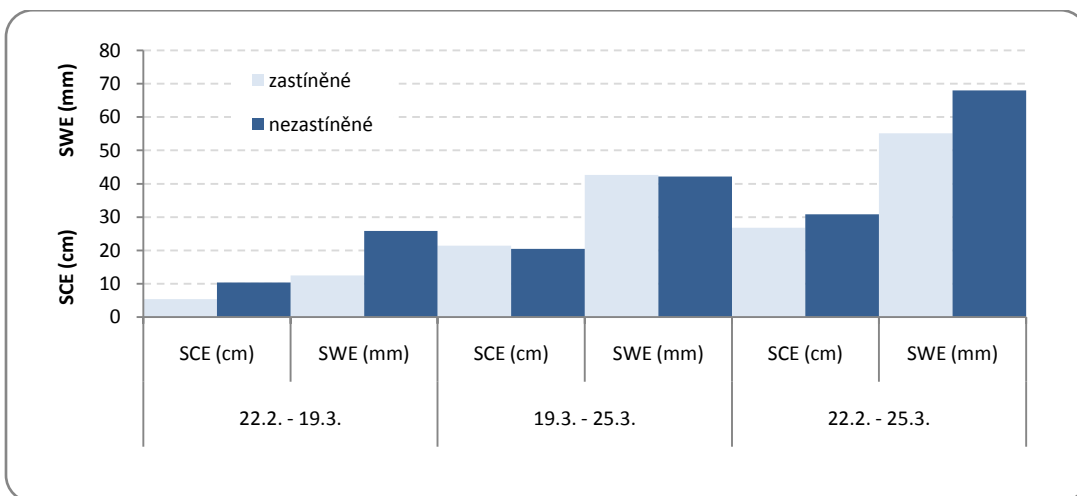
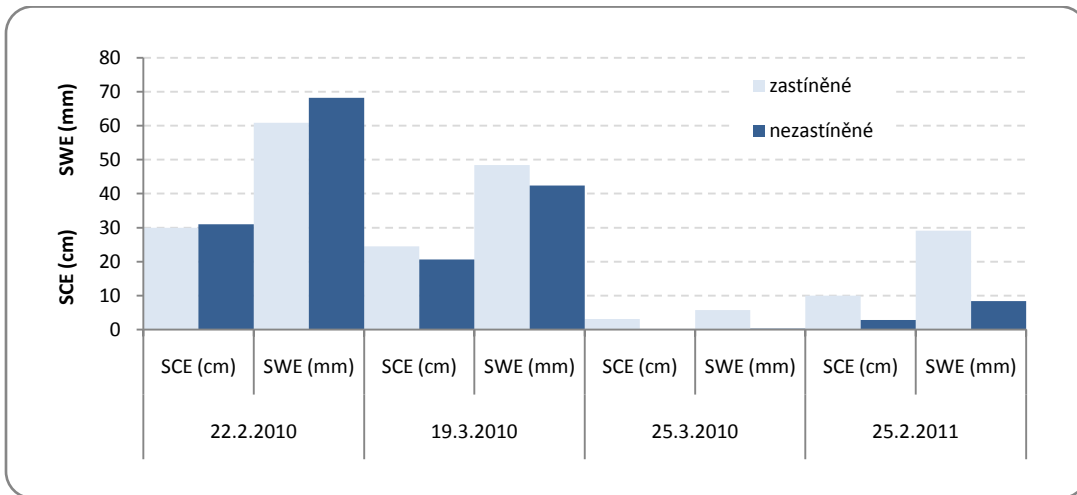
Z výsledků průměrné SCE a SWE v jednotlivých dnech měření (obrázek č. 61) jsou patrné vyšší hodnoty výšky sněhové pokrývky na zastíněných plochách v době tání (19. 3., 25. 3. 2010 a 25.2. 2011) a vyšší hodnoty na plochách nezastíněných v době akumulace sněhu (22.2 2010). Při terénních měřeních byly lokalizovány body, které se nacházejí větší část dne ve stínu. Mezi body zastíněné byly zahrnuty veškeré body v lese a ve většině případů také body ležící v bezprostřední blízkosti. Typickým případem jsou body ležící při západní rozvodnici. Mezi lesem a svahem vede silnice 1. třídy od obce Zbytiny směrem na Koryto a Arnoštov. Kromě již zmíněného lesa zde dochází k zastínění alejí vedoucí kolem silnice. Na těchto místech byly změřeny v obou zimních sezónách maxima pro celé povodí Zbytinského potoka. Nízké hodnoty osvětlení byly zjištěny na severozápadně orientovaném svahu v dolní části povodí. Vysokému zastínění terénu napomáhá vegetace, již zmíněná expozice a vyšší sklonitost. Tyto plochy byly v obou sezónách jako první bez souvislé sněhové pokrývky.

Rozdíly mezi jednotlivými měřeními potvrdily fakt, že na nezastíněných plochách dochází k větším úbytkům SCE i SWE (obrázek č. 62). V prvním úseku byly rozdíly v úbytku SWE na nezastíněných a zastíněných plochách 13 mm. Druhá fáze od 19. 3. do 25. 3. je vyrovnaná a rozdíly se liší pouze o jeden milimetr. Úbytky na zastíněných a nezastíněných plochách jsou mezi prvním a posledním měřením (22. 2. – 25. 3.) v případě průměrné SWE až o 13 mm rozdílné.

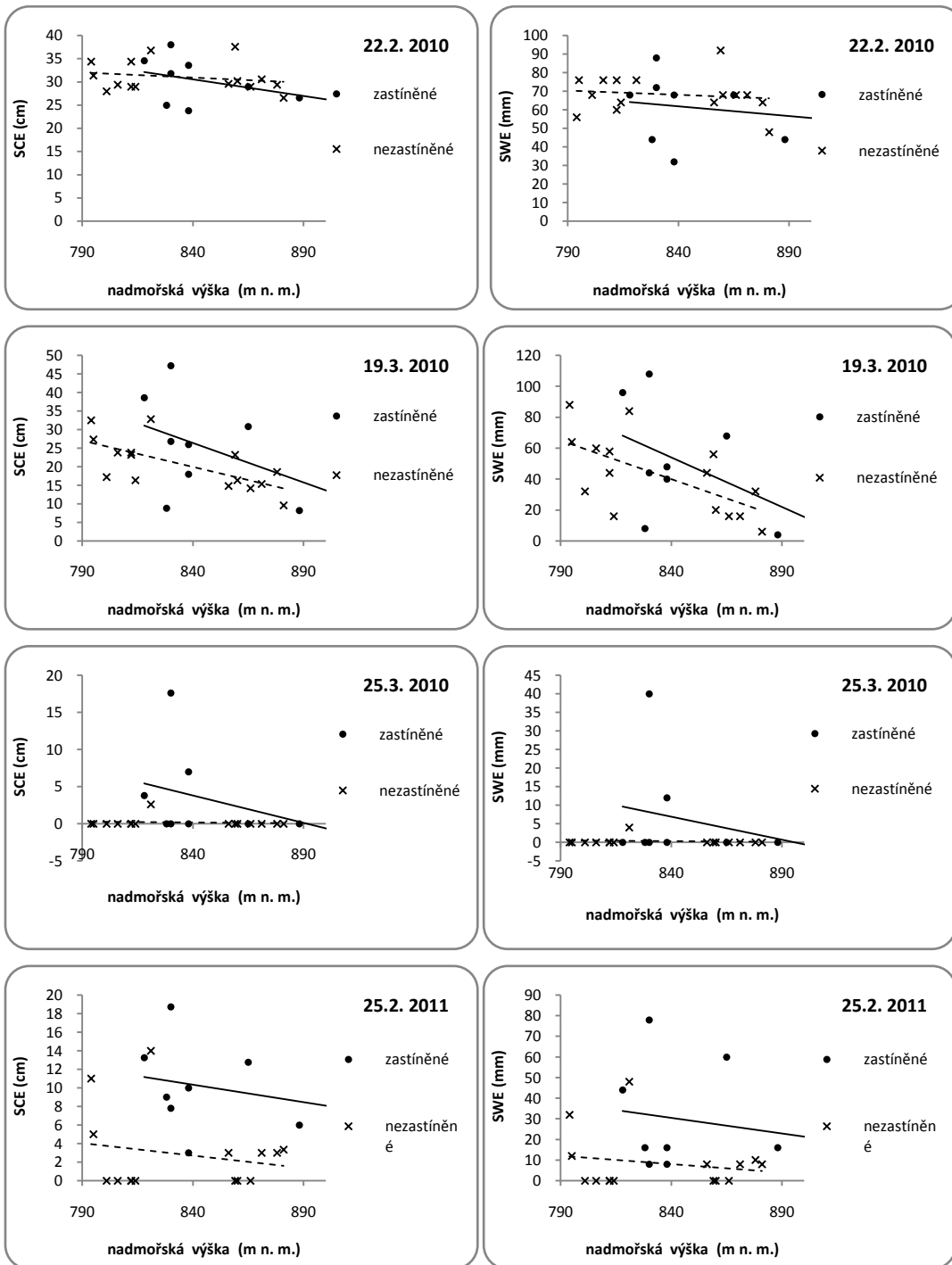
Koeficient determinace popisující vztah mezi SCE a SWE a nadmořskou výškou (obrázek č. 64) pomocí spojnice trendu byl ve všech měřeních sestupný. Rozdíly ve sklonu přímky jsou mezi SCE a SWE velmi malé. Nejvyšší sklon a přijatelná velikost závislosti koeficientu R^2 (tabulka č. 29) byla zjištěna na nechráněných plochách 19. 3. (SCE R^2 – 0,46;

SWE $R^2 = 0,4$). Znamená to tedy, že na nezastíněných plochách se zvyšovala mocnost sněhové pokrývky a vodní hodnty sněhu s rostoucí nadmořskou výškou.

Obrázek č. 61 a 62 : Průměrná SCE (cm) a SWE (mm) na zastíněných a nezastíněných místech a změna mezi průměrnými hodnotami SCE (cm) a SWE (mm) na zastíněných a nezastíněných místech v povodí Zbytinského potoka



Obrázek č. 63 Vztah SCE (cm) a SWE k nadmořské výšce na zastíněných a nezastíněných plochách v povodí Zbytinského potoka



Tabulka č. 29: Koeficient determinace (R^2) na zastíněných a nezastíněných plochách ve vztahu s nadmořskou výškou.

R^2		Zbytinský	Tetřívčí	
22.2.	SCE (cm)	nezastíněné	0,05	0,2
		zastíněné	0,19	0,05
	SWE (mm)	nezastíněné	0,02	0,04
		zastíněné	0,03	0
19.3.	SCE (cm)	nezastíněné	0,46	0,57
		zastíněné	0,23	0,05
	SWE (mm)	nezastíněné	0,4	0,57
		zastíněné	0,27	0,02
25.3.	SCE (cm)	nezastíněné	0,01	0,13
		zastíněné	0,13	0,19
	SWE (mm)	nezastíněné	0,01	0,28
		zastíněné	0,08	0,25
25.2.	SCE (cm)	nezastíněné	0,04	0,12
		zastíněné	0,06	0
	SWE (mm)	nezastíněné	0,03	0,05
		zastíněné	0,03	0

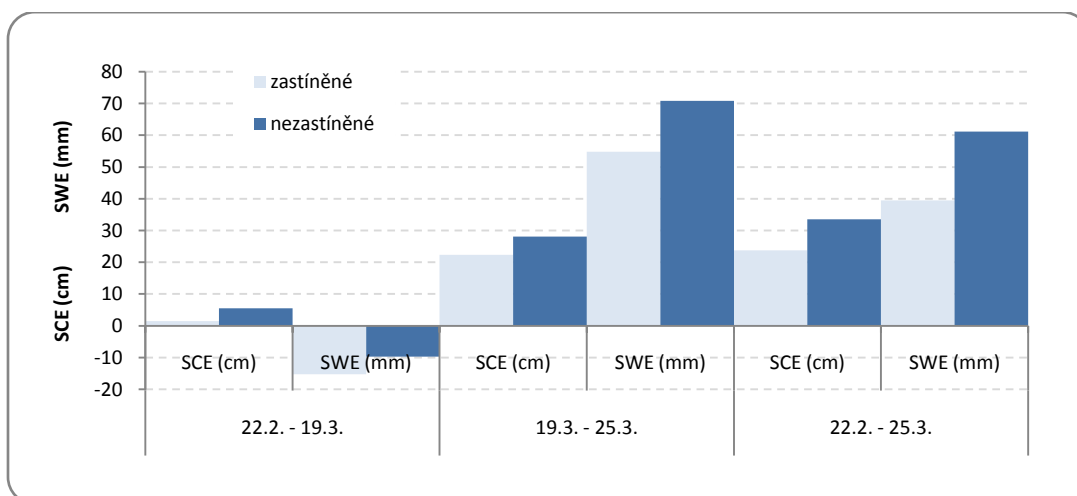
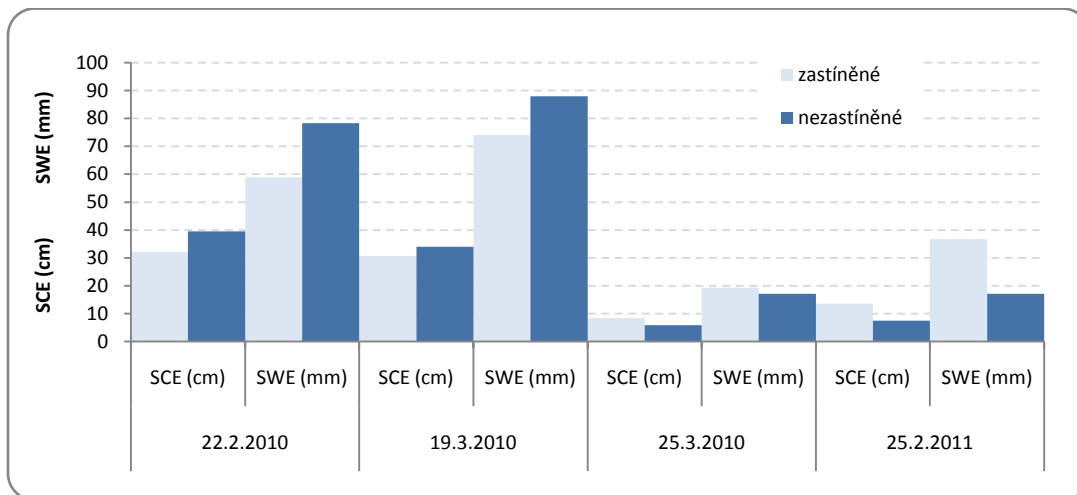
7.3.6.2. Tetřívčí potok

Z přehledu na obrázku č. 64 jsou patrné vyšší průměrné hodnoty SCE a SWE na nezastíněných plochách než na zastíněných. Doba tání se v porovnání s povodím Zbytinského potoka díky vlivu lesa projevila až na měření 25. 3. 2010. Na zastíněných plochách jsou vidět 25. 3. vyšší průměrné hodnoty SCE i SWE, a to i navzdory tomu, že velká většina nezastíněných bodů leží ve vyšších nadmořských výškách se severní expozicí. Měření v sezóně 2011 potvrzuje výsledky ze závěru sezóny 2010, kde mají zastíněné plochy více sněhu než nezastíněné.

