

Utløysing av sørpeskred i ulike snøtypar

Utvikling av forsøksdesign, metode og utstyr
for feltforsøk, med formål å undersøke
utløysing av sørpeskred i ulike snøtypar

Sunniva Skuset

Geologi

Innlevert: august 2018

Hovudrettleiar: Terje Harald Bargel, IGP

Medveileidar: Monica Sund, NVE
Heidi A. Grønsten, NVE

Noregs teknisk-naturvitskaplege universitet
Institutt for geovitenskap og petroleum

Masteroppgåve

Prosjektskildring

Kandidatens namn: Sunniva Skuset

Oppgåva sin tittel: UTLØYSING AV SØRPESKRED I ULIKE SNØTYPAR

Utvikling av forsøksdesign, metode og utstyr for feltforsøk, med formål å undersøke utløysing av sørpeskred i ulike snøtypar.

English title: Development of an experimental design, method and equipment for field experiments, with objective to study release of slushflows in different snow types.

Utfyllande tekst:

1. Sørpeskred løysast ut som resultat av hydrometeorologiske tilhøve, i tillegg er nokre snøtypar meir utsett enn andre.
Målet med studiet er å undersøke forholdet mellom utsette snøtypar og vasstiltførsel ved utløysing av sørpeskred. Dette gjennomførast ved å gjere feltforsøk og analyser, og er avhengig av feltarbeid gjennom ein heil vintersesong (2017/2018), inkluderer grovkorna snø seint på våren.
2. Oppgåva vert gjennomført i samarbeid med NVE, hydrologisk avdeling. Kontaktpersonar og medretteiarar er Monica Sund og Heidi Anette Grønsten. Førsteamanuensis Terje Bargel, IGP, er hovudretteiar frå NTNU.

Studieretning: Geologi

Hovudprofil: Miljø- og geoteknologi

Tidsrom: 01.10.17-01.10.18

Terje Bargel, Førsteamanuensis/hovudretteiar

Samandrag

Jordskredvarslinga ved Noregs Vassdrags- og Energidirektorat (NVE) har det operative ansvaret for å vurdere faren for sørpeskred. Varslinga baserer seg på fleire faktorar, men i tillegg ein del erfaringsbaserte vurderingar. Ei sentralt vurdering er venta vasstilførsel i forhold til snødjupna, fordi vassinnhaldet i snøen er viktig for utløysing. I tillegg er nokre snøtypar utpeika som meir utsette for å danne sørpeskred enn andre. Eigenskapane til snødekket kan difor vere avgjerande for om regnvêr på snødekke vil medføre utløysing, eller ikkje. Terskelverdiane som vert nytta for å definere kritiske situasjonar er typisk basert på erfaringar frå tidlegare sørpeskredhendingar og feltobservasjonar, men har få eller ingen studie med kontrollerte feltforsøk å støtte seg på.

Denne studia har såleis utvikla eit forsøksdesign, metode og utstyr for å undersøkje terskelverdiar for utløysing av sørpeskred i ulike snøtypar i felt. Metoden bruker naturleg og i størst muleg grad urørt snø som isolerast med ein tett boks, og kunstig tilførsel av vatn. Snøblokka vert så frigjort for å sjå om vassinnhaldet i snøen er høgt nok til at snøen oppfører seg som ustabil sørpe. Det er sider ved både metode og utstyr som gjer forsøka mindre likt naturlege forhold. Samstundes finst det døme på andre studiar av snø og vatn der liknande metode og utstyr har vore brukt, men desse forsøka har hatt andre formål. Forsøksdesignet, metoden og utstyret som er utvikla i dette studiet treng meir testing, før ein nærare kan vurdere nytteverdien, men kan truleg brukast som utgangspunkt for vidare feltforsøk.

Resultatet frå dei testane som er gjennomført med forsøksdesignet, metoden og utstyret var at snøtypane, ulike variantar av smelteomvandla grovkorna snø, trong eit høgt vassnivå for å nå ein kritisk ustabilitet (80-100 % av snødjupn). Dette stemmer overeins med litteratur og erfaringar frå jordskredvarslinga; at smelteomvandla snø er mindre utsett for å danne sørpeskred. Sørpeskred kan likevel gå i alle snøtypar. Resultata frå forsøka i dette studiet antydar at kritisk vassnivå kan variere mykje for ulike snøtypar. Særleg om ein samanliknar med terskelverdiar som NVE brukar for forventta utløysing i andre snøtypar. Det indikerer i så fall at eit nyttig tilskot til vurdering av sørpeskredfare vil vere å utarbeide eigne terskelverdiar for ulike snøtypar, ved hjelp av feltforsøk. Om denne metoden viser seg å vere brukbar, kan den nyttast til dette formålet.

Abstract

The national flood and landslide warning and forecasting service is operated by the Norwegian Water Resources and Energy Directorate (NVE). The service is responsible for regional assessments of slushflow hazard. The assessment is based on many factors, but it is also necessary to do evaluations on a matter of judgement basis. A central assessment is to evaluate the expected water supply related to the current snow depth, since the liquid water content in snow is crucial for the release mechanism. Some snow types are thought to be more liable to start flowing, than others. The snow type can be of imperative importance to whether a rain-on-snow event will develop into a slushflow situation, or not. The threshold values that are used to define critical situations are typically based on previous warning situations with slush flows, and there are few if any studies based on controlled field experiments to rely on.

Thus, this study has developed a field based experimental method with custom tools and equipment attempting to investigate threshold values for the release of slushflows. A block of natural snow, if possible undisturbed, was isolated by a watertight box, upon which water is supplied artificially onto the snow. The front lid of the box is then released to see whether the water content in the snow pack is high enough, for the snow to behave like unstable slush (flow). There are elements and equipment used in this method which differs from nature. Still, similar methods and equipment have been used in other studies, but with different objectives. This work could be considered as a preliminary study, the experimental design need further testing, but hopefully it can be considered as a usable basis for further studies.

The tests were carried out with the developed experimental design, method and equipment. The results indicate that for different types of coarse grained snow (melt forms), a very high water level is needed to reach a critical instability (80-100 % of snow depth). This is in agreement with other studies and experiences from the flood and landslide warning service which assess coarse grained snow as less vulnerable (needs more water) to form slush flows. Still, slushflows are observed in all kinds of snow. The results from the experiments performed in this paper implies that critical water level for a release in different snow conditions could vary greatly. And specially when comparing to the threshold values used by NVE for expected release in other types of snow. Further, development of different threshold values with respect to water supply for different snow types could be a useful contribution to the warning system. If the experimental design, method and equipment from this study proves to be usable, it can be used for this objective.

Forord

Dette er ei avsluttande oppgåve i masterprogrammet Geologi realfag ved Institutt for geovitskap og petroleum ved Noregs teknisk-naturvitskaplege universitet (NTNU). Masterprogrammet strekkjer seg over to år. Oppgåva tel 60 studiepoeng og er skrive gjennom hausten 2017 og våren/sommaren 2018.

Ein oppvekst prega av friluftsliv og mange våte vintrar på Sunnmøre har lagt alt til rette for å ende opp med ei masteroppgåve om sørpeskred. Nysgjerrigheit fekk eg intravenøst gjennom bakglatte ski (seinare bytt ut med dei meir friksjonsrike fellene) og alt for sterk bålcaffi. For dette skal foreldra ha ein stor takk! Det er kjekt og givande å kunne undre seg over fenomena i naturen. Det har vore fantastisk å kunne få vie heile fem år til å studere naturen gjennom geologien - og å få toppe det heile med eitt år med forundring og -djuping i denne våte skredtypen.

Ein stor takk til medrettleiarar frå NVE Monica Sund og Heidi Anette Grønsten for ei særst interessant og utfordrande oppgåve og for at dei tok seg tida til å bli med på ein felttur! Dei har kome med gode innspel og tilbakemeldingar. Vi har hatt eit flott samarbeid. Takk til Terje Bargel som hjelpte meg med å få oppgåvetemaet eg ynskte, og han har vore hovudrettleiar.

Takk til Knut Alfredsen for lån av disdrometeret – dette instrumentet letta arbeidet med mange prosent. Takk til Torkjell Breivik som bidrog med arbeidsstad for utvikling av utstyr i den tidlege fasa og hjelp med teknisk utstyr. Takk til Yngve Jakobsen for 3D-printing, og dessutan som styremedlem i firmaet der mamma er dagleg leiar: Språkkonsultasjon AS. Ein stor takk til Synnøve, min partner in crime, for alltid å ta meg seriøst i situasjonar med lågt blodsukker og for mange tankar i hovudet (og dessutan ein guru innan Word-teknikk!). Elles takk til Trondheim klatresenter, medstudentar på lesesalen og kollektivet for hyggjelege avbrekk, og sjølvstilt til Magnus for god støtte.

Oppgåva sin karakter har gitt behov for feltassistentar. Der har familie og venar gledeleg stilt opp, i timesvis både med shepraverksemd, kaffekoking og faglege diskusjonar – sjølv under middels gunstige vêrforhold. Her har pappa bidrege med særleg høg kompetanse! Det set eg utruleg stor pris på!

Volda, 31.08.2018

Sunniva Skuset

Innholdsliste

SAMANDRAG	III
ABSTRACT	V
FORORD	VII
FIGURLISTE	XII
TABELLISTE	XVI
1 INTRODUKSJON	1
1.1 FORSKING OG VARSLING	1
1.2 PROBLEMSTILLING.....	4
1.3 STRUKTUREN I OPPGÅVA	4
1.4 OMGREPSAVKLARING	5
2 TEORI	6
2.1 FAKTORAR FOR UTLØYSING AV SØRPESKRED	6
2.2 GEOMORFOLOGI (LANDFORMER)	8
2.3 GRUNNFORHOLD	10
2.4 SNØ.....	11
2.4.1 Snøomvandling.....	12
2.4.2 Snøtypar og sørpedanning	16
2.4.3 Drenering i snødekket	17
2.4.4 Lagdeling	19
2.4.5 Fritt vassinnhald i snøen (LWC)	21
2.5 VÊR.....	22
2.5.1 Nedbørintensitet og nedbørmengd	23
2.5.2 Nedbør i samband med kjende sørpeskredhendingar.....	23
2.5.3 Naturleg nedbør	26
2.5.4 Ekstreme tilfelle.....	28
2.5.5 Energibalanse.....	29
2.6 MODELLERING	30
2.6.1 Modellering av vasstilførsle	30
2.6.2 Modellering av snødekket	32
2.7 FORSØK MED LIKANDE METODE OG UTSTYR.....	32
2.8 UTVIKLING AV SØRPE	34
3 METODE	36
3.1 SNØDEKKEUNDERSØKING	36

3.2	UTVIKLING AV FELTLAB.....	37
3.2.1	<i>Fase 1) Utstyr for registrering av vasstilførsel i feltforsøka</i>	38
3.2.2	<i>Fase 2) Vasstilførsel i feltforsøka</i>	44
3.2.3	<i>Sørpeboks</i>	47
3.2.4	<i>Vasstilførsel: Intensitet, varighet og mengd</i>	49
4	FELTOMRÅDE	51
4.1	KLIMASONER OG SNØDEKKE	51
4.2	PRAKTISKE FORHOLD	52
4.3	NETTSIDER	52
4.4	FELTOMRÅDER SOM VART NYTTA	53
5	RESULTAT	55
5.1	DEL 1: UTVIKLING AV FELTLAB (FORSØK 1-15)	55
5.1.1	<i>Fase 1) Utstyr for registrering av vasstilførsel i feltforsøka</i>	55
5.1.2	<i>Fase 2) Utstyr for vasstilførsel</i>	55
5.1.3	<i>Fase 3) Komplette feltlaboratorium</i>	60
5.1.4	<i>Fase 4) Forsøk med lenger varighet</i>	65
5.2	FERDIG UTVIKLA FELTLAB – RESULTAT ETTER FORSØK 1-15	69
5.2.1	<i>Kopling av disdrometer</i>	69
5.2.2	<i>Rigge opp utstyr</i>	70
5.2.3	<i>Langsam vasstilførsel</i>	70
5.2.4	<i>Hurtig vasstilførsel</i>	71
5.2.5	<i>Målinger av vasstilførsel og vassnivå</i>	73
5.2.6	<i>Vurdering av sørpeutvikling i boksen</i>	73
5.3	DEL 2: FORSØK MED FELTLAB	74
5.3.1	<i>Resultat forsøk 17, 18 og 19</i>	77
5.3.2	<i>Oppsummering av resultata</i>	81
6	DRØFTING	83
6.1	SNØDEKKEUNDERSØKING	83
6.2	DEL 1: UTVIKLING AV FELTLAB.....	83
6.2.1	<i>Fase 1) Disdrometer som utstyr for registrering av vasstilførsel</i>	83
6.2.2	<i>Fase 2) Utstyr for vasstilførsel</i>	85
6.2.3	<i>Fase 3) Komplette feltlaboratorium</i>	89
6.2.4	<i>Fase 4) Forsøk med lengre varighet</i>	89
6.3	FERDIG UTVIKLA FELTLAB	90
6.3.1	<i>Langsam vasstilførsel</i>	90
6.3.2	<i>Hurtig vasstilførsel</i>	92

6.3.3	<i>Vurdering av sørpeutvikling i boksen</i>	94
6.4	SØRPEBOKS	96
6.4.1	<i>Bakgrunn</i>	96
6.4.2	<i>Fordelar med sørpeboksen</i>	97
6.4.3	<i>Ulemper og feilkjelder med sørpeboksen</i>	97
6.5	DEL 2: FORSØK MED FELTLAB	103
6.5.1	<i>Helling av sørpeboks</i>	103
6.5.2	<i>Samanlikning av ulike resultat</i>	103
6.5.3	<i>Drøfting resultat</i>	104
6.6	VASSTILFØRSEL: INTENSITET, VARIGHEIT OG MENGD	106
7	KONKLUSJON	108
7.1	PROBLEMSTILLINGA SINE TRE FORMÅL	108
7.2	SAMANFATTANDE KONKLUSJON	109
8	VIDARE ARBEID	110
8.1	METODE	110
8.2	UTSTYR	110
8.3	VIDARE TESTAR MED SNØ	111
9	KJELDER	112
10	VEDLEGG	119

Figurliste

<i>Figur 1. Sørpeskred i Vesle Frøysa, Billingen, Strynefjellet, 24.05.2013. Pila peikar på utløysingsområdet som synast å vere relativt flatt.</i>	6
<i>Figur 2. Sørpe vert danna når det er større tilførsel av vatn til snøen, enn det som renn ut av snøen (modifisert figur frå Onesti, 1987).</i>	7
<i>Figur 3. Typiske utløysingsområder for sørpeskred (modifisert etter Hestnes, 1998).</i>	8
<i>Figur 4. Stigande vassnivå i ei smelteperiode. Linjene mellom trykkmålingane er interpolerte verdier. Sørpeskredet er marker med svart tjukk strek (Gude og Scherer, 1998).</i>	9
<i>Figur 5. Døme på kanalisert sørpeskred, Odda, Hordaland, 23.11.2017(Bjørlien, 2017).</i>	10
<i>Figur 6. a) Pendulert regime, luftbobler er i kontakt med snøkorna b) fenikulert regime, snøkorna er heilt omslutta av vatn (Colbeck, 1974).</i>	11
<i>Figur 7. Hovudfaktorar som kontrollerer danning og drenering av fritt vassinnhald i snødekket (Hestnes, 1998).</i>	12
<i>Figur 8. A) Runda snøkorn, tett pakka. B) Nysnø. C) Smelteomvandla snø. D) Begerkrystallar (McClung og Schaerer, 2006).</i>	13
<i>Figur 9. Snø vassmetta med destillert vatn. Vert meir grovkorna og rundare etter lengre tid (Raymond og Tusima, 1979).</i>	15
<i>Figur 10. Teoretisk berekna respons frå ulike snøtypar etter ei nedbørshending (Colbeck, 1976).</i>	17
<i>Figur 11. Dreneringsfingre i snø (Peitzsch, 2009).</i>	18
<i>Figur 12. Ujamne strukturar, etter regn eller mildvêr, som vert bevart under seinare snøfall, kan styre vassgjennomstrøyminga.</i>	19
<i>Figur 13. Vatn bevegar seg ofte gjennom snøen ved ein kombinasjon av vertikal og horisontal transport.</i>	20
<i>Figur 14. 80 registrerte sørpeskred, framstilt med total vasstilførsel, tid, grunnforhold og snøtype (Hestnes et al., 1994).</i>	24
<i>Figur 15. Nedbør, temperatur og snødjupne for Skjeggedal målestasjon, Odda, 22.- 23.11.2017 (data henta frå xgeo.no). Raud stolpe viser utløysingstidspunkt.</i>	25

<i>Figur 16. Døme på dråpestorleiksfordeling (DSD) (Laws og Parsons, 1943).</i>	27
<i>Figur 17. Klassifisering av nedbørstype ved hjelp av hastigheit og storleik samanstillt av Löffler-Mang og Joss (2000).</i>	28
<i>Figur 18. Utvikling av gradienten til vassnivået før utløysing av sørpeskred, ved Kärkerieppe (Gude og Scherer, 1995).</i>	35
<i>Figur 19. Døme på snøprofil laga i snowpilot.org (2018). Snøprofilen er henta frå forsøk 12, Volda 28.03.18.</i>	37
<i>Figur 20. Test med kvadratmeter, litermål og vassmålar.</i>	39
<i>Figur 21. Disdrometeret OTT Parsivel 1 (Nemeth og Hahn, u.å.).</i>	40
<i>Figur 22. Korleis OTT Parsivel registrerer nedbør. v=hastigheit og</i>	41
<i>Figur 23. Tabell for avlesing av nedbørstype, frå programvara til OTT Parsivel, ASDO (OTT-Messtechnik, 2010b).</i>	42
<i>Figur 24. Skjermdump frå ASDO, programvare for OTT Parsivel. Spektrogram i 2D.</i>	43
<i>Figur 25. Oversikt over ulikt utstyr som vart testa. Grøn merking viser alternativa som vart nytta i feltforsøka.</i>	45
<i>Figur 26. Oppsett av forsøk med vasspreiar og disdrometeret.</i>	46
<i>Figur 27. Sørpeboksen dytta inn i snøen og teipa att i forkant.</i>	48
<i>Figur 28. Den endelege sørpeboksa hadde ein hengsla front, då det var naudsynt å kunne frigjere snøen under forsøket. Mørk blå illustrerer vassmetta snø.</i>	49
<i>Figur 29. Registrerte sørpeskredhendingar omlag dei siste 8 åra (henta frå xgeo.no, 2018, 05.07.18).</i>	51
<i>Figur 30. Kart over feltlokalitetane Volda, Follestaddalen, Hornindal, Grotli og Tyin.</i>	54
<i>Figur 31. Intensitetar (mm/t) for ulike oppsett. Øvst til nedst: Hoozer Sky 1,16 (raud), Hoozer Sky 1,50 (lys grøn), Solo trykksprøyte 15 l (oransje), Boogie Halvmåne 2,40 (lilla), Gardena trykksprøyte 5 l (lys blå) og Hoozer Sky 2,50 (mørk grøn).</i>	56
<i>Figur 32. Intensitet for naturleg nedbør, målt i Volda 21.06.18 og 15.06.18.</i>	57
<i>Figur 33. Tal detekterte partiklar. Øvst til nedst: Solo trykksprøyte 15 l (gul) og Gardena trykksprøyte 5 l (grøn), Hoozer 1.16 m (blå) og Sky 1.50 (lilla).</i>	58

<i>Figur 34. Tal detekterte partiklar for boogie halvmåne 2.40 m (blå/øverst) og Hoozer Sky 2.50 m (raud/nedst).</i>	58
<i>Figur 35. Tal detekterte partiklar for naturleg nedbør, målt i Volda 21.06.18 og 15.06.18. ..</i>	59
<i>Figur 36. Fase 3) Komplet feltlab, forsøk 5: Test av teknisk utstyr.</i>	63
<i>Figur 37. Fase 3) Komplet feltlab, forsøk 6: Test av utstyr i felt. Skisse av feltlab.</i>	63
<i>Figur 38. Fase 3) Komplet feltlab, forsøk 6: Test av utstyr i felt.</i>	64
<i>Figur 39. Fase 3) Komplet feltlab, forsøk 8: Observasjon av vatnet sin bevegelse gjennom snødekket. a) området som er tilført farga vatn rett etter stopp av vasstilførsel. b) grave 0,5 m inn i snøen.</i>	64
<i>Figur 40. Fase 3) Komplet feltlab, forsøk 7 og 9: Vasstilførsel på kald snø (TL=-7,2°C og -5,5°C høvesvis , TSO=-8°C i begge forsøka).</i>	65
<i>Figur 41. Fase 4) Forsøk med lenger varigheit, forsøk 10: Nysnø over skarelag (på 30 cm snødjupne). Skarelaget var på langt nær impermeabelt.</i>	68
<i>Figur 42. Fase 4) Forsøk med lenger varigheit, forsøk 11: For å dytte boksen inn i snødekket må ein grave ut plass på begge sider.</i>	68
<i>Figur 43. Kopling av straumforsyninga, disdrometeret, datamaskin og USB/RS-485-overgang. Bilbatteri vart kopla på same stad som straumforsyninga.</i>	69
<i>Figur 44. Dysene vart festa til eit kamerastativ. Biletet viser også disdrometeret og sørpeboksen.</i>	71
<i>Figur 45. Ulike måtar å tilføre vatn på a) Munnstykke frå Gardena, ovanfrå b) Vasspreiar, ovanfrå c) Utan munnstykke, nedanfrå.</i>	72
<i>Figur 46. Prinsippet for vasstilførsel ovanfrå, med munnstykke frå Gardena (til venstre) og nedanfrå, utan munnstykke (til høgre).</i>	72
<i>Figur 47. Skisse av sørpeboksa. SD er snødjupna (målt vinkelrett på underlaget), Vf: vassnivå framme, Vb: vassnivå bak og Vm: vassnivå på midten. a: hellinga til boksen.</i>	73
<i>Figur 48. a) snøen kollapsar og bryt opp i mindre bitar, liknar på sørpeskred. b) snøen sklir ut som ei samla blokk, liknar på glideskred</i>	74
<i>Figur 49. Forsøk 16: Hengsla front, som òg fungerte som glideflate. Her er sidene til fronten akkurat skore opp.</i>	77
<i>Figur 50. Nedbør registrert som mm/m² vil også stemme for eit areal på 0,25 m².</i>	84

<i>Figur 51. Intensitetsmålingar for Gardena trykksprøyte frå sju ulike forsøk gjort med disdrometeret.....</i>	88
<i>Figur 52. Vassmetta vil bli meir grovkorna på grunn av ulik storleik på snøkorna (tal henta frå Wakahama, 1967). Figuren er utarbeida av forfattar.....</i>	91
<i>Figur 53. Ein bør unngå at for mykje vatn slepp ut før fronten leggast ned.....</i>	95
<i>Figur 54. Drenering av vatn langs sidene i sørpeboksen kan gi unaturleg høg vasstilførsle til botnen av snøblokka.....</i>	100
<i>Figur 55 Fordeling av fuktigheita i (ny)snø over treplate og i sørpeboks. Lik vasstilførselen i begge tilfella.....</i>	101
<i>Figur 56. Skilnad i vasstilførsel mellom naturlege forhold (a) og feltforsøk, der berre utløysingspunktet vert bløyta. (b).....</i>	102

Tabelliste

<i>Tabell 1 Høgaste målte korttidsnedbør på Vestlandet og i Møre og Romsdal/Trøndelag (henta frå Førland et al., 2015).</i>	28
<i>Tabell 2 Ulike komponentar med forklaring i energibalanselikninga (Bruland, 2002).</i>	30
<i>Tabell 3 Forsøksoppsett under testing av disdrometer. # = forsøk nummer, avstand = distansen mellom vassspreiaren og disdrometeret, skråstillinga = kor mykje spreieren vart tilta i forkant eller bakkant, vassforbruket = målt med ein vassmålar frå Gardena</i>	47
<i>Tabell 4 Feltområder for dei ulike forsøka.</i>	53
<i>Tabell 5 Oppsummeringstabell med resultat frå forsøk 4, test av fleire typar utstyr med disdrometer. Oppsett markert med blått vart nytta i feltforsøk.</i>	60
<i>Tabell 6. Viser forkortingar brukt i tabell 7, 8, 9, 10 og 11.</i>	61
<i>Tabell 7 Samanfating av forsøk 5-9, fase 3) Komplette feltlaboratorium (*=disdrometer, bilbatteri, pc, andre forkortingar er vist i tabell 6, s.61).</i>	62
<i>Tabell 8 Generell informasjon om forsøk 10-15, fase 4) Forsøk med lenger varigheit (*=disdrometer, bilbatteri, pc, andre forkortingar er vist i tabell 6, s.61).</i>	66
<i>Tabell 9 Informasjon om snø og resultat frå forsøk 10-15, fase 4) Forsøk med lenger varigheit. Forkortingar brukt i tabellen er vist i tabell 6, s.61.</i>	67
<i>Tabell 10 Generell informasjon om forsøk 16-20 (*=disdrometer, bilbatteri, pc, andre forkortingar vist i tabell 6, s.61).</i>	75
<i>Tabell 11 Informasjon om snø og resultat frå forsøk 16-20. Forkortingar brukt er vist i tabell 6, s.61.</i>	76
<i>Tabell 12 Resultat forsøk 17 (Vf=vassnivå målt framme i boksen, Vm=vassnivå målt på midten, Vb=vassnivå målt bak i boksen).</i>	78
<i>Tabell 13 Resultat forsøk 18 (Vf=vassnivå målt framme i boksen, Vm=vassnivå målt på midten, Vb=vassnivå målt bak i boksen).</i>	79
<i>Tabell 14 Resultat forsøk 19 (Vf=vassnivå målt framme i boksen, Vm=vassnivå målt på midten, Vb=vassnivå målt bak i boksen).</i>	80
<i>Tabell 15 Resultat frå forsøk 17, 18 og 19. Vasshøgde og liter vatn/omrekna til mm per m² som skulle til for kollaps i snøen (Vf=vassnivå målt framme i boksen, Vm=vassnivå målt på midten, Vb=vassnivå målt bak i boksen).</i>	81

<i>Tabell 16 Samanlikning av data frå disdrometeret med fysiske målingar av vassnivået i sørpeboksen.</i>	84
<i>Tabell 17 Intensitetar brukt i forsøk 17, både utrekna til liter per 30/60 min, samt omrekna til mm/m².</i>	93
<i>Tabell 18 Andre forsøk som nytta boksar av akryl/pleksiglas til snøforsøk. Sørpeboksen er 125 000 cm³.</i>	99
<i>Tabell 19 Resultat frå forsøk 17, 18 og 19. Vasshøgde og liter vatn som skulle til for kollaps i snøen. (V_f=vassnivå målt framme i boksen, V_m=vassnivå målt på midten, V_b=vassnivå målt bak i boksen).</i>	105
<i>Tabell 20 Oversikt intensitet, varigheit og total vassmengd henta frå litteratur og kva som vart nytta i feltforsøk.</i>	107

1 Introduksjon

Sørpeskred er definert som «eit hurtig, flaumlignande skred av vassmetta snø, med varierende innhald av sediment» (Naturfare Infrastruktur Flom Skred, 2014, s. 9). Vassmetting av snø er i dei fleste tilfella ei følgje av lågtrykksaktivitet på vinteren med regn og snøsmelting (Hestnes *et al.*, 1987) og høge temperaturar samt solinnstråling om våren (Hestnes og Onesti, 1989; Lied og Kristensen, 2003; Jaedicke *et al.*, 2013). Skredet kan føre med seg mykje jord, stein og vegetasjon på grunn av stor eroderande kraft (Statens-Vegvesen, 2014a). Sørpeskred har langt større krefter, også for erosjon, enn snøskred med tilsvarende storleik og hastigheit (Jaedicke *et al.*, 2008). Dette er ein skredtype som skjer kvart år og kan medføre store skader og kostnader når dei inntreffer, både på infrastruktur og menneske (Jaedicke *et al.*, 2013). Det er mange utsette områder og det er urealistisk å fjerne all skredfare ved hjelp av fysiske sikringstiltak. Difor er overvaking og varsling om fare eit langt rimelegare, men like fullt naudsynt tiltak (Colleuille og Engen, 2009).

1.1 Forsking og varsling

På 1980-talet byrja Norges Geotekniske Institutt (NGI) å forske på sørpeskred. Hovudmålet med forskinga var å identifisere utsette områder, samt finne metodar for å varsle og kontrollere utløyning (Hestnes *et al.*, 1994). NGI har i dag eit forskingsprosjekt gåande («Work Package 3 – Slush flows»), der modellering og skreddynamikk er i fokus. Målet er å kunne føresjå sannsynet for skred, lage betre sikringar og kartleggje utsette områder (NGI, 2017a). NGI held også på å utvikle ein base for oppbygging av eit internasjonalt nettverk, for forskning på sørpeskred: Circum Arctic Slushflow Network (CASN).

I 2013 starta Noregs Vassdrags- og energidirektorat (NVE) den operative jordskredvarslinga nasjonalt. Dette er i samarbeid med Statens Vegvesen, Meteorologisk Institutt og Bane NOR (Colleuille *et al.*, 2017). Jordskredvarsling samlar farevurdering knytt til sannsynet for flaumskred, jordskred og *sørpeskred* (Walberg og Devoli, 2014). Noreg er truleg eit av dei første landa som har ein operativ varslingssteneste for regional sørpeskredfare (NGI, 2017b). Jordskredvarslinga er regionalt, altså generelt, og gjeld for eit større område. Sjølv varslinga gir eit aktsemdsnivå (grønt, gult, oransje og raudt) basert på venta tal hendingar og kor alvorlege desse eventuelt kan bli (Colleuille *et al.*, 2017). I tillegg gir aktsemdsnivået rettleiing til beredskapsansvarlege. Etter skredsituasjonar vert varslinga evaluert for å forbetre varslinga (Boje, 2017).

Vurdering av sørpeskredfara inngår i jordskredvarslinga ettersom dei har fellesfaktorane vêr og grunnforhold (tele og vassmetting i bakke). Dei vert likevel ikkje varsla på same måte som jordskred, då snødjupne og snøstrukturar ikkje vert vurdert her. Dessutan er jordskred historisk betre dokumentert og analysert enn sørpeskred. Vurdering av jordskredfare kan difor i større grad basere seg på statistiske samanhengar mellom historiske hendingar henta frå nasjonal skreddatabase og hydrometeorologiske forhold henta frå *xgeo.no* (Colleuille *et al.*, 2017). *xgeo.no* er eit kartverktøy for bruk i beredskap, overvaking og varsling av flaum, jordskred og snøskred. Der finn ein data frå målestasjonar og ulike modellar som er samanstilte med hendingar og feltobservasjonar med kart og tid som utgangspunkt (Colleuille *et al.*, 2017).

Jordskredvarslinga, ved NVE, si vurdering av sørpeskredfare tek utgangspunkt i fleire faktorar. Ein viktig del av vurderinga er dei daglege møta som varslinga har med meteorologar. Her vert det gitt oppdatert informasjon om kvar nedbøren truleg vil treffe, og kva slags vêrmodell meteorologane trur på i den gitte situasjonen (pers. kom. Sund, 2018a). I tillegg hentast mykje informasjon frå *xgeo.no*, som også brukast fortløpande når ein situasjon utviklar seg. Døme på informasjon som kan hentast frå *xgeo.no* er teledjupn, vassmetting i jorda, temperatur og temperaturendringar, samt prognoser for vasstilførsel, regn og snøsmelting. Samla gir dette overblikk over områder som bør vurderast nærare. Vedlegg A viser ei sjekklister som NVE sine jordskredvarslarar brukar som støtte i sine vurderingar av sørpeskredfare.

Vurdering av snø

I vurderinga av sørpeskredfare har snøen si djupne og snøen sine eigenskapar avgjerande betydning. Det er observert sørpeskred i så og seie alle typar snø, men likevel indikerer litteratur og erfaring at forskjellige snøtypar har ulike tendensar til å bli sørpe (Hestnes, 1985; Hestnes *et al.*, 1987; Hestnes, 1996). Ei truleg følgje av dette er at ulike snøtypar treng ulik vassmengd og/eller -intensitet for å bli flytande. Dette er ei stor utfordring som jordskredvarslinga må ta omsyn til når dei vurderer sørpeskredfare.

For å få eit overblikk over snøtypar som finst i området det skal varslast i, har jordskredvarslinga eit samarbeid med snøskredvarslinga. Dei bidreg med informasjon om strukturar i snøen (pers. kom. Sund, 2014). Snøskredvarslinga har også fleire observatørar ute i felt. Observatørar og andre legg informasjon inn på nettsida regobs.no (2018). Dette er ei registreringsside for naturfarerelaterte observasjonar og eit godt hjelpemiddel for å samle informasjon om snøen. *xgeo.no* gir oversikt over simulerte verdiar av mellom anna snødjupne, begerkrystallindeks, angitt grad av fuktigheit (tørr, fuktig, våt) samt avrenning frå snødekke

som er meir enn 50 cm tjukke. Informasjon om snødekket vurderast opp mot prognoser for vasstilførsel.

Det er vanskeleg å estimere ein terskelverdi for utløysing (Jaedicke *et al.*, 2013). Likevel finst det terskelverdiar basert på erfaring og feltobservasjonar. Til dømes erfarer Statens-Vegvesen (2014a) ein kritisk terskelverdi for regn og/eller snøsmelting på 50 mm og ei snødjupne på minimum 50 cm snø for utløysing av sørpeskred. Denne tilnærminga bruker jordskredvarslinga som ei generell retningslinje til si regionale varsling (pers. kom. Sund, 2018c). Når prognosane nærmar seg 50 mm vasstilførsel gjerast ei vurdering av sørpeskredfare jamfør Vedlegg A.

Hestnes (1998) påpeikar at skreda kan losne uavhengig av eit favoriserande snødekke berre vasstilførselen er høg nok. Det er nærliggande å tru at jo høgare intensiteten på vasstilførselen er ved ein sørpeskredsituasjon jo mindre viktig er eigenskapane til snøen. På same måte vert eigenskapane til snødekket viktigare når intensiteten vert mindre (Jaedicke *et al.*, 2013). Dette er med i berekninga til jordskredvarslinga, der snøtypen vert mindre vektlagt etter kvart som venta vasstilførsel aukar (pers. kom. Sund, 2018a). Dette betyr at ein kritisk terskelverdi for vasstilførsel må vurderast med omsyn på snøtypen i området.

Til dømes er enkelte kombinasjonar av snøtypar (ulike snøpakkar) vurdert å vere meir utsett for å danne sørpeskred enn andre (pers. kom. Sund, 2018a). I retningslinjene til Statens-Vegvesen (2014a) er porøs snø omtala som særleg utsett, og snø som har vore gjennom smelteprosessar er mindre utsett. Jordskredvarslinga spesifiserer porøs snø som nysnø, kantkorna snø og begerkrystallar. Enkelte typar snødekke som inneheld desse snøtypane, er også rekna for å vere utsett (vedlegg F). På same måte vert det gjort ei vurdering av tilstanden til snøen, der eit i utgangspunktet våtare snødekke vil trenge mindre vasstilførsel for å bli ustabil.

Det er ei omfattande oppgåve for jordskredvarslinga å gjere vurderingar av sørpeskredfare. Det er naudsynt med mykje erfaring mellom anna med ulike modellar og ulik snø for å få ei god vurdering. Det er for eksempel ikkje utvikla eigne terskelverdiar for ulike snøtypar og vurdering av den enkelte snøtypen sin reaksjon på vasstilførsel er difor basert på skjønn.

På bakgrunn av dette er det for dette studiet planlagt grundigare feltbaserte undersøkingar, der ein har kontroll med både snøtype og vasstilførsel. Både studiar av kritisk vassmengd i forhold til snødjupne og av korleis ulike snøtypar reagerer på vasstilførsel, vil kunne tilføre ny kunnskap til vurderingane som jordskredvarslinga ved NVE gjer av sørpeskredfare. På sikt vil til dømes snøtype kunne implementerast i arbeidsverktøyet *xgeo.no*, og kombinerast med snødjupne og regn/snøsmelting.

1.2 Problemstilling

Ettersom det ikkje finst nokon standardisert metode for å undersøke terskelverdiar for utløysing av sørpeskred, må dette utviklast før eit studie av dette kan ta til.

For å tilføre ny kunnskap til vurderingsgrunnlaget for sørpeskredfare, er det laga eit forsøksdesign, med tilhøyrande metode og utstyr, for å studerer korleis snø reagerer på tilførsel av vatn, under kontrollerte forhold. Såleis er problemstillinga for dette studiet:

«Utvikling av forsøksdesign, metode og utstyr for feltforsøk, med formål å undersøke utløysing av sørpeskred i ulike snøtypar.»

Med bakgrunn i denne problemstillinga har studiet tre formål:

- 1) Utvikle eit forsøksdesign, metode og utstyr, for feltforsøk med snø og vatn.
- 2) Utføre snøforsøk for å teste og evaluere forsøksdesignet, metoden og utstyret.
- 3) Vurdere resultat opp mot retningslinjene jordskredvarslinga ved NVE brukar, som er basert på erfaringar frå mellom anna Statens vegvesen, samt opp mot eksisterande teori om snø og vatn.

Det er gjort eit utval av teori om prosessar med snø og vatn, og dessutan om nedbør, for å kunne utvikle utstyr og metode, som i størst muleg grad likna naturlege sørpeskredsituasjonar. I tillegg har eg prøvd å skaffe oversikt over litteratur som skildrar liknande metode og utstyr, for samanlikningsgrunnlag og inspirasjon.

Naturen er brukt som arena under utviklinga av forsøksdesignet, men også for å hente ut primærdata. Samstundes har det vore naudsynt med enkelte simulerte forhold, for å gjere feltlaboratoriet meir fleksibelt, men like fullt for å gjere forsøka meir handterbare og ikkje minst enklare å reprodusere.

1.3 Struktura i oppgåva

Dette studiet tek føre seg metodeutvikling, og metoden er difor eit *resultat*. Dette medfører at resultatdelen til oppgåva består av tre hovudkapittel. *Første hovudkapittel*, del 1 skildrar utviklingsprosessen til feltlabben. *Andre hovudkapittel* skildrar den ferdig utvikla feltlabben. *Tredje hovudkapittel* skildrar forsøk der den ferdige feltlabben vart nytta i forsøk.

