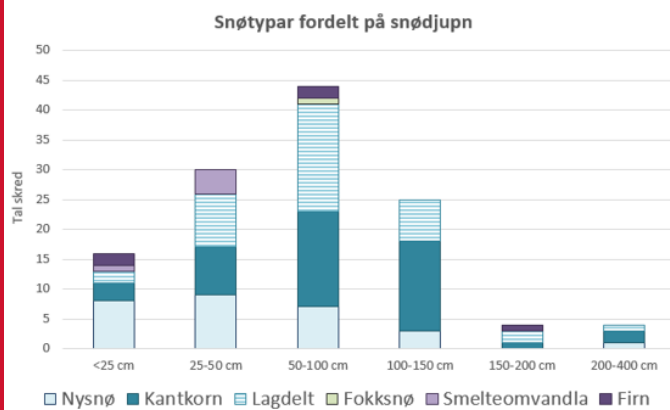


Studie av vasstilførsel for utløysing av sørpeskred i ulike snøtypar

Eit bidrag til varsling av sørpeskredfare

Sunniva Skuset

Monica Sund



Rapport, nynorsk nr 36-2019

Studie av vasstilførsel for utløyning av sørpeskred i ulike snøtypar

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Forfatter: Sunniva Skuset
Monica Sund

Trykk: NVEs hustrykkeri

Forsidefoto: Oppe til venstre: Døme frå dataanalyse. Nede til venstre: Sørpeskred ved Gaustatoppen. Foto: Espen Faana, NCC. Til høgre: Feltforsøk. Foto: Sunniva Skuset.

ISBN: 978-82-410-1923-4

ISSN: 1501-2832

Samandrag: Ved vurdering av sørpeskredfare er snøen sin struktur og tekstur viktig, fordi enkelte typar snø er meir utsett for å danne sørpeskred enn andre. Rapporten skildrar dataanalyse og feltforsøk gjort vintersesongen 2018/2019. Målsetjinga har vore å finne ut meir om kritisk vasstilførsel for utløyning av sørpeskred i ulike snøtypar. På sikt er målet å utvikle eigne terskelverdiar for vasstilførsel for ulike snøtypar, til bruk i regional varslings av sørpeskredfare. Studiet er ei vidareføring av Skuset (2018).

Emneord: Sørpeskred, snøtype, snødjupn, vasstilførsel, feltforsøk, forsøksdesign, dataanalyse, sørpeskredregister, vurdering av sørpeskredfare, terskelverdi, utløsningsårsak

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

Telefon: 22 95 95 95
Epost: nve@nve.no
Internett: www.nve.no

August, 2019

Innhald

Samandrag	5
1. Målsetjing	7
1.1 Dataanalyse	7
1.2 Feltforsøk	7
1.3 Kvalitetssikring skred 2018/2019	7
2. Dataanalyse	8
2.1 Sørpeskredregister	8
2.2 Datagrunnlag	8
2.2.1 Snøtype	8
2.2.2 Total vasstilførsel (TVT)	10
2.3 Resultat	11
2.4 Snødjupn, snøtype og vasstilførsel	13
2.4.1 Feilkjelder / forenklingar	15
2.5 Konklusjon / vidare arbeid	15
3. Feltarbeid	17
3.1 Metode	17
3.2 Resultat	18
3.3 Samanlikning av snøtypar og boksstorleik i feltforsøk	22
3.4 Konklusjon / vidare arbeid	24
4. Oppsummering	26
5. Diskusjon	27
5.1 Opphavelig problemstilling	27
5.2 Forslag til nye problemstillingar	27
5.3 Feltarbeid	28
5.4 Feltobservasjonar	29
5.5 Teori	32
5.6 Konklusjon	37
6. Kjelder	39
7. Vedlegg	40

Forord

Jordskredvarslinga ved NVE inkluderer vurdering av sørpeskredfare regionalt. I samband med denne vurderinga blir det brukt rettleiande verdiar for naudsynt vasstilførsel, for identifisering av potensielle sørpeskredsituasjonar. Desse verdiane skil ikkje mellom snøtypar, sjølv om enkelte snøtypar er meir utsette for å danne sørpeskred enn andre.

Denne rapporten tek såleis føre seg å studere vasstilførsel på ulike snøtypar, i samband med utløysing av sørpeskred. Arbeidet består av felteksperiment, samt analyser av historiske sørpeskred med tilhøyrande vêrdata og data frå xgeo.no. På sikt er målsetjinga å utvikle eigne terskelverdiar for eigne snøtypar, til bruk i vurdering av sørpeskredfare.

Arbeidet er ei forlenging av Skuset (2018).



Morten Johnsrud
Avdelingsdirektør



Hervé Colleuille
seksjonssjef

Samandrag

Ved vurdering av sørpeskredfare er snøen sin struktur og tekstur viktig, fordi enkelte typar snø er meir utsett for å danne sørpeskred enn andre. For å identifisere potensielle sørpeskredsituasjonar (regionalt) nyttar NVE rettleiande verdier for vasstilførsel, men desse verdiane skil ikkje på snøtypen. Overordna målsetjing er difor å finne skilnadar i naudsynt vasstilførsel mellom ulike snøtypar, i samband med utløysing av sørpeskred. På sikt er målet å utvikle eigne terskelverdier for ulike snøtypar til bruk i regional varslings av sørpeskredfare.

Dataanalyser og feltforsøk er nytta for å forsøke å finne ut meir om sørpeskred i ulike snøtypar, innanfor dei gitte rammene.

Historiske skred i NVE sitt sørpeskredregister, med tilhøyrande meteorologiske data frå xgeo og meteorologiske stasjonar, er analysert. Målsetjinga har vore å undersøke eventuelle samanhengar mellom snøtype, snødjupn og vasstilførsel, utifrå eksisterande datagrunnlag. Analysane viser ingen trend til at auka snødjupn gir auka behov for vasstilførsel, og helder ingen tydelige skilnadar i vasstilførsel på ulike snøtypar. Resultata tyder såleis på at snødekningsgrad for større område kan vere ein betre indikator for sørpeskred enn snødjupne ved bruk av xgeo. Mange skred var også i xgeoceller med noko liten snødjupne i forhold til fare for sørpeskred (25-50 cm). Likevel var 79 % av desse skreda varsla (i regionar med auka farenivå).

Ei svakheit med datasettet/sørpeskredregisteret er noko få skred totalt (127). I tillegg er det stor variasjon i tal skred i ulike kategoriar. Eit anna viktig moment er at verdiane frå xgeo, som er analysert, er henta frå 1 km² store gridceller. Dette medfører at utløysingsverdier funne i analysane kan avvike ein del frå dei reelle verdiane ein finn i felt. I tillegg er generelt analyse av erfaringsverdier for større område, betre eigna til bruk i regional varslings.

I tillegg er det gjort feltforsøk på ulike snøtypar. Målet har vore å undersøke rettleiande verdier for vasstilførsel, som NVE brukar. Forsøka får nokre gonger fram relative skilnadar mellom ulike snøtypar. Eit gjennomgåande trekk at nysnøen treng mindre/minst vatn for å kome ut av boksen enn dei andre typane. Dette er ikkje like tydeleg kvar gong, ikkje same forholdstal, og nokre gonger er vasstilførselen like låg for andre snøtypar. Det er likevel grunnlag for å halde fram med ei hypotese om at ulike snøtypar treng ulik mengd vatn for å bli ustabil, med nysnø som meir utsett. Dette bør såleis fortsatt vere med i vurdering av sørpeskredfare.

Metoden med feilkjelder er diskutert. Det er uvisst om snøen blir ustabil som følge av at poretrykket *mellom snøkorna* aukar, eller om det er poretrykket *mellom boksen og snøen* som dyttar snøen ut. Av fleire årsakar er det mindre truleg at ein kan finne/verifisere absolutte terskelverdier for utløysing av sørpeskred, med denne metoden. Truleg er erfaringsverdier for større regionar meir gunstig for å finne terskelverdier for bruk i regional varslings. Vidare arbeid med å utvikle modellforsøk vil likevel vere nyttig for å forstå meir om utløysingsforholda for sørpeskred.

1. Målsetjing

Denne rapporten er eitt ledd i eit prosjekt med overordna målsetjing om å undersøkje potensielle samanhengar mellom vassstilførsel og ulike snøtypar, i samband med utløysing av sørpeskred.

1.1 Dataanalyse

Hovudmål:

- Innsamling og analyser av vêrdata i samband med tidlegare sørpeskredhendingar
- Supplere eksisterande datasett for sørpeskred med meteorologiske data.
 - o stråling, luftfuktigheit og vind for meir utfyllande vurdering av snøsmelting. Dette kjem i tillegg til regn- og snøsmeltingsvariabelen som finst i xgeo som baserast på temperatur og nedbør.
- Vurdere snøtypar i eksisterande sørpeskredregister ved hjelp av vêrdata.
- Grov analyse med sikte på samanhengar mellom snøtype, snødjupn og vassstilførsel.

1.2 Feltforsøk

Hovudmål:

- Fortsette å utvikle/teste metode frå Skuset (2018).
- Sjå på andre snøtypar og vurdere nye tilnærmingar.

1.3 Kvalitetssikring skred 2018/2019

Hendingar frå sesongen 2018/2019 er lagt inn i sørpeskredregister, for å auke datagrunnlaget å gjere analyser på. Siste analyser på oppdatert register vart gjennomført i januar 2019.

2. Dataanalyse

2.1 Sørpeskredregister

Utgangspunktet for arbeidet har vore 127 registrerte sørpeskred (NVE sitt *sørpeskredregister*). I tillegg er det supplert med enkelte nye skred, samt manglande data på enkelte skred som allereie var registrert.

Det eldste skredet er frå 1957 og det nyaste frå 2018, mesteparten frå 2010 til 2016. Skreda er registert med noko ulik informasjon alt etter kva som har vore tilgjengeleg; geografisk plassering, koordinatar, moh., utløysingstidspunkt. I tillegg er det hydrometeorologiske data frå det meteorologiske døgnet skredet gjekk (dag 0), samt frå 6 dagar tilbake i tid (dag -1, -2, og snitt frå dag -3 til -6). Det er også samla observasjonar («regobs») i (meir eller mindre) nærleiken, nyheitsartiklar eller andre kjelder ein kan finne informasjon om skredet. For dei fleste skreda er det i registeret også gjort ei tolking av samansetninga til snødekket.

Ettersom sørpeskredregisteret ikkje var heilt komplett, er data frå xgeo (t.d. regn/snøsmelting og snødjupne), henta ut for dei skreda som mangla dette. I tillegg er det henta ut meteorologisk data frå vêrstasjonar i nærleiken av skreda; vind, stråling, luftfuktigheit, for meir utfyllande vurdering av snøsmelting.

2.2 Datagrunnlag

2.2.1 Snøtype

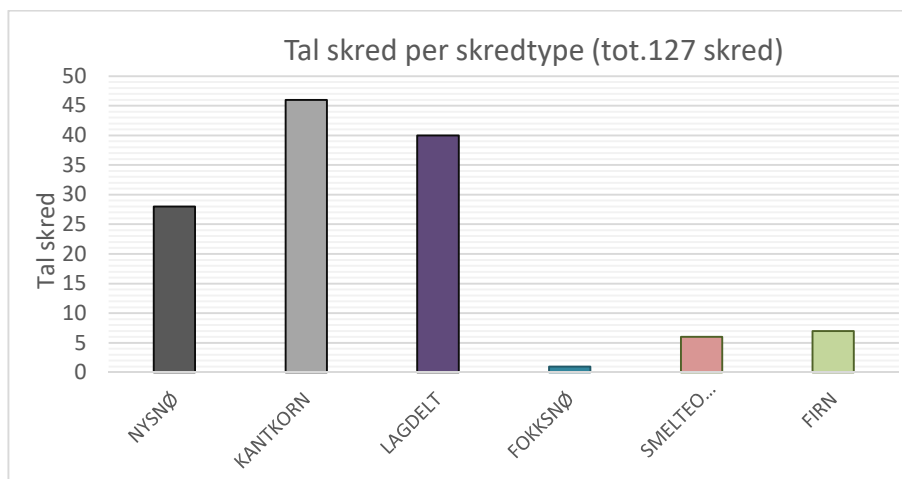
For å skaffe eit datagrunnlag å arbeide med vart sørpeskredregisteret sortert etter følgjande snøtypar:

- *Nysnø, delvis fragmentert nysnø (PP, DF).*
 - Dersom forholda ligg til rette for det, kaldt og vindstille, kan nysnø som har lagt fleire dagar gå under denne kategorien. Det er fordi rundinga/sintringa går såpass sakte at snøkrystallane blir godt bevart og snødekket dels beheld dei same eigenskapane.
- *Fokksnø, runda snø (RG).*
- *Kantkorn, begergrystallar (FC, DH).*
 - *NB! Grovkorna.* Ein del skred er registrert med denne snøtypen, henta frå Hestnes sine artiklar. Ut i frå Hestnes' eigne skildringar av kva han meiner med grovkorna snø er dette tolka å vere kuldepåverka snø, og skreda er såleis plassert i kategorien *kantkorn/begerkrystallar*.
- *Smelteformer (MF, MFCr).*
 - *Smelte x1-2:* Snødekke som har vore gjennom smelte-/fryseprosessar *nokre gongar*. Omtala som *smelte i tekst*.