Změna mezi měřeními 22. 2. a 19. 3. dokazuje vyšší úbytek sněhové pokrývky na nezastíněných plochách v případě SCE. Změny mezi jednotlivými dny měření jsou uvedeny na obrázku č. 65. Velký rozdíl nastal v porovnání s povodím Zbytinského potoka, kdy přibyla vodní hodnota sněhu v důsledku tání více na plochách zastíněných. Druhý časový interval ukazuje vyšší úbytky na nezastíněných plochách než na plochách zastíněných v případě SCE i SWE. Při porovnání stavu mezi první a posledním měřením (22. 2. – 25. 3.) ukazuje rozdíl

mezi změnou na zastíněných a nezastíněných plochách o 21 mm. V povodí Zbytinského potoka je rozdíl změny mezi těmito plochami 13 mm.

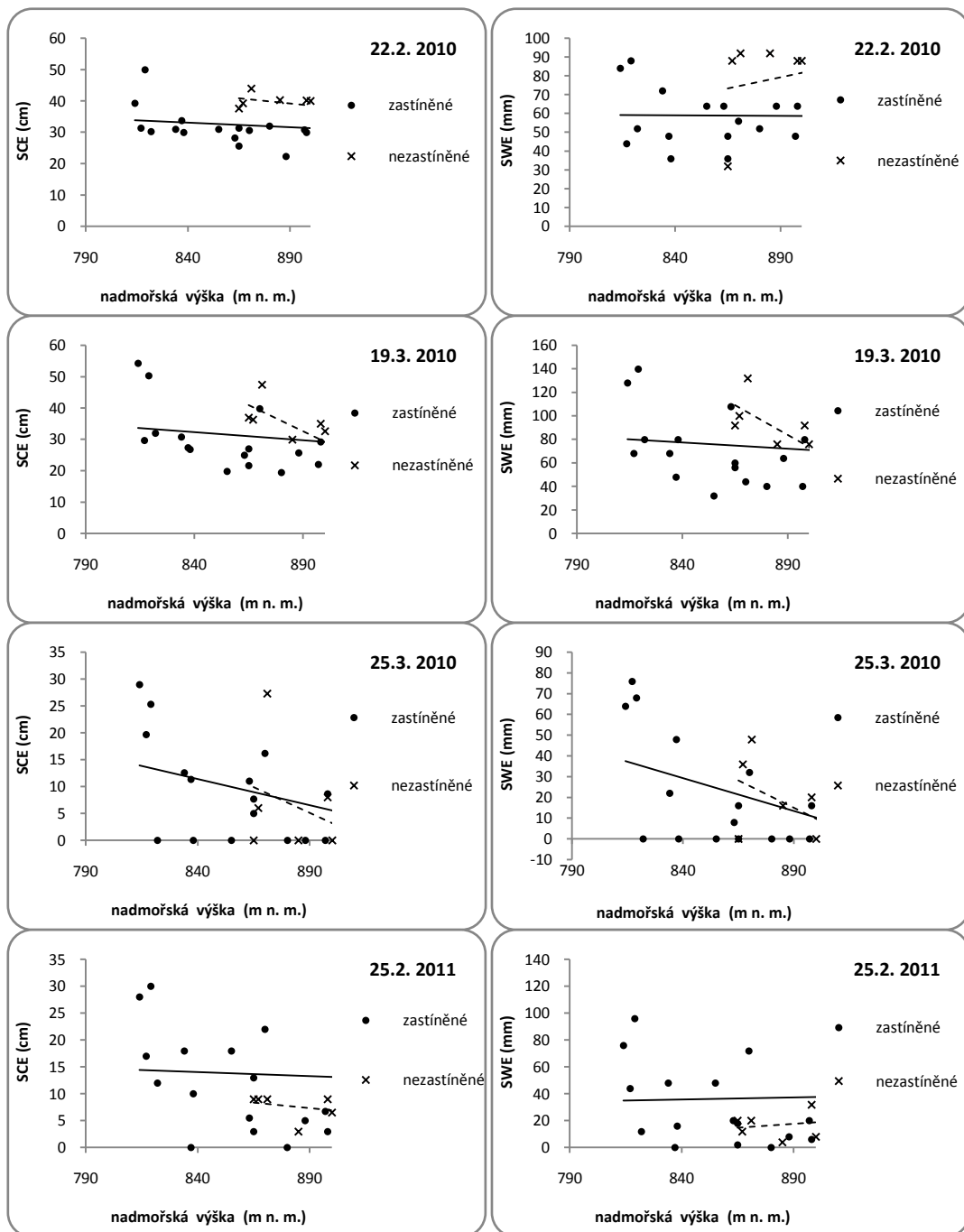
Obrázek č. 64 a 65 : Průměrná SCE (cm) a SWE (mm) na zastíněných a nezastíněných místech a změna mezi průměrnými hodnotami SCE (cm) a SWE (mm) na zastíněných a nezastíněných místech v povodí Tetřívčího potoka



Hodnocení pomocí spojnice trendu ukazuje 22. 2. vyrovnané sklony přímek na zastíněných plochách u SCE i SWE (obrázek č. 66). Nezastíněné plochy vykazují vyšší hodnoty SWE s vyšší nadmořskou výškou. U SCE je trend s přibývajícím nadmořskou výškou naopak sestupný. Výsledky z 19. 3. ukazují sestupný trend s rostoucí nadmořskou výškou, větší sklon přímky je u nezastíněných ploch. Na konci března (25. 3.) mají přímky u SCE i SWE sestupnou tendenci na zastíněných i nezastíněných plochách. Konec sezóny 2011 (25. 2.) ukazuje rozdílné trendy pro SCE a SWE. Přímky mají u SCE s rostoucí nadmořskou

výškou sestupný trend na obou typech ploch, v případě SWE mají již přímky rostoucí trend s nadmořskou výškou. Výsledky pomocí koeficientu determinace (tabulka č. 29) ukazují největší sílu závislosti na nezastíněných plochách při měření 19.3. (R^2 SCE i SWE = 0,57). Ostatní měření neprokázala dostatečně vysokou hodnotu tohoto koeficientu, což značí, že tato závislost je velmi slabá.

Obrázek č. 66: Vztah SCE (cm) a SWE k nadmořské výšce na zastíněných a nezastíněných plochách v povodí Tetřivčího potoka



7.4. MODELOVÁNÍ ODTOKU

7.4.1. Kalibrace modelu HEC- HMS

Modelování odtoku proběhlo v několika krocích. Nejprve byly pomocí modelu HEC-HMS provedeny kontinuální simulace zimní sezóny v povodí Zbytinského a Tetřívčického potoka. Cílem těchto simulací byla kalibrace parametrů a zjištění počátečních podmínek vodní hodnoty, které byly využity pro následnou simulaci vybraných epizodních odtokových událostí způsobených převážně táním sněhu. Počáteční parametry jednotlivých komponentů modelu jsou uvedeny na obrázku č. 67 a č. 68. Kalibrace byla zaměřena zejména na parametry sněhového modelu, určujících tání sněhové pokrývky. Správná kalibrace těchto parametrů byla nejdůležitějším krokem při simulování zimních odtokových událostí. Kalibrovány byly rovněž parametry základního odtoku (*Recession Constant* a *Threshold Value*).

Obrázek č. 67 a 68: Počáteční parametry povodí Zbytinského a Tetřívčického potoka

The image displays four screenshots of the HEC-HMS software interface, arranged in a 2x2 grid. Each screenshot shows the 'Subbasin' configuration window for a specific basin. The top row shows the 'Loss' tab for the 'Zbytinský' basin, and the bottom row shows the 'Baseflow' tab for the 'Tetřívčiči' basin. The 'Loss' tab includes parameters for Initial Abstraction, Curve Number, and Imperviousness. The 'Baseflow' tab includes parameters for Initial Type, Initial Discharge, Recession Constant, Threshold Type, and Ratio. The 'Transform' tab, which is active in the right-hand screenshots, includes parameters for Time of Concentration and Storage Coefficient.

Basin Name	Element Name	Parameter	Value
Zbytinský	Subbasin-1	Initial Abstraction (MM)	30,1
		*Curve Number	62,8
		*Impervious (%)	0,0
Zbytinský	Subbasin-1	*Time of Concentration (HR)	1,3
		*Storage Coefficient (HR)	1,17
Zbytinský	Subbasin-1	Initial Type	Discharge
		*Initial Discharge (M3/5)	0,01129
		*Recession Constant	0,85
		Threshold Type	Ratio To Peak
		*Ratio	0,1
Tetřívčiči	Subbasin-1	Initial Abstraction (MM)	31,268
		*Curve Number	61,9
		*Impervious (%)	0,0
Tetřívčiči	Subbasin-1	*Time of Concentration (HR)	0,95
		*Storage Coefficient (HR)	1,18
Tetřívčiči	Subbasin-1	Initial Type	Discharge
		*Initial Discharge (M3/5)	0,01136
		*Recession Constant	0,85
		Threshold Type	Ratio To Peak
		*Ratio	0,1

7.4.2. Simulace zimní sezóny 2009/2010 (18. 11. 2009– 30. 3. 2010)

Simulace zimní sezóny proběhla v povodí Zbytinského potoka v období od 18. 11. do 30.3. Zima byla v porovnání s ostatními sezónami odlišná podprůměrnými teplotami a byla bohatá na sněhové srážky. Maxima vodní hodnoty sněhu byla v povodí od konce ledna až do druhé poloviny března.

Na obrázku znázorňující denní průtok ve sledovaných zimních sezónách jsou v obou povodích znázorněné tři výrazné odtokové události způsobené převážně táním sněhu. První nastala v povodí Zbytinského potoka na konci prosince s kulminací 30. 12. 2009. Další dvě odtokové události nastaly ve druhé polovině února s kulminací 28. 2. a poslední, kdy došlo k roztání většiny sněhové pokrývky ve druhé polovině března s kulminací 21.3.

V povodí Tetřívčího potoka byl průběh tří výrazných odtokových událostí velmi podobný. Průtokové vlny mají stejný průběh, ovšem nástup, kulminace a pokles se díky přítomnosti lesa a vyšší nadmořské výšce zpožďuje. Největší rozdíl lze sledovat při březnové události, kdy se kulminace v povodí Tetřívčího potoka opozdila o 6 hodin.

Simulace zimní sezóny sloužila ke kalibraci parametrů sněhového modelu. Kalibrovány byly parametry *Px Temperature*, *Base Temperature*, hodnota DDF faktoru (*Meltrate function*) a *Groundmelt*. Kalibrace proběhla také u parametrů základního odtoku *Recession constant* a *Threshold Value*. Verze programu HEC-HMS 3.5 neobsahuje automatickou kalibraci, a proto bylo kalibrování prováděno ve všech případech manuálně. Kalibrované parametry jsou znázorněny v tabulce č. 30. Výsledné nastavení sněhového modelu je znázorněno na obrázcích č. 69 a č. 70. Simulace byly prováděny v denním kroku, vzhledem k povaze výpočtu objemu tání sněhové pokrývky, kde jsou indexy uvedeny v denním časovém kroku. Nevýhodou modelování denního kroku je neschopnost vystihnout denní chod tání sněhové pokrývky.

Tabulka č. 30: Hodnoty původních parametrů a po kalibraci v povodí Zbytinského a Tetřívčího potoka

Parametr	Jednotky	Model	původní hodnoty		po kalibraci	
			Zbytinský	Tetřívčí	Zbytinský	Tetřívčí
PX Temperature	[°C]	Meteorology model- snowmelt	0	0	0,9	0,9
Base Temperature	[°C]	Meteorology model- snowmelt	0	0	0,5	0,5
Wet Meltrate	[mm.°C.d-1]	Meteorology model- snowmelt	3,40	3,03	2,93	2,83
DDF	[mm.°C.d-1]	Meteorology model- snowmelt	1,57	1,21	1,1	1
Groundmelt	[mm.d-1]	Meteorology model- snowmelt	-	-	0,5	0,5
Recession Constant		Baseflow Model	0,85	0,85	0,997	0,99
Ratio to Peak		Baseflow Model	0,1	0,1	0,25	0,1

Obrázek č. 69 a 70: Nastavení sněhového modelu – povodí Zbytinského potoka a Tetřívčího potoka

The figure displays four screenshots of the snow model configuration interface, arranged in a 2x2 grid. Each screenshot shows a 'Temp Index' window for a specific model configuration.

