Oppsummeringsrapport for skog og skredprosjektet

Samanstilling av rapportar frå prosjektet

Hedda Breien, Øyvind A. Høydal, Odd Are Jensen

92
2015

RAPPORT

Oppsummeringsrapport for skog og skredprosjektet

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Redaktør:

Forfattere: Hedda Breien, Øyvind A. Høydal, Odd Are Jensen

Trykk: NVEs hustrykkeri

Opplag:

Forsidefoto: Testforsøk Abisko - Odd Are Jensen NVE

ISBN 978-82-410-1144-3

Sammendrag: Rapporten samlar publikasjonar frå skog og skredprosjektet. Prosjektet har sett på effekten av skog på skredfare og skredfarevurderingar. Prosjektet har vore finansiert av NVE, NGI og NIFS.

Emneord: Steinprang, snøskred, jordskred, flaumskred, skog, skredfarevurdering.

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

2015

Om rapporten

Denne rapporten samlar publikasjonane gitt ut i Skog og skredprosjektet i perioden 2012 - 2014. Prosjektet var eit samarbeid mellom NGI, NVE og NIFS. Prosjektet har sett på effekten av skog på skredfare og skredfarevurderingar.

NGI-rapport 20110073-00-3-R – Bruk av skog i skredfarevurdering – Vegetasjon i skredmark omhandlar i hovudsak revegetering av skredsår. Kunnskap om kor raskt skredsår gror att etter eit skred er svært viktig for skredfarevurderingar. Det kan blant anna gi støtte til å vurdere kor ofte skred av forskjellig størrelse går.

To artiklar, samt *NGI-rapport 20130918-01-R – Snøskred i bjørkeskog – Testforsøk i Abisko* omhandlar effekten av lav lauvskog på snøskredfare. Det vart i prosjektet utført testforsøk i Abisko i Nord-Sverige med utløysing av snøskred i og utanfor bjørkeskog med hjelp av Daisy Bell. Lav lauvskog, spesielt bjørk, finn ein i Norge i mange potensielle løsneområder for snøskred. Effekten denne skogen har på skredfaren vil ha ein stor effekt på skredfare og skredfarevurderingar.

I *NGI-rapport 20120078-01-R – Forslag til kriterier for vernskog mot skred* kjem NGI med forlag til kriterier for vernskog mot snøskred, steinsprang og jordskred. Rapporten gir bakgrunn og grunngjeving for val av kvantitative kriterier som kan brukast for vernskog mot snøskred og steinsprang. Det blir anbefalt maksimal lengde på opne områder i fallretning, samt kombinasjon av tettleik og størrelse på tre for å oppnå verneeffekt mot skred. For jord- og flaumskred vert ikkje slike kriterier gitt, men effekten av skog på infiltrasjon og avrenning blir gjennomgått.

Prosjektet var utført av NGI, med støtte av NVE. Det var finansiert av NGI og NVE, samt at NIFS-prosjektet støtta testforsøket i Abisko.

NGI

Rapport / Report

Bruk av skog i skredfarevurdering

Vegetasjon i skredmark

20110073-00-3-R
13. april 2012

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 NGI.

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 NGI.

Hovedkontor:
Pb. 3930 Ullevål Stadion
0806 Oslo

Avd Trondheim:
Pb. 1230 Pirsenteret
7462 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

Prosjekt

Prosjekt:	Bruk av skog i skredfarevurdering
Dokumentnr.:	20110073-00-3-R
Dokumenttittel:	Vegetasjon i skredmark
Dato:	13. april 2012

Oppdragsgiver

Oppdragsgiver:	Norges forskningsråd, NVE
Oppdragsgivers kontaktperson:	Knut H Andersen, NGI, Brigt Samdal, NVE
Kontraktreferanse:	Grunnbevilgning og bevilgning fra NVE

For NGI

Prosjektleder:	Hedda Breien
Utarbeidet av:	Øyvind Armand Høydal og Hedda Breien
Kontrollert av:	Hedda Breien

Sammendrag

Rapporten har fokus på typiske arter i skredmark (rasmark) og gjengroing av skredsår basert på befaringer og litteratur. I tillegg fokuserer den på vegetasjonens innvirking på jordas vanninnhold og skråningsstabilitet.

Revegetering av skredsår skjer gjennom frøspiring og gjennom vegetativ formering. Det er befart flere områder og eksempler viser at for frøsetting er erosjon i spiregrunnen/skredsåret i seg selv en begrensning som er viktigere enn klimatiske forhold. Planter med vegetativ formering er ofte pionerer i skredsår. Plantedeler fra slike arter som ligger igjen i skredsåret spirer gjerne samme år, eller straks etter en skredhendelse. Slik revegetering er ikke like utsatt for erosjon som spiring fra frø. Når det gjelder etablering av skog i skredområder har beiting vist seg å være en viktig begrensende faktor

Både av trær, urter, moser og lav er det arter som kan karakteriseres som pionerarter. Disse har hurtig vekst, men har store lyskrav og kommer derfor dårlig

BS EN ISO 9001
Sertifisert av BSI
Reg. No. FS 32989

Sammendrag (forts.)

ut på sikt når konkurransen med andre arter blir stor. Enkelte av pionerartene går igjen i ulike rasmark miljøer, men særlig i feltsjiktet varierer artstypene med varme- og fuktighetstilgang. På skrinne og tidvis tørre områder dominerer sotmose og lyngarter. Ofte er det en forutsetning til fjells at sotmosen etablerer seg og binder jorda før andre arter kan spire. I lavere områder med mer råme finnes større andel av gress, urter og bregner som tidlige innvandrere.

Pionerartene i skredsår er preget av hvilke arter som finnes i sideområdene og grad av gjenværende røtter og humusdekke i skredsåret. Utenfor aktiv skredmark er artsmangfoldet generelt rikere i åpne områder, mens en i tett skog kan finne et fattigere miljø (eks. Jondalen). Artskunnskap og gjenkjenning av plantemiljøer i skredmark kan sammen benyttes for å karakterisere skredmark og grad av forstyrrelse.

Siste kapittel går kort igjennom temaer som er egnet til videreføring i prosjektet.

Innhold

1 Innledning 6

2 Rasmark 6
2.1 Skredhyppighet 7
2.2 Vegetasjonstyper 9
2.3 Treslag på rasmark 9
2.4 Lav vegetasjon på rasmark 11

3 Vegetasjonens innvirkning på infiltrasjon og stabilitet av skråninger 11
3.1 Nedbør og infiltrasjon 12
3.2 Reduksjon av vannhastighet og stopp av masse 13
3.3 Rotforankring 13

4 Gjengroing av skredsår 14

5 Befaringsrapporter 16
5.1 Jondalen, skredsår etter større steinsprang, Kongsberg kommune 16
5.2 Bekken- Stordalen, Otta, Sel kommune 20
5.3 Ulvådalen, Rauma kommune 24
5.4 Anestøylen, Sogndalsdalen 33
5.5 Fjærland 39
5.6 Oppsummering av erfaring fra befaringer 43

6 Videre arbeid 47
6.1 Vegetering av skredsår 47
6.2 Skogens betydning for utløsning av snøskred 47
6.3 Skog som vern mot steinsprang 47
6.4 Skjøtsel av vernskog 47
6.5 Avvirkning og videre skjøtsel i sitkagranområder 48
6.6 Juridiske forhold 48

7 Referanser 49

Vedlegg

Vedlegg 1 Tabell over arter og formeringsegenskaper
Vedlegg 2 Flyfoto fra Ulvådalen

Kontroll- og referanseside

1 Innledning

Type vegetasjon og skader på skog gir en indikasjon på skredhyppighet og hva slags type skred som går i et område. Avhengig av skredform, har skogen og dens vegetasjon også betydning for både å hindre skredutløsning og redusere skredutløp. For aktivt å kunne bruke skog og vegetasjon i skredfarevurdering og som tiltak mot erosjon og skredfare kreves det kunnskap om artsmiljøer og vegeteringsprosesser i rasmark.

I vurderinger og identifisering av potensielle skredområder brukes i dag skog og annen vegetasjon som visuell indikasjon på skredaktivitet (eller manglende skredaktivitet). Dette ofte basert på erfaring og sjelden med referanse til forskning. Ved å sette sammen teoretisk erfaring med observasjoner fra noen geografisk spredde lokaliteter, ønsker vi å øke forståelsen for hvordan, hvor mye, eller i andre tilfeller hvor lite, vegetasjon innvirker på skred og skredfare. Denne rapporten er et forstudie og omhandler arter og naturtyper i rasmark, fysiske effekter av vegetasjon med fokus på løsmassestabilitet, samt beskrivelse av lokaliteter som er befart i forbindelse med prosjektet. Deretter følger kort en beskrivelse av mulige oppfølgende studier.

Prosjektet er tverrfaglig med intensjon om å kunne gi kunnskap til forvaltning av skog i forhold til skredfare, samt å kunne bedre forståelsen for hva skog og vegetasjon betyr for skred og tolkning av skredområder. Første året har vesentlig blitt benyttet til å samle basiskunnskap. Mye av dette er samlet i denne rapporten og det er naturlig å revidere og bygge ut temaer i seinere rapporter. Prosjektet har støtte fra NGIs grunnbevilgning og fra NVE.

2 Rasmark

Lokalitetene som er befart i dette studiet vil som naturtype karakteriseres som rasmark. Rasmark er områder med naturlig forstyrrelse og er en lite beskrevet naturtype i Norge (Bendiksen, 2008). Topografi, klima og geologisk historie er med på å prege rasmark og kan gjøre den forskjellig fra sted til sted, men enkelte pionerarter går igjen både til fjells og i lavere områder. Mange steder vil rasmarka være bygd opp av materiale sprengt løs fra fjellvegger som kantede blokker, stein og grus med varierende knusningsgrad og ofte er det lite humus i løsmassene.

Skredhendelser endrer både lysforhold og jordsmonn og regulerer dermed hvilke arter som trives. Generelt er det i rasmark godt med lys og lite konkurranse mellom artene fordi vegetasjonen er relativt lite sammenhengende og uten tett skog. Ikke sjelden finner en fjellplanter og låglandsplanter side som side i rasmarka, for eksempel fjellmarikåpe, fjellsyre, markjordbær, småengkall og firkantperikum (Bendiksen, 2008). Der det er vannsig fra vegeterte områder inn i skredområder, vil også nitrofile arter som for eksempel bringebær og geiterams trives så lenge de har lys.

I aktiv rasmark dominerer typiske pionerarter som vokser opp raskt. Pionerartene kjennetegnes ved at de er lyselskende eller lyskrevende, har gode formeringsevner og rask ungdomsvekst.

I feltbeskrivelsene i kapittel 6 -10 ser vi at det er flere arter som er typiske og går igjen på flere av lokalitetene som er besøkt.

2.1 Skredhyppighet

I prosjekt for Artsdatabanken, er økokliner for ras og skredhyppighet (RS trinn) definert utfra vegetasjonen i rasmarka. Tabell 1 gjengir tabell 50 og 51 fra (Halvorsen, 2008).

Karakterisering av disse RS trinnene er dårlig kjent (Halvorsen, 2008), men skillet mellom trinn A3 og trinn A4 markerer skillet mellom rasmark-enger og rasmark-skog. A3 er en type rasmark-skog med eksempel fra Vestlandet. Her vokser hassel, bjørk og gråor, og trehøyden kan indikere grad av forstyrrelse. A2 er eldre, rasbetinget lauvskog med bjørk, hengebjørk, osp, selje, alm og hassel (Halvorsen, 2008). I boka Snøskred (Lied & Kristensen, 2003) beskrives skogen i rasmark som friskere grønn enn omliggende skog, og består ofte av bjørk, or og selje.

Hyppige snøskred (dvs fra årlig til hvert 10. år) tilfører noe materiale til utløpsområdet og holder skog lavvokst, slik at det dannes naturlig engvegetasjon. Nedenfor slike rasmarkenger, der skredene sjeldnere når fram, finnes rasmark-skog (Halvorsen, 2008).

Der snø blir liggende lenge, enten på grunn av snøskred eller vinddrift, har vi det som kalles snøleier. Disse kan karakteriseres som fuktige områder der vektsesongen er kort. Typiske arter er museøre, stjernesildre, dvergbjørk, hestespreng (steinrike områder) og fjellburkne. I de mest ekstreme snøleiene som knapt blir bare er det kun moser som kan leve.

På rabber, dvs oppstikkende partier er vekstsesongen lang, vinteren kald og sommeren tørr sammenlignet med snøleiene. Typiske rabbplanter er greplyng, reinrose, fjellpryd, rypebær, fjellkrekling, bergstarr, rabbetust, kattefot, setermjelt og stivstarr.

Tabell 1. Økoklinuttrykk for ras- og skredhyppighet (Halvorsen, 2008)

Tabell 50. Økoklinuttrykk for RS (ras- og skredhyppighet).

Uttrykk	Begrep	Kommentar
A	snørashyppighet	hyppighet for forekomst av ras, først og fremst av snø men også av is og vann, og av ekstremvinder i tilknytning til ras
B	skredhyppighet	hyppighet for forekomst av jord-, sand-, silt- og leirskred

Tabell 51. Trinndeling av økoklinen RS (ras- og skredhyppighet) ; økoklinuttrykkene A–B refererer seg til Tab. 50.

Trinn	Begrep	Kommentar
A5	årviss	forutsigbar, mer eller mindre årviss forekomst av snøras, i gjennomsnitt minst 1 ras pr. 2. år (tidvis kan flere ras forekomme i samme år); resulterer i 'nedslitte' enger i øvre og sentrale deler av rasrenner
A4	høy og forutsigbar	forutsigbar, i gjennomsnitt ca. 1 ras pr. 2–10(–25) år; resulterer i tilsynelatende stabile rasmark-enger og -heier, gjerne i perifere deler av rasmarker
A3	lav og forutsigbar	forutsigbar, i gjennomsnitt ca. 1 ras pr. (10–)25–100 år; resulterer i tilsynelatende stabile rasmark-skoger
A2	sjelden og uforutsigbar	snøras forekommer sjeldent, men ofte nok til å sette sitt preg på økosystemet, i gjennomsnitt mindre enn ett ras pr. (50–)100 år
A1	ikke snørasutsatt	snøras forekommer ikke
B3	kontinuerlig	mer eller mindre kontinuerlig forekomst av (små) skred; markoverflata ustabil; gir ikke grunnlag for etablering av skog
B2	regelmessig	relativt regelmessig forekomst av små og tidvis også større skred, slik at 50% av markoverflata blir utsatt for forstyrrelse i løpet av 50 år; gir grunnlag for etablering av skog preget av regelmessig forekomst av skred
B1	uregelmessig	uregelmessig forekomst av skred, mindre enn 50% av markoverflata blir utsatt for forstyrrelse i løpet av 50 år

2.2 Vegetasjonstyper

En vegetasjonstype karakteriseres gjerne av indikatorarter i feltsjiktet og gis navn basert på dette og et dominerende treslag. Hver vegetasjonstype deles inn i følgende sjikt (Larsson & Søgnen, 2003)

- Tresjikt
- Busksjikt
- Feltsjikt: lyng, urter, gras, bregner
- Botnsjikt: lav og moser

De øvre sjiktene påvirker lysforhold og klima for lavere sjikt, men feltsiktet er en god indikator på jordsmonnet. Dette skyldes at mens trær ofte kan vokse på svært ulike steder og miljøer, er artene i feltsjiktet mer avhengig og karakterisert av humuslag og næring som er på stedet.

Skredhendelser forstyrrer vegetasjonen og større eller mindre deler av humusdekket. Under gjengroing etter et skred vil en finne pionerarter i alle de ulike sjiktene. I et skredområde med lav skredhyppighet, vil humuslaget gradvis gjenbygges og samfunnet går fra å være alge- og lavdominert til småbregne- og storbregnesamfunn. Den store skredvifta i Fjærland, Supphelledalen (se kap. 5-1) forventes å vise et eksempel på slik suksesjon over tid.

2.3 Treslag på rasmark

De boreale treslagene (dunbjørk, lavlandsbjørk, osp, gråor, selje, rogn, hegg og vierarter) er alle arter som relativt raskt etablerer seg i lysåpninger (for eksempel skredskadde områder), men som senere skygges ut i konkurranse med skyggetålende klimakstreslag som bartrær. Disse boreale lauvtrærne utvikler derfor gjerne stabil skog der det er gjentagende forstyrrelser som skred eller tørkestress (”sørbergsmiljøer”) slik at andre arter ikke overtar. Lauvdominert, langlivet rasmarkskog finner en derfor der det er for skredutsatt til at bartrær greier seg. Forstyrrelsen må likevel ikke være mer hyppig enn at storvokst skog kan utvikles. I slike områder finnes, avhengig av varmetilgangen, ulike vekslinger mellom edellauvskog og boreal lauvskog, ofte med stor artsvariasjon (Bendiksen, 2008). Selje- og ospeskog er eksempler på skog som er avhengig av en forstyrrelsesfaktor for ikke å bli konkurrert ut av barskog eller annen lauvskog (Bendiksen, 2008). I ei fjellside finnes det derfor gjerne renner av slik skog der det har gått skred eller går skred med jevne mellomrom.

Or er kjent som en pionerart i skredområder. Ora er klimatisk hardfør og regnes som middels næringskrevende. Dette treslaget har bakterieknoller på røttene som fikserer nitrogen fra lufta og kan vokse på mark uten organisk innhold. For ulike typer jordskred (både på morenegrunn og leire) der humuslaget forsvinner (gjerne dype skred) er or ofte den viktigste tresorten i begynnende vegetering av et skredsår. Ora skyter adventivrøtter og kan spire fra avrevne plantedeler.

Gråora har rask ungdomsvekst, men kort levealder. Hegg vokser gjerne sammen med ora, og andel hegg kan synes å være korrelert med skogens alder og modenhet (økt andel hegg i gammel skog). Rasmark med oreskog eller gråordominerte lisider regnes som en artsrik skogtype. Orelauvet felles om høsten mens lauvet ennå er grønt og næringsrikt og andre planter kan derfor senere dra nytte av dette. Om våren er det nedre sjiktet i slike områder gjerne preget av lave urter som hvitveis og fioler, mens det seinere på sommeren kommer bregner og høgstauder.

Gråordominert rasmarkskog plasserer seg typisk i klasse A3 etter Tabell 1 ovenfor (lav – forutsigbar rashyppighet), trolig med en hyppighet på 1 skred per 25-100 år (Halvorsen, 2008).

Osp blir også sett på som et pionertreslag, men synes å være avhengig av noe humus for å kunne spire og forynge seg. Den vil derfor gjerne vokse opp i grunnere skredsår enn ora gjør. Ospa kan også sette en mengde rotskudd etter forstyrrelser som brann, steinsprang eller hogst. Dette skjer også gjerne i skredsår som er relativt grunne. En ospebestand kan pga dette være relativt jevngammel. Slik ensartet alder kan være en god pekepinn på forstyrrelsens alder (se Figur 1). Ved råte og andre grunner til tredød dannes ikke rotskudd på samme måte.

Figur 1. Eksempel på jevngammel osp i skredmark. Begrepet kloner brukes ofte om grupper av osp.

Bjørk er en klar pionerart med stor spredningsevne av frø. Fjellbjørka formerer seg også vegetativt (Odland, 1994). Når en fjellbjørkestamme er i ferd med å dø kan treet skyte skudd fra rota. På den måten blir fjellbjørka gjerne stående i klynger.

Bjørka er dét bestand-dannende treslaget som best tåler setting og sig i snødekket og som har mest beskjedne krav til sommertemperatur. Snøskred i fjellbjørkeskog kan hindre utvikling av gamle trær, og alderssammensetning av fjellbjørkeskogen kan derfor gi indikasjon på snøskredaktivitet.

2.4 Lav vegetasjon på rasmark

For jordskred eller områder med erosjon, skjer pionerutvikling både av lav, moser, urter og lyng. Moser holder på fuktighet og gir godt miljø for spiring av bl.a. bjørkefrø. I høyereliggende områder, eller klimatisk vanskelige områder for frøspiring av bjørk eller or, utvikles bare bunndekket. Røsslyng er en art med stor frøsetting og høyt lyskrav. I koloniseringsperioder kan røsslyng utgjøre en stor del av vegetasjonen. Krekling og museøre følger etter. Etter hvert vil slike arter utkonkurreres av gress og busker. På de mest ekstreme stedene er det bare sotmoser som klarer å etablere seg og binde jorda, mens torvmose etablerer seg på noe lunere og fuktige steder, dvs i fordypninger og flatere områder.

3 Vegetasjonens innvirkning på infiltrasjon og stabilitet av skråninger

Generelt er stabilitet av skråninger en funksjon av friksjonsmateriale, poretrykk og vegetativ forankring/bindingsmateriale. Med stabilitet menes både utgliding av masse og direkte overflate erosjon. Den vegetative delen av et jordprofil utgjør en bindende og forankrende effekt, som i sin tur har effekt på vannbalansen mellom luft og jord. Erosjonspotensialet i skråninger, renner og bekker er avgjørende for den faktiske faren for flomskred. Derfor er vegetasjon i skråninger, i renner og nær bekker viktig for sannsynligheten for erosjon, utglidninger og skred.

For at trær skal virke stabiliserende i skråninger er trolig følgende punkter gunstige (Frivold, 1991):

- Dype frodige røtter
- Lav stamme
- Begrenset konkurranse - skal gi plass og lys til undervegetasjon
- Lav kostnad ved etablering, dvs. evne til vegetativ formering.

Erfaringsmessig er blandingsskog et godt vern mot erosjon. Skjøtsel vil sannsynligvis være viktig for å beholde blandingsskogen slik at det ikke utvikles ensidige klimakssamfunn.

Fysisk har vegetasjonen følgende stabiliserende effekter (Ranka K. , 2002):

- Dype røtter øker stabiliteten og reduserer fare for grunne skred
- Feltsjiktet (gress og urter) binder jordpartikler

- Røtter øker infiltrasjonskapasiteten til jorda slik at overflateavrenningen reduseres (svært viktig i jordarter med høyt leirinnhold)
- Vanninnholdet i jorda reduseres ved plantenes opptak
- Røtter påvirker vanninnholdet og sugtilstanden også under nedre rothorisont.
- Avrenningshastighet og avrenningsmengde reduseres ved plantenes opptak
- Intersepsjonen, dvs den delen av nedbøren som ikke når bakken, er større jo tettere skogen er. Intersepsjonen er over 50 % i tett skog og omkring 30 % i åpnere områder med busk og feltsjikt (Lunmark, 1986)
- Alle hindringer eller ruheter i vannveien reduserer strømningshastigheten for overflateavrenning

Vegetasjon kan også virke destabiliserende, ved sterk vind kan skog virke som et seil og bidra til redusert stabilitet og resultere i både grunne og dypere skred. Rotvelt gir sår som øker eksponeringen for erosjon, kan forårsake steinsprang som kan rive med seg jordmasser og representerer i bratt terreng et brudd i forankringen for potensielt grunne skred. Tyngden av trær i seg selv er i beregningseksempler funnet å være neglisjerbar (Ranka K. , 2002).

3.1 Nedbør og infiltrasjon

I det øvre jordlaget virker røtter og fryse/tineprosesser inn og fører til løsere jordstruktur og høyere ledningsevne av vann enn hva rene geotekniske laboratorieresultater av jordprøver viser. Vann følger sprekker, kanaler og røtter. I blandingsskog utvikler f.eks granrøtter bedre rotsystem ved å følge andres røtter, og vanligvis vil en si at blandingsskog er den skogtypen som gir best infiltrasjon.

I skog gjør greiner, bar og lauvverk at en større del av nedbøren fordunster og reduserer derfor både infiltrasjonen i grunnen og overflateavrenninga. Målinger basert på 40 år i svensk prøvefelt (Lunmark, 1986) viser at i tett granskog infiltrerer kun 24 % av månedsnedbøren jorda. Det tilsvarende tallet i små åpninger i skogen er 34 %. Måling av avrenning fra skogområder og hogstflater på årsbasis har vist at avrenning fra snauhogde områder var 179 % og 219 % sammenlignet med referanseområder i stående skogbestander (Lunmark, 1986). Det samme forholdet finner en forenklet igjen i den ”rasjonale formel”, der avrenningskoeffisienten (forhold mellom volum nedbør og avrenning) for skog er 0,2-0,5 (dimensjonsløs) (Chow, 1964). Til sammenligning anbefales ofte en faktor på 0,9 på tette flater (asfalt, bart fjell etc). Det er i skog bare en mindre del av nedbøren som bidrar til flomvannføringen, men andelen er større i hogstfelt. Når det samtidig er slik at rotstyrken avtar etter noen år i et hogstfelt, øker mulighetene for flomskred på hogstflater sammenlignet med stående skog.

3.2 Reduksjon av vannhastighet og stopp av masse

Alle hindringer og økt ruhet i en vannvei reduserer vannhastigheten, noe som har stor betydning for erosjonspotensialet og utvikling av skredhendelser. Selv på gressmark vil røtter og overgangen til gress gjøre at vannhastigheter mot jordpartiklene blir lavere (< 0,5 m/s). I områder uten permanent vannstand eller vannføring kan gress i seg selv være nok til å hindre erosjon.

Når skredet først går er trær og røtter ofte en stor del av skredmassene. Dette øker sannsynligheten for oppstuving og oppbremsing av skredmasser og kan dermed forkorte skredets utløp. Slam og organisk materiale går gjerne videre gjennom skogen.

3.3 Rotforankring

Et jordskred bryter vegetasjonen. Bruddene starter i en del tilfeller som sig. Type rot, rotdybde og seigheten (strekkfastheten) til røttene har dermed betydning for jordforankring og utløsning av skred. Hvor langt tilbake et jordskred går, avhenger også av rotbindingen i bruddsonen.

Jo større treet er jo dypere går som regel rota. Slik sett vil trær med dype røtter kunne virke stabiliserende for dypere skred, mens gress og busker kun har effekt på grunne skred. Når det gjelder gress og urter har særlig arter som Lucern (erteplanter) evne til å forankre en del av det øvre jordlaget i vekstsesongen. Andre arter som binder overflaten er strandrør, bladfaks, engrapp, engkvein, hundegress, svingel, timotei og kveke.

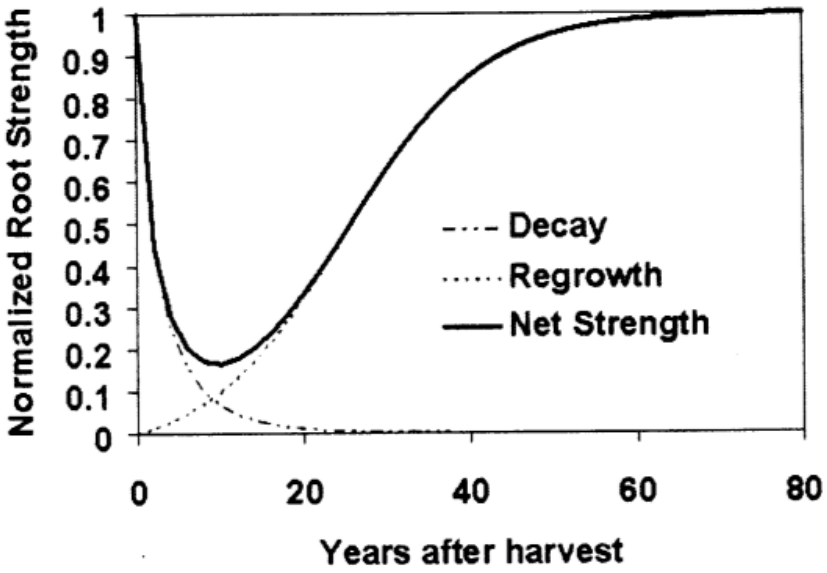
Hvilken rottype som utvikles hos et tre er dels arts- og aldersavhengig, dels påvirkes det av stedlige forhold. Rotutviklingen er preget av hvor uhindret rota kan utvikle seg og hvor fuktighet og næringsemner befinner seg. Generelt omtales røtter som 3 hovedtyper (Børset, 1985): pelerot, fastrot og flatrot. Med pelerot menes en enkel, tykk rot med sideskudd. Fastrot deler seg i omtrent like store skråstilte rotgreiner ned i jorda. Bjørka har slik rot. Både pelerot og fastrot regnes som stormsterke, og forankrer også en større del av jordsmonnet enn flatrota. Flatrota deler seg i flere omtrentlig like store siderøtter som brer seg ut like under jordoverflaten. Trær med flatrot, for eksempel gran, regnes som stormsvake, får lett rotvelt og forankrer en liten del av jorda.

Generelt har lauvtrær røtter med større strekkfasthet (rotstyrke per m^2) enn bartrær. Lauvtrær har derfor størst effekt når det gjelder å redusere sannsynligheten for skredutløsning. Bjørk (betula pendula) er ett av treslagene med størst strekkfasthet, med 37 MN/m^2. Salixarter ligger mellom 14 og 35 MN/m^2. Picea (gran generelt) har strekkfasthet fra 16 til 28 MN/m^2 (Mafian S., 2009). Slike målinger er imidlertid utført på rotdeler med ulik tykkelse, ulike trær har ulike røtter og tynnere røtter av samme art har større strekkfasthet enn tykkere. (Nilaweera, 1994).

Gran har flatrot, men utvikler senkerøtter når den kommer i god vekst (Frivold, 1991). På gamle trær dør senkerøttene, og gjør at de blir mer utsatt for vindfall. Grana følger røtter til andre treslag og vil få dypere røtter i blandede bestander (Frivold, 1991). Blandingsskog, arter med ulike rotsystemer forventer å ha større totalt rotvolum enn ensartede bestander.

Det er også forskjell på hvor godt ulike treslag tåler rotskader. Eksempelvis kan gran få råte av rotskader (beitetråkk eller kjøreskader), mens bjørka tåler dette bedre (Nedkvitne, Bjørnstad, & Refsdal, 1990). Jordbindingen og forankringen i løsmasser, og dermed stabilitet i forhold til skred, er derfor forventet å være best i velutviklet lauvskog.

I hogstfelt regner en med at rotstyrken avtar til om lag 20 % etter ca 10 år for deretter å øke igjen som funksjon av ny tilvekst (Sidle, 1992). I perioden med lav rotstyrke, dvs noen år etter snauhogst, vil en forvente at hogstfeltet er mest sårbart for løsmasseskred.



Figur 2. Prinsippskisse for endring av rotstyrke etter flathogst (Sidle, 1992)

4 Gjengroing av skredsår

Tiden det tar før et område revegeteres etter skred er i stor grad avhengig av skredets dybde i forhold til humuslaget. I humuslaget ligger både frø, røtter og plantedeler som kan spire allerede kort tid etter at et skred har gått. Spredningsmåten til trær og annen vegetasjon sammen med lokale vekstvilkår, er avgjørende for hvor fort de vegeterer skredsåret. Dype skred hvor humuslaget er fjernet vegeteres som regel saktere enn grunne skred.

Aktiv erosjon i skredsåret vanskeliggjør ofte spiring fra frø. Enkelte arter har derimot effektiv vegetativ formering, for eksempel ved rotskudd, stubbeskudd og

adventivrøtter. Rotskudd vil si at skudd skyter fra røtter, mens stubbeskudd skyter fra en hogd stubbe. De fleste lauvtrær setter stubbeskudd. Adventivrøtter brukes om røtter som kan skyte fra andre plantedeler enn rota selv. Arter som har slik spredning vegeterer et grunt skredsår raskt.

Et skredsår er som oftest svært utsatt for videre erosjon og fremtidige skred grunnet manglende vegetasjon. Instabiliteten i et skredsår er derfor ikke ”leget” før overflater som er utsatt for rennende vann har motsatt seg erosjon - enten ved vegetering (for eksempel ved skyting fra plantedeler/røtter) eller utvasking/erosjon slik at det etableres et dekksjikt av større stein.

Figur 3. Spiring fra orerøtter 2 måneder etter skred, Haugalia, Nord Fron

Figur 4. Spiring fra seljestammer, Dahle, Sel

Tabell 1 i vedlegg gir en oversikt over en del av de viktigste treartene i Norge og deres egenskaper (Ranka, 2002 og Frivold, 1991). Tabellen kan brukes til å vurdere tynningsfilosofi i verneskog og til råd om vegetering i skredsår.

5 Befaringsrapporter

I de følgende kapitlene beskrives 5 ulike lokaliteter i Norge. Disse ble befart sommeren 2011 og er eksempler på rasmark av ulik alder og skredsår med ulik grad av gjengroing.

5.1 Jondalen, skredsår etter større steinsprang, Kongsberg kommune

25. oktober 1998 gikk det et større steinsprang som rev med seg skogen i ei bratt li nord for Jondalen fotballbane, Kongsberg kommune. Det er også registrert steinsprang på samme sted 3 år tidligere. Fjellet i bakkant og nedenforliggende ur indikerer at det har løsnet stein fra skrenten en rekke ganger. For omkring 30 år siden stoppet ei stor blokk noen cm fra løeveggen ca 1 km øst for undersøkelsesområdet. Her er det i etterkant bygd sikring.

Skrenten ligger 450 moh i en bratt helning på sørvestsiden av Jondalsåsen. Rasmarka nedenfor har en helning på ca 35 grader og er godt eksponert for sol.

Figur 5. Stiplet ring angir ca. beliggenhet av skredområdet

Figur 6. Foto til venstre er tatt rett etter skredhendelse 25. oktober 1998. Foto til høyre er fra juli 2011 og viser hvordan skredsåret ser ut i dag.

5.1.1 Variasjon i vegetasjon innenfor skredområdet

Arter som er varmekrevende, lyselskende og/eller vokser godt på tørre plasser var godt representert i rasmarka under befaringen. Gamle, solide trær på begge sider av området har sår i stammen etter steinsprang. Oppunder skrenten vokste ei yngre alm og et hasselkratt. Figur 7 illustrerer fordelingen av vegetasjon i rasmarka delt inn i 5 soner. Sonene er beskrevet i lista under og kan finnes igjen på foto i Figur 6.

Sone 1
Sonen i øvre, vestre del er fra 3 til 5 m brei og er etablert langs den åpne, bratte gammelskogen vest for skredsåret. Det er tett med trær i sonen. Or dominerer med stammediameter opp til 12 cm. Foto av årringer ble analysert av Skogbrukets Kursinstitutt og viste 9-10 årringer, noe som antyder at oretrærne spirte like etter skredet i ’98. De fleste av disse trærne står nær ur/stein med friske bruddflater. Steinsprang har skadet oreskogen og de unge trærne vi ser i dag har trolig skutt fra delvis begravet plantemateriale etter skredet.

Basert på en sirkel med radius 4 m, dvs ~50 m^2 innenfor området (wp76, h=428, 0529738, 6619503), ble det talt:

- Or: ~20 stk diameter > 8 cm
- Rogn: 3 stk diameter 8-10 cm, 3 rogn årsskudd + 2 rotskudd

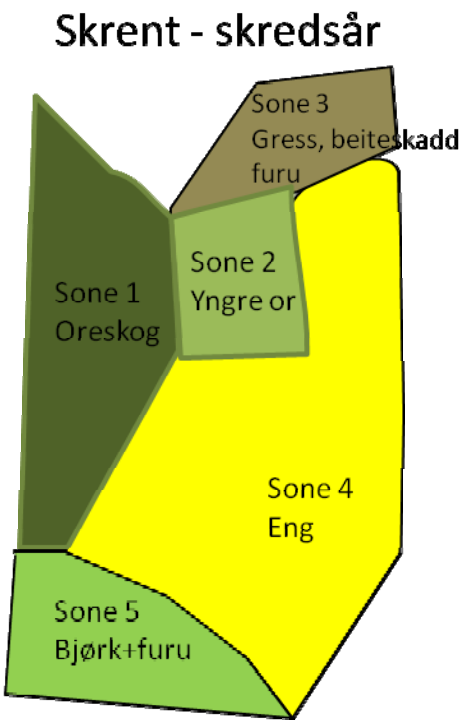
- Bjørk: 5 stk 5-8 cm + ei stor gammel bjørk med en rekke rotskudd nær kanten av rasmarka
- Lønn : 1 stk
- Osp: 2 stk, 10 og 15 cm diameter
- Krossved: 1 stk

Sone 2
Midt i feltet er det lavere oreskog med makshøyde ca 2 m. Trærne stammer tydelig fra rotskudd. Denne sonen antas å ha hatt samme vekst-start som sone 1, men blitt forstyrret etter etablering. Døde "mortrær" ligger på bakken og indikerer et mindre skred eller steinsprang for 4-6 år siden.

Sone 3
Ovenfor sone 2 og inn mot østre del av rasmarka er det gress og beiteskadet furu (elg).

Sone 4
Nedre, østre del av rasmarka er gress- og engmark rik på urter. Bergrørkvein er den dominerende gressarten.

Sone 5
Nedre, vestre del er bratt og har furu og bjørk (uten synlige beiteskader) med småfuru 1- 1,5 m høyde , bjørk 2-3 m høyde.



Figur 7. Rasmark i Jondalen inndelt i soner

5.1.2 Erfaringer fra Jondalen

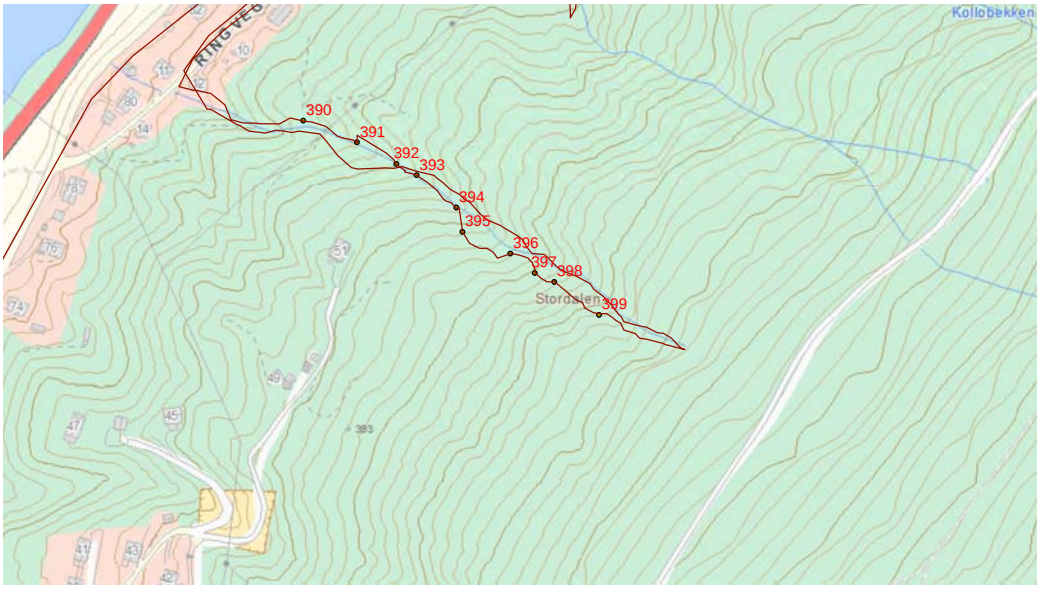
Alm, hassel og krossved viser at varmekjære sorter trives i lia. I feltsjiktet dominerer skogburkne i delvis skygge av oretrær, mens skogvikke og en rekke andre erteblomster vokser i enga sammen med blodstorknebb, bergrørkvein (gressart) og skogflatbelg. I sone 4 er det åpen eng, og her vokser blant annet hundekjeks, skogstorknebb, blodstorknebb, skogflatbelg, skogvikke og tjæreblomst. Bringebær og markjordbær finnes på åpne områder. Mange av disse artene (blodstorknebb, bergrørkvein, skogflatbelg, skogvikke) er lyskrevende planter som er vanlige på voksesteder som tørrbakker, i varme skogkanter eller åpen skog, berg og urer. Omliggende skog er av typen storbregneskog. Skogburkne er indikatorart for denne skogtypen og har begynt å vandre inn i rasmarka fra omliggende skog.

Variasjonen i vegetasjon i skredsåret gjenspeiler trolig alderen på siste steinspranghendelse samt dybden av fjernet humusdekke. Etter vegetasjonen å dømme gikk hoveddelen av skredet gjennom sone 3, 2 og 4. Her er det i dag eng og spredt, lav skog. Sone 1 har sannsynligvis blitt mindre påvirket av skredhendelsen, og her er det i dag etablert oreskog. Dette skyldes trolig gjenværende røtter og plantedeler i denne delen av skredsåret.

Figur 8. Tuer med blodstorknebb i eng. Krever mye lys og vanlige voksesteder er tørrbakker, berg, strandberg og i varme skogkanter.

5.2 Bekken- Stordalen, Otta, Sel kommune

2. mai 2008 gikk et flomskred øst for Otta sentrum ned lia og gjennom boligfeltet Bekken (figur 9). Skredmassene gikk over E6 og ut i Lågen. Dette er ei gammel skredrenne. Renna starter i et punkt der grunnvannet kommer ut forholdsvis sjeldent. Under normale forhold renner det ikke vann i forsenkningen, men det er noe vannsig i de øverste 100 m av renna, hvor det er grunt til fjell. Lengre ned i løpet forsvinner vannet vanligvis ned i grunnen.

