

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Maanmittaustekniikan koulutusohjelma

Tuure Karjalainen

Lumen pinnankarkeuden mittaaminen

Insinööriytyö 3.6.2010

Ohjaaja: erikoistutkija Terhikki Manninen
Ohjaava opettaja: yliopettaja Vesa Rope

Tekijä Otsikko	Tuure Karjalainen Lumen pinnankarkeuden mittaaminen
Sivumäärä Aika	48 sivua 3.6.2010
Koulutusohjelma	maanmittaustekniikka
Tutkinto	insinööri (AMK)
Ohjaaja Ohjaava opettaja	erikoistutkija Terhikki Manninen yliopettaja Vesa Rope
<p>Tämän insinööriyön aiheena oli lumen pinnankarkeuden mittaaminen SNORTEX-kampanjassa 2009. Kampanja oli Ilmatieteen laitoksen ja Météo-Francen yhteistyössä järjestämä mittauskampanja, jossa tutkittiin lumen erilaisia ominaisuuksia ja muutoksia. Tulosten avulla voidaan parantaa sää- ja ilmastomalleja ja testata satelliittipohjaisten arvioiden laatua. Työ on tehty Ilmatieteen laitokselle ja mittaukset tehtiin Sodankylässä maalisi- ja huhtikuussa 2009.</p> <p>Lumen pinnankarkeutta mitattiin pitkältä ja lyhyeltä matkalta. Pitkän matkan karkeutta mitattiin noin 100 metrin matkalta robottitakymetrikalustolla ja lyhyen matkan karkeutta noin 1 metrin matkalta kuvauslevyä vasten valokuvatusta leikkauksesta.</p> <p>Työn tarkoituksena oli tarkastella valittujen mittausmenetelmien soveltuvuutta pinnankarkeuden mittaamiseen, kehittää niitä, tarkastella menetelmillä saatujen tulosten samankaltaisuutta ja tuottaa laadukasta mittaus tulosta Ilmatieteen laitoksen tutkijoille, jotka laativat tuloksista tarkempia analyyseja tulevaisuudessa.</p> <p>Tässä työssä esitellään tuloksia pitkän ja lyhyen matkan mittausten ajallisesta kehityksestä, joista on havaittavissa sulamisjakson edetessä tapahtuva pitkän matkan karkeuden muuttuminen selvästi tiheämmin aaltoilevaksi ja lyhyen matkan karkeudessa tapahtuva pienimmän rosoisuuden pyöristyminen pois.</p> <p>Vertailtiin myös pitkän- ja lyhyen matkan tuloksia keskenään. Mittaus tulosten avulla pyritään osoittamaan pinnankarkeuksien suhde toisiinsa nähden. Tämän osoittamiseksi tarkasti ja luotettavasti tarvitaan kuitenkin vielä tarkempia analyyseja tuloksista ja mahdollisesti myös lisää mittauksia.</p> <p>Tulevaisuudessa Ilmatieteen laitos tulee tekemään lyhyen matkan pinnankarkeusmittauksia tässä työssä esiteltyllä menetelmällä ja kalustolla. Pitkän matkan pinnankarkeuden mittausten jatkamisen tarve selviää vasta tulevaisuudessa, kun Ilmatieteen laitos on saanut laadittua tarkemmat tulosten analyytit ja selvitettyä tarpeen tuleville pinnankarkeusmittauksille.</p>	
Hakusanat	pinnankarkeus, Ilmatieteen laitos, lumi, SNORTEX, Sodankylä, takymetri

Author Title	Tuure Karjalainen Measuring the surface roughness of snow
Number of Pages Date	48 3 June 2010
Degree Programme	Land surveying
Degree	Bachelor of Engineering
Instructor Supervisor	Terhikki Manninen, Senior Researcher Vesa Rope, Principal Lecturer
<p>The topic of this final year project was the measurement of snow surface roughness, done as part of the SNORTEX campaign to study snow properties and changes. The campaign results are to be used to support the development of weather and climate modeling tools and to validate satellite products.</p> <p>The surface roughness of snow was measured with both long and short distance methods. Long distance measurements were taken with a total station from about 100 metres. For the short distance measurements the distance was about one metre: the surface was first cut and then a graded plate was photographed against the cut surface to determine the roughness.</p> <p>The purpose of the study was to evaluate the suitability of the methods for the measuring of the surface roughness of snow, to develop them, and to compare the results of the methods. The goal was also to produce accurate results to be used in future analyses.</p> <p>The results of the final year project show a clear shortening in the corrugation of the long distance surface roughness during the melting period, as well as a rounding off of the small scale roughness at short distance. The short and long distance measurements were also compared each other, in an attempt to demonstrate a relationship between the roughness measurements. However, more precise analyses, possibly together with more measurements are needed to demonstrate this more clearly and accurately.</p> <p>The methods used in this final year project are to be used by the Finnish Meteorological Institute in any future short distance measurements. As for the long distance measurements, the usefulness of the method is to be assessed by the Finnish Meteorological Institute.</p>	
Keywords	surface roughness, Finnish Meteorological Institute, snow, SNORTEX, Sodankylä, total station

Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

1	Johdanto	6
2	SNORTEX-kampanja	7
2.1	Kampanjan tausta	7
2.2	Kampanjaan osallistuvat organisaatiot	7
2.3	Kampanjan tavoite	8
2.4	Kampanjassa mitattavat lumen ominaisuudet ja menetelmät	8
3	Pinnankarkeuden mittaaminen pitkältä matkalta	11
3.1	Mittausvälineet	11
3.2	Mittausmenetelmä	11
3.2.1	Mittaus maastossa	11
3.2.2	Jälkikäsittely	12
3.3	Virhelähteet	13
3.3.1	Mittaajasta johtuvat virheet	13
3.3.2	Laitteistosta aiheutuvat virheet	14
4	Pinnankarkeuden mittaaminen lyhyeltä matkalta	15
4.1	Mittausvälineet	15
4.1.1	Kuvauslevy	15
4.1.2	Kamera	16
4.2	Mittausmenetelmä	16
4.2.1	Mittaus maastossa	16
4.2.2	Jälkikäsittely	17
4.3	Virhelähteet	19
4.3.1	Kuvaajasta johtuvat virheet	19
4.3.2	Kameran linssivirhe	20
4.3.3	Kuvauslevyn mitta-asteikon virheet	21
4.3.4	Katveesta aiheutuvat virheet	21
5	Mittausten suorittaminen	22
5.1	Mittausalue	22
5.2	Mittauspäivän kulku	23

5.3	Satunnaisotannat mittausalueelta	24
5.4	Aikasarjat NorSEN-maston luona	26
6	Tuloksia	28
6.1	Tässä työssä esitettäviä tuloksia	28
6.2	Pitkän matkan pinnankarkeus	29
6.3	Lyhyen matkan pinnankarkeus	31
6.4	Pitkän ja lyhyen matkan tulosten vertailu	33
6.5	Mittaustiheyden vaikutus tuloksiin	34
7	Kehitysehdotuksia	38
7.1	Pitkän matkan pinnankarkeus	38
7.2	Lyhyen matkan pinnankarkeus	39
8	Yhteenveto	41
	Lähteet	42
	Liitteet	43
	Liite 1: Pitkän matkan mittauslinjat kartalla	43
	Liite 2: Kuvia tuloksista	47

1 Johdanto

Insinööriyössä esitetään SNORTEX (SNOW Reflectance Transition EXperiment) -kampanjassa 2009 käytetyt menetelmät lumen pinnankarkeuden mittaamiseen lyhyeltä ja pitkältä matkalta. Työn tarkoituksena oli myös tutkia menetelmien soveltuvuutta mittauksiin ja niillä saatujen tuloksien yhteensopivuutta toisiinsa nähden. Työn tilaajana oli Ilmatieteen laitos ja työn ohjaajana Maanpinnan kaukokartoitusryhmän päällikkö Terhikki Manninen. Työn ohjaavana opettajana oli maanmittaustekniikan koulutusohjelmajohtajan yliopettaja Vesa Rope.

Tässä työssä pitkän matkan pinnankarkeus tarkoittaa noin 100 metrin pituisen lumen pinnan leikkauksen karkeutta ja lyhyen matkan pinnankarkeudella tarkoitetaan noin yhden metrin pituista leikkausta.

Työssä suoritettavat mittaukset oli jaettu kahdelle erilliselle mittausjaksolle, joista ensimmäinen järjestettiin 9.–20.3.2009, jolloin Sodankylässä oli vielä keskitalvi. Toisen mittausjakson ajankohdaksi oli valittu oletettu sulamisjakson alku, 19.–29.4.2009. Ensimmäiselle jaksolle oli varattu yksi päivä enemmän mittausten testausta varten.

Aiempina vuosina ei Ilmatieteen laitoksen projekteissa ole lumen pinnankarkeutta mitattu. Ohjaajallani Terhikki Mannisella on aiempaa kokemusta pinnankarkeuden mittaamisesta Merentutkimuslaitoksen projekteista, joissa tutkittiin merijään sekä lumen pinnankarkeutta pitkältä sekä lyhyeltä matkalta. Merentutkimuslaitoksessa pitkän matkan pinnankarkeuden mittaamisessa kalustona käytettiin matkan mittaamiseen mittanauhaa sekä korkeuden mittaamiseen tasolaseria tai vaaituskojetta kohteesta riippuen. Tasolaseria ilman sähköistä tallennusta tai vaaituskojetta käytettäessä työ sitoo kahden henkilön työpanoksen. Robottitakymetrikalustoa käytettäessä samasta työstä selviää yhden henkilön työpanoksella, mikä vapauttaa yhden henkilön muihin tehtäviin ja näin saadaan aikaiseksi tuntuva säästö. (1; 2)

2 SNORTEX-kampanja

2.1 Kampanjan tausta

SNORTEX-kampanja sai alkunsa Suomen Ilmatieteen laitoksen ja Météo-Francen yhteistyöstä Euroopan sääsatelliittijärjestön EUMETSATin (Exploitation of Meteorological Satellites) pinta-albedotuotteiden kehittämisessä. Kampanjaa johtavat Terhikki Manninen (IL) sekä Jean-Louis Roujean (Météo-France).

SNORTEX-kampanja on myös osa NEESPI-ohjelmaa. NEESPI (Northern Eurasia Earth Science Partnership Initiative) -ohjelmaan kuuluu noin 50 projektia, satoja tutkijoita ja 190 organisaatiota ympäri maailmaa. Sen tavoitteena on lisätä tietämystä ekosysteemien, ilmakehän ja ihmisen toiminnan välisistä kytköksistä ja vuorovaikutuksista pohjoisen Euraasian alueella. (2; 3)

2.2 Kampanjaan osallistuvat organisaatiot

Ilmatieteen laitos on valtion laitos, jonka tehtävää sääntelee laitoksesta annettu laki ja asetus sekä Ilmatieteen laitoksen työjärjestys. Ilmatieteen laitoksen Internet-sivuilla määrittämä toiminta-ajatus on tuottaa laadukasta havainto- ja tutkimustietoa ilmakehästä ja tämän osaamisen yhdistämisen tehokkaasti palveluiksi ihmisten ja ympäristön hyväksi. (4)

Ilmatieteen laitoksen organisaatio on jaettu osastoihin: hallinto, sää ja turvallisuus sekä tutkimus ja menetelmäkehitys, jotka taas jakautuvat yksiköihin ja ryhmiin. Tämä työ on tehty Maan pinnan kaukokartoitusryhmässä, joka kuuluu tutkimus ja menetelmäkehityksen alaiseen uudet havaintomenetelmät yksikköön. (5)

Ilmatieteen laitoksen ja Météo-Francen lisäksi SNORTEX-kampanjaan osallistui Geodeettinen laitos (GL) ja Helsingin yliopisto (HY).

2.3 Kampanjan tavoite

Vertailtaessa albedon määrää eli kappaleen (tässä tapauksessa lumen) kykyä heijastaa auringosta tulevaa säteilyä takaisin lumisen metsän alueella havaitaan suuria eroavaisuuksia sääennustemallien ja satelliittihavaintojen välillä. SNORTEX-kampanjan tavoitteena on mitata lumen erilaisia ominaisuuksia, niiden muutosta ja vaikutusta talvisen metsän albedoon. Saatujen tulosten avulla voidaan parantaa sää- ja ilmastomalleja ja testata satelliittipohjaisten arvioiden laatua. (2)

2.4 Kampanjassa mitattavat lumen ominaisuudet ja menetelmät

Kampanjassa mitattiin lumen ominaisuuksia erilaisilla menetelmillä maanpinnalla usean mittausryhmän tekeminä sekä ilmasta helikopterista käsin. Lumen pinnankarkeus oli vain pieni osa kampanjassa suoritetuista lumen ominaisuuksien mittauksista. Tässä luvussa kerrotaan, mitä muuta kampanjassa mitattiin paremman kokonaiskuvan saamiseksi siitä, mihin lumen pinnankarkeus liittyy ja mihin se vaikuttaa.

Maanpinnalla mittausryhmät mittasivat lumesta seuraavia ominaisuuksia seuraavin menetelmin (6):

- Syvyys: Mitattiin mittatikulla kolmen eri kohdan syvyyttä, joista laskettiin keskiarvo.
- Tiheys: Lumen tiheyttä mitattiin painamalla mittatarkka lieriö lumikerroksen pohjaan asti, irrottamalla kyseinen luminäyte kerroksesta ja punnitsemalla näyte lieriöineen. Kun tiedetään lumen syvyys, lieriön tilavuus ja paino, saadaan laskettua lumen tiheys.
- Lämpötila: Mitattiin puikkolämpömittarilla lumikerroksen poikkileikkauksesta 10 cm:n välein pinnasta pohjaan sekä ilmasta noin 2 metrin korkeudesta.
- Kosteus: Mikroaaltotekniikkaan perustuvalla lumiharukalla mitattiin lumen kosteus- ja tiheysprofiili 10 cm:n välein kuten lämpötilakin. Kosteutta mitattiin

myös yksinkertaisella lumipallotestillä pintalumesta ja pohjalumesta.

Lumipallon teon onnistuessa oletetaan lumen olevan kosteaa.

- Kidekoko: Kidekoko saatiin mittaamalla pieni näyte lumikiteitä kuvauslevyn mitta-asteikkoa vasten. Lumikiteistä mitattiin pienimmän ja suurimman kiteen sekä keskimääräisen kiteen maksimihalkaisija. Kidekoko määritetään myös lumikerroksen poikkileikkauksesta otetuilla lähi-infrapunavalokuvilla.
- Karkeus: Mitattiin lumen pinnankarkeus 20 cm:n matkalta käyttämällä kuvauslevynä samaa levyä kuin kidekoon määrittämisessä.
- Pinnan roskaisuus: Mitattiin valokuvaamalla 40 cm halkaisijaltaan olevan neliön sisään jäävä alue.
- Lumikuopan profiili: Profiilista saatiin määritettyä lumen eri kerroksia. Profiili kuvattiin normaalilla kameralla sekä NIR (lähi-infrapuna) -kameralla. Lumikuopasta ja sen ympäristöstä otettiin maisemakuvia. Kuvat auttavat maastotyyppin ja pilvisyyden määrittelyssä. Kuopan reunasta mitattiin myös lumen lämpötila ja tiheysprofiili.
- Spektri: Kannettavalla spektrometrillä mitattiin lumen heijastuskerroin auringosta tulevan säteilyn aallonpituuksilla.
- Laserkeilaus: Geodeettinen laitos mittasi pistepilviaineistoa lumen pinnasta laserkeilaamalla.
- Albedo: Lumen laajakaistainen albedo mitattiin kannettavalla albedometrillä noin 1 m:n korkeudelta.
- BRDF (Bidirectional Reflectance Distribution Function): Ominaisuus joka kuvaa kohteeseen (tässä tapauksessa lumi) saapuvan valon kirkkauden suhdetta kohteesta pois heijastuvaan valon kirkkauteen. Mitattiin kannettavalla spektrogonimetrillä noin 10 cm kertaa 10 cm suuruisista alueista lumen pinnasta.

