



Snøskred i bjørkeskog - Testforsøk i

Abisko

NGI-rapport 20130918-01-R

Hedda Breien og Øyvind A. Høydal

73
2015

R
A
P
P
O
R
T



Snøskred i bjørkeskog - Testforsøk i Abisko

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Redaktør: Hedda Breien

Forfattere: Øyvind A. Høydal og Hedda Breien

Trykk: NVEs hustrykkeri

Opplag:

Forsidefoto: DaisyBell - Abisko - Odd Are Jensen/NVE

ISBN 978-82-410-1120-7

Sammendrag: Det er utført forsøk med DaisyBell i Abisko for å studere utløsning av snøskred i bjørkeskog. Bakgrunnen er blant annet at mange løsneområder for snøskred er delvis gjengrodd og en ønsker å ha et generelt grunnlag for hvordan snøskredfare i skog og særlig bjørkeskog vurderes i forhold til bebyggelse. Prosjektet er finansiert av NGI, NVE og NIFS og utført av NGI. Rapporten inngår i Skog og Skred-prosjektet til NGI og NVE som er oppsummert i NGI-rapport 20120078-01-R - Forslag til kriterier for vernskog mot skred.

Emneord: Snøskred, DaisyBell, Skog, Bjørkeskog, Testforsøk, Skredfarevurdering, Skredfarekartlegging

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstua
0301 OSLO

Telefon: 22 95 95 95
Telefaks: 22 95 90 00
Internett: www.nve.no



Rapport / Report

Snøskred i bjørkeskog

Testforsøk Abisko

20130918-01-R
18. desember 2014
Rev. nr.: 0

Ved elektronisk overføring kan ikke konfidensialiteten eller autentisiteten av dette dokumentet garanteres. Adressaten bør vurdere denne risikoen og ta fullt ansvar for bruk av dette dokumentet.

Dokumentet skal ikke benyttes i utdrag eller til andre formål enn det dokumentet omhandler. Dokumentet må ikke reproduseres eller leveres til tredjemann uten eiers samtykke. Dokumentet må ikke endres uten samtykke fra NGL.

Neither the confidentiality nor the integrity of this document can be guaranteed following electronic transmission. The addressee should consider this risk and take full responsibility for use of this document.

This document shall not be used in parts, or for other purposes than the document was prepared for. The document shall not be copied, in parts or in whole, or be given to a third party without the owner's consent. No changes to the document shall be made without consent from NGL.



Prosjekt

Prosjekttittel: Snøskred i bjørkeskog
Dokumenttittel: Testforsøk Abisko
Dokumentnr.: 20130918-01-R
Dato: 18. desember 2014
Rev. nr./rev. dato: 0

Hovedkontor:
Pb. 3930 Ullevål Stadion
0806 Oslo

Avd Trondheim:
Pb. 5687 Sluppen
7485 Trondheim

T 22 02 30 00
F 22 23 04 48

Kontonr 5096 05 01281
Org. nr 958 254 318 MVA

ngi@ngi.no
www.ngi.no

Oppdragsgiver

Oppdragsgiver: NVE
Kontaktperson: Andrea Taurisano/Odd Are Jensen
Kontraktreferanse: NIFS/NVE/NGI

For NGI

Prosjektleder: Hedda Breien
Utarbeidet av: Øyvind A Høydal, Hedda Breien,
Kontrollert av: Dieter Issler

Sammendrag

Det er utført testforsøk med DaisyBell i Abisko for å studere utløsning av snøskred i bjørkeskog. Bakgrunnen er blant annet at mange løsneområder for snøskred er delvis gjengrodd og en ønsker å ha et generelt grunnlag for hvordan snøskredfare i skog og særlig bjørkeskog vurderes i forhold til bebyggelse.

Testen ble utført ved bruk av DaisyBell i småvokst skog og deretter i åpent sideliggende terreng. Det var en klar tendens i forsøket at det var vanskeligere å utløse skred i skog enn i åpent terreng. Kun mindre, svært grunne skred ble utløst i skog, mens det i åpent terreng ble løst ut flere middels store skred, selv om færre forsøk ble gjort i åpent terreng. Det ble utført snøundersøkelser i testområdet.

Rapporten inneholder en diskusjon av innsamlet informasjon knyttet til generell kunnskap om skred og skog. Selv om forsøket klart viser en lavere sannsynlighet for utløsning av store skred i bjørkeskog enn i åpent terreng, påpeker vi at datasettet er for lite til å kunne gi klare svar. Forsøket antyder også at dersom det er mindre åpninger i skogen kan snøskred lettere løses ut.

BS EN ISO 9001
Certified by BSI
Reg. No. FS 32989

Innhold

1	Innledning	5
2	Bjørk og vekstvilkår	5
3	Metode og bakgrunnsdata	6
3.1	Geografisk beskrivelse	6
3.2	Feltmetode	9
3.3	Aktuelle værforhold og snøskredfare	9
3.4	Bruk av DaisyBell	14
4	Resultater	18
4.1	Resultater av DaisyBell	18
4.2	Snødekkeundersøkelser	23
4.3	Generelle trekk fra feltarbeidet	27
5	Diskusjon	29
5.1	Mikroklima, oppbyggende omvandling og dannelse av svake lag	29
5.2	Forankring av snødekket	31
5.3	Observerte skred i og nær bjørkeskog	32
6	Konklusjon	33
7	Referanser	34

Kontroll- og referanseside

1 Innledning

Skog har innvirkning på hyppighet og størrelse på snøskred. Med de rette kvalitetene kan skog i potensielle utløsningsområder fungere som vern mot snøskred. Det meste av forskningen på området er gjort i utlandet, og særlig på barskog. Mye av dette er oppsummert i NGI-rapport 20120078-01-R (Breien et al., 2013). Når det gjelder snøskred i Norge, er det i hovedsak fjellbjørkeskog som vokser opp i potensielle løsneområder for snøskred. Denne skogen finnes over store deler av Skandinavia, og er dominerende skog i for eksempel Troms og Finnmark hvor snøskred er en aktuell trussel mot bebyggelse. Denne bjørkeskogen har helt andre kvaliteter enn skogen i Alpene og Nord-Amerika som i større grad er dominert av bartrær. Bjørkeskogen har mindre dimensjoner i høyde og stammediameter, vokser tettere og har mer undervegetasjon enn barskogbestander. I tillegg har den en mer tøyelig og fleksibel stamme.

Når det gjelder fjellbjørkeskogens innvirkning på snøskred finnes det lite forskning. Ved hjelp av feltforsøk med DaisyBell utført i Abisko, mars 2014, har vi derfor forsøkt å belyse hvordan og i hvilken grad fjellbjørkeskog påvirker sannsynligheten for utløsning av tørre snøskred. Denne rapporten behandler ikke våte snøskred eller sørpeskred. Hensikten med prosjektet er å teste om skred løsner i bjørkeskog i en situasjon der det antatt er ustabil i sideliggende eller nærliggende åpent terreng. Resultater og vurderinger fra dette feltforsøket vil også inngå i prosjektet «Skog og skred», NGI prosjekt 20120078. Prosjektet er delfinansiert av NIFS, NVE og som GBV prosjekt hos NGI.

Ferdigstilling av denne rapporten har hatt en kommentarrunde i snøskredgruppa på NGI der Dieter Issler, Peter Gauer, Christian Jaedicke, Frode Sandersen og Kjetil Brattlien har bidratt med kommentarer som har bedret rapporten

2 Bjørk og vekstvilkår

Bjørk og bjørkeskog brukes både som indikasjon på at skred har gått og at skred har lav sannsynlighet for å gå på gitte steder. I forhold til skred, eller områder som samler snø vil klimatiske og fysiologiske betingelser for vekst og formering av bjørk sette grenser for hvor bjørk kan vokse. Det er derfor viktig å kjenne til klimatiske krav for bjørk når en tolker bjørkeutbredelse og skred.

Bjørk har krav til sommertemperatur, vind og fuktighet. For å sette frø, må middeltemperatur i månedene juni til september være 7,5 grader (tetraterm – middeltemperatur 4 sommermåned, vekstsesong) eller høyere. Bjørk formerer seg i stor grad vegetativt (rotskudd) under marginale forhold og blir da stående i klynger. Snødekke som blir liggende lenge forsinker økning av jordtemperatur og dermed rotvekst, næringsopptak og frøspiring (Odland, 1994). Jordtemperatur er trolig en tilsvarende indikator som lufttemperatur. Temperaturen for bjørk er kritisk om våren da skuddene kan få frostskafer. For bjørk kan en snakke om en øvre og nedre tregrense (Odland, 1994). I daler med fallvind fra bre eller snøfelt langs dalbunnen

vil bjørka krype opp i sidene fordi kald vind reduserer vekstpotensial i spiringstiden. Bjørk ser ut til å kunne vokse i relativt tørre områder med mindre enn 300 mm som årsnedbør. En svensk undersøkelse (Öberg og Kullmann, 2012) viser at bjørk på marginale steder vokser i på steder der smeltevann drenerer fra snøbreer.

Tregrensen for bjørk er ikke kun avhengig av absolutt høyde (Engum, 2006). En ser at høyden også er en funksjon av absolutt terrenghøyde i området. Årsaken er trolig relatert til vind. Bjørka trives ikke på de mest vindutsatte stedene, og vokser i marginale områder best i beskyttede groper opp mot fjellkanter. Vokslaget til unge skudd antas å være sårbart for sterk vind. Skade av vokslaget når bjørka spretter, øker sannsynlighet for frostskaade. På særlige utsatte steder (både barraber for vind og snøleier for vekstsesong) vil det ikke være miljø for bjørk.

Bjørka er dét bestand-dannende treslaget som best tåler settninger og sig i snødekket.

3 Metode og bakgrunnsdata

3.1 Geografisk beskrivelse

Feltforsøkene er utført i Abisko i nordlige del av Sverige. Abisko ligger på 68 grader nord, 37 km med tog fra grensa til Norge (Figur 1). Området er preget av den store innsjøen Torneträsk (341 moh), store åpne områder og avrundede fjellmassiver.