Med mindre anna er skildra i figurteksten er foto i oppgåva private bilete og skissene er laga av forfattar.

1.4 Omgrepsavklaring

Feltlab er i dette studiet ein samlebetegnelse for forsøksdesignet, metoden og utstyret som vart utvikla.

LWC (Liquid Water Content) og *fritt vassinnhald* vert nytta om kvarandre.

RPS-hendingar = Regn-På-Snø-hendingar.

Med *leidningsnett* meinast i dette studiet offentleg og/eller privat leidningsnettet for vatn.

Smelteomvandla snø = snø som har gjennomgått smeltemetamorfose, og blitt meir grovkorna.

Runda snø = snø som har vore gjennom nedbrytande metamorfose og fått ei rundare form.

Fokksnø = snø som har blitt mekanisk nedslite til rundare og mindre partiklar av vinden. Fokksnø er hard og snøkorna er tett pakka saman.

Kantkorna snø = snø som har vore gjennom oppbyggande metamorfose. Snøkorna er kantete og det er få kontaktpunkt mellom korna, dette gjer snøen porøs.

Nysnø = er snø som berre har lagt ei kort stund på bakken og snøen har fortsett krystallforma den opphavleg dannast med i atmosfæren. Dersom det er kaldt og tørt kan snøkorna ha tydeleg krystallform over lengre tid, ettersom nedbrytande metamorfose går raskare ved høgare temperaturar.

I forsøk 19 og 20 er snøen omtala som *firm*, dette stemmer berre delvis ettersom snøen ikkje har lagt over sommaren, og per definisjon ikkje er blitt firm endå. Det er likevel seint på snøsesongen og snøen har vorte mykje fastare, og er i overgangsfasen mellom snø og firm. Utrykket blir brukt då for å forenkle språket.

2 Teori

2.1 Faktorar for utløysing av sørpeskred

Utløysing av sørpeskred er avhengig av tilstrekkeleg fritt vatn i snøen (Hestnes, 1998). Når snø vert vassmetta blir bindingane mellom snøkrystallane svekka. Kohesjonen blir mindre og skjerstyrken senkast – snømassane blir ustabile. Sørpeskred, som andre skred, løysast ut når den drivande krafta, gravitasjonskomponenten langs bakken, overgår dei stabiliserande kreftene, basal friksjon og strekkreftene i massane (Hestnes, 1998; Hestnes *et al.*, 1994). Figur 1 viser eit sørpeskred, som gjekk i slutten av mai 2013 ved Billingen i Skjåk, og viser kor flatt utløysingsområde kan vere.

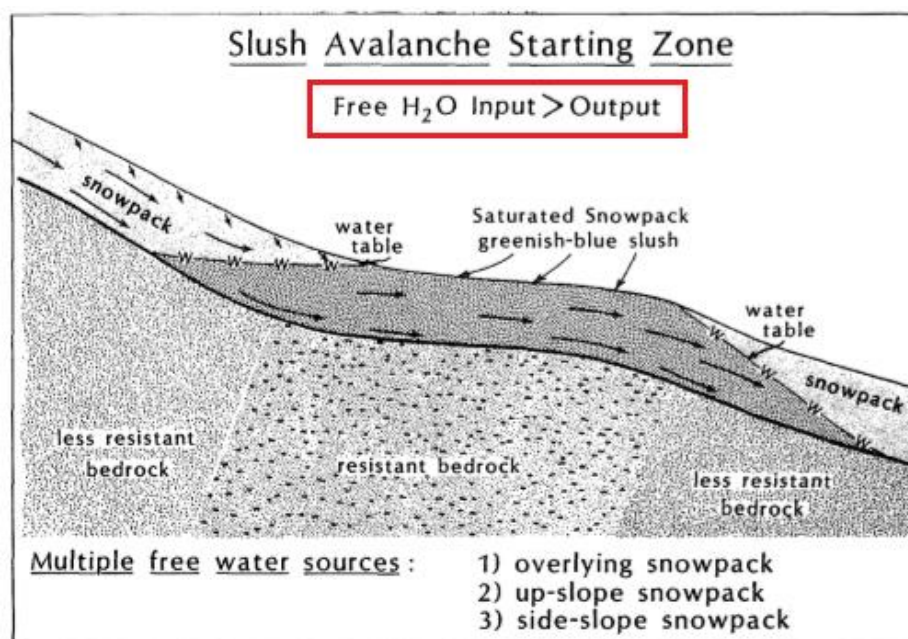


Figur 1. Sørpeskred i Vesle Frøysa, Billingen, Strynefjellet, 24.05.2013. Pila peikar på utløysingsområdet som synast å vere relativt flatt.

Ein føresetnad for danning av sørpe er tilstrekkeleg tilførsel av vatn, som då må vere større enn dreneringskapasiteten, slik at vassnivået og -trykket byggjer seg opp (figur 2) (Hestnes, 1998). Snøen kan bli vassmetta i full snødjupne og får ein grønblå farge (Onesti, 1987; Gude og Scherer, 1998). Vasstilførselen kjem vanlegvis frå mykje regn eller snøsmelting (Onesti, 1985; Hestnes, 1985). Naturen har likevel vist at ein ikkje treng ekstreme vêrsituasjonar for at sørpeskred skal bli utløyst (Gude og Scherer, 1995). Det finst også døme på at forholda har lagt til rette for sørpeskred, utan at skreda har blitt utløyst. Dette skjedde til dømes i Nord-Noreg

(Mo i Rana) då Hestnes (1996) observerte full vassmetting i snøen, utan at sørpeskred vart registrert.

Dette viser utløyning av sørpeskred er ein kompleks prosess, der det er mange faktorar som spelar inn. Dei involverte komponentane er *geomorfologi, grunnforhold, eigenskapane og høgda til snødekket samt intensiteten og varigheita til vasstilførsel* (Hestnes, 1998; Hestnes *et al.*, 1994). Terrenget er ein statisk faktorar. Grunnforholda er delvis statiske, men inneheld dynamiske element som til dømes grad av vassmetting. Snøen og vêret, og interaksjonen mellom desse, er dynamisk, og det kan vere vanskeleg å føresjå utfallet av ein situasjon med regn på snø (og snøsmelting). Hestnes (1998) skriv at eit favoriserande snødekke vanlegvis er avgjerande for utløyning av sørpeskred, men ekstrem vasstilførsel likevel kan medføre utløyning. Dette vil i så fall bety at inngåande kunnskap om snødekket er naudsynt for ei god vurdering av sørpeskredfare (Hestnes og Bakkehøi, 2004). Snøen og vêret (vasstilførselen) er såleis temaet for dette studiet, som ei ledd for å få ei betre forståing av utløyning av sørpeskred. Figur 2 viser korleis fleire faktorar spelar inn ved utløyning av sørpeskred.



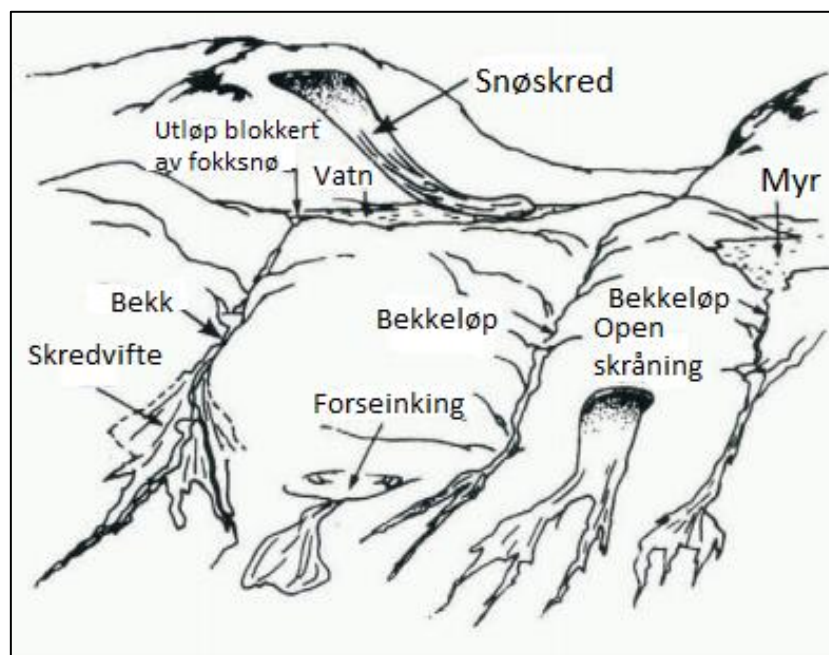
Figur 2. Sørpe vert danna når det er større tilførsel av vatn til snøen, enn det som renn ut av snøen (modifisert figur frå Onesti, 1987).

Menneskeleg aktivitet òg kan føre til utløyning av sørpeskred. Døme på slik aktivitet er fyllingar i naturlege dreneringssystem, blokkering av bekkar og elver, og omlegging av vatn til snøfylte bekkar (Hestnes, 1998). Naturleg blokkering i elver av stein, isblokker, snøskred og fokksnø,

samt kulpar kan også føre til sørpeskred (Statens-Vegvesen, 2014a). I slike tilfelle kan det vere svært vanskeleg å føresjå sørpeskred.

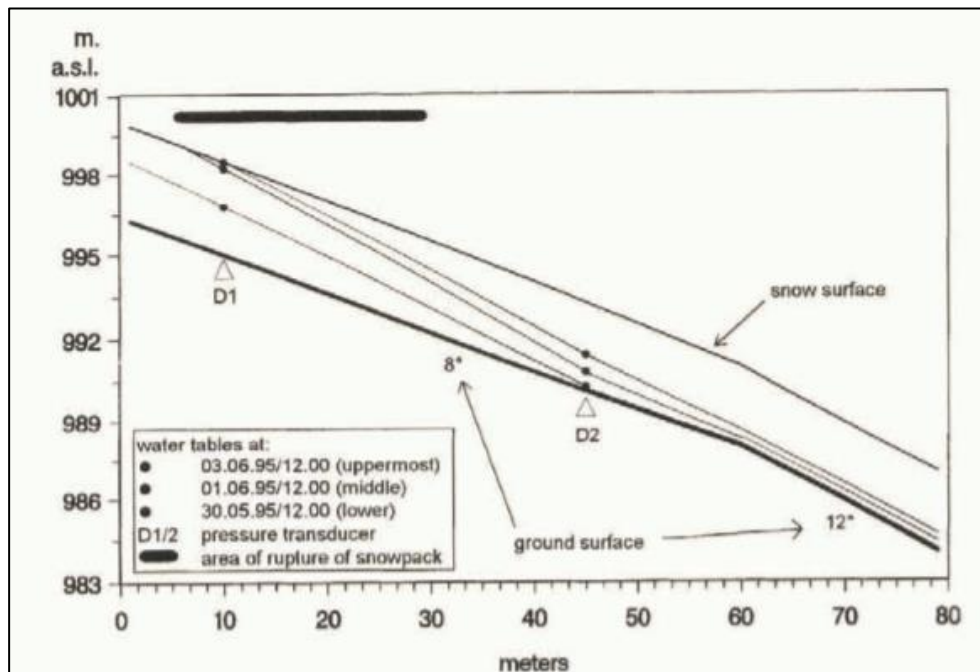
2.2 Geomorfologi (landformer)

Vassnivået aukar når tilførselen av vatn vert høgare enn dreneringa (Onesti, 1987). Geomorfologien, altså landformer, gir indikasjonar på utløysingsområder – potensielle områder der vatn er hindra frå å drenere ut av snøen. Dette omfattar varierende terrengformer, mellom anna elve-/bekkekanalar, i lokale gradientendringar frå slakt til brattare terreng, opne skråningar og hellande myrer (figur 3) (Hestnes, 1985, 1998). Utløysingsforma kan vere både eit punkt, ein bolle eller med ein meir tydeleg brotkant (arr) (Hestnes *et al.*, 1994).



Figur 3. Typiske utløysingsområder for sørpeskred (modifisert etter Hestnes, 1998).

På grunn av det store vassinnhaldet treng ikkje gravitasjonskomponenten langs bakken å vere stor for at sørpeskred løysast ut, typisk er hellingar i utløysingsområdet mellom 5° og $20\text{--}25^\circ$ (Hestnes, 1985). Mest vanleg er 15° (NVE, u.å.), men det er observert utløyste skred heilt nede på 2° (Onesti, 1987)! Dette er mykje lågare helling enn kva som skal til for å utløyse andre typar snøskred, som er kring 30° (Jaedicke, 2014). Bratt helling drenerer vatn raskare og vil sannsynlegvis ikkje rekke å akkumulere nok til utløysing (Onesti, 1985; Gude og Scherer, 1998) Figur 4, frå Gude og Scherer (1995), viser korleis vassnivået auka, under ei smelteperiode, i den slakaste delen av fjellsida. Situasjonen medførte utløysing av eit sørpeskred.



Figur 4. Stigande vassnivå i ei smelteperiode. Linjene mellom trykkmålingane er interpolerte verdiar. Sørpeskredet er marker med svart tjukk strek (Gude og Scherer, 1998).

Sørpeskredet stoppar ikkje før det anten går ut i vatn, bekkar eller fjordar, eller når bakken er tilnærma horisontal - kring 5° (Lied og Kristensen, 2003). Dette gjer at skreda kan gå langt ut i områder utan snø. Gjennomsnittsvinkelen til heile skredområdet, frå utløysing til enden av utløpet, ligg mellom 3° og 20° - gjennomsnitt 12° (Hestnes, 1998).

Terrenget påverkar også skredløpet (Hestnes, 1985; Hestnes *et al.*, 1994). Helling, endringar i helling, snøtypen, hindringar i skredløpet, om det er ei open side eller eit elveløp vil påverke korleis skredet utviklar seg morfologisk. I elveløp vil til dømes skreda bli vere kanaliserte (figur 5).



Figur 5. Døme på kanalisert sørpeskred, Odda, Hordaland, 23.11.2017(Bjørlien, 2017).

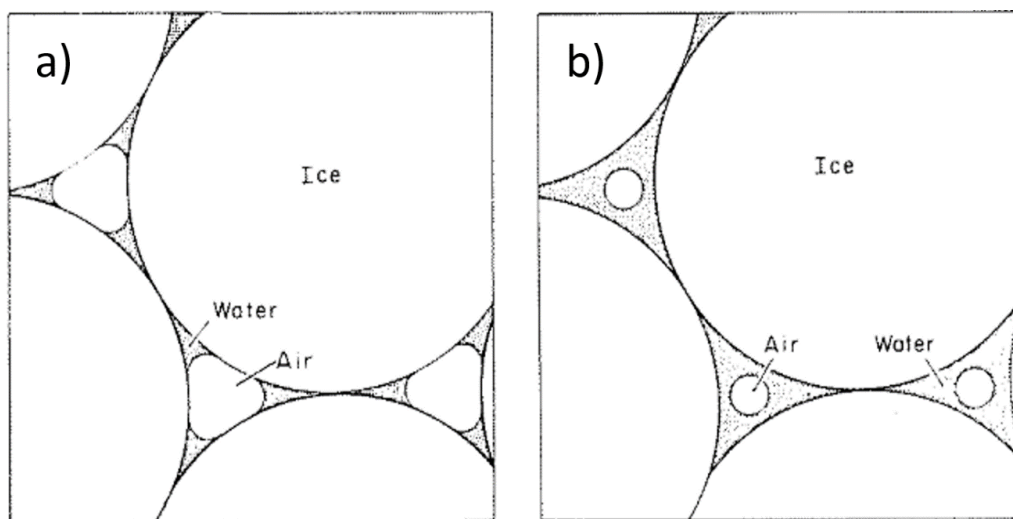
2.3 Grunnforhold

I tillegg til geomorfologien er også grunnforholda avgjerande for utløyning. Eit trekk som gjentek seg er grunnforhold med impermeable eigenskapar, då dette legg til rette for større tilførsel av vatn enn avrenning – og vassnivået kan bygge seg opp. Sørpeskred har glideflata heilt nede ved bakken (Onesti, 1987). Vanlege grunnforhold for sørpeskred er bart fjell (Hestnes *et al.*, 1994; Lied og Kristensen, 2003) og bakke med høg grunnvasstand (aktiv impermeabel lag-faktor) (pers. kom. Sund, 2018b). Litteraturen er noko tvitydig når det kjem til tele/ frost i bakken, Statens-Vegvesen (2014a) og Lied og Kristensen (2003), meiner dette gir auka sjanse for sørpeskred, og tele inngår i NVE si vurdering av sørpeskredfare (som aktiv impermeabel lag-faktor). Iwata *et al.* (2010) viste, gjennom feltforsøk, at tele har stor innverknad på permeabiliteten i bakken, dei fann at kritisk teledjupn for å hindre infiltrasjon i bakken var 0,2 til 0,4 m. Hestnes *et al.* (1994) har derimot argumentert for at sørpeskred like gjerne kan gå i

områder utan tele i bakken. Gude og Scherer (1995) skriv også at permafrost ikkje er naudsynt for sørpeskred. I slike tilfelle kan til dømes ein vassmetta bakke vere årsaka til at vatnet hindrast i å infiltrere bakken. Sørpeskred kan også gå på dyrka mark, beiteområde, vegetasjonskleddedalsider og ved innsjøar (Hestnes, 1985). Vassmettingsgrada, saman med grunnvasstanden inngår også i vurderinga NVE gjer av sørpeskredfaen. Skred som går på bart fjell har høgast frekvens av utløyising. Dersom utløyisingområdet er på myrer og flatare områder er frekvensen lågare, men skreda vert større, då ein treng meir vatn for utløyising (Hestnes, 1985).

2.4 Snø

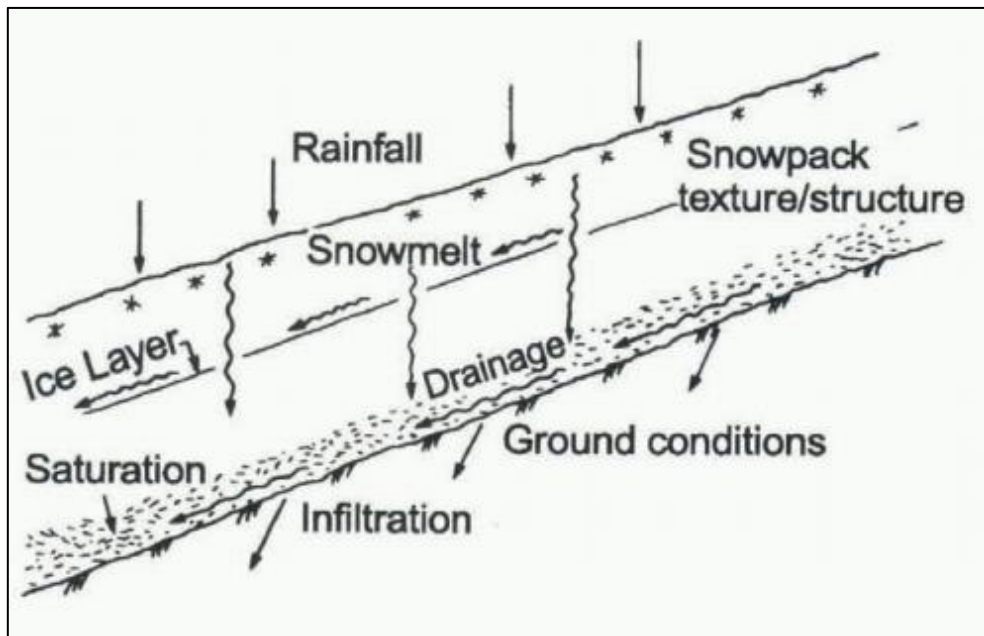
Vatn som akkumulerast i snø vil ta plassen til lufta i porerommet til tørr snø. Når volumet av fritt vassinnhald overgår 15 vol.% har ein sørpe (Lied og Kristensen, 2003; McClung og Schaerer, 2006). Vassinnhaldet er då så høgt at snøen ikkje lenger er i pendulert regime, men har gått over til fenikulert regime (Colbeck, 1974; Denoth, 1999). Dette betyr at snøkorna er omringa av vatn, og vatnet går kontinuerleg gjennom snøen (figur 6b). I «pendular» regime er det også luft i kontakt med snøkorna (figur 6a).



Figur 6. a) Pendulert regime, luftbobler er i kontakt med snøkorna
b) fenikulert regime, snøkorna er heilt omslutta av vatn (Colbeck, 1974).

I mange tilfelle er vassinnhald over 6-8 vol. % sjeldan i naturleg snø (Fierz og Föhn, 1994; Kattelman og Dozier, 1999; Techel og Pielmeier, 2011). HBV-modellen tek utgangspunkt i at snøen kan halde tilbake smeltevatn som svarar til 8-10 % av snømagasinet før avrenning frå snøen startar (NVE, 2015). I følgje Colbeck (1974) opptrer snø i fenikulert regime først over impermeable lag. Det krevst altså spesielle tilhøve for at snøen skal oppnå eit tilstrekkeleg vassinnhald for å danne sørpe.

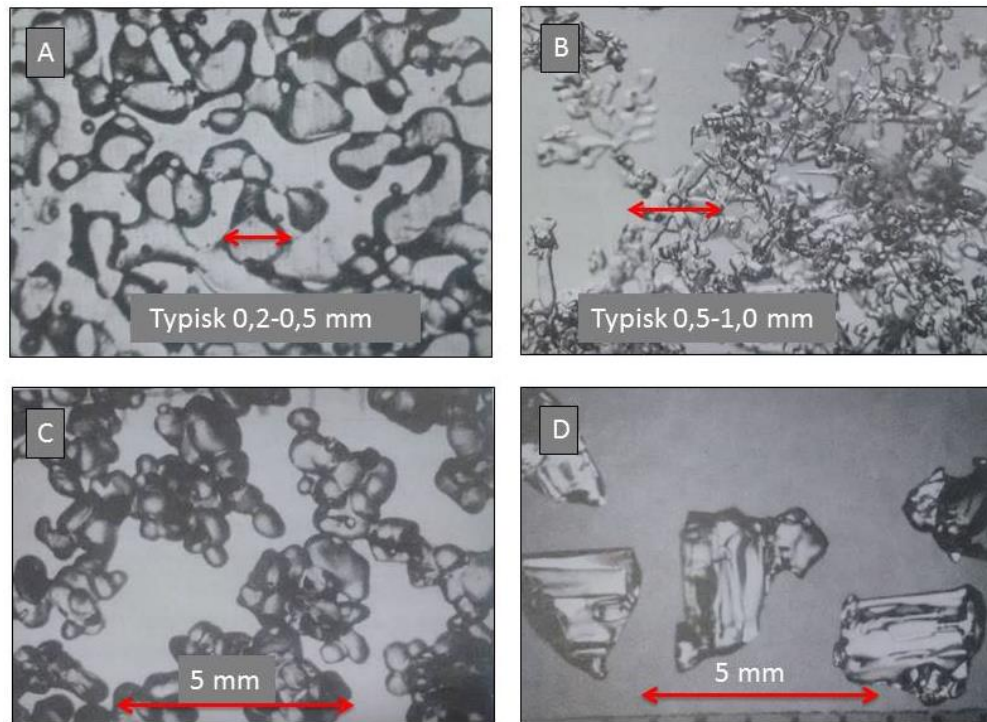
Vasstilførsel, regn og snøsmelting, er ein føresetnad for å auke vassinnhaldet. Som figur 7 viser er det fleire forhold som påverkar drenering og akkumulering av vatn i snødekket. Grunnforholda er viktige, men også snødekket sin struktur og tekstur kan ha stor innverknad. Til dømes har enkelte snøtypar har også betre evne til å binde vatn enn andre (Lied og Kristensen, 2003).



Figur 7. Hovudfaktorar som kontrollerer danning og drenering av fritt vassinnhald i snødekket (Hestnes, 1998).

2.4.1 Snøomvandling

Gjennom heile vinteren vil snødekket utviklast som følgje av temperatur, vind, stråling frå sola og nedbør (Hestnes *et al.*, 1994). Dette vil gi snøen ulik struktur og tekstur. *Struktur* utgjer lagdelinga i snøen, medan *teksturen* skildrar snøkorna inne i dei enkelte laga (Hansen, 2016). Ulik tekstur kan til dømes vere nysnø, finkorna og runda (fokk)snø, begerkrystallar/ kantkorn, og smelteomvandla, grovkorna snø (figur 8). Under er dei ulike snøtypane skildra. Det er lagt vekt på korleis vatn påverkar snøteksturen, ettersom dette er relevant for danning av sørpe.



Figur 8. A) Runda snøkorn, tett pakka. B) Nysnø. C) Smelteomvandla snø. D) Begerkrystallar (McClung og Schaerer, 2006).

Fersk nysnø som har lagt seg på bakken under rolege vindforhold er anten i den forma som dei vart danna; til dømes plater, nåler eller sekskanta krystallar, eller som meir eller mindre knekte versjonar av utgangsforma (figur 8B). Dei ligg laust oppå kvarandre og det er mykje luft i snøpakken, opptil 97 % (McClung og Schaerer, 2006). Tettleiken kan vere heilt ned mot 30 kg/m³.

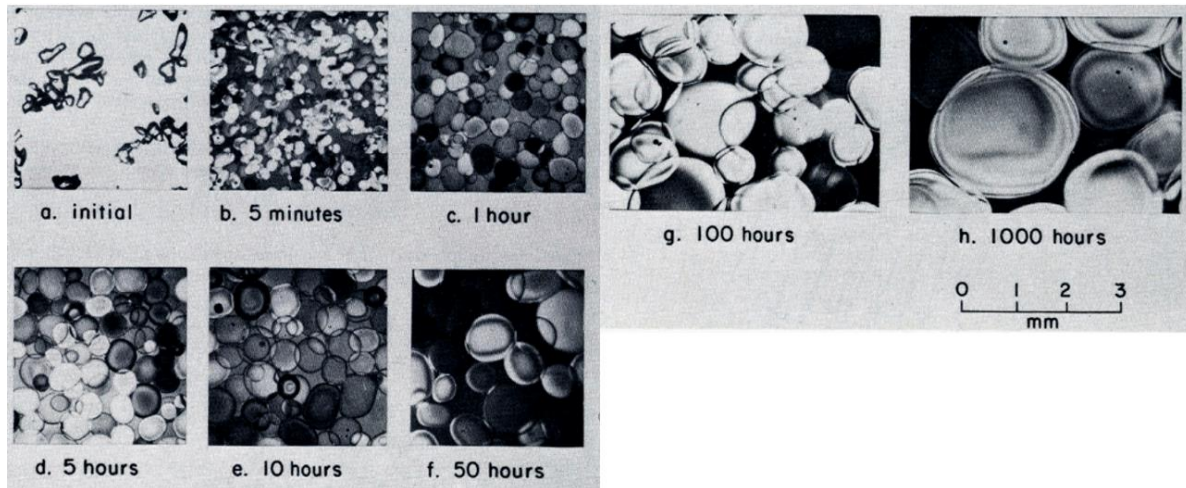
Nysnø som ligg på bakken vil straks begynne nedbrytande metamorfose (Statens-Vegvesen, 2014b). Dette betyr at snøkrystallane går mot ei rundare form på grunn av at trykk- og temperaturforholda, som er ved jordoverflata, er annleis enn i atmosfæren der snøkrystallar dannast (McClung og Schaerer, 2006). Nedbrytande metamorfose skjer hurtigare jo høgare temperaturar.

Fokksnø er vindpåverka snø. Vinden vil mekanisk slipe ned snøkrystallane til runde, små korn, og pakke snøen saman (figur 8A). Tettleiken til fokksnø ligg på typisk 300-500 kg/m³ (Lied og Kristensen, 2003). Mellom runda, små snøkorn dannast det isbruer i kontaktpunkta, såkalla sintring. Denne sintringa vil òg gjere snøen hardare. Skare kan dannast under fleire forhold, til dømes vekslende varmt og kaldt vêr, eller på grunn av vind (McClung og Schaerer, 2006).

Begerkrystallar og kantkorna snø oppstår ved oppbyggande metamorfose (Statens-Vegvesen, 2014b). Dette skjer dersom snødekket er tynt og lufttemperaturane er låge; temperaturgradienten i snødekket er høg ($>10^{\circ}\text{C}/\text{m}$) (NGI, 2014). Vassdamp vil bevege seg oppover i snøen og fryse fast på eksisterande snøkorn, når temperaturen vert låg nok. Begerkrystallar er snøkrystallar med plane flater og skarpe kantar, og ser ut som små beger som står opp ned, sjå figur 8D. Kantkorna snø er litt mindre utvikla begerkrystallar, men er også hole, ustabile og porøse. Desse snøtypane har då relativt store krystallar og få kontaktpunkt, og toler lite skjerbelastning (Lied og Kristensen, 2003).

Smelteomvandla snø opptrer normalt om våren og gjer snøen meir grovkorna (NGI, 2014). Når temperaturane stig over 0°C begynner snøkrystallane å smelte. Dersom temperaturen deretter søkkjer ($<0^{\circ}\text{C}$) vil smeltevatnet mellom snøkorna fryse, og binde dei saman til større einingar (figur 8C). Om våren har ein ofte slike døgnlege fluktusjonar, og snøen vil bli meir grovkorna mot slutten av snøsesongen på grunn av denne våtsnømetamorfosa. Utover i smeltesesongen vil vatn (regn/snøsmelting) i større grad renne gjennom eventuell lagdeling, som tidlegare i sesongen påverkar og endrar dreneringsmønsteret i snøen (Colbeck, 1991). Av denne årsaka vil snøen også bli meir homogen når smeltesesongen er i gang. Snø som blir liggande utover våren får stadig høgare tettleik, og snø som overlev sommaren vert kalla firn ($0,4 > \rho < 0,85\text{ g/cm}^3$) (Paterson, 1972; Støyva, 1974). Tettleiken aukar (luftvolum minkar) både fordi mindre korn smeltar og større frys (skildra under), men også fordi smeltevatn smørar dei stadig rundare snøkorna og gir ei svært tett pakking. Dessutan vil overflatespenninga til vassfilmen trekke korna enda tettare saman (Paterson, 1972).

Fluktusjonar mellom temperaturar over og under frysepunktet er den vanlegaste måten snø vert meir grovkorna (Wakahama, 1967). Snø kan likevel bli meir grovkorna utan slike fluktusjonar. Fleire har studert vekst av snøkorn i fullstending vassmetta snø (0°C) (Wakahama, 1967; Raymond og Tusima, 1979; Tusima, 1985). Resultatet var ein betydeleg vekst i generell kornstorleik over tid, små snøkorn forsvann og korna vart dessutan meir sfæriske. Bindingar mellom snøkorn har òg ein tendens til å bli mindre, svakare og forsvinne (Wakahama, 1975), og senkar styrken i snødekket. Prosessane startar etter berre få minutt i vatnet, og etter fleire timar er dei svært tydelege (figur 9).



Figur 9. Snø vassmetta med destillert vatn. Vert meir grovkorna og rundare etter lengre tid (Raymond og Tusima, 1979).

Forklaringa ligg i at smeltepunktet til eitt enkelt snøkorn (is) ved høgt vassinnhald, er litt lågare enn 0° C. Kor mykje lågare, er avhengig av krummingsradiusen (og dermed storleiken) til snøkornet (Wakahama, 1967). Samanhengen mellom krummingsradius og smeltepunkt er kopla til overflatespenninga til snøkorna. Overflatespenning er energien eit system må ha for å auke overflatearealet mellom ulike fasar av eit stoff, i dette tilfellet fast og flytande fasar av H_2O (UiO, 2018). Energimengda er avhengig av arealet til overflata: Større overflate krev større overflatespenning. Eit system er difor mest stabilt når overflatespenninga er så låg som råd.

I grove trekk vert smeltetemperaturen til eit snøkorn lågare jo mindre det er. Skilnaden i smeltetemperatur mellom ulike kornstorleikar er svært liten (Wakahama, 1967; Colbeck, 1974). Til dømes vil eit snøkorn med diameter 0,1 mm ha ein smeltetemperatur på $-5,4 \times 10^{-5}$ °C, medan eit snøkorn med diameter 0,6 mm har ein smeltetemperatur på $-1,0 \times 10^{-5}$ °C. Skilnaden er likevel stor nok til at små korn vil smelte, medan store korn frys (Raymond og Tusima, 1979). Smeltevatn frå mindre korn frys fast på større og snøen vert meir grovkorna. Systemet, altså blandinga av is og vatn, vil på denne måten redusere arealet av kontaktflata, mellom is og vatn. Færre store snøkorn har mindre spesifikk overflate enn mange små. Overflatespenninga blir då mindre, og systemet beveger seg mot likevekt (Wakahama, 1967).

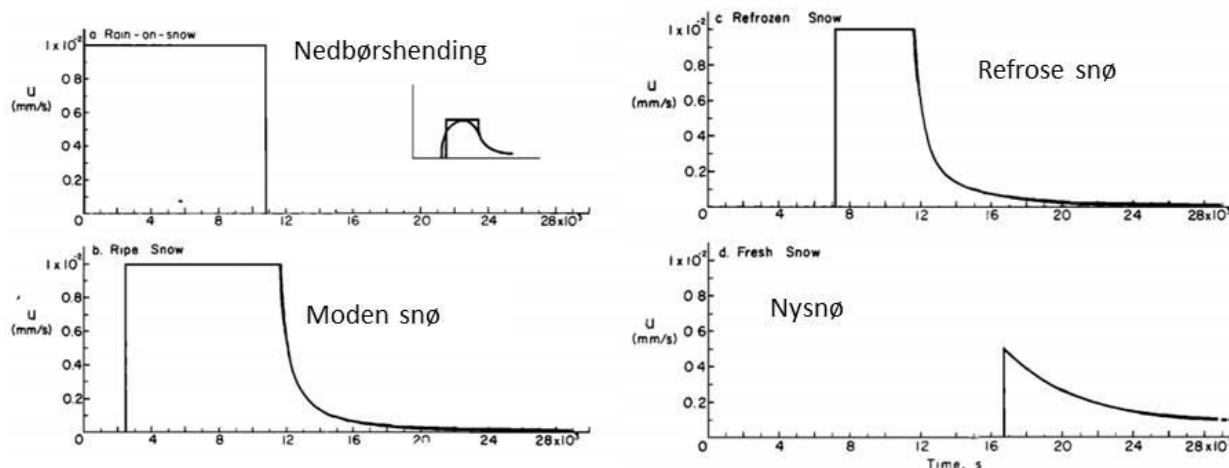
Vekst av snøkorn er òg knytt til fritt vassinnhald (LWC – Liquid Water Content). Auka LWC gir hurtigare vekst av snøkorn, då mesteparten av varmetransporten, frå store til små snøkorn, skjer gjennom vatn (Colbeck, 1974; Brun, 1989). Auka vassinnhald gir auka areal tilgjengeleg for varmetransport.

2.4.2 Snøtypar og sørpedanning

Ulike snøtypar har ulik tendens til å samle/transportere vatn, og treng truleg ulike mengder vatn for å bli sørpe. I følge ein formel av Shimizu (1970) varierer den eigentlege permeabiliteten til snø med minimum ein faktor på 100. Dette kan samanliknast med skilnaden mellom permeabiliteten til middels grov sand og silt (!), og kan overførast til evna snøen har til å halde på vatn (Colbeck, 1991).

I tillegg vil struktur og tekstur bestemme korleis brot vil oppstå, storleiken til skredet og utløpsdistansen til skredet (NGI, 2017a; Hestnes og Sandersen, 1987). Generelt er nysnø og kantkorn mest ustabile ved vasstilførsle (Hestnes, 1985, 1998). Dette kjem av at desse typane snø har mindre kohesjon og har stor evne til å binde vatn (porøse) (Lied og Kristensen, 2003). Snøtypane vil raskt bli omdanna til runde sørpeskrystallar med fritt vatn mellom krystallane (Hestnes, 1996). Gude og Scherer (1998) omtalar «intakt» snø, som ikkje har vore utsett for lange smelteperioder, som mest utsett. Statens-Vegvesen (2014a) skildrar eit vilkår for sørpeskred at snødekket må vere relativt porøst, og dette omfattar snø som ikkje har vore gjennom smelteprosessar. Ein meir stabil snøtype er den finkorna, meir kompakte, fokksnøen. Det vert likevel observert at sørpeskred kan gå i dei aller fleste typar snø (Hestnes *et al.*, 1987). Ein grunn til dette kan vere dei store variasjonane som finst for éin type snø, og at snø som regel er i ei form for overgangsfase mellom ulike snøtypar. Faktorar som spelar inn kan vere tettleik, permeabilitet og vassinnhald. Tettleiken heng saman med porøsiteten i snøen (McClung og Schaerer, 2006).

Colbeck (1976) gjorde teoretiske berekningar på vassgjennomstrøyming gjennom ulike homogene snøtypar, som kan synleggjere evna til å halde på vatn. Snøtypane var moden snø (grove korn, våt/0°C snø), nysnø (små korn, kald/ tørr snø) og sekundærfrose (grovkorna, kald/ tørr snø). Figur 10 viser den berekna responsen/avrenninga til dei ulike snøtypane frå eit kraftig regnvêr. Som ein kan sjå brukar vatnet mykje lengre tid på å bevege seg gjennom nysnø enn moden snø, sekundærfrose snø hamnar ein stad i mellom. Skilnadane kan relaterast til kornstorleik (større korn, større porevolum), vassinnhald (allereie våt snø drenerer raskare) og temperatur (må hevast over 0°C før avrenning kan starte) i snøen. Ein ser også at mengd avrenning er ulikt. Refrose snø og nysnø verkar til å halde tilbake ein del av vatnet frå nedbøren.



Figur 10. Teoretisk berekna respons frå ulike snøtypar etter ei nedbørshending (Colbeck, 1976).

Større snøhorn gir større porevolum og høgare permeabilitet (Kattelmann, 1985). Nærvær av vatn og smeltemetamorfose, som gjer snøen meir grovkorna, vil med andre ord auke permeabilitet og hydraulisk konduktivitet (Colbeck, 1991). Snø som har vore våt, til dømes i smeltesesongen, vil då drenere raskare ved neste vasstilførsle, og kan føre til at vatnet når djupare delar av snøen (eller drenerer ut av snøen) (Conway og Benedict, 1994; Kattelmann, 1987a; Juras *et al.*, 2017). Denne hurtige dreneringa kan vel og merke også medføre ei raskare oppbygging av poretrykket, og føre til sørpeskredssituasjonar (Onesti, 1987).

