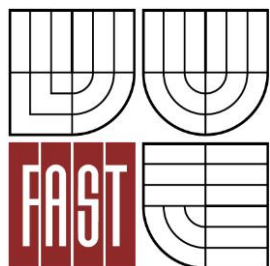




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

MONITOROVÁNÍ SNĚHOVÉ POKRÝVKY METODOU EIS PRO MOŽNOST STANOVENÍ VODNÍ HODNOTY SNĚHU

MONITORING OF THE SNOW COVER USING EIS METHOD FOR POSSIBILITY OF
DETERMINING OF THE SNOW WATER EQUIVALENT

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MICHAEL NOVÁK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JANA PAŘÍLKOVÁ, CSc.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

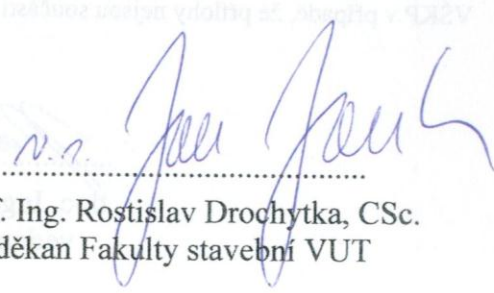
Studijní program N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor 3607T027 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště Ústav vodních staveb

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant Bc. MICHAEL NOVÁK
Název Monitorování sněhové pokrývky metodou EIS pro možnost stanovení vodní hodnoty sněhu
Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jana Pařílková, CSc.
Datum zadání diplomové práce 31. 3. 2013
Datum odevzdání diplomové práce 17. 1. 2014

V Brně dne 31. 3. 2013


prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
vedoucí ústavu


prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

- BERCHA, Š. (2007). Zásoby vody ve sněhové pokrývce a charakteristiky odtoku v experimentálních povodích v Jizerských horách. In: Sborník 19. konference mladých hydrologů, Bratislava, SHMÚ 2007.
- BERCHA, Š. (2006). Reprezentativnost stanic měřících vodní hodnotu sněhu v České republice. SHMÚ Bratislava - Konference mladých hydrologů (8. - 9. 11. 2006). Bratislava, SHMÚ 2006. 13 s.
- BERCHA, Š., JIRÁK J., et al. (2008). Rozvoj metod pro stanovení a měření parametrů sněhové pokrývky vzhledem k potřebám hlásné a předpovědní povodňové služby. Závěrečná zpráva DÚ 5 projektu SP/1c4/16/07 „Výzkum a implementace nových nástrojů pro předpovědi povodní a odtoku v rámci zabezpečení hlásné a předpovědní povodňové služby v ČR“. Praha, ČHMÚ 2008.
- BERCHA, Š., ŘIČICOVÁ, P., NĚMEC, L. (2007). Posouzení reprezentativnosti měření vodní hodnoty sněhu při jarní povodni 2006. In: Sborník semináře „12. Stretnutie sneharov“, Telgárt 2007.
- COLBECK, S. C., et al. (1990). The international classification for seasonal snow on ground. International Commission of Snow and Ice of IAHS.
- DEWALLE, D. R., RANGO, A. (2008). Principles of snow hydrology. Cambridge University Press, Cambridge, 428p.
- JENÍČEK, M. (2011). Základy hydrologie sněhu a ledu. Universita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta.
- JIRÁK, J. (2006). Czech National Report – The Measurement of Snow Characteristics. Workshop pracovní skupiny CEN TC 318 („SWE Work Group“) v Norrköpingu (17.9. – 20.9. 2006). Jablonec n. Nis., ČHMÚ 2006.
- JIRÁK, J., SKALÁK, P. (2006). Měření vodní hodnoty sněhu v povodí evropských řek. In: Sborník semináře Stretnutie sneharov - Nová Ves 2006. Praha, ČHMÚ 2006, s. 17-19.
- KAMENÍČKOVÁ, I. (2006). Pedologie – modul 01. studijní opory VUT v Brně, FAST.
- KOŘÍZEK, V. (2006). Laviny – prevence, díl I.
- KUTÍLEK, M., KURÁŽ, V., CÍSLEROVÁ, M. (1993). Hydropedologie, ČVUT, Praha.
- SINGH, P., SINGH, V. (2011). Snow and glacier hydrology. Kluwer Academic Publisher, London, 742p.
- STARÝ, M. (2005). Hydrologie – mod

Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

Rešerše podkladů k problematice experimentálního měření sněhové pokrývky a stanovení vodní hodnoty sněhu.

Návrh sond, lokality pro dlouhodobé monitorování a realizace expedičních měření.

Zpracování vybraných měření.

Dokumentace a vyhodnocení měření.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).


.....
doc. Ing. Jana Pařílková, CSc.
vedoucí diplomové práce

ABSTRAKTY A KLÍČOVÁ SLOVA

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá monitorováním sněhové pokrývky netradiční měřicí aparaturou především v oblasti Orlických hor. Pro identifikování sledovaných změn, které souvisejí s proměnným zatížením sněhové pokrývky teplotou, vlhkostí a vlastní tíhou, byla zvolena nepřímá elektrická měřicí metoda elektrické impedanční spektrometrie. Metoda je v práci popsána, výsledky monitorování jsou publikovány v grafické podobě a jsou komentovány.

Klíčová slova

sníh, sněhová pokrývka, elektrická impedanční spektrometrie, Z-metr III

Abstract

The master's thesis deals with snow cover monitoring especially in area Orlické mountains. For identification changes, which are related to variable loads on snow cover of temperature, humidity and gravity, has been selected indirect electrical method of measuring electrical impedance spectrometry. This method is described in the work and the results of monitoring are published in graphical form and are commented.

Key words

snow, snow cover, electrical impedance spectrometry, Z-meter III

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

NOVÁK, Michael. *Monitorování sněhové pokrývky metodou EIS pro možnost stanovení vodní hodnoty sněhu*. Brno, 2013. 85 s., 10 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce doc. Ing. Jana Pařílková, CSc.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně s využitím rad své vedoucí doc. Ing. Jany Pařílkové, CSc., daných podkladů, odborné literatury a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 6.1.2014



.....
podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji doc. Ing. Janě Pařílkové, CSc. a panu Luboši Pařílkovi za cenné rady a připomínky, za odbornou, technickou, materiální aj. pomoc při vypracovávání diplomové práce. Také děkuji mému strýci, Mgr. Pavlu Janečkovi, za výpomoc při terénních měřeních. Děkuji také rodině za podporu po celou délku mého studia.

V Brně dne 5.1.2014



.....
podpis autora

OBSAH

1	ÚVOD	9
2	CÍL PRÁCE	12
3	SNÍH.....	13
3.1	DRUHY SNĚHU	13
3.1.1	Nový.....	13
3.1.2	Plstnatý (zlomkový)	13
3.1.3	Okrouhlozrnitý	13
3.1.4	Hranatozrnitý	13
3.1.5	Pohárkové krystaly	14
3.1.6	Firn	14
3.1.7	Led, ledová vrstva (lamela).....	14
3.1.8	Zvláštní druhy sněhu	14
3.2	FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI SNĚHU	15
3.3	CHARAKTERISTICKÉ PARAMETRY	15
3.3.1	Objemová hmotnost	16
3.3.2	Tvrdost	17
3.3.3	Vlhkost	18
3.3.4	Pórovitost	19
3.3.5	Teplota	19
3.3.6	Albedo	20
3.3.7	Výška sněhové pokrývky	20
3.4	DRUHY SNĚŽENÍ	21
4	VODNÍ HODNOTA SNĚHU A METODY JEJÍHO STANOVENÍ	22
4.1	STANIČNÍ MĚŘENÍ	22
4.1.1	Sněhoměrný polštář	23
4.1.2	Váhový sněhoměr.....	23
4.1.3	Snowpack analyser (SPA)	24
4.2	EXPEDIČNÍ MĚŘENÍ	25
4.3	DISTANČNÍ MĚŘENÍ	26
5	MĚŘICÍ METODA EIS	28
5.1	ELEKTRICKÁ IMPEDANCE	28
5.2	VELIČINY ODVOZENÉ	29
6	POUŽITÉ PŘÍSTROJE A POSTUP MĚŘENÍ	31
6.1	MĚŘENÍ ELEKTRICKÉ IMPEDANCE	31
6.1.1	Přístroj Z-metr III.....	31
6.1.2	Kontinuální měření.....	32
6.1.3	Expediční měření.....	33
6.2	VODNÍ HODNOTA SNĚHU	33
6.3	OSTATNÍ VELIČNY	34
7	KONTIUÁLNÍ MĚŘENÍ.....	36
7.1	INSTALACE SOND	37

7.2	PRŮBĚH MĚŘENÍ	38
7.3	MĚŘICÍ FREKVENCE	43
7.4	VLIV SRÁŽEK	45
8	EXPEDIČNÍ MĚŘENÍ	49
8.1	ORLICKÉ HORY	49
8.1.1	<i>Polův kopec</i>	49
8.1.2	<i>Pěticestí</i>	54
8.1.3	<i>U bytu</i>	57
8.2	RAKOUSKO	59
8.2.1	<i>Stanoviště 1</i>	60
8.2.2	<i>Stanoviště 2</i>	62
8.2.3	<i>Stanoviště 3</i>	64
8.2.4	<i>Stanoviště 4</i>	65
8.2.5	<i>Stanoviště 5</i>	67
8.2.6	<i>Stanoviště 6</i>	68
8.3	OSTATNÍ	71
9	ZÁVĚR	73
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	75
	ODBORNÁ LITERATURA	75
	INTERNETOVÉ ZDROJE	76
	SEZNAM TABULEK	78
	SEZNAM OBRÁZKŮ	79
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ	83
	<i>Latinská abeceda</i>	83
	<i>Řecká abeceda</i>	83
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	84
	SEZNAM PŘÍLOH	85

1 ÚVOD

Sníh je charakteristickým sezónním fenoménem mírných až subpolárních pásem Země (Křístek a kol., 2008). V uvedených oblastech je sníh faktorem prostředí významně interagujícím se všemi složkami ekosystémů. Studium a poznání vlastností sněhové pokrývky a způsobů jejího monitorování (Křístek a kol., 2011) představuje velmi komplexní problematiku.

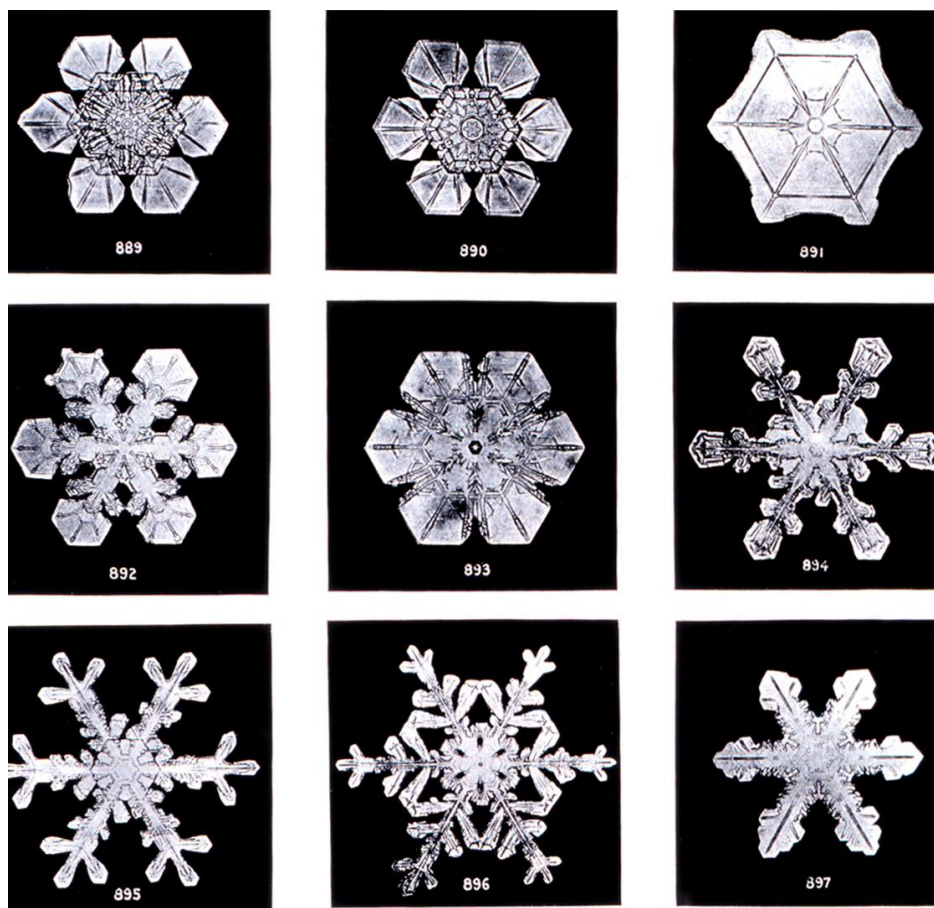
Přehled vědeckého zájmu o sníh z pohledu historie je uveden např. v publikaci „Snow and glacier hydrology“ (Singh a Singh, 2011). Zvýšený zájem o problematiku sněhu a ledu lze vysledovat do počátků 20. stol., kdy významné bylo období výzkumů pozorovat ve 20. a 30. letech. Jeho vyvrcholením bylo založení komisí, jako např. International Glaciological Society nebo International Commission on Snow and Ice obě v roce 1936, které se věnovaly uvedené problematice. Významné byly výzkumy realizované v alpských zemích, vyzdvihoval rovněž význam japonských výzkumů. Do doby těsně po druhé světové válce jsou datovány první pokusy o modelování odtoku z tajícího sněhu. Mezi první práce zabývající se sněhovou pokrývkou lze považovat výzkumy prof. Františka Augustina z počátku minulého století. V České republice a Slovensku lze první práce z oblasti hydrologie sněhu datovat do 60. let 20. stol. (např. Ferda a kol., 1971).

V hydrologickém cyklu (Dewalle a Rango, 2008) je sníh důležitým prvkem, který ovlivňuje vodní bilanci. Sněhová pokrýвка má význam jako zásobárna vody, a to zejména v horských oblastech, kde tvoří značný podíl ročního úhrnu srážek (Doesken a Robinson, 2009). Během jarního sucha bývá zásoba půdní vody po roztátí sněhu někdy i jediným zdrojem pro rostliny (Škvarenina a kol., 2002).

Proto má měření a kvalitativní i kvantitativní popis sněhové pokrývky význam nejen pro hydrologii, ale zasahuje do celé řady styčných vědních disciplín (meteorologie, klimatologie, pedologie, geologie, hydrauliky, termiky, biologie, hydrochemie a dalších), s nimiž spolupracuje a jejichž poznatky využívá a dále rozvíjí. Sněhová pokrýвка ovlivňuje i lidskou společnost a to jak negativně (např. lavinové nebezpečí, regionální povodňové situace), tak i pozitivně (např. zásoba vody ve sněhu, rekreace, sport), je součástí koloběhu vody v přírodě [6], vzhledem k jeho tepelně-izolačním vlastnostem umožňuje mnoha rostlinným a živočišným druhům přežít zimu. Na rozdíl od dešťové vody neodtéká, ale zůstává na místě dopadu, pokud je zemský povrch dostatečně prochladlý (Singh a Singh, 2001). Větší množství nahromaděného sněhu se nazývá sněhová pokrýвка (Hubačíková, 2002).

Sníh je specifická forma ledu, tedy pevného skupenství vody. Vzniká za vhodných klimatických podmínek (při nasycení vzduchu vodní párou a teplotách nižších než 0°C) přeměnou vodní páry nebo přechlazených kapek vody v oblacích, odkud se snáší k zemi. Je tvořen malými ledovými krystaly, jejichž zárodky jsou ledová jádra nebo částice prachu, seskupenými do ledových dendritů (sněhových vloček) se skoro dokonalou šesterečnou symetrií [6].

Barva a iontové složení jednotlivých sněhových vloček a tedy i sněhové pokrývky závisí na prostředí (Kociánová, 1989), ve kterém vznikne a kterým prochází. Jemný písek z pouštních oblastí může sněhovou pokrývkou zbarvit do žluta nebo oranžova, při umělém zasněžování je sníh zbarven do modra, průmyslové znečištění pak prakticky jakkoli.



Obr. 1.1 Sněhové vločky [6]

Pro sních ve městech je typické, že rozbředlý sních nejprve přijme hnědou barvu (sněhová břechka) a později při nakupení do postupně odtávajících kup na povrchu černá v důsledku usazování prachových částic.



Obr. 1.2 Štěrk na povrchu tajícího sněhu

Iontové složení sněhové pokrývky ovlivňuje elektrickou vodivost. Voda, je-li chemicky čistá, má nízkou elektrickou vodivost, ale pokud je v ní rozpuštěno i malé množství iontů, její elektrická vodivost se zvyšuje (Patočka, 2006) [8]. Elektrická vodivost je

jednou z veličin, kterou je možno stanovit metodou elektrické impedanční spektrometrie (EIS).

Aplikace metody EIS je rozvíjena v Laboratoři vodohospodářského výzkumu Ústavu vodních staveb (ÚVST) Fakulty stavební (FAST) Vysokého učení technického v Brně (VUT v Brně) (Novák, 2011). Podnětem pro její studium a následně vznik měřicích aparatur byla z hlediska bezpečného provozu ne vždy postačující znalost kondice zemních hrází. Na tuto skutečnost upozornila povodeň v roce 1997, při které došlo k četným poruchám ochranných i rybníčních hrází především na severní Moravě. Nutnost aplikace metody, která by upozornila na vznikající poruchu zemní hráze, potvrdila i další velká povodeň v roce 2002, při které bylo protrženo celkem 23 rybníčních hrází a 83 bylo výrazně poškozeno.

V současné době je testována vhodnost metody EIS nejen na sypaných zemních hrázích (vodní nádrž Bezedník III. v katastru obce Kobeřice, rybník v katastru obce Jevíčko, vodní dílo Karolínka), ale i při vysoušení dřevěných konstrukcí, měření vlhkostí různých materiálů (dřevo, cihla).

V roce 2012 byla metoda EIS, v rámci programu EUREKA, uplatněna při měření sněhové pokrývky ve španělském pohoří Siera Nevada (Pimentel, 2012). Metodou EIS stanovený přechod mezi vrstvami sněhové pokrývky odpovídal manuálnímu měření. Proto bylo rozhodnuto realizovat dlouhodobější pozorovací pokus, který by mohl ukázat nové využití metody EIS, a to pro možnost stanovení vodní hodnoty sněhu nebo varování před lavinovým nebezpečím.

Technická řešení měření vodní hodnoty sněhu se potýkají s několika obtížně překonatelnými skutečnostmi (Špulák, 2012). Jednou z nich jsou složité definovatelné fyzikální vlastnosti sněhu odvislé od klimatických podmínek a charakteru stanoviště. Součásti zařízení vyčnívající ze sněhu ovlivňují jak ukládání, tak i tání sněhu v jejich bezprostřední blízkosti. Tento nedostatek zcela neodstraňuje ani aparatura aplikující metodu EIS. Sondy nejsou ale tak robustní a tudíž se předpokládá, že chyba při měření nebude příliš velká. Naopak výhodou metody je stálý kontakt sněhu s povrchem půdy, který chybí plošným zařízením. Tím se nenaruší tepelná dynamika i přenos tepla mezi půdou a sněhem, také se nesníží vsakovací schopnost povrchu půdy.



Obr. 1.3 Vzniklý trychtýř při tání sněhu

2 CÍL PRÁCE

Cílem mojí diplomové práce je vyhodnocení monitorování sněhové pokrývky metodou EIS za účelem zjištění, zda je možné metodu použít pro stanovení vodní hodnoty sněhu. Pro dlouhodobé monitorování byla vybrána lokalita v obci Rokytnice v Orlických horách. Expediční monitorování bylo prováděno v Orlických horách a také v Rakouských alpách v oblasti Wildschonau.

Pro dlouhodobé monitorování byly navrženy speciální sondy pro měření nad zemským povrchem. V diplomové práci je zpracováno měření od 3. prosince 2012, kdy proběhla instalace sond, do 13. dubna 2013.



Obr. 2.1 Dlouhodobé měření 23. ledna 2013



Obr. 2.2 Expediční měření, Rakousko, 1. února 2013

3 SNÍH

Sníh lze charakterizovat jako vertikální srážku, která se tvoří ve volné atmosféře a padá na zemský povrch. Je-li pokryta více než polovina půdy v blízkosti měrné stanice sněhem o výšce nejméně 0,5 cm (Židek, 2003), jedná se o souvislou sněhovou pokrývku, která má různé fyzikální vlastnosti v průběhu času.

3.1 DRUHY SNĚHU

Celkově je evidováno více než 32 druhů sněhu. V České republice je od zimy 2001/2002 používán systém navržený skupinou pod vedením Colbecka (1990) pro International Commission on Snow and Ice (ICSI). Názvosloví, označení a celkový systém vychází ze studie klasifikace sněhu „International classification for seasonal snow on the ground“ (Colbeck a kolektiv, 1990) uznávané téměř na celém světě.

3.1.1 Nový

Za nový se považuje sníh, který padá, či je čerstvě napadaný (Colbeck, 1990). Tvary krystalů závisí nejen na klimatických podmínkách, za kterých vypadávají z oblaků, ale také na podmínkách v atmosféře za jakých vznikají. Nový sníh se vyznačuje velkou nesoudržností. Je velmi porézní, ještě se stačil působením různých vlivů stmelit nebo se alespoň částmi svých krystalů do sebe zaklínit. Nový sníh může nabývat tvarů sloupečků, jehliček, destiček atd.

3.1.2 Plstnatý (zlomkový)

Plstnatý sníh je čerstvě napadaný sníh s nízkou počáteční pevností (Colbeck, 1990). Mezi zlomkový sníh patří částečně rozbité částice, kde jsou původní tvary nového sněhu ještě patrné. Patří sem i velmi rozbité částice, skládající se ze střípků či zaoblených zlomků ledových krystalků. Na nový sníh začne v první fázi působit především vítr a silové účinky větru. Ten začne původní krystalickou formu bortit. Ještě je ale stále možno rozeznat původní šesterečnou soustavu. Tím, že se polámané zbytky původních ledových krystalků vlivem větru a tlaku nadložných vrstev do sebe vzájemně zaklíňují, dochází k jeho větší soudržnosti. Pokud začne vítr působit až po sněžení, stmelí do sebe pouze horní část vrstvy nového sněhu, a ta spodní nepropojená část sněhové pokrývky se stává ideální kluznou plochou.

3.1.3 Okrouhlozrnitý

Většinou se jedná o suchý sníh (Colbeck, 1990). Nemá žádnou strukturu ani lesk, je matně bílý a vločky zaujímají téměř tvar koule. Pro svoji schopnost pojit se, přispívá k větší stabilitě profilu.

3.1.4 Hranatozrnitý

Vlivem změn teplot a působením mrazu se začíná vyvíjet z původního zborceného krystalu nová forma (Colbeck, 1990). Velké teplotní změny vyvolávají zvýšenou difúzi vodních par a přesycení okolního prostředí krystalů je základním předpokladem pro vznik nového procesu. Vznikají ledová zrna hranatého tvaru. Tento druh sněhu bývá také označován jako pohyblivý sníh.

3.1.5 Pohárkové krystaly

Tvoří se výhradně uvnitř sněhového profilu a v uzavřených prostorech při dlouhotrvajících nízkých teplotách (pod -10°C). Vzniklé krystaly mají kalichovitý tvar a vznikají odpařováním vodní páry z krystalu hranatého tvaru (Colbeck, 1990). Vzdušný prostor nedokáže čelit původnímu či zvýšenému zatížení vrstev sněhu a hrozí zborcením. Krystaly dosahují velikosti 1mm až 1 cm. Vyskytuje se především na severních svazích. Někdy lze nalézt pod označením dutinová jinovatka.

3.1.6 Firn

Zaoblená ledová zrna vznikají další přeměnou ledových krystalů, a to především dlouhodobým působením zvýšených teplot (Colbeck, 1990). Firn je přechodové stádium mezi sněhem a ledem. Objevuje se zpravidla na jaře. Původní krystaly prachového sněhu již podlely metamorfóze a další změnou krystalu vznikají zaoblená ledová zrna (vliv zvýšených teplot), která se proměňují v ledová zrna – firn. Někdy je velmi obtížné určit degradující prachový sníh od firnu (makrofotografie). Firn lze klasifikovat jako

- jemnozrnný – o průměru zrn 0,5 mm,
- středně zrnitý – o průměru zrn 0,5-2 mm,
- hrubozrnný – o průměru zrn nad 2 mm.

3.1.7 Led, ledová vrstva (lamela)

Ledem se rozumí firnová vrstva nebo ledová kůra o různé mocnosti, vyskytující se ve kterémkoliv hloubce profilu. Hloubka a tloušťka je závislá na předchozím průběhu počasí (Colbeck, 1990).

3.1.8 Zvláštní druhy sněhu

Mezi zvláštní druhy sněhu se řadí sníh, který nelze přesně definovat ani jako nový, ani jako starý a na jeho vzniku se může podílet jak horizontální, tak i vertikální srážka. Jedná se například

- o povrchovou jinovatku, která vzniká za bezvětří krystalizací vodní páry vodní páry ze vzduchu na chladnějším povrchu sněhové pokrývky nebo na chladných předmětech v terénu (stromy, keře, tráva), které obaluje rovnoměrně ze všech stran,
- o námrazu vznikající namrzáváním kapiček mlhy hnaných větrem na návětrné straně předmětů v terénu, od jinovatky se liší nekystalickou strukturou, tím že vzniká z vodních kapiček mlhy (jinovatka přímou krystalizací vodních par) a tím, že se usazuje na návětrné straně (možná pomůcka pro orientaci v horách),
- o ledovou kůru, která se tvoří na povrchu sněhové pokrývky za mrazivých jasných dní, přes den povrch sněhu taje a v noci zamrzá,
- o oblevovou plástev, čímž se rozumí firnový nebo ledový podklad o různé síle, vyskytující se ve kterémkoliv hloubce sněhového profilu, jsou dokladem o oblevách během zimy (dešťové, sluneční apod.).

3.2 FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI SNĚHU

Sněhové vločky jsou formovány molekulárními silami. Mezi jednotlivými vločkami jsou však vzdálenosti natolik velké, že se každá náhodně snáší k zemskému povrchu rychlostí přibližně 0,3 m/s až 1,0 m/s. Za vhodných klimatických podmínek proto sněhová pokrývka představuje soubor neuspořádaně nakupených sněhových vloček. Fyzikální vlastnosti sněhu lze shrnout jako vlastnosti

- mechanické vyjádřené prostřednictvím hustoty sněhu (u čerstvě napadaného sněhu se pohybuje kolem 30 kg/m^3 , u mokrého může být na hodnotách 600 kg/m^3 , při silných deštích může hustota sněhové pokrývky vzrůst až k hustotě vody),
- akustické, kdy je možno konstatovat, že sníh je velmi dobrý zvukově izolační materiál (10 cm silná vrstva čerstvě napadané sněhové pokrývky pohltí až 45% energie na frekvenci 125 Hz a více než 90% energie všech frekvencí nad 500 Hz, které zaznamená lidské ucho),
- tepelné, kdy rovněž platí, že sněhová pokrývka je dobrý tepelný izolant. (čerstvě napadaný sníh má součinitel tepelné vodivosti asi $0,03 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, mokrá uleželý asi dvacetinásobně vyšší (Chyský a kol., 1993), (Székyová a kol., 2006). Uvedená vlastnost je zásadní pro přežití některých rostlinných a živočišných druhů. Nebezpečná situace, kdy mrzne bez sněhové pokrývky, se označuje jako holomráz. Malá tepelná vodivost sněhu umožňuje vhodně postavené iglú vytopit relativně malým zdrojem tepla. Téže vlastnosti lze využít při neočekávané potřebě přečkat zimní noc v přírodě. Je možno vybudovat sněhový záhrab, který může výrazně omezit tepelné ztráty.
- Optické, kdy jednotlivé sněhové vločky jsou průhledné ve viditelné oblasti spektra. Bílá barva sněhu je dána tím, že lidské oko vnímá a lidský mozek vyhodnocuje lom a odraz světla od mnoha hran ledových krystalů sněhu najednou. Čerstvě napadaný sníh odráží asi 90% dopadajícího světla ve viditelné oblasti spektra (albedo = 0,9) (Kořízek, 2006), u staršího sněhu odrazivost klesá. Sníh tedy vykazuje při odtávání kladnou zpětnou vazbu – sníh v důsledku dopadajícího světla na povrchu nataje, tím klesne jeho odrazivost, pohlcuje více světla a odtává stále rychleji. V blízké infračervené oblasti spektra klesá jeho odrazivost k nule v blízkosti vlnové délky $1,5 \mu\text{m}$, kde je světlo dobře pohlcováno vodou. V blízké ultrafialové oblasti je odrazivost čerstvě napadaného sněhu vysoká, protože z mikroskopického pohledu je k dispozici velké množství rovinných stěn ledových krystalů, které dobře odrazí krátkovlnné záření. V dalším může být barva sněhu zásadně ovlivněna příměsemi přítomnými v oblacích.

3.3 CHARAKTERISTICKÉ PARAMETRY

Základní charakteristikou sněhu je jeho izotropie [6]. Čerstvě napadaný sníh je tvořen jen ze 3 % ledovými krystalky, 97 % připadá na vzduchové mezery mezi krystaly. Podléhá mnoha vlivům a změnám, např. teplotě vzduchu, tlaku, vlhkosti, vlastní tíže či času, které mají za následek rozdílné fyzikální vlastnosti sněhu. Mezi základní veličiny charakterizující sněhovou pokrývku patří objemová hmotnost, tvrdost sněhu, vlhkost sněhu, teplota sněhu, výšku sněhové pokrývky, vodní hodnotu sněhu a albedo, obsah

vody v kapalném skupenství, tepelná vodivost, velikost zrna, tvar a velikost krystalických jader, drsnost povrchu a nečistoty.