- *Firn/polysmelte*. Snødekke som har vore gjennom smelte-/fryseprosessar *mange* gongar. Dette finn ein helst seint på våren/tidleg sommar.
 - *NB!* Firn er eigentleg definert som snø som har lagt over ein eller fleire somrar, eit stadium mellom snø og breis. Det er likevel brukt i denne samanheng for å skilje snø som har gått gjennom *få* smelte-/fryseprosessar og *mange* smelte-/frysesyklusar, i mangel av eit betre uttrykk.
 - Forslag til eit anna uttrykk er *polysmelte* (*fleire* smelte-/frysesyklusar). Dette er delvis brukt i rapporten.
- *Lagdelt*. Snødekke som tydeleg bestod av fleire snøtypar.

I dei tilfella skreda var registrert med éin snøtype vart skredet plassert i den registrerte kategorien. For skred registrert med fleire snøtypar, er det ikkje spesifisert rekkjefølgje. Difor vart det gjort eit resonnement av snødekket ut i frå snødjupne-/og temperaturdata i xgeo.no, gjennom den aktuelle snøsesongen. Data er henta frå den næraste cella i xgeo (innanfor 5x5 celler, der cella med skredlokaliteten er i midten). Vêrdata frå nærliggande meteorologiske stasjonar vart nokre gonger nytta i tillegg. Dette vart også gjort for dei skreda som frå før var registrert utan snøtype. Per no er dei lagdelte skreda samla i éin kategori.

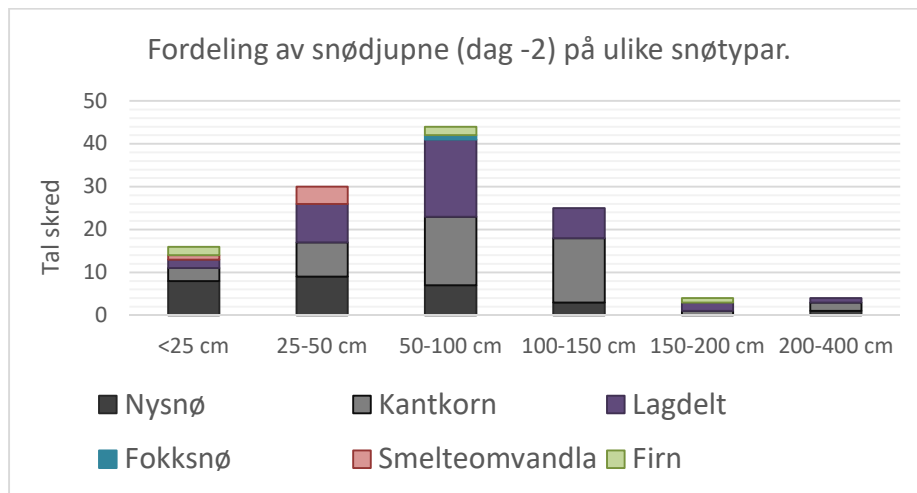
Figur 1 viser kor mange skred ein har i dei ulike kategoriane. Ettersom fokksnø berre er representert med eitt skred er dette stort sett utelatt frå analysane. Smelteformer og firn har høvesvis berre seks og sju skred, noko som også er eit lite utval i samband med analyse.



Figur 1. Fordeling av skred på ulike snøtypar.

Det er også gjort analyser i forhold til snødjupne (SD, dag -2), både med og utan omsyn til snøtypen. Figur 2 viser tal skred i dei ulike SD-kategoriane og korleis

snøtypane fordel seg på ulike SD. Som ein kan sjå er det relativt få skred (fire stk.) med snødekke i kategoriane 150-200 cm og 200-400 cm.



Figur 2. Fordeling av skred og skredtypar per snødjupne (Snødjupne dag -2).

2.2.2 Total vasstilførsel (TVT)

I variabelen RS, regn og snøsmelting, vert smeltinga berekna med Snøkartmodellen, som har inngangsdata nedbør og temperatur. Dette betyr kan snøsmeltinga bli underestimert fordi verken stråling, luftfuktigheit eller vind er medrekna, noko som kan utgjere mykje snøsmelting dersom forholda ligg til rette for det.

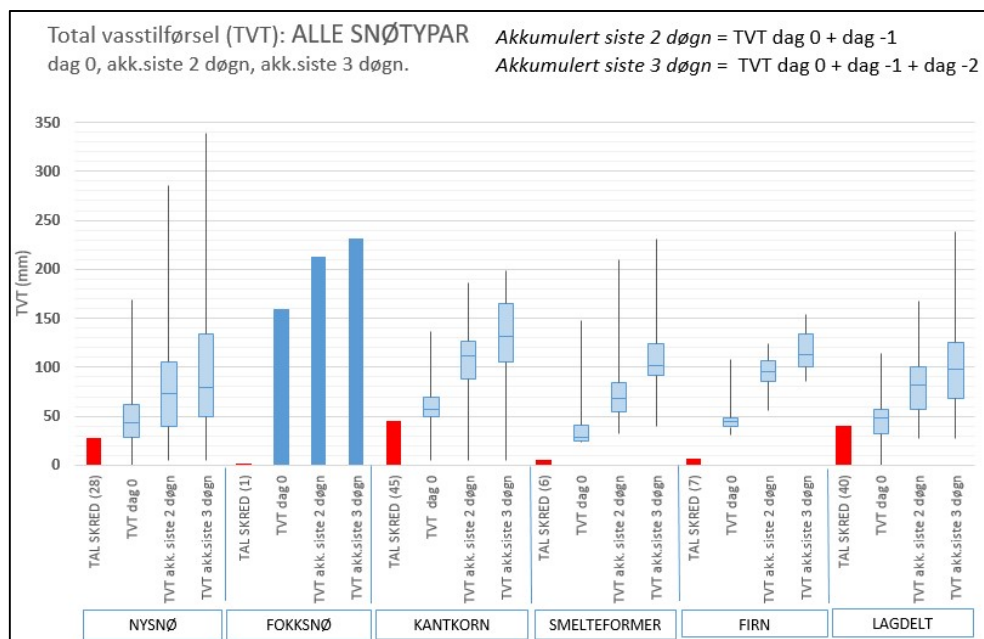
Det vart difor gjort eit overslag av denne snøsmeltinga ved hjelp av meteorologiske stasjonar, som måler vind/stråling/temperatur, i nærleiken av skredlokaliteten, samt smeltekurver er modifisert etter Skaugen og Saloranta (2015). Denne variabelen vart kalla SS.

Den totale vasstilførselen (TVT) er summen av RS og SS, og viser til kor mykje vatn som har vore tilført ved skredutløysing.

2.3 Resultat

Det er gjort fleire samanstillingar av ulike data, under er dei som er rekna å vere mest relevante.

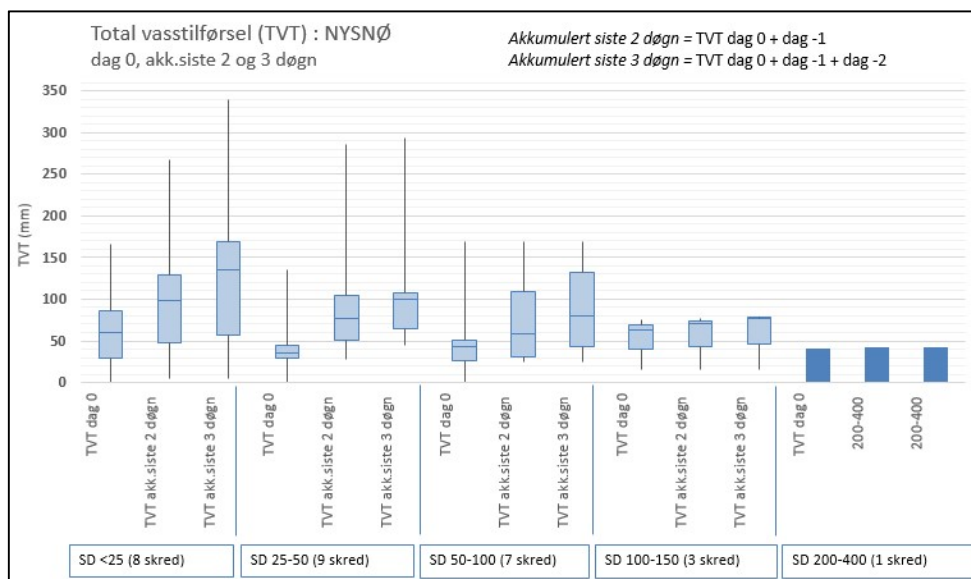
Figur 3 viser total vasstilførsel dag 0, akkumulert siste 2 og 3 døgn for ulike snøtypar.



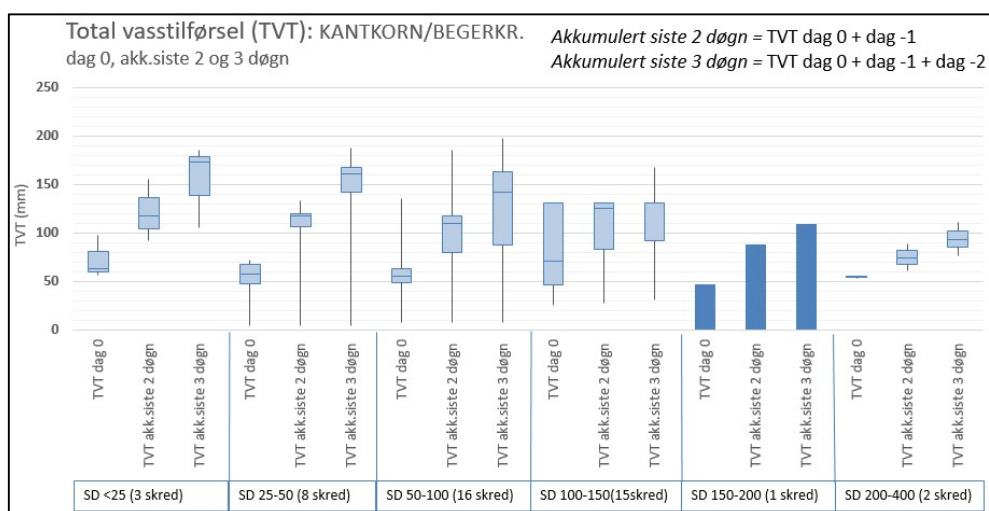
Figur 3. Total vasstilførsel (TVT) dag 0, akkumulert siste 2 døgn og akkumulert siste 3 døgn.

Merk at det berre er eitt skred registrert med fokksnø.

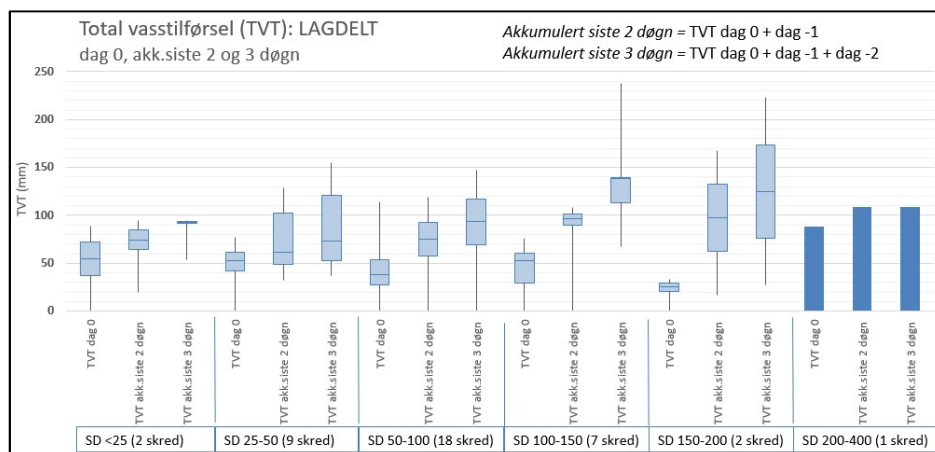
Figur 4, figur 5 og figur 6 viser total vasstilførsel for dag 0, samt akkumulert for siste 2 og 3 døgn, for høvesvis nysnø, kantkorn/begerkrystallar og lagdelt snø, med ulike snødjupn.



Figur 4. Total vasstilførsel (TVT) pr. snødjupne (SD) (dag -2) for nysnø. Dag 0, akkumulert siste 2 og 3 døgn. Merk at det berre er eitt skred som er registrert med 200-400 cm SD.

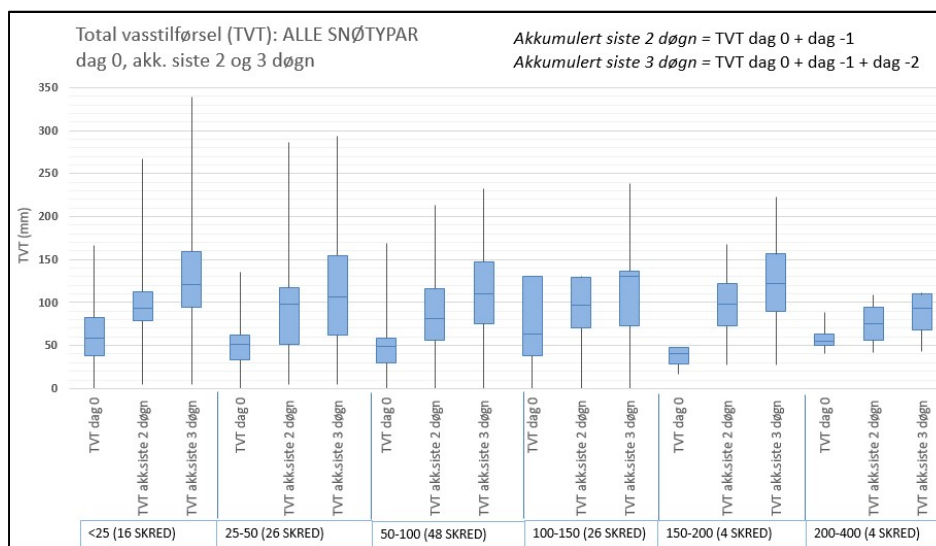


Figur 5. Total vasstilførsel (TVT) pr. snødjupne (SD) (dag -2) for kantkorn. Dag 0, akkumulert siste 2 og 3 døgn. Merk at det berre er eitt skred som er registrert med 150-200 cm SD.