Ilmassa helikopterista käsin mitattiin lumesta seuraavia ominaisuuksia seuraavin menetelmin (2):

- BRDF: Jean-Louis Roujean ja Oliver Hautecoeur Météo-Francesta mittasivat lumen BRDF:ää OSIRIS-instrumentilla helikopterista.
- Laserkeilaus helikopterista: Météo-France mittasi pistepilviaineistoa laserkeilaimella helikopterista.
- Albedo: Mitattiin ylös- ja alaspäin suunnatuilla pyranometreilla, joita oli yksi pari helikopterin kummallakin sivulla.
- LAI (lehtialaindeksi) -mittaukset: Mitattiin laajakulmaisella optiikalla varustetulla kameralla.

3 Pinnankarkeuden mittaaminen pitkältä matkalta

3.1 Mittausvälineet

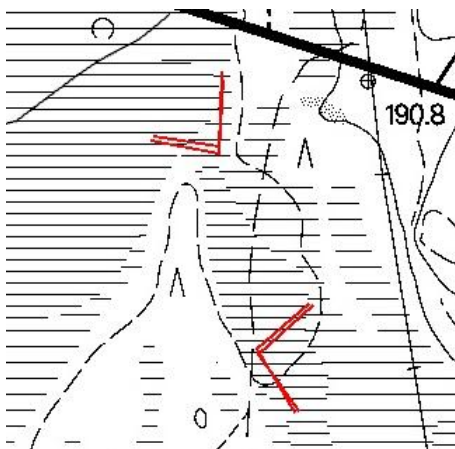
Mittauksissa käytettiin Leica 1200 -sarjan robottitakymetrikalustoa TCRP 1205, joka vuokrattiin Leicalta. Robottitakymetrikalustoon kuuluu takymetrin lisäksi Leican 360°:n prisma, prisma-auva, kolmijalka ja RX-1250-ohjain. Linjojen sijainnin määrittämiseen valtakunnallisessa koordinaatistossa käytettiin Garmin gps 60CSx -GPS-laitetta. Kompassilla määritettiin asemapisteen nollasuunta pohjoiseen.

3.2 Mittausmenetelmä

3.2.1 Mittaus maastossa

Lumen pinnankarkeuden määrittäminen pitkältä matkalta tehtiin robottitakymetrikalustolla mittaamalla kussakin paikassa kaksi noin 100 metriä pitkää mittauslinjaa. Linjojen välinen kulma on noin 90 astetta. Maasto-olosuhteista (esteenä pääasiassa puusto) johtuen linjan pituutta jouduttiin joissain paikoissa lyhentämään 50 metriin tai 25 metriin.

Kuvassa 1 on piirrettynä Melalammen alueella mitatut pitkän matkan mittauslinjat. Linjat ovat noin 100 metriä pitkiä, ja niiden välinen kulma on 90 astetta.



Kuva 1. Melalammen pitkän matkan mittauslinjat (kartta Maanmittauslaitos).

Linjalta mitattiin pisteitä noin 100 kappaletta linjan pituudesta riippumatta. Mittaukset tehtiin omassa koordinaatistossa. Orientointi saatiin asettamalla nollasuunta kompassin avulla pohjoiseen. Linjojen asemapistet ja päätepiiste kirjattiin ylös Garminin GPS-laitteella WGS84-koordinaatistossa. Tällä tavoin saatu linjojen sijainti on tarpeeksi tarkka käyttötarkoitusta varten. Jälkikäteen linjojen sijainnit muunnettiin KKK-koordinaatistoon. Muunnoksessa käytettiin Maanmittauslaitoksen muunnosohjelmaa, versio 7.10.2003.

Lapin ilmatieteellisen tutkimuskeskuksen alueella sijaitsevan NorSEN-maston luona kaikki mittausryhmät tekivät mittauksia aikasarjaa varten jokaisen mittauspäivän päätteeksi. Kyseisten mittausten ajallinen kehitys auttaa suhteuttamaan toisiinsa mittausalueilla eri päivinä tehdyt mittaukset. Pitkän matkan pinnankarkeusmittauksia varten alueelle tehtiin mittauslinja. Alueella ei ollut mahdollista mitata noin 100 metriä pitkää linjaa, teiden ja puuston takia, minkä vuoksi aikasarjamittaukset tehtiin ainoastaan 80 metriä pitkällä linjalla. Linjalta mitattiin pisteitä noin yhden metrin välein.

3.2.2 Jälkikäsitely

Erilliskoordinaatistossa oleva takymetridata siirrettiin tietokoneelle txt-muodossa, minkä jälkeen data tarkastettiin ja siitä poistettiin mahdolliset asemapistetiedot ja harhapisteet. Tiedostojen jälkikäsitelyssä ei saa olla yhtään ylimääräistä pistettä.

Terhikki Manninen on tehnyt 90-luvulla C-kielellä RMSCORR-ohjelman, kun hän tutki Merentutkimuslaitoksessa merijään ja lumen pinnankarkeutta. Tutkittavat parametrit eivät ole muuttuneet tähän päivään mennessä, ja ohjelma soveltuu mittauksiin hyvin.

Terhikki Manninen muokkasi RMSCORR-ohjelmasta version, joka lukee takymetristä tulevaa txt-dataa. Ohjelma muuttaa x, y, h-koordinaatistossa olevat linjat x, h-koordinaatistoon. Tämän jälkeen se muuttaa vielä mittauslinjat alkamaan x-koordinaatista 0. Takymetridataa käsittelevä ohjelma on nimeltään RMSCORR_taky.

Alkuperäisestä txt-muodossa olevasta takymetridatasta tulostettiin ohjelmalla RMSCORR_taky tiedostot xxx.txt_corrfunc, xxx.rmscorr_taky sekä xxx.rmscorr_taky_vs_length_regression. Tässä työssä tarkastellaan tulostettavista tiedostoista tiedostoa rmscorr_taky_vs_length_regression, joka tulostaa pinnankarkeusprofiilista RMS (Root Mean Square) -sovituksen parametrit EXP (a) ja b, jotka kuvaavat korkeusvaihtelun suuruutta ja niiden korrelaatiokertoimen, sekä CL (Correlation Length) -sovituksen parametrit a ja b, jotka kuvaavat aaltoilun tiheyttä ja niiden korrelaatiokertoimen. Korrelaatiokertoimet kuvaavat sovitusten luotettavuutta. Parametriarvoista valitaan 60 %:lle maksimipituudesta lasketut arvot, jolloin tilastollinen edustavuus on paras (7).

RMS-sovituksen sekä CL-sovituksen korrelaatiokerroin on hyvä, jos sen arvo on yli 0,9, ja kohtalainen, jos se on yli 0,8. Näiden alle olevien arvojen luotettavuus on erittäin huono, eikä niitä voi käyttää lainkaan. Kaikkien profiilien luotettavuusarvot olivat yli 0,8, joten ne voitiin kaikki ottaa mukaan analyysiin.

3.3 Virhelähteet

3.3.1 Mittaajasta johtuvat virheet

Korkeuden mittaustarkkuuden tavoitteeksi asetettiin ± 1 cm. Suurin virhe pitkän matkan pinnankarkeuden mittaamisessa tulee prisma-auvan pitämisestä lumen pinnan tasolla. Lumi on ominaisuuksiltaan pehmeää materiaalia ja terävä prisma-auva ei pysähdy sen pinnalle, joten prisma-auvaa joutui kannattelemaan silmämääräisesti lumenpinnan tasolla. Prismasauvan kannatteleminen lumen pinnalla kovan pinnan sijasta aiheuttaa myös hieman suuremman prisma-auvan heilumisen. Tästä aiheutuvaksi virheeksi arvioitiin alle ± 1 cm. Arvio ei perustu mihinkään empiiriseen tutkimukseen, vaan kolmen viikon aikana tehtyjen havaintojen mukanaan tuomaan kokemukseen.

3.3.2 Laitteistosta aiheutuvat virheet

Leica lupaa TCRP 1205 -robottikymetrin kulmanmittaustarkkuudeksi 1,5 mgon ja etäisyysmittauksen tarkkuudeksi nopealla mittauksella 3 mm + 1,5 ppm (8).

Laitevalmistajien lupaamiin tarkkuuksiin on suhtauduttava kriittisesti; tässä tapauksessa haluttu tarkkuus saavutetaan mittauslaitteen osalta, vaikka laitteella ei päästäisikään aivan laitevalmistajan lupaamaan tarkkuuteen.

GPS-laitteella mitatuista linjoista tuli useiden metrien virhe valtakunnalliseen koordinaatistoon nähden. Tällä virheellä ei kuitenkaan ole merkitystä. GPS-laitteen tarjoama tarkkuus linjojen sijainnissa valtakunnallisessa koordinaatistossa riittää osoittamaan linjojen sijainnit maastokartalla 1:25 000 halutulla tarkkuudella.

4 Pinnankarkeuden mittaaminen lyhyeltä matkalta

4.1 Mittausvälineet

4.1.1 Kuvauslevy

Kuvauslevy on mitoiltaan 106 cm x 46 cm. Keskellä olevan mustan kuvauspinnan mitat ovat 100 cm x 40 cm. Kuvauspinnan ympärillä kiertää mustavalkoruuudullinen mitta-asteikko. Asteikon uloin reuna on 10 mm:n halkaisijalla oleva ruudukko, keskellä 2 x 5 mm:n ruudukko ja sisimpänä kiertää 10 mm:n x 1 mm:n ruudukko. Kuvassa 2 kuvauslevy näkyy hankeen painettuna.



Kuva 2. Kuvauslevy 18.3 9:30 LI 1248

Kuvauslevy on valkeaa I-bond-nimistä 3 mm paksua alumiinikerroslevyä, jonka pintakerrokset ovat ohutta alumiinia ja sisäosa polyeteeniä. Kuvauslevyn pinnassa on mattamusta teippi. Reunoja kiertävä mitta-asteikko on kaiverrettu 0,8 mm paksulle laser-kaiverruslevylle, joka on kiinnitetty varsinaiseen kuvauslevyyn ohuella kaksipuolisella teipillä. Painoa levyllä tuli noin 1,9 kg (3,8 kg/m²).

Kuvauslevyn suunnittelusta vastasivat tämän työn tekijän lisäksi Terhikki Manninen sekä Laser-Riimikko. Kuvauslevyn valmisti Laser-Riimikko Porvoosta.

4.1.2 Kamera

Kamerana käytettiin Canon PowerShot G10 -digitaalikameraa. Kamerassa on 14,7 megapikselin kenno, 5-kertainen laajakulmaobjektiivi, jossa on optinen kuvanvakain.

Taskukokoinen digitaalikamera on painon ja fyysisen koon ansiosta maastomittausolosuhteissa helposti käytettävä ja kannettava verrattuna raskaampaan järjestelmäkameraan. Lisäksi kameran edullisuus verrattuna järjestelmäkameraan vaikutti valintaan. Lopulliseen kameran mallin valintaan vaikutti keskustelut Ilmatieteen laitoksen tutkija Panu Lahtisen kanssa sekä useiden kameraliikkeiden myyjien suositukset (Stockmann, kamera Rajala, Telefoto).

4.2 Mittausmenetelmä

4.2.1 Mittaus maastossa

Levyprofiilit mitattiin noin 100 metriä pitkältä pitkän matkan mittauslinjalta 10 tai 20 metrin välein, 50 metrin linjalta 10 metrin välein ja 25 metrin linjalta 5 metrin välein.

Kuvauslevy painettiin lumihankeen pystysuunnassa varoen rikkomasta levyn edessä olevaa lumen pintaa. Hankeen painettu levy valokuvattiin. Kuvassa 3 näkyy lyhyen matkan pinnankarkeusprofiilin mittaustilanne. Jokaisesta levyä vasten olevasta profiilista otettiin kolme kuvaa. Kuvauslevyn reunoilla kiertävän mitta-asteikon avulla kuva oikaistiin ja siitä mitattiin profiili.

Kukin yksittäinen mittauslinja täytyy kulkea edestakaisin kaksi kertaa, ensimmäisellä kerralla pitkän matkan pinnankarkeutta mitattaessa ja toisella kerralla lyhyttä pinnankarkeutta kuvatessa. Mittausten nopeamman sujumisen kannalta lumikengät olivat välttämättömät. Lumikengät kannattelivat paremmin, ja ne jalassa hyvä polku muodostui tarpeeksi leveäksi. Pitkän matkan profiilin mittauksen aikana syntynyt polku mahdollisti onnistuneen lyhyen matkan profiilien kuvaamisen.



Kuva 3. Lyhyen matkan pinnankarkeusprofiilin valokuvaus 10.3. 2357. (kuva Terhikki Manninen)

Kuvassa 3 valokuvataan kuvauslevyä vasten olevaa pinnankarkeusprofiilia. Kuva tilanteesta on otettu ensimmäisen mittausjakson ensimmäisenä päivänä, kun mittausmenetelmiä testattiin.

Kuvatut profiilit nimettiin sen mukaan, miltä pitkän matkan linjalta ne on otettu ja mikä on otetun valokuvan numero. Kuvan 3 valokuvattu profiili on harjoitusprofiili ja tästä syystä nimetty ainoastaan päivämäärän ja kuvan numeron mukaan: 10.3. 2357.

4.2.2 Jälkikäsittely

Maastossa otetut valokuvat kuvauslevyä vasten olevista lumen pinnankarkeusprofiileista prosessoitiin jälkikäsittelyohjelmalla, joka tulosti kuvasta levyä vasten olevan pinnan profiilin x, h-koordinaatistossa. Tulostettavat tiedostot ovat datmuodossa. Terhikki Manninen teki jälkikäsittelyohjelman Mathematica-ohjelmalla. Jälkikäsittelyohjelma huomioi kuvauskulman, -asennon ja -etäisyyden sekä linssivirheestä aiheutuvan kuvan pyöristymisen, ennen kuin se tekee tulostustiedostoon

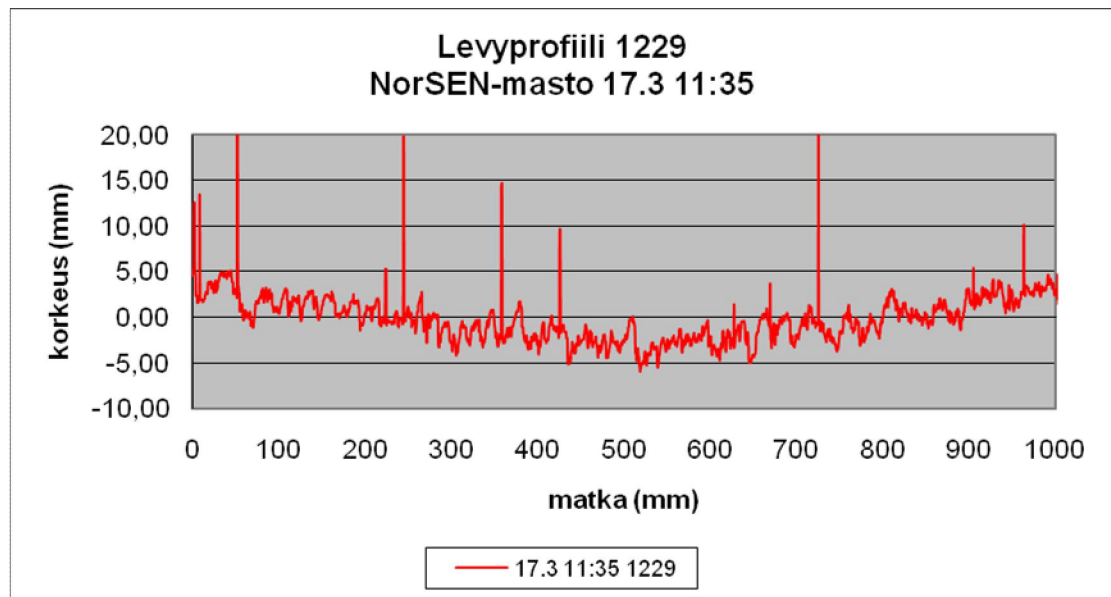
x , h -profiilin. Jälkikäteen huomattiin profiilien tulostuneen ylösalaisin. Tämä ei kuitenkaan vaikuta profiileista saataviin parametreihin, joista kerrotaan lisää myöhemmin tässä luvussa. Mahdollisia pituusleikkauksia tehtäessä profiilit saadaan käännettyä kertomalla h -koordinaatti arvolla -1 .