3.3.1 Objemová hmotnost

Objemová hmotnost je jednou ze základních fyzikálních charakteristik sněhové pokrývky. Ukazuje jaký je poměr ledu a vzduchu v konkrétním vzorku sněhu. Obvykle se stanovuje (Jeníček, 2011) jako poměr objemu vody V_v [m^3], která vznikne okamžitým roztátím sněhu k jeho objemu před roztátím V_s [m^3] a vynásobením objemové hmotnosti vody ρ_v [kg/m^3] (1)

$$\rho_s = \frac{V_v}{V_s} \rho_v. \quad (1)$$

Objemovou hmotnost je také možné stanovit podílem hmotnosti odebraného vzorku sněhové pokrývky m_s [kg] k jeho objemu V_s [m^3] (2). Odběr vzorku sněhové pokrývky se obvykle provádí válcovým sněhoměrem (Obr. 3.1), u kterého je známa odběrná plocha a výška sněhové pokrývky. Konec válce je opatřen kovovým ozubením pro lepší proniknutí do sněhové pokrývky

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s}. \quad (2)$$



Obr. 3.1 Válcový sněhoměr

Rozdíly v objemové hmotnosti mohou být veliké (Tab. 3.1). Hustota čerstvě napadaného sněhu značně závisí na vlhkosti, začíná na $30 \text{ kg}/\text{m}^3$ a u mokrého sněhu se zvyšuje zhruba na $600 \text{ kg}/\text{m}^3$, při silných deštích může vzrůstat až k hustotě vody.

Tab. 3.1 Typická hustota sněhu a ledu (Paterson, 2001)

Typ sněhu a ledu	Hustota [kg/m ³]
Nový sníh	50-70
Vlhký nový sníh	100 - 200
Sesedlý sníh	200 - 300
Dutinová jinovatka	100 - 300
Větrem zhuštěný sníh	350 - 400
Firn	400 - 830
Velmi mokrý sníh a firn	700 - 800
Ledovcový led	830 - 917

Proces růstu hustoty v čase může být urychlen silným větrem, vysokými teplotami a střídavým táním. Nicméně dominantním faktorem je čas, takže je možné vyjádřit vztah mezi časem a hustotou (Singh, 2011)

$$\rho_n = \rho_0 (m+1)^{0,3}, \quad (3)$$

kde je ρ_0 [kg/m³] průměrná hustota nového sněhu (obvykle 100 kg/m³) a ρ_n [kg/m³] je hustota sněhu po m dnech.

3.3.2 Tvrdost

Tvrdost sněhu nebo též soudržnost jednotlivých krystalů je možné měřit několika způsoby (Kořízek, 2006). Profesionálové z horské služby používají kladivové sondy. Kladivovou sondou se měří odpor sněhového profilu proti vtlačování sondy.

Dalším způsobem je manuální určení tvrdosti sněhu. Klasifikační stupnici tvrdosti pro manuální měření resp. určení, jak je možné manuálně narušit vrstvy sněhu, uvádí Tab. 3.2. Pro zjišťování tvrdosti vrstev sněhové pokrývky pro potřeby řešení diplomové práce bylo používáno právě manuální rozlišování (Obr. 3.2).

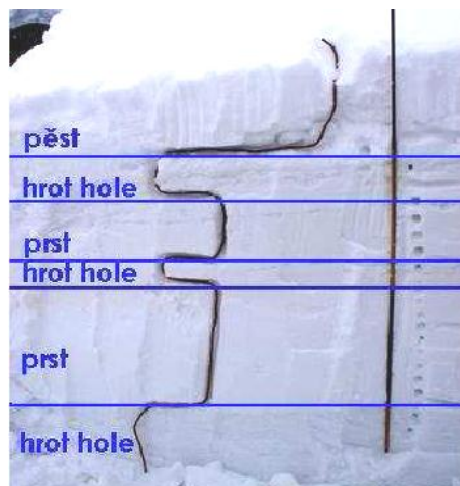
Tab. 3.2 Manuální rozlišení tvrdosti (Kořízek, 2006)

Tvrdost	Test tvrdosti	Odpor R (střední hodnoty)	Číslo	Ozn.
Velmi měkký	pěst	20 N	1	
Měkký	4 prsty	90 N	2	
Středně tvrdý	1 prst	260 N	3	
Tvrdý	tužka	600 N	4	
Velmi tvrdý	nůž	900 N	5	
Kompaktní led	led		6	



Obr. 3.2 Manuální určení tvrdosti vrstev sněhové pokrývky (Kořízek, 2006)

Tvrdost je značena R [N]. Stejně jako hustota a pevnost se zvětšuje s hloubkou vlivem dlouhodobého působení tlaku od vlastní tíhy sněhové pokrývky. Proces, kdy tvrdost sněhu roste vlivem vlastní tíhy sněhové pokrývky, se nazývá vertikální usazování sněhové pokrývky (Kořízek, 2006). Rychlost usazování se odlišuje podle druhu sněhu. Pohybuje se od 10 cm za den, ale i více u sněhů s nízkou hustotou. Neplatí ale vždy, že hlubší vrstvy jsou tvrdší. Rozdíly mohou být způsobeny různými vlastnostmi napadlého sněhu (Obr. 3.3).



Obr. 3.3 Tvrdost vrstev sněhové pokrývky (Kořízek, 2006)

3.3.3 Vlhkost

Vlhkost sněhu θ [-] je definovaná jako objem kapalné vody V_v [m³] v určitém objemu sněhu V_s [m³]

$$\Theta = \frac{V_v}{V_s}. \quad (4)$$

Ve sněhu se voda vyskytuje ve třech formách – hygroskopická, gravitační a kapilární. Hygroskopická voda je držena povrchem zrn proti gravitační síle a nepřispívá do odtoku z tání, dokud kompletně neroztají krystaly. Kapilární voda je držena povrchovým napětím v kapilárách kolem ledových krystalů. Tato složka se mění pod vlivem kapilárních sil, ale do odtoku začne přispívat až při tání. Obsah volné vody zahrnuje pouze vodu drženou ve sněhu adsorpcí a vzlínáním. Nezahrnuje vodu pronikající pokrývkou ani vodu vzniklou z tajícího sněhu (Singh, 2011). Další, pro odtok z tajícího sněhu důležitou složkou, je gravitační voda. Tato voda vytéká ze sněhu pod vlivem gravitační síly. Kapalná voda se ve sněhu začne pohybovat poté, co podíl „neredukované“ vody dosáhne asi 3 % – 4 %.

Tab. 3.3 Rozdělení vlhkosti sněhu (Singh, 2011)

Typ	Popis	θ
Suchý	$T < 0$ °C, malá přilnavost	0%
Vlhký	$T = 0$ °C, přilnavý	< 3 %
Mokrý	$T = 0$ °C, při stlačení voda neodtéká	3 % - 8 %
Velmi mokrý	$T = 0$ °C, při stlačení voda odtéká, v pórech převažuje vzduch	8 % - 15 %
Rozbředlý	$T = 0$ °C, sníh téměř nasycený vodou, malý podíl vzduchu	> 15 %

3.3.4 Pórovitost

Pórovitost n je bezrozměrné číslo, které vyjadřuje objem pórů V_p [m³] v celkovém objemu V_c [m³] vzorku sněhu. Při odběru vzorku sněhu je možno zjistit jeho objem i hmotnost. Proto je možno určit objemovou hmotnost sněhu ρ_s [kg/m³] a dosazením do vztahu (5) stanovit pórovitost

$$n = 1 - \frac{\rho_s}{\rho_v} \quad (5)$$

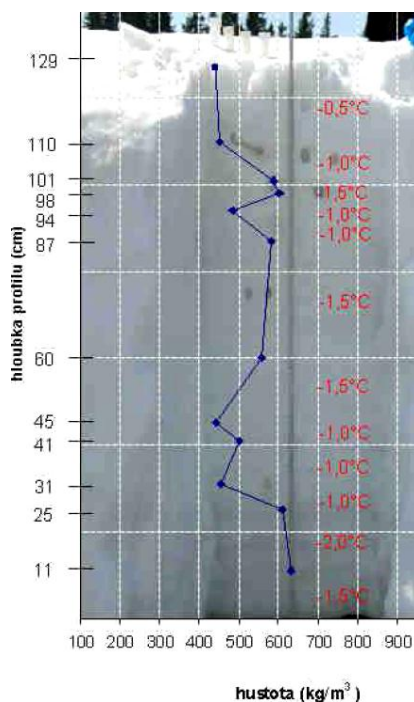
V Tab. 3.4 jsou uvedeny velikosti objemových hmotností a pórovitostí jednotlivých typů sněhu (Singh, 2011).

Tab. 3.4 Objemové hmotnosti a pórovitosti vybraných typů sněhu

Typ sněhu	ρ_s [kg/m ³]	n
Nový sníh	100 - 300	67 % - 99 %
Starý sníh	200 - 600	35 % - 78 %
Firn	400 - 840	8 % - 56 %
Ledovec	840 - 917	0 % - 8 %

3.3.5 Teplota

Teplota sněhové pokrývky je udávána ve stupních Celsia. Teplota se mění v průběhu sezony, ale i v průběhu dne (Jeníček, 2011). Teplota se s hloubkou profilu mění (Obr. 3.4). Dosáhne-li teplota sněhové pokrývky v celém vertikálním profilu hodnoty 0°C, jedná se o tzv. zralou sněhovou pokrývku. Teplota sněhové pokrývky je od jejího povrchu ovlivňována teplotou vzduchu, slunečním zářením, radiací nebo deštěm a od zemského povrchu přísunem energie z podloží. Oteplování sněhové pokrývky od povrchu urychluje infiltraci vody do nižších vrstev pokrývky.



Obr. 3.4 Rozložení teploty ve vertikálním profilu sněhové pokrývky (Jeníček, 2011 – Vydra 2009)

3.3.6 Albedo

Albedo je míra odrazivosti povrchu sněhové pokrývky (Singh, 2011). Albedo je poměr odraženého elektromagnetického záření ku množství dopadajícího záření. Poměr je udáván v procentech. Hodnota albeda je závislá na poloze Slunce vůči Zemi, teplotě, délce vln, výšce sněhové pokrývky, stáří pokrývky i jejím znečištění (Tab. 3.5).

Znečištěný nebo zaprášený sníh absorbuje více energie, protože má nižší albedo než čistý, čerstvě napadaný sníh. Povrchové znečištění má větší vliv na spektrum viditelného světla než na infračervenou oblast záření. V závislosti na stavu sněhové pokrývky a poloze Slunce se může hodnota albeda pohybovat od 29% do 86%. Nižší hodnota je u sněhové pokrývky velmi porézní, nasycené vodou a špinavé, vyšší hodnota pak připadá čistému, suchému a kompaktnímu sněhu.

Tab. 3.5 Průměrné hodnoty albeda jednotlivých typů sněhu (Singh, 2011)

Typ sněhu	Albedo [%]
Nový sníh, suchý	85
Nový sníh, vlhký	80
Starý sníh, suchý, čistý	70
Starý sníh, vlhký, čistý	60
Starý sníh, vlhký, středně znečištěný	50
Starý sníh, vlhký, velmi znečištěný	40
Firn vlhký, velmi znečištěný (bílý)	40
Firn vlhký, velmi silně znečištěný (šedý)	30

3.3.7 Výška sněhové pokrývky

Výška sněhové pokrývky (SCE) se na meteorologických stanicích měří sněhoměrnou latí v 7 hodin ráno s přesností na centimetry. Za souvislou je považována sněhová pokrývka, která v blízkém okolí stanice pokrývá alespoň 50% zeminy vrstvou 0,5 cm a více. Mocnost nového sněhu se měří sněhoměrným prkénkem vždy po 24 hodinách.

Na stanicích, kde často fouká vítr, jsou umisťovány tři sněhoměrné latě. Sněhová pokrývka je zde totiž velice nerovnoměrná. Výsledná výška sněhové pokrývky se vypočítá jako průměr z naměřených hodnot.



Obr. 3.5 Měření jednotlivých vrstev sněhové pokrývky ve vertikálním profilu

3.4 DRUHY SNĚŽENÍ

Druh sněžení se výrazně podílí na výše uvedených vlastnostech sněhové pokrývky.

Sněhová přeháňka je srážka složená z ledových krystalů [6], které většinou vytvářejí hvězdice (sněhové vločky). Sněhová přeháňka se od sněžení liší rychlostí kolísání intenzity jevu, náhlostí výskytu, rychlostí střídání oblačnosti a obvykle malým územním rozsahem jednotlivé přeháňky. Ve sněhové přeháňce bývá značný pokles dohlednosti, mimo přeháňku bývá dohlednost dobrá.

Déšť se sněhem je srážka složená současně z vodních kapek a sněhových vloček [6].

Sněhové krupky představují srážku skládající se z bílých neprůsvitných ledových zrn [6]. Tato zrna jsou kulovitá, někdy kuželovitá, jejich průměr bývá 2 mm až 5 mm. Sněhové krupky jsou křehké, dají se snadno stlačovat. Při dopadu na tvrdou plochu odskakují a snadno se tříští. Většinou se vyskytují v přeháňkách.

Sněhová zrna jsou srážkou skládající se z velmi malých a neprůsvitných ledových zrn [6]. Tato zrna jsou zploštělá nebo podlouhlá, jejich průměr bývá menší než 1 mm. Při dopadu na zem se netříští a neodskakují.

Zmrzlý déšť je srážka složená z průhledných ledových zrn [6]. Vzniká zmrznutím dešťových kapek nebo sněhových vloček, které během svého pádu téměř roztály a opět zmrzly. Ledová zrna zmrzlého deště mají zpravidla kulovitý nebo nepravidelný, vzácně i kuželovitý tvar. Jejich průměr je menší než 5 mm.

Námrazové krupky je srážka složená z průsvitných ledových zrn převážně kulovitého, zřídka též kuželovitého tvaru o průměru kolem 5 mm [6]. Jsou to sněhová zrnka obalená tenkou vrstvou ledu. Námrazové krupky se vyskytují výhradně v přeháňkách.

4 VODNÍ HODNOTA SNĚHU A METODY JEJÍHO STANOVENÍ

Vodní hodnota sněhu (zkratka SWE z anglického Snow Water Equivalent) je definována jako vertikální hloubka vody, která by vznikla roztátím celé vrstvy sněhové pokrývky (Jeníček, 2011). Je zřejmě nejdůležitějším hydrologickým parametrem sněhu. Nejčastěji je udávána v mm. Pro výpočet SWE je třeba znát hustotu sněhu ρ_s [kg/m³] a výšku sněhové pokrývky d [m]. Pokud jsou uvedené veličiny známy, pak se SWE vypočte dle rovnice (6)

$$SWE = d \frac{\rho_s}{\rho_v}. \quad (6)$$

V České republice měří vodní hodnotu sněhu všechny klimatické i srážkoměrné stanice Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) jednou týdně (Židek, 2003), vždy v pondělí v 7 hodin, je-li výška sněhu alespoň 4 cm a nepravidelná expediční měření provádějí rovněž pracovníci poboček před předpokládaným táním nebo v době největší sněhové pokrývky. Na základě naměřených dat je odhadován celkový objem vody zadržované ve sněhové pokrývce.

Dle (Němec, 2006) lze spočítat SWE na základě veličin, které jsou k dispozici na srážkoměrné a nejbližší klimatologické stanici. Jako vstupní údaje používá denní úhrn srážek, výšku nového sněhu, celkovou výšku sněhu a průměrný denní tlak vodní páry. Pomocnými proměnnými veličinami jsou hustota sněhu, funkce hustoty, přírůstek ze sněhových a vodních srážek a přírůstek z vlhkosti vzduchu.

Ke stanovení maximální vodní zásoby ve sněhu se často používají záznamy z totalizátorů. Míra podhodnocení zachycených srážek je částečně kompenzována vyššími ztrátami vlivem sublimace z okolního povrchu. Bohužel v bezlesích oblastech jsou existující měření často nepřesná. Vlivem větru nemusí nahromaděný sníh ve sběrném válci odpovídat skutečným poměrům území a snižuje se tak reprezentativnost. Vodní hodnota sněhu se udává jako číslo menší než 1 (Tab. 4.1) nebo výškou vodního sloupce po okamžitém roztátí celé sněhové pokrývky v mm.

Tab. 4.1 Vodní hodnota sněhu (Bumerl, 2003)

Druh sněhu	Vodní hodnota sněhu
nově napadlý sníh	0,10
ulehlý sníh	0,15 – 0,20
starší sníh	0,25 – 0,30
překrystalizovaný sníh	0,35 – 0,40
firnový sníh	> 0,50
firnový led	0,60 – 0,85
ledovcový led	0,80 – 0,90

4.1 STANIČNÍ MĚŘENÍ

Staniční měření probíhá v České republice na 209 klimatických a 585 srážkoměrných stanicích (Jeníček, 2013). Používají se metody klasické, pro měření výšky sněhu je

používána sněhoměrná lať a sněhoměrné prkénko. Měření probíhá každý den, pokud je v okolí stanice souvislá vrstva sněhu. Pro měření vodní hodnoty sněhu se pak používá válcový sněhoměr a závěsná váha.

Moderní měření stanoví výšku sněhu pomocí ultrazvuku a vodní hodnotu sněhu pomocí např. automatického váhového sněhoměru, sněhového polštáře, snowpack analyser (SPA), apod.

4.1.1 Sněhoměrný polštář

Sněhoměrné polštáře jsou plošná zařízení umístěná v úrovni terénu. Jejich užívání se objevuje v 70. letech 20. století. Bývají vyrobeny z vyztužené gumy, pevného plastu nebo kovových (nerezových) plátů a nečastěji mají čtvercový nebo kruhový tvar o hraně (poloměru) 2 – 4 metrů. Nerezový povrch polštářů je více odolný vůči poškození a i čas k jeho instalaci je kratší než u gumy nebo plastu (Špulák, 2012). Polštáře jsou vyplněny nemrznoucí kapalinou, která přenáší tlak sněhové vrstvy na tlakoměry. Sněhoměrné polštáře pracují dobře v rovinatém terénu při těžkém sněhu a malé frekvenci mrznoucích oblev. Jestliže však dojde k zavěšení sněhové vrstvy přes polštář, nelze metodu použít, protože dochází k chybnému měření. Problém lze částečně řešit umístěním více polštářů souběžně na stejné lokalitě a následným vzájemným srovnáním naměřených hodnot. Další nevýhodou je změna teplotního gradientu mezi půdou a sněhem vyloučením výparu z půdy a zabránění vsakování odtávané vody od půdy. Při poškození polštářů může dojít k intoxikaci životního prostředí v přímém okolí únikem nemrznoucí kapaliny.



Obr. 4.1 Instalace sněhového polštáře (Jeníček, 2013)

4.1.2 Váhový sněhoměr

Váhový sněhoměr, nebo také váhy sněhu, vychází ze stejného principu jako sněhoměrné polštáře, tedy zjišťování hydrostatického tlaku sněhu (Špulák, 2012). Svou konstrukcí však řeší některé z nevýhod sněhových polštářů, zvláště nebezpečí intoxikace životního prostředí nemrznoucí kapalinou. Bývají tvořeny plochou kovovou konstrukcí zavěšenou na váhových čidlech. Váhy jsou povrchem zapuštěny do úrovně terénu. Povrch kovových plátů bývá zdrsněn položením kobercovité rohože nebo

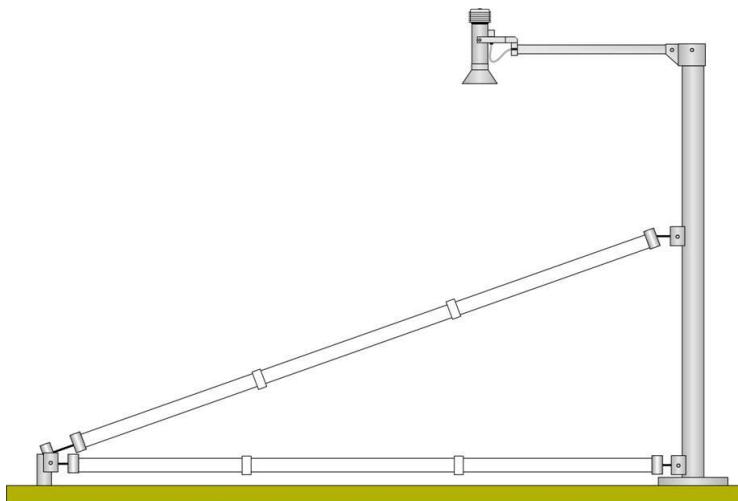
posypem. Účelem zdrsnění je přiblížení se přírodním podmínkám, perforováním je částečně umožňován průsak do půdy. Stejně jako sněhoměrné polštáře jsou zatíženy chybou v případě zavěšení sněhových vrstev. Použití dodatečných konstrukcí omezujících zavěšování různou měrou ovlivňuje akumulaci a odtávání sněhu. Další nevýhodou metody oproti sněhovým polštářům je absence alespoň zprostředkovaného kontaktu půdy a sněhu v místě měření.



Obr. 4.2 Váhový sněhoměr (Jeníček, 2013)

4.1.3 Snowpack analyser (SPA)

Pásky systému SPA byly vyvíjeny v rámci mezinárodního projektu Snowpower a testovány ve Švýcarsku a v Kanadě (Špulák, 2012). Byly také označovány jako nízkofrekvenční impedanční pásy. Metoda byla založena na měření dielektrické konstanty sněhu na několika frekvencích jak v pásmu kilohertzů, tak megahertzů, s cílem současného měření hustoty sněhu, SWE a obsahu kapalné vody. Pro určení průměrné hustoty, SWE a vlhkosti se nízkofrekvenční měření ukázala jako dostatečná. Je využíváno skutečnosti, že dielektrická konstanta ledu v pásmu kilohertzů silně kolísá s frekvencí, měření na více frekvencích tak umožňuje odlišení obsahu kapalné vody a ledu. V komerčně dostupné verzi je k dispozici až 10 metrů dlouhý trojvodičový pás (plochý kabel) umístěný horizontálně nad zemí nebo šikmo vzhůru od povrchu země ke stabilizačně-řídícímu stožáru, čímž umožňuje posuzovat výškovou variabilitu sledovaných parametrů. Vliv teploty na naměřené veličiny je automaticky softwarově kompenzován. Při uložení pásu vibrace měřidla způsobená větrem formují okolo pásu kapsy. Chybné hodnoty jsou vyhodnocovány také v případě výskytu námrazy na pásu měřidla.



Obr. 4.3 SPA (Jeníček, 2013)

4.2 EXPEDIČNÍ MĚŘENÍ

Expediční měření (mobilní terénní průzkum) nebo též manuální měření, je nejběžnějším způsobem stanovení SWE. Měření se provádí pomocí plastové (Špulák, 2012), kovové nebo sklolaminátové sněhoměrné trubky daného průměru, která dle provedení má sraženou či ozubenou odběrovou hranu. Válec se vtlačí kolmo do sněhu, tak aby dosáhl až na povrch půdy, podle potřeby se sněhové jádro před vyzvednutím zhuťní. Zpravidla je současně odečítána výška sněhu. Po očištění jádra od případných nečistot ze spodní strany se SWE zjišťuje výpočtem na základě zvážení odběrného válce se sněhovým jádrem nebo měřením objemu vody po roztátí jádra.



Obr. 4.4 Měření výšky sněhu

V České republice je manuální měření ve sněhoměrných profilech základním způsobem zjišťování dat o vodní hodnotě sněhu pro účely monitoringu a predikcí (Špulák, 2012). Při měření se nejčastěji používají odběrné válce o průřezové ploše 50 cm^2 a délce 1 m nebo 1,5 m. Odběry v pevně lokalizovaných transektech o délce 20 m až 30 m na jednotlivých lokalitách se provádějí 3krát (10krát je měřena výška sněhu). Z těchto hodnot se počítá průměr vstupující do hydrologických modelů.

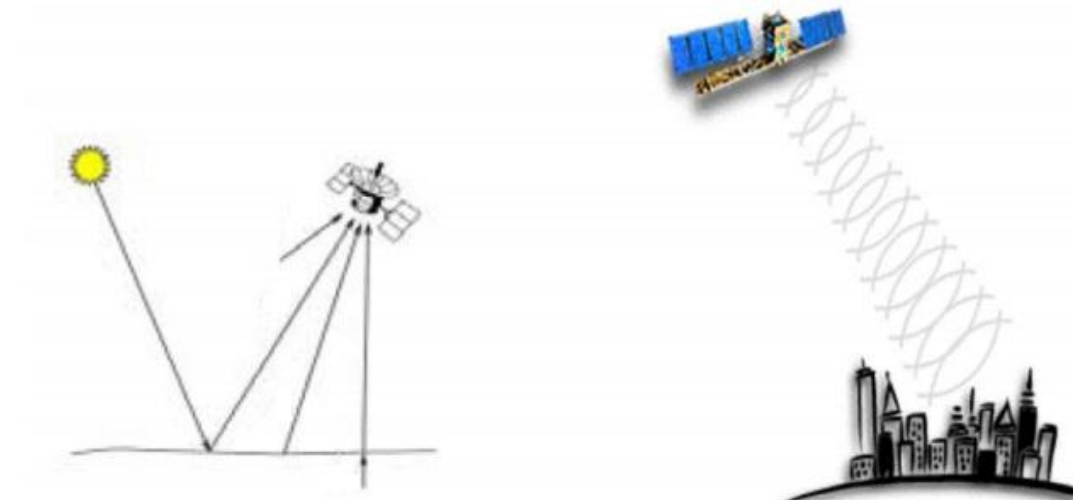


Obr. 4.5 Válcový sněhoměr při odběru vzorku sněhu (vlevo), sněhové jádro (vpravo)

Výhodou metody jsou nízké nároky na technické zařízení, kvalifikaci pracovníků, díky rychlosti odběru lze v relativně krátkém čase odebrat dostatečné množství vzorků pro popis lokální heterogenity (Špulák, 2012). Další výhodou je prostorová flexibilita při zjištění potřeby úpravy nebo doplnění míst sledování. Metoda však trpí i řadou nevýhod. Patří mezi ně fyzická a časová náročnost dopravy pozorovatele na lokalitu spojená se zpravidla značnými náklady. Měření jsou zatížena nízkou, málo flexibilní, časovou rozlišovací schopností. Přesto je však stále jedním z hlavních zdrojů dat pro mnoho lokálních, národních i nadnárodních prostorových i časových modelů sněhových podmínek.

4.3 DISTANČNÍ MĚŘENÍ

Distančním měřením se rozumí využití metod dálkového průzkumu Země. Jedná se o kategorii měřicích metod založených na využití moderních technologií včetně měřicích postupů (Špulák, 2012). Odrazové vlastnosti povrchů v mikrovlnné části spektra jsou dány především drsností a vlhkostními charakteristikami. Z hlediska metrologie uvedené veličiny určují dielektrické vlastnosti měřených povrchů. Jejich sledování je základem moderních měřicích metod založených zpravidla na elektromagnetickém principu měření. Výhodou distančních měřicích metod je nezávislost na meteorologických podmínkách. Při stanovení SWE se při užití distančních metod využívá znalost výšky sněhové pokrývky a pohlcování dlouhovlnného záření. Při snímání v mikrovlnné části spektra se využívají měřicí zařízení aktivní (RADAR) a pasivní (mikrovlnný radiometr).



Obr. 4.6 Pasivní radar (vlevo), aktivní radar (vpravo) (Jeníček, 2011)

Dalším přístupem je využití georadaru (GPR z anglického Ground Penetrating Radar), což je technika založená na principu měření změn elektromagnetického záření, vyvinutá primárně pro monitorování nehlubokých vrstev pod povrchem země, stavebních materiálů, cest a mostů (Špulák, 2012). Systémy GPR vysílají elektromagnetické vlny o frekvencích mezi desítkami megahertzů a desítkami gigahertzů. Při aplikaci pro měření vlastností sněhu (výška, hustota a přepočtem SWE) se vlny odrážejí od rozhraní mezi půdou a sněhem a od přechodů mezi jednotlivými vrstvami sněhu s rozdílnou strukturou nebo hustotou. Měřenými parametry mohou být čas odrazu od povrchu (čas návratu signálu), frekvence a amplituda signálu. Pro aplikaci na měření SWE je využitelný radar v modu jednoduchého odrazu, který spolu s nezávislými měřeními výšky sněhu, umožňuje za příznivých podmínek odhadnout průměrné hodnoty hustoty sněhu s přesností 5 % až 10 % do 2 m – 3 m vrstvy sněhu.

Problémy v interpretaci získaných dat nastávají, jestliže se ve sněhu vyskytuje voda v kapalně formě nebo pokud je výrazná horizontální variabilita hustoty sněhové pokrývky (Špulák, 2012). Laboratorní pokusy ukazují na lineární vztah mezi vlhkostí sněhu a elektrickou vodivostí při určité radarové frekvenci. Vliv měnící se salinity na elektrickou vodivost sněhu se zdá být s ohledem na vlhkost zanedbatelný.

Velkou výhodou metod založených na radarovém měření je jejich operativnost. Měření mohou být kromě stacionárního monitorování určitého místa prováděna ze sněžných skútrů nebo letadel a zahrnout i rozsáhlá území (Špulák, 2012). GPR metody nejsou vhodné pro měření v hustých lesích a na prudkých svazích. Nevýhodou je obtížná a zdlouhavá interpretace měření, mající značné nároky na zpracovatele. Na měření vodní hodnoty sněhu byly testovány georadary založené na principu impulsových radarů a radarů vysílající stálou vlnu.