Figur 6. Total vasstilførsel (TVT) pr. snødjupne (SD) (dag -2) for lagdelt snø. Dag 0, akkumulert siste 2 og 3 døgn. Merk at det berre er eitt skred som er registrert med 200-400 cm SD.

Figur 7 viser vasstilførsel dag 0, akkumulert siste 2 og 3 døgn for dei ulike snødjupn-kategoriane, samla for alle snøtypene.



Figur 7. Total vasstilførsel (TVT) per snødjupne (SD) (dag -2), alle snøtypar samla. Dag 0, akkumulert siste 2 og 3 døgn

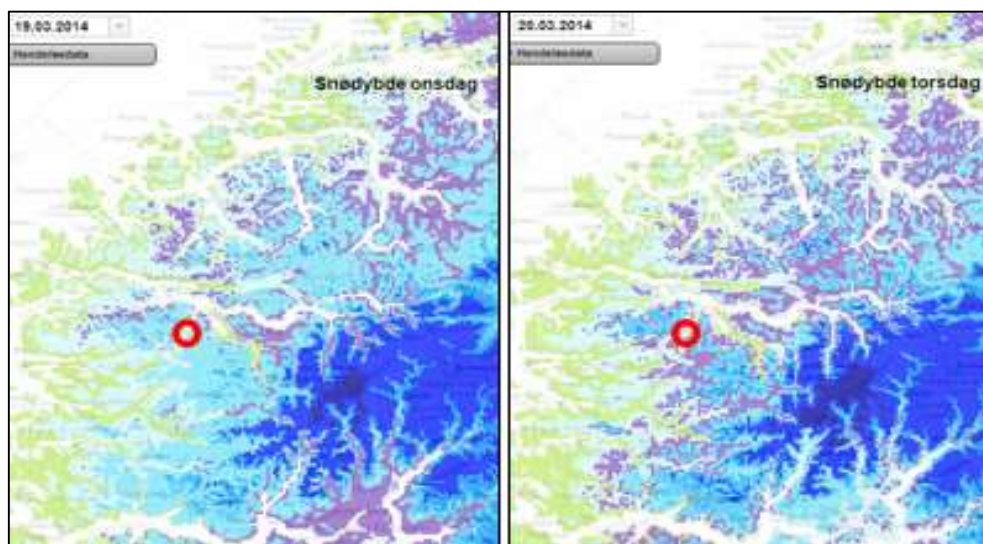
2.4 Snødjupn, snøtype og vasstilførsel

Snødjupne

Snødjupna verkar ikkje å ha ein samanheng med naudsynt vasstilførsel (figur 4, figur 5, figur 6 og figur 7). Det er også delvis svært store variasjonar i vasstilførsel.

For 16 skred er viser celleverdien i xgeo ei snødjupne på mindre enn 25 cm. I varslina er dette i utgangspunktet rekna som områder med for lite snø for utløyning. Difor vart desse skreda, i tillegg til dei med celleverdi for snødjupn på 25-50 cm

undersøkt nøyare, 51 skred totalt, 29 skred etter 2013 (då varslinga starta). 21 % av desse 29 skreda gjekk i regionar med grønt farenivå, dei resterande 79 % var i regionar med auka farenivå. Altså, sjølv om enkeltcella viste noko låg snødjupne, var mengda snø i regionen i dei fleste tilfella likevel vurdert som stor nok, og varsel var sendt ut (figur 8). Dette illustrerer noko av utfordringa med arbeid som inkluderer relativt lokale analyser (på cellenivå) i forhold til varsling i større regionar. Meir om dette i vedlegg B.



Figur 8. Lokalitet for sørpeskred i Gloppen, 20.03.14. Døme på at enkeltcella i xgeo viste lite snø (<25 cm) snødjupn. Det var likevel auka farenivå for sørpeskred (gult), fordi snødjupna i regionen var stor nok.

Ein bør altså vere obs på at sjølv om ein (varslings)region har lite snø i xgeo, kan det framleis ligge nok snø i forseinkingar til å danne sørpeskred. Sjølv om terrenget rundt er snøfritt og elles utanfor potensiell sørpeskredfare. Det snøfrie terrenget rundt isolerte snøflekke vil også akselerere snøsmelting. Både på grunn av lågare albedo for det mørkare terrenget og meir energitilførsel frå turbulent varmeutveksling (Onesti, 1985). Faren for sørpeskred bør difor ikkje avskrивast heilt på grunn av låge celleverdiar for snødjupne i ein region.

Snøtype

Resultatet frå analysane gir verken store eller eintydige skilnadar i vasstilførsel på ulike snøtypar. Det relativt stor skilnad i tal skred i ulike snøtypar, som gir ulikt datagrunnlag. Det er flest skred med nysnø, kantkorn og lagdelt, høvesvis 28, 45 og 40. For snøtypane smelteformer, firn og fokksnø er det høvesvis 6, 7 og 1 skred. Samstundes gir datagrunnlaget dokumentasjon på kva snøtypar sørpeskred går oftast i.

Lagdelt snø er snødekke som består av fleire snøtypar, noko som kan inkludere at snødekket til dømes inneheld kantkorn/begerkrystallar i botn. Dette tyder at dei lagdelte snøtypane kan ha veldig ulike eigenskapar sjølv om dei no er i same kategori. Ei vidare utvikling vil vere å sortere desse, for å skilje utsette og stabile samansetningar av snøtypar.

Akkumulert vasstilførsel

Akkumulert dag -1 og dag -2 viser betydning av å følgje med vasstilførsel over fleire dagar. Fleire dagar med mindre regn/snøsmelting til saman kan utgjere nok til å overskride tersklar.

Jo meir vatn som har kome tidlegare: jo mindre vatn trengs for å danne skred? Vatn vil bløyte snøen. Eller meir?! Kald snø held betre på vatn (Lundberg, 2018) + til betre tid snøen får på å tilpasse seg (den totale) vasstilførselen, jo meir toler den? Snøen kan tilpasse seg endringar over tid, medan raske endringar gjer snøstrukturen ustabil.

2.4.1 Feilkjelder / forenklingar

- Ulik mengde skred i ulike snøkategoriar (ulik datamengd).
- Det er nytta snødjupn for dag -2 fordi dette er utgangspunktet for dei tre siste døgna med vasstilførsel.
- Dei tidlege skreda frå Hestnes (1957-1983, merka med raud bakgrunn):
Brukar snødjupne og RS henta frå xgeo, medan S-variabelen er henta frå artikkelen (MW i tabell s. 324):
file:///C:/Users/susk/AppData/Local/Microsoft/Windows/INetCache/Content.Outlook/KUPVMLNE/Hestnes_1987_Sandersen_slush_flow_Rana.pdf
 - o Dette er fordi det er vanskeleg å finne vêrstasjonar som har data frå denne perioden.
 - o I samband med dette brukast «last 24 h» som dag 0. Dersom «initial period» er 6 dagar, kan dette brukast som dag 0 til 6. Avvik frå 6 dagar, kan reknast ut ved å dividere på tal dagar i «initial period», for å finne eit gjennomsnitt, og deretter multiplisere med 6.
- Skred som kan ha starta som følgje av oppdemte elveløp er med.
- Dag 0 er basert på det hydrologiske døgnet. Ideelt sett burde siste 24 timar frå utløysingstidspunkt vore nytta.
- Ved vurdering av samansetning av snøtype for lagdelt snø, er det vanskeleg å vite kva djupne skredet har gått på => rekna med at skredet går til botn av snødekket/glideflate på bakken med mindre anna er nemnt i rapportar.
- Ettersom tettleiken av meteorologiske stasjonar er relativt låg var det naudsynt å gjere ei subjektiv vurdering av korleis stasjonen si plassering i forhold til skredlokaliteten si plassering (både i horisontal og vertikal avstand) påverka vêrdata, og eventuelt gjere justeringar. Denne usikkerheita kan gi følgjefeil både for snøtype og vasstilførsel.

2.5 Konklusjon / vidare arbeid

NVE sitt sørpeskredregister, som per d.d. består av 127 skred, vart sortert i kategoriar ut i frå snødjupn og snøtype. Det er deretter gjort analysar for å sjå etter samanhengar mellom vasstilførsel og dei to kategoriane.

Analysane har ikkje gitt indikasjonar på at auka snødjupne heng saman med auka vasstilførsel. Vidare medfører dette at snødjupna kanskje ikkje bør vektleggast i for stor grad, i forhold til naudsynte vassmengder for sørpeskredfare. Betre å ta snittsnødjupna for heile regionen?

Det er heller ikkje eintydige eller store skilnadar på naudsynt vasstilførsel på ulike snøtypar. Det er også relativt stor spreining i vasstilførsel i dei ulike kategoriane, noko som også gjer det vanskeleg å trekke konklusjonar.

127 skred er noko lite å gjere analysar på. Det er dessutan stor skilnad i kor mange skred som er i dei ulike kategoriane. Dette kan likevel gi indikasjonar på kva type snø skreda oftast går i. Registrering av sørpeskred fortsett, og datamengda byggast stadig opp.

Det var berre eitt skred registrert i fokksnø av 127 skred totalt. Vassmengda i dette eine fokksnøskredet var likevel relativt høg, og underbyggjer såleis ei hypotese om at fokksnø er mindre utsett. Dette indikerer at denne snøtypen berre er aktuell ved vasstilførsel som gir oransje nivå.

Dei lagdelte snødekkane er per no samla i same kategori. Desse bør sorterast slik at ugunstige samansetningar av snø kan skiljast frå mindre utsette samansetningar. Her kan det potensielt vere store skilnadar.

3. Feltarbeid

Skuset (2018) utvikla sesongen 2017/2018 ein metode for feltforsøk med snø og vatn. Som ei forlenging av studiet vart denne metoden nytta og utvikla vidare i dette arbeidet. Ettersom Skuset (2018) berre gjorde forsøk på smelteomvandla snø, var målet mellom anna å få testa andre snøtypar.

Det vart også testa litt anna utstyr for å undersøke potensiale for å utvikle metoden vidare.

3.1 Metode

Følgjande metode er nytta:

1. Fylle ei boks laga av pleksiglas med snø (30 cm i stor boks, 25 cm i for lita). Enten ved å dytte boksen inni snøen, eller skjere ut blokker av snø, og forsiktig plassere dei i boksen. Boksen har ein hengsla front som kan opnast.
2. Tilføre vatn, enten med trykksprøyter frå Gardena, eller med ein perforert hageslange (figur 9).
3. Studere korleis snøen oppfører seg når fronten på boksen opnast.
4. Finne ein grenseverdi for vasstilførsel når snøen oppfører seg som sørpe ved opning av front. Også nivået med vassmetta snø (*VD*) er samanlikna. Desse målingane vart gjort lengst framme i boksen (*VDf*), midt på (*VDm*) og lengst bak (*VDb*).

Boksen vart rigga med ulike hellingar; 0°, 5°, 10° og 15°.



Figur 9. Metoden som vart utvikla av Skuset (2018) vart nytta (NVE/Sunniva Skuset).

Resultata frå feltarbeidet i master og engasjement har blitt samanlikna, for å undersøke kva skilnadar som eventuelt dukka opp mellom ulike snøtypar.

Ny tilnærming

Det har vore testa litt forskjellige tilnærmingar undervegs. Skuset (2018) ei boks på 50 cm x 50 cm x 50 cm. Gjennom sesongen 2018/2018 har ei mindre boks med måla 25 cm x 25 cm x 25 cm vore testa (figur 10). Boksen har forbetra ordning for opning/lukking av front. Denne tilnærminga har fått høgast prioritet.



Figur 10. Ny, mindre boks. 25 cm x 25 cm x 25 cm (NVE/Sunniva Skuset).

Det er fleire fordelar med å nytte ein mindre boks:

- langt enklare å få med seg i felt
- fleire forsøk i løpet av ein feltdag
- dersom det berre finst tynne lag med den bestemte snøtypen, er det enklare å fylle boksen
- gunstigare å bruke trykksprøytene til vasstilførsel, som gir ein betre fordeling av vatnet utover snøen
- hengsler til å opne/lukke front, så slepp teipbruk.

Vidare har resultat frå stor og lita boks, med same snøtype, blitt samanlikna.