Lyhyen matkan x , h -profiilit luettiin samantyyppisellä RMSCORR-ohjelmalla kuin pitkän matkan profiilitkin. Terhikki Manninen muokkasi alkuperäistä RMSCORR-ohjelmaa siten, että ohjelma tulostaa myös oikaistun profiilin, joka poistaa maanpinnan kaltevuuden vaikutuksen. Levyprofiileja lukeva ohjelma on nimeltään RMSCORR_levy.

Jokaisesta mathematicalla tulostetusta pinnankarkeusprofiilista tulostettiin ohjelmalla RMSCORR_levy tiedostot xxx.dat_corrfunc, xxx.dat_rect, xxx.dat_rmcorr_levy sekä xxx.dat_rmcorr_levy_vs_length_regression. Oikaistu profiili on tiedostossa xxx.dat_rect. Tässä työssä tarkastellaan tiedostoa rmcorr_levy_vs_length_regression, joka tulostaa jälleen pinnankarkeusprofiilista RMS-sovituksen parametrit EXP (a), b ja niiden korrelaatiokerroimen sekä CL-sovituksen parametrit a ja b ja niiden korrelaatiokerroimen. Parametriarvoista valitaan jälleen 60 %:lle maksimipituudesta lasketut arvot.

Tässä työssä tarkastellaan ainoastaan tuloksia, joiden korrelaatiokerroin on yli 0,8. Huono korrelaatiokerroin voi johtua esimerkiksi profiilissa olevista epätodellisen korkeista arvoista, jotka aiheuttavat virhepiikin profiiliin. Ensimmäisellä jaksolla kuvatuissa profiileissa on useampi huonon korrelaatiokerroimen saanut profiili. Tämä johtuu osittain siitä, että ensimmäisellä jaksolla lyhyen pinnankarkeuden mittaaminen oli mittaajalle uusi asia ja sen aikana kuvatuissa profiileissa kuvauskulma ja etäisyys vaihtelivat toista jaksoa huomattavasti enemmän. Profiileissa esiintyi virhepiikkejä enemmän, jos kuvaus oli tehty vaikeissa olosuhteissa. Kuvauskulman ja etäisyyden vaihtelun lisäksi lumisade tai vesipisarot levyssä aiheuttivat ongelmia profiilin automaattiselle prosessoinnille. Kuvassa 4 on tulostettuna esimerkiksi levyprofiili 1229

NorSEN-maston linjalta. Profiilista näkee selvästi, että siihen on tullut useampi virhepiikki. Profiili on hylätty tuloksista.



Kuva 4. Levyprofiili 1229

Lyhyen matkan pinnankarkeusprofiilien suuren määrän vuoksi kuvissa esiintyviä virhepiikkejä ei lähdetä tässä työssä etsimään, poistamaan tai tutkimaan tarkemmin niiden syitä. Myöhemmin tehtäviä tarkempia analyysejä varten virhepiikkien olemassaolo on hyvä tiedostaa ja näiden profiilien poiminta voidaan toistaa, kun prosessointiohjelmaa on kehitetty enemmän.

4.3 Virhelähteet

4.3.1 Kuvaajasta johtuvat virheet

Kuvauslevyä painettaessa lumihankeen lumen pinta rikkoutuu ja samalla pinnankarkeus muuttuu. Lumen pinnan ollessa kevyttä ja pehmeää kuvauslevy upposi kevyesti pudottamalla lumeen helposti ja pinnassa ei huomannut silmällä muutosta.

Tapauksissa, joissa kuvauslevy ei saa tarpeeksi tukea lumesta, se pääsee kallistumaan eteen tai taaksepäin. Kallistuminen aiheuttaa lumenpinnan näennäisen kohoamisen, kun levy kallistuu pystysuunnasta. Näin tapahtuessa lumen pinnankarkeus muuttuu, ja

mittaus aloitetaan uudelleen vieressä olevalla vielä koskemattomalla lumen pinnalla. Lumen ollessa kevyimmillään asetettiin takymetrin säilytyslaatikko kuvauslevyn taakse tukemaan levyä.

Maasto-olosuhteista johtuen kuvia otettaessa ei käytetty kolmijalkaa tai muuta alustaa kameralle vaan kuvat otettiin käsivaralla. Tästä johtuen kamerasäilytyslaatikon etäisyys ja kulma kuvauslevyyn nähden vaihtelee eri kuvilla. Etäisyyden ja kulman vaihtelu huomioitiin, kun kuvasta tulostettiin x , h -profiilia Mathematica jälkikäsitteilyohjelmalla.

4.3.2 Kameran linssivirhe

Linssivirhe tarkoittaa sitä, että kohde, tässä tapauksessa luonnossa suorakulmainen kuvauslevyn mitta-asteikko, pyöristyy valokuvassa. Linssivirheet jaetaan kahteen ryhmään: tangentialinen piirtovirhe ja radiaalinen piirtovirhe. Tangentialinen virhe johtuu linssien asennuksessa tapahtuvasta virheestä, josta johtuen linssien optiset akselit eivät olekaan tarkalleen yhtä suoraa. Linssi taittaa tai suurentaa valonsädettä eri tavalla keskellä kuin reunoissa tätä kutsutaan radiaaliseksi piirtovirheeksi, tämä virhe on yleensä huomattavasti suurempi kuin linssien asennuksesta johtuvat tangentialiset virheet (9).

Kameran linssivirhe huomioitiin laskennallisesti Mannisen tekemässä jälkikäsitteilyohjelmassa, joka poimii automaattisesti valokuvasta x , h -profiilin. Linssivirheen korjauksen jälkeen levyn suoruuden virhe metrin matkalla on noin muutama promilli. Osa virheestä voi tulla siitä, että linssiparametrien määrittäminen tehtiin vain prosenttien tarkkuudella, jotta laskenta-aika ei venyisi kohtuuttoman pitkäksi. Oletettiin myös, että linssi on ympyräsymmetrinen. Laboratorio-olosuhteissa tehtävissä mittauksissa kamera pitäisi kalibroida, mutta maastomittauksissa suurempia virheitä tulee muista virhelähteistä (2; 10).

4.3.3 Kuvauslevyn mitta-asteikon virheet

Kuvauslevyn suuren leveyden, 106 cm, vuoksi mitta-asteikon pitkät sivut jouduttiin tekemään kahdesta erillisestä laser-kaiverruslevyn osasta. Yhteensä koko levyn kiertävä mitta-asteikko sisältää kuusi erillistä osaa. Jokaisen erillisen osan väliin jää 0,2 mm leveä väli.

Lämpötilan vaihtelu aiheuttaa kuvauslevyissä muutoksia. Mittausjakson aikana alhaisin lämpötila oli noin $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ensimmäisen jakson aikana, ja korkein lämpötila oli noin $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ toisen jakson aikana. Alumiinin lämpölaajenemiskerroin on $23,2 \times 10^6$ ja lämpölaajenemisen kaava on:

$$\Delta l = \alpha \cdot l_0 \cdot \Delta T \quad (1)$$

jossa $\Delta l = 0,3\text{ mm}$ on pituuden muutos, $\alpha = 23,2 \cdot 10^6$ on materiaalivakio, $l_0 = 53\text{ cm}$ on

kappaleen pituus ja $\Delta T = 25\text{ K}$ on lämpötilan muutos. Kaiverruslevy laajenee kaksinkertaiseksi eli noin $0,6\text{ mm}$. (11)

4.3.4 Katveesta aiheutuvat virheet

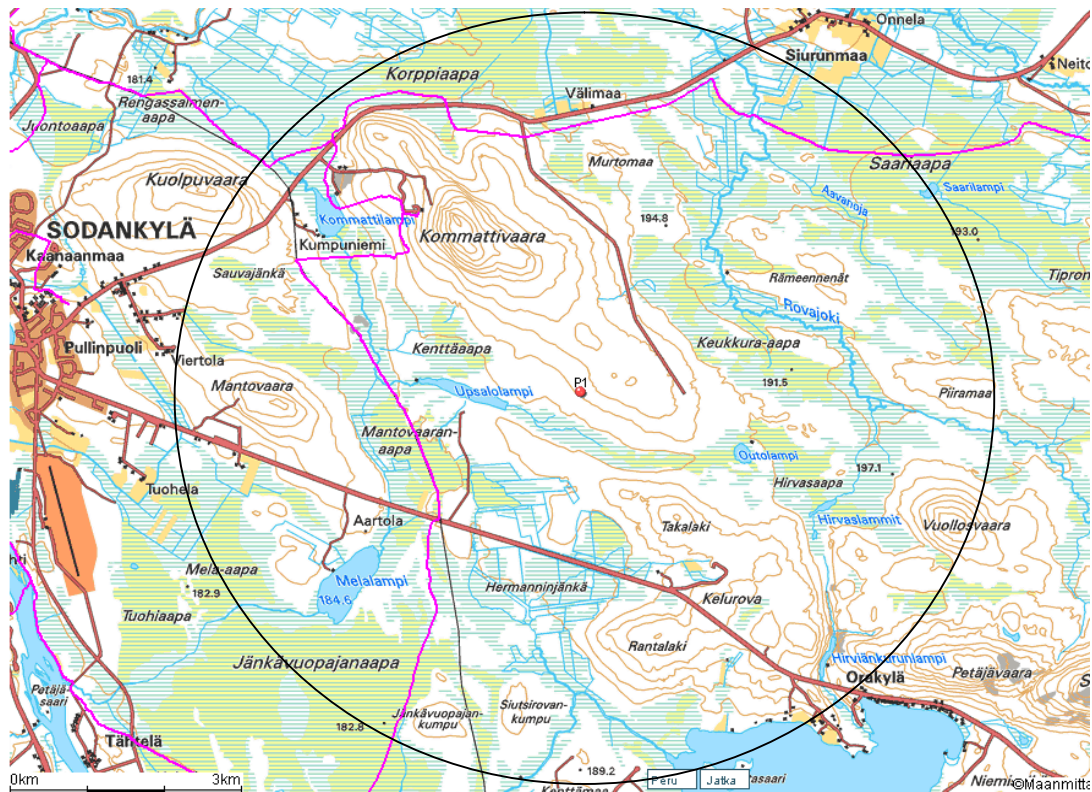
Lumenpinta on tyypiltään aaltoilevaa, ja kuva pyritään ottamaan mahdollisimman kohtisuoraan kuvauslevyyn nähden. Kuvauslevyn ja kameran välissä on lukuisia erilaisia leikkauksia lumenpinnasta. Leikkauspinta, josta data pitäisi saada esiin, sijaitsee kamerasta kauimmaisena kuvauslevyä vasten. Tämän leikkauksen ja kameran väliin jäävät pinnan aaltoilevat kummut voivat jättää leikkauksen matalimpia kohtia katveeseen, ja näin ollen luonnossa oleva pinnanleikkaus ja kovalta saatava leikkausdata eivät ole täysin identtiset. Myös lumenpinnan roskaisuus (esimerkiksi havunneulaset ja lehdet) voivat aiheuttaa katvetta halutulle leikkaukselle. Tähänkin ongelmaan suurin apu

on kuvaajan huolellisuus. Kun silmämääräisesti huomataan jonkin kohdan jäävän katveeseen, on levy siirrettävä viereiseen kohtaan, jossa lumen pinta on puhdas.

5 Mittausten suorittaminen

5.1 Mittausalue

Vuoden 2009 SNORTEX-kampanjan maastomittausalue sijaitsi Sodankylän kirkonkylästä muutama kilometri itään päin. Kirkonkylä näkyy kuvassa 5 vasemmassa reunassa. Mittausalue, jonka halkaisija oli noin 10 km, sijaitsi kuvassa olevan ympyrän sisällä. Alueen keskipiste on merkitty kuvaan punaisella pisteellä (P1) , $67^{\circ} 24,637'N$, $26^{\circ} 46,592'E$ (WGS84).



Kuva 5. SNORTEX-maastomittausalue 2009 (kartta maanmittauslaitos).

Mittausten tukikohta ja majoittuminen sijaitsivat Tähtelässä Lapin ilmatieteellisen tutkimuskeskuksen tiloissa, joiden sijainti näkyy kuvassa 5 vasemmassa alanurkassa. Tähtelässä sijaitsee myös NorSEN-masto, jonka vieressä suoritettiin mittauspäivien viimeiset mittaukset aikasarjaa varten.

5.2 Mittauspäivän kulku

Mittauspäivä alkoi normaalisti kello 8.00 yhteisellä kokouksella, jossa käytiin läpi päivän sääennusteet. Sääennusteiden ja paikallisten teiden ajokelpoisuutta koskevien tietojen mukaan päätettiin, minne mittausalueella lähdettiin suorittamaan maastomittauksia.

Kokouksen jälkeen Tähtelässä lastattiin mittausvälineet autoihin ja siirryttiin päivän mittausalueiden läheisyyteen. Mittausalueesta riippuen päästiin 50–500 metrin päähän kohteesta. Mittauskohteita valittaessa siirtymän pituus autolta kohteeseen oli otettu huomioon. Mittauskohteen valintaa rajoitti se, että pienimmät tiet eivät olleet vielä kevättalvella auki ja suurimmilla teillä oli auton pysäköintiin tarvittavia levennyksiä harvassa.

Auton luona pakattiin mittausvälineet ahkioon. Ahkioon pakattiin pressulla suojattuna kuvauslevy pohjalle, päälle takymetri, kolmijalka ja prisma, toisen mittausjakson aikana myös saha ja laudanpätkät jokaiselle kolmijalan jalalle. Prismasauvaa kannettiin kädessä ja kameraa, käsi-GPS:ää sekä kompassia taskuissa. Tätä suuremman kalustomäärän kuljettaminen maasto-olosuhteissa voisi osoittautua hankalaksi.

Mittauspäivän aikana mitattiin 2–5 pitkän matkan linjaa varsinaisella mittausalueella. Mittausten määrään vaikutti päivän pituus ja mittauspaikka. Jokaisen päivän päätteeksi tehtiin mittaukset aikasarjaa varten NorSEN-maston luona Tähtelässä.

