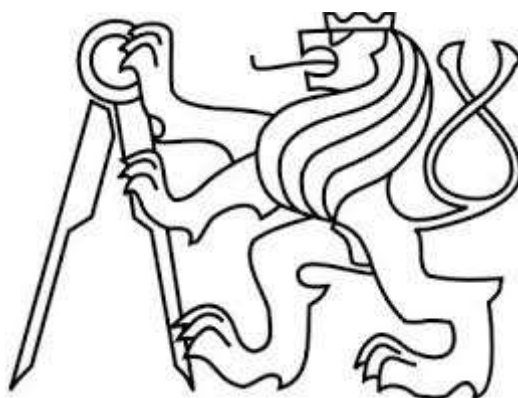


# České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

Katedra hydrauliky a hydrologie



Bakalářská práce

Daniel Frnoch

Praha, 2021

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Frnoch Jméno: Daniel Osobní číslo: 477560

Zadávací katedra: K141

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Inženýrství životního prostředí

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Sněhové poměry povodí Liz v letech 2002-2021

Název bakalářské práce anglicky: Snow conditions of Liz catchment in years 2002-2021

Pokyny pro vypracování:

Řešerše metod měření a odhadu intercepční ztráty v zimním období a intercepční kapacity vegetace v případě sněhových srážek. Vyhodnocení dat poskytnutých Ústavem pro hydrodynamiku AV ČR pro lokalitu Liz a Churáňov. Účast na měření v zmiňované sezóně 2020-2021.

Seznam doporučené literatury:

Pomeroy, Physical Properties of Snow, Springer 2010.

Sipek, Tesar, Seasonal snow accumulation in the mid-latitude forested catchment. Biologia 69:1562-1569, 2014.

Manuál čidla vodní hodnoty sněhu CS725 (Campbell Sci. Ltd)

Jméno vedoucího bakalářské práce: doc. Ing. Michal Dohnal, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 8. 1. 2021

Termín odevzdání bakalářské práce: 16. 5. 2021

*Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku*

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.*

15.2.2021

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci na téma „*Sněhové poměry povodí Liz v letech 2002-2021*“ vypracoval samostatně a že jsem uvedl všechny podklady, ze kterých jsem čerpal.

V Praze dne

.....  
Daniel Fnoch

## **Poděkování**

Děkuji doc. Ing. Michalu Dohnalovi Ph.D. za jeho ochotu a vstřícnost poskytnout věcné poznámky k práci, které mi umožnily pokračovat v jejím vyhotovování bez výraznějších zdržení. Děkuji Ing. Miroslavu Tesařovi, CSc. z Ústavu pro hydrodynamiku Akademie věd ČR za poskytnutí dat, výpomoc při instalaci časoběrné kamery a zapůjčení dalších nezbytných přístrojů. Děkuji pozorovateli Davidovi Pěstovi za ukázkou principů měření společně s měřícími lokalitami a jejich stanovišti.

Výzkum byl podpořen z projektu Grantové agentury České republiky 20-00788S.

## **Abstrakt**

Od zimní sezóny 2002/2003 jsou na území experimentálního povodí Liz prováděna ruční měření, během kterých se na vybraných lokalitách zjišťují výšky sněhové pokrývky a vodní hodnoty sněhu. Tyto veličiny zjišťované pro mýtiná a lesní stanoviště na každé lokalitě umožňují výpočet podílu zachyceného nového sněhu na vegetaci při sněhové srážce, tzv. intercepční ztrátu. Hodnoty intercepční ztráty se na všech lokalitách pohybovaly v rozmezí od 24,5 do 32,5 %.

V této práci byla také testována metoda odečítání výšky sněhové pokrývky a průhybu větve stromu ze sekvence kamerových snímků. Tento způsob detekce může být více než manuální měření zatíženo chybou při dálkovém odečítání hodnot. Na druhou stranu se zdá, že je metoda vhodnější v případě odlehlých měřicích lokalit, jejichž špatná dostupnost v zimní sezóně brání provádět častější terénní měření. Mimo to, ručně změřené intercepční kapacity prokázaly, že množství sněhu zadrženo na větvi dané dřeviny a její následný průhyb je také kromě meteorologických podmínek během sněhové epizody silně ovlivněn charakteristickou stavbou dané dřeviny.

## **Klíčová slova**

Výška sněhové pokrývky, vodní hodnota sněhu, intercepční ztráta, sekvence kamerových snímků, intercepční kapacita

## **Abstract**

Since the winter season of 2002/2003, manual measurements have been carried out in the Liz experimental catchment, during which snow depth and snow water equivalent are determined at selected localities. These quantities determined for clearing and forest sites at each locality enable the calculation of the portion of new snow intercepted on the vegetation during a snowfall, i.e. interception loss. The values of interception loss at all localities ranged from 24.5 to 32.5%.

In the thesis, the acquiring method of the snow depth and the tree branch deflection from the sequence of camera images was also tested. This method can be burdened by an uncertainty in remote reading of values more than manual measurements. On the other hand, the method seems to be more suitable for distant locations, whose poor accessibility in the winter prevents more frequent measurement. Moreover, manually measured interception capacities have shown that the amount of snow intercepted on a branch of a given tree and its subsequent deflection is also, in addition to meteorological conditions during a snow episode, strongly influenced by the characteristic structure of the tree.

## **Key words**

Snow depth, snow water equivalent, interception loss, sequence of camera images, interception capacity

## Obsah

1. Úvod.....	9
2. Cíl práce .....	10
3. Charakteristiky sněhu .....	11
3.1. Definice pojmů.....	11
3.2. Funkce sněhové pokrývky.....	11
3.3. Akumulace sněhu.....	12
3.3.1. Nový sníh.....	12
3.3.2. Redistribuce sněhu a sněhová pokrývka.....	12
3.4. Výška sněhové pokrývky.....	13
3.5. Vodní hodnota sněhové pokrývky .....	13
3.6. Intercepce .....	14
3.6.1. Intercepční ztráta .....	14
3.6.2. Biologické faktory ovlivňující velikost intercepce sněhu.....	15
3.6.3. Meteorologické faktory ovlivňující velikost intercepce sněhu .....	16
4. Materiál a metody .....	18
4.1. Povodí Volyňky.....	18
4.2. Experimentální povodí Liz.....	19
4.2.1. Klimatologické poměry.....	20
4.2.2. Geomorfologické poměry .....	20
4.2.3. Hydrologické poměry .....	20
4.2.4. Geologické a půdní poměry .....	21
4.2.5. Vegetační poměry .....	21
4.2.6. Měřicí lokality v experimentálním povodí Liz .....	22
4.3. Datový soubor.....	22
4.4. Přístrojové vybavení.....	23
4.4.1. Brinno BCC100.....	23
4.4.2. CS725.....	23
4.4.3. Sněhoměrná lať.....	24
4.4.4. Sněhoměr na měření vodní hodnoty sněhu.....	24
5. Vlastní užití postupy.....	25
5.1. Způsob vyjádření intercepce pomocí intercepční ztráty .....	25
5.2. Poklesová větev .....	26
5.3. Analýza poskytnutých kamerových záznamů .....	26
5.4. Ruční měření intercepční kapacity.....	28
5.4.1. Popis měření.....	30

5.5. Zápoj koruny stromů na zkoumaných lokalitách v rámci povodí Liz .....	31
6. Výsledky a diskuze .....	32
6.1. Průměrné SD a SWE na lesních a mýtinných stanovištích .....	32
6.2. Redukce SD a SWE na lesním stanovišti.....	34
6.3. Doba trvání sněhové pokrývky.....	34
6.4. Intercepce sněhu.....	36
6.4.1. Akumulační epizody .....	36
6.4.2. Intercepční ztráta .....	36
6.4.3. Regresní vztahy mýtinného a lesního stanoviště .....	39
6.5. Finální poklesová větev .....	42
6.6. Určení vodní hodnoty sněhu z měření gama spektrometru CS725 .....	43
6.7. Využití sekvence hodinových snímků z lokality Smrk 975 .....	43
6.8. Odhad intercepční kapacity v terénu .....	45
7. Závěry a doporučení .....	47
8. Reference .....	48
9. Přílohy .....	51
9.1. Průběhy výšky sněhové pokrývky v jednotlivých letech .....	51
9.2. Průběhy vodní hodnoty sněhu v jednotlivých letech.....	60
9.3. Průměrné hodnoty výšky sněhové pokrývky a vodní hodnoty sněhu na lesním a mýtinném stanovišti .....	69
9.4. Akumulační epizody na jednotlivých lokalitách ve zkoumaných zimních sezónách.....	71
9.5. Hemisférické snímky lesních stanovišť zkoumaných lokalit .....	71
9.6. Analýza kladných stoprocentních a záporných intercepčních ztrát.....	73
9.7. Regresní vztahy lesního a mýtinného stanoviště s nenulovým počátkem .....	74



## Úvod

Význam sněhové pokrývky je klíčový z mnoha aspektů. Kromě schopnosti odrazet krátkovlnné záření a izolace půdního povrchu před meteorologickými vlivy sehrává také sněhová pokrývka významnou roli z hydrologického hlediska. Dle Elias (2021) je v době jarního odtávání sněhu přesné stanovení změn a jejich příčin v celkové bilanci vody v povodí základním předpokladem při zmírňování destruktivních dopadů na rostlinstvo a živočišstvo v době zvýšených vodních stavů. Sněhové charakteristiky, jako např. výška sněhové pokrývky (dále SD) nebo vodní hodnota sněhu (dále SWE), výrazně ovlivňují charakter plošného i soustředěného povrchového odtoku v oblasti mírného pásu. Kromě toho dochází z důvodu roztátí sněhu také k nasycení půdního profilu vodou a pozvolnému doplňování podzemních vod. Pro přesné určení je nutné provozovat hustou síť měřících stanic, na kterých je zajištěna maximální frekvence měření (Schöner et al., 2018). Měření je možné provádět ručně, automaticky nebo semiautomatickou metodou. Dle Floyd a Weilera (2008) je metoda časosběrného snímání jako vhodná a účinná pro analýzu jednotlivých sněhových událostí, kdy docházelo k akumulaci, odtávání a intercepci. Nicméně, metoda má také řadu nedostatků, mezi které patří např. zhoršení kvality snímků pořízených v noci nebo během mlhy. V jejich pozorování bylo také zjištěno, že na otevřené lokalitě je možné využít pro analýzu v průměru 25 % pořízených snímků v zimním období od listopadu do května, zatímco na lesní lokalitě pouze 12 % ve stejném časovém období.

Přesná terénní měření napomáhají ke spolehlivým výsledkům při následném modelování sněhových charakteristik v delším časovém období. Například v oblasti západních Tater bylo prokázáno, že modelování průběhu SWE pomocí konceptuálního modelu UEB (Utah Energy Balance Snow Accumulation and Melt Model), který je detailněji popsán v Tarboton a Luce (1998), poskytuje kvalitní výsledky pouze pokud jsou k dispozici spolehlivé vstupy (Holko et al., 2009).

Koruna stromu dokáže ovlivnit sněhové podmínky lokality změnou v tocích energetické bilance. Na základě pozorování zimní sezóny Holko et al. (2009) zjistili, že v oblasti západních Tater bylo SD na mýtiněm stanovišti o 22 % vyšší než na lesním (v případě SWE o 31 % vyšší). V oblastech vrchovin v jižní Albertě (Kanada) byla dle Goldinga a Swansona (1986) akumulace sněhu na lesní lokalitě zredukována o 20 až 45 % oproti otevřené lokalitě. Ke snížení rozdílu mezi zkoumanými veličinami na lesním a mýtiněm stanovišti dochází většinou v době odtávání (Holko et al., 2009). Problémovým faktorem při přesném určení zkoumaných charakteristik (SD a SWE) je činnost větru (Holko et al., 2009), která má oproti lesním stanovištím výraznější vliv na depozici sněhu na volných prostranstvích. Pod korunou je zaznamenána nižší intenzita tání v porovnání s otevřenými nebo bezlesími plochami (Hribík et al., 2012). V případě vyšší frekvence měření je možné analyzovat i rychlost odtávání sněhové pokrývky. Ta je přirozeně rozdílná na lesním a mýtiněm stanovišti. Méně intenzivnější odtávání lze očekávat u lesních lokalit oproti mýtiněm (Hribík et al., 2012). Na výraznější rozdíl v odtávání má dle Hribík et al. (2012) vliv nižší ozáření povrchu, které je způsobeno částečným zakrytím korunou stromu. Rychlost odtávání pak závisí na druhu stromů, jejich stáří a indexu listové plochy.

Intercepce je proces, který probíhá během srážkové epizody při akumulaci tuhých či kapalných srážek na vegetaci (Bednář et al., 1993). Po tom, co dochází k akumulaci nového sněhu na větvích (proces intercepce), je toto množství zadrženo sněhu obvykle procentuálně vyjádřeno veličinou pojmenovanou intercepční ztráta. Pro její výpočet je potřeba měření na lesním a mýtiněm stanovišti zkoumané lokality. Předpokladem pro její stanovení ze znalosti SD je stejná hustota vrstev sněhové pokrývky, které mohou vznikat během na sebe nenavazujících sněhových epizod (Holko et al., 2009).

Efektivita intercepce je dle Schmidta a Troendleho (1992) nejvýraznější při sněhových epizodách s vodní hodnotou sněhu v rozmezí od 5 do 25 mm. Intenzita intercepce závisí zejména na meteorologických podmínkách, tj. na teplotě vzduchu nebo rychlosti větru. Intercepční ztráta je silně podmíněna vegetačním pokryvem lokality, u které hraje významnou roli zápoj, stáří porostu nebo záchytná plocha stromu (či větve). V poslední době se objevují případy, kdy dochází k napadení porostů parazity, kteří likvidují rozsáhlé plochy lesních pokryvů se stálezelenými společenstvy stromů (Pugh a Small, 2011). Následkem je snížení hodnoty intercepční ztráty z důvodu znatelného snížení množství jehlic na stromech, čímž se rozdíl v akumulaci sněhu mezi lesním a mýtiným stanovištěm snižuje. Zachycený sníh na větvích je přístupnější vzduchu. Na rozdíl od sněhové pokrývky jednodušeji dochází k transportu zjevného tepla do sněhu a tím i k sublimaci sněhu na větvi. Dle Schmidta a Troendleho (1992) se v případě staršího jehličnatého lesa s výrazným zápojem vysublimuje až jedna třetina z celkového ročního množství zachyceného sněhu. Z tohoto důvodu hraje sublimace důležitou roli při předpovědi množství vody, která se při jarním tání infiltruje do půdy.

Během zimního období dle Pomeroye a Schmidta (1990) způsobuje přítomnost ledových krystalků ve struktuře dřeva zvýšení jeho modulu pružnosti. Větve se stávají pevnějšími a odolnějšími vůči prohnutí s poklesem teploty až do  $-20^{\circ}\text{C}$ . Nižší elasticita dřeva při takových teplotách by umožnila zachytit větší množství sněhu na větvi. Současně by docházelo k menšímu počtu náhlých odlehčení a opadů z větvi vlivem vyšší stability větve. Na druhou stranu, vyššímu záchytu sněhu by zcela jistě bránila minimální soudržnost sněhu při velmi nízkých teplotách v rozmezí od  $-3$  do  $-20^{\circ}\text{C}$ . Dle Ray a Bret-Harte (2019) se mohou objevit v případech výraznějšího zatížení větve její trvalé či dočasné deformace. Projevují se po odlehčení větve, která byla zatěžována po dobu hodin až několika dnů. Tyto deformace se liší druh od druhu stromu, vlivem teploty a celkovou dobou zatěžování. U dočasných deformací se jedná o navrácení větve do původního stavu, které je závislé na době zatěžování a obvykle bývá ukončeno do 24 hodin od úplného odlehčení větve.

## Cíl práce

Práce má za cíl přispět k popisu zimních období z hlediska sněhových charakteristik na vybraných lokalitách v rámci experimentálního povodí Liz. Povodí může svou vegetační stavbou - dominancí jehličnatého lesa a přítomností listnatého lesa a bezlesí - reprezentovat i další území České republiky. V práci budou díky poskytnutým kvalitním terénním měřením určeny průměrné výšky sněhové pokrývky a průměrné vodní hodnoty sněhu v dané zimní sezóně či kratších časových obdobích. Kromě toho umožní měření na lesním a mýtiném stanovišti výpočet intercepční ztráty. V časové řadě dostupných měření bude posouzena statistická významnost trendů. Odhadnuta bude i intercepční kapacita větve stromů, u níž bude současně určen průhyb větve při zatížení sněhem. A v neposlední řadě bude představena možnost detekce sněhové intercepce z kamerových záznamů.

## Charakteristiky sněhu

Valná část pojmů a k nim podaných definic, které se objevují v této kapitole, jsou převzaty zpravidla ze dvou učebnic sněhové hydrologie (Pomeroy a Brun, 2010 a DeWalle a Rango, 2008) a Meteorologického slovníku (Bednář et al., 1993).

### Definice pojmů

Sníh je tvořen soustavou vodních částic, jehož tuhé či kapalné skupenství je během vypadávání z oblaků závislé na teplotě během sněhové srážky. Pokud je teplota během srážky menší než 0 °C, tvoří se na půdním povrchu sněhová pokrývka. Novým sněhem se rozumí vrstva ledu či sněhu na povrchu (tedy množství pevných či kapalných srážek), která vznikla na základě epizody složené z čerstvých tuhých srážek (Bednář et al., 1993). Starým sněhem je zpravidla nazývána vrstva sněhu, která se nachází dlouhodobě na půdním povrchu, minimálně taje a může na ni napadnout nový sníh. Pokud nový sníh vytváří na povrchu spojitou vrstvu sněhové pokrývky o definovatelné tloušťce, pak mluvíme o sněhové pokrývce souvislé. Naopak povrch pokrytý nekontinuální vrstvou sněhu je označen jako nesouvislá sněhová pokrývka a je mnohdy způsoben slabou sněhovou epizodou. V takových případech je užíván pojem sněhový poprašek, který definuje celkovou hodnotu sněhové pokrývky nebo hodnotu nového sněhu jako 0,5 cm a méně (Bednář et al., 1993). Souvislá i nesouvislá sněhová pokrývka hrají důležitou roli pro život navázaných ekosystémů (vegetace, mikroorganismy, zvířata, nutrienty apod.), kdy ovlivňuje a určuje způsob interakcí mezi nimi (Pomeroy a Brun, 2010). Samotná sněhová pokrývka v sobě zahrnuje funkce, které jsou uvedeny v následující kapitole.

### Funkce sněhové pokrývky

Fyzikální vlastnosti sněhu, a to zejména radiční odrazivost, hustota, obsah plynné fáze, teplota, vlhkost či pórovitost, mají výrazný vliv na biologickou aktivitu ve sněhu. Sníh v atmosféře vzniká, když je teplota menší než 0 stupňů Celsia a jsou zde současně přítomny přechlazená voda a aerosoly jako kondenzační jádra.

Sněhová pokrývka odráží většinu krátkovlnného záření, a naopak absorbuje a zpětně vyzařuje většinu dlouhovlnného záření (Male et al., 1980).

Jako prostředí s porézní strukturou s vysokým obsahem vzduchu má sníh vlastnosti izolantu, což se v konečném důsledku projevují při ochraně rostlinstva a živočišstva v době tuhých mrazů či silného větru (Palm a Tweitereid, 1979). Tato izolace může vyústit v rozdílnou teplotu po výšce profilu sněhové pokrývky, což dále ovlivňuje složení sněhu.

Sněhová pokrývka má klíčovou roli v doplňování zásob vody. Vlivem teploty dochází v jarních obdobích k výraznému odtávání, což umožňuje dotaci podzemních vod, kdy může voda z tajícího sněhu pronikat preferenčními cestami skrze vrstvu sněhu směrem k půdnímu povrchu a následně dále do podzemních rezervoárů (Marsh et al., 1984). Nasycení půdního profilu je v mírných zeměpisných šířkách typickým jevem a je zdrojem potravy různorodým druhům mikrobů, bezobratlým živočichům či některým savcům (Pomeroy a Brun, 2010).

Kromě těchto funkcí má sníh i další unikátní vlastnosti, které pomáhají vytvářet specifické životní podmínky pro ekosystémy. Kromě výše uvedeného je pro sníh charakteristické rozdílné latentní teplo výparu (2,83 MJ/kg) a latentní teplo tání (333 kJ/kg), což má značné dopady na energetické toky při

změně skupenství. V porovnání s půdou lze u sněhu zaznamenat také rozdílnou tepelnou vodivost, která je závislá na hustotě a obsahu vody ve sněhové pokrývce. Tepelná vodivost pro přemrzlý sníh s nižším obsahem vody může mít hodnotu 0,045 W/m/K, což je dle Kodešové et al., 2013 v naprosté většině testovaných půd až šestkrát méně oproti jejich standardu.

Významný je také rozdíl mezi odrazivostí čerstvého sněhu (0,8 až 0,9) a déle přetrvávajícího sněhu s vyšší vlhkostí (0,5). Sněhová pokrývka má navíc minimální aerodynamický odpor, který se zvyšuje pouze v případě vegetace prorůstající sněhovou pokrývkou. Drsnostní výška sněhové pokrývky bez vegetace na otevřeném prostranství je v rozmezí od 0,01 do 0,7 mm, zatímco zarostlé vnitrozemské povrchy se odlišují drsnostní výškou o několik řádů vyšší. Proto je rychlost větru obecně vyšší nad sněhovou pokrývkou než nad pokrývkou s vegetací.

### Akumulace sněhu

K akumulaci sněhu dochází po jeho vypadnutí během sněhové srážky, kdy obvykle dochází ke spojitému rozvrstvení sněhu na půdním povrchu. Klíčovým faktorem v procesu akumulace sehrává přítomnost větru z hlediska redistribuce a expozice svahu, jejichž vliv se posléze odrazí při tvorbě sněhových návějí, jazyků či závějí (Bednář et al., 1993).

### Nový sníh

V mnoha zemích je množství nového sněhu měřeno pomocí sněhoměru, sněhového totalizátoru či sněhoměrného tubusu – prostého válce s otevřenou horní podstavou. Svrchní částí válce dovnitř dopadá během sněhové epizody nový sníh. Celkové množství vody vzniklé po odtátí sněhu umožní stanovit vodní hodnotu sněhu. Nový sníh může být také odečítán na sněhoměrné lati v podobě výšky sněhové pokrývky. Sněhové totalizátory mohou být ochráněny proti vlivu větru.

Množství sněhu vypadlé během srážkové epizody se v některých zemích vyjadřuje jako výška nového sněhu při uvážení konstantní objemové hmotnosti 100 kg/m<sup>3</sup>. Nicméně pokud měřící lokalita leží v oblastech, které jsou trvale ovlivňovány větrnou činností, pak nelze očekávat, že výška nového sněhu bude reprezentativní pro všechny body. Také nelze uvažovat neměnnou hustotu sněhu (100 kg/m<sup>3</sup>) v případě významných teplotních odchylek od normálu.

### Redistribuce sněhu a sněhová pokrývka

Distribuce nového sněhu je ovlivňována faktory, jejichž působnost se odehrává na rozlohách vyšších měřítek od 100 do 1000 km. Na distribuci v těchto měřítcích působí Coriolisova síla, nestálé proudění v atmosféře či změny teploty vzhledem k zeměpisné šířce. Také vlivy středních měřítek od 1 do 100 km významně působí na přemisťování sněhu v atmosféře. Těmito vlivy mohou být například orografický efekt, konvektivní srážka apod. (Pomeroy a Brun, 2010).

Se zvyšující se nadmořskou výškou se výška sněhové pokrývky zvyšuje z důvodu vyššího množství sněhových epizod a pomalejšího odtávání. Z důvodu vyšší sněhové pokrývky lze očekávat i významnější depozici sněhu vlivem větrné činnosti. Proto je mnohdy nalezena silná linearita mezi sezónní vodní hodnotou sněhu a nadmořskou výškou, a to nejčastěji v horských oblastech.

Samotná nadmořská výška není hlavním aspektem v distribuci sněhu. Pro správné stanovení distribučních schémat musí být uvažovány také další faktory jako reliéf, vegetace, vítr či teplota.

Vliv větru je pro vývoj sněhové pokrývky významný na otevřených prostranstvích. Proces redistribuce zahrnuje transport sněhu z obnažených míst se sněhovou pokrývkou o nízké drsnostní výšce, sublimaci sněhu unášeného větrem a depozici sněhu na stanoviště s vyšší drsností. Rozfoukávaný sníh je ovlivněn přítomnou vegetací na povrchu. Mění se dominantní dřeviny a typy stromů v lesích po celém světě významně podmiňují rozdíly mezi výsledky měření na mýtině (louka) a lesním (les) stanovišti. Obecně je možné uvažovat větší výšku sněhové pokrývky na mýtinách prostranstvích než na lesních.

### Výška sněhové pokrývky

Kvantitativní popis sněhu na povrchu půdy je v hydrologii obvykle vyjadřován pomocí výšky sněhové pokrývky (SD). Tato veličina představuje vzdálenost od povrchu půdy do úrovně sněhové pokrývky, která může být složena výhradně z nového sněhu nebo kombinací starého a nového sněhu (Bednář et al., 1993). Měření jsou prováděna na co možná nejvíce reprezentativních místech, standardně na otevřených prostranstvích, která jsou minimálně náchylná na tvorbu nesouvislé sněhové pokrývky v době odtávání. Sněhová pokrývky je svým charakterem polyfunkční vrstvou a její úloha v ekosystému je výraznější s nárůstem její výšky. Její funkce jsou vyjmenovány v předchozí kapitole.

V pozorováních, kde je k dispozici delší datová řada (vyšší počet zimních sezón), je SD obvykle vyjadřováno v podobě průměrné výšky sněhové pokrývky v dané zimní sezóně. SD je možné zkoumat i z klimatologického hlediska, kdy se určuje průměrná výška sněhové pokrývky v určitém období (např. roční období - zima). Předpokladem přesného stanovení je maximální frekvence měření. SD je možné měřit sněhoměrem, sněhoměrnou latí nebo sněhoměrným polštářem, který je pro tyto účely vybaven ultrazvukovým senzorem na měření výšky sněhu. Na výšku sněhové pokrývky mají výrazný vliv nejen samotná sněhová srážka a její intenzita, ale také intenzita odtávání sněhu, intercepce, sublimace a větrná redistribuce (Šípek a Tesař, 2014).

Doba trvání sněhové pokrývky vyjadřuje celkovou dobu, po kterou setrvává sníh na povrchu půdy. Kromě teploty vzduchu, orientace stanoviště, návětrné či závětrné části svahu či intenzity radiace dobu trvání sněhové pokrývky určuje také její celková výška. Na rozdíl od výšky sněhové pokrývky je na úrovni měřítka většího než 200 kilometrů doba trvání sněhové pokrývky dobře detekovatelná pomocí dálkového průzkumu Země (Bormann et al., 2018).

### Vodní hodnota sněhové pokrývky

Jednou z hlavních charakteristik sněhu je také jeho vodní hodnota, která popisuje potenciální sloupec vody vzniklý na jednotce plochy odtátím sněhu. Stanovení hodnoty SWE se provádí ve většině případů váhovým sněhoměrem (ruční sněhoměrný odběrač ve tvaru válce – viz kapitole Vlastní užití přístupy). Někdy se SWE určuje také pomocí sněhoměrného polštáře na základě hmotnosti vrstvy sněhu na ploše polštáře. SWE se standardně vyjadřuje v mm vodního sloupce a někdy také velikostí zatížení v  $\text{kg/m}^2$ , které působí na stavební konstrukci (Bednář et al., 1993).

SWE je možné stanovit také některými neinvazivními metodami, které měří kontinuálně hodnoty v čase s minimálními zásahy. Jednou z takových je metoda založená na detekci neutronů z kosmického záření, jejichž intenzita je nepřímo-úměrná množství vody v okolí. Při měření se využívá vzájemného kontrastu intenzit a metoda je efektivní v případě ploch o měřítkách od 500 do 1000 m (Schattan et al., 2019). Oproti jiným přístrojům vhodným pro měření SWE (např. níže popsanému čidlu CS725) není limitována maximální zjistitelnou hodnotou.

## Intercepce

Jako intercepce se obecně označuje proces, při němž dochází k zachytávání kapalných či pevných srážek na vegetaci (Bednář et al., 1993). Na sníh, který ulpěl na vegetaci, následně působí atmosférické podmínky, což se může projevit jeho sublimací, odpařováním nebo uvolňováním (opadem). Kromě přeměny přímo na vodní páru při sublimaci tak může sníh dosáhnout povrchu v kapalně podobě zejména během doby s vyššími teplotami při odtávání, a to buď stokem po kmeni nebo okapem. Maximální dosažitelné množství sněhu, které větev dokáže pojmout, označujeme jako maximální intercepční kapacitu. Překročení maximální kapacity se projeví opadem sněhu z větví na nižší patro větví nebo přímo na půdní povrch. Míra intercepce je soustavně ovlivňována vegetačními a meteorologickými faktory, které jsou výraznou měrou závislé na počasí a podnebí v daném regionu.



Obr. 1 – Intercepce jehličnatých dřevin – jedle bělokorá (vlevo) a borovice lesní (vpravo)

## Intercepční ztráta

Intercepční ztrátu je možné vyjádřit pomocí rovnice:

$$IZ = \left(1 - \frac{SWE_p}{SWE_{ns}}\right) * 100 \quad (1)$$

kde  $SWE_p$  je vodní hodnota sněhu pod vegetací (mm),  $SWE_{ns}$  je vodní hodnota sněhu nad vegetací (mm) a  $IZ$  je intercepční ztráta (%).

Pro výpočet intercepční ztráty na lokalitě je možné namísto hodnot SWE použít i měřené hodnoty SD. Obtížným úkonem bývá instalace měřicího přístroje pro detekci SWE (nebo SD) nad vegetací. Pro účely zjištění intercepční ztráty je tedy obvykle užita hodnota měření na mýtinném stanovišti. Předpokládá se, že mýtinné měření má blízkou hodnotu jako měření nad vegetací.

Intercepční ztráta může být zkoumána v měřítku samostatné větve nebo celé koruny. Nový sníh, který na větvích během sněhové epizody nespočinul, propadnul skrz vegetaci a akumuloval se na povrchu pod vegetací, můžeme nazývat jako propad. Ten se může skládat z jednotlivých ledových krystalů, které byly rozfoukány větrem, nebo jím může být směs vody a ledu, která se po odtátí sesunula či stekla z plochy větve při vyšších teplotách. Posléze pod korunou stromu znovu částečně nebo zcela zmrzla. S nástupem jarních teplot voda z roztátého sněhu stále častěji dosahuje půdního povrchu. Nalézá si cestu po kmeni nebo odkapává v okapové zóně z větví přímo na půdní povrch (DeWalle a Rango, 2008).

Dle Lundberg a Halldin (2001) je pro určení intercepční ztráty klíčové zjištění hodnoty propadu v SWE (či SD), stoku po kmeni a SWE (či SD) na mýtinném stanovišti. V případě smrkového porostu je dle Černý (2016) stok po kmeni zanedbatelný a do výše uvedené rovnice jej není potřebné zahrnout. Ve

výpočtu by mohl být uvážěn pouze v případě opadavých, u nichž by mohl nabývat na významu zejména během jarního odtávání. Měření potřebných veličin je nespolehlivé zejména u propadu sněhu korunou, kdy přírodní a aktuální atmosférické podmínky (níže uvedené faktory) negativně ovlivňují korektní stanovení. Proto je důležité kontinuální sledování propadu a jeho chování během a po skončení srážky (DeWalle a Rango, 2008).

Biologické faktory ovlivňující velikost intercepce sněhu

Podíl sněhu na vegetaci závisí na stavbě a struktuře vegetačního pokryvu. Vegetační pokryv ovlivňuje proces intercepce a hodnotu intercepční ztráty, kdy se ukazuje jako klíčové rozlišení na opadavý či stálezelený druh vegetace. V případě dřevin hraje tedy roli charakter jehliček či listů a jejich setrvání vzhledem k pozorovanému období, forma a uspořádání koruny nebo ohebnost větví (De Walle a Rango, 2008). Dle Pomeroye a Graye (2010) jsou vyšší průměrné hodnoty intercepční ztráty (v SWE i SD) v případě vegetace stálezelené oproti opadavé. Jehličnany v zimní sezóně v porovnání s listnatými stromy neopadávají, což přispívá ke zvýšení plochy, na kterou může dopadnout a zadržet se sníh. Délka jehlic, jejich množství a orientace mohou záchyt sněhu výrazně ovlivnit (DeWalle a Rango, 2008). U stálezelených stromů se naměřené hodnoty SD a SWE v nižších patrech stromu snižují směrem ke kmenu stromu, což je patrně způsobeno vyšší hustotou větví pokrytých jehlicemi. U opadavých stromů je tomu opačně.

Nejen v případě dřevin je obvykle užívána veličina, která číselně definuje množství biomasy na jednotku plochy. Ta je nazvána indexem listové plochy (LAI). V zimním období je opadavý strom zbaven odumírajících listů a LAI dosahuje minimální hodnoty. Naopak v případě stálezelených stromů je hodnota LAI relativně stabilní po celý rok. To má v zimním období velký význam pro zadržení sněhu na větvích. Kupříkladu, v práci Pomeroye a Graye (2009) vykazovaly v zimním období stálezelené stromy (smrk a borovice) téměř osmkrát vyšší hodnotu LAI oproti opadavým (osika). Jak již bylo uvedeno výše, maximální množství zachyceného sněhu v definovaném měřítku je definováno intercepční kapacitou. Ta se s nárůstem LAI zvyšuje. Se zvýšením množství sněhu na větví dochází k postupnému zatěžování a ohýbání.

V prvotní fázi sněhové epizody sníh propadá skrz prostory mezi listy či jehlicemi. Tam, kde kratší vzdálenost mezi listy nebo jehlicemi nedovoluje novému sněhu propadnout k povrchu půdy, se vytváří vazby a struktury mezi sněhovými vločkami, které se posléze promítnou při tvorbě vrstvy zachyceného sněhu na větví (Pomeroy a Gray, 2010). Četnost vazeb mezi jednotlivými sněhovými částicemi a množství zadrženého sněhu na větví se následkem soudržnosti sněhu postupně zvyšuje. Intenzita utváření vazeb a míra soudržnosti je dána zejména teplotou. Dle Schmidta a Glunse (1991) se záchyt jeví jako nejvýraznější v případě nevýznamných sněhových epizod o SWE 3 až 4 mm. Pro sněhovou epizodu s SWE vyšší než 10 mm je detekována až poloviční intercepční ztráta.

U stromů s vysokým stářím je zaznamenána vyšší pokryvná plocha, a tudíž i index listové plochy. Kromě postupného navyšování množství jehlic či listů stromu se zvyšují také rozměry matečných větví stromu, což poskytuje další možnosti pro akumulaci a zvýšení intercepční ztráty.