3.2 Resultat

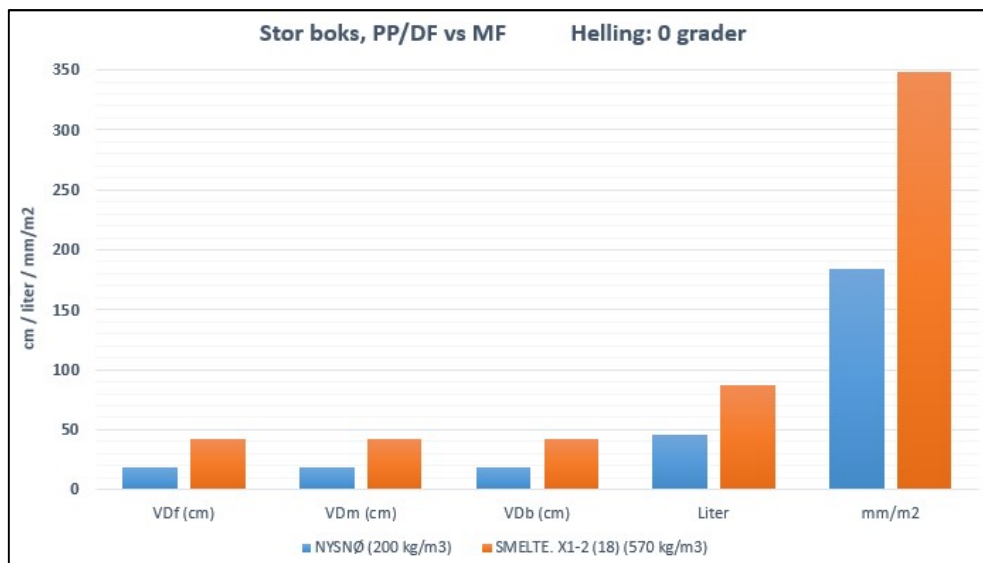
Det vart til saman gjennomført 4 feltturar i 2018 og 17 feltarbeid i 2019.

Det kan reknast med 1-2 cm feilmargin i målingar av nivå for vassmetta snø.

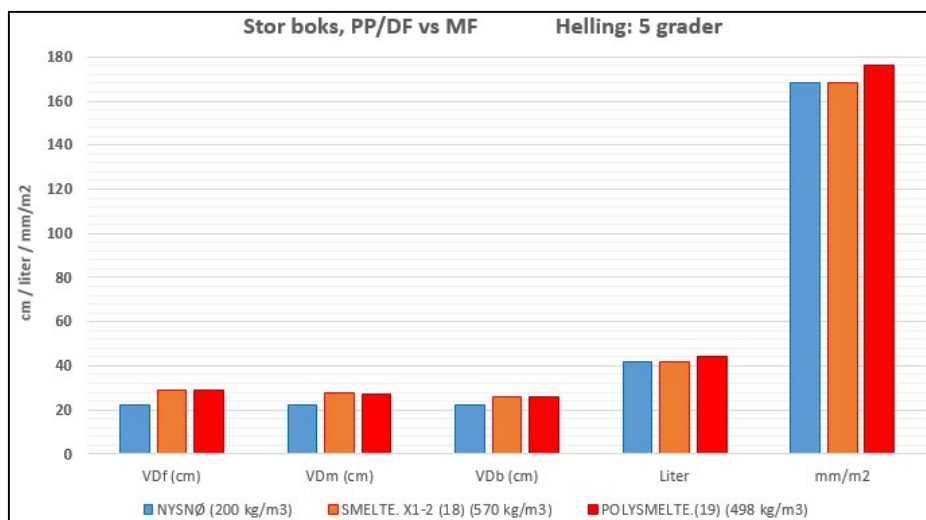
Samanlikning av ulike snøtypar – stor boks (30 cm snø) og lita boks (25 cm snø)

Vasstilførsel vart samanlikna på ulike snøtypar, på ulike hellingar (figur 14, figur 12, figur 13 og figur 14). Desse forsøka vart gjort både med stor og lita boks. *Nysnø (PP)* er relativt fersk snø med låg tettleik. Kan også inkludere delvis nedbrutte nedbørspartikla (DF). *Smelte x1-2 (MF)*, heretter omtala som *smelte* i teksten, er snø som har vore gjennom nokre smelte-/fryserundar. *Polysmelte* har vore gjennom fleir smelte-/fryserundar. Verdier i grafane er frå forsøk der snøen oppførte seg som sørpe,

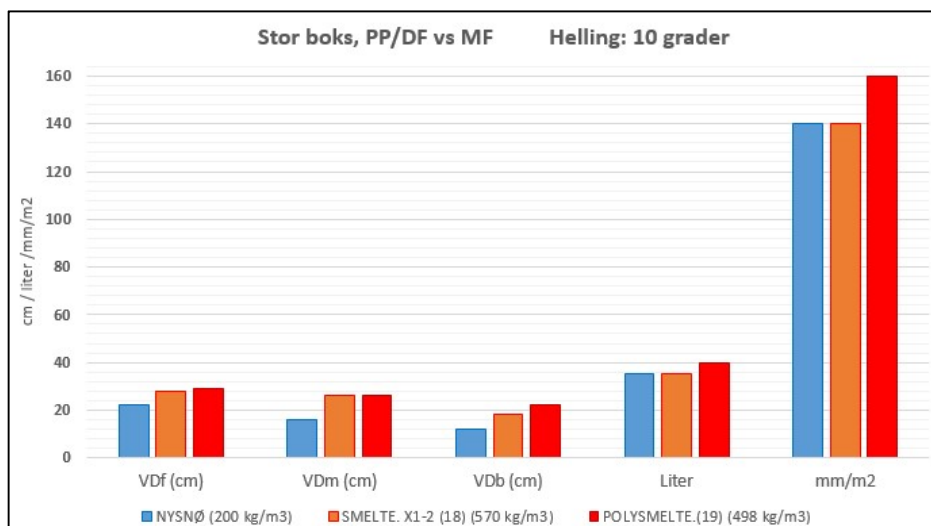
grenseverdier. Generelt trong nysnøen minst vatn, nokre gonger saman med ein anna snøtype.



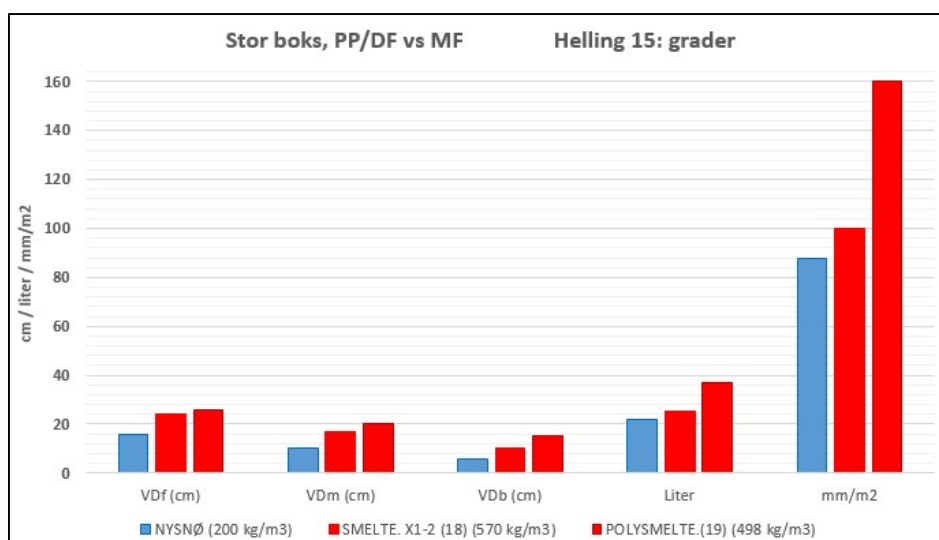
Figur 11. Resultat nysnø (PP) og smelteformer (MF) og 0 grader helling. Smelte x1-2 er snø som har vore gjennom nokre smelte-/fryserundar. Polysmelte har vore gjennom mange fleir rundar.



Figur 12. Resultat nysnø (PP) og smelteformer (MF) og 5 grader helling. Smelte x1-2 er snø som har vore gjennom nokre smelte-/fryserundar. Polysmelte har vore gjennom mange fleir rundar.

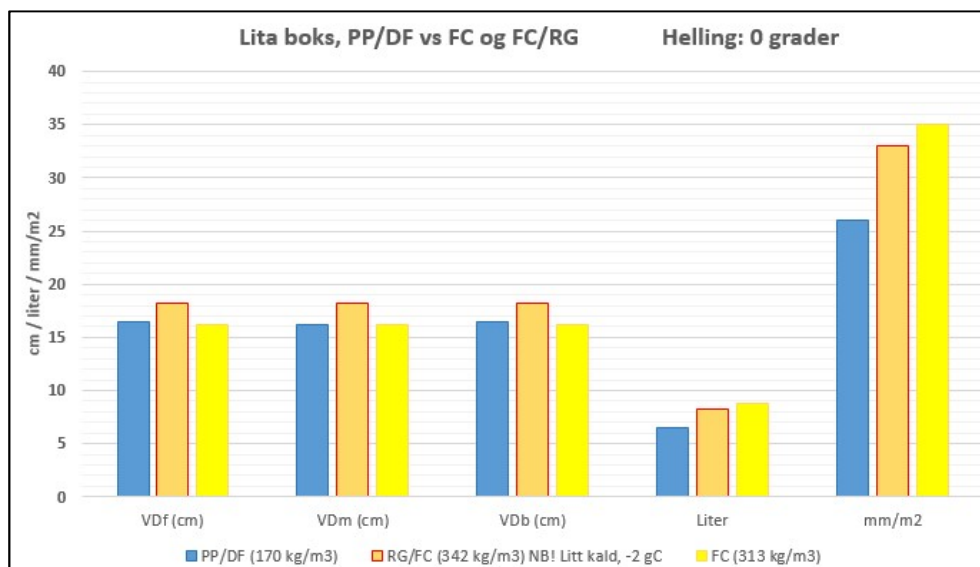


Figur 13. Resultat nysnø (PP) og smelteformer (MF) og 10 grader helling. Smelte x1-2 er snø som har vore gjennom nokre smelte-/fryserundar. Polysmelte har vore gjennom mange fleir rundar.



Figur 14. Resultat nysnø (PP) og smelteformer (MF) og 15 grader helling. Smelte x1-2 er snø som har vore gjennom nokre smelte-/fryserundar. Polysmelte har vore gjennom mange fleir rundar.

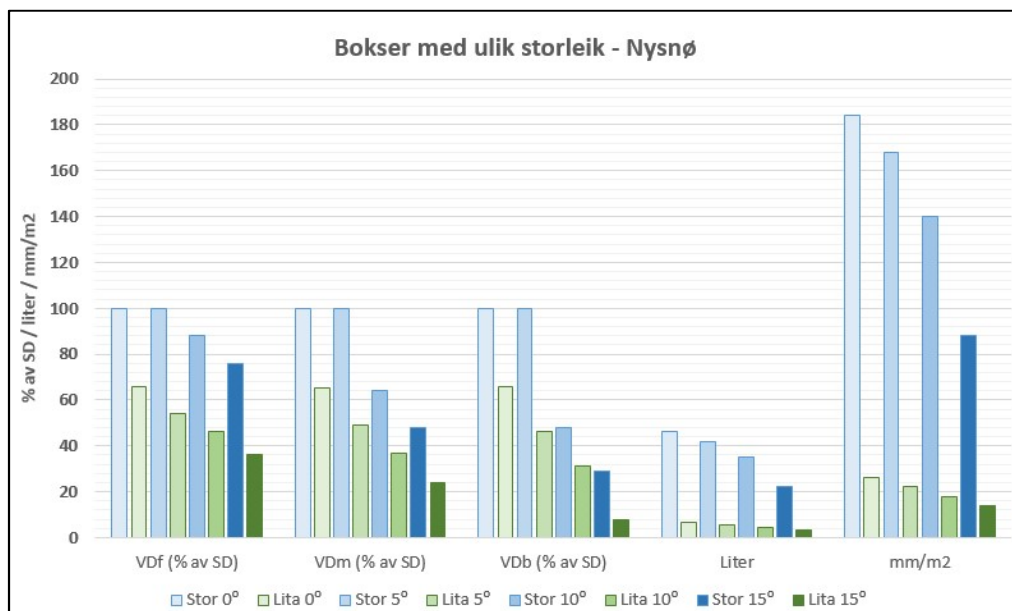
Det vart også gjort forsøk med den vesle boksen. Her vart nysnø (PP/DF), kantkorn (FC) og runda, kanta snø (RG/FC) samanlikna (figur 15). Nysnøen trong minst vatn, runda snø litt meir og kantkorn mest.



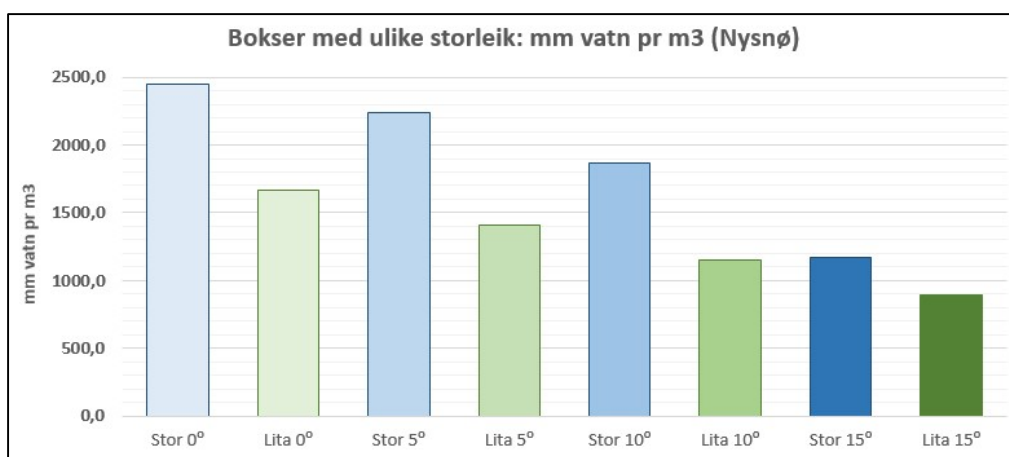
Figur 15. Resultat nysnø (PP/DF), kantkorn (FC) og runda (RG), kanta snø. Lita boks, 0 grader helling.