NorSEN-mastolta siirryttiin takaisin Ilmatieteellisen tutkimuskeskuksen tiloissa sijaitsevalle toimistolle. Toimistolla rutiineihin kuului datan purkaminen takymetriltä

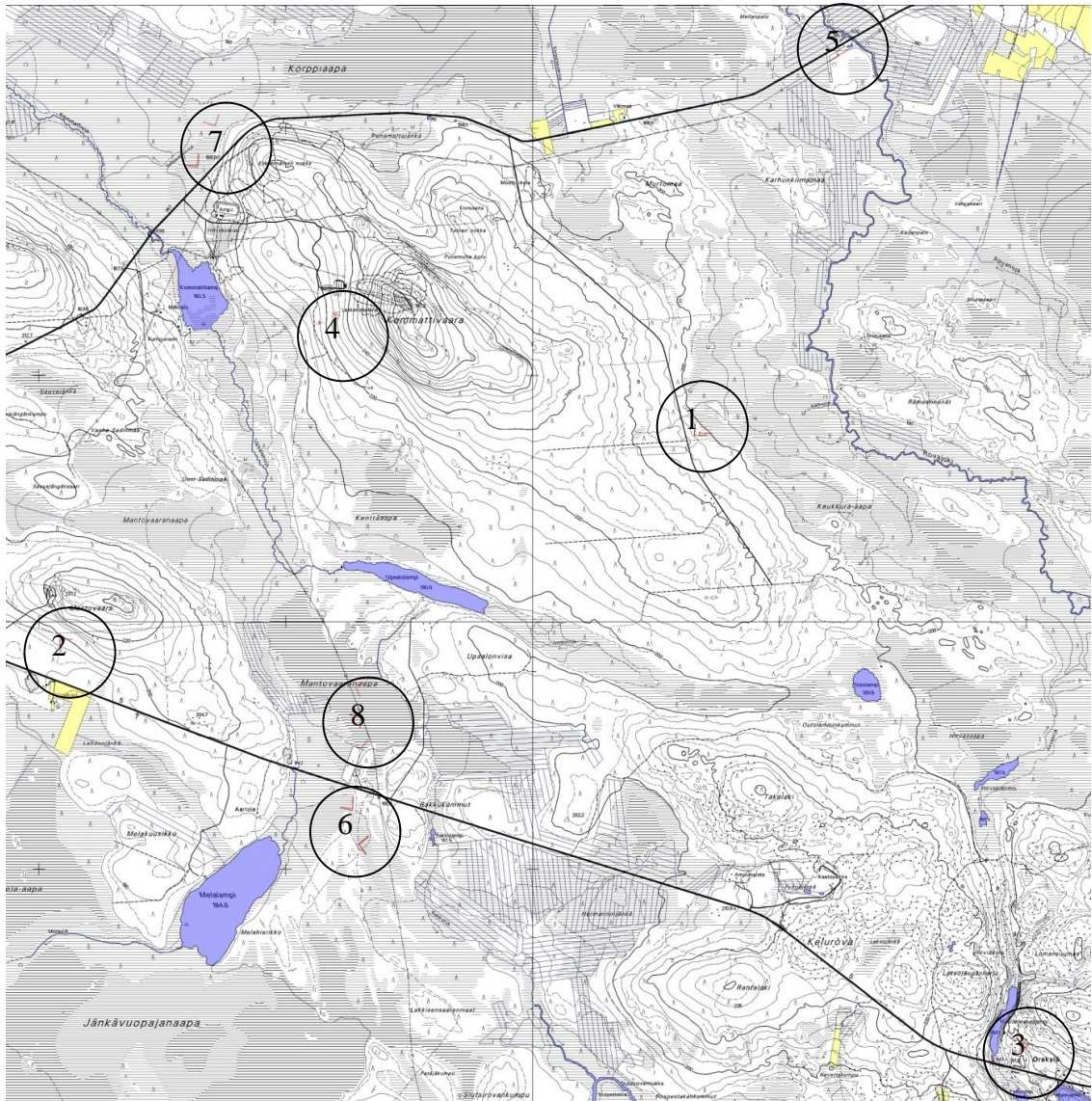
sekä kamerasta. Data käytiin nopeasti läpi ja näin pyrittiin varmistamaan, että data oli tallentunut ilman ongelmia. Kalustohuoltoon kuului mittausvälineiden sijoittaminen kuivumaan sekä akkujen laittaminen lataukseen yön ajaksi.

5.3 Satunnaisotannat mittausalueelta

Satunnaisotannat maastossa suoritettiin kunkin päivän varsinaisella mittausalueella. Pitkänmatkan mittauslinjat oli tarkoitus mitata toinen linja pohjois–etelä-suunnassa ja toinen linja itä–länsi-suunnassa. Koskemattomalla lumella sijaitsevan kahden suorakulmaisesti toisiinsa nähden olevan 100 metriä pitkän linjan löytäminen maastosta oli haastavaa puuston, kelkkareittien, hiihtolaturien ja lumikenkäreittien vuoksi. Ihanteelliset ilmansuunnat mittalinjoille olivat mahdollisia vain hyvin harvoissa paikoissa. Linjojen pituusiakin jouduttiin joissain paikoissa lyhentämään 50 metriin tai jopa 25 metriin.

Jokaiselta pitkän matkan linjalta valokuvattiin lyhyen matkan profiileja 5–10 kohdasta. Kuvauskohdat sijaitsivat tasaisin välimatkoin pitkän matkan linjalla.

Kuvassa 6 on kartalla esitettynä mittausalueet ympyröitynä ja numeroituna. Kartalla näkyy myös mitatut pitkän matkan linjat. Tarkempi kartta jokaisesta mittausalueesta ja alueella tehdyistä mittauslinjoista on liitteessä 1.



Kuva 6. Mittausalueet ympyröitynä ja numeroituna

Mittausalueilla, joiden sijainnit on esitettyä kuvassa 6, suoritettiin mittauksia molempien mittausjaksojen aikana. Taulukossa 1 on alueilla tehtyjen mittauksen ajankohdat.

Taulukko 1. Mittausalueet ja mittauspäivät

Mittausalue	Mittauspäivä	Mittauspäivä
1. Kommattivaara	11.3.	20.4.
2. Ravirata	12.3.	27.4.
3. Hirviäkuru	13.3.	25.4.
4. Kommattilampi	14.3.	24.4.
5. Siurunmaa	15.3.	26.4.
6. Melalampi	16.3.	21.4.
7. Korppiaapa	17.3.	23.4.
8. Mantovaaranaapa	18.3.	22.4.

5.4 Aikasarjat NorSEN-maston luona

Jokaisena mittauspäivänä mitattiin NorSEN-maston luona sama 80 metriä pitkä lumen pinnankarkeusprofiili. Lyhyen matkan pinnankarkeusprofiili kuvattiin kolmesta eri kohdasta.

Pitkän matkan linjaa mitatessa lumen pinta ei muutu mittauksen johdosta, ja tämä mahdollistaa mittauksen suorittamisen samasta paikasta päivästä toiseen. Ensimmäisen jakson mittauksen jälkeen hankeen oli painautunut niin selvä polku, että se oli helposti löydettävissä vielä toisenkin jakson aikana. Näin ollen mittausjakson vaihtumisenkaan ei tuonut muutosta linjan sijaintiin, ja eri päivinä suoritettavat mittaukset ovat täysin vertailukelpoisia toisiinsa nähden.

Lyhyttä profiilia mitatessa jokainen kuvauslevyn painaminen lumihankeen rikkoo lumen pinnan, ja tämä estää saman linjan mittaamisen kahteen kertaan. Tämän johdosta lyhyiden profiilien mittaaminen tuli tehdä eri puolelta mittauslinjan polkua kuin pitkän linjan mittaus. Jos levyn painaminen hankeen olisi onnistunut ilman ongelmia, olisi mittauskohdan muuttuminen ollut suhteellisen vähäinen. Levyn painaminen hankeen ei aina kuitenkaan onnistu rikkomatta pinnankarkeutta levyn edestä, jolloin mittaus täytyy uusua ja muutaman kerran levy pääsi myös kaatumaan. Lisäksi ensimmäisen jakson

mittauspaikoista ei ollut erotettavissa yhtä selkeää jälkeä toisen jakson alussa. Näistä seikoista johtuen lyhyen matkan aikasarjamittaukset eivät ole täysin vertailukelpoisia edellisen kerran mittauksiin.

NorSEN-maston luona tehtyjen mittausten tarkoituksena oli auttaa suhteuttamaan toisiinsa muualla eri päivinä tehtyjä mittauksia. Mittaukset pyrittiin suorittamaan aina päivän päätteeksi, jotta mittaukset tehtäisiin lähes samaan aikaan joka päivä.



Kuva 7. NorSEN-masto 16.3



Kuva 8. NorSEN-masto 28.4. (kuva Terhikki Manninen)

Kuva 7 on otettu NorSEN-maston mittauslinjalta ensimmäisellä mittausjaksolla 16.3. Pitkän matkan aikasarjamittauslinja kulkee kuvassa näkyvän polun vasemmalla puolella. Kuvan oikeassa reunassa näkyy myös mittauslevy. Kuvassa 8 mitataan mittauskampanjan viimeisiä mittauksia samassa paikassa. Kuvista on hyvin havaittavissa lumen sulamisen aiheuttama muutos.

6 Tuloksia

6.1 Tässä työssä esitettäviä tuloksia

Tässä luvussa esitellään kampanjassa mitattuja pitkän ja lyhyen matkan pinnankarkeusprofiileista laskettuja tuloksia. Tässä työssä tarkastellaan RMS-sovituksen parametreja EXP (a) ja b sekä CL-sovituksen parametria b. Tuloksissa esitellään mittauksia mittausalueelta sekä NorSEN-maston linjalta. Tarkastellaan myös mittauspisteiden tiheyden vaikutusta tuloksiin sekä pitkän ja lyhyen matkan pinnankarkeustulosten yhteensopivuutta.

Pinnankarkeuden kuvaamiseen on olemassa kymmeniä erilaisia parametreja (12), joista yleisimpiä tarkastellaan tässä työssä. RMS-sovituksen parametrit kuvaavat korkeusvaihtelun suuruutta ja CL-sovituksen parametrit kuvaavat aaltoilun tiheyttä eli huippujen välimatkaa. Parametrit on laskettava etäisyyden funktiona (13).

RMS-vaihtelun logaritmiin vaikuttaa mittauslinjan pituuden logaritmi (13).

$$\log(\sigma) = a + b \log(x) \quad (2)$$

jossa σ on RMS-vaihtelu, a on a (RMS), b on b (RMS) ja x on mittauslinjan pituus.

Myös korrelaatiopituuteen vaikuttaa mittauslinjan pituus (13).

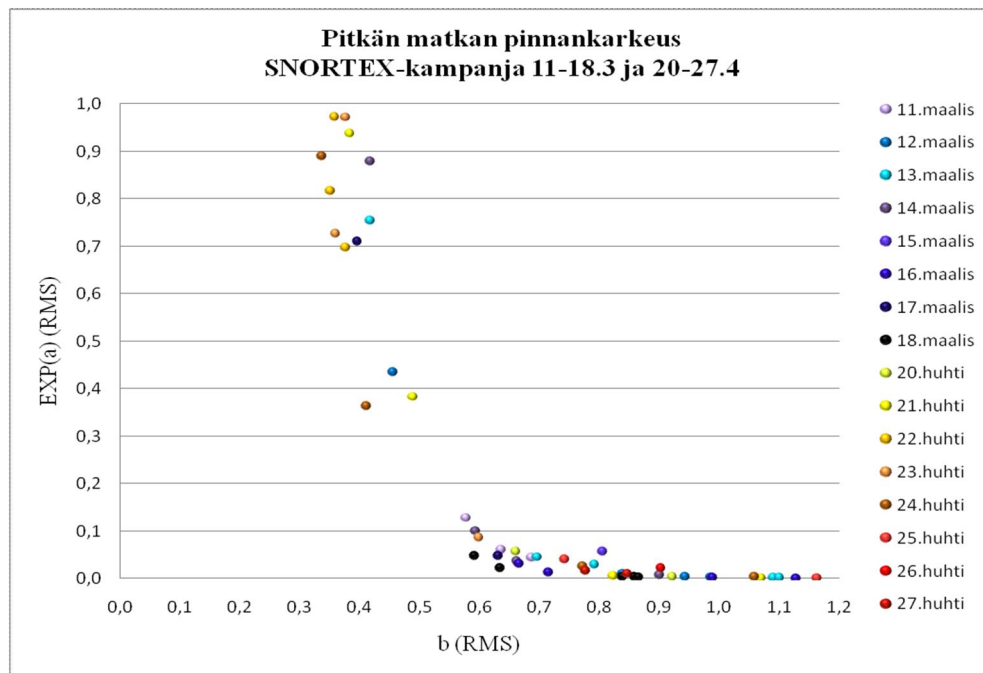
$$L = a + bx \quad (3)$$

jossa L on korrelaatiopituus (CL), a on a (CL), b on b (CL) ja x on mittauslinjan pituus.

Tuloksissa tarkastellaan ajallisen kehityksen vaikutusta tuloksiin, ja niissä ei ole huomioitu maastotyyppien, lumisateiden ja linjojen ilmansuuntien mahdollisia vaikutuksia tuloksiin. Työssä saadut tulokset tulevat Ilmatieteen laitoksen tutkijoiden käyttöön, ja tuloksista laaditaan lisää tarkempia analyysejä.

6.2 Pitkän matkan pinnankarkeus

Kuva 9 esittää kampanjassa mitatuista pitkän matkan profiileista laaditun kuvaajan, jossa ovat RMS-sovituksen parametrit EXP (a) ja b. Kuvassa 9 on varsinaisella mittausalueella tehtyjen mittausten tulokset.



Kuva 9. Pitkän matkan profiilien RMS-sovitusten EXP (a) ja b

Ensimmäisen jakson mittaukset on esitetty väreillä vaalean sinisestä mustaan ja toisen jakson vaalean keltaisesta tumman punaiseen.

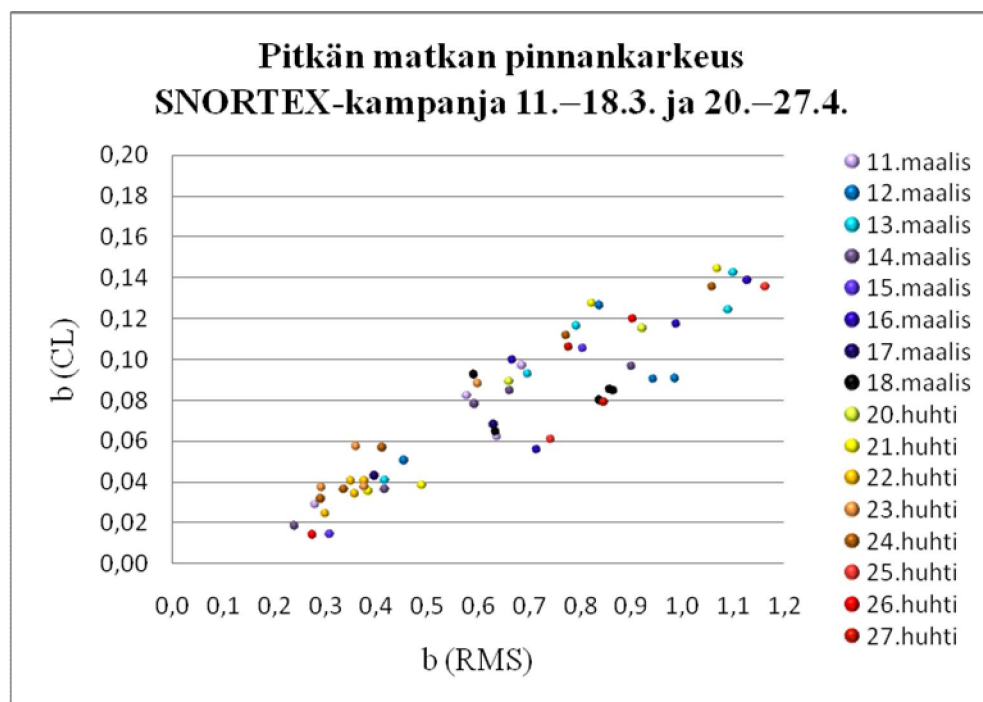
Mitä korkeampi EXP (a):n ja b:n arvo on, eli mitä lähempänä kuvan oikeaa ylänurkkaa piste on, sitä aaltoilevampaa ja karkeampaa lumen pinta on.