Při stanovení intercepční ztráty je důležité přihlídnout k vzájemnému prolínání větví, tzv. zápoji. Prorostlost vegetačního pokryvu může výrazně ovlivňovat hodnoty intercepční ztráty, kdy se díky nárůstu indexu listové plochy minimalizuje propad skrz větve. Roste rozdíl mezi hodnotami měření na lesním a mýtiném stanovišti.



*Obr. 2 – Snímek zápoje na lokalitě Smrk 920 – místo měření SD a SWE na lesním stanovišti*

Pro stanovení míry intercepce je dle Pugh a Small (2011) u lesního porostu důležitá míra napadení škůdцем. Ve většině případů jsou stromy po napadení do dvou let zbaveny jehlic, což se projeví jejich zčervenáním a následným uschnutím. Poté je intercepční ztráta znatelně snížena z důvodu redukované zachytné plochy. Na zdravých stromech s jehlicemi se akumuluje mnohem více pevných srážek, které navíc později odtávají či sublimují. V severní části pohoří Colorado byla během zimního období zaznamenána téměř o 17 % nižší vodní hodnota sněhu na lesním stanovišti pod korunou nenapadeného stromu oproti napadanému jedinci (Pugh a Small, 2013). Celková redukce hodnoty SD (či SWE) lesního stanoviště oproti mýtinnému je u napadeného porostu 18 %, zatímco u nenapadených 41 %. Zdravý, nenapadený strom má i vyšší odrazivost slunečních paprsků, a tudíž je očekávána i vyšší sublimace.

Meteorologické faktory ovlivňující velikost intercepce sněhu

Dle Schmidta a Glunse (1991) hrají důležitější roli při zachytu sněhu meteorologické podmínky než velikost nebo stáří vegetace. Zejména zvýšená teplota vzduchu napomáhá k výraznější soudržnosti sněhu a tím i k výraznější intercepci. Naopak teplota hluboce pod bodem mrazu v kombinaci se silným větrem snižuje množství zachyceného sněhu, kdy je sníh vlivem minimální soudržnosti mezi jednotlivými sněhovými částicemi snadněji odnesen z větve (DeWalle a Rango, 2008).

Ke snížení soudržnosti a následnému rozpojování sněhových vloček nebo jejich agregátů dochází především během teplot nižších než  $-3^{\circ}\text{C}$ . S nárůstem teploty, tj. od  $-3$  do  $0^{\circ}\text{C}$ , naopak soudržnost narůstá. Na snížení průměrné intercepční ztráty v zimní sezóně může mít vliv i sublimace. V měřeních,



kteřá provedli Pomeroy a Gray (1994) se ukázalo, že z celkové váhy sněhu 9 kg akumulované na větvi smrku černého během prosince a ledna (1992-1993) vysublimovala jedna třetina (zbytek dopadl na povrch půdy).

Také déšť, který dopadá do sněhové pokrývky, může mít vliv na celkovou intercepci sněhu a průhyb větve. Částice vody v kapalném skupenství se mohou akumulovat ve sněhové pokrývce. V případě akumulace na větvi vede nárůst množství vody k navýšení zatížení větve, což může vést k opadu sněhu z větvi při překročení intercepční kapacity (DeWalle a Rango, 2008).

Větrná činnost během sněhové epizody ovlivňuje hodnotu intercepční ztráty. Vítr svou aktivitou zpravidla při teplotách nižších než  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$  rozpojuje vazby mezi částicemi sněhu. Navíc dochází k pohybu větvi vlivem větru a dochází tak k opadu sněhu (Schmidt a Gluns, 1991). Při sněhových epizodách se silným větrem může v případě soudržného sněhu docházet k nalepování sněhu na kmen stromu.

Dle Pugh a Small (2013) je množství zadržného sněhu na větvi nepřímo-úměrné intenzitě srážky. Více než intenzita srážky tedy hrají roli další vlivy jako teplota, rychlost větru apod.

## Materiál a metody

### Povodí Volyňky

Řeka Volyňka je vedena v Centrální evidenci vodních toků (CEVT) a leží v celé své délce na jihu České republiky. Pramení na Světlé hoře v nadmořské výšce 1115 m n.m., odkud pokračuje severovýchodně a po 46 kilometrech se vlévá jako pravý přítok do řeky Otavy ve městě Strakonice (389 m n.m.). Plocha povodí dosahuje rozlohy 427 km<sup>2</sup> a průměrný průtok činí 2,7 m<sup>3</sup>/s. Volyňka protéká městy jako např. Vimperk, Volyně nebo Strakonice. Území povodí spadá do zásahu Povodí Vltavy, s. p.



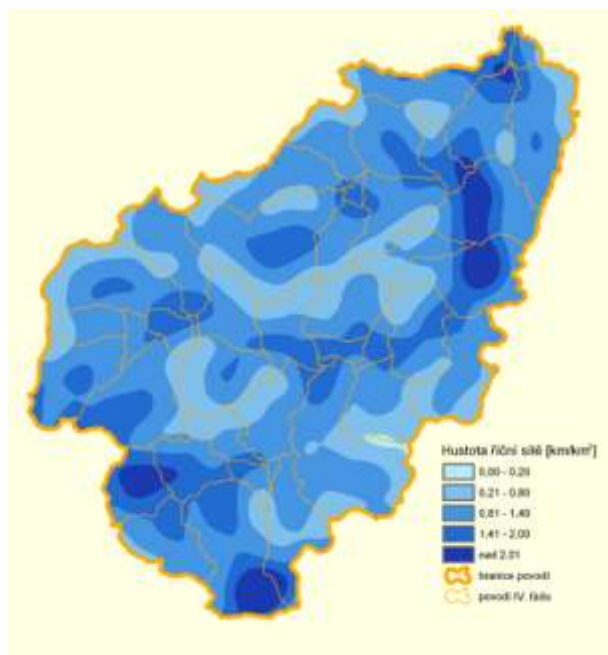
Obr. 3 a 4 – Povodí Volyňky (vlevo na ZM 1:100000, vpravo na mapě 1:200000) (Zdroje ČUZK, nedatováno a VÚV TGM, 2018)

Prameniště Volyňky je součástí členitého pohoří Šumava. Nejmohutnějšími přítoky jsou Spůlka (20,5 km) a Peklov (18,3 km), které jsou levostranné. Do povodí zasahuje 412 vodních ploch, z nichž největší jsou rybníky Zdíkovec (3,7 ha) a Blatský rybník (4,4 ha).

Povodí je výškově nepravidelné, kdy nadmořské výšky dosahují rozptýlu od 1350 m n.m. zejména v hornaté jihozápadní části povodí. V místě zaústění do řeky Otavy klesá nadmořská výška pod hodnotu 400 m n.m. Nejvyšší procentuální zastoupení nadmořských výšek na povodí se pohybuje v rozmezí od 400 do 1000 m n.m. (97,8 %). Z celkového počtu drobných toků náležících do povodí (601) dosahuje 78 % (470) délky do 1 km (27 % dosahuje délky 1-10 km, 1 % je delší než 10 km). Z toho je zjevné, že významný podíl objemu vody v řece Volyňce je dotován vodními toky s malými hydrologickými rády, které nejsou mnohdy ani vedeny jako vodní toky.

Lze zaznamenat výraznou sklonitost zejména v počátečním úseku přibližně 5 km od prameniště (říční kilometr 46 – 41), odkud tok pokračuje severně po strmých svazích Světlé hory. Sklon se z původních 10 % během této vzdálenosti sníží na hodnotu 2 %. Dále až k ústí do řeky Otavy pozorujeme pozvolný pokles sklonitosti, která se v závěru ustálí na hodnotě kolem 0,2 %. Na toku převažují sklony od 0,2 do 10 %, které zabírají 2/3 délky toku. Střední sklon toku činí 1,3 %.

Svahy jsou na povodí nejčastěji orientované na severovýchod (17 %), dále na sever (16 %) a východ (15 %). Minimální zastoupení roviny (0,09 %) jen potvrzuje členitost a různorodost reliéfu na povodí. Svahy jsou na území povodí nejčastěji v rozptylu od 5 do 15 stupňů (68 %).



Hustota říční sítě se pohybuje v rozmezí od 0 do 2 km/km<sup>2</sup>. Nejvyšší hodnoty je dosaženo v případě rozmezí od 0,8 do 1,4 km/km<sup>2</sup>, a to na polovině (52 %) plochy území. Vysoké hustoty říční sítě je možné pozorovat v dolní části toku při zaústění levostranného přítoku Peklov mezi městy Volyně a Strakonice. Průměrná hodnota hustoty říční sítě je ve sledovaném povodí je 1,1 km/km<sup>2</sup>. Dle Strahlera je řeka Volyňka z podstatné části úsekem toku 6. řádu (Zdroj Hydroekologický informační systém Výzkumného ústavu T. G. Masaryka, nedatováno).

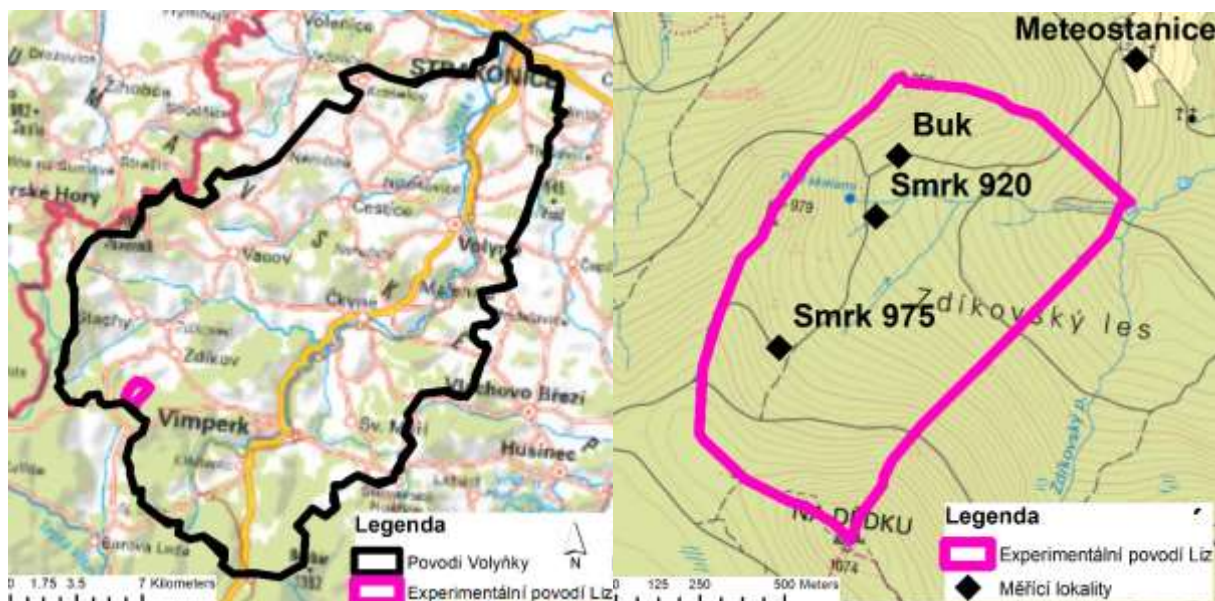
Obr. 5 – Hustota říční sítě (Zdroj VÚV TGM, 2018)

Řeka Volyňka v celé své délce zasahuje do geologického typu, který je výhradně složen z krystalinika a vulkanitu. Veškerá plocha povodí náleží do základní vrstvy hornin krystalinika, protezoika a paleozoika. Koryto řeky Volyňky je složeno z nezpevněného fluvialního sedimentu (hlína, štěrk a písek). Území mimo koryto řeky je nejvíce zastoupeno metamorfitovým horninovým typem s častým výskytem hornin pararuly či migmatitu a minerálem biotitu (Zdroj Česká geologická služba, nedatováno).

Dle dlouhodobého pozorování na hlásném profilu měřící stanice Nemětice je průměrný roční stav řeky 77 cm. Návrhový průtok Q100 dosahuje hodnota 243 m<sup>3</sup>/s. Je nutno zohlednit fakt, že detekované hodnoty jsou ovlivněny polohou hlásné stanice, která leží na 9. říčním kilometru řeky a je zásobena vodou přitékající z plochy povodí (Zdroj Český hydrometeorologický úřad, nedatováno).

#### Experimentální povodí Liz

Experimentální povodí Liz zasahuje do území povodí Volyňky a rozkládá se na jeho jihozápadní hranici (49,0658322N, 13,6819983E). Jeho rozloha činí 0,99 km<sup>2</sup>. Území leží v CHKO Šumava přibližně 3 km od hranice NP Šumava.



Obr. 6 a 7 – Experimentální povodí Liz

#### Klimatologické poměry

Dle dělení do klimatických regionů Klimatické oblasti Česka (2011) se oblast vyskytuje v chladné oblasti CH6. Příznačnými vlastnostmi jsou dlouhá a chladná jara, krátká vlhká léta a dlouhé, mírně chladné a vlhké zimy. Počet letních dní se pohybuje v rozmezí od 10 do 30 dnů a výrazně převažuje počet dní s mrazem v počtu 140 až 160 dnů.

Klima a vegetace jsou charakteristické pro mírnou klimatickou zónu. Průměrná měsíční teplota je v době ledna přibližně  $-4,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  a v červnu  $14\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Průměrná roční teplota činí  $6,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Počet dní se srážkami je 140 až 160 dní s celkovou průměrnou sumou srážek  $861\text{ mm}$  za rok.

#### Geomorfologické poměry

Povodí leží v poměrně svažitém terénu, jehož hlavní svah je orientován na severovýchod. Nejvyšším bodem je vrchol Na dědku ( $1074\text{ m n.m.}$ ) ležící na jižní hranici povodí. Na severní a severovýchodní hranici jsou dva bezejmenné vrcholy ( $950$  a  $975\text{ m n.m.}$ ). Nadmořské výšky povodí se pohybují v rozmezí  $828$  (v místě závěrového profilu) až  $1074\text{ m n.m.}$  Průměrná výška na území povodí činí  $941\text{ m n.m.}$

#### Hydrologické poměry

Území náleží povodí IV. řádu Zdíkovský potok s celkovou rozlohou  $17,6\text{ km}^2$ . Na úbočí bezejmenného vrcholu ( $979\text{ m n.m.}$ ) v západní části povodí leží vodní objekt Pod skalami, z kterého vyvěrá bezejmenný tok, do něhož se posléze napojují dva levostranné bezejmenné přítoky. V této oblasti lze sledovat poměrně vysokou hodnotu hustoty říční sítě ( $0,8-1,2\text{ km/km}^2$ ), což indikuje vyšší povrchový odtok.

Vzhledem celoročnímu bilancování vody na území povodí je evapotranspirace kolem  $500\text{ mm/rok (cm)}$ . Hladina podzemní vody je v průměru  $9\text{ m}$  pod povrchem. (Šípek a Tesař, 2015)

### Geologické a půdní poměry

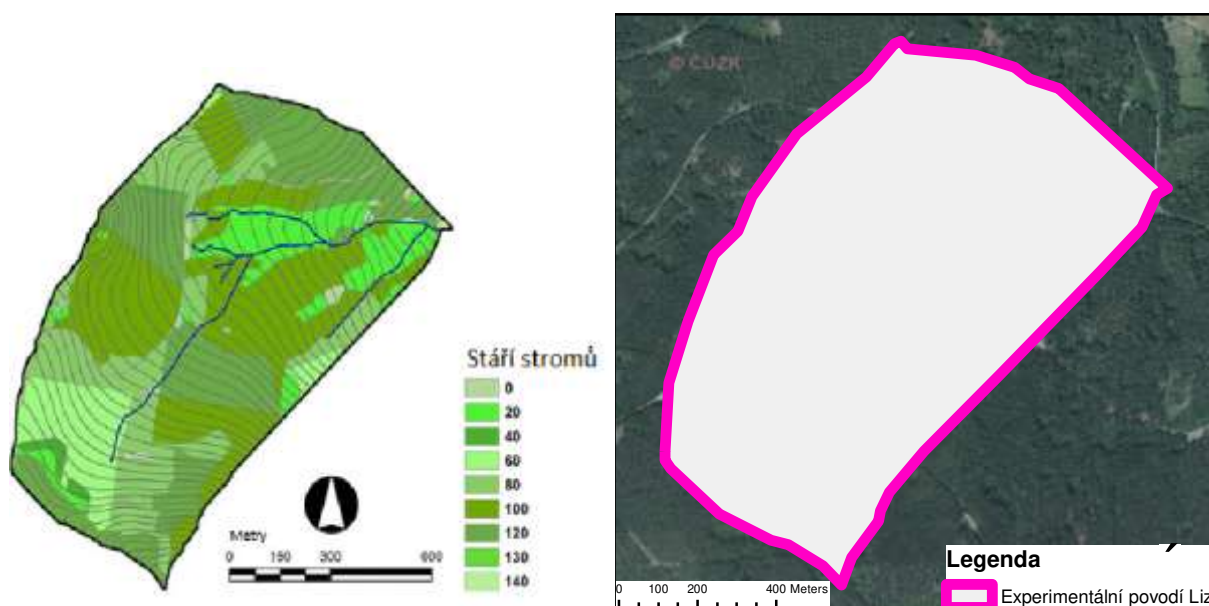
Výrazná část území (přes 90 %) leží v moldanubické oblasti na metamorfitovém horninovém typu s převažující horninou pararuly. V blízkém okolí zaústění bezejmenného přítoku do Zdíkovského potoka v severovýchodním cípu území je v kvartérní oblasti zaznamenán horninový typ nezpevněného sedimentu složený hlavně z nivních sedimentů. Zde potok mohutní a výrazně snižuje svůj sklon. Je pravděpodobně, že veškeré sedimenty v této oblasti povodí jsou důsledkem erozní činnosti probíhající na svazích povodí. V širším měřítku se geologické poměry na povodí nikterak neliší od těch, které náleží do povodí Volyňky (metamorfitový horninový typ s horninou pararula) (Zdroj Česká geologická služba, nedatováno).

Dominantní jednotkou z hlediska půdního typu je modální kryptopodzol nacházející se na hranicích povodí na hřebenech vrchů. S poklesem nadmořské výšky je hlavně podél bezejmenného zaznamenán kryptopodzol oglejený (Zdroj Česká geologická služba, nedatováno). Půdní profil je schematizován do třech půdních horizontů: 0-17, 17-60 a 60-100 cm (Tesař et al., 2001 nalezeno v Šípek a Tesař, 2015). Půda má obecně vyšší propustnost, kdy její hodnoty dosahují hodnot v průměru od 200 do 350 mm/h. Proto je na území zvýšený povrchový odtok sledován velmi zřídka, a to pouze v případě extrémní srážky či rychlého odtávání sněhu.

### Vegetační poměry

Celé plocha povodí je pokryta smíšenými lesy s dominancí jehličnanů rozdílného věku. Mezi hlavní převažující dřeviny patří smrk ztepilý (*Picea abies*), buk lesní (*Fagus sylvatica*) a modřín opadavý (*Larix decidua*). Stáří stromů se na povodí se odhaduje v průměru na 95 let (Tesař a Šípek, 2014).

Území je z velké části zalesněno. Sporadicky vznikají lesní mýtiny v důsledku těžby dřeva poškozeného lýkožroutem smrkovým nebo větrnými polomy. Takové mýtiny jsou pozorovatelné na západní hranici území. Převažujícím vegetačním pokryvem mimo zalesněné plochy travnatý porost.



Obr. 8 a 9 – Věkové rozložení stromů na povodí (vlevo) a ortofoto snímek povodí (vpravo)

Měřicí lokality v experimentálním povodí Liz

Měření použitá v této práci jsou omezena pouze na lokalitu experimentálního povodí Liz, které je ve správě Ústavu pro hydrodynamiku Akademie věd ČR. Hydrologické veličiny na experimentálním povodí Liz jsou sledována od roku 1976.

Mimo území povodí je situována lokalita Meteostanice (835 m n.m.), která je od hranice povodí vzdálena přibližně 300 m směrem na severovýchod (viz Obr. 7). Mýtinné stanoviště lokality Meteostanice leží na otevřené ploše asi 100 m od okraje lesa a nachází se v nadmořské výšce 835 m n.m. Stanice s měřicími přístroji leží ve svahu, který je orientován severozápadním až západním směrem, se sklonem okolo 6-8° (mapa ČUZK). Pozemek je dle KN ve vlastnictví Ústavu pro hydrodynamiku Akademie věd ČR, je oplocen a adekvátně vybaven pro funkčnost měřících prostředků. V blízkosti (asi 400 metrů severovýchodně od závěrového profilu) leží lesní stanoviště lokality Meteostanice. Tam jsou prováděna veškerá měření, které je nutné vyhotovit v bezprostřední přítomnosti lesního pokryvu. Stanoviště leží ve smrkovém lese, na pozemku, jenž je v majetku Lesy České republiky, s.p. V místě mýtinného stanoviště lokality jsou zřízeny přístroje určené k zaznamenávání meteorologických a hydopedologických veličin, jako například anemometr nebo lyzimetr. Vysoká frekvence manuálního měření je vzhledem k poloze měřicí stanice obtížná, proto je stanice vybavena solárním panelem pro funkčnost měřících přístrojů. Na území povodí jsou prováděna pravidelná měření také na třech dalších lokalitách – Buk (920 m n.m.), Smrk (920 m n.m.) a Smrk (975 m n.m.). Lokality slouží převážně pro stanovení dílčí části veličin v porovnání s lokalitou Meteostanice jako např. výšky sněhové pokrývky nebo vodní hodnoty sněhu. Ve vzdálenosti asi 4 km severozápadně se nachází profesionální meteorologická stanice Churáňov. Přestože se lokalita Meteostanice nevyskytuje na území povodí, naměřené hodnoty se užívají v datovém souboru určeném pro výpočet charakteristik na experimentálním povodí Liz. V případě lokality Churáňov jsou hodnoty užívány pouze pro porovnání. Pro analýzy v této práci budou užity instalované kamery na lokalitě Smrk 975.



Obr. 10 a 11 – Měřicí lokalita Meteostanice

### Datový soubor

Datový soubor s měřeními byl pro účely této práce poskytnut Ústavem pro hydrodynamiku Akademií věd ČR v.v.i. U experimentálního povodí Liz byla získána sněhová měření v datové řadě od zimní sezóny 2002/2003 (1. ledna 2003) do 2019/2020 (1. dubna 2020). Hlavními měřenými veličinami byly výška sněhové pokrývky (SD) a vodní hodnota sněhu (SWE). Množství dat bylo limitováno frekvencí měření, které proběhlo alespoň jednou za 48 hodin a bylo prováděno ručně. K dispozici byla také měření

z profesionální meteorologické stanice Churáňov (1118 m n.m.) provozované Českým hydrometeorologickým ústavem, kde jsou soustavně zaznamenávány obě výše uvedené veličiny (SD i SWE).

## Přístrojové vybavení

### Brinno BCC100

Kamera je vybavena časosběrnou technologií pro snímkování v HD kvalitě. Jednotlivé záběry jsou pořizovány v zorném úhlu 140° a kamera je nastavitelná pro zachycování snímků v časovém intervalu 1 sekunda až 24 hodin. S dostatečnou kapacitou SD karty a výkonnými bateriemi je možné pořizovat snímky nepřetržitě po dobu téměř třech měsíců. Snímky jsou po ukončení snímání ve formátu JPEG s rozlišením 1280x720 mm (případně 640x480 mm). Následně jsou převedeny do videa ve formátu AVI s rozlišením 1280x720 mm. Rozměry kamery jsou 64x46x106 mm a celková váha je 120 g. Kamera je opatřena vodotěsným krytem proti povětrnostním vlivům, ale není chráněna proti orosení objektivu kamery. Omezená viditelnost zkoumaných veličin na takových snímcích znemožňuje jejich použití (Brinno Inc., nedatováno).



### CS725

Určení vodní hodnoty sněhu za pomoci senzoru CS725 (Campbell Scientific. Ltd., 2012) je založeno na bezkontaktním zjišťování množství elektromagnetické energie generované při rozpadu izotopů prvků draslíku (K) a thalia (TI), které samovolně unikají z půdního povrchu. V období, kdy na povrchu neleží vrstva sněhové pokrývky, vyzařuje povrch (terén) pozadové množství energie z přirozeně přítomného rozpadu izotopů. Toto množství energie, které slouží jako referenční hodnota, má v období bez sněhu proměnlivou hodnotu, kdy na něj působí vlhkost půdy. Při pokrytí povrchu sněhem se množství uvolněné energie rozdílně utlumuje a její detekované množství se mění. Na základě porovnání množství vyzářené energie v době bez a se sněhem senzor vypočítává vodní hodnotu sněhu (SWE). Finální určení množství energie z rozpadu v určitém čase je zprůměrováno z hodnot odečtených čidlem ze studované plochy o výměře několik desítek metrů čtverečních v závislosti na výšce čidla nad terénem.

Obr. 12 – Čidlo CS725 na lokalitě Meteostanice

Přístroj má tvar válce (výška 62 cm a průměr podstavy 12,7 cm), který bývá upevněn přibližně 3 až 4 metry nad půdním povrchem na speciální kovové konstrukci. Vodní hodnotu sněhu (SWE) je možné

zaznamenat pro hodnoty SWE od 0 do 600 mm při teplotě od  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Přesnost přístroje je rozdílná pro SWE v rozmezí 0 až 300 mm (odchylka  $\pm 15\text{ mm}$ ) a 300 mm a více (odchylka  $\pm 15\%$ ). Celková váha přístroje činí 34 kg. Na měřicí stanici Meteostanice je přístroj navíc vybaven kolimátorem, který redukuje účinek vyzářené energie z vegetace, která v konečném důsledku negativně ovlivňuje měření (Campbell Scientific, Ltd., 2012). Čidlo bylo na lokalitě Meteostanice umístěno na mýtinném stanovišti.

#### Sněhoměrná lať



Sněhoměrná lať je tyč kruhového průřezu s průměrem 3 až 4 cm a adekvátní výškou dle místních sněhových poměrů. Používá se pro účely stanovení výšky sněhové pokrývky, která se odečítá pomocí barevně znázorněných bílo-červených úseků podobně jako na nivelační lati. Jeden úsek má výšku 10 cm. Lať musí být do země vpravena na otevřeném prostranství, kde ve velké míře nedochází k navátí sněhu k překážkám na povrchu a tím i k ovlivnění měření. Lať by měla být umístěna kolmo k povrchu. Čtení na sněhoměrné lati je v síti profesionálních meteorologických stanic prováděno 7, 14 a 21 hodin či na vybraných synoptických stanicích v 06:00 a 18:00 UTC.

*Obr. 13 – Sněhoměrná lať na stanovišti Smrk 975*

#### Sněhoměr na měření vodní hodnoty sněhu

Hodnota SWE nebyla stanovena pouze pomocí čidla CS725, ale také manuálním měřením. Pro terénní měření byl užíván ruční sněhoměr, který je válcovitého tvaru o průměru podstavy kolem 10 cm a výšce 100 cm. Jako v případě sněhoměrné latě je na vnější straně nástroje barevně znázorněna stupnice pro přibližnou identifikaci výšky sněhové pokrývky. Důležité je dostatečné zapuštění válce kolmo k povrchu. Válec je pro tyto účely na spodním okraji vybaven po celém obvodu železnými hroty. Po zapuštění válce, kdy by jeho spodní část měla být v kontaktu s půdním povrchem, je nutné využít píst pro stlačení odebraného sněhu. Na dně válce je zase použito bezpečnostní víko pro zadržení sněhu. Sněhová pokrývka je tlakem pístu natisknuta na dno válce, aby nedošlo ke ztrátě zachycené sněhu. Následně je válec i se sněhem zvážen. Ze znalosti hmotnosti válce bez (1340 g) a s odebraným sněhem je možné zjistit čistou hmotnost měřeného sněhu. SWE je pak vypočítáno přepočtem hmotnosti sněhu na plochu válce  $50\text{ cm}^2$ , čímž je zjištěno množství vody (mm) na jednotku plochy.





*Obr. 14 – Ruční sněhoměr pro určení SWE (mm)*

## Vlastní užití postupy

### Způsob vyjádření intercepce pomocí intercepční ztráty

Množství zachyceného nového sněhu na vegetaci bylo v pozorování vyjádřeno pomocí intercepční ztráty. Pro stanovení intercepční ztráty bylo zapotřebí sledovat okamžité změny čerstvé sněhové pokrývky (přírůstek SD) a vodní hodnoty sněhu (přírůstek SWE), u kterých se stanovoval rozdíl mezi mýtiným a lesním stanovištěm. Kladný rozdíl (přírůstek na stanovišti) znamenal vyšší hodnotu SD či SWE na mýtiném stanovišti, záporný potom vyšší hodnotu na lesním stanovišti. Na základě přírůstků byla vypočtena intercepční ztráta vyjádřená v procentech (viz rovnice 2). Zároveň byl zaznamenáván počet sněhových epizod, během kterých se akumulovala čerstvá sněhová pokrývka (nebo nový sníh) a byl zaznamenán kladný přírůstek SD. Takové epizody byly označeny jako akumuláčnické a hodnota celkové intercepční ztráty na dané lokalitě byla vypočtena primárně z nich. Naopak z výpočtu celkové intercepční ztráty na jednotlivých lokalitách byly vyloučeny záporné změny sněhové pokrývky, při níž sníh odtával. Takové epizody byly pojmenovány jako poklesové epizody. Časová řada sestávající se z jednotlivých epizod byla nazvána fáze. Mluvíme tedy o akumuláčnické fázi, která se skládá z epizod s kladnými změnami SD a SWE. Naopak fáze poklesová je časová řada epizod se zápornými změnami SD a SWE. Proti užití SWE pro výpočet intercepční ztráty se někdy argumentuje, že je více než v případě SD ovlivněna rozdílným táním a sublimací na volném prostranství a pod korunami stromů (např. Šípek a Tesař, 2014). Na druhou stranu se zdá, že by to mohla být pravda pouze, pokud by byla měření provedena bezprostředně po sněhové srážce. Pokud tomu tak není, obojí je ovlivněno možným táním a opětovným mrznutím sněhu a následnou změnou SD i SWE (a hustoty).

Mezi přírůstky SD v jednotlivých akumuláčnických epizodách na mýtiném a lesním stanovišti byly zjištěny regresní vztahy. V prvním kroku byla do grafického vyjádření vynesena všechna naměřená data,

bez záporných hodnot, které byly výhradně způsobené opadem sněhu z větví při odtávání nebo překročením intercepční kapacity (obdobný postup zvolili také Šípek, Tesař, 2014). Regresní přímky rovny koeficientu determinace 1 ( $R^2=1$ ) vyjadřují možnost stanovení přírůstku SD na lesním stanovišti ze znalosti hodnoty SD na mýtinném stanovišti. Regresní přímky s koeficientem determinace menším než 1 naproti tomu indikují odchylku při určení přírůstku na lesním stanovišti z měření přírůstku na mýtinném stanovišti. S rostoucí kvalitou proložení (vyjádřené koeficientem determinace  $R^2$ ) roste šance tedy i možnost stanovení intercepční ztráty lokality bez nutnosti provádět měření na lesním stanovišti. Ve druhém kroku byl počet vkládaných dat regulován pouze na přírůstky dosahující hodnoty SD větší než 5 cm na obou stanovištích současně.

### Poklesová větev

Rychlost odtávání v dané zimní sezóně byla vypočtena na lesním a mýtinném stanovišti lokality Smrk 975. Jako finální poklesová fáze bylo označeno období v jednotkách dnů, během kterého klesla hodnota SWE na nulu a sněhové pokrývka kompletně roztála. Průměrná rychlost tání byla určována jako podíl úbytku SWE a doby trvání poklesové fáze (mm/den). V pozorovaném období na poklesové větvi, kdy z důvodu nízké frekvence měření nebyly uvedeny hodnoty SWE, byly zbývající hodnoty zjištěny interpolací. V dané zimní sezóně byly zjištěny průměrné délky poklesových fází, následně také v celém zkoumaném období. Navíc byla do analýzy zahrnuta i počáteční hodnota SWE na poklesové větvi a bylo procentuálně vyjádřeno množství tajícího sněhu z této počáteční hodnoty SWE, které při vypočtené rychlosti odtávání odtálo za jeden den. Výpočet probíhal pomocí vztahu, jenž byl upotřeben jako alternativní indikátor rychlosti odtávání v níže uvedené rovnici (2):

$$MS = \frac{v_{odt}}{SWE_{poč}} \cdot 100 \quad (2)$$

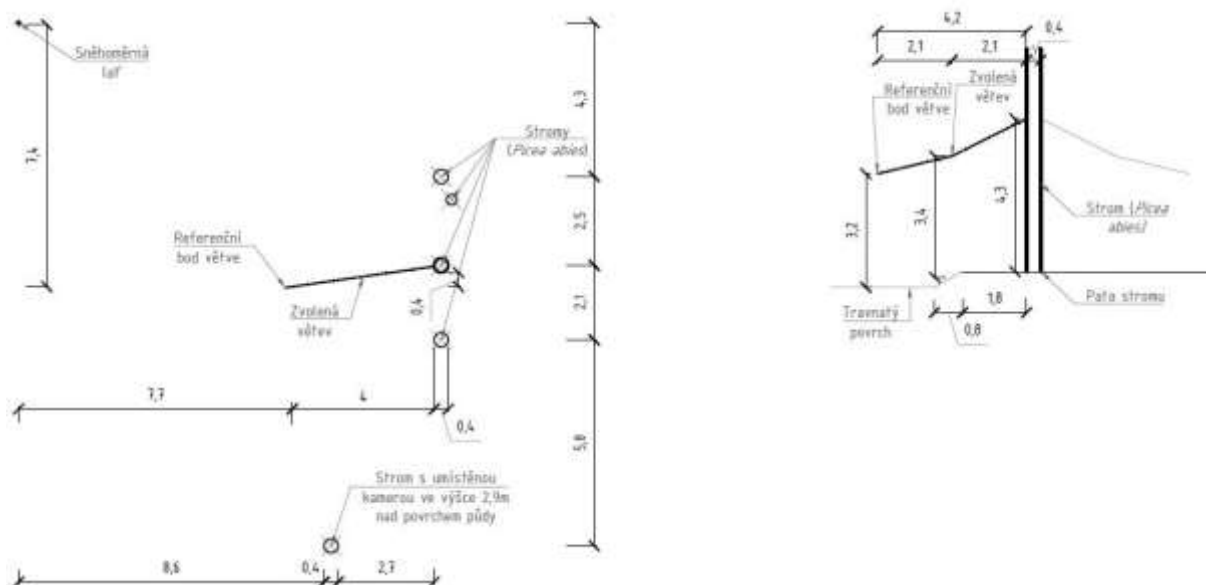
kde MS je relativní rychlost odtávání (%),  $v_{odt}$  je průměrné množství odtátého sněhu za den (mm) a  $SWE_{poč}$  je vodní hodnota sněhu na počátku finální poklesové fáze (mm).