5 MĚŘICÍ METODA EIS

Metoda elektrické impedanční spektrometrie (EIS) umožňuje zjistit rozložení elektrické impedance či dalších elektrických veličin z ní vyplývajících (elektrické vodivosti, rezistivity, konduktivity apod.) uvnitř sledovaného objektu (homogenního i heterogenního), a tak sledovat jeho vnitřní strukturu a její změny. Vzhledem k použitým sondám a způsobu jejich umístění do sledovaného objektu je možno metodu použít jako nedestruktivní (sondy trvale zůstávají ve sledovaném objektu) invazivní nebo neinvazivní (Pařílková, 2008). EIS je využívána při měření vlastností organických i anorganických látek. Představuje velmi citlivý nástroj pro sledování jevů probíhajících v objektech (např. změny probíhající v zemních hrázích při jejich zatížení vodou, v kanalizačních systémech při transportu vod se sedimenty, ve vlhkém zdivu při jeho vysoušení, dokumentování procesu vysoušení dřevěných stavebních prvků) nebo elektrokinetické jevy na rozhraní (např. elektroda zrno zeminy, mezi zrny zeminy).

5.1 ELEKTRICKÁ IMPEDANCE

Elektrická impedance je komplexní veličina (osahuje reálnou a imaginární složku), která popisuje zdánlivý elektrický odpor pórovitého prostředí a fázový posuv elektrického napětí proti elektrickému proudu při průchodu harmonického střídavého elektrického proudu dané frekvence. Podobně jako elektrický odpor charakterizuje vlastnosti zeminy pro stejnosměrný proud, elektrická impedance charakterizuje vlastnosti zeminy pro střídavý proud. Elektrická impedance je základní veličinou, kterou je třeba znát pro analýzu střídavých elektrických obvodů. Termínem střídavý signál je možno označit každý signál (harmonický, trojúhelníkový, pilový, obdélníkový, impulsní apod.), jehož směr se periodicky střídá (Pařílková, 2011).

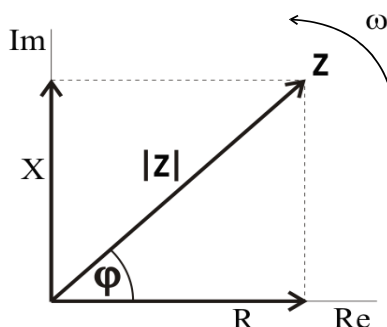
Jednotka elektrické impedance je shodná s jednotkou elektrického odporu, kterou je ohm $[\Omega]$. Na rozdíl od elektrického odporu, kde je napětí s proudem ve fázi, u elektrické impedance mohou být uvedené veličiny fázově posunuty. Elektrickou impedanci Z lze vyjádřit Ohmovým vztahem, který definoval německý fyzik George Simon Ohm na základě svých experimentálních zjištění v roce 1827 pro střídavé obvody, tj. poměrem fázoru elektrického napětí U a fázoru elektrického proudu I (Sedláček, 2010)

$$Z = \frac{U}{I}. \quad (7)$$

Frekvenční charakteristiku elektrické impedance Z lze vyjádřit jako funkci komplexní proměnné v algebraickém tvaru (Sedláček, 2010)

$$Z = R + jX, \quad (8)$$

kde R je elektrický odpor (rezistance) tvořící reálnou část elektrické impedance teoreticky nezávislou na frekvenci a imaginární složka elektrické impedance je reaktance X , která se mění s frekvencí. Fázor elektrické impedance Z tvořený fázory U a I je uveden na obrázku (obr. 5.1) (Sedláček, 2010).



Obr. 5.1 Grafické vyjádření fázoru elektrické impedance (Pařílková, 2011)

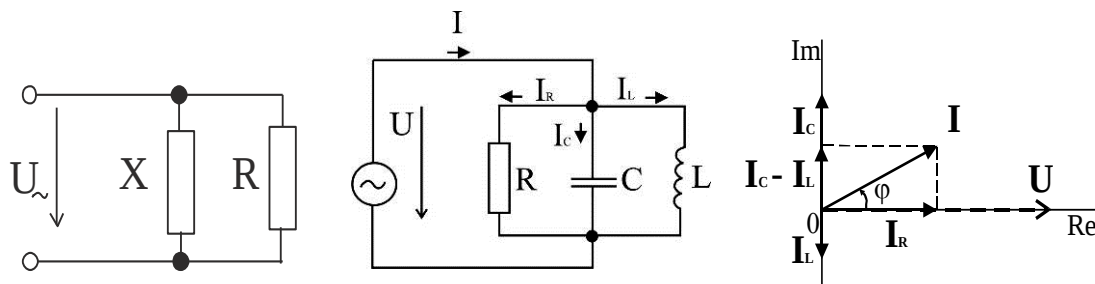
Na obr. 5.1 je také znázorněn modul vektoru impedance $|Z|$, který je možné vypočítat Pythagorovou větou (9), a fázový posun φ vyjádřený vztahem (10) (Pařílková, 2011)

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2}, \quad (9)$$

$$\varphi = \arctg \frac{X}{R}. \quad (10)$$

Jak vyplývá ze vztahu (8) elektrická impedance je vždy větší nebo rovna reálnému elektrickému odporu v obvodu a závisí na zdánlivých odporech tj. indukanci (reaktance induktoru) X_L a kapacitanci (reaktance kapacitoru) X_C jednotlivých prvků obvodu střídavého proudu (Pařílková, 2011).

Pórovité zemní prostředí lze popsat elektrickou impedancí ekvivalentního elektrického obvodu tvořeného kombinací rezistoru R , induktoru L a kapacitoru C . Jejich zapojení v obvodu střídavého proudu je možné sériové (pro všechny prvky obvodu je společný fázor proudu) nebo paralelní (pro všechny prvky obvodu je společný fázor napětí), které se pro měření v zeminách ukázalo vhodnějším (obr. 5.2), (Pařílková, 2011).



a) ekvivalentní paralelní obvod měřené Z b) schéma ideálního ekvivalentního obvodu c) fázorový diagram

Obr. 5.2 Ekvivalentní obvod měřené impedance (Pařílková, 2011)

5.2 VELIČINY ODVOZENÉ

Inverzní hodnotou k měřené elektrické impedanci Z je admitance Y [S], která popisuje zdánlivou elektrickou vodivost monitorovaného prostředí a fázový posuv napětí proti proudu při průchodu harmonického střídavého elektrického proudu dané frekvence [4]

$$Y = \frac{1}{|Z|} = \frac{1}{R + jX} = \frac{R}{R^2 + X^2} + j \frac{-X}{R^2 + X^2}. \quad (11)$$

Reálná složka admitance Y je konduktance (elektrická vodivost) G [S], imaginární složka admitance Y je susceptance B [S] [7]

$$Y = G + jB, \quad (12)$$

$$B = \text{Im}(Y) = \frac{-X}{R^2 + X^2} = \frac{-X}{|Z|^2}. \quad (13)$$

Konduktance G [S] vyjadřuje schopnost elektrického vodiče, v daném případě tvořeného sněhem s různým obsahem vody a minerálních solí, vést elektrický proud. Čím větší je vodivost, tím silnější elektrický proud prochází vodičem při stejném napětí. Dobrý vodič má vysokou hodnotu elektrické vodivosti, špatný vodič má nízkou hodnotu elektrické vodivosti [9]

$$G = \frac{1}{R}. \quad (12)$$

S elektrickým odporem R jsou také spojeny rezistivita ρ [Ωm] a konduktivita σ [S/m]. Rezistivita (měrný nebo také specifický elektrický odpor) vyjadřuje (13) elektrický odpor vodiče jednotkové délky (1 m) a jednotkové plochy kolmého průřezu (1 m²) [9]

$$\rho = R \frac{A}{L}, \quad (13)$$

kde R [Ω] je elektrický odpor, A [m²] je průřezová plocha vodiče v mém případě počítaná z délky elektrody a L [m] je vzdálenost mezi elektrodami.

Konduktivita (měrná elektrická vodivost) popisuje schopnost vodiče vést elektrický proud. Dobrý vodič má vysokou hodnotu konduktivity (14), vodiče špatně vedoucí elektrický proud mají nízkou hodnotu konduktivity (Tyrbach, 2008)

$$\sigma = \frac{1}{\rho}. \quad (14)$$

Konduktivita vody je dána obsahem všech vodivých látek v ní obsažených. Představuje přibližnou míru koncentrace iontů ve vodě resp. iontově rozpuštěných látek, s nimiž se voda potká a rozpustí (Novák, 2011), kromě plynů. Vyjadřuje proto nepřímě obsah minerálních látek (solí), které se ve vodě nacházejí. Limit vodivosti pro pitnou vodu je 125 mS/m (ČSN 75 7111, 1991), což odpovídá obsahu rozpuštěných látek asi 1000 mg·l⁻¹ (vynásobením hodnoty elektrické vodivosti osmi se získá přibližná hodnota rozpuštěných látek v mg/l). Optimálně by však pitná voda měla obsahovat rozpuštěných látek méně, asi 200 mg/l až 400 mg/l (asi 25 mS/m až 50 mS/m). Vody s mineralizací více než 1000 mg/l se považují za minerální a nejsou vhodné pro stálé pití. V závislosti na složení mohou mít nepříjemnou chuť nebo i způsobit průjemové onemocnění. Časté jsou technické potíže např. snižování životnosti potrubí a ohříváčů teplé vody [9].

Destilovaná voda mívá hodnotu konduktivity v rozmezí 0,05 mS/m až 0,3 mS/m. Povrchové a podzemní vody 5 mS/m až 50 mS/m, některé průmyslové vody mohou mít hodnotu vyšší než 103 mS/m. Průměrná konduktivita pitných vod v ČR je asi 40 mS/m. Pro kojeneckou a stolní vodu platí mezní hodnota konduktivity 100 mS/m.

Je tedy zřejmé, že konduktivita je velmi důležitým parametrem, který lze uvedenou metodou EIS stanovit.

6 POUŽITÉ PŘÍSTROJE A POSTUP MĚŘENÍ

Pro monitorování sněhové pokrývky jsem používal nové zařízení založené na metodě EIS. EIS měří elektrické vlastnosti sněhu, kterým prochází elektrický signál. V grafech, které popisují naměřené elektrické veličiny, je srovnávací rovinou vždy zemský povrch, který je udáván jako nulová výška sněhové pokrývky, tj. není zohledněna měřená lokalita z hlediska nadmořské výšky, což má při komplexního hodnocení SWE rovněž význam. Při monitorování jsem měřil i další veličiny, např. teplotu a vlhkost vzduchu, teplotu, výšku a tvrdost sněhu. Uvedené veličiny sice přímo nesouvisí se stanovením SWE, avšak jsou nezbytné pro hodnocení výsledků měření stanovených nepřímými měřicími metodami resp. pro zjištění jejich vlivu na měřené elektrické hodnoty.

6.1 MĚŘENÍ ELEKTRICKÉ IMPEDANCE

Pro měření elektrické impedance sněhu jsem používal měřicí aparaturu obsahující přístroj Z-metr III a dělené sondy. Měřicí aparatura byla realizována řešením mezinárodního projektu E!4981 programu EUREKA. Aplikace pro monitorování sněhové pokrývky je zahrnuta do řešení projektu E!7614 ve stejném programu aplikovaného výzkumu.

6.1.1 Přístroj Z-metr III

Sledování změn elektrických charakteristik sněhové pokrývky bylo provedeno aparaturou s přístrojem Z-metr III s volitelným počtem měřicích míst. Pro realizaci přístroje byl zvolen signálový procesor poslední vývojové řady měřičů elektrické impedance firmy "ST Microelectronics", jehož 32 bitový procesor umožňuje pouze měření dvousvorkové. Základní parametry přístroje jsou uvedeny v Tab. 6.1, konstrukční řešení přístroje na Obr. 6.1. Přístroj je bateriový s předpokládanou dobou kontinuálního provozu 8 hodin a s možností dobíjení z 12 V zdroje. Umožňuje měření na jedné zvolené frekvenci nebo ve frekvenčním spektru.



Obr. 6.1 Přístroj Z-metr III

Tab. 6.1 Základní parametry přístroje Z-metr III

Parametr	Z-metr III	Parametr	Z-metr III
Impedanční rozsah	100 Ω - 1 M Ω	Komunikační rozhraní	USB SD karta
Frekvenční rozsah	1 kHz – 100 kHz	Počet měřicích míst	1, 8, 16, 32, 64, 128
Přesnost měření modulu Z	$\pm 2\%$ z rozsahu	Přepínač	interní, externí
Přesnost měření fáze	$\pm 2^\circ$	Napájení	baterie

6.1.2 Kontinuální měření

Kontinuální měření probíhalo speciálně navrženými sondami se 16 elektrodami z nerezového plechu 1,5 mm silného. Elektrody jsou umístěny na plastovém hranolu se čtvercovou základnou o délce hrany 0,04 m a délce 1,0 m. Elektrody jsou čtvercového tvaru s délkou strany 0,03 m. Dvě protilehlé elektrody tvoří snímač, který je nad zemí umístěn vodorovně, tj. fiktivní elektrický vodič nekopíruje terén. Mezi elektrodami na plastovém hranolu je mezera dlouhá 0,03 m. Vzdálenost dvou plastových hranolů je 1,86 m, což je současně délka fiktivního elektrického vodiče reprezentovaného sněhovou vrstvou o výšce 0,03 m po vybuzení elektromagnetického pole z generátoru střídavého signálu, který je součástí přístroje Z-metr III. Snímače umístěné na plastových hranolech tvoří sondu. Plastový hranol je nasunut na dřevěný kolík, který je částečně zatlučen v zemi (Obr. 6.2).



Obr. 6.2 Fixační dřevěný kolík (vlevo) a nasunutá sonda (vpravo)

Středem plastových hranolů jsou vedeny k jednotlivým měřicím snímačům propojovací vodiče dlouhé 3 m, zajišťující přenos budicího (el. proudu) a měřeného (el. napětí) signálu. Aby nedocházelo k navlhání spoje a možné budoucí korozi mezi šroubem a přiletovaným vodičem, spoj je pokryt silikonovým nevodivým materiálem.

6.1.3 Expediční měření

Při expedičních měřeních byla použita mobilní dělená tyčová sonda s osmi elektrodami dlouhá 0,375 m (Obr. 6.3), pro lepší manipulaci při přepravě. Elektrody byly dlouhé 0,025 m a střídaly se s 0,025 m dlouhými izolanty z polyamidu. Středem trubic o průměru 0,012 m byly vedeny k jednotlivým elektrodám vodiče dlouhé 10 m. Aby nedocházelo k průniku vlhkosti do prostoru s vodiči (parazitní elektrický odpor), jsou jednotlivé díly sondy spojeny těsnicím nevodivým silikonovým materiálem, který rovněž těsní sondy v jejich povrchové vrstvě.



Obr. 6.3 Sondy pro expediční měření

Aby byl zajištěn dobrý kontakt mezi sondou a sněhem, vyhloubil jsem v měřeném profilu díru o užším průměru než je průměr tyče. Tyčová sonda se poté lépe zasouvala do sněhové pokrývky.

6.2 VODNÍ HODNOTA SNĚHU

Vodní hodnotu sněhu jsem stanovil, zprvu odběrem sněhu z celého sněhového profilu, později jsem prováděl odběr po jednotlivých vrstvách, sněhoměrným válcem (Obr. 3.1). Nejdříve jsem zjistil tvrdosti a výšky jednotlivých vrstev sněhové pokrývky, poté jsem do rozhraní vrstev vložil lopatu a provedl odběr (Obr. 6.4). Sněhové jádro jsem vyklepl do igelitové tašky a zvážil závěsnou vahou HDB 10K10 firmy KERN (Obr. 6.3). Odběrná plocha válce byla 50 cm², vodní hodnota sněhu se pak rovná (15)

$$SWE = 200m, \quad (15)$$

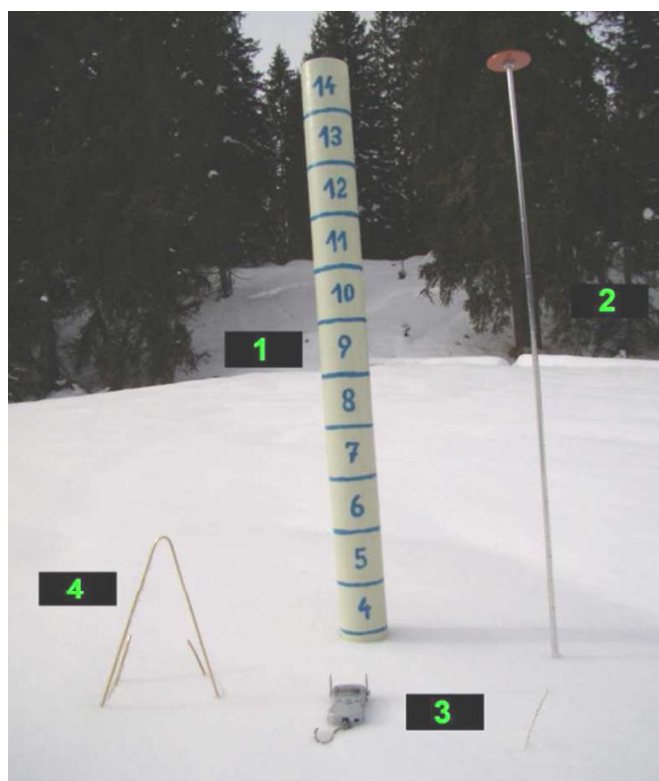
kde SWE je vodní hodnota sněhu [mm] a m je hmotnost sněhového jádra [kg] [3].



Obr. 6.4 Závěsná váha



Obr. 6.5 Odběr vzorku sněhu



Obr. 6.6 Měřicí sestava se sněhoměrným válcem (1 – odběrný válec, 2 – tyč pro měření mocnosti sněhové pokrývky, 3 – digitální závěsná váha, 4 – vahadlo)

6.3 OSTATNÍ VELIČNY

Pro dostupná měření veličin popisujících vzduch, tedy teploty a vlhkosti, jsem používal ruční teploměr a vlhkoměr GeoFennel FHT 100 od firmy GEOFENNEL (Obr. 6.5). Výrobce uvádí rozsah měřených veličin a jejich odchylky dle Tab. 6.2. Pro měření

teploty sněhu jsem používal zapichovací teploměr DET3R od firmy VOLT CRAFT (Obr. 6.6). Zapichovací teploměr má rozsah měřených teplot – 40°C až 250°C s přesností $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Musím však konstatovat, že měřené hodnoty teploty vzduchu oběma teploměry vykazovaly odchylky (někdy i 3°C), a to zcela nahodile. Proto nebylo možno provést korelaci mezi měřenými teplotami vzduchu a jednotlivých vrstev sněhové pokrývky.



Obr. 6.7 Teploměr a vlhkoměr



Obr. 6.8 Zapichovací teploměr

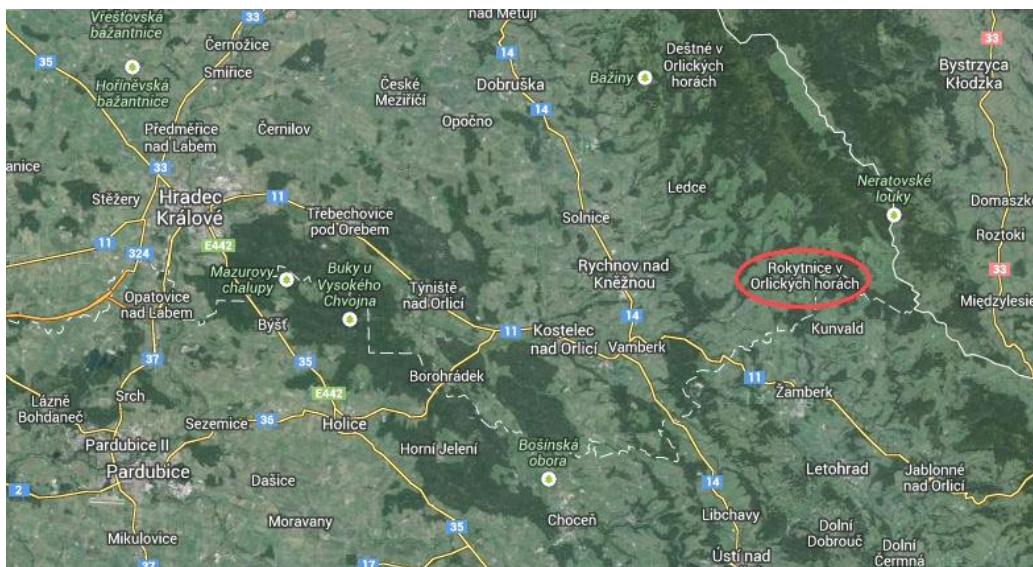
Tab. 6.2 Specifikace teploměru a vlhkoměru

Funkce	Rozsah	Odchylka
Vlhkost	0% RH ~ 100% RH	$\pm 2\% \text{ RH}$
Teplota	$-30^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$	$\pm 0,5^{\circ}\text{C}$
Rosný bod	$-30^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$	$\pm 0,5^{\circ}\text{C}$
Teplota vypařování	$0^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$	$\pm 0,5^{\circ}\text{C}$

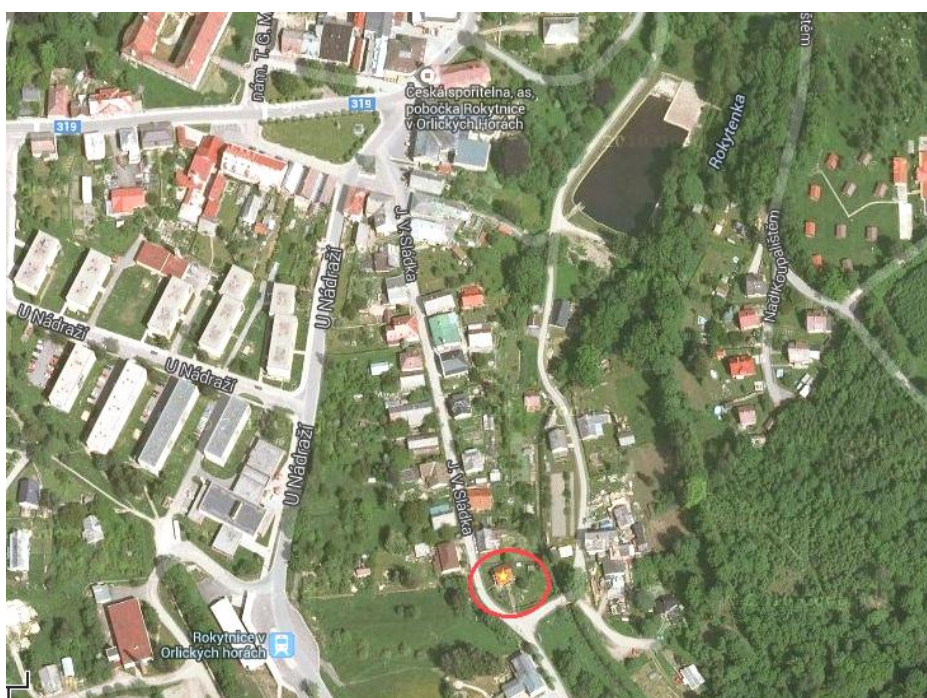
Pro měření výšky sněhu, při kontinuálním měření, jsem používal skládací metr. Výšku sněhu jsem měřil poblíž tyče č. 1 mimo pole průchodu signálu. Při expedičním měření jsem používal svinovací metr.

7 KONTIUÁLNÍ MĚŘENÍ

Kontinuální měření jsem zahájil 3. prosince 2012, kdy proběhla instalace sond, ukončeno bylo 13. dubna 2013, měřicí cyklus byl každý den, ale ne pravidelně v 7 hodin ráno, jak udává předpis ČHMÚ. Měření probíhalo nahodile během dne, dle možností strýce, protože já jsem nebyl pravidelně doma. Pro monitorování sněhové pokrývky jsem vybral město Rokytnice v Orlických horách. Rokytnice se nachází v podhůří Orlických hor, 60 km východně od krajského města Hradec Králové (Obr. 7.1) na pozemku Mgr. Pavla Janečka (Obr. 7.2), mého strýce, který v době mé nepřítomnosti měřil elektrické veličiny a tím zachoval kontinuitu měření. Pozemek se nachází jižně od náměstí T. G. Masaryka v ulici J. V. Sládka jeho nadmořská výška je 550 m n. m.



Obr. 7.1 Umístění Rokytnice v Orlických horách [3]



Obr. 7.2 Vyznačení měřicího stanoviště [3]

7.1 INSTALACE SOND

Sondy jsem instaloval na místo, kde by je neohrozil pád sněhu ze střechy či proudění kolem obytného domu. Poněvadž měla být ověřena vhodnost metody EIS pro možnost stanovení SWE a monitorování je chápáno jako pilotní experiment, nebyly zcela dodrženy požadavky kladené na uvedený typ experimentů, např. se nejednalo o monitorování volného prostoru, avšak monitorované místo není možno charakterizovat ani jako zalesněné či částečně zalesněné.

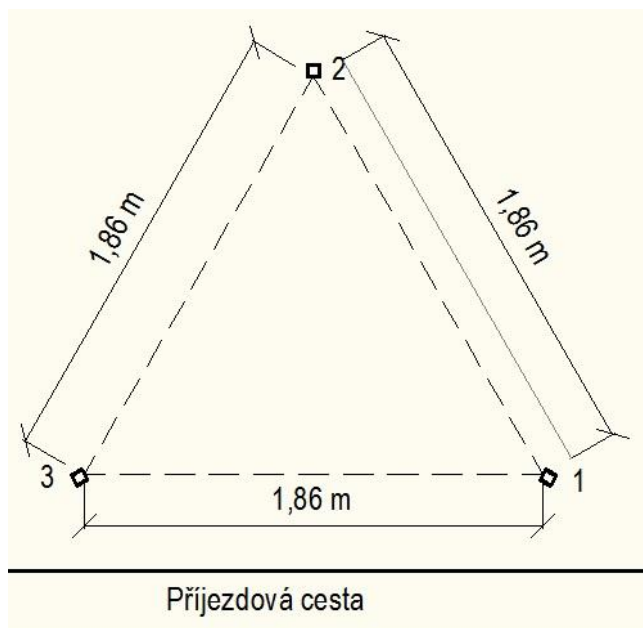
Na zvoleném místě byl relativně rovný terén s dobrou dostupností od příjezdové cesty. Při instalaci sond jsem nejdříve zatloukl ve vzdálenosti 1,86 m a potřebném úhlu do zeminy tři dřevěné kolíky tak, aby tvořily rovinu. Na kolíky jsem ve spolupráci se strýcem nasadil plastové hranoly se snímači a vypočetl jsem tak, aby snímače byly naproti sobě (Obr. 7.3).



Obr. 7.3 Podložení plastových hranolů 2 a 3

Pracovně jsem tyče označil čísly 1 až 3. Rozmístění a označení sond je na Obr. 7.4. Na stanovišti bylo měřeno na třech sondách, mezi hranoly č. 1 a č. 2, mezi hranoly

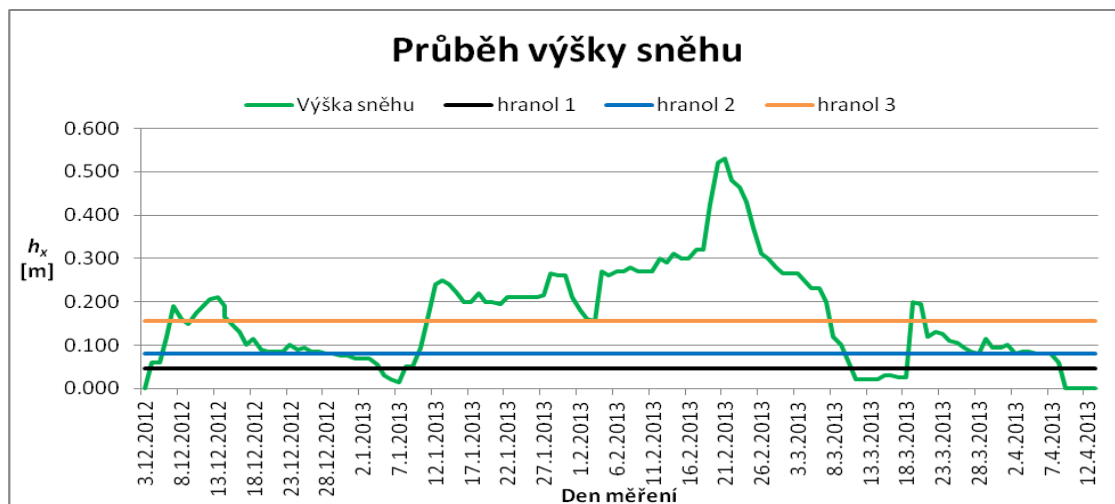
č. 1 a č. 3 a mezi hranoly č. 2 a č. 3. Plastový hranol č. 3 bylo velmi obtížné v zemině stabilizovat, neboť instalace probíhala do kamenného podloží.



Obr. 7.4 Rozmístění sond

7.2 PRŮBĚH MĚŘENÍ

Při monitorování sněhové pokrývky jsem zaznamenal tři výrazné oblevy (Obr. 7.5). První obleva začala už 14. prosince 2012 a trvala do 7. ledna 2013. Druhá výrazná obleva začala 23. února 2013 a skončila 10. března 2013. Poslední oblevou roztál všechny sníh a tím jsem ukončil monitorování.