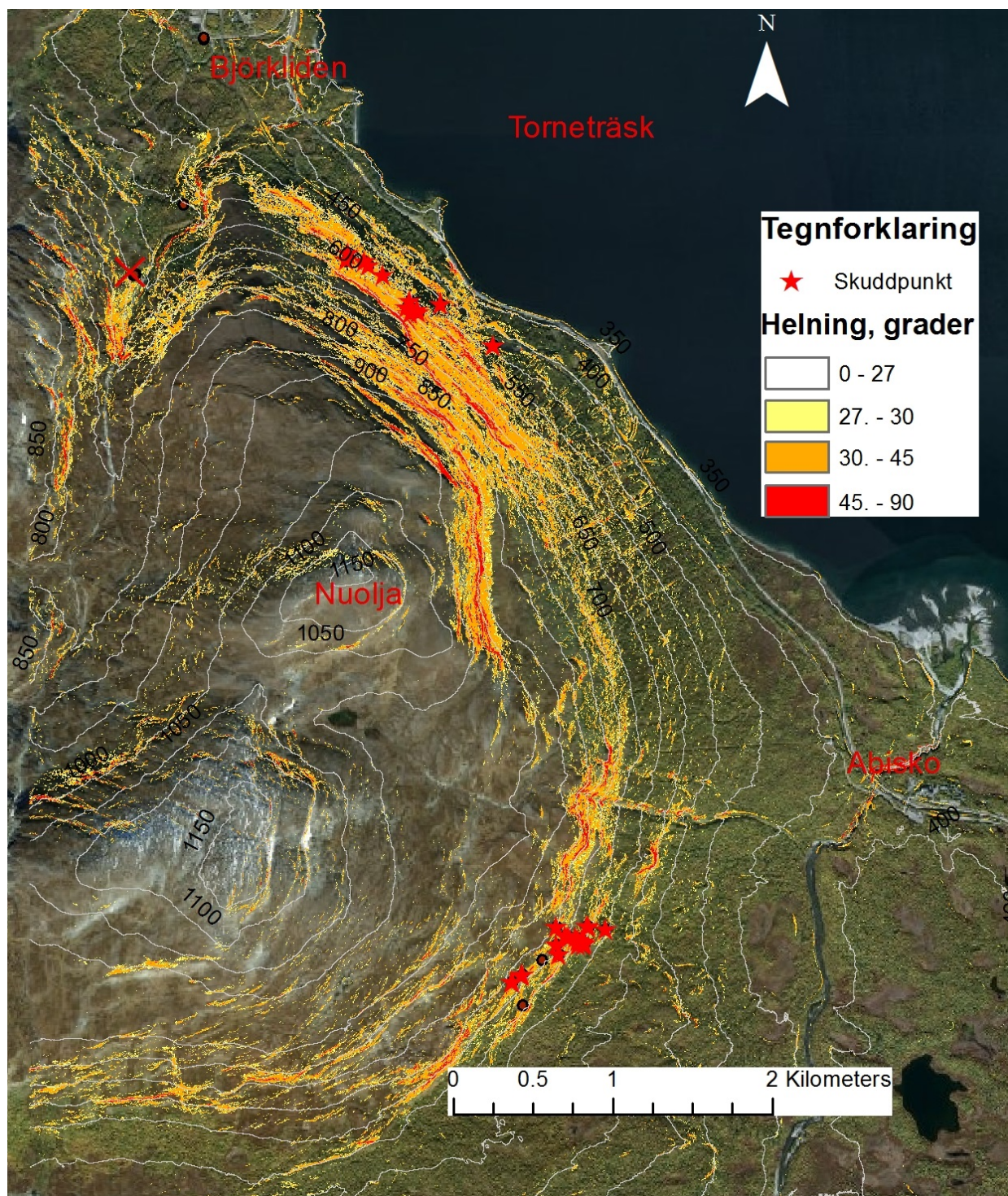
Figur 1 Feltforsøk med DaisyBell er gjort i Abisko, markert med rød ring.

Abisko og Bjørkliden er kjent som alpint skiområde og for jernbanestrekningen Malmbanan mellom Kiruna og Narvik (Ofotbanen på norsk side). Banen har stor trafikk, og på nordøstre side av Nuolja, mellom Abisko og Bjørkliden, går veg og



bane gjennom et skredområde. Nedenfor aktuelt testområde går banen i tunnel, mens det sørøst for denne strekningen er montert 8 Gazex for å kontrollere snøskredaktiviteten i området. Skogen mellom Nuolja og innsjøen Torneträsk er preget av snøskred som berører øvre del av skogen og går gjennom skogen i renner.

Laserdata med 0,5 m grid er skaffet fra Lantmäteriet, Sverige, og er videre benyttet til å generere koter og helningskart. Ortofoto er innspente bilder fra Lantmäteriets kartportal.



Figur 2 Røde stjerner viser plassering av skudd med DaisyBell. Skuddområdene ligger nord og sørøst for Nuolja. Kryss sør for Bjørkliden markerer snøprofiler ved Bjørkliden. Detaljer av skuddområdene er vist i figur 9.

3.2 *Feltmetode*

Feltforsøkene ble gjennomført fra og med 24. til og med 26. mars 2014. Arbeidet besto i kunstig utløsning av snøskred med DaisyBell, samt snødekkeundersøkelser. Deltakere var Hedda Breien og Øyvind Høydal (begge NGI), Oscar Almgren (Uteguiden AS). Odd Are Jensen (NVE) deltok 24. og 25. mars. Vi hadde også bistand fra Arctic Guides ved Anders Bergwall, som har ansvaret for DaisyBell i Abisko.

Dag 1, 24. mars ble benyttet til rekognosering med helikopter på østsiden av Nuolja, samt snødekkeundersøkelser med ski i Bjørkliden. Snødekkeundersøkelser viste at flere mildvær gjennom vinteren hadde forårsaket skarelag der det seinere er dannet lag av kantkorn over og/eller under skarelagene. Et av de nederste og mest framtrepende av disse lagene ble dannet 13.–14. desember og fikk navnet Lucialaget av de lokale.

Dag 2, 25. mars: Forsøk på kunstig utløsning av skred vha. DaisyBell. På formiddagen skjøt vi rundt 15 skudd på østsiden av Nuolja (ovenfor jernbanen og veien). Høyde på DaisyBell over snødekket ble testet fra 0 m til ca 5 m.

På ettermiddagen rekognoserte vi på sørøstsiden av Nuolja og fant egnet område for DaisyBell like sør for skianlegget Nuolja Offpiste. Her ble det skutt totalt 18 skudd i åpent terreng og innenfor skog. Samtidig med skytingen ble det utført snødekkeundersøkelser i nærliggende område.

Dag 3: Denne dagen ble brukt til snødekkeundersøkelser. To snøprofiler samt CT (compression test) ble gjort i bruddkanten på det største skredet sør for Nuolja Offpiste. I tillegg ble det gravd snøprofiler inne i skogen der skred ikke var mulig å løse ut med DaisyBell. Snødekkeundersøkelser ble også gjort i Bjørkliden, rett nedenfor skoggrensa.

Snødekkeundersøkelser nordøst for Nuolja ble ikke vurdert som trygt og ble derfor ikke forsøkt.

Bestandskartlegging av bjørk med registrering av antall trær og brysthøydiameter (DBH) ble ikke utført. DBH og snøhøyde er ikke like entydig i bratt og kupert bjørkeskog der deler av undervegetasjonen er dekket og trær delvis bøyd ned. Slike metodiske undersøkelser bør gjøres om sommeren, eller bruke annen metode til å angi skogtetthet. Erfaring fra tidligere viser at nedsnødd vegetasjon påvirker snødekket, ikke kun det som stikker opp.

3.3 *Aktuelle værforhold og snøskredfare*

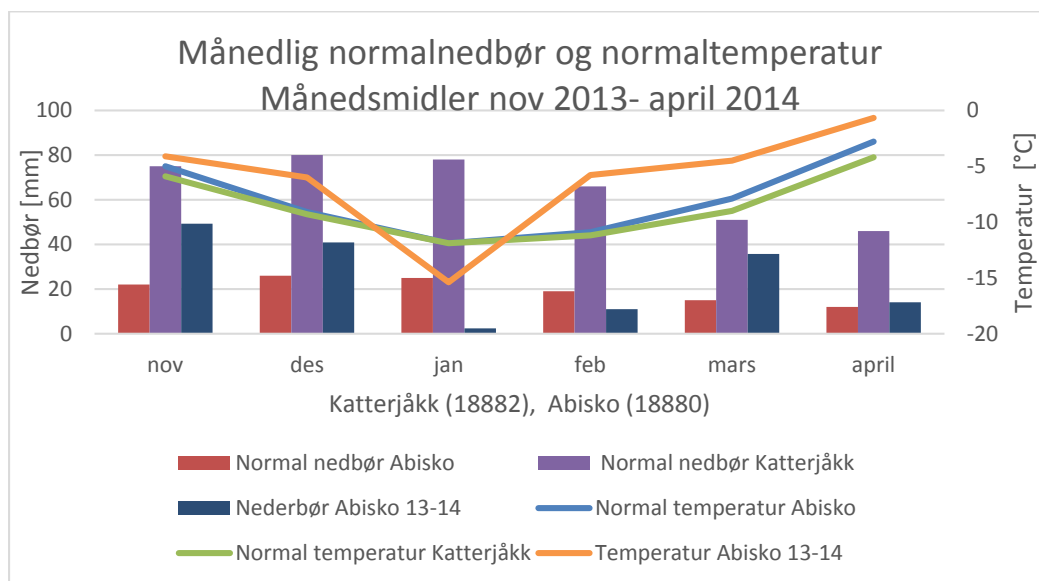
Abisko har tørt innlandsklima og er mange steder referert til som Sveriges tørreste sted. Abisko ligger i regnskyggen for nedbør fra vest, det meste av nedbøren faller på den norske siden av grensen og mot Riksgrensen. Årsnormalen for nedbør i Abisko ligger på 304 mm, mens den i Katterjåkk, bare 26 km lenger mot vest, ligger

på 844 mm per år. Figur 3 oppsummerer klimaet i området. 60 % av nedbøren faller i perioden mai til oktober. I vintermånedene ligger månedsnedbøren normalt rundt 20 mm. Temperaturene er normalt lave året gjennom. Fra november til og med april ligger gjennomsnittstemperaturen under null, og i desember-mars rundt -10°C .

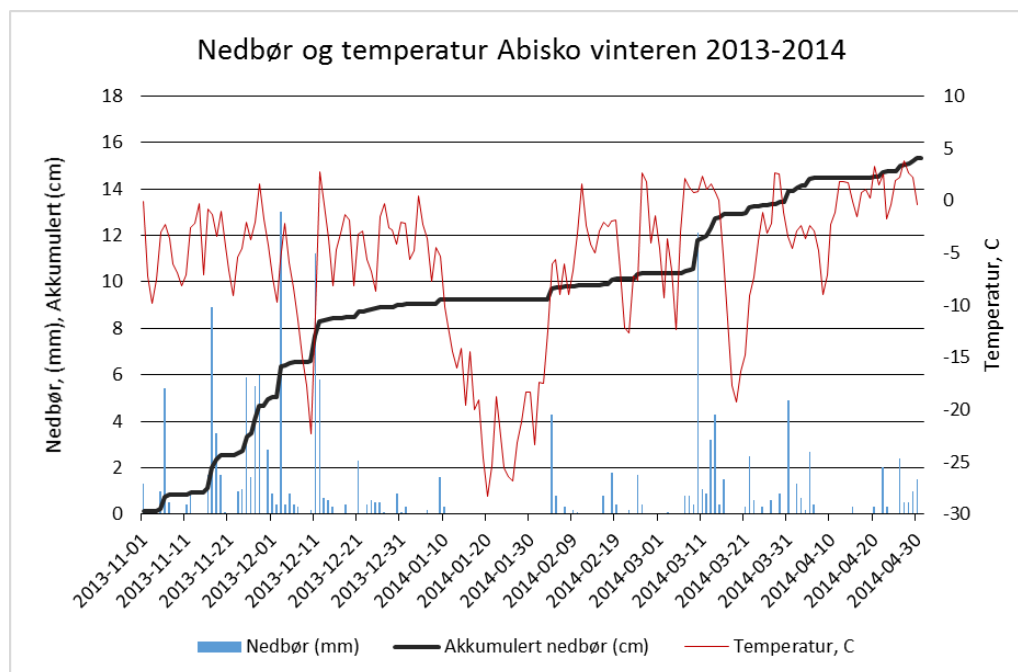
Figur 4 viser daglig variasjon gjennom vinteren 2013/2014. Vinteren 2013/2014 var en relativ normal vinter, men med noe mer nedbør enn vanlig. Det kom relativt mye nedbør i begynnelsen av vinteren. Allerede 28. november 2013 ble én mann på skuter tatt og omkom i snøskred på norsk side. Temperaturen i nedbørsperioder gikk også flere ganger over null og førte senere til dannelse av flere skarelag. Senere på vinteren, særlig i januar-februar, var det tørt og kaldt. Dette førte til omvandling i snødekket med dannelse av kantkorn og begerkrystaller, særlig over og under skarelagene. Dette gav vedvarende svake lag i snødekket.