Trass informasjon om kva snøtypar sørpeskred lettast løysast ut i, går det sørpeskred i dei aller fleste snøtypar, og det manglar å *kvantifisere* vassmengda som skal til for dei ulike snøtypene. Dersom det er store variasjonar kan dette vere viktig for vurdering av sørpeskredfare.

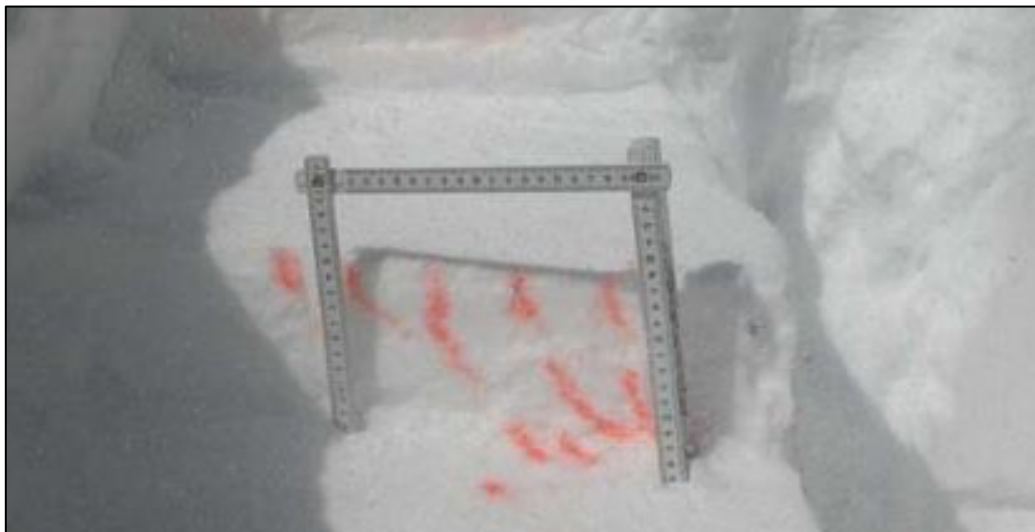
2.4.3 Drenering i snødekket

Korleis vatnet infiltrerast og drenerast i snøen vil påverke kvar vatn samlast. Dei siste tiåra har forskning gitt utvida forståing av feltet (til dømes Colbeck, 1975, 1976; Kattelmann, 1984). Kattelmann (1987a) gjorde forsøk som indikerte at avrenning frå snø kan skje lenge før alle holrom i snøen er fylt med vatn. Snøen kan altså ta unna store mengder vatn utan å bli verken fullstendig vassmetta eller sørpe over større områder. Dette kan kanskje forklare kvifor kraftig regn ikkje nødvendigvis gir sørpeskred.

Vasstransport i snø skjer hovudsakleg på to ulike måtar; matriks-strøyming og dreneringsfingre («preferential flow») (Waldner *et al.*, 2004). Ved matriksstrøyming vert snøen nærast uniformt gjennomvåt over fuktfronten, medan dreneringsfingre fuktar snøen heterogent (horisontalt distinkt skilte våte og tørre soner i snøen) (figur 11) (Waldner *et al.*, 2004). Matriks-strøyming

er dominert av kapillær strøyming og formar rundt snøkorn. Ved danning av dreneringsfingre vil vatnet berre vere i kontakt med ein relativt liten del av volumet til snøen, alt frå 20 % Kattelmann (1987a) til 50 % Conway og Benedict (1994) er observert. Til større del av snøen som er i kontakt med vatn, til seinare går dreneringa (Waldner *et al.*, 2004; Hirashima *et al.*, 2014; Juras *et al.*, 2017).

Fleire forfattarar har funne at i mange tilfelle infiltrerer vatn snøen heterogent, ikkje uniformt (Kattelmann, 1985, 1987a; Colbeck, 1976; Conway og Benedict, 1994). Dreneringsfingre er altså det føretrekte dreneringsmønsteret i snø (Schneebeli, 1995; Hirashima *et al.*, 2014), noko som tyder på at matriksstrøyming er mindre vanleg. På ei side vil dreneringsfingre føre til smelteomvandling, og vil gjere snøen meir heterogen (Avanzi *et al.*, 2017). Samstundes kan fingrane flytte seg over tid, og gjere snøen meir homogen (Schneebeli, 1995).



Figur 11. Dreneringsfingre i snø (Peitzsch, 2009).

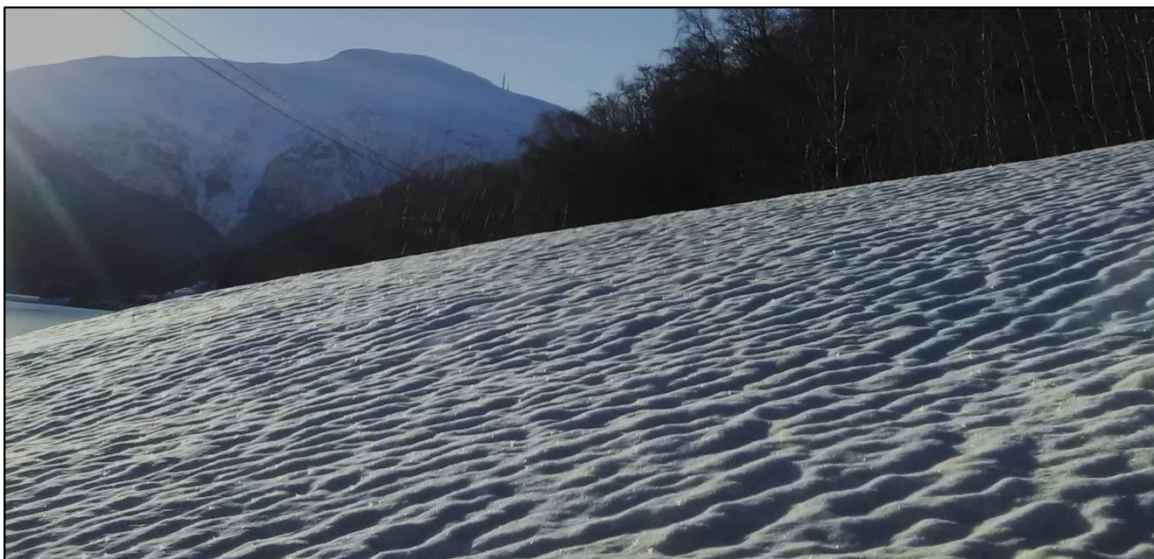
Kornstorleik, tettleik, tid og temperatur i snødekket vil påverke om og eventuelt korleis dreneringsfingre vil utvikle seg (Conway og Raymond, 1993; Hirashima *et al.*, 2014; Juras *et al.*, 2017). Til dømes vil meir heterogen snø favorisere danning av dreneringsfingre, medan smelteomvandla isothermal snø er mindre tilbøyeleg for slik infiltrasjon. Intensiteten og lengda til vasstilførsla påverke storleiken til dreneringsfingrane, og dermed kor stor del av snøen som vert fukta (Kattelmann, 1986, sitert i Kattelmann, 1987a; Conway og Raymond, 1993).

Dreneringstypen vil også påverke avrenninga frå snø etter regn-på-snø-hendingar (RPS). Juras *et al.* (2017) fann at ettersom moden (smelteomvandla), isothermal snø var mindre tilbøyeleg for slik infiltrasjon ved vasstilførsel, førte det til at vatnet bevegde seg seinare enn gjennom ikkje-moden snø. I tillegg vart ein større del av tilført vatn halde igjen av den modne snøen. Dette er

vel og merke motsett av det teoretiske resultatet til Colbeck (1976), og illustrerer vanskaner med å forstå korleis snø reagerer på vassstilførsel.

Ujamm smelting i overflata kan gi heterogen infiltrasjon allereie frå toppen av snødekket og dermed påverke infiltrasjonsmønsteret. Strukturar inni snøen kan også avgjere kvar vatnet tek vegen (Waldner *et al.*, 2004). Dreneringsfingre og lateral spreining kan leie vatnet mykje djupare i snødekket. Vatnet kan både drenerast vekk frå, eller til, potensielle glideplan.

Regnvêr kan også etterlate overflata til snøen ujamm, ettersom snøen sett seg noko ulikt (figur 12). Denne bølgjande overflata kan bli bevart under påfølgjande snøfall, og bidra til å styre vassgjennomstrøyminga.



Figur 12. Ujammne strukturar, etter regn eller mildvêr, som vert bevart under seinare snøfall, kan styre vassgjennomstrøyminga.

Når det kjem til utløyising av sørpeskred kan eit interessant spørsmål vere om og eventuelt korleis dreneringsmønsteret påverkar danning av sørpeskred. Vert snøen i stor grad metta ovanfrå, ved matriksstrøyming, eller vert vassnivået bygd opp nedanfrå, ved tilførsle frå dreneringsfingre.

2.4.4 Lagdeling

Sjølv om sørpeskred ofte har glideflata er også strukturen, kombinasjonar av ulike snøtypar i eitt snødekke, i snøen viktig. Strukturen vil avgjere korleis vassstilførsle vil endre stabiliteten (Hestnes og Bakkehøi, 2004, sitert i Hansen, 2016). Vedlegg F viser ulike snødekke jordskredvarslinga i NVE erfarer å vere meir og mindre utsette for å danne sørpeskred.

Tette lag inni snødekket kan blokkere vatn og auke vasstrykk (Hestnes, 1998), og i nokre tilfelle har vassmetting av snødekket vore som følgje av ugjennomtrengelege islag i snøen (Hestnes og Sandersen, 1987). Lagdeling kan også transportere vatn lateralt. Infiltrasjonen i snøen er ofte eit trappeforma mønster med kombinasjon av vertikal og horisontal vasstransport (figur 13).



Figur 13. Vatn bevegar seg ofte gjennom snøen ved ein kombinasjon av vertikal og horisontal transport.

Ved lateral vasstransport kan lagdelinga i snødekket akselerere gjennomstrøyminga ved å konsentrere vatnet (Colbeck, 1991). På hellande terreng kan lagdelinga leie vatn parallelt med hellinga og føre til at vatn samlast og mettar snøen andre stadar (Fierz og Föhn, 1994; Gude og Scherer, 1998)¹. Slike stadar kan til dømes vere søkk i terrenget, dalbotnar eller slakt terreng, som også er potensielle utløysingsområder for sørpeskred. I brattare terreng kan vassmetting langs snølag gi våte flakskred.

Inne i snødekket er det skilnadar mellom teksturen i ulike snølag som påverkar infiltrasjonen. Dette kan til dømes vere *skilnadar i hydraulisk konduktivitet*, altså evne til å transportere vatn (Peitzsch, 2009). Døme på dette er laus nysnø over eit impermeabelt lag, til dømes eller smeltefryseskare. Nysnø over skarelag av is («icy layers») er også typisk for sørpeskred (Hestnes *et*

¹ Også i dette studiet vart det observert kor lite helling som skal til før vatn fylgjer laggrenser, framfor å renne meir vertikalt nedover i snøen.

al., 1987). Ei anna hydraulisk barriere kan vere begerkrystallar nedst i snøen, langs bakken. Dersom det er smelteomvandla, grovkorna snø over, dannar dette gode vilkår for store sørpeskred. Då grovkorna snø har god hydraulisk konduktivitet og begerkrystallar har svært svak styrke (Hestnes *et al.*, 1994).

Det er ikkje sjølvstøtt at hydrauliske barrierar er impermeable nok til å hindre vassinfiltrasjon. Colbeck (1991) observerte direkte vasstransport gjennom tjukke islag. Skarelag, som all snø, varierer mykje, både i tidsmessig og romleg utstrekking. Til dømes kan kuldeperiodar, så vel som varme periodar med vatn i snøen, føre til at islag forsvinn heilt eller delvis (Colbeck, 1991). Vassnivået byggjer seg opp når tilførselen er høgare enn dreneringskapasiteten (Onesti, 1987). Det er muleg at veldig høg vasstilførsel kan senke permeabiliteten til eit snølag midlertidig. Som ein parallell til Hortonsk overflateavrenning på jord (Dingman, 2015). Snødekke som inneheld harde lag med skare/is er dessutan normalt ganske stabile, trass vassmetting over lengre tid (Hestnes *et al.*, 1994). Snødekket vil då ha stor total styrke, men føresett at snøen over og under er godt bunde til skaren (Lied og Kristensen, 2003).

Ein anna kombinasjon som påverkar infiltrasjonen av vatn, er finkorna snø som ligg over meir grovkorna snø. Dette dannar ei såkalla *kapillær barriere*. I slike tilfelle vil vatn hindrast i å passere laggrensa på grunn av større kapillære krefter i den finkorna snøen (mindre porevolum) (Waldner *et al.*, 2004). Større variasjonar i kornstorleik vil gi tydelegare kapillære barrierer. Teksturelle skilnadar, som kan påverke infiltrasjon av vatn, kan førekome sjølv i snødekke som tilsynelatande er homogene (Kattelman, 1984).

2.4.5 Fritt vassinnhald i snøen (LWC)

Fritt vassinnhald/LWC er eit mål på kor stor del av porevolumet i snøen som inneheld flytande vatn (J. Kinar og Pomeroy, 2015). Altså forholdet mellom volumet til flytande vatn og totalt snøvolum (Dingman, 2015). I følgje Brun og Rey (1987) vil snøen sin skjærstyrke minke når snøen kjem over i fenikulert regime (her $LWC > 6$ vol.%), i pendulert regime vil kapillærkreftene i større grad halde snøen saman. LWC er difor viktig for korleis snøen reagerer på ny vasstilførsel, og inngår i vurderinga jordskredvarslinga gjer av sørpeskredfare, sjå vedlegg A (pers. kom. Sund, 2018a).

Würtzer *et al.* (2016) undersøkte snøen sin effekt på regn-på-snø-hendingar (RPS-hendingar) i forhold til flaum. Det viser seg at det er større tidsskilnad, mellom start på nedbør til byrjande avrenning frå snøen, når snøen først var tørr ($LWC < 1$ vol.%), enn når den først var fuktig/ våt ($LWC > 1$ vol.%). Tørrare snø har større kapasitet til å binde vatn. Dette stemmer overeins med

resultata til Colbeck (1976), og dessutan Ito *et al.* (2012) som viste at RPS-hendingar på tørr snø kan gi meir forseinka skred enn på våt snø.

Snøforholda kan både ha ein dempende og forsterkande effekt på ei RPS-hending (Kattelmann, 1987b; Würtzer *et al.*, 2016). Nokre gongar kan avrenninga vere større enn regntilførsla (avrenningsoverskot). Dette kan kome av snø som smelta, eller av vatn som fanst i snøen frå før (LWC), og kan ofte vere tilfelle om våren (Würtzer *et al.*, 2016).

Avrenningsunderskot, altså mindre avrenning enn regntilførsel, skjer helst når snøen er kald og tørr. Denne trenden vart også observert av Hestnes og Bakkehøi (1996) i eit feltforsøk, ved at mengda vatn som vart haldt tilbake i snø var mellom anna avhengig av temperaturen i snøen.

Trass i at denne forskinga først og fremst var knytt til flaumvurderingar, kan den nyttast til å forstå meir om korleis snø reagerer på vatn. Om det vert eit over- eller underskot i avrenning kan vere viktig for sørpeskredsituasjonar, som oppstår når meir vatn kjem inn enn det som renn ut (Onesti, 1987; Gude og Scherer, 1998). Würtzer *et al.* (2016) nemner altså tilstanden (LWC) til snøen *før* vasstilførsle, i forhold til mengde snø, som ein viktig faktor for kva utfallet blir under RPS-hendingar.

2.5 Vêr

Vêret er ein viktig faktor for sørpeskred, og ein treng informasjon om vêret gjennom både haust, vinter og vår for å kunne identifisere kritiske situasjonar.

Vintervêr (start av snøakkumulasjon til start av smelteperiode)

Vintervêret bestemmer kva slags snø ein har og kor mykje (Hestnes *et al.*, 1994). Snøtypen kan vere viktig for utfallet av RPS-hendingar. Kapittel 2.4.1 (s. 12) om snøomvandling tek føre seg danning av ulike snøtypar. Før snøen legg seg, avgjer vêret teledjupna som igjen kan påverke permeabiliteten til bakken. Snødjupna er viktig for kor mykje vatn som er naudsynt for å mette snødekket, samt kor mykje vatn snøen kan halde tilbake (Hestnes og Bakkehøi, 1996). Det er også naudsynt med tilstrekkeleg snø for å få sørpeskred (Rapp, 1960). For lite snø kan føre til at smelteprosessen skjer så raskt at der ikkje er nok snø igjen når snøen først vert vassmetta. Statens-Vegvesen (2014a) reknar med at det må vere minimum 50 cm snø for å få sørpeskred, for å lagre tilstrekkeleg vatn.

Vintervêret kan òg gi nyttig informasjon om utbreiinga til skreda. Til dømes begerkrystallar, som dannast under kaldt vêr, kan gi sørpeskred i større regionar (Hestnes *et al.*, 1994). Andre typar lagdelt snø, t.d. fokksnø, vil variere meir lokalt.

Akutt vêr (ein passasje av varmfront eller ei kritisk smelteperiode)

Den akutte vêrsituasjonen avgjer kor mykje vatn som blir tilført snødekket, både gjennom regn og snøsmelting (Hestnes *et al.*, 1994). Den viktigaste faktoren for utløysing er poretrykket i snøen i forhold trykk frå overliggjande snø (NGI, 2017a). Auka poretrykk senkar styrken til snøen (Jaedicke *et al.*, 2008). Hurtig auke kan skje som følgje av ulike prosessar; regn, som dominerer i kystregionar (Hestnes, 1985), og smelting, som dominerer i kontinentale regionar (Onesti, 1985). Varmt regn og varm fuktig vind kan supplere med energi til snøsmelting.

2.5.1 Nedbørintensitet og nedbørsmengd

Forsking gjort av Kattelman (1987b) i Alaska indikerer at langsam vasstilførsle minkar faren for sørpeskred, då snøen får betre tid til å drenere. Undersøkingar frå Island assosierer sørpeskredaktivitet med høg nedbørintensitet (Decaulne og Sæmundsson, 2006). Hansen (2016) skriv at for utløysing av sørpeskred er det gunstig at snødekket blir tilført tilstrekkeleg mengd vatn på kortast mogleg tid, altså høg intensitet. Kattelman (1987a) argumenterer for at intense regnbyer strøymar meir effektivt gjennom snøen enn regn med lågare intensitet, på grunn av at dreneringsfingre står for vasstransporten. Dette kan føre til hurtig oppbygging av vassnivå. Eit alternativ er at vatnet forsvinn ut av snøen, og vekk frå potensielle oppsamlingsområder.

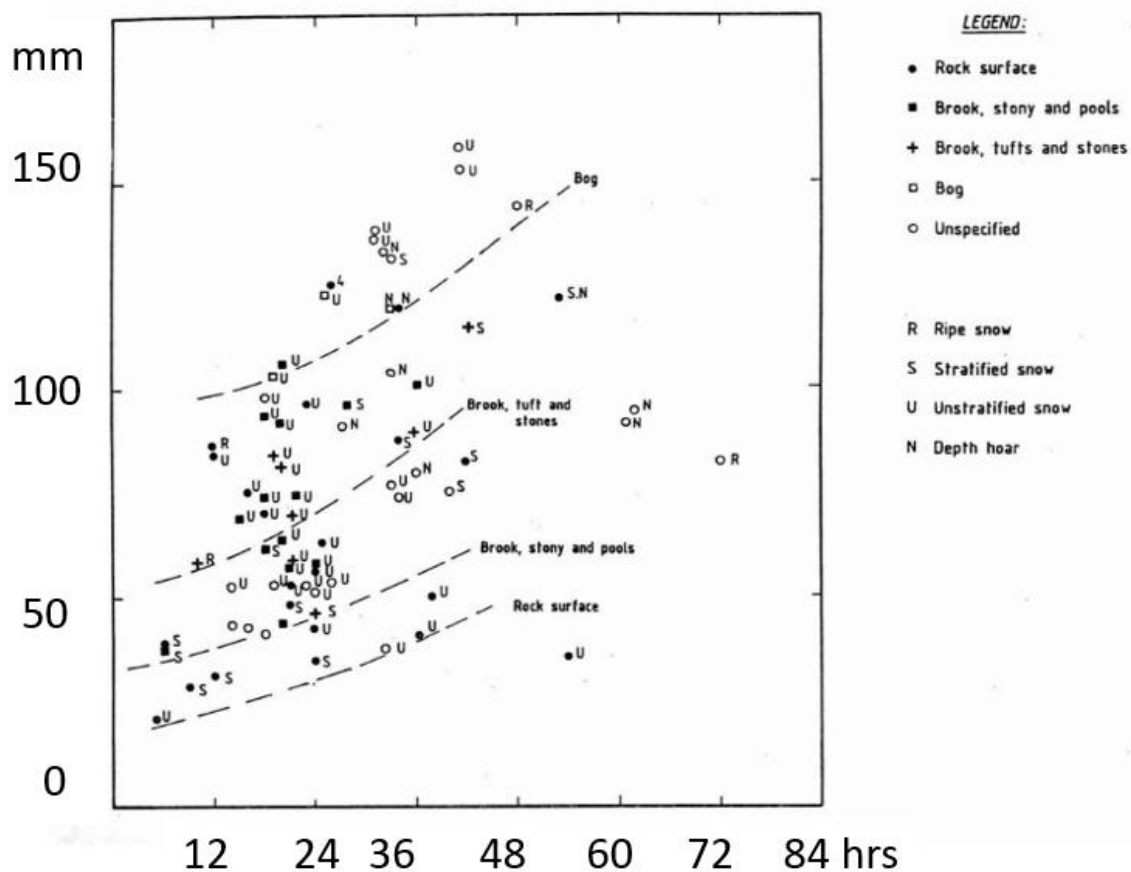
Statens-Vegvesen (2014a) si kritiske grense, som jordskredvarslinga nyttar i sine vurderingar, for regn og/eller snøsmelting ligg på 50 mm. Samstundes har fleire studiar vist at naudsynt vasstilførsel er mykje avhengig av snøen sin djupne og snøen sine eigenskapar (til dømes Hestnes og Sandersen, 1987; Hestnes og Bakkehøi, 2004). Til dømes er ei snødjupne på minimum 50 cm vurdert som ein føresetnad for danning av sørpeskred (Statens-Vegvesen, 2014a). Ei røff tilnærming som brukast til utgangspunkt for den regionale varslinga som jordskredvarslinga nyttar, er at like mange mm nedbør som det er cm snø er naudsynt for utløysing av sørpeskred. Men dette er igjen avhengig av snøtype (pers. kom. Sund, 2018a).

2.5.2 Nedbør i samband med kjende sørpeskredhendingar

For å sjå nærare på intensitet, varigheit og mengd nedbør/snøsmelting, er det brukt vêrdata og -observasjonar frå kjende sørpeskredhendingar. Det er berre nokre enkelte døme, men likevel er slik informasjon nyttig for å gi ein peikepinn på kva vasstilførsel som er relevant for sørpeskred.

Litteraturen omfattar eit stort spenn, frå varmfrontar som treff området 5-36 timar før utløysing, til situasjonar som byggjer seg opp over 2-15 dagar, gjerne med fleire frontar som passerer (Hestnes og Sandersen, 1987). Onesti (1985) observerte at hurtig oppbygging av vasstrykk kan skje i løpet av 8-14 timar, avhengig av snøen sin karakteristikk og djupne. Når snøsmelting tilfører vatn, kan vasstrykket bygge seg opp over 1-12/16 døgn ved høge temperaturar. Eventuelt under 24 timar ved særst intense forhold (Hestnes, 1998).

Hestnes *et al.* (1994) såg på samanhengen mellom vasstilførsel, grunnforhold og snøtype (figur 14). Det ser ut til å vere ei klynge av skred som går etter 20-24 timar med vasstilførsel (snøsmelting og regn), med mellom ~40 og ~100 mm vasstilførsel totalt. Snødjupne er ikkje nemnt.



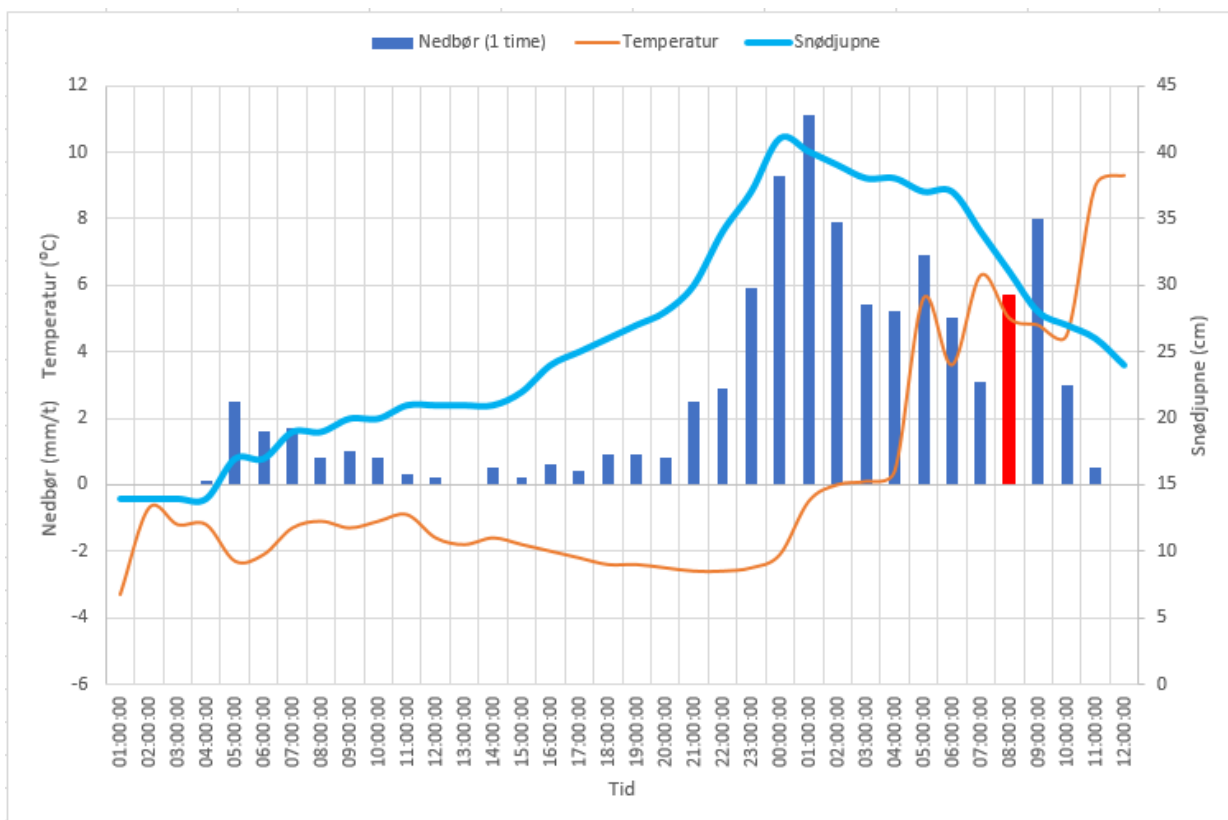
Figur 14. 80 registrerte sørpeskred, framstilt med total vasstilførsel, tid, grunnforhold og snøtype (Hestnes *et al.*, 1994).

Vasstilførsel i samband med sørpeskred blir i mange tilfelle registrert som samla mengd vatn i løpet av eit døgn. Øyehaug (2016) fann til dømes ein terskel på 80 mm nedbør siste døgn før utløysing, ved registrering av sørpeskred mellom 2010 og 2016. Hansen (2016) studerte eit

sørpeskred i Balestrand, der det siste døgnet kom 56 mm nedbør og 15 mm snøsmelting. Tidsoppløysinga til vêrdata er viktig for å gi eit reelt bilete av intensiteten. Kjem nedbøren, til dømes 50 mm, i løpet av 24 timar (snitt: 2,08 mm/t), eller kjem mesteparten i løpet av 6 timar (snitt: 8,33 mm/t)? Dette kan vere avgjerande for vurdering av sørpeskredfare.

Nokre gonger har ein tilgang på data med høgare oppløysing. Til dømes er eit sørpeskred med dødeleg utfall 28.01.18 undersøkt. Her vart det først registrert 68,6 mm regn første 24 timar (2,86 mm/t), deretter 12 timar med 46,3 mm, der mesteparten kom i løpet av 6 timar (7,7 mm/t) (Hestnes *et al.*, 1994). For sørpeskredhendingane i Odda 23.11.17, finst nedbørsintensiteten, temperaturen og snødjupna med timesoppløysing fram til utløysinga av sørpeskreda (raud stolpe), frå ein målestasjon i nærleiken (figur 15).

Målingane viser at nedbøren ligg mellom 3-11 mm/t, dette kan både vere snø, sludd eller regn. 6 timar før skredet stig temperaturane til 0°C, etter dette kjem det i alle fall 30 mm regn i forkant av skredet. Snødjupna når skredet går er 10 cm lågare enn døgnet før, som truleg medfører at også smeltevatn må reknast med.



Figur 15. Nedbør, temperatur og snødjupne for Skjeggedal målestasjon, Odda, 22.-23.11.2017 (data henta frå xgeo.no). Raud stolpe viser utløysingstidspunkt.

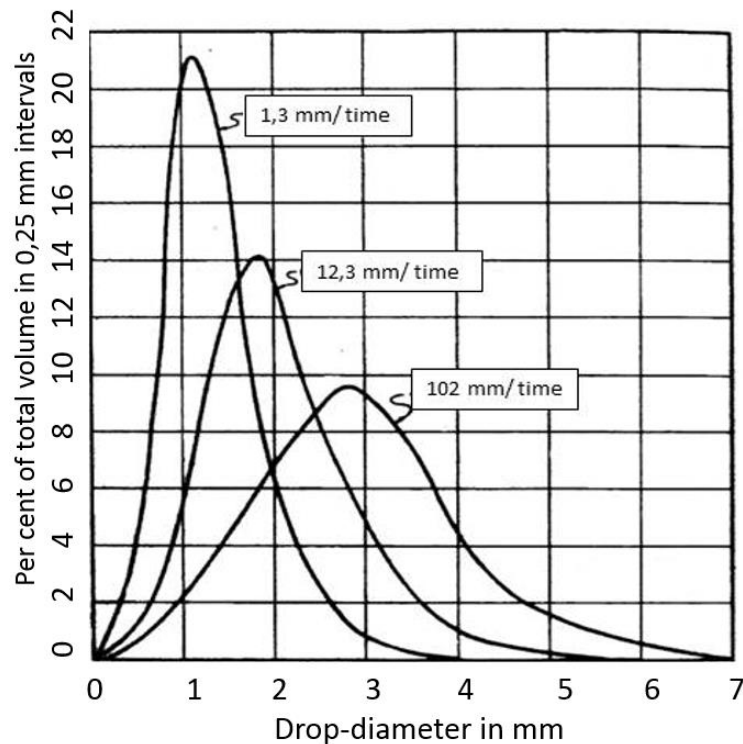
Ei utfordring ved bruk av vêrdata er usikre prognoser for nedbør, ettersom nedbøren ofte er ujamn, både i mengde og romleg fordeling (Boje *et al.*, 2014). Noreg har ulike klimatiske soner, både maritimt og kontinentalt og i tillegg er det kupert med mange fjordar og dalar i ulike retningar. Dette kan medføre store skilnadar i vêret på ein lokal skala (Hestnes *et al.*, 1994; Meteorologisk-Institutt, u.å.). Noko nedbørsaktivitet har særleg store lokale variasjonar, slik at det er vanskeleg å vite kvar nedbøren treff (Hisdal, 2017). Eit døme er fenomenet «tråg» som oppstår når fleire byer slår seg saman, og kan danne kraftig nedbørsaktivitet i enkelte områder. Dette oppstår gjerne etter kaldfrontar, ofte om vinteren i Noreg, når kald polarluft kjem innover det varmare havet (Meteorologisk-Institutt, 2009).

Ved bruk av vêrdata i samband med sørpeskredhendingar bør ein vere bevisst på slike lokale skilnadar, då målestasjonen som regel er ein annan stad enn utløysingsområdet. Dette kan gjere situasjonar med mykje regn og/eller snøsmelting vanskeleg å vurdere, og er eit generelt problem for all varsling (Boje *et al.*, 2014).

2.5.3 Naturleg nedbør

Faktorar som kan brukast for skildre nedbør er dråpestorleik, hastigheit og intensitet (Yan *et al.*, 2016). I naturen vil det vere ulike kombinasjonar av desse faktorane, og dei har ein tett samanheng. Mellom anna vil dråpestorleiken avgjere tyngda til dropen og luftmotstanden, og dermed avgjere hastigheita. Dette forholdet er vitskapleg testa av Gunn og Kinzer (1949). Dråpestorleiken heng saman med intensiteten på nedbøren.

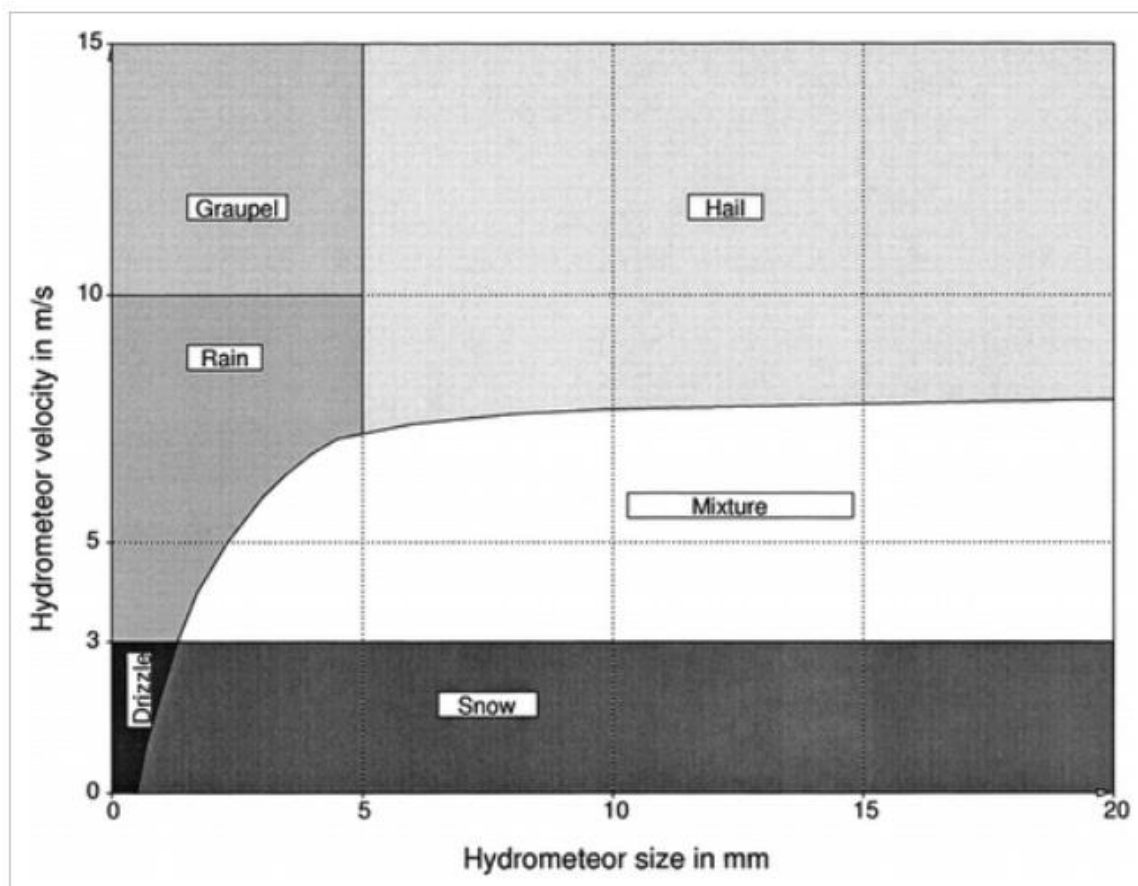
Naturlege regndropar er typisk mellom 0,1-6 mm i diameter, men oftast mindre enn 3 mm (Uijlenhoet og Sempere Torres, 2006). Nedbørstypen kan klassifiserast ved hjelp av dropestorleiken. Meteorological-Office-of-the-UK (2007) og Meteorologisk-Institutt (2018b) brukar same klassifisering: dropar over 0,5 mm er definert som regn, og som yr når dropane vert mindre (0,1-0,5 mm). Innanfor ein gitt nedbørsintensitet finst det også ulike dråpestorleikar. Dette kan enten presenterast som eit gjennomsnitt eller så kan ein bruke fordeling av dråpestorleik («drop size-distribution, DSD») (Laws og Parsons, 1943; Yan *et al.*, 2016) (figur 16).



Figur 16. Døme på dråpestorleiksfordeling (DSD) (Laws og Parsons, 1943).

Ein kan også definere ut nedbør i intensitet. Til dømes kan regn vere alt frå mindre enn 0,5 mm/t til over 4,0 mm/t (Meteorological-Office-of-the-UK, 2007). Andre skildrar regn ved intensitetar frå under 0,2 til over 7,5 mm/t (OTT-Messtechnik, 2010a). Meteorologisk-Institutt (2018a) bruker i tillegg underklassane lett, moderat og kraftig (< 0,2 mm/t, 2-20 mm/t og > 20 mm/t).

Naturlege fallhastigheitar ligg mellom 0,1 m/s og 9 m/s (Uijlenhoet og Sempere Torres, 2006). Nedbørstypen kan også definerast ut i frå ein kombinasjon av fallhastigheit og storleiken til nedbørspartiklane (hydrometeor) (figur 17) (Löffler-Mang og Joss, 2000).



Figur 17. Klassifisering av nedbørstype ved hjelp av hastighet og storleik samanstilt av Löffler-Mang og Joss (2000).

2.5.4 Ekstreme tilfelle

I følge Førland *et al.* (2015) vil frekvensen og intensiteten til kortidsnedbør (frå 1 min til 1 døgn) auke i framtida. Colleuille *et al.* (2017) skriv at auka kortidsnedbør vil truleg auke hyppigheita av jord-, flaum- og sørpeskred. Tabell 1 gir ei oversikt over høgaste målte kortidsnedbør på Vestlandet og Møre og Romsdal/Trøndelag (Førland *et al.*, 2015).

Tabell 1 Høgaste målte kortidsnedbør på Vestlandet og i Møre og Romsdal/Trøndelag (henta frå Førland *et al.*, 2015).