Samanlikning av ulike storleikar – stor og lita boks

Forsøk gjort med stor og lita boks vart samanlikna for å studere verknadar av boksen sin storleik (figur 16 og figur 17) viser resultat frå forsøk med lita og stor boks. Forsøka er gjort med nysnø. I figur 16 er nivået for vassmetta snø (VD) gitt som % av snødjupne for å enklare samanlikne stor og lita boks. I figur 17 er vassmengda vist som mm/m³ av same årsak. Ved bruk av den vesle boksen var det behov for relativt sett mindre vatn, i forhold til volum snø.



Figur 16. Samanlikning av lita og stor boks, nysnø. Målingar av vassmetta nivå med snø (VD), tal liter tilført og mm/m2.



Figur 17. Samanlikning av resultat frå stor og lita boks. mm vasstilførsel per kubikkmeter, for å betre sjå skilnadar.

3.3 Samanlikning av snøtypar og boksstorleik i feltforsøk

Resultata kan samanliknast med jordskredvarslinga sine erfaringsverdiar, som er at like mange mm regn/snøsmelting som det er cm snø, er kritisk.

Samanlikning av erfaringsverdiar med desse forsøka er noko utfordrande. Dette kjem av at erfaringsverdiane enten er målt ein feltlokalitet, eller estimert og korrigert ut i frå målestasjonar i nærleiken av eit utløysingsområde. Forsøka ser på vasstilførsel direkte til snøen. Kor mykje av dei mm vasstilførsel som er estimert for eit utløysingsområde, treng ikkje å samanfalle med vassmengda som faktisk samlast i eit utløysingsområde. Den vassmengda vil i tillegg, og kanskje i større grad, vere påverka av dreneringsforholda heilt lokalt i utløysingsområdet.

Samanlikning av ulike snøtypar – stor boks

På 5° og 10° helling er kritisk mengd vatn likt for nysnø og smelte: 168 mm (5°) og 140 (10°) mm. Polysmelte trong mest, 176 mm (5°) og 160 mm (10°), høvesvis 105 % og 114 % av nysnø. På same tid var nivået for vassmetta snø likt for smelte og polysmelte tilnærma likt, medan for nysnø var nivået lågare.

På 0° er skilnadane større, der smelte (348 mm) trong 189 % av nysnøen (184 mm). Smelte måtte flyte på eit tjukt lag med vatn for utløysing (+100 % av snødjupne), medan nysnøen hadde eit nivå for vassmetta snø på 63 % av snødjupne. Polysmelte har ikkje verdiar for 0°.

Skilnadane er også større på 15°, men også her er nysnø og smelte ganske likt, høvesvis 88 og 100 mm (114 % av nysnø), medan polysmelte trong meir vatn, 160 mm (182 % av nysnø). Skilnaden for nivå for vassmetta snø varierer med hellinga og kvar i boksen målinga er tatt, verdiane er minst for nysnø og mest for polysmelte (figur 14).

Til samanlikning med erfaringsverdiane til jordskredvarslinga, der ein reknar 1 mm vatn per 1 cm snø:

<i>Helling</i>	<i>Nysnø</i>	<i>Smelte</i>	<i>Polysmelte</i>
	<i>mm/cm</i>		
<i>0°</i>	6,1	11,6	-
<i>5°</i>	5,6	5,6	5,9
<i>10°</i>	4,7	4,7	5,3
<i>15°</i>	2,9	3,3	5,3

Samanlikning av ulike snøtypar – lita boks

I den mindre boksen har det foreløpig ikkje blitt undersøkt smelteformer. Men nysnøen er samanlikna med runda snø (kald) og kantkorn. Her var det naudsynt med høvesvis 26 mm, 33 og 35 mm vatn. Eller 1, 1,3, 1,4 mm/cm snø, noko som minner meir om erfaringsverdiane. Verdiane frå lita boks gir lite forskjellar mellom snøtypane.

Nysnø og kantkorn hadde omtrent likt nivå av vassmetta snø ved utløysing (16,5 og 16,3 cm), medan runda snø hadde litt høgare (18,3 cm).

Samanlikning av ulike storleikar – stor og lita boks

Tal liter er høgare for den største boksa, naturleg nok på grunn av større volum med snø. Men ein ser også at det relativt sett var behov for mindre vatn i den vesle boksen (figur 16). Til dømes å 0° helling er var det naudsynt med 184 mm for stor boks, og 26 mm for lita boks, altså 14 % av stor boks. Vassnivået, som % av snødjupne, var 65-66 % for lita boks, og +100 % for stor boks. Volumet på den vesle boksa var til samanlikning 21 %. Dette kjem fram av figur 17, som viser mm vatn per volum snø. Her er det størst skilnad mellom boksene på dei låge hellingane. På 0° er vasstilførselen (mm/m³) i lita boks 67,8 % av stor, på 5°: 62,9 % og på 10°: 61,7 %. Mindre skilnad på 15°: 76,4 %. Ut i frå dette er det altså ikkje eit lineært forhold mellom volum snø og naudsynt vassmengd.

Ein kan merke seg at verdiane for mm vasstilførsel ved kollaps/sørpe i den vesle boksen ligg nærare opp mot erfaringsverdiane som brukast i jordskredvarslinga. Men skilnadane mellom dei ulike boksene gjer det vanskeleg å vurdere om dette berre er tilfeldig. Det er samtidig vanskeleg å vite kva som er «rett», noko som også illustrere svakheiter med metoden.

Metode

Ein del kommentarar til metode finst i Skuset (2018). Ein større refleksjon rundt problemstillinga er å finne i kapittel 5.

Då NGI fekk presentert arbeidet vart følgjande poengtert: Ofte kom snøblokka ut samtidig. Det tyda på at snøen fortsatt var stabil (gode bruer mellom krystallane). Då er det poretrykket på flata mellom snøen og pleksiglas som er avgjerande for bevegelsen. Ikkje poretrykket mellom snøkrystallane (Jaedicke, C., NGI, pers.med., mai 2019). Det betyr kanskje at poretrykket *inni* snøen er gjeldane i dei tilfella snøen

delvis vert liggande inni boksen (?). Denne kommentaren er i så fall viktig for tolking av resultata, i samband med korleis ein definerer resultat med sørpe i forhold til resultat med «glideskred».

Generelt om modellforsøk og terskelverdiar

I følgje teori (nærare skildra i kapittel 5) vil terskelverdiar funne i fysiske modellar (felt-/modellforsøk) krevje at ein har god kunnskap om dei geologiske og topografiske forholda i losneområdet. Det betyr at slike modellar eventuelt kan brukast for varslings i enkeltområde. Vidare står det at erfaringsverdiar for større område å føretrekkje for å finne terskelverdiar brukt i varslings for større regionar. Ei følgje av dette bør vere ei vurdering av kor godt erfaringsverdiane jordskredvarslinga brukar, fungerer som utgangspunkt for modellforsøk.

3.4 Konklusjon / vidare arbeid

Metode utvikla av Skuset (2018) har blitt testa på ulike snøtypar. Relative skilnadar kjem fram i ulik grad, men resultata indikerer at nysnøen treng noko mindre vatn for å bli ustabil.

Ei ny tilnærming med mindre boks er testa, men med same framgangsmåte. Naudsynt vassmengd i forhold til kubikkmeter snø, var mindre i den vesle boksen enn den store. Det tyder på eit ikkje-lineært forhold mellom volum snø som skal setjast i rørsle og naudsynt vassmengd.

Metoden er også evaluert. Det er uvisst om snøen vert ustabil i form av at snøkrystallane har myst bruene (poretrykk *inni* snøen), eller om snøen kjem ut av boksen på grunn av poretrykk mellom snø og pleksiglas. Vidare, er det mange tilfelle der store delar av snøen er vassmetta, men likevel ikkje kjem ut av boksen. Snøen er dermed sørpe, definert av handtesten. Sørpe, definert av handtesten, ser dermed ikkje ut til å automatisk bety *ustabil* sørpe. Det er muleg at snøen blir ustabil dersom den får stå lenge nok. Har tida har større innverknad enn mm vasstilførsel? Eventuelt, er ein startbevegelse naudsynt for at snøen skal få flyteeigenskapar?

Sørpeskred er resultat av komplekse samanhengar mellom fleire faktorar, som grunnforhold og topografi, i tillegg til vasstilførsel og snødjupn (Hestnes, 1998). Gjer dette det vanskeleg å isolere éin faktor for å skildre utløysing av sørpeskred? Det er muleg å lage sørpe av snø ved å tilføre (nok) vatn, men det er ikkje sjølvstendig at denne sørpa vert ustabil. Dette er vidare diskutert i kapittel 5, i ein større refleksjonsdel.

Generelt sett er ikkje modellforsøk eigna til å finne absolutte verdiar for bruk i regional varslings. Mellom anna fordi vasstilførselen i ei forseinking vil definierast av lokale forhold, og er vanskeleg å omsette til eit bestemt tal mm vasstilførsel. Til dette er erfaringsverdiar for større geografiske område betre.

Modellforsøk kan likevel vere nyttig for å studere utløysingsforhold i sørpeskred. Men slike forsøk bør inkludere fleire faktorar, til dømes både initierande rørsle og snø i potensiell skredbane. Meir om dette i kapittel 5. Dersom ein skal fortsette å utvikle forsøk for slike formål, bør ein vurdere poretrykksmålingar inni snøen, for å nærare

studere utløysingsårsak. Eit måleinstrument for fritt vassinnhald (t.d. denoth) ville også vere nyttig i denne samanheng.

4. Oppsummering

Det er ved hjelp av dataanalyse og feltarbeid forsøkt å finne ut meir om sørpeskred i ulike snøtypar. Overordna målsetjing er å finne samanhengar mellom vasstilførsel på ulike snøtypar, i samband med utløyising av sørpeskred. På sikt kan forhåpentlegvis eigne terskelverdiar for ulike snøtypar bli utvikla, for bruk i regional vurdering av sørpeskredfare.

Dataanalysane av sørpeskredregisteret har ikkje gitt indikasjonar på at auka snødjupne heng saman med auka vasstilførsel. Det er heller ikkje eintydige eller store skilnadar på naudsynt vasstilførsel på ulike snøtypar. Svakheita med analysane er at det er noko få skred i registeret (127 per d.d.). Det er også relativt stor skilnad i tal skred i ulike kategoriar, som gjer det vanskeleg å trekke konklusjonar. Vidare er alle skred med lagdelte snødekke samla i éin kategori, noko som er uheldig med tanke på at ulike lagdelingar kan ha svært ulike eigenskapar.

Metode for feltarbeid, utvikla av Skuset (2018), har vore nytta til testar på ulike snøtypar. Relative skilnadar kjem fram i ulik grad, men resultata indikerer at nysnøen treng noko mindre vatn for å bli ustabil enn andre snøtypar. Det er også testa ei ny tilnærming, same metode, men mindre boks (1/8 volum i forhold til den opphavelge boksen).

Diskusjon rundt metoden konkluderer med at forsøka si utforming er mindre eigna til å nå den overordna målsettinga for studiet. Det er fleire årsakar til dette. Mellom anna er det ugunstig / vanskeleg å isolere éin faktor, i dette tilfelle mm vasstilførsel, for å skildre utløyising av sørpeskred. Denne skredtypen er eit resultata av spesielle forhold, med samhandling mellom fleire faktorar. I tillegg er generelt modellforsøk lite eigna til å finne terskelverdiar for bruk i regional varsling. Til dette formålet er erfaringsverdiar for større geografiske område betre.

Modellforsøk kan likevel vere nyttig for å finne ut meir om utløysingsforhold i sørpeskred, og korleis snø blir til sørpe. Slike forsøk bør innehalde fleire faktorar. Det ville dessutan vere nyttig med diverse instrument, for mellom anna poretrykk og LWC.

5. Diskusjon

Refleksjonar og vidare arbeid

*Refleksjonar frå NVE-engasjement og masterarbeid.
Forslag til vidare arbeid*

5.1 Opphaveleg problemstilling

Masterarbeidet mitt, som også danna utgangspunktet for engasjementet i NVE, omfatta studie av utløysingsforhold for sørpeskred. Målsetjinga var å finne svar på:

«Kor mange mm vatn skal til for å løyse ut sørpeskred i ulike snøtypar?»

Bakgrunnen for arbeidet var å forbetre kriteria for vurdering av sørpeskredfare. Eg meiner det er behov for å presisere denne problemstillinga. Gjennom arbeidet har eg opplevd at formuleringa har blitt noko uklar – kva er det vi eigentleg vil ha svar på? Var denne problemstillinga tenkt synonymt med utløysingsårsak? Denne påstanden har også bakgrunn i teori.

Utløysing av sørpeskred er ei følgje av komplekse interaksjonar mellom fleire faktorar. Studie av utløysingsforhold kan difor ha fleire tilnærmingar. Ei meir konkret problemstilling vil truleg gi større klarheit i kva resultat ein ynskjer å ende opp med. Dette vil vidare vere til hjelp i utforming av passande eksperiment.

5.2 Forslag til nye problemstillingar

Vidare gir eg nokre forslag til problemstillingar som eventuelt kan nyttast som utgangspunkt. Kanskje dei også vil illustrere korleis eg oppfattar at den opphavelege problemstillinga er for omfattande.