K dílčím rychlostem odtávání v poklesové větvi nebylo přihlédnuto a rychlost byla vypočtena pouze střední průměrná. Při porovnání interpolovaných hodnot na poklesové fázi bylo přihlíženo také k ostatním lokalitám (nejvíce k lokalitě Churáňov).

### Analýza poskytnutých kamerových záznamů

Pořízená sekvence hodinových snímků na lokalitě Smrk 975 byla užita ke zjištění velikosti průhybu větve, na níž se během srážkové epizody zachycoval nový sníh. Analýza byla provedena pro období od 23. listopadu 2020 do 31. března 2021. Důležitý byl výběr vhodné a dostatečně reprezentativní větve, jejíž průhyb a následné zpětné narovnání po odtátí zachyceného sněhu bylo jasně rozpoznatelné. Vybrána byla větev bez trvalých deformací ze stromu rostoucího na okraji otevřeného prostranství (smrk ztepilý, stáří v rozmezí 10 až 110 let), která rostla v přízemních patrech stromu. Na počátku byly ze sekvence snímků detekovány sněhové epizody, v nichž došlo k výrazným zatížením větve. Jejich celkový počet byl 6 (23. listopad 2020, 13. a 26. prosinec 2020, 7. a 28. leden 2021, 10. a 20. březen 2021). Jednotlivé snímky s rozdílným průhybem byly převedeny do rastrového formátu JPEG. V softwaru Autocad 2020 byly nastaveny do vhodného měřítka.

Referenční bod, pomocí kterého byl stanovován průhyb, byl ve vzdálenosti 4,2 metru od paty stromu a 3,2 metru nad travnatým povrchem. Na stanovišti byly změřeny i vzdálenosti dalších viditelných bodů, které pomohly definovat měřítko snímku (viz Obr. 15 a 16).



Obr. 15 a 16 – Půdorys části stanoviště Smrk 975 a řez stromem s pozorovanou větví

Velikost průhybu byla určována s pomocí referenčního bodu větve. Jeho pozice na zvolené větvi byla vybrána s přihlédnutím na minimální zakrytí větvemi horních pater stromu. Ve zkoumaném období byla vybrána sněhová epizoda s maximálním průhybem. Maximálnímu průhybu byla přisouzena hodnota relativního průhybu 1, zatímco nulovému průhybu hodnota 0. Zbývající velikosti průhybů byly vyjádřeny relativním číselným podílem z maximálního průhybu (maxima). Vztah mezi množstvím zachyceného sněhu na větvi (intercepční kapacita) a průhybu byl zjednodušeně očekáván lineární, přestože studie dle Ray a Bret-Harte (2019) naznačuje jeho silnou nelinearitu. Z analýzy byly vyloučeny relativní průhyby menší než 0,5.



Obr. 17 a 18 – Minimální průhyb ze dne 23. listopadu 2020 (vlevo) a maximální relativní průhyb ze dne 7. ledna 2021 (vpravo) na stanovišti Smrk 975

Ve zvolených srážkových epizodách byly pomocí sněhoměrné latě zjištěny celkové výšky sněhové pokrývky a přírůstky sněhové pokrývky (SD) pro danou sněhovou epizodu na mýtinném stanovišti. Hodnoty výšky sněhové pokrývky v určených srážkových epizodách byly porovnány s výsledky manuálního měření. U srážkové epizody, která vyvolala maximální průhyb, byl podrobně vyšetřen její průběh v časovém období od 2. ledna 8:22 do 7. ledna 16:22 (zimní sezóna 2020/2021). Analýza proběhla v osmihodinovém intervalu (8:22 a 16:22). Noční měření nebyla v analýze využita. V analýze byla také určena deformace zvolené větve (*Picea abies*). Byla změřena poloha referenčního bodu větve v nezátíženém stavu, během zatížení a bezprostředně po odlehčení. Analýza byla provedena v případě srážkové epizody ze dne 10. března s relativním průhybem 0,82. Zvolená srážková epizoda byla charakterizována rychlým nárůstem přírůstku SD a relativně krátkou dobou zatěžování (24 hodin). Následné odlehčení větve proběhlo během několika hodin (24 hodin). Začátek analýzy byl 9. března 2021 (0. hodina) v 18:00 (konec 12. března 2021 v 8:00 – 64. hodina). Velikost průhybu byla v této analýze vyjádřena v centimetrech.

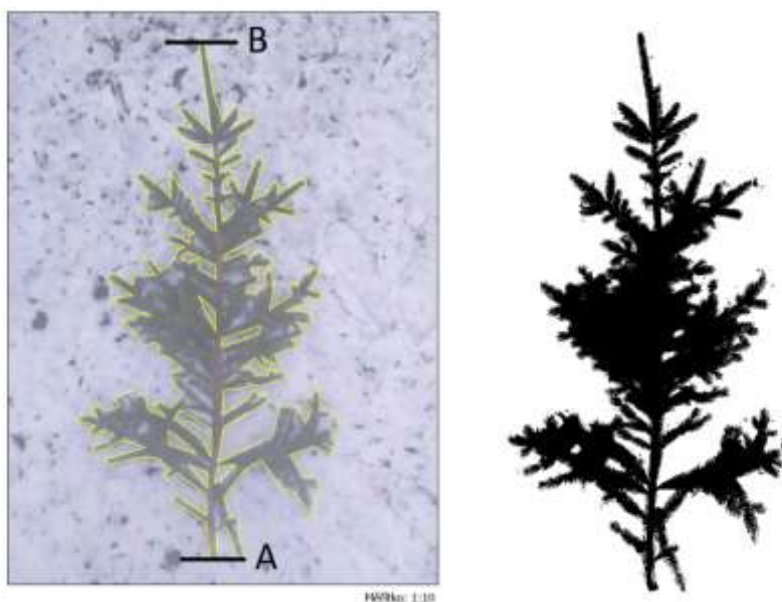
#### Ruční měření intercepční kapacity

Intercepční kapacita větve byla určena z množství sněhu zachyceného na záchytné ploše větve vybraného druhu stromu. Množství bylo vyjádřeno jako vodní hodnota sněhu SWE (mm). Pro zvolenou větev byl také stanoven průhyb při zatížení sněhem a základní geometrické charakteristiky jako délka hlavní větve (cm) a posléze i plocha celé větve (cm<sup>2</sup>). K popisu větví byly přidány i základní charakteristiky daného stromu jako výška stromu (cm) nebo průměr kmene (cm). Při zjištění průhybu větve a měření SD na větvi byl při identifikaci měřících bodů využit princip číslování toků dle Strahlera (1957). Pro změření SD byly vybrány dva měřící body zvolené větve, a to na spojnici větví prvního řádu v druhý a v počátku větve nejvyššího řádu (Obr. 18). Průhyb byl následně změřen pouze v místě spojení

větví prvního řádu v druhý. Měření byla prováděna v rozmezí od 25. prosince do 31. ledna (25. a 28. prosince 2020, 18. a 31. ledna) na co nejširší škále druhů stromů při různých meteorologických podmínkách v povodí Volyňky. Celkový počet měření byl 13.

Pro sběr a následné uskladnění sněhu byl použit plastový pytel o hmotnosti 64 g a objemu 120 l, do kterého byl opatrně košťátkem nametán sníh z větví. Výška stromu byla odhadnuta na základě pomocné latě o délce 4 m. Pro vážení vody z roztátého sněhu byla využita kuchyňská váha a mísa, do které byl pytel se smeteným sněhem vložen. Větev byla seříznuta ruční pilkou pro potřebu změření přibližné délky a posléze i plochy. Délka hlavní větve byla následně zjištěna pomocí svinovacího metru.

Délka hlavní větve byla stanovována na hlavní nosné větvi a byla měřena od kmene (bod A) ke špičce větve (bod B) (viz Obr. 19). Pro stanovení délky hlavní nosné větve bylo nutné zredukovat přirozené natočení větve a měřit ji ve vodorovné poloze. Délka hlavní větve sloužila jako referenční délka pro transformaci a určení měřítka snímku. Na základě toho bylo možné následně vypočítat přibližnou plochu pozorované větve.

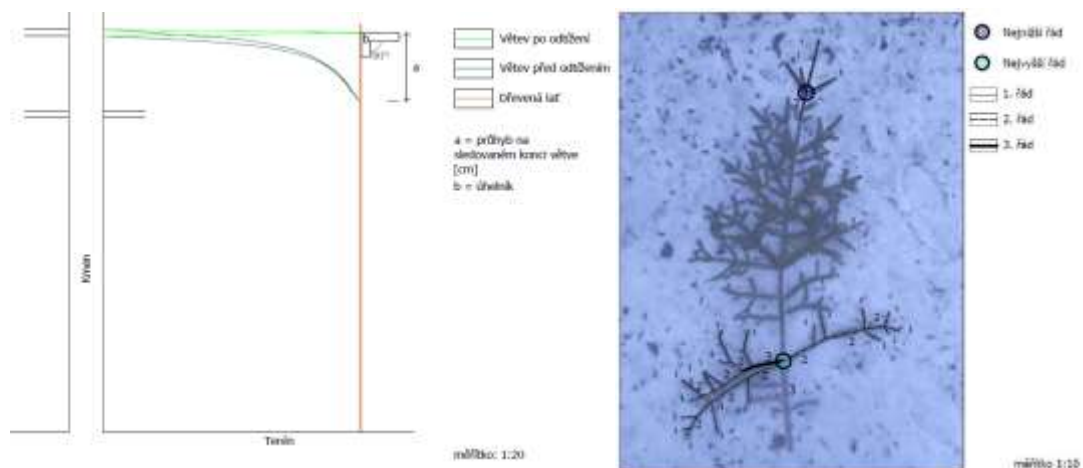


Obr. 19 a 20 – Větev jedle bělokoré (*Abies alba*) s délkou 119 cm a binarizovaný snímek

V softwaru ImageJ (Rueden et al., 2017) byla posléze vypočtena plocha větve s využitím binarizace, při které dochází k převedení pixelů do černobílé podoby. Následně byla stanovena plocha černé části snímku, tedy část větve s respiračními orgány jednotlivých druhů stromů s jehlicemi či listy (viz Obr. 20).

Průhyb větve byl určován pomocí dřevěné latě, která se umístila k nejbližšímu článku větve od kmene tak, aby směřovala kolmo k povrchu (viz Obr. 21). Následně byla odečtena a znázorněna hodnota na lati před odlehčením. Po odebrání sněhové pokrývky z větve byla odečtena a znázorněna druhá hodnota polohy větve. Rozdíl těchto hodnot udává přibližný průhyb větve, která byla zatížena sněhovou pokrývkou.

Při odlehčení větve došlo zpravidla k vychýlení či oddálení jejího konce od roviny latě. Proto byl opakovaně použit truhlářský úhelník, který se přiložil k lati a byl nastaven do výškové úrovně konce odtížené větve. Teprve poté byl proveden zápis na latě.



Obr. 21 a 22 – Stanovení průhybu (vlevo) a hydrologické členění větve dle Strahlera (1957) (vpravo)

Hmotnost vody byla zjištěna bezprostředně po roztátí sněhové pokrývky, aby se zamezilo ztrátám výparem. Rovněž bylo potřeba provést její hrubou filtraci vzorků, neboť ve vodě byly často přítomné jehlice či listy.

#### Popis měření

První měření proběhlo dne 25. prosince 2020 od 10. do 12. hodiny dopoledne. Teplota se pohybovala v rozmezí od 0 do 2 stupňů Celsia. Od časného rána padal sníh. V době provádění měření bylo oblačno a výška sněhové pokrývky dosahovala 2-4 cm v závislosti na terénu. Nadmořská výška místa měření byla v nadmořské výšce okolo 610 m n.m.

Na tomto stanovišti byly odebrány vzorky ze třech jedlí bělokorych (*Abies alba*) různé výšky. Pozorované stromy rostou na zarůstající mýtině, jejíž svah je orientovaný na sever. Vybrané větve pro zjištění intercepce se nacházely přibližně 2-3 metry nad zemí. Při tomto měření panovaly vhodné stanovištní podmínky pro sněhovou intercepci. Teplota se pohybovala v blízkosti bodu mrazu, což přispívalo k soudržnosti sněhu a docházelo tak ke spojování sněhových vloček po dopadu na větev. Zároveň vliv větru na zachytávání sněhu na vegetaci byl zanedbatelný.

Druhé měření bylo prováděno dne 28. prosince 2020 od 9. do 12. hodiny dopolední. Teplota se pohybovala v rozmezí od  $-5$  do  $-3$  °C. V době provádění měření bylo jasno a bezvětří. Měření bylo prováděno v nadmořské výšce okolo 750 m n.m. Výška sněhové pokrývky dosahovala hodnot 1-4 cm v závislosti na orientaci svahů. Od srážkové události ze dne 26. prosince, tj. prvního měření dosud nedošlo k žádné další srážkové události. Navíc od prvního měření trvale mrzlo a nedocházelo k tání sněhové pokrývky. Dny 26. prosince a 27. prosince byly slunné a bezmračné. K ubývání sněhové pokrývky tak mohlo docházet výhradně procesem sublimace.

Na tomto stanovišti byly odebrány tři vzorky. Dva z nich na smrku ztepilém (*Picea abies*) a jeden na buku lesním (*Fagus sylvatica*). Zvolené větve pro zjištění intercepce se nacházely asi 1-3 metry nad zemí. Zkoumané stromy se nacházely na rozhraní lesa a travního porostu na svahu orientovaném směrem k severozápadu.

Třetí měření bylo prováděno 18. ledna 2020 od 10. do 12. hodiny dopolední. Od časného rána padal sníh a teplota se po dobu měření pohybovala pod bodem mrazu (kolem  $-3$  stupňů Celsia). Foukal slabý

vítr, bylo oblačno a dočasná výška sněhové pokrývky činila 5-10 cm. Na větvích před sněhovou srážkou nespočíval sníh. Měření byla prováděna v nadmořské výšce okolo 610 m n.m.

Na tomto stanovišti byly odebrány tři vzorky. První vzorek na olši lepkavé (*Alnus glutinosa*), druhý vzorek na smrku ztepilém (*Picea abies*) a třetí vzorek na lísce obecné (*Corylus Avellana*). Zvolené větve pro zjištění intercepce se nacházely asi 1-3 metry nad zemí. Stromy se nacházely podél odvodňovacího příkopu místní komunikace a tvořily přirozenou hradbu lesa.

Měření průhybů u olše lepkavé (*Alnus glutinosa*) a lísky obecné (*Corylus avellana*) nebylo možné. Přestože docházelo k dopadání srážek na povrch, kvůli nízké teplotě se zadržené sněhové vločky na větvích nemohly spojit. Průhyb bylo nemožné stanovit také kvůli větru, který zachycený sníh rozfoukával. Sněhová srážka také neměla dostatečnou intenzitu.

Čtvrté měření bylo prováděno 31. ledna 2020 od 8. do 10. hodiny dopolední. Od rozednění se teplota pohybovala kolem -5 stupňů Celsia a bylo bezvětří. Předchozího dne došlo k výraznější sněhové epizodě s přírůstkem nového sněhu 10 cm. Teplota přes noc zůstávala pod bodem mrazu a větrná činnost byla zanedbatelná, což mělo vliv na setrvání sněhu na větvích do dalšího dne. V době měření bylo oblačno a výška sněhové pokrývky činila okolo 10-15 cm. Sníh byl přemrzlý. Měření byla prováděna v nadmořské výšce okolo 610 m n.m.

Na tomto stanovišti byly odebrány tři vzorky. První vzorek na smrku ztepilém (*Picea abies*), druhý vzorek na dubu letním (*Quercus robur*) a třetí vzorek na jedli bělokoré (*Abies alba*). Zvolené větve se nacházely asi 1-3 metry nad zemí. První vzorek v tomto měření (smrk ztepilý) rostl ve střední části prostranství holiny. Zbývající dva vzorky (dub letní a jedle bělokorá) rostly podél neudržované lesní cesty. Dub letní vytvářel hradbu lesa a zachycování sněhu na větvích ovlivňovaly mohutnější větve sousedního smrku ztepilého. Naopak v případě jedle bělokoré nebyl zaznamenán žádný vliv horních pater sousedících stromů. V tomto případě byla zvolena větev rostoucí v horní části stromu, tj. koruně stromu, kde se akumulovalo nejvíce sněhové pokrývky. Pro analýzu byl odebrán vzorek větve z hrušně rostoucí v soukromé zahradě.

## Zápoj koruny stromů na zkoumaných lokalitách v rámci povodí Liz

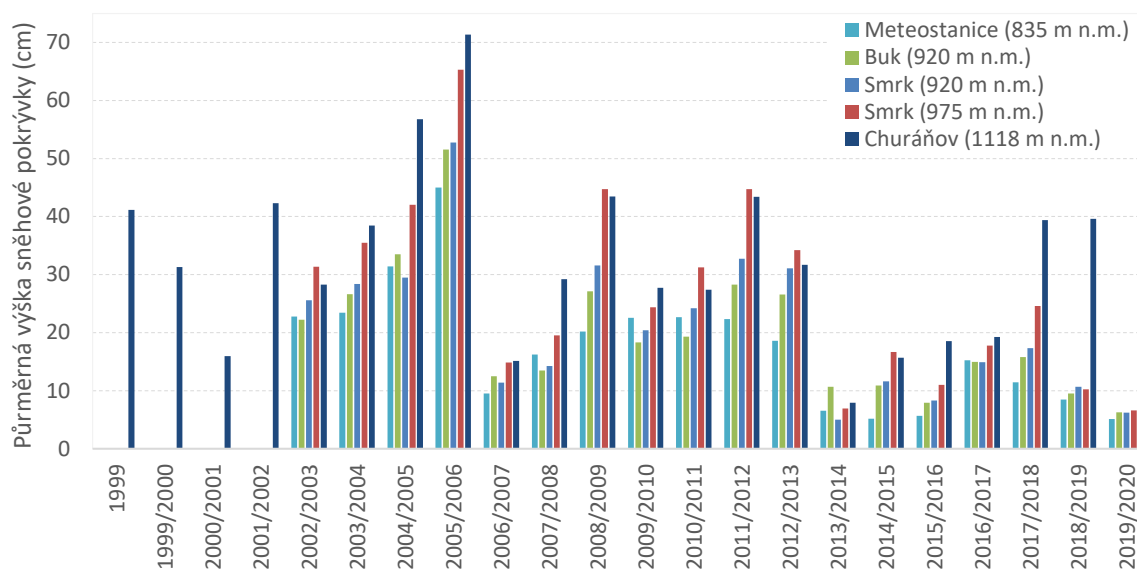
Vzájemná prorostlost sousedících stromů, tzv. zápoj, byla na lesních stanovištích jednotlivých lokalit zobrazena pomocí hemisférických snímků. Jednotlivé snímky byly pořízeny kompaktním fotoaparátem Sony Cyber-Shot DSC-W830 (Sony Europe b.v., 2021) primárně ve formátu JPEG s maximálním rozlišením 5152x3864 pixelů. Fotoaparát je vybaven světelností objektivu v rozmezí od 3,6 do 6,3. Maximální ohnisková vzdálenost 3,6 cm umožňuje provádět široko rozměrné snímky. Šířka a výška fotoaparátu je 9,3x5,2 cm (hloubka 2,2 cm) s celkovou hmotností 120 g. Pořízení kvalitních snímků bylo zajištěno stativem Velbon QHD-53D (Velbon Zhongshan Co., Ltd, nedatováno) s nastavitelnými výsuvnými nohama a libelami pro zajištění vodorovné polohy.

Místa pro pořízení snímků byla vybrána na základě projednání pozorovatelem, který vykonává jednotlivá ruční měření na lokalitách. Následně na dané místo byl přistaven stativ s fotoaparátem, jehož osa směřovala kolmo k zemi. Výška od půdního povrchu k dolní hraně čočky fotoaparátu byla 70 cm. Na lesním stanovišti každé lokality byly pořízeny tři snímky, z kterých byl posléze vybrán nejrepresentativnější na základě jeho kvality. Takové snímky lesních stanovišť zkoumaných lokalit jsou uvedeny v přílohách i výše uvedené kapitole (viz Obr. 2)

## Výsledky a diskuze

### Průměrné SD a SWE na lesních a mýtinných stanovištích

Průměrné hodnoty SD a SWE byly v dané zimní sezóně zjištěny pro lesní (uzavřené) a mýtinné (otevřené) stanoviště každé lokality ležící v povodí Liz. Pro měřicí lokalitu Churáňov byly k dispozici hodnoty SD a SWE pouze pro otevřené stanoviště. Analyzovaná měření pochází z období od zimní sezóny 2002/2003 do 2019/2020. Výjimkou je lokalita Churáňov, kde je měření prováděno již od roku 1999. Chybějící hodnoty měření byly v datovém souboru lineárně proloženy.



Obr. 23 – Průměrná výška sněhové pokrývky na otevřeném stanovišti vypočtená pro specifická trvání sněhové pokrývky na jednotlivých lokalitách

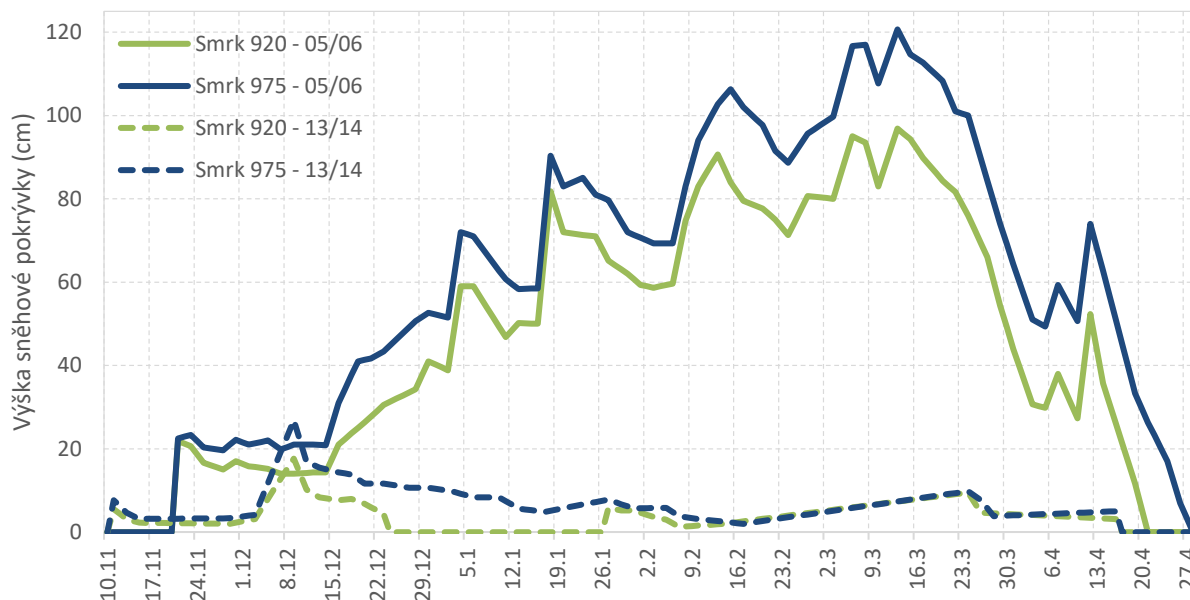
Z Obr. 23, který znázorňuje hodnoty průměrných výšek sněhové pokrývky (SD) v jednotlivých zimních sezónách na otevřeném stanovišti, vyplývá, že nejvyšší průměrné hodnoty výšky sněhové pokrývky byly naměřeny v sezóně 2005/2006. Průměrná hodnota SD v této sezóně činila 53,6 cm. Naopak nejnižší hodnoty průměrné sněhové pokrývky byly pozorovány v sezóně 2013/2014, kdy hodnota průměrné SD na otevřeném stanovišti byla 7,3 cm. Shodou okolností nejvyšší a nejnižší průměrná výška sněhové pokrývky na lesním stanovišti byla naměřena ve stejných zimních sezónách jako na stanovišti mýtinném (v sezóně 2005/2006 36,8 cm, v sezóně 2013/2014 1,6 cm).

Také maximum a minimum průměrné vodní hodnoty sněhu za sezónu nastaly v zimní sezóně, ve které se vyskytla nejvyšší a nejnižší hodnota průměrné SD, a to v případě lesní i mýtinné lokality. Na sníh byla tedy opět nejbohatší zimní sezóna 2005/2006 (průměrná hodnota SWE 145,2 mm) a nejchudší zimní 2013/2014 (průměrná hodnota SWE 12,9 mm).

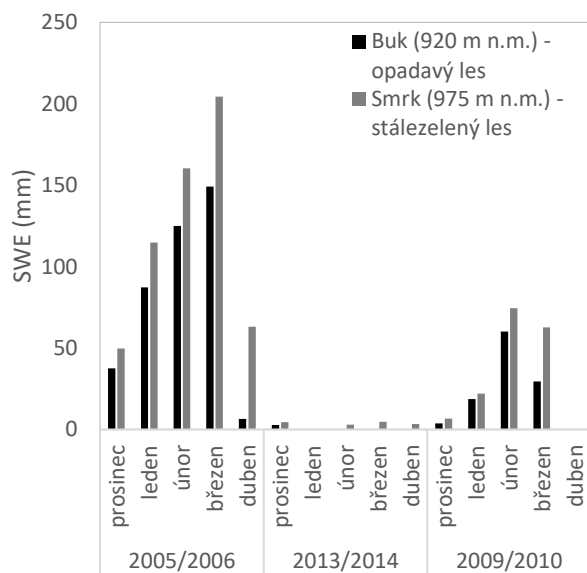
Při porovnání těchto extrémních zimních sezón 2005/2006 a 2013/2014 je patrné, že obě zimní sezóny měly podobnou dobu trvání (začátek sezóny mezi 10. listopadem až 21. listopadem, konec sezóny mezi 21. dubnem až 25. dubnem). Nicméně charakter zimní sezóny a zjištěné hodnoty se výrazně odlišují. Maximální hodnota sněhové pokrývky v zimní sezóně 2005/2006 byla dosažena na obou pozorovaných lokalitách přibližně v polovině března (u lokality Smrk 920 96,8 cm, u Smrk 975 121,2 cm). Maximální hodnota sněhové pokrývky v zimní sezóně 2013/2014 byla pozorována 10. prosince (Smrk 920 17,7



cm, Smrk 975 26,8 cm). Sezóna 2005/2006 začala o 11 dní později (21. listopadu) oproti sezóně 2013/2014 (10. listopadu). Na druhou stranu bylo pozorováno dřívější odtátí sněhové pokrývky v případě sezóny 2013/2014 (17. dubna). V sezóně 2005/2006 došlo k celkovému odtátí sněhové pokrývky v případě lokality Smrk 920 o 7 dní dříve (21. dubna) než u lokality Smrk 975 (28. dubna). To bylo pravděpodobně způsobeno rozdílnou nadmořskou výškou lokalit. Stejně tak rozdíl výšky sněhové pokrývky na obou lokalitách v zimní sezóně 2013/2014 byl patrně způsoben právě nadmořskou výškou.



Obr. 24 – Porovnání SD v extrémních sezónách 2005/2006 a 2013/2014

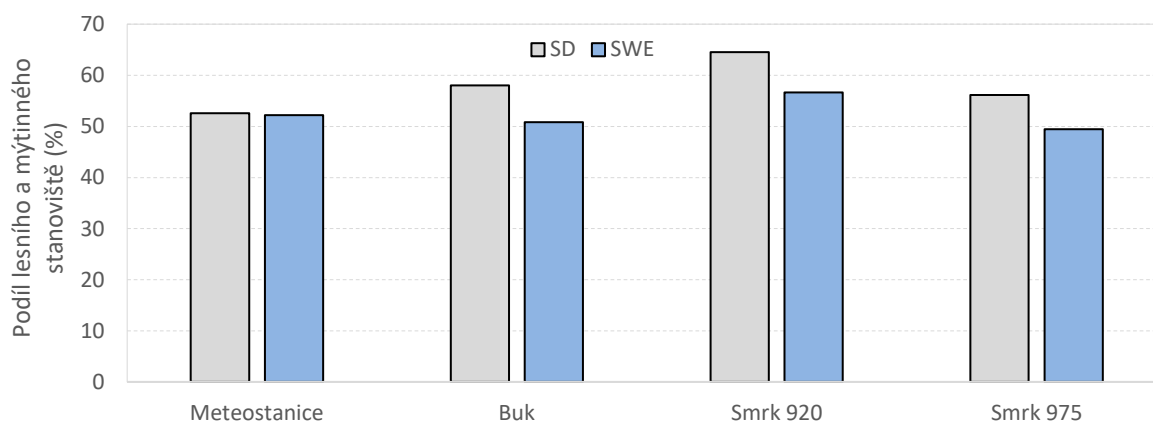


Obr. 25 – Průměrná sněhová pokrývka ve vybraných zimních měsících v zimních sezónách 2004/2005, 2009/2010 a 2013/2014

Pro zjištění extrémní zimní sezóny 2005/2006 a 2013/2014 byly vypočteny průměrné vodní hodnoty sněhu (SWE) pro lesní stanoviště v měsících prosinec, leden, únor, březen a duben. Do výpočtu byly zahrnuty lokality opadavého (Buk) a stálezeleného lesa (Smrk 975). Na těchto lokalitách byly porovnány velikosti vodní hodnoty sněhu (SWE) ve výše uvedených měsících. Do porovnání byla přidána také ukázka průměrné zimní sezóny 2009/2010. Z Obr. 25 je patrné, že v sezóně 2005/2006 docházelo k výraznému nárůstu SWE (a pravděpodobně nižšímu poklesu) v období od prosince do března (v případě 2009/2010 do února). Naopak nárůst SWE je v sezóně 2013/2014 nepravidelný a období akumulace a následného odtávání je těžko rozpoznatelné. Zvýšená teplota, jejíž důsledkem mohlo být odtávání sněhové pokrývky, pravděpodobně zapříčinila pokles SWE v březnu

a dubnu v případě sezóny 2004/2005 a 2009/2010 (u 2013/2014 pouze v dubnu). Je zjevné, že hodnota SWE je v každém pozorovaném měsíci na lokalitě Smrk 975 vyšší než na lokalitě Buk. To je patrně způsobeno vyšší nadmořskou výškou stanoviště Smrk 975. Nárůst rozdílu SWE mezi oběma stanovišti je pozorovatelný ve všech třech zimních sezónách na konci zimního období (březen, duben), kdy dochází k intenzivnějšímu odtávání na stanovišti s opadavým pokryvem. Je možné, že rychlejší ústup sněhové pokrývky v bukovém porostu je ovlivněn vyšší solární radiací, která prostupuje skrz holé koruny stromů.

#### Redukce SD a SWE na lesním stanovišti

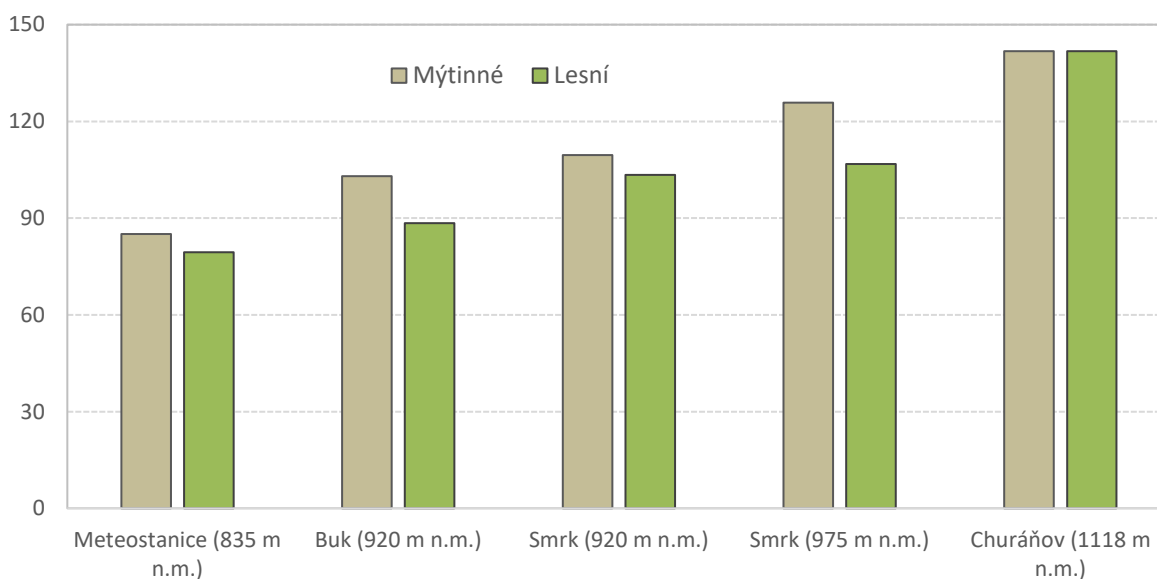


Obr. 26 – Redukce hodnot SD a SWE na lesním stanovišti oproti mýtinnému

Ze stanovených průměrných hodnot ve zkoumaných zimních sezónách (2002/2003-2019/2020) bylo možné vyjádřit podíl SD (a SWE) lesního a mýtinného stanoviště v procentech (%). Podíl udává velikost redukce hodnot SD (a SWE) na lesním stanovišti oproti mýtinnému stanovišti. Zjištěné průměrné roční hodnoty redukce se v případě SD (i SWE) pohybovaly na všech stanovištích mezi 50 a 75 %. Průměrný podíl sněhových srážek lesního a mýtinného stanoviště na všech lokalitách byl v případě výšky sněhové pokrývky 59,7 % (pro vodní hodnotu sněhu to bylo 52,8 %). Obdobné hodnoty (50 % v případě vodní hodnoty sněhu) na stejném povodí zjistili Šípek a Tesař (2014). K dispozici měli však kratší datový soubor zimních sezón od 2002/2003 do 2013/2014.

#### Doba trvání sněhové pokrývky

Na měřicích lokalitách byl určen počet dní se sněhovou pokrývkou v dané zimní sezóně. Jednotlivé dny, které byly zahrnuty do výpočtu, byly stanoveny pro všechny měřicí lokality (Meteostanice, Buk, Smrk 920, Smrk 975), a to na lesním i mýtinném stanovišti.