Region	Varigheit								
	1 min	10 min	30 min	1 t	2 t	6 t	12 t	24 t	1 døgn
Vestlandet (mm)	3,3	17,8	38,1	41,9	47,2	83,2	144,0	159,6	229,6
M&R, Trøndelag (mm)	4,3	25,5	28,3	28,9	29,1	41,9	67,6	87,8	178,5

Observerte korttidsnedbør (60 min) ulike stader i landet, viser at endå større nedbørsmengder er muleg. Til dømes har Asker observerte målingar på 54,9 mm på ein time (NIFS, 2014).

2.5.5 Energibalanse

Vasstilførselen til snødekket er avhengig av dei meteorologiske faktorane nedbør (type og intensitet), vind (hastigheit og turbulens), luftfuktigheit (metting), temperatur og stråling (intensitet) (Hestnes, 1998; Lied og Kristensen, 2003). Smeltevassproduksjon er eit resultat av interaksjonen mellom desse faktorane, altså energibalansen (tabell 2). Energibalansen er definert av Hock (2010) som balansen mellom alle dei negative og positive energistraumane til overflata. Formel 1 viser komponentane i energibalanselikninga (Bruland, 2002).

Formel 1. Energibalanselikninga (Hock, 2010).

$$Q_M + Q_I = Q_N + Q_H + Q_L + Q_G + Q_R \quad [1]$$

Forholdet mellom dei ulike faktorane mellom anna avhengig av geografi og topografi. I maritime områder, som i Vest-Noreg, er latent og sensibel varme viktig, og kan bidra med opptil 50 % i energibalansen (Lied og Kristensen, 2003; Hock, 2010). Undersøkingar av Würtzer et al. (2016) viser også at det er turbulent varmeutveksling som tilfører mest energi til snøsmelting i RPS-hendingar. På Vestlandet kan til dømes søraustleg (føn)vind vere sterk og varm (Jaedicke et al., 2013).

Produksjon av smeltevatn kan bli svært stor om ein har positiv nettostråling i tillegg til sensibel varme (Scherer et al., 1998). I tillegg er albedoen til vassmetta snø, lågare enn for nysnø, slik at overgangen til sørpe vil ha ei forsterkande effekt på smelting (Lied og Kristensen, 2003). Desse faktorane gjer at himmelretninga til skråninga kan vere viktig i forhold til utløysing av sørpeskred (Hestnes et al., 1994). Sørvendte skråningar får mest innkomande kortbølgja stråling frå sola, her er hellinga også viktig. Dette er mest aktuelt på våren når sola står høgt (Hestnes, 1998). Vestleg vår fører ofte med seg nedbør og kan tilføre skråninga vatn i form av regn.

Tabell 2 Ulike komponentar med forklaring i energibalanselikninga (Bruland, 2002).

	Forklaring:	Kva:	Funksjon av:	
Q_M	Energi tilgjengeleg for smelting	Avgjer mengd smelting		
Q_I	Endringar i intern energi i snøen	Temperatur i snødekket	Oppvarming/nedkjøling av snødekket, ofte daglege syklusar.	
Q_N	Nettostråling: Balansen mellom lang og kortbølgja stråling	<i>Langbølgja stråling:</i> sendt ut frå jordoverflata, blir reflektert av atmosfæren	Overflate- og lufttemperatur, samansetning i atmosfæren	
		<i>Kortbølgja stråling:</i> sendt ut frå sola, blir reflektert av jordoverflata	Albedo, breiddegrad, tid på døgnet, årstid	
Q_H	Sensibel varme	Energi frå varmen i lufta, konveksjon (vind)	Temperaturskilnader mellom overflata og lufta, vindhastigheit	Samleomgrepet for desse er «turbulent varmeutveksling»
Q_L	Latent varme	Energi frigjort eller konsumert ved faseendringar	Gradient for fuktigheit, vindhastigheit	
Q_G	Geotermal varme	Varme frå det indre av jorda	Desse to neglisjerast vanlegvis i denne samanheng (Hestnes, 1998; Lied og Kristensen, 2003).	
Q_R	Varme frå regn	Når regnet treff snøen og kjølast ned, gir det frå seg varme.		

2.6 Modellering

Når jordskredvarslinga vurderer sørpeskredfare vert vasstilførselen berekna med ein tilpassa versjon av HBV-modellen (Beldring *et al.*, 2003) saman med ein forenkla energibalanse modell (Skaugen og Saloranta, 2015). I tillegg må effektar av vind og luftfuktigheit vurderast.

2.6.1 Modellering av vasstilførsle

HBV-modellen

Den svenske datamodellen HBV, Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdeling, kan brukast for å berekne snøsmelting. Smeltinga vert berekna med ein graddagsformel som er basert på døgntemperatur (NVE, 2015). I tillegg er også nedbør inngangsdata i modellen. Dette gir HBV-

modellen gode føresetnader for å berekne snøsmelting ved lågtrykksaktivitet som også gir den største tilførsla av vatn til sørpeskred tidleg på vinteren (Jaedicke *et al.*, 2013). For å auke nøyaktigheita til modellen er det planlagt ein oppdatert versjon som har høgare tidsoppløysing enn eitt døgn (3 timar) (Hisdal, 2017).

Svakheita med HBV-modellen er at den ikkje involverer energitilførsle frå nettostråling og vind, noko som mest truleg vil underestimere snøsmeltinga (Jaedicke *et al.*, 2013). Forsking gjort av NGI på Strynefjellet i 2013 viste at sørpeskreda gjekk på dagane med høgast positiv netto energi. Dette betyr at strålingsdata kan gje avgjerande informasjon for varsling av sørpeskredfare (Jaedicke *et al.*, 2013). NVE brukar ein tilpassa versjon av HBV-modellen, skildra av Beldring *et al.* (2003). Modellen er implementert i xgeo.no, som vert nytta i samband med vurdering av sørpeskredfare. Jordskredvarslinga må i tillegg ta omsyn til effektane vind og luftfuktigheit har på snøsmelting ettersom dette ikkje er implementert i xgeo.no (pers. kom. Sund, 2018a).

Energibalansemodellen

Energibalansemodellar, EB-modellar, er fysiske modellar som tek høgde for fleire komponentar av energibalansen enn HBV-modellen. Denne tilnærminga har vist seg å vere betre enn graddagsmodellar ved høg tidsoppløysing i inngangsdata (Skaugen og Saloranta, 2015). Dermed vil kanskje EB-modellar kunne gi betre utgangspunkt for vurdering av sørpeskredfare, særleg om våren.

Samstundes medfører det store behovet for inngangsdata nokre problem. Det gjer både utrekningar av snøsmelting meir kompliserte, og dessutan manglar slike data i ynskt tidsoppløysing for store delar av Noreg. Det er dermed ikkje sjølvstøtt at EB-modellane vil gi betre estimat enn HBV-modellen (pers. kom. Grønsten, 2017). I denne samanheng har Skaugen og Saloranta (2015) utvikla ein EB-modell med behov for færre inngangsdata, nedbør og temperatur. Det er denne modellen NVE nyttar, saman med HBV-modellen, når sørpeskredfaren vert vurdert.

Eit tilskot for å danne eit større nettverk med målestasjonar er målestasjonar spesielt laga for snø, såkalla *SnoMos* (Pohl *et al.*, 2014). Det er frittstående målestasjonar som gir data om snø og meteorologiske forhold som påverkar snøen si utvikling. SnoMo skal vere stasjonar med låge kostnader, slik at ein kan overvake vêr og snødekket si utvikling i mange punkt (Varhola *et al.*, 2010). Slike stasjonar står mellom anna på Finse og på forskingsstasjonen til NGI Fonnbu (Jordet, 2017).

2.6.2 Modellering av snødekket

Strukturen og teksturen i snøen har stor innverknad på infiltrasjonen. Dei spelar ei avgjerande rolle for kvar vatnet tek vegen (Mitterer *et al.*, 2011), og vil kunne avgjere om snøen vert eit sørpeskred, eller ikkje.

Snowpack er ein numerisk modell som simulerer snødekket (Bartelt og Lehning, 2002). Modellen var utvikla for skredvarsling, men er også anvendt til studiar av mellom anna hydrologi, klimaendringar og permafrost (SLF, 2017). Inngangsdata består av meteorologiske data med fleire komponentar frå energibalansen og hentast frå automatiske vêrstasjonar (Lehning *et al.*, 2002; NGI, 2017b). Data brukast deretter til å rekne på dei fysiske prosessane som avgjer utviklinga i snødekket – også dei mekaniske eigenskapane til snøen (SLF, 2017).

I samband med sørpeskred er vassinnhaldet viktig. Lehning *et al.* (2002) meiner at *Snowpack* klarer å estimere LWC godt, men modellen verkar likevel å ha problem med heilt vassmetta snø (NGI, 2017b). Dette gjeld særleg *kva tid* og *kvar i* snødekket det vert vassmetta, noko som også er viktige faktorar for utløyising av sørpeskred (Jordet, 2017). Modellen er ein-dimensjonal og tek ikkje høgde for horisontale gradientar og strøymingar (SLF, 2017). *Snowpack* har også problem med å simulere strukturar, som i stor grad kan påverke vatnet si rørsle gjennom snødekket (Mitterer *et al.*, 2011). Døme på slike strukturar er hydrauliske- og kapillære barrierar, dreneringsfingre og smelte-/fryseskare. I tillegg er sørpeskred ofte eit resultat av geomorfologiske forhold. Dette er tilfelle som *Snowpack* vil ha vanskar med å føresjå korleis vassinnhaldet utviklar seg (Jordet, 2017).

Eit anna problem er at *Snowpack* har krav til mykje inngangsdata som i stor grad manglar i Noreg. Modellen er per februar 2017 ikkje brukbar i samband med landsdekkande sørpeskredvarsling (NGI, 2017b). *Snowpack* er likevel under utvikling, og det jobbast med å betre kunne simulere vasstransporten i snøen (NGI, 2017a).

2.7 Forsøk med liknande metode og utstyr

Feltforsøk under heilt naturlege forhold er det mest sikre, då ein får observere snødekket med alle sine variasjonar. Samstundes gjer kompleksiteten i snødekket at laboratorieforsøk har eit fortrinn. Snøen endrast hurtig som følgje av små endringar i vêret (Ito *et al.*, 2012). Den er også prega av store romlege variasjonar sjølv på eit lite område. I eit laboratorium kan ein gjere forsøka meir kontrollerbare.

Dette studiet har kombinert bruk av naturlege forhold (snøen) og simulerte forhold (vasstilførsel og underlag), og er eit resultat av tilgjengelege midlar og ønske om å studere snøen i sitt

naturlege element. Forfattar er ikkje kjend med andre forsøk som har det same formålet som dette studiet. Men det finst fleire døme på forsøk som kan brukast som utgangspunkt og/eller samanlikningsgrunnlag til forsøka gjort her.

Vasstilførsel

For snøforsøk er det nytta ulikt utstyr for å tilføre vatn til snøen. Juras *et al.* (2017) brukte ein relativt omfattande feltlab i samband med studie av RPS-hendingar. Dette inkluderte mellom anna dyser for vasstilførsel og telt for vindskjerming. Det finst også døme på sær enkle middel som sprayflasker, brukt for å sjå på vassrørsle i lagdelt snø (Peitzsch, 2009), eller brannslange (Jaedicke *et al.*, 2008). Andre har brukt oppvarming for å produsere smeltevatn til snøen, med formål å studere smeltemetamorfose (Brun, 1989). Andre system er laga for bed og jordbruk, eller for forskning på jordskred og hydrologi (U.S.-Geological-survey, 1992; Agarwal *et al.*, 2012; Cao og Yin, 2015).

Utstyr

Det er mange døme på studium av interaksjonen mellom snø og vatn, ved å isolere blandinga ved hjelp av boksar.

Til dømes studerte Raymond og Tusima (1979) utvikling av kornstorleik i vassmetta snø i boksar i akryl og termosflasker. Det vart nytta 400 g snø og 500 ml vatn i forsøka. Waldner *et al.* (2004) brukte natursnø som vart sikta ned i gjennomsiktige akrylboksar, for å undersøke bevegelse av farga vatn gjennom snø. For same formål brukte også Walter *et al.* (2013) to akrylboksar, plassert over kvarandre. Brun (1989) brukte snøprøvar i boksar av pleksiglas vart tilført varme. Målet var å studere omdanning av snø med ulikt vassinnhald. Ito *et al.* (2012) utførte laboratorieforsøk med kunstsnø for å sjå korleis snøen sin styrke vart svekka med auka vassinnhald.

Avanzi *et al.* (2017) gjorde laboratorieforsøk for å undersøke smeltemetamorfose. Her vart blokker av kunstig snø plassert i boksar av styrofoam som var opne i toppen. Denne utforminga var meint å etterlikne ein termalt isolert del av snøen, utsett for atmosfærisk energiutveksling. Boksane vart utsett for kunstig oppvarming og nedkjøling for å reprodusere vertikal infiltrasjon av vatn. Storleiken på snøblokkane er omtala som relativt små for å observere heterogene skilnadar. Juras *et al.* (2017) brukte ethafoam til å isolere natursnø.

For å minimere varmeutvekslinga med omgjevnadane er det brukt litt forskjellige metodar. I mange tilfelle er forsøka gjort i kjølelaboratorium der temperaturen kan haldast konstant, ofte 0°C (Raymond og Tusima, 1979; Waldner *et al.*, 2004; Avanzi *et al.*, 2017). Boksane kan (også)

vere innpakka i is/isvatn (Raymond og Tusima, 1979; Brun, 1989). Andre med ulik isolasjon (Waldner *et al.*, 2004; Ito *et al.*, 2012; Avanzi *et al.*, 2017; Juras *et al.*, 2017).

Metode

Jaedicke *et al.* (2008) hadde som formål å studere dynamikken til sørpeskred. Her vart ei rampe (32° helling), lempa med snø og dynka med vatn. Botnen av rampa vart tetta for at vassnivået skulle bli høgt nok, det låg mellom 20 og 30 %. Den vel vassmetta snøen vart deretter frigjort og rausa ut av rampa. Eit liknande oppsett, vart brukt av Kobayashi *et al.* (1994) i eit studie av viskositeten til sørpe. Her vart vatn og snø blanda i eit kammer. Kammeret var knytt til ei rampe via ei luke, som vart opna når blandinga var klar. I forsøket vart det nytta 5 kg vatn og 1 kg snø, og hellinga til oppsettet varierte mellom 3°, 5° og 10°.

Slike rampeforsøk er også nytta for å undersøkje jord-og flaumskred (U.S.-Geological-survey, 1992; Turnbull *et al.*, 2014; Eu *et al.*, 2017). Rampene i forsøka er lange og smale, med hellingar frå 20 til 31°. Også her vart ei blanding av jord og vatn klargjort i eit kammer i toppen, for å så opnast slik at massane fekk fritt leie.

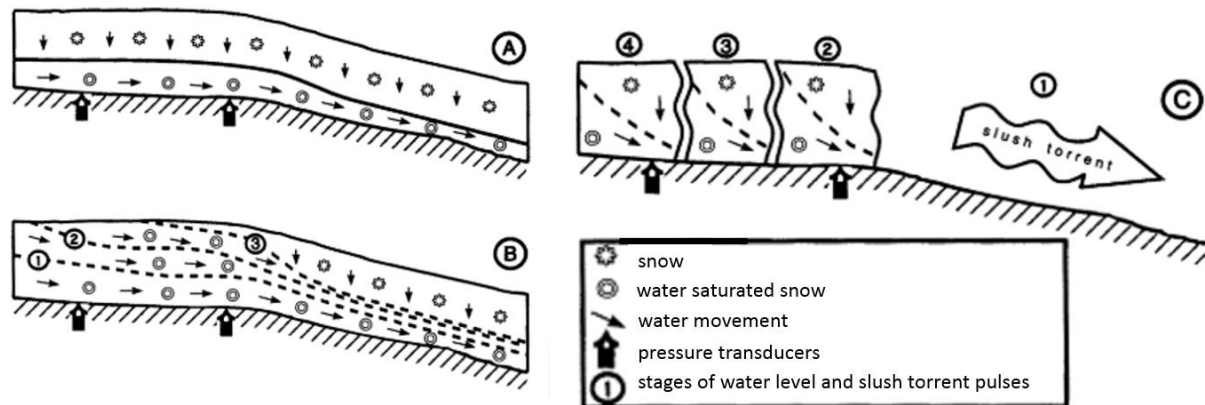
I forsøka med jord-/flaumskred var blandingsforholdet mellom lausmassar og vatn kjend, og formålet er retta mot dynamikk og krefter. I sørpeforsøka til Kobayashi *et al.* (1994) og Jaedicke *et al.* (2008) var målet å studere fult utvikla sørpe, og det verkar til at ein var på den sikre sida når det gjaldt vassinnhald.

2.8 Utløysing av sørpeskred

Snø vert sørpe når vassinnhaldet er over 15 vol.% (Lied og Kristensen, 2003; McClung og Schaerer, 2006). Det er likevel ikkje ei sjølvfølge at snøen skal bli eit sørpeskred sjølv om snøen per definisjon er sørpe. Det er observert snødekke som er fullstendig vassmetta, *utan* at sørpeskred er utløyst (Hestnes, 1996)². Gude og Scherer (1998) argumenterer for at ei kritisk masse av sørpe er naudsynt, men ikkje tilstrekkeleg, for utløysing av skreda. Dei meiner at det viktigaste for utløysingsprosessen er hydraulikken til vassnivået i snøen. Ved hjelp av trykkmålarar observerte Gude og Scherer (1995) vassnivået i snøen, ved utløysingsområde for eit sørpeskred, rett over eit knekkpunkt mellom slakare og brattare terreng. På grunn av skilnad i dreneringskapasitet over og under knekkpunktet, bygde vassnivået seg opp i bakkant og skapte eit *vassnivå* med stadig brattare helling (figur 18). Dette danna ein hydraulisk trykkgradient som til slutt overgjekk dei stabiliserande kreftene, og førte til utløysing av skredet. NGI (2017a)

² Dette vart også observert i feltforsøk i dette studiet.

påpeikar også at poretrykket frå vatnet i snøen må vere større enn trykket frå overliggjande snø for at sørpeskred skal løysast ut.



Figur 18. Utvikling av gradienten til vassnivået før utløyising av sørpeskred, ved Kärkerieppe (Gude og Scherer, 1995).

Dette betyr at det ikkje er nok å observere utviklinga til vassinnhaldet i snøen under feltforsøka. Ein må observere *kva tid* snøen vert *ustabil*, og korleis dette heng saman med vassnivået (kritisk masse), og eventuelt gradienten til vassnivået.

Ettersom glideskred også dannast ved oppsamling av vatn, er det også naudsynt å skilje observasjonane av den ustabile snøen. Eit glideskred vil truleg skli ut meir som éin samla snømasse. Dette kjem av at vassinnhaldet er høgt berre i eitt sjikt under snødekket, og dannar det svake laget (varsom.no, 2018). I sørpeskred kollapsar snøen i mindre bitar og vert nærast flytande, då vassinnhaldet er såpass stort (Lied og Kristensen, 2003). Desse skilnadane er særleg viktig å studere på hellingar der både sørpeskred og glideskred kan førekomme. Glidebevegelsar i snø kan starte ned til 15° (Mitterer og Schweizer, 2013) og sørpeskred er observert å utløyisingssområde opp mot $20\text{-}25^\circ$ (Hestnes, 1985).

3 Metode

For å innhente empiriske data var det naudsynt å utvikle både metodesett og forsøksdesign frå grunnen av. Metodeutviklinga gjekk parallelt med vidare litteraturstudiar og etter kvart dukka det opp forsøksdesign, til dømes i Kobayashi *et al.* (1994), som likna på det som vart utvikla i dette studiet. Dei andre studia hadde vel og merke andre *formål* enn å undersøke utvikling av sørpesnø, som er hensikta med dette arbeidet.

Metodesettet for snødekkeundersøking byggjer på kjende metodar.

3.1 Snødekkeundersøking

Formålet med oppgåva var å undersøkje snøtypane som er nemnt nedanfor. Snøtypane var også avgjerande for val av feltlokalitet.

1. Fokksnø (finkorna, runda og sintra, tettpakka)
2. Nysnø (store, meir eller mindre intakte snøkrystallar, laus snø)
3. Smelteomvandla snø (grovkorna, runda, ofte smelta og fryst saman i klynger, hard snø)

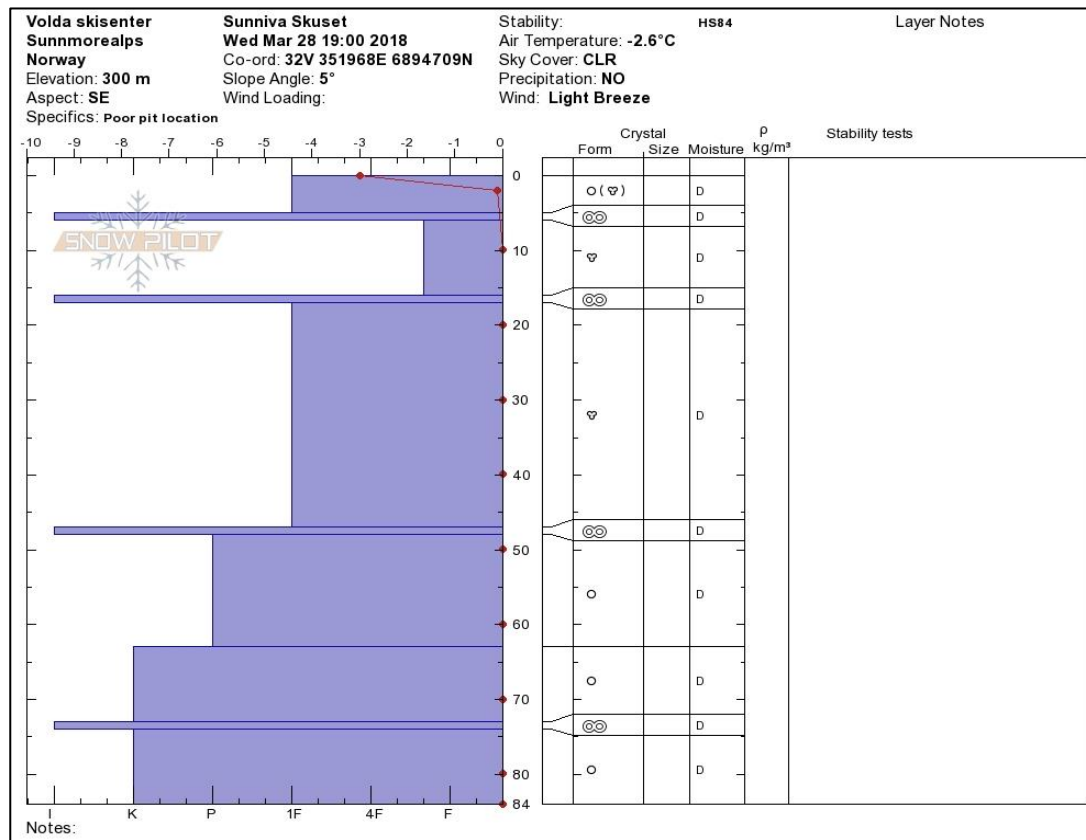
Ved snødekkeundersøkingane vart det brukt standard metodar etter Handboka for skredobservatørar frå NGI (Kristensen, 2007) og den internasjonale måten å klassifisere snø på (Fierz *et al.*, 2009). Snødekkeundersøkinga vart gjort i ein del av testområdet, som oftast avgrensa til 25 m², for å vere representativ for snøen som vart brukt til testane.

Følgjande faktorar var med i undersøkinga av tekstur og struktur i snøen:

- Snødjupne og lagdeling.
- Hardheit (handtest).
- Kornstorleik (mm) og kornform.
- Temperaturgradient i snøen (°C).
- Fuktigheit (LWC).
- Snøtettleik (g/cm³).
- I tillegg vart det notert generell informasjon om lokaliteten, til dømes koordinatar, høgd over havet, lufttemperatur, vind, nedbør og skydekke.

Ei detaljert skildring av metodane for kvar enkel faktor er å finne som vedlegg B.

Ein snøprofil, vist i figur 19, samlar til slutt all informasjon i eit enkelt diagram. Snøprofilane her har blitt laga ved bruk av nettsidene avanet.com (2018) og snowpilot.org (2018).



Figur 19. Døme på snøprofil laga i snowpilot.org (2018). Snøprofilen er henta frå forsøk 12, Volda 28.03.18.

Feilkjelder:

- Det vert gjort fleire kvalitative skildringar under ei snødekkeundersøking (Kristensen, 2007). Til dømes hardheit og LWC. Resultatet av undersøkinga kan difor vere avhengig av den enkelte si vurdering, og kvaliteten aukar som regel med erfaring.
- Vekta som brukast til å finne tettleiken i snøen er sensitiv for til dømes vind eller ei ustødig hand, som kan påverke resultatet noko.

3.2 Utvikling av feltlab

Det tok tid å utvikle eit funksjonelt feltlaboratorium. Følgjande faktorar la føringar for utvikling av utstyr og metode:

- likskap med naturlege situasjonar
- tid til disposisjon
- budsjett / ressursar
- funksjon i felt

Den kalde vinteren tidleg i 2018 var også med på å gjere utviklingsarbeidet tidkrevjande. Kulden kompliserte arbeidet med vatn, som fraus, og det vart ikkje høve til å teste utstyret skikkeleg før i slutten av mars, då temperaturane steig.

Langs med forsøka dukka det stadig opp problemstillingar. Dette gjaldt både svakheiter med utstyr og korleis snøen oppførte seg, slik at utstyret og/eller metoden måtte justerast og endrast fleire gongar. *På denne måten vart metoden på mange måtar eit resultat av forsøka.*

Utviklinga av feltstasjonen vart gjort over ulike fasar, som bygde på kvarandre.

Fase 1) Val av utstyr for registrering av vasstilførsel.

Fase 2) Finne eigna utstyr for vasstilførsel.

Gjennom desse to fasane vart grunnutstyret utvikla. Vidare fylgde ein tredje fase som var utvikla på grunnlag av fase 1 og 2. Denne bestod i å sette saman den komplette feltlaben. I fase 4 vart det gjennomført meir heilskaplege forsøk med lengre varigheit, og forsøka her ga resultat som kunne samanliknast med kvarandre.

Forsøka i *fase 3 og 4* er presentert i resultatdelen, saman med resultat frå feltforsøka.

3.2.1 Fase 1) Utstyr for registrering av vasstilførsel i feltforsøka

Bakgrunnen for fase 1 var at utstyret som skulle brukast til å tilføre vatn til snøen under feltforsøka i størst muleg grad burde etterlikne naturleg nedbør. Det måtte undersøkast om intensiteten var passande og om dropane hadde tilnærma naturleg storleik. Det vart såleis naudsynt å finne ein metode for å registrere vasstilførselen, altså å undersøkje kva ulikt utstyr produserte av:

- 1) dropestorleikar
- 2) intensitet/nedbørsmengd over eit gitt areal

Det vart testa to ulike metodar for dette formålet. Forsøk 1 og 2 utgjer til saman éin metode for å manuelt registrere vasstilførselen. Denne metoden var meint å nytte i forkant av feltarbeidet for å kvalitetssikre utstyret før ein tok det med ut i felt. Den andre metoden var eit disdrometer, som registrerte vasstilførselen automatisk. Instrumentet var muleg å ta med seg i felt då det tok målingar in situ.

Manuell registrering av dropestorleik (Forsøk 1)

Målet var å finne *dropestorleik* ved hjelp av papir, tørkeskap og ei nøyaktig vekt. Dette vart testa med ein hageslange, perforert med eit 2 mm bor, kopla til ein vask. Dersom dette fungerte,

kunne ein òg finne dropestorleiken som anna utstyr produserte. Slangen var samstundes testa som ein muleg metode for vasstilførsel i snøforsøka.

Ein drope vart samla på eit papir og vart vega på ei vekt med 0,001 g nøyaktigheit. Deretter vart papirbiten tørka i tørkeskåp og vega igjen. Slik kunne ein finne vekt og storleik på dropen.

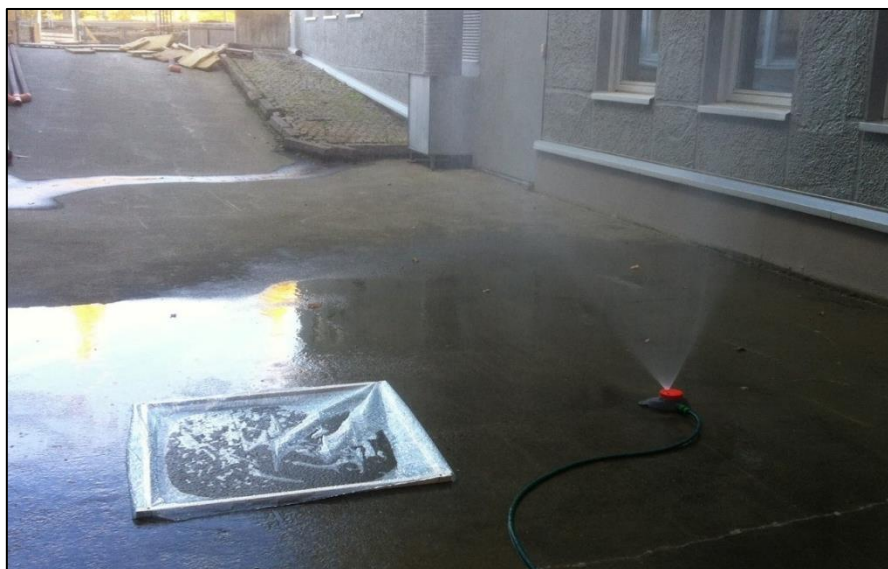
Feilkjelder:

- Det er vanskeleg å få eit representativt utval av alle dropar. Til dømes har ein vasspreiar dropar med ulik storleik i ulike delar av spreingsarealet.

Manuell registrering av intensitet (Forsøk 2)

Målsetjinga var å finne vassutstyret sin *intensitet over eit gitt areal*. Oppsettet bestod av ein kvadratmeter av lekter, dekkja av ein plastikkduk samt eit litermål og ein vassmålar frå Gardena som viste liter per minutt som gjekk gjennom slangen (figur 20). Vasskjelda i forsøket var ein vasspreiar frå Gardena, men som i forsøk 1, var tanken å måle intensiteten på tilsvarende måte med anna utstyr dersom det fungerte.

Éin kvadratmeter vart brukt for å enklast muleg overføre intensiteten til nedbørsmålingar; i følgje yr.no (2010) svarar 1 mm nedbør til eit lag som er med vatn som er 1 mm høgt, fordelt på 1 kvadratmeter (= 1 liter). Vasspreiaren sto på eit kvarter, og målte deretter kor mange liter vatn som kvadratet hadde samla opp. Føresett at intensiteten er omtrent konstant kunne ein då multiplisere talet med fire for å få tal liter per time, og dermed tal mm per time. I tillegg vart vassforbruket målt med vassmålaren.



Figur 20. Test med kvadratmeter, litermål og vassmålar.

Feilkjelder:

- Unøyaktig avlesing på litermålet
- Vatn som går til spille når vatnet flyttast frå kvadratet til litermålet.
- Vanskeleg å få med alt vatnet frå kvadratet.

Automatisk registrering av dropestorleik og intensitet (Disdrometer)

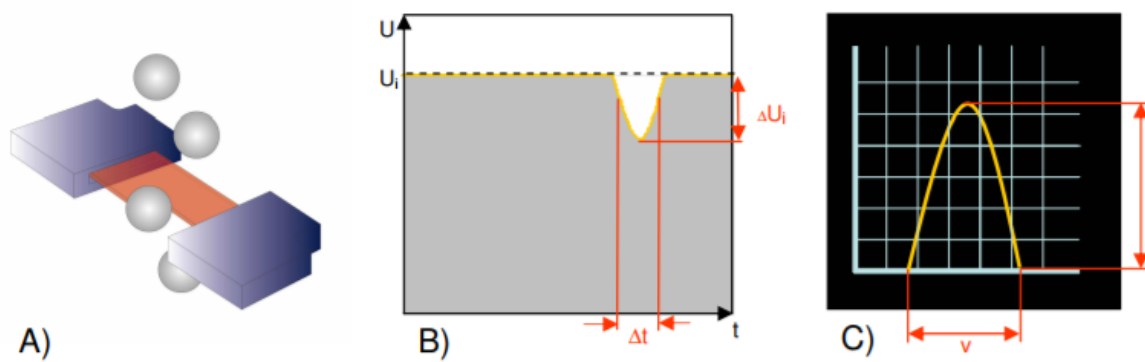
(OTT-Messtechnik, 2010a; Thies, 2011):

OTT Parsivel 1 (**PAR**ticle **SI**ze **VEL**ocity) er eit laser-basert optisk disdrometer som målar hastigheit og storleiken til nedbørspartiklar samstundes (figur 21) (Nemeth og Hahn, u.å.).



Figur 21. Disdrometeret OTT Parsivel 1 (Nemeth og Hahn, u.å.).

Instrumentet registrerer partiklar ved hjelp av at eit laserband genererast frå det eine «hovudet» på instrumentet, det andre «hovudet» registrerer signalet (figur 22A). Når nedbørspartiklar passerer laserbandet vert signalet dempa (figur 22B). Grada signalet blir dempa gir informasjon om storleiken til partikkelen (D), og tida det blir brote kan overførast til hastigheita til partikkelen (v) (figur 22C).



Figur 22. Korleis OTT Parsivel registrerer nedbør. v =hastigheit og D =diameter til nedbørspartikkelen (Nemeth og Hahn, u.å.).

Hastigheita og storleiken kan brukast til å finne mellom anna storleiksspektrum (DSD), nedbørsintensitet og -mengd, samt type nedbør (OTT-Messtechnik, 2010a). Disdrometeret skil mellom 8 typar nedbør, frå yr til snø via regn og kombinasjonsnedbør.

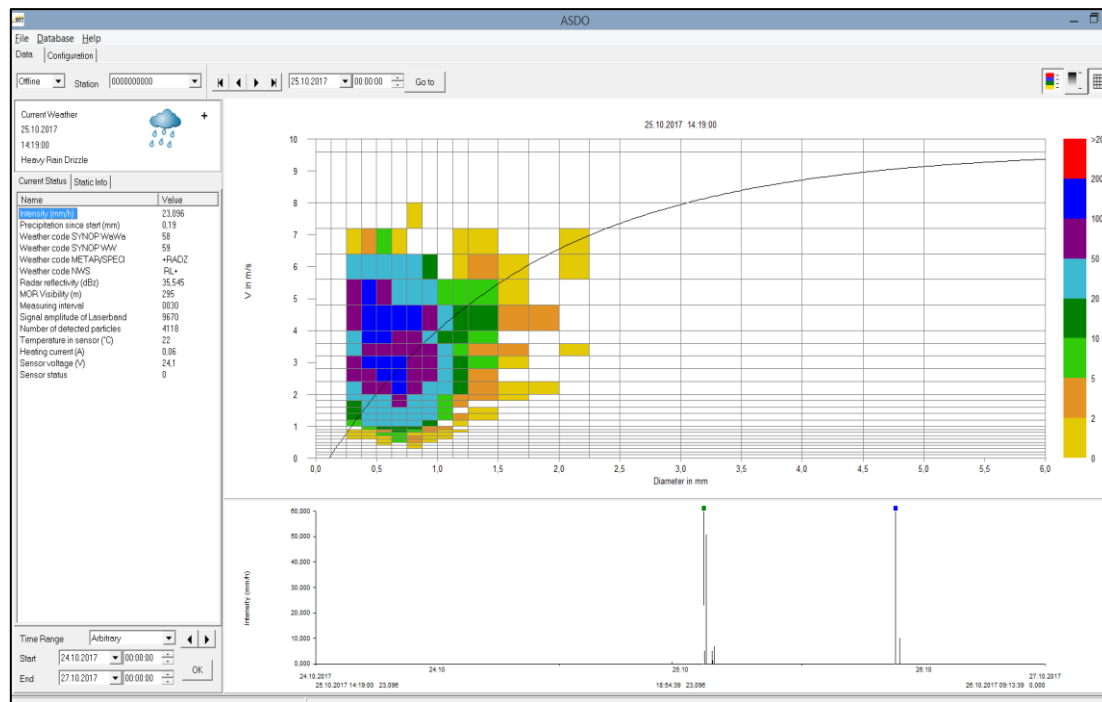
Ein OTT Parsivel 1 kan måle flytande nedbørspartiklar i storleiksspekteret 0,2-5 mm og faste nedbørspartiklar frå 0,2-25 mm. Instrumentet kan måle hastigheiter frå 0,2-20 m/s. I alt har instrumentet 32 klassar for hastigheit og 32 klassar for storleik, noko som gir 1024 ulike klassar totalt. Nedbørstypen er basert på korleis nedbørspartiklane fordelast i ulike hastigheits- og storleiksklassar i løpet av ei viss tid. Den oppgraderte versjonen av disdrometeret (Parsivel 2) bruker lufttemperatur til å forbetre identifikasjonen av nedbørstypen.

Intensiteten blir rekna ut ved å summere volum av enkeltdropar. Tid mellom kvar registrering kan vere mellom 10 sekund og 60 minutt. Typen nedbør disdrometeret viser, er basert på korleis dropane er fordelt i ulike klassar av hastigheit og storleikar. Data frå disdrometeret gir ut to kodar, ein med tal og ein med bokstavar. Desse kodane bruker ein til å lese av nedbørstypen (figur 23).

Type of Precipitation	Internal	NWS Code	SYNOP ww Tab.4677	METAR/SPECI w'w' Table 4678	SYNOP w _a w _a Tab.4680
Sensor error	0		-1 *	????? **	-1 *
No precipitation	1	C	00	NP	00
Precipitation (not identified ****)	2	P-,P,P+	-2,-3,-4 *	-UP,UP,+UP	41,41,42
Drizzle (also freezing ***)	3	L-,L,L+	51,53,55	-DZ,DZ,+DZ	51,52,53
Freezing drizzle (see drizzle ***)		[ZL] L-,L,L+	[56,57,57] 51,53,55	[FZDZ] -DZ,DZ,+DZ	[54,55,56] 51,52,53
Drizzle with rain (also freezing ***)	4	RL-,RL,RL+	58,59,59	-RADZ, RADZ,+RADZ	57,58,58
Rain (also freezing ***)	5	R-,R,R+	61,63,65	-RA,RA,+RA	61,62,63
Freezing rain (see rain ***)		[ZR] R-,R,R+	[66,67,67] 61,63,65	[FZRA] -RA,RA,+RA	[64,65,66] 61,62,63
Rain and/or drizzle with snow	6	RLS-,RLS, RLS+	68,69,69	-RASN, RASN,+RASN	67,68,68
Snow	7	S-,S,S+	71,73,75	-SN,SN,+SN	71,72,73
Ice pellets (see soft hail ***)	9	[IP] SP	[79] 87,88,88	[PE/PL] GS	74,75,76
Snow grains (also ice prisms ***)	8	SG	77	-SG,SG,+SG	77
Ice crystals /-needles (see snow grains ***)		[IC] SG	[76] 77	[IC] SG	[78] 77
Soft hail (also ice pellets ****)	9	SP	87,88,88	-GS,GS,+GS	74,75,76
Hail	10	A	89,90,90	GR	89

Figur 23. Tabell for avlesing av nedbørstype, frå programvara til OTT Parsivel, ASDO (OTT-Messtechnik, 2010b).