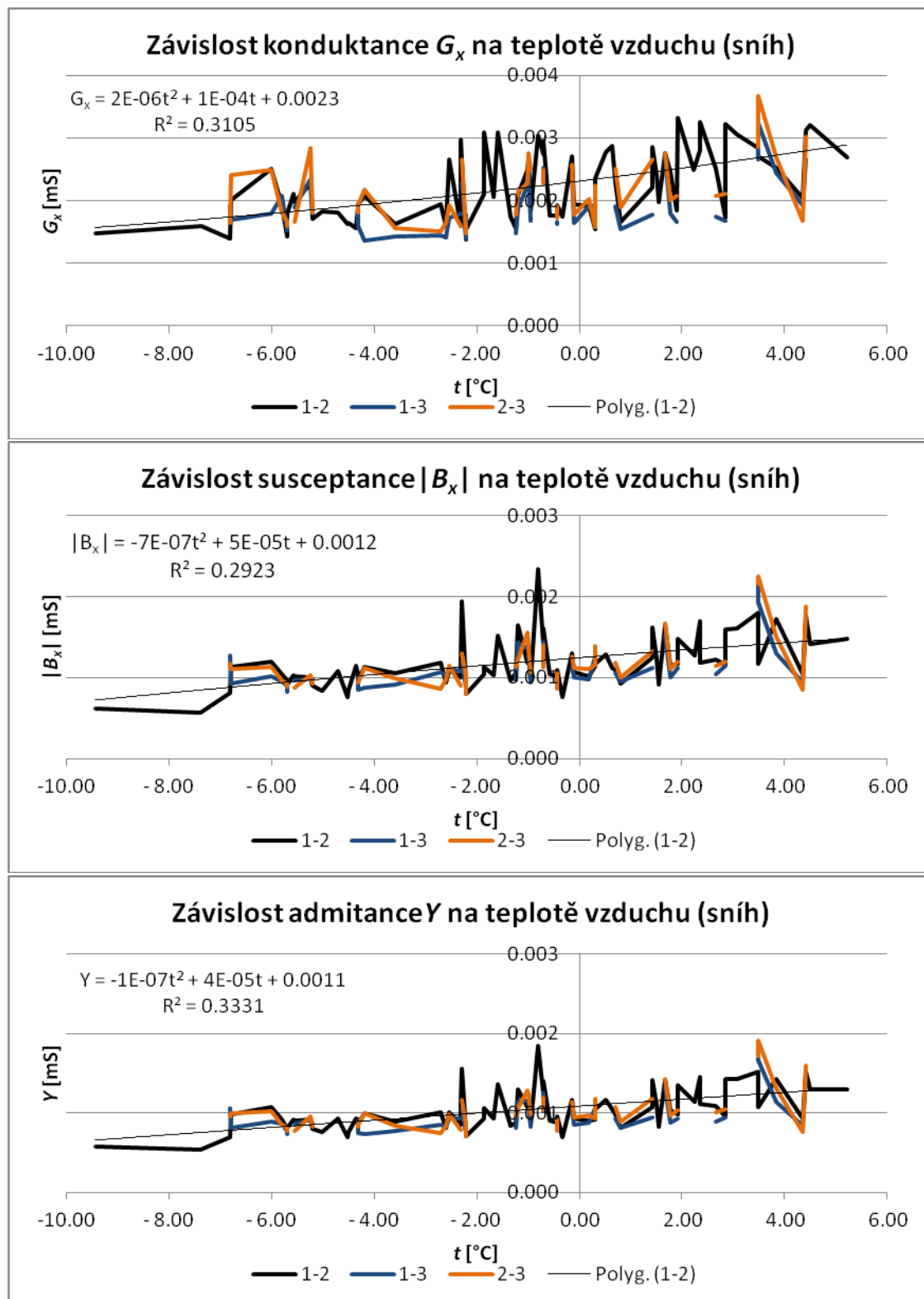


Obr. 7.5 Průběh výšky sněhu v monitorovaném období

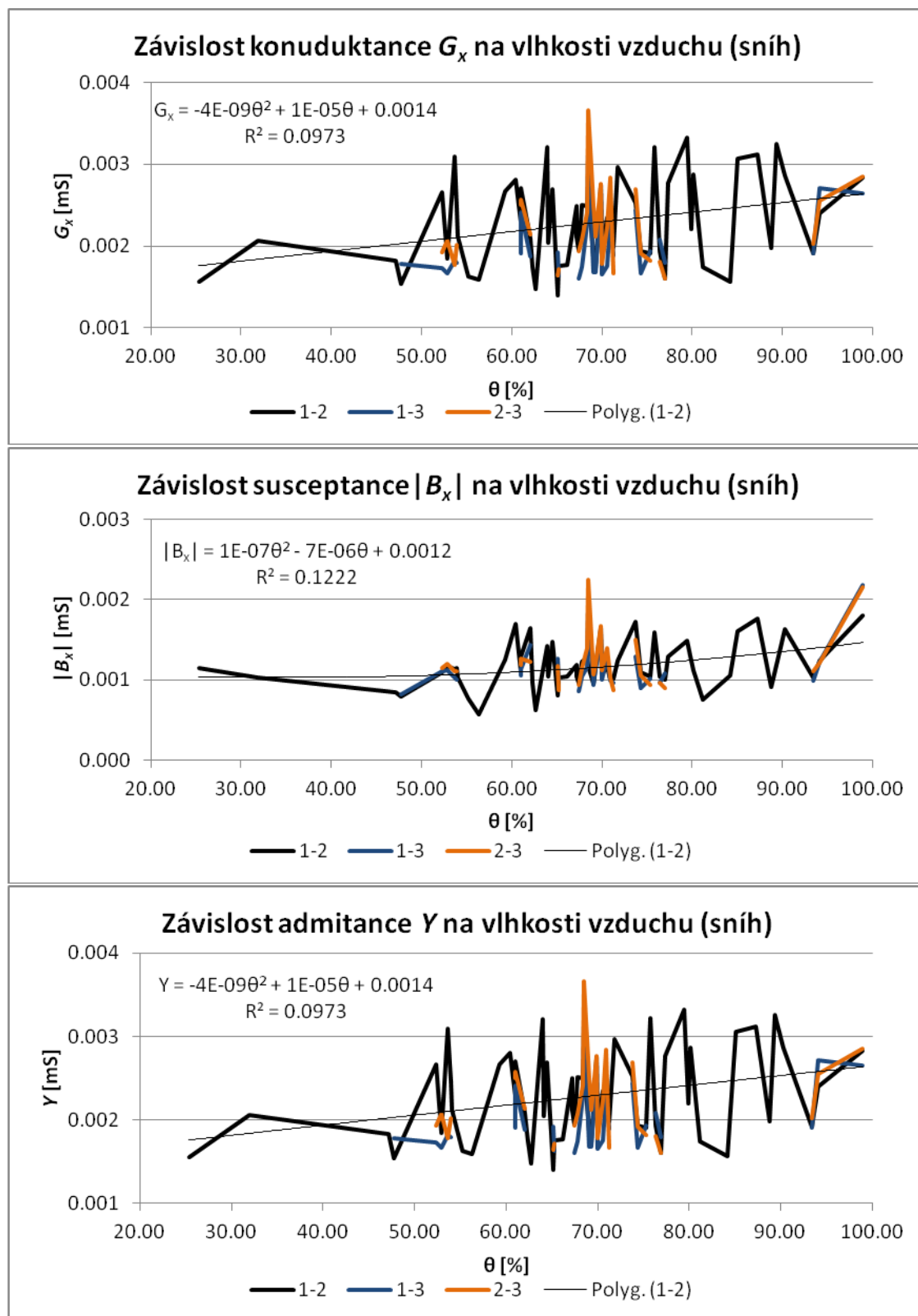
Na obrázku jsou také vyznačeny barevně výšky prvních elektrod na jednotlivých hranolech. Vlivem zvlněného terénu a nepříznivého počasí je na obrázku vidět, že po oblevách sněh nedosahoval ani k první elektrodě na hranolu č. 1, který byl ve výšce 0,045 m nad zemským povrchem.

Každý den jsem zapisoval i kolik elektrod je na jednotlivých tyčích ukryto pod sněhem, u kolika elektrod není sníh přilehlý a mezi kterými elektrodami se signál šíří pouze

vzduchem. Z následujících obrázků je zřejmý vliv stoupající vzdušné teploty (Obr. 7.6) a vlhkosti (Obr. 7.7) na průměrné měřené elektrické veličiny při průchodu signálu sněhem. Průběhy sledovaných elektrických veličin při průchodu generovaného střídavého harmonického signálu pouze vzduchem a sněhem, který nebyl přilehlý u elektrod, jsou uvedeny v příloze č. 1.



Obr. 7.6 Změna měřených elektrických veličin s teplotou vzduchu při průchodu elektrického signálu vrstvou sněhové pokrývky

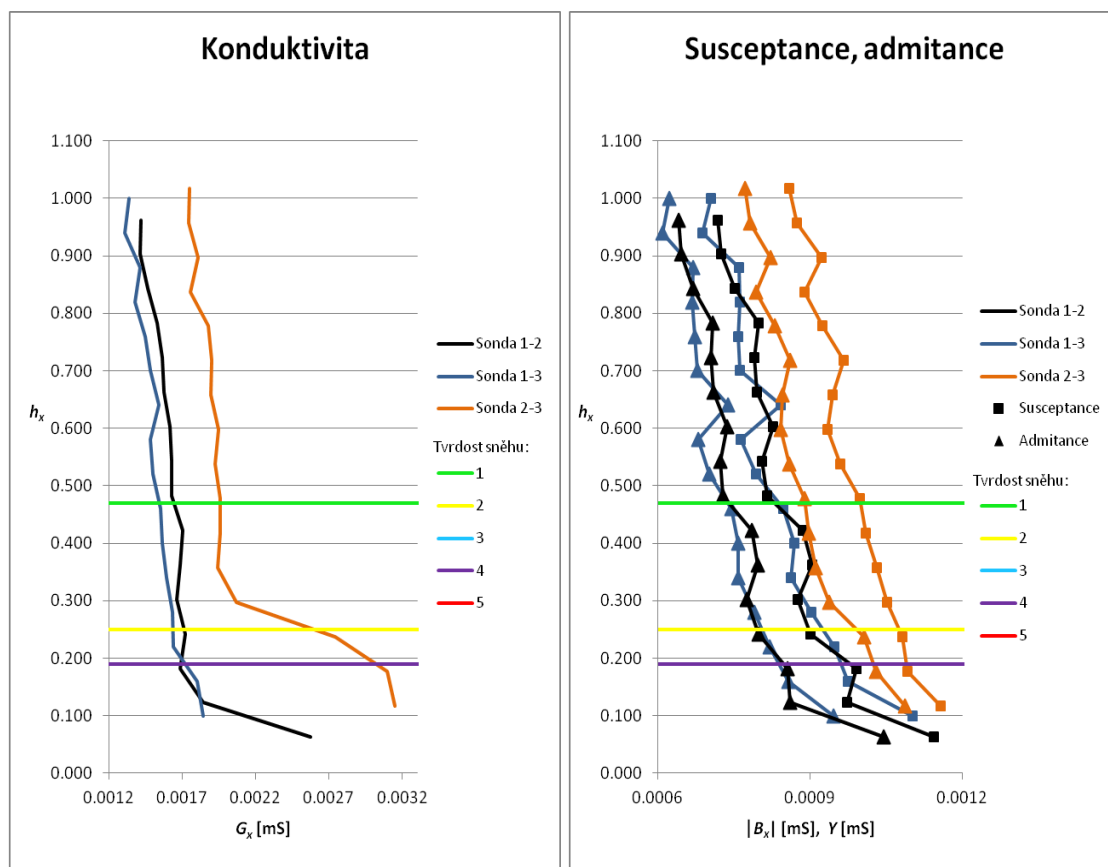


Obr. 7.7 Vliv relativní vlhkosti vzduchu na naměřené elektrické veličiny při průchodu sněhem

Jak vyplývá z předpokladu a je patrné z výše uvedených obrázků, teplota i relativní vlhkost okolního prostředí (vzduchu) ovlivňují nejen strukturu sněhové pokrývky, ale mají vliv i na měřené elektrické veličiny. Při proložení křivky druhého řádu je zřejmá

stoupající tendence elektrických veličin odvozených z měřených, rozptýl měřených hodnot kolem křivky je však značný.

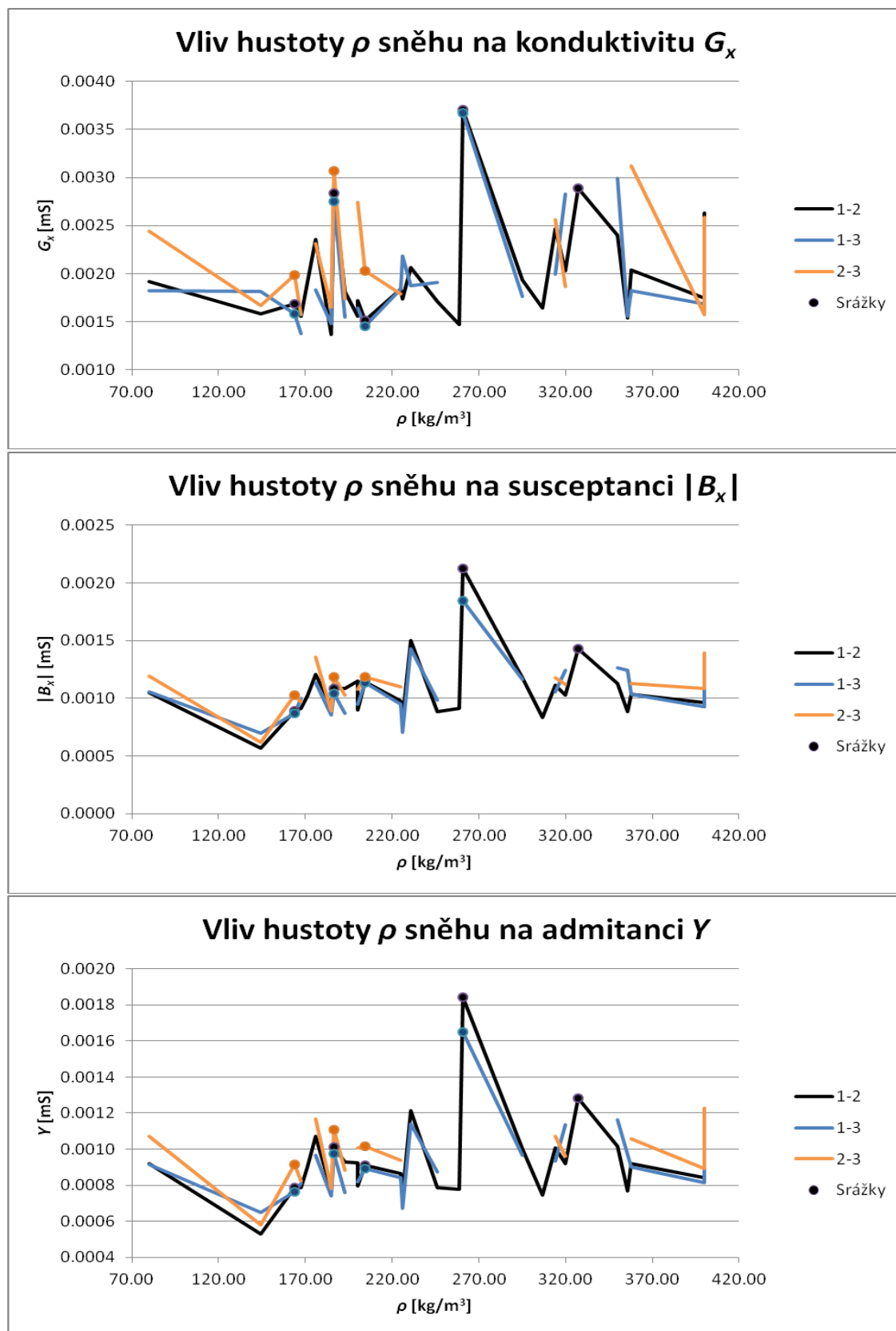
Pro stanovení vodní hodnoty sněhu je třeba znát výšku sněhu a jeho objemovou hmotnost, proto jsem každý týden odebíral vzorky sněhových vrstev poblíž místa měření, vážil je a dopočítával vodní hodnotu sněhu dle rovnice (15) a objemovou hmotnost dle rovnice (2). Určení výšky sněhu metodou EIS není vždy zcela jednoznačné (Obr. 7.8). Uvedená skutečnost může být způsobená jednak „hustotou“ dělení sondy (počet elektrod na plastovém hranolu), ale i kvalitou sněhu.



Obr. 7.8 Zjištěné průběhy hodnot elektrických veličin ze dne 23.2.2013

Je-li sníh hodně nakypřený a měkký nejde jednoznačně určit výšku sněhu, a to ani metodou přímou prostřednictvím stanovení tvrdosti vrstvy, ani nepřímou metodou EIS. Hodnoty konduktance jsou ve velmi měkkém sněhu (tvrdost č.1) téměř shodné. U sondy 2-3 je znatelný nárůst elektrické vodivosti již u tvrdosti č. 2 (měkký sníh). Výraznější nárůst hodnot susceptance a admittance je patrný až při tvrdosti č. 4 (tvrdý sníh).

Stanovení vzájemných souvislostí mezi objemovou hmotností sledované vrstvy sněhové pokrývky a měřeními resp. z měření odvozenými elektrickými veličinami je ještě obtížnější. Z vypočtených objemových hmotností a naměřených elektrických veličin se zatím nepodařilo nalézt žádnou funkční závislost.



Obr. 7.9 Změna měřených elektrických veličin s hustotou vrstvy sněhové pokrývky (včetně vlivu srážek)

Na vyšší naměřené hodnoty elektrických veličin měly kromě již uvedené vzdušné teploty a relativní vlhkosti vliv i atmosférické srážky, jak je zřejmé z Obr. 7.9.

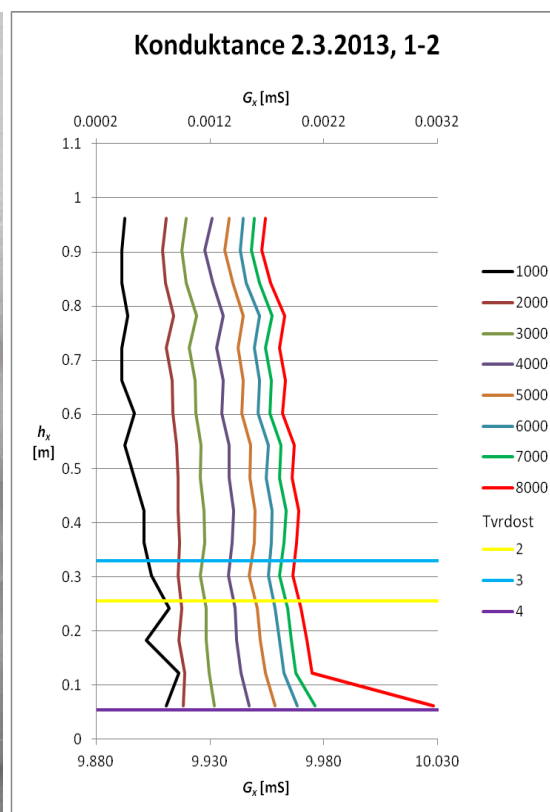
7.3 MĚŘICÍ FREKVENCE

Na začátku března 2013, v termínu od 1. do 3., jsem zkoušel, jaká frekvence generovaného střídavého harmonického signálu bude pro měření sněhové pokrývky nejvhodnější. Ve zvoleném termínu probíhala druhá obleva, což mělo vliv na kvalitu sněhu (Obr. 7.10). Na stanovišti bylo přes 0,3 m sněhu. Při monitorování jsem používal frekvenci 8000 Hz. Poněvadž se však jedná o pilotní experimenty s měřicí aparaturou a nestandardní uplatnění metody elektrické impedanční spektrometrie, nebylo zaručené a ani ověřitelné, zda je zvolená frekvence nejvhodnější.

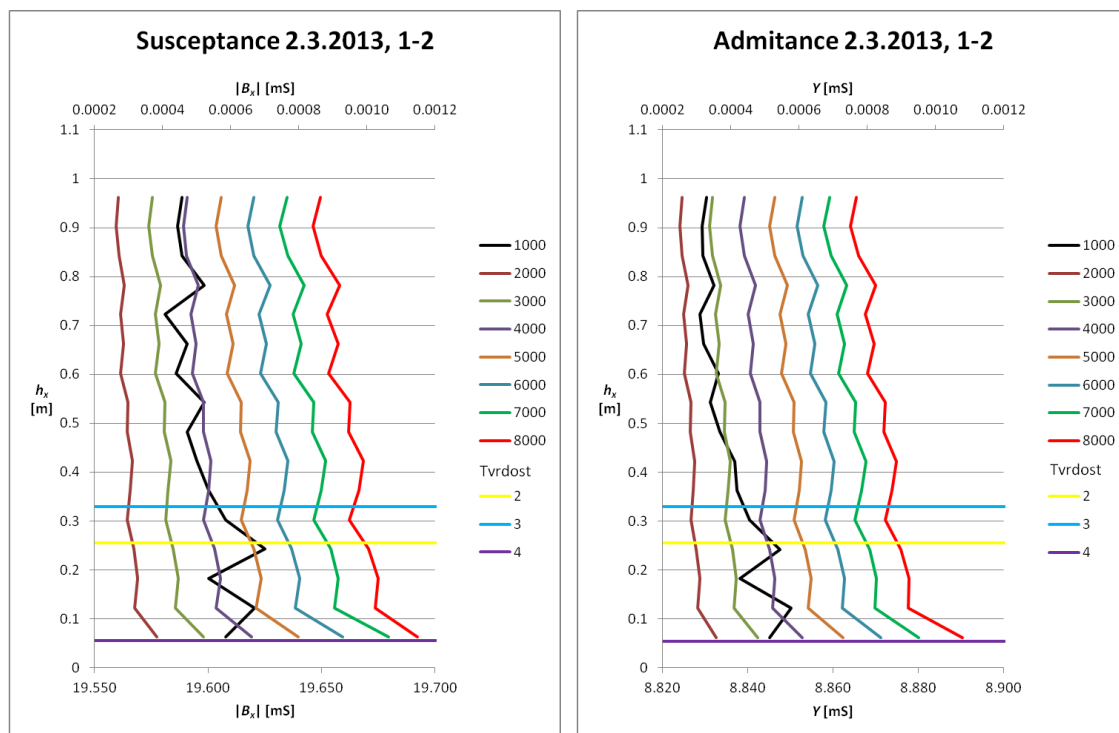
Frekvenční analýzu přístrojem Z-metr III jsem provedl ve frekvenčním pásmu od 1000 Hz do 8000 Hz s krokem 1000 Hz. Při uvedeném nastavení přístroj Z-metr III prováděl měření automaticky. Na každé sondě bylo pro každou frekvenci změřeno 10 hodnot, ze kterých jsem pro další zpracování stanovil aritmetický průměr. Z-metr III začal vždy na frekvenci 1000 Hz, provedl jedno měření a pokračoval na frekvenci 2000 Hz, postupně až do 8000 Hz a postup opakuoval desetkrát.



Obr. 7.10 Sněhový profil 2.3.2013



Obr. 7.11 Frekvenční analýza - konduktance



Obr. 7.12 Naměřená susceptance a admittance – různé frekvence

Z obrázků 7.11 a 7.12 je patrné, že frekvence 1000 Hz vykazuje výrazně odlišné hodnoty měřených elektrických veličin. Hodnoty u frekvence 1000 Hz jsou až 10 tis. krát větší než u ostatních frekvencí. I kvalitou zobrazení se výrazně liší, hlavně hodnoty susceptance a admittance (konduktance, stejně jako rezistance, je v teoretické rovině za ideálních podmínek měření veličina frekvenčně nezávislá). Při měřicí frekvenci 1000 Hz jsou měřené hodnoty elektrických veličin při průchodu budícího elektrického signálu sněhem velice rozkolísané. Je diskutabilní, zda se jedná o vyšší citlivost měřicí aparatury vůči měřenému prostředí či naopak, zda se jedná o měřicí frekvenci pro dané prostředí zcela nevhodnou. Uvedené problematice je třeba věnovat pozornost a minimálně provést frekvenční analýzu v oblasti 1000 Hz s menším krokem např. 100 Hz. U ostatních frekvencí od 2000 Hz do 8000 Hz je charakter křivek obdobný, kdy hodnoty sledovaných elektrických veličin vykazují nárůst směrem k zemskému povrchu. Pro určení vrstev sněhové pokrývky je významnou veličinou susceptance, která rozlišuje strukturu vrstev sněhové pokrývky. Zde je zřejmé, že čím vyšší je měřicí frekvence, tím je vyšší i citlivost na změny sněhových vrstev. Uvedený výsledek by mohl napovídat, že měřicí frekvence 1000 Hz není pro monitorování sněhové pokrývky vhodná a jedná se spíše o chybové měření. Stejně tak mírně zvýšené hodnoty susceptance a tím i admittance v oblasti kolem 0,8 m jsou pravděpodobně způsobeny nečistotami na snímači.

Na výše uvedených obrázcích jsou znázorněny a diskutovány výsledky pouze pro sondu 1-2 a jeden den měření (2. března 2013). V příloze č. 2 jsou výsledky ze všech instalovaných sond a tří dnů měření. Výsledky jsou kvalitativně podobné jako prezentované měření a ukazují, že zvolená měřicí frekvence Z-metru III by pro uvedený experiment monitorování vrstev sněhové pokrývky mohla být vhodná.

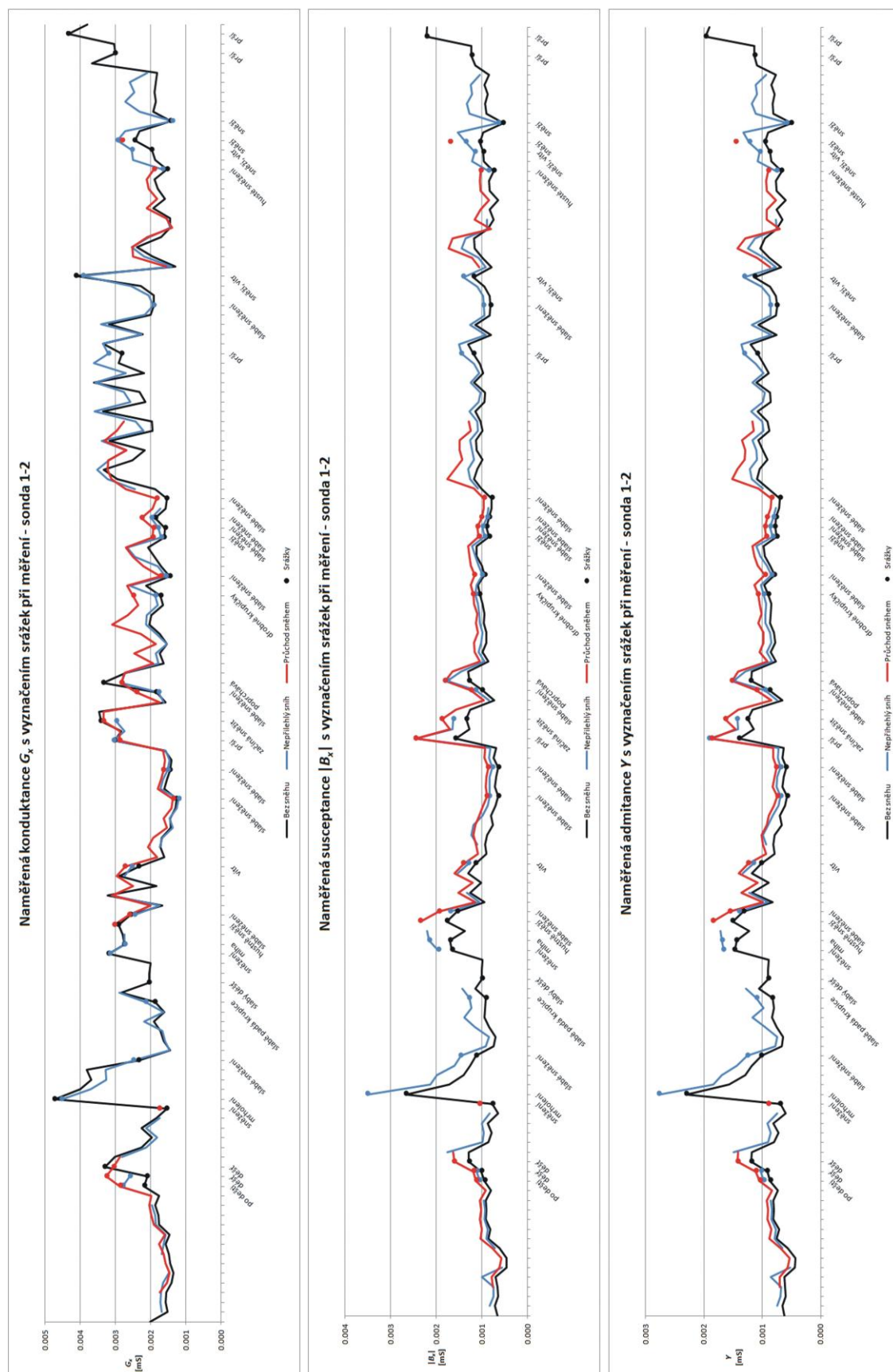
7.4 VLIV SRÁŽEK

Jak bylo napsáno již výše, atmosférické srážky rovněž významně ovlivňují hodnoty měřených elektrických veličin. Během monitorování na stanovišti v Rokytnici se vyskytly srážky 34krát. Výskyt srážek a ovlivnění měření elektrických veličin sondou 1-2 je zobrazen na Obr. 7.14. Z obrázku je parné, že záleží na typu a intenzitě srážky. Dešťové srážky mají na zvýšení hodnot elektrických veličin větší vliv jak srážky sněhové nižší intenzity. Po dešťových srážkách zůstávají měřené hodnoty elektrických veličin zvýšené, což je způsobeno vyšším obsahem volné vody ve sněhu a delším zadržením odtoku volné vody.