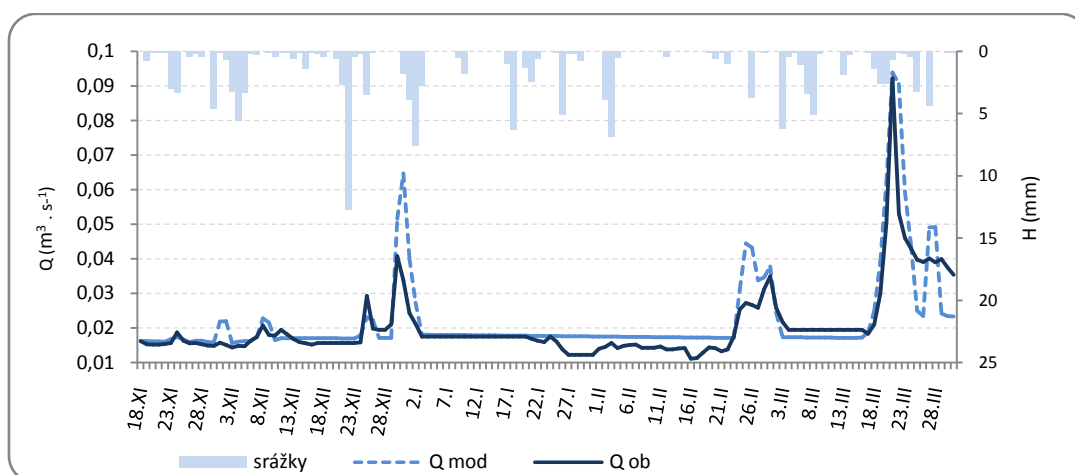
- Top-left screenshot:** Configuration for 'Met Name: zimazby2010den'. Parameters include: PX Temperature (0,9), Base Temperature (0,5), Wet Meltrate (2,9), Rain Rate Limit (1), ATI-Meltrate Coefficient (0,98), Meltrate Function (ati zby), Meltrate Pattern (--None--), Cold Limit (20), ATI-Coldrate Coefficient (0,84), ATI-Coldrate Function (ati coldrate2), Water Capacity (0), and Groundmelt (0,5).
- Top-right screenshot:** Configuration for 'Met Name: zimazby2010den' and 'Element Name: Subbasin-1', 'Band Name: Band 1'. Parameters include: Percent (100), Elevation (811), Index (MM), Initial SWE (0), Initial Cold Content (0), Initial Liquid Water (0), Initial Cold Content ATI (0), and Initial Melt ATI (0).
- Bottom-left screenshot:** Configuration for 'Met Name: zimatet2010den'. Parameters include: PX Temperature (0,9), Base Temperature (0,5), Wet Meltrate (2,8), Rain Rate Limit (1), ATI-Meltrate Coefficient (0,98), Meltrate Function (ati meltrate), Meltrate Pattern (--None--), Cold Limit (20), ATI-Coldrate Coefficient (0,84), ATI-Coldrate Function (ati coldrate2), Water Capacity (0), and Groundmelt (0,5).
- Bottom-right screenshot:** Configuration for 'Met Name: zimatet2010den' and 'Element Name: Subbasin-1', 'Band Name: Band 1'. Parameters include: Percent (100), Elevation (854), Index (MM), Initial SWE (0), Initial Cold Content (0), Initial Liquid Water (0), Initial Cold Content ATI (0), and Initial Melt ATI (0).

Koeficient Nash-Suitcliffe dosahoval přijatelnou shodu 0,53 u povodí Zbytinského potoka. Na obrázcích č. 71 a č. 72 model nadhodnocoval při průtokových vlnách vzniklých z tání sněhové pokrývky. Největší problém nastal při závěrečném roztání sněhové pokrývky, kdy model generoval několik výkyvů na poklesové větvi, zatímco ve skutečnosti proběhl

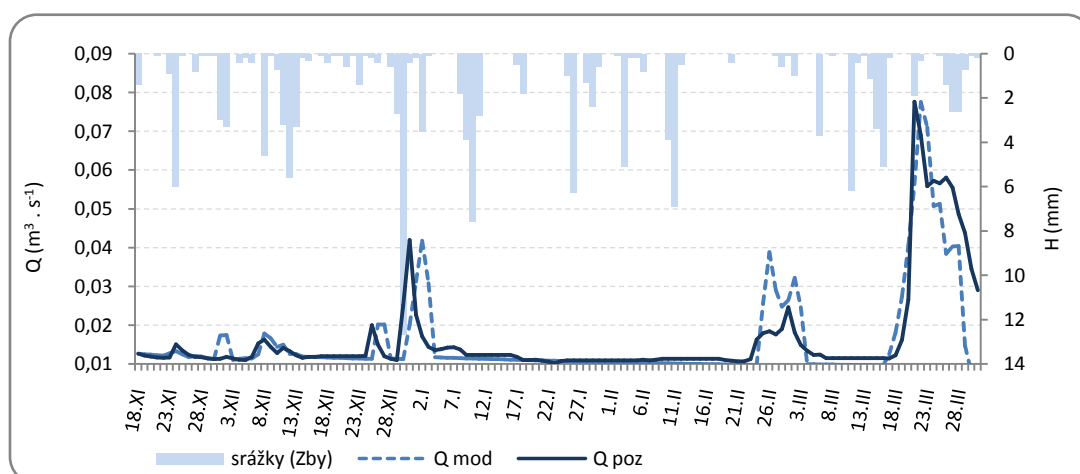
pokles rovnoměrně. Procentní objemová chyba dosáhla -8,6%. Objem odtoku byl modelem chybně určen pravděpodobně díky metodě SCS CN, která je určena pro simulace v délce maximálně 14 dnů, navíc hodnota CN křivek se v sezóně mění, např. v důsledku rostoucího nasycení půdy. Tato metoda následuje hned za výpočtem sněhového modelu, což mohlo také přispět k chybnému určení objemu vlny (Jeniček, 2009). Chyba kulminace byla v porovnání s Tetřivčím potokem vyšší u Zbytinského potoka (1,9%).

Vyšší hodnota koeficientu Nash-Sutcliffe, a tedy lepší shoda mezi modelovaným a pozorovaným průtokem, byla docílena u Tetřivčího potoka (0,66). Model vystihl v případě Tetřivčího potoka také lépe objem průtoků, kde je procentní objemová chyba 3,5%. Relativní chyba kulminace byla -0,2%. Přehled objektivních kritérií vyjadřujících úspěšnost simulace je souhrnně uveden v tabulce č. 31.

Obrázek č. 71: Simulace průtoku Zbytinského potoka od 18.11.2009 do 31.3.2010



Obrázek č. 72: Simulace průtoku Tetřivčího potoka od 18. 11. 2009 do 31.3.2010



Tabulka č. 31 : Objektivní kritéria simulace zimní sezóny 2009/2010

	2010	
	Zbytinský	Tetřívčí
Nash- Sutcliffe	0,58	0,66
VE (procentní objemová chyba) %	-8,6	3,5
MF (relativní chyba kulminace) %	1,9	-0,2

7.4.3. Simulace od 17. 2. do 4. 3. 2010

Na základě výsledků simulace zimní sezóny byla modelována průtoková vlna od 17. 2. do 4. 3. 2010. Tání sněhové pokrývky začalo 23. 2., tedy den po terénním měření, kde vodní hodnota dosahovala u Zbytinského potoka 62 mm a u Tetřívčího potoka 63 mm. Na obrázku č. 74 a č. 75 je znázorněn průběh měřeného a simulovaného průtoku spolu s modelovanou vodní hodnotou v denním kroku. K docílení optimální shody modelovaných a měřených průtoků bylo nutno upravit parametry sněhového modelu. Teplotní faktor tání s postupem sezóny se zvyšuje v důsledku změn teplotního deficitu, krátkovlnné radiace či albeda. Epizodní simulace nastala v druhé polovině zimy, proto lze očekávat vyšší hodnotu teplotního faktoru než v případě simulace zimní sezóny. Teplotní faktor byl proto navýšen u Zbytinského potoka na $1,7 \text{ mm} \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{d}^{-1}$, a u Tetřívčího potoka na $1,3 \text{ mm} \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{d}^{-1}$. Oproti zimní sezóně byla upravena kritická teplota (*Base Temperature*), při které nastává v povodí tání sněhu. Při kritické teplotě 0°C dosahoval model nejlepších výsledků mezi simulovanými a modelovanými hydrogramy. Přehled změn parametrů *DDF* a *Base Temperature* je uveden v tabulce č. 32.

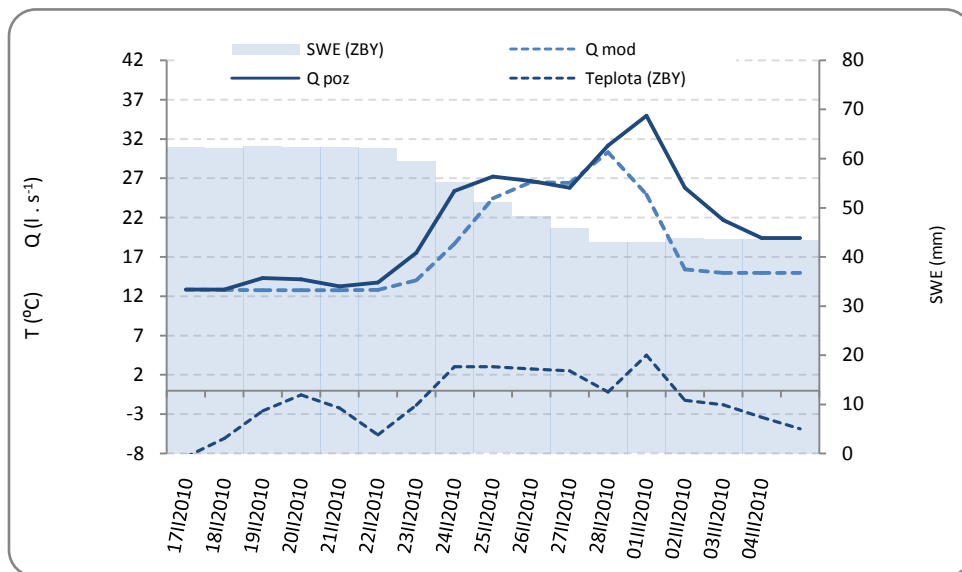
Koeficient Nash-Sutcliffe dosáhl přijatelné shody u Zbytinského potoka (0,54). Velká objemová chyba nastala v důsledku modelovaného podhodnocení průtokové vlny (-15,1%). Kulminace nastala v modelovaném průtoku o den dříve, také velikost kulminace se liší o -13,3% a nepřináší tedy příliš uspokojivou shodu. Úbytek vodní hodnoty činí 19 mm.

U Tetřívčího potoka jsou výsledky objektivních kritérií lepší. Koeficient Nash-Sutcliffe dosáhl dobré shody s měřeným průtokem (0,64). Objemová chyba je v porovnání se Zbytinským potokem výrazně lepší (-3,6%). Doba kulminace se stejně jako u Zbytinského potoka předchází o jeden den, chyba kulminace je -8,5%. Nižší úbytek vodní hodnoty je proti povodí Zbytinského potoka nižší a činí 14 mm. Seznam objektivních kritérií je uveden v tabulce č. 33.

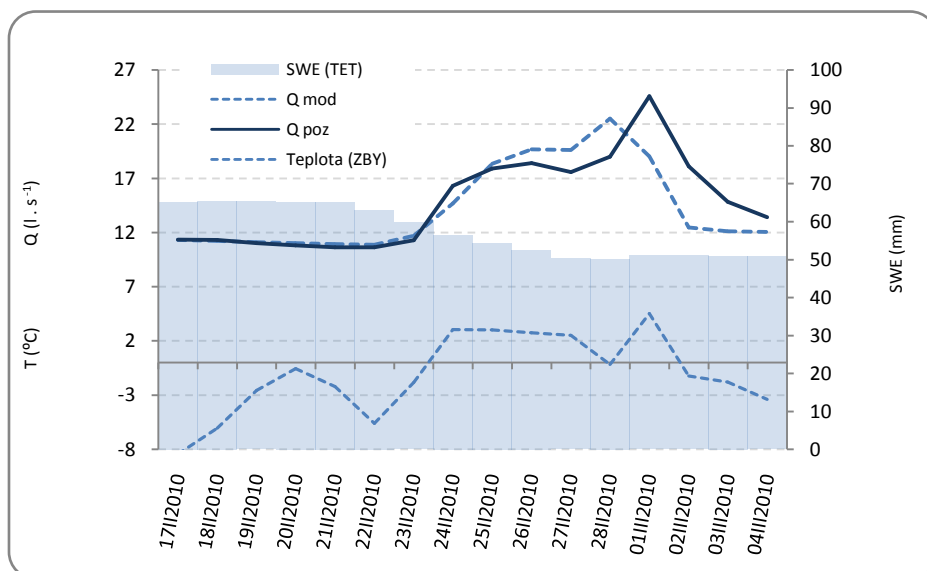
Tabulka č. 32: Kalibrované parametry v povodí Zbytinského a Tetřívčího potoka

	DDF (mm. °C . d. ⁻¹)		Base temperature (°C)	
	Zbytinský p.	Tetřívčí p.	Zbytinský p.	Tetřívčí p.
původní	1,57	1,21	0	0
zima 2010 a 2011	1,1	1	0,5	0,5
únor 2010	1,7	1,3	0	0

Obrázek č. 73: Simulace průtoku Zbytinského potoka od 17. 2. do 4. 3.2010



Obrázek č. 74: Simulace průtoku Tetřívčího potoka od 17.2.do 4. 3.2010



Tabulka č. 33 : Objektivní kritéria simulace od 17. 2. do 4. 3. 2010

%	Zbytinský	Tetřívčí
Nash-Suitcliffe	0,54	0,64
ME (objemová chyba)	-15,1	-3,6
VE (chyba kulminace)	-13,3	-8,5

7.4.4. Simulace zimní sezóny 2010/2011 (8. 11. 2009 - 30. 3.2010)

Simulace zimní sezóny byla provedena k ověření kalibrovaných dat ze zimní sezóny 2009/2010 a také ke zjištění počátečních podmínek pro další simulace. V modelovaném období lze pozorovat tři výrazné průtokové vlny způsobené převážně táním sněhu. První a nejvýraznější epizoda nastala po oblevě v polovině ledna s kulminací 14. 1. Druhá, méně výrazná průtoková vlna byla částečně způsobena srážkami, a měla maximum na začátku února. Kulminace Zbytinského potoka nastala 6. 2., na rozdíl od Tetřívčího potoka, který měl odlišný průběh vlny s kulminací 12.2. Při třetí epizodě došlo k roztátí sněhové pokrývky s maximem průtoku 18.3. Hydrogram modelovaného a simulovaného průtoku je znázorněn na obrázcích č. 75 a č. 76 a souhrn s objektivních kritérií je uveden v tabulce č. 34.