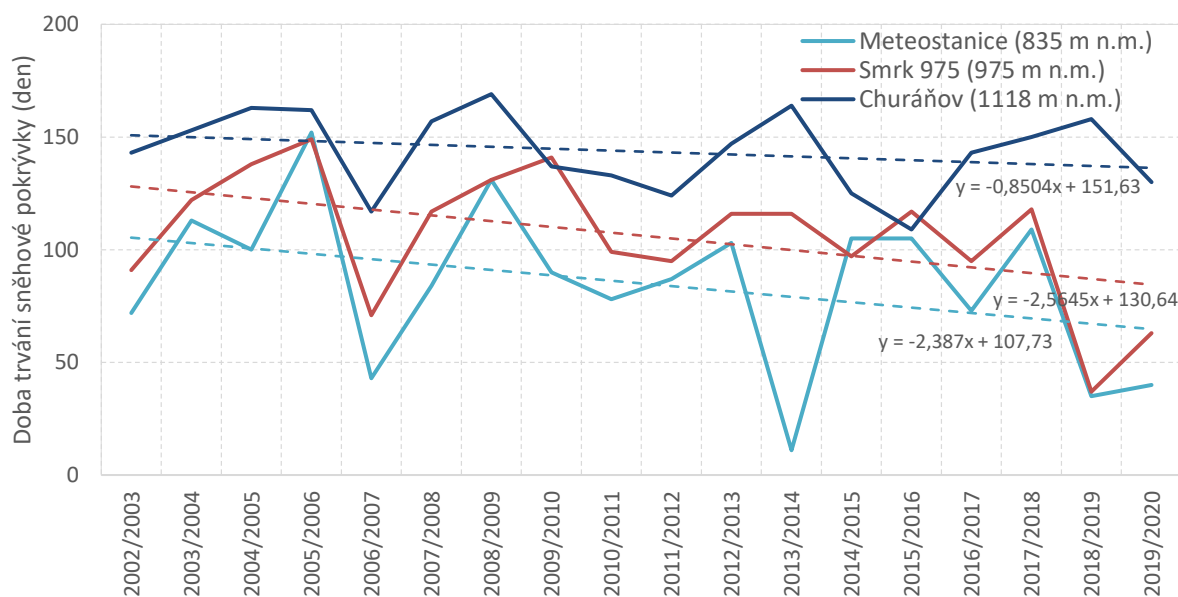
Obr. 27 – Průměrný počet dní se sněhovou pokrývkou na měřicích lokalitách v období 2002/2003 až 2019/2020

Průměrný počet dní se sněhovou pokrývkou se zvyšoval ve zkoumané časové řadě s nadmořskou výškou. Rozdíl mezi měřicí lokalitou Meteostanice (835 m n.m.) a Churáňov (1118 m n.m.) z hlediska průměrného počtu dní se sněhovou pokrývkou činil 57 dní na mýtinném stanovišti.

Nejvyšší rozdíl mezi lesním a mýtinným stanovištěm z hlediska průměrného počtu dní byl zaznamenán na měřicí lokalitě Smrk 975 (rozdíl počtu dní byl 20). Pro všechny měřicí lokality byla hodnota počtu dní na lesním stanovišti v průměru o 6 dní nižší než na mýtinném stanovišti.

Průměrná doba trvání sněhové pokrývky v zimní sezóně 2005/2006 byla při počtu 149 dní nejdelší. Naopak nejkratší a na sníh nejchudší byla sezóna 2018/2019 (průměrná doba doby trvání sněhové pokrývky byla 36 dní). Pro porovnání trendů doby trvání sněhové pokrývky ve zkoumané časové řadě byly zvoleny lokality s nejnižší (Meteostanice – 835 m n.m.) a nejvyšší (Churáňov – 1118 m n.m.) nadmořskou výškou. Tyto měřicí lokality byly doplněny o lokalitu Smrk (975 m n.m.).

Z Obr. 28 je jasně patrný klesající trend doby trvání sněhové pokrývky v zimní sezóně na zkoumaných lokalitách. Pokles počtu dní se sněhovou pokrývkou v zimních sezónách se objevuje na všech porovnávaných lokalitách. V našem případě je sklon proložené regresní přímky největší na měřicí lokalitě Smrk (975 m n.m.). Naopak jako v čase nejstabilnější se v tomto ohledu jeví měřicí lokalita Churáňov (1118 m n.m.). Tyto výsledky je možné interpretovat tak, že se v rozsahu nadmořských výšek (835 až 1118 m n.m.) vyskytuje výšková úroveň, po jejímž překonání již převažují srážky ve formě sněhu. Naopak pod její úrovní jsou pravděpodobnější srážky kapalné. Tato výšková (referenční) úroveň se pravděpodobně v čase posouvá směrem do vyšších nadmořských výšek, což mimo jiné pozorujeme právě prostřednictvím snižujícího se průměrného počtu dní se sněhem na lokalitě. Pro posouzení statistické hladiny významnosti klesajícího trendu na jednotlivých lokalitách byl proveden Mannův-Kendallův test. Klesající trend počtu dní se sněhovou pokrývkou na všech lokalitách není dle uvedeného testu významný na hladině významnosti 5 %.



Obr. 28 – Porovnání průměrného počtu dní se sněhovou pokrývkou za rok na povodí Liz a Churáňově

## Intercepce sněhu

### Akumulační epizody

Celkový počet akumulčních epizod za zkoumané období (2002/2003 až 2019/2020) bylo identifikováno 1445. Epizody, během kterých docházelo na lesních stanovištích k většímu přírůstku sněhové pokrývky (či vodní hodnoty sněhu) než na mýtinných stanovištích, nebyly do analýzy akumulčních epizod zahrnuty. Mezi epizody byly naopak zahrnuty specifické případy, kdy se akumulční fáze dočasně objevila v průběhu odtávání sněhu, tj. poklesové fáze.

Tab. 1 – Počty detekovaných sněhových epizod během akumulční fáze zimních sezón (2002/2003 až 2019/2020)

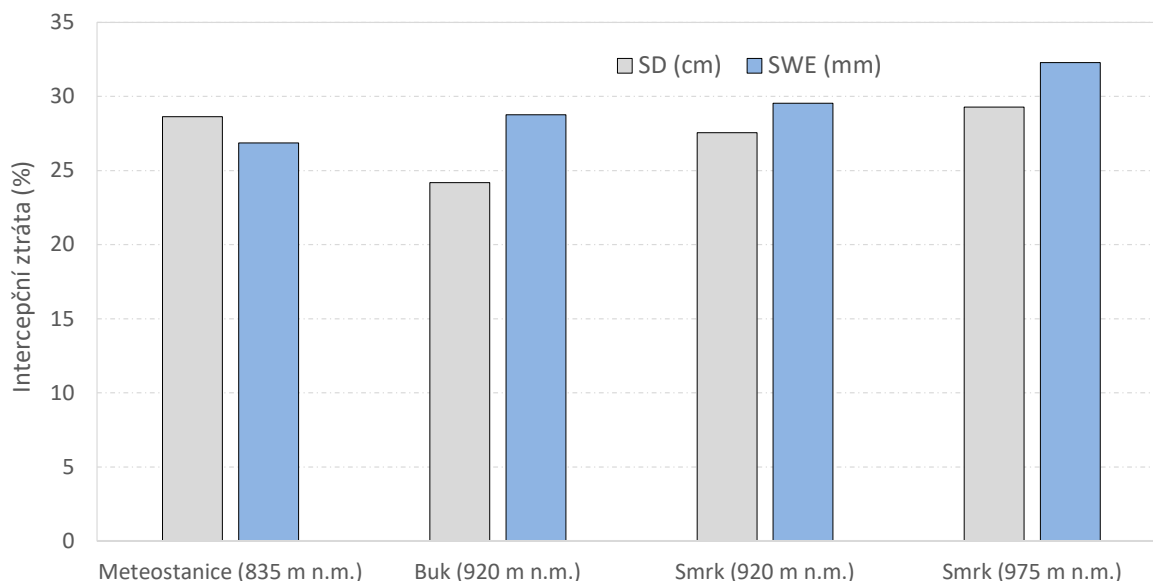
	Meteostanice (835 m n.m.)	Buk (920 m n.m.)	Smrk 920 (920 m n.m.)	Smrk 975 (975 m n.m.)
Maximum	32	37	38	39
Minimum	4	6	2	3
Prům. počet v sezóně	17	20	20	23
Celkový počet v časové řadě	311	354	367	413

Počet detekovaných sněhových epizod za rok se zvyšoval s nadmořskou výškou lokality. Průměrný počet epizod na lokalitě činil 20. Nejchudším zimním obdobím z hlediska průměrného počtu akumulčních epizod na lokalitě byla zimní sezóna 2013/2014 (průměrný počet epizod na měřící lokalitu byl 3), zatímco nejvíce bylo nalezeno v sezóně 2005/2006 (34 epizod).

### Intercepční ztráta

Při stanovení intercepční ztráty se předpokládalo, že hustota nového sněhu je v případě SD vždy stejná. Při určení intercepční ztráty z SWE se dá ovlivnění hodnot na otevřeném stanovišti, a to zejména z důvodu rozdílné rychlosti odtávání nebo sublimace. Chování sněhové pokrývky ve dnech mezi měřeními záviselo na daných meteorologických podmínkách, kdy mohlo dojít k částečnému odtátí

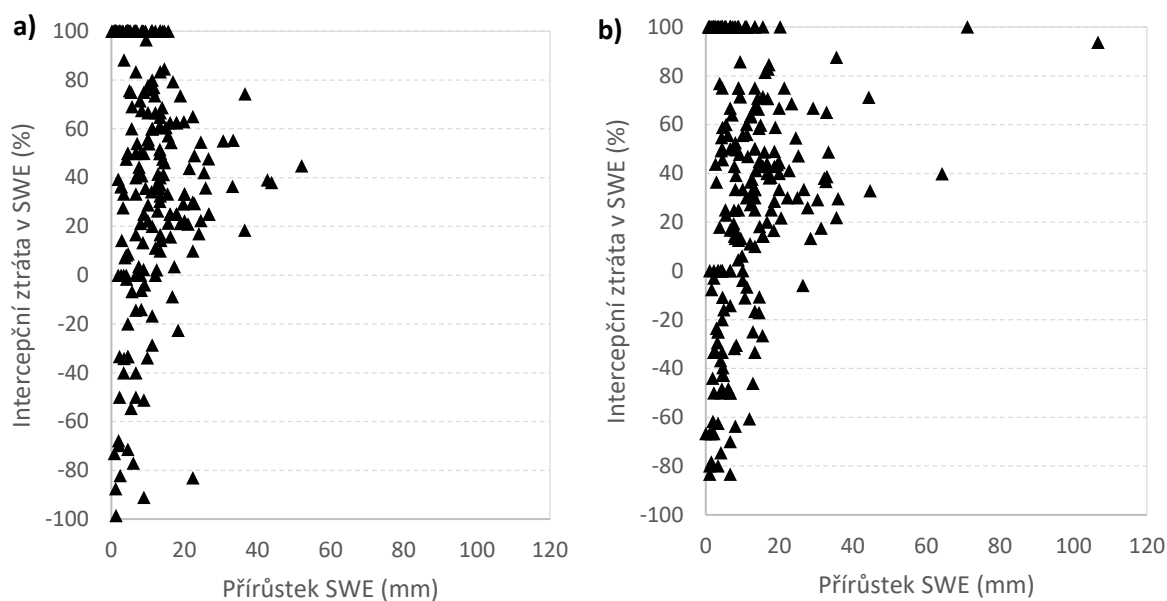
sněhové pokrývky, a tudíž změně hustoty a SWE. Tyto rozdíly byly zanedbány. Účinky směru a rychlosti větru na intercepci sněhu nebyly zkoumány.



Obr. 29 – Průměrné intercepční ztráty na měřících lokalitách ve zkoumaném období zimních sezón (2002/2003 – 2019/2020)

Výsledky výpočtu intercepční ztráty pro všechny lokality jsou znázorněny na obr. 29. Průměrná intercepční ztráta z hlediska SD na měřící lokalitě za zkoumané období činí 27,8 %, z hlediska SWE potom 29,9 %. Nejvyšší průměrná hodnota intercepční ztráty vyjádřené v SD na měřících lokalitách za zimní sezónu byla pozorována v zimní sezóně 2008/2009 (40,2 %). Naopak nejnižší hodnota byla zjištěna v zimní sezóně 2018/2019 (12,4 %), což bylo pravděpodobně způsobeno velmi nízkým počtem akumulčních epizod. V případě lokality Meteostanice je dle Obr. 29 patrná vyšší intercepční ztráta v SD než v SWE oproti ostatním lokalitám. To mohlo být způsobeno nevhodným či nereprezentativním místem (s ohledem na jeho zápoj a stáří), které bylo vybráno pro měření na lesním stanovišti na Meteostanici. Byla zaznamenána řada případů, kdy, přestože nebyl zaznamenán přírůstek nového sněhu, hodnota přírůstku vodní hodnoty sněhu se na mýtinném stanovišti zvyšovala, a to zejména na lokalitě Buk. To mohlo být způsobeno odtáváním sněhové pokrývky, kdy se zejména na mýtinném stanovišti vlivem radiace zvyšoval podíl vody ve sněhu. V analyzovaných pozorováních byl detekován pokles průměrné intercepční ztráty (%) v pozorovaném období 2002/2003–2020/2021. K poklesu mohlo dojít kvůli snižujícímu se počtu akumulčních epizod v zimním období nebo charakterem čerstvé sněhové pokrývky, která neměla schopnost se na větvích zachytit. Vliv mohla mít i rychlost větru.

V četných případech docházelo na jednotlivých stanovištích k záporným hodnotám intercepční ztráty. Tento jev byl pravděpodobně způsoben opadem sněhu z větve stromu, kdy se větev přetížila a byla překročena hodnota maximální intercepční kapacity. Záporné hodnoty mohly být způsobeny také rychlým odtáváním sněhové pokrývky z větví, a to zejména v jarních měsících. Hodnoty záporné intercepční kapacity byly z výpočtu průměrné intercepční ztráty vyloučeny a posléze byly samostatně vyjádřeny na Obr. 30.



Obr. 30 – Intercepční ztráty na lokalitách a) Buk, b) Smrk 920 ve zkoumaném časovém období

Maximální přírůstek SWE u lokality Smrk 920 se odehrál dne 25. března 2009, kdy se hodnota zvýšila během jedné epizody o 106,7 mm s celkovou intercepční ztrátou 94 %. Vodní hodnota se během epizody razantně navýšila při výšce nového sněhu 36,1 cm na mýtinném stanovišti (vodní hodnota sněhu z 89,3 mm na 196,0 mm) v porovnání s lesním stanovištěm (výška nového sněhu 1,9 cm, narůst SWE z 80,4 mm na 89,3 mm). Vysoká hodnota přírůstku byla pozorována pouze na lokalitě Smrk 920. Vysoký přírůstek (71,1 mm) při téměř stoprocentní intercepční ztrátě (98 %) byl zjištěn také dne 27. února 2009 u lokality Smrk 920. Během jedné epizody napadla sněhová pokrývka o výšce 34,2 cm (s SWE 71,2 mm) na mýtinném stanovišti, kdežto na lesním pouze 0,8 cm (s SWE 1,4 mm). Významný nárůst přírůstku SD a s ním i SWE byl pravděpodobně způsoben v obou případech těchto extrémních intercepčních ztrát opadem zachyceného sněhu z větví. V případě přírůstku SWE u lokality Buk bylo maximum naměřeno dne 15. ledna 2016 (hodnota přírůstku 52 mm proběhla během jedné epizody s intercepční ztrátou 44,8 %), kdy výška nového sněhu činila 7,3 cm. Během této epizody došlo na všech ostatních lokalitách ke zvýšení SWE až o trojnásobek, zatímco SD byla navýšena jen mírně (přibližně 1,5krát). Pravděpodobně se jednalo o smíšenou srážku. V případě lokality Smrk 920 byl zaznamenán vyšší počet záporných intercepčních ztrát v porovnání s měřicí lokalitou Buk. To bylo pravděpodobně způsobeno nižší intercepční kapacitou porostu pro sněhové srážky na lokalitě Buk a v důsledku i vyšším množstvím náhlých odlehčení větví. Z Obr. 30 je vidět, že přírůstky způsobené následným opadem z větví jsou v případě lokality Buk i Smrk 920 v rozmezí 0 až 17 mm (výjimečně až 23 mm).

Z porovnání lokalit Buk (listnatý les) a Smrk 920 (jehličnatý les) z hlediska intercepční ztráty je častý výskyt stoprocentních intercepčních ztrát v rozmezí hodnot přírůstku SWE od 0 do 20 mm. Analýza stoprocentních intercepčních ztrát na vybraných lokalitách byla prováděna z hlediska SWE. Pro každý měsíc zimní sezóny (prosinec, leden, únor, březen a duben) byl stanoven počet dní, kdy došlo k dosažení stoprocentní intercepční ztráty. Celkový počet těchto epizod byl 23 na lokalitě Buk, zatímco na lokalitě Smrk 42. Byl tedy zaznamenán téměř o polovinu vyšší počet stoprocentních intercepčních ztrát na lokalitě s jehličnatým pokryvem než na lokalitě s listnatým pokryvem. Z toho je patrné, že záchyt čerstvé sněhové pokrývky je v případě jehličnatého lesa (Smrk 920) znatelně efektivnější než v případě

opadavého bukového porostu. K nejvyššímu množství stoprocentních intercepčních ztrát došlo zpravidla v období února (11), zatímco minimální počet stoprocentních intercepčních ztrát byl detekován v měsíci dubnu (1). Ze znalosti stoprocentních intercepčních ztrát lze přibližně odhadnout maximální intercepční kapacitu. V případě lokality Buk byla naměřena maximální intercepční kapacita 14,4 mm dne 16. března 2016, u lokality Smrk 920 to bylo 20,2 mm. Intercepční kapacita na lokalitě s pokryvem z opadavých stromů je v dlouhodobém průměru o 53 % nižší než intercepční kapacita u pokryvu ze stálezelených stromů. U obou případů vybraných lokalit lze v datové řadě zaznamenat pozvolný nárůst velikosti intercepční kapacity, což je patrně způsobeno zápojem na lesním stanovišti. Záporné intercepční ztráty byly sledovány z hlediska SWE. U lokality Buk byla detekována minimální hodnota záporné intercepční ztráty, která činila 98 % a odehrála se dne 21. prosince 2007. Téhož dne byl naměřen přírůstek SD v hodnotě 40 mm na lesním stanovišti, zatímco na mýtinném stanovišti byl přírůstek 0,6 mm. Je pravděpodobné, že byla překročena maximální intercepční kapacita větve nebo bylo stanoviště ovlivněno převátím sněhu větrem. U lokality Smrk 920 byla nalezena nejnižší hodnota záporné intercepční ztráty (88,5 %) dne 29. ledna 2007. V tomto případě docházelo v následujících dnech (30. ledna až 5. února) k rychlému odtávání. Extrémní záporná intercepční ztráta může být důsledkem počátku poklesové fáze, souvisejícího odlehčování větví a opadů sněhu z větví. V případě lokality Smrk 920 byl celkový počet záporných intercepčních ztrát 37, zatímco u lokality to bylo Buk 26. Doba, kdy docházelo k nejvyššímu počtu záporných intercepčních ztrát, bylo období měsíce února a března.

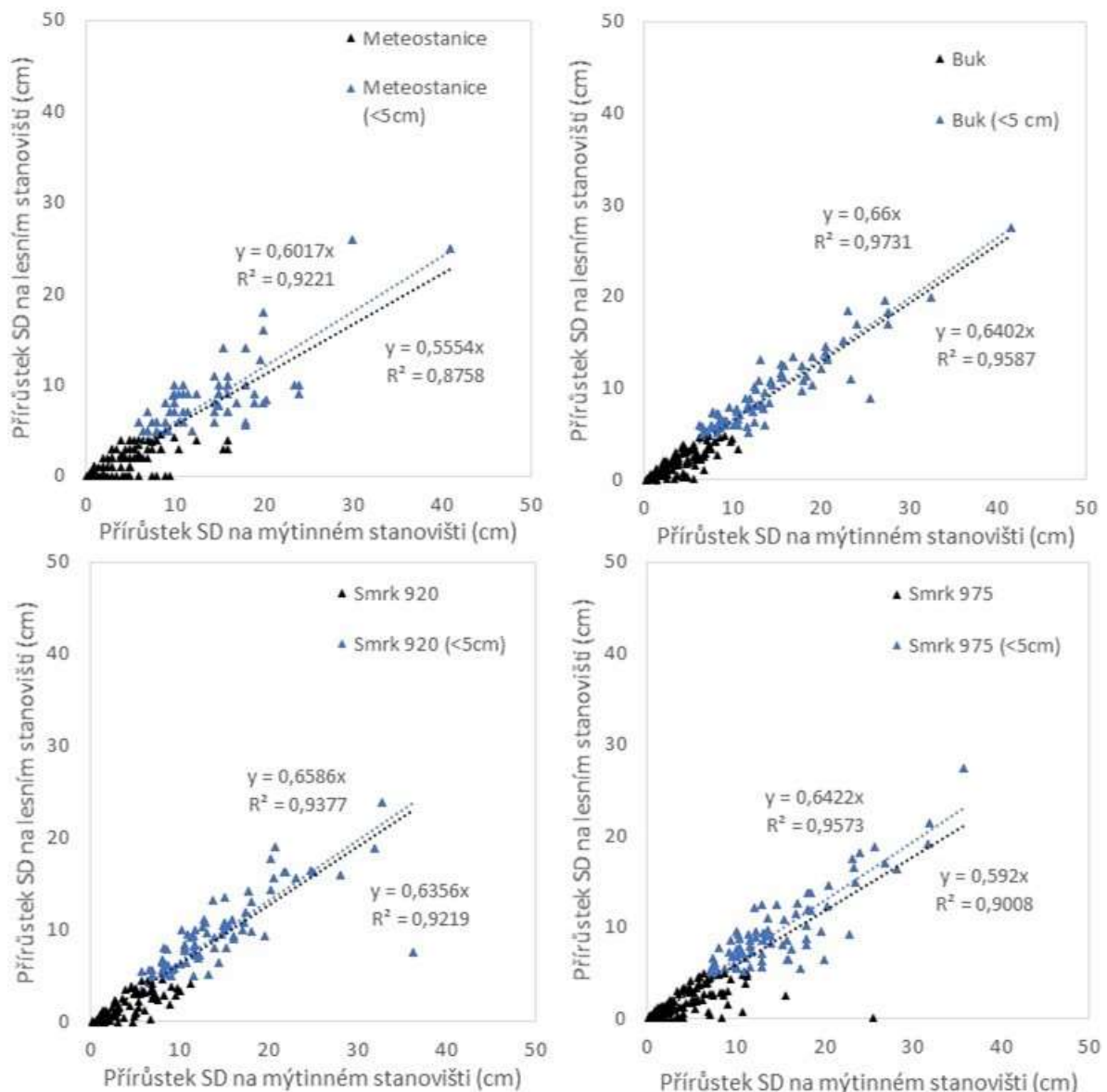
#### Regresní vztahy mýtinného a lesního stanoviště

Metodicky totožný postup, tj. s užitím regresních přímek, pro výpočet výšky sněhové pokrývky (SD) na lesním stanovišti ze znalosti SD na mýtinném stanovišti zvolili i Šípek a Tesař (2014), jen s tím rozdílem, že měli k dispozici kratší časovou řadu od zimní sezóny 2002/2003 do 2012/2013. Naše zkoumané období probíhalo od zimní sezóny 2002/2003 do 2019/2020.

Kvalita proložení vyjádřená koeficientem determinace ( $R^2$ ) byla u námi prokládané časové řady (2002/2003 – 2019/2020) bez vyloučení hodnot SD menších 5 cm přibližně obdobná v porovnání s koeficienty determinace ( $R^2$ ) určených v Šípek a Tesař (2014). Nejvyšší hodnota koeficientu determinace byla pro delší časovou řadu 0,91 v případě lokality Buk, zatímco v kratší časové řadě činila 0,93. Intercepční ztrátu lze tedy nejkorektněji stanovit z mýtinného přírůstku na lokalitě Buk. Hodnota koeficientu determinace je dle Obr. 31 ve všech případech pozorovaných lokalit nižší v případě delší časové řady (2002/2003 – 2019/2020). Zahrnutí většího množství dat, tj. prodloužení datové řady, tedy vedlo k možné vzrůstající chybě při odčítání. To může být patrně důsledkem stáří stromů a jejich zápojem nebo změnou charakteru srážek. Alternativně byl testován přístup, kdy byly z prokládání vyloučeny přírůstky SD menší než 5 cm na obou stanovištích. Tento postup vedl ke zlepšení kvality proložení (viz Obr. 31) u všech lokalit. Takto zjištěná regresní přímka by tedy byla pro výpočet intercepční ztráty na lesním stanovišti spolehlivější. Současně došlo také zvýšení sklonu regresní přímky, což indikuje, že byly v původním postupu (se zahrnutím všech přírůstků) predikované hodnoty přírůstku SD na lesním stanovišti mírně podhodnoceny.

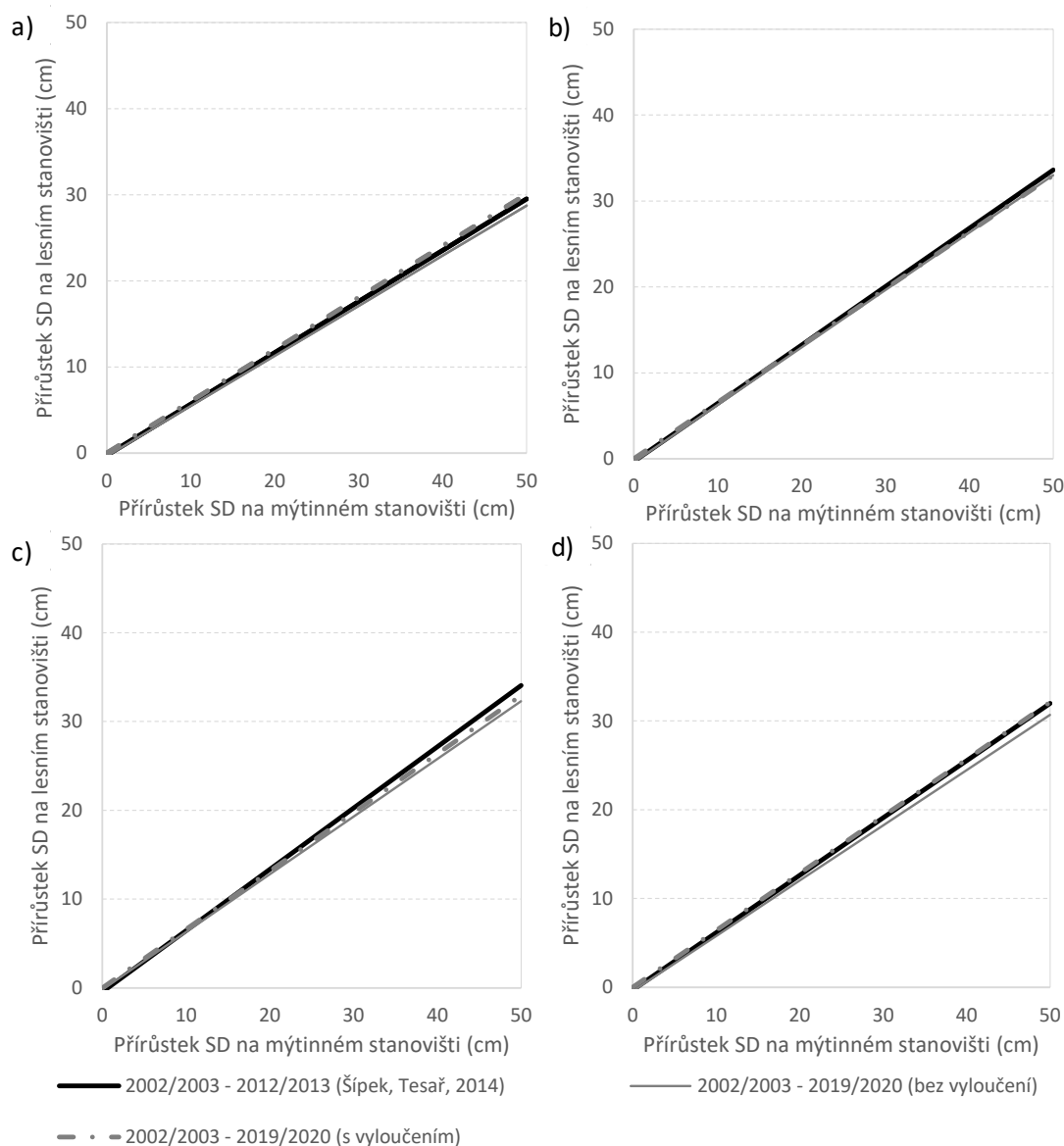
Regresní přímky byly vyjádřeny s počátkem v nule (přímky mají nulový úsek), kdy stejným způsobem postupovali i Šípek a Tesař (2014). Motivací tohoto přístupu mohou být nulové hodnoty přírůstku SD na mýtinném stanovišti, a současně nulového přírůstku SD na lesním stanovišti. Takové sněhové

epizody se dějí zpravidla při teplotách vzduchu nižších než  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , kdy dochází vlivem nízké soudržnosti sněhu k minimálnímu záhytu sněhu na větvích, a tím i k nenulovému přírůstku SD na lesním stanovišti. V přílohách je na Obr. 82 naznačen i další možný způsob určení počátku regresní přímky, která nemá počátek v nule. Takové sněhové srážky by bylo možné očekávat při teplotách vzduchu od  $-2$  do  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , kdy by vzájemné spojování sněhových částic minimálně umožňovalo sněhu propadat skrz korunu stromu na půdní povrch. Z analyzovaných dat je zřejmé, že takové epizody ve zkoumaném období opakovaně nastaly (viz Obr. 30). Nulový přírůstek SD na lesním stanovišti při přírůstku SD na mýtinném stanovišti znamená stoprocentní intercepční ztrátu. Regresní přímky s nenulovým počátkem jsou méně strmé u všech lokalit, a to zejména u přístupu s vyloučením hodnot menších než 5 cm.



Obr. 31 – Lineární regrese přírůstků SD na lesním a mýtinném stanovišti s počátkem v nule





Obr. 32 – Regresní přímky s nulovým počátkem pro přístup s kratší datovou řadou (Šípek a Tesař, 2014) a přístup s delší datovou řadou s vyloučením a bez vyloučení hodnot SD; a) Meteostanice, b) Buk, c) Smrk 920, d) Smrk 975

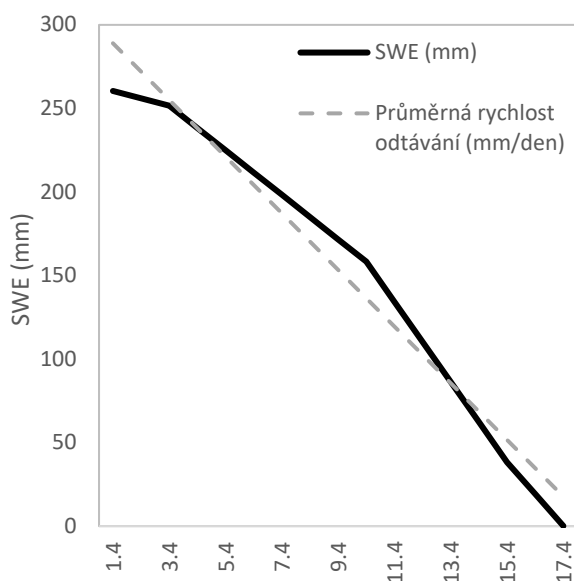
Na obr. 32 jsou regresní přímky odvozené Šípkem a Tesařem (2014) porovnané s výsledkem proložení naměřených hodnot delší datové řady, než měli tito autoři k dispozici. Proložení delší datové řady regresní přímku je alternativně provedeno s vyloučením a bez vyloučení hodnot menších než 5 cm přírůstku sněžové pokrývky. Tento postup byl zvolen pro všechny lokality na povodí Liz.

Na všech lokalitách byl zaznamenán minimální rozdíl sklonů přímek odvozených z jednotlivých přístupů. To indikovalo velmi dobrou shodu mezi způsobem předpovídání dle Šípek, Tesař a zjištěnou regresí s delší časovou řadou prováděnou v této práci. Z toho vyplývá, že se hodnota intercepční ztráty v případě všech pozorovaných lokalit významně nezměnila s vyšším počtem zahrnutých zimních období. Je patrné, že vyloučení hodnot SD menších než 5 cm ovlivnilo sklon regresní přímky minimální měrou, což se posléze odrazí v podobě podobných výsledků SD na lesním stanovišti v případě všech zvolených přístupů. Například v přístupu dle Šípek a Tesař (2014) byla u lokality Meteostanice pro

hodnotu SD 20 cm na mýtinném stanovišti stanovena hodnota SD na lesním stanovišti 11,6 cm (v přístupu bez vyloučení vyloučením 11,3 cm, s vyloučením 12,0 cm). Lze tedy při odhadu SD na lesním stanovišti ze znalosti SD na mýtinném stanovišti očekávat podobně spolehlivé hodnoty na lokalitách Buk a Smrk 975. Naopak největší rozdíly sklonů regresních přímk jsou zaznamenány na lokalitě Meteostanice. Na této lokalitě byla patrně změna podmínek pro záchyt neznatelnější, kdy pravděpodobně docházelo k zesilování vlivu zápoje. Na Obr. 83, který je uveden v přílohách, jsou také znázorněny regresní přímky s nenulovými počátky.