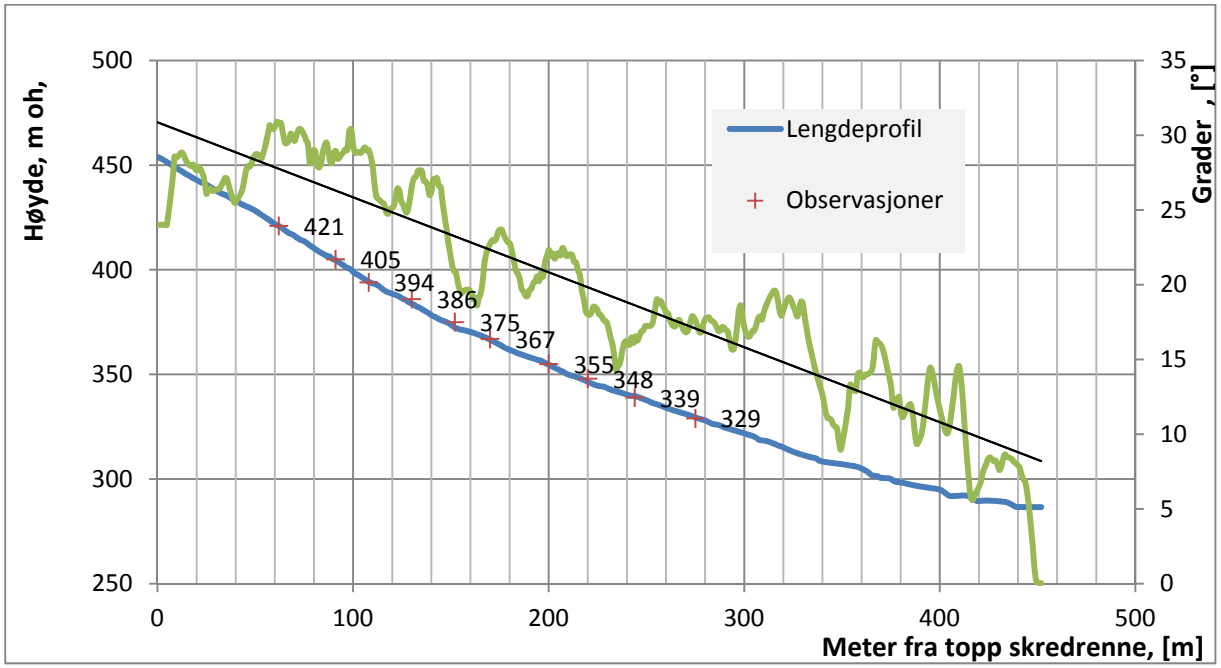


Figur 9. Kart over skredrenne. Linje viser befaringsrute, punkter for observasjoner og notater.

Våren 2008 var grunnvannstanden generelt høy i området. I utløsningsområdet er de øvre 2-3 m forvitrede og kantede masser, med en underliggende enhet med rundet, større stein og tegn på sedimentærlagdeling som i vannavsatt miljø. Vannutspring ble oppservert i under hendelsen i 2008, og sannsynligvis kom vannet ut i overgangen mellom disse to horisontene.

Renna har blitt befart ved en rekke anledninger i 2010 og 2011. I mai 2011 ble det for første gang observert begynnende tilgroing av betydning. Det vil si at gress og skudd av bringebær og selje hadde etablert seg i 2010 (rotsatt), særlig i den nedre delen av renna.

I grove trekk har renna en parabelform som gradvis blir brattere oppover (figur 10). Renna viser en utvikling som skifter mellom erosjon og avsetning i ulike partier og dermed varierende grad av gjengroing. Blant mange forhold har bratthet, dybde til fjell og anriking av vann betydning for om det foregår erosjon eller avsetning. I nedre del, fra ca kote 329 og nedover er renna steinsatt i et forsøk på å øke friksjonen og bremse flomskredmassene.



Figur 10. Lengdesnitt (blå linje) og helning (grønn linje) av skredrenna.

Eksempelvis foregår det tilsilting og overdekning i slakere deler av skredrenna (slakere enn ca 16 °). I området ved kote 329 vokste det våren 2011 bringebær (første års skudd), selje og hestehov. Høsten 2011 var det etablert fullt bunndekke med mose, gress, og brennesle. Høyere opp, ved kote 367 er det også et slakere område med avsetning, der det var for eksempel en mengde frøspirte seljeskudd, typisk høyde 30- 40 cm, i november 2011. Ved kote 355 har det skjedd en anriking av stein i overflaten som følge av utvasking av det finstoffet en delvis finner igjen lavere ned. Helningen er her ca 18 grader.

Høyere opp i renna er det brattere og her foregår det erosjon. Dette vanskeliggjør gjengroing. I området ved kote +348 (pkt 392, figur 10) ble det i mai 2011 observert 1-1,5 m erosjon relativt til skredflaten fra 2008. I området ved kote ~ +395 ble det registrert 2 m erosjon. Erosjonen medvirker også til at sideskråning med torv som ikke ble berørt i 2008, i ettertid har glidd ut. Selve erosjonsdybden ser ikke ut til å ha endret seg det siste året, men utglidning av sidetorver har økt. Dette skyldes ikke minst den svært fuktige sommeren 2011 i dette området.

Ved kote 375, rett nedenfor en stein som ble sprengt til mindre deler i 2008, ligger det ei gammel or som spirte allerede første året etter flomskredet. Skudd fra denne stammen er nå 2-3 m høye. Generelt er de største skuddene i skredrenna fra røtter eller plantedeler av selje og or.

De øverste ~20 m slaker renna noe ut før den møter en brattkant. Her var det under befaring juni 2011 en rekke seljeskudd 15-20 cm høye, bjørkeskudd 6-10 cm høye, frøplanter av furu, og enkelte gresstuster (Figur 11). På sidene hvor det ikke har vært skredpåvirkning, vokser det bl.a. bjørnemose og skogstorknebb.

Figur 11. Skredflata 2008 har en mengde skudd og mose er i ferd med å etablere seg. Erosjon i nedkant fører til at den vegeterte delen siger.

5.2.1 Erfaringer fra Bekken

Skredet etterlot seg en V-form i terrenget nærmest parallell med formen på renna før skredet. Erosjon etter skredet skjærer bratt ned i denne formen. Erosjon viser seg å forstyrre gjengroing i stor grad. Særlig helling har stor innvirkning på grad av erosjon og avsetning og dermed også på gjengroing. Enkelte steder ser nedbør i seg selv ut til å forårsake erosjon slik at frøspiring vanskeliggjøres. Senkingen i skredrenna per år er størst i de første årene etter et skred, og sterkest der fall og fuktighet er størst. Potensielt eroderbare masser ved en nedbør og/eller høy grunnvannssituasjon er trolig større fram til 2011 enn før skredet i 2008

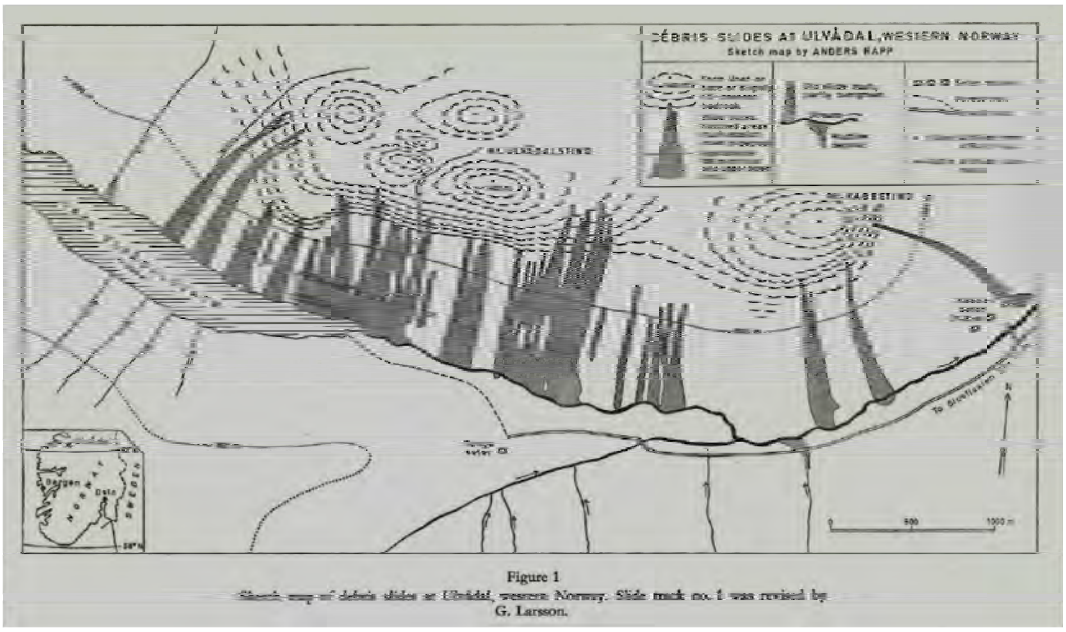
Skredet var grunt, og dro med seg torv, jord og vegetasjon. Etter 3 år er det stor spiring i de delene av skredrenna som ikke har vært utsatt for videre erosjon. Særlig selje og or viser reetablering ved hjelp av skudd fra gamle stammer. Selje ser også ut til å være det treslaget som har størst innvandring ved frøspiring. I områder med netto avsetning forstyrres etablering av bunnsjiktet, men det ser ikke ut til å ha større innvirking på spiring og vekst av selje eller bringebær.

Figur 12. Erosjon med senking ca ~1 m etter skredet i 2008. Den opprinelige slake siden til venstre i bildet har en mengde skudd.

Figur 13. Område med netto avsetning under gjengroing. Selje 2 år, bringebære, selje, hestehov.

5.3 Ulvådalen, Rauma kommune

26 juni 1960 gikk det nærmere 30 skred på nordsiden av Ulvådalen, Tafjordfjella, Rauma kommune (Rapp, 1963). Skredene gikk i løpet av en intens nedbørsituasjon. Nedbørsituasjonen var svært lokal, det ble ikke registrert ekstremnedbør i nærområdene. Foto fra dagene etter hendelsen (Nålsund, 1975) viser at det rant vann ned fra svaene høyt oppe i fjellsida. Dette rant trolig ned i urmasser, og deretter under torva. Beskrivelser av skredene forteller at frossen torv slo opp på land på motsatt bredd av Ulvådalsvatnet. Det vil si at det fortsatt var noe tele i jorda.



Figur 14. Skredområder i Ulvådalen (Rapp, A.,1963)

Figur 15. Flyfoto med nummererte skredrenner

Rapp, 1963 har nummerert disse skredene fra 1 til 26. Figur 14 og Figur 15 viser skredområdene og nummereringen. Nummereringen er benyttet også i denne rapporten. I deler av området er det flere skred eller renner som går inn i hverandre. Det er også 3 skredrenner mellom skred 5 og 7 som ikke var aktive i 1960, men hvor skogen er yngre enn i omliggende skog. I de fleste skredrennene går det trolig også snøskred.

Sletten et al. (2003) beskriver kjerneprøver fra Ulvådalsvatnet i området mellom skred 25 og 26, og noe nærmere motsatt side av vannet. C_{14} daterte prøver indikerer skredmateriale som stammer fra tida mellom 1300 og 2300 år tilbake. Dette, samt observasjoner av levéer (skredmateriale lagt igjen på sidene av renner), og tegn på redusert vegetasjon i renner som ikke hadde skredhendelser under nedbørssituasjonen i 1960 tyder på at dette området har hatt en rekke skredhendelser.

Sammenligning av foto (Rapp, 1963) før og etter skredhendelsen viser at deler av området var ravinert allerede før skredhendelsen i 1960. Dette gjelder særlig området mellom skred 13 og 17. Øvrige skredområder er bredere og har tilsynelatende gått ut som større flak. Det er likevel slik at flere av disse bredere områdene i alle fall i dag har en forsenket drensvei.

I (Rapp, 1963) er skredene i snitt beskrevet som 50 m breie, 600 m lange og 0,4 m dype. Det vil si at skredene overveiende var grunne og at det i all hovedsak var torv og rotsone som ble revet med som skredmasser.

Ved første øyekast, og når en ser flyfoto av området, kan det se ut som at skredsårene er svært lite gjengrodd, selv etter 50 år. Dette fordi det er bjørkeskog i området rundt (nedre del), mens dette fortsatt mangler skog i skredbanene. Ved nærmere studier finner en at lav vegetasjon har etablert seg godt i skredbanene. I vedlegg er gamle flyfoto av skredrenne sammenlignet med dagens bilder.

Under befaringen i 2011 ble vegetasjon i de innerste rennene (nr 26, 25 og 24) studert mest i detalj, samt nederste skredområde (nr 1). De mellomliggende skredene er fotografert og beskrevet.

5.3.1 Terrengformer

Skred nr 17 til 12 (figur 14) ser alle ut til å ha svært grunne løsneområder. Det er små tegn til nedskjæringer på kantene mot skogen. Gjenliggende sedimenter er oksidert. De store rennene midt i disse skredsårene har i dag aktiv massetransport, og kan derfor tolkes til å ha blitt dannet i løpet av tiden etter skredet. Imidlertid viser figur 16 i Rapp (1963) at dette ravinemønstret var tilstede allerede sommeren 1961.

Figur 16. Skredområde nr 17 rett opp, 16 og 15 til høyre, 18 til venstre.

Skredene 6 og 7 har i stor grad gått ned på fjell i øvre deler og det er ellers tynt med sedimenter. I skred 6-10 er nedre deler svært slake. Her var det trolig lite erosjon og mest avsetning under hendelsen i 1960. Her finner en mye grasmark, som stedvis er tilsiltet. Gresset ser ut til å tåle dette miljøet, og tilføring av finstoff kan nettopp av den grunn være årsak til det friske gresset. Fra flybildene ser vi at det i området omkring skred nr 8 er en rekke renner. I stor grad er dette renneområdet nå vegetert.

Både inne i skog, langs gamle levèer og ute på skredåpningene ligger det store kantede steinblokker som utenfor disse skredrennene normalt ville bli tolket som flyttblokker – særlig her som avstanden til kilde for steinsprang er stor. Dette kan være det opprinnelige opphavet, men disse blokkene har trolig også vært forflyttet med jordskred.

5.3.2 Artsinnvandring

Omliggende skog er i all hovedsak blåbær-bjørkeskog med tynt humusdekke og feltsjikt mosaikkpreget av fugletegl, blåbærlyng, røsslyng og gress. Blåbær vokser på de åpne, lune områdene som fjellbjørka skjermer. I åpne partier finnes også einer og dvergbjørk. Røsslyngen viser seg å trenge mye lys og blir dermed utkonkurrert der dvergbjørka står tett.

Sotmose

I områder som har sparsomt med vegetasjon ser vi at sotmosen er framtredende. Sotmose kan dekke større områder, men i tørre perioder er den utsatt for tråkkskader. Den ser heller ikke ut til å klare å etablere seg i bratt terreng der det foregår erosjon pga rennende vann eller dårlig stabilitet. I Norsk Fjellflora (Ryvarden, 2010) beskrives sotmosen som den mosen som lever under de hardeste livsbetingelsene. Sotmosen ser ut som et svart belegg som kommer fram der snøen nettopp har smeltet. Mosen er svart og absorberer dermed mest mulig stråling. Det ser ut til at sotmosen er en pionerart som binder jorda i karrige områder og dermed er med på å hindre videre erosjon. Etablering av denne arten er derfor trolig første steg i en vegeteringsprosess i fjellområder som Ulvådalen.

Bjørk

Den naturlige skogen langs Ulvådalsvatnet er i all hovedsak bjørkeskog. I etablert fjellbjørkeskog med gress eller tett bunnsjikt er vegetativ formering viktig for bjørka (Odland, 1994), men bjørka setter også en stor mengde frø. På bare jordflater som koloniseres av frø, vil en få en tett og jevn bestand hvis klimatiske eller andre fysiske forhold (f.eks beiting) ikke setter begrensninger. I Ulvådalen er både klimaet og beitetrykket hardt. Det er dermed marginalt og tidkrevende for bjørka å etablere seg her. På små, lune flater, det vil her si i de smalere skredrennene, er det et bedre mikroklima enn i de breieste skredrennene og dermed bedre vekstvilkår. Det er i disse smale rennene at vi finner flest bjørkeskudd. Bjørkene som finnes i skredrennene er imidlertid svært lave (omkring 5 cm), men tykk stamme viser at de har relativt høy alder i forhold til sin høyde. Dette skyldes beiting av sau.

Bjørka utvikler ofte symbiose med sopparter (mykorrhiza), og veksthastigheten antas å være avhengig av at soppknoller dannes. I et jordskredområde der det organiske materialet er fjernet har mykorrhiza mindre betydning og veksthastigheten antas derfor å bli noe redusert. Etter skredene i 1960 lå det hauger med skog og torv ned mot vannet. Trær som kan sees nederst i skred 25 og 26 (Figur 19 og Figur 20) kan ha spirt fra rotdeler i skredmassene.

Lyng

Røsslyng er den arten som dominerer vegetasjonen både når det gjelder areal og volum. Dekningen er enkelte steder opp i 60-70 %. I områder med høy dekningsgrad er bunnsjiktet ofte dekket av sotmose. Røsslyng setter en mengde frø, og frøspiring er sannsynligvis hovedmekanismen for spredning. Røsslyngen krever lav pH og taper for andre arter ved økt tilgang til humus og næring. Dette gjør den til en typisk pionerart på bare felter og skredsår til fjells. I Ulvådalen kan det synes som om områder med litt mer helning har dårligere røsslyngdekning enn flatere områder. Ved siden av røsslyng, er det krekling og tyttebær som vokser i lavere sjikt.

Figur 17. Tett i tett med små bjørker mellom stein og svart mose (sotmose). Røsslyng og krekling i front.

Figur 18. Typisk form på bjørkeskudd i skredområdet. Det er en grov og kort, eldre stamme med en tett bladrosett. Beiting av sauer eller gnagere er trolig årsaken til at bjørka ikke vokser opp.

5.3.3 Skred nr 25 og 26

Figur 19. Skredrenne 26. Det går en bekk i vestre side som kommer inn på siden av skredområdet. I denne bekken har det trolig gått flomskred en rekke ganger etter skredhendelsen.

Disse to skredene er relativt like når det gjelder vegetasjon. I flatere partier hvor det er finstoff og mye fukt er det størst dekningsgrad av bunnvegetasjon (lyng og mose). Der det er tørrere er det spredt forekomst av røsslyng, gjerne på steinete grunn. Ei enslig 0,6 m høy tett furu vokser halvveis opp i skred nr 26.

På steder der det har foregått overflateerosjon er det liten dekning av mose (sotmose, bjørnmose eller torvmose) og lyng. Derimot ser det ut til at bjørka spirer her, selv om den hittil ikke har blitt særlig høy (~5 cm) - trolig blant annet grunnet beiting.

Nedenfor begge skredbanene er det en markert tunge (skredavsetning) i nedre del hvor det i hovedsak vokser gress. På foto tatt like etter skredhendelsen sees store mengder torv, røtter og trær i området ned mot vannet. Dette har utvilsomt bidratt til å bidra til et rikere jordsmonn i ytre deler av rennene samtidig som erosjonen har vært begrenset, både under og etter skredhendelsen. Gressmarka er stedvis tilsiltet av sand og grus pga utvasking fra skredområdene over. I kantene av tungene står det større bjørker. Disse kan være gamle trær som ble forskjøvet i fronten av skredmassene, men som klarte seg, eller trær spirt fra røtter i skredmassene. Bjørk har imidlertid begrenset evne til å rote seg etter at de er flytta på.

Figur 20. Brattere parti med mindre vegetasjonsdekning nedenfor et slakere, frodig område (skred nr 25). Ved vannet (avsetningsområde) er det gressmark.

5.3.4 Skred nr 1 og 2

Disse to skredområdene (Figur 21) har en relativ stor grad av gjengroing sammenlignet med de andre skredene. Tettheten av trær er også stor i forhold til omliggende bjørkeskog på grunn av tett oppslag av jevnaldrene trær. Lyskrevende bunnvegetasjon vil derfor i liten grad kunne utvikles i disse skredområdene.

Utløpsområdet i skred nr 1 er nå preget av ung bjørkeskog i grovt utvasket skredmateriale. Bjørka står tettest på hyller og i slakere partier. I brattere områder hvor det har foregått utvasking og erosjon er det tynnere skogdekning. Også i dette skredområdet er nedre del av bjørkestammene klumpete og tykke slik som i skredene ved Ulvådalsvatnet, men har her klart å vokse opp og nå en større høyde. Undervegetasjon (feltsjiktet) har lav dekningsgrad og er preget av krekling, røsslyng og små vierskudd. Skogen i flatene bak Knabben seter er preget av fjellbjørk og fugletegl.

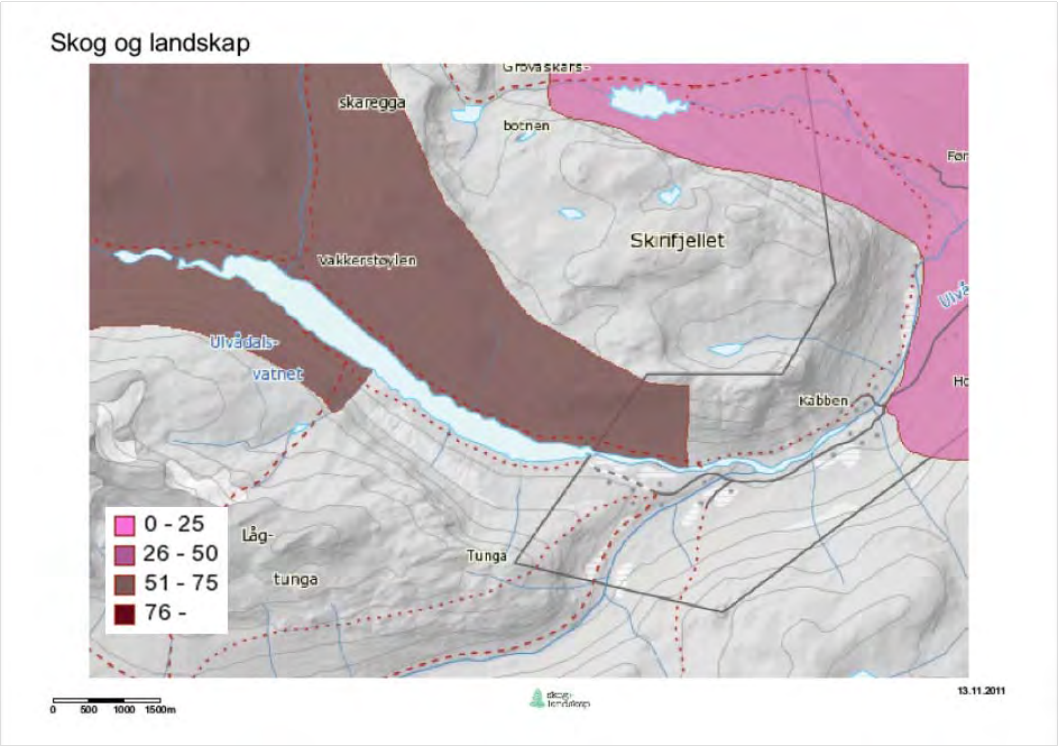
Figur 21. Skredområde 2 (til venstre) og 1 (til høyre).

Dette skredområdet ligger utenfor registrerte beiteområder for sau (se kart NIJOS Figur 22), men det ble funnet sauemøkk også i dette området. Mindre beitetrykk kan være del av forklaringen på hvordan bjørkeskogen har klart å vokse opp i disse skredsårene.

Skred nr 2 ble kun observert fra avstand. Avstandsbildet indikerer stor overflateerosjon og utvasking av finstoff i deler av skredområdet. Det er markerte renner med grovt materiale. I områdene med lite erosjon er det etablert bjørkekratt og enkelte furuer.

5.3.5 Erfaringer fra Ulvådalen

Tilsynelatende manglende vegetasjon skyldes i hovedsak at det ikke er etablert skog i sårene, men lavere vegetasjon som sotmose og lyng dekker større deler av området. Pågående erosjon gjør det vanskelig for arter å etablere seg slik at vegetasjonsdekket blir 100 %. Store mengder sau og sauemøkk er også observert i området. Ulvådalen Sauesankarlag slapp i 2010 62 sauer og lam per km^2 her (Figur 22). I nedre deler av skredene mot Ulvåvannet er det mange steder godt med gress og fine beiteforhold. Det ser ut til at beiting har stor innflytelse på gjengroing av skredsår. Dette gjelder særlig for bjørk, som har vanskeligheter med å etablere seg når den beites på et tidlig stadium. Bjørkeplantene i skredområdene ser ut til å være mange år gamle, men har ikke fått større høyde enn lyngplanter. Dyretråkk gjør også at ustabile masser i skredsår lettere blir erodert og utvasket.



Figur 22. Figur viser området for Ulvådalen Sauesankarlag. Fargen indikerer antall sau sluppet pr m2. I 2010 ble det sluppet 62 sauer og lam per km^2. Området starter ved skred nr 6. (kilde: NIJOS)

Terrenget var preget av renner også før skredhendelsen i 1960, og en del av disse strukturene er bevart selv etter skredhendelsen. Det ser ut til at det særlig er i disse rennene at det er vanskelig for vegetasjon å etablere seg pga pågående erosjon. En del av ryggene inne i skredsårene er derimot godt tilvokst.

Hvorvidt det har skjedd store skredhendelser etter 1960 i de samme skredrennene er uvisst, men det er sannsynlig at det årvisst går snøskred og flomskred en del steder i området. Dette er også medvirkende årsak til den beskjedne gjengroinga i dette området. Klimaet her er dessuten tøft og gjenliggende snø fra snøskred kan gjøre vekstsesongen kort.

Etablering av sotmose ser ut til å være avgjørende for erosjonspotensialet og for videre vegetering i skredsårene. Sotmosen er nøysom og på steder der det ligger snø lenge er det gjerne bare denne arten som klarer seg. Sotmosen binder det øverste jordlaget og hjelper til med å stabilisere slik at rennende vann ikke vasker ut finmaterialet. Der det er for bratt til at sotmosen etableres er det mye grovt materiale og dårlig grobunn for andre typer vekster. Nedbør har også sin maksimale erosjons- og medrivningskraft på en viss helning. Dette kan føre til at finstoffet, nødvendig substrat for mose og lav, vaskes vekk i noe brattere områder.

5.4 Anestøylen, Sogndalsdalen

Befaring ved Anestøylen, Sogndal kommune, ble gjennomført 11. august 2011. Figur 23 (orthofoto fra 2010) viser omfanget av et større jord og steinskred som gikk 22.09 2007 ved Kristihaug. På flyfotoet har nedre del av skredet blitt doset ut.

Figur 23. Orthofoto (2010) viser skredområder ved Anestøylen

Figur 24. Området før skredhendelsen i 2007

Sannsynligvis startet skredet som et steinsprang som rev med seg jordmasser på veien nedover fjellsida. Siste døgn før hendelsen var det registrert 24 mm nedbør, men det hadde da allerede falt 200 mm i løpet av september. Figur 24 viser området før hendelsen i 2007. Dette flyfotoet viser at området hvor skredhendelsen fant sted i 2007 ikke skiller seg fra de omliggende områdene; hele dalsiden er sannsynligvis et aktivt skredområde. Figur 25 (tegnet kart) viser en stor skredvifte nord for 2007-skredet, der prøver fra nedre del viser skredavsetninger datert til å være ca 5000 år gamle. Etter skredet i 2007 ser det ut til å ha gått mindre skred i samme område. Vegetasjon og terreng i området blir imidlertid påvirket av hyppige stein-, jord- og snøskred i tillegg til at aktiv seterdrift fører til mye beiting, og det er dermed vanskelig å skille ulike prosesser fra hverandre i dette området.

Figur 25. Kart over skredformer ved Anestøyeln (Eik, 1997)

Figur 26. Flere ”generasjoner” vegetering i samme skred, samt ulike generasjoner med vegetering videre bortover fjellsiden.

Figur 26 viser flere ”generasjoner” eller miljøer med vegetering etter skred.
1) I midten av skredvifta ser en et brunlig område i nærheten av ei tidvis aktiv renne. Her er bunnsjiktet ikke fullt etablert. Området er trolig også et snøleie.
2) Utenfor og nederst i det sentrale området er det et friskere grønt område med lys stein.
3) Utenfor skredvifta som ses i Figur 25 er det kontinuerlig vegetasjon og ura forvitret og mose-/lavbevokst. Dette kan også betegnes som skredområde, men fordi det er lenge siden det sist gikk skred her er vegetasjonsdekket fullt etablert og i likevekt.

I område 1 og 2 finner vi bla bjørnemose, gress, marikåpe, krypmure. Enkelte små bjørkeplanter fins også i skredområdet, disse viser tegn på beiting. Forskjellen på de to områdene er at bunnsjiktet er mindre dekkende i område 1 enn i område 2. Dette skyldes trolig at skredsnø har blitt liggende i område 1 og at vekstsesongen her dermed er kortere enn i område 2.

Utenfor den ferske skredvifta finnes arter som tyrihjelm, ormetegl, syre, lushatt (skogstorknebb), bringebær og blåbær, stjerneblomst, firkantperikum (denne fins også i skredområdet). Med unntak av bringebær, som i lavereliggende områder er en pionerart, er dette urter i feltsjiktet som kan betegnes som etablerte arter.

5.4.1 Skred mot søndre del av Anestøylvatnet

Figur 27. Flyfoto av skredrenne, søndre del av Anestøyldalen

I utløpet av Anestøylvatnet ser vi spor etter et skred som er eldre enn skredet fra 2007. Skredet er også her utløst av stein som har dratt med seg antatt mettede løsmasser. Økonomisk kart og topografisk kart indikerer ikke at det var noen renne i dette området før skredet gikk. Skredbanen er relativ slak i midtpartiet, og ville trolig ha stoppet om det ikke var vannmettede masser. Skredet gikk ut i Anestøylvatnet og la seg ut med ei lita vifte. I nederste delen (nedenfor vegen inn til Anestøylen) er det nå knapt synlig at skredet gikk (sammenlignet med flybildet).

Skredmarka er blokkrik og mye stein har trolig bare blitt snudd (figur 28 og 29). Enkelte av blokkene er dekket av algen ”fiolstein” som er godt representert i skredet i Supphelledalen like ved. På grunn av høy fuktighet i sidemarka, siger vann inn fra sidene og gjør området fuktig. Nede i renna ved pkt 135 er det tett i tett med skudd av bjørk, sølvvier, skogsnelle og starr. Omliggende skog kan karakteriseres som åpen storbregne-bjørkeskog. Bregner er i ferd med å etablere seg i utkanten av renna, og gress ser ut til å ha blitt etablert i feltsjiktet over store deler av renna. Gressdekket medvirker til at spiringen av bjørkefrø blir dårligere.

På flyfoto kan det se ut som det er en lignende renne lengre nord. Denne er noe mer gjengrodd og derfor trolig eldre.

Figur 28. Foto opp fra slakere del av skredrenna

Figur 29. Vegetert del skredrenne. Skråningen er mosedekt med gresstuster og et stort antall små spirende bjørk.

5.4.2 Erfaringer fra Anestøylen

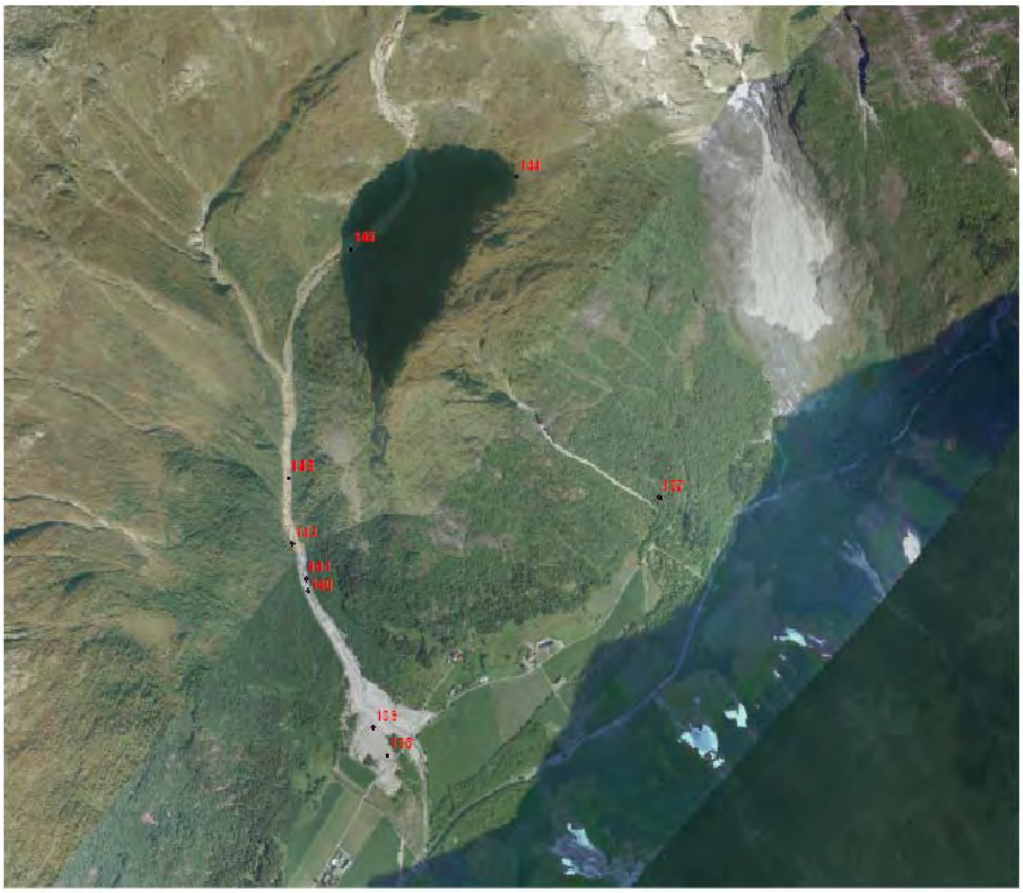
Etableringsartene i feltsjiktet er de samme i Ulvådalen og på Anestøylen, men det ser ut til at bjørka har brukt ganske mange år før den har hatt stor frøspiring. Bjørkeskogen (relativt stor, åpen fjellbjørkskog (dunbjørk) har ingen synlig bremsende effekt på denne typen skred.

Vi ser at revegeteringen går raskere på sidene av skredviftene enn i midten. Dette skyldes nok både at innvandringen fra sidene er enklere og raskere og pågående erosjon mindre. Et tankekors er at det kan synes som om det er rikere vegetasjon (antall arter) jo høyere oppe i skredområdene en kommer. Dette kan skyldes at snødekket her forsvinner raskere fordi snøskredavsetningene er tynnere.

Området rundt Anestøylen er preget av gjentatte forstyrrelser av ulik art. Beiting holder vegetasjonen lav og gjør at bjørk ikke klarer å etablere seg etter skredepisoder. Dette ser vi også i Ulvådalen. Fordi det hyppig går snøskred i området er det også vanskelig å skille skredprosessene og resultatene av disse fra hverandre. Vegetasjonen sier likevel noe om hvor ofte det går skred i de ulike delene av området relativt sett.

5.5 Fjærland

I Supphelledalen, Fjærland, er det spor både etter steinsprang/steinskred, årvisse snøskred og større hendelser som flomskredet som gikk fra Flatbreen forbi Flatbrehytta i 2004.



Figur 30. Flyfoto fra Supphelledalen viser skredvifta fra 2004, snøskred og spor etter mindre steinsprang og steinskred.

5.5.1 Flomskred etter jøkulhlaup fra Flatbreen, mai 2004

Endemorena som demmer et vann ved Flatbreen brast i mai 2004 og resulterte i et 240 000 m^3 stort flomskred (Breien et al., 2008). Skredet sees i dag som en stor steinvifte som når ned til veien i Supphelledalen.

Den tydeligste endringen i skredavsetningen de siste par årene er at steinmassene har fått et rødt skjær. Flybilder og andre observasjoner indikerer at dette har skjedd etter 2008. Dette skyldes en alge som kalles fiolstein. Den er en typisk art på denne type lokaliteter og trives godt i områder med høy luftfuktighet. Det latinske navnet er *Trentepolia iolitus.* Det er en grønnalge som ligner på ”rød snø”-algen, *Chlamydomonas* (personlig meddelt Haavard Østhagen). Det er også etablert mose innimellom steinene, samt enkeltstående bregner som hengeving

(Figur 31). Hengeving er en nøysom art, og over tid forventes det at bregnemiljøet vil endres til storbregneskog, tilsvarende sideliggende terreng.

Figur 31. Rød fiolstein, mose og hengeving

Under befaringen i august 2011 var det ei 2 m høy or i nedre del av steinvifta (punkt 138, Figur 30). I området sto det også flere mindre oretrær (1-1,5m høye), med ca 10 m avstand. For øvrig spirte det i 2011 selje og bjørk mellom steinene sammen med hengeving. Artene som her etablerer seg, antas spredt med frø eller sporer.

Noe høyere opp på vifta er det en liten skog av små oretrær (samt noe bjørk). Dette kan skyldes overlevende plantedeler, men mest sannsynlig skyldes det at stedvis mer finstoff i skredvifta gir bedre spiregrunn. På ryggen vest for skredvifta står det mye rogn, mens det i området lenger ut der det er rikt med friskt vann, finnes oredominert storbregneskog. Når/hvis det blir spiregrunn for rognebær vil rogna trolig kunne trives på steinvifta.

Figur 32. Steinvifta med rød fiolstein, mose og begynnende ore-etablering

Figur 33. Oredominert storbregneskog utenfor skredbanen

5.5.2 Steinskred 2011, Supphelledalen

I mai 2011 gikk det et mindre stein- og jordskred i indre del av Supphelledalen, Fjærland, innenfor flomskredet fra 2004 (Figur 30 punkt 137). Dette var hovedsakelig et steinskred som rev med seg jord og vegetasjon. Skredet var så grunt at det ligger igjen deler av humusdekke med røtter inne i skredområdet. Skredrenna gikk gjennom et område med plantet gran, men skogen har ikke vært tett, muligens på grunn av gjentatte mindre skred eller åpen planting.

Under befaring tre måneder etter skredet hadde bregner allerede etablert seg i skredet. Disse har skutt fra røtter som er mer eller mindre intakte etter skredet. Omliggende naturlig skog er oredominert storbregneskog. I skredmassene var det under befaringen også tett med plantedeler av or som skyter skudd, samt bringebær som skyter fra eksisterende røtter. Miljøet tyder på åpen skog før skredhendelen (bringebær er lyskrevende).

Eksempelet viser betydningen av humus og intakte plantedeler grunt i skredmassene når det gjelder gjengroing.

Figur 34. Skudd på orestamme

5.5.3 Erfaringer fra Fjærland

Alger og lav kan gi en indikasjon på skredets alder. Etter flomskredet i 2004 har det kun tatt 5 år før steinvifta er helt dekket av den røde grønnalgen. Grønnalgen er trolig også en viktig brikke i utviklingen av humuslag og videre vegetering. Begrensende for vegetering av steinvifta, er spiregrunn. Til sammenligning vil et skredsår i løsmasser uten overflateerosjon, få spiring etter 2 år. Mose og mange spirende trær forsterker også raskt dannelsen av humuslaget slik at spiremulighetene for andre planter øker. Dette er et fuktig område uten erosjon, og det antas at i løpet av ganske få år, er steinvifta ikke lenger synlig lenger pga vegetasjon. Undervegetasjonen på vifta er begynnende, og denne forventes å endres over tid fra alger og moser til småbregne og videre til storbregne.

Steinskredet lenger inn i dalen har i stor grad knust skogen, men ikke dratt med seg mye masse. Grunna intakte plantedeler i skredsåret spirer både bregner og or allerede første vekstsesong her.

5.6 Oppsummering av erfaring fra befaringer

Revegetering av skredsår skjer ved spiring fra frø og ved vegetativ formering. Vegetativ formering gir raskest revegetering. Dette kan skje i grunne skred hvor humuslaget ikke er fjernet og plantedeler er intakte. Stammer, greiner eller røtter av feks selje og or viser rask reetablering ved å sette adventivskudd (nærmest øyeblikkelig) etter en skredhendelse, ofte allerede første vekstsesong.

Spiring fra frø på god spiregrunn kommer naturlig etter 2-3 år. På særlig dårlig spiregrunn (steinvifte), vil lav og mose måtte etableres før en får en egnet spiregrunn. Det er spiregrunnen som i stor grad er styrende for revegetering av skredområder.

Erosjon og vegetering er langt på veg motsatte prosesser, der særlig frøspiring hindres ved erosjon. På mindre flater med rilleerosjon ser en at nedbør i seg selv kan hindre etablering av vekster fra frø. På større flater samles mer vann og rillene går over til dypere furer.

Erosjon og avsetningsforhold er i stor grad styrt av helning og vann/jordfuktighet. I smalere renner med lite oppsamling av vann har en stor grad av gjengroing. Flatere områder eller hyller viser mindre erosjon og har større vegetasjonsdekning.

Grunne skred etterlater seg en form nærmest parallell med gammel overflate. Slike skredsår viser seg å være svært ustabile. Ny eller fersk erosjon graver seg bratt ned og etterlater ustabile sider som forstyrrer og hindrer gjengroingen i disse områdene. Nedsenkingen i skredrenna er størst de første årene etter et skred, og sterkest der fall og fuktighet er størst.

I områder med avsetning av finstoff, går dette i første rekke ut over etablering av bunnsjiktet. Etablert gressmark synes å tåle en viss mengde finstoff fra ovenforliggende erosjon. Spiring av selje og bringebær (rask vekst) synes heller ikke å være særlig påvirket av slik tilsilting.

Enkelte av pionerartene går igjen i ulike rasmark miljøer, men særlig i felt sjiktet varierer artstypene etter varme og fuktighet. På skrinne og tidvis tørre områder dominerer sotmose og lyngarter, mens en i lavere områder med mer råme finner større andel av gress, urter og bregner som tidlig innvandrere. Pionerartene i skredsår er preget av sideområder og av gjenværende røtter og humusdekke i skredsåret. Artskunnskap og gjenkjenning av plantemiljøer i skredmark kan sammen benyttes for å karakterisere skredmark og grad av forstyrrelse.

I høyfjellet vil steinavsetninger (enten det er flom- eller steinskred) bli liggende i århundrer som tydelige avsetninger. I lavereliggende og fuktige områder gror slik skredmark igjen etter 20-30 år. Lavereliggende, gjengrodd skredmark kan derfor være vanskelig å skille ut og vurdere alder på.