1. **«Kva skal til for at eit volum snø omdannast til sørpe (LWC = 15 vol.%), og er dette i så fall ustabil? Eller må snøen vere i vassmetta tilstand over tid, for å oppnå ustabile eigenskapar?»**

Ei tilnærming er å sjå på korleis snø omdannast til sørpe. Her kan også gjerast studie av korleis ulike snøtypar reagerer på høgt vassinnhald, korleis utviklast LWC i samband med vassstilførsel? Denne tilnærminga representerer *utløysingspunktet*. Kan til dømes ei blå lagune/vassdemme plutsleg bli ustabil? Evt. kva skal til for at dette setjast i rørsle?

2. **«Korleis oppfører ulike snødekke (snøtype, snøtilstand) seg i skredløpet til eit (potensielt) sørpeskred?»**

Vil ein demning som bryt, til dømes frå eit snøskred som har demma opp ei elv, alltid medføre sørpeskred? Eller har snøen i det potensielle skredløpet stor innverknad på om det vil utvikle seg eit sørpeskred eller ikkje? Kan stabile eller tjukke snødekke til

dømes forhindre sørpeskred *trass eit utløysingspunkt har blitt omdanna til sørpe* (problemstilling 1)? Vil startbevegelsen utvikle seg til eit sørpeskred?

3. «Kva skal til for å løyse ut sørpeskred – eit nærare studie av utløysingsmekanismane i sørpeskred.»

Eksisterande teori foreslår at sørpeskredutløysing er eit resultat av komplekse interaksjonar mellom fleire faktorar. Eg trur at dette også gjer det *utfordrande å skilje ut éin faktor*, i dette tilfellet mm vasstilførsel, *i eksperiment* for å studere utløysing. Kan ein finne ut meir om korleis desse faktorane verkar saman?

Vidare tek eg føre meg erfaringar frå feltarbeid, feltobservasjonar samt ulike teori, for å gi ei grundigare forklaring av kva som ligg til grunn for framlegget mitt. Kan dette også danne utgangspunktet for vidare arbeid med temaet?

5.3 Feltarbeid

For å studere utløysingsforholda har tilnærminga vore å forsøke å få snøen til å kollapse/bli sørpe ved hjelp av kunstig tilførsel av vatn. Dette skulle resultere i ei vassmengd (mm) som skal til for å få kollapsen, og deretter forsøke å finne skilnadar (relative eller konkrete verdiar) mellom ulike snøtypar.

I dei tilfella eg har fått snøen ustabil, har vasstilførselen vore mykje høgare enn erfaringsverdiar som nyttast av jordskredvarslinga, like mange mm som cm snø. Forsøka har altså vist at eit relativt høgt vassinnhald, altså at ein stor del av volumet snø er sørpe (ved handtesten), ikkje nødvendigvis er tilstrekkeleg for at snøen skal *kollapse* og oppføre seg som ustabil/flytande sørpe. Figur 18 viser resultat frå eitt forsøk frå masterarbeidet. Rader merka med blått var forsøk som ga kollaps, kvite er utan.

Forsøk 18 (29.04.18)										
Kl. fylling	Deltest nr.	SD (cm)	α (°)	Vass-tilførsel (ovanfrå/nedanfrå)	Vassnivå (cm) (% av SD)			Vatn		Kollaps (ja/nei)
					V _f	V _m	V _b	l/ /m ²	mm/ m ²	
1305-1325	18.1	30	0	Nedanfrå	27 (90)	27 (90)	27 (90)	41	164	Nei
1415-1430	18.2	30	0	Nedanfrå	33 (100)	33 (100)	33 (100)	44	176	Nei
1447-1504	18.3	30	5	Nedanfrå	29 (97)	28 (93)	26 (87)	42	168	Ja
1518-1523	18.4	30	5	Nedanfrå	26 (87)	24 (80)	21,5 (72)	39	156	Nei
1540-1555	18.5	30	5	Ovanfrå	25 (83)	24 (80)	23 (77)	39	156	Nei
1610-1623	18.6	30	5	Ovanfrå	27,5 (92)	26 (86)	25 (83)	37	148	Nei
1658-1710	18.7	30	0	Nedanfrå	42,5* (100)	42,5* (100)	42,5* (100)	87	348	Ja

*snøblokk flyt på 15 cm vatn.

Figur 18. Resultat frå forsøk 18 (Skuset, 2018). Rader med blå merking er forsøk som ga kollaps, kvite er utan. VD= nivå vassmetta snø. F=målt framme i boksen. M=midt på. B=bak i boksen.

Kva er så årsaka til at desse verdiane er 3-6 gongar høgare enn erfaringsverdiane til jordskredvarslinga?

- 1) Snøtypen er rekna for å vere ein meir stabil type i forhold til å danne sørpeskred?
- 2) Stor dreneringsevne: i mange tilfelle, med stort innhald av vassmetta snø, har alt vatnet drenert ut, utan at snøen har kollapsa, eller rast ut av boksen.
- 3) Forsøket hadde for liten målestokk?
- 4) Tida var for kort? Blir snøen meir ustabil etter lengre tid i vassmetta tilstand?
 - a. MEN: snøen har vore sørpe i full djune, målt med handtesten, utan å ha blitt ustabil (t.d. forsøk 18.2, figur 18). Dersom det er tida som er avgjerande er det vanskeleg å seie kor mange mm vasstilførsel som trengs.
- 5) Forsøksdesignet var utilstrekkeleg? Er det fleire faktorar som spelar inn enn høg vasstilførsel? Dreneringsforhold, bevegelse i snøen, tid osv.
- 6) Erfaringsverdiane til jordskredvarslinga er ikkje representative for kva vasstilførsel som faktisk er i utløysingsområde? Må ein rekne med såpass høgare vasstilførsel i forseinkingar enn mm regn og snøsmelting over eit større område, at erfaringsverdiane ikkje eignar seg som utgangspunkt for feltforsøk?
 - a. Eit døme på dette er at jo større helling boksen hadde, jo mindre vatn var naudsynt for utløysing. Altså er hellinga med på å avgjere kor mange mm vatn som trengs for utløysing.
 - b. Ei forlenging av dette medfører at verdiar frå feltforsøk ikkje eignar seg til terskelverdiar for varsling av større område?

Mest truleg vil ikkje denne typen forsøk egne seg til å finne nokre eksakte verdiar, noko som også er vidare diskutert i avsnittet om teori. Kva kan ein eventuelt finne ut ved hjelp av eit forsøk som dette?

Kanskje liknande problemstilling 1, foreslått over, som handlar om korleis (ulike) snø utviklar seg i vassmetta tilstand. *Spørsmålet blir likevel om eit område snø omforma til ustabil sørpe er tilstrekkeleg for vidare utvikling til eit sørpeskred?*

5.4 Feltobservasjonar

Feltobservasjonar viser også korleis vasstilførsel vanskeleg kan isolerast i studie og eksperiment med utløysing av sørpeskred. Sørpeskred vert mange gonger omtala som eit sjeldan fenomen, som skjer under spesielle forhold (t.d. i handbok v 139 frå Statens Vegvesen, The Avalanche handbook, McClung og Shaerer s. 104). Dette synast i naturen ved at sørpeskred ikkje går overalt sjølv om vasstilførselen er høg, men er avhengig av at dei andre faktorene spelar på lag, til dømes dreneringsforhold. Figur 19 under viser døme på at høg vasstilførsel (åleine) i forseinkingar har smelta vekk snø, men ikkje danna sørpeskred. Det var over 50 cm snø då mildvêret slo til.



Figur 19. Høg vasstilførsel og stor smelting - men ingen skred (NVE/Sunniva Skuset).

Eit anna døme er henta frå Folven (Oppstryn), der elva Sunndøla ligg slik at den kan råkast av snøskred. I 1995 førte ei snøskredpropp i elva, til eit sørpeskred og vatn/sørpe flaumde over markane nedstrøms (figur 20 og figur 21).



Figur 20. Propp av snøskred førte til at sørpe/vatn fløynde utover gardane nedstrøms, Folven 1995 (Krister Kristensen).



Figur 21. Sørpe og vatn, Folven 1995 (Krister Kristensen).

I 2000 vart det igjen oppdaga synkande vasstand i elva Sunndøla. Også denne gongen hadde det gått eit snøskred i elva (figur 22).



Figur 22. Snøskred demmer opp elva Sunndøla, Folven 2000 (Kristen Kristensen).

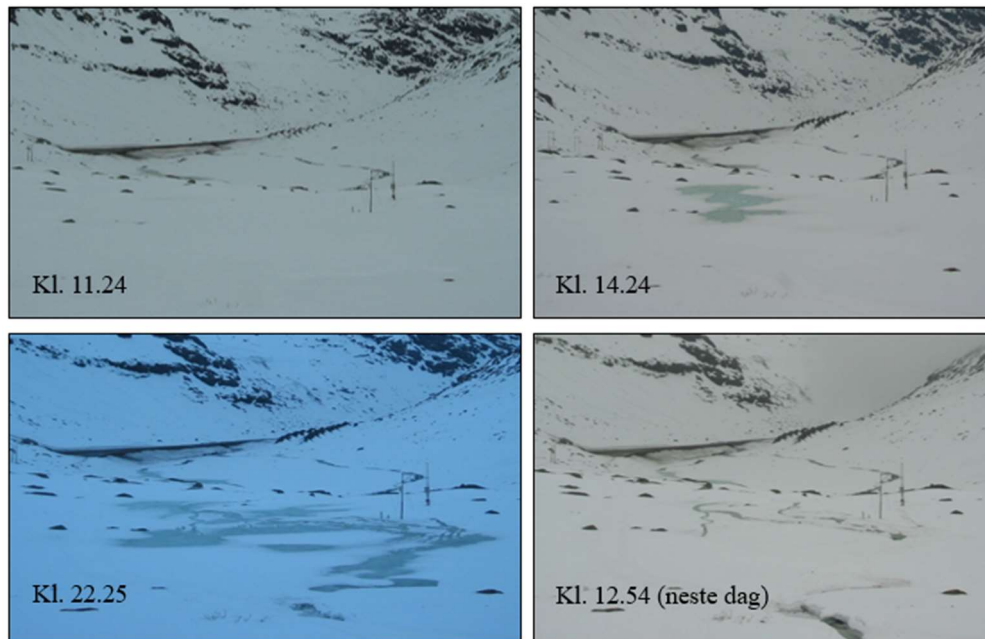
Ein fylgde nøye med den stigande vasstanden bak proppa (figur 23).



Figur 23. Stigande vasstand bak proppa, Folven 2000 (Kristen Kristensen).

Dette tok likevel ei overraskande vending, då proppa aldri losna, men drenerte vatnet roleg ut.

Figur 24 nedanfor er ein timelaps frå Fonnbu i Grasdalen, Strynefjellet. Og viser korleis blå laguner / vassdemme vert danna og utvikla, før vatnet plutselig finn ein veg ut, og drenerer ut snødekket.



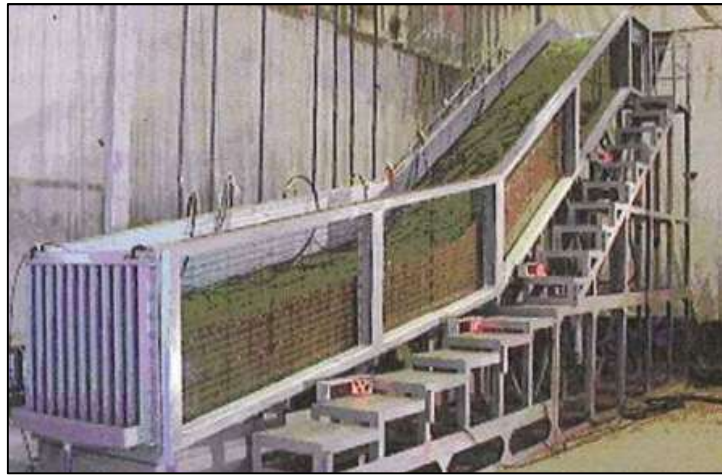
Figur 24. Timelapse Fonnbu (Krister Kristensen).

Dei to siste døma viser tilfelle med høg vasstilførsel, og forhold som ligg til rette for sørpeskred, *utan* at skred går. Dette viser kanskje også kvifor det har vore vanskeleg å fått snøen til å oppføre seg som *ustabil* sørpe i forsøka gjort i master og engasjement. Høg vasstilførsel åleine er ikkje tilstrekkeleg for utløysing.

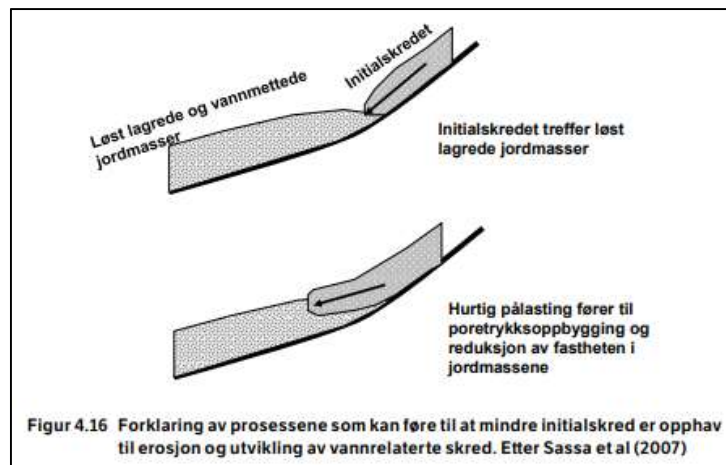
5.5 Teori

Handbok V139 Flaum- og sørpeskred

Nokre gonger tek handboka føre seg skredtypane kvar for seg, og andre gonger under eitt, som vassrelaterte skred. Det er fleire døme på modellforsøk med sediment i handboka, som ligg til grunn for kunnskapen om flaumskred (figur 25 og figur 26, s.37-42 i handboka). Det er noko uklårt om desse gjeld sørpeskred. Dersom ein skal overføre denne kunnskapen sørpeskred, bør ein vel likevel ta omsyn til at sørpe er eit meir dynamisk materiale? Sidan det er ei blanding av snø og vatn? Hadde det i så fall vore interessant å gjere liknande forsøk med snø, for å forstå meir om utløysing av sørpeskred?