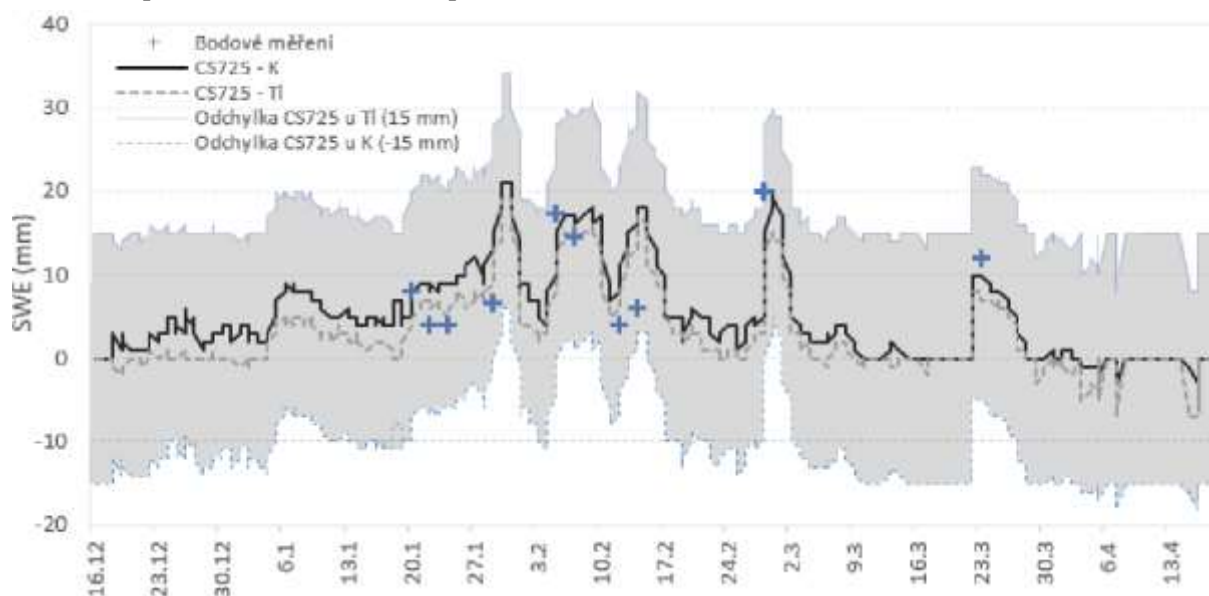
### Finální poklesová větev

Do výpočtu byly zahrnuty jak poklesové fáze v zimních měsících (prosinec, leden, únor), kdy celková rychlost odtávání je obecně nižší z důvodu teplot lehce nad 0 °C, tak fáze v jarních měsících, kdy probíhá významné tání vlivem vysoké radiace a tím i zvýšených teplot vzduchu. Průměrná rychlost odtávání se v našem případě pohybovala v rozmezí od 1 do 21 mm/den na lesním a mýtinném stanovišti. K podobné variabilitě výsledků intenzity odtávání v jednotlivých zimních sezónách došli i Hribík et al. (2012). Nižší průměrná hodnota rychlosti odtávání na lesním stanovišti (6,9 mm/den) než na mýtinném (9,1 mm/den) rovněž potvrzuje závěry práce Hribíka et al. (2012). Doba trvání poklesové větve na mýtinném stanovišti trvala v průměru 10 dnů. Naproti tomu, na lesním stanovišti to bylo 6 dnů. Relativní rychlost odtávání uvedená v rovnici 2 dosahovala na mýtinném stanovišti 17 % počáteční hodnoty SWE, zatímco na lesním stanovišti to bylo 23 %. Finální poklesová fáze na konci zimní sezóny 2004/2005 s dobou trvání 18 dní a počáteční hodnotou SWE 223 mm vykazovala průměrnou hodnotu odtávání 12,3 mm/d, což činilo pouze 5,6 % hodnoty SWE před začátkem tání. Vysoká rychlost odtávání s hodnotou 21 mm/den byla zjištěna v zimní sezóně 2007/2008. V této sezóně byla detekována poklesová fáze, kdy se v průběhu jednoho dne snížila hodnota SWE až o 40 mm. V zimních sezónách 2004/2005, 2005/2006, 2007/2008, 2008/2009 a 2009/2010 byly zjištěny významné rychlosti odtávání nad 10 mm/den na obou stanovištích (viz Obr. 33 s vyjádřením rychlosti odtávání v zimní sezóně 2008/2009 17,36 mm za den). To bylo patrně způsobeno vysokou hodnotou SWE (190 až 260 mm) na počátku poklesové fáze a kratší době trvání (10 až 20 dnů).



### Určení vodní hodnoty sněhu z měření gama spektrometru CS725

Pro zjištění hodnoty SWE bylo kromě ručního měření užito také automatické čidlo CS725, které měřilo vodní hodnotu sněhu. V případě porovnávání s bodovým měřením je stanovení vodní hodnoty sněhu senzorem CS725 rozdílné. Tato metoda pracuje s větší plochou a finální hodnota SWE není zkruslena lokální heterogenitou. Průběhy SWE z hlediska izotopů draslíku ( $^{40}\text{K}$ ) a thalia ( $^{208}\text{Tl}$ ) byly srovnány s průběhem bodového měření v zimním období od 16. prosince do 18. dubna během zimní sezóny 2019/2020. V případě čidla CS725 bylo nepřetržitě zaznamenáváno záření z rozpadu izotopů, načež bylo ve frekvenci jednou za 6 hodin vyhodnoceno a převedeno do výsledné hodnoty SWE (bodová metoda byla prováděna frekvencí jednou za 48 hodin). Na obr. 34 lze vidět, že průběhy SWE se liší. SWE měřená čidlem CS725 pomocí izotopů thalia je v porovnání s izotopy draslíku systematicky nižší. V některých případech byly hodnoty SWE u metody měření izotopů v záporných číslech, a to zejména v období jarní oblevy (od 25. března do 18. dubna). To bylo pravděpodobně způsobeno odlišnou vlhkostí půdy na začátku a na konci zimní sezóny. Ze srovnání (Obr. 34) je patrné, že se hodnoty SWE dobře shodují v lokálních maximech SWE, která byla dosažena těsně po srážkové epizodě (20. ledna, 3. února a 2. března). První bodové měření proběhlo dne 20. ledna, kdy došlo k vzájemné shodě hodnot s měřením pomocí čidla CS725 izotopů draslíku.



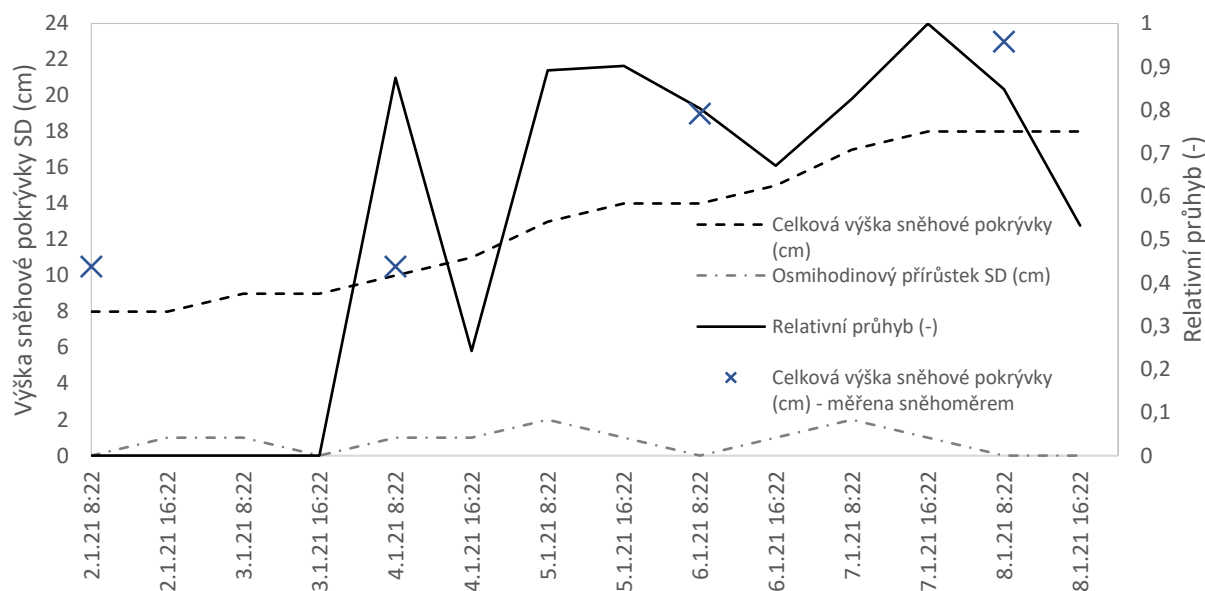
Obr. 34 – Porovnání hodnot SWE získaných bodovým měřením a měřením senzoru CS725 na lokalitě Meteostanice v zimní sezóně 2019/2020 (pásmo očekávaných odchylek znázorněno šedě)

### Využití sekvence hodinových snímků z lokality Smrk 975

Dne 7. ledna 2021 v čase 16:22 došlo mezi pozorovanými srážkovými epizodami k největšímu změřenému průhybu pozorované větve asi 92 cm při přírůstku sněhové pokrývky na volné ploše (přírůstek SD) asi 2 cm (viz Obr. 35). Během této epizody docházelo k postupnému zachycování sněhu na větvi již od rána předešlého dne. Padající sníh a jeho zachytávání nebyly pravděpodobně během této

doby ovlivněny větrem. Průhybu byla přiřazena relativní hodnota 1 a sloužila jako referenční pro stanovení průhybu v dalších hodnocených epizodách.

V případě čtyř epizod, které byly k dispozici, byly nalezeny hodnoty relativních průhybů v rozmezí od 0,6 do 0,82. Přes noc z 19. na 20. března proběhla sněhová epizoda, jejíž přírůstek SD byl 13 cm (20. března v čase 6:40). Relativní průhyb činil 0,73. Dne 28. ledna došlo k přírůstku SD 4 cm, kdy relativní průhyb činil 0,98. V tomto případě byla epizoda krátká - od 15:07 do 16:07. Během měsíce února (25.) a března (4. a 13.) docházelo při zvýšení teploty k odtávání sněhové pokrývky, která nebyla stíněna severovýchodní hradbou lesa. To mělo vliv na celkovou výšku sněhové pokrývky, která byla navýšena o 11 cm dne 10. března 2021 a byla složena takřka výhradně z nového sněhu (9 cm). Z provedené analýzy je patrné, že průhyb větve závisí na přírůstku nového sněhu (SD), na druhou stranu stejný přírůstek neznamená stejný průhyb. Důvodem je především rozdílná hustota (a tedy hmotnost) padajícího sněhu. Například 20. března 2020 byl relativní průhyb 0,73, a to i přes to, že byla zaznamenána výrazná hodnota přírůstku SD 13 cm. Naopak dne 7. ledna 2021 bylo dosaženo maximálního průhybu při přírůstku SD asi 2 cm. Důvodem byla teplota okolo nuly, která pravděpodobně vyvolala zvýšení obsahu vody ve sněhu, a tedy i nárůst zatížení větve.

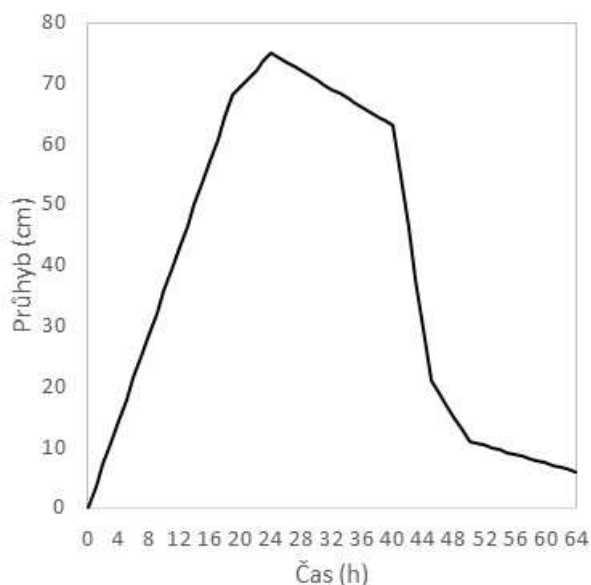


Obr. 35 – Průběh sněhové epizody s maximálním relativním průhybem (2. až 8. ledna 2021)

V případě podrobného vyšetření sněhové epizody s maximálním relativním průhybem 1 se začínalo s měřením 2. ledna v 8:22. Přestože 2. ledna v 16:22 byl zaznamenán přírůstek SD, na větvi nebyl zpozorován zachycený sníh, a ani nebyl zjištěn její výraznější průhyb (viz Obr. 35). To bylo pravděpodobně způsobeno nevhodnými podmínkami pro zadržení sněhu na vegetaci (vítr, mráz či nízká soudržnost sněhu). Ve sledované časové řadě je zjevný nárůst průhybu hlavně ve chvíli, kdy se zvyšuje osmihodinový přírůstek SD. Následně dochází k odlehčení pozorované větve pravděpodobně bez výraznějších trvalých deformací. Jednotlivé osmihodinové přírůstky SD nepřesáhly hodnotu 2 cm. V pozorovaném časovém rozmezí (osmihodinový krok) docházelo tedy k postupné akumulaci sněhu na větvi (intercepti) s pozvolným nárůstem zatížení větve. Odlehčení větve v tomto časovém období nebylo okamžité a k jejímu úplnému odlehčení došlo až za několik týdnů. Proto v analýze této srážkové epizody nebylo odlehčení a způsobené deformace začleněny do analýzy. V analýze nebylo uvažováno

tání sněhu. Srovnání hodnot celkových výšek sněhové pokrývky stanovených ze sněhoměrné latě a změřených ručně ukazuje, že v případě odečítání z kamerových záznamů je výška sněhu zpravidla podhodnocena. To je patrně důsledkem možné chyby při odčítání výšky sněhové pokrývky ze snímků. Také mohl hrát vliv nereprezentativně zvolený bod při umístění sněhoměrné latě.

Při vyšetřování deformace větve vyjádřené na Obr. 36 byl zjištěn maximální průhyb cca 75 cm dne 10. března v 18:00 (24. hodina). Následoval pozvolný pokles na úroveň asi 63 cm, který trval do 8:00 následujícího dne (11. března, 40. hodina). Poté se velikost průhybu snižovala, až dosáhla hodnoty asi 10 cm v 13:00 téhož dne (45. hodina). Zde byl patrný mírný pokles průhybu, kdy většina sněhu již opadla nebo sublimovala a větev byla významně odlehčena. Je pravděpodobné, že průhyb větve, který byl vyvolán minimálním zatížením, do značné míry tvořila deformace, která nebyla vratná bezprostředně po odlehčení. Taková deformace je na Obr. 36 zjevná od 48. hodiny (11. března 16:00). V této analýze nebylo zjištěno jako v případě Ray a Bret-Harte (2019), zda se větev navrátí do původního stavu nebo zůstane již trvale deformovaná (nenulový průhyb). Je možné ale tvrdit, že u zvolené větve trvalá deformace z důvodu opakovaného zatěžování sněhem proběhla v minulosti a díky neustálému zatěžování se navyšuje.



*Obr. 36 – Zatížení a odlehčení pozorované větve na lokalitě Smrk (975 m n.m.) během srážkové epizody ze dne 10. března 2021 (Picea abies)*

#### Odhad intercepční kapacity v terénu

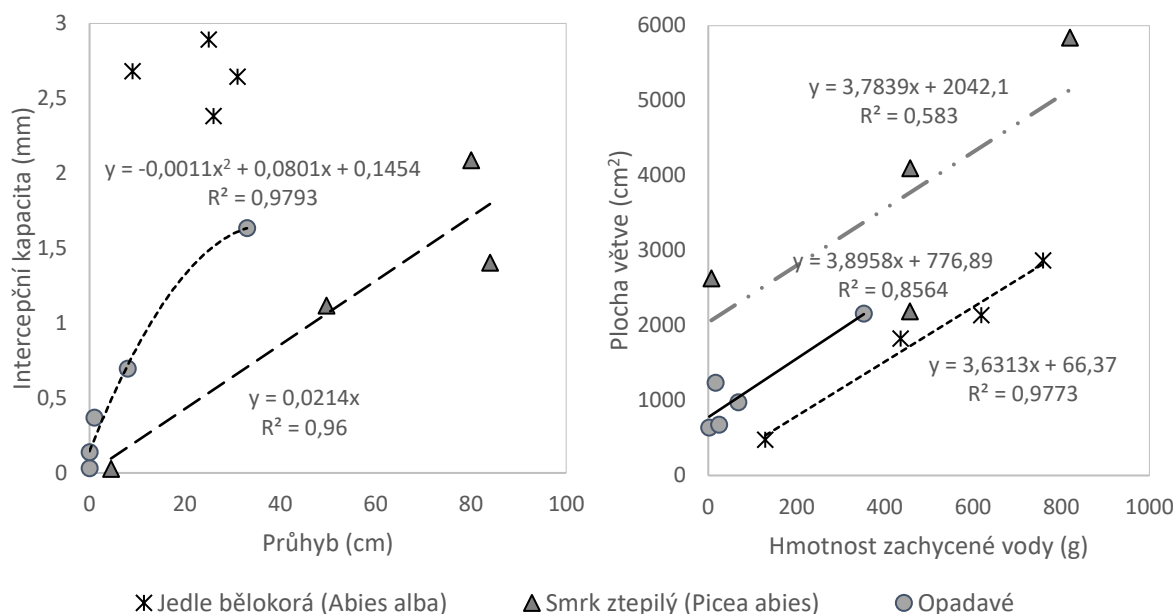
Při měření výšky sněhu spočívajícího na větvích stromu bylo obtížné definovat jednu hodnotu. V jejím stanovení hrála významnou roli horní patra koruny stromu. Ta byla téměř vždy přítomna, neboť pro pozorování byly vybrány větve ze spodních pater. Oproti detekci spojení větví s nejnižším hydrologickým řádem, tj. počátkem 2. hydrologického řádu větve, bylo obtížné zjištění počátku nejvyššího řádu větve. Pro tyto účely by byla potřeba u každého vzorku podrobnější analýza. Předpokládalo se, že nejvyšší hydrologický řád leží vždy na spojení větví nejbliže u kmene stromu, a to u takových, kde bylo dosaženo alespoň 2. hydrologického řádu. Proto byl jako druhý měřící bod SD

vybrán bod nejbliže ke kmeni a byl pojmenován jako větev x. řádu (SD x. řád) (Tab. 2). Ve všech případech byla SD v počátku x. hydrologického řádu větve nižší než v počátku 2. hydrologického řádu větve. Ve dvou případech (jedle bělokorá a smrk ztepilý) byla hodnota SD v bodě blíže ke kmeni (x. hydrologický řád) vyšší nebo rovna hodnotě SD dále od kmene (2. hydrologický řád), kdy byla vybrána větev ležící v nejvyšším patře stromu. Výška sněhu na větvi se měnila v závislosti na povětrnostních podmínkách konkrétní sněhové události. Významnými faktory byly možná směr a rychlost proudění vzduchu, teplota padajícího sněhu a teplota a vlhkost vzduchu. Výšky měřených vzorků stromů se liší od 200 do 800 cm.

Tab. 2 – Základní charakteristiky měřených stromů a zvolených větví

Vzorek	Strom	Datum	Výška stromu [cm]	Průměr kmene [cm]	SD - 2. řád [cm]	SD - x. řád [cm]	Hmotnost vody [g]	Délka hlavní v. [cm]	Plocha v. [cm <sup>2</sup> ]	Průhyb v. [cm]
1	Jedle bělokorá ( <i>Abies alba</i> )	25.12.2020	300-400	8	0,5	2	436	121	1830	26
2	Jedle bělokorá ( <i>Abies alba</i> )	25.12.2020	300-400	7	0,5	4	619	119	2140	25
3	Jedle bělokorá ( <i>Abies alba</i> )	25.12.2020	200-300	9	1	4	759	121	2870	31
4	Smrk ztepilý ( <i>Picea abies</i> )	28.12.2020	700-800	11	0,5	5	820	193	5840	84
5	Smrk ztepilý ( <i>Picea abies</i> )	28.12.2020	400-500	9	0,5	2	457	151	2190	80
6	Buk lesní ( <i>Fagus sylvatica</i> )	28.12.2020	300-500	9	0,5	1,5	353	252	2160	33
7	Olše lepkavá ( <i>Alnus glutinosa</i> )	18.01.2021	500	8	0,25	1	17	241	1240	0
8	Smrk ztepilý ( <i>Picea abies</i> )	18.01.2021	200	4	0	0,5	7	215	2630	5
9	Líska obecná ( <i>Corylus avellana</i> )	18.01.2021	300	3	0,5	1	2	106	640	0
10	Smrk ztepilý ( <i>Picea abies</i> )	31.01.2021	250	7,5	4	1	458	122	4100	50
11	Dub letní ( <i>Quercus robur</i> )	31.01.2021	215	5	0,25	2	68	115	978	8
12	Jedle bělokorá ( <i>Abies alba</i> )	31.01.2021	200	4	4	4	129	50	481	5
13	Hrušeň	31.01.2021	315	9	2	1	25	115	678	1

Z celkové hmotnosti vody ve vzorku sněhu zachyceného na větvi byly určeny intercepční kapacity větve daného druhu stromu. Ty byly dány do vztahu s detekovanými průhyby. Z obr. 37 lze vidět, že vypočtené intercepční kapacity a detekované průhyby v případě stálezelených stromů silně závisí na druhu stromu. Vysoké hodnoty intercepční kapacity při nízkém průhybu byly zaznamenány u jedle bělokoré, naopak nižší kapacita s vyšším průhybem byla zjištěna u smrku ztepilého. V případě opadavých stromů lze tvrdit, že intercepční kapacity jsou mizivé při velmi malém průhybu. To je patrně důsledkem rozdílného charakteru pokryvu vybraných stromů. Jedle bělokorá je oproti smrku ztepilému hustě poseta jehlicemi, což navyšuje její záchytnou plochu a přispívá k soudržnosti sněhu. U listnatých stromů nepřítomnost listů v zimním období znemožňuje významnější záchyty. U buku lesního byla při druhém měření (28. prosince 2020) zjištěna vyšší hodnota intercepční kapacity, což bylo patrně způsobeno přítomností odumřelých listů na větvi, které po podzimu neopadly a navýšily tak záchytnou plochu. Maximální hodnota intercepční kapacity byla 2,8 mm v případě jedle bělokoré (*Picea abies*). Větev zachytila na poměrně malou plochu (2140 cm<sup>2</sup>) téměř 619 g vody. Vysoká hodnota intercepční kapacity byla výrazně ovlivněna povětrnostními podmínkami vhodnými pro maximální soudržnost sněhu. Důležitost povětrnostních podmínek byla potvrzena dne 18. ledna 2021, kdy vlivem nízké teploty a větrné činnosti byla naměřena ve všech třech měřeních intercepční kapacita 0,13 mm a menší. A to i přes sněžení pokračující od ranních hodin. U jedle bělokoré byla zjištěna poměrně silná závislost mezi hmotností vody a plochou větve (koeficient determinace 0,98). Z obr. 37 je patrné, že u opadavých stromů je hmotnost vody minimální z důvodu velmi malé záchytné plochy.



Obr. 37 – Intercepční kapacity jednotlivých stromových vzorků (vlevo) a závislost plochy větve na hmotnosti vody (vpravo)

## Závěry a doporučení

V této práci byly zjištěny průběhy průměrných hodnot výšky sněhové pokrývky a vodní hodnoty sněhu během zimních sezón na jednotlivých lokalitách experimentálního povodí Liz. V analýze byly detekovány mírnější průběhy zimních sezón s menšími maximálními hodnotami SD (i SWE) od zimní sezóny 2006/2007 a dále, což dokládá pozvolný úbytek sněhových srážek a patrně i rychlejší odtávání v čase na zkoumaném území. Maximální průměrné hodnoty obou zkoumaných charakteristik byly pozorovány na lesním i mýtinném stanovišti v zimní sezóně 2005/2006. Nejnižší průměrné hodnoty byly zaznamenány v zimní sezóně 2013/2014, a to také lesním a mýtinném stanovišti. Pro všechny lokality na povodí byla vypočtena průměrná hodnota podílu SD lesního a mýtinného stanoviště 59,7 %. Stanovená doba trvání sněhové pokrývky na všech lokalitách ukázala, že pokles dní se sněhovou pokrývkou je v dané časové radě patrný, avšak jeho klesající trend není statisticky významný. Ruční měření hodnot SWE bylo porovnáno s hodnotami SWE detekovanými pomocí čidla CS725. V případě náhlého nárůstu hodnoty SWE vyvolaného srážkovou epizodou byla zaznamenána blízká maximální hodnota oběma metodami. Ručně pořízená měření navíc spadají do rozmezí možných odchylek přístroje CS725. Čidlo CS725 představuje dobrou alternativu, pokud jsou pravidelná terénní měření vzhledem k dostupnosti lokality hůře proveditelná.

Nejnižší intercepční ztráta vyjádřená v SD je u lokality Buk (920 m n.m.) s opadavým pokryvem 24,1 %, zatímco nejvyšší ztráta 30,1 % byla zaznamenána na lokalitě Smrk (975 m n.m.). Naopak v případě intercepční ztráty vyjádřené v SWE je patrný nárůst hodnoty s nadmořskou výškou lokality, která v případě lokality Smrk (975 m n.m.) dosahuje až hodnoty 32,5 %. Pro přesnější určení intercepční ztráty by byla zapotřebí měření pořízená bezprostředně po sněhové srážce. Za takových podmínek by byly minimalizovány vlivy vedoucí ke zkreslování měřených hodnot, jako např. rozdílný radiační nebo tepelný režim lokalit pro měření nadkorunových a podkorunových srážek. Rušivým faktorem může být také rozdílná expozice vůči větru. Analýza stoprocentních intercepční ztrát na lokalitách Buk (920 m

n.m.) a Smrk (920 m n.m.) ukázala, že lokalita se stálezeleným pokryvem (Smrk 920) vykazuje téměř dvojnásobné množství stoprocentních ztrát oproti lokalitě s opadavým pokryvem. Stoprocentní intercepční ztráty umožnili přibližně odhadnout intercepční kapacitu stromu, která se na zvolených lokalitách pohybovala v rozmezí od 0 do 20 mm.

Regresní přímky pro zjištění výšky sněhové pokrývky na lesním stanovišti ze znalosti výšky sněhové pokrývky na mýtinném stanovišti měly podobné hodnoty koeficientů determinace jako v práci Šípek s Tesař (2014). Regresní přímky určené v této práci pomocí třech variantních přístupů bude možné využít k předpovědi výšky sněhové pokrývky na lesním stanovišti, avšak pouze za předpokladu, že nedojde k razantní změně místních stanovištních podmínek.

Rychlosti odtávání jako střední hodnoty intenzity odtávání v době trvání poklesové fáze byly zjištěny na mýtinném stanovišti (9,1 mm/den) a lesním stanovišti (6,9 mm/den).

Sekvence snímků z časosběrné kamery umístěné na lokalitě Smrk 975 pomohla stanovit relativní hodnoty průhybů, výšky sněhové pokrývky a přírůstky SD v zimní sezóně 2020/2021. Velikost průhybu ve většině případů závisela na meteorologických podmínkách během sněhové srážky. Pro přesnější stanovení průhybu z kamerových záběrů bude vhodné označit průmět referenčního bodu větve na zemi. Účinnou by se jevila tyč o úzkém průměru s dostatečnou délkou (30 cm). To by zajistilo vhodnější referenční bod pro stanovení průhybu a došlo by k eliminaci prostorových odchylek vyvolaných kamerovými záběry. Pro lepší odečtení výšky sněhové pokrývky by přicházel v úvahu vhodnější výběr místa pro snadnější odečet hodnot výšky sněhové pokrývky a přírůstku SD ze sněhoměrné lati.

Ruční odběr sněhu z větví stromů za účelem stanovení intercepční kapacity byl proveden na třinácti vzorcích sedmi různých dřevin. Pro přesnější a reprezentativnější výsledky by byl zapotřebí ještě vyšší počet měření. Na druhou stranu, i současný stav databáze umožňuje alespoň z části odhadnout základní charakteristiky studovaných závislostí.

## Reference

- Bednář Jan et al., 1993. Česká meteorologická společnost [online]: Elektronický meteorologický slovník výkladový a terminologický (eMS) [cit 10.04.2021]. Dostupné z: <http://slovník.cmes.cz>
- Bormann, Kat & Brown, Ross & Derksen, Chris & Painter, Thomas, 2018. Estimating snow-cover trends from space. *Nature Climate Change*. 8. 10.1038/s41558-018-0318-3.
- Brinno Inc. nedatováno: Time Lapse Construction Camera - BCC100 [online]. nedatováno [cit. 2021-04-17]. Dostupné z: <https://www.brinno.com/construction-camera/BCC100>
- Campbell Scientific, Inc., 2012: Snow Water Equivalent Sensor - CS725 [online]. [cit. 2021-04-17]. Dostupné z: <https://www.brinno.com/construction-camera/BCC100>
- Černý, Tomáš. Model intercepce dešťových srážek smrkového porostu na Šumavě. Praha, 2016. Diplomová práce. Fakulta stavební ČVUT v Praze. Vedoucí práce Doc. Ing. Michal Dohnal, Ph.D.
- Česká geologická služba, nedatováno: Geovědní mapy 1:50000 [online]. [cit. 2021-04-16]. Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/geocr50/>
- Český hydrometeorologický ústav, nedatováno: Evidenční list hlásného profilu č. 120 [online]. [cit. 2021-04-16]. Dostupné z: [https://hydro.chmi.cz/hpps/hpps\\_prfbk\\_detail.php?seq=307245](https://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_prfbk_detail.php?seq=307245)
- Český úřad zeměměřický a katastrální, 2004: Nahlížení do katastru nemovitostí [online]. [cit. 2021-04-16]. Dostupné z: <https://nahlizeniidokn.cuzk.cz/>
- Český úřad zeměměřický a katastrální, nedatováno: Prohlížeč služba Esri ArcGIS Server - Základní mapy ČR [online]. Praha [cit. 2021-04-16]. Dostupné z: <https://ags.cuzk.cz/arcgis/services>

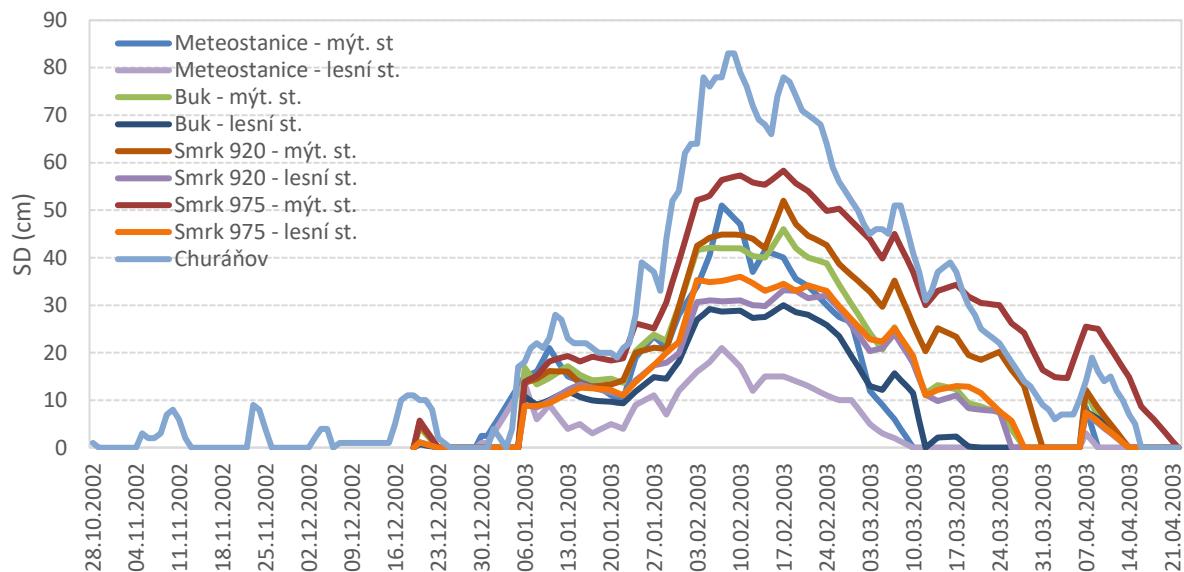


- Český úřad zeměměřický a katastrální, nedatováno: Prohlížeč služba Esri ArcGIS Server – Ortofotomapa ČR [online]. Praha [cit. 2021-04-16]. Dostupné z: <https://ags.cuzk.cz/arcgis/services>
- DeWalle, D., & Rango, A., 2008. *Principles of Snow Hydrology*. Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9780511535673
- Elias, E., James, D., Heimel, S., Steele, C., Steltzer, H., & Dott, C., 2021. Implications of observed changes in high mountain snow water storage, snowmelt timing and melt window. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 35, 100799. doi:10.1016/j.ejrh.2021.100799
- Golding, D. L., & Swanson, R. H., 1986. Snow distribution patterns in clearings and adjacent forest. *Water Resources Research*, 22(13), 1931-1940. doi:10.1029/wr022i013p01931
- Holko, L., Škvarenina, J., Kostka, Z., Frič, M., & Staroň, J., 2009. Impact of spruce forest on Rainfall interception and seasonal snow Cover evolution in the Western Tatra Mountains, Slovakia. *Biologia*, 64(3), 594-599. doi:10.2478/s11756-009-0087-6
- Hribik, M., Vida, T., Skvarenina, J., Skvareninova, J., & Ivan, L., 2012. Hydrological effects of Norway spruce and European BEECH on snow cover in a Mid-mountain region of THE Polana Mts., Slovakia. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 60(4), 319-332. doi:10.2478/v10098-012-0028-x
- Hydroekologický informační systém Výzkumného ústavu T. G. Masaryka, nedatováno: Mapa: Vodní hospodářství a ochrana vod [online]. [cit. 2021-04-16]. Dostupné z: [https://heis.vuv.cz/data/webmap/isapi.dll?map=mp\\_p\\_ems&TMPL=MAPWND\\_MAIN](https://heis.vuv.cz/data/webmap/isapi.dll?map=mp_p_ems&TMPL=MAPWND_MAIN)
- Klimatické oblasti Česka: klasifikace podle Quitta za období 1961-2000 = Climatic regions of the Czech Republic, 2011: Quitt's classification during years 1961-2000. V Olomouci: Univerzita Palackého. M.A.P.S. (Maps and Atlas Product Series). ISBN 978-80-86690-89-6.
- Kodešová, Radka & Vlasakova, Miroslava & Fér, Miroslav & Tepla, Daniela & Jakšík, O. & Neuberger, Pavel & Adamovsky, Radomir, 2013. Thermal Properties of Representative Soils of the Czech Republic. *Soil and Water Research*. 8. 141-150. 10.17221/33/2013-SWR.
- Kompaktní fotoaparát W830 s 8x optickým zoomem [online]. 2021 [cit. 2021-5-11]. Dostupné z: <https://www.sony.cz/electronics/kompaktni-fotoaparaty-cyber-shot/dsc-w830>
- Lundberg, A., & Halldin, S., 2001. Snow interception evaporation. review of measurement techniques, processes, and models. *Theoretical and Applied Climatology*, 70(1-4), 117-133. doi:10.1007/s007040170010
- Male, D. (1980). The seasonal snowcover. *Dynamics of Snow and Ice Masses*, 305-395. doi:10.1016/b978-0-12-179450-7.50011-5
- Marsh, P., & Woo, M., 1984. Wetting front advance and freezing of Meltwater within a Snow cover: 1. observations in the Canadian Arctic. *Water Resources Research*, 20(12), 1853-1864. doi:10.1029/wr020i012p01853
- Montesi, J., Elder, K., Schmidt, R. A., & Davis, R. E., 2004. Sublimation of Intercepted snow within a Subalpine forest canopy at TWO ELEVATIONS. *Journal of Hydrometeorology*, 5(5), 763-773. doi:10.1175/1525-7541(2004)0052.0.co;2
- Palm, E., & Tveitereid, M., 1979. On heat and mass flux through dry snow. *Journal of Geophysical Research*, 84(C2), 745. doi:10.1029/jc084ic02p00745
- Pomeroy, J. W., & Brun, E., 2010. *Physical Properties of Snow*. 0-126. doi:<https://www.inscc.utah.edu/~campbell/snowdynamics/reading/Pomeroy.pdf>
- Prispěvatelé Wikipedie, nedatováno: Volyňka [online]. Wikipedie: otevřená encyklopedie, [cit. 2021-04-16]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Voly%C5%88ka>
- Pugh, E. T., & Small, E. E., 2013. The impact of beetle-induced conifer death on stand-scale canopy snow interception. *Hydrology Research*, 44(4), 644-657. doi:10.2166/nh.2013.097
- Pugh, E., & Small, E., 2011. The impact of pine beetle infestation on snow accumulation and melt in the headwaters of the Colorado River. *Ecohydrology*, 5(4), 467-477. doi:10.1002/eco.239
- QHD-53D [online]. nedatováno [cit. 2021-5-11]. Dostupné z: <https://velbon.net/product/head/qhd53d.html>
- Rueden, C. T.; Schindelin, J. & Hiner, M. C. et al, 2017, "ImageJ2: ImageJ for the next generation of scientific image data", *BMC Bioinformatics* 18:529, PMID 29187165, doi:10.1186/s12859-017-1934-z (on Google Scholar).