Fra 3. til 15. mars kom det et større påfyll av snø (58 mm i Katterjåkk), slik at skredfaren raskt økte. Ekstremværet Kyrre kom inn mot Lofoten, Vesterålen og Ofoten, og skredfaren var 3-Markert til 4-Stor i disse områdene. 3. mars var det full snøstorm i Abisko og skredfaren 5 (Svd Nyheter, sitert Petter Palmgren). 8. mars var fortsatt faren 5 (Norbottens Kuriren). Både skikjørere og skuterførere utløste skred i de påfølgende dagene. Pga. vedvarende svake lag i snødekket ble enkelte av skredene store. Et større skred førte til en søkeaksjon ved Riksgrensen 13. mars, ingen personer var tatt. Et stort skred med stor horisontal utbredelse ble utløst av en skikjører i Riksgrensen da han kjørte off-piste 16. mars. Skikjøreren ble observert og raskt funnet. Flere store skred ble etterpå kunstig utløst for å sikre både søkeområdet og omkringliggende skiområder.

Da feltarbeidet ble utført var skredfaren synkende, men pga. de vedvarende svake lagene var det fortsatt mulig å løse ut potensielt store skred.

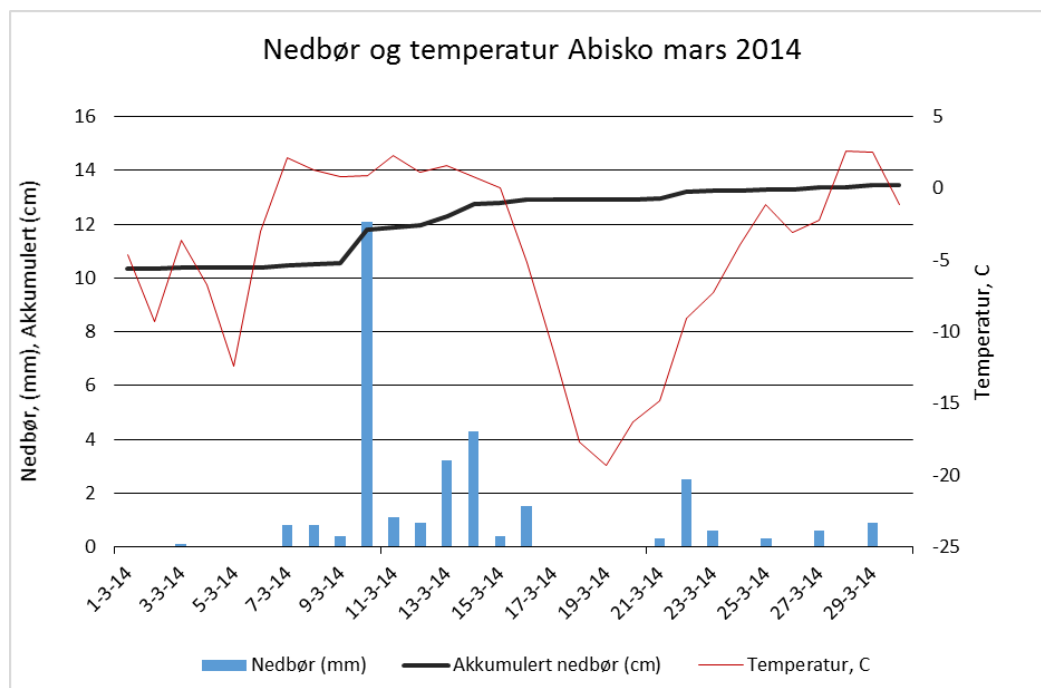


Figur 3 Figuren viser normalen (1961-90) for nedbør og temperatur gjennom vinteren ved stasjonene Abisko og Katterjåkk, samt målte verdier for vinteren 2013/2014.



Figur 4 Nedbør og temperatur fra november 2013 til april 2014, kilde SMHI.

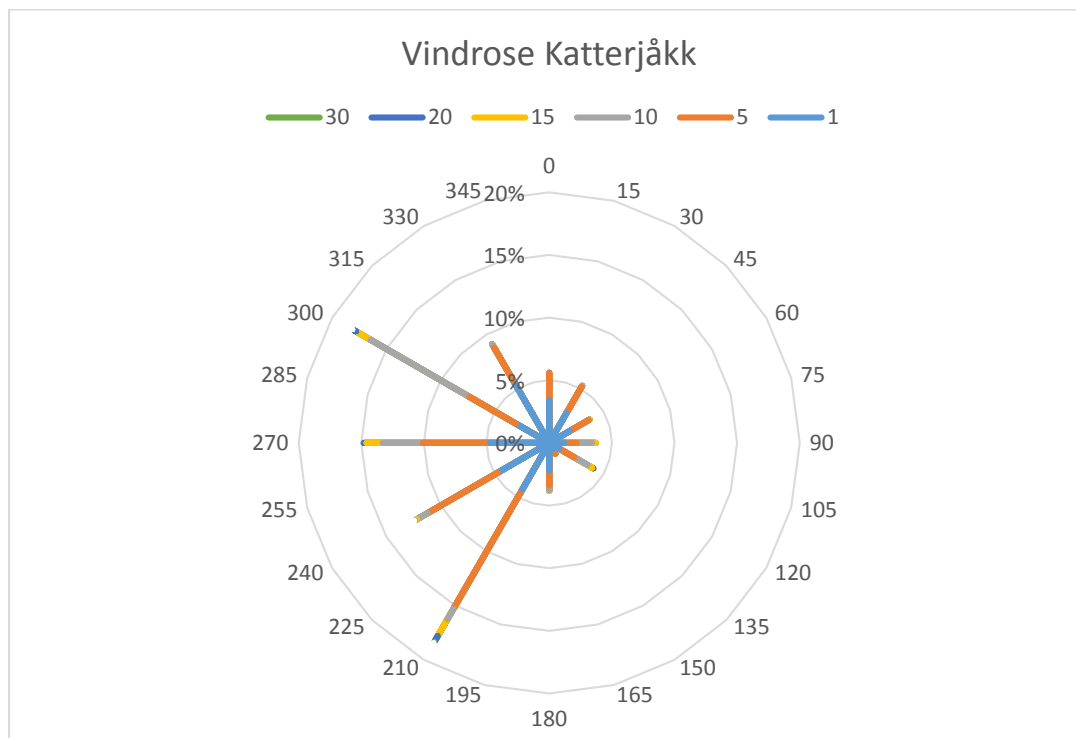
Katterjåkk ligger 25 km vest for Abisko, nær Riksgrensen og er nærmeste stasjon med vind- og snømåler. En sammenligning av akkumulert nedbør i Katterjåkk og Abisko viser at akkumulert nedbør i Abisko ligger på noe under det halve av Katterjåkk, og at nedbørhendelsene følger hverandre. Det er derfor grunn til å anta at korrelasjon i vind og nedbørhendelser vist i figur 6 og 7 for Katterjåkk, også er representativ for Abisko.



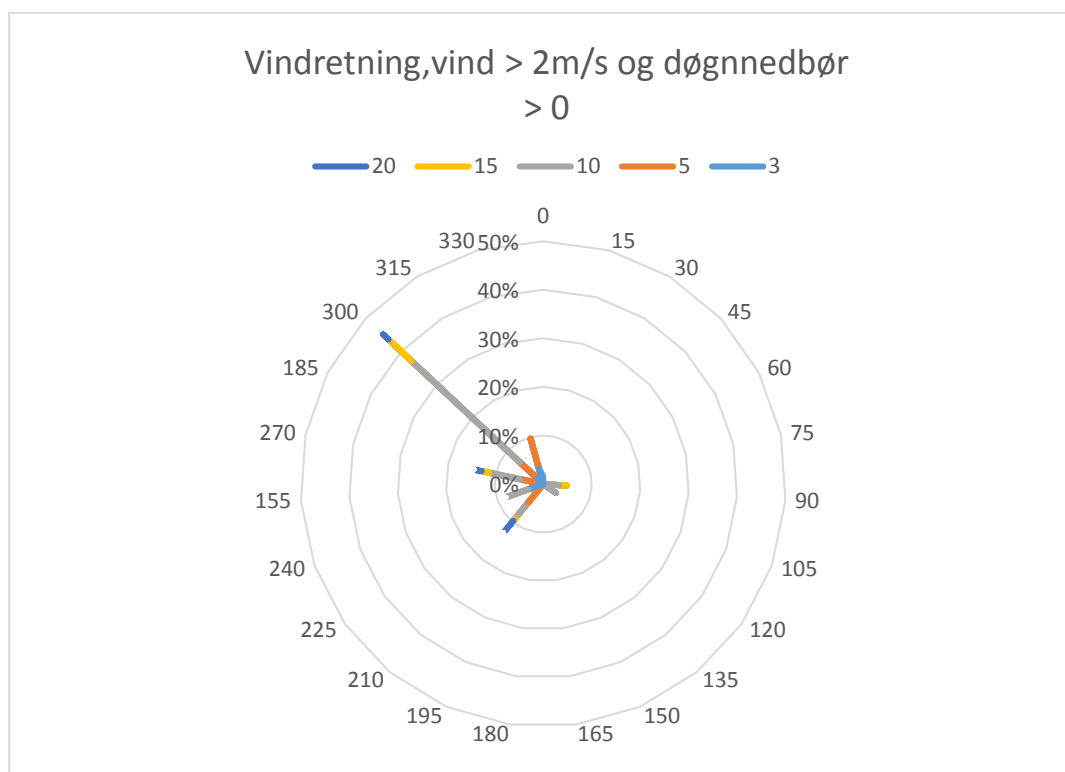
Figur 5 Nedbør, temperatur og akkumulert nedbør i Abisko mars 2014 (detalj av Figur 4).

Figur 6 viser vindrose for Katterjåkk fra 1. november 2013 til 30. april 2014. I forhold til større daler og fjell ligger stasjonen relativt representativt til for vind som avsetter snø transportert fra vestlig sektor, og stasjonen er trolig minst like representativt enn om vind skulle vært målt nede i Abisko. Ved rolige vindforhold opp til 5 m/s er vindretning jevnt fordelt, men for større vindhastigheter mellom 5 til og med 10 m/s dominerer sektorene fra sørvest til nordvest. Dager med vindhastighet over 10 m/s blir dominert fra nordvest.

Figur 7 viser vindrose fra Katterjåkk for dager med nedbør og vind større enn 2 m/s. Over 45 % av alle slike dager har vind fra nordvestlig sektor <285-315>, der vind opp til og med 10 m/s dominerer. Videre er det omkring 5 % av nedbøren som registreres med vind fra ikke-vestlig retning. Vind fra vestlig sektor dominerer også i perioder uten nedbør. I et område med relativt lite nedbør vinterstid vil redistribusjon av snø med vind være viktig. Dette er en praktisk kjent problemstilling rundt Nuolja; vind i klarværsperioder bygger jevnt opp snø på den nordøstlige siden som skytes regelmessig ned med Gazex i mindre skred. På sørøstlig side er det ingen permanente sikringstiltak siden det ikke finnes infrastruktur som trues der.



Figur 6 Vindrose for Katterjåkk, 1. november 2013 – 30.april 2014. Farger viser andel av hastigheter i ulike retninger, kilde. SMHI.