OTT Parsivel har ei programvare, ASDO, som tek imot og lagrar all data (Nemeth og Hahn, u.å.). Her vert dråpestorleik og hastigheit framstilt i eit spektrogram. Spektrogramet har partikkeldiameter (mm) langs x-aksen og partikkelhastigheit (m/s) langs y-aksen. I tillegg er kvar rute markert med ein fargekode, som viser tal dropar som vart registrert i den aktuelle storleiks- og hastigheitsklassa. Den svarte linja ein finn i spektrogrammet, er Gunn-Kinzerkurva som referanse (OTT-Messtechnik, 2010b). Denne kurva er ein empirisk utrekna samanheng mellom dråpestorleik og dråpehastigheit, basert på forskning gjort av Gunn og Kinzer (1949), og representerer kvar naturlege dropar vil ligge i spektrogrammet. Figur 24 syner ein skjermdump av programmet med 2D framstilling av DSD, men kan også framstillast i 3D. Som ein ser gir programmet ei relativt enkel oversikt over målte og utrekna data. I tillegg kan ein hente ut data, til mellom anna Excel, for vidare behandling.



Figur 24. Skjermdump frå ASDO, programvare for OTT Parsivel. Spektrogram i 2D.

Straumforsyning til disdrometeret var ein Manson EP-613 (0-2,5 A og 0-30 V), ved tilgang på straumnett. I felt vart disdrometeret kopla saman med eit 12 V bilbatteri. Disdrometeret vart kopla til datamaskina med ein USB/ RS 485-overgang.

Feilkjelder:

Frå Löffler-Mang og Joss (2000) og Raupach og Berne (2015):

- Disdrometeret måler berre dropar som fell med heile volumet innanfor laserbandet, og ekskluderer dei som berre halvvegs er innanfor.
- Dersom glaset der laserstrålen sendast ut/vert teke i mot vert møkkete eller dekkja til av is, vil det forstyrre målingane.
- Turbulens langs bakken kan påverke fallhastigheita til dropar
- Nøyaktigheit:
 - o dropestorleik: +/- 100 μm +/-5 %
 - o dropehastigheit: 25 % for dei minste dropane, og 10 % for dei største.
- Disdrometeret har ei nedre grense for kva dropestorleikar og -hastigheiter det registrerer for å unngå å blande med støy (til dømes, sprut frå dropar som treff hovuda, insekt, spindellev).
- Faste nedbørspartiklar vert registrert når dei ikkje passar inn i kriteria disdrometeret har for flytande nedbør.

Eigne erfaringar:

- Disdrometeret måler berre den nedbøren som passerer mellom hovuda. Vasstilførselen er ujamn i ulike delar av spreingsarealet til ei dyse. Under feltforsøk kan dette føre til skilnad i registrerte målingar av nedbør, samt det som faktisk treff snøen. Vind som forstyrrar vassspruten kan skape same slags problem.

3.2.2 Fase 2) Vasstilførsel i feltforsøka

Kriterium og utfordringar

Etter å ha funne ein *metode for å registrere* vasstilførselen med, vart neste fase å bruke metoden for finne det *riktige utstyret* for vasstilførselen under feltforsøka.

Vasstilførselen skulle helst likne naturleg nedbør; Naturlege regndropar er som regel under 3 mm i diameter (Uijlenhoet og Sempere Torres, 2006). For best mogleg fordeling av vatnet over snøen var det òg ynskjeleg at dropane skulle vere små og mange, framfor få og store. I tillegg burde intensiteten til vasstilførsla ikkje vere for høg. Ut i frå vêrobservasjonar i samband med sørpeskredsituasjonar ligg intensiteten rundt 5-10 mm/t i forkant av skredet (kapittel 2.5.2, s. 23). Utstyret skulle i tillegg vere praktisk i felt, noko som innebar faktorar som:

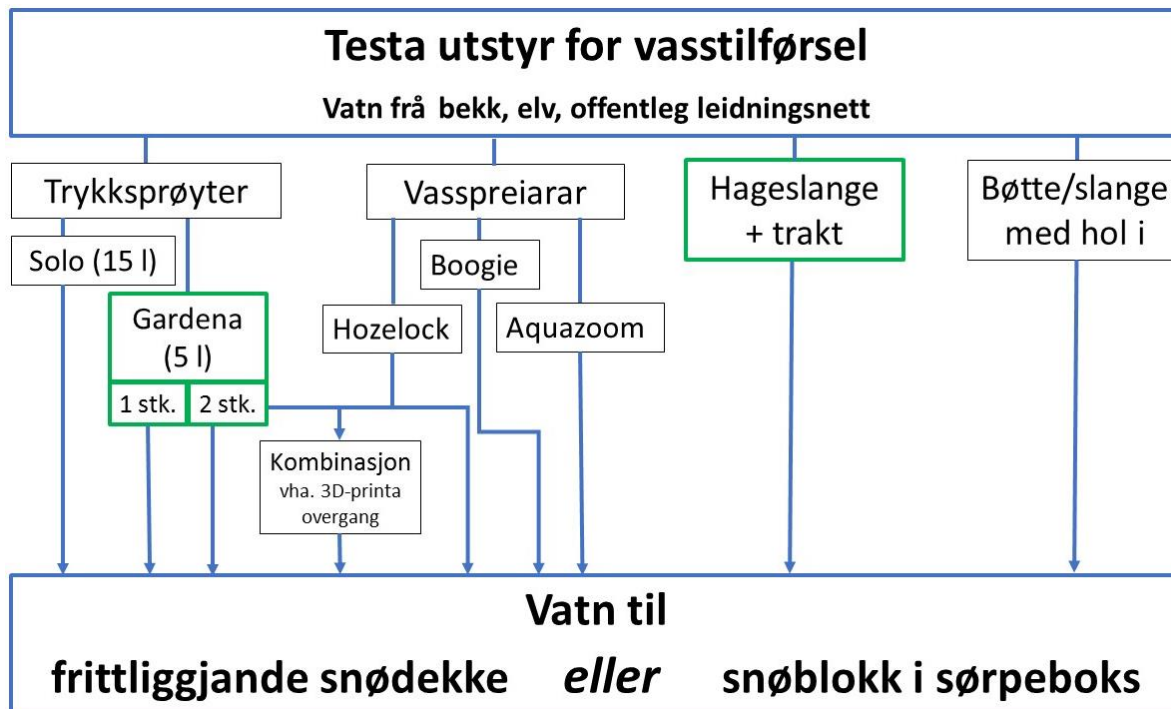
- storleik og vekt
- kapasitet, lett vint å operere
- robust, tole transport og kulde, enkelt å reparere
- kunne vere uavhengig av leidningsnett for vatn

Vidare var det naudsynt å halde seg innanfor budsjettet.

Med desse kriteria som bakgrunn vart det brukt ein del tid på å finne fram til det best egna utstyret.

Oversikt over testa utstyr for vasstilførsel

Figur 25 viser oversikt over utstyr som vart testa for å finne den optimale vasskjelda. Grøn merking viser utstyret som vart nytta i feltforsøka. Utstyret vart testa gjennom fleire ulike forsøk, mellom anna med metodane nemnt i kapittel 3.2.1, s. 38.



Figur 25. Oversikt over ulikt utstyr som vart testa. Grøn merking viser alternativa som vart nytta i feltforsøka.

Forsøk 3 – Kombinasjon av trykksprøyte frå Gardena og Hozelock vasspreiar

Forsøk med samankopling av trykksprøyta og vasspreiar frå Hozelock, for å gjere vasspreiaren uavhengig av leidningsnettet for vatn. Ettersom ei slik samankopling ikkje var hyllevare, måtte den spesialproduserast ved hjelp av 3D-print.

Forsøk 4 - Test av utstyr med disdrometer

Dei ulike vasskjeldene vart testa først med visuell inspeksjon av korleis utstyret spreidde vatnet. Det mest lovande utstyret, vasspreiarane og trykksprøytene, vart testa med disdrometeret. Formålet var å få data som kunne brukast til å samanlikne denne kunstige vasstilførselen med naturleg nedbør. Det var dessutan nyttig å få testa disdrometeret ordentleg, både oppsettet med koplingar, men også programvara og etterarbeid med data.

Følgjande parameter inngjekk i testen:

- Intensitet (mm/t)
- Tal nedbørspartiklar
- Storleik og hastigheit til nedbørspartiklane
- Type nedbør, klassifisert av disdrometeret

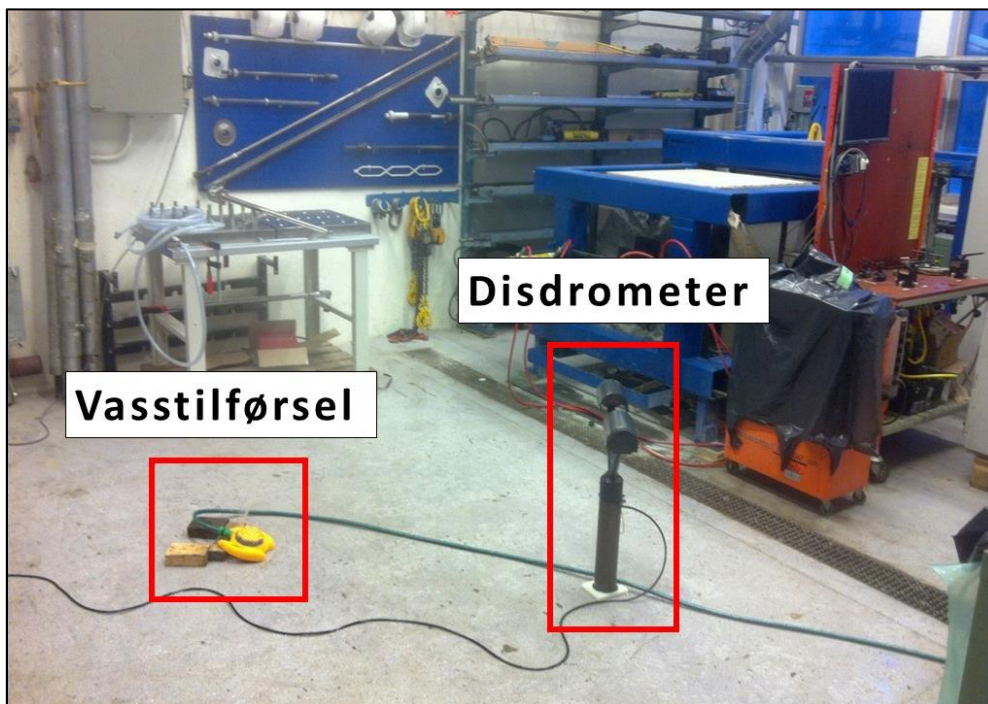
Disdrometeret vart innstilt å gjere målingar kvar 30. sekund.

Utstyret som vart testa i forsøket:

- Hozelock vasspreiar kopla til vanleg leidningsnett, med ulike dyser
- Boogie vasspreiar kopla til vanleg leidningsnett, med ulike dyser
- Gardena trykksprøyte (5 l)
- Solo trykksprøyte (15 l)

Vasspreiarane og trykksprøyta vart stilt på ulike avstandar frå disdrometeret (figur 26). Testane vart gjort innandørs ved eit laboratorium. Hageslange og trakt vart testa i seinare forsøk (17-20) og er ikkje med i dette avsnittet. Bøtte/slange med hol i vart testa gjennom forsøk 1 og raskt forkasta på grunn av lite spreingsareal.

For å ha eit samanlikningsgrunnlag vart disdrometeret brukt til å registrere to dagar med naturleg nedbør, 21.03.18 og 15.06.18.



Figur 26. Oppsett av forsøk med vasspreiar og disdrometeret.

Forsøksoppsetta for utstyret som vart testa i forsøk 4 er vist i tabell 3.

Tabell 3 Forsøksoppsett under testing av disdrometer. # = forsøk nummer, avstand = distansen mellom vasspreiaren og disdrometeret, skråstillinga = kor mykje spreiarer vart tilta i forkant eller bakkant, vassforbruket = målt med ein vassmålar frå Gardena

#	Dato	Varigheit	Vasstilførsel	Dyse	Avstand	Skråstilling	Vassforbruk
1	22.11.17	24 min	Hozelock	Sky	1.50 m	4-5 cm bakkant	-
2	22.11.17	8 min	Hozelock	Sky	1.16 m	4-5 cm bakkant	30 l/min
3	22.11.17	10 min	Hozelock	Sky	2.50 m	4-5 cm bakkant	40 l/min
4	22.11.17	8 min	Boogie	Halv-måne	2.40 m	4-5 cm forkant	62 l/min
5	22.11.17	16 min	Gardena trykk-sprøyte 5 l	-	1.20 m	45° grader oppover	-
6	04.01.18	10 min og 19 min	Solo trykk-sprøyte 15 l	-	1.10 m	45° grader oppover	-
7	21.03.18	9 t 50 min	Naturleg regn	-	-	-	-
8	15.06.18	20 t 20 min	Naturleg regn	-	-	-	-

Feilkjelder:

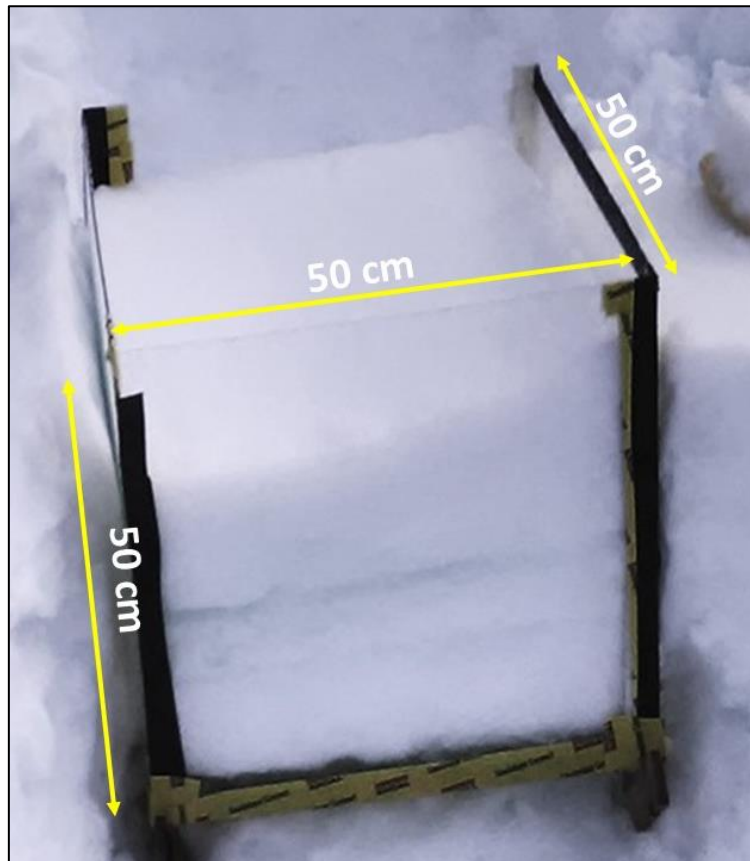
- Ulik varigheit av forsøka og registreringane av naturleg nedbør.
- På grunn av langvarig tørt vêr vart målingane av naturleg regn gjort etter at feltlaben var utvikla.
- Utval av representativ dropehastigheit – og storleik er gjort på subjektivt grunnlag.

3.2.3 Sørpeboks

Sørpeboksen består av 5 plater pleksiglas (figur 27). Pleksiglas vart nytta på grunn av gjennomsiktighet, i tillegg til å vere eit relativt stivt, lett og tynt material. Sidene og bakkdelen er 2 mm tjukke, botnen er 4 mm tjukk og fronten består av to 2 mm tjukke plater som er limt saman. Av praktiske årsaker ved frakting av utstyret, var det først ynskjeleg at boksen skulle

vere samanleggbar. I tillegg skulle boksen kunne dyttast sidevegs inn i snøen, slik at snøen ikkje vart forstyrra og endra eigenskapar. Vidare måtte den sjølvsagt vere tett.

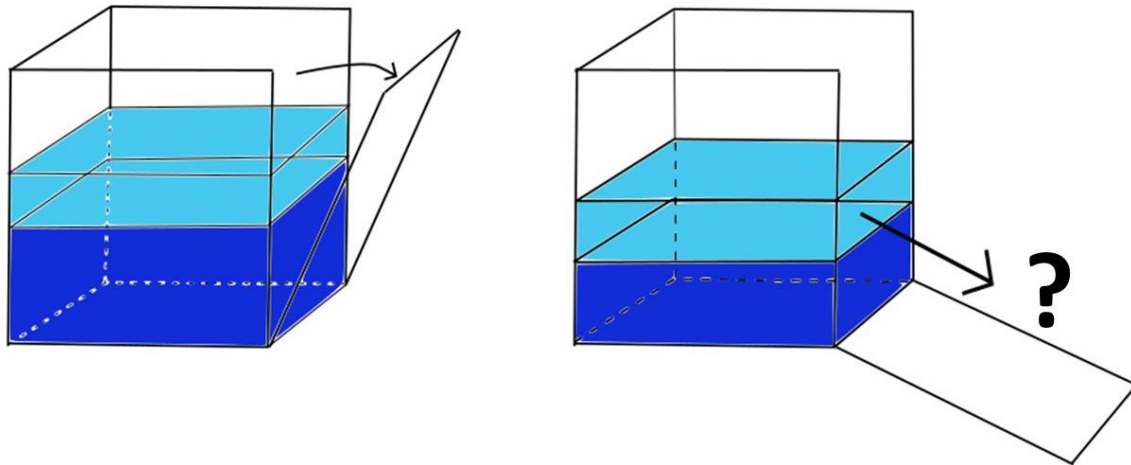
Teip som er nytta til dampsperre, viste seg å vere det beste for å lime saman platene i boksen. Den ga tette skøytytar og var relativt enkel å fjerne om ein måtte gjere endringar. Teipen er sterk og kan dessutan limast på fuktige overflater.



Figur 27. Sørpeboksen dytta inn i snøen og teipa att i forkant.

Etter fleire forsøk viste det seg at fronten til boksen måtte vere muleg å ta av, og helst på igjen, for å undersøkje når snøen hadde nådd kritisk stabilitet. Det vart forsøkt å arbeide med permanent open front, men det såg ikkje ut til at vassnivået kunne byggast opp med denne metoden, i alle fall ikkje med den snøtypen som vart nytta. Vatnet rann ut av boksen.

Det vart testa andre, lett tilgjengelege, løysingar enn teip, men det var vanskeleg å få gi tett nok boks. Med den langsame vassstilførsel som var brukt, var sjølv ei lita opning nok til at vassnivået i snøen ikkje steig. Det som fungerte best var å teipe botnen av frontplata fast i botnplata permanent, slik at frontplata kunne leggjast ned, og dessutan kunne fungere som ei glideflate (figur 28). Sidene vart teipa og skore opp med kniv for kvart forsøk. For å unngå unaturleg låg friksjon i den glatte botnen, vart tynn skumplast lima fast her.



Figur 28. Den endelege sørpeboksa hadde ein hengsla front, då det var naudsynt å kunne frigjere snøen under forsøket. Mørk blå illustrerer vassmetta snø.

For å få tilstrekkeleg mengd (>30 cm) av éin bestemt snøtype i slutten av snøsesongen, vart snø flytta inn i boksen med spade. Altså i staden for å dytte boksen inn i snøen. Sjølv om dette ville påverke eigenskapane til snøen noko, ville ein truleg kunne sjå relative skilnadar mellom nysnø, fokksnø og smelteomvandla snø likevel.

Sørpeboksen vart plassert oppå ei underlagsplate av styrofoam, for å gi boksen et godt underlag. Plata forenkla også skråstilling (tilting) av sørpeboksen.

Fordelar, feilkjelder og problematik rundt sørpeboksen vert omtala i drøftingskapittelet (kapittel 6.4, s. 96).

3.2.4 Vasstilførsel: Intensitet, varigheit og mengd

Det vart teke utgangspunkt i nedbørsintensitet og varigheit av nedbøren i kjende sørpeskredsituasjonar, for å gjere feltforsøka så realistiske som råd. Denne informasjonen vart vurdert opp mot det som var praktisk muleg i felt.

Nedbørsintensitetar, som er nemnt i teorikapittelet, er frå 3-11 mm/t. Under forsøka vart det brukt intensitetar *rundt 10-20 mm/t*. Ei feilkjelde med denne informasjonen ligg i overføring av data frå vêrstasjonar til utløyingsområdet, ettersom nedbør og snøsmelting i mange tilfelle er prega av høg lokal variasjon (Hisdal, 2017). Til dømes kan fenomenet «tråg» skape svært stor nedbør lokalt (Meteorologisk-Institutt, 2009). I kapittel 2.5.4 (s.28) er dei høgast målte korttidsnedbørane omtala, opp mot 42 mm nedbør på en time. Vasstilførsel i slike mengder vart også testa under feltarbeidet, ettersom ein auke i korttidsnedbør truleg vil auke frekvensen av sørpeskred.

Varigheita til vasstilførselen i dei kjende sørpesituasjonane, er alt frå 6 timar til 15 dagar. Ved feltforsøka vart det påført vatn i *inntil åtte timar*.

Den totale mengda vatn ein treng å tilføre, kjem an på snødjupne. Etersom ei målsetjing med oppgåva var å undersøkje ei av retningslinjene som jordskredvarslinga nyttar i vurdering av sørpeskredfare; om *like mange mm vatn tilført som cm snødjupne*, vart det teke utgangspunkt i dette. Ved undersøking av 50 cm snø, fordelt over 100 cm x 100 cm, var planen å tilføre 50 mm vatn, for deretter vurdere om dette vart for mykje eller for lite for å danne sørpe i den aktuelle snøtypen.

Samanlikning av registrert av vasstilførsel

Då disdrometeret vart nytta ved langsam vasstilførsel, vart tilført vassmengd registrert som mm/m², dette er også slik nedbør vanlegvis vert registrert.

Ved hurtig vasstilførsel vart ikkje disdrometeret brukt, men tilført vassmengd vart registrert som tal liter vatn, fordelt på overflata til snøen, i dette tilfelle 0,25 m².

For best å samanlikne dei ulike måtane å registrere tilført vassmengd på, vart *tal liter per 0,25 m² (25 dm²) snøflate omrekna til mm vatn per 1 m² snøflate* på følgjande måte:

$$x = \text{tal liter vatn tilført} = x \text{ dm}^3$$

$$z = \text{høgda på vatnet i boksen}$$

$$x \text{ dm}^3 / 25 \text{ dm}^2 = z \text{ dm}$$

$z \text{ dm}$: kor høgt vatnet står i 0,25 m² boks, og *vidare* så høgt vatnet ville stått på areal med 1 m², (figur 50, s. 84).

$$z \text{ dm} \times 100 = \text{mm vasshøgd som ville dekkja } 1 \text{ m}^2.$$

Feilkjelder:

- Vêrstasjonar ligg sjeldan i sjølve utløysingsområdet, eventuelt er data inter- eller ekstrapolert. Uansett er dette kjelder for unøyaktigheit, då nedbør kan variere særskilt mykje i romleg skala.
- Ved overføring til mm/m², dersom dette skal brukast til samanlikning mellom hurtig og langsam vasstilførsel, må ein vere merksam på at disdrometeret sine målingar ikkje stemmer heilt overeins med kva trykksprøyta leverer (sjå kapittel 6.2.1, s.83).

4 Feltområde

Det var fleire krav til val av feltområde, både eigenskapane til snøen og praktiske forhold spelte inn. Det resulterte i mykje forarbeid for å finne eigna stader. Samstundes ga dette fleksibilitet i plassering, føresettt at dei gitte forholda var til stades. Det var likevel ein fordel å nytte same område fleire gonger 1) på grunn av det tidkrevjande forarbeidet 2) fordi ein hadde god oversikt over snødekket i området, og korleis det utvikla seg under gitte vêrforhold.

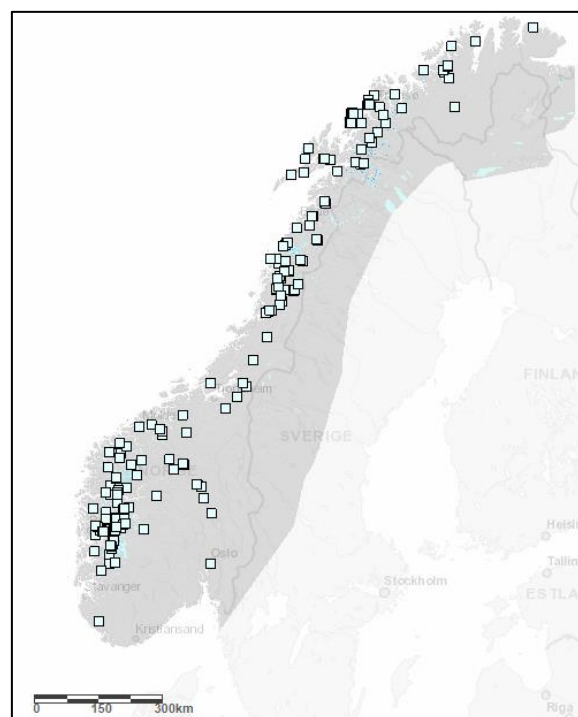
4.1 Klimasoner og snødekke

Det var naturleg at snøtypen var viktig for valet av feltlokalitet, ettersom formålet med oppgåva var å studere ulike typar.

Snøtypen måtte ha ynskt tilstand (eit bestemt utgangspunkt for LWC) og dessutan ha tilstrekkeleg djupn (>30 cm).

Dette medførte også at feltforsøka måtte gjennomførast både vinter og vår. Informasjon om snøen vart henta gjennom feltundersøkingar og nettsida xgeo.no (2018).

Det var også ein fordel at feltområda låg i eit område/klima der sørpeskred er relativt vanleg, slik som Vest- eller Nord-Noreg. Figur 29 viser registrerte sørpeskred dei siste 8 åra.



Figur 29. Registrerte sørpeskredhendingar omlag dei siste 8 åra (henta frå xgeo.no, 2018, 05.07.18).

4.2 Praktiske forhold

Basert på erfaringar vart følgjande kriterium sett for feltområdet:

- *Nære vatn* eller opne elvar; manuelt arbeid på snøunderlag med å hente mange liter vatn.
- *Impermeable lag* under den ynskte snøtypen. Naturlege forhold som representerer dette er til dømes fjell eller vassmetta bakke.
- *Maksimalt 1-2 km frå bilveg* med mulegheit for parkering; transport av mykje utstyr.
- *Flatt over eit areal på minimum 25 m²* for at lokasjon skal vere praktisk å halde på i.
- *Minimum 4 m² med ynskt snøtype*. Helst i ei lita forseinking som hindra vatnet å renne vekk og simulerer betre utløysingsområder for sørpeskred.
- *Ikkje for vindutsett*, då vassdropane frå trykksprøyta lett blir tekne med vinden.
- *Temperaturane måtte ligge rundt eller over 0°C*. Mest representativt for sørpeskredsituasjonar og utstyret fungerte mest optimalt utan å fryse.
- Omsyn til *privat eigedom/innmark*.

4.3 Nettsider

Vart henta informasjon om:

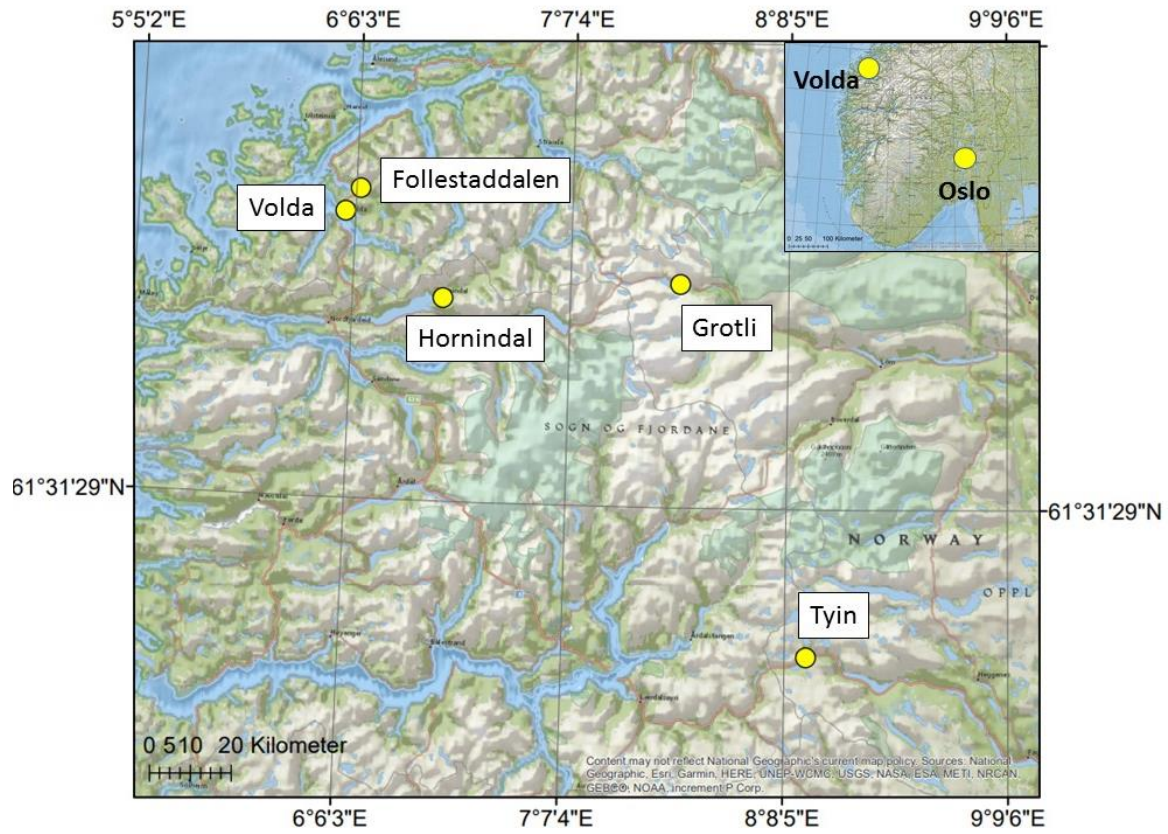
- *nedbør, vind og temperaturar*: yr.no (2018) og windy.com (2017). Her finst både vêrdata frå fortid, sanntid og framtid (prognoser).
- *topografi, vatn, avstandar*: norgeskart.no (2018).
- *eigedomsgrensar, privat eigedom*: seeiendom.no (2018).
- *snøen*: xgeo.no (2018). Dette er eit ekspertverktøy som vert nytta av beredskap, overvaking og varsling av flaum, jord- og snøskred. Data frå stasjonar og modellar samanstillt med feltobservasjonar og hendingar. Her kan ein hente data frå både fortid og prognoser for framtida.

4.4 Feltområder som vart nytta

Feltområder som vart nytta i samband med dei ulike forsøka er vist i tabell 4, samt i kart i figur 30.

Tabell 4 Feltområder for dei ulike forsøka.

<i>Forsøk</i>	<i>Dato</i>	<i>Stad</i>	<i>Område</i>
1	22.09.17	Inne	Trondheim
2	20.10.17	Inne	Trondheim
3	16.11.17	Inne	Trondheim
4	22.11.17	Inne	Trondheim
5	25.-30.12.17	Hagen	Volda, 170 moh.
6	10.01.18	Krøvelseidet	Volda, 231 moh.
7	13.01.18	Krøvelseidet	Volda, 231 moh.
8	14.02.18	Presteskaret	Volda, 497 moh.
9	28.02.18	Raudehytta	Volda, 404 moh.
10	22.03.18	Hornindal skisenter	Hornindal, 400 moh.
11	23.03.18	Hornindal skisenter	Hornindal, 400 moh.
12	28.03.18	Hagen	Volda, 300 moh.
13	02.04.18	Follestaddalen	Ørsta, 160 moh.
14	07.04.18	Hornindal skisenter	Hornindal, 420 moh.
15	22.04.18	Hagen	Volda, 170 moh.
16	26.04.18	Grotli	Strynefjellet, 955 moh.
17	27.04.18	Grotli	Strynefjellet, 995 moh.
18	29.04.18	Grotli	Strynefjellet, 995 moh.
19	15.05.18	Storesætra	Hornindal, 525 moh.
20	05.06.18	Tyin	Filefjell, 1080 moh.



Figur 30. Kart over feltlokalitetene Volda, Follestadalen, Hornindal, Grotli og Tyin.

5 Resultat

5.1 Del 1: Utvikling av feltlab (forsøk 1-15)

5.1.1 Fase 1) Utstyr for registrering av vasstilførsel i feltforsøka

Forsøk 1, forsøk 2 og disdrometer

Metode med automatisk registrering – disdrometer – vart velt til formålet. Grunnar til dette er nemnt i diskusjonskapittelet om disdrometer, saman med ulemper og feilkjelder.

Metodane med manuell registrering vart forkasta på grunn av mykje tidsbruk og svært usikre data.

5.1.2 Fase 2) Utstyr for vasstilførsel

Forsøk 3 og forsøk 4

Resultat forsøk 3 - Kombinasjon av Gardena trykksprøyte og Hozelock vasspreiar

Trykksprøyta frå Gardena (5 l) mangla både trykk og kapasitet til å forsyne vasspreiaren:

- Slangen frå trykksprøyta hadde såpass liten diameter i forhold til hageslangen, som var kopla til Hozelock, at det medførte trykkfall i overgangen mellom dei.
- Vasspreiaren måtte ha eit høgt vassforbruk, 30-40 l/min, for å fungere optimalt (kopla til leidningsnett).

Resultat forsøk 4 – Test av fleire typar utstyr med disdrometer

Test av Gardena trykksprøyte, Solo trykksprøyte, Hoozer vasspreiarar, Boogie vasspreiar, samt naturleg nedbør, i lengre forsøk i kombinasjon med disdrometer. Oppsetta var plassert i forskjellige distansar til disdrometeret, frå 1,16 m til 2,50 m. Meir informasjon om oppsetta er å finne i tabell 3, s.47.

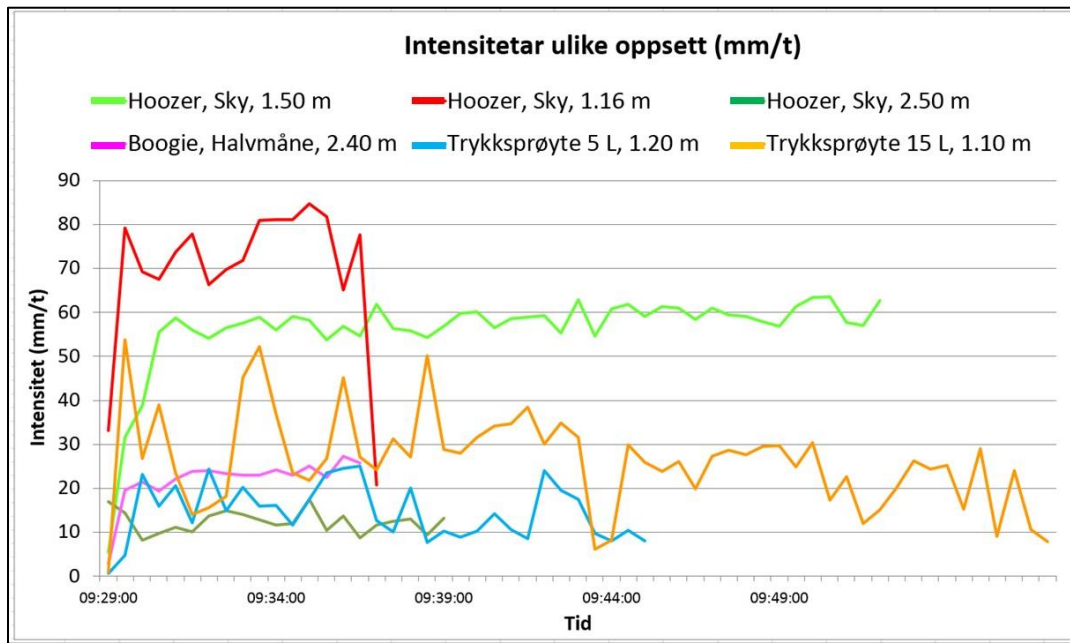
Følgjande parameter vart undersøkt:

- Intensitet (mm/t)
- Tal nedbørspartiklar
- Storleik og hastigheit til nedbørspartiklane (spektrogram)
- Type nedbør

Kombinasjon med hageslange og trakt kom inn i feltarbeidet ved eit mykje seinare tidspunkt, og vart difor ikkje testa med disdrometer i denne fasa.