Alger, lav og mose på stein gir en relativ alder på ferske bruddkanter. Fiolstein (grønnalge) synes å være den første algen som etablerer seg på ferske bruddflater eller ikke-oksiderte flater på stein. I fuktige områder følger mosen raskt etter og bregnearter etableres samtidig som or spirer. Sotmose er en muligens den vanligste (og viktigste) pionerarten på hardføre voksesteder til fjells.

Beiting har stor innflytelse når det gjelder etablering av skog i skredområdene. I skredrennene ved Ulvådalsvatnet er bjørkeplantene få, små og krypende, men med nokså tykk stamme. Det er hovedsakelig lenger ned i dalen, hvor det er mindre beitetrykk, men også et varmere klima, at vi ser at bjørkeplanter trives og vokser i skredsårene.

Skredet på Bekken i Sel og skredene i Ulvådalen var overveiende grunne. I hovedsak ble bare vegetasjon, jord og torv i selve rotsonen dratt med i skredmassene. I ytre del av Anestøyldalen og i skredrenna nedenfor Flatbreen eroderte skredmassene mer slik at skredsåret ble dypere, men her er selve skredhendelsen dannet av en ovenforliggende prosess (jøkulhlaup og steinskred ned på løsmasserer). For steinskredet i Suphelledalen og i Jondalen kan en si at massene knuste det som var i vegen uten å flytte på mye masser. Der humus og rotdeler blir igjen og mineraljorda ikke fult eksponert, vil en forvente raskere vegetering. I steinskredrenner eller -soner vil en finne lyskrevende arter i feltsjiktet.

5.6.1 Vegetering som erosjonsreduserende tiltak

Nedsenkingen (erosjonen) i skredrenna på Bekken og eksponering av løsmasser etter skredene i pinsa 2011 viser at potensialet for nye skred øker etter større skredhendelser. Dette skyldes at det skal mindre nedbørsmengder til for å flytte

eksponerte (uvegeterte) løsmasser sammenlignet med vegeterte masser. Det kan derfor være et risikoreduserende tiltak aktivt å etablere vegetasjon i skredrenner.

Over tid vil vegetasjon naturlig vandre inn i et område. Det er mange steg i en slik prosess og naturlig suksesjon er ikke ensbetydende med forbedret stabilitet. Tiden det tar før vegetasjonen forbedrer overflatestabiliteten kan med riktige tiltak sannsynligvis forkortes ved beplantning og rettet skjøtsel. Rot- og plantedeler av arter som setter adventivrøtter spirer samme år, mens naturlig spiring fra frø ser minst ut til å ta 2 år. Planter som skyter skudd fra røtter eller andre plantedeler tåler også erosjon bedre enn planter som spirer fra frø, og de tåler bedre å begraves i skredmasser. Planter med vegetativ formeringsegenskaper er godt egnet som stiklinger ved vegetering av skredsår. Or, vier og andre salix arter har slike egenskaper til å sette adventivrøtter

Beiting og annet tråkk hindrer eller forsinker også vegetering i skredsår og bør derfor begrenses der en ønsker vegetering.

I praksis bør stiklinger høstes lokalt og settes raskt ut samtidig som jorda tilsåes. Organisk materiale kan være gunstig å tilføre fordi dette frigjør naturlig næringsstoffer og holder på fuktighet. Erfaring fra tilsåing av steintipper og vegskråninger viser at en kan få til effektiv spiring ved å tilføre kunstgjødsel. ”Maskinsåing” av vegskjæringer er også et godt eksempel på dette. Frøsammensetningen må tilpasses klima og ha både raskt spirende (oftest ettårige arter) og flerårige arter. Ettergjødsling må påregnes der en ikke har organisk jordlag eller organisk gjødsel.

Ved å etablere forsøksfelt for revegetering kan en høste erfaring både med innhenting av stiklinger, anleggsteknisk etablering (utsetting av stiklinger, planlagte drensveier og tilsåing), og tidsutvikling av felt som revegeteres kunstig sammenlignet med naturlig gjengroing.

5.6.2 Skog og oppbremsing av løsmasser

Flomskred i Gudbrandsdalen både fra siste år og fra geologiske prøvegroper viser at utenom selve skred- eller bekkeløpet, er hastigheten og kreftene knyttet til flomskredmassene små. Faren for alvorlig skade er ikke direkte knyttet til utbredelse av skredhendelesene, men området hvor skredet har stor hastighet. Ved planlegging av sikringstiltak kan en legge inn hindre som styrer strøm og stopper vannbårne løsmasser. Foto i figurene nedenfor viser eksempel på hvordan skog og enkle hindringer kan stoppe skredmasser.

Videre studier av hva som påvirker hastigheten til jordskred og flomskred vil kunne gi bakgrunnen som trengs for å designe og planlegge sikringstiltak og skogskjøtsel som gir hastighetsreduksjon og dermed bremser løsmassetransporten.

Figur 35. Vest for Haugalia, liten bekk, stein avlagret i plantefelt.

Figur 36. Foto ovenfor Haugalia, notatblokk på tre til høyre.

6 Videre arbeid

Vi ønsker å gå videre med studier av hvordan rettet skjøtsel av vegetasjon og skog kan virke hindrende på både utløsning og utløp av alle typer skred. I dette arbeidet tenker vi oss flere undertemaer.

6.1 Vegetering av skredsår

Denne rapporten viser at en kan redusere videre fare for flom- og jordskred ved rask etablering av vegetasjon og erosjonssikring i skredsår. Det er ønskelig å komme i gang med praktiske feltforsøk slik at en kan høste erfaring med planteteknikker og jordbinding i kildeområder for jord og flomskred.

6.2 Skogens betydning for utløsning av snøskred

Det vil være nyttig å studere hvilke dimensjoner og hvilken tetthet skogen må ha for virke hindrende for utløsning av snøskred. Skog i skredbanen og i utløpsområdet har også betydning for utløp av små og moderate snøskred.

Vi foreslår et studie som kan munne ut i tommelfingerregler til bruk i skredfarevurderinger. I alpelandene ble det allerede for over 100 år siden vernet skogsområder for å redusere snøskredfaren. En gjennomgang av litteratur og gjeldende regelverk herfra sammenstilt med erfaringer fra norske forhold vil kunne gi grunnlag for anbefalinger når det gjelder skog som vern mot snøskred i Norge.

6.3 Skog som vern mot steinsprang

En kan observere at steinsprang stoppes og utløpslengden dempes i skog ved kollisjon mot trestammer. Det er mindre steinblokker (typisk opp til 0,25 m^3) som lettest kan redusere utløpsdistansen. Dette er likevel en steinstørrelse som har stor betydning for skredfaregrenser.

Vi foreslår å forsøksberegne flere testområder ved hjelp av numeriske verktøy der trediameter og tetthet legges inn. De samme områdene bør befares og vurderes ut fra karakterisering av steinblokker i terreng og løsneområde. Dimensjonerende blokkstørrelse skal legges til grunn i beregninger og farevurdering. Beregninger kan gjøres for stående skogbestand, men også for samme område uten skog og med større og kraftigere skog. Vi ønsker på denne måten å studere i hvilken grad rettet bruk og skjøtsel av skogen kan gi økt vern mot steinsprang.

6.4 Skjøtsel av vernskog

Skjøtsel av vernskog er selve det skogfaglige området der en ut fra ønsker om kvaliteter på skogen, enten det er som vern mot snø, stein eller løsmasser, gjør tiltak for å bedre skogens egenskaper. Skjøtsel av vernskog i betydning beskyttelse mot skred, er et etablert fagområde i alpelandene, men er lite studert i Norge.

Ulike arter og ulike artssammensetninger har ulik effekt på reduksjon av skredfare. Erfaring fra litteraturstudie viser at blandingsskog har best utviklet rotstruktur, sammenlignet med monokulturer av en art. Blandingsskog har over tid trolig størst reduksjon på direkte avrenning og har trolig derfor best egenskaper når det gjelder hindring av jord- og flomskred.

6.5 Avvirkning og videre skjøtsel i sitkagranområder

Det er i dag store volum med jevngammel skog på vestlandet som er moden for avvirking. En slik avvirkning vil trolig mange steder øke faren for utløsning av alle typer skred. Det vil være spesielt viktig å etablere en plan for hvordan slike granfelt bør avvirkes og reetableres der skred vil kunne ha potensial for skade på hus eller veg.

6.6 Juridiske forhold

Det finnes i dag lite føringer for bruk av vernskog i norsk planbehandling. I skoglova §12 kan Fylkesmannen gi forskrift om at skog skal være vernskog når skog tjener som vern av annen skog eller gir vern mot naturskader. Praksis i dag er at skredfare vurderes ut fra dagens skogtilstand. I rapporter om skredfare poengteres det ofte at fjerning av skogen i fjellsida ovenfor vil kunne øke skredfaren. I praksis resulterer dette svært sjelden i restriksjoner for drift av skog. Studier av de før nevnte temaene vil kunne gi god bakgrunn for skogskjøtsel med bedre juridisk forankring.

I formålsparagrafen for Skogbruksloven av 1996 handler §32 om skogvern. Skogvern var her ikke vern av biologisk mangfold eller barskog. Med vernskog skulle en forstå skog hvor den direkteøkonomiske nyttet trer i bakgrunnen, mens skogens virkning som vern mot naturkatastrofer og ugunstig klima får hovedvekten. I skogloven av 2005 omhandler kapittel 3 vernskog med to formål; vernskog og områder av særlig miljøverdi. §12 er den gamle naturkatastrofedelen, mens § 13 omhandler biologisk mangfold. I dag har begrepet trolig fått størst utbredelse med forståelsen visende til § 13.

7 Referanser

Bendiksen, E. B. (2008). *Boreale lauvskoger Norge. Naturverdier og udekkede vernebehov.* NINA Rapport 367.

Breien, H., De Blasio, F., Elverhøi, A., & Høeg, K. (2008, 5 3). Erosion and morphology of a debris flow caused by a glacial lake outburst floow, Western Norway. *Landslides* , ss. 271-280.

Børset, O. (1985). *Skogskjøtsel I, Skogøkologi.* Oslo: Landbruksforlaget.

Chow, V. T. (1964). Handbook of applied Hydrology, Runoff chapt. 14. McGraw-Hill, Inc.

Eik, S., & Kvalsvik, S. T. (1997). *Skred i Anestøylsdalen.* Kandidatoppgåve HSF.

Frivold, L. H. (1991). Trær som stabiliserende element i leirskråninger, med spesiell relevans til Romerike. Institutt for skogfag, Ås- NLH,.

Halvorsen, R. A. (2008). Lokale basisøkoliner, Naturtyper I Norge,Bakgrunnsdokument 4: 1-79. Artsdatabanken.

K.Slettren, L. B. (2003). Holocene debris flows recgnized in a lacustrine sedimentary succession: sedimentology, chronostratigraphy and cause of triggering. . *The Holocene 13,6* , ss. pp. 907–920.

Larsson, J., & Søgnen, S. (2003). *Vegetasjon I norsk skog, vekstvilkår og skogforvaltning.* Oslo: Landbruksforlaget.

Lied, K., & Kristensen, K. (2003). *Snøskred.* Nesbru: Vett & Viten.

Lunmark, J. E. (1986). Skogmarkens ekologi. Standortpassad skogsbruk. Del 1-Grunder. Jönkjöping: Skogsstyrelsen.

Mafian S., H. B. (2009). Evaluation on Root Theories and Root Strength Properties in Slope Stability. European Journal of Scientific Research.

Nedkvitne, K., Bjørnstad, T., & Refsdal, T. (1990). *Skogbrukslære.* Oslo: Landbruksforlaget.

Nilaweera, N. S. (1994). Effects of Tree Roots on Slope Slope stability: The case of Khao Luang Mountain area, Southern Thailand,. Thesis for Doc. of Tech. Sci., Asian Institute of Technology, Bangtkok.

Nålsund, R. (1975). Skred av typen Landlaup i Ulvådalen.

Odland, A. (1994). Bjørkeartenes spredning, etablering og samspill med naturmiljøet. NINA oppdragsrapport 292.

Ranka, K. (2002). Slå rot- och växa upp eller Vegetasjon som forsterkningsmetode. Karlstad: Räddningsverket.

Ranka, K., & Fallsvik, J. (2003). Förstärkningsgsåtgärder för slänter og raviner i morän och annan grov sedimentjord. Karlstad: Räddningsverket.

Rapp, A. (1963). *The debris slides at Ulvåalen, western Norway An example of catastrophic slope process in Scandinavia,.* Nachrichten Der akademie der wissen schaften in Göttingen, II Matematische-Physikalische klasse.

Ryvarden, L. (2010). *Norsk Fjellflora.* Cappelen Damm.

Sidle, R. (1992). A theoretical model of the effects of timber harvesting on slope stability. *Water Resource Research* (28), ss. 1897–1910.

Vedlegg 1

Tabell 1. Oversikt over arter med hensyn på vekstkrav, rotsystem, aldersutvikling, foryngelse og skjøtsel.

Art	Vekstkrav	Rotsystem	Aldersutvikling	Foryngelse	Skjøtsel	Tetraterm	Kommentar
Bjørk *(dunbjørk)* *(Betula pubscens)* **Hengebjørk** *(Betula pendula)*	Tøyelig	Fastrot ved uhindret rotutvikling Sterkt rotsystem	Hengebjørk har raskere ungdomsutvikling enn dunbjørk Høyde 30 m	Frø og stubbeskudd Kan gå lang tid mellom gode frøår, betinget av temperatur på ettersommer og høst året før (som osp)		7,5 10,1	
Gråor *(Alnus incana)*	Best utvikling på leirblandet, kalkrik moldjord med frisk fuktighet – ellers tøyelig, pionerart på rasmark-basejordindikator, ph 5,5-8, nitrogenfiksering, kan vokse direkte på mineraljord	Fastrot, men tilpasses voksested	Kraftig vekst i undomsalder, vekst avtar etter 30-35 år (30 års omløpstid hvis brenselproduksjon)	Frø, rot og stubbeskudd- trefall gir rotskudd	Gunstig å hogge trær etter 30 år for rot- og stubbeskudd utvikling ? Gammel or råtner innenfra	7,5 (svartor 12,4)	
Selje *(Salix caprea)*	Stort lyskrav, noe tørrere lokaliteter,	Dype røtter tidlig – eldre trær flatere røtter som går ut til siden. Røtter utvikles avhengig av voksested	Rask ungdomsvekst	Setter villig stubbeskudd, lett å formere ved stiklinger	Hogge selja etter 20-30 år?	7,6	

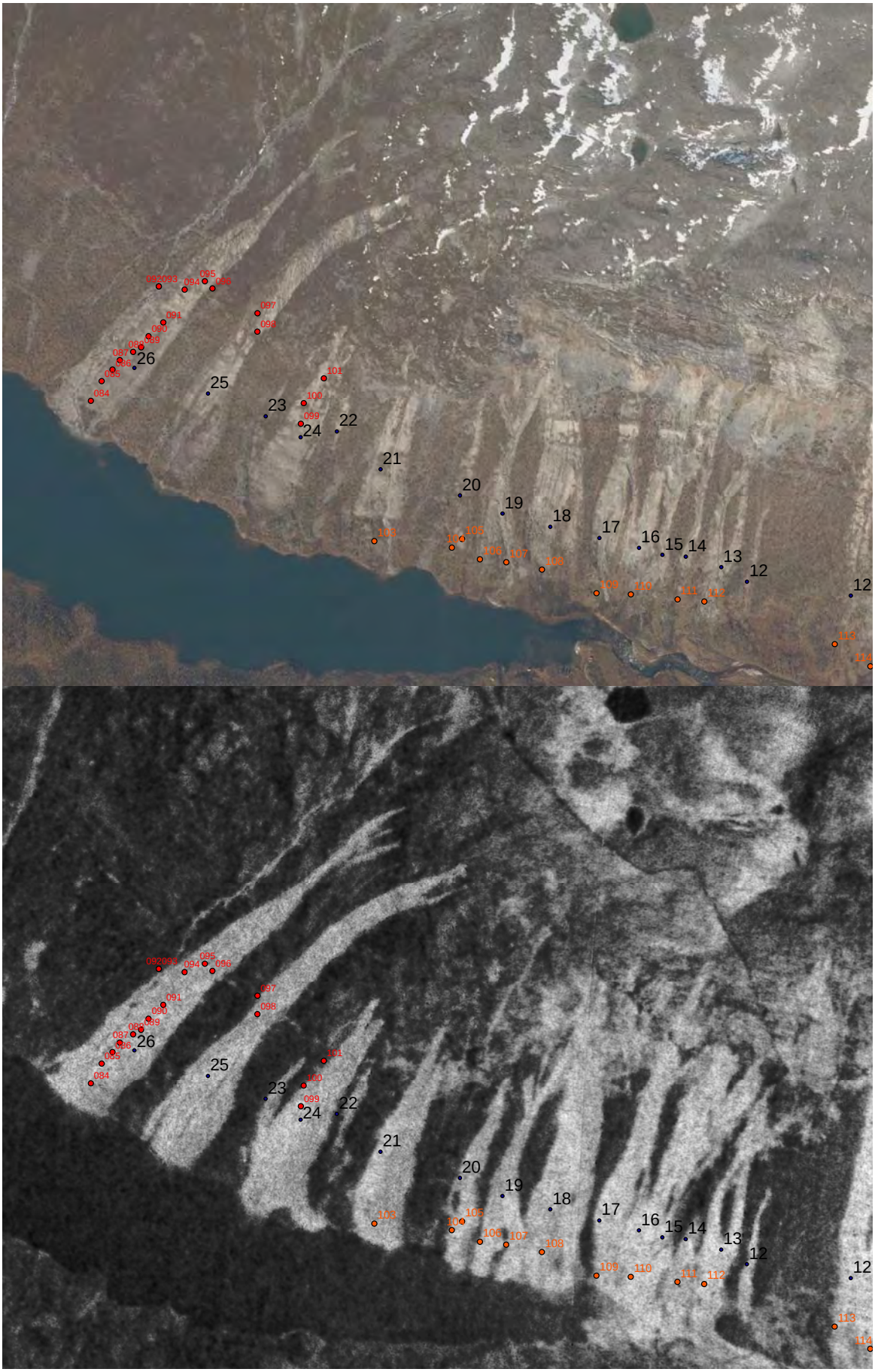
Osp *(Populus tremula)*	Lyskrevede - trolig mest lyskrevende treslag i Norge. Tøyelige vekstkrav. Men vokser seint på dårlig grunn			I bestand frøsetting fra 20-30 års alderen, mesteparten av formering skjer ved vegetativ formering		7,6	
Ask *(Fraxinus excelsior)*	Varmekjær, nøytral jord, dvs ikke surt miljø	Ung-pelerot, deretter flatrot med senkerøtter		Naturlig utbredelse i Norge antatt hindret på grunn av lauing, (styving)	Skyter lett stubbeskudd	12,4	
Lønn *(Acer platanoides)*	Middels lyskrav, fastrot			Setter en mengde med frø. Yngre tre skyter lett stubbeskudd		12,5	
Hegg *(Prunus padus)*	Lite lyskrevende, fuktig humusrikt milø i lag med andre trearter	Flatt rotsystem, svakt forankret	Rask ungdomsvekst	Frø spres med fugl, skyter skudd fra rot og stubbe	Hegg blir ikke beitet, på grunn av smak !		
Alm *(Ulmus glabra)*	Varmekjær (sørvendt), næringsrik jord, kalkrik, frisk fuktighet, middels lyskrevende	Godt utviklet, dyptgående pelerot – hvis marka tillater det. Regnes som særs stormsterk	Rolig start, økt vekst med alder			11,2	
Rogn *(Sorbus aria)*	Små krav til jord, ikke særlig lyskrevende i ungdomstid	Kraftig pelerot, men grunn når treet kommer fra rotskudd ?		Frøspredning med fugl	Villig stubbeskudd, kan sette rotskudd	7,7	

Hassel *Corylus avellana)*	Varmekrevende, lyskjær, jordsmonnet bør være løst, evt leirholdig, steinrik og kalkrik	?		Vindbestøver, nøtter, stubbeskudd, avleggere		12,5	Var en tidlig innvandrer (ved hjelp av mennesker ?) Lågurtskog, edelløvskog
Korsved *(Viburnum opulus)*	Varmekjær busk, trives i tørre, steinete lier			Frøspredning med fugl, setter adventivrøtter			
Furu *(Pinus silvestris)*	Lyskrevende pionertreslag, på tørr og mager mark er det naturlig bestanddannende treslag	I utgangspunktet pelerot, men rotdannelsen varierer sterkt. Regnes å ha dypere røtter en de fleste andre treslag		Setter frø, vindtransport	På produktiv mark må den fristilles for ikke å tape i konkurranse		Greier seg godt på mager og tørr jord.
Gran *(Piecea abies)*	Skyggetålende klimakstreslag, kan vokse på nesten all grunn, trives best på moldrik jord med frisk fuktighet.	Flatrot med senkerøtter. På dårlig drenert grunn blir senkerøttene grunne og dør på eldre trær. Kan nyttegjøre seg av gamle rotkanaler av f.eks bjørk og osp slik at rotsystemet blir bedre i blandede bestander.		Frø	Grunn rot, Lett å få skader på rot som gir råte.	8,4 for å leve, 9.5 for frøseting	

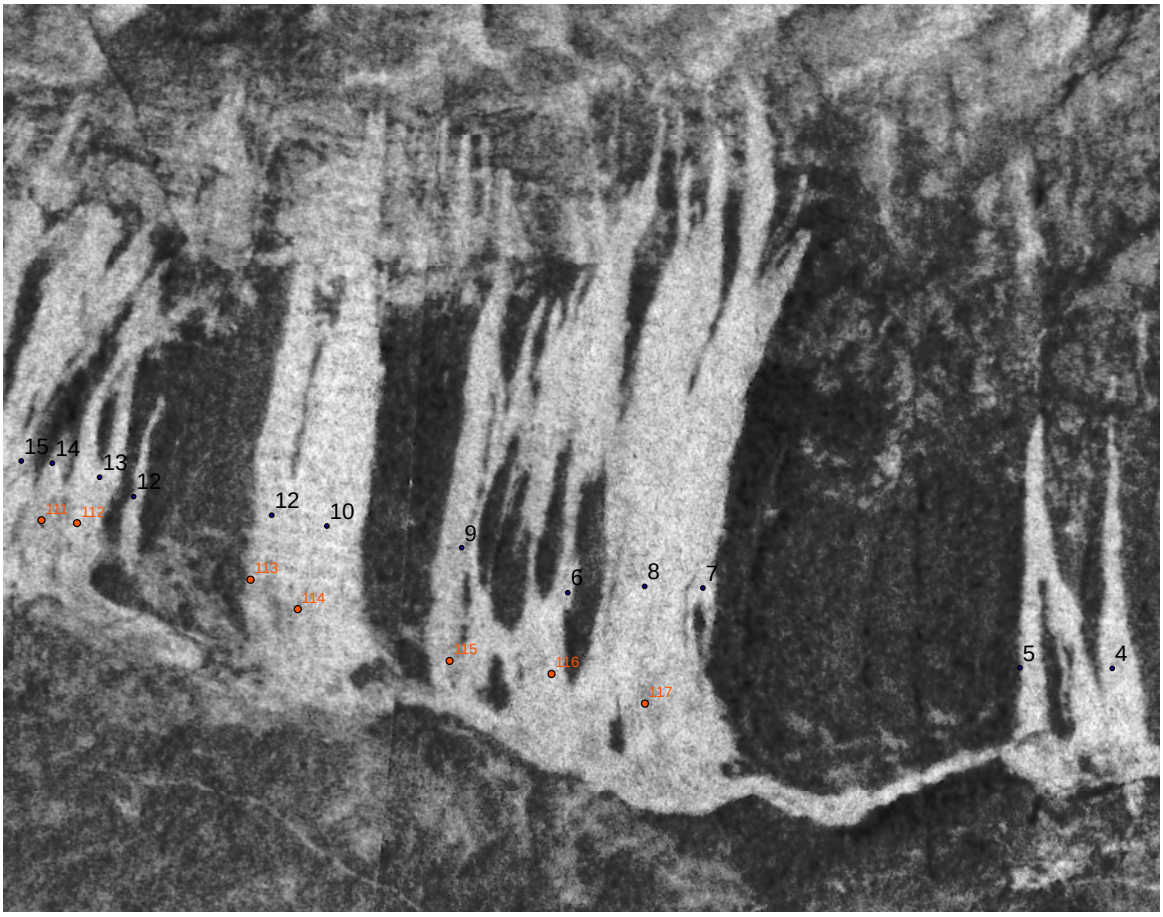
Einer (Juniperus communis)	Vokser på all slags mark og i flere klimasoner. Vil ha gode lysforhold	Omtales som et forgrenet pelerotsystem	Vokser seint	Det er lite aktuelt å plante einer på grunn av veksthastighet, men det er aktuelt å fristille individer	Bestanden kan gå tilbake i beiteområder på grunn av mindre lys		
Tindved (Hippophae rahmnoides)	Lyskrevende, pionerart i en del leirområder	Dype røtter i forhold til buskhøyde (~2m) i leire, med stor sideveis spredning		Frø, setter adventivrøtter	En art som bør fristilles i leirområder slik at den ikke utkonkurreres.		

Vedlegg 2

Øvre bilde viser et nyere ortho foto, mens nedre bilde viser et drapert sammensatt foto fra 1960-årene.



15
14
13
12
111
112
12
10
9
113
114
6
8
7
115
116
117
5
4


15
14
13
12
111
112
12
10
9
113
114
6
8
7
115
116
117
5
4

118
1
119
2
3

118
1
119
2
3

Bildene viser drapert terrengmodell der en horisontal linje (tolket som strandlinje) trer fram i deler av området.

Drapert terrengmodell, skred 12-19.

Skred 24-26, Linja som kan sees i terrenget ved skred 26 og 25, er ikke en avsetningshøyde, men snarere en utvaskingssone til fjell.

Kontroll- og referanseside/
Review and reference page

NGI

Dokumentinformasjon/*Document information*

Dokumenttittel/*Document title* Vegetasjon i skredmark	**Dokument nr/*Document No.*** 20110073-00-3-R
Dokumenttype/*Type of document* ☒ **Rapport/*Report*** ☐ **Teknisk notat/*Technical Note***	**Distribusjon/*Distribution*** ☐ **Fri/*Unlimited*** ☒ **Begrenset/*Limited*** ☐ **Ingen/*None***	**Dato/*Date*** 2012-04-13 **Rev.nr./*Rev.No.*** 0
Oppdragsgiver/*Client* Norges forskningsråd, NVE	
Emneord/*Keywords* Skred, erosjon, vegetasjon, skog	

Stedfesting/*Geographical information*

Land, fylke/*Country, County* Norge	**Havområde/*Offshore area***
Kommune/*Municipality*	**Feltnavn/*Field name***
Sted/*Location*	**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	HBre		

Dokument godkjent for utsendelse/ *Document approved for release*	**Dato/*Date***	**Sign. Prosjektleder/*Project Manager***

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 og leder "International Centre for Geohazards" (ICG).

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 and leads the International Centre for Geohazards (ICG).

www.ngi.no

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

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

Avd Trondheim/Trondheim office:
PO Box 1230 Pirsenteret
NO-7462 Trondheim
Norway

Besøksadresse/Street address:
Pirsenteret, Havnegata 9, NO-7010 Trondheim

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

ngi@ngi.no
www.ngi.no

Kontonr 5096 05 01281/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

INFLUENCE OF FOREST ON SNOW AVALANCHE HAZARD – NORWEGIAN CHALLENGES

Hedda Breien* and Øyvind A. Høydal

Norwegian Geotechnical institute, Stryn/Oslo, Norway

ABSTRACT: Forested areas are less prone to snow avalanches, due to the trees' influence on snow accumulation, snow pack layering, energy balance and the armoring effect of the trees. Crown cover, tree dimensions and forest density influence the protection effect of the forest. A plan for preserving forest – and re-establishing forest after logging or after forest fires, avalanches or landslides, can potentially reduce avalanche danger.

Many places in the European Alps and in North America protection forest is recognized as a mitigation method against natural hazards. In Norway the effect of forest is less studied. Regulations in forest harvest due to avalanche protection are uncommon, creating a challenge when it comes to hazard zoning. This paper sheds light on some of the Norwegian conditions and challenges.

1. INTRODUCTION

Avalanche hazard zoning is many places done from terrain features and climate data alone, even though vegetation is a variable well known to potentially reduce avalanche hazard. However, forest and vegetation in a slope can change rapidly due to natural or human disturbances; it is therefore a challenge to include this factor in hazard zoning and land use planning.

During the last half century, the forest in Norway has changed in two ways: 1) Large scale plantation of the north American Sitka spruce (*Picea sitchensis*), Norway Spruce *(Picea Abies)* and the hybrid *Picea x Lutzii* in original pine and birch areas in the Norwegian fjord districts around the years 1950-1975 has resulted in large stands of mature forest. 2) The timber line towards the mountain has risen due to among other factors reduced grassing and less fire wood logging.

We argue that this has reduced avalanche danger in many areas in Norway compared to the situation for example around year 1900. Many of Norway's biggest avalanche accidents happened in the late 1800's, and several of these avalanche paths and starting zones are now completely forested. According to Øyen (2012) the forested area is expected to continue rising in the next few decades. *Picea Sitchensis* covers around 500 000 daa (decare) in Norway, and large stands of this spruce are now mature and ready for harvest, making the topic protection forest highly relevant.

* *Corresponding author address*:
Hedda Breien, Norwegian Geotechnical Institute, Postboks 236, 6781 Stryn, Norway.
E-mail: hbre@ngi.no

Guidelines for protection forests exist for countries in the Alps as well as in North America (Weir, 2002; Bauerhansl et al., 2010). In Norway however the forest's influence on natural hazards is a less studied topic and guidelines from other countries need adjustment to take Norwegian conditions into account. The fact that there is no legislation in Norway that regulates forest logging on the background of natural hazard potential constitutes an extra challenge.

2. EFFECT OF FOREST

2.1 Starting zone

Forest affects the quality of snow cover on the ground in several ways, mainly due to its effect on the microclimate. Forested areas have generally less snow on the ground than open space areas (according to Weir (2002) snow cover is reduced by 30 %), fewer faceted grains, less layering and experiences less creep in the snow pack (Frey and Salm, 1990). Net energy loss is lower in forests than in open areas, reducing the existence of surface hoar as well as the development of faceted grains deep in the snowpack which often represent weak layers. Also, dripping water or snow falling from the canopy may damage surface hoar in the forest. These effects are mainly influenced by the forest's crown cover (i.e. Gubler and Rychetnik, 1991, Bauerhansl et al. 2010). Forest also protects the snowpack from wind, reducing snow drift and resulting layering.

Apart from producing a snow pack less prone to snow avalanching, trees also act as *mechanical reinforcement*, holding the snow in place in a similar way as human built steel supporting structures. The effect is largely dependent on number of stems per area.

2.2 Runout zone

The effect of forest in the path or in the runout zone is less documented than forest in starting zones, and a more difficult task to evaluate in hazard zoning.

Recent research (Anderson and McClung 2012) indicates that mature forest retards avalanche motion and shortens avalanche runout. Their data set shows that 44 out of 45 avalanches which met forest in their path ran shorter than to the beta-point.

However, the size and speed of the avalanche is likely to be largely significant for such retardation, as well as the trees' ability to withstand the pressure, varying with species, dimensions and density. Gubler and Rychetnik (1991) found that dry avalanches will run through forest if the original fracture height is more than 1 m and that trees with stems of up to 30 cm diameter can be destroyed by avalanches that have run less than 30 m.

3. EVALUATION OF FOREST EFFECT IN HAZARD ZONING

It is clear that forest reduces avalanche hazard. However, to what degree?

Protection effect of a forest depends on among other factors (i.e. Bauerhansl et al. 2010):

- Crown cover
- Tree species
- Tree height
- Tree diameter
- Stem number/area
- Gap length and width
- Deadwood and stumps

The height of the trees is essential for the forest to be of significance. As a rule of

thumb, trees must be 1.5 to 2 times higher than the maximum snow height in the area to be effective (Frey, 1978). This means that minimum height of the trees in a protection forest varies with altitude and climate. Snow depth is therefore an important variable in evaluation of forest effect.

The crown cover of the trees is of main importance (i.e. Gubler and Rychetnik 1991, Bauerhansl et al. 2010) when it comes to changing the microclimate in forested areas, and evergreen coniferous forest is the most effective for avalanche protection. Gubler and Rychetnik (1991) found that spruce effectively reduces the formation of weak layers. Bauerhansl et al. (2010) summarize different European guidelines and conclude that an evergreen crown cover (ECC) of 50 % or a total crown cover (TCC) of 70 % can prevent significant avalanche formation.

In Norway, the planted spruce stands in the fjord districts are very dense, letting almost no light through the canopy. The crown cover is likely to be around 90 %. Most planted spruce stands in Norway are now 50-60 years old and are around 25 m high, with stems of diameters around 30 cm. We regard most spruce stands in the fjord districts of Norway to satisfy the foreign specifications for protection forest.

Birch (*Betula Pubescens*) is the most common deciduous species and has an open canopy in winter time. The higher altitude forest consists of the smaller Arctic birch (*Betula Pubescens ssp. Czerepanovii*). At its climatic border, these trees will often regenerate by suckers. The result is stems in small groups - the stem density for grown forest may be quite high in smaller areas but the gap with is uncertain. This type of tree is not as high as spruce and their stems are easily bent by snowload or even avalanches. Their effect as protection forest is therefore questionable, especially in years of extreme snow height. Birch is however a very common species in Norway, and is often a factor when evaluating avalanche hazard for mountain cabins etc and should therefore be studied closer.

There are also considerable areas of mixed forest in Norway. This type of forest is less studied and TCC, dimensions and stem number/area should be further examined for evaluation of their protective effect.

Pfister (1997) and Bebi (1999) developed methods for evaluating the probability for avalanche release in forests (0-100%) and found that a protection forest should have a probability for avalanche release less than 50 %. In Norway, minimum values for yearly avalanche probability exist for new buildings of different types (maximum probabilities ranging from 1/100 per year to 1/5000 per year). If forest is to be used in practice as a protective measure, specific values for forest qualities satisfying the different maximum annual probabilities should be developed.

4. AVALANCHE HAZARD EVALUATION AND FOREST MANAGEMENT PRACTICE IN NORWAY

The term protection forest juridically exists in Norway, however, the so called protection forest border towards the mountain is mainly created to protect the lower altitude forest from harsh mountain climate, not to protect objects like houses or roads from avalanche hazard.

In the fjord districts flatter areas are rare, and farms are typically distributed one by one along the fjords. Uphill the farmhouse

there are steep forested areas, divided years ago into sectors belonging to the different farmers. The sector above one farm sometimes belongs to a neighboring farm. This makes it a challenge to take forest into account in avalanche zoning work due to the difficulty in enforcing the necessary restrictions on forest management.

The authors know of one example from the 70's when tree logging ended up in building of protection measures in the logged areas as a compensation for the lost forest protection from avalanches (Kringstadlia, Molde, NGI Project No. 784013). Studies showed that a snow avalanche released and moved half of a house into the sea back in the 18 hundreds. At this time, the area was probably deforested by grassing and extensive foresting due to timber export to Europe.

Figure 1 illustrates a typical logging area in the fjord districts of Norway. The recently logged area (ring) is situated just downslope an open area where avalanches are likely to release.

Figure 1 Typical clear cut logging of spruce stands. Logging may have enlarged starting and entrainment zone.

A few years back an avalanche hit and destroyed parts of the remaining plantation. The retarding effect of the remaining forest is an unknown factor, but a further deforestation could possibly increase the avalanche hazard in the area. Hazard evaluation is difficult in such areas.

5. FOREST HARVESTING IN PROTECTION FORESTS

Avalanche hazard is often neglected in forest logging. We suggest the following steps when assessing forest harvesting. Each step includes detailed professional knowledge and evaluation.

a) Identify if terrain favors avalanching.
b) Identify if climate favors avalanching
c) Identify consequence: any object threatened?
d) Identify if forest have the qualities required to be effective as avalanche protection
e) If protection forest – develop and follow a harvest and management plan for protection forest – or build protection measures.

Logging in a protective forest is a question of balance between different interests, such as economical interests, biodiversity and natural hazard considerations.

Conventional clear cut logging is effective and economical in a short perspective but obviously not the ideal harvesting system when it comes to avalanche protection as it creates continuous open space. McClung (2001) found that 10 000 clearcuts in British Colombia where affected by avalanches. Therefore, to maintain forest with protective effects, harvest methods could be developed that reduce the size of clearcuts,

leave strips of forest across contours and in gullies, and leave certain amounts of stumps and deadwood behind (Weir, 2002).

In many countries in Europe 50 m is set as a standard value for maximum open downslope length in protection forest (Bauerhansl et al. 2010). Gubler and Rychetnik (1991) found that slabs starting in openings larger than 30-60 m would destroy the forest immediately downslope the opening.

One harvest method could be to log horizontal strips thin enough so that avalanches are not allowed to develop enough speed to damage and run through downslope forest. An obvious question would be when it is justifiable to cut the neighboring (upslope or downslope) strip of forest. If replanted, a logged area will probably reestablish protective effects after around 20 years. According to the Norwegian Forest Act, a harvested area should be replanted within 3-5 years after logging. However in 1 of 5 cases the logging areas at the west coast are turned back to grass land or changed to other types of land use (Øyen 2012).

5.1 Maintenance of protective forest

A forest will change throughout the years either by its natural life cycle, by fires, natural hazards or by human harvest. Also a healthy forest with a high density of stems needs regeneration and care to function as a long term protection forest, and should not be left unharvested. According to a national report from Austria, there is a high need for regeneration in 2/3 of the Austrian protection forest, and only 59 % of the protection forest is assumed to be stable (Patek et al., 2010).

If the forest's main value is to protect against avalanches, after logging one could consider replanting a mixed forest, with TCC of more than 70 %. Such forests probably favor continuous regeneration and will require less future management than a dense spruce forest.

6. CONCLUSIONS

If meeting certain qualities when it comes to density and dimensions, forest can be an effective measure against snow avalanches. Due to lack of guidelines and legislation within this field, regulated protection forest is in practice non-existing in Norway. Clear cut logging is wide spread, potentially creating new release and entrainment areas. Large-scale harvesting of mature spruce forest now enforces more focus on the forest's protective effects and enlightens the need for standard guidelines, harvest and management plans and juridical regulation.

6.1 Further work

A closer study on Norwegian conditions is needed, especially when it comes to the effects of birch and mixed forest on avalanche and other types of natural hazards. Harvest plans should be optimized. Further studies will be done in cooperation with Norwegian Water Resources and Energy Directorate (NVE), aiming for Norwegian guidelines for protection forest for all types of gravity mass flows.

7. ACKNOWLEDGEMENTS

We are thankful to our colleagues at Norwegian Water Resources and Energy Directorate. This work is funded by Norwegian Water Resources and Energy Directorate and Norwegian Geotechnical Institute.

8. REFERENCES

Anderson, G. and McClung, D., 2012. Snow avalanche penetration into mature forest from timber-harvested terrain. Can.Geotech. J. 49: 477–484

Bauerhansl et al., 2010. Development of harmonized indicators and estimation procedures for forests with protective functions against natural hazards in the alpine space. EUR 24127 EN – Joint Research Centre – Institute for Environment and Sustainability. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. 167 pp.

Bebi, P., 1999. Erfassung von Strukturen im Gebirgswald als Beurteilungsgrundlage ausgewählter Waldwirkungen. Dissertation. ETH Zürich.

Frey, E. and Salm, B., 1990. Snow properties and movements in forest of different climatic regions. In: Proc. XIX IUFRO world Congress, Montreal Canada, Div.1, Vol. 1: 328-339.

Gubler, H. and Rychetnik, J., 1991. Effects of forests near the timberline on avalanche formation. In: International association of Hydrological Sciences. Publication 205: 19-38.

Heumader, J., 1999. Forest-technical measures to support artificial and natural regeneration of steep-slope mountain forests. In: Proc. IUFRO workshop. Structure of mountain forests: assessment, impacts, management, modeling. Swiss Federal Institute for forest, snow and landscape research, Davos, Switzerland

Höller, P., 1999. Über die Entwicklung und Beeinflussbarkeit lawinenökologischer Faktoren in einem subalpinen sonnseitigen Lärchenbestand. Dissertation. BOKU-Wien.

Höller, P., 2004. Untersuchungen zum Schneegleiten in einem Lärchenwald nahe der Waldgrenze. BFW-Berichte (132): 26. Wien.

Konetschny, H., 1990. Schneebewegungen und Lawinentätigkeit in zerfallenden Bergwäldern. Informationsberichte, Bayerisches Landesamt zur Wasserwirtschaft, 3/90. München.

McClung, D. M., 2001. Characteristics of terrain, snow supply and forest cover for avalanche initiation caused by logging. In: Annals of Glaciology 32/2001: 223-229.

Patek, M. et al., 2010. Austrian National Report, 27th session of the EFC Working Party on the Management of mountain watersheds, 7.-10. April 2010, Strbske Pleso, Slovak republic. 6 pp.

Pfister, R., 1997. Modellierung von Lawinenanrissen im Wald. Nachdiplomkurs in angewandter Statistik. ETH Zürich.

Weir, P., 2002. Snow avalanche management in forested terrain. Res. Br., B.C. Min. For., Victoria, B.C. Land Manage Handbook no. 55, 208 pp.

Øyen B.-H., 2012. Lønnsomhet ved ulike skogskjøtseltiltak i ytre kyststrøk. Rapport fra skog og Lanskap 08/2012. Norsk Institutt for skog og landskap, 20 pp.