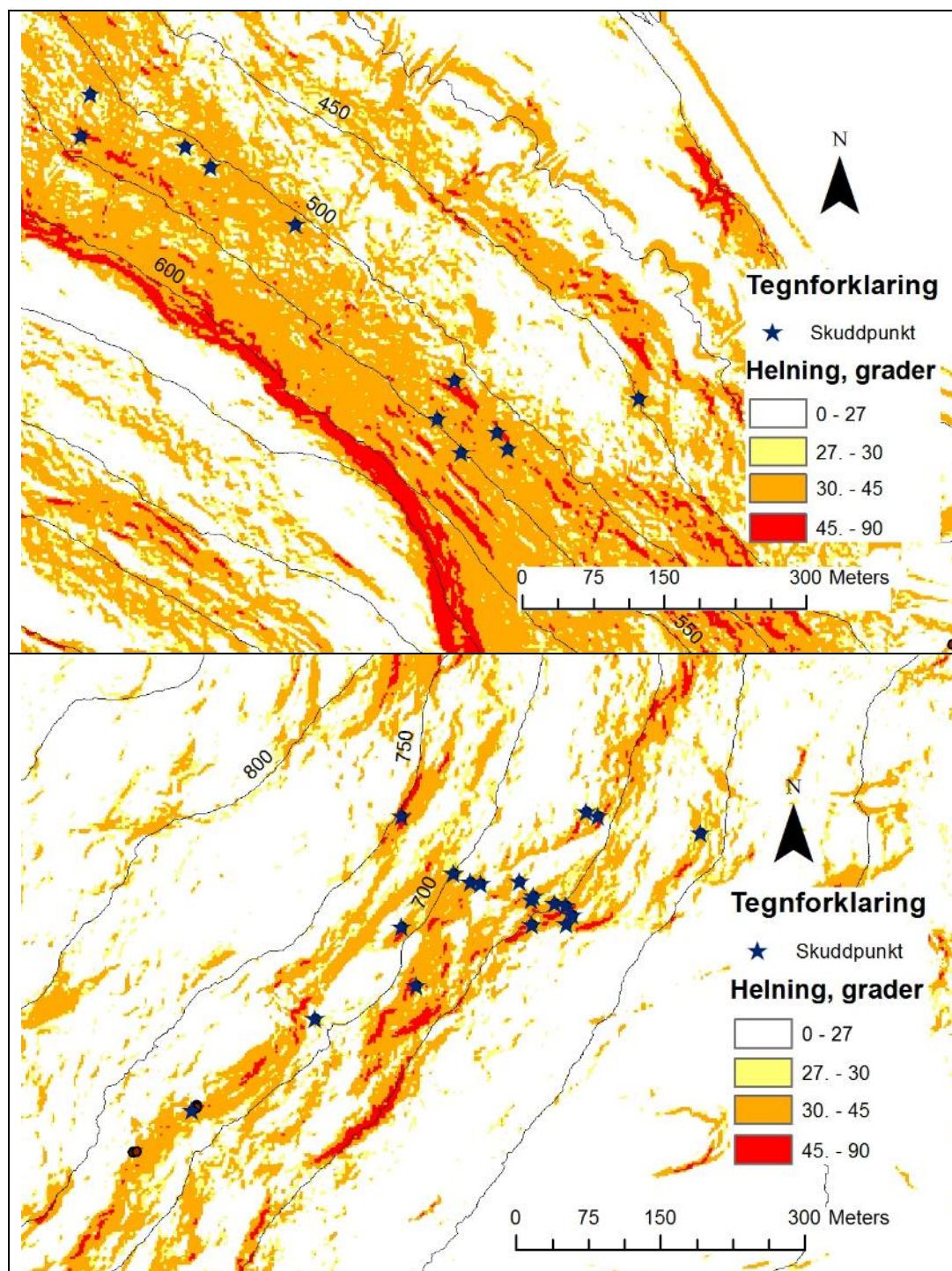
Figur 7 Vindrose for Katterjåkk, 1. november 2013 – 30.april 2014, $v > 2\text{m/s}$ og nedbør > 0 , kilde SMHI

3.4 *Bruk av DaisyBell*

DaisyBell er en klokkeformet trakt der hydrogen og oksygen doseres inn i klokka før antenning. Selve klokka skal gi et trykk på ca 300 mbar mot snøflata ved 3,5 m skuddhøyde. DaisyBell er montert hengende 15-30 m under helikopter. Etter spesifikasjoner skal den kunne gi mer enn 25 mbar overtrykk i en sirkel med 60 m diameter (www.TAS.fr). Dette skal tilsvare om lag 2 kg dynamitt. Skudd kan utløses med inntil ~10 sekunders mellomrom.

DaisyBell har begrenset energi, og valg av skuddpunkt er avgjørende for hvor mye kraft som går ned i kritisk lag. Fra helikopter kan en vanskelig vurdere absolutt helning, og skuddhøyden kan variere noe. Valg av skytepunkt er svært viktig ved bruk av DaisyBell, fordi for eksempel snødybde i skytepunktet har stor betydning for om skred løses ut, særlig i hardt snødekke som her i Abisko. Det ble systematisk skutt med varierende høyde over snødekket for å studere effekten.

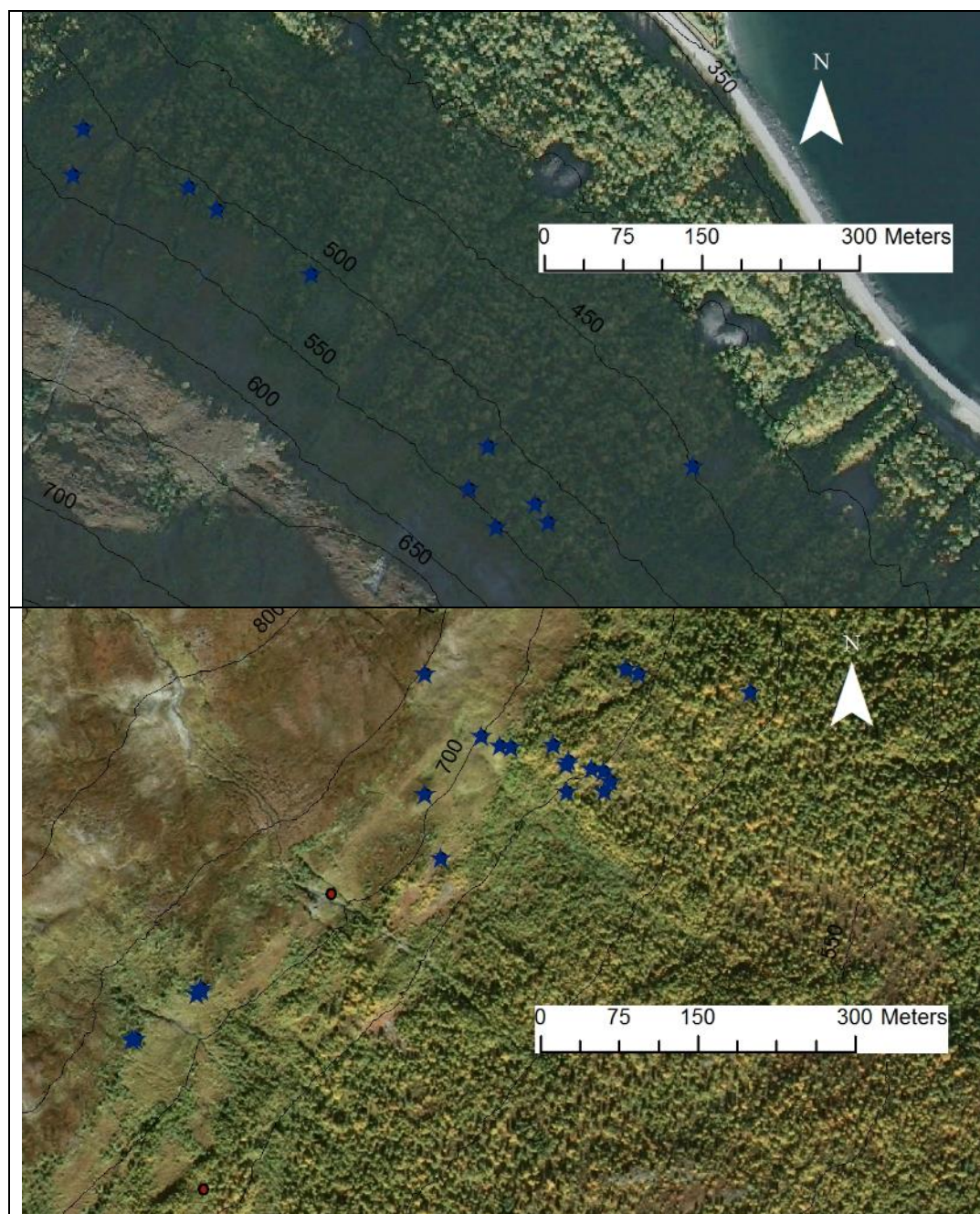
Helikopteret var bemannet med 3 personer grunnet vektbegrensninger; pilot og DaisyBell-operatør, samt en fra vårt team som pekte ut skuddpunkt. Figur 9 og 10 viser omtrentlig posisjon av DaisyBell-skudd på sørøst- og nordsiden av fjellet Nuolja. Posisjonene er tatt ut fra GPS spor og veipunkter i helikopter, og er ikke posisjon til selve DaisyBell'en. Terrengmodellen er avledet av laserdata. Alle skuddpunkter er ikke registrert. DaisyBell har innebygget egen GPS, men data fra denne var ikke tilgjengelig etter skyting. Alle skudd ble utløst som enkeltskudd.



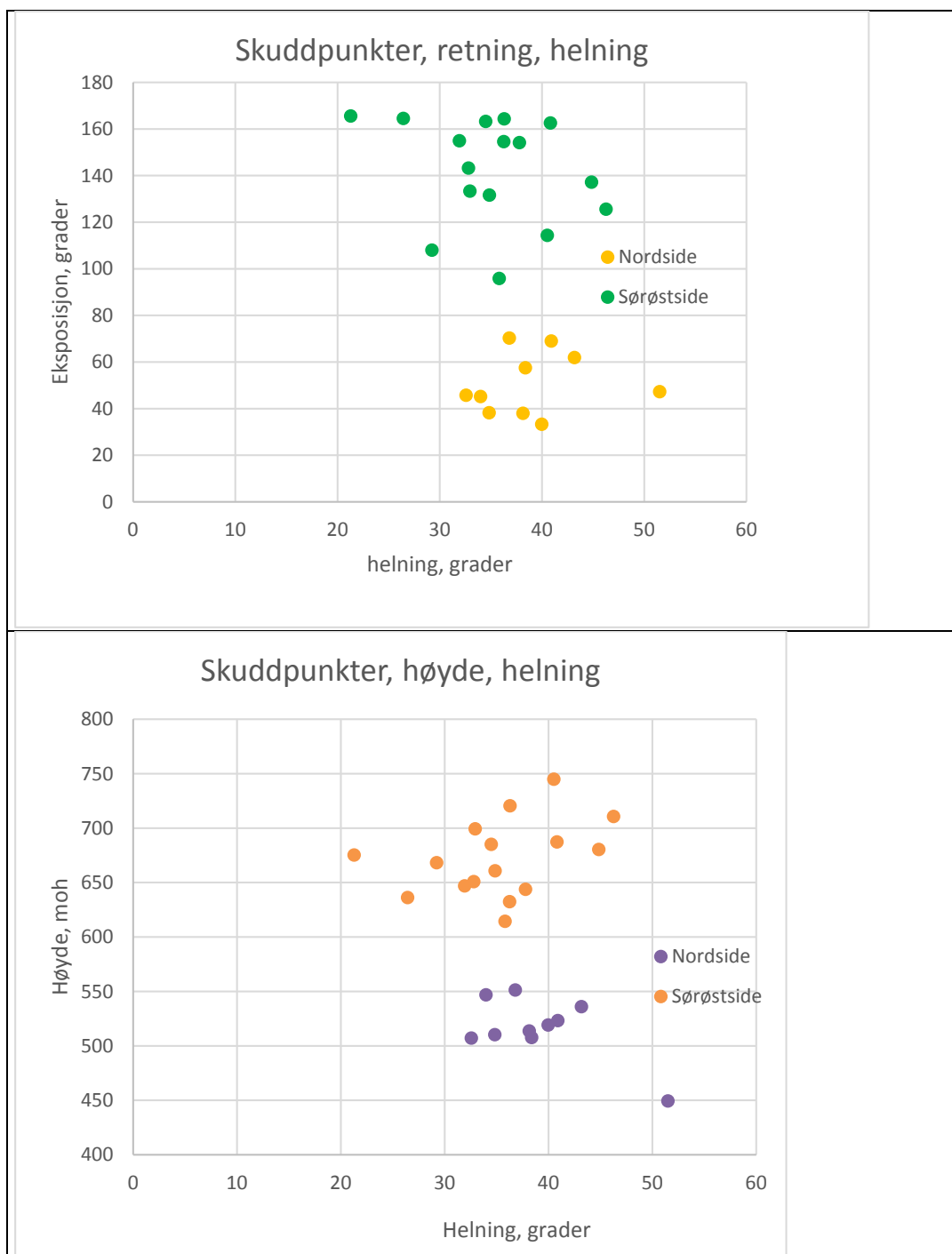
Figur 8 Helningskart (grader) og skuddpunkter for nordre og søndre skuddområde

Figur 8 viser kart med fordeling av skuddpunkter og helning. Figur 9 viser ortofoto av områdene med skog og skuddpunkter. Det er kun 5 av punktene i testen (alle på sørøstsiden) som ligger i åpne områder. De øvrige skuddene ligger nær eller i bjørkeskog.