Kuvasta 9, jossa esitetään koko kampanjan aikana mitatut pitkän matkan mittaukset, on hyvin vaikea tehdä tarkempia johtopäätöksiä. Huhtikuun mittaukset näyttäisivät olevan hieman enemmän aaltoilevia kuin maaliskuussa. Pitkän matkan mittauksissa maaston muodot vaikuttavat pinnankarkeuteen huomattavasti enemmän kuin lyhyen matkan

mittauksissa, joissa saadaan kuvalta mitattua profiilit hyvin pienillä pisteväleillä. Pitkän matkan mittauksia tulisi tarkastella enemmän mittaustaikaa, linjan suunta ja maastotyyppi huomioiden. Nämä tulosten analyysit laatii myöhemmin Ilmatieteen laitos.

Luvun 6.4 kuvassa 13 esitetään samat tulokset NorSEN-maston mittaustuloksista. Kaikki mittaukset on tehty kaikki samalta linjalta ja niissä näkyy erittäin hyvin mittauskampanjan aikana tapahtunut ajallinen kehitys, jossa pinnankarkeus muuttuu enemmän aaltoilevaksi sulamisjakson aikana.

Kuvassa 10 on kampanjassa mitatuista pitkän matkan profiileista tehty kuvaaja, jossa tarkastellaan CL- ja RMS-sovitusten parametreja b .



Kuva 10. Pitkän matkan profiilien CL- ja RMS-sovitusten parametrit b

Samoin kuin kuvan 9 kohdalla vaikuttavat maaston muodot pinnankarkeuteen huomattavasti enemmän kuin lyhyen matkan mittauksissa, ja tuloksia tulee tarkastella

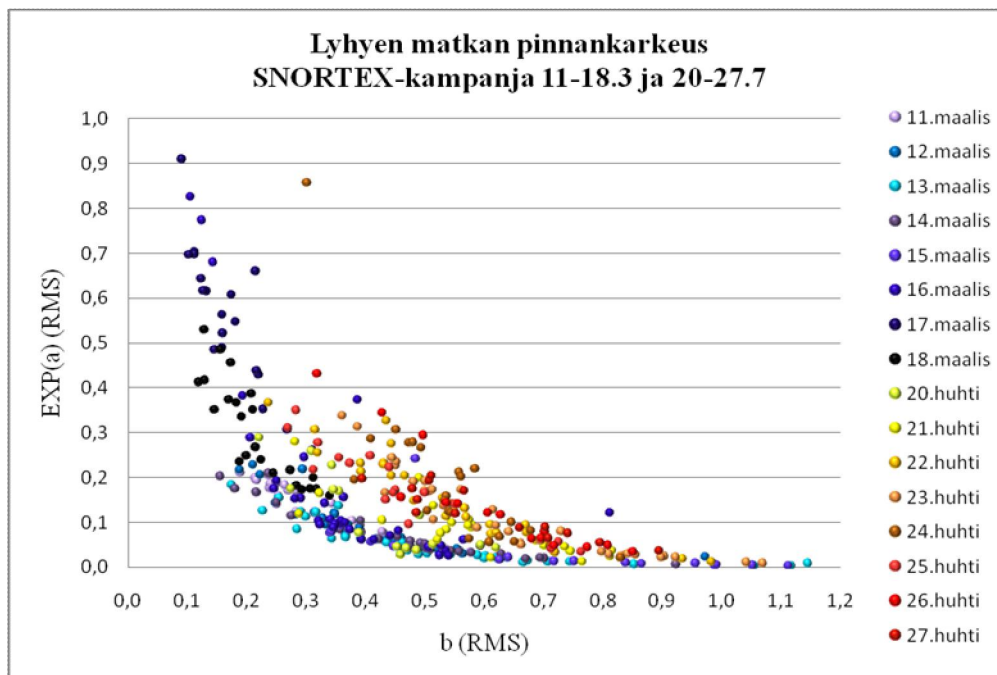
enemmän mittauspaiikka, linjan suunta ja maastotyyppi huomioiden. Nämä tulosten analyysit laatii myöhemmin Ilmatieteen laitos.

Kuvasta 10 on havaittavissa, että parametrin b arvot ovat tyypillisesti pienempiä huhtikuussa kuin maaliskuussa. Sama asia on havaittavissa huomattavasti selvemmin luvun 6.4 kuvassa 14, jossa esitetään samat asiat NorSEN-maston mittauslinjalta.

Molempia kuvia 9 ja 10 tarkasteltaessa huomataan, että yleisesti parametrin b (RMS) kasvaessa EXP (a) (RMS) pienenee ja b (CL) kasvaa.

6.3 Lyhyen matkan pinnankarkeus

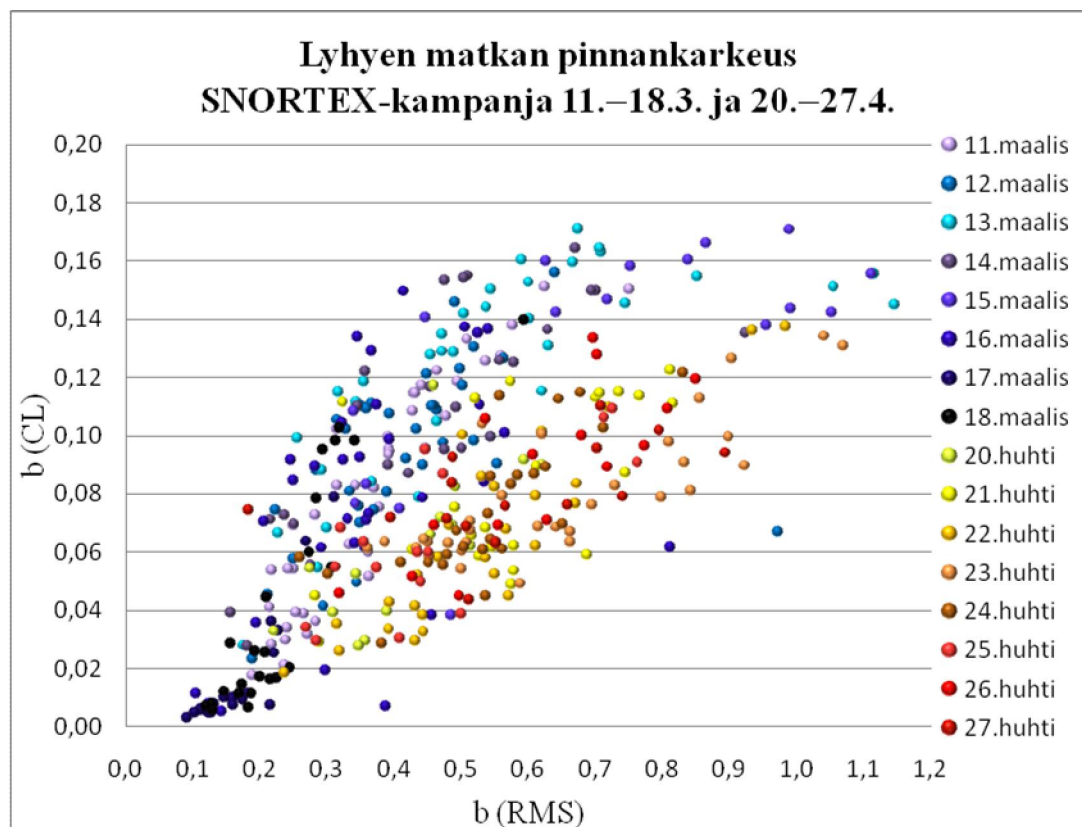
Kuvassa 11 esitetään kampanjassa mitatuista lyhyen matkan profiileista tehty kuvaaja, jossa tarkastellaan RMS-sovituksen parametreja EXP (a) ja b .



Kuva 11. Lyhyen matkan profiilien RMS-sovitusten parametrit EXP (a) ja b

Huhtikuussa tehdyissä mittauksissa EXP(a) on hieman korkeampi kuin maaliskuussa lukuun ottamatta maaliskuun muutamaa viimeistä päivää. Parametri b näyttäisi huhtikuun mittauksissa olevan korkeampi kuin ensimmäisellä jaksolla. Mitä korkeampi EXP (a):n ja b:n arvo on, eli mitä lähempänä kuvan oikeaa ylänurkkaa piste on, sitä aaltoilevampaa ja karkeampaa lumen pinta on. Kuvasta 11 on näin ollen huomattavissa, että huhtikuussa mitatut profiilit ovat maaliskuussa mitattuja profiileja karkeampia.

Kuvassa 12 esitetään eri mittausalueilta saadut CL- ja RMS-sovitusten parametrien b arvot.

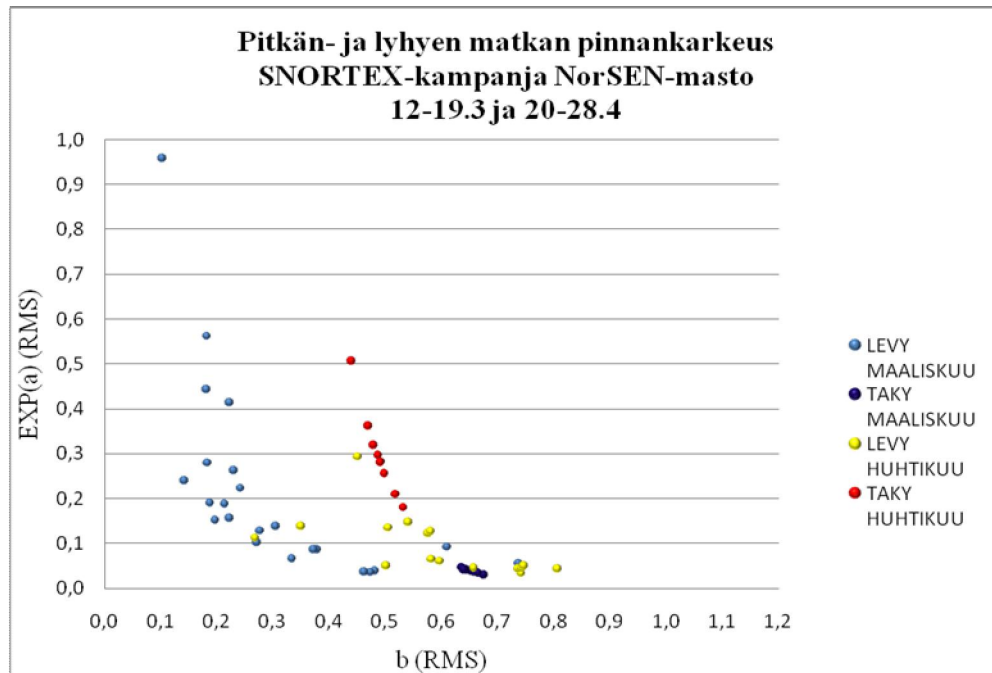


Kuva 12. Lyhyen matkan profiilien CL- ja RMS-sovitusten parametrit b

Kuvasta 12 on huomattavissa, että maaliskuun CL-sovituksen b arvo on suurempi kuin huhtikuussa. Parametrin b (CL) pienentyessä myös b (RMS) pienenee, jolloin profiilin pinnan aaltoilu muuttuu loivasta tiheämmäksi.

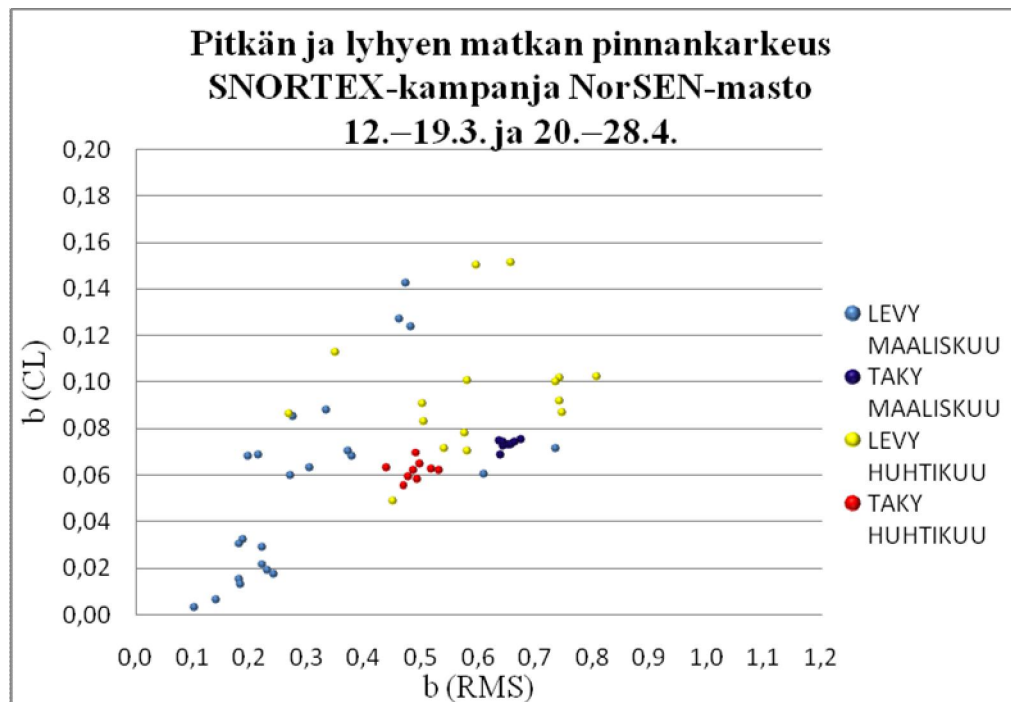
NorSEN-maston luona tehdyt mittaukset antavat samansuuntaisia tuloksia kuin varsinaisella mittausalueella tehdyt mittaukset. Tulokset näkyvän luvun 6.4 kuvissa 13 ja 14, joissa niitä verrataan pitkän matkan vastaaviin arvoihin.

6.4 Pitkän ja lyhyen matkan tulosten vertailu



Kuva 13. Pitkän ja lyhyen matkan tulosten vertailu, RMS-sovituksen EXP (a) ja b.

Tarkasteltaessa kuvassa 13 esitettyjä pitkän- ja lyhyen matkan pinnankarkeus profiileja huomataan huhtikuun mittausten olevan EXP (a) ja b -parametriarvoiltaan suurempia kuin maaliskuun profiilit. Tämä osoittaa huhtikuun mittausten suuremman karkeuden maaliskuun mittauksiin nähden.