Dále je patrné, že úroveň měřeného elektrického signálu, při frekvenci střídavého harmonického budicího signálu 8000 Hz s amplitudou 1 V, vykazuje ve sněhové pokrývce vyšší hodnoty měřených elektrických veličiny téměř ve všech měřených případech, kdy je sníh přilehlý k měřicí sondě. Tuto skutečnost vysvětlují faktem, že se jedná o kontaktní měřicí metodu. Tedy, je-li sníh přilehlý měřicím sondám, je generované elektrické a následně i slabé magnetické pole pouze ve sněhové vrstvě vymezené plochami protilehlých elektrod jednotlivých snímačů. Pokud je měření prováděno bez sněhové pokrývky nebo v nepřilehlé sněhové pokrývce, je v prvním případě sledován především vliv změn obsahu atmosférické vody (vlhkost a znečištění vzduchu, srážka) a teploty vzduchu a ve druhém případě se k těmto parametrům řadí ještě elektrické vlastnosti sněhové pokrývky nacházející se ve sledovaném elektromagnetickém poli. Srážky mohou být nejen kapalné a tuhé, jak již bylo uvedeno, ale i vertikální a horizontální. V důsledku horizontální srážky může výška sněhové pokrývky resp. fiktivního elektrického vodiče v prostoru mezi elektrodami snímače narůstat i klesat, což rovněž ovlivní jeho elektrické vlastnosti. Dalším fenoménem může být znečištění, a to třeba i námrazou, plochy elektrod (Obr. 7.13).

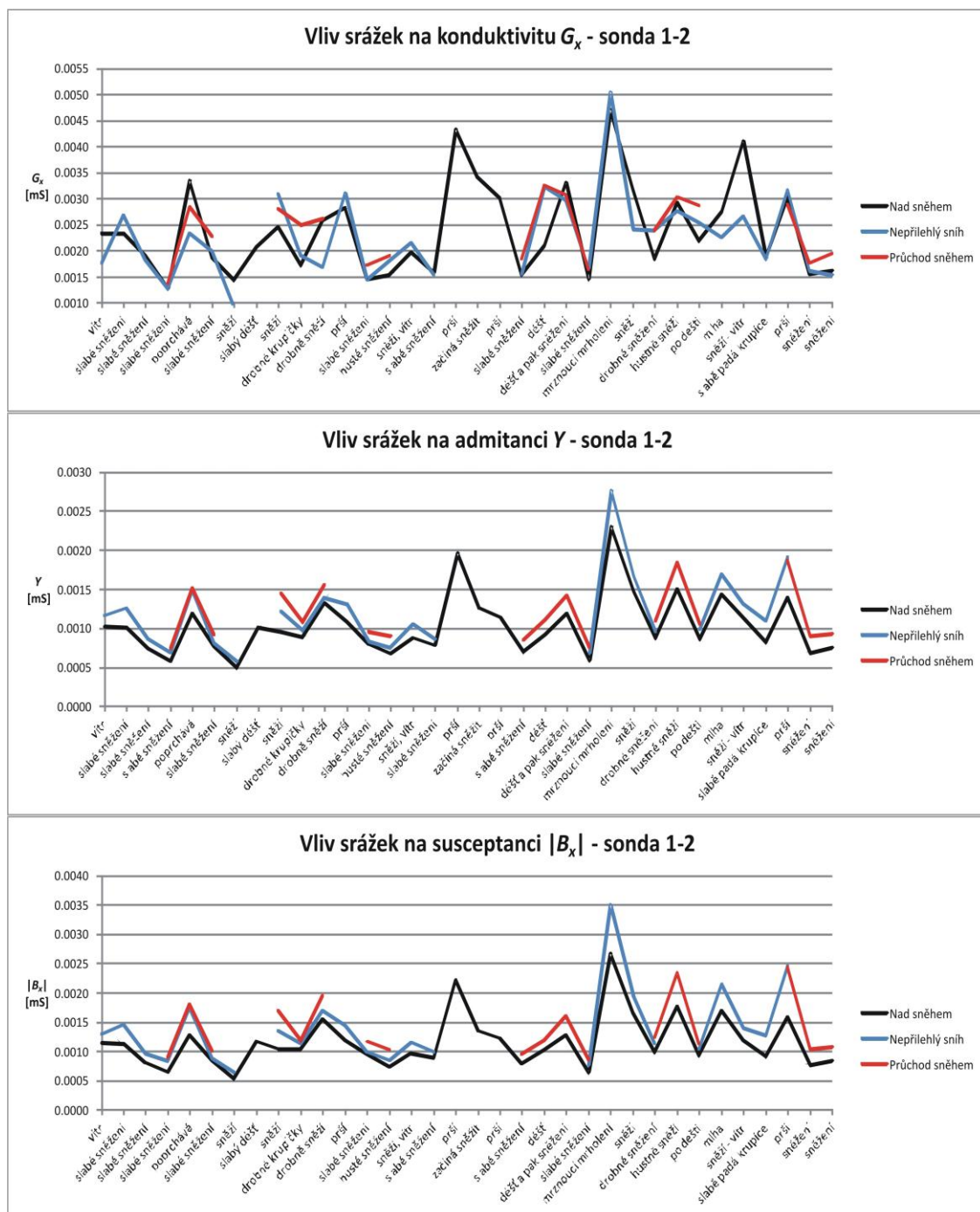


Obr. 7.13 Znečištění elektrod deštěm (vlevo) a námrazou (vpravo)



Obr. 7.14 Naměřené elektrické veličiny s vyznačením srážek

Sněhové srážky o nízké intenzitě, dle mého subjektivního hodnocení, nemají velký vliv na rozptýl hodnot sledovaných složek elektrické veličiny (Obr. 7.15) při uvedených konfiguracích. Data, na Obr. 7.15, jsou seřazena vzestupně podle naměřených srážek na meteorologické stanici v Rokytnici v Orlických horách, kterou provozuje ČHMÚ.



Obr. 7.15 Vliv srážek na měřené elektrické veličiny

Největší výchylka je měřených hodnot je zaznamenána 25. prosince 2012. Sondy i vodiče byly pokryty ledem od mrznoucího mrhnutí (Obr. 7.16). Z obrázku (Obr. 7.15) je také patrné, že přenos elektrického signálu sněhem, i když nebyl úplně přilehlý u hranolů s elektrodami, vykazuje větší naměřené elektrické veličiny.



Obr. 7.16 Vodiče pokryty ledem



Obr. 7.17 Hranol a elektrody pokryty ledem

8 EXPEDIČNÍ MĚŘENÍ

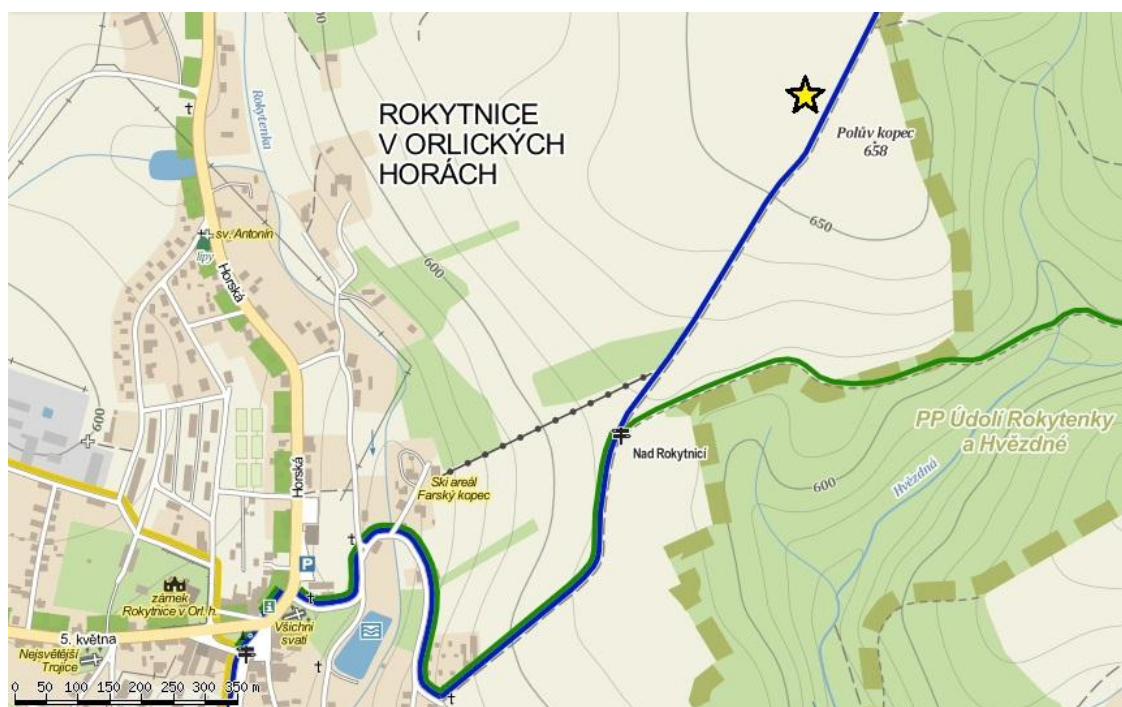
Expediční měření jsem prováděl v okolí Rokytnice v Orlických horách. Jelikož v prosinci 2012 a lednu 2013 nebyly sněhové srážky v České republice vydatné, jel jsem na přelomu ledna a února 2013 do rakouských Alp do oblasti Wilschonau. Všechna měření byla provedena z důvodu sběru co největšího množství dat z důvodu možnosti posouzení vhodnosti měřicí aparatury s přístrojem Z-metr III pro uvedenou aplikaci.

8.1 ORLICKÉ HORY

Terénní sběr dat jsem prováděl v okolí Rokytnice v Orlických horách. Nejvíce měření jsem provedl na Polově kopci (Obr. 8.1), celkem sedm. Po jednom měření jsem provedl nedaleko Pěticestí (Obr. 8.9) a v nahrnuté kupě za panelovým domem, ve kterém bydlím (Obr. 8.13).

8.1.1 Polův kopec

Polův kopec se nachází severovýchodně od centra Rokytnice v Orlických horách (Obr. 8.1). Přes kopec vede běžecká stopa směrem k dělostřelecké tvrzi Hanička a dále pak více do hor.



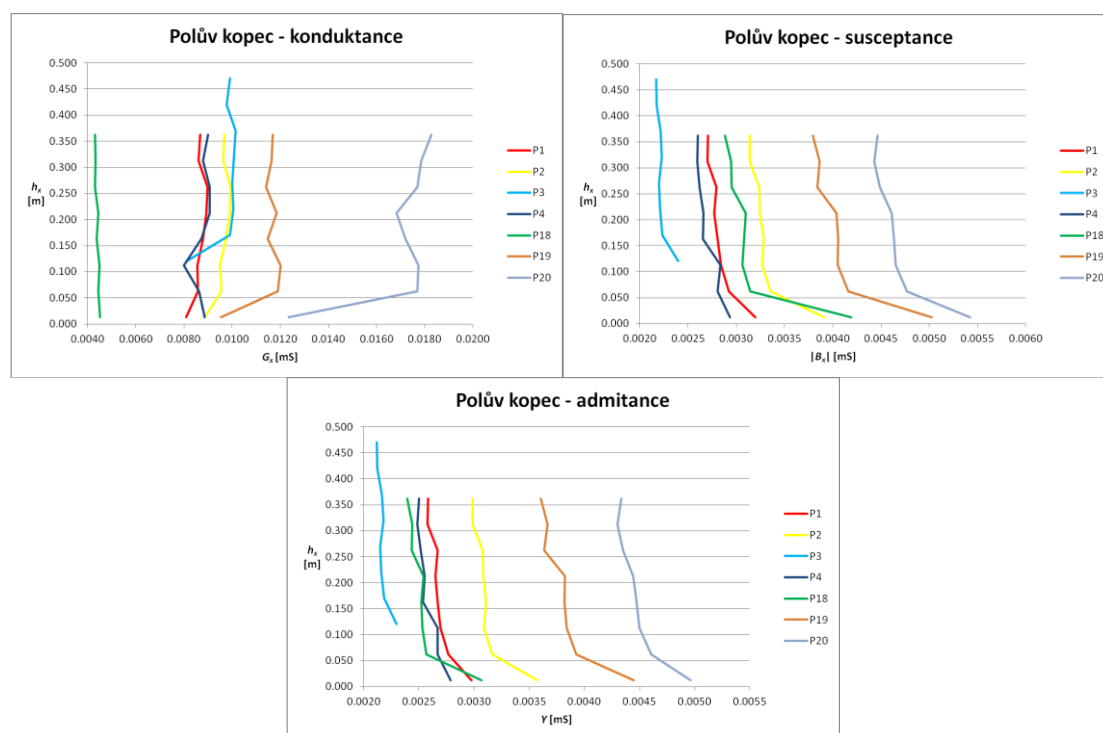
Obr. 8.1 Vyznačené místo monitoringu na Polově kopci (žlutá hvězda) [2]

Na Polově kopci jsem měřil ve dvou termínech. Poprvé jsem na kopec vydal 23. ledna 2013. Na místě byla teplota vzduchu $-3,6^{\circ}\text{C}$, vlhkost vzduchu jsem neměřil, protože vlhkoměr byl v uvedenou dobu porouchaný a byl na reklamaci.

V následující tabulce a obrázku jsou shrnuta všechna měření na Polově kopci. Vodní hodnotu sněhu jsem vypočetl podle vztahu (15), hustotu sněhových vrstev podle vztahu (2) a pórovitost podle vztahu (5). Dále v textu jsou naměřené elektrické veličiny komentovány.

Tab. 8.1 Naměřené a vypočtené hodnoty na Polově kopci

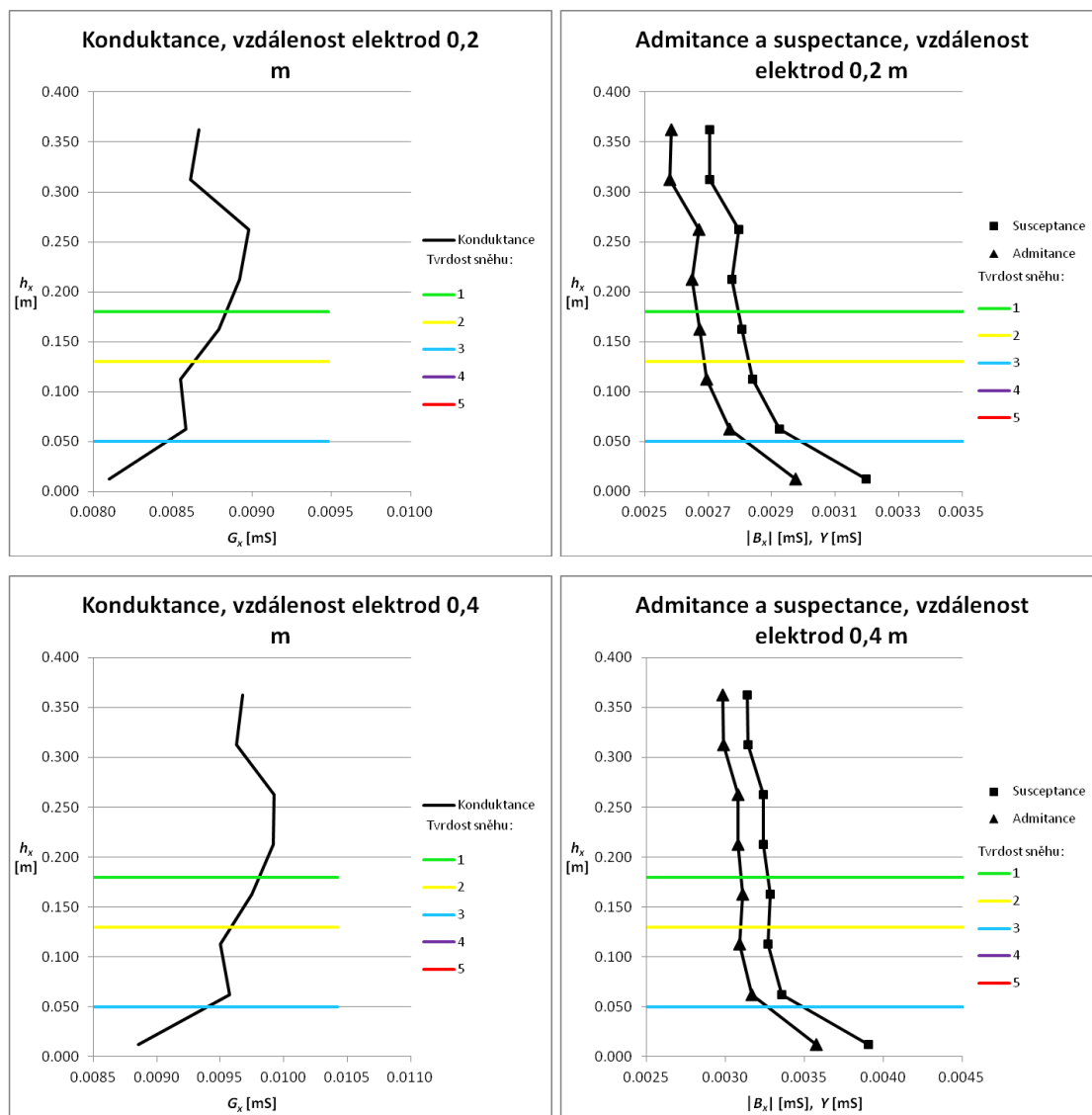
Ozn.	Vzdálenost elektrod [m]	Teplota [°C]		Φ [%]	h [m]	m [kg]	SWE [mm]	ρ [kg/m ³]	n [%]	Tvrdost	Místo
		vzduch	sněh								
P1	0.2	-3.60	2.2		0.050	0.31	62	344.4	65.56	1	Polův kopec - volný terén
			1.3		0.080					2	
			-0.2		0.050					3	
P2	0.4	-3.60	2.2		0.050	0.31	62	344.4	65.56	1	Polův kopec - volný terén
			1.3		0.080					2	
			-0.2		0.050					3	
P3	0.4	-3.60	1.3		0.045	0.31	62	344.4	65.56	3	Polův kopec - běžkařská stopa, jen spodní elektrody
			-0.8		0.100					4	
P4	0.4	-3.60	1.3		0.045	0.31	62	344.4	65.56	3	Polův kopec - běžkařská stopa
			-0.8		0.100					4	
P18	0.4	-0.42	4.7	69.05	0.170	0.21	42	247.1	75.29	1	Polův kopec - volný terén
P19			4.6		0.070	0.16	32	457.1	54.29	4	Polův kopec - oranžový na modrém
P20											Polův kopec - modrý na oranžovém



Obr. 8.2 Naměřené elektrické veličiny na Polově kopci

První dvě měření (P1 a P2) jsem provedl ve volném terénu, kde se nacházelo 0,18 m sněhu o hmotnosti 0,31 kg, vodní hodnota sněhu měla hodnotu 62 mm. Pórovitost celého profilu jsem výpočtem stanovil na hodnotu 65,6 %. Při prvním měření jsem dal elektrody do vzdálenosti 0,2 m. Vzdálenost se prokázala jako nedostatečná. V prostoru mezi sondami nebyl dostatečný prostor pro odběr vzorku sněhu sněhoměrným válcem a určení tvrdosti sněhu. Při druhém měření jsem vzdálenost zdvojnásobil, tedy měřený prostor byl široký 0,4 m. Provedl jsem ještě další testovací měření, kdy jsem vzdálenost zvětšil o 0,2 m na 0,6 m, průběh sněhových vrstev byl však již podstatně změněn. Vzdálenost 0,4 m se ukázala jako optimální, proto jsem ji při dalších měřeních již neměnil.

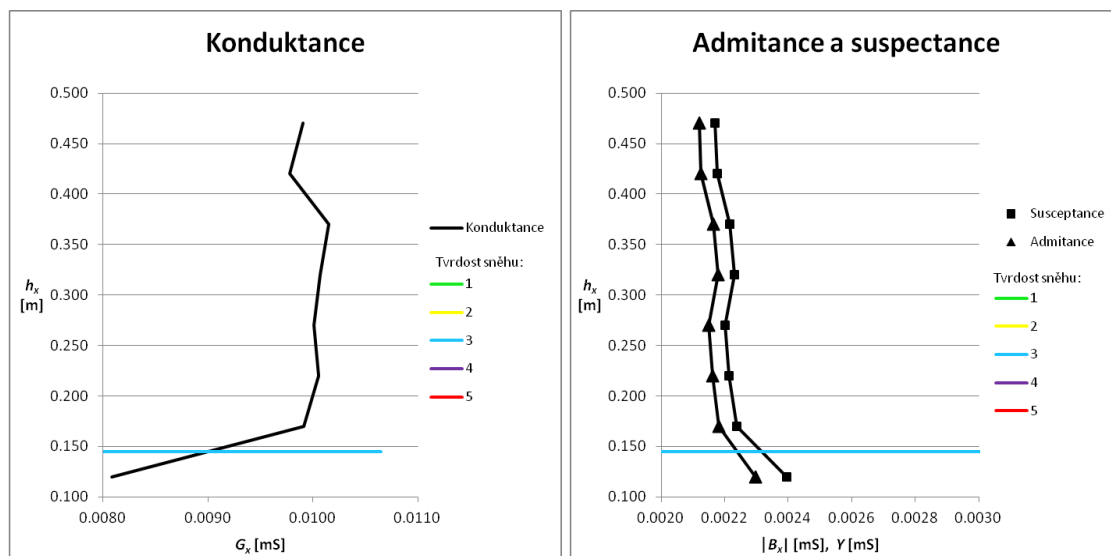
Z Obr. 8.3 je patrný kvalitativně shodný průběh naměřených veličin. Křivky jsou pouze posunuty a v horní části grafu je možné vidět narovnávání křivky, které mohlo být způsobeno delším pobytem vodičů na sněhové pokrývce.



Obr. 8.3 Naměřené elektrické veličiny při vzdálenosti elektrod 0,2 m (P1) a 0,4 m (P2)

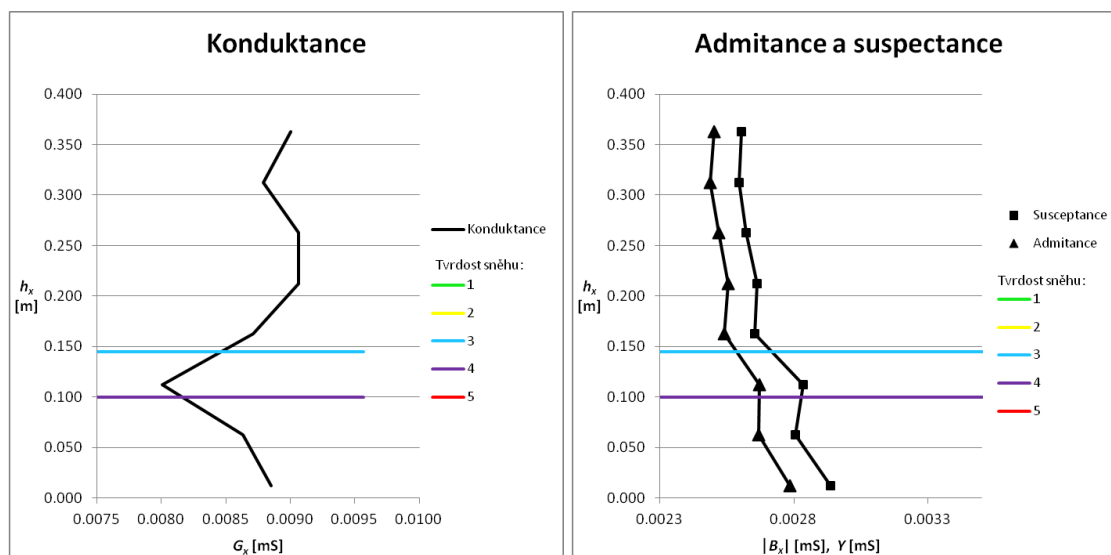
Na obrázku je také vidět rozložení tvrdosti sněhové pokrývky. Na povrchu byl čerstvý sníh tvrdosti č. 1, postupně, směrem k zemskému povrchu, tvrdost stoupala až na hodnotu č. 3. S měnící se tvrdostí postupně klesala konduktance, což by znamenalo, že s rostoucí tvrdostí, a tedy i postupným snižováním volného prostoru mezi vločkami sněhu, klesá obsah volné vody. Při průchodu signálu tvrdší vrstvou sněhu dochází k větší deformaci signálu, jak znázorňují naměřené hodnoty admittance a susceptance.

Na Polově kopci jsem také měřil poblíž běžkařských stop (P3 a P4), kde byl sníh udusán sněžnou rolbou na tvrdost č. 3 a č. 4 (Obr. 8.5), směrem k zemi. Hmotnost sněhu byla stejná, tedy 0,31 kg, a vypočtená pórovitost celého profilu 57,4 %. Nejdříve jsem provedl kontrolní měření, při kterém byl pouze jeden snímač ve sněhu. Naměřené hodnoty jsou prezentovány na Obr. 8.4.



Obr. 8.4 Běžkařská stopa – 1 snímač ve sněhu (P3)

Při dalším měření byly již ve sněhu snímače tři a naměřené hodnoty jsou zřejmé z Obr. 8.4.

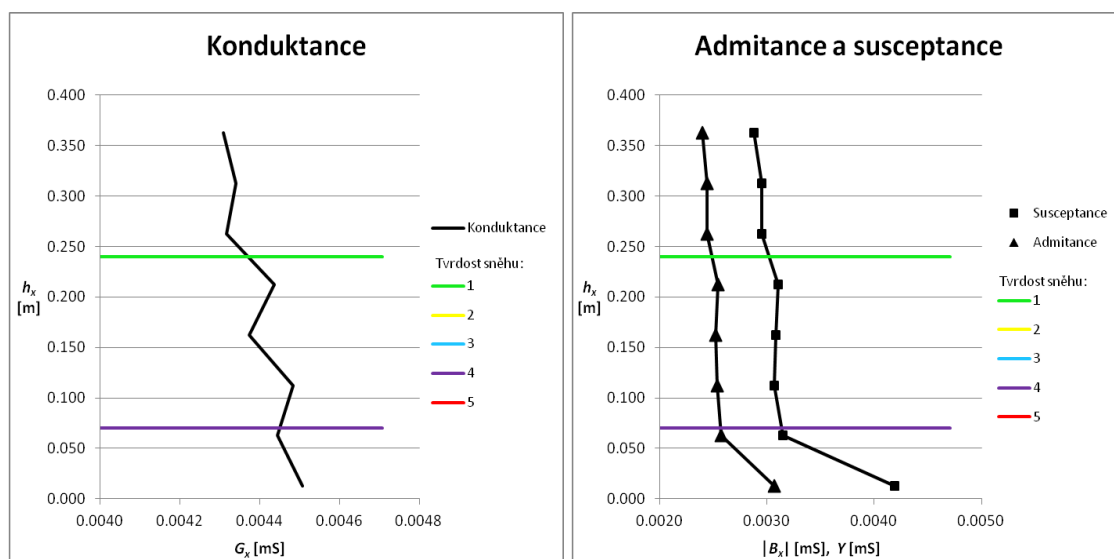


Obr. 8.5 Běžkařská stopa – celý profil (P4)

Z grafů je patrné, že hodnota elektrické vodivosti naměřená ve výšce kolem 0,12 m je téměř shodná (0,008 mS), dále je také vidět stoupající hodnota elektrické vodivosti s rostoucí tvrdostí sněhu, což je jev opačný než u hodnot naměřených ve volném terénu. Váha sněhové rolby mohla vytlačit vodu z kapilár a tím vzrostla i hodnota konduktance. Admittance a susceptance se mění postupně s tvrdostí sněhu.