Effect of high elevation birch forest on snow stability

Hedda Breien* and Øyvind A. Høydal
Norwegian Geotechnical Institute, Stryn/Oslo, Norway.

ABSTRACT: Forest and especially evergreen conifers like pine and spruce are known to reduce avalanche formation due to their physical anchoring effect and their influence on snow pack layering through changed temperature, radiation, wind speed etc. Research shows that percentage covered by the crown reflects the forests ability to reduce avalanche danger, and crown cover is therefore often used as a measure of the forest's efficiency as protection forest. Crown cover is highest in evergreen conifer forests, but in Scandinavia, the deciduous tree species birch (Betula pubsens, subspecies alpine betula) is the most common tree species in higher elevations near the tree line. This is a small and often thin stemmed, flexible tree. Their crown is thin and field observations show that in avalanche terrain the stems of such trees have a form heavily affected by snow creep and glide and the trees are in many cases bent under the snow cover. Thus, this type of forest does not fulfill the common criteria set for protection forests and its effect on the snow cover is largely unknown. In this study we question whether typical birch forests can reduce the probability of avalanche formation through snowpack effects and anchoring. We look at cases of small avalanches in birch forest, stem densities and snow profiles inside and outside birch forest and compare observations to results from models for calculating anchoring effects.

KEYWORDS: birch, deciduous forest, protection forest, avalanche, anchoring effect

1 INTRODUCTION

The perception that forest reduces slab avalanche danger has old traditions. This is also the background for defence structures in avalanche starting zones, which in some ways imitate a forest. Forest is believed to reduce the probability of slab avalanche formation by reducing snow accumulation and weak layer formations and extension (i.e. Gubler and Rychetnik, 1991 and Bauerhansl et al., 2010), and also by anchoring the slab – i.e. taking up slope parallel forces, again reducing the stress acting on the weak layer (i.e. Haefeli, 1951; Salm, 1978 and Margreth, 2007).

Studies on both the anchoring and the snow properties effect have mostly focused on forests consisting of relatively large conifers. The effect on snow layering is largest in conifer forests with a high degree of crown cover, and crown cover has thus been used as a measure of the forests efficiency as protection forest (Bauerhansl et al. 2010 and Breien and Høydal, 2013). Guidelines for protection forest exist for countries in the Alps and in North America (Weir, 2002; Bauerhansl et al. 2010). Bauerhansl et al. (2010) set a crown cover of minimum 50 % for conifer forest. For deciduous forest the number was set to 80 % to compensate for the reduced effect of the crown in deciduous forest. Also in Norway 50 % crown cover has been proposed for conifer protection forest (Breien and Høydal, 2013).

Breien and Høydal (2013) shed light upon the fact that the high elevation forest in Norway is dominated by birch, *Betula pubsens*, subspecies alpine betula, and that the efficiency of this tree species as protection forest is largely unknown. Their crown is thin and naked throughout the winter season. Field observations show that in steep terrain the stems of such trees have a form heavily affected by snow creep and glide and the trees are in many cases bent under the snow cover. Thus, we question whether crown cover or other common density criteria set for protection forest can be transferred to this type of forest. The crown is certainly thinner, and the effect on snow layering should probably be markedly lower than for conifers of the same density. To what degree such high elevation birch forest reduces avalanche probability is important both in hazard zoning work and for skiers and other recreationists. In this study we examine cases of avalanche release in birch forest, snow profiles inside and outside forest, forest densities and compare the cases to results from calculations.

Corresponding author address:
Hedda Breien, Norwegian Geotechnical Institute, P.O. Box 236, NO-6781 Stryn, Norway. Tel +47 95 24 44 57; e-mail: hbre@ngi.no

2 FOREST'S EFFECT ON SNOW LAYERING

Most slab avalanches form when the stratigraphy is like a sandwich: a thin, weak layer between two relatively thick, cohesive layers. A general understanding is that slabs tend to fail more often on weak layers in the old snow pack (i.e. facets) in continental than in maritime climates.

Forest, especially due to the tree's crowns, affect the snow pack layering as a result of modified precipitation, temperatures and wind and can thus reduce the factors leading to instability of the snow pack.

Forested areas generally have less snow on the ground (according to Weir (2002) snow cover is reduced by 30 %), fewer faceted grains, less layering and experience less creep in the snow pack (Frey and Salm, 1990). Also, protection from wind results in less snow drift and lower probability of hard slabs. Due to lower net energy loss in forest than in open areas and higher temperatures, the existence of surface hoar and development of faceted grains is thought to be less within the forest (i.e. Gubler and Rychetnik, 1991 and Bauerhansl et al., 2010). This is especially true for evergreen conifer forests. Field measurements show that there is less snow pack layering in spruce stands than in open areas, but this is not as significant in larch stands (Gubler and Rychetnik, 1991). Gubler and Rychetnik (1991) also found that fractures are likely to propagate in larch, but not in spruce stands. We do not find any data on this for birch forests or other deciduous broadleaved trees in mountain regions.

Pomeroy and Goodison (1997) present observation data of winter leaf area index (LAI) and snow water equivalent (SWE) for aspen, pine and spruce forest. The study shows a linear trend in the relationship between LAI and SWE. SWE in spruce stands is about half the SWE in aspen stands, meaning that the ground in aspen forests accumulate twice as much snow as in spruce forests. Pomeroy and Gray (1997) show that SWE for aspen is very similar to SWE in open areas, meaning that the deciduous tree aspen to little degree protects from snow accumulation. Close to the tree line, however, experience indicate that large amounts of snow may accumulate close to the tree line due to snow drifting from the open mountains. This situation is not treated here.

3 FOREST'S ANCHORING EFFECT

Snow on the ground is always in motion, due to creep and glide. In creep, the snow grains move perpendicularly to the slope, resulting in settlement and increasing hardness and stability, and in the slope parallel direction resulting in shear deformation and instability. It is the shear deformation and shear stresses that in the end can cause slab avalanches. Creep is temperature dependent and increases with increasing temperature. Glide is defined as slip of the snowpack over an interface, usually over the ground. It occurs when the snow-ground interface is at the melting point (Salm,1978). In Norway there is little glide in dry winter snow (Larsen, 1998), but becomes important during spring.

Stems and other structures penetrating the snowpack anchors the snow by withstanding forces caused by creeping and gliding snow. A part of the snow weight is conducted to the stems and especially the ground parallel shear stresses are reduced (Salm, 1978), thus reducing the the probability of slab release. A back-pressure zone with compressive stresses forms behind the obstacle, decreasing natural creep and glide velocities in the snowpack. If the obstacle withstands the stresses, shear stresses in the back-pressure zone are reduced. If a crack forms, propagation in weak layers may be affected by the stress redistribution around the stems and eventually be stopped (Gubler and Rychetnik, 1991). If an avalanche happen to be released inside the forest, the obstacles may help to slow down the motion. The denser the forest, the larger the effect as anchors.

In the snow science community the efficiency of human built supporting structures in starting zones are often better known than the effects of forest. They are designed to simulate a natural forest, but lack the effect of the tree crown. The Swiss guidelines for defense structures (Margreth, 2007b) show how such supporting structures should be placed and how they should be dimensioned. Later in this paper we employ this approximation (Margreth, 2007a and b) to trees.

3.1 Strength of birch

Constraints for the anchoring effect are among others that the stems must be able to withstand the pressure (bending strength) and the compression strength of the snow must be higher than effective stresses (Salm, 1978).

The strength of a tree is dependent on the wood's density and the forces the tree has withstood during growth (reaction wood). Mountain forest grow slower and get denser than low land forest. Birch is the most tolerable tree species in Scandinavia when it comes to snow load and temperatures. Stuttgart table of wood strength (Wessolly and Erb, 1998) shows that birch in general is more elastic and also has higher strength than for example spruce and pine. Comparing modulus of rupture (MOR) for birch and spruce (Lavers, 1969 and Peltola et al., 2000), we see that for trees with the same diameter, birch can withstand larger forces than spruce. In juvenile age, birch is flexible and is easily bent by snow creep and glide (fig. 1). Older stems get stiffer, independent of stem diameter. When exposed to

avalanches some birch trees show few or little damages, but according to Lied and Kristensen (2003) most birch forests will die if the avalanche frequency is higher than about 4 years.

Figure 1. Typical, relatively young birch forest in Hornindal with stems affected by snow movement.

3.2 Snow forces on stems

Salm (1978) was one of the first to calculate the forces from the snow pack on individual stems, as a function of stem diameter, snow depth, slope angle, creep, gliding and snow properties. In the calculation, Salm (1978) simplifies and assumes that snow is a compressible Newtonian fluid. The model calculates the length of the backpressure zone, width of lateral shear zone and tensile zone (front) where the result is the forces on the stem. It is assumed that the tree is rigid and can withstand the snow forces.

Salm (1978) finds the resultant force (R) on the stem with diameter (φ):

$$R = DF = \frac{2\pi(1+\nu)}{1+2(1+\nu)} \frac{\rho g D^3 (1+2n)\sin\psi}{\ln\left|\frac{2x_b}{\varphi}\right|} \quad (1)$$

where

D = thickness of snowpack
F = force/unit length of stem
φ = tree diameter
υ = viscous analogue Poisson's ratio (0-0.5)
g = gravity
ρ = snow density
n = rel. glide velocity
ψ = slope angle
x_b= length of backpressure zone:

$$x_b = \frac{1}{\pi(1+\nu)\cos\psi} \frac{F}{D\rho g} \quad (2)$$

Another approximation to a similar problem is done by Margreth (2007a) who calculates forces on obstacles (masts) as a ratio of the resultant snow forces on a rigid wall by introducing end effects. Margreth (equation 3) is designed for maximum design forces against masts, not for trees in a forest. The use of this formula for thin stems is probably outside the intention of this equation, however, the formula is consistent and its principle should be valid. The equation is based on integrated stresses, multiplied with creep and glide factors (K and N). The ratio depends on gliding and the relation between obstacle diameter and snow depth.

In Margreth (2007), snow forces per unit length on a narrow obstacle is calculated as:

$$S'_{N,M} = \rho g \frac{H^2}{2} K N \eta_F \frac{W}{D} \quad (3)$$

The last part, η_F W/D – adjusts the formula for end effects.

$$\eta_F = 1 + c\frac{D}{W} \quad (4)$$

where:

ρ = snow density
g = gravity
H = snow depth (vertical)
D = snow thickness (normal to slope)
W = width of structure
K = creep factor (dep. on slope and density)
η_F= efficiency factor
c = gliding intensity
N = gliding factor

3.3 Number of stems needed to stabilize the snowpack

If a fracture occurs, the idea is that if the forest is dense enough, the stems can take up a sufficient part of the slope parallel component, meaning that the slab will not move. *The question is how many trees of a certain size are needed to reduce avalanche probability significantly?*

When having calculated forces on stems (R), Salm (1978) calculated the number of stems needed to stabilize the snowpack:

minimum number of trees/ha =

$$\frac{K}{R}\frac{10^4}{\cos\psi} \quad (5)$$

Where K is the weight component parallel to slope

$$K = \rho g D(\sin\Psi - f\cos\Psi) \quad (6)$$

f = coefficient of friction in fracture

The equation should be valid even when only a portion of the snow pack fractures, because K/R remains the same (Salm, 1978).

4 RESULTS

During winter and summer 2013 we have studied steep (30-40º) Norwegian and Swedish birch forests around 600-900 m.a.s.l. in several different places:

- Åre, Sweden – density characteristics (summer) in known skier triggered release areas
- Hornindal, Norway – density characteristics (summer) in randomly picked birch forest
- Hornindal and Stranda, Norway – snow profiles in old birch forest and in adjacent open areas (winter)
- Vikerfjell, Norway – snow profiles in juvenile forest and in adjacent open areas (winter)

4.1 Case study: avalanches in birch forest

We have especially studied two cases of skier-triggered avalanches released in birch forest in Åre, Sweden (figs. 2 and 3). Information (snowpack, gps-position and photos) on these avalanches were provided by Åre Avalanche Center and the release areas visited the following summer.

Figure 2. Avalanche in Åre, Sweden, around New Year 2012. Photo: Mårten Johansson, Åre Avalanche Center

Figure 3. Skier triggered avalanche in Åre, Sweden. Photo: Anna Henjer

During winter 2013, several skier-triggered avalanches occurred near the ski resort Åre, Sweden, both in open mountain terrain and in forest. They were released due to a weak layer of facets (pers. comm. Mårten Johansson, Åre Avalanche Center). The weak layer was a result of weeks of cold weather after rain. A rain crust worked as a vapour barricade, and a high temperature gradient built a layer of facets below the crust. The avalanches in the birch forest were small avalanches, size 1, according to the Canadian size classification.

Fieldwork during summer 2013 shows that the forest in the release areas was old and tall with tree heights of around 3-5 m (figs. 4 and 5). Few juvenile trees and shrubs were found. The forest showed little signs of damage from creep and avalanches.

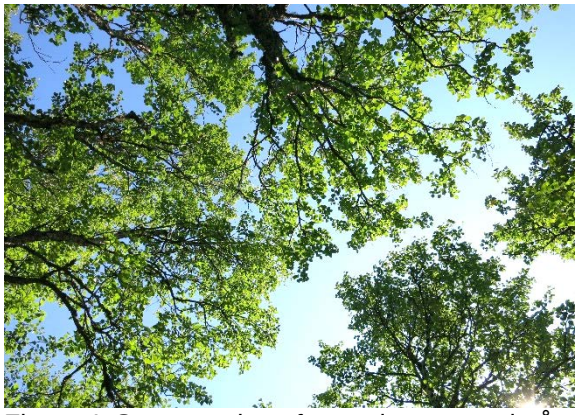


Figure 4. Summer photo from release area in Åre showing crown cover in summer.

Figure 5. Summer photo from one of the release areas in Åre.

4.2 Snow profiles

Snow profiles were dug during winter 2013 in maritime climate in Stranda and Hornindal (Norway) and in continental climate in Vikerfjell (Norway). The snow profiles show that the same kind of layering existed in the mature birch forest as in adjacent, open terrain. The most marked difference was weaker crusts, and lack of surface hoar inside the forest.

In areas with shrub-like birch and branches bent under the snow cover, the difference in snow pack is larger. Shrubs, thin trees and branches bent under the snow cover results in pockets of air within the snow. Here, facets get room to grow. Also, the organic material conducts heat. Snow pack studies from Vikerfjell show that snow can freeze to buried branches resulting in a reinforcement.

4.3 Stem density measurements

Density measurements (600-900 m.a.s.l.) of typical birch forest close to the forest line were made during summer 2013 in Hornindal (maritime climate, Norway) and in Åre (continental climate, Sweden). The density measurements in Åre were done in the areas where avalanches were triggered by skiers winter 2012-2013. We counted trees in 4 m radius circles, and put the trees in 9 different classes according to height and tree diameter at breast height (DBH). An example from Åre is shown in Table 1.

Table 1. Example of density measurements, Åre

Diameter:	0-5 cm	5-15 cm	>15 cm	Tot.>2m/5cm	Stems/haa
Height:					
0-2 m					
2-5 m		32	4		
>5 m		2			
				38	7600

We found that common densities of stems of minimum DBH 5 cm and larger was around 7-800 stems/haa, with a mean DBH of 12 cm. The lowest registered density was about 5800 stems/haa. In Åre, many trees had a DBH just below 15 cm and most trees had a height close to 5 m, relatively independent of diameter. About 1000 stems/haa had a DBH of more than 15 cm. We found that the trees were mainly older, thicker and taller in Åre than in Hornindal. It is noteworthy that forest line in this western part of Norway (Hornindal) has risen due to reduced grassing and less fire wood logging during the last half century (Breien and Høydal, 2012).

4.4 Use of models to calculate anchoring effects

We have compared the force models of Salm (1978) and Margreth (2007a), and see that for small stem diameters and low slope angles Salm's model gives twice the forces on each stem compared to Margreth's model, especially with little or no gliding. With high values of gliding (N=2), we get more similar results.

In this paper we focus on dry avalanches in Scandinavia and assume no gliding. In lower latitudes like in the Alps, exposure is of higher importance and results in larger degree of gliding in south-facing slopes. In the calculations we have chosen to apply 1.0 m snow depth (D). In the following we have used equation (3) for calculating forces on stems and equation (5) to find minimum number of stems to stabilize the slope and then compared the results to the birch densities we found in Norway and Sweden.

We see that the forces are higher the thicker the snow height, the steeper the slope and the thicker the stems. The required number of trees decrease with increasing tree dimensions and snow depth, but increases with slope angle. Slope is the single most important component in the calculation. When using DBH of 0.05-0.2 m, we find that combination of Margreth's force equation (3) and Salm's tree density equation (5) gives densities needed for avalanche protection of approximately 2000-3000 trees/ha in 30° terrain, 5000-6000 trees/ha for 35° slopes and 6500-8000 trees/ha for 40° slopes, depending on tree diameter (fig. 6).

Our fieldwork in different climates in Scandinavia show that steep (27-35°) birch forests in altitudes 600-900 m.a.s.l. with tree heights of 3-5 m have densities between 5800/ha and 12000/ha, densities that are quite high when comparing to the values resulting from equations (3) and (5), and should thus be enough to stabilize the slope.

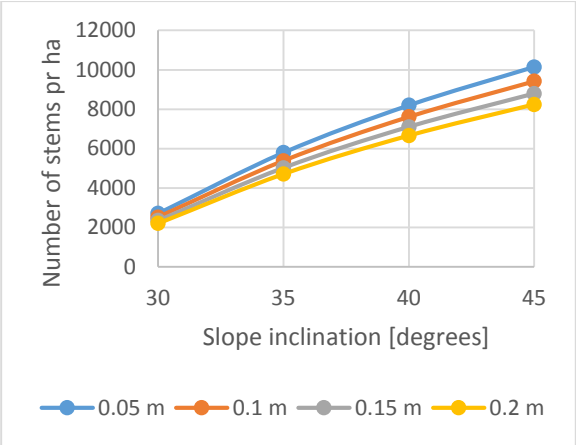


Figure 6. Density of stems needed to stabilize the snowpack according to equation (3) and (5), with different stem diameters and slope angles

5 DISCUSSION

5.1 Snow cover

Our field work indicate that mature, tall birch forest only to a slight degree affects the snowpack, whilst birch of shrub size and thin, juvenile birch bending below the snow surface alters the snow layering compared to in open areas. Case studies from Åre, Sweden, show that at least small avalanches do occur in dense, tall birch forest and that crystal growth and faceting happen more or less to the same extent as in the open areas. The fact that the weak layer responsible for the avalanches in Åre was present both in open areas and within the forest shows that weak layer building due to temperature gradient occur also in relatively dense birch forests. This is in agreement with findings from Gubler and Rychetnik (1991), who state that deciduous forest like larch do not alter the snowpack to the same degree as evergreen conifers. Our studies indicate that the naked crown of birch forest to little degree changes the microclimate. In fact, dripping from tree crowns might cause crusts that work as vapour barriers, enhancing facet growth during cold periods. We thus propose that persistent weak layers like facets might be as common in birch forests as in open terrain and that birch forest avalanches might be more probable in continental climates than in maritime climates.

However, surface hoar relatively abundant in open areas just outside the forest at our tests sites in Hornindal was absent inside the birch forest. Birch forest will to some degree protect from winds, and surface hoar near openings and close to the forest edge, might sustain for a longer period than in the open mountains. Surface hoar also forms most effectively in shadow, but with an uncovered view to the sky, as can be the case near limits of the birch forest. Surface hoar close to the tree line and in birch forest openings might thus be of extra importance as potential weak layers if covered by new snow.

According to Pomeroy and Goodison (1997) and Pomeroy and Gray (1997) aspen forested areas accumulate nearly as much snow as open areas. We assume that the values of SWE for birch are similar to those for aspen. Forest protects from wind resulting in reduced snow drift. Most likely, this results in thinner and softer windslabs in forested terrain. We believe that spruce is more effective in protecting from wind, due to the density and height of the crown, but the wind effect is still there in birch. Due to this, spontaneous avalanches following snowstorms are probably less likely in birch forests than in open terrain. This agrees with the recent findings of Teich et al. (2012). However, less wind exposure and snow drift also results in softer and less cohesive snow. Uncohesive, new snow will easily flow between stems, and soft slabs will transfer less force to stems than hard slabs.

Shrubs and smaller trees bent under the snow cover might stabilize the snowpack to a larger degree than tall birch do. Shrubs and branches bent under the snow cover enhances crystal growth, but heat transfer may also freeze the branches to the snow cover. The layers of weak facets will grow thick and the roughness of the layers is high. When it comes to slab avalanches, thin, weak layers are more efficient in propagating the fracture than thick layers. Shrubs might stabilize a shallow snowpack, but as the snowpack grows, the more superficial layers will not be affected to the same degree. Also, the thicker areas of facets near ground will form a loose base and might increase the danger for example of wet avalanches during spring.

5.2 Densities and anchoring effects

Calculations using equations (3) and (5) suggest that forest densities of 2000-3000/ha should stabilize the snowpack in 30º slope terrain just by the anchoring effect of the stems. The Swiss guidelines (Bauerhansl et al., 2010) use crown cover as a measure for protection efficiency, taking both anchoring and snow layering effects into account. In Breien and Høydal (2013) we used DBH to calculate crown cover of birch (Widlowski et al., 2003), and found that to achieve a minimum crown cover of 80 % (Bauerhansl et al, 2010), a density of around 2500 stems/ha of mean diameter 10 cm should be enough. Case studies from Åre, Sweden, however, show that small avalanches can be triggered in dense, tall birch forest with densities of 7-8000 stems/ha, at least when an artificial trigger like a skier is present.

We think that crown cover is a valid measure for protection forest when it comes to conifers,

but it is not straight forward to transfer this to deciduous birch forest due to its thinner crown. Pomeroy and Goodison (1997) present data that indicate that LAI (leaf area index) is a parameter that might be fruitful to further study for comparison of canopy effects in deciduous and coniferous forests.

We propose that the anchoring effect on its own in many cases is not enough to stabilize the snow pack completely, and that it is difficult to set specific density criteria as in Salm (1978) and Bauerhansl et al. (2010) for Scandinavian birch forest. Our findings support the opinion that the forest's effect on the snowcover is the main factor reducing avalanche probability in forested terrain. The thin canopy of birch results in little effects on the snow cover, again resulting in limited avalanche protection effect from birch forest.

We stress that snowpack characteristics such as slab hardness and propagation ability are important parameters that makes it difficult to give strict guidelines for protection forests. A hard slab will transfer more stress to the trees even if they are sparse, whilst a soft slab will be less affected by the trees. Also, we argue that hard slabs might be rare in forest due to less wind exposure. Uncohesive snow cannot be hindered by forest and can easily flow between tree stems (Imbeck and Meyer-Grass, 1988), for example wet snow and new, dry snow. The forest will have no anchoring effects on such avalanches as the cohesion of the snow is largely reduced.

We emphasize that the cases of avalanches in birch forest in this paper are small, skier triggered avalanches with short runouts, whilst the densities in the guidelines for protection forest are meant for large, destructive avalanches reaching terminal velocities. However, propagation was a fact in our examples, and release as well. For skiers, even small avalanches can be a serious threat in forested terrain. We stress that more studies on propagation ability and velocity reduction in forested terrain are needed to understand whether such avalanches can grow large and destructive.

6 CONCLUDING REMARKS

We believe that avalanches in birch forests are less common than in open areas, however, coniferous forest is much more effective in protecting from avalanches than deciduous forest is. Avalanche cases from this winter show that facets can grow and produce weak layers, and that small, dry slab avalanches can be released by skiers in dense birch forests. Due to its thin canopy, birch affects the growth of facets only to a slight degree, and a dense birch forest seems not to be enough to hinder avalanche release under such circumstances. This indicates that the forest's effect on snow layering is essential in preventing avalanche formation and more important than anchoring alone. In guidelines for protection forest, crown cover, which takes into account both anchoring and snow layering effects, has been used as a measure of the protection effect. This method works well for conifer forests, but might not be the optimal solution for deciduous forest.

We propose that in climates where crystal growth/faceting constitutes a large percentage of avalanche causes, mature birch forest is not effective in reducing the probability of avalanche triggering - due to its limited effect on snow pack layering. In climates where heavy snowfalls and wind are predominant, avalanche release in birch forest might be less common. To what degree the stems limit fracture propagation and the size of avalanches in birch forest needs further studies.

7 REFERENCES

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 and Seeback, 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.

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

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

Frey, E. and Salm, B., 1990. Snow properties and movements in forest of different climatic regions. In: Proc. XIX IUFRO world Congress, Montreal Canada, Div.1, Vol. 1, pp. 328-339.

Gubler, H. and Rychetnik, J., 1991. Effects of forests near the timberline on avalanche formation. In: International association of Hydrological Sciences. Publication 205, pp. 19-38

Haefeli, R., 1951. Neuere Entwicklungstendenzen und Probleme des Lawinenverbaus im anbruchsgebiet. Mitteilungen des Eidg. Institute für Schnee und Lawinenforschung, 9, pp. 28-56

Imbeck, H and Meyer-Grass, M., 1988. Waldlawinen am gugelberg, Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 139 (2), pp. 145-152

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

Lavers, G.M., 1969. The strength properties of timbers, 2nd Edition. Forest Products Research Laboratory Bulletin 50, HMSO. London, 62 pp.

Margreth, S., 2007a. Snow pressure on cable masts: Analysis of damages and design approach, Cold regions Science and Technology, 47, pp. 4-15.

Margreth, S., 2007b. Defense structures in avalanche starting zones. Technical guideline as an aid to

enforcement. Environment in practice no. 0704. Federal Office for environment, Bern; WSL Swiss Federal Institute for Snow and Avalanche Research SLF, Davos, 134 pp.

Peltola, H., Kellomäki, S., Hassinen, A., Granander, M., 2000. Mechanical stability of Scots pine, Norway spruce and birch: an analysis of tree-pulling experiments in Finland, Forest Ecology and Management 135, pp. 143-153

Pomeroy, J.W. and E. Brun., 2001. Physical properties of snow. In: Jones, H.G., Pomeroy, J.W., Walker, D.A. and Hoham, R.W.(Eds.), Snow Ecology: an Interdisciplinary Examination of Snow-covered Ecosystems. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 45-118.

Pomeroy, J.W., and Goodison, B.E. 1997. Winter and snow. In: Bailey, W.G., Oke, T.R. and Rouse, W.R. (Eds.).The Surface Climates of Canada, McGill-Queen's University Press, Montreal, pp. 68-100.

Pomeroy, J.W., and Gray, D.M. 1995. Snow Accumulation, Relocation and Management. NHRI Science Report No. 7. National Hydrology Research Institute, Saskatoon.

Salm, B., 1978. Snow forces on forest plants. In: Proceedings IUFRO Seminar mountain Forest and Avalanches, Davos, pp. 157-181.

Teich, M., Marty, C., Gollut, C., Grêt-Regamey,A., and Bebi, P., 2012. Snow and weather conditions associated with avalanche release in forests: Rare situations with decreasing trends during the last 41 years. Cold Regions Science and Technology, 83-84, pp 77-88.

Weir, P., 2002. Snow avalanche management in forested terrain. Res. Br., B.C. Min. For., Victoria, B.C. Land Manage Handbook no. 55, 208 pp.

Wessolly, L., and M. Erb 1998. Handbuch der Baumstatik und Baumkontrolle. Patzer Verlag, Berlin, Germany.

Widlowski, J.L., Verstraete, M., Pinty, M., Gobron, N., 2003. Allometric Relatoionships of Selected European Tree Species., EUR 20855 EN, Ispra, Italy

NGI

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 NGI.

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 NGI.

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

Prosjekt

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

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 ustabilt 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 sommermåneder, 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 frostskader. 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 frostskade. På særlige utsatte steder (både barrabber 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

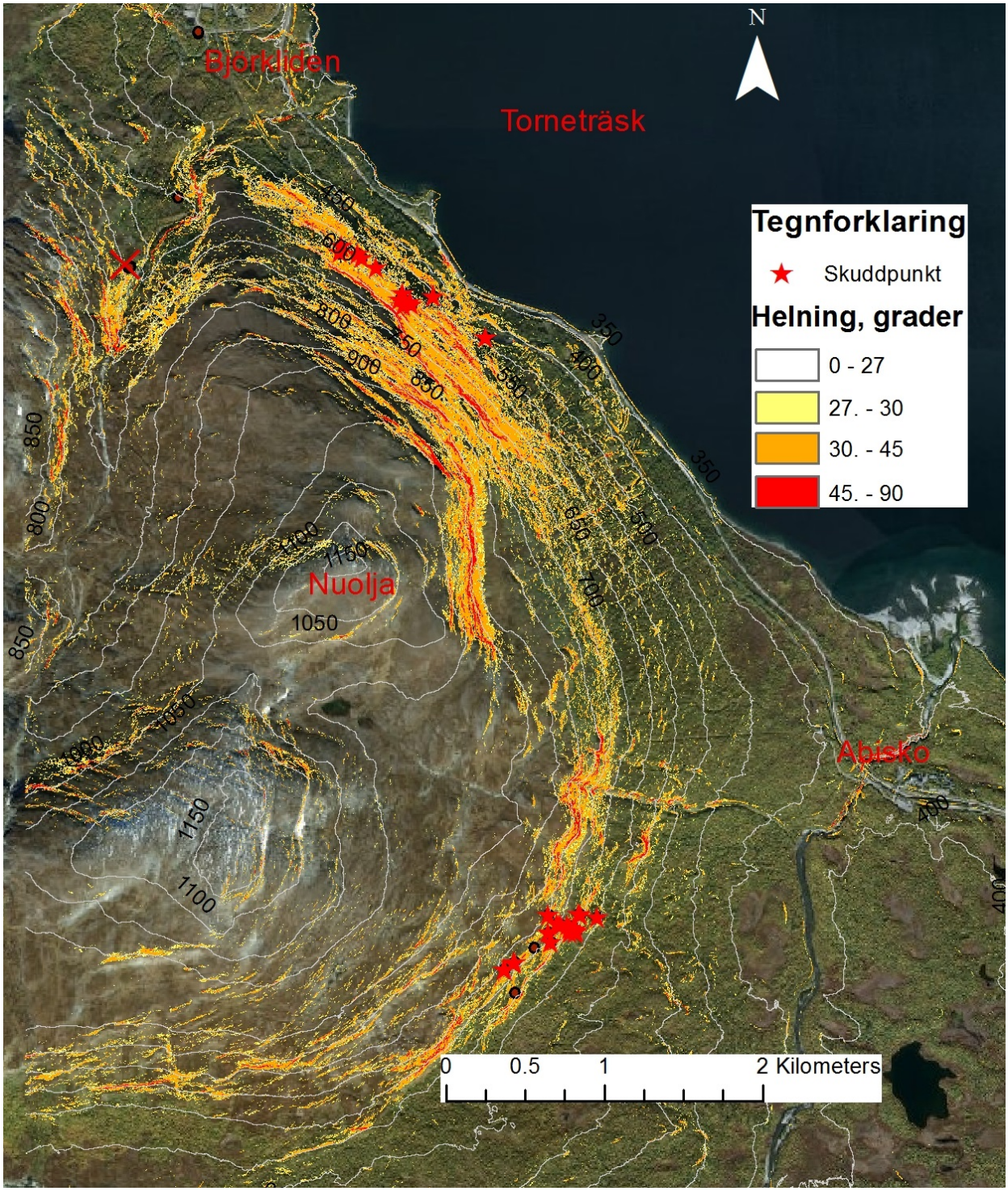
Feltforsøkene er utført i Abisko i nordlige del av Sverige. Abisko ligger på 68 grader nord, 37 km med tog fra grensa til Norge (Figur 1). Området er preget av den store innsjøen Torneträsk (341 moh), store åpne områder og avrundede fjellmassiver.

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 Björkliden 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 framtredende 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 brysthøydediameter (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

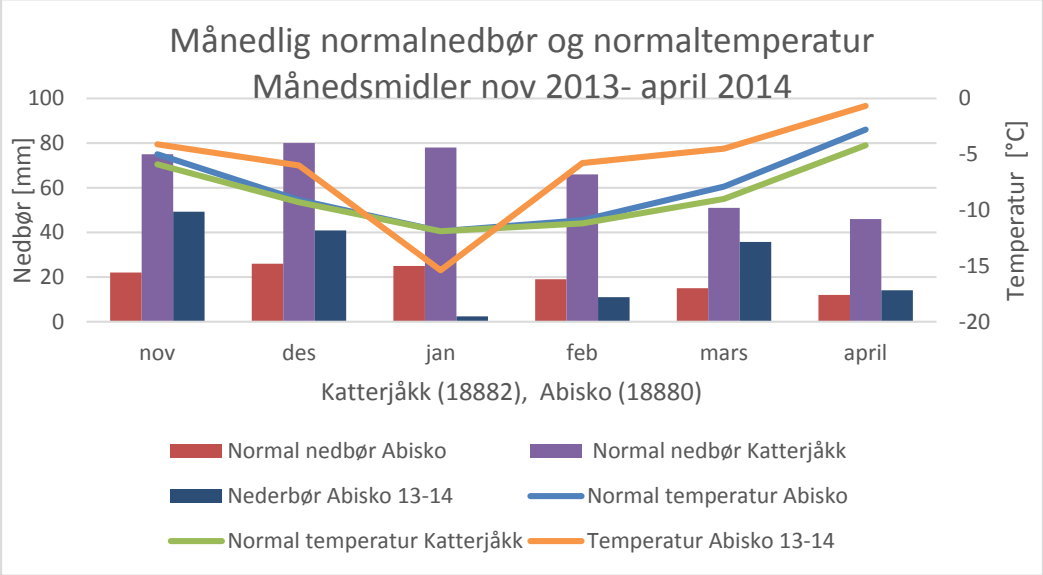
Abisko har tørt innlandsklima og er mange steder referert til som Sveriges tørreste sted. Abisko ligger i regnskyggen for nedbør fra vest, det meste av nedbøren faller på den norske siden av grensen og mot Riksgrensen. Årsnormalen for nedbør i Abisko ligger på 304 mm, mens den i Katterjåkk, bare 26 km 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 -10ºC.

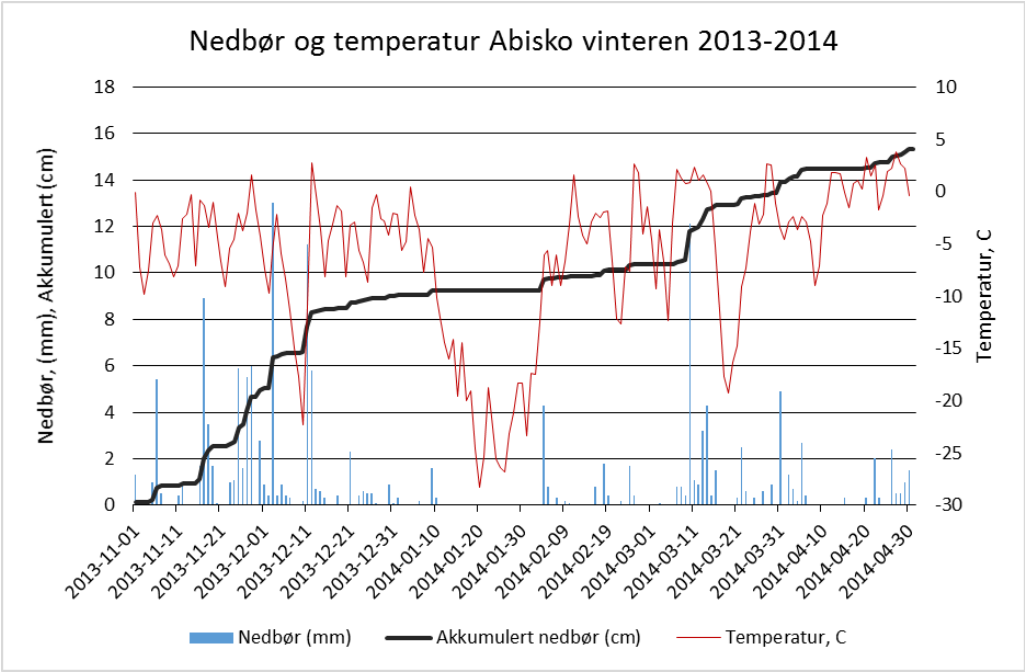
Figur 4 viser daglig variasjon gjennom vinteren 2013/2014. Vinteren 2013/2014 var en relativ normal vinter, men med noe mer nedbør enn vanlig. Det kom relativt mye nedbør i begynnelsen av vinteren. Allerede 28. november 2013 ble én mann på skuter tatt og omkom i snøskred på norsk side. Temperaturen i 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.

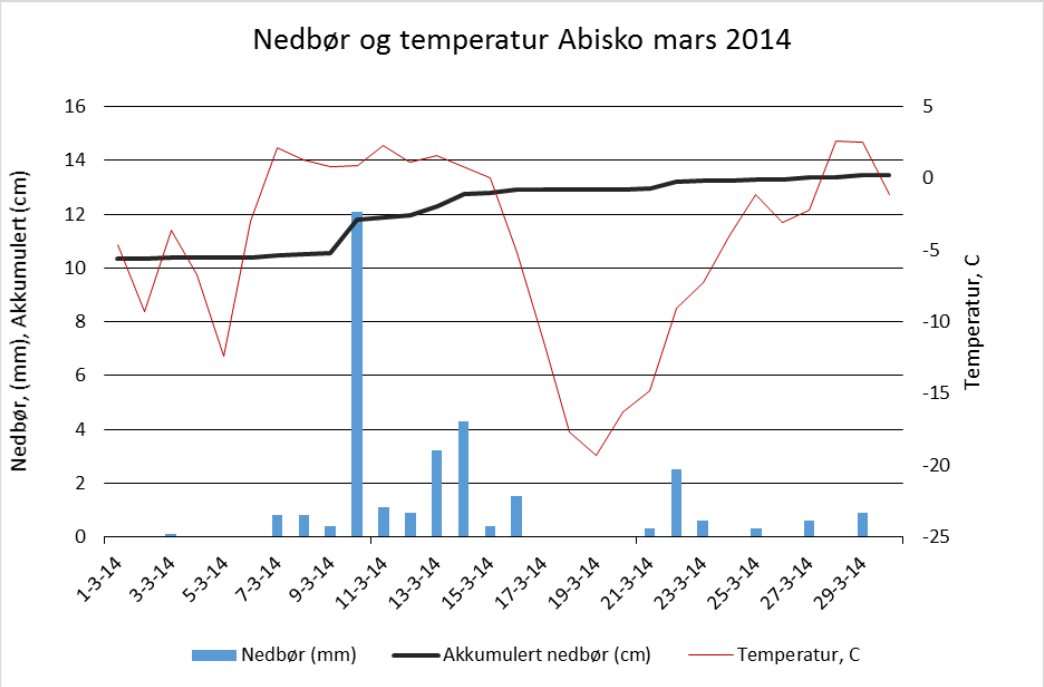


Figur 3 Figuren viser normalen (1961-90) for nedbør og temperatur gjennom vinteren ved stasjonene Abisko og Katterjåkk, samt målte verdier for vinteren 2013/2014.