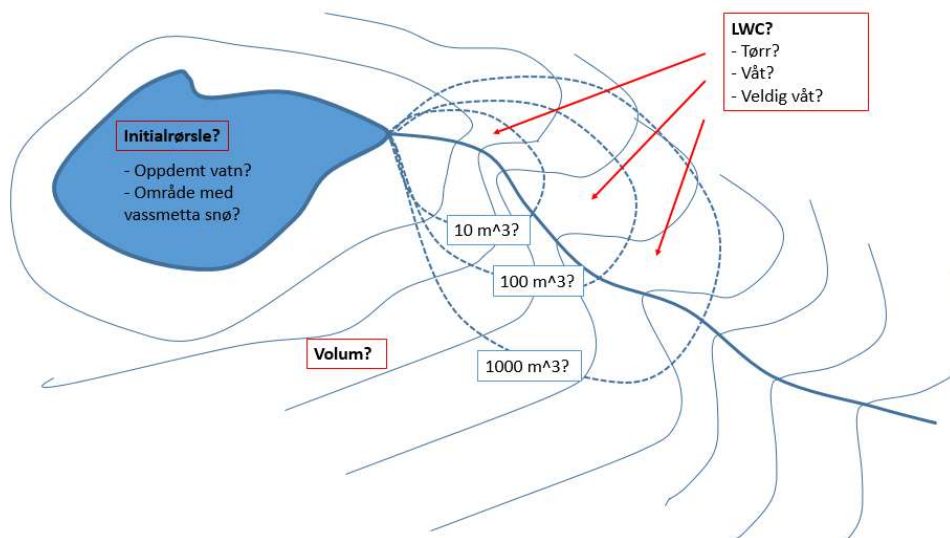
Figur 25. Modellforsøk med utløysing av flaumskred, Ochiai et al. (2007). Frå Handbok V139.



Figur 26. Forklaring av prosessane som kan føre til at mindre initialskred gir opphav til erosjon og at vassrelaterte skred blir utvikla. Sassa et al. (2007). Frå Handbok V139.

Det er til dømes gjort studiar på kva som skilde situasjonar som utvikla seg til flaumskred, frå der ikkje utvikla seg. Her er mellom anna eigenskapane til det nedre laget (djupne, vassmetting) nemnt å kunne vere utslagsgivande. I tillegg var det indikasjonar på at tjukkare sediment krev større nedbørsmengder.

Gjeld dette også snø/sørpeskred? Har eigenskapane til snøen (djupne/tilstand) nedstraums det potensielle skredløpet vesentleg betydning for kor mykje vatn/vassmetta snø som trengs for å setje i gong skred (figur 27)? Korleis skal ein eventuelt ta dette i betraktning i samband med terskelverdiar?



Figur 27. Kva rolle spelar eigenskapane til snøen nedstraums eit potensielt utløysingsområde? Korleis ta omsyn til dette ved utarbeiding av kriteria for sørpeskredfare?

Vidare vil eg vise fram nokre sitat henta frå handboka, som eg fann interessante. Poretrykk vert trekt fram som ein viktig faktor. Er grunnen til at eg kunna tilført såpass mykje vatn utan at snøen har blitt ustabil, at ikkje eg har fått opp poretrykket *inni* snøen? Sitata utgjer kanskje utgangspunkt for nye problemstillingar, som kan ta føre seg forståing av utløysingsmekanismane til sørpeskred.

«Det essensielle for å forstå utløysinga og utviklinga av eit flaumskred er å forstå korleis ei lokal utgliding kan utvikle seg til eit skred med heilt andre strøymingseigenskapar enn massane hadde sekund før brotet inntraff.» (s.37)

«For å kunne forklare korleis masseutglidingar kan utvikle seg til flaumskred er det viktig å forstå korleis store poretrykk kan bygge seg opp i samband med initialbrotet, slik at effektivspenningane blir redusert over lengre tid» (s.41).

«Poretrykket kan variere innanfor vide grenser og er ein viktig faktor for å forstå kvifor flaum- og sørpeskred kan opptre nærast som ei rein væske. (...) Føresetnaden for at skreda skal få lange utløp er at dette store poretrykket vert oppretthaldt under det meste av skredbevegelsen» (s.45).

«Dei jord- eller sørpemassane som skli ut tek opp i seg eller får frigjort vatn, slik at blandinga med partiklar/vatn får tilstrekkeleg mobilitet» (s.27). Det er poretrykket i sedimenta, ikkje vatnet si effekt på overflata som er den kritiske faktoren for stabiliteten» (s.32).

Metamorfose i våt snø

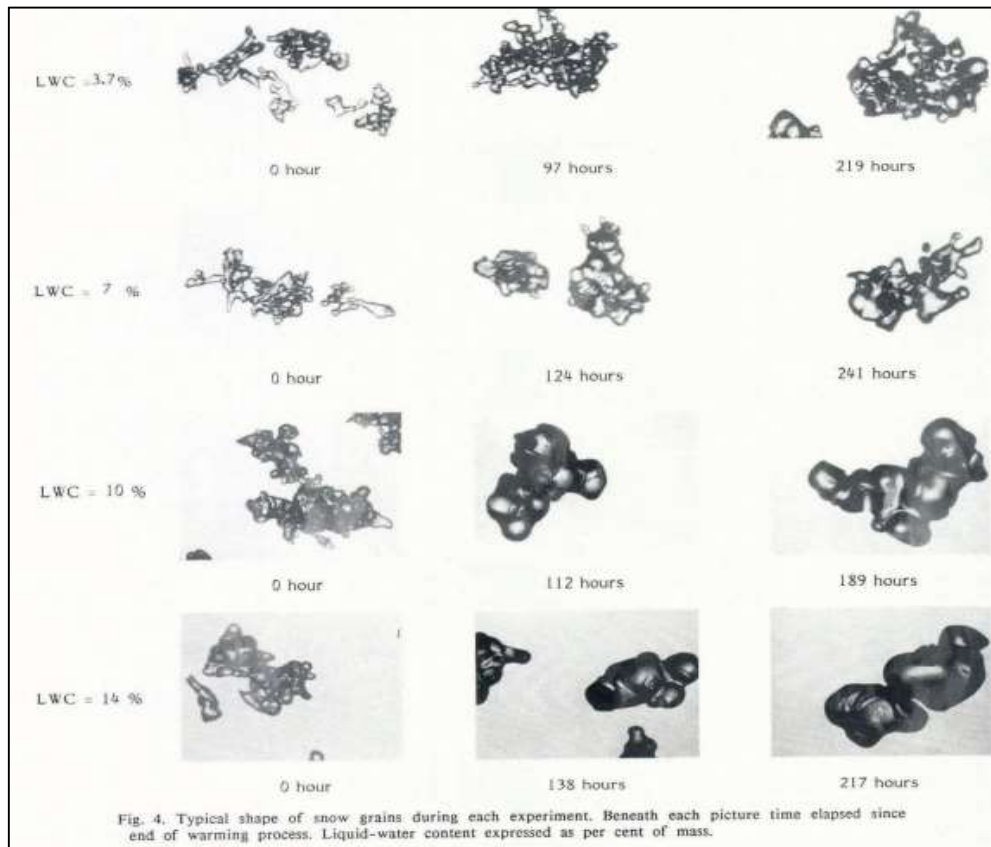
Ved høgt vassinnhald vil skilnad i likevektstemperaturen til store og små snøkorn føre til at små snøkorn smeltar, og store snøkorn vil vokse i storleik. Smelting skjer også i kontaktpunkta mellom snøkorn, som fører til at styrken i snøen vert senka, og dessutan fører til at snøen får høgare tettheit (Colbeck, 1974).

Vekstraten (growth rate) aukar med auka vassinnhald (LWC) (figur 28), ettersom bevegelse av vatn gjennom porene er truleg den avgrensande faktoren for metamorfose under forhold med lågare vassinnhald (Brun, 1989). Vatn har dessutan stor evne til å leie varme (Colbeck, 1974).

Dersom vekstraten er avhengig av LWC, medfører dette at tida det tek for snøen å bli ustabil/senka styrke er avhengig av LWC? Korleis er eventuelt forholdet mellom senka styrke, LWC og tid?

Eg har fått ein del tilbakemelding på dette med tid. Snøen har i mange tilfelle utan kollaps vore meir eller mindre fullstendig vassmetta (> 15 vol.% per handtest). Her har det kome innspel om at tida har vore for kort. Mellom anna då eg presenterte arbeidet for NGI. Her vart det påpeika at skreda ikkje losnar rett etter nedbør/smelting, men at det tek 12-48 timar etter den mest intense nedbøren/smeltinga. Det tek tid å bryte ned bruene mellom snøkrystallane (som stemmer med Brun, 1989), og først då vil snødekket bli ustabilt.

Dersom tida er det avgjerande, vil det gjere det vanskelegare å seie noko eintydig om mm vasstilførsel. Undersøking av tida si betydning er noko som eventuelt kunne fått plass i eit framtidig studie.



Figur 28. Brun 1989. Merk: LWC er gitt som prosent av masse (LWC øvst til nedst: 3.7, 7, 10, 14 %)

I eksperimentet til Brun (1989) ser LWC ut til å halde seg konstant. Er dette tilfelle i naturen? Eller vil LWC kunne endre seg undervegs og dermed endre forholda for omforming av snøen?

Modellforsøk og terskelverdier

Følgande slutning er gjort for flaumskred i handbok V139: ein terskelverdi funne i fysisk modell (frå felt-/modellforsøk) vil krevje at ein har god kunnskap om dei geologiske og topografiske forholda i losneområdet. Dette betyr at slike modellar i teorien kan nyttast til skredvarsling for enkeltområde. Det står vidare at terskelverdier for større område (brukt til regional varsling) må bygge på erfaringsverdier for eit større område.

Dette gjeld gjerne for sørpeskred også. Er mm vasstilførsel i eit potensielt utløysingsområde til dømes meir avhengig av lokale dreneringsforhold enn mm regn og snøsmelting. Ulike vassmengder på ulike hellingar, vist i mine forsøk, kan vere døme på slike lokale forhold. På same måte som at tid i vassmetta tilstand kan vere avgjerande.

5.6 Konklusjon

Til saman har eg no forsøkt å forklare kvifor og korleis den opphævelege problemstillinga har blitt litt uklar for meg, kva er det eigentleg vi lurar på? Eg har tolka at problemstillinga for masteroppgåve/engasjement er å finne terskelverdiar for ustabil sørpe, altså utløysingsforhold for sørpeskred i ulike snøtypar.

Slike terskelverdiar, sjølv relative skilnadar mellom snøtypane, er vanskeleg å undersøke berre ved å tilføre vatn til snø på eit avgrensa område. Bakgrunnen for påstanden er at eg trur utløysingsprosessen er såpass kompleks, at det er vanskeleg å isolere éin faktor i studie (mm vasstilførsel).

I tillegg fordi den mengda vatn som tilførast eit utløysingsområde muleg er meir avhengig av lokale dreneringsforhold, enn venta mm nedbør og snøsmelting. På den måten får resultat frå eksperimenta mindre overføringsverdi til reelle forhold. Dette vil også gjelde motsett: korleis eignar erfaringsverdiane seg som utgangspunkt for feltforsøk?

Modellforsøk kan likevel vere nyttige for å forstå meir av utløysingsmekanisme og meir om korleis snø utviklar seg under våte forhold. Men slike forsøk krev etter mi meining ei anna tilnærming/problemstilling enn den som opphæveleg vart nytta her.

6. Kjelder

Hestnes, E. (1998) *Slushflow hazard - where, why and when? 25 years of experience with slushflow consulting and research*. International Glaciological Society, 26, s. 370-376.

Lundberg, C. N. (2018). *Skikompis. Snøskred og trygg ferdsel*. 1. utg. Fri flyt.

Onesti, L. J. (1985). *Meteorological conditions that initiate slushflows in the Central Brooks Range, Alaska*. Annals of Glaciology, 6. S. 23-25.

Skaugen, T. og Saloranta, T. (2015). *Simplified energy-balance modeling*. 31. Oslo, Norway: NVE

Skuset, S. (2018) *Utløysing av sørpeskred i ulike snøtypar* [masteroppgåve]. Trondheim: Noregs teknisk-naturvitskaplege universitet.

Statens vegvesen (2014). *Flom- og sørpeskred*. Håndbok V139. Oslo: Vegdirektoratet.