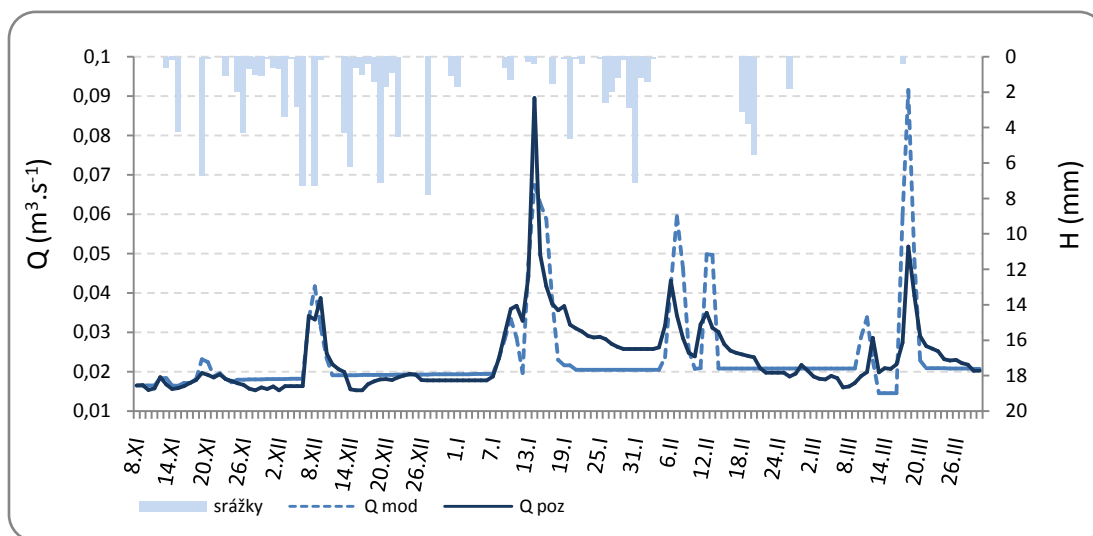
V povodí Zbytinského potoka dosáhla hodnota koeficientu Nash-Sutcliffe 0,34. Objem byl modelem podhodnocen pouze o 0,4%. Horší výsledky byly oproti předchozí simulaci dosaženy v chybě kulminace. Zbytinský potok se lišil v kulminaci o 2,3%. Modelovaná kulminace nastala až v samotném závěru sezóny (18. 3.), ale skutečný maximální průtok nastal již 14. 1., což zkresluje celkové hodnocení kulminační chyby. Celkovou horší úspěšnost při modelování průtoku u Zbytinského potoka by mohlo zapříčinit antropogenní ovlivnění povodí, která jsou pozůstatkem po tehdejší hospodářské činnosti na území v okolí obce Zbytiny. Povodí je odvodňováno podpovrchovou meliorací a koryto je osazeno betonovými deskami. Dochází tak k urychlení odtoku vody z povodí a znesnadňuje tím korektní modelaci průtoku. Hodnoty objektivních kritérií ukazujících úspěšnost simulace je pro obě povodí souhrně uveden v tabulce č. 34.

V povodí Tetřívčího potoka byla docílena uspokojivá shoda koeficientu Nash-Sutcliffe (0, 50). Koeficient popisující objemovou chybu podhodnotil celkový objem simulace o 2, 7%. Chyba kulminace dosáhla v povodí Tetřívčího potoka -16, 1 %.

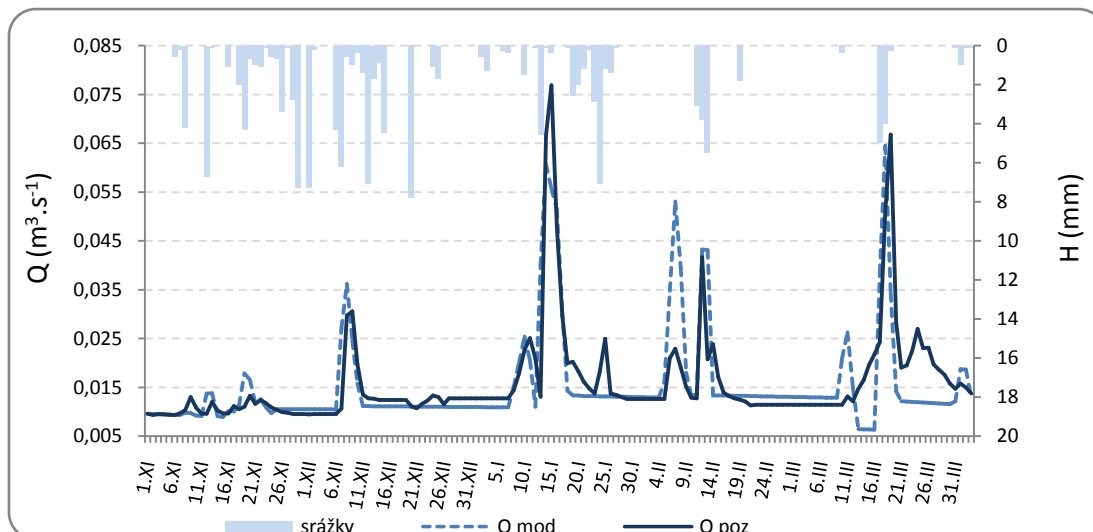
Tabulka č. 34 : Objektivní kritéria simulace zimní sezóny 2010/2011

%	2011	
	Zbytinský	Tetřivčí
Nash- Sutcliffe	0,34	0,5
VE (procentní objemová chyba)	-0,4	-2,7
MF (relativní chyba kulminace)	2,3	-16,1

Obrázek č. 75: Simulace průtoku Zbytinského potoka od 8. 11. 2009 do 30. 3.2010



Obrázek č. 76: Simulace průtoku Tetřivčího potoka od 1. 11. 2010 do 3. 4. 2011



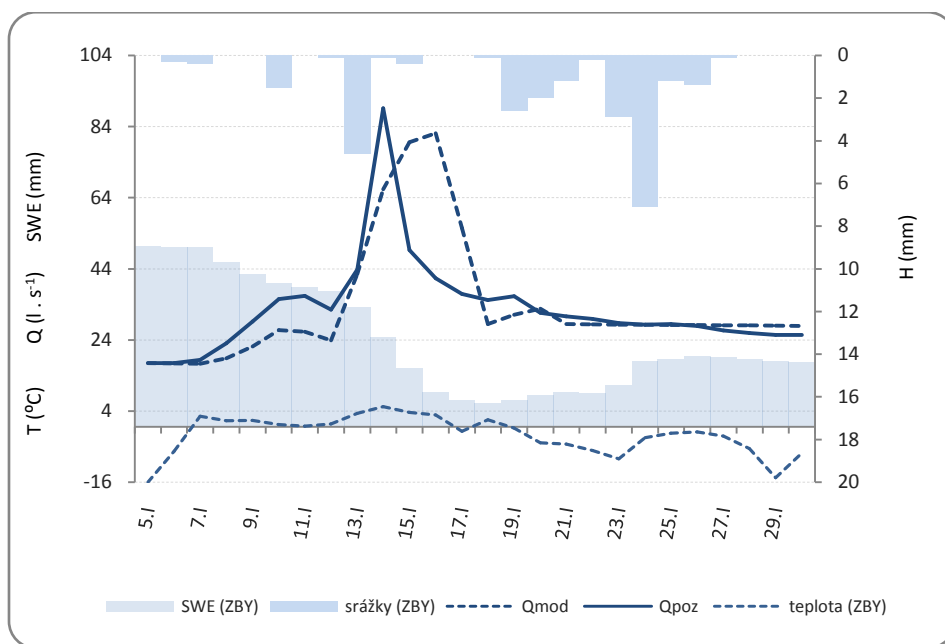
7.4.5. Simulace od 5. 1. do 30. 1. 2011

Lednová simulace byla největší odtokovou událostí v zimní sezóně 2010/211 z pohledu objemu a kulminace, při které došlo k roztání velké části vodní hodnoty sněhu. Na rozdíl od simulace provedené v únoru 2010 (17.2. - 4. 3. 2010) se na tání sněhové pokrývky podílely dešťové srážky. Podle výsledků uvedených na obrázku č. 77, č. 78 a objektivních kritériích v tabulce č. 35 se výsledky modelací v obou povodích liší. Potvrdil se fakt, že model má problémy se simulací zejména při poklesu průtokových vln, větší nepřesnosti byly zaznamenány u Zbytinského potoka.

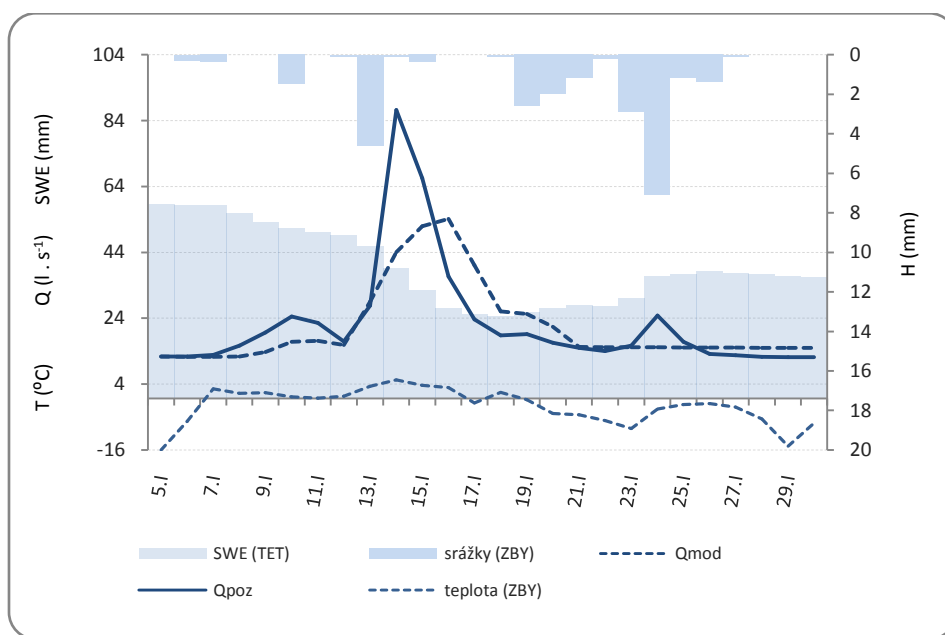
Zbytinský potok nedosáhl z pohledu koeficientu Nash-Sutcliffe uspokojivé shody, která byla pouhých 0,20. Největší problém nastal na poklesové větvi, kde se modelovaný průtok lišil od měřeného nejvíce. Nástup průtokové vlny byl díky úpravě kritické teploty vystižen dobře. Přehled změny parametru kritické teploty (*Base Temperature*) je uveden v tabulce č. 36. Na simulovaných hydrografech se ukazuje problém při stanovení parametrů ve sněhovém modelu, které se mohou s časem měnit. Problematikou změn parametrů se práce věnuje v diskuzi. Objemová chyba dosáhla 2, 3 % a větší odchylku lze sledovat ve velikosti kulminace, kde byla hodnota o 7, 9% nižší než u naměřeného průtoku. Na simulaci je patrný úbytek vodní hodnoty za sledované období, který činí 44 mm.

Tetřívčí potok byl z pohledu koeficientu Nash-Sutcliffe modelován přesněji, kdy dosáhl shody 0,60. Větší odchylky lze pozorovat u objemu (-4,4%) a u velikosti kulminace (-37,7%). V povodí Tetřívčího potoka je patrný nižší úbytek vodní hodnoty sněhu než v povodí Zbytinského potoka, který činí 34 mm. Vodní hodnota má minimální stav 25 mm 18. ledna, zatímco v povodí Zbytinského nastává nejnižší vodní hodnota 7 mm 7. ledna, a dochází tak k roztání většiny objemu sněhu v povodí.