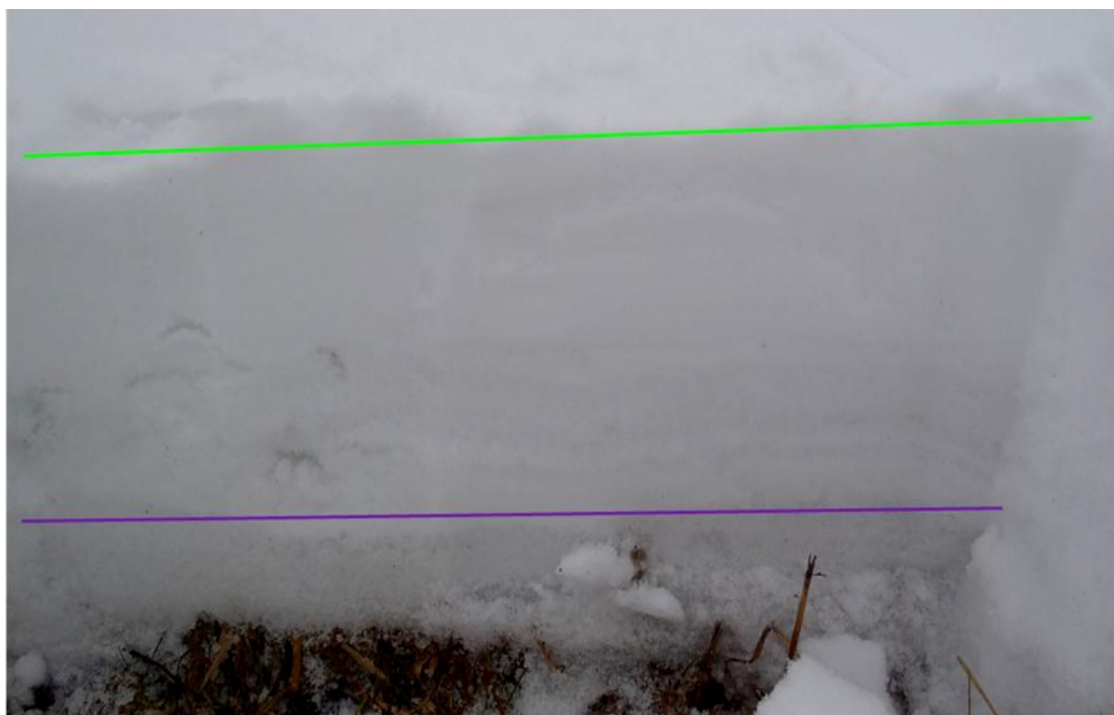
Druhou sadu měření na Polově kopci jsem naměřil 16. února 2013. Měření jsem prováděl pouze ve volném terénu, protože poblíž běžkařských stop byl sníh velice tvrdý a nepodařilo se mi zarazit sondu až k zemskému povrchu. Teplota vzduchu v době měření byla -0,4 °C a vlhkost vzduchu 69,1 %. Při měření elektrických veličin jsem také zkoumal, jaký vliv má položení vodičů na sobě (vliv parazitní impedance) při stejném zapojení vstupu a výstupu signálu.

Nejdříve jsem provedl měření s vodiči vstupními a výstupními odděleně (P18) (Obr. 8.6), poté jsem položil oranžové vodiče na modré (P19) a poté naopak (P20) (Obr. 8.8).

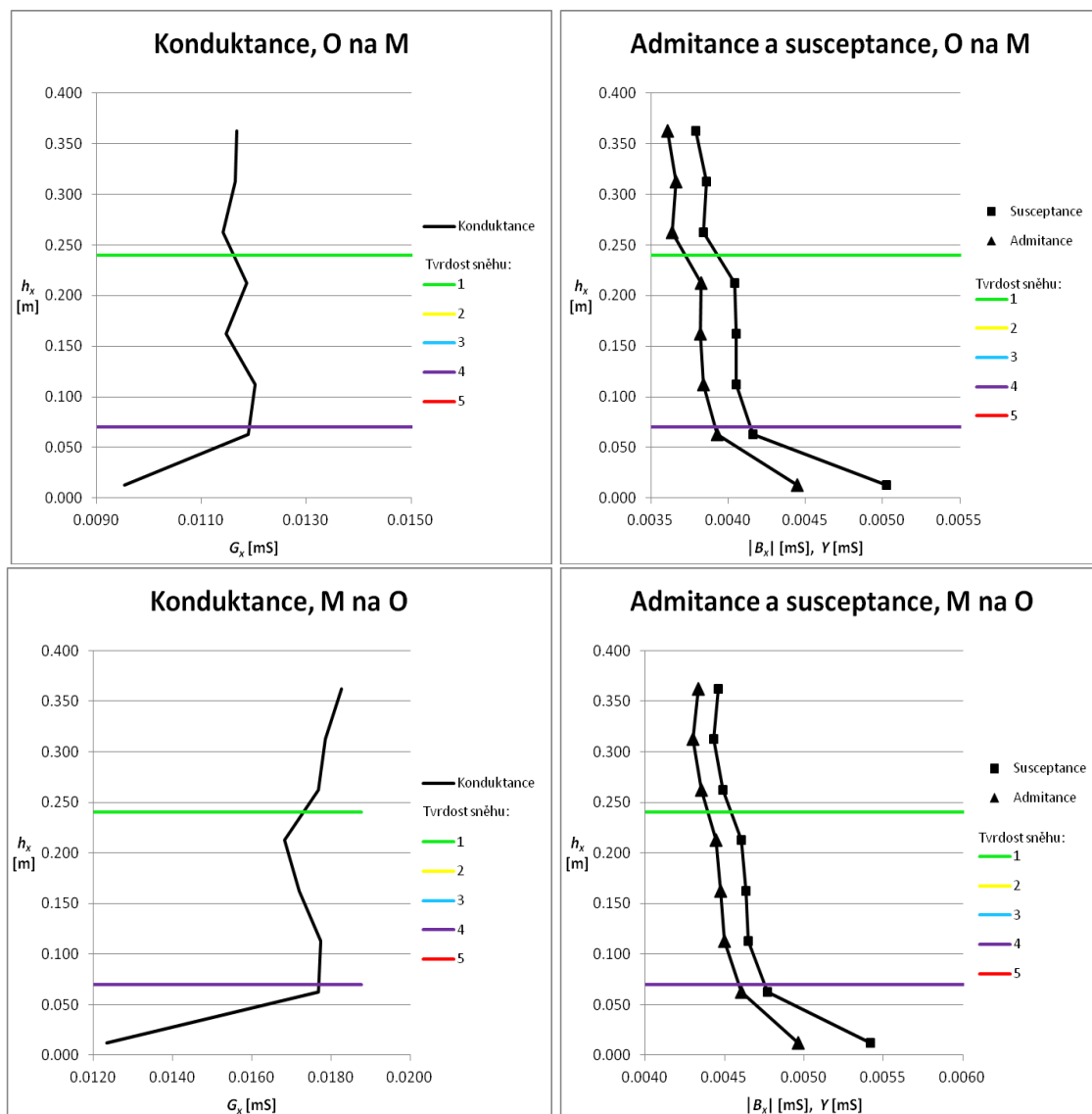


Obr. 8.6 Vyhodnocení měření 16.2.2013 (P18)

Ve spodní vrstvě se nacházely sněhové krystaly, tvrdost č. 4, hmotnost 0,16 kg, hustota 457 kg/m³, (Obr. 8.7), které přispěly k navýšení hodnot susceptance a tedy i admitance. Na krystalech ležela vrstva vysoká 0,17 m sedlého sněhu tvrdosti č. 1, hmotnost 0,21 kg, hustota 247 kg/m³.



Obr. 8.7 Ledové krystaly ve spodní vrstvě 16.2.2013

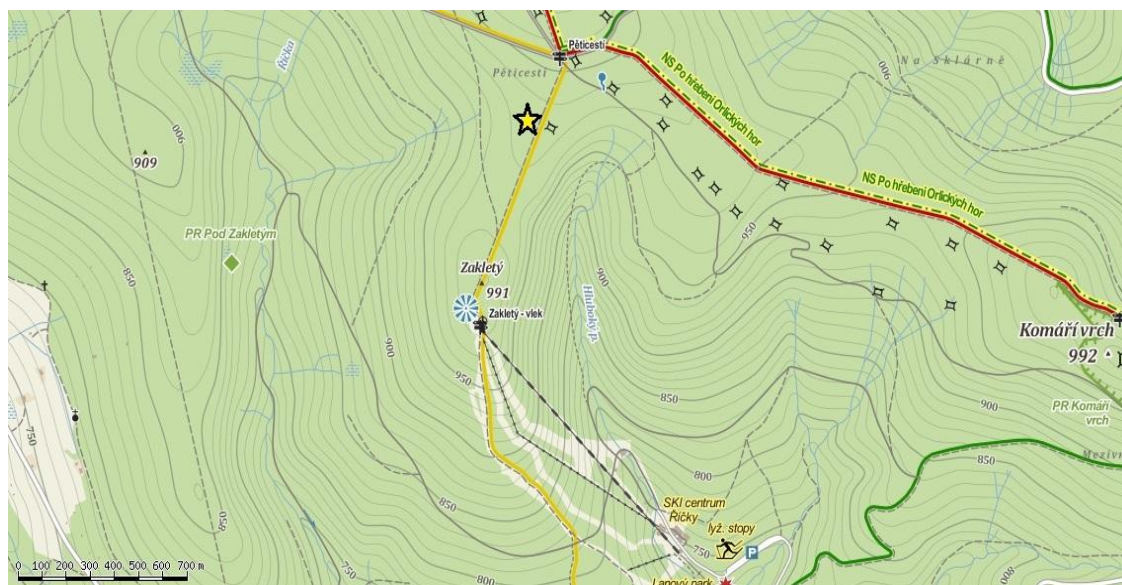


Obr. 8.8 Vliv uložení vodičů (M – modrý, O – oranžový) (P19 a P20)

Mezi naměřenými hodnotami admittance a susceptance při měření s oddělenými vodiči a překrývajícími se vodiči nelze pozorovat výraznější rozdíl. Hodnoty postupně stoupající mohly být způsobeny delším pobytem vodičů na sněhové pokrývce. Výraznější rozdíl je vidět v hodnotách konduktance, kde hodnoty celkově výrazně vzrostly, ale hlavně je vidět výrazné snížení hodnot v oblasti krystalů u překrývajících se vodičů, což mohlo být způsobeno většími vzduchovými kapsami mezi krystaly ledu.

8.1.2 Pěticestí

Pěticestí leží 1 km od konečné lanové dráhy Zakletý – vlek. Na Pěticestí se nachází občerstvení. Měření probíhalo přibližně 100 m od občerstvení (Obr. 8.9) poblíž běžkařské stopy, která je upravována sněžnou rolbou. Místo je na Obr. 8.9 vyznačeno žlutou hvězdou.



Obr. 8.9 Vyznačení místa měření nedaleko Pěticestí



Obr. 8.10 Pohled na měřicí stanoviště u Pěticestí

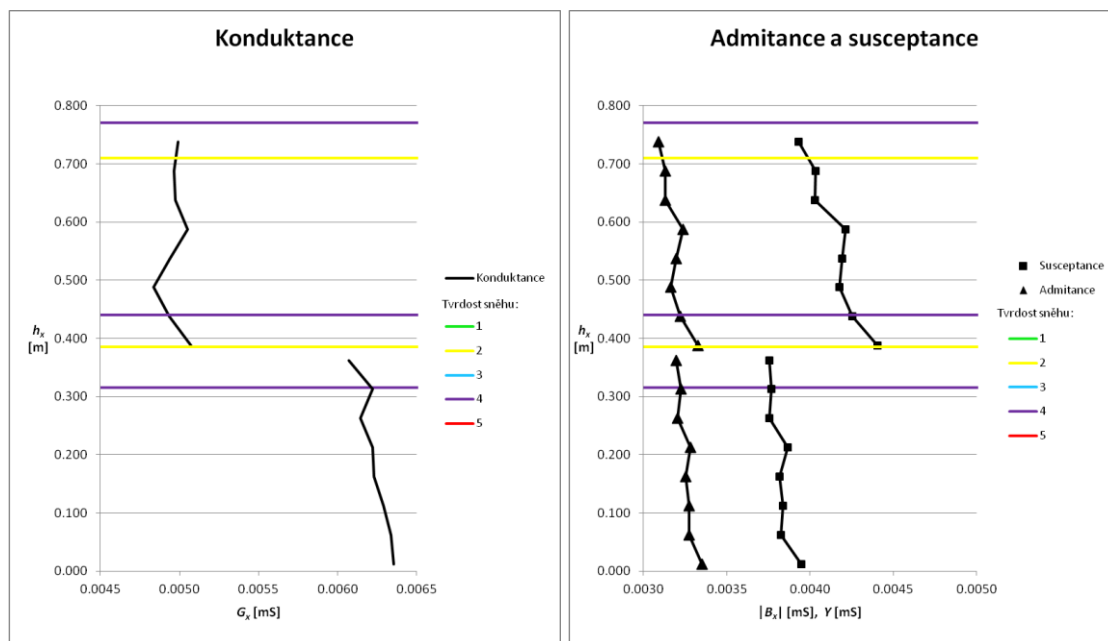
V době měření bylo na stanovišti 0,77 m sněhu, se střídající se tvrdostí (Obr. 8.11) č. 4 a č. 2 (Tab. 8.2). Poněvadž mobilní sonda, kterou jsem používal pro expediční měření, byla celkové délky 0,375 m, musel jsem měření provádět ve dvou krocích. Přestože jsem se snažil do sněhové pokrývky v místě měření zasáhnout co nejméně, výsledné hodnoty z měření stanovených veličin vykazují v místě navázání obou po hloubce měřených úrovní posun (Obr. 8.12). V době měření byla teplota vzduchu $-0,23^{\circ}\text{C}$ a vlhkost vzduchu 62,9 %.

Tab. 8.2 Naměřené hodnoty sněhových vrstev

h [m]	m [kg]	SWE [mm]	ρ [kg/m ³]	n [%]	tvrdost
0.060	0.10	20	333.3	66.67	4
0.270	0.39	78	288.9	71.11	2
0.055	0.09	18	327.3	67.27	4
0.070	0.09	18	257.1	74.29	2
0.315	0.72	144	457.1	54.29	4



Obr. 8.11 Rozdělení tvrdostí v profilu u Pěticestí



Obr. 8.12 Stanovené elektrické veličiny na stanovišti u Pěticestí

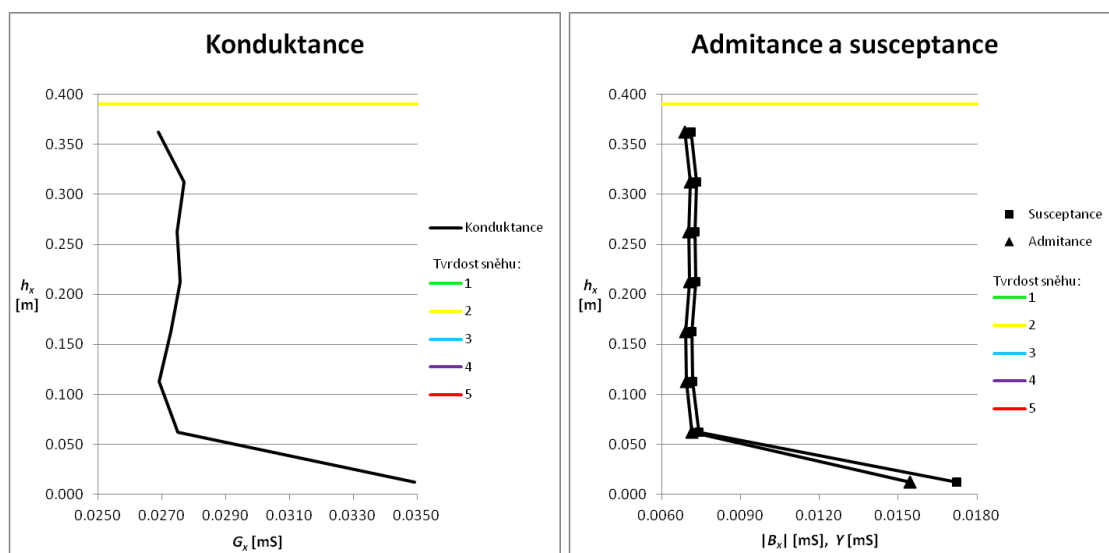
Z grafů není patrný ostřejší přechod mezi jednotlivými vrstvami stanovenými dle stupnice tvrdosti. Je zřejmý vliv manipulace se sondou ve sněhové pokrývce při měření ve větší hloubce směrem k zemskému povrchu. Hodnoty konduktance se zvýšily o 0,001 mS, což představuje změnu hodnot o 20% a naopak hodnoty admittance a susceptance klesly. Z průběhu konduktance je rovněž zřejmé, že v první části měřeného profilu ve směru od povrchu sněhové pokrývky se vyskytují změny v měřených hodnotách v hloubce 0,6 m a 0,5 m. Lze tedy vyjádřit předpoklad, že z hlediska elektrických vlastností uvedená vrstva není homogenní, byť návaznost na tvrdost sněhu se prokázat nepodařilo. K „nastavení“ sondy došlo v místě změny tvrdosti sněhové pokrývky. Je proto obtížné jednoznačně vyjádřit skutečnou příčinu diskutované změny (porušení prostředí vlivem manipulace, rozdílné vlastnosti měřené vrstvy, vliv teploty a především vzdušné vlhkosti na kontakty při kabelovém propojení přístroje a sondy, jiné uložení kabelů a tím výraznější podíl parazitní impedance na měřených hodnotách, náročnost povětrnostních podmínek apod.).

8.1.3 U bytu

Dne 8. března 2013 jsem provedl měření v urbanizovaném území, za panelovým domem (Obr. 8.13), ve kterém bydlím, v kupě nahrnutého sněhu v době tání a po krátkém dešti. Místo měření je vyznačeno opět žlutou hvězdou. Výška sněhové pokrývky v měřeném profilu byla 0,4 m a celý profil byl velice vlhký. Teplota vzduchu byla 4,53 °C a relativní vlhkost vzduchu 83,8 %. Hmotnost vzorku sněhové pokrývky z profilu 0,94 kg a vypočtená objemová hmotnost celého profilu byla 482 kg/m³.



Obr. 8.13 Vyznačení stanoviště měření



Obr. 8.14 Naměřené elektrické veličiny na stanovišti „U bytu“

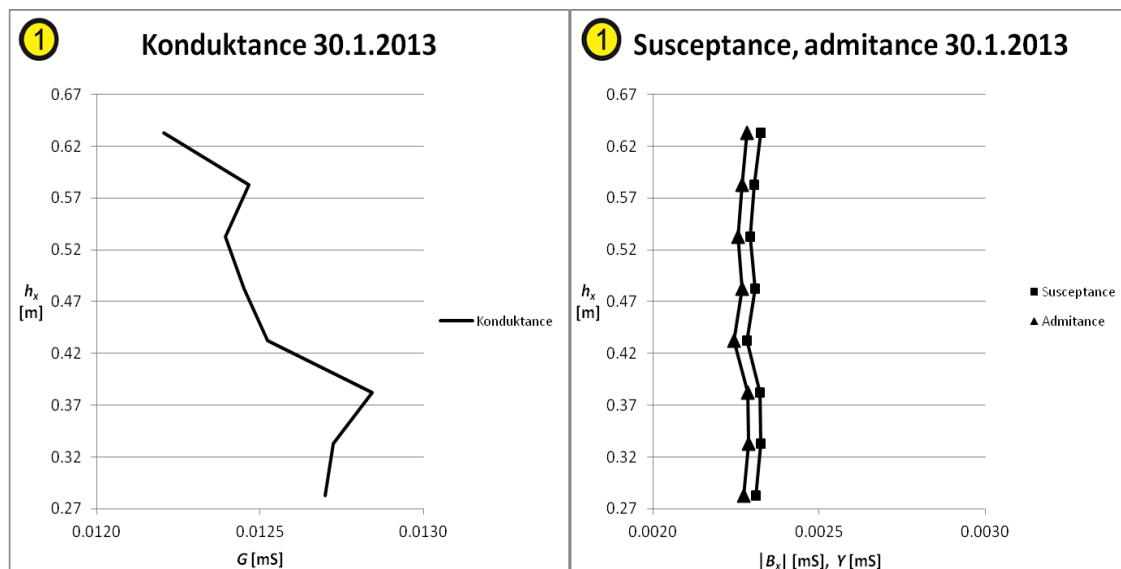
Z grafů je zřejmé, že se hodnoty elektrických veličin po výšce téměř nemění, pouze snímač v blízkosti zemského povrchu zaznamenal vyšší hodnotu. V nejnižší vrstvě se nacházely ledové krystaly (Obr. 8.15). Na obrázku je také vidět v pravé části zkoušení tvrdosti sněhové pokrývky.



Obr. 8.15 Sněhový profil na stanovišti „U bytu“

8.2.1 Stanoviště 1

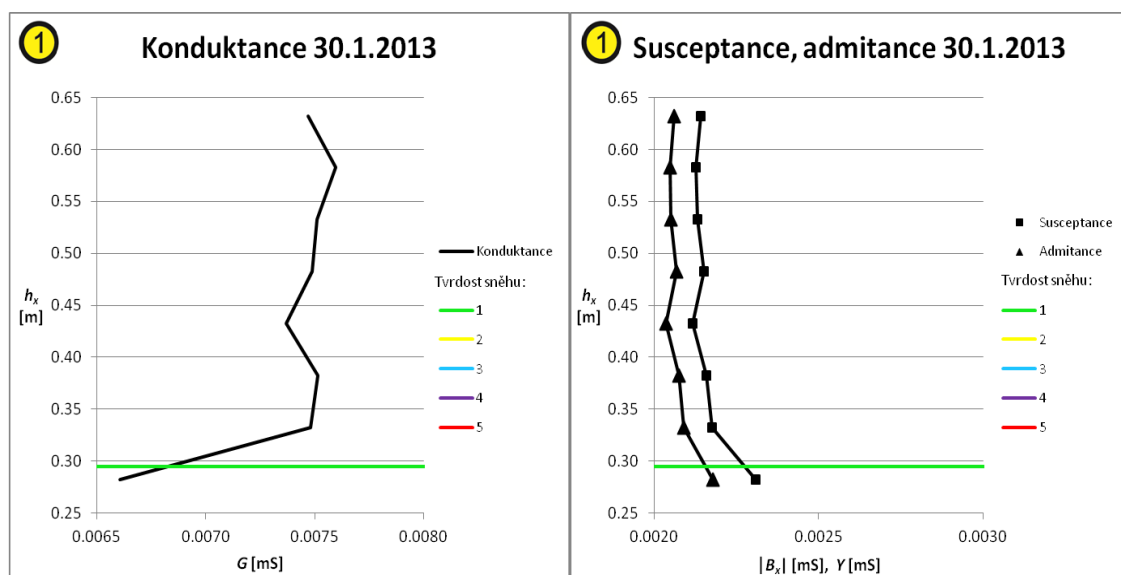
Profil 1 se nacházel ve vesnici Oberau (Obr. 8.17). Zde bylo uskutečněno i zkušební měření charakteristik vzduchu (Obr. 8.18 a) a 8.18 b)) a měření elektrických vlastností sněhu, které bylo provedeno jednou dělenou tyčovou sondou s osmi snímači v různých výškových úrovních.



Obr. 8.18 a) Vzdušná konduktance

Obr. 8.18 b) Vzdušná susceptance a admittance

Z obrázků je patrné, že realizovaná sonda reaguje na vzdušnou vlhkost a detekuje i rozdíl vrstvy sněhové pokrývky a vzduchu. Nad sněhovou pokrývkou je zaznamenána elektrická vodivost vzduchu přibližně $12,75 \cdot 10^{-6}$ S, do výšky 0,1 m mírně stoupá a dosahuje maxima přibližně na hodnotě $12,90 \cdot 10^{-6}$ S, aby následně ve větších vzdálenostech od povrchu sněhové pokrývky poměrně strmě klesala.



a) Konduktance

b) Susceptance a admittance

Obr. 8.19 Naměřené elektrické veličiny s jedním snímačem sondy ve sněhu

Sníh by obecně měl být lepším elektrickým vodičem, neboť kromě ledových krystalků se ve sněhové pokrývce vyskytuje i forma volné vody. Při měření konduktance sněhu

by bylo možné očekávat opačný průběh. Poněvadž z měření vyplývá opak, je možno konstatovat, že se jedná o sníh hodně nakypřený, kdy mezi jednotlivými vločkami jsou vzdálenosti příliš velké a vzniklé póry jsou vyplněny vzduchem, avšak jiných tepelných vlastností než má vzduch nad sněhovou vrstvou.

V tabulce (Tab. 8.3) jsou uvedeny naměřené hodnoty vzduchu a sněhu (teplota, hmotnost vrstvy, pórovitost, SWE, atd.)

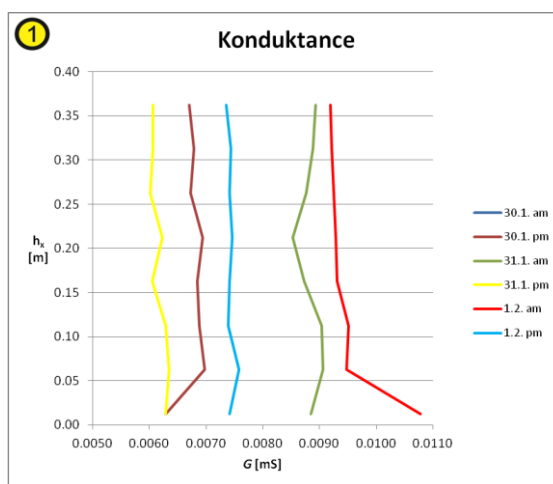
Tab. 8.3 Naměřené vlastnosti vzduchu a sněhových vrstev na stanovišti 1

Ozn.	Vzduch		Sněhové vrstvy						
	t [°C]	Φ [%]	h [m]	m [kg]	SWE [mm]	ρ [kg/m ³]	n [%]	tvrdost	t _s [°C]
30.1. am	6.58	71.94	0.185	0.24	48	259.5	74.05	1	3.0
			0.085	0.11	22	258.8	74.12	3	3.1
30.1. pm	3.53	89.35	0.165	0.24	48	290.9	70.91	1	3.5
			0.085	0.11	22	258.8	74.12	3	3.5
31.1. am	0.34	78.28	0.060	0.10	20	333.3	66.67	3	1.4
			0.070	0.10	20	285.7	71.43	2	3.7
			0.100	0.14	28	280.0	72.00	2	3.5
31.1. pm	4.26	83.37	0.075	0.11	22	293.3	70.67	2	3.8
			0.060	0.10	20	333.3	66.67	3	3.8
			0.085	0.13	26	305.9	69.41	3	3.8
1.2. am	2.95	83.37	0.135	0.18	36	266.7	73.33	1	3.8
			0.075	0.12	24	320.0	68.00	2	4.0
1.2. pm	3.23	86.78	0.135	0.18	36	266.7	73.33	1	4.1
			0.075	0.12	24	320.0	68.00	2	4.1

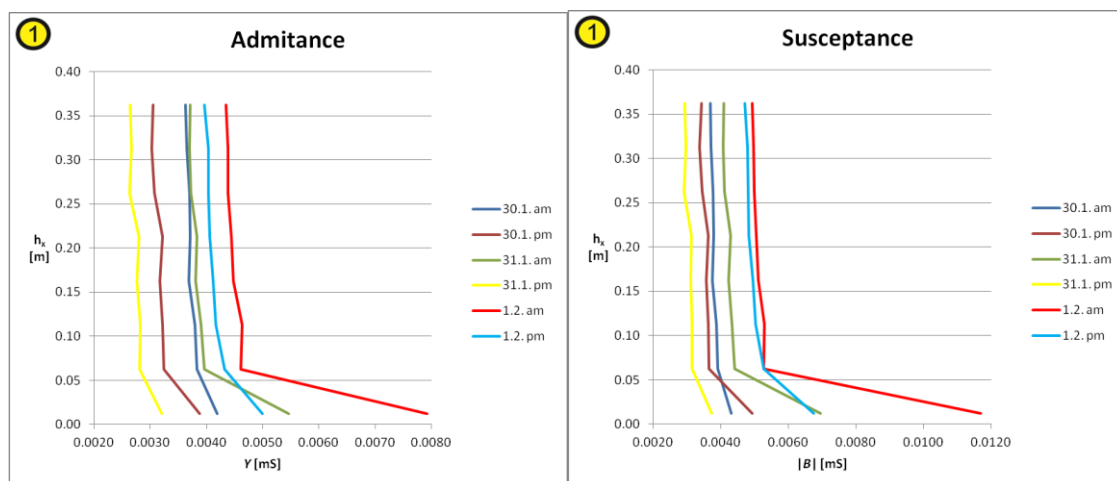
Ve všech dnech na stanovišti 1 se ve spodní vrstvě, tj. ve vrstvě blízko zemského povrchu, nacházely krystaly ledu (Obr. 8.20).



Obr. 8.20 Krystaly ve spodní vrstvě



Obr. 8.21 Konduktance na stanovišti 1



Obr. 8.22 Admittance na stanovišti 1

Obr. 8.23 Susceptance na stanovišti 1

Zvýšené hodnoty 1.2. am (ráno) jsou vlivem slabého deště při měření. Právě v tento den jsou výsledky měření dle očekávání. Lze tedy říci, že dešťová voda tj. forma volné vody dotekla sněhovou pokrývkou mezi ledové krystaly, narazila na zmrzlý zemský povrch a v té nejnižší vrstvě sněhu zvedla elektrickou vodivost. Ke zvýšení elektrické vodivosti také přispěl výkop z předešlého dne, který se nacházel nedaleko místa měření.

8.2.2 Stanoviště 2

Stanoviště 2 se nachází nad vesnicí Muhlthal. Měření probíhalo na stinném místě nedaleko potoka (Obr. 8.24). Teplotu vzduchu jsem naměřil 3,52 °C a vzdušnou vlhkost 89,1 %.