Kuva 14. Pitkän ja lyhyen matkan tulosten CL- ja RMS-sovitusten b -arvojen vertailu.

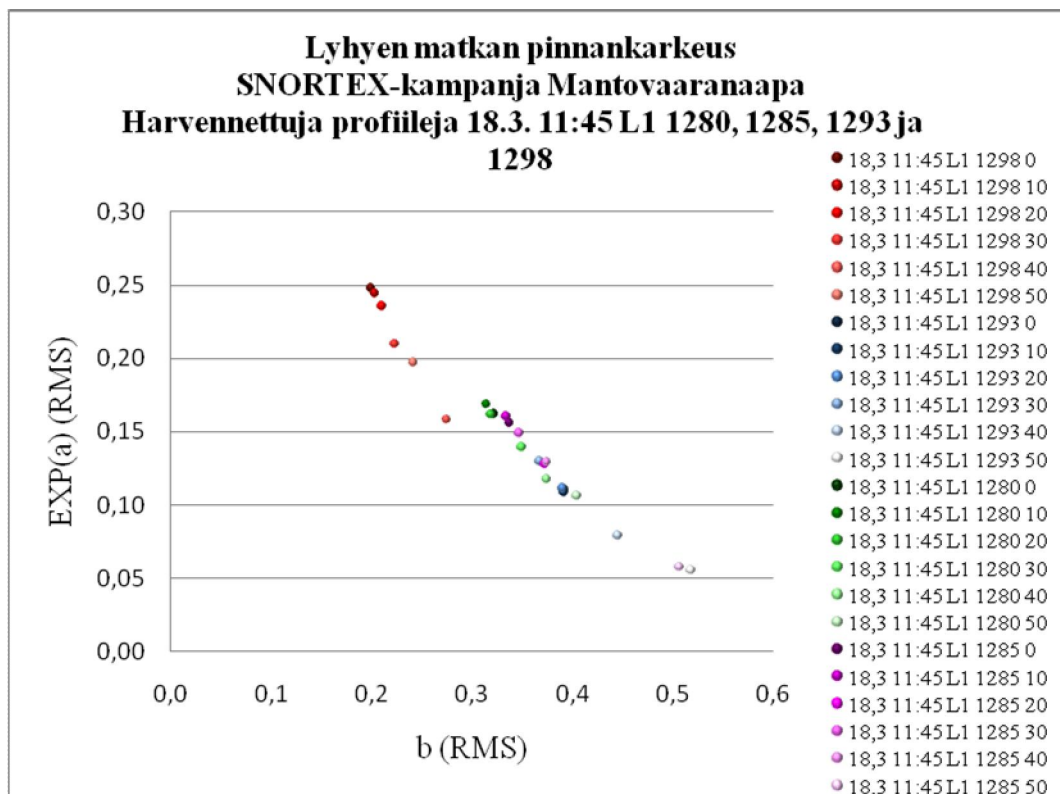
Vertailtaessa kuvissa 13 ja 14 esitettyjä NorSEN-mastolla mitattuja pitkän- ja lyhyen matkan profiilien arvoja havaitaan lyhyen matkan mittausten arvojen selkeä hajonta pitkän matkan mittauksiin nähden. Tämä johtuu siitä, että pitkän matkan mittaukset on tehty samalla linjalla, ja mittaustavasta johtuen lyhyen matkan mittaukset ovat jokainen eri kohdasta toisiinsa nähden.

Pitkän matkan pinnankarkeus muuttuu selvästi tiheimmin aaltoilevaksi ja lyhyen matkan karkeudessa pienin rosoisuus pyöristyy pois.

6.5 Mittaustiheyden vaikutus tuloksiin

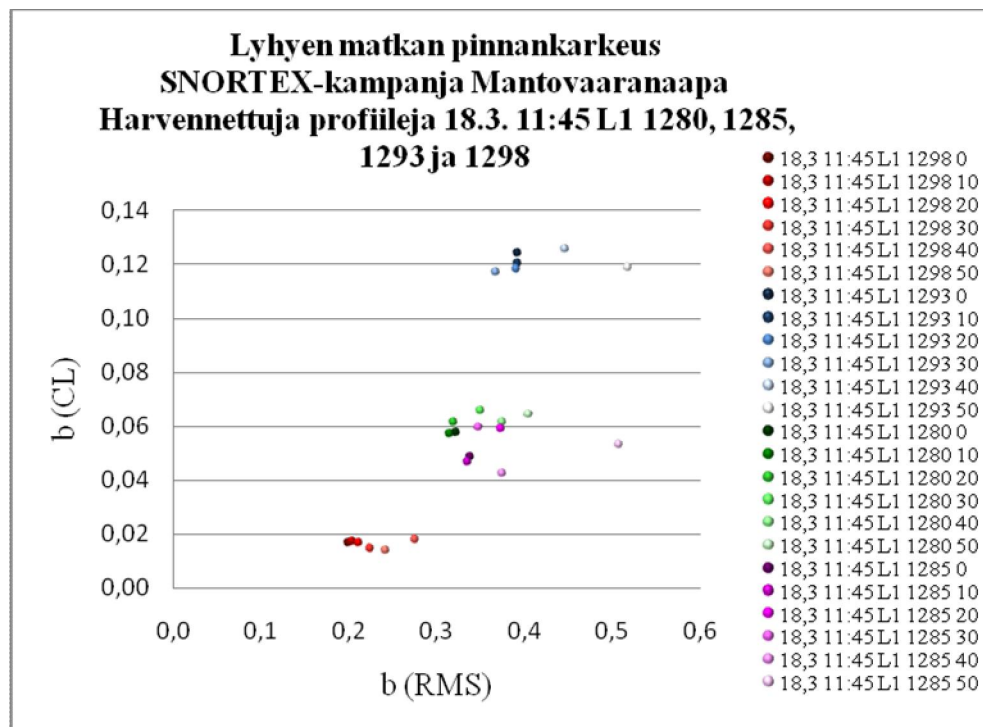
Kuvissa 15 ja 16 on Mantovaaranaapalla 18.3 kello 11:45 mitatulta pitkän matkan linjalta L1 kuvattuja lyhyen matkan levyprofiileja. Esitettäväksi kyseiseltä linjalta valittiin neljä parhaat luotettavuusarvot saanutta profiilia 1280, 1285, 1293 ja 1298. Enemmän kuin neljän profiilin esittäminen erilaisilla harvennetuilla pisteväleillä tekisi kuvasta vaikeasti tulkittavan pisteiden suuren määrän vuoksi.

Kuvien selitteen viimeinen luku kertoo, kuinka mones piste on alkuperäisestä profiilista otettu mukaan. Esimerkiksi luku 10 tarkoittaa sitä, että joka kymmenes piste on profiilissa mukana, ja luku 50 sitä, että joka viideskymmenes piste on kelpuutettu profiiliin. Harvennetuissa profiileissa olevien pisteiden määrä vaihtelee näin parista sadasta noin seitsemääkymmeneen.



Kuva 15. Levyprofiilien $EXP(a)$ (RMS) ja b (RMS) erilaisilla pisteväleillä esitettynä.

Kuvasta 15 on huomattavissa, että RMS-sovituksen $EXP(a)$:n arvo pienenee ja b parametri kasvaa profiilissa olevien pisteiden vähentyessä. Kun profiilissa on mukana vielä joka kymmenes tai kahdeskymmenes piste, muutos on pieni. Näistä suuremmilla harvennuksilla tulos alkaa muuttua selkeämmin ja samalla luotettavuus kärsii. Muutokset ovat samanlaisia jokaisessa levyprofiilissa.



Kuva 16. Levyprofiilien b (CL) ja b (RMS) erilaisilla pisteväleillä esitettyinä.

Kuvasta 16 imenee, että CL-sovituksen parametrin b arvoissa ei ole havaittavissa muutosta levyprofiilin pisteiden harvetessa. Kuvasta on havaittavissa b (RMS) arvon sama muutos kuin kuvassa 15.

Liitteestä 2 löytyy kuvia NorSEN-maston luona mitatuista kahdesta linjasta, jotka ovat vastaavia kuvien 15 ja 16 kanssa. Näissä muutokset ovat täysin samansuuntaisia Mantovaaranaapalta tehtyjen harvennusten kanssa.

Kampanjan aikana mitattiin kaksi pitkän matkan linjaa tihennetyillä pisteväleillä. Ensimmäisellä jaksolla Mantovaaranaapalla 18.3 11:45 linja 1 ja toisella jaksolla NorSEN-mastolla 28.4 11:45. Molemmat linjat mitattiin noin 25 cm:n pisteväleillä ja linjoista tehtiin myös profiilit, joissa pisteväli on 50 cm sekä 1 m.

Näistä linjoista tehdyt kuvat löytyvät myös liitteestä 2. NorSEN-mastolla mitattu linja antaa samansuuntaiset muutokset lyhyen matkan harvennusten kanssa.

Mantovaaranaapalla tehdyissä mittauksissa muutokset jäävät muihin harvennuksiin

nähdessä pieniksi, mikä voi johtua ensimmäisen jakson sileästä lumenpinnasta. NorSENMaston luona tehtyjen mittausten suurempi hajonta voi johtua myös siitä, että siellä mittauslinja oli ainoastaan 80 metriä pitkä ja sisälsi noin 20 mittauspistettä vähemmän kuin muissa pitkän matkan pinnankarkeus mittauksissa.

Useampi pitkän matkan profiili olisi pitänyt mitata tiheämmällä pistevälillä, jotta pystyttäisiin varmemmin osoittamaan pistetiheyden vaikutus tuloksiin.

7 Kehitysehdotuksia

7.1 Pitkän matkan pinnankarkeus

Tässä työssä esitetyjä menetelmiä käyttäen pitkän matkan pinnankarkeuden mittaaminen vie noin kolme neljäsosaa mittauksiin käytetystä ajasta.

Heikkousena pitkän matkan pinnankarkeuden mittaamisessa takymetrikalustolla on työn fyysinen rasitus. Mitattaessa 100 metriä pitkää linjaa metrin pistevälillä on mittauspisteiden väli niin lyhyt, että noin 2 kilogrammaa painavan etäkäyttöyksiköllä varustetun prisma-auvan kannattelemine on yllättävän raskasta työtä. Lyhyen mittauspisteiden välisen siirtymän vuoksi mittaaja joutuu olemaan lähes samassa asennossa koko mittauksen ajan lepotaukoja lukuun ottamatta. Prismasauvan kannattelemine lumenpinnalla on tarkkaa työtä, ja mitatessa joutuu jännittämään lihaksia jatkuvasti. Työn fyysisuus tulee ottaa huomioon mittauksia suunnitellessa.

Mittauslaitteiden saatavuus voi myös muodostua ongelmaksi mittauskalustoa vuokrattaessa. Varsinaista mittauskalustoa vuokraavaa yritystä ei ole. Laitevalmistajat, yritykset ja oppilaitokset kyllä vuokraavat kalustoa, mutta vuokraaminen muutamasta päivästä muutama viikkoon onnistuu ainoastaan silloin kun kalustolla ei ole käyttöä niitä omistavissa organisaatioissa. Tämän kampanjan ajankohtana laitevalmistajista ainoastaan Leicalla oli tarjota kalustoa vuokralle.

Kun aurinko alkaa lämmittää maata voimakkaasti, takymetrin jalustan terävät jalat alkavat vajota sulavaan maahan ja koje ei pysy tasauksessa mittauslinjan mittaamiseen kestävästä ajasta. Tässä työssä ongelma ratkaistiin asettamalla takymetrin jalkojen alle laudanpätkät jakamaan takymetrin jalkojen kohdistamaa painoa maahan.

7.2 Lyhyen matkan pinnankarkeus

Lyhyen matkan pinnankarkeuden mittaaminen on huomattavasti pitkän matkan mittausta helpompi toteuttaa tulevissa kampanjoissa. Kuvauslevy ja kamera kulkevat suhteellisen helposti maastossa mukana. Mittausvälineet ovat Ilmatieteen laitoksen omaisuutta, eikä niitä tarvitse lähteä erikseen vuokraamaan. Tutkijan ei tarvitse käyttää aikaa ennestään tuntemattoman mittauslaitteiston käytön opetteluun. Lisäksi mittaukset on helppo suorittaa muiden lumenmittausten yhteydessä.

Syksyllä 2010 Ilmatieteen laitokselta lähtee pieni ryhmä suorittamaan lumimittauksia Grönlantiin kuukaudeksi. Mittausryhmä tulee suorittamaan myös lyhyen matkan pinnankarkeusmittauksia tässä työssä esitellyllä mittauskalustolla ja menetelmällä. Lyhyen matkan pinnankarkeuden mittauksien toteuttaminen on tällaisessa kampanjassa huomattavasti helpompaa kuin pitkän matkan pinnankarkeuden mittaaminen, joka vaatii suuremman henkilöstöresurssin ja kaluston, vie enemmän aikaa ja on fyysisesti haastavampaa.

Edellisistä johtuen, jos pitkän- ja lyhyen matkan tuloksia vertailtaessa pystytään luotettavasti todistamaan tulosten samankaltaisuus, voidaan pitkän matkan pinnankarkeusmittauksista luopua.

Lyhyen matkan pinnankarkeustiedon automaattisessa käsittelyssä yhdeksi ongelmaksi muodostui kuvauslevyn takana olevan maaston vaihtelevuus. Taustan vaihtelevuus vaikeutti kuvien automaattista prosessointia, ja osa kuvista jouduttiinkin käymään yksitellen läpi, kun ohjelma sekoitti kuvauslevyn reunat taustalla oleviin samantyyppisiin sävyarvoihin. Yksi tapa ongelman helpottamiseksi olisi 1.5 m x 0.8 m:n kokoinen mattamusta taustaverho, joka olisi molemmissa päissä kiinni verhoa korkeammassa jaloissa. Taustaverhon saisi jalkojen avulla upotettua hyvin lumeen kuvauslevyn taakse. Taustaverhon rullattavuus helpottaisi verhon kuljettamista sekä suojaisi sitä lumelta ja roskilta.

Kampanjaan valmistetun kuvauslevyn mitta-asteikko on kaiverrettu 0,8 mm paksulle laser-kaiverruslevylle. Kaiverruslevy laitettiin kuvauslevyn molemmille puolille. Mittausten aikana jäinen lumenpinta lohkaisi cm:n kokoisen palan kaiverruslevystä pois ja kaiverruslevyn kiinnitys alkoi hieman rakoilla. Kaiverruslevy vahingoittui ainoastaan kuvauslevyn valkoiselta puolelta, jota ei tarvita pinnankarkeuden mittauksessa. Kuvauslevyn seuraavaan versioon tulisi harkita tarrasta valmistettua mitta-asteikkoa reunoille. Tarrat kestävät liikennemerkeissäkin vuodesta toiseen. Tarran kestävyys voisi olla laser-kaiverruslevyä parempi tässä tarkoituksessa.

Jäistä lumenpintaa mitatessa jouduttiin turvautumaan pahimmassa tapauksessa saahan lumen pinnan rikkomiseksi. Ongelmaa helpottaisi, jos kuvauslevyn alareuna olisi teroitettu. Teroitetussa reunassa olisi kuitenkin se vaara, että se repisi maasto-olosuhteissa käytettynä vaatteita tai pahimmassa tapauksessa jopa ihoa.