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

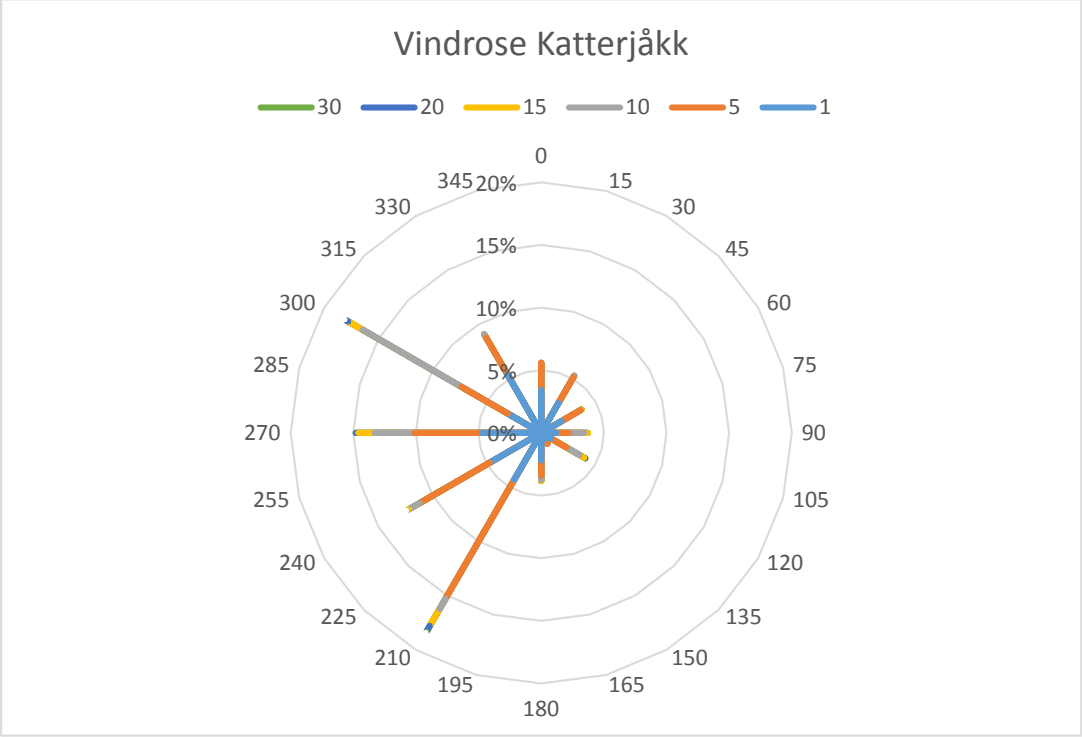
Katterjåkk ligger 25 km vest for Abisko, nær Riksgrensen og er nærmeste stasjon med vind- og snømåler. En sammenligning av akkumulert nedbør i Katterjåkk og Abisko viser at akkumulert nedbør i Abisko ligger på noe under det halve av Katterjåkk, og at nedbørshendelsene følger hverandre. Det er derfor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



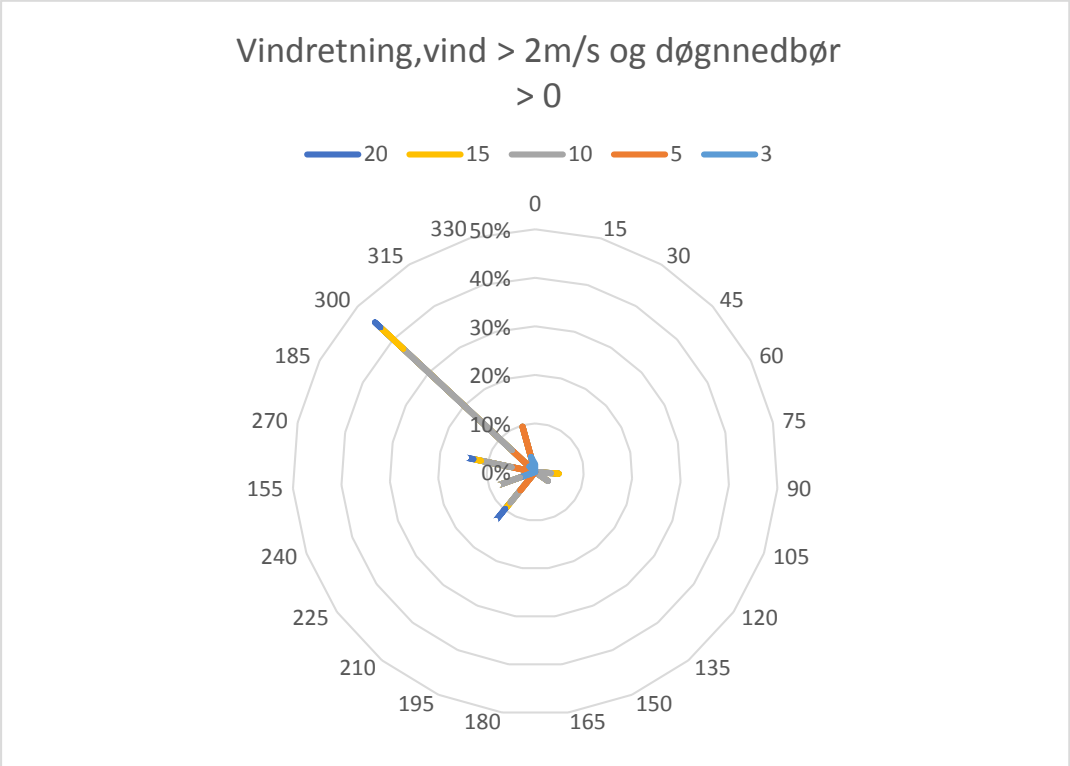
Figur 5 Nedbør, temperatur og akkumulert nedbør i Abisko mars 2014 (detalj av Figur 4).

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 rettinger, kilde. SMHI.



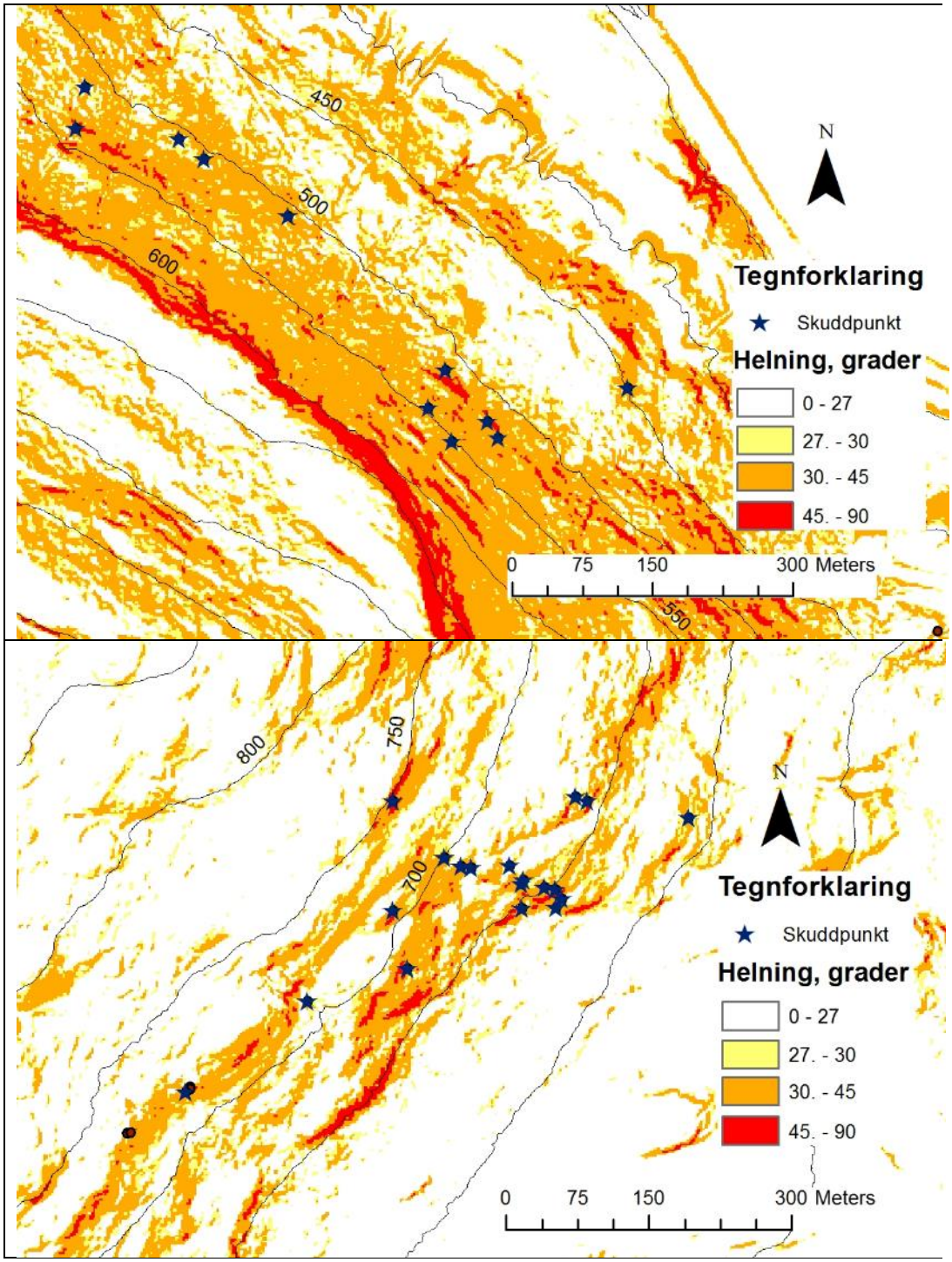
Figur 7 Vindrose for Katterjåkk, 1. november 2013 – 30.april 2014, v > 2m/s og nedbør >0, kilde SMHI

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.

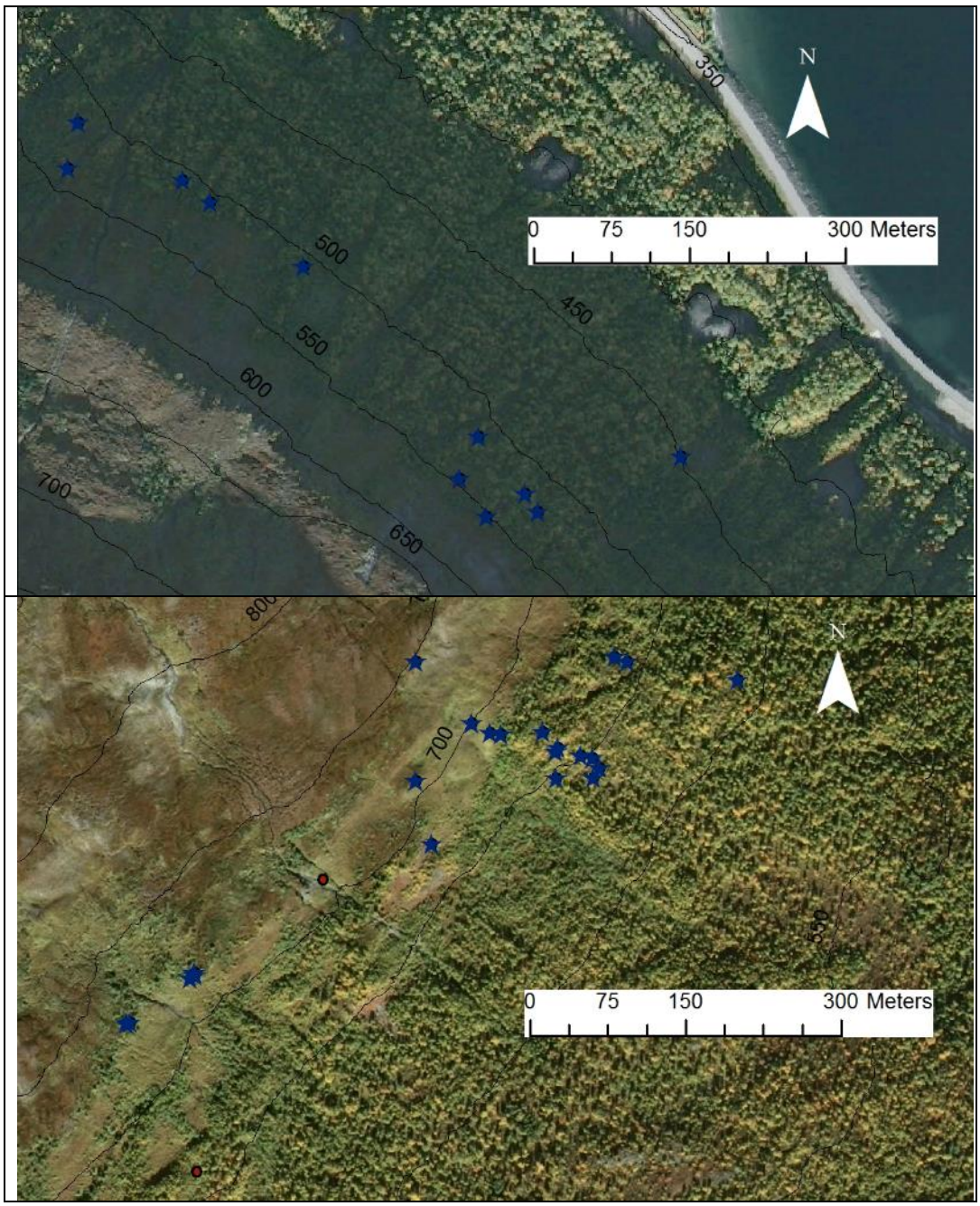
Helikopteret var bemannet med 3 personer grunnet vektbegrensninger; pilot og DaisyBell-operatør, samt en fra vårt team som pekte ut skuddpunkt. Figur 9 og 10 viser omtrentlig posisjon av DaisyBell-skudd på sørøst- og nordsiden av fjellet Nuolja. Posisjonene er tatt ut fra GPS spor og veipunkter i helikopter, 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.



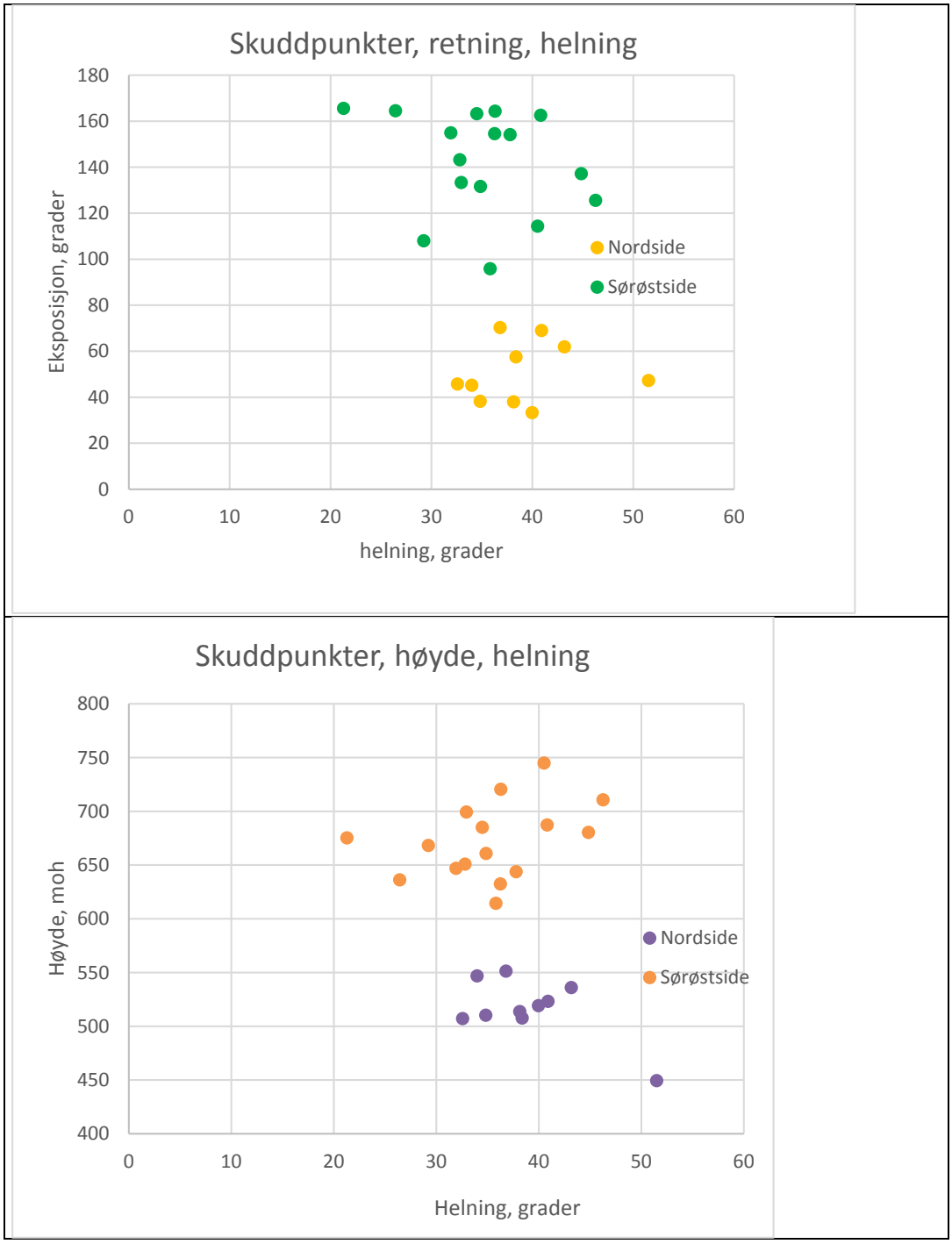
Figur 8 Helningskart (grader) og skuddpunkter for nordre og søndre skuddområde

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

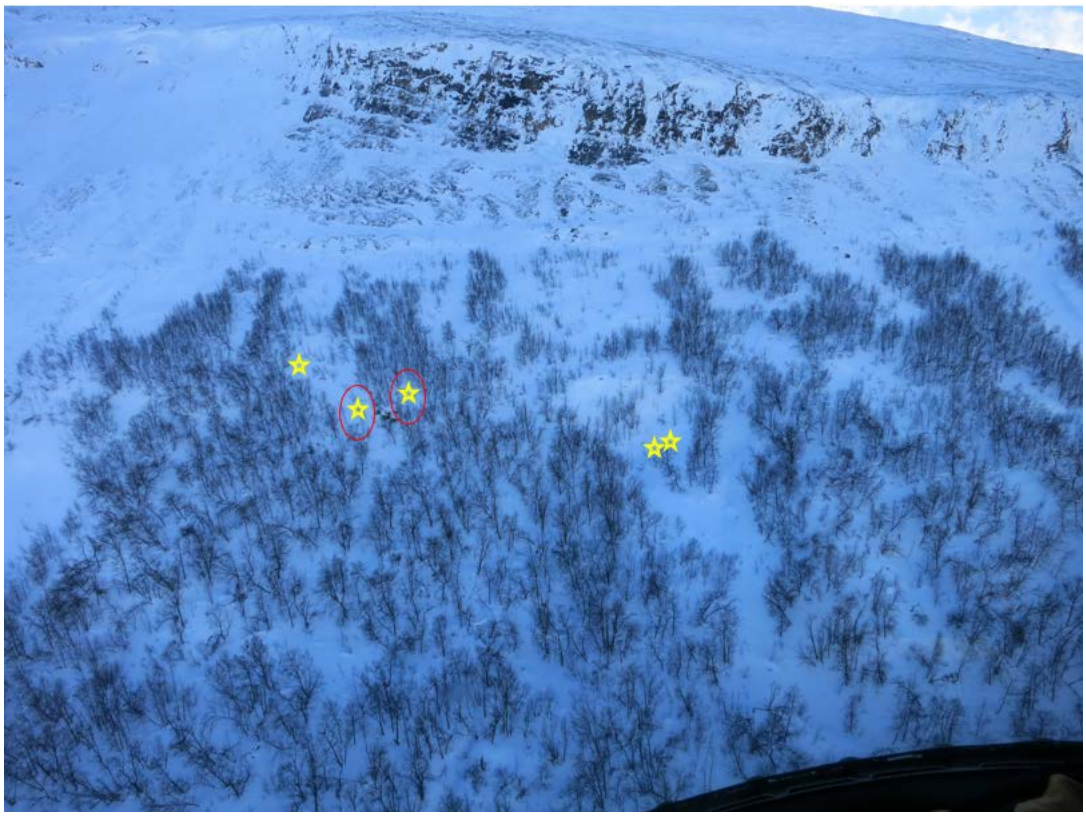
4.1.1 Nordsiden av Nuolja

Det ble skutt ca 15 skudd i nordøsthelningen av Nuolja, mot Torneträsk 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 løsnet 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 løsnet det et lite skred, ca 20 x 30 m^2.

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 forplanting. 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.

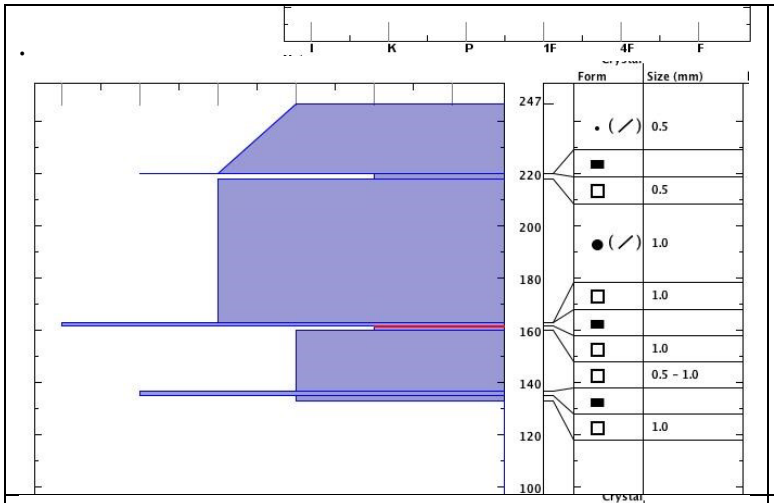
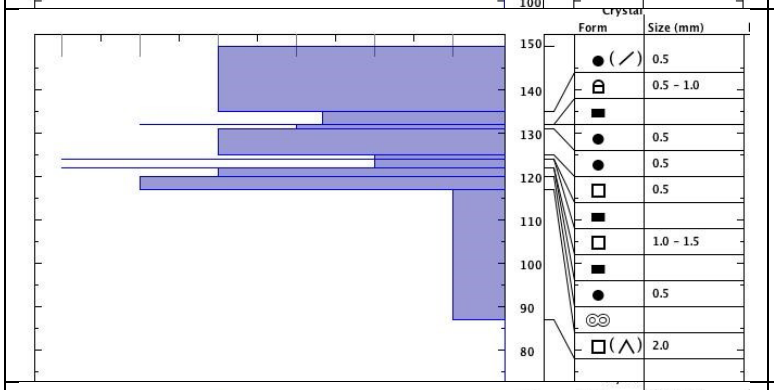
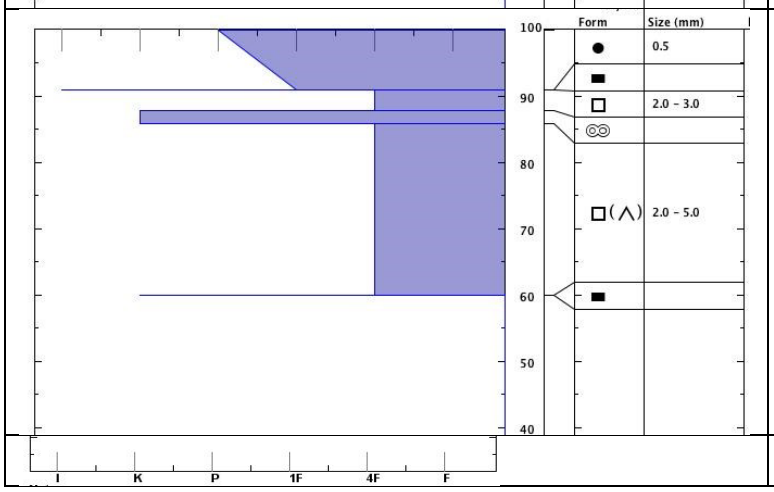
Figur 15 viser 3 store flagg der profil A, B og C er lokalisert. Ved profil A (flagg til venstre) er det en massiv bruddkant på ca 1, 5 m mens bruddkanten ved flagg 2 (profil B) går rundt et kjerr med bjørk, og bruddkanten er lavere, ca 0.9 m. Det er utviklet sprekker rundt kjerret, men flaket henger 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/m^3 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.

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

Figur 18 Foto fra profilene i Figur 19.

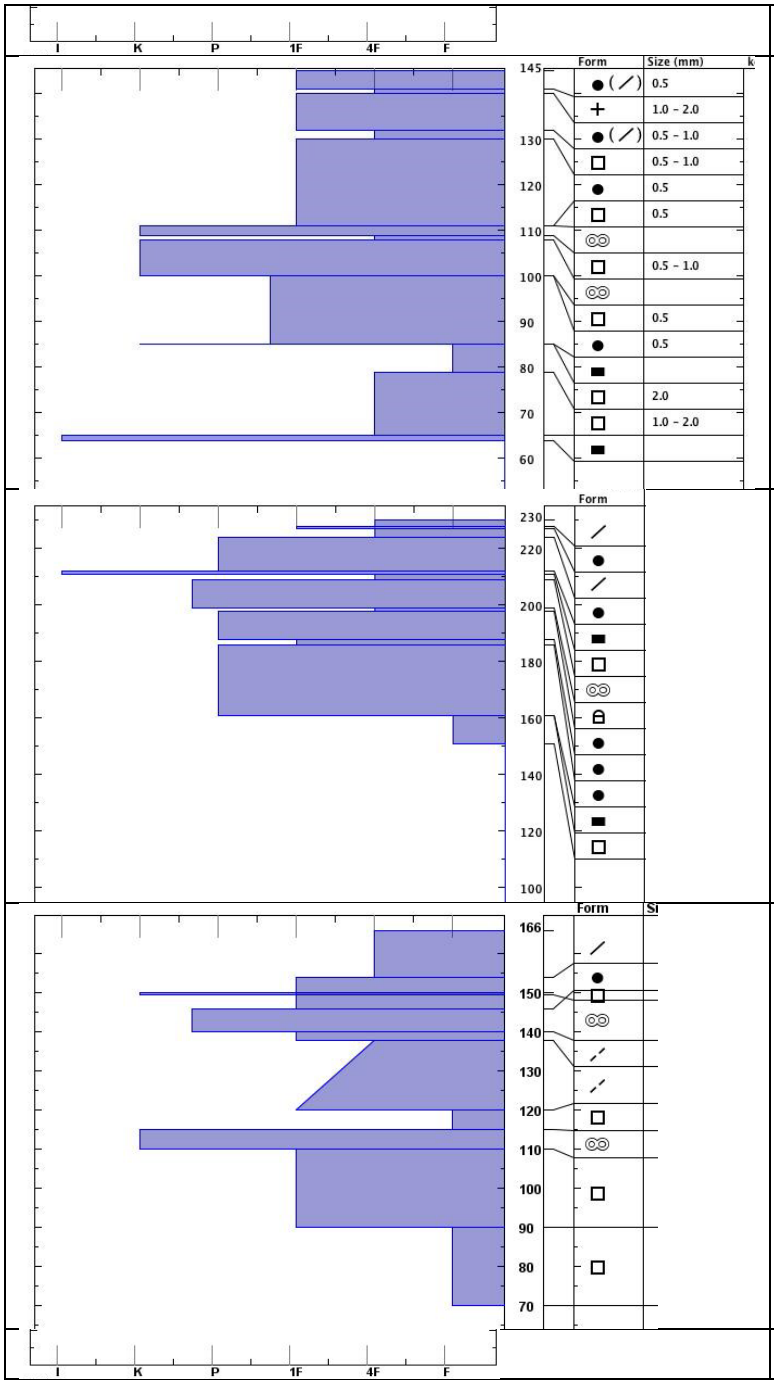
	A:Profil fra bruddkant. Flaket er svært hardt og det er flere svake lag av kantkorn i forbindelse med islag. Bruddet skjedde trolig i laget markert med rødt, men bildene viser at det har skjedd brudd i flere av de svake lagene under selve skredet. Tetthet er målt i det massive laget fra ~160 til ~220 cm
	B: Profil fra bruddkant ved små trær. Snødekket er tynnere enn i A, men snødekkeoppbygningen er relativt lik. Rundt selve trestammen er det en stor isklump.
	C: Profil fra bjørkeskog, preget av store mengder kantkorn og begerkrystaller.

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.



	A 5 m x 20 m lang åpning i bratt skog.
	B ca 20 m nedenfor A, mot/mellom skog
	C Profil inn mot trestamme, se Figur 21

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 dypereliggende 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 vanndampsperre 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. Bruddforplantingen 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 ettervinteren.

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 lier 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 Salms 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 bruddforplanting.

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 løsneområde 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 løsneområdet 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 Snw 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 Symposion Interpraevent 1992 Bern. Tagungspublikation. Band 2: 443-445.

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

Kontroll- og referanseside/
Review and reference page

NGI

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*	**Feltnavn/*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***	**Sign. Prosjektleder/*Project Manager***
	18. desember 2014	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: oje,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 Stadion
NO-0806 Oslo
Norway

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

Avd Trondheim/Trondheim office
PO Box 5687 Sluppen
NO-7485 Trondheim
Norway

Besøksadresse/Street address:
Høgskoleringen 9, 7034 Trondheim

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

ngi@ngi.no
www.ngi.no

Konto nr 5096 05 01281/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

NGI

Rapport / Report

Skog og skred

Forslag til kriterier for vernskog mot skred

20120078-01-R
21. februar 2013
Rev. nr.:1 / 19. mars 2015

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 NGI.

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 NGI.

Hovedkontor:
Pb. 3930 Ullevål Stadion
0806 Oslo

Avd Trondheim:
Pb. 1230 Sluppen
7462 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

Prosjekt

Prosjekt:	Skog og skred
Dokumenttittel:	Forslag til kriterier for vernskog mot skred
Dokumentnr.:	20120078-01-R
Dato:	21. februar 2013
Rev. nr./rev. dato:	1 / 19. mars 2015

Oppdragsgiver

Oppdragsgiver:	NVE og NFR
Kontaktperson:	Odd Are Jensen, NVE,
Kontraktreferanse:	Bevilgning fra NVE og grunnbevilgning NGI

For NGI

Prosjektleder:	Hedda Breien
Utarbeidet av:	Øyvind A Høydal, Hedda Breien, Frode Sandersen
Kontrollert av:	Hedda Breien, Frode Sandersen,

Sammendrag

Rapporten gir bakgrunn og begrunnelse for valg av kvantitative kriterier som kan benyttes for vernskog mot snøskred og steinsprang. For begge skredtyper anbefales det en maksimum lengde på åpne områder i fallretning, samt kombinasjoner av tetthet og størrelse av trær for å oppnå verneeffekt mot skred.

Rapporten gir forslag til tretettheter eller kronedekning for barskog og lauvskog for skog som skal virke som vernskog mot snøskred. Særlig kronedekning anses som en viktig parameter i vernskog mot snøskred i barskog. Vi anbefaler en kronedekning på 50% for at barskog skal kunne anses som vernskog i løsneområde for snøskred. For bjørkeskog anbefaler vi en minimum tretetthet på 2500 trær per ha.

For steinsprang er trediameter i brysthøyde (DBH) og tretetthet en sentral parameter i vurdering av vernskog mot steinsprang. Størrelse på dimensjonerende steinblokk er viktig i vurderingen av vernskog mot steinsprang.

For jord- og flomskred kan ikke slike kriterier for tredimensjoner brukes i samme grad. Denne rapporten fokuserer på hvordan infiltrasjon og avrenning endres og påvirkes av vegetasjon og ved flatehogst.

De råd som gis om hva slags skog som kan fungere som vernskog, skal også kunne brukes for eventuelt å bygge opp ny vernskog, eller skjøtte skog med status som vernskog. Skogens livssyklus og naturlig variasjon i verneeffekt må vurderes når skog skal brukes som vernskog.

Innhold

1 Innledning 6

2 Vurdering av skredfare i skogkledde fjellsider og i hogstfelt 6

3 Skog som vern mot snøskred 7
3.1 Bjørk og vekstvilkår 8
3.2 Fysiske faktorer for vurdering av skredfare i skog 8
3.3 Kronedekning 13
3.4 Observerte skred i og nær bjørkeskog 19
3.5 Åpne felter 20
3.6 Minste høyde/diameter 22
3.7 Oppsummering - kriterier for barskog som vernskog mot snøskred 22
3.8 Oppsummering - kriterier for bjørkeskog som vernskog mot snøskred 23
3.9 Praktisk vurdering av skog som vernskog i løsneområder snøskred 23

4 Vernskog mot steinsprang 25
4.1 Blokkstørrelse og energi 26
4.2 Trediameter 26
4.3 Tetthet 27
4.4 Lengde av område dekket med skog målt i fallretning 29
4.5 Bruk av beregningsprogrammer 30
4.6 Oppsummering – kriterier for vernskog mot steinsprang 34
4.7 Praktisk vurdering av skog som vernskog mot steinsprang 35

5 Skogens påvirkning på jord- og flomskred 37
5.1 Stabiliserende effekt av vegetasjon 38
5.2 Destabiliserende effekt av vegetasjon 38
5.3 Infiltrasjon og avrenning 39
5.4 Rotforankring 41
5.5 Kritisk nedbørmengde 42
5.6 Reduksjon av vannhastighet og stopp av masse 42
5.7 Brudd i strømningsveg, grunnet for eksempel skogsveg 43
5.8 Praktisk vurdering - skog som verner mot jord- og flomskred 47

6 Anbefalinger for hogst i skredutsatt terreng 48
6.1 Tynning og hogst i forhold til kronedekning 48
6.2 Hogstfelter 49
6.3 Stubber og revegetering 50
6.4 Skogsveger 50
6.5 Nyetablering av vernskog 51

7 Referanser 52

Kontroll- og referanseside

1 Innledning

NGI har erfart at skogen er en utfordring ved reguleringsarbeid eller ønske om nye planområder fordi den har innvirkning på hyppigheten og rekkevidden av skred. Flere steder er det foreslått å omgjøre skog til vernskog mot skred som alternativ til annen fysisk sikring. Til dette trengs det kriterier basert på biologisk kunnskap og fysisk forståelse for hva slags type skog og hvilken tilstand denne skogen må ha for å kunne gi skredreduserende effekt. De samme kriteriene må kunne brukes for å vurdere hvilken effekt hogst og skjøtsel av skog har på skredfaren. Denne rapporten gir bakgrunn, begrunnelse og forslag til slike kriterier.

Denne rapporten bygger på tverrfaglig forståelse og temaet må behandles av både skog- og skredfaglige personer, samt at juridiske forhold også må gjennomgås i forhold til aktiv bruk av vernskog mot naturskader. Målet med prosjektet er å få en slik prosess i gang der juridiske forhold kan sammenstilles med skogskjøtsel og skredfaglige vurderinger.

2 Vurdering av skredfare i skogkledde fjellsider og i hogstfelt

Skogen er et resultat av klima, bunnvegetasjon, løsmassetykkelse og berggrunn. Skog påvirker klimaet omkring (mikroklima) inne i selve skogen ved å verne for vind, nedbør, temperaturendringer og stråling. Sammen er dette faktorer som innbyrdes påvirker lokal hydrologi og vanninnhold/snø på og i marka. Vann (snø, regn) er oftest den viktigste faktoren for å utløse skred, men er også en vesentlig faktor for det som kan vokse og for stabilisering av grunnen. All skog og vegetasjon påvirker vanninnholdet i jord og i bergsprekker, og reduserer i de fleste tilfeller skredfaren.

Faresonering for skred bygger vanligvis på en vurdering av skredfaren under dagens forhold når det gjelder terreng og vegetasjon. Skog vil oftest ha en reduserende effekt på skredfaren, men det finnes i dag ikke retningslinjer for hvordan skogen skal tas med i vurderingen av skredfare. I flere land, blant annet i Alpene og i USA finnes det retningslinjer for vernskog mot skred (Weir, 2002; Bauerhansl et al 2010). Dette finnes ikke i Norge. Denne rapporten er et forsøk på å strukturere vurdering av skogens effekt på skredfaren og beskriver faktorer og kriterier som kan benyttes for norske forhold

I likhet med andre farereduserende tiltak, kan heller ikke skog gi en absolutt sikkerhet mot skred hverken i tid eller rom. For skog og tekniske inngrep gjelder det å kjenne slike effekter og begrensinger.

Etter norsk skogbrukslovgivning er *Vernskog* definert som skog som beskytter annen skog, skog som er sårbar mot fjell eller hav (vind, klima) eller skog som gir vern mot naturskader (jfr Skogloven). Vernskog er ikke fredet, men hogst skal følge retningslinjer satt av fylkeslandbruksstyret. Kriteriene vi her setter opp er ment som

kriterier for vernskog som kan fungere som vern mot skred for hus og vei. Andre effekter av vernskog er ikke en del av innholdet i dette prosjektet.

Ved planlegging av avvirkning av skog kan aktsomhetskart for skred som finnes på http://skredatlas.nve.no/ gi en pekepinn på om skred er relevant for inngrepet. Når det gjelder skred gir ikke vernskog betydning med mindre skogen beskytter et objekt. Hogst (eller skogdød eller andre inngrep) kan endre skredfaren dramatisk.

Kriteriene må kunne brukes i forhold til de krav som er hjemlet i Plan og bygningsloven. Denne setter juridiske føringer for hvor ny bebyggelse kan etableres. Når det gjelder skred finnes det i dag tre sikkerhetsklasser (Tabell 1). Klasse S1 omfatter eksempelvis garasjer og båtnaust, klasse S2 de fleste bolighus og hytter, mens klasse S3 skal omfatte bygninger der flere mennesker oppholder seg, dvs bygg med flere boenheter, hoteller, barnehager osv.

Tabell 1 Sikkerhetsklasser for skred (Fra Tek 10)

Sikkerhetsklasse	Årlig sannsynlighet for skred
S1	< 1/100
S2	< 1/1000
S3	< 1/5000

Skog som eneste sikring må vurderes fra tilfelle til tilfelle, men vi ser det som lite trolig at skog er godt nok som eneste sikring for et bygg i sikkerhetsklasse, S3, der en vet at bygningen ligger skredutsatt dersom skogen blir fjernet.

I dag finnes det juridiske føringer som tilsier at skog kan få status som vernskog mot naturfarer, men det finnes i dag intet regelverk som sier noe konkret om kompensasjon til grunneier eller hvem som har ansvar for å skjøtte skogen slik at den bevares som vernskog. Først når dette er på plass kan vernskog evt. brukes som aktiv skredsikring.

3 Skog som vern mot snøskred

Skog i potensielle løsneområder for snøskred reduserer i mange tilfeller faren for snøskred. Store skred som berører skog oftest starter over tregrensa eller i sparsomt skogkledd område (Gubler & Rychetnik, 1991), (Chritin, Bolognesi, & Gubler, 1999) . Skog har også en bremsende effekt i skredbanen og kan redusere skredutløp for skred av begrenset størrelse (Anderson and McClung 2012). For store snøskred er effekten begrenset og vanskelig å kvantifisere. Tretype er en svært viktig faktor i en slik vurdering, og vi skiller her mellom barskog og løvskog og fokuserer i denne rapporten på kvalitet av skog i potensielle løsneområder. Bremseeffekter av skog er ikke studert spesielt for norsk skog. Erfaringsmessig, vet vi at bjørk vi har liten effekt på utløp av fluidiserte snøskred.

For løvskog er det overveiende bjørk som har betydning i potensielle løsneområder. Bjørka er det bestand-dannende treslaget som best tåler setninger og sig i snødekke og dette gir utbredelse opp mot snaufjellet. 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. Bjørk har absolutt begrensinger som forankringssikring; det snødekket eller den delen av snødekket bjørka kan sikre, må trolig ligge lavere enn 2/3 av trehøyden. På steder der en forventer at snøhøyden kan være større enn dette, er det trolig slik at snøen forkorter vekst og livsvilkår (temperatur i jord og luft). Det er derfor nyttig å kjenne til bjørkas klimatiske krav og levesett.

3.1 Bjørk og vekstvilkår

Fjellbjørk er en underart av vanlig bjørk, betula pubsens, og regnes som en klar pionerart med stor spredningsevne av frø. Bjørk og alderssammensetning av bjørkeskog brukes som indikasjon på skredaktivitet. 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.

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 sommermåneder, vekstsesong) eller høyere, noe som er den laveste sommertemperaturen for trær i Norge. 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 når skuddene kan få frostskader. 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 vekstpotensialet 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 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. På særlige utsatte steder (barrabber og snøleier) vil det ikke være miljø for bjørk Vokslaget til unge skudd antas å være sårbart for sterk vind. Skade av vokslaget når bjørka spretter, øker sannsynlighet for frostskade.

3.2 Fysiske faktorer for vurdering av skredfare i skog

For vurdering av skredfare i skog, er det særlig 3 fysiske forhold som kan forklare forskjell mellom skredfare i skog og åpne områder:

1) Snødekkeoppbygging
    a. Dannelse av svake lag med kantkornet snø eller rimlag
    b. Vindetransport
2) Forankringseffekt
    a. Stammer
    b. Isforankring
3) Bruddforplantning

Disse forholdene er diskutert nedenfor.

3.2.1 Dannelse av kantkornet snø og rimkrystaller

Kantkornede krystaller og begerkrystaller dannes under oppbyggende omvandling ved høy temperaturgradient (indirekte faktor). Siden prosessen trenger stor temperaturgradient skjer den raskest i kuldeperioder. Skog reduserer inngående solinnstråling på dagtid på grunn av skyggeeffekt. Nattetider reduseres utgående langbølget stråling. I barskog vil denne effekten naturlig nok være større enn i løvskog vinterstid. For øvre del av fjellskogen som er mer åpen antas det likevel at dette har liten betydning. Eksposisjon er vesentlig for innstråling på våre breddegrader. Utstråling vil i Nord Norge være dominerende i store deler av vintersesongen.

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. Skare og is fungerer gjerne som vanndampsperre, og vi finner derfor oftere lag av kantkorn og begerkrystaller under slike skarelag. Også over skarelag vil lignende svake lag kunne dannes, blant som krystallvekst på overflaten i det fuktig snø fryser og skarelaget dannes.

Tynt snødekke fremmer oppbyggende omvandling, særlig tidlig i sesongen fordi temperaturgradienten ofte er større i et tynt snødekke hvis underliggende bakke i tillegg er 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 tele (latent varme er tatt vekk). Etter dette vil temperaturgradienten avta fordi kuldefronten går ned i jorda og krystallene er 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 den samme fysikken forklarer kantkornet snø som dannes der stein og topper av undulerende hauger gir mindre snødybde.

Der bjørkeskog vokser vil en forvente generelt mer løsmasser, høyere organisk innhold og større jordfuktighet sammenlignet med åpne områder med samme høyde og eksposisjon. Tilgangen på fuktighet og latent varme gir mindre eller seinere telenedtrengning i jorda, noe som opprettholder høy temperaturgradient i bunn av snødekket over lengere tid. Løsere snødekke både pga greiner, stammer og hulrom,

og løsere snødekke pga mindre vind, resulterer også i bedre vekstvilkår for kantkorn. 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 også dannes av perkolerende fritt vann fra overflaten, eller 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 kaldvær og nysnø, vil varmeledningsevnen til bjørk være større enn nysnøen, slik at damp vil kondenseres mot stammen. Stor tetthet av kalde hull (rundt stammer) vil kunne endre damptransporten i snødekket, og dermed også hvor is og krystaller vokser. Erfaringsmessig, som i Abisko, er det mye kantkornet snø i skogbeltet på ettervinteren.

Kantkornet snø ved bakken er ofte brukt som indikasjon på skredfare. Kantkornet snø ved bakken vil utover i sesongen kunne få en tettere pakning og struktur enn kantkorn som bygges opp inntil et islag. McClung & Schaerer (2006) viser også til at kantkornet snø ikke alltid har svake bindinger og at et "lim" ser ut til å holde krystallen sammen ved store temperaturgradienter. 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.

Rimkrystaller er i Canada beskrevet som svakt lag i 59 % av skredtilfellene mens tallet i Sveits er 39 % (Schweizer & Wiesinger, 2001). Ikke publisert, men forelest på SLF 2015, er tallet på 15 % for Sveits. Rimkrystaller vil i tett skog og mot enkeltstående trær ha dårligere vilkår for vekst og for å overleve på grunn av utstråling. I naturlig åpen skog med innlandsklima er rimkrystaller et vanlig fenomen og vanlig med minst en periode med kaldt og klart vær som gir stor rimdannelse på bakke og på trær. Rimkrystaller i skog kan være mer beskyttet enn i åpne områder fordi vind ofte ødelegger krystallene før de snør ned. Vi har likevel for lite grunnlag for å si noe om rimkrystaller og generell skredfare i skog sammenlignet med åpne områder.