Figur 10 viser fordelingen av høyde og eksposisjon av skuddataene. Figuren viser at punktene med unntak av 3 skuddpunkter er plassert i helning over 30 grader. To av disse ligger nært brattheng. Fra helikopter kan det være vanskelig å bedømme hvor bratt underliggende terreng er. Planen var å skyte i terreng med helning typisk for utløsningsområder for større snøskred (30-45 grader bratt). I tillegg til helning er tykkelsen og topografi av snødekket vurdert før skudd.



Figur 9 Plassering av skuddpunkter i skog/åpent terreng.



Figur 10 Fordeling av høyde og eksposisjon som funksjon av helning for skuddpunktene.

4 Resultater

4.1 Resultater av DaisyBell

4.1.1 Nordsiden av Nuolja

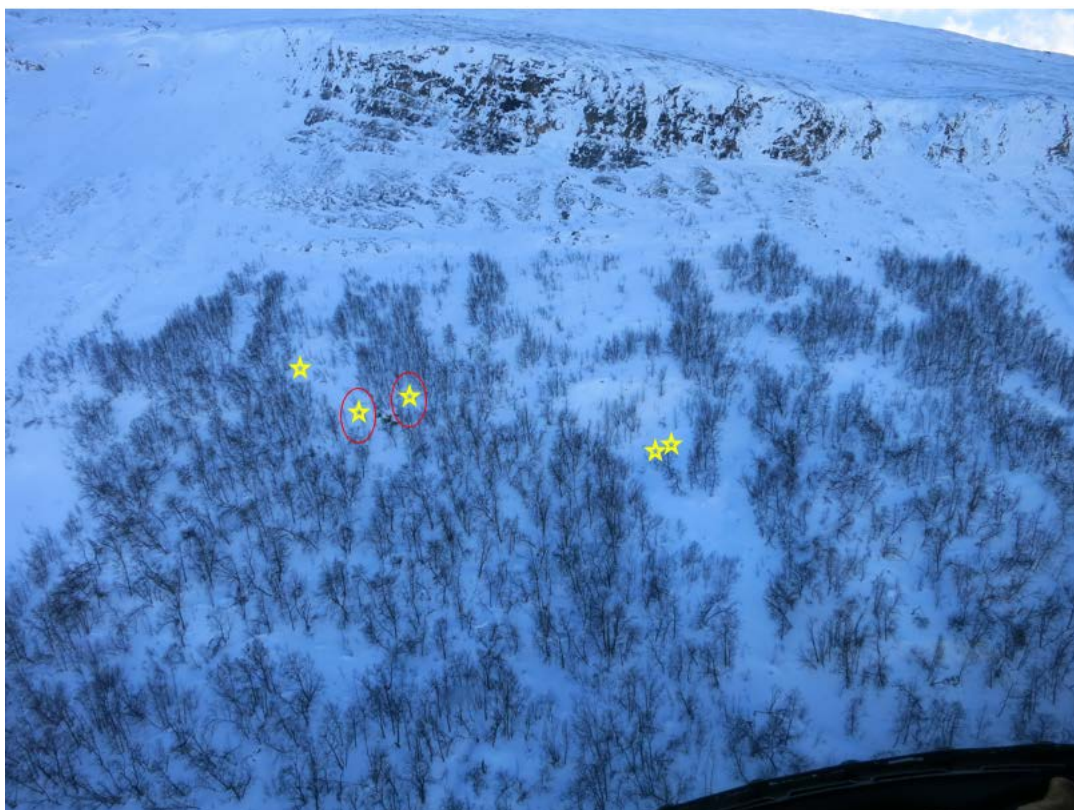
Det ble skutt ca 15 skudd i nordøsthelningen av Nuolja, mot Tornetråsk formiddagen 25. mars. Området ligger rett vest for skredområdet der det er installert Gazex. Jernbanen er lagt i tunnel under skuddområdet, og riksvegen er delvis lagt på fylling ut i vannet.

Skogen på nordsiden består av bjørk, med enkelte mindre åpninger. Skudd ble løst i områder der bjørka anslagsvis stakk 4-5 m over snødekket. De fleste av skuddene resulterte bare i at snøen blåste litt bort fra skuddområdet eller sprakk opp svært lokalt. Noen få skudd resulterte i små, overflatiske skred i den ferske fokksnøen. Figurene 12-14 viser eksempler på slike mindre utløsninger. Ved en halvåpen (skog) lokalitet løst det et lite skred, ca 20 x 30 m².

Figur 12 og Figur 13 viser at lia består av relativt tett skog med noe åpne felter. I figurene er skuddpunkter vist som stjerner, resultater i form av små skred markert med sirkler. Figur 13 viser detaljer fra en typisk skredutløsning i denne lia: Utløst snømasse er i all hovedsak et grunt brudd i snødekket og representerer 1-2-3 dager gammel fokksnø. Bruddflata er lite kontinuerlig og brudd har liten evne til å forplante seg. Figur 14 viser noe mer detaljer. Her ser vi at utløst snø har lagt seg få meter nedenfor bruddkanten. Figur 8 viser at skuddpunktene ligger i et relativt jevnt og bratt område.



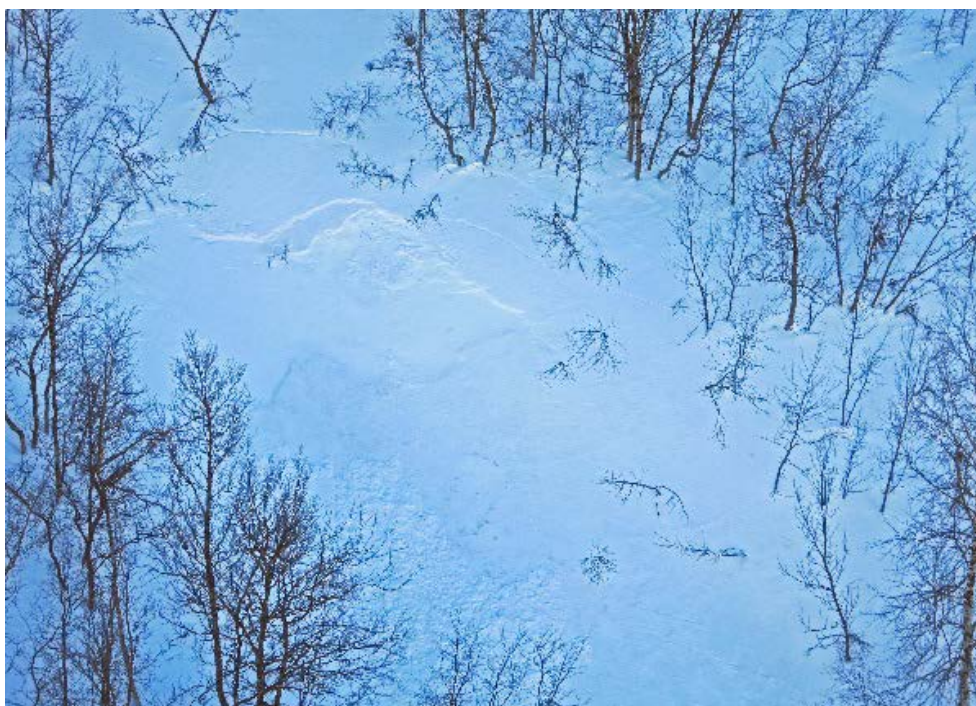
Figur 11 Lia sett vestover mot Bjørkliden. Skogen er tett med enkelte åpne felter.



Figur 12 Enkelte av skuddpunkter i delvis åpent terreng er vist som stjerner. Røde ringer markerer små skred som er vist i Figur 13.



Figur 13 Detalj av skuddpunkter i Figur 12.



Figur 14 Detaljer fra grunt, svært lite skred utløst i åpent felt i bjørkeskog.

4.1.2 Sørøstsiden av Nuolja

På sørøstsiden av Nuolja ble det skutt 16 skudd. Her har fjellet en relativt markert overgang mellom skog og snaufjell. De fleste skuddene ble utført i skog, noen få i de åpne områdene like ved. Figur 10 viser skudd-dataene med ortofoto som underlag. Ved forsøk i skogen ble ingen skred utløst. Noe overflatesnø blåste bort ved skudd, men de fleste stedene så snødekket tilnærmet uberørt ut etter skudd. I det åpne terrenget ble det utløst relativt store skred ved 3 av 4 skudd. Det fjerde skuddet var plassert noe unøyaktig og gav ingen skredutløsning. Disse skredene var dype og hadde stor sideveis forplantning. Noen klynger av små trær så ut til å delvis hindre spredning. Som vist på Figur 17, har snødekket sprukket opp bak og dels mellom trær mens trestammene og/eller en residual friksjon holder igjen snøpakken. Bruddkantene var opp i 1,5 m høye, og flaket en typisk hard slab. Slike flak er harde og dermed vanskelig å løse ut, men bruddet forplanter seg godt. Pga dette ble plassering av skuddpunktene valgt med hensyn til antatt dybde til det kritiske laget, dvs. steder der den totale snøhøyden ble antatt å være mindre.



Figur 15 Trekanter markerer posisjon til snøprofiler Profil A lengst til venstre, Profil B i midten og Profil C til høyre i skogen. Skuddpunkt for dette skredet lå omtrent der stjerne er plassert.



Figur 16 Skredet ble utløst noe til høyre for midten. En ser at bruddforplantingen dels gikk gjennom grupper av trær, se detaljer Figur 17.



Figur 17 Detaljer fra bruddforplanting. Bruddkanten går rundt gruppen av trær.

4.2 Snødekkeundersøkelser

Under feltarbeidet var snødekkeoppbygningen generelt preget av skarelagene og den ellers kalde vinteren. Skarelagene ble funnet både i høyfjellet og nede i skogen, men særlig snøhøyde og avstand mellom vedvarende svake lag varierte mellom skog og høyfjell. I skog i lavere områder lå skarelagene 2-3 cm fra hverandre, mens det oppe i åpne leområder var over 1 m mellom skarelagene.




4.2.1 Profiler sørøst for Nuolja

Dagen etter forsøkene med DaisyBell ble det gravd 3 snøprofiler i sørøstre testområde, og 3 profiler i skog ved Bjørkliden. Figur 20 viser profilene på sørøstsiden av Nuolja. Profil A er ved høyeste bruddkant for skred i Figur 14, Profil B er ved treklynge vist i Figur 14 og 15. Profil C er tatt lengre nord, inne i tett og bratt skog.