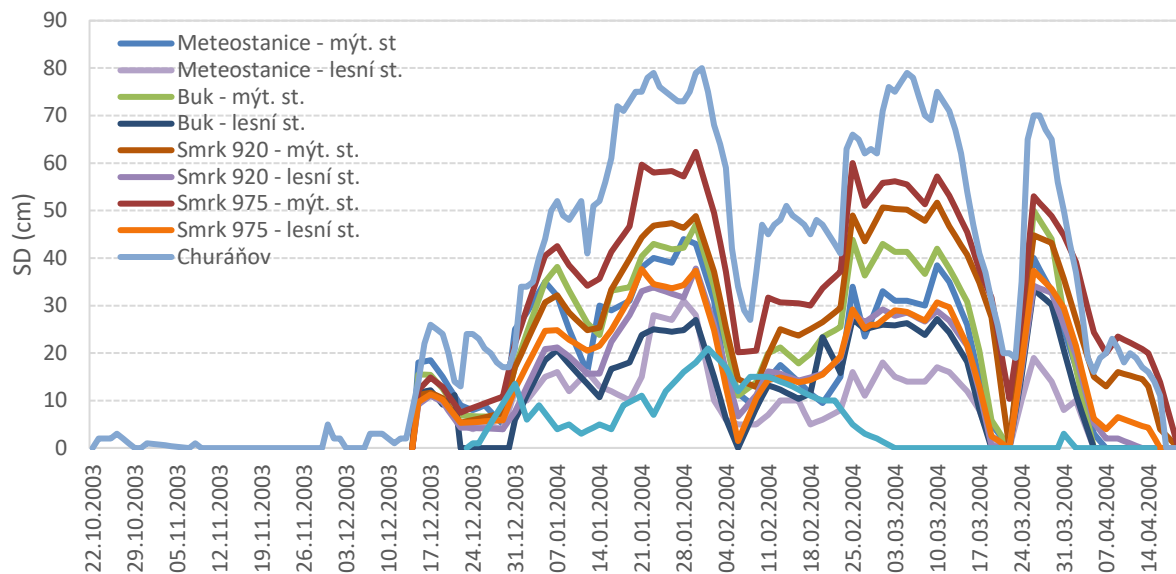
- Schattan, P., Köhli, M., Schrön, M., Baroni, G., & Oswald, S. E., 2019. Sensing area-average snow water equivalent with cosmic-ray neutrons: The influence of fractional snow cover. *Water Resources Research*, 55, 10796– 10812. <https://doi.org/10.1029/2019WR025647>
- Schmidt, R. & Pomeroy, John., 2011. Bending of a Conifer Branch at Subfreezing Temperatures: Implications for Snow Interception. *Canadian Journal of Forest Research*. 20. 1251-1253. 10.1139/x90-165.
- Schmidt, R. A., & Gluns, D. R., 1991. Snowfall interception on branches of THREE conifer species. *Canadian Journal of Forest Research*, 21(8), 1262-1269. doi:10.1139/x91-176
- Schmidt, R. A. & Troendle C. A., 1992: Sublimation of intercepted snow as a global source of water vapor. Proc. 60th Western Snow Conf., Jackson, WY, Western Snow Conference, 1–9.
- Schöner, W., Koch, R., Matulla, C., Marty, C., & Tilg, A., 2018. Spatiotemporal patterns of snow depth within the SWISS-AUSTRIAN Alps for the past half Century (1961 to 2012) and linkages to climate change. *International Journal of Climatology*, 39(3), 1589-1603. doi:10.1002/joc.5902
- Šípek, V., & Tesař, M., 2014. Seasonal snow accumulation in the mid-latitude forested catchment. *Biologia*, 69(11), 1562-1569. doi:10.2478/s11756-014-0468-3
- Šípek, V., & Tesař, M., 2015. Validation of a mesoscale hydrological model in a small-scale forested catchment. *Hydrology Research*, 47(1), 27-41. doi:10.2166/nh.2015.220
- Tarboton D. & Luce D., 1996. Utah Energy Balance Snow Accumulation and Melt Model (UEB). Computer model technical description and users guide. Utah State University and USDA, Forest Service, 39 p.
- Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, 2018: Charakteristika toků a povodí ČR [online]. Praha [cit. 2021-04-16]. Dostupné z: <https://www.dibavod.cz/24/charakteristiky-toku-a-povodi-cr.html>

## Přílohy

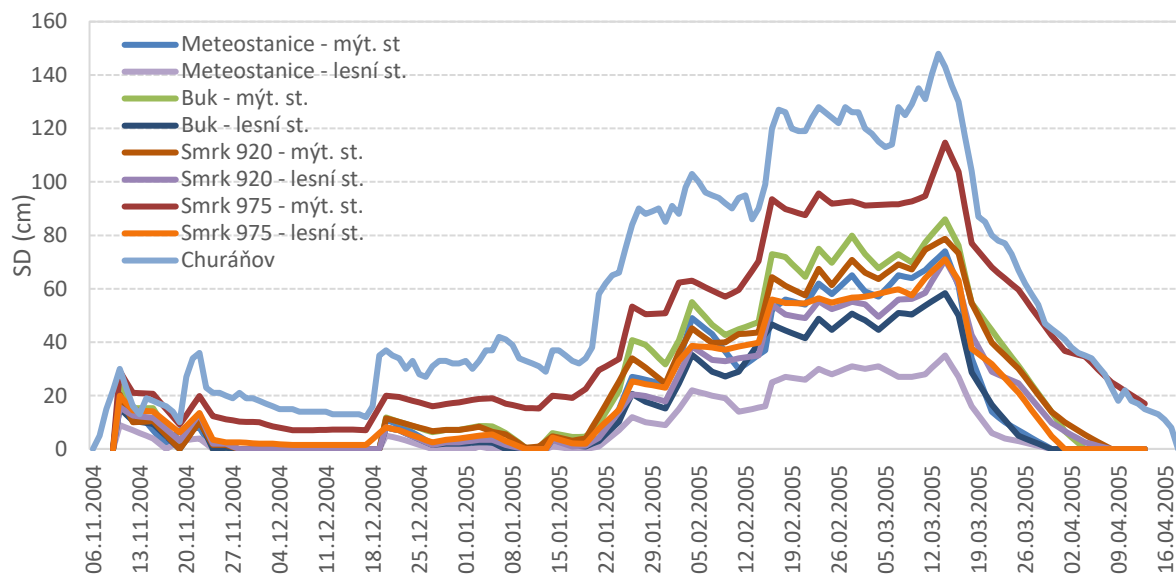
### Průběhy výšky sněhové pokrývky v jednotlivých letech



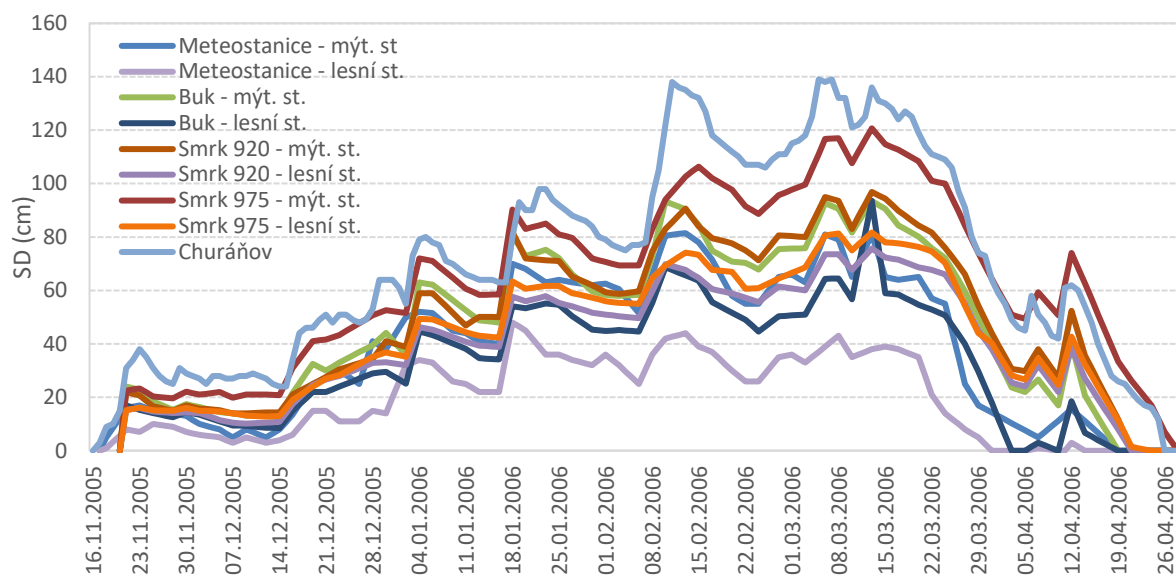
Obr. 38 – Proložené měřené hodnoty SD (cm) na všech stanovištích v zimní sezóně 2002/2003



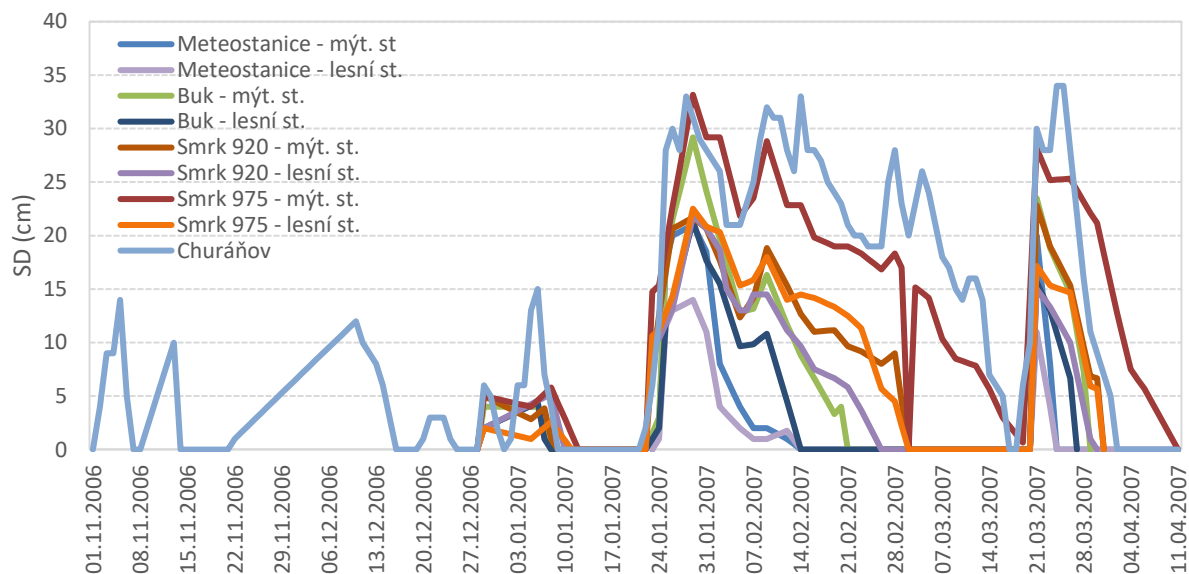
Obr. 39 – Proložené měřené hodnoty SD (cm) na všech stanovištích v zimní sezóně 2003/2004



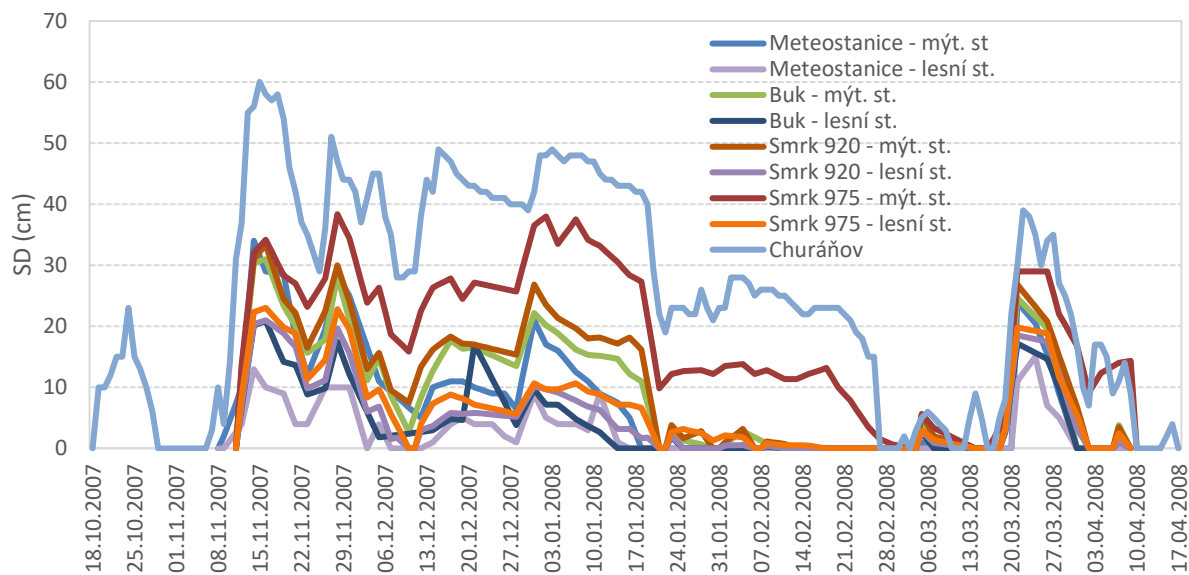
Obr. 40 – Proložené měřené hodnoty SD (cm) na všech stanovištích v zimní sezóně 2004/2005



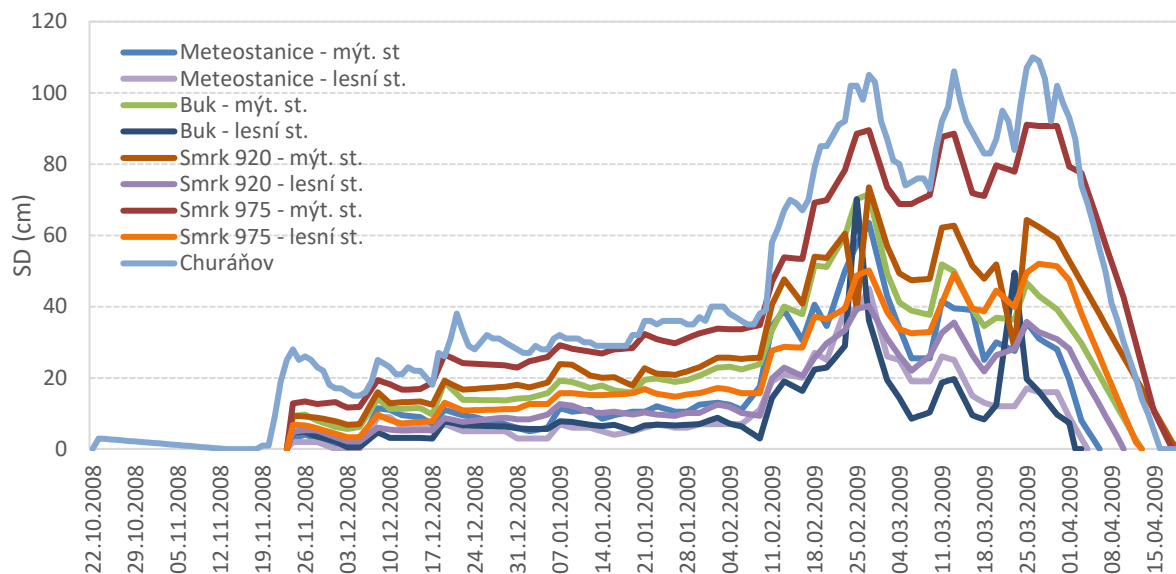
Obr. 41 – Proložené měřené hodnoty SD (cm) na všech stanovištích v zimní sezóně 2005/2006



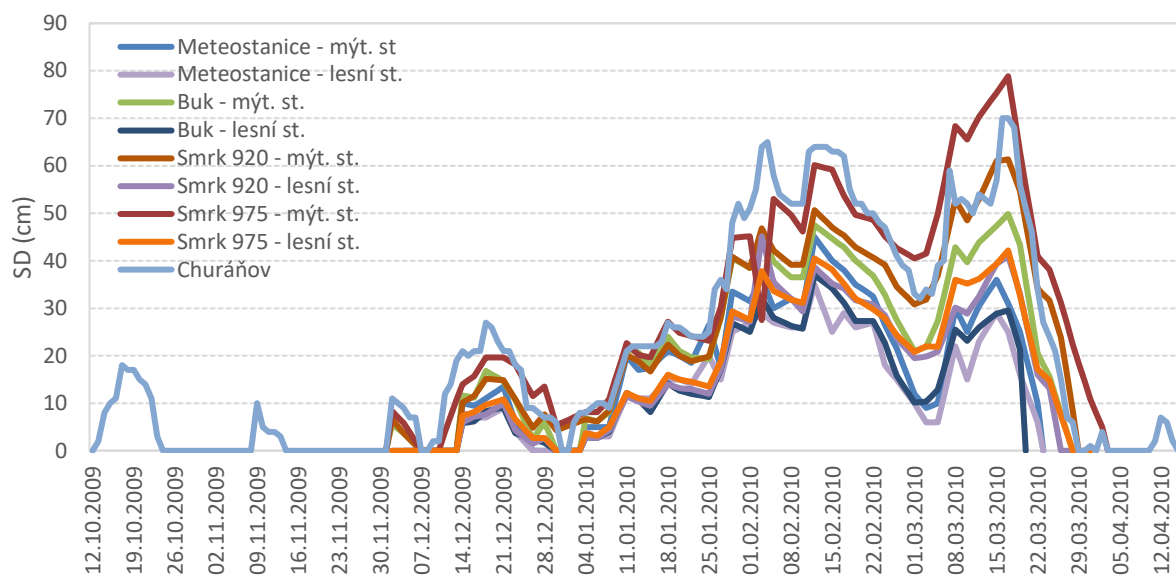
Obr. 42 – Proložené měřené hodnoty SD (cm) na všech stanovištích v zimní sezóně 2006/2007



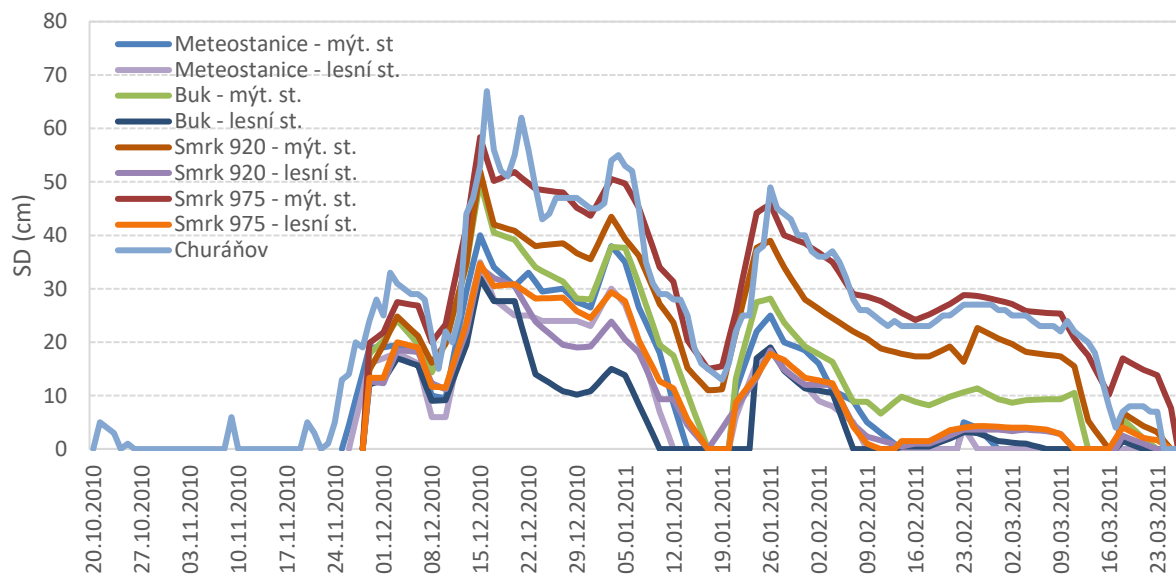
Obr. 43 – Proložené měřené hodnoty SD (cm) na všech stanovištích v zimní sezóně 2007/2008



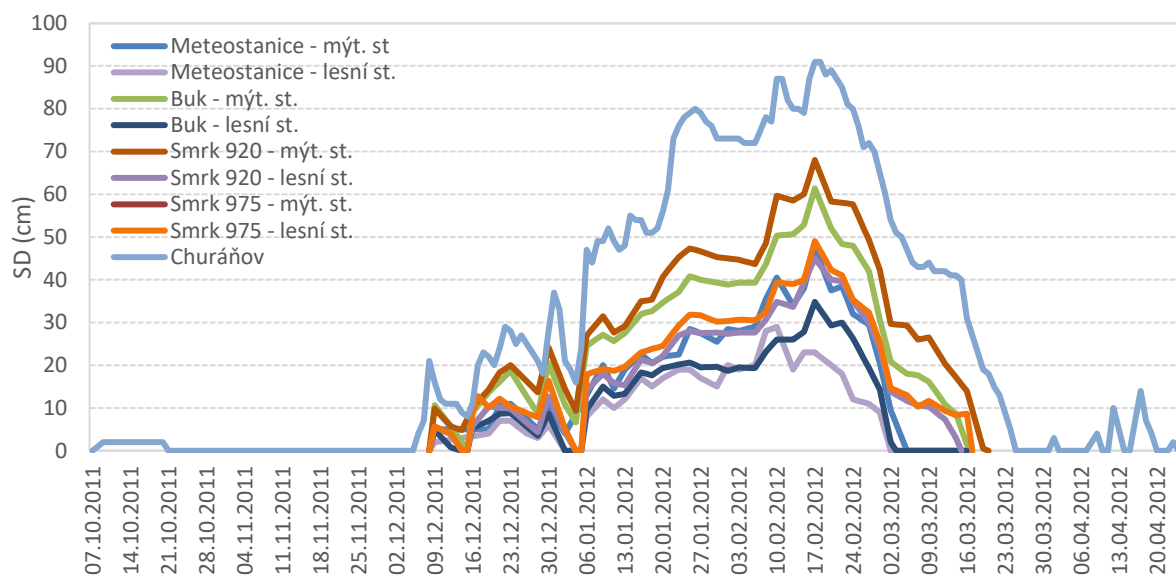
Obr. 44 – Proložené měřené hodnoty SD (cm) na všech stanovištích v zimní sezóně 2008/2009



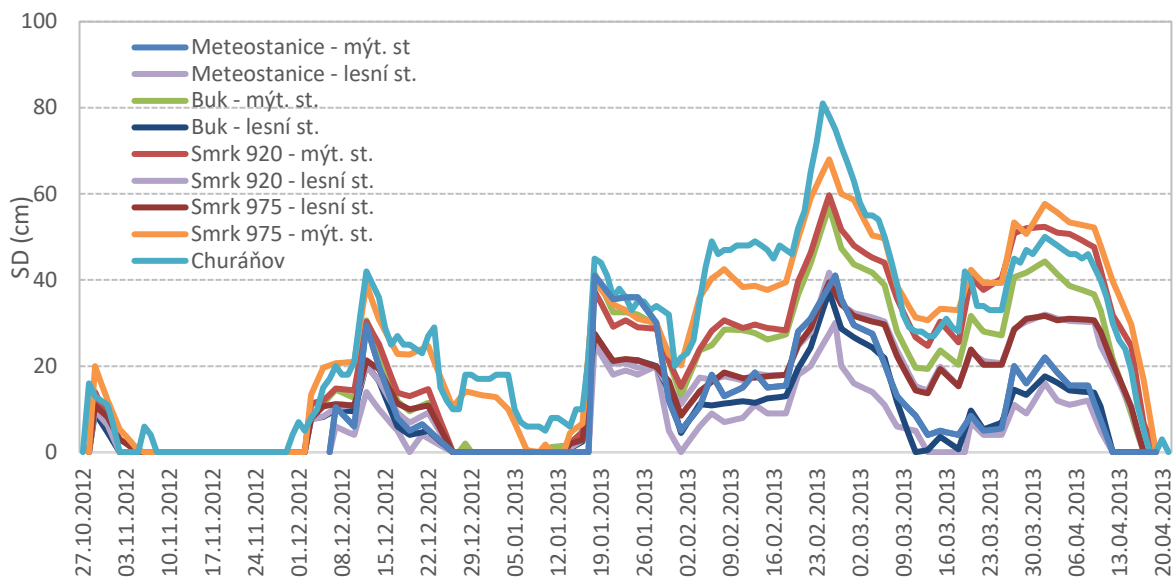
Obr. 45 – Proložené měřené hodnoty SD (cm) na všech stanovištích v zimní sezóně 2009/2010



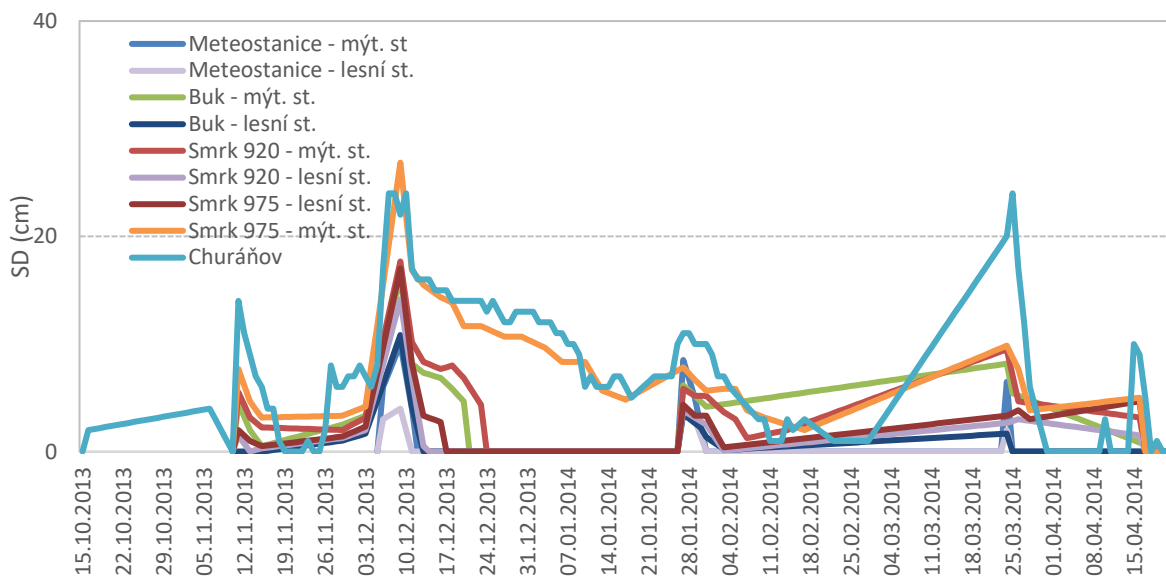
Obr. 46 – Proložené měřené hodnoty SD (cm) na všech stanovištích v zimní sezóně 2010/2011



Obr. 47 – Proložené měřené hodnoty SD (cm) na všech stanovištích v zimní sezóně 2011/2012

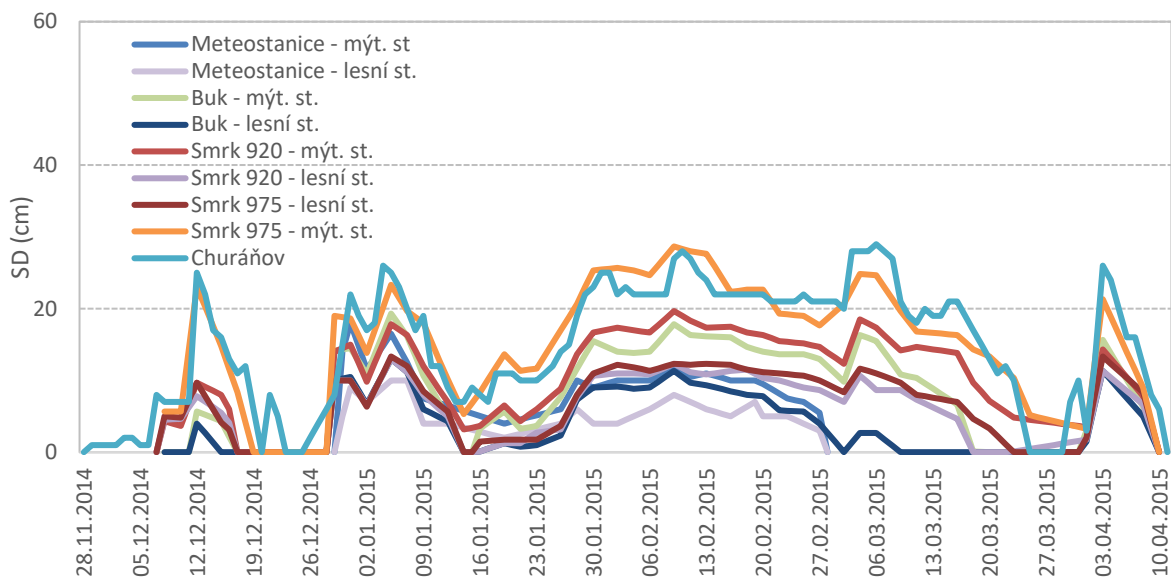


Obr. 48 – Proložené měřené hodnoty SD (cm) na všech stanovištích v zimní sezóně 2012/2013

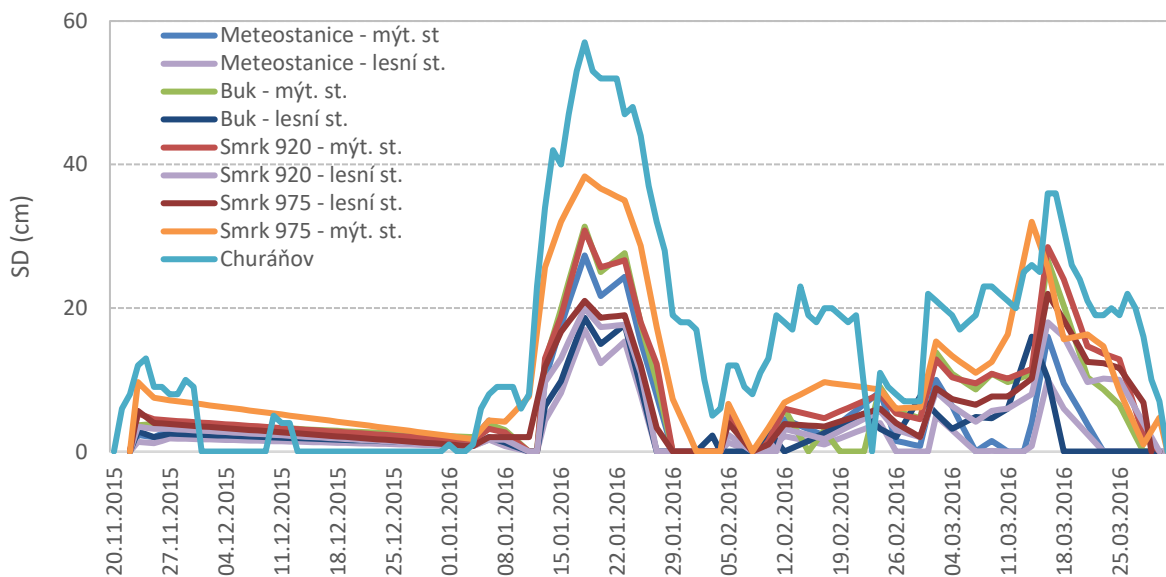


Obr. 49 – Proložené měřené hodnoty SD (cm) na všech stanovištích v zimní sezóně 2013/2014

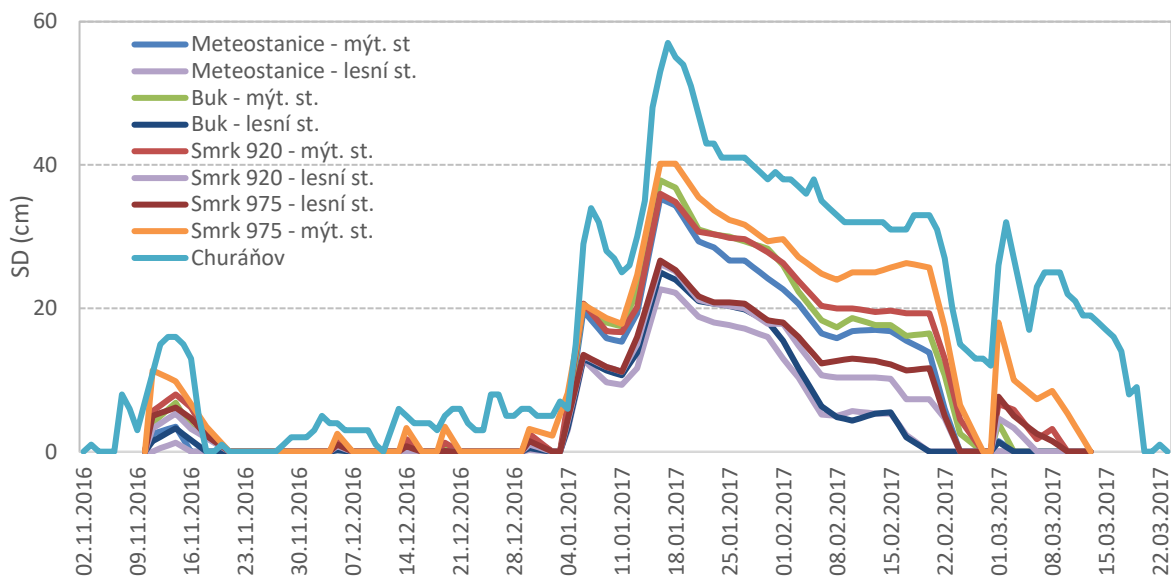




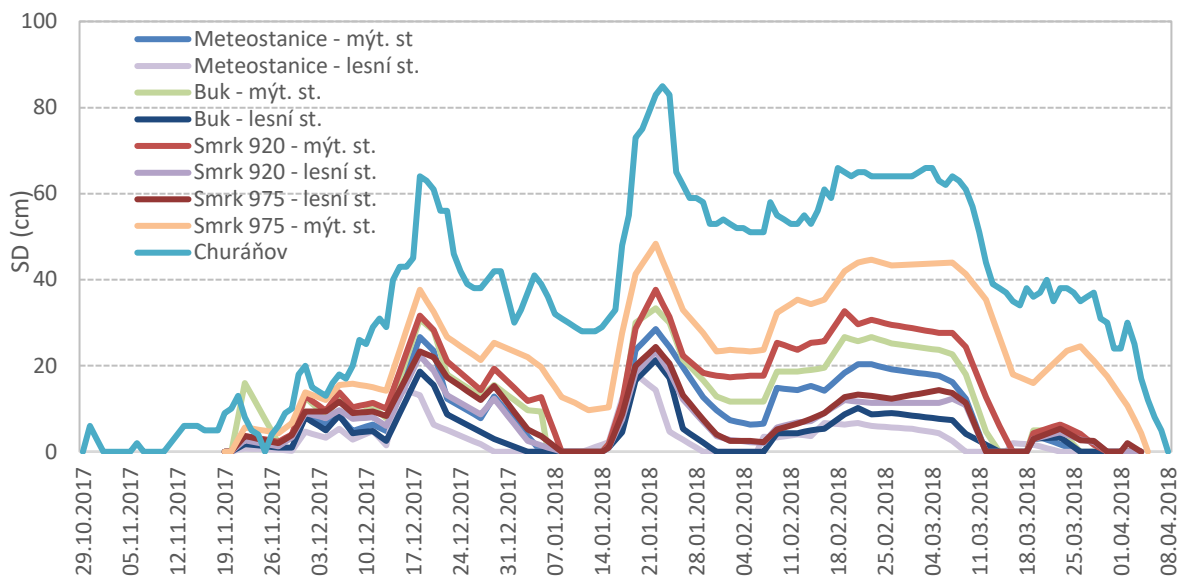
Obr. 50 – Proložené měřené hodnoty SD (cm) na všech stanovištích v zimní sezóně 2014/2015