3.2.2 Vind

Skog gir reduksjon av vindhastighet. Trær påvirker vindtransport og avsetning av snø. I tett granskog finner en sjelden snø med vindavsatt lagdeling. Skarelag fra mildvær kan være vanlig. I bjørkeskog vil også fokksnø være mindre utpreget, men i overgangssoner til åpent terreng finner en igjen de samme lagene. Test i Abisko (NGI 20130918-R-1) viser at bruddflater endrer egenskaper inn mot grupper av trær. Mindre åpne felter i skog gir imidlertid ofte mer snøakkumulering enn både åpne områder og inne i skog. Det samme kan sies om overgangsbeltet fra fjell til skog. Grunnen antas å være at vind presses over skog og i overgangsområder reduseres vindhastigheten mot bakken og snø avsettes. Det er i disse områdene vi oftest har størst skredfare, og mange av ulykkene skjer i skogbeltet.

3.2.3 Bruddforplantning

Bruddforplantingsevne avhenger av forekomst av svakt lag og tykkelse av dette laget, samt overliggende tyngde. Dersom bruddforplantingen ikke prograderer raskt, reduseres også størrelsen på skred eller utglidning (Gubler og Rychentik 1991). I Abisko (NGI 20130918) var nesten hele snødekket rekrystallisert med mer eller mindre liten fasthet. Trolig var også hele eller deler av tidligere skarelag rekrystallisert. Bruddforplantingen var i skogen vanskelig å få til i snødekke med tykke lag med kantkornet fordi energien i bruddet svekkes i massene.

Bruddutvikling i skog blir også hindret av stammer og busker med eventuell isdannelse som vil virke som hindringer eller vegger der bruddlaget bøyer av eller endrer egenskaper. Skarelag i skog i Abisko viste seg å være mindre kontinuerlig og splitte eller henge seg opp mot kvist og stammer. I åpent område med gjennomgående med svakt lag over bakkenivå (terrengruhet) og pålagt fokksnø med stor tetthet (tyngde), vil en få rask bruddforplantingen. Lavere snøtetthet og påheng på trær gir dårligere bruddforplantning.

3.2.4 Forankring av snødekket

Selve trestammene perforerer snødekket og virker forankrende, men det antas at stammene må ha en minste-diameter for å ha noen effekt, samt at antall trær per arealenhet må være stor nok. 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 foreslått minimumsdiameter i f.eks. (Meyer-Grass & Schneebeli, 1992) der denne er 16 cm. En minimumsdiameter er benyttet fordi treet (enkelt tre) 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 lier med snøsig. Vi kan derfor si at bjørka har en stamme med seighet og styrke som evner å tåle snøtrykk selv når den har betydelig lavere diameter enn 16 cm. 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 snøhøyde og trykk som opptrer mot stammen. I denne betraktningen antas en residual friksjon på bruddflata (gjerne svarende til ~26° grader), og trær (eller forbygninger) er da ment å ta opp krefter som overstiger den residuale friksjonen.

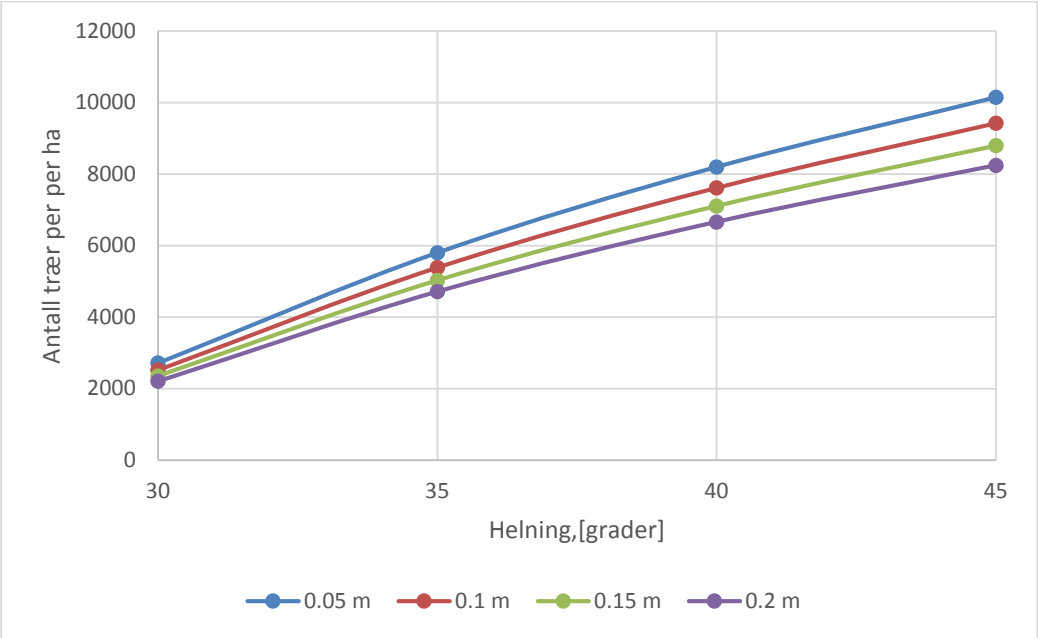
Breien og Høydal (2013) har ved telling av stammer med DBH> 5 cm funnet tetthet av bjørkeskog opp mot 10 ganger større enn tretetthet anbefalt av Meyer-Grass &

Schneebeli (1992). For lauvskog er kritisk tetthet satt til >450 trær per ha, og ideelt > 550 trær per ha, men altså med større 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.) Figur 1 fra Breien og Høydal (2013) viser beregnet tretetthet der krefter er beregnet fra Margert(2007) og stabilitet fra Salm (1978). Det er tørrsnøforhold som her vurderes der en har en viss minimum fasthet i snødekket, og vi antar at vi ikke har glidning i snødekket (Larsen, 1998). Antall trær per arealenhet som trengs for å stabilisere snødekket blir med dette noe mindre i Norge enn i Alpene. Tabell 2 viser resultat av beregningene for DBH 10 cm.

Tabell 2 Beregnet antall trær med DBH 10cm for ulike helninger

Terrenghelning	30°	35°	40°	45°
Antall trær	2500	5400	7600	9400

Dette kan synes å være store tall, men opp til iallfall 35 helning, er dette aktuelle tretettheter vi forventer å finne i bjørkeskog. For DBH 5 cm er verdiene kun litt lavere og en ser at de ikke er helt ulike grenseverdier fra Frankrike ovenfor.



Figur 1 Beregnet tretetthet for stabilisering av 1 m snødekke

I bjørkeskog er det trolig ikke selve forankringseffekten som isolert sett er avgjørende, men snarere snøegenskapene. Vi kan dermed også snu på problemstillingen og si at det ikke er antall trær som er avgjørende for stabilisering (antar ingen styrkebegrensing på trestammen), men snøegenskapene til flaket. Hard snø gir god forankring, mens middels hard snø (én finger hardhet) har lavere styrke og det trengs større tretetthet for tilsvarende stabiliserende effekt.

Viglietti, ett al (2009) går igjennom skred (både vår og vinterskred) i skog og tilhørende skogtettheter i og utenfor skredområdet. Her finner en betydelig lavere tettheter der det har gått skred sammenlignet med sideområdene. En annen viktig observasjon, er at busker og undervegetasjon synes å dominere i løsneområdene i halvparten av skredtilfellene. Dette kan skyldes raskere oppbyggende omvandling av snøen i områder med busker, eller at buskvegetasjon er mer dominerende der skogtettheten er lavere.

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. Rundt stammer vil en i enkelte situasjoner kunne ha hulrom på grunn av smelting eller vind, eller isdannelse som følge av kondensering av fuktig luft nedenfra eller ovenfra. Greiner og busker virker også inn på transportveier av vanndamp og isdannelse i snødekket.

3.3 Kronedekning

Med kronedekning menes arealet av trekronene projisert ned på bakkenivå i forhold til totalarealet som vurderes. Kronedekning angis som % av det vurdert arealet.

Kronedekning er en hovedfaktor for vurdering av skogens effekt på snøskred (Gubler and Rychetnik 1991, Bauerhansl et al. 2010). Dette skyldes at jo større og tettere krone er, jo mer påvirkes mikroklima og snødekkets oppbygning. Andre vesentlige faktorer er tretetthet, trediameter og trehøyde, men kronedekning er en funksjon også av disse faktorene. Vi mener derfor at vurdering av kronedekning i en bestand kan være et godt mål på skogens effekt på snøskredfaren. Indirekte vil også fysiske effekter som forankringseffekt komme med når kronedekning vurderes.

Kronedekning påvirker snødekket ved intersepsjon; dvs nedbør som ikke direkte når bakken, men akkumuleres i trekrona, og siden faller ned enten som klumper eller som smeltevann. Tetthet og lagdeling i snødekket i åpne områder vil skille seg fra kroneområdet der akkumulert snø er mindre og ofte med større tetthet på grunn av nedfall av snø ved mildvær.

Også på bjørk mellomlagres snøen på greiner før den faller eller blåser ned som et større eller mindre klumper. Dette kan bryte kontinuitet i svake lag og dermed virke stabiliserende. Figur 2 viser foto av bjørk med relativt stor andel av nysnø liggende igjen i "krona". Hvor mye som legger seg i krona både på barskog og på lauvtrær avhenger særlig av hvor mye det blåser og hvor kram snøen er under snøfallet. Snøen i Figur 2 vil raskt falle ned når det begynner å blåse.

Figur 2 Bjørkeskog med nysnø, Abisko. Foto Arctic Guides.

3.3.1 Kriterier for kronedekning.

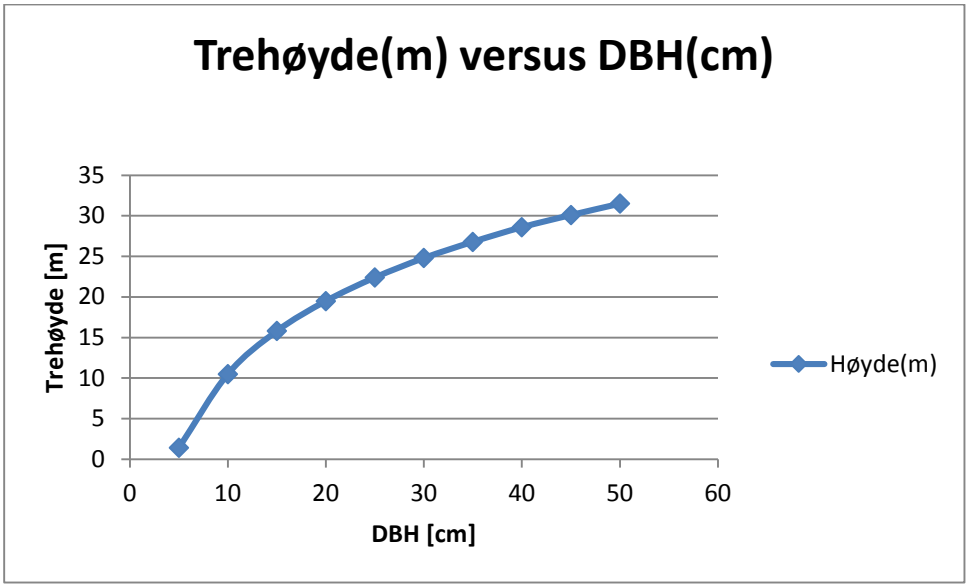
I den europeiske PROALP-studien av indikatorer for vernskog mot naturfarer konkluderer Bauerhansl et. al (2010) med at en kronedekning på 50-80 %, avhengig av skogtype, er tilstrekkelig for å hindre utløsning av store snøskred i Alpene. Tabell 3 viser ideelle og kritiske parameterverdier for vernskog fra Bauerhansl et al. (2010).

Tabell 3 Ideelle og kritiske verdier for vernskog mot snøskred fra PROALP, Bauerhansl et al. (2010), basert på Meyer-Grass og Schneebeli (1992). Decidous forest = løvskog, evergrenn coniferous forest = "ikke" nålefellende barskog, larch = lerk

Parameter	Forest type									
	Deciduous forest		Mixed forest: deciduous, coniferous trees		Evergreen coniferous forest		Mixed forest larch, stone pine		Larch forest	
	crit.	idea.	crit.	idea.	crit.	idea.	crit.	idea.	crit.	idea.
Crown cover (%)	<80	>80	<70	>70	<35	>50	<30	>50	<35	>50
Stem number per ha	>450	>550	<280	>300	<190	>210	>200	>280	>180	>230
Gap width (m)	>5		>5	none	>10	<5	>10	<5	>10	<10
Ground vegetation (%)	>50	<35	>50	<50						
Slope gradient(°)	>38		>42		>38		>35		>32	

3.3.2 Kronedekning gran og furu

Barskog har en tettere krone gjennom hele året enn det løvtrær har, og effektene av barskog er mer studert enn løvtrær. Det er god sammenheng mellom kronestørrelse, stammediameter og trehøyde hos bartrær. I en studie av vekst hos gran har Øyen (2007) observerte kronevidder og diametere i brysthøyde (DBH) som kan utrykkes som Kronevidde (m) = 0.0865x DBH(cm)+ 1,6(m). Figur 3 viser trehøyde(m) mot DBH (cm) for samme datasett. Figur 4 er hentet fra Korpela (2004) og viser plott av kronevidde versus DBH for furu, gran og bjørk. For furu og gran er funksjonen mellom trehøyde og DBH ganske lik. Variasjonen i kronevidde er større for furu enn for gran, men regresjonslinjene er likevel ganske like. Vi vil derfor foreslå å bruke samme kurve og kriterier for å vurdere bestander av gran og furu. Bjørk har en litt annen voksemåte og har som ung mindre kronediameter enn furu og gran. Senere i livet blir krona derimot relativt videre enn hos gran og furu.



Figur 3 Trehøyde og brysthøyde (DBH), gran. Data fra Øyen (2007).

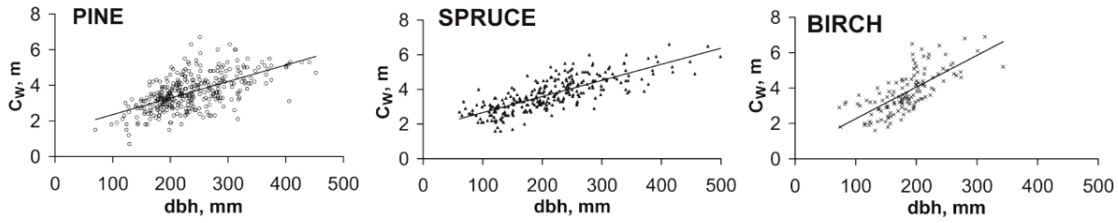
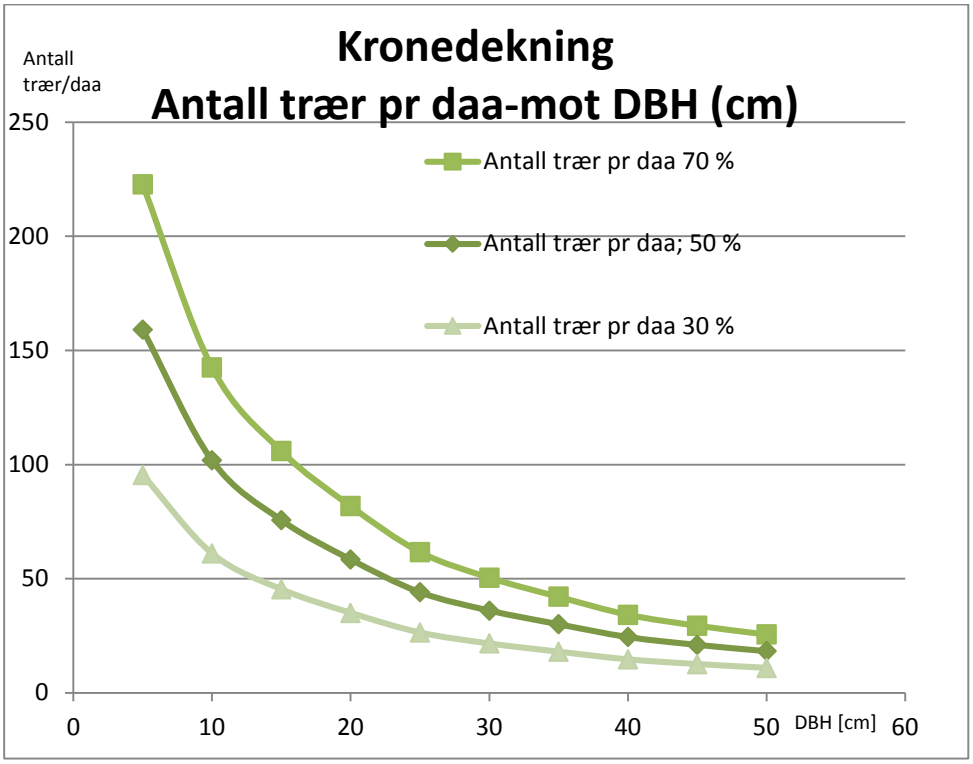


Fig. 34. Field-measured C_W plotted against field-measured dbh.

Figur 4 Eksempel på regresjoner mellom målt dbh og målt kronediameter for furu, gran og bjørk (Korpela, 2004). Det er spredning i dataene og en vil forvente at spredningen er ulik i ulike vekstregioner eller områder. Kurven for gran i figur 2 og 4 er ganske like.

Ved å beregne kronedekning for ulike trestørrelser kan en finne omtrentlig total kronedekning for ulike bestandstettheter. Et slikt resultat er vist i Figur 5. Figuren synliggjør at kronedekningen øker med økende DBH, og for et plantefelt øker dermed kronedekningen med bestandens alder så lenge ikke trærne påvirker hverandre ved selvtynning (dvs trærne står så tett at kvister dør, eller brekker av bevegelse mellom trærne). Dersom selvtynning foregår antas det at kronedekningen er større enn 80 % i eldre bestander (pers.kom. Ola Nygård, Jølster kommune). Bestander på Vestlandet tåler større tetthet for selvtynning enn på Østlandet. Unge, tette bestander av gran og furu kan raskt oppnå stor kronedekning. I det etterfølgende antas at kronedekningen også i norsk barskog bør være større enn 50 % for å ha effekt som vernskog.



Figur 5 Kronedekning som funksjon av tretetthet og DBH.

I praksis vil en i felt vurdere avstand mellom trær. Tabell 4 viser gjennomsnittlig treavstand beregnet fratreantall per ha.

Tabell 4 Antall tre per ha og gjennomsnittlig treavstand (m)

Treantall per ha	Gjennomsnittlig treavstand (m)
2500	2.0
2000	2.2
1500	2.6
1000	3.2
750	3.7
500	4.5

Snøskred forbindes ofte med fjellområder, men når snøforholdene ligger til rette for det, er bratte hogstfelt også potensielle løsneområder for snøskred. Figur 6 illustrerer dette. I slike områder vil en bruke de samme kriterier for skred som for åpne områder i fjellet.

Figur 6 Snøskred på hogstflate i Hof i Vestfold 22.februar 1977, 3 skiløpere omkom (foto NGI).

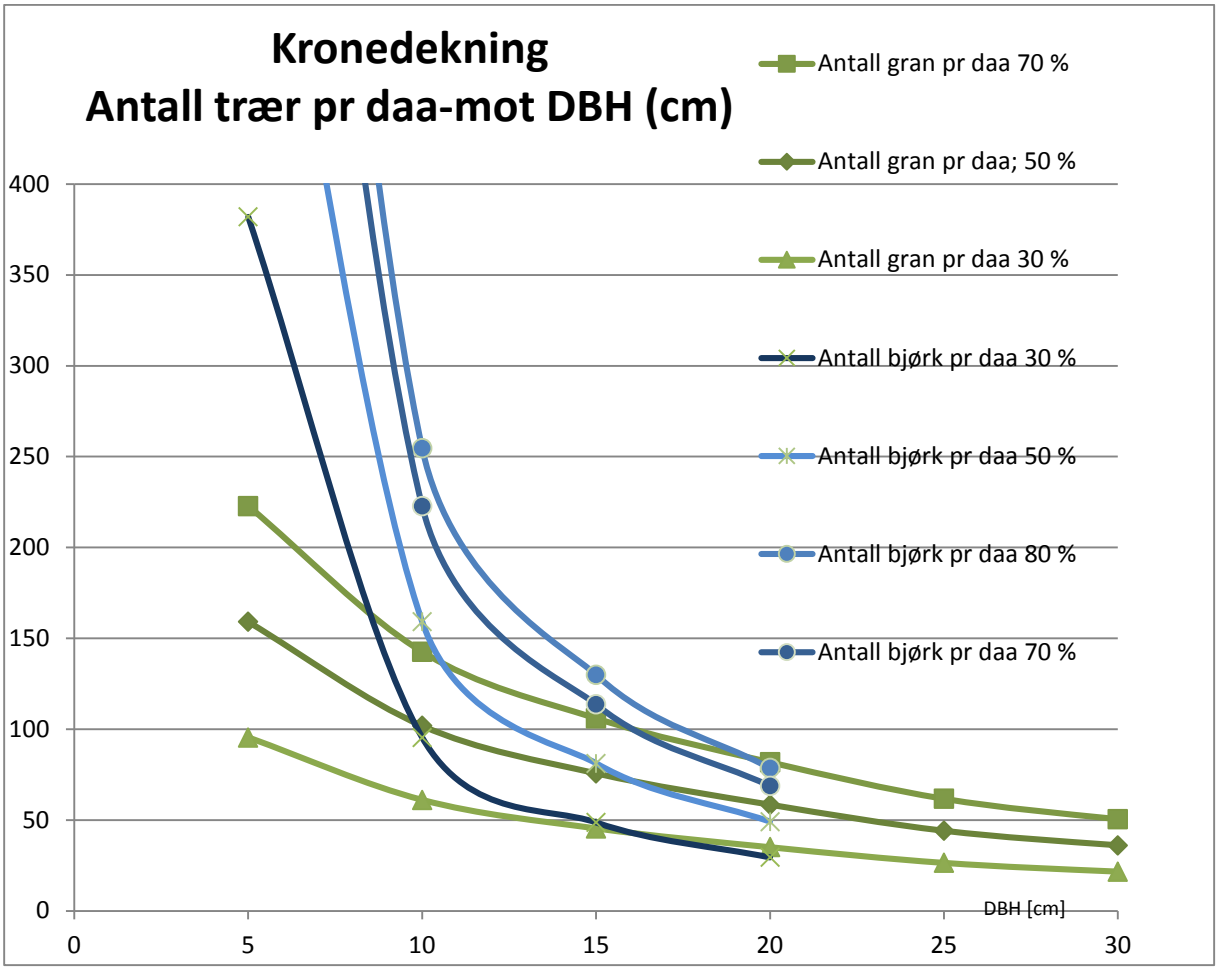
3.3.3 Kronedekning- tretetthet av bjørk

Bjørka mister løvet om høsten slik at krona er mer åpen enn hos bartrær vinterstid. Disse trærne har derfor ikke samme effekt på snødekket som barskog har. For å kompensere for åpnere krone om vinteren er de anbefalte verdiene i Alpene (PROALP) for løvtrær høyere (80 %) enn for bartrær (50 %). Løvskogen i Norge er ikke lik skogen Alpene. I Norge finnes det mye lavvokst bjørkeskog særlig opp mot høyfjellet og i utsatte strøk. Særlig ung bjørk og fjellbjørk bøyer seg lett og blir liggende delvis under snødekket. Den knekker heller ikke like lett som for eksempel gran ved skredhendelser.

Det finnes sammenhenger mellom DBH og kroneradius også for bjørk (Widlowski et al, 2003). Bjørk har som ung mindre kronedekke enn gran, men kronedekket øker relativt til høyden med årene sammenlignet med gran. NGI har testet ut beregnet kronedekning for bjørk, etter samme teknikk som for barskog og beregnet tretettheter for å oppnå 30, 50 og 80% kronedekning.

Figur 7sammenligner bjørk og gran og viser kurver for blant annet 50 og 80 % kronedekning. Vi ser at for å få 80 % kronedekning, slik foreslått kriterium er for lauvskog er i Alpene, trengs det i startårene mange trær pga bjørkas mindre krone. Av Figur 7 ser vi at en bestand på 250 trær per daa (gjennomsnittlig treavstand 2 m) må ha gjennomsnittlig DBH på 10 cm for å oppnå en kronedekning på 80 %. Basert på egne registreringer av bjørk av synes bestander på enn 200-250 trær per daa med

DBH 10 cm å være vanlig. En kan merke seg at 250 trær per da (2500 per ha), er den samme som er beregnet i Tabell 2 for trær med DBH 10 cm og 30° helning.



Figur 7 Utsnitt av kronedekningskurver for bjørk og gran. Ved DBH over 16-20 cm har bjørk og gran omtrent lik kronedekning.

Særlig i fjellet kan bjørka være tynnere, og den står ofte i grupper med noe avstand. Det er en oppfatning om at også lav bjørkeskog reduserer sannsynligheten for snøskred, og vi kan utfra antagelser om bruddutvilking, snøoppbygging og forankring i skog entydig si at sannsynlighet for utløsning av skred som blir store, er sterkt redusert i skog.

Nå er kronedekning kun en indirekte metode å måle stabiliserende effekt av snødekke på, og for bjørk bør vi heller bruke kun tretetthet eller treantall.

3.4 Observerte skred i og nær bjørkeskog

Per i dag kjenner vi ikke eksempler på store eller ekstreme naturlig utløste snøskred 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. 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 naturlig utløste skred som kan gjøre skade på infrastruktur og hus, dvs større skred som oppnår stor hastighet. Det kan derfor bli feil å direkte overføre et slikt kriterium til muligheten for å løse ut små skred som skiløper.

Figur 8 Skred i lauvskog utløst av skiløper, Åre. Foto: Mårten Johansson

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. 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 og gi klemskader.

3.5 Åpne felter

Naturlige skogbestander har åpne felter. I større, dvs. lange, åpne felter vil skred kunne løsne. Størrelsen på det åpne feltet avgjør om skredet kan komme opp i kritisk

hastighet slik at skredet blir ødeleggende og kan nå gjennom nedenforliggende skog. Særlig oppe ved tregrensa er dette er vesentlig poeng fordi skred som når kritisk størrelse ødelegger skog og kan i neste skredsesong gi enda større skred.

Lied (1979) angir at ved konstant terrenghelning vil et tørt flakskred ha nådd 90 % av maksimalhastigheten etter å ha tilbakelagt en strekning ca 40 ganger skredets bruddkanthøyde. Det vil si at ved 1 m bruddkant, vil skredmassene ha nådd tilnærmet topphastighet etter 40 m.

Tabell 5 viser kriterier for størrelse på åpne felter (i fallretning) avhengig av helning og type skog (Bauerhansl et al. 2010). Skredhastigheten stiger raskere i bratt terreng, derfor er kritisk størrelse på åpne områder ulik ved ulik terrenghelning. Innenfor anbefalt *lengde* (i fallretning) av åpne felter, kan en i prinsippet ha uendelig *bredde* på hogstfelt uten at dette påvirker skredfaren. Om det ønskes lengre (i fallretningen) hogstfelt anbefales det å gjøre de åpne feltene smale, dvs hogst i smale gater. TabellTabell 5 anbefaler bredde på lange felter (i fallretning) mindre enn 15 m i barskog, mindre enn 5 m i lauvskog.

Tabell 5 Kritisk størrelse på åpne felter, fra PROALP

Table 3-13: *NaiS: critical gap lengths and widths for avalanche initiation (Frehner et al. 2005)*

Minimal requirement for avalanche prevention			Ideal requirement for avalanche prevention		
Slope gradient	Gap length		Slope gradient	Gap length	
	Conifers	Mixed, deciduous		Conifers	Mixed, deciduous
≥ 30°	< 60 m		≥ 30°	< 50 m	
≥ 35°	< 50 m	< 50 m	≥ 35°	< 40 m	< 40 m
≥ 40°	< 40 m	< 40 m	≥ 40°	< 30 m	< 30 m
≥ 45°	< 30 m	< 30 m	≥ 45°	< 25 m	< 25 m
Coniferious stands: If gap length is bigger, gap width must be < 15 m Mixed and deciduous stands: If gap length is bigger, gap width must be < 5 m			Coniferious stands: If gap length is bigger, gap width must be < 15 m Mixed and deciduous stands: If gap length is bigger, gap width must be < 5 m		

Vi anbefaler å bruke den høyre delen av tabellen (ideal requirement for avalanche prevention) for skogbestander i Norge. Det vil si:

Tabell 6 Lengde av åpne felter

Helning	Lengde fallretning åpne felter
≥ 30°	< 50 m
≥ 35°	< 40 m
≥ 40°	< 30 m
≥ 45°	< 25 m

Vær oppmerksom på at et utløst snøskred akselererer, fortsetter og river med seg snø i lavere helning enn 30 grader. Lengden på hogstfeltet bør derfor vurderes i forhold til helning og egenskaper til areal på nedsiden av feltet.

3.6 Minste høyde/diameter

I likhet med støtteforbygninger mot snøskred, må trær ha en høyde større enn dybden av snødekket dersom de skal ha tilstrekkelig forankrende effekt. Trekroner smalner kraftig av på unge trær og trærne må ha overhøyde i forhold til snødekket. I tillegg blir kronedekningen mindre dersom mange av greinene er nedsnødd, slik at effekten på mikroklimaet og lagdelingen endres.

Støtteforbygninger og skog som snør ned kan i enkelte tilfeller gi større skredfare enn om sikringen ikke var tilstede. Grunnen er at mindre skred kan ha løst ut tidligere og skredforbygninger kan gi en glattere utflating og større potensielle løsneområde enn om skred hadde gått ned som flere mindre skred. For lav "dimensjonering" er derfor ikke heldig.

Frey (1978) foreslår at minimum trehøyde er 1,5 til 2 ganger den maksimale snøhøyden for at trærne skal ha tilstrekkelig forankringseffekt. Grana vokser svært fort når den er ung, og ved 5 m høyde er DBH 7 cm ifølge figur 2. For plantede bestander vil kronedekningen da ligge over 70 %, men deler av krona kan være nedsnødd. Nedsnødde trær kan påvirke skredfaren i både negativ og positiv retning. Nedsnødde greiner kan gjøre lagdelingen mindre sammenhengende, men hulrom rundt greinene gir også større mulighet for oppbyggende omvandling i kaldt vær. For at skogen skal ha tilstrekkelig reduserende effekt på skredfare foreslår vi å bruke 5 m høyde eller DBH lik 7 cm som minimum størrelse ved vurdering av granskog. På lav bonitet er dette et 10 år gammelt tre, mens det på god bonitet er 5 år gammelt. Vekstraten kan da være fra 0,3 – 0,5 m per år slik at skog i vekst på få år kan få tilfredsstillende kronedekning.

3.7 Oppsummering - kriterier for barskog som vernskog mot snøskred

For barskog foreslår vi å bruke en standard verdi på *50 % kronedekning* som kriterium for effektiv reduksjon av sannsynligheten for utløsning av store snøskred.

Skogen som vurderes bør ha en *minimum DBH på 12 cm og minimum høyde på 5 m. når 50 % kronedekning brukes*. Ved lavere trestørrelser ned mot DBH 8 cm bør kronedekningen økes til 70 %.

Når det gjelder størrelse på *åpne felter* foreslår vi at disse bør være *mindre enn 50 m lange* (i fallretningen) i områder omkring 30º, mindre enn 40 m lange ved helning på 35-40º og mindre enn 30 m lange ved helning 40-45º. Anlegges det lange gater i fallretning, skal bredden være mindre enn 15 m,

3.8 Oppsummering - kriterier for bjørkeskog som vernskog mot snøskred

For bjørkeskog anbefaler vi en tretetthet på 2500 per ha ved 30° helning økende til 5000 ved 35° helning ved gjennomsnittlig DBH på 10 cm. Nedre grense er samsvarende med verdier funnet både ved teoretiske forankringsbetraktninger, teoretisk 80% kronedekning og forslag til kriterier for tynnere lauvskog i Frankrike.

Figur 1 viser også tretettheter for brattere områder. Denne vekstkurven er muligens for bratt, men i området fra 40° og brattere, vil en forvente at løsmassedekningen er mindre og at terrengruheten også kan øke (skrenter). Trestørrelse og treantall må derfor vurderes også utfra terreng. Ikke sjelden finner en skog i gjennomsnittlig bratt terreng (f.eks. i landsdekkende terrengmodeller) der skogen i virkeligheten står på hyller omgitt av bratte skrenter. Per i dag har vi for lite registreringer av skog og skogkvalitet i terreng fra 40° grader og brattere til at vi vet at skog her kan stabilisere snøskred. Områder brattere enn 45° vet vi erfaringsmessig har mye bart fjell og tynt løsmassedekke. Skog vil her neppe ha kvalitet vurdert som vernskog.

I praktisk bruk vil en trolig finne grupper av trær som gir tilfredsstillende tetthet i lokalfelt, mens en per ha vil finn mange åpne felter slik at det er størrelsen på åpne felter som blir vesentlig om skogen kan anses som vernskog. Kriterier i Alpene er gitt per ha, men kanskje burde kriteriet formuleres annerledes fordi det er størrelsen på åpne områder som trolig er viktigst. Lengden på åpne felter er tilsvarende som for barskog, men bredden på lengre felt anbefales smalere i lauvskog enn granskog (Tabell 5).

Disse kriteriene sier ikke noe om fare for små skred inne i skog.

3.9 Praktisk vurdering av skog som vernskog i løsneområder snøskred

Faresonekartlegging for bebyggelse beregnes og vurderes for 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 eller i skredbanen. Skred i bjørkeskog er trolig oftest små skred, som regel 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 løsneområde før at skred utløst i skog utgjør en reell fare.

Når det gjelder tørre snøskred mot bebyggelse, mener vi at der hele det potensielle løsneområdet 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 skog. I forhold til åpne områder i skog vil en benytte de samme kriterier for størrelse på åpne områder som i annen skog. Åpne områder må ha lavere

fallhøyde enn at skred oppnår en kritisk hastighet som ødelegger nedenforliggende skog. For lengder av åpne områder, se Tabell 6.

Ofte kommer spørsmålet om skogens innvirkning på skredfaren opp i konkrete byggesaker, eller der det vurderes hogst ovenfor bebyggelse. Ved praktisk vurdering av om barskog i et område kan fungere som vernskog mot snøskred kan følgende punkter være til hjelp.

1) **Terreng: er det potensielle løsneområder i skogen?**
   - Er det områder brattere enn 30º?
   - Hvor store er områdene?
2) **Skog: har skogen effekt på skredfaren i dag?**
   - Hvilken skogtype er dominerende? Barskog? Lauvskog?
   - Hvor tett står skogen i det potensielle løsneområdet? Tett (dvs plantasje)– middels – spredt
   - Er det åpne områder i potensielle løsneområder?
     - ✓ Lengde i fallretning
   - Innenfor representative områder på 50 m^2 (sirkel 4 m radius): registrer
     - ✓ Antall trær med DBH>5 cm i klasser 5-10 cm, 10-15, 15-20, 20-30, 30-40 og > 40 cm
     - ✓ Ca trehøyde

Midlere DBH benyttes til å beregne teoretisk kronedekning. Basert på kronedekning vurderes skogen til å tilfredsstille kravet til vernskog eller ikke.

Det viser seg at de fleste planta granfelt i Norge har en tetthet og et kronedekke som langt overskrider de kritiske verdiene for vernskog. Vi antar derfor at granplantasjer av både norsk gran og av sitkagran oppfyller kravene for skog som verner mot snøskred og at hogst derfor vil øke skredfaren.

4 Vernskog mot steinsprang

Skog kan i mange tilfeller redusere sannsynligheten for at steinsprang når helt ned til bebyggelse eller vei. Dette skjer ved at enkeltblokker kolliderer med trestammer og dermed taper energi pga rotering av rotsystemet, deformering av stammen og lokal penetrering i stammen (Foetzki et al 2004, Brauner et al 2005). Tap av energi fører til demping av både spranghøyder og fart og gir kortere utløp av blokkene. I noen tilfeller er blokkene imidlertid så store at de valser uhindret gjennom skogen. Figur 9 viser et eksempel på dette.

Det har vært foretatt mange forsøk med steinsprang i skog (blant andre Couvreur (1982), Jahn (1988), Zinggeler (1990), Gsteiger (1993), Cattiau et al (1995), Doche (1997), Perret et al (2004), and Stokes et al (2005), Dorren et al (2005). Det viser seg at trærne bidrar til at blokkene skifter retning på sin veg nedover skogen. Dette fører til at det blir større sannsynlighet for treff, men også at spredningen av blokkene blir større (10 % spredningen på hver side av fallinjen (Jahn 1988; Dorren et al 2005).

For å kunne vurdere hvorvidt skogen har effekt på steinsprangutløp i farevurderinger har vi forsøkt å sette opp kriterier for hva som skal vurderes, inklusivt tetthet og størrelse på skog og blokker samt terrenget for øvrig.

Figur 9 Steinsprang ved Mundheim, Kvam. Den største blokka var 14 meter i diameter (200 - 250 m^3) og kom helt ned til veien. Blokka forserte hogstmoden granskog.

Skog virker både i drivende og bremsende retning når det gjelder steinsprang. Trær i løsneområdet for steinsprang virker i stor grad drivende i løsneprosessen grunnet røtter som trenger inn i sprekker. Røtter kan også i noen tilfeller bevege seg når høye trær svaier (Gerber, 1998). Rotvelt er en vanlig årsak til at blokker blir revet opp av underlaget og løsner. Røtter vil likevel i en del tilfeller også kunne forankre løse blokker. Disse faktorene må vurderes i hvert enkelt tilfelle.

I en steinsprangbane vil trær, både liggende og stående trær, virke som barrierer for steinsprangblokker og bremse blokkene avhengig av blokkenes og trestammenes størrelse, samt skogens tetthet. Terrengets helning og steinsprangblokkas energi er også av svært stor betydning for om skogen kan bremse blokka effektivt.

Hovedfaktorer for vurdering av skogens bremseffekt er:

- Blokkstørrelse (utfallshøyde, helning) → blokkenergi
- trediameter
- tetthet av trær per arealenhet
- lengde av område dekket med skog sett i fallretningen

4.1 Blokkstørrelse og energi

I litteraturen ser det ut til å være mindre variasjon innen kvantitative kriterier når det gjelder vernskog mot steinsprang enn hva det er for snøskred. Diskusjonen dreier seg mest om øvre grense på blokker som kan tenkes å bremses eller stoppes av skog. Det er vanlig å anta at blokker opp til 2 m^3 kan stoppes av skog, mens det i følge Dorren et al (2005) er eksempler fra Alpene hvor blokker opp til 10 m^3 er blitt stanset av skog.

Blokkas energi avhenger både av massen og farten. Rickli et al (2004) har estimert at øvre grense for blokker som kan stanse pga skog er en masse på ca 10 000 kg (dvs ca 4 m^3) og en hastighet på ca 20 m/s. Blokkas utfallshøyde og helningen i steinsprangbanen er viktig for videre utløp og dempning. Volkwein et al (2011) omtaler blokker >5 m^3 som blokker for store til effektivt å kunne dempes av skog.

I denne rapporten bruker vi en øvre størrelse på blokker på omkring 2 m^3 for at skogen skal ha noen betydning. Dette er basert på vurdering av energien til blokker og den skogen vi har i Norge. Skogen i Norge kan ha vesentlig mindre dimensjoner enn i Alpene, og vi antar derfor at en skogvurdering i Norge vil konkludere med vernskog som kan dempe blokker av vesentlig mindre størrelse enn hva som teoretisk er mulig i Alpene.

4.2 Trediameter

Jo større steinsprangblokkene er, jo større må DBH være for effektivt å kunne bremse blokkene. Ifølge Schwitter (1998) og Dorren et al (2005) bør DBH være omtrent en tredjedel av blokkdiameteren. Minimum DBH avhenger likevel også av hvilken art trærne tilhører. Løvtrær er generelt sterkere enn bartrær (Dorren et al 2005, Stokes et al 2005), mens gråor er et eksempel på en art som kan ha lavere styrke.

Bundesamt für Umwelt (BAFU) i Sveits har gitt ut et dokument (NaiS) som blant annet også beskriver minimum diameter på trestammer som skal til for effektivt å bremse blokker av ulike størrelser (Frehner et al 2007). Tabellen nedenfor er hentet fra NaiS appendiks og indikerer at for å kunne bremse blokker på 0,2-5.0 m^3 (over 60 cm blokkdiameter, > 275 kg) må skogen ha middel DBH omkring 35 cm, og for små blokker opp til 0,05 m^3 (opp til 40 cm blokkdiameter, < 75 kg) må den ha DBH omkring 20 cm. Schwitter (1998) og Dorren et al (2005) derimot, konkluderer med at DBH bør være omtrent en tredjedel av blokkdiameteren for å være effektiv som vernskog.

Tabell 7 Steinstørrelser og antatt effektive tre diametre (fra NaiS; Frehner et al 2007)

Rock volume (m^3)	Rock diameter (cm)	Assumed effective minimum diameter
up to 0.05 m^3	up to about 40 cm	up to 20 cm dbh
0.05 m^3 up to 0.20 m^3	about 40 cm to 60 cm	20–35 cm dbh
0.20 m^3 up to 5.00 m^3	over about 60 cm	over 35 cm dbh

4.3 Tetthet

Tetthet på stammene er en viktig parameter, og jo høyere tetthet, jo mer effektiv er skogen (Omura & Marumo 1988, Cattiau et al 1995). Særlig når det gjelder små steinsprangblokker er skogens tetthet viktig (Jahn 1988, Dorren et al 2005, Wehrli et al 2006). Dorren et al (2005) mener også å kunne påvise at antall treff mellom trær og stein er viktigere enn DBH relativt til blokkstørrelsen. Etter flere hyppige treff reduseres blokkas energi og det skal da gradvis mindre til for å stoppe blokka. Små blokker har lavere treffsannsynlighet enn store blokker, men har mindre kinetisk energi enn store blokker. Tette bestander gjør at sannsynligheten for treff øker.