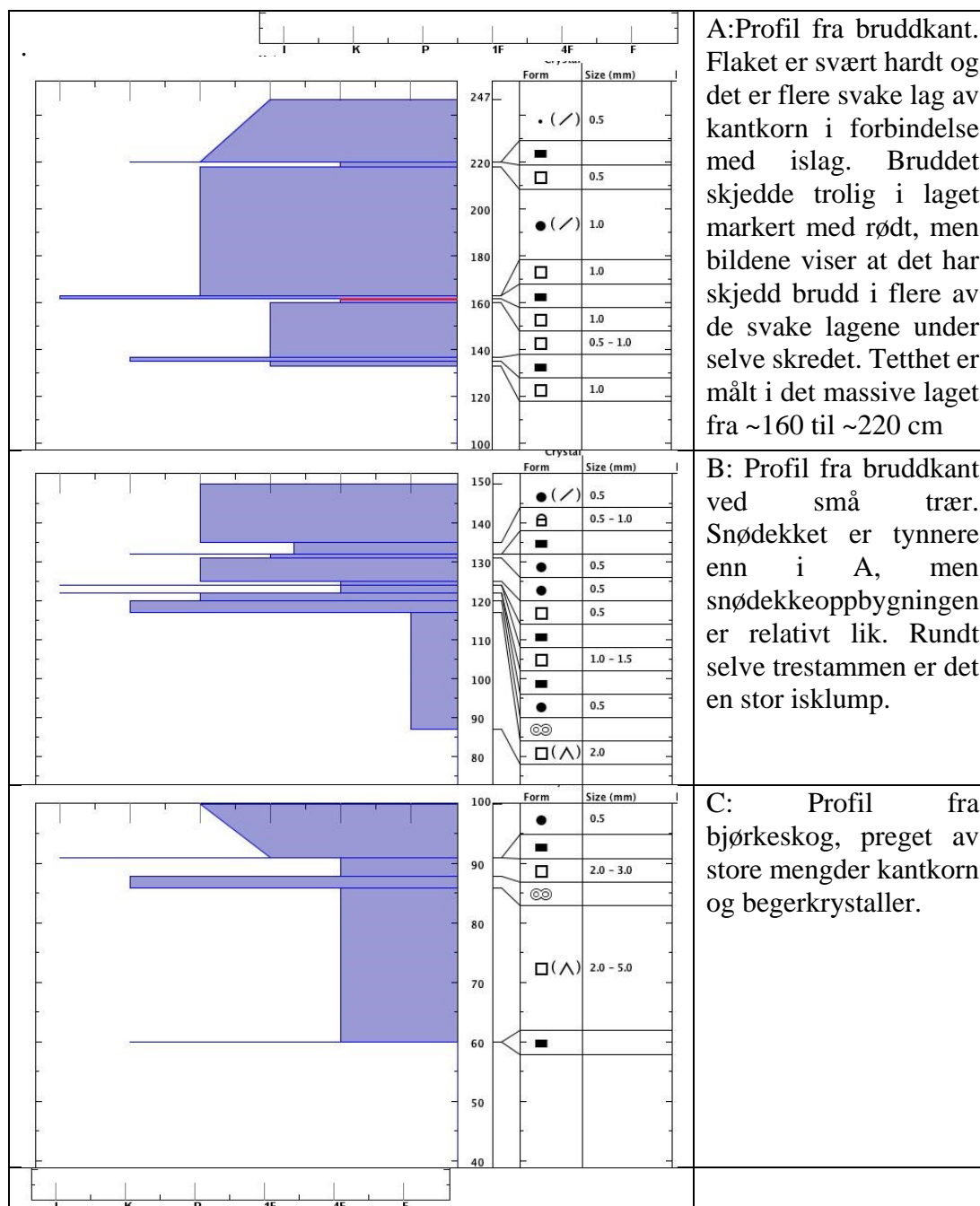
Figur 15 viser 3 store flagg der profil A, B og C er lokalisert. Ved profil A (flagg til venstre) er det en massiv bruddkant på ca 1,5 m mens bruddkanten ved flagg 2 (profil B) går rundt et kjerret med bjørk, og bruddkanten er lavere, ca 0,9 m. Det er utviklet sprekker rundt kjerret, men flaket henger igjen, enten på kvister og trær eller at bruddplanet har egenskaper som opprettholder tilstrekkelig friksjon. Selve skuddpunktet ligger ca 20 m sørøst for dette kjerret der det ble antatt at snødekket var tynt slik at skuddenergien kunne nå ned i kritisk lag. Romvekt ved profil A ble målt fra 320 til 360 kg/m³ i de massive fokksnølagene over bruddplanet. Snøoverflata ved bruddkanten er 30 grader bratt, og helningen øker på nedsiden. I profil C vurderes skogen som tett. Det er ikke registrert tettheter, men de aller fleste steder er det ikke kjørbart på ski (se Figur 18C).

Profilene er vist i Figur 19. Det er stor forskjell mellom profilene fra skredet og profilet inne fra skogen. De vedvarende svake lagene finnes ikke inne i skogen, her er derimot nesten hele snødekket omdannet til kantkorn og begerkrystaller, snødekket er nesten som sukker – selv en skiløper synker dypt ned i snødekket.

Snøhøyden er mindre i profil B enn i A og bruddflaten mot profil B i Figur 15 stiger og går rett over tynne kvister eller nedsnødde trær.

	<p>A. Ved høy bruddkant</p>
	<p>B Ved treklynge, lavere bruddkant. Ned langs stammen er det åpen trakt ned til isklump.</p>
	<p>C: Skog ved Profil C</p>

Figur 18 Foto fra profilene i Figur 19.

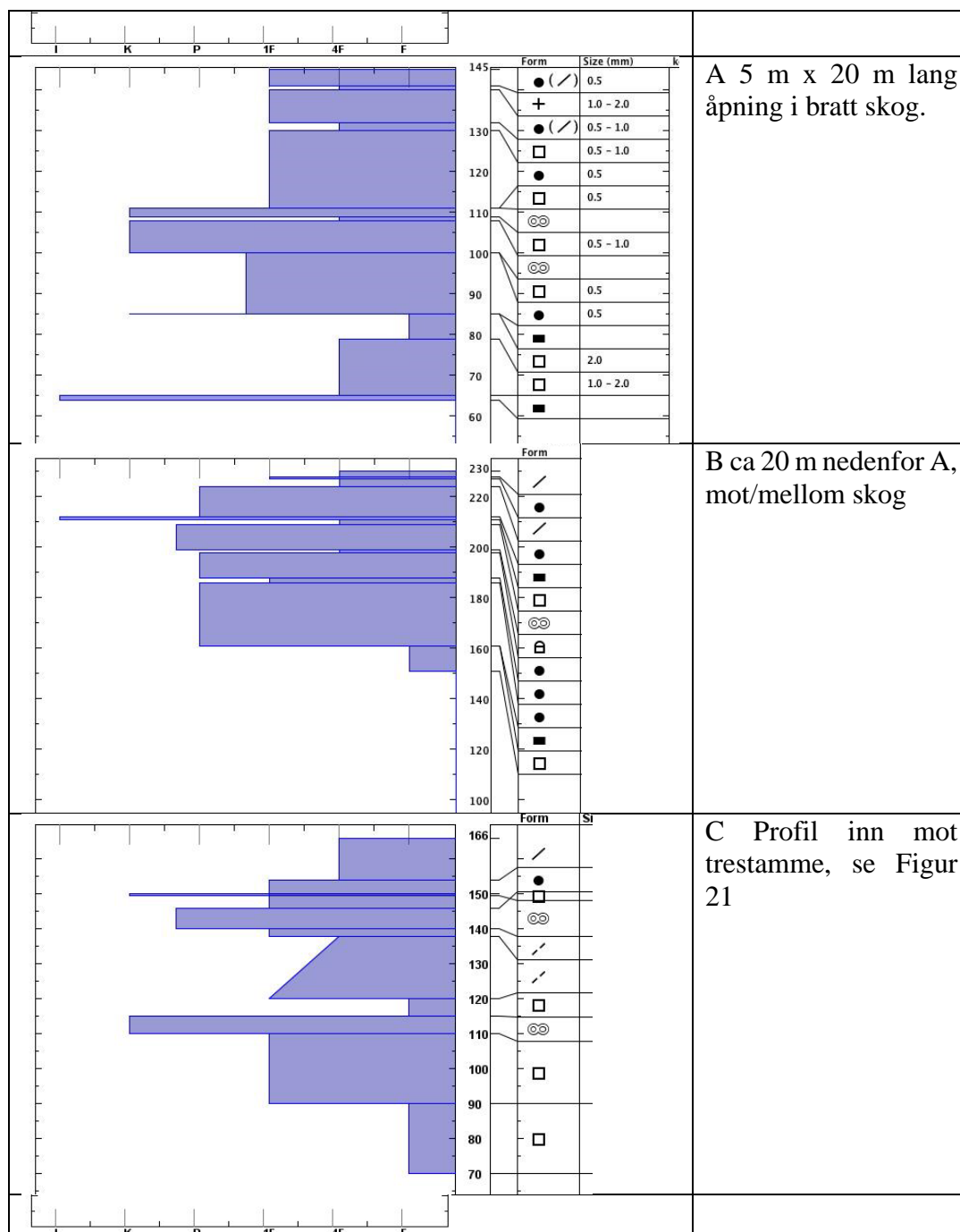


Figur 19 Snøprofiler sørøst

4.2.2 Snøprofiler ved Bjørkliden

Figur 20 viser profiler fra Bjørkliden. Profilene ligger i bratt terreng – se figur 2 – med 10–15 m avstand. Figur 20C er gravd inn mot et tre, slik Figur 21 illustrerer. Profil A, B og C er relativt like, men viser hvordan lagtykkelsene kan variere over korte avstander. Profil B ligger en del lavere i skråningen og har betydelig større total snøhøyde, dvs at vi ser stor variasjon på snødybde i skog i dette området.

Profil C viser et profil inn mot en trestamme med greiner. Lagene inn mot stammen blir tynnere, bøyer av og henger på stamme og greiner. Både langs stamme og greiner er det is som gjør at den faktiske bindingen mellom snø og tre er større enn det trediameter tilsier.



Figur 20 Profiler i skog i Bjørkliden, for lokalisering se figur 2.



Figur 21 Foto fra snøprofil C, Bjørkliden. Lagene er skråstilte inn mot stamme og henger med isforbindelse på stamme og kvist. Tykkelsen på lagene øker ut fra stammen.

4.3 Generelle trekk fra feltarbeidet

Når vi ser samlet på resultatene av skyting med DaisyBell og snødekkeundersøkelsene kan vi oppsummere følgende:

I åpent terreng finner vi

- Tykke, harde snølag bygd opp av vindtransportert snø – hard slab
- Stor flakdannelse
- Flere dypereleggende skarelag
- Tynne, svake lag med kantformede korn over og under skarelag
- Stor evne til bruddforplantning
- Rundt grupper av trær og kvister i åpne områder finnes islag og isklumper.

I skog finner vi

- En stor del av snødekket består av kantkornede krystaller.
- Ingen tynne vedvarende svake lag
- Homogene snølag viser mindre utstrekning, er undulerende, bøyd eller brutt ved trær.
- Is dannes av varme og vann som perkolerer ned langs stammen.
- Is armerer snø til trær og greiner.
- Faste lag er vesentlig løsere enn harde/faste lag i åpent område; grunnet mindre vind og fokksnøtransport.

Bruddutviklingen rundt trær eller grupper av trær var typisk for de 3 største skredene som ble utløst. Snøen ble hengende igjen, mens bruddet tydelig forplantet seg inn i

og bak tregruppene. Residual friksjon sammen med noe forankring var tydeligvis nok til at snøen ble liggende rundt disse tregruppene. Dersom vekten og skjærspenningen er relativt lav, kan bruddforplantningen stoppe.

Bruddforplantning og trær

- Brudd rundt trær
- Brudd fra tre til tre
- Is rundt trestammer
- Mer kantkorn i hulrom rundt trær
- Trær → mindre sammenhengende svake lag- buktninger av flater



Figur 22 Ca 5 cm islag rundt stammen



Figur 23 Klynge av tynne trær sammenbundet med isklump.