Obrázek č. 77: Simulace průtoku Zbytinského potoka od 5. 1. do 30. 1. 2011



Obrázek č. 78: Simulace průtoku Tetřívčího potoka od 5. 1. do 30. 1. 2011



Tabulka č. 35 : Objektivní kritéria simulace od 5.1. do 30.1.2011

	2011	
	Zbytinský	Tetřívčí
Nash- Sutcliffe	0,21	0,60
VE (procentní objemová chyba %)	2,3	-4,4
MF (relativní chyba kulminace %)	-7,9	-37,7

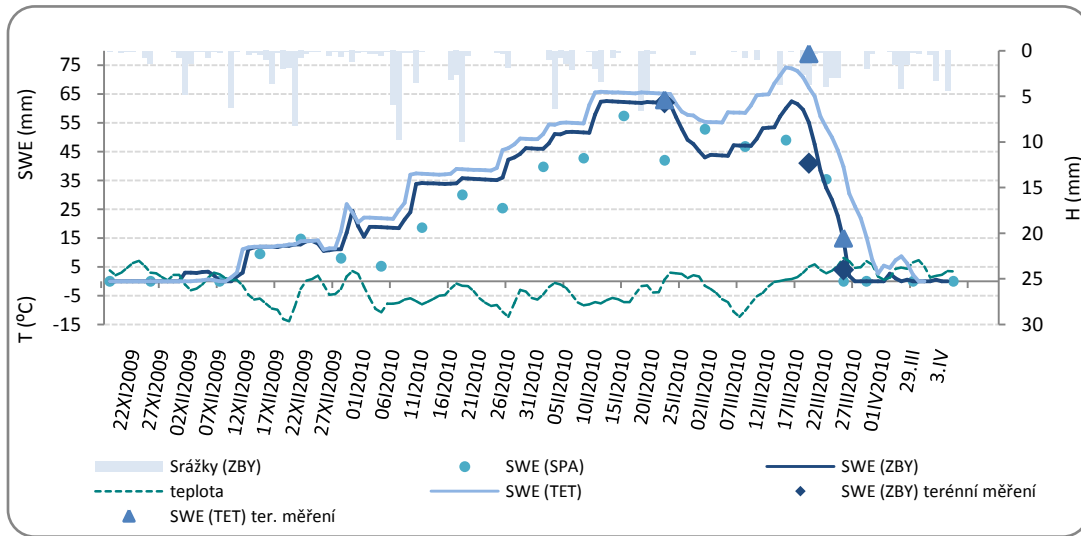
Tabulka č. 36: Kalibrované parametry v povodí Zbytinského a Tetřívčího potoka

	Base temperature (°C)	
	Zbytinský p.	Tetřívčí p.
původní	0	0
leden 2011	-0,5	-0,5

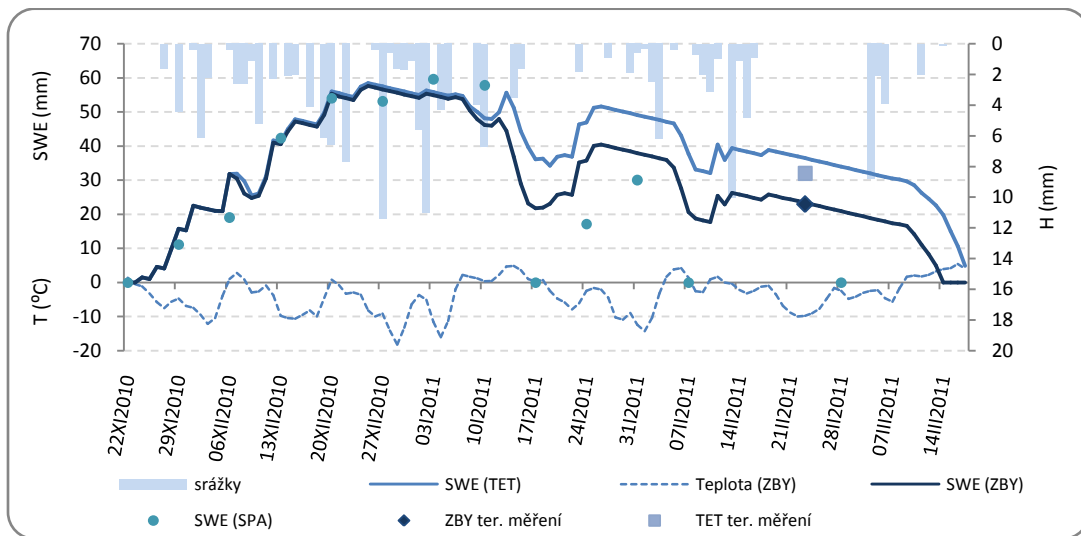
7.4.6. Modelování vodní hodnoty sněhu v zimních sezónách 2009/2010 a 2010/2011

Vodní hodnota sněhu byla porovnána s výsledky terénních měření. Na obrázku č. 79 je vidět dobrá shoda měřených a modelovaných SWE v sezóně 2009/2010. Dobře vystihl model období vrcholné fáze zimy, naproti tomu v období tání je patrný rozdíl mezi oběma povodími a také horší shoda mezi modelovanými a naměřenými hodnotami. V sezóně 2010/2011 byla v simulaci vodní hodnoty docílena dobrá shoda s naměřenými hodnotami (obrázek č. 80). Porovnání se stanicí Spálenec není reprezentativní, obzvláště pak v lesnatém území Tetřívčího potoka, které má odlišný charakter území a rozdílnou nadmořskou výšku. Údaje o vlastnostech sněhové pokrývky zjistitelné z modelování vodní hodnoty byly využity pro další detailnější modelování epizodních událostí. Z detailních simulací v únoru 2010 a lednu 2011 se uplatňuje vliv tání sněhové pokrývky na odtok v důsledku zvýšení teploty, případně v kombinaci s dešťovými srážkami. Větší příspěvek vodní hodnoty do odtokového procesu je podle předpokladů vyšší u Zbytinského potoka. V povodí Tetřívčího potoka dochází k ubývání vodní hodnoty s nižší intenzitou. Sněhová pokrývka má tedy ve Zbytinském potoce vyšší vliv na odtok, zároveň však na odtok působí při jarním tání kratší dobu než v povodí Tetřívčího potoka.

Obrázek č. 79: Porovnání vodní hodnoty sněhu v povodí Zbytinského a Tetřívčího potoka v zimní sezóně 2009/2010



Obrázek č. 80: Porovnání vodní hodnoty sněhu v povodí Zbytinského a Tetřívčího potoka v zimní sezóně 2010/2011



8. DISKUZE

Uvedená práce přinesla nové poznatky k poznání procesů akumulace a tání sněhové pokrývky a hodnocení její prostorové variability v experimentálních povodích Zbytinského a Tetřívčího potoka. Zároveň však poukázala na řadu nejistot a možnosti dalšího výzkumu v této problematice. Diskuze se systematicky věnuje jednotlivým částem podle chronologické posloupnosti.

Stěžejním úkolem práce bylo měření v terénu při sněhoměrných kampaních. Jedním z hlavních a nejdůležitějších kroků ke správnému zhodnocení prostorové variability sněhové pokrývky je rozmístění a počet měrných bodů. Díky malé rozloze povodí nejsou sněhoměrné kampaně tak časově a fyzicky náročné, což umožňuje vytvořit dostatečně hustou síť měrných bodů. Díky takové síti měrných bodů charakterizujících reliéf a typ vegetace, lze pak získat velké množství informací o výšce sněhové pokrývky a vodní hodnotě sněhu v daných podmínkách. Volba měrné sítě by měla vždy vycházet z dobré znalosti terénu a jeho vlastností, které se mají porovnávat. Z tohoto pohledu by bylo zajímavé zvolit síť tak, aby vystihovala párové měření, které zahrnuje měrný bod v lese a na otevřené ploše.

Vlastní sněhoměrné kampaně proběhly se snahou vystihnout co nejlépe období tání sněhu, což se povedlo v první sledované zimní sezóně 2009/2010. V druhé sezóně byla síť měrných bodů zkvalitněna, byly přidány body mimo hranice povodí. Při sněhoměrných kampaních se bylo nutné provést kompletní měření v co možná nejkratší době, kdy dochází k odtávání sněhové pokrývky a mění se vlastnosti sněhu. Při odběru vzorku za pomoci sněhoměru může dojít ke shrnutí sněhu mimo odběrný válec, a výsledkem toho je pak nižší naměřená vodní hodnota. Jeníček a kol. (2008) poukazují na problematický odběr vzorku sněhu za pomoci sněhoměrného válce. Ve vzorku jsou často zledovatělé části sněhu, které tvoří ledové krusty při povrchu a znesnadňují tak odběr vzorku. Výsledná vodní hodnota pak může být chybně určena v důsledku větší váhy. Při odběru nastává nejistota v přesnosti použité váhy (Jeníček a kol., 2008), kde může v konečné fázi dosahovat 2 mm rozdílu ve vodní hodnotě.

Z kapitoly popisující fyzicko-geografické faktory, které ovlivňují akumulaci a tání sněhové pokrývky je uváděn jako nejdůležitější prvek vegetace. Dominantní vliv vegetace je dán charakterem území, zejména malou rozlohou a nízkou výškovou členitostí. Z tohoto

důvodu se výrazněji neprojevily ostatní faktory jako např. nadmořská výška, sklonitost, expozice nebo větrné proudění. Detailní vyhodnocení dalších faktorů pak díky dominantnímu vlivu vegetace může zkreslovat výsledky i působení jiných vlivů (nadmořská výška, expozice, sklonitost, větrné proudění, zastínění). Je zřejmé, že se ostatní geografické faktory určující prostorovou variabilitu ovlivňují navzájem, s vyšší intenzitou na nezalesněných plochách. V české i zahraniční literatuře se můžeme setkat s porovnáním SCE a SWE v prostředí otevřených a uzavřených ploch, případně v zalesněném a nezalesněném prostředí.

Závislost nadmořské výšky se SCE a SWE se neprojevila ve větší míře ani na plochách bez vegetace, k čemuž přispěla malá výšková členitost. Rozdílnost vlivu nadmořské výšky na SCE a SWE byla patrná při porovnání obou výzkumných povodích. Hodnoty SCE i SWE se liší nejen v povodích, ale také v době akumulace a tání sněhu. V zalesněném povodí Tetřívčího potoka je patrné v prvních dvou měřeních (22. 2. a 19. 3.) rovnoměrnější rozložení SCE a SWE v jednotlivých výškových pásmech, což je z velké části důsledek vlivu lesa. Rozdíly mezi měřeními dokazují v povodí Tetřívčího potoka vyšší úbytky sněhu s vyšší nadmořskou výškou v období tání, zatímco v povodí Zbytinského potoka je situace opačná. Celkové úbytky sněhu jsou vyšší v povodí Zbytinského potoka. Tyto rozdíly lze tedy přisoudit vlivu lesa a rozmístěním měrných bodů ve vztahu k vegetaci.

Určitá spojitost mezi sklonitostí, SCE a SWE se výrazněji projevila v povodí Tetřívčího potoka. Zde na plochách s vyšší sklonitostí docházelo k vyššímu roztání sněhové pokrývky. V povodí Zbytinského potoka docházelo k vyššímu tání s rostoucí sklonitostí v první fázi, ovšem v dalším časovém úseku byla situace opačná. Vliv sklonitosti by se dal očekávat více u Zbytinského potoka, který má nepatrně sklonitější plochy. Fakt, že se výrazněji neprojevila sklonitost na prostorovém rozložení SCE a SWE, lze přisoudit reliéfu, který není příliš vhodný pro posouzení takovéto závislosti. Projevuje se zde stejně jako u nadmořské výšky vliv vegetace. Body, které mají vyšší sklonitost, leží v povodí Zbytinského potoka na odlesněných plochách, zatímco v případě Tetřívčího potoka jsou tyto body umístěné v lese. Při malém počtu bodů může tento fakt hrát zcela zásadní roli.

Vliv expozice byl hodnocen především na základě analýzy paprskových grafů, které při porovnání povodí Zbytinského a Tetřívčího potoka prokázaly vliv vegetace v období tání (19. 3. 2010). Expozice potvrdila rozdílnost obou povodí hlavně na otevřených plochách povodí Zbytinského potoka, kde lze pozorovat větší rozkolísanost. Nevýhodou při hodnocení tohoto faktoru byla chybějící východní expozice, která se v povodích vyskytuje jen velmi malou částí. Kvalitnější hodnocení vlivu expozice by se dalo docílit rovnoměrnějším zastoupením bodů s různou expozicí.

Asi největší pochybnosti se objevily při hodnocení vlivu větru, který je na sledovaném území velmi těžké zhodnotit. Měrné body byly rozděleny na místa, kde je zjevný vliv působení větru a kde nikoliv. V povodí lze pouze spekulovat o směrech proudění a to může být na tak malém prostoru různorodé. Analýza těchto dat byla navíc s největší pravděpodobností ovlivněna jinými faktory, kromě již zmíněné vegetace např. zastíněním, expozicí nebo nadmořskou výškou.

Zajímavé výsledky při hodnocení zastínění terénu by se daly docílit pomocí funkce *hillshade* ve *Spatial Analyst*. Další varianta hodnocení zastínění jsou kombinování rastrů sklonu a expozice při určité poloze Slunce nebo využití funkcí toolboxu *Solar Radiation*.

Rozdílná intenzita akumulace a tání sněhové pokrývky v různých typech pokryvu byla potvrzena stejně jako české, slovenské ale i v zahraniční literatuře uvedené v rešerši. Kantor (2007) ve své práci porovnává sněhovou pokrývku v listnatém a v jehličnatém lese. Z jeho výsledků jsou v období akumulace velmi malé rozdíly mezi těmito typy pokryvu, v období tání se liší rychlost tání v listnatém a jehličnatém lese, což koresponduje s rozdíly v jehličnatém a listnatém lese v této práci.

Pobříšlová a Kulasová (2000) poukazují na efekt vegetačního krytu a expozice svahů, které mohou způsobit velmi značné rozdíly a překrýt tak vliv menších rozdílů v nadmořské výšce. Výsledky práce Pobříšlové a Kulasové (2000) uvádějí, že na mýtinách dochází k rychlejšímu tání než v lese na rozdíl od výsledků této práce. Tento fakt poukazuje na nejasné typologické zařazení mýtin, které je do jisté míry ovlivněno subjektivním výběrem autora. Mýtiny jsou v práci Pobříšlové a Kulasové (2000) brány jako otevřené plochy, zatímco v této práci mají charakter nezalesněného, vykáceného území původního lesa, chráněných před prouděním větru. Takovýto popis mýtin bychom našli např. v práci Podzimka (2009) nebo Pevné (2010). Diskutabilní jsou ovšem plochy vyskytující se na rozhraní louka- les, které jsou chráněny před větrným působením a jsou zastíněny, i když svou polohou odpovídají spíše loukám. Zároveň však u mýtin větší rozlohy nemusí docházet k zastínění a ochrana před větrem je menší než u mýtiny menší rozlohy.