Obr. 8.24 Stanoviště 2

Sníh zde byl zmrzlý a velmi tvrdý, hlavně ve spodní části, kde byla zjištěna tvrdost 5. Sníh byl tvořen velkými ledovými krystaly (Obr. 8.25). Z výsledků měření je zřejmý nárůst hodnot susceptance a admittance na hranici mezi jednotlivými sněhovými vrstvami směrem k zemskému povrchu, což dobře koresponduje se změnou struktury sněhu v jednotlivých vrstvách, kdy tvrdost sněhu přechází od velmi měkkého (zelená linie) až po velmi tvrdý (červená linie). V uvedených veličinách je kalkulována vedle

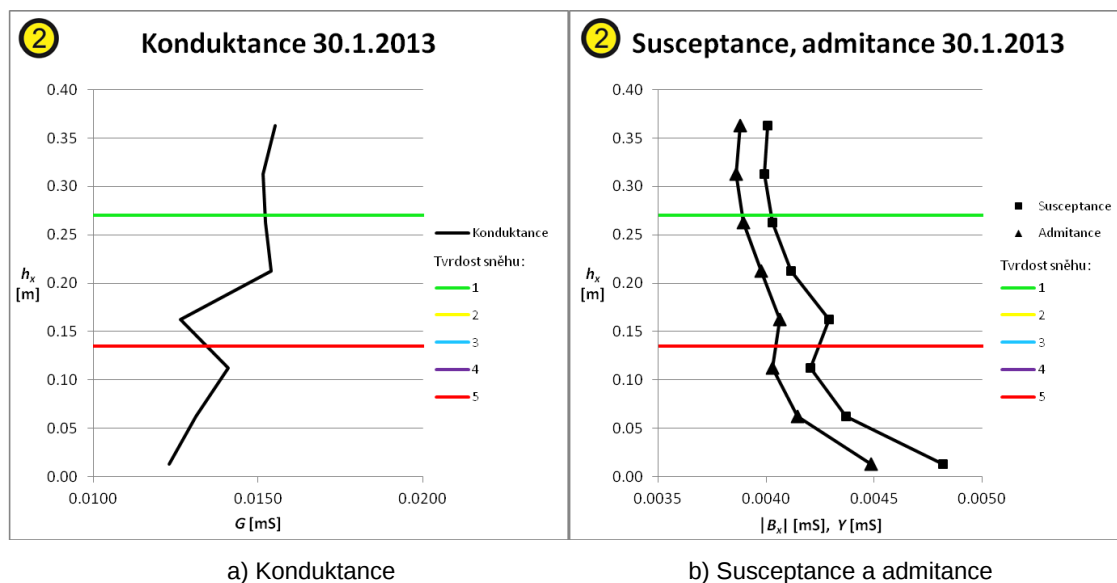
měřené reálné složky elektrické impedance i její imaginární složka, jež se výrazně podílí na identifikaci strukturálních změn sledovaného prostředí. Hodnoty konduktance naproti tomu dokumentují pouze průběh reálné složky měřené elektrické impedance, na jejíž velikosti se podílí především volná voda (Obr. 8.26 a) a b)). Je-li tedy v blízkosti povrchu sníh velmi tvrdý, lze v této vrstvě předpokládat vyšší četnost ledových krystalů, které zapříčiní nižší hodnotu konduktance. Směrem k povrchu sněhové pokrývky konduktance narůstá, neboť tvrdost sněhu přechází do formy velmi měkký sníh. Dále je zřejmý jen velmi malý rozptyl hodnot konduktance směrem k povrchu, což může být dáno poměrem pórů mezi sněhovými vločkami a volné vody resp. ledové tříště v pórech. Pro jednoznačnější výklad jednotlivých úrovní by v daném případě bylo vhodné použít sondu s vyšším počtem snímačů.

Tab. 8.4 Měřené parametry vzduchu a sněhových vrstev na stanovišti 2

Vrstvy sněhu						
h [m]	m [kg]	SWE [mm]	ρ [kg/m ³]	n [%]	tvrdost	t [°C]
0.135	0.16	32	237.0	76.30	1	3.3
0.135	0.26	52	385.2	61.48	5	3.4



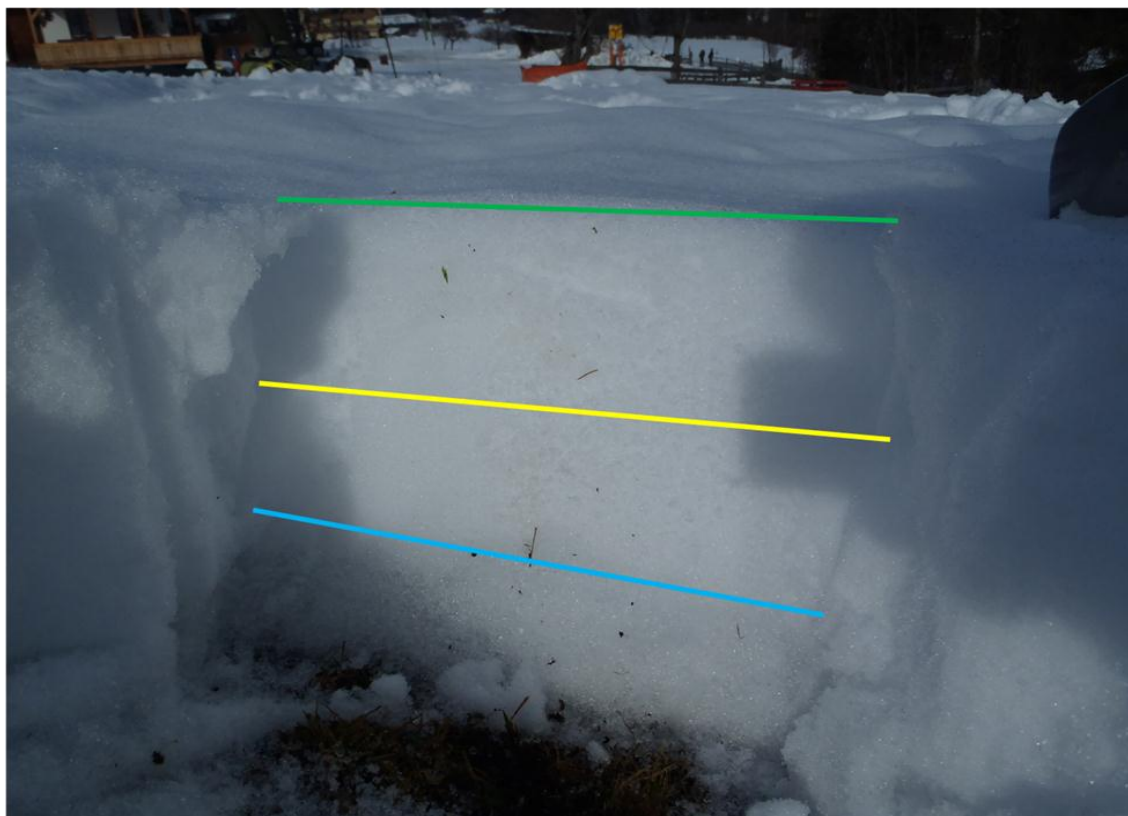
Obr. 8.25 Ledové krystaly



Obr. 8.26 Naměřené elektrické veličiny na stanovišti 2

8.2.3 Stanoviště 3

Stanoviště 3 se nacházelo u vesnice Bernau. Zde probíhalo měření na slunném místě. Naměřená teplota vzduchu zde byla 5, 58 °C a vlhkost vzduchu 78,3 %. Ve spodní části měřeného profilu se opět objevují krystaly ledu (Obr. 8.27), avšak vzhledem ke slunečnímu záření lze celkově ve struktuře měřeného profilu předpokládat výraznější vliv volné vody, a tím i vyšší hodnoty elektrických veličin (Obr. 8.28), zejména konduktance.

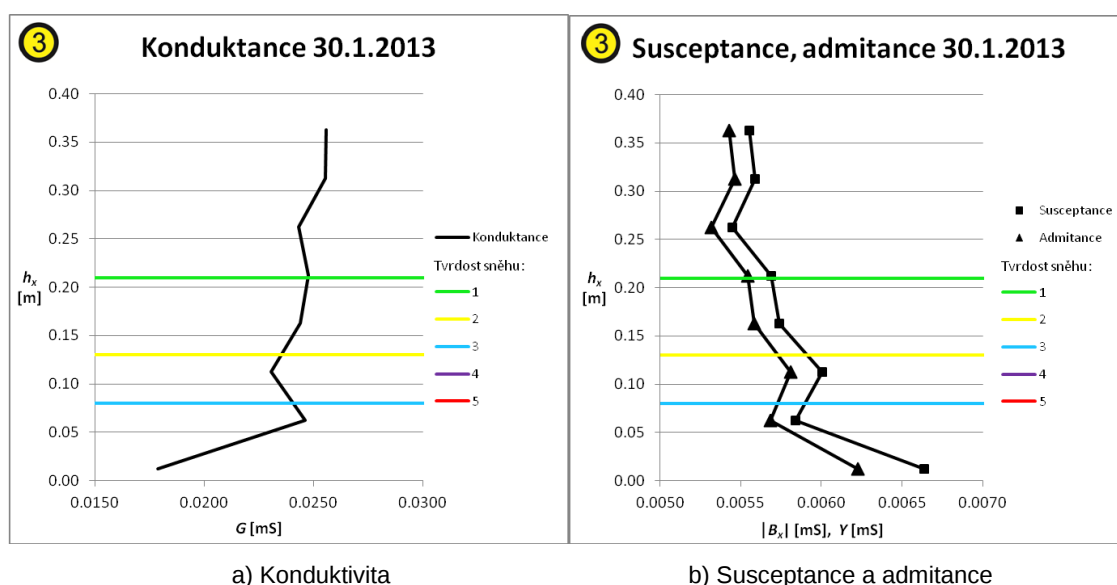


Obr. 8.27 Vrstvy sněhu na stanovišti 3

Hodnoty susceptance a admittance mají mezi vrstvami rostoucí tendenci a přechod mezi vrstvami je znatelný. Hodnoty konduktance mají směrem od povrchu sněhové pokrývky klesající tendenci, přechod mezi vrstvami je znát (Obr. 8.28 a) a b)). Dle klasifikační stupnice (Tab. 3.2) bylo možno sních v jednotlivých vrstvách považovat za velmi měkký, měkký a středně tvrdý.

Tab. 8.5 Parametry vzduchu a sněhových vrstev na stanovišti 3

Vrstvy sněhu						
h [m]	m [kg]	SWE [mm]	ρ [kg/m ³]	n [%]	tvrdost	t [°C]
0.080	0.10	20	250.0	75.00	1	3.8
0.050	0.10	20	400.0	60.00	2	3.8
0.080	0.14	28	350.0	65.00	3	3.8



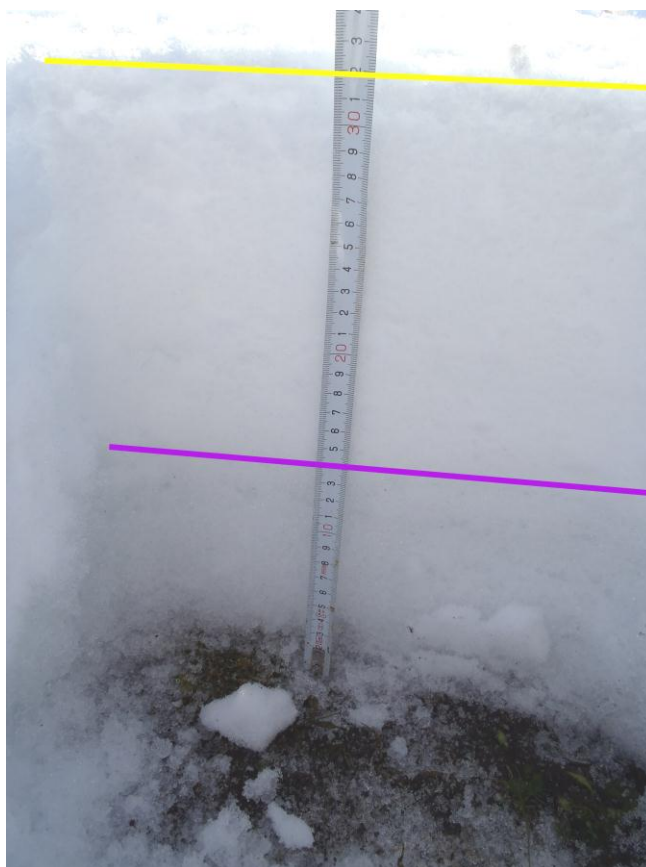
Obr. 8.28 Naměřené elektrické veličiny na stanovišti 3

8.2.4 Stanoviště 4

Stanoviště 4 se nacházelo téměř na konci sjezdových tratí střediska Niederau u starého srubu. Sních zde byl měkký, v horních vrstvách prachový, ve vrstvě blízko zemského povrchu tvrdý. U země se nacházely opět krystaly ledu (Obr. 8.29). Teplota vzduchu na stanovišti 4 byla 1,18 °C a vlhkost vzduchu 67,06 %.

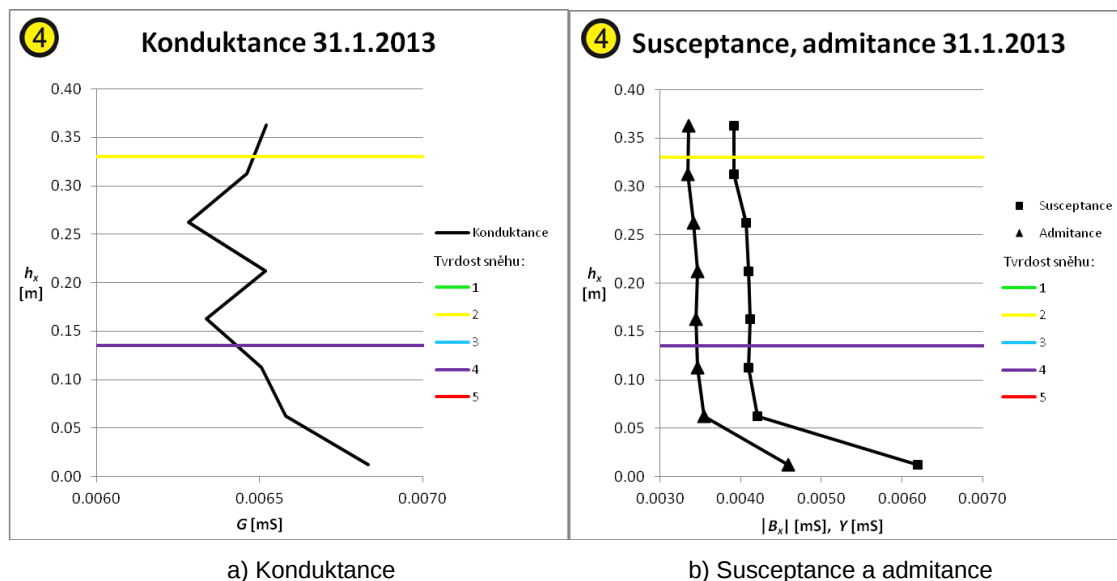
Tab. 8.6 Naměřené vlastnosti vzduchu a sněhových vrstev na stanovišti 4

Vrstvy sněhu						
h [m]	m [kg]	SWE [mm]	ρ [kg/m ³]	n [%]	tvrdost	t [°C]
0.195	0.28	56	287.2	71.28	2	2.1
						3.7
0.135	0.17	34	251.9	74.81	4	3.7



Obr. 8.29 Vrstvy sněhu na stanovišti 4

Ve vrstvě blízko zemského povrchu je zaznamenán nárůst hodnot všech sledovaných elektrických veličin. Vzhledem ke skutečnosti, že uvedený trend je pozorovatelný i v hodnotách susceptance, vypovídajících o struktuře sněhu v měřeném profilu, lze předpokládat v dané vrstvě buď vyšší obsah vody, nebo vyšší koncentraci látek podílejících se na elektrické vodivosti prostředí. Mohlo by se jednat např. o nějaké složky lyžařských vosků apod. Přejít mezi vrstvami není moc patrný (Obr. 8.30 a) a b)).



Obr. 8.30 Naměřené elektrické veličiny na stanovišti 4

8.2.5 Stanoviště 5

Stanoviště 5 se nacházelo také ve středisku Niederau, ale ve vyšší poloze než stanoviště 4. Teplota vzduchu při měření byla 1,99 °C a vzdušná vlhkost 66,7 %. Zde je specifické měření, protože poslední dvě elektrody (snímače u zemského povrchu) na pravé tyči byly ve ztrouchnivělém stromu a na levé tyči ve vzduchové kapse (Obr. 8.31). V jednotlivých vrstvách lze sníh od povrchu sněhové pokrývky charakterizovat jako velmi měkký, tvrdý a středně tvrdý.

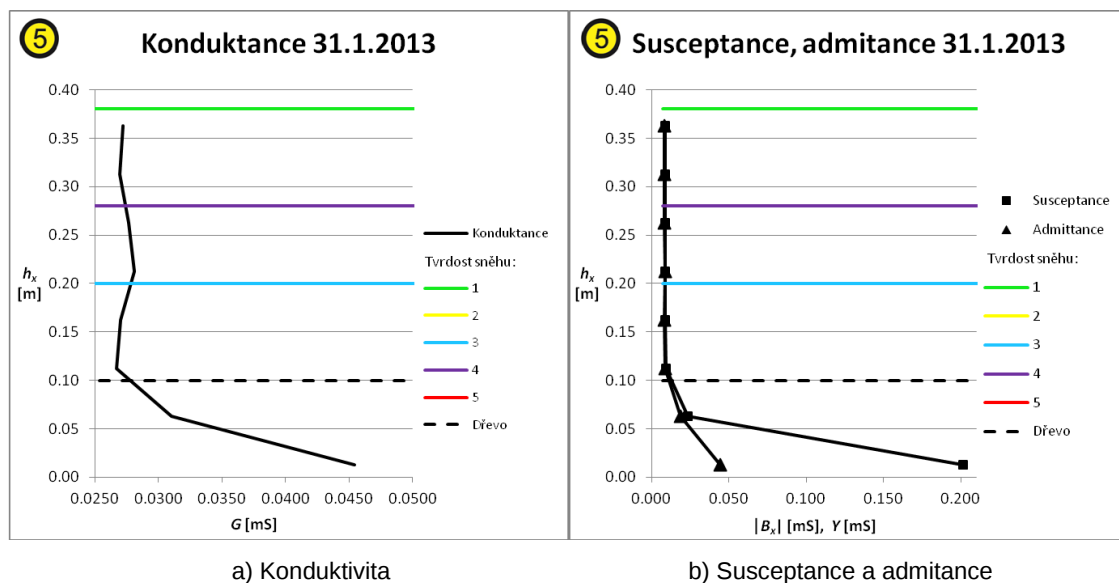


Obr. 8.31 Stanoviště 5

Tab. 8.7 Naměřené vlastnosti vzduchu a sněhových vrstev na stanovišti 5

Vrstvy sněhu						
h [m]	m [kg]	SWE [mm]	ρ [kg/m ³]	n [%]	tvrdost	t [°C]
0.100	0.16	32	320.0	68.00	1	2.0
						3.2
0.080	0.13	26	325.0	67.50	4	3.7
0.100	0.17	34	340.0	66.00	3	3.7
0.100	dřevo					

Z naměřených veličin vyplývá, že ztrouchnivělý strom má lepší elektrickou vodivost než sníh (Obr. 8.32 a) a b)).



Obr. 8.32 Naměřené elektrické veličiny na stanovišti 5

8.2.6 Stanoviště 6

Stanoviště 6 se nacházelo na konečné zastávce lanové dráhy Schatzbergbahn (Obr. 8.33). Zde leželo 1,1 m sněhu, což bylo v daném období a ve sledovaných stanovištích největší množství. Teplotu vzduchu jsem naměřil 4,26 °C a vlhkost vzduchu 63,0 %.



Obr. 8.33 Stanoviště 6

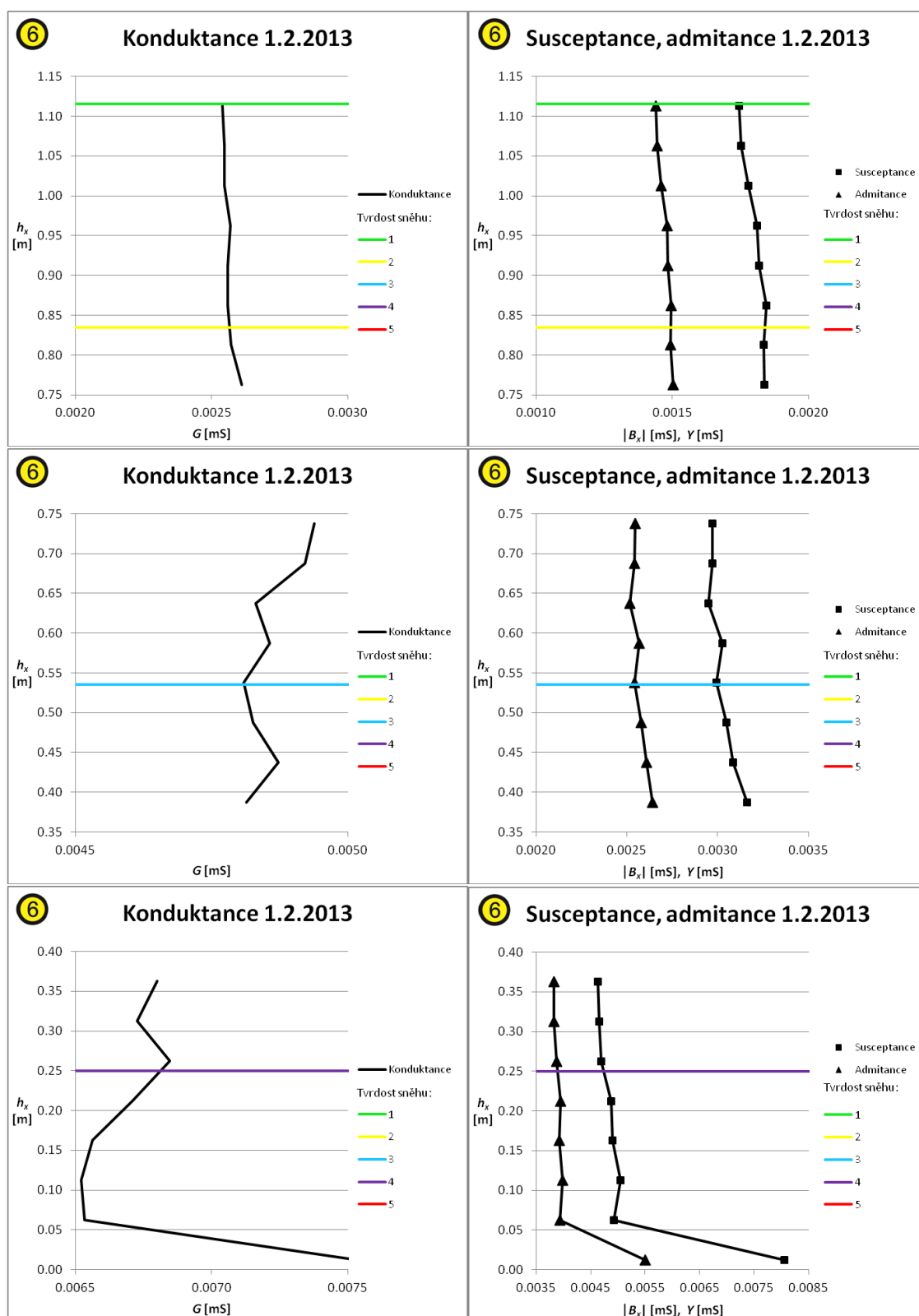
Tab. 8.8 Naměřené vlastnosti vzduchu a sněhových vrstev na stanovišti 6

Vrstvy sněhu						
h [m]	m [kg]	SWE [mm]	ρ [kg/m ³]	n [%]	tvrdost	t [°C]
0.280	0.26	52	185.7	81.43	1	3.1
						1.8
0.300	0.42	84	289.7	71.03	2	2.3
0.285	0.48	96	349.1	65.09	3	3.1
0.250	0.43	86	344.0	65.60	4	3.8

Vzhledem k výšce sněhové pokrývky a délce mobilní sondy pro expediční měření muselo být měření prováděno postupně. Na stanovišti č. 6 je konkrétně jednalo o 3 postupné kroky, jelikož použitá sonda byla celkové délky pouze 0,375 m. Uvedený postup jistě ovlivnil výsledek měření (Obr. 8.35 a) a b)), kdy hodnoty elektrických veličin na sebe v jednotlivých úrovních nenavazují. Při každém měření je zřejmý nárůst hodnot, což mohlo být způsobeno jiným uložením vodičů (parazitní impedance) nebo i delším časem uložení sondy na sněhu (změna teplotní charakteristiky snímačů sondy). Prodleva mezi měřeními byla i 15 minut. Kvalitativní zjištění však odpovídá výsledkům ostatních stanovišť. Problém, který se vyskytl, je obdobný zjištění expedičního měření v Orlických horách (kap. 8.1.2) a i zjištěný trend je stejný. Na základě uvedeného je možno usuzovat i na systematickou chybu měření, avšak i tuto domněnku by bylo třeba potvrdit vyšší četností měření.



Obr. 8.34 Poslední krok měření na stanovišti 6



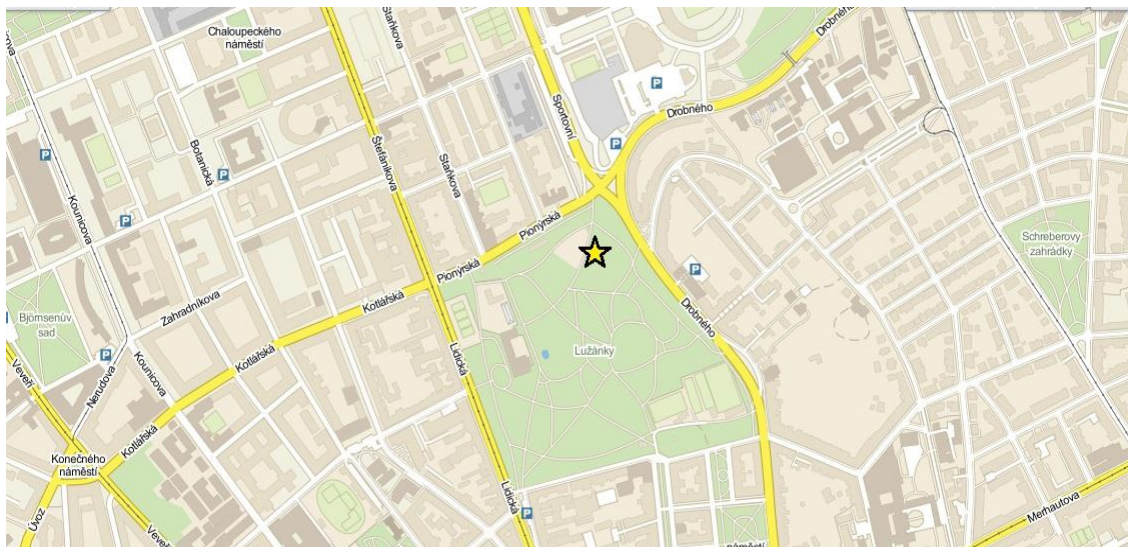
a) Konduktance

b) Susceptance a admittance

Obr. 8.35 Naměřené elektrické veličiny na stanovišti 6

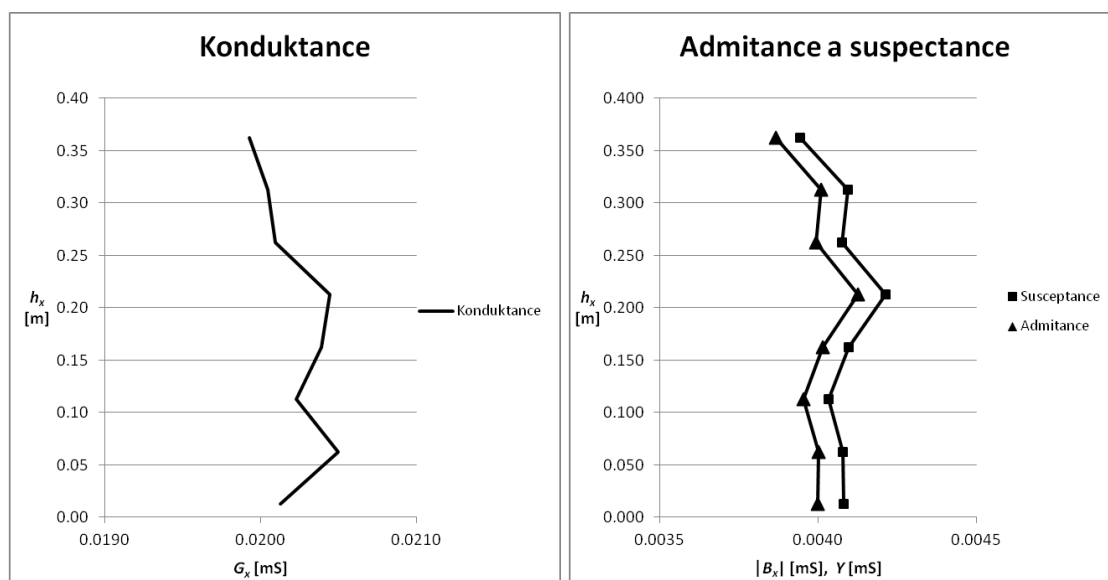
8.3 OSTATNÍ

Před vrácením přístrojů a sond jsem provedl ještě 3 měření. Měřil jsem elektrické veličiny při průchodu signálu vzduchem, a to v koupelně po koupeli, následně jsem měření provedl v předsíni a večer po příjezdu do Brna jsem provedl měření v umělém potoku v lužáneckém parku (Obr. 8.36).