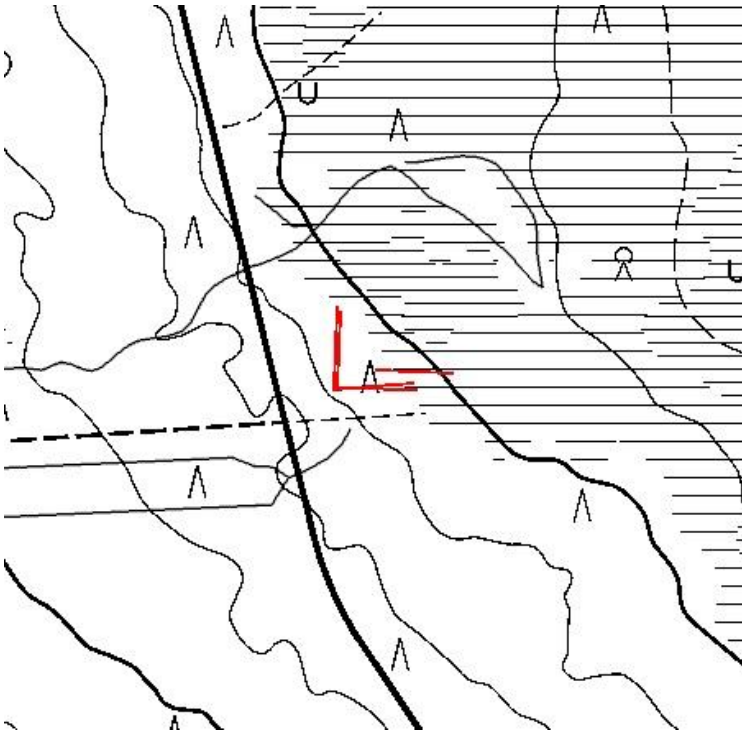
8 Yhteenveto

Tässä työssä käytetyt mittaustekniikat ja kalusto olivat ensimmäistä kertaa käytössä Ilmatieteen laitoksen tekemissä tutkimusmittauksissa, ja niitä käyttämällä saatiin mitatuksi laaja mittausaineisto tulosten analysointia varten. Luvussa 7 esitetty pinnankarkeuden ajallinen kehitys kuvaa hyvin sulamisjakson aikana tapahtuvaa pitkän matkan pinnankarkeuden muuttumista selvästi tiheämmin aaltoilevaksi ja lyhyen matkan karkeudessa tapahtuvaa pienimmän rosoisuuden pyöristymistä pois. Tämä työ on hyvä pohjatyö Ilmatieteen laitoksen tutkijoille mittauksesta tehtäviä tarkempia analyysyjä ja johtopäätöksiä varten.

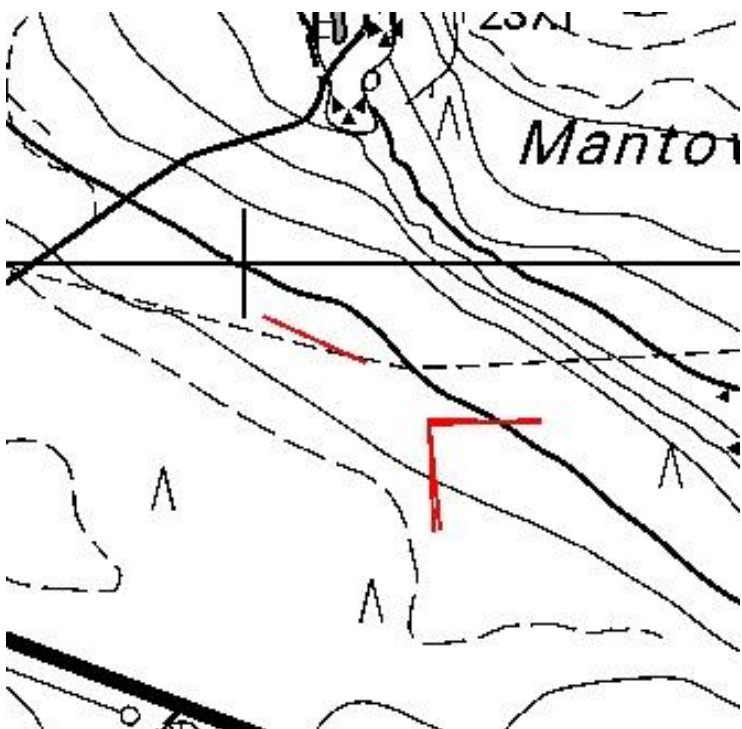
Insinööriyössä esitettävät mittausmenetelmät ja kehitysehdotukset auttavat Ilmatieteen laitosta kehittämään menetelmiä ja kalustoa. Mittauskampanjassa Grönlannissa syksyllä 2010 tehtävät lyhyen matkan pinnankarkeusmittaukset tullaan tekemään tässä työssä esiteltyllä menetelmällä ja kalustolla. Pitkän matkan mittaukset vaativat huomattavasti enemmän aikaa, suuremman kaluston ja enemmän henkilöstöresursseja, mistä syystä niitä mittauksia ei tehdä. Pitkän matkan karkeuden mittausten jatkamisen tarve selviää vasta tulevaisuudessa, kun Ilmatieteen laitos on saanut tehtyä tarkemmat tulosten analyysit tässä työssä tehdyistä mittauksista ja selvitettyä tarpeen tuleville pinnankarkeusmittauksille.

Lähteet

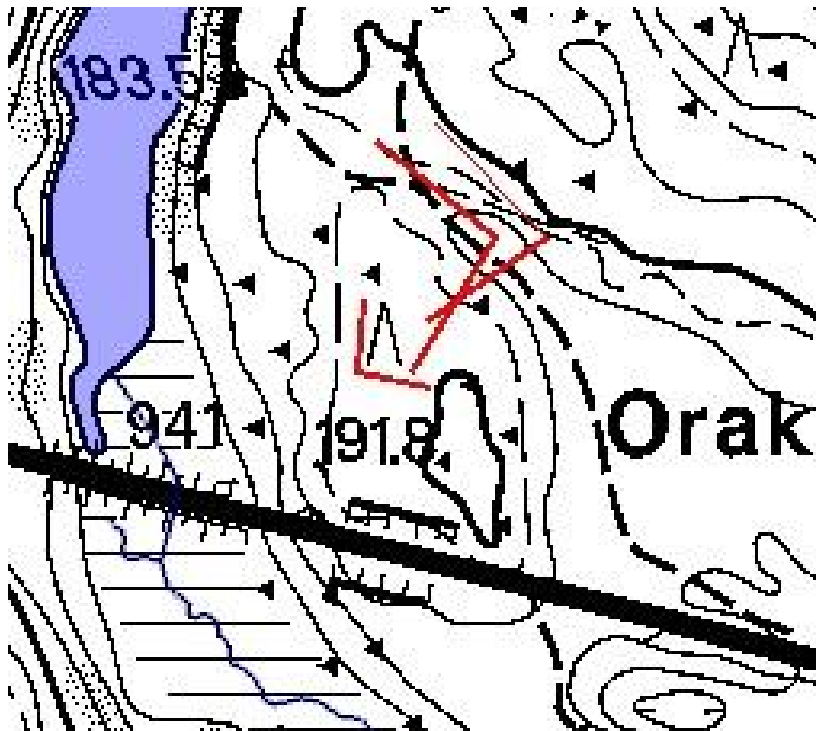
- 1 Manninen, Terhikki. Microwave surface backscattering and surface roughness of Baltic sea ice. Finnish Marine Research No. 265, Merentutkimuslaitos 1996.
- 2 Manninen Terhikki. Ryhmäpäällikkö, Ilmatieteen laitos, Helsinki. Keskustelut insinööriyön tekemisen aikana 2009 ja 2010.
- 3 Maa- ja ilmakehätkijät koolla Kumpulassa 2.5. (WWW-dokumentti.) Helsingin yliopisto <<http://www.helsinki.fi/kumpula/ajankohtaiset/neespi.shtml>>. Luettu 4.5.2009.
- 4 Tämä on Ilmatieteen laitos. (WWW-dokumentti.) Ilmatieteen laitos <<http://wilma.fmi.fi/ilmatieteen-laitos/tama-on-il/>>. Luettu 18.5.2009.
- 5 Organisaatiokaavion miellekartta. (WWW-dokumentti.) Ilmatieteen laitos <<http://wilma.fmi.fi/ilmatieteen-laitos/organisaatio2009/>>. Luettu 4.5.2009.
- 6 Kontu, Anna & Suokanerva Hanne. Lumimittaajan käsikirja. Ilmatieteen laitos 8.9.2008.
- 7 Manninen, T., Rantasuo, M., Le Toan, T., Davidson, M., Mattia, F. & Borgeaud, M. Multiscale Surface Roughness of Bare Soil. IEEE 1998.
- 8 Leica TPS1200+ Tekniset tiedot ja ominaisuudet. Esite Leica Geosystems.
- 9 Rönholm P.. Kuvangeometria. (WWW-dokumentti.) <http://foto.hut.fi/opetus/290/julkaisut/pronnhol/Kuvangeometria_ronholm.pdf>. Luettu 9.3.2010.
- 10 arid, Hany & Popescu, Alin C. Blind Removal of Lens Distortion. Journal of the Optical Society of America, 2001.
- 11 autala Mikko & Peltonen Hannu. Insinöörin (AMK) fysiikka osa 1. Lahden Teho-Opetus Oy, 2003.
- 12 ong, W. P., Sullivan, P. J. & Stout, K. J.. Comprehensive study of parameters for characterizing three-dimensional surface topography II: Statistical properties of parameter variation, 1993.
- 13 eller, Crownover & Chen. Characteristics of natural scenes related to the fractal dimension. IEEE Trans, Pattern Anal, Machine Intell 1987.

Liite 1: Pitkän matkan mittauslinjat kartalla

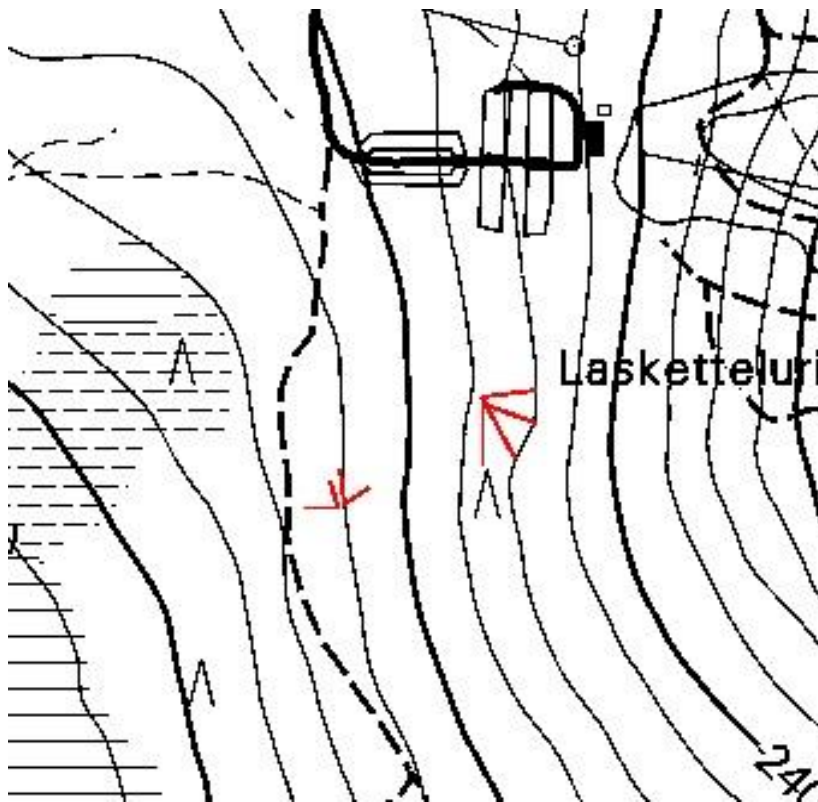
Kuva 1. Kommattivaara. (kartta Maanmittauslaitos)



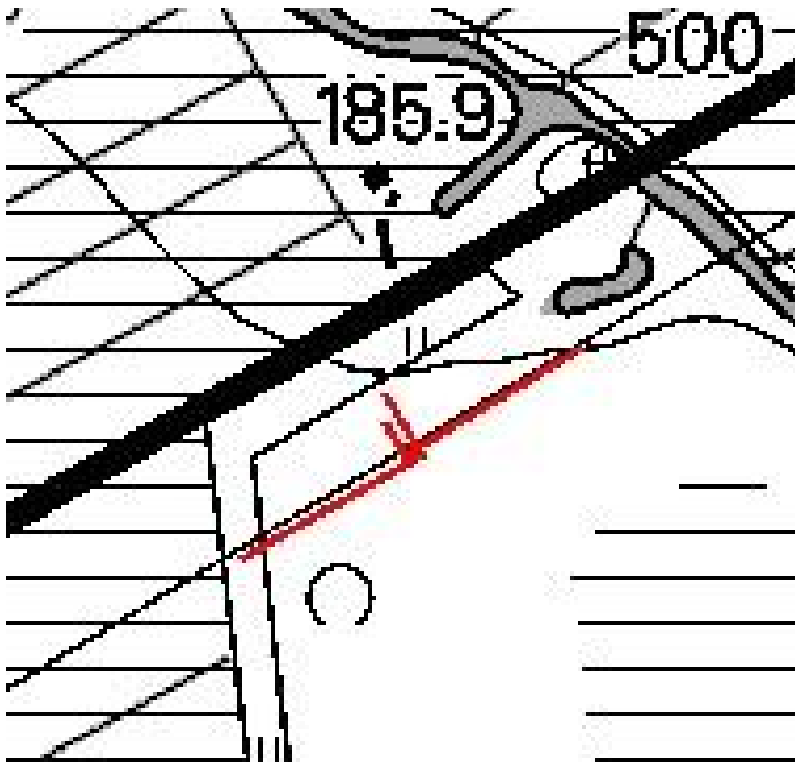
Kuva 2. Ravirata. (kartta Maanmittauslaitos)



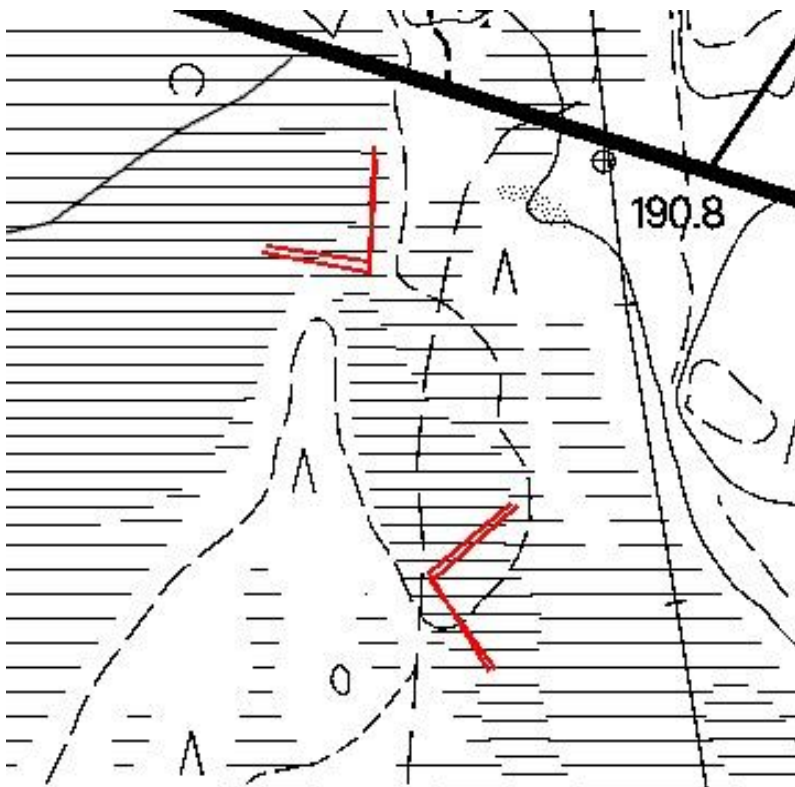
Kuva 3. Hirviäkuru. (kartta Maanmittauslaitos)