Hříbík a Škvarenina (2006) se zabývá monitoringem vlivu nadmořské výšky, lesního porostu, expozice a různého typu počasí na hydrofyzikální vlastnosti sněhové pokrývky. Porovnání zimních sezón 2004 a 2005 z hlediska výšky sněhové pokrývky a vodní hodnoty v různém typu pokryvu ukazuje vyšší hodnoty obou charakteristik na volné ploše až do vrcholu sezóny. Ve smrkovém lese je vyšší vodní hodnota sněhu, než v listnatém lese v oceánském typu podnebí. Kontinentální typ podnebí ovšem ukazuje, že vodní hodnota může být až do vrcholu zimy vyšší v listnatém lese. Z uvedených poznatků je zřejmé že se na

mocnosti sněhové pokrývky a velikosti vodní hodnoty sněhu v každé sezóně výrazně projevuje charakter klimatu. Z tohoto pohledu se ukazuje, že pro monitoring výšky sněhové pokrývky a vodní hodnoty sněhu by bylo třeba více než dvouleté pozorování.

V kapitole modelování odtoku modelem HEC-HMS 3.5 se objevila celá řada nejistot spojená odvozením vstupních dat a počátečních podmínek v povodí, zvolenými metodikami nabízených v modelu HE-HMS až po následnou interpretaci modelovaných průtoků.

Data naměřená v terénu byla zatížena značnou nejistotou, ať už se jednalo o vodní hodnotu sněhu nebo o časové řady srážek a teploty vzduchu. Časové řady srážek byly hodnoceny na základě údajů za stanice Zbytiny (ZBY). Ukázalo se, že pro modelování několikadenních simulací je stanice ZBY dostačující, i když se v minulosti upřednostňovaly data ze Spálence (SPA). Data ze stanice ZBY by mohla být problematická při modelování celé zimní sezóny, kde se celkový úhrn srážek od stanice Spálenec (SPA) lišil. Srážkoměr Koryto (KOR) vykazuje podle hodnocení Malého (2008) větší rozkolísanost, což může znamenat buď větší prostorovou variabilitu, nebo nereprezentativní polohu stanice. Jedním z důvodů pro vyšší rozkolísanost by mohla být podle Malého (2008) vyšší nadmořská výška než u stanic ZBY a SPA. Zde se nabízí porovnání s měřenými hodnotami mocnosti sněhové pokrývky nebo vodní hodnoty, kde se ani v jednom případě neprojevil vliv nadmořské výšky. Uvedená srážková data v denním kroku byla uvedena v celistvé formě, což může být problematické vzhledem k prostorové variabilitě srážek. Stanice ZBY je pro výše položené povodí Tetřívčího potoka méně přesná než pro povodí Zbytinského potoka. Při posouzení vhodnosti teploty vzduchu pro obě povodí se nabízí stejná otázka jako v případě časových řad srážek. Vzhledem k zalesněnému území zde panuje větší nejistota u těchto dat využitých v povodí Tetřívčího potoka než u povodí Zbytinského.

Velkou nejistotou se při odvození objemu odtoku ukázala metoda *SCS Curve Number*. Podle Feldmana (2000) je výhodou její jednoduchost a dobrá dostupnost dat k odvození počátečních parametrů. Závisí na jednom parametru odvoditelném z kombinace vlastností hydrologické skupiny půdy, krajinného pokryvu a předchozího nasycení. Metoda je široce uznávána a je dále intenzivně vyvíjena. Její nevhodnost se projevila v této práci, zejména pak pro modelaci dlouhodobé simulace zimních sezón. Metoda ovlivnila modelování zimních sezón zcela zásadně. Při neměnné hodnotě CN v důsledku rostoucího nasycení půdy podhodnocuje skutečný průtok, v důsledku toho že předpokládá větší ztrátu. Tato metoda byla odvozena pro povodí v USA, a je tedy otázkou zde tyto hodnoty platí i pro ČR. Odvození CN křivek v povodí Zbytinského a Tetřívčího potoka se zabýval Malý (2008), který rovněž

poukazuje na malou přesnost vstupních dat v podobě půdních map a map lesních typů. Vzhledem k velikosti výzkumných povodí, proto přesnost hodnoty CN křivek není ideální. V této práci bylo využito metodiky využívající vztahu mezi hydrologickou skupinou půd (HSP) a BPEJ. Odvození HSP vycházelo z určení infiltrační rychlosti. Šercl (2006) odvozuje hodnoty CN pomocí infiltrační rychlosti, retenční vodní kapacity a sklonu. Podle Jeníčka (2009) hodnoty CN podle novější metodiky dosahují zhruba o 20% vyšších hodnot, což má za následek nižší odtokovou ztrátu, a tedy vyšší přímý odtok z povodí.

Metoda *Temperature index* se ve sněhovém modelu osvědčila jako dostačující metoda pro modelování odtoku ze sněhové pokrývky, i když zde jsou určitá zjednodušení, která mohla negativně ovlivnit výsledky modelování. Indexová metoda je založena na parametrech uvádějících hodnoty v denním kroku, což je vzhledem k modelování odtoku z tajícího sněhu nevýhodné. Nelze tak vystihnout denní režim tání sněhu. Vstupní data byla získána pouze v celistvé formě, což by mohlo přispět k nepřesnosti hlavně u teplotních časových řad. Větší nepřesnosti se dají očekávat v zalesněném povodí Tetřívčího potoka, které svým charakterem úplně neodpovídá poloze srážkoměru ZBY.

Teplotní faktor tání byl odvozen ze vztahu Federera et al. (1972). Získané hodnoty teplotních faktorů jsou ovšem platné pro povodí v USA, takže je vysoce nepravděpodobná jejich správnost pro výzkumná povodí. Teplotní faktory byly několikrát kalibrovány v důsledku jejich změn během sezóny. Je všeobecně známo, že se teplotní faktor s přibývajícím sezónou zvyšuje. Určité zpřesnění by bylo možné dosáhnout prostorovým vyjádřením hodnot teplotního faktoru, ale také změnou v průběhu sezóny. Sledování vývoje teplotního faktoru v lesnatém povodí Tetřívčího potoka a odlesněném povodí Zbytinského potoka, případně studium odlišností v lese a na otevřených prostranstvích by bylo zcela jistě zajímavé pro další výzkum.

Významný vliv na průběh simulovaného průtoku měl parametr *PX Temperature*, rozlišující mezi pevnými a kapalnými srážkami. Tento parametr má zásadní vliv na vývoj vodní hodnoty sněhu. Stanovení kritické teploty (*Base Temperature*) je z pohledu podmínek v obou sledovaných povodích obtížné. Pro zimní sezóny byla výsledná hodnota kritické teploty po kalibraci 0, 5 °C. V detailnějších situacích byly nejlepší výsledky modelovaných událostí docíleny s kalibrovanou kritickou teplotou (0 a - 0, 5 °C). Z těchto poznatků je patrné, že se kritická teplota během zimní sezóny mění, a že zde jsou rozdíly u začátku tání v povodí Zbytinského i Tetřívčího potoka. Nejobtížnější stanovení začátku tání pomocí kritické teploty je právě při denních teplotách vzduchu kolísajících kolem 0°C.

Parametr určující intenzitu tání způsobenou kladnou teplotou povrchu (*Groundmelt*) je obtížné odvodit vzhledem k jeho prostorové a časové proměnlivosti. Na výzkumných povodích je půdní teploměr k dispozici až od jara 2011, a tak se tento parametr závislý na promrznutí půdy stanovuje jen velmi těžko. Vliv tání způsobený kladnou teplotou půdy je při modelování zimní sezóny veliký. Na příkladu modelování zimní sezóny 2009/2010 je vláhová dotace způsobená kladnou teplotou půdy (při hodnotě parametru 0, 5 mm) 67mm v sezóně 2010 a 75 mm v sezóně 2011. U kratších simulací vliv tohoto parametru klesá. Zajímavé poznatky z měření teploty půdy a dalších půdních vlastností proto jistě ukáže detailní hydrologický výzkum v experimentálních povodí Zbytinského a Tetřívčího potoka prováděný Katedrou fyzické geografie a geoekologie.

9. ZÁVĚR

Předložená práce se zabývá vlivem fyzicko-geografických faktorů ovlivňujících akumulaci a tání sněhové pokrývky v párových experimentálních povodích Zbytinského a Tetřívčího potoka. Práce zahrnuje zhodnocení vlivu sněhové pokrývky na odtok při jarním tání, které bylo hodnoceno pomocí modelování v programu HEC-HMS. Jako vstup do modelu HEC-HMS byla využita data o výšce sněhové pokrývky a vodní hodnotě sněhu pořízená při sněhoměrných kampaních.

Při terénních měřeních se ukázalo, že volba optimální sítě měrných bodů je jedním z klíčových kroků. Je nutné, aby body byly rovnoměrně rozmístěny a dobře reprezentovaly svou polohu v rámci povodí. Sněhoměrné kampaně jsou dobrým nástrojem pro hodnocení prostorové variability, ale jsou také zároveň časově i finančně náročné.

Obě sledované zimní sezóny 2010 a 2011 byly z pohledu výšky sněhové pokrývky (SCE) a vodní hodnoty (SWE) nadprůměrné. Prostorové rozložení SCE a SWE bylo výrazně ovlivněno vegetací, ostatní fyzicko-geografické faktory se projeví v menší míře díky malé rozloze a nízké relativní výškové členitosti. Je zřejmé, že se fyzicko-geografické faktory jako např. nadmořská výška, expozice, sklonitost, větrné působení nebo zastínění ovlivňují navzájem, zejména pak na nezalesněných plochách, kde není tak výrazný vliv vegetace. Ve fázi akumulace sněhu byly v SCE a SWE velmi malé rozdíly, v další fázi tání se již liší SCE od SWE v důsledku měnících se fyzikálních vlastností sněhu. Z hlediska typu pokryvu se ve fázi akumulace nacházelo nejvíce sněhu na mýtinách a nejméně v jehličnatém lese. Ve fázi tání zůstávalo více sněhu na mýtinách a v lese, čímž se potvrdil předpoklad déle trvající sněhové pokrývky v povodí Tetřívčího potoka.

Simulace odtoku ve výzkumných povodích byla provedena za pomoci modelu HEC-HMS na zimních sezónách 2010 a 2011. Zároveň byla modelována SWE ke zjištění vlastností sněhové pokrývky pro detailnější modelování konkrétních odtokových událostí způsobených převážně táním sněhu. U simulovaných událostí bylo dosaženo uspokojivé shody simulovaného a měřeného průtoku. Horší shoda byla zjištěna u povodí Zbytinského potoka při simulaci zimní sezóny 2011 a u lednové simulace v sezóně 2011. Simulované průtoky dosáhly větší shody s měřeným průtokem u povodí Tetřívčího potoka. Modelování vodní hodnoty sněhu potvrdilo předpoklad momentálního vyššího a rychlejšího příspěvku roztáté

vodní hodnoty do odtokového procesu u Zbytinského potoka, který je patrný jak v detailních simulacích, tak v simulacích celé zimní sezóny.

Práce zcela jistě naplnila počáteční cíle při poznání fyzicko-geografických faktorů ovlivňujících prostorové rozmístění sněhové pokrývky. Byla úspěšně prověřena metodika měření a zpracování dat o sněhové pokrývce v malých povodích. Na základě modelování bylo potvrzeno, že se na jarním tání podílí výraznou měrou sněhová pokrývka a její vodní hodnota, která má zcela jiný režim v zalesněném a nezalesněném prostředí.

10. SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

10.1. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek č. 1: Tvar krystalů a jejich velikost v mm.....	12
Obrázek č. 2: Teplota sněhové pokrývky v závislosti na její výšce. 1 – zima, 2 – jaro, 3 – přelom jara a léta. v noci (a) a ve dne (b)	13
Obrázek č. 3: Vliv expozice na denní příjem solární energie na svahu se sklonem 16, 7 ^o na 50 ^o s. š.	21
Obrázek č. 4: Klasifikace deterministických modelů.....	27
Obrázek č. 5 a 6: Přehledová mapa a hydrografická síť povodí Zbytinského a Tetřívčího potoka	33
Obrázek č. 7: Geologické poměry povodí Zbytinského a Tetřívčího potoka	35
Obrázek č. 8: Sklonitostní poměry v povodí Zbytinského a Tetřívčího potoka	37
Obrázek č. 9 : Expozice svahů v povodí Zbytinského a Tetřívčího potoka	39
Obrázek č. 10: Expozice svahů v povodí Zbytinského potoka	39
Obrázek č. 11: Expozice svahů v povodí Tetřívčího potoka	40
Obrázek č. 12 a 13: Půdní poměry Zbytinského potoka a Tetřívčího potoka	42
Obrázek č. 14 a 15: Hydrologická skupina půd v povodí Zbytinského a Tetřívčího potoka	41
Obrázek č. 16 a 17: Vegetační poměry v povodí Zbytinského a Tetřívčího potoka	44
Obrázek č. 18: Poloha stanic v povodí Zbytinského a Tetřívčího potoka.....	45
Obrázek č. 19: Průměrné měsíční teploty ve Stanici Zbytiny (ZBY) listopad 2008- březen 2011	48
Obrázek č. 20: Průměrná měsíční teplota v zimní sezóně v období 2009 – 2010 ve stanici Spálenec (SPA)48	
Obrázek č. 21: Roční úhrn srážek ve stanici Spálenec (SPA) v období 1961-2010	50
Obrázek č. 22: Měsíční úhrn srážek ve stanici Spálenec (SPA) v období listopad 2009- březen 2011	52
Obrázek č. 23: Měsíční srážky a teplota v zimní sezóně (listopad- březen) 2010 a 2011(SPA).....	53
Obrázek č. 24 a č. 25: Průměrná sezónní výška sněhové pokrývky (SCE) a vodní hodnoty (SWE) ve stanici Spálenec (SPA) v letech 1986 – 2011.....	54
Obrázek č. 26: Proudění vzduchu v povodí Zbytinského a Tetřívčího potoka ve stanici Zbytiny (ZBY) v zimní sezóně 2010 a 2011.....	59
Obrázek č. 27: Průměrné měsíční rychlosti rychlosti větrů v povodí Zbytinského a Tetřívčího potoka ve stanici Zbytiny (ZBY)	59
Obrázek č. 28: Průměrné denní specifické průtoky v zimní sezóně 2009/2010.....	60
Obrázek č. 29: Průměrné denní specifické průtoky v zimní sezóně 2010/2011	61
Obrázek č. 30: Síť měrných bodů pro sezónu 2009/2010.....	64
Obrázek č 31. : Návrh nových bodů pro sezónu 2010/2011.....	64
Obrázek č. 32 : Metoda exponenciálního poklesu.....	70
Obrázek č. 33: Schéma povodí Tetřívčího a Zbytinského povodí v prostředí programu HEC-HMS.....	74