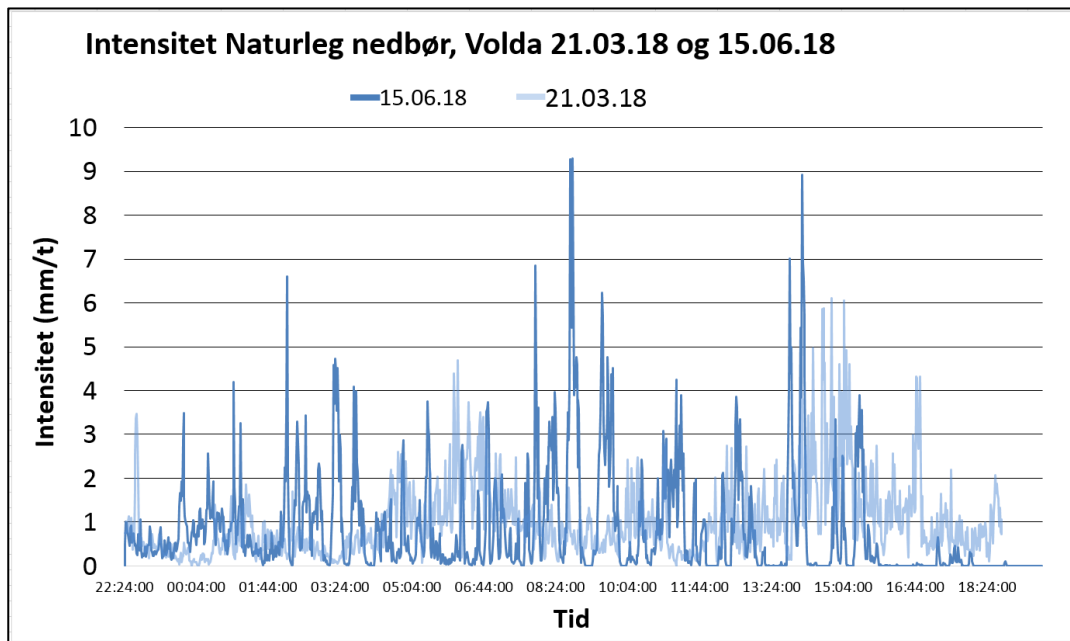
Intensitet

Figur 31 syner korleis intensiteten varierte for dei ulike oppsetta. «Hoozer» er ei forkorting av Hozelock. For Hoozer, Sky, 1.16 m er dei første og siste målingane mykje lågare enn resten fordi disdrometeret målte litt før og litt etter vasstilførselen var ordentleg skrudd på.



Figur 31. Intensitetar (mm/t) for ulike oppsett. Øvst til nedst: Hoozer Sky 1,16 (raud), Hoozer Sky 1,50 (lys grøn), Solo trykksprøyte 15 l (oransje), Boogie Halvmåne 2,40 (lilla), Gardena trykksprøyte 5 l (lys blå) og Hoozer Sky 2,50 (mørk grøn).

Den 21.03.18 og 15.06.18 vart det registrert naturleg nedbør med disdrometeret (figur 32). Totalt vart det registrert høvesvis 10,21 mm og 17,5 mm nedbør desse dagane. Nedbørsintensiteten er rekna for å vere lett (>2 mm/t) til moderat (2-20 mm/t) (Meteorologisk-Institutt, 2018a).



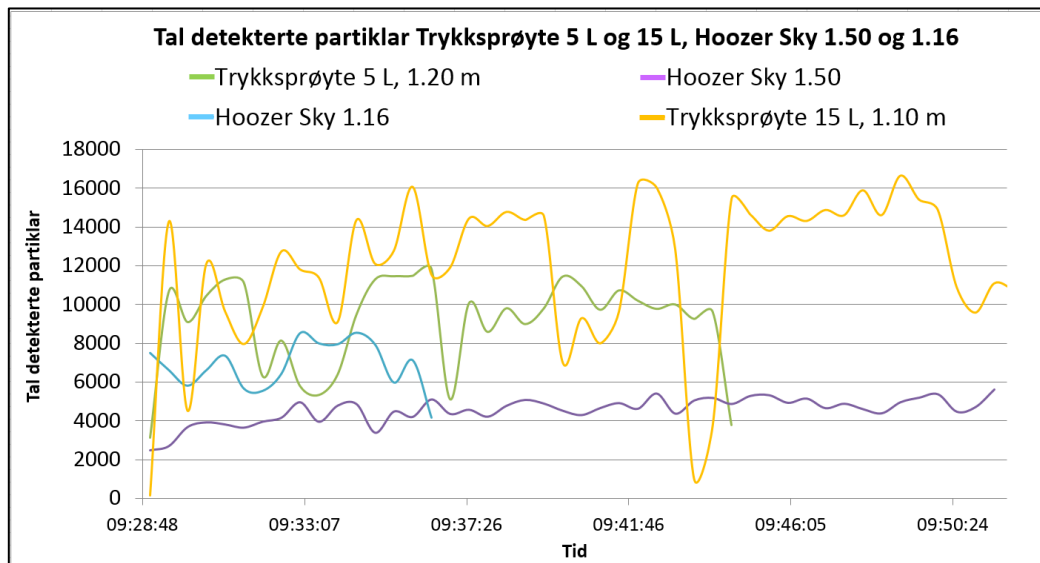
Figur 32. Intensitet for naturleg nedbør, målt i Volda 21.06.18 og 15.06.18

Tal nedbørspartiklar

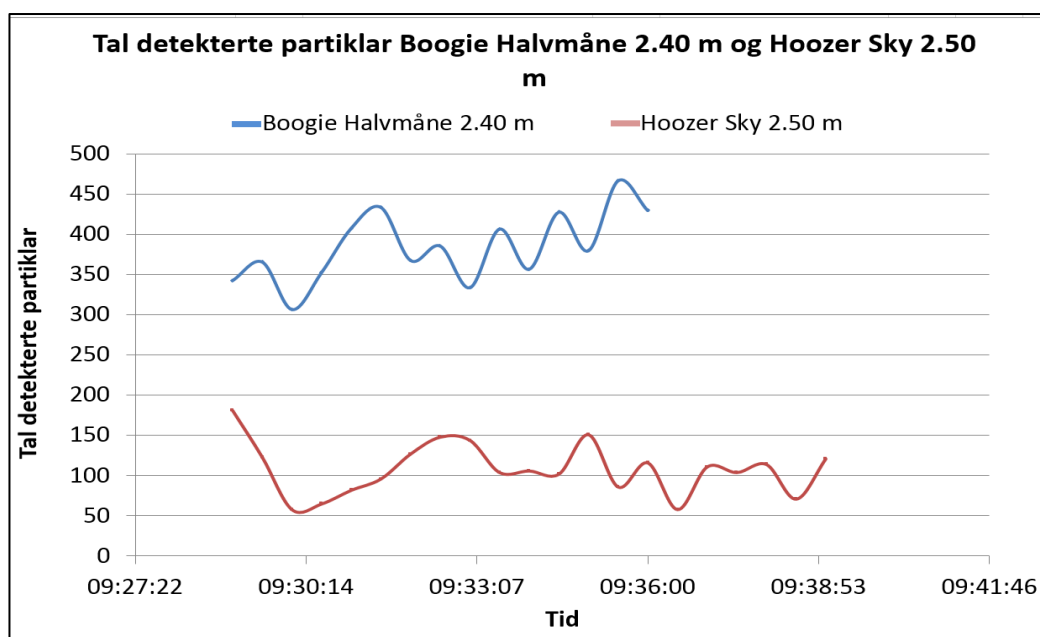
Grafane under viser tal dropar disdrometeret detekterte i dei ulike oppsetta. Det er stor variasjon mellom dei seks ulike forsøksoppsetta.

- Figur 33: Gardena trykksprøytene 5 l, Solo trykksprøytene 15 l, Hoozer sky på 1.50 og 1.16 m.
- Figur 34 Boogie halvmåne 2.40 m og Hoozer Sky 2.50 m.

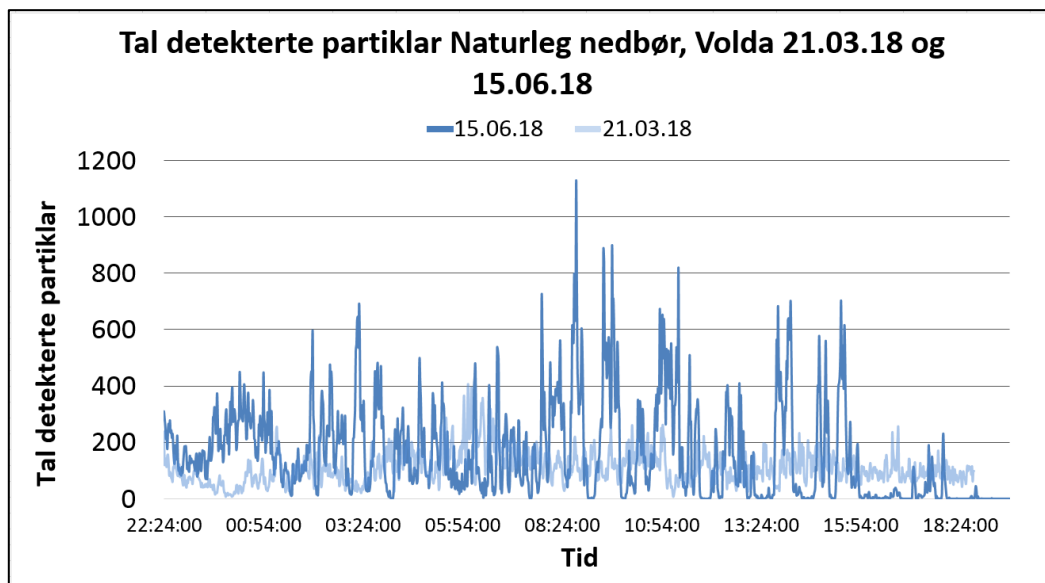
Figur 35 viser detekterte partiklar i registreringa av naturleg nedbør den 21.03.18 og 15.06.18.



Figur 33. Tal detekterte partiklar. Øvst til nedst: Solo trykksprøyte 15 l (gul) og Gardena trykksprøyte 5 l (grøn), Hoozer 1.16 m (blå) og Sky 1.50 (lilla).



Figur 34. Tal detekterte partiklar for boogie halvmåne 2.40 m (blå/øvt) og Hoozer Sky 2.50 m (raud/nedst).



Figur 35. Tal detekterte partiklar for naturleg nedbør, målt i Volda 21.06.18 og 15.06.18.

Storleik og hastigheit (spektrogram)

I oppsummeringstabellen (tabell 5) visast hastigheita og storleiken til partiklane, basert på eit representativt spektrogram for oppsettet. I vedlegg C-1 finst spektrogrammet som er valt til å vere representativt.

Type nedbør

I oppsummeringstabellen (tabell 5) visast nedbørstypen disdrometeret hovudsakleg registrerte for dei ulike oppsetta og naturleg nedbør. I vedlegg C-2 finst diagram som syner detaljar for det enkelte oppsett.

Oppsummering

I tabell 5 nedanfor er resultatata frå testane med disdrometeret samanfatta. Blå markering viser oppsett som vart nytta i feltforsøk.

Tabell 5 Oppsummeringstabell med resultat frå forsøk 4, test av fleire typar utstyr med disdrometer. Oppsett markert med blått vart nytta i feltforsøk.

Oppsett	Intensitet (mm/t)	Tal partiklar	Type nedbør	Spektrogram		l/ min
				Storleik (mm)	Hastighe it (m/s)	
Hoozer Sky 1.50	55-63	3600- 5300	Regn, yr	0,25-3,0	1,6-8,0	-
Hoozer Sky 1.16	66-85	5500- 8500	Yr, regn	0,25-3,5	1,0-8,0	30
Hoozer Sky 2.50	8-16	58-148	Regn	0,25-3,5	2,6-7,0	40
Boogie Halvmåne 2.40	19-27	307-470	Hagl	0,25-4,5	1,2-7,0	62
Gardena trykksprøyte (5 l)	8-25	5100- 12000	Yr, regn, sprøhagl	0,25-1,3	0,25- 0,75	-
Solo trykksprøyte (15 l)	6-53	4500- 16000	Snø	0,25- 1,75	0,4-6,5	-
Naturleg nedbør 21.03.18	0,5-6	70-400	Regn, snø, hagl	0,25- 1,75	2,0-6,0	-
Naturleg nedbør 15.06.18	0,5-9	60-900	Regn	0,25-3,0	1,0-8,0	-

Endeleg resultat del 1: fase 2 – val av utstyr for vasstiltørsel:

- Samla sett hadde trykksprøyta frå Gardena med dyse, den beste kombinasjonen av funksjonalitet i felt og god spreing av vatnet utan at intensiteten var for høg.
- Dysa til trykksprøyta frå Solo vart også nytta. Då kopla til leidningsnett for vatn når dette var tilgjengeleg.
- Hageslange og trakt vart også nytta til forsøk, men er ikkje testa med disdrometer. Tilført vassmengd vart målt i tal liter.

5.1.3 Fase 3) Komplette feltlaboratorium

Forsøk 5 til 9

Med bakgrunn i resultat frå forsøk gjort i fase 1 og seinare i fase 2, vart følgjande grunnutstyr valt og stilt saman for testing i forsøk 5 til 9:

- Disdrometer med straumforsyningsboks av merket Traco Power, eller 12 V bilbatteri

- Getac feltdatamaskin
- USB/RS 485-overgang
- Gardena trykksprøyte med dyse (5 l)
- Solo trykksprøyte med dyse (15 l)
- i tillegg til utstyr for snødekkeundersøkingar og personleg utstyr

Ei komplett utstyrsliste ligg som vedlegg D. Snøprofilar for det enkelte forsøk er å finne som vedlegg E (E-1 til E-4).

Forsøka 5 til 9 er samanfatta i tabell 7. Metoden og utstyret vart utvikla undervegs, basert på erfaringar frå forsøk til forsøk. Det neste forsøket er gjerne eit resultat av det førre, og forsøka byggjer såleis på kvarandre.

Forkortingar brukt i tabell 7, 8, 9, 10 og 11 er vist i tabell 6.

Tabell 6. Viser forkortingar brukt i tabell 7, 8, 9, 10 og 11.

<i>Forkorting</i>	<i>Forklaring</i>
#	Forsøk nummer
G. TS	Gardena trykksprøyte
S. TS.	Solo trykksprøyte
SD	Snødjupn
TSO	Temperatur snøoverflate (°C)
TL	Temperatur luft (°C)
Varigheit	Varigheit vasstilførsel
D, M, W, VW	Skildrar LWC i snøen: tørr (Dry), fuktig (Moist), våt (Wet) eller veldig våt (Very Wet)

Farge på vatnet

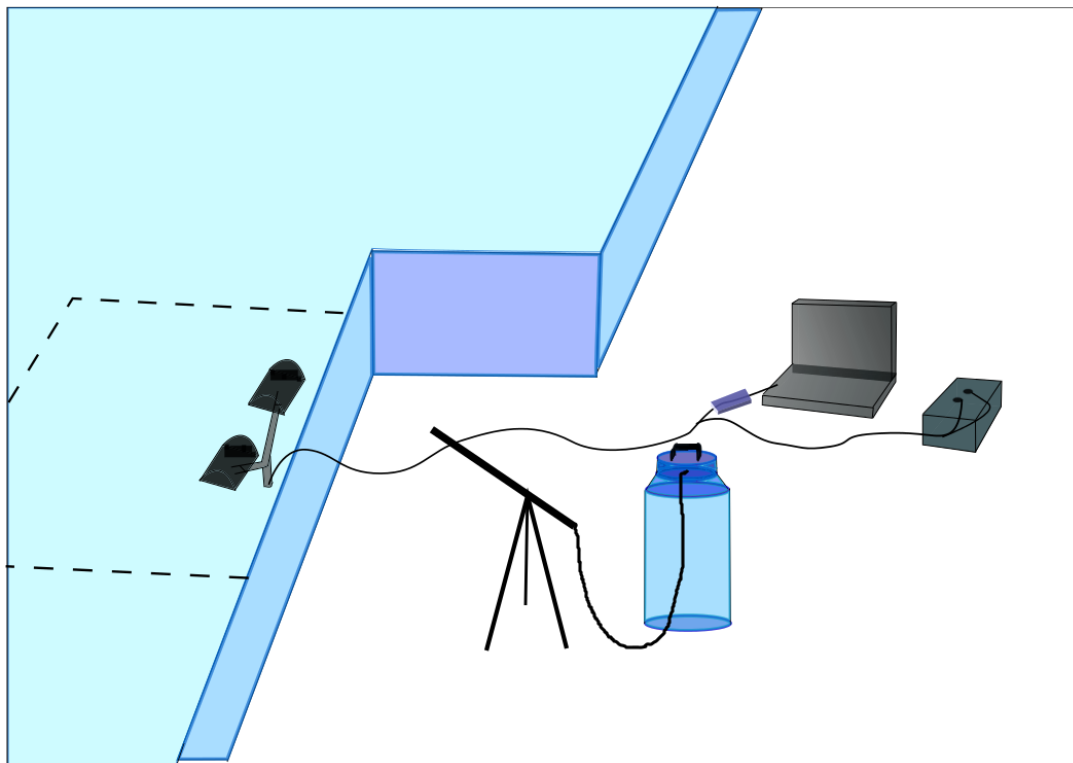
I mange forsøk vart det tilført farge på vatnet (saft/konditorfarge). Det ga god visuell kontroll på korleis vatnet bevegde seg gjennom snødekket.

Tabell 7 Samanfating av forsøk 5-9, fase 3) Komplette feltlaboratorium (*=disdrometer, bilbatteri, pc, andre forkortingar er vist i tabell 6, s.61).

#	Dato	Formål	Vari- heit	Utstyr	Snøtype	LWC	TSO	TL	Resultat	Anna
5	25.- 30.12.17	Teste teknisk utstyr	-	*, strau- forsyning, G.TS.	-	-	-	-	Koplingar fungerte, bilbatteriet ga strau heretter.	Bilete av forsøket i figur 36.
6	10.01.18	Teste utstyr i felt, tidsbruk	-	*, G.TS., S. TS.	Runda snø	D	-1	-2,7	Solo trykkspr. forkasta. G. trykkspr. vart isolert. Utarbeidde oppsettet til feltlaboratoriet.	Skisse og bilete av feltflab i figur 37 og figur 38.
7	13.01.18	Teste utstyr over litt lenger tid og i kulde.	50 min	*, G. TS.	Runda snø	D	-8	7,5	Det danna seg skarelag i toppen av snøen. Under var snøen fortsett like tørr. Nokre få drenerings-fingre.	
8	14.02.18	Tilføre vatn hurtig, observere vatn sin bevegelse gjennom snødekket.	15 min	G. TS.	Runda/ kantkorn, mange smelte- fryseskar e.	D	0	0	Vatnet rann tydeleg langs laggrenser, og ut av snøen p.g.a. svært svak helling, i staden for vertikalt ned i snøen.	Figur 39 viser situasjonen i front og lenger inni snøen.
9	28.02.18	Kalde forhold, utbetra utstyr	1 t 45 min	*, G. TS.	Nysnø	D	-8	-5,5	Utstyret fungerer. Danna seg tjukk skare i toppen. Snøen under heilt tørr, nokre få vasslinser/dreneringsfingre.	Figur 40 viser den tjukke skara som hindra vatn å trenge ned i snøen.



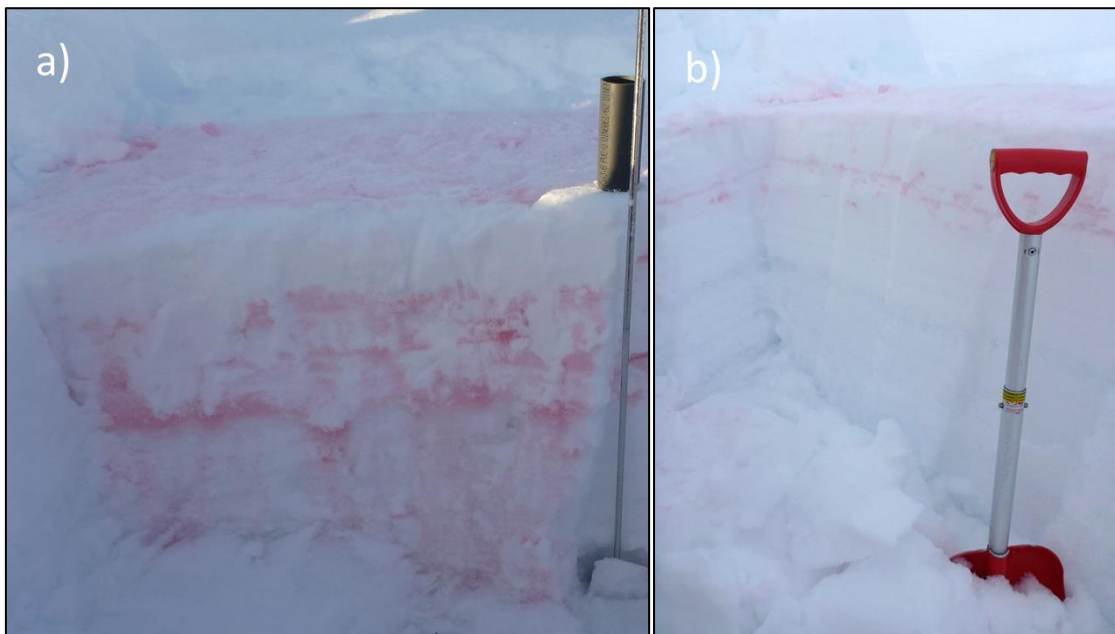
Figur 36. Fase 3) Komplette feltlab, forsøk 5: Test av teknisk utstyr.



Figur 37. Fase 3) Komplette feltlab, forsøk 6: Test av utstyr i felt. Skisse av feltlab.



Figur 38. Fase 3) Komplette feltlab, forsøk 6: Test av utstyr i felt..



Figur 39. Fase 3) Komplette feltlab, forsøk 8: Observasjon av vatnet sin bevegelse gjennom snødekket. a) området som er tilført farga vatn rett etter stopp av vasstilførsel. b) grave 0,5 m inn i snøen.



Figur 40. Fase 3) Komplette feltlab, forsøk 7 og 9: Vasstilførsel på kald snø (TL=-7,2°C og -5,5°C høvesvis, TSO=-8°C i begge forsøka).

5.1.4 Fase 4) Forsøk med lenger varighet

Forsøk 10 til 15

Gjennom fase 3 vart feltlaboratoriet testa og det meste av utstyret var på plass. Denne perioden, januar og februar 2018, var uansett for kald til å gjennomføre feltforsøk med lengre varighet. Frå midten av mars vart det mildare og snøen vart meir temperert. Dermed kunne ein ta til med meir omfattande forsøk. Med dette kom også nye erfaringar med snøen. Det førte til endringar i oppsett og metode. I denne fasen vart sørpeboksen introdusert (forsøk 11).

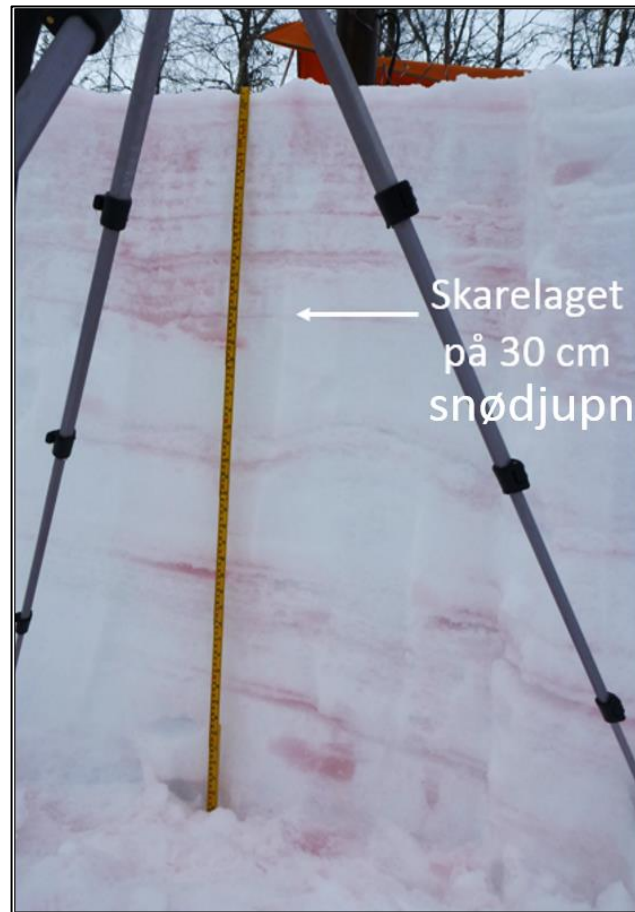
Generell informasjon om forsøk 10-15 er samanfatta i tabell 8, tabell 9 viser informasjon om snøen og resultat frå forsøka. Snøprofilar for det enkelte vedlegg finst i vedlegg E (E-5 til E-10).

Tabell 8 Generell informasjon om forsøk 10-15, fase 4) Forsøk med lenger varighet (*=disdrometer, bilbatteri, pc, andre forkortingar er vist i tabell 6, s.61)

#	Dato	Varighet	Formål	Utstyr
10	22.03.18	5 t	Undersøke nysnø	*, G. TS
11	23.03.18	5 t	Sørpeboks, type samanleggbar	*, G. TS., sørpeboks
12	28.03.18	5,5 t	Forbetra sørpeboks, test om den er tett.	*, Solodyse + leidningsnett, sørpeboks
13	02.04.18	4 t	Teste vått jorde som impermeabelt lag.	G. TS
14	07.04.18	3 t	Skilnad mellom sørpeboks og berre ei tett plate nede i snøen.	To stk. G. TS., sørpeboks, treplate (50x50 cm)
15	22.04.18	5,5 t	Sørpeboks type open front.	*, Solodyse/ vanleg munnstykke+ leidningsnett, sørpeboks

Tabell 9 Informasjon om snø og resultat frå forsøk 10-15, fase 4) Forsøk med lenger varigheit. Forkortingar brukt i tabellen er vist i tabell 6, s.61..

#	SD (cm)	Snøtype	LWC	Tettleik (g/cm ³)	Tilført vatn (mm)	TL	TSO	Resultat	Anna/kommentar
10	30 225 tot.	Nysnø skare under	M, D under	0,208	68	3,8	0	Skarelaget var ikkje impermeabelt nok til å bygge opp vassnivå (figur 41)	Nysnø fanst berre over eldre snø, ikkje rett på bakken.
11	50 200 tot.	Nysnø og kantkorn	M, D under	0,223	50	7,8	0	Boksen er lekk. Mykje forarbeid med utgraving før boksa kunne dyttast inn. Viste elles potensial.	Figur 42 viser utgravingsområde.
12	50	Smelte- omvandla	D	-	141	0	0	Boksen er tett, sørpe i 25 nedste cm.	Korleis overføre sørpa i kassa til sørpesked- utløyising.
13	90	Smelte- omvandla / kulde- påverka	D	0,392	40-50	0	0	Truleg for lite vatn tilført, men vassnivået såg ikkje til å bygge seg opp. Jordet var ikkje vått nok.	Illustrerer vanskane med å finne naturleg impermeable underlag. Elles passende område.
14	20 120 tot.	Nysnø	D	-	35-40	4	0	Oppsetta rett ved sidan av kvarandre. Lik vassmengd. Våtare snø over plate, men større sørpesamling i botn av sørpekasse.	Figur av skilnad i korleis fuktigheita fordelte seg i oppsetta er vist i kapittel 6.4.3, s.97.
15	35	Smelte- omvandla	M/W	0,603	268	14	0	Med denne snøtypen bygde ikkje vassnivået seg opp med open front, med denne snøtypen. Snøen raste ikkje ut av seg sjølv.	Boksen måtte tiltast 23° før snøen sklei ut som ei samla blokk.



Figur 41. Fase 4) Forsøk med lenger varighet, forsøk 10: Nysnø over skarelag (på 30 cm snødjupne). Skarelaget var på langt nær impermeabelt.



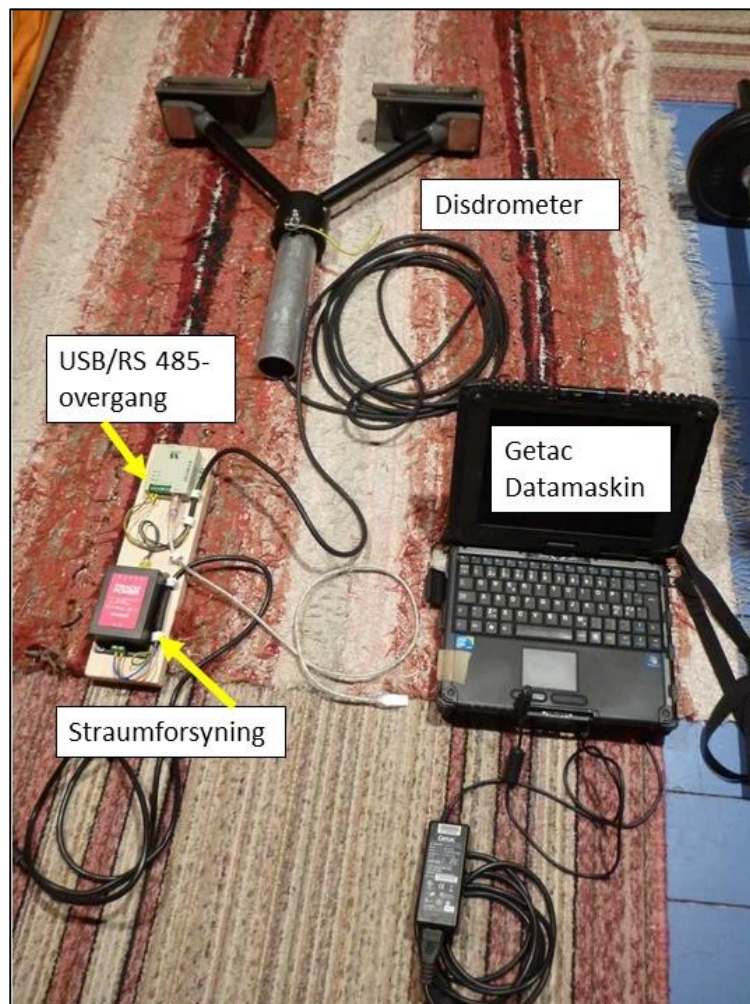
Figur 42. Fase 4) Forsøk med lenger varighet, forsøk 11: For å dytte boksen inn i snødekket må ein grave ut plass på begge sider.

5.2 Ferdig utvikla feltlab – Resultat etter del 1

Gjennom testing av ulike løysingar, vart resultatet av 15 forsøk til ein metode som kunne nyttast vidare. Forsøk 10-15 ga fleire nyttige erfaringar. Dei påfølgjande forsøka hadde dermed tilnærma lik metode slik at resultata kunne samanliknast. Metoden er skildra i dette kapittelet.

5.2.1 Kopling av disdrometer

Disdrometeret er kopla til bilbatteri 12 V og ei datamaskin, der ein kan sjå kva instrumentet registrerer. Figur 43 viser korleis desse er kopla saman. I passende avstand frå område for vasstilførsle står trykkpumpa, der dysa er kopla til eit stativ. Dersom det er vind, vert det sett opp ein levegg. Vinden bør uansett vere i ryggen på vassspruten, då vassdropane lett vert tekne med vinden. Med vinden mot vassspruten blir dropane ført vekk frå disdrometeret og snøtesten.



Figur 43. Kopling av straumforsyninga, disdrometeret, datamaskin og USB/RS-485-overgang. Bilbatteri vart kopla på same stad som straumforsyninga..

5.2.2 Rigge opp utstyr

Etter å ha funne nøyaktig plassering for forsøket, gjaldt følgjande prosedyre:

- 1) Unngå å påverke snøfelt som skal tilførast vatn.
- 2) Grave ut og planere området der utstyret skal stå, gjere det enkelt å halde på.
- 3) Gjere snødekkeundersøkingar (sjå kapittel 3.1, s. 36).
- 4) Rigge utstyr:
 - a. kople opp disdrometer, data, batteri
 - b. rigge opp trykksprøyter/anna utstyr
 - c. sette opp levegg ved behov
 - d. hente vatn, eventuelt tilsette farge (saft/konditorfarge)
 - e. teipe opp sørpeboksen
 - f. plassere snø i boksen med spade alternativt dytte boksen inn i snøen frå sida, eventuelt tilte boksen (0° , 5° , 10° og 15°).
 - g. måle tettleiken til snøen i boksen
 - h. starte vasstilførsel (langsam eller hurtig, sjå kapittel 5.2.3 og 5.2.4)
- 5) Vasstilførsla står på til ein reknar med at vassnivået i boksen er høgt nok til at snøen kollapsar.
- 6) For å undersøke om snøen kollapsar skjerast begge sidene på fronten opp samstundes, og fronten leggjust hurtig ned i ei rørsle. Opninga av fronten må skje så hurtig som råd, for å unngå at for mykje vatn slepp unna før ein får lagt ned fronten.
- 7) Dersom snøen kollapsar vil ein ved neste forsøk prøve med mindre vatn, til dømes at vassnivået står 5 cm lågare.
- 8) Dersom snøen *ikkje* kollapsar vert snøblokka fjerna og ny snø frå same område lagt inn. Neste forsøk testar ein med meir vatn.
- 9) Ein prøvar seg fram til ein får ein grenseverdi, med +/- 2 cm som margin. Noko meir nøyaktig er vanskeleg å måle då vassnivået ikkje er heilt jamt fordelt i snøblokka.

Forsøka vart gjennomført med $75\,000\text{ cm}^3$, eller $0,075\text{ m}^3$ snø (30 cm x 50 cm x 50 cm).

5.2.3 Langsam vasstilførsel

Ved å tilføre vatn langsamt, mellom 10 og 20 mm/t, får ein forsøk som truleg liknar mest på ein naturleg vêrsituasjon. Det som karakteriserer desse forsøka er låg intensitet i vasstilførsla og dermed må ein halde på lenge, helst over 10-12 timar. I desse feltforsøka var maksimal tid med vasstilførsel avgrensa, av praktiske forhold, til 8 timar.

For disse forsøka vart det brukt ei eller to Gardena trykksprøyte alternativt dysa til Solo trykksprøyte kopla til leidningsnett for vatn. Utstyret vart festa på eit kamerastativ, som kunne justerast i ulike høgder, vinklar og retningar (figur 44).

Gardena og Solo har både fordelar og ulemper, og er såleis gode i kvar sine situasjonar, dette er nærare omtala i drøftingskapittelet.

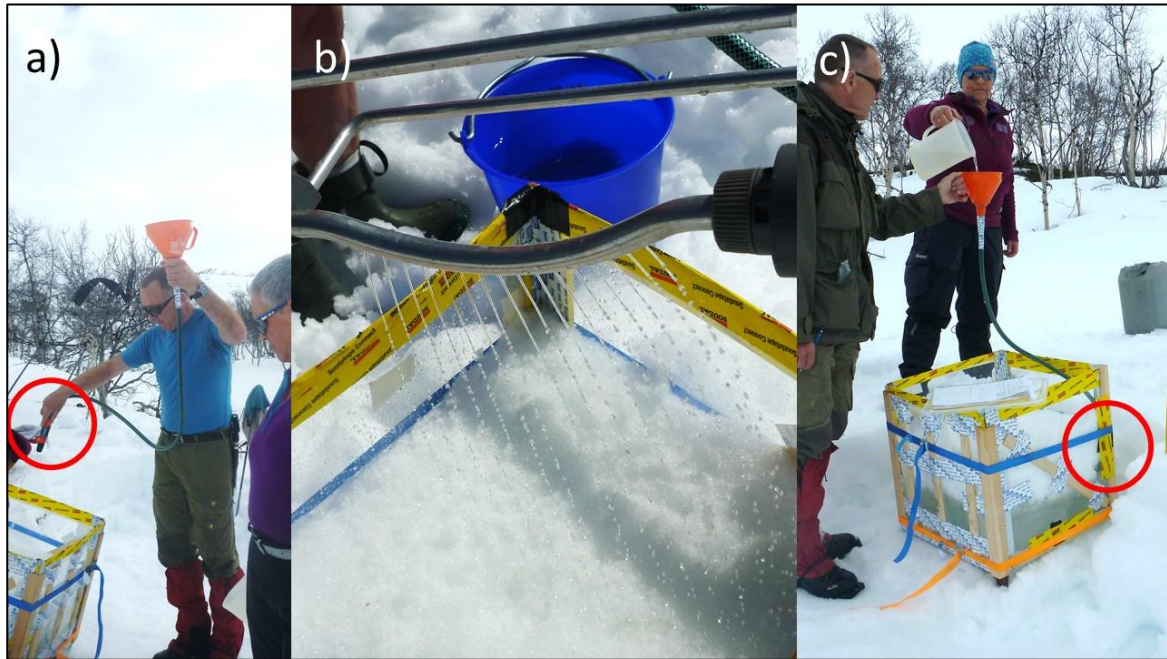


Figur 44. Dysene vart festa til eit kamerastativ. Biletet viser også disdromometeret og sørpeboksen.

5.2.4 Hurtig vasstilførsel

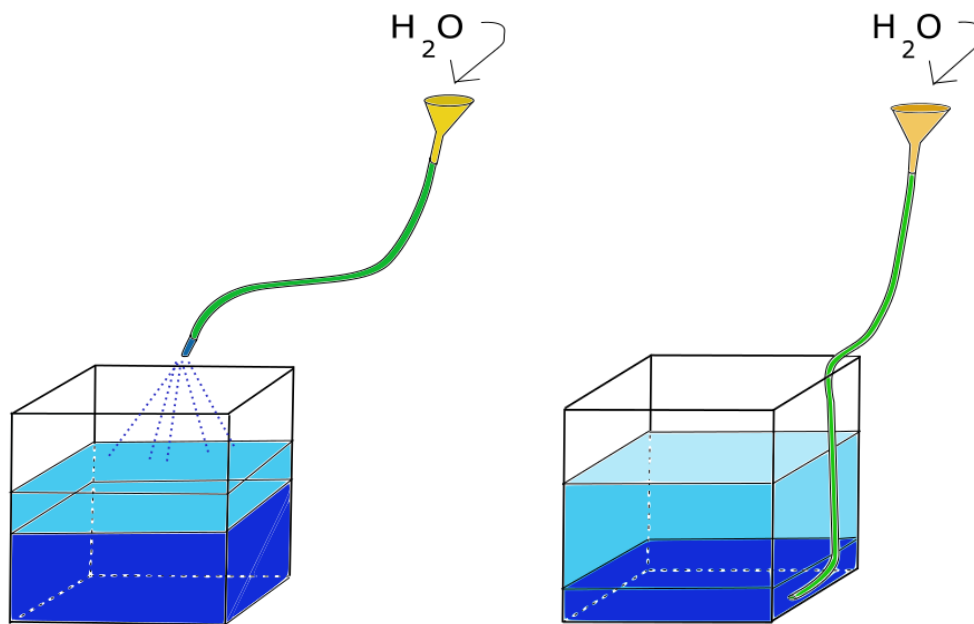
Ved hurtig vasstilførsel vart opp mot 20-40 liter vatn tilført snøblokka ($0,25 \text{ m}^2$) i løpet av kort tid, eit delforsøk varte mellom 20-60 min. Langsam vasstilførsel ga 10-20 liter/t per m^2 for samanlikning. Denne metoden gir mulegheit til å gjennomføre mange forsøk på kort tid. Samstundes tilfører ein vatn svært hurtig, noko som truleg påverkar omdanninga i snøen, og kan ha innverknad på resultatata. I drøftingskapittelet vert denne problematikken grundigare skildra.