Forskjell i snødybden i testområdene er vanskeligere å utrede for skog og åpne områder. Det er generelt tynnere snødekke ovenfor skuddområdet i sørøst. Utløste skred ligger i område der en har stor snøavlagring av fokksnø, og dette vil også gjelde der fokksnø avlagres i skog. I skog vil en kunne finne stor variasjon i snøhøyde.

5 Diskusjon

Mulighet for utløsning av skred er avhengig av terreng, vegetasjon og ikke minst meteorologiske forhold. Resultatene fra disse forsøkene speiler de forholdene som rådet i Abisko denne vinteren. En kan derfor ikke forvente å finne eksakte svar på spørsmålene omkring skredutløsning i bjørkeskog, men en kan komme noe på vei ved å diskutere enkeltfaktorer. Det er også et spørsmål mange steder om manglende skredutløsning er en indirekte eller direkte følge av tilstedeværelsen av skog. Det skyldes at bjørk og andre vekster har vekst og trivselskrav der snø som faktor spiller inn på flere måter, uten at dette nødvendigvis skyldes snøskred.

5.1 Mikroklima, oppbyggende omvandling og dannelse av svake lag

Svake lag tilknyttet skarelag

I Abisko hang resultatet av DaisyBell sammen med snødekkeoppbyggingen. Særlig utbredelsen av svake lag av kantkorn var avgjørende. Kantkornede krystaller og begerkrystaller dannes under oppbyggende omvandling ved høy temperaturgradient. Siden prosessen trenger stor temperaturgradient skjer den i kuldeperioder og problemer med slik snø i forhold til snøskred er derfor mest vanlig i kalde eller kontinentale strøk. Forflytning av vann som damp i snødekket gir krystallvekst der dampen kondenserer, dvs. at det skjer en oppbyggende omvandling i snødekket, og vi får kantkorn og begerkrystaller.

For at kantkornet snø skal utgjøre et svakt lag må laget være tynt, slik vi fant det i de åpne områdene. Her var laget med kantkornet snø et klassisk vedvarende svakt lag med stor evne til å spre et brudd. Skare og is fungerer gjerne som vanddampspærre og vi finner derfor oftere lag av kantkorn og begerkrystaller under slike skarelag. Også over skarelag vil slike lag kunne dannes, blant annet ved rekrystallisering grunnet utstråling.

I skogen fantes det skarelag, men uten tilsvarende svake lag som i åpent terreng. Nesten hele snødekket var rekrystallisert med mer eller mindre liten fasthet. Trolig er også hele eller deler av tidligere skarelag rekrystallisert. Skarelag i skog kan også være mindre kontinuerlig og splitte seg og henge opp mot kvist og stammer, slik det er observert i Figur 21.

Egenskapene til snøen i åpent område ga grunnlag for store flakskred. Hard snø eller flak rundt stammer gir god stabilisering. Harde flak er vanskelige å trigge, men pga varierende tykkelse ville skredet kunne utløses der flaket er tynnere. Det svake laget har stor evne til bruddforplantning, slik at skredet kan bli stort dersom det trigges. Bruddforplantningen vil gå raskt med stor vekt og skjærspenning.

Dannelse av kantkornet snø

Tynt snødekke fremmer oppbyggende omvandling, særlig tidlig i sesongen fordi temperaturgradienten ofte er større over tynt snødekke og underliggende bakke lite frossen. I arktiske områder er dannelse av kantkornet snø (depth hoar) i bunnen av snødekket et kjent fenomen (Hall, et al., 1986). Prosessen foregår inntil varmefluksen blir lav, dvs inntil kuldenedtrengingen har ført til frosset vann i grunnen (latent varme er tatt vekk). Etter dette vil temperaturgradienten avta fordi kuldefronten går ned i jorda. Krystallene holder seg stabile i lang tid. Eckerstorfer og Christiansen (2011) finner størst tykkelse av kantkornet snø på Svalbard over nedsnødd ur. Dette forklares med at det er et varmemagasin i ura som er lukket inne, og at varmemagasinet er større enn ved andre grunnforhold. Numerisk studie av topografi med oppstikkende fjell i jorddekke (Arons, 1998) viser også at kantkornet snø dannes der stein og topper av undulerende hauger gir mindre snødybde, der temperaturgradienten igjen vil være høy, noe som også er vanlig å observere.

I Abisko fant vi kantkornet snø, i store deler av snødekket inne i bjørkeskogen. Der bjørkeskog vokser vil en forvente generelt mer løsmasser, høyere organisk innhold og større jordfuktighet enn i åpne områder. Tilgangen på fuktighet og varmemengde gir mindre eller seinere telenedtrengning i jorda, noe som lengre opprettholder høy temperaturgradient i bunn av snødekket. Løsere snødekke både pga greiner, stammer og hulrom, og løsere snødekke pga mindre vind, resulterer også i bedre vekstvilkår for kantkorn. Samtidig er lufttemperaturen generelt høyere i skog enn i åpne områder, noe som igjen virker i motsatt retning. Akkurat denne effekten er trolig liten i bjørkeskog i forhold til i en tettere granskog. Erfaringsmessig, som i Abisko, er det mye kantkornet snø i skogbeltet på etterm vinteren.

Kantkornet snø ved bakken er ofte brukt som indikasjon på skredfare. Kantkornet snø ved bakken vil utover i sesongen få en tettere pakning og struktur enn kantkorn

som bygges opp inntil et islag. Studiene i Abisko viser at kantkornet snø må ligge som tynne, svake lag for å utgjøre en fare vinterstid. Når våren kommer og faren for våte skred og sørpeskred øker vil derimot store mengder kantkornet snø ha større betydning.

Isdannelse på plantedeler

Særlig stor mulighet er det for krystallvekst der det finnes hulrom i snødekket, for eksempel rundt busker og steiner og mot tette flater som isskare. I hulrom vil krystallveksten starte med rimkrystaller som henger seg på plantedelene, som videre bygges sammen til større krystaller eller is. Is rundt stammer og kvist kan dannes av perkolerende fritt vann fra overflaten. Is kan også dannes på plantedeler som følge av damp som kondenseres på stammer eller kvist. Slik isdannelse er beskrevet i (Breien og Høydal, 2013). Langs plantedeler kan en ha fri strømningsvei sammenlignet med et homogent snødekke. Ved nysnø, vil varmeledningsevnen til bjørk være større enn nysnøen, slik at damp vil kondenseres mot stammen under nysnøen. Stor tetthet av kalde hull (rundt stammer) vil kunne endre damptransporten i snødekket, og dermed også hvor is og krystaller vokser.

En annen effekt som er viktigere i barskog enn i bjørkeskog, knytter seg til treets krone. Også på bjørk mellomlagres snøen på greiner før den faller ned som et større og tyngre dump. Dette kan ødelegge sammenhengen i svake lag og dermed virke stabiliserende. Krona har stor betydning for mikroklimaet generelt i skog og dermed på skogens evne til å hindre skredutløsning. Dette har vi tidligere studert i NGI-rapport 20120078-01-R (Breien et al., 2013).

5.2 Forankring av snødekket

Selve trestammene perforerer snødekket og virker forankrende, men er avhengig av en minste-diameter for å ha noen effekt, samt antall trær per arealenhet. I (Salm, 1978) er det påpekt at en stabiliseringseffekt av skog starter fra 8–10 cm i diameter. I Alpene er det utarbeidet retningslinjer for når skog fungerer som vernskog mot snøskred, men fjellbjørk har generelt mindre diameter enn det foreslåtte minimumsdiameter som er 16 cm (Meyer-Grass & Schneebeli, 1992). 16 cm er generelt benyttet som nedre grense fordi treet i seg selv skal være sterkt nok til å tåle belastning av snøsig i bratt terreng. Bjørka er myk og tøyelig i ung alder, men stivner til jo eldre den blir. De yngste skuddene kan legge seg helt ned vinterstid, mens ungdomstrærne får krok på seg der disse er utsatt for snøsig. Bjørk som vokser opp med slike kjennetegn har derfor vist at den tåler oppvekst og liv i liewe med snøsig. Vi kan derfor si at bjørka har en stamme med seighet og styrke som bidrar til å tåle snøtrykk selv om den har betydelig lavere diameter enn 16 cm.

Breien og Høydal (2013) har ved telling av stammer med DBH > 5 cm funnet tetthet av bjørkeskog opp mot 10 ganger større enn tretetthet anbefalt av Meyer-Grass & Schneebeli (1992) for lauvskog der kritisk tetthet er satt til >450 trær per ha, og ideelt > 550 trær per ha men altså med mindre dimensjoner. Medianen av stammene i (Breien og Høydal, 2013) lå mellom 10 og 15 cm. Annen praktisk tilnærming finner en i Frankrike (Bauerhansl et al., 2010), der det for DBH 5 cm, 30 og 40 grader

helning anbefales henholdsvis 2550 og 5090 trær per ha. For DBH 40 cm er antallet henholdsvis 180 og 410 trær per ha.

Det kan være sannsynlig at bjørk må etablere seg med en viss tetthet for å kunne vokse i bratte snøområder. Enkeltindivider vil trolig få for stor skade pga snøsig.

Snøtrykk og sig på stammer og stolper er proporsjonalt med totalt sig (glidning og deformasjon i snøpakka) og snødybde. Salm (1978) viser noe som også er omtalt som et «paradoks»; når et tre (og heller ikke snøen) ikke har noen styrkemessig begrensning, trengs et mindre antall trær per arealenhet for å stabilisere snøpakka jo større trykk (snøhøyde, glidning) som oppstår mot stammen. I denne betraktningen ligger snøen igjen etter brudd slik at residual friksjon fortsatt finnes (gjerne svarende til ~26 grader), og trær (eller forbygninger) er da ment å ta opp krefter som overstiger den residuale friksjonen.

Glidning (hele snøpakka glir mot bakken) i forhold til indre deformasjon har størst effekt på snøtrykket. I Norge opptrer glidning i all hovedsak bare om våren når snødekket er eller nærmer seg isoterm tilstand (Larsen, 1998). Vi kan derfor i de fleste tilfeller se bort fra glidning her i Norge. Antall trær per arealenhet som trengs for å stabilisere snødekket vil derfor etter Salm's metodikk være færre i Alpene der glidningen antas å være større enn i Norge.

I praksis kan vi kritisere måten å tenke på i (Salm, 1978) som svært teoretisk. Flakets hardhet vil for eksempel ha svært mye å si i denne sammenheng. Det er kun det snødekket eller delen av snødekket som har en viss minimum trykkstyrke eller kompressibel styrke som et tre eller stolpe kan stabilisere. Fasthet eller hardhet til snøen er korrelert med tetthet til snøen (Mellor, 1974.). Vi kan snu på problemstillingen og si at det ikke er antall trær som er avgjørende for stabilisering, men snøegenskapene til flaket, som hardhet og fuktighet. Hard snø gir god forankring, mens middels hard snø (én finger hardhet) har lavere styrke og det trengs større tretetthet for tilsvarende stabiliserende effekt. Det er ikke gjort styrketester av snø med runde geometrier (tilsvarende stammer) for isolert å studere denne problemstillingen. Diskusjon og beregningseksempler i (Salm, 1978) indikerer at det kreves snø med fasthet tilsvarende én finger eller høyere for at stammer skal ha en forankringseffekt.

Trestammer, greiner og kratt forankrer snødekket også ved hjelp av is som binder den fastere delen av snødekket til vegetasjonen. Isen vil øke forankringseffekten tilsvarende som et tre med større diameter.