<i>Obrázek č. 34 : Sezónní chod výšky sněhové pokrývky (SCE) v cm, vodní hodnoty sněhu (SWE) v mm a srážek v mm v zimní sezóně 2010 ve stanici Spálenec (SPA). Srážky (mm) a SCE (cm) jsou uvedeny v denním kroku, SWE (mm) v týdenním kroku.</i>	<i>78</i>
<i>Obrázek č. 35 :Sezónní chod výšky sněhové pokrývky (SCE) v cm, vodní hodnoty sněhu (SWE) v mm a srážek v mm v zimní sezóně 2011 ve stanici Spálenec (SPA). Srážky (mm) a SCE (cm) jsou uvedeny v denním kroku, SWE (mm) v týdenním kroku.</i>	<i>80</i>
<i>Obrázek č. 36 a 37 : Průměrná výška sněhu (SCE) a vodní hodnota sněhu (SWE) ve výškových pásmech a změna průměrné výšky a vodní hodnoty mezi jednotlivými sněhoměrnými kampaněmi v povodí Zbytinského potoka</i>	<i>83</i>
<i>Obrázek č. 38: Vztah SCE (cm) a SWE (mm) ke k nadmořské výšce 22. 2., 19. 3. 25. 3. 2010 a 25. 2. 2011v povodí Zbytinského potoka</i>	<i>84</i>
<i>Obrázek č. 39 : Průměrná výška sněhu (SCE) a vodní hodnota sněhu (SWE) ve výškových pásmech v povodí Tetřivčího potoka</i>	<i>85</i>
<i>Obrázek č. 40: Změna průměrné výšky (SCE) a vodní hodnoty (SWE) mezi jednotlivými sněhoměrnými kampaněmi v povodí Tetřivčího potoka</i>	<i>86</i>
<i>Obrázek č. 41: Vztah SCE (cm) a SWE (mm) ke k nadmořské výšce 22. 2., 19. 3. 25. 3. 2010 a 25. 2. 2011v povodí Tetřivčího potoka</i>	<i>86</i>
<i>Obrázek č. 42: Průměrné hodnoty SCE (cm) a SWE (mm) ve vztahu k vegetaci 22. 2., 19. 3., 25. 3. 2010 a 25. 2. 2011.</i>	<i>87</i>
<i>Obrázek č. 43: Změny průměrné hodnoty SCE (cm) a SWE (mm) ve vztahu k vegetaci mezi jednotlivými měřeními v zimní sezóně 2009/2010.....</i>	<i>88</i>
<i>Obrázek č. 44: Vztah vegetace a SCE (cm) a SWE (mm) s nadmořskou výškou v povodí Zbytinského a Tetřivčího potoka 22.2., 19.3., 25.3.2010 a 25.2.2011</i>	<i>90</i>
<i>Obrázek č. 45 a 46: Průměrná výška sněhu (SCE) a vodní hodnota sněhu (SWE) vzhledem ke sklonitosti a změna průměrné výšky a vodní hodnoty mezi jednotlivými sněhoměrnými kampaněmi v povodí Zbytinského potoka</i>	<i>93</i>
<i>Obrázek č. 47: Vztah SCE (cm) a SWE (mm) ke sklonitosti 22. 2., 19. 3. 25. 3. 2010 a 25. 2. 2011v povodí Zbytinského potoka</i>	<i>94</i>
<i>Obrázek č. 48 a 49: Průměrná výška sněhu (SCE) a vodní hodnota sněhu (SWE) vzhledem ke sklonitosti a změna průměrné výšky a vodní hodnoty mezi jednotlivými sněhoměrnými kampaněmi v povodí Tetřivčího potoka</i>	<i>95</i>
<i>Obrázek č. 50: Vztah SCE (cm) a SWE (mm) ke sklonitosti 22. 2., 19. 3. 25. 3. 2010 a 25. 2. 2011v povodí Tetřivčího potoka</i>	<i>96</i>
<i>Obrázek č. 51: Průměrné výšky sněhové pokrývky SCE (cm) a vodní hodnoty sněhu SWE (mm) vzhledem k expozici svahů v sezóně 2009/2010 a 2010/2011 v povodí Zbytinského potoka</i>	<i>97</i>
<i>Obrázek č. 52: Vztah výšky sněhové pokrývky a vodní hodnoty sněhu v povodí Zbytinského potoka v zimní sezóně 2010 a 2011.....</i>	<i>98</i>

<i>Obrázek č. 53: Průměrné výšky sněhové pokrývky SCE a vodní hodnoty sněhu SWE vzhledem k expozici svahů v sezóně 2009/2010 a 2010/2011 v povodí Tetřívčího potoka</i>	<i>100</i>
<i>Obrázek č. 54: Vztah výšky sněhové pokrývky a vodní hodnoty sněhu v povodí Tetřívčího potoka v zimní sezóně 2010 a 2011. Odchylka daného místa od jihu, značí rozdíl ve (°). 0 ° znamená jih, 180 ° je sever.</i>	<i>101</i>
<i>Obrázek č. 55 a 56. Průměrná SCE a SWE na chráněných a nechráněných místech vůči větru a změna mezi průměrnými hodnotami SCE a SWE na chráněných a nechráněných místech vůči větru v povodí Zbytinského potoka</i>	<i>103</i>
<i>Obrázek č. 57: Vztah SCE a SWE k nadmořské výšce na chráněných a nechráněných plochách v povodí Zbytinského potoka</i>	<i>104</i>
<i>Obrázek č. 58 a 59 : Průměrná SCE a SWE na chráněných a nechráněných místech vůči větru a změna mezi průměrnými hodnotami SCE a SWE na chráněných a nechráněných místech vůči větru v povodí Tetřívčího potoka</i>	<i>106</i>
<i>Obrázek č. 60: Vztah SCE a SWE k nadmořské výšce na chráněných a nechráněných plochách v povodí Tetřívčího potoka</i>	<i>107</i>
<i>Obrázek č. 63: Vztah SCE (cm) a SWE k nadmořské výšce na zastíněných a nezastíněných plochách v povodí Zbytinského potoka</i>	<i>110</i>
<i>Obrázek č. 64 a 65 : Průměrná SCE (cm) a SWE (mm) na zastíněných a nezastíněných místech a změna mezi průměrnými hodnotami SCE (cm) a SWE (mm) na zastíněných a nezastíněných místech v povodí Tetřívčího potoka</i>	<i>112</i>
<i>Obrázek č. 66: Vztah SCE (cm) a SWE k nadmořské výšce na zastíněných a nezastíněných plochách v povodí Tetřívčího potoka</i>	<i>113</i>
<i>Obrázek č. 67 a 68: Počáteční parametry povodí Zbytinského a Tetřívčího potoka.....</i>	<i>114</i>
<i>Obrázek č. 69 a 70: Nastavení sněhového modelu – povodí Zbytinského potoka a Tetřívčího potoka....</i>	<i>116</i>
<i>Obrázek č. 71: Simulace průtoku Zbytinského potoka od 18 .11. 2009 do 31.3.2010.....</i>	<i>117</i>
<i>Obrázek č. 72: Simulace průtoku Tetřívčího potoka od 18.11. 2009 do 31.3.2010</i>	<i>117</i>
<i>Obrázek č. 73: Simulace průtoku Zbytinského potoka od 17. 2. do 4. 3.2010.....</i>	<i>119</i>
<i>Obrázek č. 74: Simulace průtoku Tetřívčího potoka od 17.2.do 4. 3.2010</i>	<i>119</i>
<i>Obrázek č. 75: Simulace průtoku Zbytinského potoka od 8. 11. 2009 do 30. 3.2010.....</i>	<i>121</i>
<i>Obrázek č. 76: Simulace průtoku Tetřívčího potoka od 1. 11. 2010 do 3. 4. 2011</i>	<i>121</i>
<i>Obrázek č. 77: Simulace průtoku Zbytinského potoka od 5. 1. do 30. 1. 2011.....</i>	<i>123</i>
<i>Obrázek č. 78: Simulace průtoku Tetřívčího potoka od 5. 1. do 30. 1. 2011</i>	<i>123</i>
<i>Obrázek č. 79: Porovnání vodní hodnoty sněhu v povodí Zbytinského a Tetřívčího potoka v zimní sezóně 2009/2010.....</i>	<i>125</i>
<i>Obrázek č. 80: Porovnání vodní hodnoty sněhu v povodí Zbytinského a Tetřívčího potoka v zimní sezóně 2010/2011.....</i>	<i>125</i>

10.2. SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka č. 1 : Průměrná hustota různých typů sněhu</i>	<i>11</i>
<i>Tabulka č. 2: Průměrné albedo jednotlivých typů sněhu</i>	<i>15</i>
<i>Tabulka č. 3: Procesy metamorfózi sněhu</i>	<i>16</i>
<i>Tabulka č. 4: Viditelnost oblohy pro jednotlivé sklony svahu</i>	<i>21</i>
<i>Tabulka č. 5: Intenzita tání a sublimace v bukovém, smrkovém porostu a na volné ploše</i>	<i>23</i>
<i>Tabulka č. 7: Geomorfologické členění na území povodí horní Blanice.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabulka č. 8: Relativní zastoupení ploch o daném sklonu^o</i>	<i>38</i>
<i>Tabulka č. 9: Relativní zastoupení ploch o dané expozici.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabulka č. 10: Charakteristika srážkových úhrnů v období 1961 – 2010 ve stanici Spálenec (SPA).....</i>	<i>49</i>
<i>Tabulka č. 11: Statistické charakteristiky měsíčních srážkových úhrnů, SPA (1961 – 2011)</i>	<i>51</i>
<i>Tabulka č. 12: Nejvyšší denní úhrny srážek v období 1984 – 2010 ve stanici Spálenec (SPA)</i>	<i>51</i>
<i>Tabulka č. 13: Denní maximum, průměrná hodnota a směrodatná odchylka výšky sněhové pokrývky (SCE) a vodní hodnoty (SWE) ve stanici Spálenec (SPA) v období 1986 – 2011, Údaje za zimní sezónu (listopad- duben) 1992 a 1993 jsou neúplné.</i>	<i>55</i>
<i>Tabulka č. 14: Průměrný počet dní se sněhovou pokrývkou ve stanici Spálenec (SPA) 1986–2011</i>	<i>57</i>
<i>Tabulka č. 15: První a poslední sněhová pokrývky ve stanici Spálenec (SPA) v období 1986 – 2010</i>	<i>57</i>
<i>Tabulka č. 16: Proudění vzduchu v povodí Zbytinského a Tetřívčího potoka ve stanici Zbytiny (ZBY) v zimní sezóně 2010 a 2011.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabulka č. 17: Maximální, minimální a průměrné denní specifické průtoky v v zimní sezóně 2009/2010 a 2010/2011 (listopad – březen)</i>	<i>61</i>
<i>Tabulka č. 18: Maximální denní průtoky v zimní sezóně 2009/2010 a 2010/2011 (listopad – březen)</i>	<i>62</i>
<i>Tabulka č. 19: Průměrné měsíční a specifické průtoky v Zbytinském a Tetřívčím potoce</i>	<i>62</i>
<i>Tabulka č. 20: Komponenty a modelovací techniky v HEC - HMS</i>	<i>66</i>
<i>Tabulka č. 21: Vstupní parametry metody Temperature index.....</i>	<i>72</i>
<i>Tabulka č. 22: Teplotní index tání pro povodí Zbytinského a Tetřívčího potoka</i>	<i>73</i>
<i>Tabulka č. 23: Vstupní parametry pro subpovodí a výšková pásma</i>	<i>73</i>
<i>Tabulka č. 24: Koeficient determinace v povodí Zbytinského a Tetřívčího potoka ve dnech terénních měření</i>	<i>84</i>
<i>Tabulka č. 25: Koeficient determinace u jednotlivých typech pokryvu ve dnech terénních měření</i>	<i>89</i>
<i>Tabulka č. 26: Koeficient determinace v povodí Zbytinského a Tetřívčího potoka vzhledem ke sklonitosti ve dnech terénních měření.....</i>	<i>96</i>
<i>Tabulka č. 27: Koeficient determinace v povodí Zbytinského a Tetřívčího potoka vzhledem ke sklonitosti ve dnech terénních měření.....</i>	<i>99</i>
<i>Tabulka č. 28: Koeficient determinace na chráněných a nechráněných plochách vůči větru ve vztahu s nadmořskou výškou.</i>	<i>105</i>

<i>Tabulka č. 29: Koeficient determinace (R^2) na zastíněných a nezastíněných plochách ve vztahu s nadmořskou výškou.</i>	111
<i>Tabulka č. 30: Hodnoty původních parametrů a po kalibraci v povodí Zbytinského a Tetřívčího potoka</i>	116
<i>Tabulka č. 31 : Objektivní kritéria simulace zimní sezóny 2009/2010</i>	118
<i>Tabulka č. 32: Kalibrované parametry v povodí Zbytinského a Tetřívčího potoka</i>	119
<i>Tabulka č. 33 : Objektivní kritéria simulace od 17. 2. do 4. 3. 2010</i>	120
<i>Tabulka č. 34 : Objektivní kritéria simulace zimní sezóny 2010/2011</i>	121
<i>Tabulka č. 35 : Objektivní kritéria simulace od 5.1. do 30.1.2011</i>	123
<i>Tabulka č. 36: Kalibrované parametry v povodí Zbytinského a Tetřívčího potoka</i>	124

11. SEZNAM LITERATURY A DALŠÍCH ZDROJŮ:

11.1. LITERATURA:

ALBRECHT, J. a kol. (2003): Českobudějovicko. In: Mackovčín, P., Sedláček, M. (eds.): Chráněná území ČR, svazek VIII. AOPK ČR a EkoCentrum Brno, Praha, 808 s.