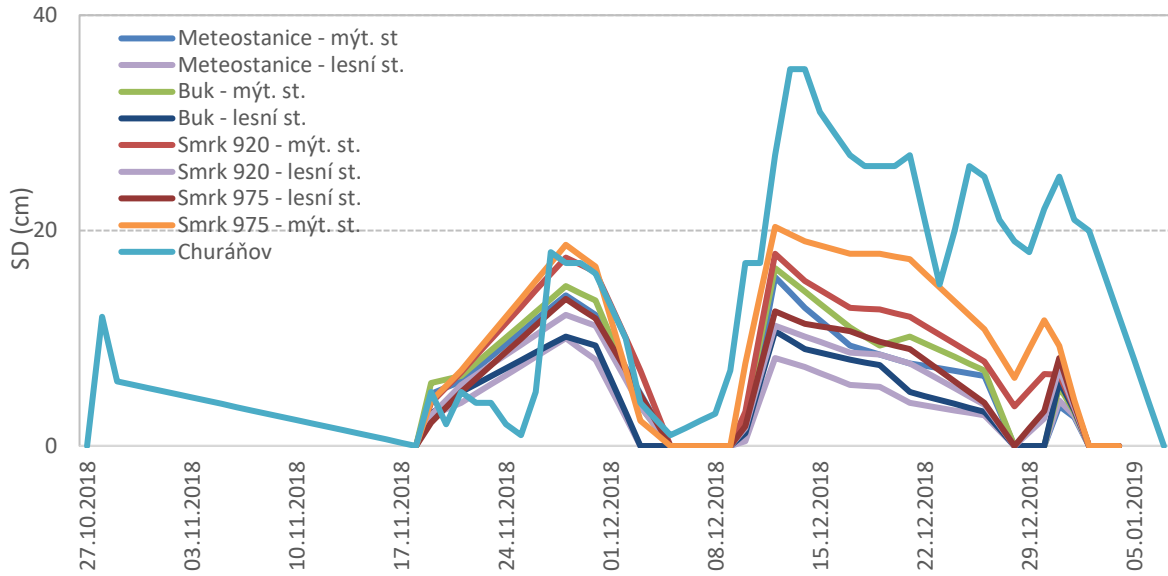
Obr. 51 – Proložené měřené hodnoty SD (cm) na všech stanovištích v zimní sezóně 2015/2016



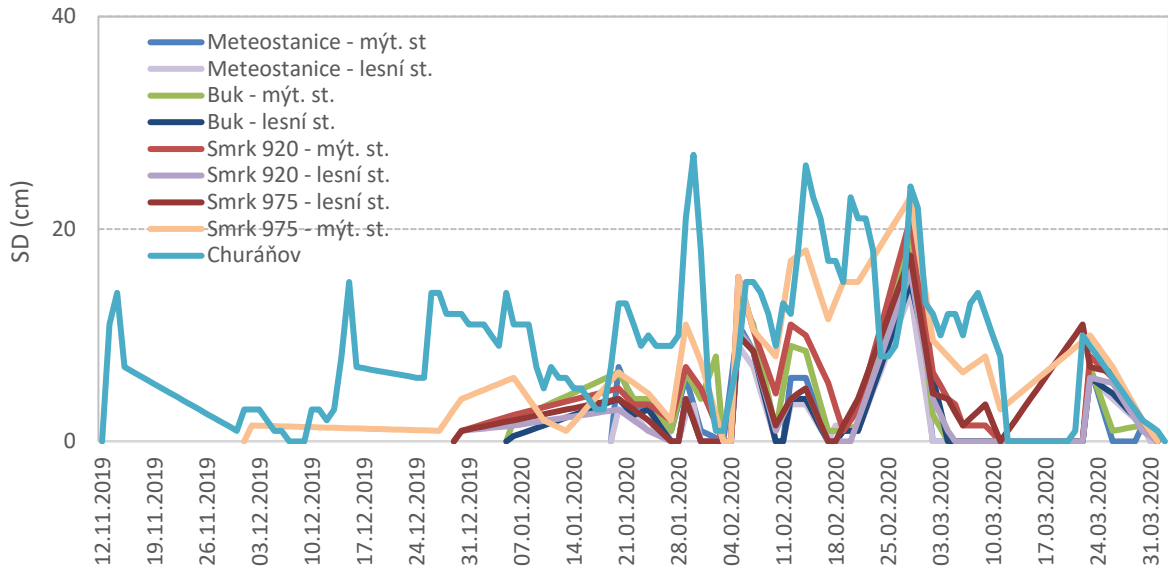
Obr. 52 – Proložené měřené hodnoty SD (cm) na všech stanovištích v zimní sezóně 2016/2017



Obr. 53 – Proložené měřené hodnoty SD (cm) na všech stanovištích v zimní sezóně 2017/2018

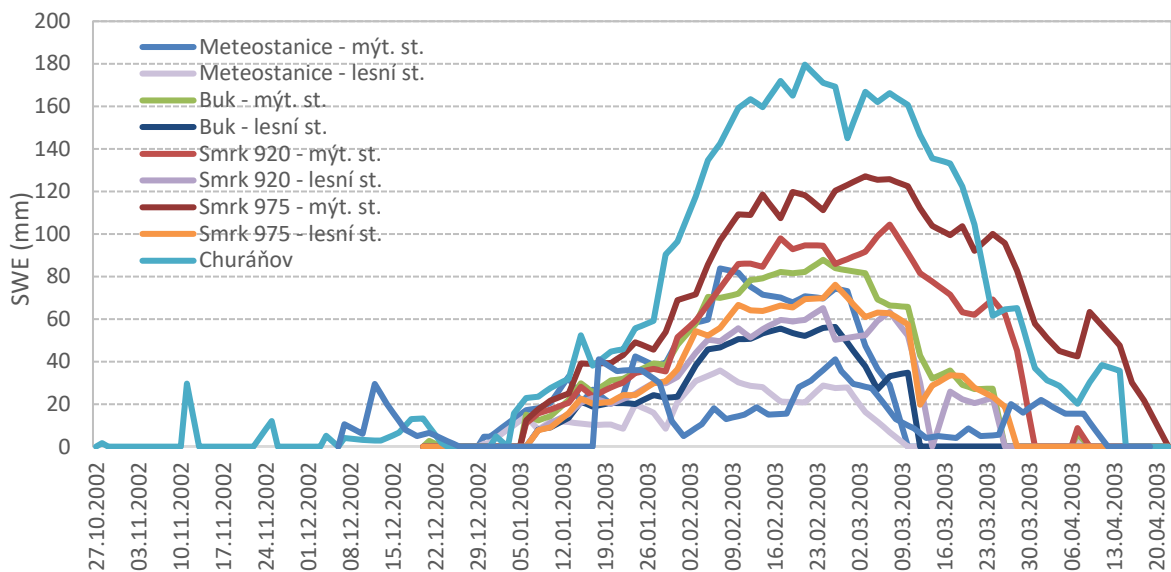


Obr. 54 – Proložené měřené hodnoty SD (cm) na všech stanovištích v zimní sezóně 2018/2019

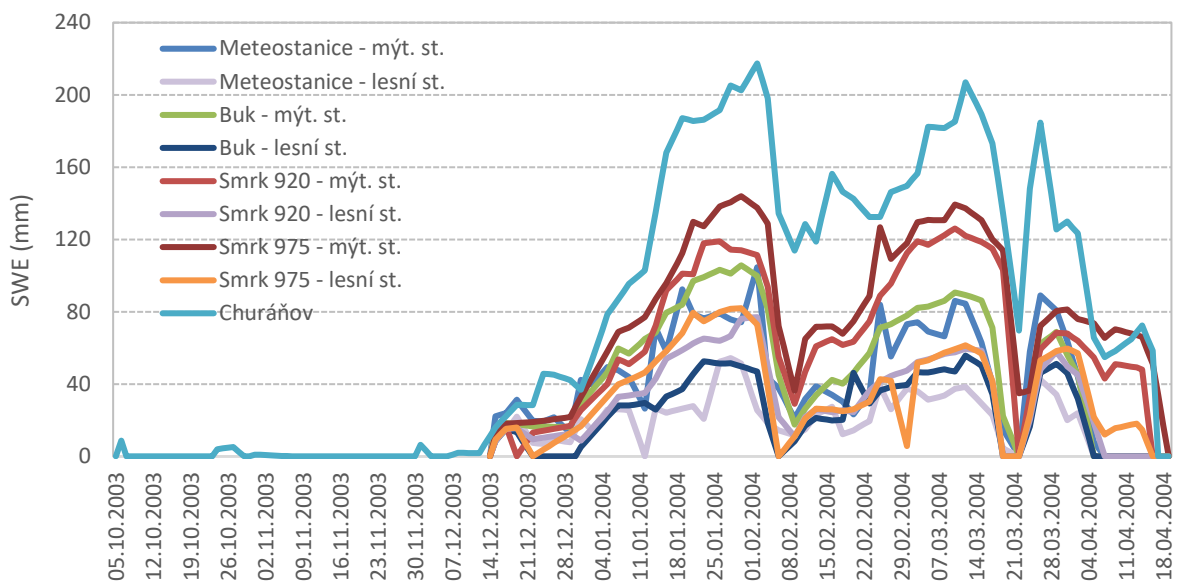


Obr. 55 – Proložené měřené hodnoty SD (cm) na všech stanovištích v zimní sezóně 2019/2020

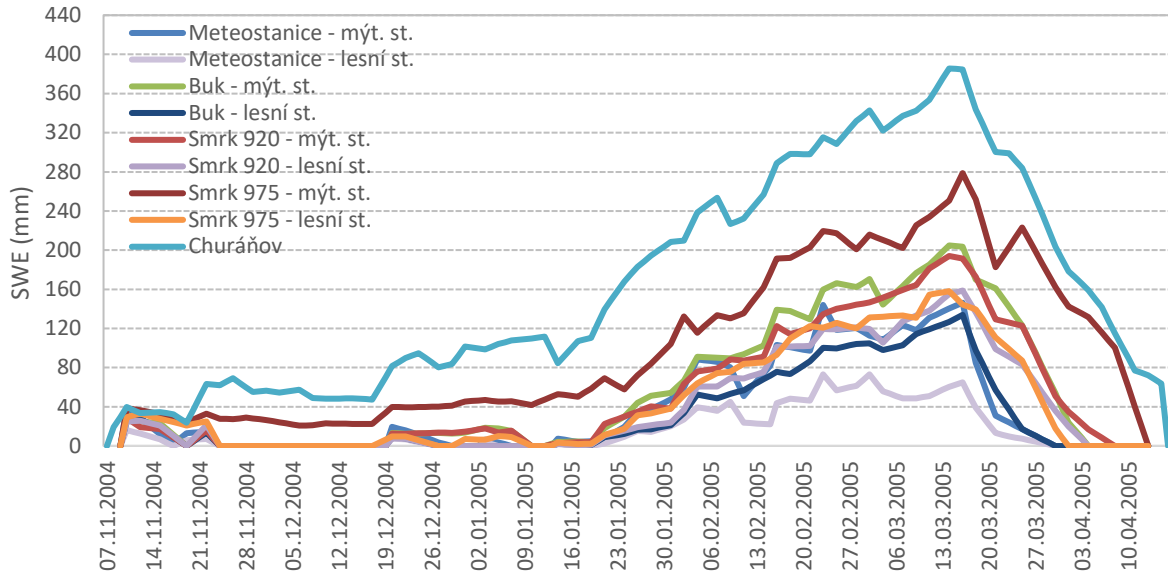
## Průběhy vodní hodnoty sněhu v jednotlivých letech



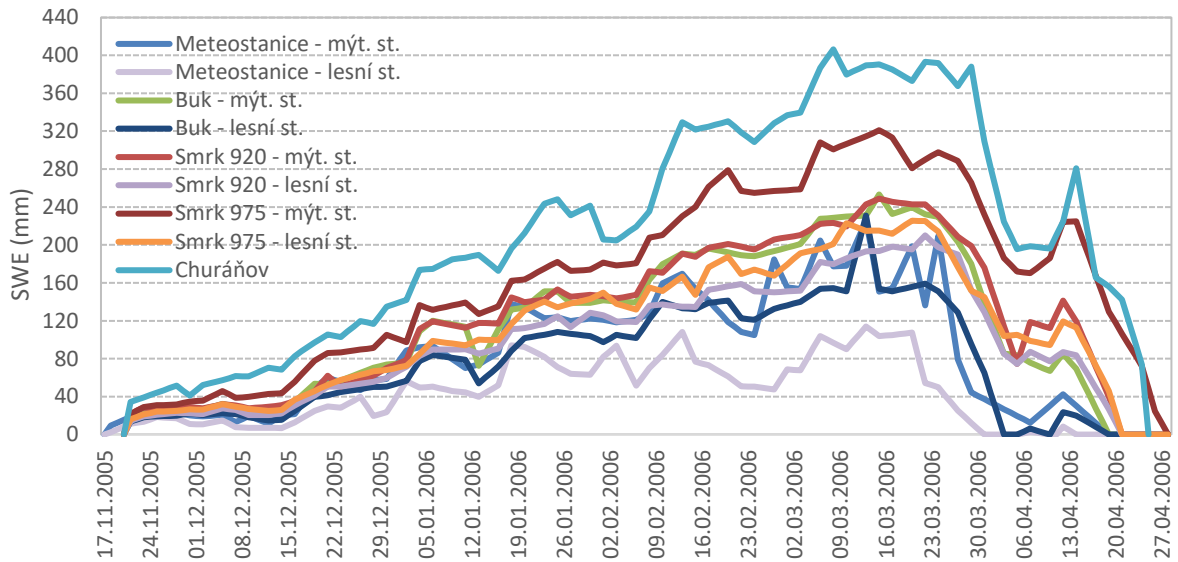
Obr. 56 – Proložené měřené hodnoty SWE (mm) na všech stanovištích v zimní sezóně 2002/2003



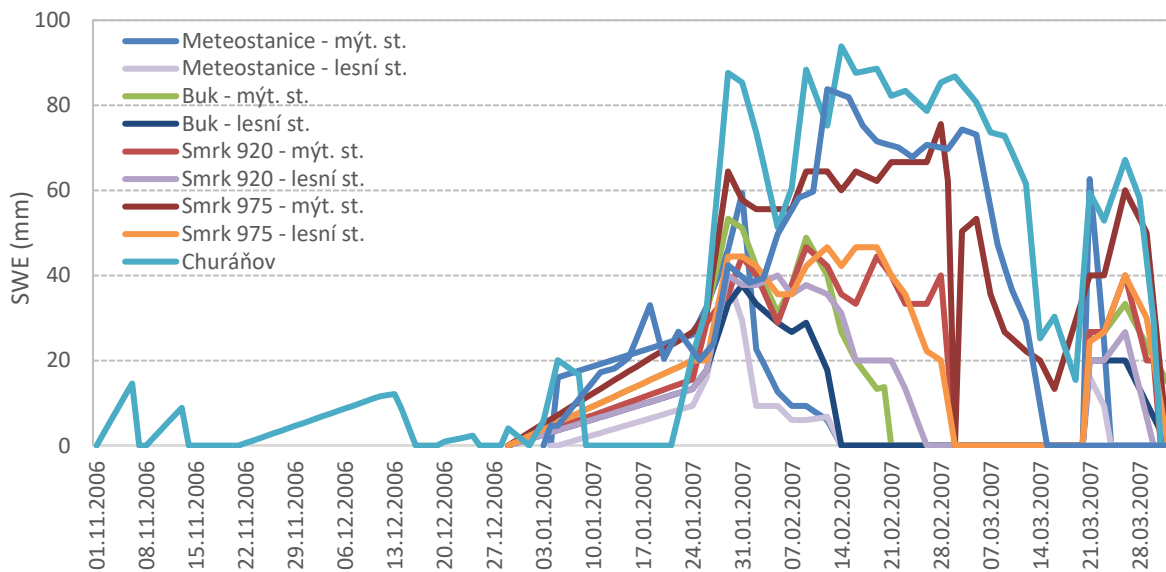
Obr. 57 – Proložené měřené hodnoty SWE (mm) na všech stanovištích v zimní sezóně 2003/2004



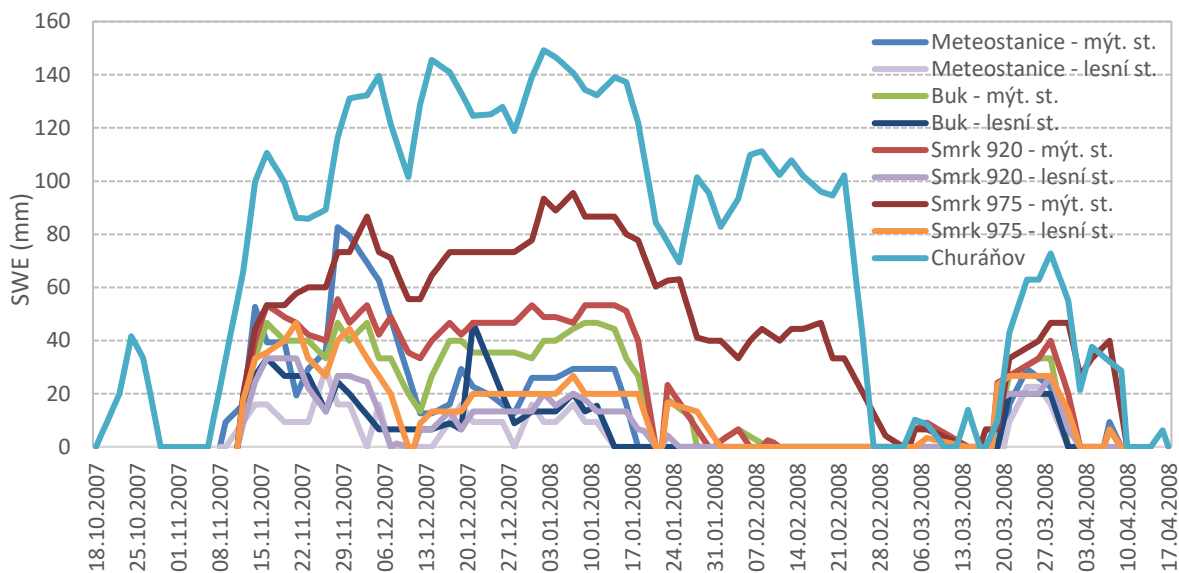
Obr. 58 – Proložené měřené hodnoty SWE (mm) na všech stanovištích v zimní sezóně 2004/2005



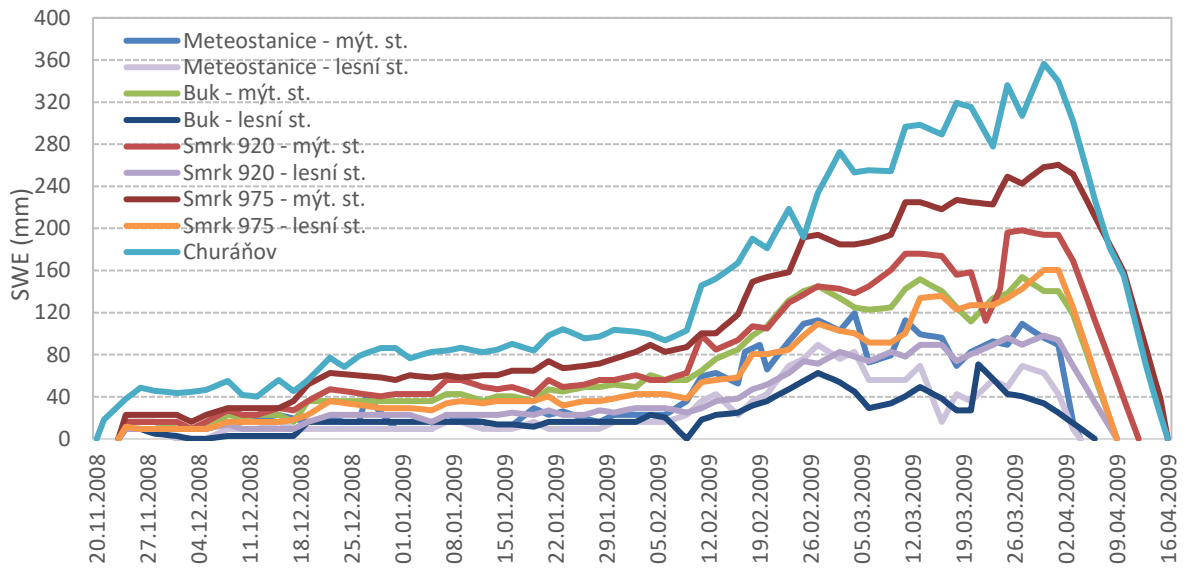
Obr. 59 – Proložené měřené hodnoty SWE (mm) na všech stanovištích v zimní sezóně 2005/2006



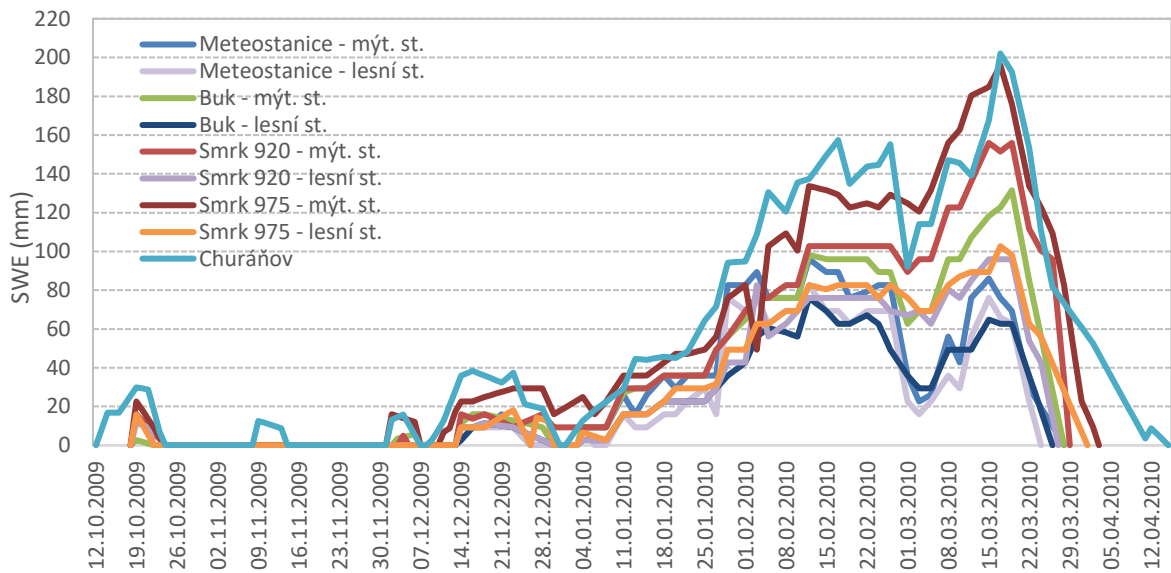
Obr. 60 – Proložené měřené hodnoty SWE (mm) na všech stanovištích v zimní sezóně 2006/2007



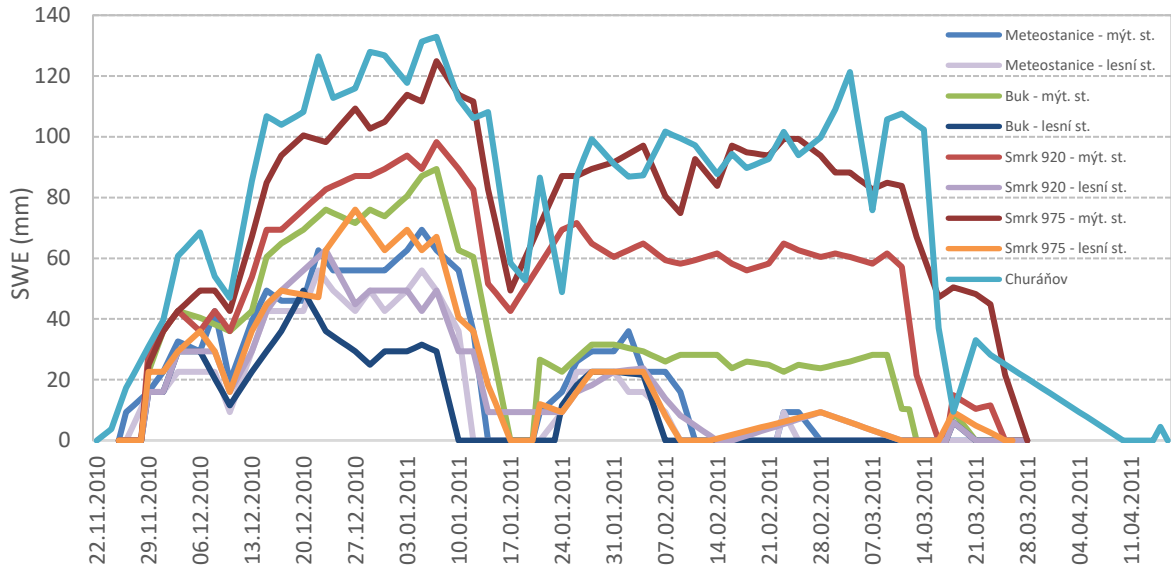
Obr. 61 – Proložené měřené hodnoty SWE (mm) na všech stanovištích v zimní sezóně 2007/2008



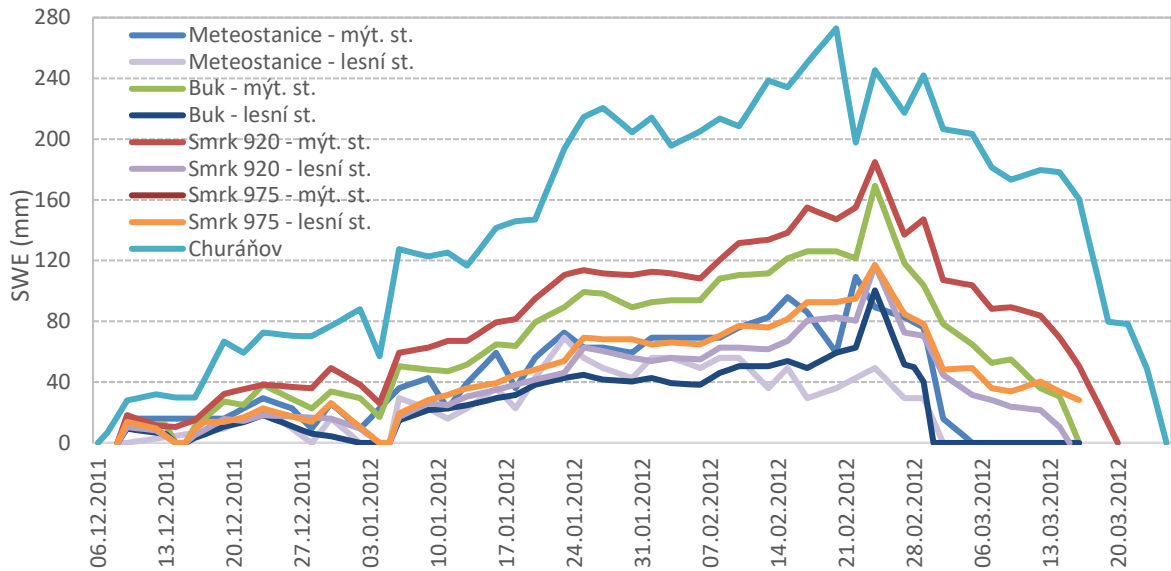
Obr. 62 – Proložené měřené hodnoty SWE (mm) na všech stanovištích v zimní sezóně 2008/2009



Obr. 63 – Proložené měřené hodnoty SWE (mm) na všech stanovištích v zimní sezóně 2009/2010

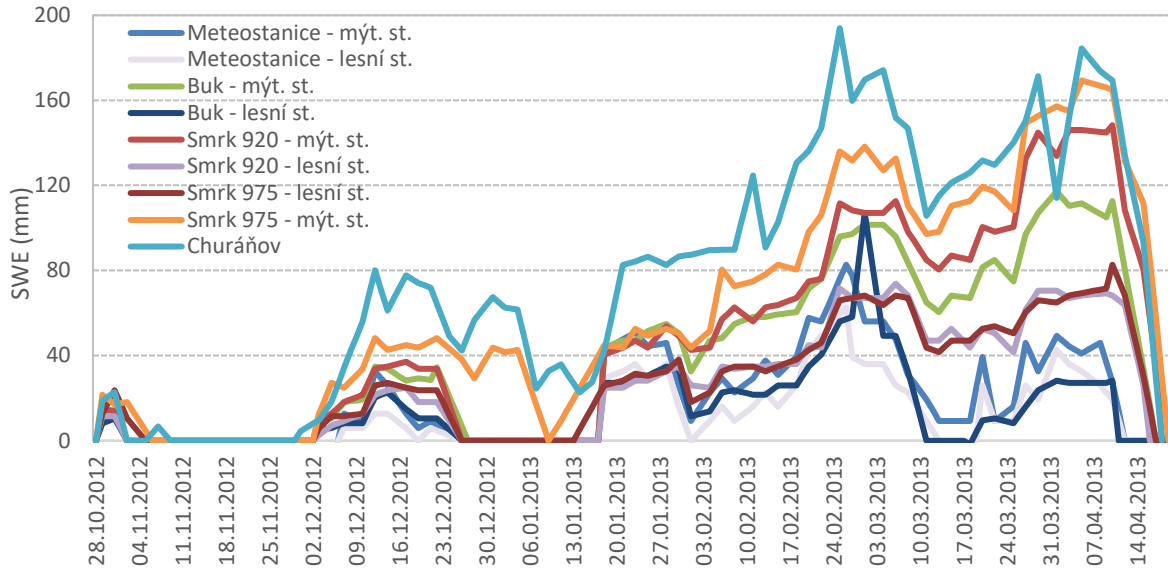


Obr. 64 – Proložené měřené hodnoty SWE (mm) na všech stanovištích v zimní sezóně 2010/2011

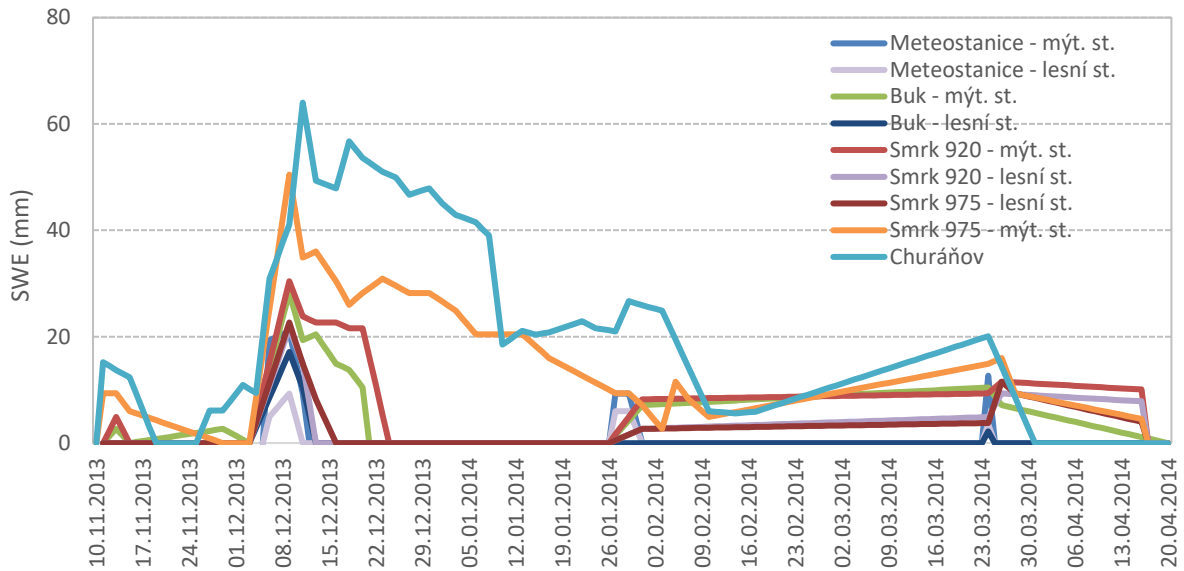


Obr. 65 – Proložené měřené hodnoty SWE (mm) na všech stanovištích v zimní sezóně 2011/2012