Vatnet vart tilført med ei trakt festa til ein bit hageslange og ulike munnstykke i andre enden (figur 45). Vatn vart tilført både overflata til snøklossen og under snøklossen, der ein stakk slangen ned i botnen av kassa. Det vart lagt inn ny snø i boksen for kvart forsøk.



Figur 45. Ulike måtar å tilføre vatn på a) Munnstykke frå Gardena, ovanfrå b) Vasspreiar, ovanfrå c) Utan munnstykke, nedanfrå.

Figur 46 under viser prinsippsskisser for denne måten å tilføre vatn på.



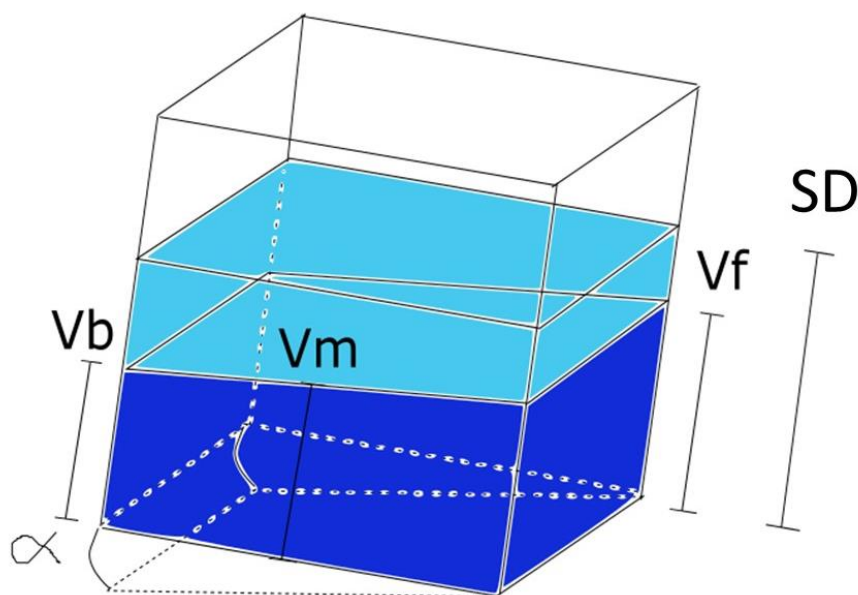
Figur 46. Prinsippet for vasstilførsel ovanfrå, med munnstykke frå Gardena (til venstre) og nedanfrå, utan munnstykke (til høgre).

5.2.5 Målinger av vasstilførsel og vassnivå

Underveis og etter ferdig forsøk vart ulike målinger gjort for å vurdere korleis snøen vart påverka av vasstilførsla.

Utan sørpeboks gjekk målingane ut på å undersøkje utviklinga til fritt vassinnhald i snøen, og korleis vatnet fordelte seg i det ikkje avgrensa snødekket. Dette vart gjort med handtesten i samsvar med metoden skildra i kapittel 3.1 (s.36) om snødekkeundersøking. I tillegg vart total nedbør (mm) notert, for å vite kor mykje vatn som var tilført snøen i forhold til snødjupna.

Med sørpeboks vart høgde til snøblokka målt og hellinga til boksen dersom den var tilta. Tal liter tilført vart registrert ved hjelp av eit litermål, eventuelt mm nedbør målt med disdrometer. Samstundes følgde ein med stigninga av vassnivået. Vassnivået vart målt både framme, på midten og bak, dersom boksen hadde helling (figur 47). Vassnivået vart registrert i cm og som % av snødjupna.



Figur 47. Skisse av sørpeboks. *SD* er snødjupna (målt vinkelrett på underlaget), *Vf*: vassnivå framme, *Vb*: vassnivå bak og *Vm*: vassnivå på midten. *a*: hellinga til boksen.

5.2.6 Vurdering av sørpeutvikling i boksen

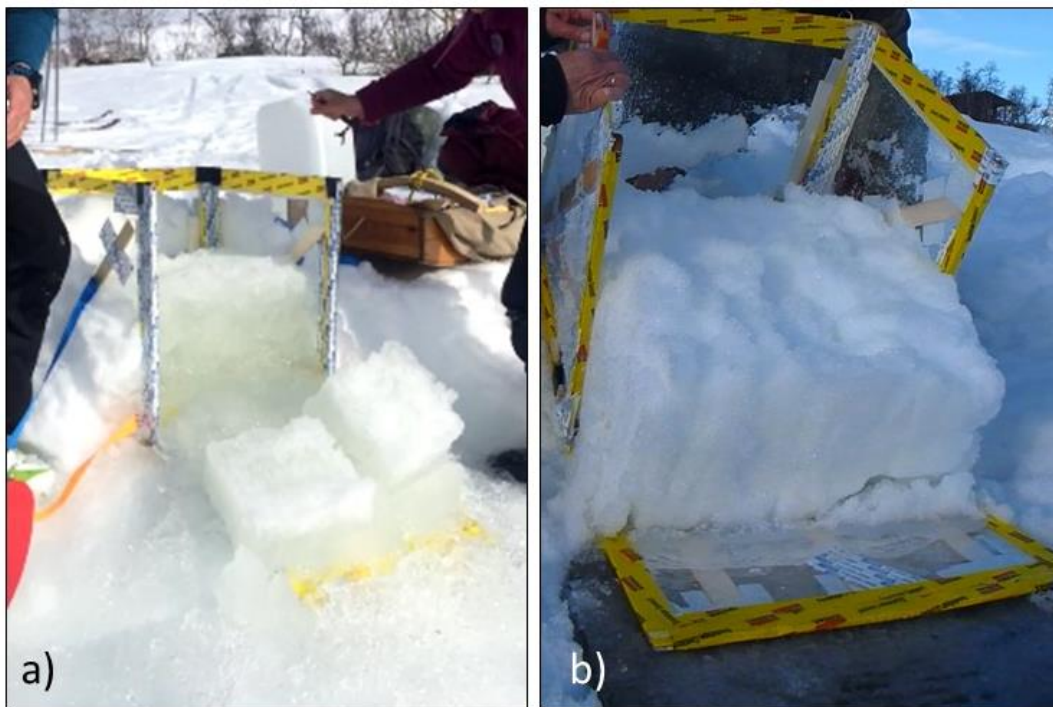
Etter kvart som vatn vart tilført, steig vassnivået i sørpeboksen nedanfrå. Dermed steig også sørpenivået i snøen. Sørpenivået vart definert som øvste nivå av snø som hadde over 15 vol.% vassinnhald. Sørpenivået trakk opp i snøen, nokre cm over vassnivået.

For å relatere denne sørpeutviklinga til utløysing av sørpeskred, var det naudsynt å opne fronten til boksen og studere korleis snøen oppførte seg då. Her var det tre mulege utfall:

- A) Snøblokka kollapsa og braut opp i mindre bitar og snøen *oppførte seg liknande eit sørpeskred.*
- B) Snøblokka sklei ut som éi kompakt blokk Dette likna meir på dynamikken til eit *glideskred.*
- C) Snøblokka *vart liggande* igjen i boksen, og vatnet som var lagra i og under snøen rann ut.

Eit døme på ein kollaps (A) er vist i figur 48a, og eit døme på at snøen sklir ut som ei blokk (B) er vist i figur 48b. Kva utfallet vart då ein opna fronten var avhengig av kor stor del av snøblokka som var blitt sørpe (>15 vol.% vassinnhald). Høgda av vassnivået/sørpenivået, avhengig av tilført vassmengd, vart såleis ein indikator når ein skulle finne grenseverdien for at snøblokka kollapsa.

Denne måten å vurdere sørpeutviklinga i snøen på, er teke opp i drøftingskapittelet.



Figur 48. a) snøen kollapsar og bryt opp i mindre bitar, liknar på sørpeskred.
b) snøen sklir ut som ei samla blokk, liknar på glideskred

5.3 Del 2: Forsøk med feltlab (forsøk 16-20)

Forsøk 16 til 20

Tabell 10 og tabell 11 viser informasjon generelt og om snøen samt resultatata frå forsøk 16-20. Alle forsøka brukte metoden skildra i førre kapittel (5.2, s.69). Dermed kan resultat

samanliknast, i motsetning til forsøka i utviklingsprosessen (del 1) der metoden og utstyret heile tida vart endra. To forsøk med langsam vasstiltførsel og fire forsøk med hurtig vasstiltførsel. I desse forsøka vart snøen lagt forsiktig inn i boksen med spade. Snøprofilar for forsøka finst i vedlegg E (E-11 til E-13).

På grunn av meir omfattande resultat frå fleire deltestar i forsøk 17, 18 og 19, er desse utfyllande presentert i kapittel 5.3.1, s. 77.

Tabell 10 Generell informasjon om forsøk 16-20 (*=disdrometer, bilbatteri, pc, andre forkortingar vist i tabell 6, s.61).

#	Dato	Varighet	Formål	Utstyr
16	26.04.18	8 t	Teste boks med front som kan opnast undervegs. Ikkje samanleggbar	*, to G. TS, sørpeboks.
17	27.04.18	5-20 min pr. forsøk	Få kollaps i snøblokka inni sørpeboksen. 10 deltestar totalt.	Hageslange, trakt, m/u munnstykke frå G., sørpeboks.
18	29.04.18	15 min pr. forsøk.	Finne grenseverdi for vassnivå ved kollaps i snøblokka. 7 deltestar totalt.	Hageslange, trakt, m/u munnstykke frå G., sørpeboks.
19	15.05.18	20-40 min pr. forsøk.	Auke datagrunnlaget for grenseverdiane funne i forsøk 17 og 18. 8 deltestar totalt.	Hageslange, trakt, m/ munnstykke frå G. og vasspreiar, sørpeboks.
20	05.06.18	4,5 t	Demonstrasjonsforsøk for rettleiarar i NVE.	*, to G. trykkspr., sørpeboks, hageslange og trakt, vasspreiar.

Tabell 11 Informasjon om snø og resultat frå forsøk 16-20. Forkortingar brukt er vist i tabell 6, s.61.

#	SD (cm)	Snøtype	LWC	Tettleik (g/cm ³)	Tilført vatn (mm)	TSO	TL	Resultat <i>(for resultat av deltestar i 17, 18 og 19, sjå tabell 12, tabell 13, tabell 14, s. 78, 79, 80).</i>	Anna/kommentar
16	30	Noko finkorna smelteomvandla fokksnø.	M/W	0,582	94,5 mm /145 l.	0	6,3	Langsam vasstilsørsel. Vassnivå: 10 cm/ 40 % av snødjupna. Ingen kollaps. Figur 49 viser boksen med opna front.	Vind ga usikre registreringar med disdrometer.
17	30	Noko finkorna smelteomvandla fokksnø.	M/W og W/VW	0,530	Frå 16 l til 35 l. (64- 140 mm)	0	3,3	Hurtig vasstilsørsel. Boksen var tilta 10 ⁰ og 15 ⁰ .	Valde å vidareføre metoden til dei neste forsøka.
18	30	Noko finkorna smelteomvandla fokksnø.	M/W	0,570	Frå 37 l til 87 l. (148- 348 mm)	0	2,7	Hurtig vasstilsørsel. Boksen var tilta 0 ⁰ og 5 ⁰ .	
19	30	firn	W	0,498	Frå 25 l til 44 l. (100- 176 mm)	0	20	Hurtig vasstilsørsel. Boksen var tilta 5 ⁰ , 10 ⁰ og 15 ⁰ .	Snøen hadde endra seg såpass at resultatata truleg ikkje kan samanliknast med forsøk 17 og 18.
20	30	firn	W	0,628	86,5 mm + uviss mengd.	0	15	Langsam og hurtig vasstilsørsel. Boksen tilta 5 ⁰ . Vassnivå: 24 cm/ 80 % av snødjupn.	Vind ga usikre registreringar med disdrometer.



Figur 49. Forsøk 16: Hengsla front, som òg fungerte som glideflate. Her er sidene til fronten akkurat skore opp.

5.3.1 Resultat forsøk 17, 18 og 19

Desse forsøka nytta metoden skildra i kapittel 5.2.4 (s.71).

Tabell 12, tabell 13 og tabell 14 viser resultatata frå forsøk 17, 18 og 19. Farga felt er forsøk der snøblokka kollapsa når boksen vart skore opp, dette svarar til utfall A som er omtala i kapittel 5.2.6, s.73. Resultat frå forsøk 20 er ikkje med ettersom dette var eit demonstrasjonsforsøk. Det vart nytta trykksprøyte frå Gardena, med disdrometer. I tillegg ein del liter vatn, som ikkje vart registrert, med hurtig vasstiltførsel.

Tabell 12 Resultat forsøk 17 (V_f =vassnivå målt framme i boksen, V_m =vassnivå målt på midten, V_b =vassnivå målt bak i boksen).

Forsøk 17 (27.04.18)										
Kl. fylling	Deltest nr.	SD (cm)	α (°)	Vasstilførsel (ovanfrå/nedanfrå)	Vassnivå (cm) (% av SD)			Vatn		Kollaps (ja/nei)
					V_f	V_m	V_b	l/ ¼ m ²	mm/ m ²	
1040-1100	17.1	30	10	Nedanfrå	13 (43)	9 (30)	6 (20)	17	68	Nei
1125-1135	17.2	30	10	Nedanfrå	19 (63)	14,5 (48)	11 (37)	22	88	Nei
1150-1205	17.3	30	10	Nedanfrå	24 (80)	20 (67)	16 (53)	30	120	Nei
1330-1345	17.4	30	10	Nedanfrå	28 (93)	26 (87)	18,5 (62)	35	140	Ja
1420-1425	17.5	30	15	Nedanfrå	17 (57)	9 (30)	2 (7)	16	64	Nei
1440-1455	17.6	30	15	Nedanfrå	26 (87)	19,5 (65)	13 (45)	29	116	Ja
1520-1537	17.7	30 (VW)	15	Ovanfrå	26 (87)	19,5 (65)	13 (45)	29	116	Ja
1555-1605	17.8	30 (VW)	15	Ovanfrå	15 (50)	10,5 (35)	3 (10)	16	64	Nei
1620-1635	17.9	30 (VW)	15	Ovanfrå	21 (70)	15 (50)	8 (27)	23	92	Nei
1650-1704	17.10	30 (VW)	15	Ovanfrå	24 (80)	17 (57)	10,5 (35)	25	100	Ja

Tabell 13 Resultat forsøk 18 (V_f =vassnivå målt framme i boksen, V_m =vassnivå målt på midten, V_b =vassnivå målt bak i boksen).

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/ 1/4m 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

*snøblokka flyt på 15 cm vatn.

Tabell 14 Resultat forsøk 19 (Vf=vassnivå målt framme i boksen, Vm=vassnivå målt på midten, Vb=vassnivå målt bak i boksen).

Forsøk 19 (15.05.18)											
Kl. fylling	Deltest nr.	SD før (cm)	SD etter (cm)	α (°)	Vasstilførsel (Gardena/vasspreiar)	Vassnivå (cm) (% av SD)			Vatn		Kollaps (ja/nei)
						V _f	V _m	V _b	l/0,25 m ²	mm/m ²	
1059-1140	19.1	30	-	5	Vasspreiar	29 (98)	28 (93)	26 (87)	40	160	Nei
1249-1328	19.2	30	27	5	Vasspreiar	29 (98)	27 (90)	26 (87)	44	176	Ja
1400-1433	19.3	30	28	10	Vasspreiar	27 (90)	24 (80)	18 (60)	33	132	Nei
1509-1545	19.4	30	28	10	Vasspreiar	29 (98)	26 (87)	22 (73)	40	160	Ja
1700-1728	19.5	30	26	10	Vasspreiar	29 (98)	25 (83)	20 (67)	37	148	Nei
1800-1819	19.6	30	28	15	Vasspreiar	24 (80)	17 (57)	11 (37)	25	100	Nei
1838-1924	19.7	30	26	15	Vasspreiar	26 (87)	20 (67)	15 (50)	35 +	140	Ja
1950-2000	19.8	30	28	10	Gardena munnstykke	30 (100)	27 (90)	23 (77)	40	160	Ja

I tabell 15 er resultat frå dei tre forsøka samanfatta. Her er vassnivået og tal liter som skulle til for å gi kollaps i på ulike hellingar, i ulike forsøk, presentert.

Tabell 15 Resultat frå forsøk 17, 18 og 19. Vasshøgde og liter vatn/omrekna til mm per m² som skulle til for kollaps i snøen (V_f=vassnivå målt framme i boksen, V_m=vassnivå målt på midten, V_b=vassnivå målt bak i boksen).

Forsøk (#)	Vasshøgde			Vatn		Tettleik snø (g/cm ³)
	V _f (cm) (% av SD)	V _m (cm) (% av SD)	V _b (cm) (% av SD)	(l/¼ m ²)	(mm/m ²)	
<i>5° helling</i>						
18 Strynefjellet	29 (98)	28 (93)	26 (87)	42	168	0,570
19 Storesætra	29 (98)	27 (90)	26 (87)	44	176	0,498
<i>10° helling</i>						
17 Strynefjellet	28 (93)	26 (87)	18,5 (92)	35	128	0,530
19 Storesætra	29 (98)	26 (87)	22 (73)	40	160	0,498
<i>15° helling</i>						
17 Strynefjellet	24 (80)	17 (57)	10,5 (35)	25	100	0,530
19 Storesætra	26 (87)	20 (67)	15 (50)	35 + ~5	128	0,498

5.3.2 Oppsummering av resultatata

Gjennom 16 forsøk (del 1) vart utstyr og metode utvikla. Dette var:

- Utstyr for å registrere vasstilførsel: *disdrometer* med tilhøyrande utstyr; pc, bilbatteri og USB/RS 485-overgang.
- Utstyr for *vasstilførsel*: Gardena trykksprøyte(r) med stativ for å halde dysa, Solo dyse kopla til leidningsnett med stativ, trakt og hageslange.
- *Sørpeboksen* for å isolere ei snøblokk og sørge for oppbygging av vassnivå.
- Vatn som vart tilført til vassnivået var anteke å vere høgt nok for kollaps, og resultatet vart vurdert ut i frå korleis snøen oppførte seg når fronten vart opna.
- Snøen vart vurdert som sørpe når den kollapsa og delte seg i mindre bitar, når ein opna fronten.

I forsøk 17-19 vart ustyret og metoden nytta i fleire like forsøk, for å skaffe eit datagrunnlag.

Følgjande kan ein trekkje ut av forsøka som var gjort på firn:

- Generelt høgt vassnivå var naudsynt for kollaps; 80-100 % av vasshøgda framme.
- Dette svara til mellom 25 og 44 liter vatn.
- Til brattare helling boksen hadde, til mindre vatn var naudsynt for kollaps.
- Ved 0° helling måtte så mykje vatn til for kollaps, at snøen flaut på eit 15 cm djupt vasslag.

6 Drøfting

6.1 Snødekkeundersøking

I samsvar med retningslinjene NGI brukar for sine skredobservatørar, vart fleire av faktorane i snødekket undersøkt; hardheit, kornstorleik, kornform og fuktigheit. Dette for å avdekke strukturar og teksturar i snøen. I snødekkeundersøkingar vert fleire av faktorane kvalitativt vurdert (Kristensen, 2007). Vurderingane kan variere mellom ulike observatørar. Snøen er i dei fleste tilfelle i ein overgangsfase og reine nivå/former er sjeldan å finne. Dette gjer at erfaringa til observatøren er viktig for kvaliteten på snødekkeundersøkinga.

I undersøkingane er det også kvantitative målingar, som tettleiksmålingar og temperaturmålingar. Likevel kan desse testane også bli påverka, til dømes av frekvensen av tettleiksmålingar, samt nøyaktigheita til vekta og termometeret.

For feltarbeidet i dette studiet, var snødekkeundersøkingane ein metode for å vite utgangspunktet til snøen, i tillegg å vurdere korleis vasstilførselen påverka og endra snøen. For at erfaringane frå feltforsøka skal vere brukbare for andre, er det svært viktig at snødekket er mest muleg universelt og nøyaktig skildra.

6.2 Del 1: Utvikling av feltlab

6.2.1 Fase 1) Disdrometer som utstyr for registrering av vasstilførsel

Disdrometeret er i utgangspunktet et *svært nyttig* hjelpemiddel:

- Det kan takast med i felt, slik at ein alltid har kontroll på kor mykje vatn som er tilført snøen, også dersom det skulle kome noko naturleg regn.
- Registreringa skjer heilt automatisk og kan overførast til Excel.
- Raskt å rigge opp.

Det er likevel nokre *ulempar* med instrumentet:

- Det er mykje utstyr, som både er tungt og tek plass (bilbatteri, datamaskin m/ekstra batteri, stativ for disdrometeret).
- Det er dyrt utstyr som krev stor varsemd ved transport og bruk. Det er vanskeleg å emballere og er lett å skade.

Feilkjelder:

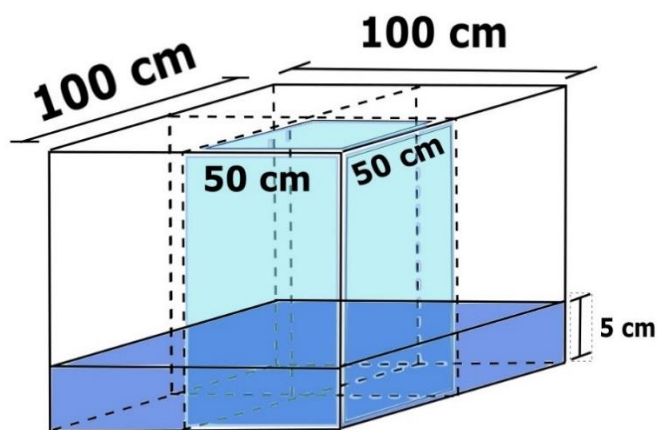
Disdrometeret reknar ut intensitet (mm/t) og nedbør (mm) for éin kvadratmeter (OTT-Messtechnik, 2010a). Sørpeboksa dekkjer eit areal på 0,25 kvadratmeter. Ettersom sørpeboksa

då berre mottek $\frac{1}{4}$ av nedbøren (som disdrometeret registrerer for 1 m^2), skulle det i utgangspunktet vere greitt å bruke data frå disdrometeret direkte. Dersom disdrometeret til dømes har registrert 50 mm nedbør (per m^2), vil dette bety at ein horisontal og impermeabel bakke vert dekkja av eit 5 cm djupt lag med vatn (yr.no, 2010). Vasshøgda vil stå 5 cm også i sørpeboksen på 0,25 kvadratmeter (figur 50). Dette er då føresett at heile kvadratmeteren mottek lik intensitet.

Det vart likevel gjort ein test for å sjekke korleis registreringane med disdrometeret stemte overeins med faktiske målingar av vassnivået i boksen, gjort med tommestokk.

Disdrometeret var plassert både rett ved sidan av og inne i boksen. Resultat vist i

tabell 16. Då disdrometeret var plassert inne i boksen, vart det fjerna før vassnivået vart målt.



Figur 50. Nedbør registrert som mm/m^2 vil også stemme for eit areal på $0,25 \text{ m}^2$.

Tabell 16 Samanlikning av data frå disdrometeret med fysiske målingar av vassnivået i sørpeboksen.

Plassering disdrometer	Registreringar frå disdrometer (mm)	Fysisk måling av vassnivå i boks (mm)	Skilnad (mm)	
Rett utanfor boks	144,00	170	144-170	-26
Inni boks	155,44	100	155,4-100	55,4
Inni boks	146,83	90	146,8-90	56,83

Når disdrometeret står plassert utanfor ser det ut til å registrere *mindre* mottatt nedbør enn det som faktisk kjem i boksen, dette var alltid situasjonen under forsøka. Når det står plassert inne i boksen registrerer det *meir* enn kva som faktisk kjem i boksen.

Avvika kan kome av at disdrometeret utelukka enkelte dropestorleikar- og hastigheiter. Ei anna hypotese er at når disdrometeret reknar ut total nedbør, er dette truleg på grunnlag av at den same intensiteten som passerer hovuda gjeld overalt (i alle fall for 1 m²). Dette er ikkje tilfelle, då det er ulike intensitetar i spreingsarealet til trykksprøytedyseane. Spreingsarealet kan i tillegg vere mindre enn 1 m², noko som kan forklare kvifor disdrometermålingane er mindre enn målt i boksen. Problemet kan òg bli forsterka av vind.

I tillegg har disdrometeret sine målingar *fleire avgrensingar* som kan påverkar registreringane:

- Det måler ikkje absolutt alle nedbørspartiklar som passerer hovuda, men har *nedre avgrensing i storleik/hastigheit*. Særleg aktuelt med tanke på trykksprøytene sine små dropar. Lita fallhøgde ga også låg hastigheit. I tillegg målast berre dropar som fell med *heile volumet innanfor laserbandet*. (Löffler-Mang og Joss, 2000).
- Laserstrålen kan bli *forstyrra av is/skit framfor glaset*. Det var episodar med ising på hovuda, trass apparatet er konstruert med oppvarming for å hindre dette.
- Nokre oppsett produserte nedbør som vart registrert som *faste nedbørspartiklar* (hagl og snø). Årsaka kan vere ein unaturleg kombinasjon av partikkelhastigheit og -storleik, då disdrometeret har slike kriterium for flytande nedbør (Raupach og Berne, 2015). Dette kan òg kome av låg fallhøgde, eller at vasstrålen var retta nedover og ga unaturleg høg dropehastigheit. Turbulens langs bakken kan også påverke fallhastigheita til dropar (Raupach og Berne, 2015).
- Det nyttar storleik/hastigheit til dropane ved definisjon av nedbørstype. Intensitet på 60-70 mm/t vart definert som yr (og regn), og kraftig yr er i følgje brukar-rettleiinga alt over 0,5 mm/t (OTT-Messtechnik, 2010a). Til samanlikning definerer Meteorologisk-Institutt (2018b) yr som lett nedbør (< 0,2 mm/t). Dette bør ein vere merksam på ved tolking av data, og vurdere fleire faktorar enn berre nedbørstypen.

6.2.2 Fase 2) Utstyr for vasstilførsel

Under fyl ei drøfting av resultat frå forsøk 4, der ulike vasspreiarar og trykksprøyter vart testa med disdrometer. Sjå eventuelt tabell 5, s. 60 for testa utstyr. Grunna ein særst tørr vinter og vår (2017/2018) vart målingane av naturleg nedbør gjort fire månadar seinare enn forsøk 4. Vasskjelda måtte difor veljast ut i frå kva ein, på førehand, rekna med var best eigna. Kostnadar

og funksjonalitet i felt vog også tungt. Likevel er dei ulike oppsetta også vurdert opp mot naturleg nedbør, for å vite om eventuelle avvik. Det er berre gjort to registreringar av naturleg nedbør, det kunne med fordel vore fleire.

Etterlikning av naturleg nedbør

Små og mange dropar vart vurdert som gode eigenskapar for vasstilførselen, for å fordele vatnet godt utover snøen og at dette burde kombinerast med relativt låg intensitet (10-20 mm/t).

Ei *feilkjelde* med samanlikninga er ulik varigheit av ulike oppsett. Oppsetta som anslagsvis vart vurdert å ha best potensial vart prioritert. Vasspreiarar som var kopla til leidningsnettet kan likevel reknast med å ha relativ jamn vasstilførsel over tid.

Intensitet

Hoozer Sky 2,50 m avstand (frå disdrometer) liknar mest naturleg nedbør, men har stor variasjon på ulike avstandar (figur 31, s.56 og figur 32 s.57). Boogie halvmåne 2,40 m samt Gardena og Solo trykksprøyte har alle høgare intensitet. Trykksprøytene har også relativt stor variasjon, i forhold til dei andre, avhengig av trykket. Hoozer Sky 1,50 m og 1,16 m har endå høgare intensitet.

Tal detekterte partiklar

Den naturlege nedbøren varierer noko, men ligg mellom 60-900 i desse målingane. Hoozer Sky 2,40 m og Boogie 2,50 m er dei som fell best saman med dette (figur 33, s.58).

Både Gardena og Solo trykksprøyter og Hozelock Sky 1,16 m gir sær mange partiklar i forhold til naturleg nedbør (figur 34, s.58 og figur 35, s.59).

Type nedbør

Dei fleste oppsetta ga partiklar som disdrometeret registrerte som flytande partiklar (regn/yr). Men for nokre oppsett vart store delar av nedbøren registrert som faste partiklar (snø/hagl), også naturleg nedbør (tabell 5, s.60). Denne faktoren vart ikkje vektlagt i stor grad. Diagram med oversikt over nedbørtypar disdrometeret registrerte for ulike oppsett ligg i vedlegg C-2.

Spektrogram

Kvart 30. sekund vart det danna eit nytt spektrogram, basert på informasjon samla det siste halve minuttet. For det enkelte oppsett er spektrogramma frå måleserien gjennomgått. Eit representativt spektrogram blei valt ut, basert på ei subjektiv vurdering, og dropestorleiken og -hastigheita for oppsettet vart henta ut i frå dette (tabell 5, s. 60, Vedlegg C-1).

Spektrogrammet til den registrerte naturlege nedbøren, låg langs Gunn-Kinzer-kurva, som er empirisk utrekna forhold mellom dropestorleik og -hastigheit. Nedbørspartiklane frå vasspreiaren Hoozer Sky, med avstand 1,16 m og 1,50 m, fyl linja bra. For Hoozer Sky 2,40 m og 2,50 m ligg mesteparten av partiklane under kurva, altså med større diameter og lågare hastigheit. Trykksprøyte har stort sett små dropar (yr-fraksjon) med låg hastigheit, men ligg samla rundt linja.

Dropane for alle oppsetta ligg innanfor det naturlege; mindre enn 3 mm i diameter og hastigheit mellom 0,1 og 9 m/s (Uijlenhoet og Sempere Torres, 2006). Det er likevel spektrogrammet til Hoozer Sky 1,50 m og 1,16 m som liknar mest på spektrogrammet til den registrerte naturlege nedbøren.

Oppsummering

Basert på målingane av intensitet, tal detekterte partiklar, nedbørstype og spektrogram var det Hoozer Sky 2,40 m som likna mest på dei tilfella av naturleg nedbør som vart registrert 21.03.18 og 15.06.18.

Praktiske forhold

Vasspreiarane, Hoozer og Boogie var avhengig av eit vassforbruk på 40-60 l/min for å fungere skikkeleg, noko som var urealistisk i felt utan pumper eller leidningsnett for vatn.

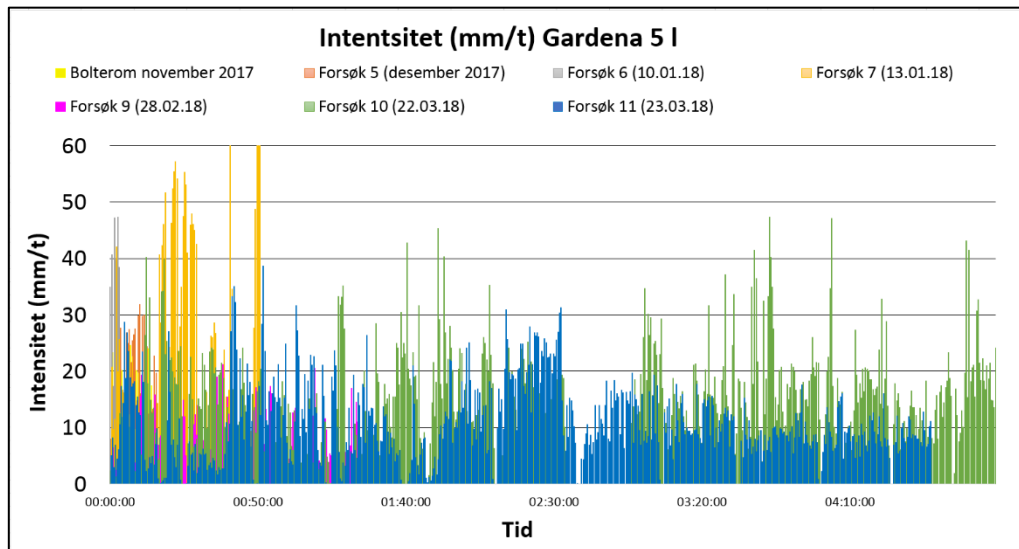
Trykksprøyta frå Solo vart testa i felt, men viste seg å krevje kontinuerleg arbeid med manuell pumping. Den vart dessutan tømt like hurtig som *Gardenasprøyta*, trass tre gonger større volum. I tillegg bestod pumpa av mange smådelar som lett kunne gå i sund eller fryse.

Trykksprøyta frå Gardena var lita, lett og kompakt. Den hadde få delar, som var lett å ta frå kvarandre for reingjering (is, skit) eller reparasjon. Minuset er mykje manuelt arbeid, som ikkje kan gjennomførast med berre ein person, og det var urealistisk å skulle halde på noko lenger enn 10-12 timar: Den vesle kapasiteten, 5 l, medførte at den må etterfyllast omtrent kvart 20. minutt, med vatn henta frå bekk/vatn. Dessutan måtte ein pumpe kvart andre minutt, for å halde trykket i gang.

Dei små dropane trykksprøyta produserte vert lett tekne av vind, og gir opphav til feilkjelder samt mindre effektiv vassstilførsel.

Gardena trykksprøyte

Trykksprøyta frå Gardena vart valt på grunnlag av at små og mange dropar vart vurdert å vere ein god eigenskap for feltforsøka. Den var uavhengig av leidningsnett for vatn, viste god funksjonalitet i felt og hadde ein låg pris. Figur 51 viser alle intensitetsmålingane til Gardena trykksprøyte samla. Trass i at intensiteten kunne bli noko høg, opp mot 30-40 mm/t, *utgjorde trykksprøyta det beste kompromisset av dei ulike kriteriana.*



Figur 51. Intensitetsmålingar for Gardena trykksprøyte frå sju ulike forsøk gjort med disdrometeret.

Etter å ha samanlikna med målingane frå disdrometeret, var det ikkje Gardena trykksprøyte som likna mest på dei registrerte tilfella av naturleg nedbør. Dette kom av for små dropar med låg hastigheit, for mange nedbørspartiklar og for høg intensitet. Disdrometeret registrerte mykje av nedbøren til trykksprøyta som yr. Moglegvis ville naturlege målingar av denne nedbørstypen vore meir relevant for samanlikning. Intensiteten til trykksprøyta er truleg høgare enn kva som er relevant for sørpeskredsituasjonar (kapittel 2.5.2, s.23).

Det er muleg at andre vatningssystem på marknaden

I kjeldematerialet til studiet er det døme på vatningssystem som liknar meir på naturleg nedbør, har større kapasitet og krev mindre arbeid, enn det som er brukt til dette studiet. Til dømes Agarwal *et al.* (2012), Cao og Yin (2015) og Juras *et al.* (2017). I ein ideell situasjon kunne slike eksisterande system ha blitt nytta for dette studiet, men tilgjengeleg tid og økonomi var ein avgrensande faktor.

Solo trykksprøyte

I forsøk 12 og 15 vart dysa til Solo trykksprøyte kopla saman med leidningsnett for vatn, det oppsettet gir rundt 10-15 mm/t. Solodysa vart brukt fordi den enkelt kunne koplast på leidningsnett utan ekstra/nye delar. Å skulle kople Gardenadysa på leidningsnett ville derimot krevje ekstra/nytt utstyr som eventuelt måtte utviklast. Dette var forsøk som vart gjennomført i hagen. Denne måten å tilføre vatn på er svært praktisk fordi den krev lite arbeid, men upraktisk fordi val av representative område ein kan gjere forsøk på vert svært avgrensa.

Etter å ha studert naturleg nedbør opp mot dei ulike oppsetta, ser ein at oppsettet med vasspreiar Hoozer Sky 2,40 med fordel kunne vore brukt i desse forsøka, då den liknar mest på naturleg nedbør.

6.2.3 Fase 3) Komplette feltlaboratorium

I fase 3 vart ulikt utstyr testa saman, og det vart bestemt kva utstyr som skulle nyttast vidare, samt eventuelle utbetringar. Erfaringar frå forsøka dreiv også metodeutviklinga framover.

Eit døme er forsøk 8 som bidrog til forståing av kva vassmengder snøen er i stand til å transportere. Resultata stemmer godt med observasjonar av andre, til dømes Kattelman (1987a), Fierz og Föhn (1994) og Gude og Scherer (1998).

Eit anna døme forsøk 7 og 9 som viste korleis vatn på kald snø ikkje klarar å trenge ned i snøpakka. Desse observasjonane er døme på Colbeck (1976) sine teoretiske berekningar om vatn som tilførast kald, tørr snø. Dei viser at ein fuktfront ikkje kan trekke nedover i snøen før temperaturen i snøen aukar til 0°C, ved at tilstrekkeleg vatn har fryse fast på snøkorn og gitt frå seg tilstrekkeleg latent varme. Deretter må meir vatn tilførast enn det kapillærkreftene klarar å halde på. Først då vil vatnet trenge ned i snøen. Forsøk 7 og 9 gav difor tydelege signal om at dei vidare forsøka måtte vente til mildare vêrlag.

I forsøk 10 og 14 vart det observert at nysnø har stor evne til å binde vatn, noko som stemmer overeins med til dømes Hestnes (1998) og Lied og Kristensen (2003). Likevel er inntrykket at ein må ha impermeable forhold under for at vassinnhaldet skal bli høgt nok til å danne sørpe, og at vassnivået skal bygge seg opp. Dette stemmer også med teori, som til dømes Colbeck (1991).

6.2.4 Fase 4) Forsøk med lengre varigheit

Før den fjerde fasen var det meste utstyret på plass, og metodeutviklinga fortsette. Forsøk 10 og 13 gav døme på kor vanskeleg det kunne vere å finne ynskt snøtype i riktig mengd *over*

naturleg impermeable underlag. I sin tur auka dette kompleksiteten med å finne gode feltlokalitetar, der det også var tilfredsstillande vasstilgang og høveleg avstand frå bilveg. Igjen leia erfaringane til utvikling av sørpeboks. Vidare vart så sørpeboksen testa med ulike funksjonar (samanleggbar, front som kunne opnast).

Resultat etter 15 forsøk (fase 1 til 4) var ein ferdig utvikla feltlab som kunne brukast til vidare feltforsøk med snø og vatn. Såleis var første del av problemstillinga nådd og vidare kunne snøforsøk utførast.