7. Vedlegg

Vedlegg A. Snødekningsgrad

Vedlegg B. Oversikt over andre vedlegg som finst i mapper

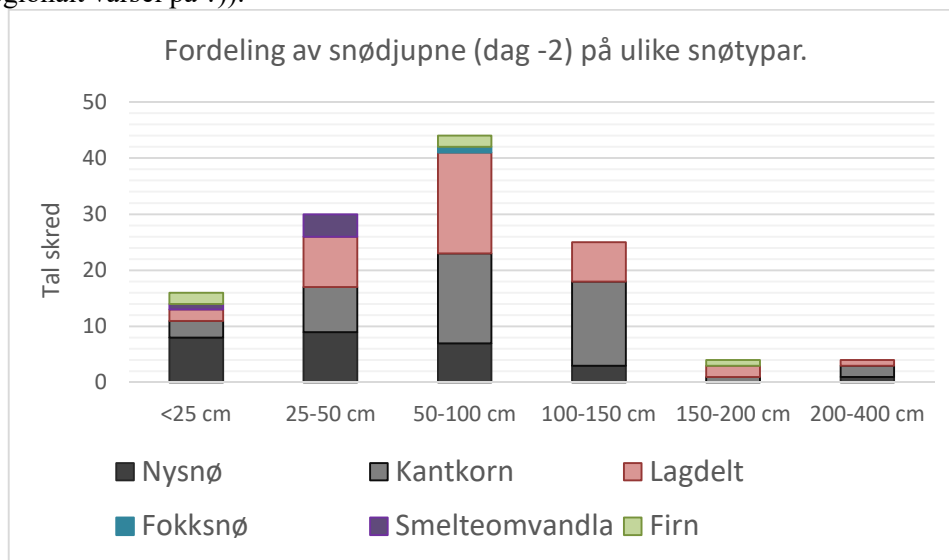
Vedlegg B. Snødekkningsgrad

B-1: KVA

Undersøkte snødekkningsgrad/snødjupna i et større område rundt enkeltcella i xgeo, som var valt til å representere forholda i utløysingspunktet for sørpeskredet. Dette vart gjort for skred som hadde snødjupne <25 cm eller 25-50 cm enten dag 0, dag -1 eller -2.

B-2: KVIFOR

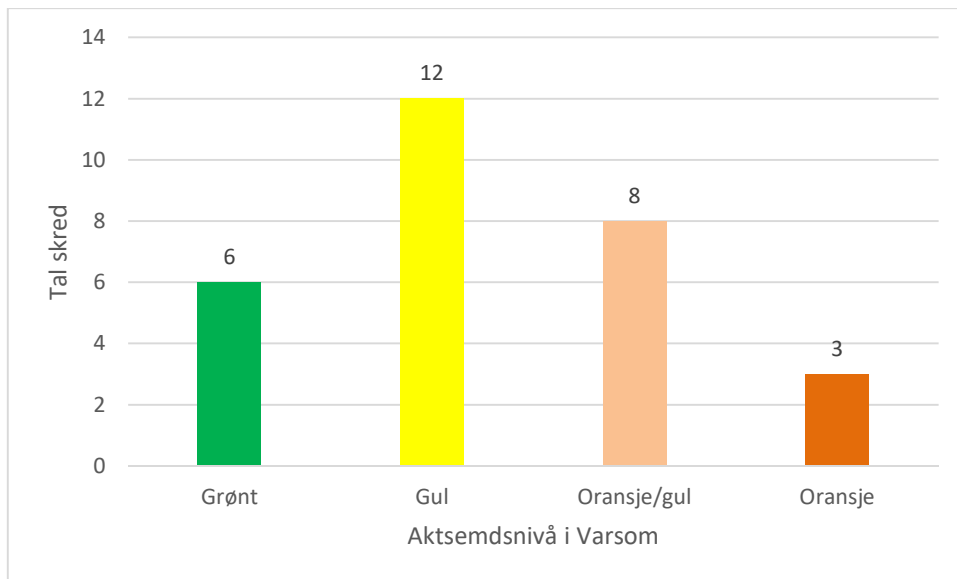
Ein relativt stor del av skreda i sørpeskredregisteret var utløyst med snødjupne <25 cm og 25-50 cm (dag -2) (figur 29). Særleg <25 cm er rekna for å vere for lite snø til at sørpeskred skal kunne gå. Det var difor interessant å sjå nærare på desse skreda. Det er undersøkt om regionen hadde ute varsel for sørpeskredfare og korleis snødjupna er i et større område (omtrent så store som fylke (~kva ein sender ut regionalt varsel på ?)).



Figur 29. Fordeling av snødjupne (dag -2) på ulike snøtypar.

B-3: Resultat

Av totalt 51 registrerte skred var det 28 skred før 2013, altså før NVE vurderte jord-/flaum-/sørpeskredfare, og 29 frå 2013 til 2018. Figur 30 viser korleis skreda fordelte seg på ulike aktsemdsnivå. 23 av 29 (79%) av desse skreda var i ein region der det var sendt ut gult eller høgare aktsemdsnivå på skredtidspunktet. Medan 6 skred (21 %) var i regionar det ikkje var sendt ut varsel på skredtidspunktet (noko som sjølv sagt også kan ha med heilt andre faktorar enn snødjupne å gjere).



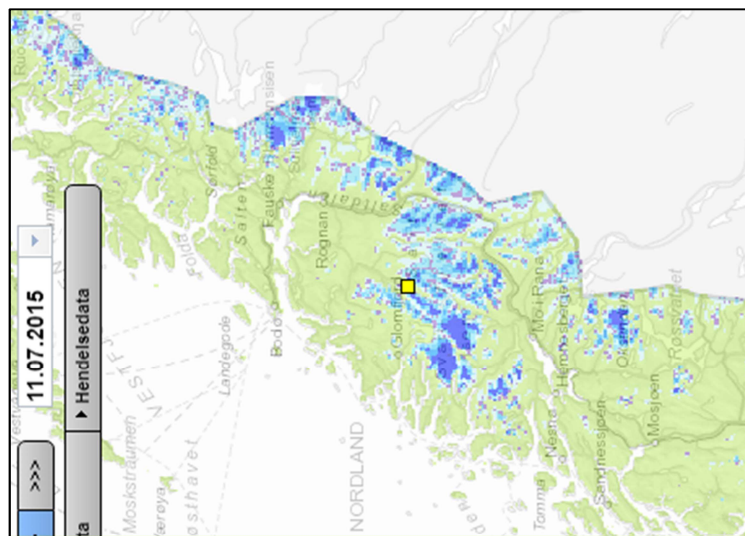
Figur 30. Tal skred ved ulike farenivå.

B-4: KONKLUSJON

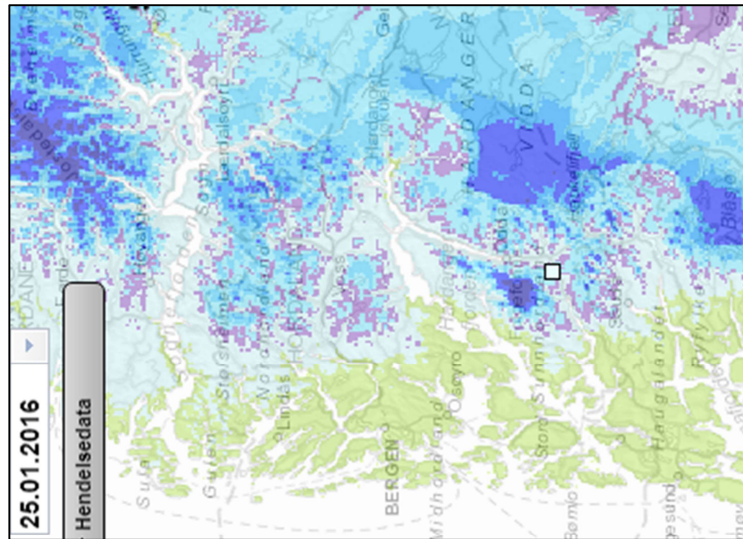
Sjølvsagt om det var lite snø lokalt (i enkeltcella) så verkar ikkje dette å ha så stor betydning for om det vert sendt ut eit varsel eller ikkje, då snødekningsgrada/snødjupna generelt i ein region er stor nok.

Eg har ikkje gått nærare inn på om årsaka til grønt farenivå er noko anna (t.d. tele eller RS). Figurane på dei to neste sidene (figur 31-36) viser under snødekninga dag 0 i dei 6 tilfella med grønt aktsemdsnivå. I parentes står snødjupna dag -2, dag -1 og dag 0 (i den rekkjefølgja).

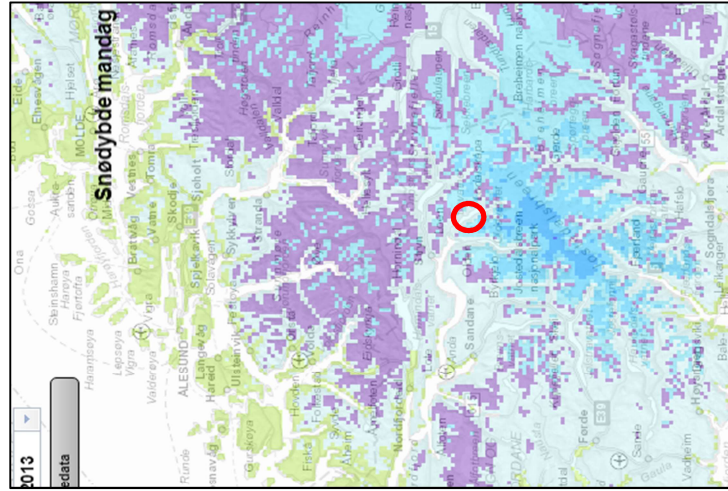
Figur 31: Trollbergdalselva, Breiarn, Nordland,
11.07.2015 (<25, <25)



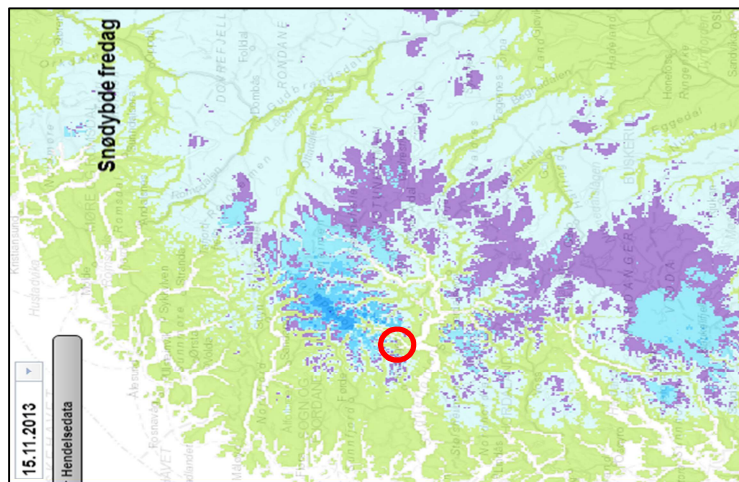
Figur 32: Vintertun, Odda, Hordaland,
25.01.2016 (25-50, 25-50, 25-50)



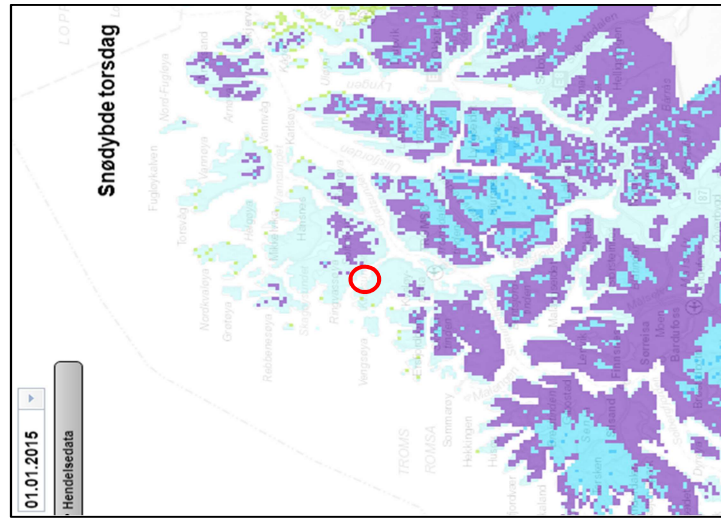
Figur 33: Rongunes, Stryn, S&F,
25.11.2016 (<25, <25, 25-50)



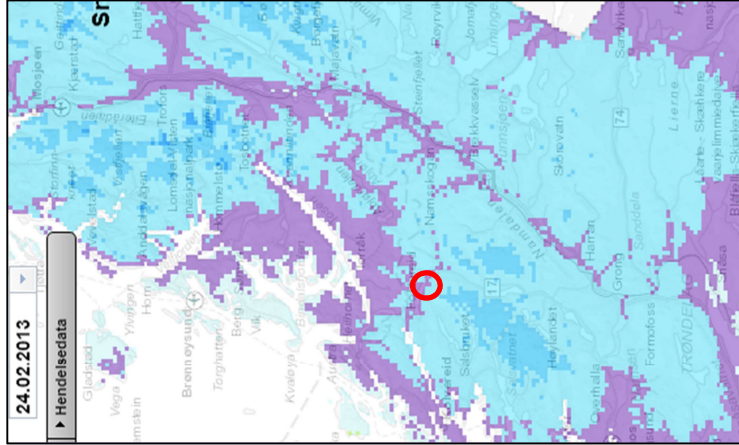
Figur 34: Upsagjelet, Balestrand, S & F,
15.11.2013 (<25, <25, <25)



Figur 35: Dankarvågen, Tromsø, Troms,
01.01.2015 (<25, <25, <25)



Figur 36: Bjøråa, Høylandet, Trøndelag,
24.02.2013 (50-100, 25-50, 25-50)



Vedlegg C. Oversikt over vedlegg som finst i mapper

Det vart skrive ein rapport for kvar feltdag, som inneheld utfyllande informasjon om kva som vart gjort og korleis, samt resultat og bilete. Desse samla i ei mappe hjå HF, på \\nve.no\fil\h\HF\Bruker\SUSK.



NVE

Norges vassdrags- og energidirektorat

.....

MIDDELTHUNSGATE 29
POSTBOKS 5091 MAJORSTUEN
0301 OSLO
TELEFON: (+47) 22 95 95 95

www.nve.no