BALATKA, B., KALVODA, J. (2006): Geomorfologické členění reliéfu Čech. Kartografie Praha, Praha, 79 s.

BECKER, A., SERBAN, P. (1990): Hydrological model of water – resources system design and operation. Operational Hydrology Report No. 34, WMO, Geneva. 80 s.

BRECHTEL H. M., (1984): Möglichkeiten und Grenzen einer Steuerung der Schneeansammlung und Schneeschmelze durch forstliche Massnahmen. In: Schneehydrologische Forschung in Mitteleuropa. Hann. Münden 12.–15. 3. 1984, Erweiterte Zusammenfassungen: 96–99.

BRECHTEL H. M., RAPP J., SCHEELE G., (1984): Der Einfluss des Waldes und der Landnutzung auf die Schneeansammlung und Schneeschmelze in den Hessischen Mittelgebirgen. In: Schneehydrologische Forschung in Mitteleuropa. Hann. Münden 12.–15. 3. 1984, Erweiterte Zusammenfassungen: 128–129.

BLÖSCHL, G., KIRNBAUER, R. (1992): An analysis of snow cover patterns in a small alpine catchment. Hydrol. Process., 6, s. 99–109.

DAŇHELKA, J., KREJČÍ, J., ŠÁLEK, M., ŠERCL, P., ZEŽULÁK, J. (2003): Posouzení vhodnosti aplikace srážko-odtokových modelů s ohledem na simulaci povodňových stavů pro lokality na území ČR. Česká zemědělská univerzita, Praha, 189 s.

DEWALLE, D. R., RANGO, A. (2008): Principles of snow hydrology. Cambridge University Press, Cambridge, 410 s.

DIETRICH, J., SCHÖNIGER, M. (2003): Hydroskript–Hydrologie, Grundwassermodellierung, GIS, Klimatologie [online]. c2003, [cit. 2011-23-04]. <www.hydroskript.de>.

DINGMAN S. L., (2002): Physical Hydrology. (Second edition.) Prentice Hall, s. 646.

DUB, O., NĚMEC J. et al. (1969): Hydrologie. SNTL, Praha, 380 s.

ELLENBERG, H. (1988): Vegetation Ecology of Central Europe. Fourth edition, Cambridge University Press, Cambridge, 731 s.

ERNSTBERGER H., SOKOLLEK V. (1984): Einfluss unterschiedlicher Vegetationsbestände auf Schneedeckentwicklung und Schneeschmelzabfluss in unteren Mittelgebirgslagen. In: Schneehydrologische Forschung in Mitteleuropa. Hann. Münden 12.–15. 3. 1984, Erweiterte Zusammenfassungen: 90–93.

FEDERER, C. A., PIERCE, R. S., HORNBECK, J. W. (1972): Snow management seems unlikely. In Proceedings Symposium on Watersheds in Transition, American Water Resources Association, s. 212-219

FELDMAN, A. P. (2000): Hydrologic Modeling System HEC-HMS. Technical Reference Manual. USACE, Davis, 155 s., [online], [cit. 2009-10-10], <<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation.html>>.

FLEMING, M. J., SCHARFFENBERG, W. A. (2009): Hydrologic Modeling System HECHMS – User's Manual version 3. 5. USACE, Davis, 197 s.

FLIEGL, O. (2009): Vliv fyzicko-geografických faktorů na vývoj sněhové pokrývky: Případová studie povodí horní Otavy. PřF UK, bakalářská práce, 80 s.

HINTNAUS, I. (2008): Změny ve vývoji krajiny v povodí horní Blanice. PřF UK, bakalářská práce, 59 s.

HOCK, R. (2003): Temperature index melt modelling in mountain areas. Journal of Hydrology, 282, s. 104 – 115.

HRÁDEK F., KUŘÍK P. (2004): Hydrologie. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, s. 280, ISBN 80-213-0950-4

HRÍBIK, M., ŠKVARENINA, J. (2007): Vplyv ihličnatého a listnatého lesa v rastovej fáze zrd'oviny na vytváranie snehových zásob. In: Sborník semináře 12. Stretnutie snehárov., s. 88-98.

HRUŠKOVÁ, K. (2006): Modelování odtoku z tajícího sněhu v povodí horního Hronu. PřF MU, Dizertační práce, Brno, 106 s.

IMBECK H. (1984): Schneeverteilung und Schneedeckenentwicklung in einem subalpinen Fichtenwald am Nordhang. In: Schneehydrologische Forschung in Mitteleuropa. Hann. Münden 12.–15. 3. 1984, Erweiterte Zusammenfassungen: 78–81.

- JANEČEK, M. et al. (2002): Ochrana zemědělské půdy před erozí. Praha, ISV, 201 s.
- JELÍNEK, J. (2008): Akumulace a tání sněhové pokrývky v povodí Rokytky v hydrologických letech 2007 a 2008. PřF UK, Diplomová práce, Praha, 85 s.
- JENÍČEK, M., (2005): Možnosti využití srážko-odtokových modelů na malých a středně velkých povodích. In Langhammer, J. (ed.) Vliv změn přírodního prostředí povodí a údolní nivy na povodňové riziko. PřF UK, Praha. s. 112-126
- 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. ISBN 978-80-02-02113-1.
- JENÍČEK, M. (2009): Modelování průběhu extrémních povodní v kontextu krajinných změn a integrované protipovodňové ochrany. PřF UK, Dizertační práce, Praha, 141 s.
- JONES, H. G. et al. (2001): Snow Ecology. Cambridge University Press, Cambridge, 378 s.
- KANTOR P., (1979): Vliv druhové skladby lesních porostů na ukládání a tání sněhu v horských podmínkách. Lesnictví, 25: 233–252.
- KANTOR P., ŠACH F. (2002): Snow accumulation and melt in a spruce stand and on a clearcut in the Orlicke hory Mts. J. FOR. SCI., 55, 2009 (10): 437–451 451 (Czech Republic). Ekologia (Bratislava), 21, Supplement 1: 122–135.
- KANTOR, P. et al. (2003): Lesy a povodně. MŽP, Praha, 48 s.
- KANTOR, P. a kol. (2007): Ukládání a intenzita tání sněhu v mladém smrkovém a bukovém porostu v zimním období 2005/2006. In Klima lesa. J. Rožnovský, ISBN 978-80-86690-40-7
- KANTOR, P., KARL, Z., ŠACH, F., ČERNOHOUS, V. (2009): Analysis of snow accumulation and snow melting in a young mountain spruce and beech stand in the Orlické hory Mts., Czech Republic. Journal of Forest Science. 2009. sv. 55, č. 10, s. 437-451. ISSN 1212-4834.
- KLIMENT, Z., MATOUŠKOVÁ, M. (2005): Změny ve vývoji odtoku ve vybraných povodích horské a podhorské části Šumavy. Sborník VI. Česko-slovenské konference Hydrologické dni 2005. Bratislava, CD-ROM, s. 370-388.
- KODYM, O. ml. a kol. (1961): Vysvětlivky k přehledné geologické mapě ČSSR 1:200 000 M-33-XXVI Strakonice. ÚÚG, Praha, 150 s.
- KREČMER V. (1971). Mikroklimatický a vodní režim obnovných sečí ve smrkových porostech středohorské oblasti Orlických hor. Dílčí závěrečná zpráva. Jiloviště-Strnady, VÚLHM. 135 – 148 s.
- KREMSA, J. (2008): Vliv lesa na akumulaci a tání sněhu a doplňování zásob podzemní vody, Paljakka (Finsko). ČVUT, Fakulta stavební, Praha, 104 s.

KRONFELLNER-KRAUS G., SCHAFFHAUSER H. (1984): Schneehydrologische Untersuchungen in einem Talzuschubsgebiet in Karnten/Osterreich. In: Schneehydrologische Forschung in Mitteleuropa. Hann. Munden 12.-15. 3. 1984, Erweiterte Zusammenfassungen: 110-112.

KŘÍŽ, H. (1983) : Hydrologie podzemních vod. Academia, Praha, 292 s.

KULHAVÝ, Z., KOVÁŘ, P. (2002): Využití modelů hydrologické bilance pro malá povodí. VÚMOP, Praha. 123 s.

KUUSISTO, E. (1980): On the values and variability of degree-day melting factor in Finland. Nordic Hydrology, 11 s. 235-242

MACKŮ, J.: (2008): In: Projekt NAZV QH 82096 Metodika - Syntetická mapa zranitelnosti podzemních vod, Lesní půdy, VÚMOP Praha-Zbraslav, 29 s.

MALÝ, A. (2008): Vliv rozdílného využití krajiny na srážko-odtokový proces v experimentálním povodí Zbytiny. PřF UK, Diplomová práce, Praha, 154 s.

MAŠÁT, K., VAŇKOVÁ, L. (1999): Charakteristika bonitovaných půdně ekologických jednotek (BPEJ) v České republice. In: Pozemkové úpravy se zaměřením na bonitaci a pedologii, Vydavatelství a nakladatelství MV ČR VÚMOP, Praha, příloha, 2. upravené vydání, 69 s.

MARKS, D., WINSTRAL, A. (2001): Comparison of snow deposition, the snow cover energy balance, and snowmelt at two sites in a semiarid mountain basin. J. Hydromet., 2, s. 213- 227.

MARTINEC, J. (1977): Snowmelt hydrography from spatially varied input. In Proc. Third International Hydrology Symposium, Fort Collins, s. 110-111

MORAVEC, D., VOTÝPKA, J. (1998): Klimatická regionalizace České republiky. Karolinum, Praha, 87 s.

NASH, J. E., SUTCLIFFE, J. V. (1970): River flow forecasting through conceptual models part I – a Discussion of principles. Journal of Hydrology, 10, c. 3, s. 282 – 290.

NETOPIĽ, R. a kol. (1984) Fyzická geografia 1. Praha, SPN, 273 s.

NOVOSADOVÁ-CAHYNOVÁ, H. (1985): Prameny v povodí Blanice. Diplomová práce. KKFG PřF UK, Praha, 72 s.

PECUŠOVÁ, Z. (2003): Procesy akumulácie a topenia snehovej pokrývky v súvislosti s predpoveďami jarných povodní zo snehu. Písomný projekt k dizertačnej skúške, ÚH SAV, Bratislava, 48 s.

PEVNÁ, H. (2010): Vliv vegetace na akumulaci a tání sněhové pokrývky. PřF UK, Bakalářská práce, 56 s.

POBŘÍŠLOVÁ, J., KULASOVÁ, A. (2000): Ukládání a tání sněhu v lese a na odlesněných partiích Jizerských hor. *Opera Concorctica*, 37, s. 113-119

PODZIMEK, S. (2009): Monitoring sněhové pokrývky v povodí Zlatého potoka. PřF UK, Bakalářská práce, 49 s.

QUITT, E. (1971): Klimatické oblasti Československa. GÚ CSAV Brno, Brno, 84 s.

ŘEZÁČOVÁ, D. (2007): Fyzika oblaku a srážek. Academia, Praha, 286 – 355 s.

SCHARFFENBERG, A. W., FLEMING, M. J. (2009): Hydrologic Modeling System. User's Manual. USACE, Davis, 298 s., [online], [cit. 2009-10-10], <<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation.html>>.

SINGH, P., SINGH V. P. (2001): *Snow and Glacier Hydrology*. Kluwer Academic Publisher. London, 742 s.

SVOBODA, J. a kol. (1983): Encyklopedický slovník geologických věd. 1. svazek A – M. Academia, Praha, 920 s.

ŠERCL, P. (2006): Metoda CN křivek – průběžná zpráva za CHMÚ Praha. In Rozvoj a testování modelovacího systému pro predikci povodňových odtoku v malých povodích, Zpráva za rok 2005 projektu VaV 1D/1/5/05, DHI Hydroinform a ČHMÚ Praha, 50 s.

ŠERCL, P. (2009): Vliv fyzicko-geografických faktorů na charakteristiky teoretických návrhových povodňových vln. Sborník prací Českého hydrometeorologického ústavu, ČHMÚ, Praha, 88 s.

ŠVIHLA, V. a kol. (1992): Výzkumný objekt Ovesná Lhota. Monografie. VÚMOP Praha, 92 s.

TOLASZ, R. et al. (2007): Atlas podnebí Česka. CHMÚ a UP Olomouc, Praha, 256 s.

TOMÁŠEK, M. (2003): Půdy České republiky. Česká geologická služba. Praha, 67 s.

WMO (1986): Intercomparison of models of snowmelt runoff. Operation hydrology report No. 23. World meteorological organization No. 646

11.2. DATOVÉ A MAPOVÉ ZDROJE:

AOPK (2007): Půdní mapa ČR, 1: 50 000.

CENIA (2005): Mapový portál veřejné správy České Republiky. MV ČR, MŽP ČR, Dostupné na [<http://geoportal.cenia.cz>], staženo dne 23. 5. 2011.

ČHMÚ (2008): srážkoměrná data ze stanice ČHMÚ Zbytiny.

ČÚZK (2005a): Digitální mapová databáze ZABAGED, 1:10 000, 2005, ČÚZK Praha.

ČÚZK (2005b): Ortofotosnímky, Volary 5-1 až 5-4, 6-1 až 6-4 a 7-1 až 7-4, 2005, ČÚZK Praha.

FIEDLER (2008): Informace o registraci a dálkovém přenosu dat ze stanic Fiedler. Dostupné na [www.fiedler-magr.cz/], staženo dne 4. 11. 2011.

ČGÚ (2005): Geologická mapa ČR, 1: 50 000.