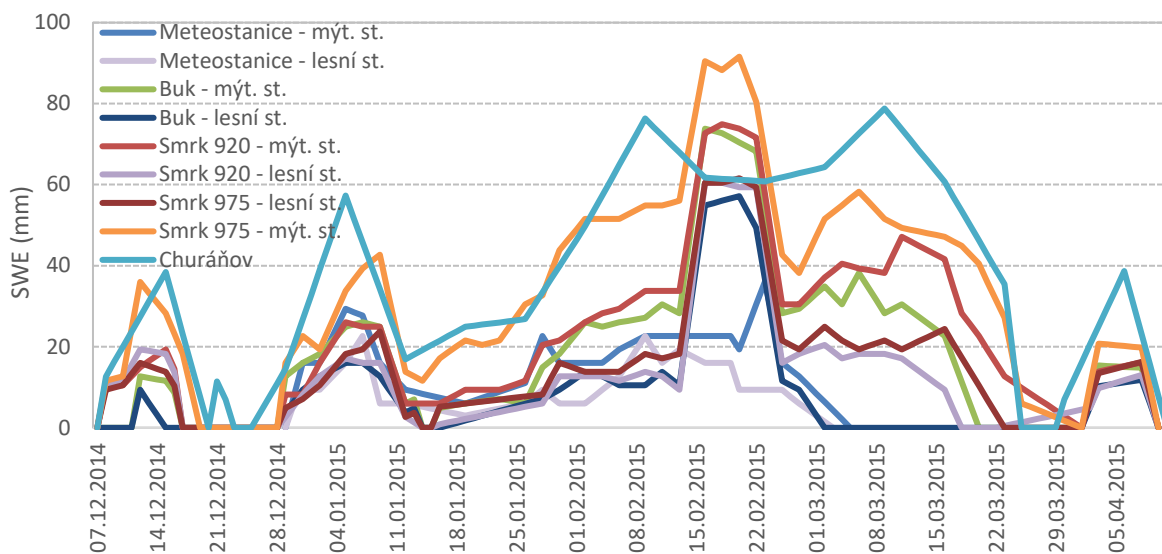




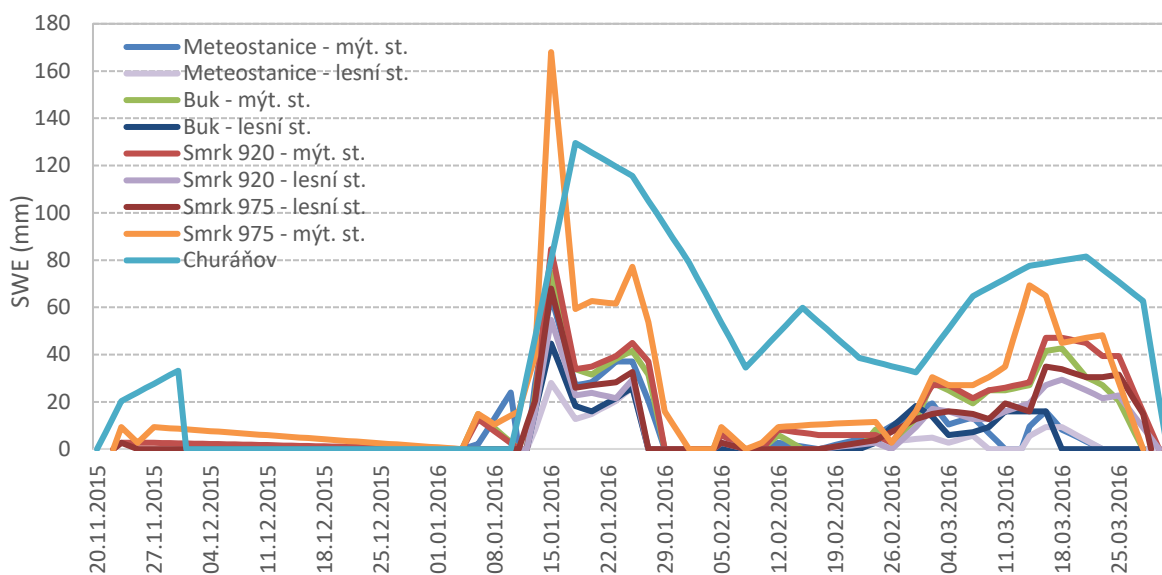
Obr. 66 – Proložené měřené hodnoty SWE (mm) na všech stanovištích v zimní sezóně 2012/2013



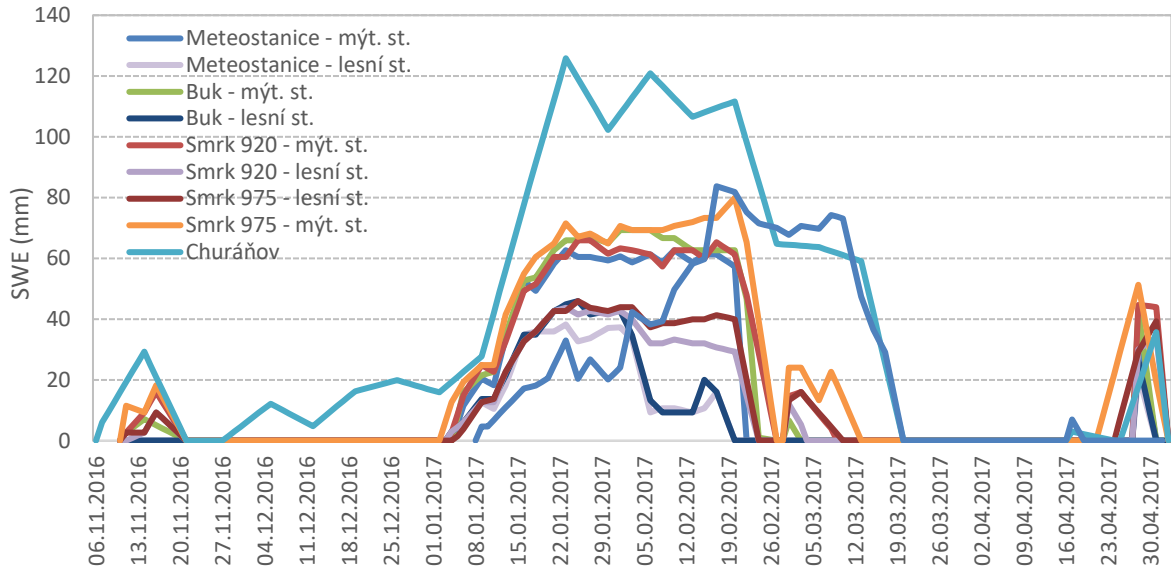
Obr. 67 – Proložené měřené hodnoty SWE (mm) na všech stanovištích v zimní sezóně 2013/2014



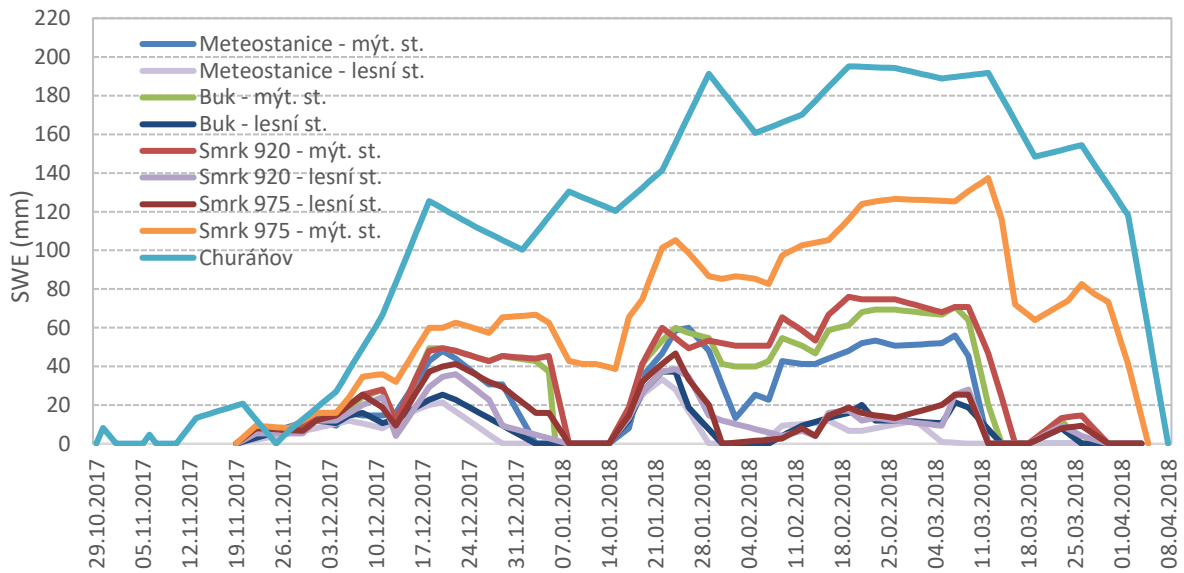
Obr. 68 – Proložené měřené hodnoty SWE (mm) na všech stanovištích v zimní sezóně 2014/2015



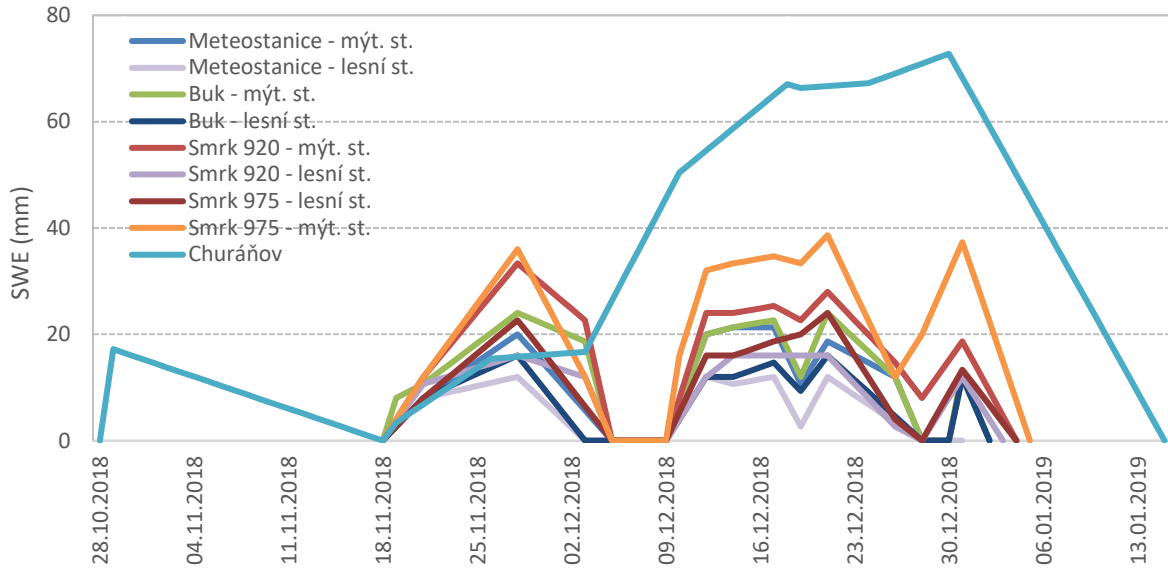
Obr. 69 – Proložené měřené hodnoty SWE (mm) na všech stanovištích v zimní sezóně 2015/2016



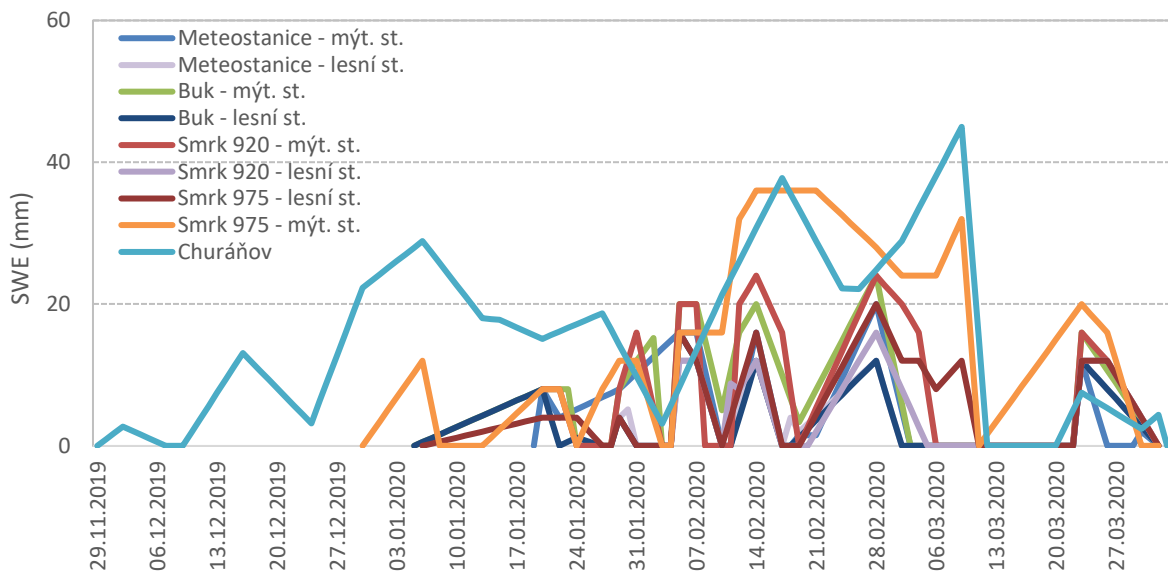
Obr. 70 – Proložené měřené hodnoty SWE (mm) na všech stanovištích v zimní sezóně 2016/2017



Obr. 71 – Proložené měřené hodnoty SWE (mm) na všech stanovištích v zimní sezóně 2017/2018

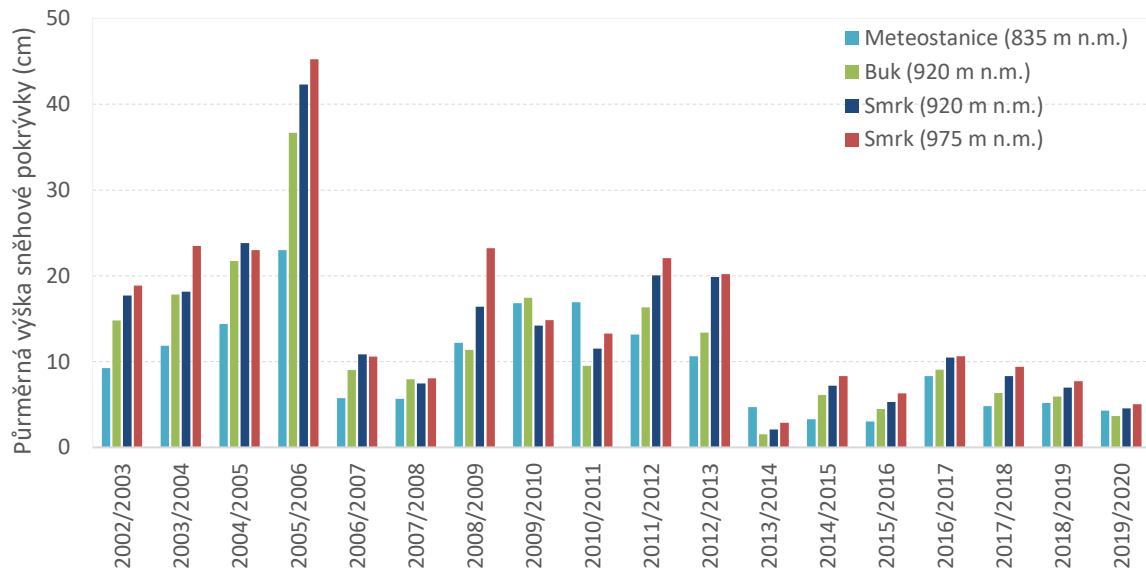


Obr. 72 – Proložené měřené hodnoty SWE (mm) na všech stanovištích v zimní sezóně 2018/2019

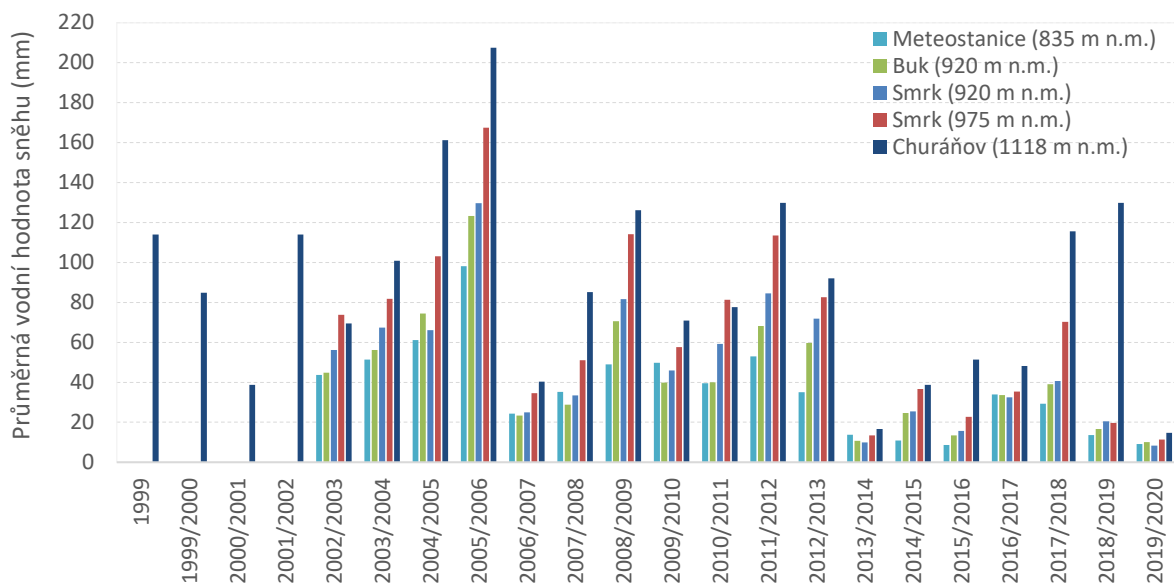


Obr. 73 – Proložené měřené hodnoty SWE (mm) na všech stanovištích v zimní sezóně 2019/2020

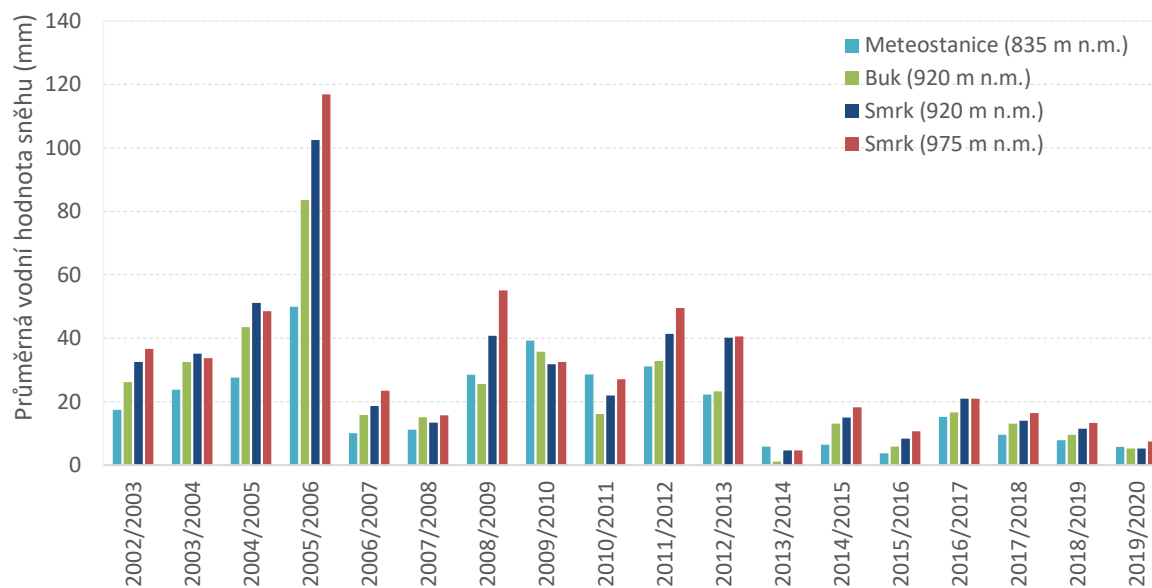
Průměrné hodnoty výšky sněhové pokrývky a vodní hodnoty sněhu na lesním a mýtinném stanovišti



Obr. 74 – Průměrná výška sněhové pokrývky na lesním stanovišti vypočtená pro specifická trvání sněhové pokrývky na jednotlivých lokalitách



Obr. 75 – Průměrná vodní hodnota sněhu na mýtinném stanovišti vypočtená pro specifická trvání sněhové pokrývky na jednotlivých lokalitách

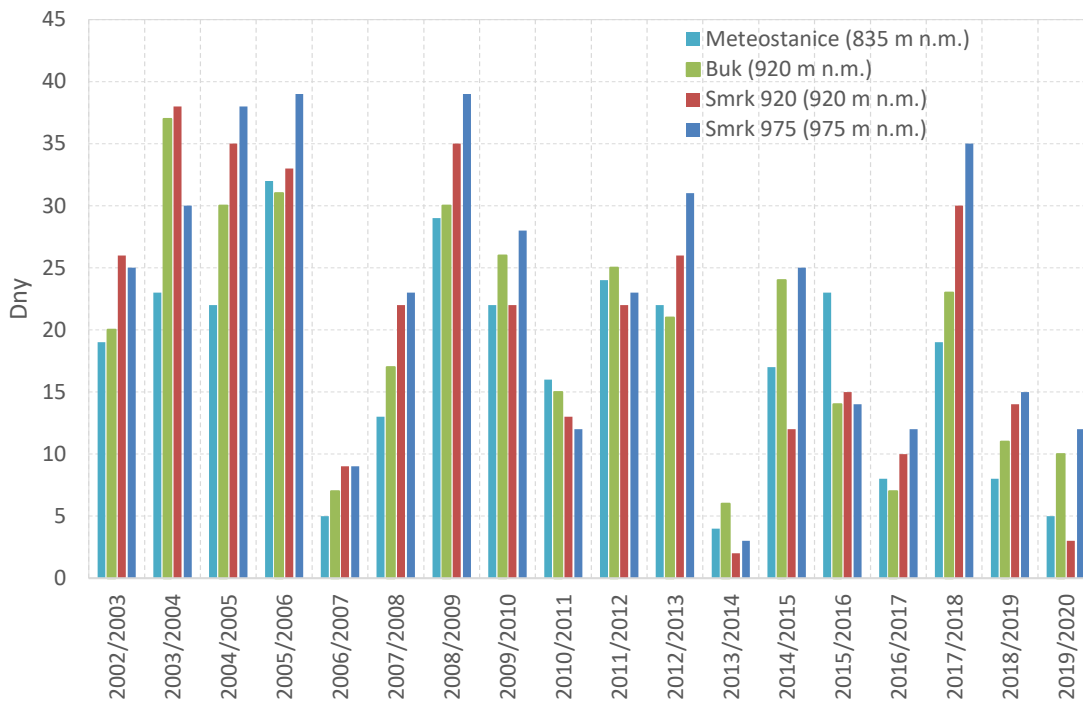


Obr. 76 – Průměrná vodní hodnota sněhu na mýtinném stanovišti vypočtená pro specifická trvání sněhové pokrývky na jednotlivých lokalitách

Tab. 3 – Mannův-Kendallův test pro vybrané lokality ve zkoumaném časovém období zimních sezón (2002/2003 – 2019/2020)

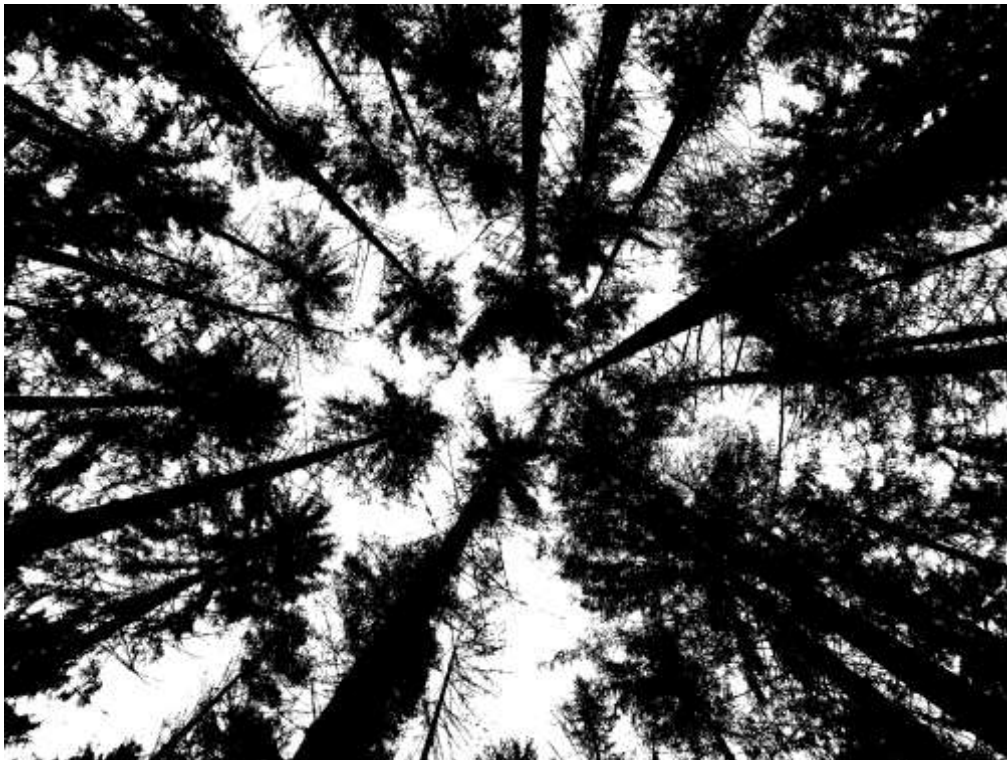
Meteostanice (835 m n.m.)		Smrk (975 m n.m.)		Churáňov (1118 m n.m.)	
n	18	n	18	n	18
alpha	0,05	alpha	0,05	alpha	0,05
M-K stat	-24	M-K stat	-30	M-K stat	-22
s.e.	26,38181192	s.e.	26,40075756	s.e.	26,40075756
z-stat	-0,87181275	z-stat	-1,098453328	z-stat	-0,79543172
P-VALUE	0,383310538	P-VALUE	0,272006587	P-VALUE	0,426362415
trend	no	trend	no	trend	no

## Akumulační epizody na jednotlivých lokalitách ve zkoumaných zimních sezónách



Obr. 77 – Akumulační epizody na jednotlivých lokalitách ve zkoumaném časovém období

## Hemisférické snímky lesních stanovišť zkoumaných lokalit



Obr. 78 – Hemisférický snímek lokality Meteostanice



*Obr. 79 – Hemisférický snímek lokality Buk*



*Obr. 80 – Hemisférický snímek lokality Smrk 975*



## Analýza kladných stoprocentních a záporných intercepčních ztrát

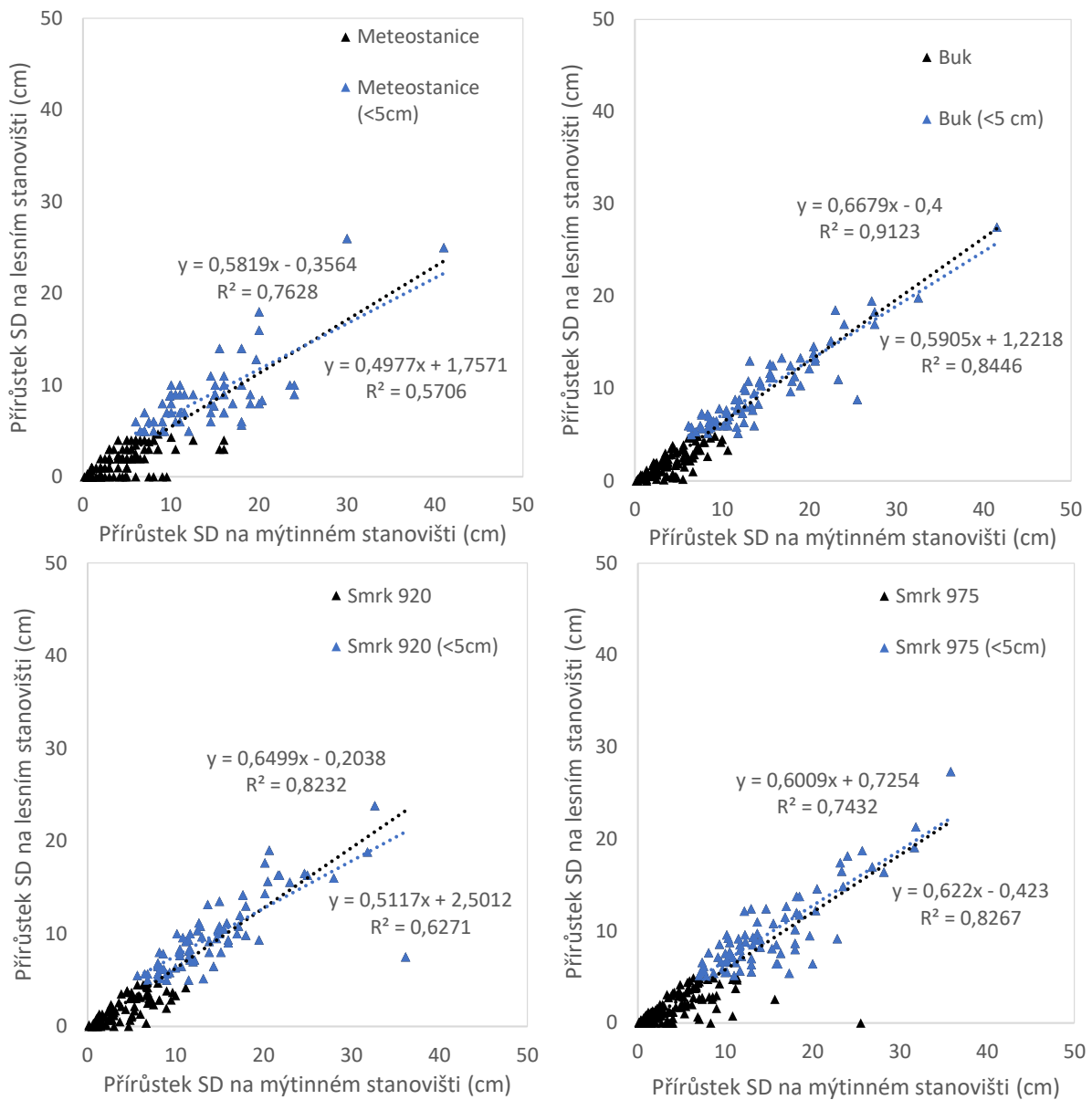
Tab. 4 – Množství stoprocentních intercepčních ztrát na určených lokalitách ve zkoumaném období (2002/2003 – 2019/2020)

	Smrk (920 m n.m.)	Buk (920 m n.m.)	Průměr v měsíci
prosinec	10	2	6
leden	14	6	10
únor	12	10	11
březen	5	5	5
duben	1	0	0,5
<b>celkem</b>	<b>42</b>	<b>23</b>	

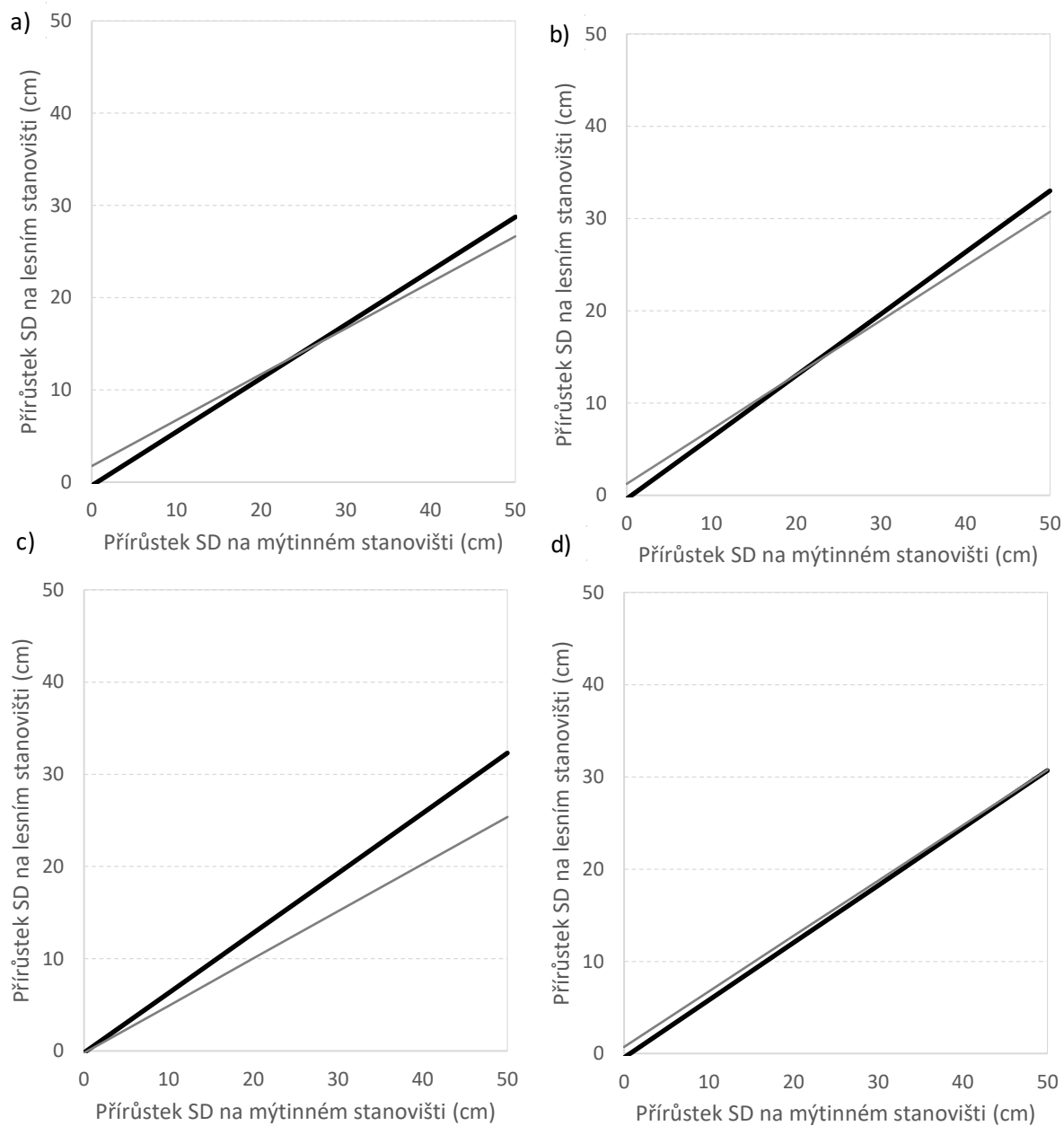
Tab. 5 – Množství záporných intercepčních ztrát na určených lokalitách ve zkoumaném období (2002/2003 – 2019/2020)

	Smrk (920 m n.m.)	Buk (920 m n.m.)	Průměr v měsíci
prosinec	10	3	6,5
leden	8	6	7
únor	10	10	10
březen	10	6	8
duben	1	1	1
<b>celkem</b>	<b>39</b>	<b>26</b>	

Regresní vztahy lesního a mýtinného stanoviště s nenulovým počátkem



Obr. 81 – Lineární regrese přírůstků SD na lesním a mýtinném stanovišti v nenulovém počátku



Obr. 82 – Regresní přímky s nenulovým počátkem odvozené z užitých přístupů; a) Meteostanice, b) Buk, c) Smrk 920, d) Smrk 975