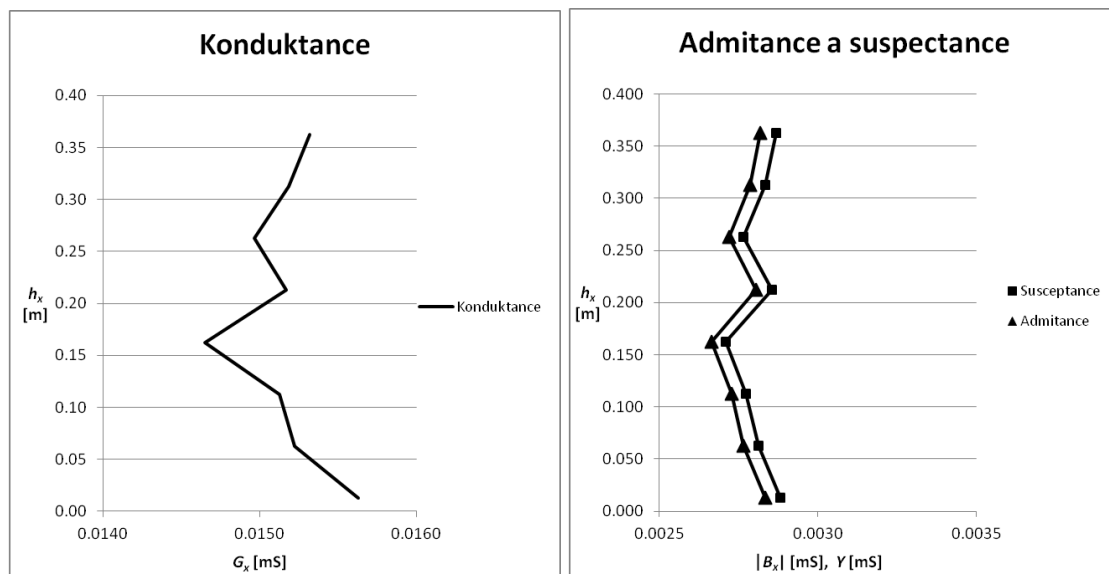


Obr. 8.36 Měřicí místo v parku Lužánky (žlutá hvězda) [2]

Po koupeli jsem naměřil v koupelně teplotu 24,92 °C a vlhkost 93,08 %. Hned po měření v koupelně jsem provedl měření v předsíni, kde byla teplota 22,28 °C a vlhkost 53,77%. Zjištěné hodnoty odpovídají hodnotám předpokládaným.



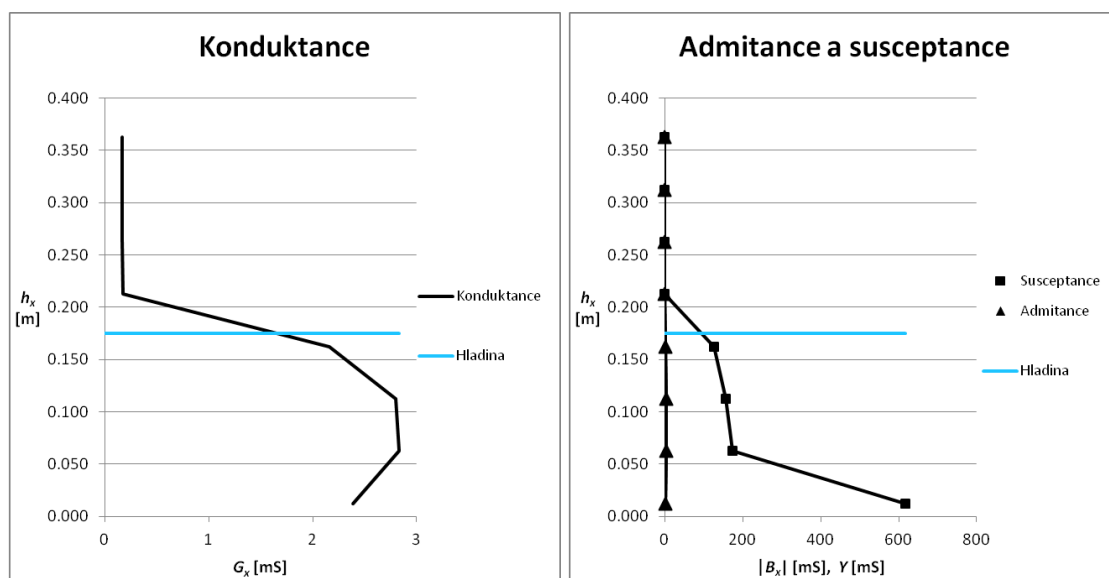
Obr. 8.37 Elektrické veličiny v koupelně



Obr. 8.38 Elektrické veličiny v předsíni

Rovněž průběh elektrických veličin odpovídá předchozím zjištěním. V koupelně, kde byla vyšší vlhkost, se naměřená elektrická vodivost pohybovala okolo 0,020 mS a v předsíni byla průměrná hodnota konduktance 0,015 mS. I admittance naměřená v předsíni byla nižší než v koupelně. Zde je vliv vlhkosti vzduchu patrný (čím vyšší vlhkost, tím lepší elektrický vodič).

Poslední měření jsem provedl v lužáneckém parku, kde jsem sondu vložil do zdejšího toku. Teplota vzduchu byla 13,52 °C a vlhkost vzduchu byla 63,97 %. Ve vodě byly vloženy poslední čtyři snímače a na dně toku se nacházelo bahno.



Obr. 8.39 Elektrické veličiny – potok v lužáneckém parku

Z naměřených hodnot je patrný vliv vody. Naměřené hodnoty konduktivity pod hladinou náhle rostou, je možné také vidět vliv materiálu dna, kdy konduktivita klesá. Také na susceptanci je vidět nárůst hodnot pod hladinou. Výrazně hodnoty susceptance vzrostly u dna, kdy byl poslední senzor zabořen ve dnovém materiálu, jehož elektrické charakteristiky se jistě podílely i na zjištěném průběhu konduktance.

9 ZÁVĚR

S metodou elektrické impedanční spektrometrie jsem se seznámil při řešení své bakalářské práce, kdy jsem však měření prováděl v zeminách prostřednictvím přístroje Z-metr druhé vývojové řady. Zaujala mě poměrně snadná manipulace s měřicí aparaturou a široké spektrum možností jejího uplatnění. Jedná se však o nepřímou měřicí metodu a zřejmě i proto oč je snadnější měření, o to náročnější je zpracování dosažených výsledků tak, aby jim bylo správně rozuměno.

Protože se rád pohybuji po horách a vím, že monitorování sněhové pokrývky, včasné varování před pádem lavin, jakož i bezpečný pohyb na sněhové pokrývce nejsou úlohy jednoduché, zaujala mě možnost nové aplikace uvedené měřicí metody. Monitorováním sněhové pokrývky metodou EIS jsem chtěl prokázat vhodnost metody pro stanovení vodní hodnoty sněhu. Z naměřených dat je možné vyčíst, že sníh není pro monitorování jednoduchým materiálem. Podléhá mnoha vlivům, z nichž nejvýraznější jsou povětrnostní pochody a změny počasí, které se projevují na vrstevnatosti sněhu. V práci je prostřednictvím měřicí aparatury s přístrojem Z-metr III ukázáno, že každá sněhová vrstva má své specifické vlastnosti, na nichž se podílí druh sněhových zrn, tvrdost, vlhkost, přilnavost, optické vlastnosti a další, a tyto vrstvy lze s větším či menším úspěchem prostřednictvím metody EIS identifikovat. Nejvíce se na tvorbě sněhových krystalů a sněhových zrn podílí teplota a vlhkost vzduchu. Měřením se mi podařilo prokázat a potvrdit předpoklad, že se stoupajícími hodnotami uvedených veličin dochází k mírnému nárůstu i sledovaných elektrických veličin. Pro absolutní hodnocení dosažených výsledků měření by bylo nezbytné provést korekci výsledků měření vůči teplotě a vlhkosti prostředí. Otázkou však zůstává, jak definovat „prostředí“. Jedná se o teplotu a relativní vlhkost vzduchu nebo sněhu v určité vrstvě? Při měření jsem měl možnost pracovat se dvěma digitálními teploměry, z nichž jeden byl určen speciálně pro měření vlhkosti a teploty vzduchu, a to až do teplot -30°C a druhý vpichovací digitální teploměr se stejným udávaným teplotním rozsahem jsem používal pro měření teplot sněhu v jednotlivých vrstvách. Z měření mám však takovou zkušenost, že údaje z obou teploměrů nelze vzájemně korelovat. Ve stejném prostředí jsou vyhodnocené údaje natolik odlišné, a to zcela náhodně, že nebylo možné údaje použít jako relevantní pro další zpracování. Protože prostřednictvím zařízení umožňujícího měřit vzdušnou teplotu bylo možno měřit i relativní vlhkost vzduchu, použil jsem při zpracování údaje z tohoto zařízení. Bohužel v mnoha případech mi zařízení „zamrzlo“ (LC zobrazovač přestal pracovat), přestože ve specifikaci udávané nejnižší hodnoty nikdy dosaženy nebyly. I přes uvedené potíže se podařilo prokázat předpokládanou souvislost mezi místní teplotou a relativní vlhkostí vzduchu a měřenými elektrickými veličinami. Tento závěr neplatí směrem k veličinám, které byly ve stejných dnech i časech měřeny na meteorologických stanicích. Při měření hranolovými sondami mají významný vliv srážky, a to především vertikální kapalné, které mohou výrazně zvýšit hodnoty měřené elektrické veličiny. Část srážek může ulpět na elektrodách, což ovlivní výsledky měření (parazitní impedance). Z dat, která byla poskytnuta ČHMÚ, nelze zpětně určit intenzitu srážky v době měření, protože srážky jsou odečítány jednou za 24 hodin. Zabránění ulpívání srážek na elektrodě by bylo možné částečně řešit změnou její plochy a opatřením vodoodpudivým nátěrem. Avšak bylo by nutno prokázat, zda dochází či nedochází k chemickým reakcím na rozhraní voda – nátěr – elektroda, případně jak moc by případná chemická reakce mohla ovlivnit výsledek měření.

Pro stanovení vodní hodnoty sněhu je důležité znát výšku sněhové pokrývky a její objemovou hmotnost. Výšku sněhové pokrývky je možné rozpoznat především u sněhu s vyšší tvrdostí. Ze souboru 49 naměřených objemových hmotností v rozsahu od 80 kg/m^3 do 457 kg/m^3 se mi prozatím nepodařilo stanovit závislost objemové hmotnosti sněhu a měřené elektrické veličiny. Soubor 49 měření však nepovažuji za postačující, neboť v počátcích, než jsem nabyl jistou zručnost a zkušenosti z měření, jsem chyboval, a proto by některé součory mohly vyhodnocení zkreslit.

Podle předpokladů a zkušeností získaných při sledování změn elektrických vlastností zemin metodou EIS mohu konstatovat, že největší vliv na elektrické veličiny má volná voda v pórech sněhu. Ve zdrojích, z kterých jsem čerpal, se ukazovala, jako důležitá vlastnost, pro stanovení kvality sněhu jeho tvrdost. Proto jsem vyhodnocení svých měření vztahoval k této veličině, ale po provedených vyhodnoceních monitorování metodou EIS se domnívám, že vhodnější veličinou by byla vlhkost sněhu, kterou však není možné jednoduchým způsobem měřit. Nejjednodušší způsob stanovení vlhkosti je podle Tab. 3.3.

Pro doporučení vhodnosti metody EIS ke stanovení vodní hodnoty sněhu je zapotřebí dalšího zkoumání sněhové pokrývky, a tím i rozšíření souboru naměřených dat. Cestu řešení bych potom spatřoval například ve zjištění závislosti mezi poměrnými elektrickými veličinami (admitance sněhu / admitanci vody ze sněhové vrstvy) a objemovými hmotnostmi (hustota sněhu / hustota vody), kde parametrem by byla výška sněhové pokrývky. Určitou analogii vidím v metodě nízkofrekvenčních impedančních pásů (SPA), které mě přivedly na myšlenku instalovat sondy v takovém uspořádání, aby fiktivní elektrické vodiče tvořené sněhovou pokrývkou kopírovaly terén. Určitě i v oblasti konstrukčního řešení sond může dojít k rozvoji, například vyšší hustotou elektrod na plastovém hranolu apod.

Na základě realizovaných experimentů, měření i monitorování mohu konstatovat, že metoda EIS by mohla být vhodným nástrojem pro studovanou aplikaci a aparatura s přístrojem Z-metr III resp. v současné době již Z-metr IV s dálkovým přenosem dat se mi jeví jako perspektivní.

V Brně dne 6.1.2014



Bc. Michael Novák

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

ODBORNÁ LITERATURA

BUMERL, M., (2003). Hydrologie. *Učební text* pro studenty 3. ročníku SOŠ OTŽP Veselí nad Lužnicí.

COLBECK, S. C., AKITAYA, E., ARMSTRONG, R., GUBLER, H., LAFEUILLE, J., LIED, K., McCLUNG, D., MORRIS, E., (1990). The international classification for seasonal snow on the ground. International Commission of Snow and Ice of IAHS. *USACRREL, CECRL-IB*, Hanover, NH 03755-1290.

ČESKÝ HYDROMETOROLOGICKÝ ÚSTAV. Data z meteorologické stanice v Rokytnici v Orlických horách. 2013.

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

DOESKEN, N. J., ROBINSON, D. A., (2009). The challenge of snow measurements. Historical climate variability and impacts in North America, Part 4. Dordrecht, Springer, 251-273.

FERDA, J., HLADNÝ, J., BUBENÍČKOVÁ, L., PEŠEK, J., (1971). Odtokový režim a chemismus vod v povodí Horní Otavy se zaměřením na výskyt rašelinišť. Sborník prací HMÚ, sv. 17, HMÚ, Praha, s.22-126.

HUBAČÍKOVÁ, V., (2002). Hydrologie. *Skripta*, Mendelova zemědělská a lesnická universita v Brně, 43 str., ISBN 80-7157-638-7.

CHYSKÝ, J., HEMZAL, K. a kol., (1993). Větrání a klimatizace, *Technický průvodce* sv. 31, BOLIT - B press, Brno.

JENÍČEK, M., (2011). *Základy hydrologie sněhu a ledu*. Universita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta.

JENÍČEK, M., (2013). *Srážky, sních, evapotranspirace, intercepce*. Universita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta.

KOCIÁNOVÁ, M., ŠTURSOVÁ, H., ŠTURSA, J., VANĚK, J., VÁVRA, V., (1989). Nové nálezy barevného sněhu v Krkonoších. *Opera Corcontica* 26:151-158.

KOŘÍZEK, V., (2006). Laviny - prevence. In: *www.alpy4000.cz* [online]. [cit. 2013-08-17]. Dostupné z: <http://www.alpy4000.cz/soubory/prevence.pdf>.

KŘÍSTEK, Š., UBAŇCOVÁ, N., HOLUŠA, J., TOMEČEK, P., (2011). Měření vlastností sněhové pokrývky v lese a mimo les. *Lesnický průvodce* 2/2011 – certifikovaná metodika. Strnady. Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., 75 s., ISBN 978-80-7417-044-7, ISSN 0862-7657.

KŘÍSTEK, Š., SAMEC, P., RYCHTECKÁ, P., HOLUŠA, J., (2008). Numerická analýza časové a prostorové distribuce sněhové pokrývky v povodí Ostravice (Moravskoslezské Beskydy) v zimách 2005/2006 a 2006/2007. *Meteorologický časopis*, 11, 107-117.

LIENERTH, R., (2007). Lavinová problematika pro provozování horolezectví a skialpinismu. *Skripta ČHS*.

NĚMEC, L., (2006). *Vodní hodnota sněhové pokrývky* [online]. [cit. 2013-12-06]. Dostupné z: http://old.chmi.cz/OS/metspol/prednasky/Nemec_vodni_hodnota.pdf.

NĚMEC, L., (2006a). Zhodnocení spolehlivosti a účinnosti systému měření výšky sněhové pokrývky a její vodní hodnoty. In: Sandev, M. (ed.). *Meteorologické a hydrologické vyhodnocení jarní povodně 2006 na území ČR*. Praha, ČHMU, 35-53.

NOVÁK, M., (2011). Vyhodnocení změn v rybníční hrázi monitorovaných metodou EIS. Brno, 2011. 63 s., 2 s. příl. *Bakalářská práce*. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce doc. Ing. Jana Pařílková, CSc.

PAŘÍLKOVÁ, J., GARDAVSKÁ, Z., FEJFAROVÁ, M., ZACHOVAL, Z., VESELÝ, J., PAVLÍK, I. (2011). VYUŽITÍ METODY EIS PŘI MONITOROVÁNÍ VYBRANÝCH PROCESŮ V PŮDĚ. příspěvek na konferenci Influence of Anthropogenic Activities on Water Regime of Lowland Territory Physics of Soil Water. ISBN 978-80-89139-23-1. VHZ ÚH SAV. Michalovce. 2011.

PATERSON, W. S. B., (2001). *The Physics of Glaciers*. Butterworth-Heinemann. 2001. 481 s. ISBN 0750647426.

PATOČKA, M., (2006). Fyzikální modelování šíření znečištění ve vodních tocích a způsoby jeho monitorování. *Diplomová práce*, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce doc. Ing. Jana Pařílková, CSc.

PIMENTEL, R., HERRERO, J., PAŘÍLKOVÁ J., MILLARES, A., POLO, M. J., VESELÝ, J., (2012). Measurement of snow properties using EIS-monitoring method in Sierra Nevada (Spain). *EUREKA 2012*, 66-73p, ISBN 978-80-214-4537-6.

SEDLÁČEK, J. VALSA, J., (2010). Elektrotechnika II. In: *Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia*.

SINGH, P., SINGH, V., (2011). *Snow and glacier hydrology*. Kluwer Academic Publisher, London, 742p.

SZÉKYOVÁ, M., FERSTL, K., NOVÝ, R., (2006). Větrání a klimatizace. JAGA Bratislava.

ŠKVARENINA, J., TOMLAIN, J., KRIŽOVÁ, E., (2002). Klimatická vodní bilance vegetačních stupňů na Slovensku. *Meteorologické zprávy*, 55, 103-109.

ŠPULÁK, O., SOUČEK, J., ČERNOHOUS, V., (2012). Pozemní metody a technologie měření vodní hodnoty sněhu: review. *Zprávy lesnického výzkumu*, 57, 2012 (4): 304-313. Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., VS Opočno.

TYRBACH, J. (2008) Elektrický odpor a vodivost, měrný odpor a měrná vodivost. *Web.telecom.cz/tyrbach/Odpor_a_vodivost.pdf* [online]. 2008 [cit. 2013-12-08]. Dostupné z: http://web.telecom.cz/tyrbach/Odpor_a_vodivost.pdf

ŽIDEK, D., LIPINA, P., (2003). *Návod pro pozorovatele srážkoměrných stanic*. Ostrava.

INTERNETOVÉ ZDROJE

- [1] Elektrický izolant – Wikipedie. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. 2013 [cit. 2013-08-17]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrick%C3%BD_izolant
- [2] *Mapy.cz* [online]. 2013 [cit. 2013-12-16]. Dostupné z: <https://mapy.cz/>

-
- [3] *Mapy Google* [online]. 2013 [cit. 2013-12-16]. Dostupné z: <https://maps.google.com/>
 - [4] *Sbírka řešených úloh z fyziky* [online]. 2013 [cit. 2013-12-08]. Dostupné z: <http://fyzikalniulohy.cz/uloha.php?uloha=606>
 - [5] Ski Jewel Alpbachtal Wildschönau Piste Map - Hi-Res Trail Map for Ski Jewel Alpbachtal Wildschönau, Austria. *Snow Reports & Forecasts, Ski Resorts, Hotels & Chalets, News & Chat* [online]. 2013 [cit. 2013-12-16]. Dostupné z: http://cdn2.j2ski.com/piste_maps/o/AT/Ski_Jewel_Alpbachtal_Wildschonau_Piste_Map.jpg
 - [6] Sníh – Wikipedie. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. 2013 [cit. 2013-09-09]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Sn%C3%ADh>
 - [7] Susceptance – Wikipedie. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. 2013 [cit. 2013-12-08]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Susceptance>
 - [8] Voda – Wikipedie. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. 2013 [cit. 2013-08-18]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Voda>
 - [9] Vodivost vody (mezní hodnota 125mS/m). In: *analyzavody.cz* [online]. 2013 [cit. 2013-12-08]. Dostupné z: <http://www.analyzavody.cz/konduktivita/>

SEZNAM TABULEK

Tab. 3.1 Typická hustota sněhu a ledu	17
Tab. 3.2 Manuální rozlišení tvrdosti	17
Tab. 3.3 Rozdělení vlhkosti sněhu	18
Tab. 3.4 Objemové hmotnosti a pórovitosti vybraných typů sněhu.....	19
Tab. 3.5 Průměrné hodnoty albeda jednotlivých typů sněhu	20
Tab. 4.1 Vodní hodnota sněhu.....	22
Tab. 6.1 Základní parametry přístroje Z-metr III.....	32
Tab. 6.2 Specifikace teploměru a vlhkoměru	35
Tab. 8.1 Naměřené a vypočtené hodnoty na Polově kopci	50
Tab. 8.2 Naměřené hodnoty sněhových vrstev	56
Tab. 8.3 Naměřené vlastnosti vzduchu a sněhových vrstev na stanovišti 1	61
Tab. 8.4 Měřené parametry vzduchu a sněhových vrstev na stanovišti 2.....	63
Tab. 8.5 Parametry vzduchu a sněhových vrstev na stanovišti 3	65
Tab. 8.6 Naměřené vlastnosti vzduchu a sněhových vrstev na stanovišti 4	65
Tab. 8.7 Naměřené vlastnosti vzduchu a sněhových vrstev na stanovišti 5	67
Tab. 8.8 Naměřené vlastnosti vzduchu a sněhových vrstev na stanovišti 6	69

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1 Sněhové vločky	10
Obr. 1.2 Štěrka na povrchu tajícího sněhu	10
Obr. 1.3 Vzniklý trychtýř při tání sněhu	11
Obr. 2.1 Dlouhodobé měření 23. ledna 2013	12
Obr. 2.2 Expediční měření, Rakousko, 1. února 2013.....	12
Obr. 3.1 Válcový sněhoměr	16
Obr. 3.2 Manuální určení tvrdosti vrstev sněhové pokrývky	17
Obr. 3.3 Tvrdost vrstev sněhové pokrývky	18
Obr. 3.4 Rozložení teploty ve vertikálním profilu sněhové pokrývky	19
Obr. 3.5 Měření jednotlivých vrstev sněhové pokrývky ve vertikálním profilu	21
Obr. 4.1 Instalace sněhového polštáře.....	23
Obr. 4.2 Váhový sněhoměr	24
Obr. 4.3 SPA	25
Obr. 4.4 Měření výšky sněhu	25
Obr. 4.5 Válcový sněhoměr při odběru vzorku sněhu (vlevo), sněhové jádro (vpravo).....	26
Obr. 4.6 Pasivní radar (vlevo), aktivní radar (vpravo).....	27
Obr. 5.1 Grafické vyjádření fázoru elektrické impedance	29
Obr. 5.2 Ekvivalentní obvod měřené impedance.....	29
Obr. 6.1 Přístroj Z-metr III	31
Obr. 6.2 Fixační dřevěný kolík (vlevo) a nasunutá sonda (vpravo).....	32
Obr. 6.3 Sondy pro expediční měření	33
Obr. 6.4 Závěsná váha	34
Obr. 6.5 Odběr vzorku sněhu	34
Obr. 6.6 Měřicí sestava se sněhoměrným válcem.....	34
Obr. 6.7 Teploměr a vlhkoměr	35
Obr. 6.8 Zapichovací teploměr.....	35

Obr. 7.1 Umístění Rokytnice v Orlických horách	36
Obr. 7.2 Vyznačení měřicího stanoviště.....	36
Obr. 7.3 Podložení plastových hranolů 2 a 3.....	37
Obr. 7.4 Rozmístění sond	38
Obr. 7.5 Průběh výšky sněhu v monitorovaném období	38
Obr. 7.6 Změna měřených elektrických veličin s teplotou vzduchu při průchodu elektrického signálu vrstvou sněhové pokrývky.....	39
Obr. 7.7 Vliv relativní vlhkosti vzduchu na naměřené elektrické veličiny při průchodu sněhem.....	40
Obr. 7.8 Zjištěné průběhy hodnot elektrických veličin ze dne 23.2.2013	41
Obr. 7.9 Změna měřených elektrických veličin s hustotou vrstvy sněhové pokrývky (včetně vlivu srážek)	42
Obr. 7.10 Sněhový profil 2.3.2013	43
Obr. 7.11 Frekvenční analýza - konduktance.....	43
Obr. 7.12 Naměřená susceptance a admitance – různé frekvence	44
Obr. 7.13 Znečištění elektrod deštěm (vlevo) a námrazou (vpravo)	45
Obr. 7.14 Naměřené elektrické veličiny s vyznačením srážek.....	46
Obr. 7.15 Vliv srážek na měřené elektrické veličiny	47
Obr. 7.16 Vodiče pokryty ledem.....	48
Obr. 7.17 Hranol a elektrody pokryty ledem	48
Obr. 8.1 Vyznačené místo monitoringu na Polově kopci (žlutá hvězda)	49
Obr. 8.2 Naměřené elektrické veličiny na Polově kopci	50
Obr. 8.3 Naměřené elektrické veličiny při vzdálenosti elektrod 0,2 m (P1) a 0,4 m (P2)	51
Obr. 8.4 Běžkařská stopa – 1 snímač ve sněhu (P3)	52
Obr. 8.5 Běžkařská stopa – celý profil (P4).....	52
Obr. 8.6 Vyhodnocení měření 16.2.2013 (P18).....	53
Obr. 8.7 Ledové krystaly ve spodní vrstvě 16.2.2013.....	53
Obr. 8.8 Vliv uložení vodičů (M – modrý, O – oranžový) (P19 a P20).....	54

Obr. 8.9 Vyznačení místa měření nedaleko Pěticestí.....	55
Obr. 8.10 Pohled na měřicí stanoviště u Pěticestí.....	55
Obr. 8.11 Rozdělení tvrdostí v profilu u Pěticestí	56
Obr. 8.12 Stanovené elektrické veličiny na stanovišti u Pěticestí	57
Obr. 8.13 Vyznačení stanoviště měření	58
Obr. 8.14 Naměřené elektrické veličny na stanovišti „U bytu“	58
Obr. 8.15 Sněhový profil na stanovišti „U bytu“	58
Obr. 8.16 Vyznačení zájmové oblasti.....	59
Obr. 8.17 Stanoviště v oblasti Wildschonau (žluté body).....	59
Obr. 8.18 a) Vzdušná konduktance	60
Obr. 8.18 b) Vzdušná susceptance a admitance.....	60
Obr. 8.19 Naměřené elektrické veličiny s jedním snímačem sondy ve sněhu	60
Obr. 8.20 Krystaly ve spodní vrstvě	61
Obr. 8.21 Konduktance na stanovišti 1	61
Obr. 8.22 Admitance na stanovišti 1	62
Obr. 8.23 Susceptance na stanovišti 1.....	62
Obr. 8.24 Stanoviště 2	62
Obr. 8.25 Ledové krystaly	63
Obr. 8.26 Naměřené elektrické veličiny na stanovišti 2	64
Obr. 8.27 Vrstvy sněhu na stanovišti 3.....	64
Obr. 8.28 Naměřené elektrické veličiny na stanovišti 3	65
Obr. 8.29 Vrstvy sněhu na stanovišti 4.....	66
Obr. 8.30 Naměřené elektrické veličiny na stanovišti 4	66
Obr. 8.31 Stanoviště 5	67
Obr. 8.32 Naměřené elektrické veličiny na stanovišti 5	68
Obr. 8.33 Stanoviště 6	68
Obr. 8.34 Poslední krok měření na stanovišti 6.....	69

Obr. 8.35 Naměřené elektrické veličiny na stanovišti 6	70
Obr. 8.36 Měřicí místo v parku Lužánky (žlutá hvězda).....	71
Obr. 8.37 Elektrické veličiny v koupelně.....	71
Obr. 8.38 Elektrické veličny v předsíni	72
Obr. 8.39 Elektrické veličiny – potok v lužáneckém parku.....	72

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

Latinská abeceda

A	průřezová plocha vodiče	$[m^2]$
B	elektrická susceptance	$[S]$
d	výška sněhové pokrývky	$[m]$
f	frekvence budicího signálu	$[Hz]$
G	elektrická konduktance (vodivost)	$[S]$
h_x	vzdálenost od zemského povrchu	$[m]$
I	elektrický proud	$[A]$
L	vzdálenost mezi elektrodami	$[m]$
m	počet dní	$[den]$
m	hmotnost sněhového jádra	$[kg]$
m_s	hmotnost sněhu	$[kg]$
n	pórovitost	$[-]$
R	elektrický odpor (rezistence)	$[\Omega]$
R	tvrdost	$[N]$
SCE	výška sněhové pokrývky	$[m]$
SWE	vodní hodnota sněhu	$[-]$, $[mm]$
t	teplota	$[^{\circ}C]$
U	elektrické napětí	$[V]$
V_s	objem sněhu před roztátím	$[m^3]$
V_v	objem vody	$[m^3]$
X	elektrická reaktance	$[\Omega]$
Y	elektrická admitance	$[S]$
Z	elektrická impedance	$[\Omega]$

Řecká abeceda

θ	vlhkost sněhu	$[-]$
ρ	rezistivita	$[\Omega \cdot m]$
ρ_n	hustota sněhu po m dnech	$[kg/m^3]$
ρ_s	hustota sněhu	$[kg/m^3]$
ρ_v	hustota vody	$[kg/m^3]$
ρ_0	průměrná hustota nového sněhu	$[kg/m^3]$
σ	konduktivita	$[S/m]$
φ	fázový posun	$[rad]$

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

C	kapacitor
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
DP	diplomová práce
EIS	elektrická impedanční spektrometrie
FAST	fakulta stavební
L	induktor
m n. m.	metry nad mořem
R	rezistor
SPA	snowpack analyser
ÚVST	Ústav vodních staveb

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA Č.1 VLIV VZDUŠNÝCH VLASTNOSTÍ NA ELEKTRICKÉ VELIČINY1

PŘÍLOHA Č.2 MĚŘICÍ FREKVENCE – DALŠÍ VÝSLEDKY5