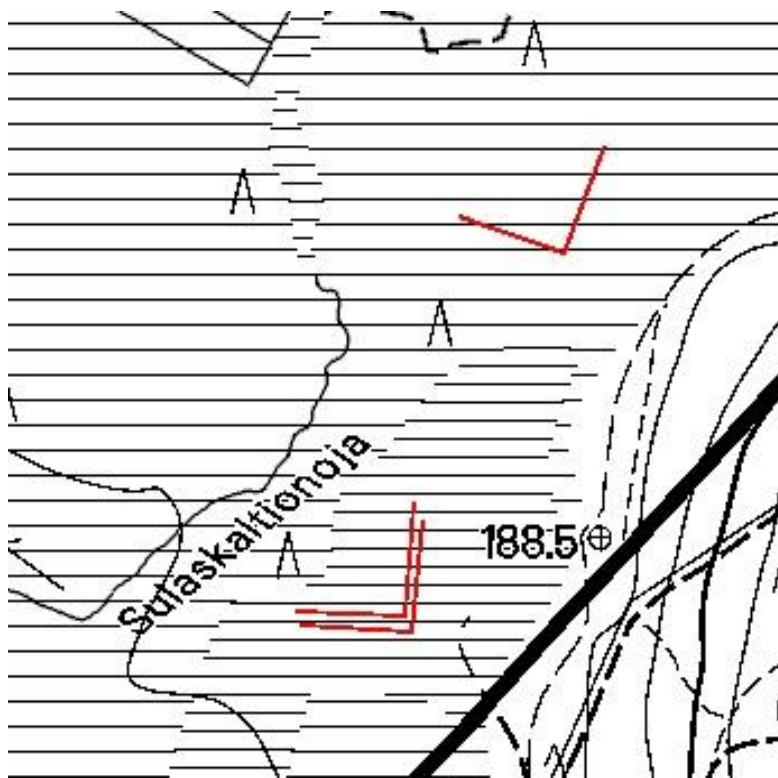
Kuva 4. Kommattilampi. (kartta Maanmittauslaitos)



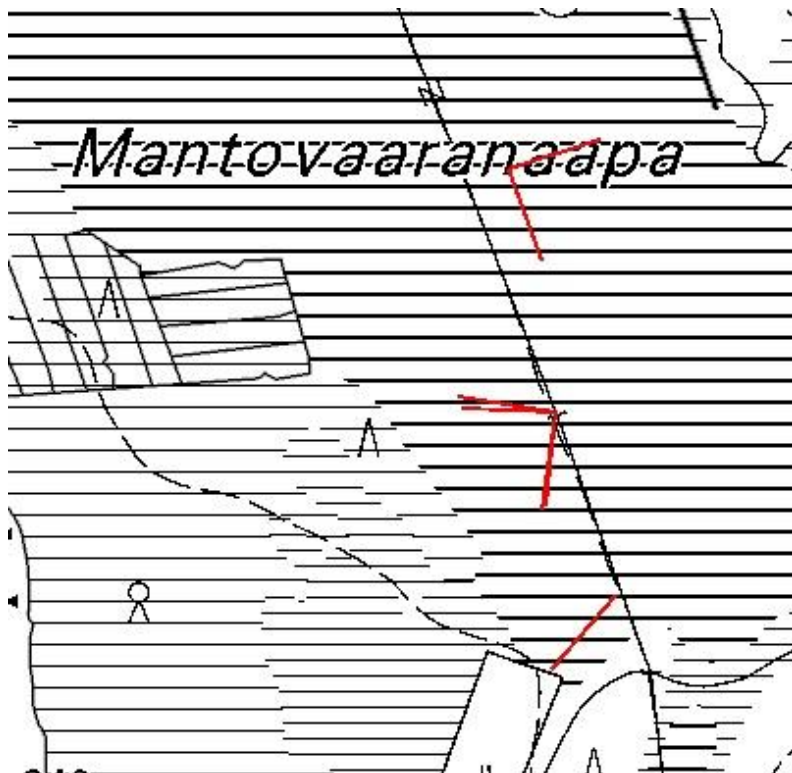
Kuva 5. Siurunmaa. (kartta Maanmittauslaitos)



Kuva 6. Melalampi. (kartta Maanmittauslaitos)

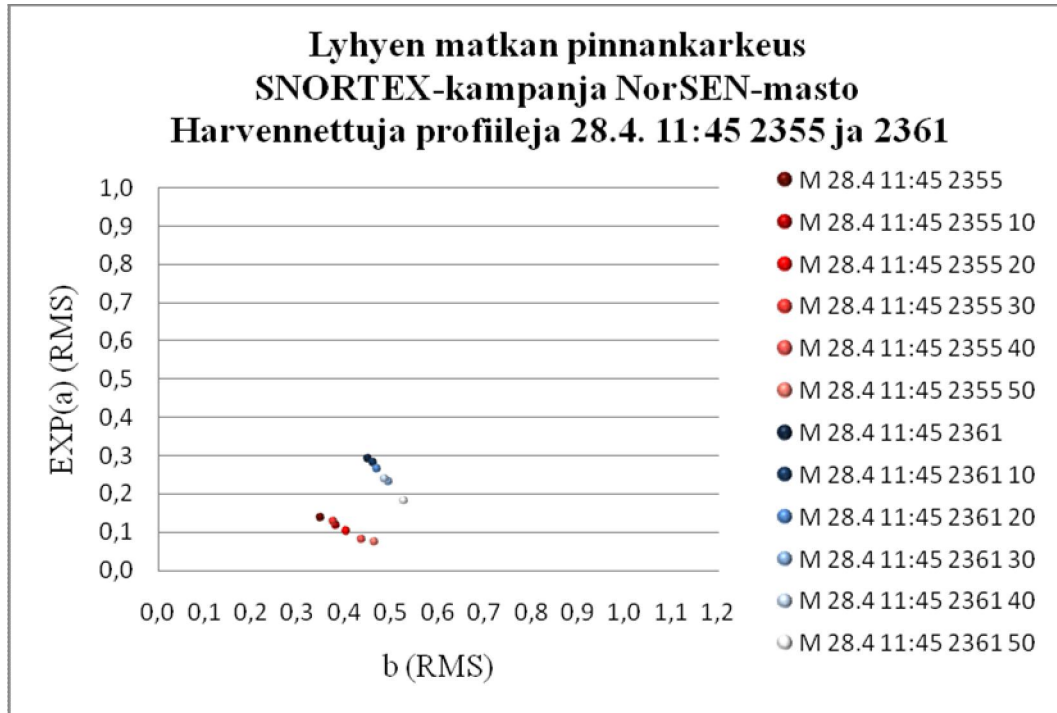


Kuva 7. Korppiaapa. (kartta Maanmittauslaitos)

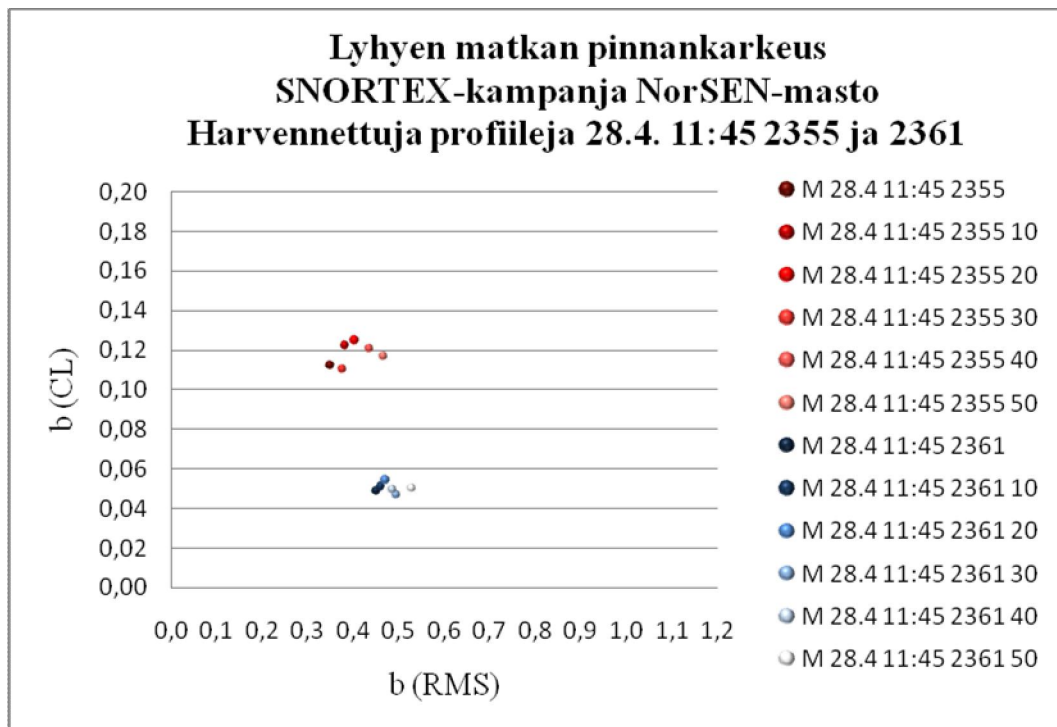


Kuva 8. Mantovaaranaapa. (kartta Maanmittauslaitos)

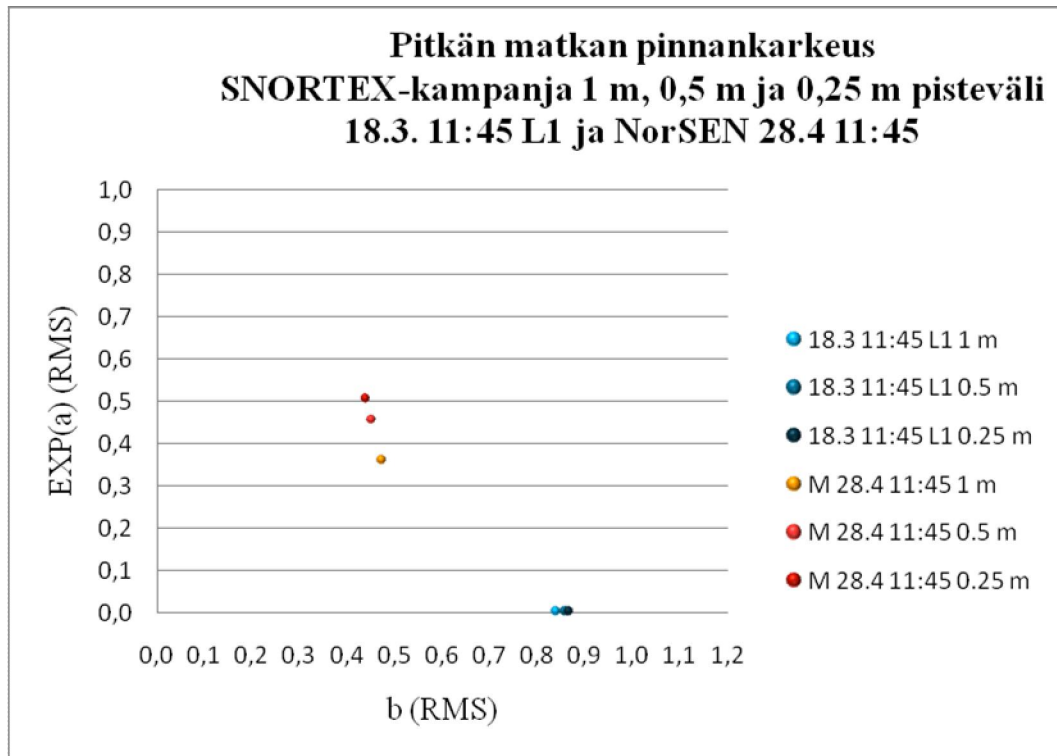
Liite 2: Kuvia tuloksista



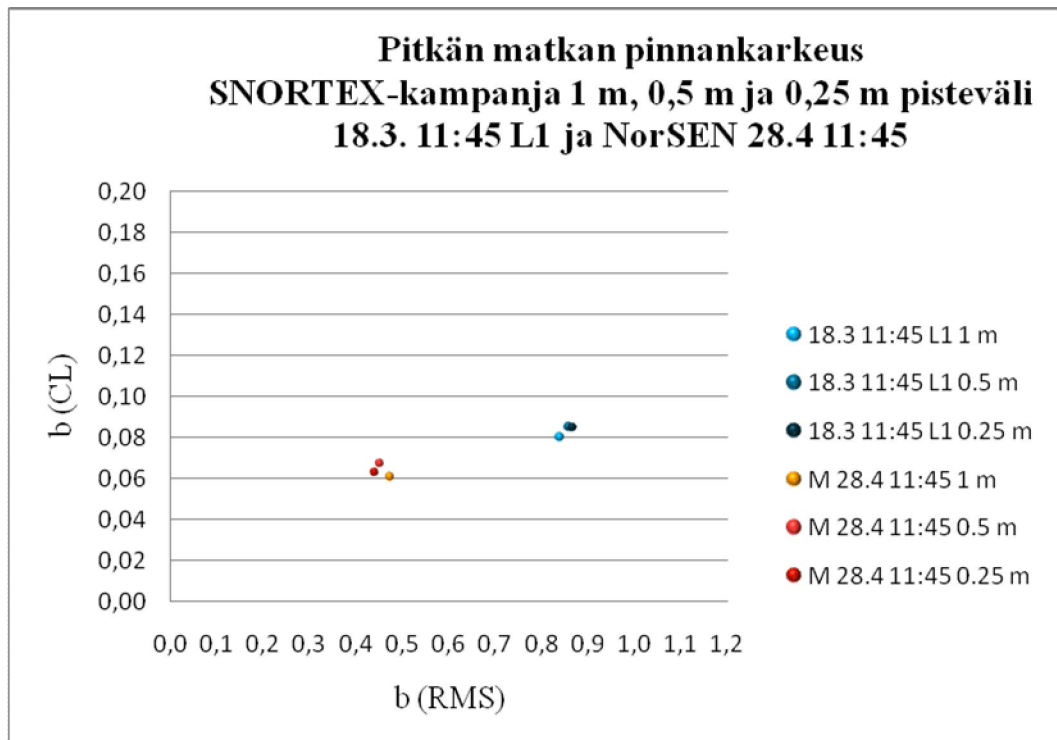
Kuva 1. Profiilit 28.4. 11:45 2355 ja 2361 erilaisilla pisteveleillä esitetynä



Kuva 2. Profiilit 28.4. 11:45 2355 ja 2361 erilaisilla pisteveleillä esitetynä



Kuva 3. Profiilit 18.3. 11:45 L1 ja NorSEN 28.4 11:45 erilaisilla pisteväleillä esitettyinä



Kuva 4. Profiilit 18.3. 11:45 L1 ja NorSEN 28.4 11:45 erilaisilla pisteväleillä esitettyinä