5.3 *Observerte skred i og nær bjørkeskog*

Per i dag kjenner vi ikke eksempler på store eller ekstreme snøskred som har løsnet i bjørkeskog, men vi er kjent med eksempler på skiløperutløste skred. Et slikt skiløperutløst skred i Åre ble beskrevet i (Breien og Høydal, 2013) og viste at skogen sto svært tett (> 6000 per ha), var ca 5 m høy med mange trær med diameter (DBH) rett under 15 cm, og at skogen var gammel med lite undervegetasjon og få unge trær. Snødekket var tynt, skredet grunt, og bruddplanet gikk delvis rett mot

undervegetasjon og bakke. Trolig var det her begerkrystaller på bakken. Dette eksemplet viser at skred kan løses ut av en skiløper selv i tett skog under de rette forholdene, men sier ikke noe om hvor langt slike skred kan gå. Dette skredet stoppet etter noen få meter. Tettheten i denne bjørkeskogen er langt over minstekravet til tetthet for vernskog i Alpene. Kriteriet for vernskog har der blitt utarbeidet i forhold til skred som kan gjøre skade på infrastruktur og hus, dvs større skred som når stor hastighet, det kan derfor bli feil å direkte overføre et slikt kriterium til muligheten for å løse ut små skred som skiløper.

Mer vanlig er det med skred løst ut rett i overkant av bjørkebeltet. For skiløpere er ofte dette et område man bør være ekstra forsiktig i. Her i kanten av bjørkebeltet er det ofte roligere vindforhold og mer snø enn høyere opp der det er avblåst. Mindre vind gir noe mindre pakket snødekke og lettere å løse ut labile snømasser. Dette er også et farlig område fordi et skred her lett kan føre en skiløper med seg ned i skogen.

Abisko ligger som tidligere nevnt i et tørt, kontinentalt klima, noe som preger snømengder og omvandling av snøen. I et mer maritimt klima vil en forvente mindre oppbyggende omvandling av snødekket.

6 Konklusjon

Ut fra antall utløste skudd i skog og åpent terreng viser feltstudiene i Abisko at det var betydelig vanskeligere å løse ut snøskred i skog enn i åpent terreng. Topografi/geometri var, nettopp på grunn av skogen og dens livsvilkår, noe ulike, men likevel mener vi at testene er representative. Studiet er begrenset, men viser at selv små løvtrær som fjellbjørk med kvist og undervegetasjon reduserer muligheten både for skredutløsning og for bruddforplantning.

I bjørkeskog er det trolig ikke selve forankringseffekten som isolert sett er avgjørende, men snarere snøegenskapene. I skog eller i snødekke med påvirkning av vegetasjon har vi for eksempel ikke funnet sammenhengende svake lag med stor utbredelse, og skare og islag ser ut til å kile ut mot trestammer og greiner.

Vi mener at bjørkeskog reduserer sannsynligheten for skredutløsning, og særlig gjelder dette i snøforhold der vedvarende svake lag utgjør skredproblemet, slik vi ofte finner i kalde, tørre klima som i Abisko. Vi har ingen data fra mer maritimt klima. I slike områder er skredfaren oftere relatert til store snøfall. Vedvarende svake lag er sjeldnere og skredfaren øker og minker ofte raskt. I slike tilfeller har i tillegg til nedbøren, vinden stor betydning. I maritimt klima er det trolig skogens effekt som vinddemper som gjør skredfaren mindre i skogen.

Faresonekartlegging for bebyggelse beregnes og vurderes for ekstreme skred med typisk sannsynlighet i området 1/100 til 1/1000 per år. Alfa-Beta metoden benyttes ofte og baserer seg på data fra store åpne skredbaner og løsneområder. Metoden er trolig ikke en relevant metode der det finnes skog i løsneområdet. Skred i bjørkeskog er trolig oftest små skred, utløst av skiløpere. Sannsynligheten for å løse ut skred som

skiløper er ofte størst i overgangen bjørkeskog-høyfjell. I dette området foregår større avlagring av snø enn i både høyere- og lavereliggende områder, og snøen er generelt løsere pakket enn i åpnere områder. I tillegg er konsekvensene for skred her store, pga nedenforliggende skog som potensiell terrengfelle. Selv om skred i skog er farlige for skiløpere, er utløpet ofte kort. Bebyggelse må ligge tett opp mot potensielt løснеområde før at slike skred utløst i skog er en reell fare.

Når det gjelder tørre snøskred mot bebyggelse, mener vi at der hele det potensielle løsnakeområdet er bevokst av skog, er faren minimal. Skred utløst i åpent område i eller ovenfor skog vil derimot raskt oppnå kritisk hastighet og sannsynligvis skade og legge ned bjørkeskog. I forhold til åpne områder i skog vil en benytte de samme kriterier for størrelse på åpne områder som i annen skog. Åpne områder skal være mindre enn at et utløst skred kan oppnå en kritisk hastighet som ødelegger nedenforliggende skog. I (Breien et al., 2013) er det gitt dimensjoner på slike områder.

Forsøket er utført i tørt kontinentalt klima, og dette påvirker også aktuelt skredproblem som er et vedvarende svakt lag i åpne områder. For å få mer kunnskap om effekt av skog på snøstabilitet, er det ønskelig å gå videre med:

- Systematisk testing med DaisyBell og registrering av snøprofiler i ulike klimaregioner og vegetasjonsområder.
- Studere hvordan bjørk påvirker snødekket fysisk og i forhold til snødrift.
- Samle informasjon om terreng og vegetasjon på sommertid.

7 Referanser

Arons, E. M., Colbeck, S. C., Gray, J. M. N.T, 1998. Depth-hoar growth rates near a rocky outcrop, *Journal of Glaciology*, 44, No. 148, pp.47878-484

Bauerhansl C., Berger F., Dorren L., Duc P., Ginzler C., Kleemayr K., Koch V., Koukal T., Mattiuzzi M., Perzl F., Prskawetz M., Schadauer K., Schneider W., Seebach L., 2010. Development of harmonized indicators and estimation procedures for forests with protective functions against natural hazards in the alpine space (PROALP). EUR 24127 EN – Joint Research Centre – Institute for Environment and Sustainability. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. 167 pp.

Berthet-Rambaud, P., Noël, L., Farizy, B., Neuville, J.-M., Constant, S., 2008. Development of an helicopter-borne gas device for avalanche preventive release. *Proceedings of the International Snow Science Workshop, Whistler, BC...*

Bogie, D., Fortini, A., 2010. Snow anchors for belaying and rescue. *Proceedings, ISSW 2010. International Snow Science Workshop, X, X*

Breien, H., Høydal, O.A. Sandersen F., 2013. Forslag til kriterier for vernskog mot skred. NGI-rapport 20120078-01-R, Oslo, Norway, 45 pp.

Breien, H. and Høydal, O.A. 2013. Influence of forest on snow avalanche hazard - Norwegian challenges. In: Proceedings, ISSW 2012. International Snow Science Workshop, Anchorage, Alaska, USA.

Breien, H. and Høydal, O.A. 2012. Effect of high elevation birch forest on snow stability. In: Proceedings, ISSW 2013. International Snow Science Workshop, Grenoble-Chamonix, Frankrike,

Colbeck, S., C., 1980, Dynamics of snow and ice masses, Academic Press Inc.

Eckerstorfer, M., og Christiansen, H., H., 2011, The High Arctic Maritime Snow Climate in Central Svalbard, Arctic, Antarctica and Alpine Research, Vol 43, No.1, pp. 11-21

Engum, H.,C., 2006 Alpine tre- og skoggrenseendringer. Indikator på klimaforandringer eller endret arealbruk? Mastergradsoppgave ved institutt for geografi
Universitetet i Bergen

Hall, D. K., Chang, T., C., and Foster, J.,L., 1986, Detection of the depth-hoar layer in the snow-pack of the Arctic Coastal Plain of Alaska, U.S.A., using satellite data
Journal of Glaciology, 32 (110), pp-87-94

Larsen, J.O., 1998. Snow creep forces on masts. Ann. Glacial. 26, pp.19-21.

Mellor, M. 1974. A review of basic snow mechanics. Proceedings of the Grindelwald Symposium, April 1974. IAHS, Publication No.114, pp. 251–291.

Meyer-Grass, M.; Schneebeli, M. (1992): Die Abhängigkeit der Waldlawinen von Standort-, Bestandes- und Schneeverhältnissen. In: Internationales Symposium Interpraevent 1992 Bern. Tagungspublication. Band 2: 443-445.

Öberg, L, Kullman, L, 2012, Contrasting short-term performance of mountain birch treeline along a latitude-maritime gradient in the southern Swedish Scandes, Fennia 190:1, pp. 1940, ISSN 1789-5617

Kontroll- og referanseside/ Review and reference page



Dokumentinformasjon/Document information												
Dokumenttittel/Document title Testforsøk Abisko					Dokumentnr./Document No. 20140918-01-R							
Dokumenttype/Type of document Rapport/Report		Distribusjon/Distribution Begrenset/Limited			Dato/Date 18. desember 2014			Rev.nr.&dato/Rev.No.&date 0				
Oppdragsgiver/Client NVE, NIFS, NFR												
Emneord/Keywords Snøskred, bruddforplanting, skog, bjørk, kunstig utløsning, DaisyBell, snømetamorfose												
Stedfesting/Geographical information												
Land, fylke/Country, County Sverige					Havområde/Offshore area							
Kommune/Municipality					Felt navn/Field name							
Sted/Location Abisko					Sted/Location							
Kartblad/Map					Felt, blokknr./Field, Block No.							
UTM-koordinater/UTM-coordinates												
Dokumentkontroll/Document control												
Kvalitetssikring i henhold til/Quality assurance according to NS-EN ISO9001												
Rev./Rev.	Revisjonsgrunnlag/Reason for revision				Egen-kontroll/Self review av/by:		Sidemanns-kontroll/Colleague review av/by:		Uavhengig kontroll/Independent review av/by:		Tverrfaglig kontroll/Inter-disciplinary review av/by:	
0	Originaldokument				oah		DI					
Dokument godkjent for utsendelse/Document approved for release				Dato/Date 18. desember 2014			Sign. Prosjektleder/Project Manager Hedda Breien					

NGI (Norges Geotekniske Institutt) er et internasjonalt ledende senter for forskning og rådgivning innen geofagene. Vi utvikler optimale løsninger for samfunnet, og tilbyr ekspertise om jord, berg og snø og deres påvirkning på miljøet, konstruksjoner og anlegg.

Vi arbeider i følgende markeder: olje, gass og energi, bygg, anlegg og samferdsel, naturskade og miljøteknologi. NGI er en privat stiftelse med kontor og laboratorier i Oslo, avdelingskontor i Trondheim og datterselskap i Houston, Texas, USA.

NGI ble utnevnt til "Senter for fremragende forskning" (SFF) i 2002.

www.ngi.no

NGI (Norwegian Geotechnical Institute) is a leading international centre for research and consulting in the geosciences. NGI develops optimum solutions for society, and offers expertise on the behaviour of soil, rock and snow and their interaction with the natural and built environment.

NGI works within the oil, gas and energy, building and construction, transportation, natural hazards and environment sectors. NGI is a private foundation with office and laboratory in Oslo, branch office in Trondheim and daughter company in Houston, Texas, USA.

NGI was awarded Centre of Excellence status in 2002.

www.ngi.no



Hovedkontor/Main office:
PO Box 3930 Ullevål Stasjon
NO-0806 Oslo
Norway

Besøksadresse/Street address:
Søgtveien 72, NO-0855 Oslo

Avd Trondheim/Trondheim office:
PO Box 5687 Sluppen
NO-7435 Trondheim
Norway

Besøksadresse/Street address:
Hegskoleringen 9, 7034 Trondheim

T: (+47) 22 02 30 00
F: (+47) 22 23 04 48

ngi@ngi.no
www.ngi.no

Kontonr: 5096 05 01 281 /IBAN NO26 5096 0501 281
Org.nr./Company No.: 958 254 318 MVA

BSI EN ISO 9001
Sertifisert av/Certified by BSI, Reg.No. FS 32989



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 09575
Internett: www.nve.no