Når det gjelder langtidsvirkning av vernskog derimot er en skog som fornyer seg selv og har trær i alle årsklasser det beste (Dorren et al 2004, O'Hara 2006).

4.3.1 Grunnareal

Det europeiske ProAlp-prosjektet (Bauerhansl et. al 2010) har satt opp kriterier for verneeffekt av skog for steinsprang i grov og fin skala. I grov skala evaluering av skogen brukes "basal area". Dette har vi oversatt med grunnareal, og er arealsummen av tverrsnittet på trær i brysthøyde per ha (formel 1).

Formel 1:

$$Grunnareal = antall\ trær \cdot \pi \cdot (DBH/2)^2$$

Grunnareal kombinerer altså gjennomsnittlig DBH og bestandens tetthet, men det er viktig å være klar over begrensningene i dette kriteriet. Et kratt av tynne greiner vil teoretisk kunne gi samme grunnareal som en relativ åpen skog av grove trær. Det må derfor settes opp minimumsverdier for DBH for ulike blokkstørrelser og minimumsverdier for tetthet. Å bruke grunnareal alene synes også noe utilstrekkelig i praktiske vurderinger fordi dette kriteriet mangler skogens lengde i fallretningen, samt terrenghelning. De kriteriene som her er gitt, er ment benyttet i områder nedenfor utløsningsområdet før en kommer ned i naturlig avsetningsområde. Det er allmenn oppfatning at steinblokker kan starte å rulle i terreng ned til 30° helning.

I Bauerhansl et. al (2010) kreves et grunnareal (basal area) på minst 25 m^2/ha for at skogen skal ha ”Sufficient protective effect”, 15-25 m^2/ha som ”Very little protectiv effect” og lavere enn 15 m^2/ha som ”Not sufficient protective effect”. Volkwein et al (2011) benytter 25 m^2/ha som tilstrekkelig og 10 m^2/ha som grense for ikke tilstrekkelig. Dette antar vi er reint kvalitativt vurdert ut fra erfaring, uten at effekten er satt i relasjon til akseptabel sannsynlighet for skred eller risiko.

Plantede bestander av gran har sjelden en større tetthet enn 2500 trær/ha. Naturlig forynget skog vil være mer åpen. Om vi regner om kriteriet på grunnareal>25 m^2 til trehøyde og DBH finner vi at for en plantet granbestand (~2500 trær/ha) må skogen ha minimum DBH ~11 cm for å oppnå grunnareal på 25 m^2/ha, dvs en trehøyde på rundt 12 m for gran (Øyen, 2007). Tabell 8 viser nødvendige antall trær med ulik midlere diameter som skal til for å oppnå et grunnareal på 25 m^2/ha.

Tabell 8 Antall trær pr/haa nødvendig for å oppnå grunnareal 25 m^2/ha med ulike DBH

DBH (cm)	Trær / ha
12.0	2210
15.0	1415
18.0	982
25.0	509
30.0	354
40.0	199
50.0	127

For finskala vurderinger er det satt opp terskelverdier for antall trær/ha og trærnes middel-DBH (Bauerhansl et. al 2010). Tabell 9 viser terskelverdier for antall trær/ha og DBH for ” Sufficient protective effect” mot små, middels og store steiner, hentet fra ProAlp-studien. I referansen er det ikke angitt masse for liten, middels og stor stein. Vi har lagt til en kolonne der vi har beregnet hvilket minimum grunnareal disse verdiene tilsvarer. Hvis vi sammenligner disse verdiene med ”tynningsslipset”, Figur 26 og verdier i Tabell 10, ser vi at dette er relativt lave krav sammenlignet med hva en finner i normale skogbestander av gran. I slike bestander vil det være DBH som er begrensende faktor, ikke tretetthet. Vi ser av Tabell 9 at det kreves større trær og

et stort grunnareal for at store steiner skal bremses effektivt. I praksis vil derfor dimensjonerende blokkstørrelse ha stor betydning.

Tabell 9 Verdier i tabell 3.19, ProAlp (Bauerhansl et. al 2010).) omregnet til grunnareal/ha (m^2)

Blokkstr	**Trær/ha**	**DBH**	***Grunn-areal /ha***	**Trær/ha**	**DBH**	***Grunnareal /ha***
Small	>600	>12	*>7*	>400	>12	*>5*
Medium	>400	>24	*>18*	>300	>24	*>14*
Large	>200	>36	*>20*	>150	>36	*>15*
Beskyttende effekt	Tilstrekkelig			Lite effektiv		

Tabell 10 Beregnet grunnareal/ha for ulik DBH og antall trær. Grå felter illustrerer bestander som normalt vil være klar for tynning eller slutthogst i granskog (vurdert i forhold til "tynningsslips")

Høyde (m)	**DBH (cm)**	**Grunn-areal/tre**	**Grunnareal/ha**					
			2500 trær/ha	**2000**	**1500**	**1200**	**1000**	**700**
5	6.6	0.003	8	7	5	4	3	2
8	8.3	0.005	13	11	8	6	5	4
12.9	12.0	0.011	28	23	17	14	11	8
18	17.8	0.025	62	50	37	30	25	17
19.5	20.0	0.031	78	63	47	38	31	22
21.9	24.0	0.045	113	90	68	54	45	32
24	28.2	0.062	156	125	94	75	62	44
30	44.6	0.157	391	313	235	188	157	110
35	65.5	0.337	842	673	505	404	337	236

4.4 Lengde av område dekket med skog målt i fallretning

Blokka taper noe energi hver gang den treffer et tre. Jo flere trær den treffer, jo større er sannsynligheten for at blokka stanser. Det er dermed større sannsynlighet for at blokka stanser dersom 300 m av steinsprangblokkas bane er dekket av skog enn dersom skogen bare dekker 50 m av steinsprangbanen.

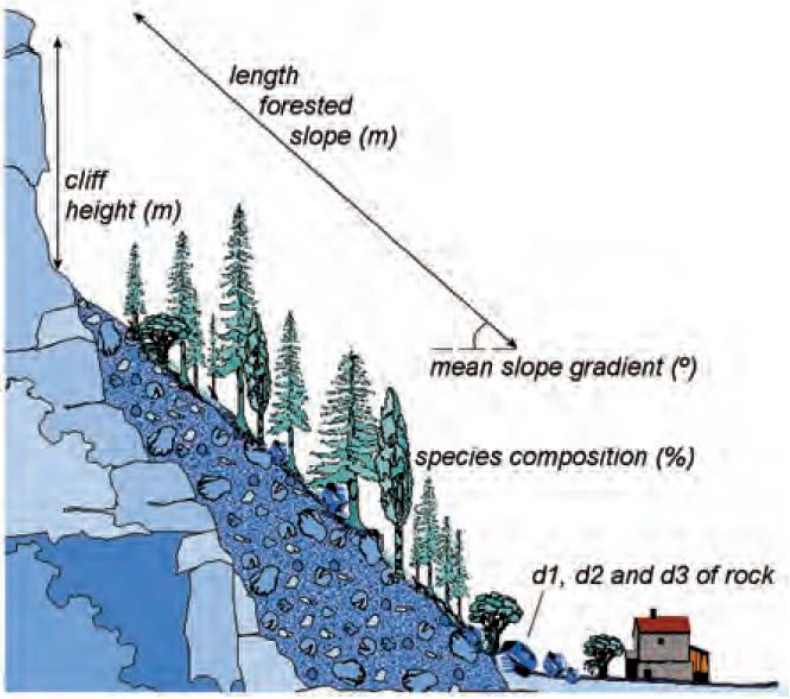
Også for steinsprang er åpne partier sett i fallretningen en viktig faktor. Gsteiger(1993) beregnet at ei steinblokk når sin maksimale hastighet etter 40 m og har da en hastighet som ødelegger skog. Det vil si at for å få demping, må kollisjonsavstanden være kortere enn 40 m. Utrykk for sannsynlig midlere avstand mellom trekollisjoner er foreslått av Gsteiger (1993) som Mean Tree Free Diameter (MTFD) og avhenger av tretetthet, diameter på steinblokk og trediameter (DBH).

Dorren et al (2005) har modifisert MTFD uttrykket fordi felt-tester viser noe kortere gjennomsnittlig trefflengde. MTFD sier ikke noe om styrken til ulike treslag.

Dette vil si at ei blokk bør treffe et tre oftere enn hver 40. meter. Vi tenker oss 3 treff per 100 m skoglengde som gunstig. 100 m anses som minimum skoglengde som vurderes som vernskog for steinsprang. En kan likevel tenke seg at et smalere skogsbelte (kortere i fallretning) kan ha stor bremsende effekt dersom skogen er systematisk plantet i et sjakkbrettmønster som gir stor treffprosent.

4.5 Bruk av beregningsprogrammer

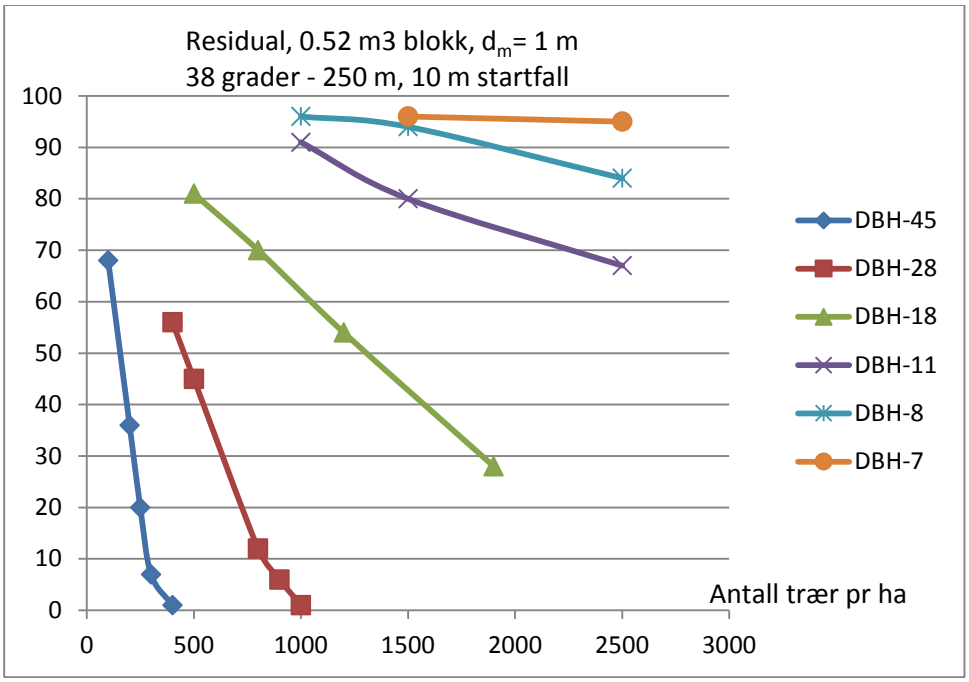
I beregningsprogrammet Rockfor^{net} (http://www.ecorisq.org/en/rockfornet.php; Berger and Dorren 2007), utviklet av EcorisQ, er blokkegenskaper, utfallshøyde, helning, avstand til skog, lengde skog samt skogegenskaper satt i system slik at det skal kunne beregnes bremseeffekt ved ulik skogtetthet, steinstørrelser og skråningsgeometrier. Programmet er brukervennlig også for mennesker uten modelleringsbakgrunn og beregner restverdi for hvor stor andel av rullende/hoppende stein som går forbi et gitt punkt i en skråning. Det empiriske grunnlaget til modellen er fremkommet ved forsøk i felt der et stort antall steinblokker er sluppet gjennom en skog i bratt terreng og ur i Vaujany, Frankrike. Figur 12 viser prinsipielle faktorer i disse beregningene. Effekt av skog i Rockyfor3D er implementert med samme type funksjoner, men i dette programmet kan sprangforløpet simuleres i en terrengmodell og vises på et kart. I dette kapittelet bruker vi Rockfor^{net} i noen eksempler.



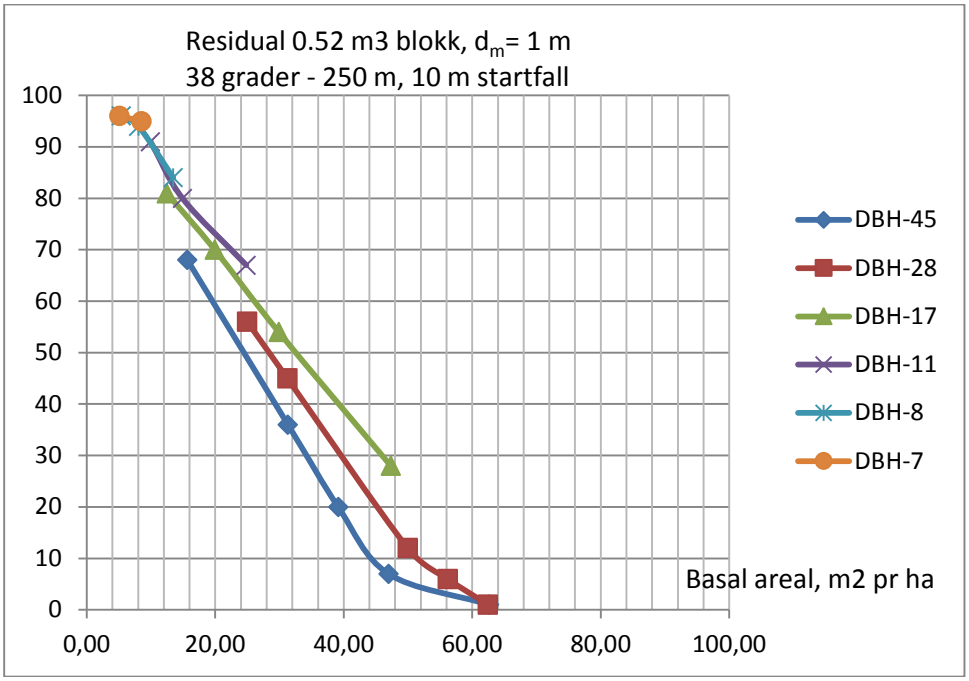
Figur 10 Inngangsparametre for beregninger i Rockfor^{net}.

4.5.1 DBH og grunnareal

Figur 11 viser sannsynlig prosentandel av blokker som ikke stoppes av skog. I eksempelet er det brukt stein med 1 m midlere diameter (masse ca 1300 kg, volum ca 0,5 m^3) som slippes fra en 10 m høy skrent. Skråningen nedenfor er 38°, 250 m lang, og er dekket av skog. I de ulike kjøringene har vi brukt ulike dimensjoner og tettheter av gran. Figur 13 viser at for denne helningen og denne steinstørrelsen har de tynneste trestammene liten effekt på reduksjon av utløpslengde. Det samme ser vi i Figur 12. Her er de samme kurvene som i Figur 13 benyttet, men antall trær per ha er omregnet til grunnareal per ha. Av figurene ser vi at dempingseffekten er en omtrent lineær funksjon av både DBH og grunnareal. Høyere trettetthet enn 2500/ha er ikke benyttet, noe som svarer til en treavstand lik 2 m. De tynne trærne får ikke høyt nok grunnareal til å virke effektivt, og de er dessuten så tynne at de vil knekke ved treff. Som tidligere nevnt bør DBH være omtrent en tredjedel av blokkdiameteren for å ha god effekt. I dette eksempelet tilsvarer det omtrent 30 cm DBH. Programmet beregner at en DBH på 28 cm og 25 m^2 grunnareal over 250 m lengde stanser ca 50 % av blokkene med midlere diameter 1 m. Videre ser en at større trær har større demningseffekt enn små, selv om grunnarealet er likt.



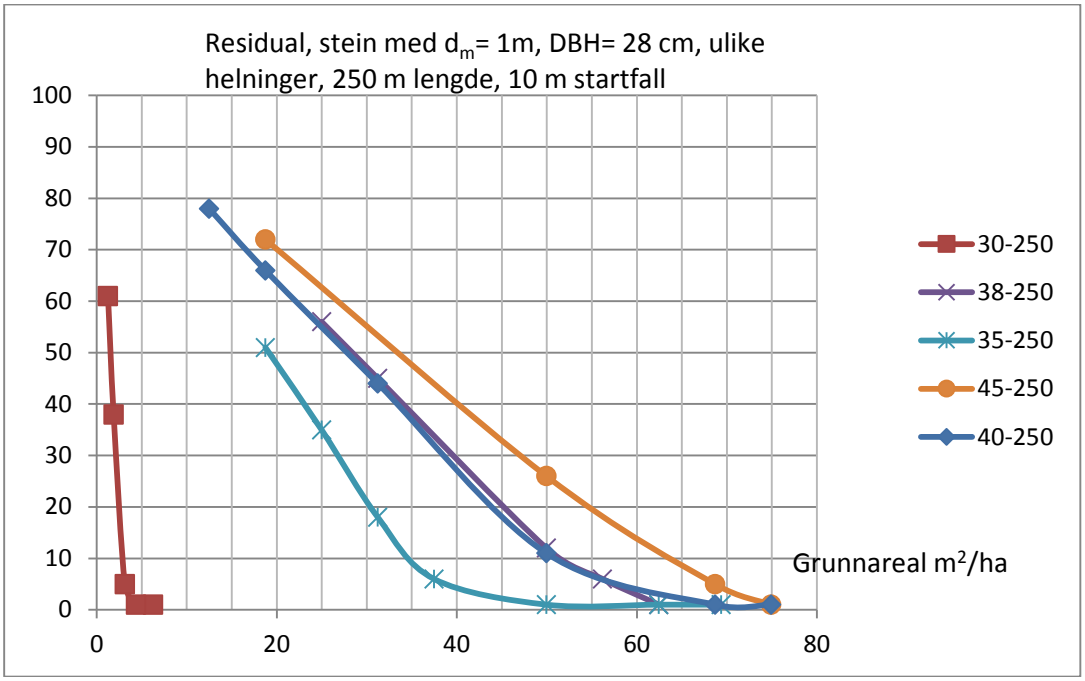
Figur 11 Prosentvis andel blokker som når gjennom skogen (som ikke stanses) ved ulike trettheter og tredimensjoner



Figur 12 Prosentvis andel blokker som når gjennom skogen ved ulikt grunnareal og ulik DBH

4.5.2 Terrenghelning

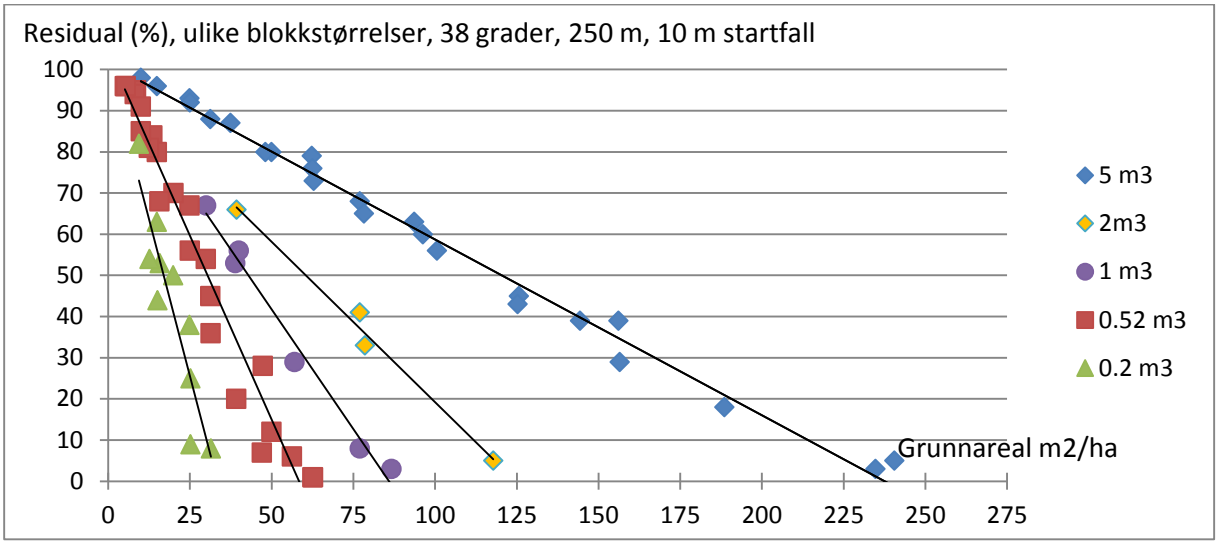
Jo brattere skråningen er, jo større energi vil blokka trolig få. Når blokkenergien øker må DBH være større, tettheten større eller lengden på skogen større for at skogen skal være effektiv som vernskog. Større antall treff øker sannsynligheten for at blokka stanser. Figur 13 viser samme type beregning med gran av DBH 28 cm i ulike terrenghelninger. Figuren tilsier at i bratte helninger må tettheten av skogen være større for å få samme dempningseffekt enn i slakere skråninger. Karakteristiske 90 % reduksjonsverdier for 35, 40 og 45 grader helning er henholdsvis 35, 50 og 65 m^2 grunnareal, mens 50 % reduksjonsverdier er 20, 28 og 33 m^2 grunnareal. For brattere områder enn 45 grader, anser vi ikke skog til å ha tilstrekkelig bremsende effekt.



Figur 13 Prosentvis andel blokker som når gjennom skogen ved DBH 28 cm i terreng med ulike helninger: 30º, 35º, 38º, 40º og 45º.

4.5.3 Blokkstørrelse

Som nevnt i tidligere kapitler kreves det større DBH for å stanse større blokker. Trolig er det en øvre grense for hvor store blokker som kan stanses av skog på rundt 5 m^3. Vi har testet om virkning av blokkstørrelse er implementert i Rockfor^{net}, og har brukt blokker på 5 m^3 (~2 m diameter). Figur 16 viser resultatet. Vi ser at det trengs svært høyt grunnareal for å få en dempningseffekt for store blokker. For en dempningseffekt på 50 % for 5 m^3 blokker kreves et grunnareal på 120 m^2/ha i 250 m lengde i 38 graders helning. For å komme opp i så stort grunnareal, må skogen ha midlere diameter i brysthøyde på nærmere 40 cm og tetthet på minst 950 trær per ha. Dette er skog som er hogstmoden eller det er behov for tynning.



Figur 14 Rockfor^net^ og sammenheng mellom grunnareal og restutløp for steinblokker av ulik størrelse.

4.6 Oppsummering – kriterier for vernskog mot steinsprang

For steinsprang er det sannsynligheten for at blokkene treffer stammer og sannsynligheten for at stammene er så grove at de tar opp en stor del av energien som er avgjørende for effekten av vernskog. Vernskogeffekten er altså en funksjon av DBH, tretetthet (”grunnareal”) og blokkenergi. Jo brattere skråningen er, jo større energi vil blokka trolig få. Når blokkenergien øker må DBH være større, og generelt høyere må tretettheten eller lengden på skogen være for at skogen skal være effektiv som vernskog. Større antall treff øker sannsynligheten for at blokka stanser. *Vernskog bør være minst 100 m i fallretning*.

Det finnes nedre grenser for *DBH* (diameter i brysthøyde) for at trærne skal være effektive mot blokker av ulike størrelser. En tommelfingerregel tilsier at midlere DBH i en skogbestand bør være minst en tredjedel av blokkdiameteren for at skogen skal være effektiv som vernskog mot steinsprang. DBH= 12 cm vurderes som nedre grense for de trær som skal vurderes i en steinsprangvurdering.

Grovt sett kan man bruke *grunnareal* som mål på om skogen kan ha effekt. For vurdering av mindre blokker, < 0,5 m^3, bør skogen ha et grunnareal på 15 m^2/ha, (minimum tetthet på 600 trær/ha og DBH rundt 12-20 cm). For store steinsprangblokker øker både grunnareal og minimum DBH. Blokker av medium størrelse (0.05-0.2 m^3) trenger grunnareal på over 15 m^2, med DBH 20-35 cm og tettet 400/ha. Store blokker over 0.2 m^3 trenger grunnareal over 25 m^2/ha, DBH over 35 cm og tetthet 200/ha. Tabell 11 viser en oversikt over slike dimensjoner.

Maksimum størrelse på blokker som kan stanses i skog varierer i litteraturen fra 2 – 5 m^3. *Hvis dimensjonerende blokk er større enn 2 m^3, må det gjøres en grundig vurdering av skogtilstanden.*

Tabell 11 Minimumstall for dimensjoner på vernskog rel. til blokkstørrelse

Blokkstørrelse (m^3)	DBH (cm)	Tetthet (trær/ha)	Grunnareal (m^2/ha)
< 0.05	12-20	>600	>15
0.05-0.2	20-35	>400	>15
>0.2	>35	>200	>25
1	40	>350	>40
<2	50	>300	>60
>2	Særskilt vurdering		
>5	Ingen effekt		

Dersom skogen etter disse kriteriene vurderes til å kunne fungere som vernskog foreslås bruk av Rockfor^{net}, Rockyfor3D eller lignende program for å beregne sannsynlig dempingseffekt. Skog vil aldri kunne gi 100 % vern mot steinsprang, men kan redusere årlig sannsynlighet for at steinsprang skal nå ned til objektet som ligger nedenfor skogen. Slike beregningsprogrammer anslår sannsynlig prosentvis dempning av steinsprang, dvs hvor stor andel av steinsprang som stopper pga skogen og hvor stor del som fortsetter gjennom skogen. Det er viktig å merke seg at programmet ikke gir et fasitsvar og skal bare brukes i kombinasjon med andre relevante vurderinger. Om beregningsprogrammet anslår dempingseffekten til å være 50 % betyr dette at det anslås at 50 % av utfallene vil stanses i skogen. Slik skog er å anse som vernskog. Dersom effekten antas å være mellom 20 og 50 % foreslår vi å kalle effekten vesentlig. I vurdering av en bestand må en også ta i betraktning hva som er naturlige variasjoner i skogen over tid og skogens vekstsyklus.

Vi gjør oppmerksom på at hogst i bratt terreng ofte gir økt fare for utfall i anleggsperioden grunnet arbeid med fyllinger. Skogsveier er i seg selv hindringer for steinsprang som demper energien til skredblokker.

4.7 Praktisk vurdering av skog som vernskog mot steinsprang

Som regel kommer spørsmålet om effekten av skog opp i konkrete byggesaker eller der det vurderes hogst ovenfor bebyggelse. I mange tilfeller er spørsmålet hvordan skredfaren vil endres dersom skogen fjernes, men kriteriene kan også brukes i skredfarevurderinger hvor det ikke planlegges hogst.

I første rekke må utfallssannsynlighet vurderes. I en skredfarevurdering er observerte steinsprangblokker nedover i skråningen et viktig grunnlag når faregrenser skal vurderes. En må da være klar over at observerte steinsprangblokker kan være påvirket av skogen som står i fjellsida og hvor lenge den har stått der. I dette dokumentet kommer vi ikke inn på vurdering av utfallssannsynlighet eller terrengets helning eller ruhet som dempende effekt på steinsprang. Dette må vurderes separat.

Potensielle løsneområder og utløpsområder for steinsprang finnes grovt på aktsomhetskartene på http://skredatlas.nve.no. Mindre skrenter og løse blokker på overflaten kommer ikke med på disse kartene. Der det ligger veg eller bebyggelse

innenfor disse aktsomhetsområdene bør skredfaren vurderes før hogst, og skogens eventuelle dempingseffekt beregnes. Grov informasjon om skog (type, utbredelse og alder) finnes på nettstedet til Norsk Institutt for skog og landskap http://kilden.skogoglandskap.no. For hogstmoden skog vil det oftest foreligge gode felttakseringer av volum og dimensjoner, men det vil ofte være nødvendig å gjennomføre befaring for å samle inn tilstrekkelig informasjon om skogen.
Ved praktisk vurdering av om skogen i et område kan fungere som vernskog mot steinsprang kan følgende punkter være til hjelp:

1) Er det potensielle kildeområder for steinsprang i eller ovenfor skogen?
   Vurder sannsynlighet for utfall, høyde på skrenter, og evt avstand ned til skog
2) Vurder dimensjonerende blokkstørrelse
3) Vurder om skogen har effekt på steinsprang
   Innenfor representative områder på 50 m^2 (sirkel 4 m radius): registrer
   - ✓ Tetthet per dimensjonsklasser:
     12-24 cm, 24-36 cm, >36 cm
   - ✓ Ca trehøyde
   - ✓ Type – andel barskog
   - ✓ Åpne områder i skogen – lengde i fallretning
   - ✓ Helning
   - ✓ Lengde av skog

   Anslå sannsynlig dempingseffekt med beregningsprogram som Rockfor^{net} eller Rockyfor3D

Hvilke dimensjonsklasser som har betydning må vurderes i forhold til dimensjonerende steinstørrelse.

5 Skogens påvirkning på jord- og flomskred

Erfaringer viser at aktiviteten av jordskred og flomskred er større på åpne hogstflater enn i områder dekket med skog. Hogst reduserer stabiliteten av løsmassedekket i kildeområdene, men kan også føre til at skred får lengre utløp fordi skredmassene i mindre grad blir bremset opp nedover i skredbanen. Det observeres gjerne mindre skred eller utglidninger i skog, men de er mindre synlige og mindre i omfang enn på åpne flater. Figur 15viser eksempel der skogen er ryddet under en elektrisitetslinje. Pilene markerer jordskredutløsing.

Figur 15 Utløsning av jordskred etter at skogen er fjernet ved etablering av ny kraftlinje i Vågå kommune (foto: Øivind Olsen, Statnett)

Studier i British Colombia (Swanston 1976, Rood 1984, Sidle et al. 1985) viser at hyppigheten av jordskred og flomskred øker fra 2 til 41 ganger etter flatehogst. Dette er studier av hogstfelt i høye og bratte skråninger som muligens ikke er sammenlignbare med forholdene i Norge, men tendensen er registrert også i Norge ved intense nedbørhendelser. Hogstprosessen i seg selv gir ikke skred, men arealene er mer utsatt for skred når ekstreme nedbørepisoder inntreffer. Etablering av skogsveger i forbindelse med skogsdriften vil også kunne føre til redusert skråningsstabilitet grunnet vann på avveie. Det samme gjelder også andre veger i lier og dalsider.

Flomskred følger etablerte drensveier og opptrer ved ekstreme hendelser. Hvordan hydrologiske egenskaper endrer seg ved inngrep er derfor viktig. Med løsneområder for flomskred, menes vanligvis direkte kildeområder for sedimenter. Dette er både i sideskråninger og bunnen i selve bekkeleiene. I tillegg til sedimentkilder må

tilhørende nedbørfelt vurderes, dvs. kilden til akkumulasjon av vann. Skog og annen vegetasjon i hele nedbørfeltet påvirker avrenningen i et nedbørfelt.

5.1 Stabiliserende effekt av vegetasjon

Vegetasjonen har følgende fysisk stabiliserende effekter (Ranka, 2002):

- Dype røtter øker stabiliteten og reduserer fare for grunne skred
- Feltsjiktet (gress og urter) binder jordpartikler
- Røtter øker infiltrasjonskapasiteten til jorda slik at overflateavrenningen reduseres (svært viktig i jordarter med høyt leirinnhold)
- Vanninnholdet i jorda reduseres ved plantenes opptak.
- Røtter påvirker vanninnholdet og sugtilstanden også under nedre rothorisont.
- Avrenningshastighet og avrenningsmengde reduseres ved plantenes opptak av vann
- Intersepsjonen, dvs den delen av nedbøren som ikke når bakken, er større jo tettere skogen er. Intersepsjonen er over 50 % i tett skog og omkring 30 % i åpnere områder med busk og feltsjikt (Lunmark, 1986)
- Alle hindringer eller ruheter i vannveien reduserer strømningshastigheten for overflateavrenning.

For at trær skal virke stabiliserende i skråninger er trolig følgende punkter gunstige (Frivold, 1991):

- Dype og frodige røtter
- Lav stamme
- Lav kostnad ved etablering, dvs. evne til vegetativ formering, eller stor spireevne fra frø.
- Plass og lys til undervegetasjon

5.2 Destabiliserende effekt av vegetasjon

Vegetasjon kan også virke destabiliserende. Ved sterk vind kan skog virke som et seil og bidra til redusert stabilitet og resultere i både grunne og dypere skred. Rotvelt gir sår som øker eksponeringen for erosjon, kan forårsake steinsprang som kan rive med seg jordmasser og representerer i bratt terreng et brudd i forankringen for potensielt grunne skred. Tyngden av trær i seg selv er i beregningseksempler funnet å være neglisjerbar (Ranka, 2002).

En annen skremmende effekt, er grove trær som følger med som del av skredmassene og vil kunne utgjøre punktvise trykkbelastninger større enn det en har i en skredmassene generelt. Figur 16 illustrerer dette.

Figur 16 Aurdal 2013. Jordskred mot boligfelt gikk gjennom område stor skog og grunne masser.

5.3 Infiltrasjon og avrenning

Generelt er stabilitet av skråninger en funksjon av kornfordelingen til løsmassedekket, poretrykk (positivt og negativt trykk) og forankring som skyldes røttenes bindende effekt. Den vegetative delen av et jordprofil har en effekt på vannbalansen mellom luft og jord. Erosjonspotensialet i skråninger, renner og bekker er avgjørende for den faktiske faren for flomskred. Derfor er vegetasjon i skråninger, i renner og nær bekker viktig for sannsynligheten for erosjon, utglidninger og skred.

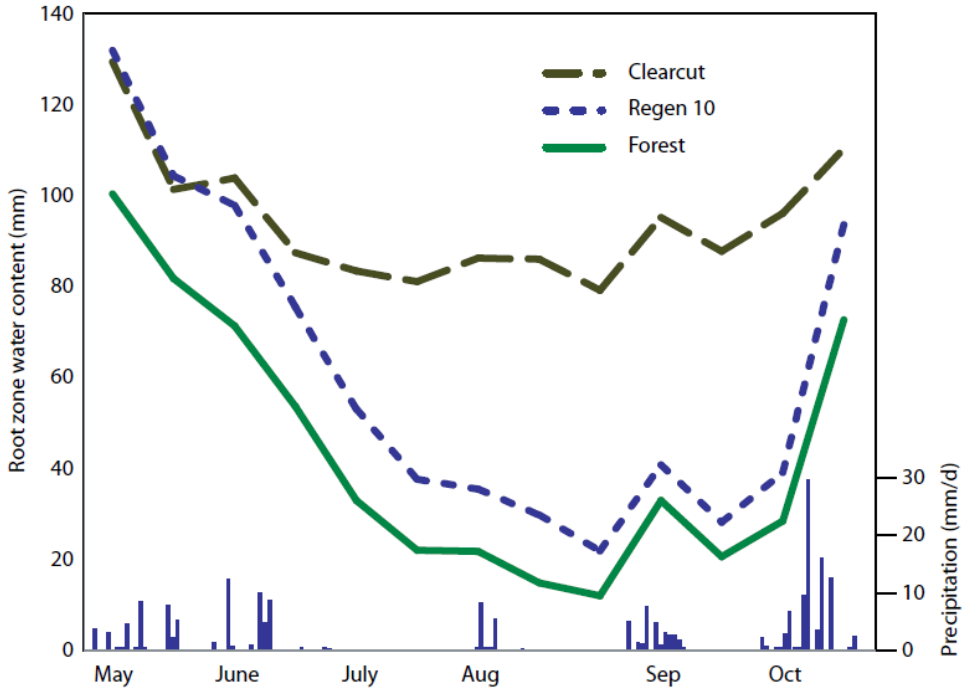
For lokal stabilitet spiller rotegenskaper og vanninnhold i jord og særlig i rotsonen en vesentlig rolle. Det øvre jordlaget blir påvirket av røtter og fryse/tineprosesser, og dette fører til løsere jordstruktur og høyere ledningsevne av vann enn hva rene geotekniske laboratorieresultater av jordprøver viser. Vann følger sprekker, kanaler og røtter. I blandingsskog utvikler f.eks granrøtter bedre rotsystem ved å følge andres røtter, og vanligvis vil blandingsskog være den skogtypen som gir størst infiltrasjon.

I skog gjør greiner, bar og lauvverk at en større del av nedbøren fordunster fra kronedekket (intersepsjon). Dette reduserer både infiltrasjonen i grunnen og overflateavrenninga. I tillegg kommer vannopptak hos vegetasjonen (transpirasjon).

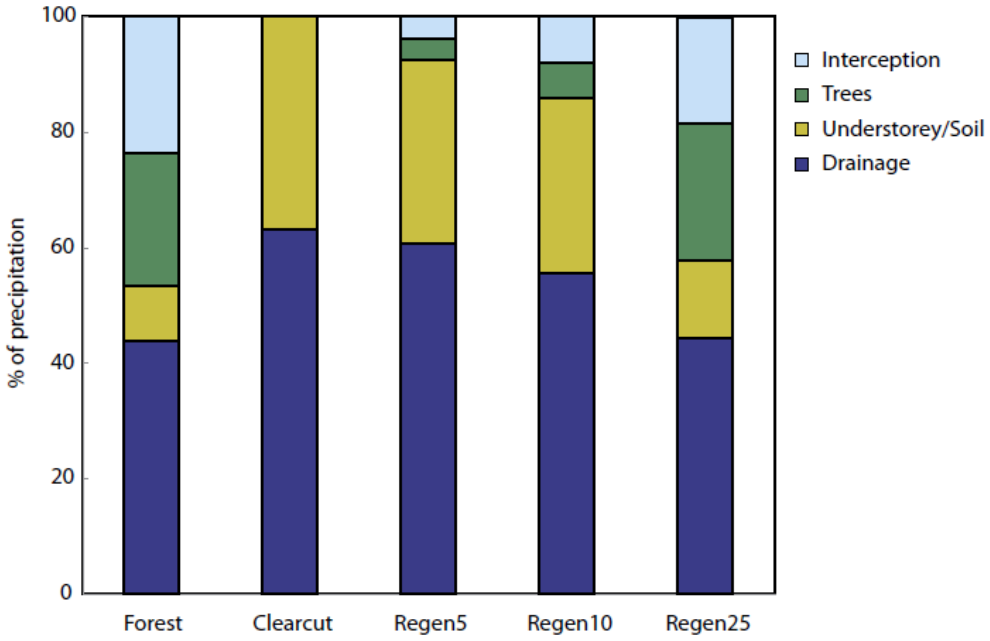
Målinger basert på 40 år observasjoner i svensk prøvefelt (Lunmark, 1986) viser at i tett granskog infiltrerer kun 24 % av månedsnedbøren ned i jorda. Det tilsvarende tallet i små åpninger i skogen er 34 %. Måling av avrenning fra skogområder og hogstflater på årsbasis har vist at avrenning fra snauhogde områder var 179 % og

219% sammenlignet med referanseområder i stående skogbestander (Lunmark, 1986). Det samme forholdet finner en forenklet igjen i den ”rasjonale formel”, der avrenningskoeffisienten (forhold mellom volum nedbør og avrenning) for skog er 0,2-0,5 (dimensjonsløs) (Chow, 1964). Til sammenligning anbefales ofte en faktor på 0,9 på tette flater (asfalt, bart fjell etc). Det er i skog bare en mindre del av nedbøren som bidrar til flomvannføringen, men andelen er større i hogstfelt. Når det samtidig er slik at rotstyrken avtar etter noen år i et hogstfelt, øker mulighetene for flomskred på hogstflater sammenlignet med flater med skog. Rett etter hogst kan vanninnholdet i rotsonen øke (Figur 17), og vil oppnå omtrentlig samme vanninnhold igjen ved ny tilvekst. Figur 18 viser vannmengden endrer fordeling mellom grunn og trær i en livssyklus for en skog.

Kuglerová (2010) viste ved å studere parallelle felt i nord Sverige, at avrenningen fra hogstområde var 30 % høyere enn fra referansefeltet. Dager med lav avrenning ble redusert med 20 %, mens dager med moderat avrenning økte med 60 %. Det vil si at det er en forskyving av fordelingen mot høyere avrenning. Referansefeltet (uten seinere hogst) hadde størst maksimalavrenning før hogst, mens feltet med hogst hadde størst avrenning etter hogst. Vannbalansestudie viste at evatranspirasjon avtok de to første årene etter hogst, mens trenden snudde etter 3 år, antatt på grunn av gjenvekst. Lignende resultater fant også Burton (1997), vist i Figur 19. I nedbørfelt med stor høydeforskjell og snø kan hogst føre til både økt og redusert avrenning, dette fordi hogst kan forskyve snøsmeltingen.



Figur 17 Registreringer av vanninnhold i rotsone i skog og på hogstflater (Pike et al (2010). Grønn, hel strek viser vanninnhold i furuskog, svart linje med lange streker viser vanninnhold i flatehogstfelt og blå, stipla linje viser vanninnhold i 10 år gammel furuskog.



Figur 18 Vannbalansestudie i gammel furuskog og hogstfelt (flatehogst, 5 år gammel, 10 år gammel og 25 år gammel skog). Fra Pike et al (2010) Dataene er fra en vannbalansemodell.

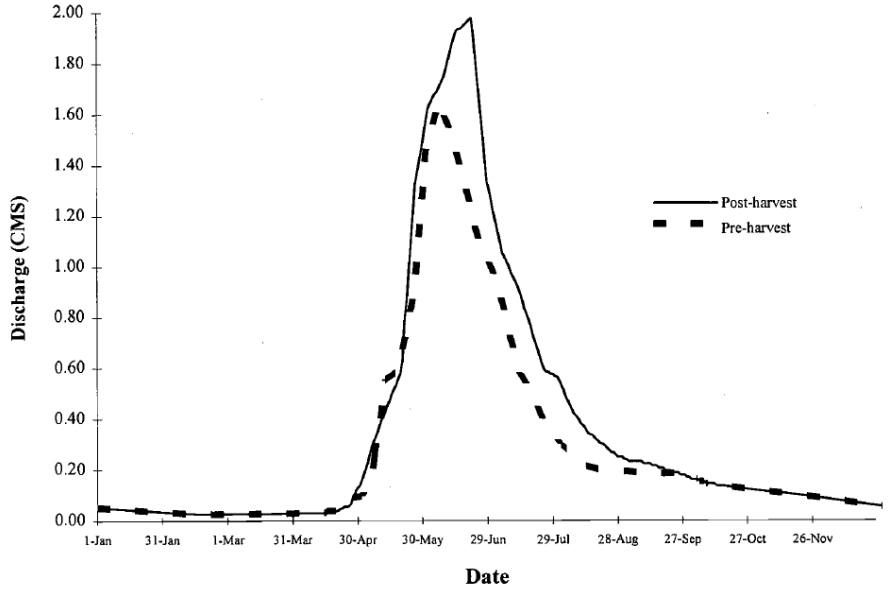


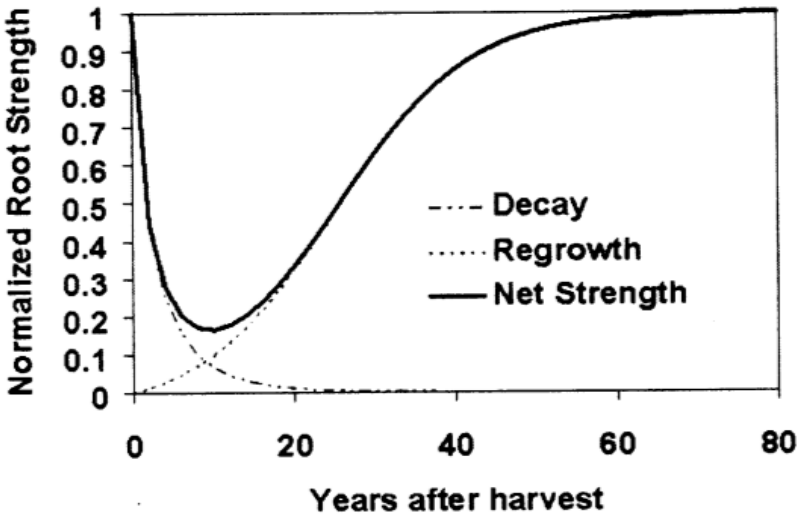
Figure 4. Hydrographs of Pre- and Post-Harvest Streamflows at the Brownie Creek Gage.

Figur 19 Hydrograf av flomtopp før og etter hogst i parallelle felter. (Burton 1997)

5.4 Rotforankring

I hogstfelt avtar rotstyrken trolig til omtrent 20 % av opprinnelig styrke etter ca 10 år for deretter å øke igjen som funksjon av ny tilvekst (Sidle, 1992). Det er viktig å

være klar over at rotstyrke ikke kun er knyttet til diameter av friske røtter. De mindre, finere røttene øker diameter og volum av rotklumpen som forankrer og holder sugtilstanden i jorden oppe så lenge treet er i live. I perioden med lav rotstyrke, dvs noen år etter snauhogst, vil en forvente at hogstfeltet er mest sårbart for løsmasseskred.



Figur 20. Prinsippskisse for endring av rotstyrke etter flathogst (Sidle, 1992)

5.5 Kritisk nedbørmengde

Tall for kritiske nedbørmengder er gjerne erfaringsbasert, og kan nyttes for områdemessige vurderinger der det forventes labile forhold. Funksjoner for kritisk nedbørmengde består gjerne av 2 komponenter; en som beskriver tilstand/vanninnhold i jorda, og en som beskriver forventet nedbør. Så lenge vannet siger ned, vil det være sugtilstand i jorda. Lokalt vil skred ofte løses ut når grunnen mettes ned til ei tettere flate med nedsatt permeabilitet slik at det bygges opp trykk (tette flater: fjell, aurhell, under rothorisont). Denne flata kan ligge rett under torva. Kritisk nedbørmengde er derfor en lokal egenskap som i tillegg til helning, er avhengig av volum for infiltrasjon. Med generelt høyere vanninnhold i jorda på åpne flater, skal det dermed en lavere nedbørmengde til for å løse ut skred. For terskelverdier for nedbør og skred i Norge viser vi til Cepeda (2012) der en database på 281 skredhendelser er analysert og Sandersen et al (1996). Disse analysene er imidlertid ikke gjort med hensyn på jordart og skog/plantedekke.

5.6 Reduksjon av vannhastighet og stopp av masse

Alle hindringer og økt ruhet i en vannvei reduserer vannhastigheten, noe som har stor betydning for erosjonspotensialet og utvikling av flom og skredhendelser. Selv på gressmark vil røtter og overgangen til gress gjøre at vannhastigheter mot jordpartiklene blir lavere (< 0,5 m/s). I områder uten permanent vannstand eller vannføring kan gress i seg selv være nok til å hindre erosjon.

Når skredet først går, utgjør trær og røtter ofte en stor del av skredmassene. Dette øker sannsynligheten for oppstuving og oppbremsing av skredmasser og kan dermed forkorte skredets utløp. Slam og organisk materiale går gjerne videre gjennom skogen. Skog kan som vist i Figur 16 også øke skadepotensiale.

Rotforankring og artsegenskaper er ytterligere behandlet i NGI rapport 20110073 (Breien og Høydal 2012).

5.7 Brudd i strømningsveg, grunnet for eksempel skogsveg

Observerte hendelser på hogstflater kan være en kombinasjon av flateeffekter og veger i ulik grad, men effekten synliggjøres ofte ved eller langs veier fordi vannet ofte ledes uønsket. Figur 21 viser en slik effekt der en skogsveg bryter strømningsveien for sigevannet, samler vannet i ei grøft og slipper det konsentrert ut i punkt (Imaizum et al 2008). Når vannstrøm i jord brytes, vil vannet vanligvis gå til overflaten og ikke finne de underjordiske kanalene. Effekten av tette stikkrenner (uunngåelig ved ekstrem nedbør) der vann ledes videre og tilfeldig bryter ut gjennom vegen, er en vanlig årsak til utløsning av skred i Norge.

Figur 22 (Imaizum et al 2008) viser sedimentavrenning fra hogstområder. Sedimenttransport er en prosess som øker med generell avrenning. Figur 23 (Imaizum et al 2008) viser frekvens av flomskred etter hogst, denne viser også økende frekvens. Vi kan imidlertid ikke si at vi har et observasjonsgrunnlag i Norge som kan gi en tilsvarende figur, men erfaringsmessig er tettheten av skred ved ekstreme nedbørhendelser størst på hogstflater også her. I lokale bratte felt der en større del av nedbørfeltet avvirkes (samme effekt som ved urbanisering), og typisk kulverter er dimensjonert for stående skog kan vi forvente at problematikk med vann på avveier vil aktualisere seg.

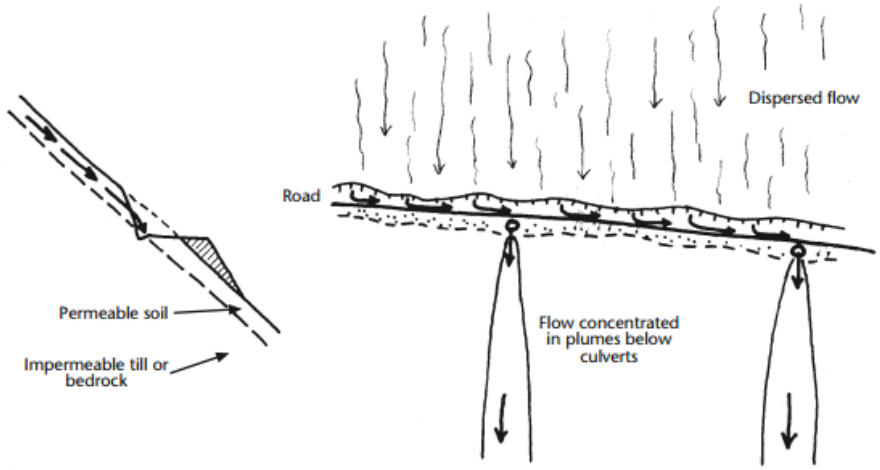


FIGURE 1 *Sketch showing the typical effect of roads and culverts on slope hydrology, for uniform slopes with shallow soils and low drainage density.*

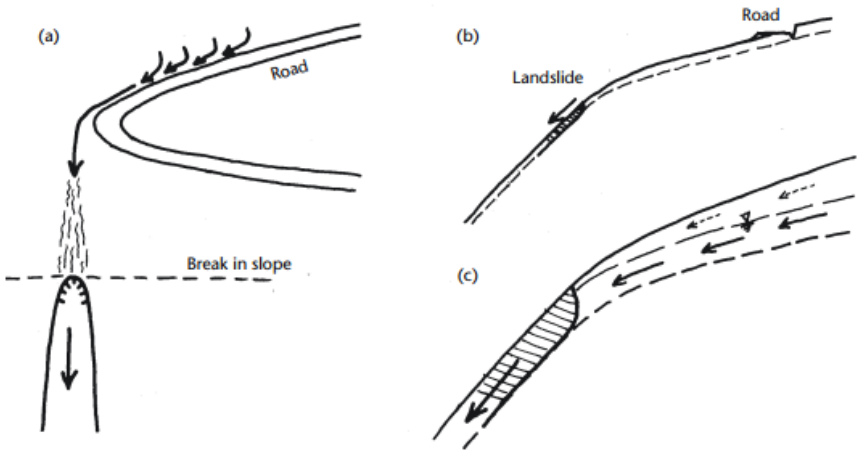


FIGURE 2 *Sketch showing the typical role of a road drainage diversion in triggering a "gentle-over-steep" landslide. (a) Plan view, landslide below a switchback. (b) Cross-section showing typical point of landslide initiation. (c) Enlargement, showing convergence of groundwater due to thinning soil depth at break in slope.*

Figur 21 Typiske geometrier og effekter av veger i bratt terreng (Jordan, P., 2001).

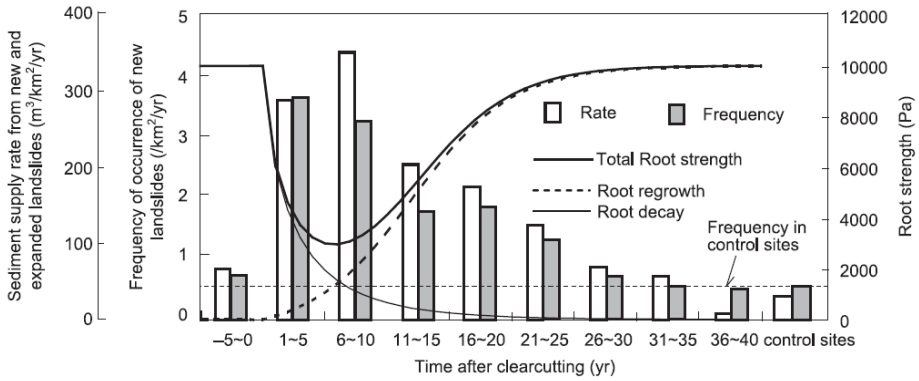


Figure 7. Changes in sediment supply rate from new or expanded landslides and frequency of occurrence of new landslides with time after clearcutting. Landslide rate and frequency are compared with the dynamic root strength values estimated by Sidle's (1991, 1992) model.

Figur 22 Endringer av sedimenttransport grunnet skogsdrift, (Imaizum et al 2008),

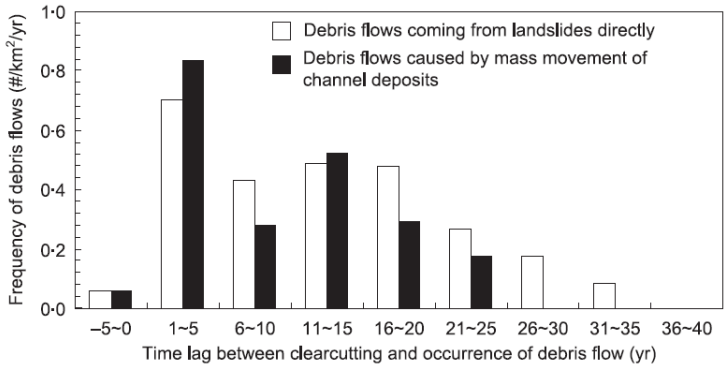
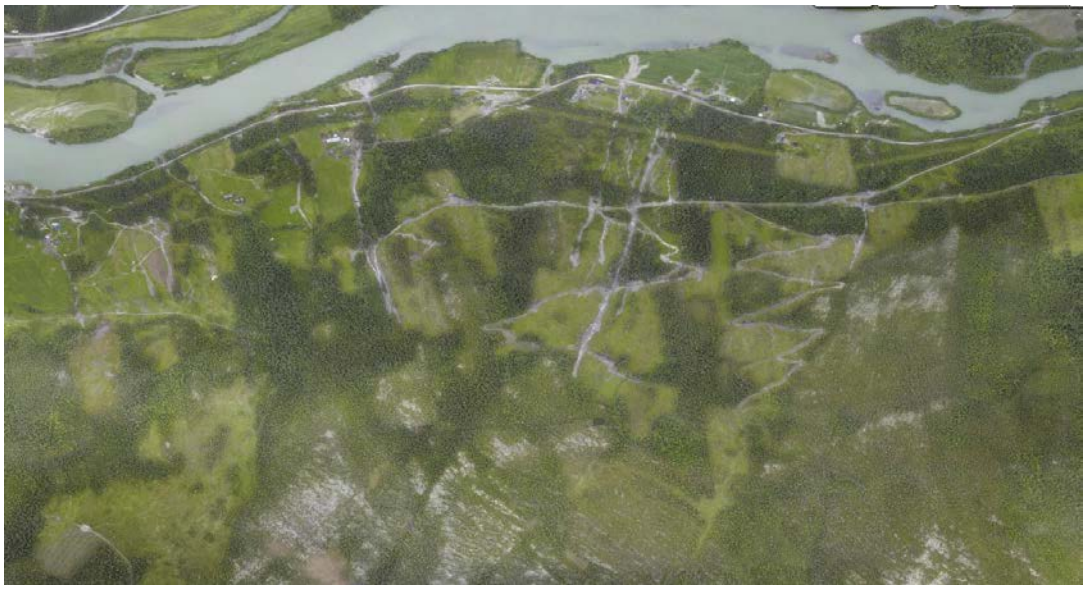


Figure 9. Frequency of new debris flows. Two types of debris flows are distinguished: those directly initiating from hillslope landslides and those occurring in and around channels.

Figur 23 Frekvens av flomskred etter hogst (Imaizum et al 2008)

Figur 24 Baksia ved Kvam, 2011.



Figur 25 Ortofoto Baksia, Kvam 2011

Figur 24 og Figur 25 viser et hogstfelt som er mye avbildet og ulikt omtalt. Det største skredet, startet høyt oppe under skogkanten og krysset skogsveger 3 ganger. Midt i Figur 24 ser en vann/slam strøm som går ut av vegen, gikk over torva, trolig eroderte

i foten av en rygg og løste ut et større skred. Skredet til høyre løses ut opp mot en rygg, det var ingen vannstrøm i terrenget overfor, vann piplet ut av grunnen. Samme eksempel finner en noe til venstre i Figur 25 ovenfor Haugalia, der skredet startet eller iallfall gikk tilbake til skogkanten. Lengst til høyre i Figur 25 ser en eksempel på Figur 21c, der vann gikk ut av sving og løste ut store mengder løsmasser. Selve veganlegget fikk størst skader av en bekk som fant nytt løp langs vegen gjennom stående skog der en kulvert gikk tett.

Hoveddelen av skredene i figur 25, kan ikke tilskrives konsentrasjon av vann på skogsveier, men at vannmengden i jorda steg over grense for lokalstabilitet. Det vil si at største påvirkning fra hogst er økt avrenning og vanninnhold i jorda. Fravær av levende røtter og vegetasjon øker størrelse/utbredelse av skred som løses ut. Helningen i område er hovedsakelig mellom 20 og 25 grader. Grunnen til at skredene/vannstrømmen ikke gjorde større skader i øvre veger, er at rennene er såpass definerte, at vegen gjør klare svinger inn og ut av rennene. Et annet forhold en skal merke seg at til høyre (øst i området) er løsmassetykkelsen vesentlig mindre. Skadeskred oppstår først når en kommer ned i løsmasser nede i lia.

5.8 Praktisk vurdering - skog som verner mot jord- og flomskred

Erfaringsmessig er blandingsskog et godt vern mot erosjon. Dette gir lysere skogbunn og undervegetasjon (gress og urter) som binder selve overflaten. Skjøtsel er viktig for å beholde blandingsskogen slik at det ikke utvikles ensidige klimakssamfunn.
Ved vurdering av om skogen har effekt på jord-/flomskred kan disse punktene være til hjelp:

1) Hva er helningen og antatt jorddekning/type/tykkelse av løsmasser på områdene, både i skogkledde og åpne områder.
2) Er det bekker/renner i området?
    a. Hvordan dreneres områdene? Diffus avrenning i grunnen og på mark eller overflateavrenning med definerte bekker.
    b. Geomorfologiske former langs dreneringsvei som stammer fra tidligere hendelser? – renneformer, levéavsetninger
    c. Medrivningspotensiale?
3) Hvordan endres avrenningsfaktor når det hogges og resulterende avrenning i eksisterende bekker?
4) Kan disse rennene føre flom- eller sørpeskred? Er det typiske kilder eller løsneområder ?
5) Skogsveger eller andre veger: Der det er anlagt kulvert-
    a. Er det eksisterende bekkeleie på nedsiden?
    b. Er kulvertene dimensjonert for skog eller for avvirkede områder?
    c. Hva er alternativ drensvei når kulvert går tett ?

6) Har skogen langs renna en effekt på utløpslengde/størrelse på flomskred?
    - Pos/neg? Blokkering pga trær?

- Vil trær føre til uønsket eller ønsket oppdemming/friksjon av skredmasser?

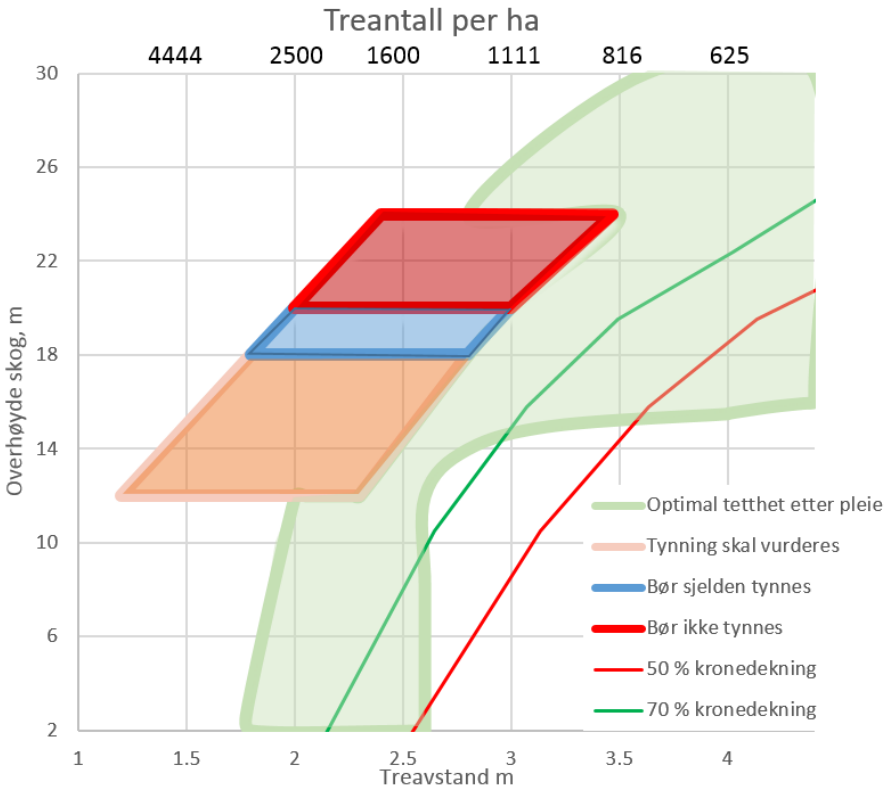
7) Er terrenghelningen større enn 20°? Dette kan gi potensiale for jordskred.

6 Anbefalinger for hogst i skredutsatt terreng

6.1 Tynning og hogst i forhold til kronedekning

Beregning av kronedekning kan også gjøres for bestander der kronene vokser inn i hverandre. For å optimalisere vekst og produksjon pr arealenhet, plantes trær ofte tett for å tynnes i ettertid. 250 trær pr daa er et vanlig planteantall for gran, dvs 2 m planteavstand (f.eks Nedkvitne et al, 1990). Furu plantes ofte tettere (Nedkvitne et al, 1990) for å få kvistfri oppstamming. For plantede bestander vokser kronene inn i hverandre og bestanden må derfor tynnes for å unngå død eller stagnert vekst.

Figur 26 (tynningsslips) viser treantall per ha og trehøyde og illustrerer når tynning av skog skal vurderes. Det er lagt til 2 kurver for 70 og 50% kronedekning basert på funksjoner bak Figur 5. Illustrasjonen viser at normal tynning i barskog ikke påvirker kronedekningen så mye i negativ retning at skogen ikke lenger innfrir kronedekningskriteriene for vernskog for utløsningsområder for snøskred. I en skogbestand der høy og stabil kronedekning er ønskelig, som i vernskog, må bestanden tynnes og skjøttes. Når selve bestandstettheten for tynningsfelt er ivaretatt er det størrelsen på åpne flater eller striper som er av betydning for skredfaren.



Figur 26 Tynnings-slips for granbestander etter prinsippfigur fra (SKI., 2006). De to stiplede kurvene viser beregnet kronetetthet for henholdsvis 70 % (grønn) og 50 % (rød) kronetetthet.

Ved hogst i granplantasjer bør konsekvensene ved økt skredfare vurderes. Det må vurderes om skogen skal få status som vernskog og skjøttes deretter eller om hogstmetode kan tilpasses slik at skredfaren mot hus eller infrastruktur ikke øker.

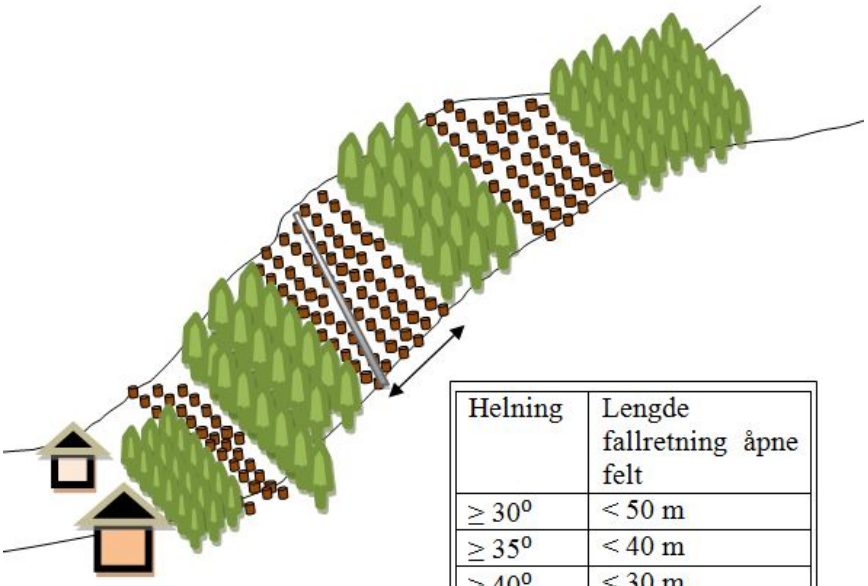
Planlagt hogstfelt ovenfor eksisterende og planlagt bebyggelse og veier bør beskrives i form, størrelse, og særlig om det er bratte områder i eller ovenfor hogstfeltet som kan gi potensiale for utløsning av steinsprang og/eller snøskred. Også adkomstveg og avvirkningsmetode har betydning og må vurderes. For jordskred har særlig skogsbilveger og drenering stor betydning.

Lavere bonitet gir lavere overhøyde på skog ved samme alder.

6.2 Hogstfelter

Faktorene nevnt i kapitlene om snøskred og steinsprang, dvs helning og lengde på åpne felter, bør brukes når hogstfelt planlegges. Både for snøskred og steinsprang er kritisk lengde av hogstfelt relatert til ”kritisk hastighet” for disse skredtypene. Kritisk hastighet vil si at hastigheten er så stor at skogen ikke forventes å kunne stanse skredet/steinspranget. Kritisk lengde er anbefalt lik 40 m for steinsprang, tilsvarende tall for snøskred. Fordi den dynamiske friksjonsvinkelen er mindre enn den statiske bør det også vurderes om terrenget nedenfor hogstområdet kan fungere som

skredbane selv om det er slakere enn 30°. Et bratt (>30°), åpent felt nederst i fjellsida bør derfor være kortere enn 40 m i fallretning dersom det er fare for at nedenforliggende terreng kan fungere som skredbane. Figur 27 viser en illustrasjon av hvordan en kan tenke seg at ei dalside kan deles opp i begrensede hogstflater.



Helning	Lengde fallretning åpne felt
≥ 30°	< 50 m
≥ 35°	< 40 m
≥ 40°	< 30 m
≥ 45 °	< 25 m

Figur 27 Skisse av hogstfelt med redusert lengde i fallretningen Tabell for største lengde i fallretning er for snøskred.

Hogstfeltene kan skrås så lenge kravene til maksimum åpning langs fallinja er overholdt hvis dette gir mer optimal drift. Drift kan gjerne planlegges med tidsforskyvning mellom nabofelt ut i fra tilvekst på nye felt og når nabofelt bør hogges. Ved alders- eller hogstklasseforskyvning av nabofelter kan problemer med snøskredfare unngås.

6.3 Stubber og revegetering

Høye stubber og liggende stammer er positivt både når det gjelder å redusere fare for steinsprang og snøskred. I mange tilfeller omdisponeres hogstfelt til beitemark etter hogst. Dette er ofte uheldig dersom hogst av skogen kan føre til økt skredfare. Ved gjenplanting og revegetering langs bekker og renner er det gunstig å plante åpen blandingsskog for best mulig vilkår for vegetasjon også i bunnsjiktet, samt mulighet for alders- og artsspredning.

6.4 Skogsveger

Skogsveger viser seg ofte å være kilde til jordskred grunnet dreneringsproblemer. Veger bør generelt arronderes slik at de blir liggende som lokale lavpunkt der de krysser renner eller daler. Midlertidige driftsveger bør graves over når tømmeret er

kjørt ut og feltet plantet. Fergus et al (2011) inneholder råd for arrondering og dimensjonering av skogsveger. Et vesentlig poeng ved dimensjonering av stikkrenner, er at de bør dimensjoneres for en mest kritiske skogtilstand, dvs den arealtilstanden som gir størst avrenning, dvs hogstfelt. For få til denne må en vurdere alderssammensetning og størrelse på feltene som er realistisk blir avvirket samtidig.

Både rådene for skogsveger og for hogst vil ventelig være i konflikt med interesser for hogst, praktiske driftsformer og problemer knyttet til vind og lyseksponering. Det er viktig å få inkludert også skogbruksinteresser i arbeidet med råd for skjøtsel av vernskog mot skred.

6.5 Nyetablering av vernskog

Ved etablering av ny skog med formål å redusere skredfare kan kriteriene i kapittel 3.5 og 4.6 benyttes. Det er enklere å etablere vernskog mot snøskred enn mot steinsprang. Dette fordi det i plantefelt kun vil gå få år før kronedekningen hos ungskogen er stor nok til å virke gunstig inn på skredfaren. For steinsprang vil det avhengig av hva som er dimensjonerende blokkstørrelser kunne gå mange år før en nyetablert skog får tilstrekkelige kvaliteter.

7 Referanser

Anderson, G. and McClung, D., 2012. Snow avalanche penetration into mature forest from timber-harvested terrain. Can.Geotech. J. 49: 477–484

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 et al., 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.

Berger, F. & Dorren, L.K.A., 2007. Principles of the tool Rockfor.NET for quantifying the rockfall hazard below a protection forest. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 158(6): 157-165. (see also www.rockfor.net).

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

Brauner, M., Weinmeister, W., Agner, P., Vospernik, S., Hoesle, B.,2005. Forest management decision support for evaluating forest protection effects against rockfall. For. Ecol. Manage. 207 (1–2), 75–85.

Breien H. og Høydal O.A. 2012. Bruk av skog i skredfarevurdering – vegetasjon i skredmark. NGI rapport 20110073.

Burton, T.A. 1997. Effects of basin-scale timber harvest on water yield and peak streamflow. Journal of the American Water resources Association, vol 33, no 6, 1997.

Cattiau, V., Mari, E., Renaud, J.P., 1995. Foreˆt et protection contre les chutes de rochers. Inge´nieries-EAT 3, 45–54.

Cepeda, J. M., 2012. Probabilistic estimation of thresholds for debris flows in Norway. NGI rapport 20110253-00-4-R

Chow, V. T. 1964. Handbook of applied Hydrology, Runoff chapt. 14. McGraw-Hill, Inc

Chritin, V., Bolognesi, R., & Gubler, H. (1999). FlowCapt: a new acoustic sensor to measure snowdrift and wind velocity for avalanche forecasting. *Cold Regions Science and Technology*, *30*(1-3), 125–133. doi:10.1016/S0165232X(99)00012-9

Couvreur, S., 1982. Les foreˆts de protection contre les risqué naturels. E ´ cole Nationale du Ge´nie Rural des Eaux et Foreˆts (ENGREF), 89 p.

Doche, O., 1997. Etude expe´rimentale de chutes de blocs en foreˆt. Cemagref/Institut des Sciences et Techniques de Grenoble (ISTG), Cemagref doc. 97/0898, 130 p

Dorren, L.K.A.; Berger, F.; Le Hir, C.; Mermin, E.; Tardif, P. 2005. Mechanisms, effects and management implications of rockfall in forests. Forest Ecology and Management 215 (1-3):183-195.

Eckerstorfer, M., og Christiansen, H., H., 2011, The High Arctic Maritime Snw 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? Mastergradoppgave UiB, 2006

Foetzki, A.; Jonsson, M.; Kalberer M.; Simon, H.; Mayer, A.C.; Lundström, T., 2004. Die mechanische Stabilität von Bäumen: das Projekt Baumstabilität des FB Naturgefahren. Forum für Wissen: 35–42

Fergus, T., Høydal, Ø.,A., Johnsrud, TE., Sandersen F.,, Schanche, S., 2011. Skogsveger og skredfare – veileder, Skogbrukets Kursinstitutt

Frehner, M.; Wasser, B.; Schwitter, R. 2007. Sustainability and success monitoring in forest with protective effects. Guidelines for silvicultural interventions in forests with protective functions (NaiS). Eds.: Federal Office of the Environment (FOEN), 30p.
http://www.bafu.admin.ch/publikationen/index.html?action=show_publ&lang=de&id_thema=33&series=UW&nr_publ=0727

Frivold, L. H. 1991. Trær som stabiliserende element i leirskråninger, med spesiell relevans til Romerike. Institutt for skogfag, Ås- NLH

Frey, R. 1978. Die Nutzen-Kosten-Analyse: Grundzuge, Probleme, Kri- ¨
tik, Wirtschaft und Recht 30, 267–286

Frey, E. and Salm, B., 1990. Snow properties and movements in forest of different climatic regions. In: Proc. XIX IUFRO world Congress, Montreal Canada, Div.1, Vol. 1: 328-339.

Gubler, H., & Rychetnik, J. (1991). Effects of forests near timberline on avalanche formation. In H. Bergmann, H. Lang, W. Frey, D. Issler, & B. Salm (Eds.), *Snow, Hydrology and Forests in High Alpine Areas (Proceedings of the Vienna Symposium, August 1991), IAHS Publ.\ no.\ 205* (pp. 19–38). Institute of Hydrology, Wallingford, Oxfordshire, UK: IAHS Press.

Gerber, W., 1998. Waldwirkung und Steinschlag. In: R., Schwitter (Ed.), Dokumentation der 14. Arbeitstagung der Schweizerischen Gebirgswaldpflegegruppe mit der FAN 1998. Grafenort/Engelberg, pp. 1–15.

Gsteiger, P., 1993. Steinschlagschutzwald. Ein Beitrag zur Abgrenzung, Beurteilung und Bewirtschaftung. Schweiz. Zeit. Forstw. 144, 115–132.

Gubler, H. and Rychetnik J., 1991. Effects of forests near the timberline on avalanche formation.In: International association of Hydrological Sciences. Publication 205: 19-38.

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

Imaizum, F., Roy C. Sidle R.C., Kamei R., 2008. Effects of forest harvesting on the occurrence of landslides and debris flows in steep terrain of central Japan, Earth Surf. Process. Landforms 33, 827–840

Jahn, J., 1988. Entwaldung und Steinschlag, International Congress Interpraevent, Graz. Conference Proceedings, vol. 1, pp. 185–198.

Jordan, P. 2001. Regional incidence of landslides. In: Watershed assessment in the southern interior of British Columbia: Workshop Proc. D.A.A. Toews and S. Chatwin (editors). March 9–10, 2000, Penticton, B.C. B.C. Min. For., Res. Br., Victoria,B.C.Work.Pap.57,pp.237–247.
www.for.gov.bc.ca/hfd/pubs/Docs/Wp/Wp57/Wp57-06.pdf

Korpela, I., 2004. Individual Tree Measurements by Means of Digital Aerial Photogrammetry, SILVA FENNICA Monographs 3 2004

Kuglerová L., 2010. Effects of Forest Harvesting on the Hydrology of Boreal Streams ,The Importance of Vegetation for the Water Balance of a Boreal Forest , Swedish University of Agricultural Sciences, Master thesis, ISSN 1654-1898 Umeå.

Lied, K.. 1979. Hvor forekommer snøskred og hvilken rekkevidde har skredene I dalbunnen?, Skredfare og Arealplanlegging, NIF kurs, Ullensvang 1979

Lunmark, J. E. 1986. Skogmarkens ekologi. Standortpassad skogsbruk. Del 1-Grunder. Jönkjöping: Skogsstyrelsen

Margreth, S., 2007, Snow pressure on cable masts: Analysis of damages and design approach, Cold regions Science and Technology, 47, pp. 4-15.

McClung, D., Schaerer, P., 2006, The Avalanche Handbook, ISBN 0-89886-809-2,

Meyer-Grass, M. and Schneebeli M. 1992. Die Abhängigkeit der Waldlawinen von Standorts-,
Bestandes- und Schneeverhältnissen. In: Internationales Symposium Interprävent, in Bern

NGI 20130918-R-1, 2014, Snøskred i Bjørkeskog, Testforsøk Abisko., Øyvind A Høydal, Hedda Breien, Dieter Issler

Nedkvitne K., Bjørnstad T.H., Refsdal T., 1990. Skogbrukslære, 4 utg, Landbruksforlaget, Oslo 1990

NBU kursmateriell. http://www.nbu.no/filestore/Kombinertskogbruk2.pdf

Odland, A. (1994). Bjørkeartenes spredning, etablering og samspill med naturmiljøet. NINA oppdragsrapport 292.

Perret, S., Dolf, F., Kienholz, H., 2004. Rockfalls into forests: analysis and simulation of rockfall trajectories considerations with respect to mountainous forests in Switzerland. Landslides 1(2), 123–130

Pike, R.G., T.E. Redding, R.D. Moore, R.D. Winker and K.D. Bladon (editors). 2010. Compendium of forest hydrology and geomorphology in British Columbia. B.C. Min. For.Range, For. Sci. Prog., Victoria, B.C. and FORREX Forum for Research and Extension in Natural Resources, Kamloops, B.C. Land Manag. Handb. 66.www.for.gov.bc.ca/hfd/pubs/Docs/Lmh/Lmh66.htm

Ranka, K. 2002. Slå rot- och växa upp eller Vegetasjon som forsterkningsmetode. Karlstad: Räddningsverket.

Rickli, C., F. Graf, W. Gerber, M. Frei, and A. Böll. 2004. Der Wald und seineBedeutung bei Naturgefahren geologischen Ursprungs. Pages 27-34 in Eidg. Forschungsantstalt WSL (Ed.). Schutzwald und Naturgefahren. Forum für Wissen 2004, Birmensdorf.

Rood, K.M. 1984. An aerial photograph inventory of the frequency and yield of mass wasting on the Queen Charlotte Islands, British Columbia. B.C. Min. For., Victoria, B.C. Land Manag. Rep. No. 34. www.for.gov.bc.ca/hfd/pubs/Docs/Mr/Lmr/Lmr034.pdf

Sandersen, F., Bakkehøi, S., Hestnes, E., and Lied, K. 1996. The influence of meteorological factors on the initiation of debris flows, rockfalls, rockslides and rock mass stability, in: Landslides, Proceedings of the 7th symposium on landslides, edited by: Senneset, K., Trondheim, 17–21 June 1996, 97–114

Salm, B., 1978: Snow forces on forest plants. Proceedings of the *IUFRO Seminar mountain Forest and Avalanches*, Davos, pp. 157-181

Schwitter R 1998. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen. In: Proc 14. Arbeitstagung Schweizerischen Gebirgswaldpflegegruppe & FAN, Grafenort/Engelberg, unpublished report. pp. 1–5.

Sidle, R.C., A.J. Pearce, and C.L. O'Loughlin. 1985. Hillslope stability and land use. Water Resour. Monogr. Ser. 11. Am. Geophys. Union, Washington,D.C.

Sidle RC. 1992. A theoretical model of the effects of timber harvesting on slope stability. Water Resource Research 28: 1897–1910. DOI:10.1029/92WR00804

SKI. (2006). Tynning i gran og furuskog. Skogbrukets Kursinstitutt / Aktivt Skogbruk. ISBN 978-82-7333-149-6, s. 1-32.

Stokes, A., Salin, F., Kokutse, A.D., Berthier, S., Danjon, F., Mochan, S., Dorren, L.K.A., Fourcaud, T., 2005. Mechanical resistance of different tree species to rockfall in the French Alps. XXII IUFRO World Congress, 8-13 August 2005, Brisbane (AU). The International Forestry Review Vol.7(5): pp. 313.

Swanston, D.N. and F.J. Swanson. 1976. Timber harvesting, mass erosion, and steepland forest geomorphology in the Pacific Northwest. In: Geomorphology and engineering. D.R. Coates (editor). Dowden, Hutchison, and Ross, Stroudsburg, Pa., pp. 199–221.

Schweizer, J., & Wiesinger, T. (2001). Snow profile interpretation for stability evaluation. *Cold Regions Science and Technology*, *33*, 179–188.

Zinggeler, A., 1990. Steinschlagsimulation in Gebirgswa¨ldern: Modellierung der relevanten Teilprozesse. M.Sc. thesis, University of Bern, Bern, 116 p.

Viglietti, D., Letey, S., Motta, R., Maggioni, M., & Freppaz, M. (2009). Snow and avalanche : the influence of forest on snowpack stability, 323–327

Volkwein A et al A. Volkwein1, Schellenberg K., Labiouse V., Agliardi F., Berger F., Bourrier F., Dorren L. K. A., Gerber, W. and. Jaboyedoff M, 2011. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 11, 2617–2651, 2011

Weir, P., 2002. Snow avalanche management in forested terrain. Res. Br., B.C. Min. For., Victoria, B.C. Land Manage Handbook no. 55, 208 pp.

Widlowski, J.L., Verstraete, M., Pinty, M., Gobron, N., 2003. Allometric Relatopmnships of Selected European Tree Species., EUR 20855 EN, Ispra, Italy

Öberg L. & Kullman L. (2012). Contrasting short-term performance of mountain birch (Betula pubescens ssp. czerepanovii) treeline along a latitudinal continentality-maritimity gradient in the southern Swedish Scandes. in Fennia, vol. 190 no. 1, 19-40 p

Øyen, B.H; 2007. Vekst og utvikling i to skjermstilliger av gran, Skog og landskap 02/2007

Kontroll- og referanseside/
Review and reference page

NGI

Dokumentinformasjon/*Document information*		
Dokumenttittel/*Document title* Forslag til kriterier for vernskog mot skred		**Dokumentnr./*Document No.*** 20120078-01-R
Dokumenttype/*Type of document* Rapport/Report	**Distribusjon/*Distribution*** Begrenset/Limited	**Dato/*Date*** 21. februar 2013 **Rev.nr.&dato/*Rev.No.&date*** 1 / 19. Mars 2015
Oppdragsgiver/*Client* NVE v/Brigt Samdal, Odd Are Jensen		
Emneord/*Keywords* Snøskred, steinsprang, jord og flomskred, vegetasjon, skog		

Stedfesting/*Geographical information*	
Land, fylke/*Country, County*	**Havområde/*Offshore area***
Kommune/*Municipality*	**Feltnavn/*Field name***
Sted/*Location*	**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		FS					
1	Skog som vern mot snøskred	oah		FS					

Dokument godkjent for utsendelse/ *Document approved for release*	**Dato/*Date*** 19. mars 2015	**Sign. Prosjektleder/*Project Manager*** Øyvind Armand Høydal

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 og leder "International Centre for Geohazards" (ICG).

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 and leads the International Centre for Geohazards (ICG).

www.ngi.no

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

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

Avd Trondheim/Trondheim office:
PO Box 1230 Pirsenteret
NO-7462 Trondheim
Norway

Besøksadresse/Street address:
Pirsenteret, Havnegata 9, NO-7010 Trondheim

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

ngi@ngi.no
www.ngi.no

Kontonr 5096 05 01281/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