6.3 Ferdig utvikla feltlab

Drøfting av utvalde element i den utvikla feltlaben. Sørpeboksen vert drøfta i kapittel 6.4, s. 96.

6.3.1 Langsam vasstilførsel

Det vart til saman gjort to forsøk (16 og 20) med denne metoden.

Langsam vasstilførsel, med 10-20 mm/t over maksimalt 8 timar, vert eigentleg eit relativt omgrep ettersom naturlege situasjonar utviklast over endå lenger tid (Hestnes og Sandersen, 1987; Hestnes *et al.*, 1994). Det finst dømer på andre som har tilført vatn til snø kunstig, men då med andre formål; Schneebeli (1995) brukte til dømes 0,25-0,5 l/m² medan Ito *et al.* (2012) brukte 2 mm/t over 2-3 timar. Juras *et al.* (2017) nytta 10,25 mm/t og 20,5 mm/t og Kattelmann (1987b) som tilførte vatn med 30 mm/t, og omtalar det som høg intensitet.

Ei ulempe med langsam vasstilførsel er at metoden er svært sensitiv for små lekkasjar i boksen. Dersom boksen lek utan det vert oppdaga, kan dette gi feil i vassmålingane. Dessutan er boksen vanskeleg å tette att, etter den er skore opp. Konsekvensen er at ein må starte heilt på nytt om snøblokka ikkje kollapsar. Her vil ei forbetring av boksen sin konstruksjon vere nyttig.

Fordelen med langsam tilførsel av vatn er at den mest truleg har større likskap til naturlege sørpeskredsituasjonar, enn hurtig vasstilførsel. Ein viktig skilnad er truleg tida snøen er vassmetta. Snøen vil ved langsam vasstilførsel vere fuktig/våt/vassmetta betydeleg lenger enn ved hurtig, opp mot 8 timar i forhold til under ein time. Til samanlikning kan det i naturlege situasjonar, vere vassmetting opptil fleire døgn (Gude og Scherer, 1998). Tidsaspektet ved forsøka er viktig fordi grad av smelteomdanning i vassmetta snø er avhengig av tid og vassinnhald (til dømes Raymond og Tusima, 1979).

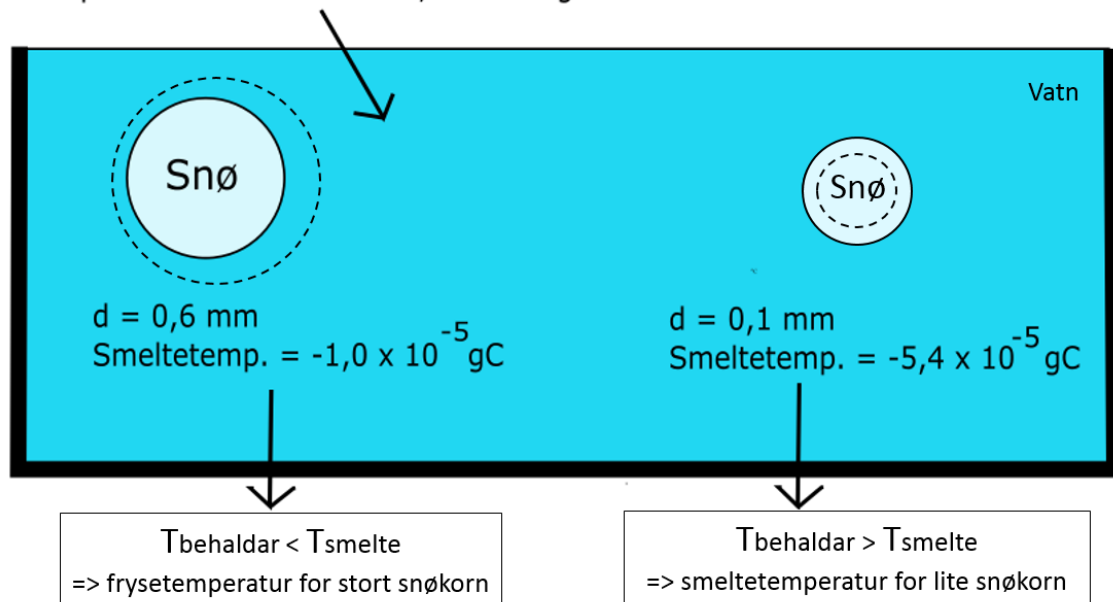
Tidsaspekt ved metamorfose i vassmetta snø

Fleire forsøk viser at snøkorna blir større og rundare til lengre dei er i vassmetta (0°C), denne tilstanden (Wakahama, 1967; Raymond og Tusima, 1979; Tusima, 1985). Under slike forhold vil bindingar mellom snøkorn smelte (Kattelmann, 1987b). Dette senkar styrken i snøen (Colbeck, 1974; Tusima, 1985). Det var stor skilnad mellom 5 min i vassmetta tilstand (liknar hurtig vasstilførsel) versus 10 timar (liknar langsam vasstilførsel). Når jordskredvarslinga vurderer sørpeskredfare er grovkorna snø (smelteomvandla) omtala som mindre utsett, eventuelt at det tek lenger tid før snøen blir ustabil (pers. kom. Sund, 2018a). Kanskje er den tidsavhengige prosessen skildra her årsaka til at det tek lenger tid.

Metamorfose i vassmetta snø er teoretisk behandla, av mellom anna Colbeck (1974). Kort samanfatta er årsaka til snøkorna sin veksten at smeltetemperaturen til eit snøkorn er avhengig av storleiken. I ei blanding litt under 0°C smeltar små snøkorn medan større frys (figur 52). Til lenger den vassmetta snøen står, til lenger får omdanningsprosessen halde på, og snøen vert stadig meir grovkorna. Omdanninga skjer endå hurtigare dersom lufttemperaturen er høgare enn 0°C , noko den ofte var under dei lengre feltforsøka.

Behaldar med blanding av snø og vatn:

Temperatur i behaldaren: $-2,3 \times 10^{-5} \text{ gC}$



=> Smeltevatn frå mindre korn vil fryse fast på større

Figur 52. Vassmetta vil bli meir grovkorna på grunn av ulik storleik på snøkorna (tal henta frå Wakahama, 1967). Figuren er utarbeida av forfattar.

Veksten til snøkorn er også avhengig av fritt vassinnhald og er mykje mindre tydeleg i fuktig/tørr snø enn i våt snø (Wakahama, 1967; Raymond og Tusima, 1979). Brun (1989) observerte dessutan hurtigare vekst ved høgare LWC.

Oppsummert; jo lenger snø er vassmetta (blanda i vatn) og jo høgare fritt vassinnhald (LWC), jo meir grovkorna og ustabil blir den. For forsøka betyr dette følgjande:

- Langsam vasstilførsel:
 - Snøen er vassmetta over lengre tid, og vil difor rekke å bli meir ustabil.
 - Tidsaspektet er likare naturlege sørpeskreditsituasjonar, i forhold til utvikling av meir grovkorna snø med færre bindingar mellom snøkorna.
 - Ein større del av snøen er berre fuktig/tørr. Her går omdanninga mykje seinare, så sjølv om varigheita er lenger, er også snøen truleg mindre påverka av tid.
- Hurtig vasstilførsel:
 - Snøen er vassmetta over kortare tid, og snøen rekk ikkje å bli like ustabil.
 - Ein større del av snøblokka vil bli vassmetta på eit tidlegare tidspunkt, og omdanninga får starte tidlegare og gå hurtigare her.

Det er uklart kva samla konsekvens av dette er, men det er nærliggande å tru at tidsaspektet til forsøka kan påverke mengd vatn som skal til for kollaps.

6.3.2 Hurtig vasstilførsel

Hurtig vasstilførsel vart brukt ved tre forsøk, 17, 18 og 19, høvesvis med ti, sju og åtte delforsøk.

Ved hurtig vasstilførsel vart snøblokka tilført vatn med svært høge intensitetar. Som eit døme viser tabell 17 intensitetane frå forsøk 17, utrekna basert på at intensiteten ville vore konstant i 30 og 60 min. Det er både vist tal liter tilført i sørpeboksen, samt ei omrekning til kva dette ville svare til i mm nedbør på éin m². Til samanlikning er dimensjonerande korttidsnedbør, målt på Vestlandet; 38,1 mm/30 min, 41,9 mm/60 min (Førland et al., 2015).

Tabell 17 Intensitetar brukt i forsøk 17, både utrekna til liter per 30/60 min, samt omrekna til mm/m².

	Forsøk 17 (27.04.18)			
#	60 min		30 min	
	liter/¼ m ²	mm/m ²	liter/¼ m ²	mm/m ²
17.1	51	204	25,5	102
17.2	132	528	66	264
17.3	120	480	60	240
17.4	140	560	70	280
17.5	192	768	96	384
17.6	116	464	58	232
17.7	102	408	51	204
17.8	96	384	48	192
17.9	92	368	46	184
17.10	100	400	50	200

Vasstilførselen i forsøket svarar dermed til heilt ekstreme intensitetar, noko som truleg gjer forsøket urealistisk.

Det finst andre som har laga sørpe ved å enkelt blande snø opp i vatn (Raymond og Tusima, 1979; Kobayashi *et al.*, 1994), eller tilført vatn ved hjelp av ein brannslange for å auke vassinnhaldet (Jaedicke *et al.*, 2008). I studiane er ikkje denne måten å lage sørpe på evaluert. Men formålet i forsøka her var å studere *dynamikken og ikkje utløysing av sørpeskred*.

Ei anna *ulempe* med hurtig vasstilførsel, er den korte tida snøen er vassmetta i forhold til naturlege sørpeskredsituasjonar (nærare drøfta i kapittel 6.3.1, s.90). I tillegg ga utstyret relativt konsentrerte strålar, noko som danna tydelege forseinkingar og dreneringsfingre. Infiltrering ved dreneringsfingre kan gjere at ein stor del av volumet til snøen står igjen som tørr/mindre våt (Kattelmann, 1987a; Conway og Benedict, 1994; Waldner *et al.*, 2004). Den smelteomvandla snøen og firnsnøen testa med denne metoden, trong eit vassnivå på 80-90 % av snødjupna for å kollapse. Det er difor uvisst om dreneringstypen var vesentleg i denne snøtypen.

Hurtig vasstilførsel ovanfrå og nedanfrå: Ovanfrå er den som liknar mest på nedbør og er mest relevant for problemstillinga i dette studiet. Nedanfrå liknar meir på vassmetting i snø som ligg til dømes i elveleie.

Bakgrunnen for hurtig vasstilførsel i dette studiet var å observere korleis ein kollaps av snøblokka såg ut, fordi dei første feltforsøka ikkje gav slike utfall. Fordelen med metoden er at ein kan gjennomføre *langt fleire forsøk, på same snøtype*. Snøen er veldig nærme smeltepunktet sitt, og dermed vil berre små endringar i trykk og temperatur kunne medføre at snøen endrar seg hurtig (Ito *et al.*, 2012). Dermed vil snøen kunne endre seg mykje berre i løpet av ein dag. Slike forsøk gir eit større datagrunnlag, og dessutan ei betre utnytting av for- og etterarbeid i samband med forsøka. Ein må vel og merke vere merksam på den romlege variasjonen til snøen, samt på dagar med store døgnlege vêrvariasjonar.

Fordelar:

- Bruk av disdrometer var ikkje naudsynt, noko som *forenkla transport og prosessen med å rigge opp* utstyr.
- Resultata kunne brukast til å *finne indikasjonar* på kor mykje vatn som skal til for å få kollaps. Informasjonen kunne dermed brukast til å planlegge forsøka med langsam vasstilførsle, og teste om indikasjonane stemte.
- Eventuelle små lekkasjar i boksen hadde mindre å seie enn for den langsame metoden.

6.3.3 Vurdering av sørpeutvikling i boksen

Målsetjing for metodeutviklinga var å undersøkje naudsynt vassmengd for å danne sørpe i ulike snøtypar. Vurdering av *kritisk vassmengd* var ved observasjon av korleis snøen oppførte seg når snøblokka vart frigjort, ved å opne fronten på boksen.

U.S.-Geological-survey (1992), Turnbull *et al.* (2014) og Eu *et al.* (2017) har teke i bruk liknande teknikkar, men for å undersøke jord- og flaumskred. Dei brukte smale ramper på 2-95 m. Øvst i rampene var der eit lukka kammer der jorda vert tilført/blanda med vatn. Volumet til kammeret/jordmassane er mellom $0,0128 \text{ m}^3$ og 20 m^3 . Når blandinga var klar, vart ein port opna og massane fekk fritt leie til å bevege seg nedover rampa.

Eit liknande oppsett, for studie av sørpe sin viskositet, vart brukt av Kobayashi *et al.* (1994). Her var rampa 90 cm lang, og volumet av kammeret var $0,018 \text{ m}^3$ (5 kg vatn og 1 kg snø). Jaedicke *et al.* (2008) brukte ei 30 m lang rampe, 10-15 m^3 snø, vassinnhald mellom 20 og

30 %. For å oppnå tilstrekkeleg vassnivå nytta ein simulert tetting og før snøen frigjort. Dette liknar også litt på metoden som er utvikla her i oppgåva.

I alle forsøka frå litteraturen nemnt ovanfor er formålet å studere dynamikk og krefter, og utløysingsmekanismar verkar ikkje å hatt ha fokus. I jord-/flaumskredforsøka synast blandingsforholdet mellom lausmassar og vatn å vere kjend. I snøforsøka er vassinnhaldet så høgt at sørpa er fullt utvikla idet snøen vert frigjort. Metoden i denne studia skil seg mellom anna frå dei nemnde forsøka over ved at målsetjinga er å finne grenseverdiane i «blandingsforholdet» som skal til for at sørpeskred løysast ut.

Ei *feilkjelde* med å sperre inne snøen, til ein *trur* vassnivåeter høgt nok, kan vere hindring av mekanismar som skjer i augneblinken sørpeskred løysast ut. Dersom til dømes teipen langs sidene av fronten til boksen vert skore opp for langsamt, kan noko av vatnet i snøen drenerast ut før snøen får fritt leie (figur 53). Kanskje vert snøblokka liggjande, sjølv om vassnivået i realiteten var høgt nok.



Figur 53. Ein bør unngå at for mykje vatn slepp ut før fronten leggast ned.

Ei usikkerheit med metoden er at vassnivået vart målt med tommestokk. Etersom vatnet trakk noko ujamt opp snøen var det vanskeleg å få større nøyaktigheit enn ± 2 cm.

Då Jaedicke *et al.* (2008) studerte sørpeskreddynamikk var vassinnhaldet estimert kring 20-30 vol.%. Det har ikkje blitt rekna på kva vassinnhaldet i sørpeboksen var ved kollaps i dette studiet. Særleg nedst var det truleg ein del meir enn 15 vol.%. Dette kunne vore interessant å sjå nærare på med bruk av digitale/automatiske målarar på fleire nivå i boksen. Kanskje ligg

nivået for utløysing over grensa for sørpe? Og eventuelt kor stor del av snøen må ha dette vassinnhaldet for utløysing?

6.4 Sørpeboks

6.4.1 Bakgrunn

Vassnivå over 6-10 vol. % vert hevda å vere øvre grense for kva naturleg snø kan halde på av vatn (Fierz og Föhn, 1994; Kattelmann og Dozier, 1999; Denoth, 1999; Techel og Pielmeier, 2011; NGI, 2017b). Dette betyr mellom anna at snøen er avhengig av impermeable forhold for at vassnivået skal kome over 15 vol.%, og bli sørpe (Colbeck, 1974). I samband med sørpeskred er slike forhold skildra som våte myrer, bart fjell under snøen eller tette skarelag av is («icy layer») inni snøen (Hestnes, 1985; Hestnes og Sandersen, 1987).

Feltforsøka i her illustrerte at slike naturleg impermeable underlag var vanskeleg å finne i eigna områder, til dømes:

- *Forsøk 10:* Tilstrekkeleg nysnø (>30 cm) var berre å finne over eldre snø, ikkje rett på bakken, grunna høgtliggjande snøgrense i førre snøfall. Skarelaget i toppen av det eldre snødekket vart, utan resultat, testa som impermeabelt underlag.

Kommentar: Det er muleg at skarelag er feil tolking av «icy layer», og at det faktisk meinast eit *heilt tett islag*. Skarelag må i så fall vere særleg tjukt/tett for å hindre vassgjennomstrøyming, sjølv om dette nødvendigvis ikkje er nok (Colbeck, 1991). Slike lag med tilstrekkeleg utstrekking er vanskeleg og tidkrevjande å finne.

- *Forsøk 13:* Gjort på snø som låg rett på eit vått jorde. I dette tilfellet var ikkje bakken våt nok, og vatnet vart drenert ned i jorda, og vassnivået i snøen bygde seg ikkje opp.

Både varigheita og intensiteten til vasstilførsel er avgjerande for om eit sørpeskred vert utløyst (Hestnes, 1998; Hestnes *et al.*, 1994). Det er muleg at forsøk med lenger varigheit og/eller høgare intensitet ville fylt porevolumet og gjort bakken impermeabel. Eventuelt at skarelaget/snøen eller bakken vart midlertidig impermeabel som følgje av at intensiteten til vasstilførselen overgjekk dreneringskapasiteten, såkalla Hortonsk overflateavrenning (Dingman, 2015). Alternativt ville bakken og snøen likevel ha hatt god nok dreneringskapasitet til å ta unna alt vatnet, trass lenger varigheit/høgare intensitet. Dette er vanskeleg å vite på

førehand då bakke og snø er forskjellig, både i impermeabilitet og vassinnhald, frå gong til gong.

Hestnes og Sandersen (1987), Hestnes (1998) og Lied og Kristensen (2003), til dømes, antydar at nysnø og kantkorna snø er relativt mottakelege for å bli sørpe. Desse snøtypane har, gjennom forsøka i oppgåva, vist tendens til å binde ein del vatn i porevolumet. Ut i frå erfaringane her må vassnivået likevel byggjast opp nedanfrå, for å oppnå kritisk vassinnhald, på grunn av stor drenering gjennom bakke og skarelag.

Oppsummert; Etter fleire forsøk, der ein ikkje lukkast med å bygge opp vassnivået, vart det klart at å finne naturleg impermeable underlag ville bli ei omfattande oppgåve. Særleg med tanke på fleire praktiske forhold, som også måtte ligge til rette (kapittel 4.2, s.52). Såleis vart sørpeboksen ein måte å simulere impermeable forhold, og dermed gjere planlegging og utføring av feltarbeid meir forutsigbart, enklare og mindre tidkrevjande.

6.4.2 Fordelar med sørpeboksen

- Enklare å reprodusere forsøka og dessutan samanlikne ulike snøtypar ettersom det er likt snøvolum og underlag ved kvart forsøk
- Det er hensiktsmessig at forsøka gir resultat, og å få utnytte den tida feltarbeidet faktisk tek, med planlegging, gjennomføring og etterarbeid.
- Kvart forsøk vil bidra med resultat og gi eit betre grunnlag for å trekke slutningar.
- Val av feltlokalitet vart enklare ettersom ein:
 - o kunne bruke den delen av snøpakken ein var interessert i, uavhengig av resterande snødekke.
 - o var uavhengig av å finne naturleg impermeabelt underlag/forseinkingar i terrenget.

6.4.3 Ulemper og feilkjelder med sørpeboksen

Sørpekassa var relativt stor og medførte ekstra utstyr i felt. Variantar av boksen, med ulike fordelar og ulemper vart testa: Ei samanleggbar boks var vanskeleg å få 100 % tett, medan ei permanent 100 % tett, boks ikkje kunne leggest saman. Løysinga vart ei boks med fire permanent faste plater og ei side som var «hengsla» til botnplata (figur 28, s.49).

Det er nokre forhold som kan skape *feilkjelder* med sørpeboksen:

Unaturleg miljø

Pleksiglasboksen var eit *unaturleg miljø* for snøen, der den vart isolert frå omkringliggjande snø. Eksponering for fri luft (innstråling) kan og auke smelting frå høg temperatur og/eller stråling, og kan gi feilkjelder då energibalansen ikkje er medrekna. For å minimere varmeutvekslinga med omgjevnadane vart boksen, så langt det gjekk an, plassert inni snødekket slik at sidene og botnen var dekkja med snø. Fronten var oftast eksponert for fri luft, men kunne også dekkast til med snø.

Andre som har gjort forsøk med snø i ulike behaldarar har brukt is/isvatn (Raymond og Tusima, 1979; Brun, 1989), styrenplast/styrofoam (Waldner *et al.*, 2004; Ito *et al.*, 2012; Avanzi *et al.*, 2017) eller hatt kjølelaboratorium med konstant temperatur (Raymond og Tusima, 1979; Waldner *et al.*, 2004; Avanzi *et al.*, 2017), for å gjere omgjevnadane mest muleg naturlege.

Storleik

Sørpeboksen avgrensar ei snøblokk som har eit lite volum i forhold til naturlege sørpeskred, maksimalt $0,125 \text{ m}^3$ ($125\,000 \text{ cm}^3$). Muleg kan storleiken påverke vassmengda som skal til for å få snøen til å kollapse. Sørpeskred kan vel og merke ha utløysingsområde i eitt punkt (Hestnes *et al.*, 1994), men i ein naturleg situasjon vil sannsynleg meir snø vere involvert. Kanskje vil då ein mindre prosentdel vassmetta snø vere naudsynt for utløysing enn kva som er funne i feltforsøka, då snøen i større grad kan drage med seg anna snø.

Bruk av boksar laga i pleksiglas/akryl for å isolere snø har blitt brukt i fleire forsøk med snø og vatn. Pleksiglas/akryl som material er ikkje drøfta i studiane nemnt over. Boksane varierer i storleik og formålet er ulikt (tabell 18):

Tabell 18 Andre forsøk som nytta boksar av akryl/pleksiglas til snøforsøk. Sørpeboksen er 125 000 cm³.

<i>Forfattar</i>	<i>Formål</i>	<i>Boks /snøprøvestorleik</i>
Raymond og Tusima (1979)	Metamorfose i vassmetta snø over tid.	1000 cm ³ / 3600 cm ³
Waldner <i>et al.</i> (2004)	Bevegelse av vatn gjennom snø.	32 cm x 25 cm x 30 cm (24 000 cm ³)
Walter <i>et al.</i> (2013)	“	5 cm x 5 cm x 10 cm (250 cm ³)
Brun (1989)	Metamorfose i snø med ulikt LWC.	25 cm x 25 cm x 15 cm (9375 cm ³)
Ito <i>et al.</i> (2012)	Svekking av snø med auka vassinnhald.	30 cm x 500 cm x 300 cm (4 500 000 cm ³)
Avanzi <i>et al.</i> (2017)	Dynamikken til smeltemetamorfose.	50 cm x 50 cm x 30 cm (75 000 cm ³)*
Schneebeli (1995)	Vasstransport i lagdelt snø.	600 cm x 60 cm x snødjupne
Jaedicke <i>et al.</i> (2008)	Dynamikken til sørpeskred.	3000 cm x 250 cm (Snømengd: 10-15 m ³)*
Juras <i>et al.</i> (2017) brukte ethafoam til å isolere natursnø.	Vatn si rørsle gjennom snøen ved RPS-hendingar	100 cm x 100 cm x 100 cm (1 000 000 cm ³)

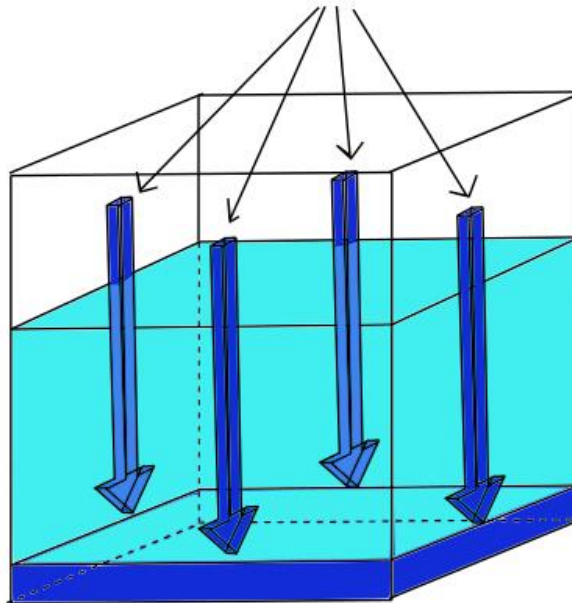
*Snøprøven er omtala som noko liten for formålet med forsøka. Elles var ikkje storleiken til snøprøvane/boksane i dei andre forsøka kommentert.

På bakgrunn av dette er storleiken til sørpeboksen kanskje stor nok for å studere utvikling av sørpesnø. Det er også meir praktisk med ei lita boks i felt, enn ei større. Spesielt med tanke på mobilitet ved at feltlaboratoriet enkelt kan flyttast til eigna områder.

Kanteffektar

Noko vatn som treff innsidene på pleksiglasplatene, vil renne langs veggane (figur 54). Resultatet kan bli unaturleg stor og hurtig vasstilførsel til botnen av snødekket, og at vassnivået bygg seg opp med mindre vasstilførsel enn ved naturleg tilførsel. Noko vatn vil også treffe utsidene av boksen og renne ned der, og føre til mindre vasstilførsel enn naturleg.

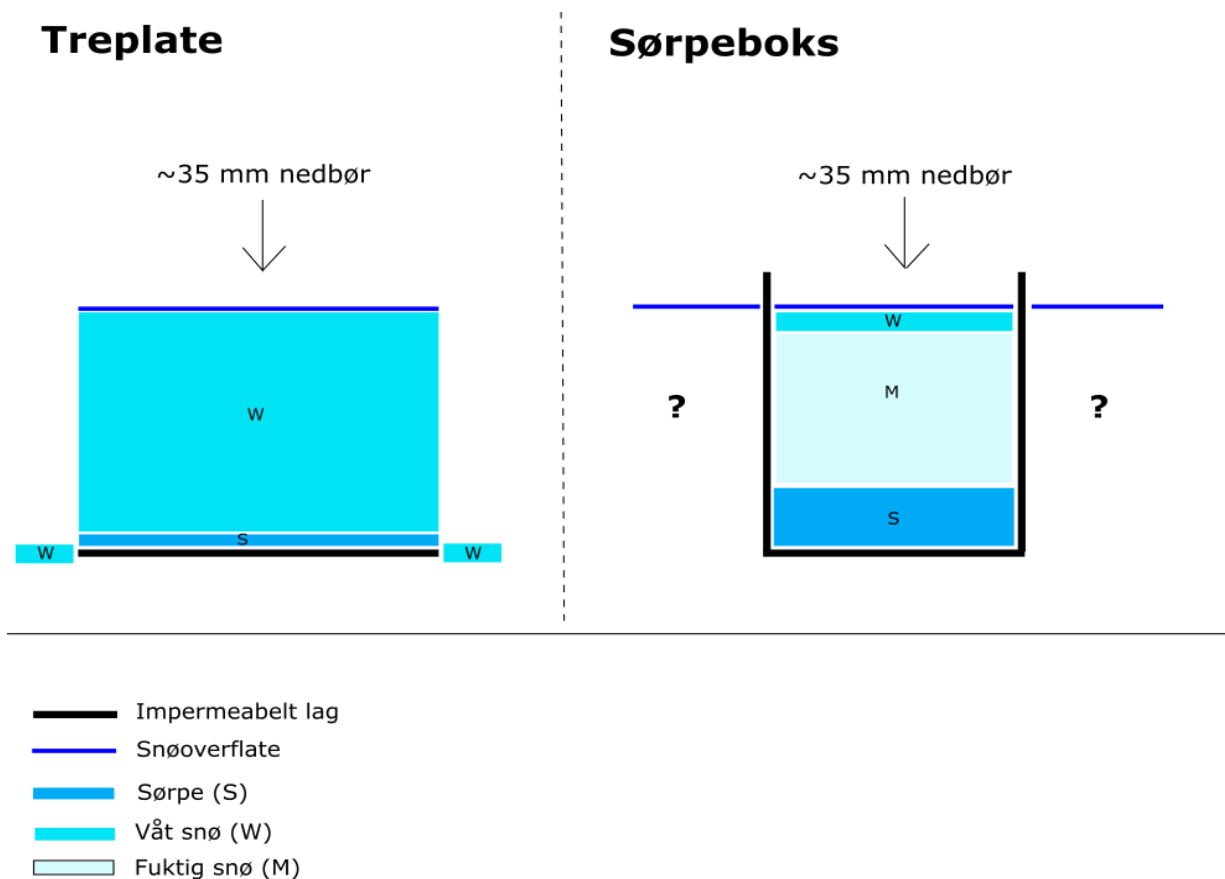
Drenering av vatn langs kantane



Figur 54. Drenering av vatn langs sidene i sørpeboksen kan gi unaturleg høg vasstilførsle til botnen av snøblokka..

I forsøk 14 vart sørpeboksen, som hindrar vatn å strøyme både vertikalt og horisontalt frå snøblokka, samanlikna med ei treplate plassert nede snøen, som berre hindra vasstransport vertikalt. Figur 55 viser korleis fuktigheita fordelte seg i dei to tilfella, med like mykje vatn tilført med likt utstyr på same tid.

Snøen er generelt våtare over treplata, men med mindre lag av sørpe nærast botn. I sørpeboksen er det derimot eit tjukkare lag av sørpe nedst, medan snøen over stort sett berre er fuktig. Det er uvisst kva dette kjem av, og om dette er eit eingongstilfelle eller ein tendens. Men det kan vere knytt til kanteffektar.



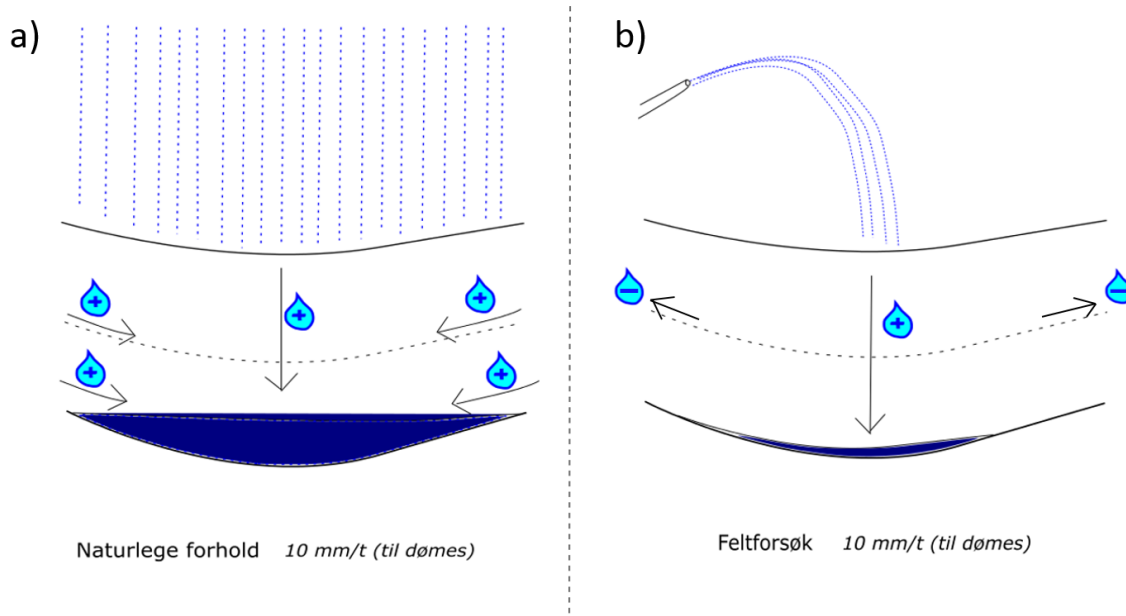
Figur 55 Fordeling av fuktigheita i (ny)snø over treplate og i sørpeboks. Lik vasstilførselen i begge tilfella.

Effekt av omkringliggande snø

Under ein naturleg nedbørssituasjon vil ei forseinking i terrenget få tilført vatn frå omkringliggjande snø figur 56a. Årsaka til lateral transport av vatn kan både vere tettare lag (under eller i snøen), skilnad i hydraulisk konduktivitet mellom lag eller kapillære barriere (Waldner et al., 2004; Peitzsch, 2009). Dalbotnar er ofte utløysingsområder for sørpeskred som følgje av dette (Gude og Scherer, 1998). Dette kom også fram i dette arbeidet, til dømes forsøk 8 viste at lateral transport av vatn kan tidvis vere stor, trass lita helling og i tilsynelatande homogen snø. Tilsvarande observasjonar er også gjort av mellom anna Kattelmann (1984).

I ein forsøkssituasjon med sørpeboks vil denne vasstilførsla frå sidene mangle (figur 56b), og kan gi behov for meir vatn enn naturleg for å bygge opp vassnivået. Storleiken til denne effekten vil mellom anna vere avhengig av eigenskapane til «nedslagsfeltet» som utløysingspunktet har, og er vanskeleg å kvantifisere. Desse eigenskapane kan omfatte til dømes storleik, grad av lateral vasstransport, terrengform.

I forsøka vil også omkringliggjande tørr(are) snø kunne suge vatn frå forsøksområde (figur 56b). Det er likevel usikkert kor stor denne effekten er i forhold til gravitasjonen, særleg ettersom vatnet tilførast over relativ kort tid.



Figur 56. Skilnad i vassstilførsel mellom naturlege forhold (a) og feltforsøk, der berre utløysingspunktet vert bløyta. (b)

Det er likevel to argument for å anta ein nullsituasjon i boksen:

1. Sjølv om verken kanteffektar eller effekt av omkringliggjande snø er kvantifisert, kan ein forenkla tenke seg at effektane opphevar kvarandre til ei viss grad.
2. Ved sørpeskred utløyst i hellande fjellsider, vil utløysingspunktet få vatn frå snødekket lenger oppe, men samstundes vil noko vatn renne ut til snødekket nedanfor.

Påverknad av snøen sin tekstur/struktur

Både å dytte boksen inn i snøen og å flytte snø inn i boksen med spade, representere ei feilkjelde sjølv om operasjonane vart utført varsamt. Teksturen og strukturen i snøen vart likevel i ulik grad påverka i forhold til snødekkeundersøkingane gjennomført på urørt snø.

Det finst andre døme på at snø er henta frå felt eller laga kunstig og deretter plassert i boksar (Brun, 1989; Avanzi *et al.*, 2017). Korleis dette påverka resultatata har dei ikkje.

Ved å ta tettleiksmålingar av snøen *etter* den var plassert i boksen, hadde ei viss oversikt over snøen som vart testa, sjølv om dette også forstyrra snøen noko.

Underlag

Friksjonen mellom skumplasten i botnen av boksen og sørpa vart ikkje testa og samanlikna med naturlege forhold, men i naturlege sørpeskred har truleg friksjonen til bakken lite å seie. Då Jaedicke *et al.* (2008) studerte sørpeskreddynamikk i ei rampe (oppheveleg for snøskredforskning) var botnen dekkja med gummi for å auke friksjon.

Anna

Det kan også vere andre effektar av at snøen er innestengt på denne måten som ikkje er oppdaga til no, men kjem fram dersom metoden vert testa ut meir.

Sjølv om det er fleire ulemper og feilkjelder med sørpeboksen, kan den venteleg nyttast til å undersøkje mulege *relative*, om ikkje absolutte skilnadar i sørpeutvikling mellom ulike snøtypar. Dette gjeld særleg dersom snøtypane i utgangspunktet har tydeleg skilnad i tekstur og struktur.

6.5 Del 2: Forsøk med feltlab

6.5.1 Helling av sørpeboks

I forsøka var boksen var tilta slik at botnen hadde 0°, 5°, 10° og 15° helling. Til samanlikning brukte Kobayashi *et al.* (1994) hellingane 3°, 5° og 10°. Rampa i forsøket til Jaedicke *et al.* (2008) hadde ei helling på 32°, noko som er kommentert å vere høgt i samband med sørpeskred. Litteraturen skildrar utløysingsområder for sørpeskred alt mellom 2-25°, med den vanlegaste rundt 15° (Hestnes, 1985; Onesti, 1985; NVE, u.å.).

6.5.2 Samanlikning av ulike resultat

Det er nokre faktorar som kompliserer samanlikning av resultat frå dei ulike forsøka:

- Det uvisst om storleiken til sørpeboksen påverkar vassmengda som skal til for kollaps. Dermed vert overføringsverdien av omrekninga frå liter per 0,25 m² til mm per m², usikker. I tillegg kjem avvika mellom faktiske målingar av vassnivået i boksen, og disdrometeret sine målingar.
- Hurtig vasstilførsel var meint å gi indikasjonar på vassmengder som er naudsynt for utløysing. Desse skulle fungere som utgangspunkt for forsøk med langsam vasstilførsel. Ettersom ein ikkje oppnådde kollaps med langsam vasstilførsel (for kort tid/lite vasstilførsel), vart det ikkje høve til å samanlikne resultatata mellom dei to metodane. Det er difor uvisst om resultatata frå desse forsøka er overførbare, særleg av årsaker drøfta i kapittel 6.3.1 (s.90).

- Ved vasstilførsel nedanfrå vart ikkje snøen over den vassmetta delen våt, i motsetning til tilførsel ovanfrå. Dette kan gi utslag i naudsynt vassmengd før kollaps. Det vart ikkje gjort inngåande testar på korleis vasstilførsel metodane stemte overeins.

Som eit supplement til samanlikningane kan målingane av vasshøgda, gjort med tommestokk, brukast.

Det manglar altså *samanlikningstestar* av dei ulike variantane av metoden. Snøtypen som vart testa trong vassnivå mellom 80-100 % av snødjupna (framme) for å kollapse. Kanskje spelte ikkje variasjonane ei stor rolla – for denne snøtypen. Ved vidare bruk av metoden bør ein difor helst halde seg til éin metode, før eventuelle samanlikningar gjerast.

6.5.3 Drøfting resultat

Snøen som vart nytta var smelteomvandla fokksnø, forsøk 17 og 18, ($0,530 \text{ g/cm}^3$ og $0,570 \text{ g/cm}^3$) og firn, forsøk 19, ($0,498 \text{ g/cm}^3$). I alle tilfella var snødjupna 30 cm. Fokksnøen var fuktig til våt, medan firnen var våt. Hovudtrekka var at jo større helling boksen hadde, jo mindre vatn var naudsynt for kollaps grunna større drivande krefter. Ved 0° helling måtte snøen flyte på 15 cm med vatn før den kollaps (tabell 19).

Tabell 19 Resultat frå forsøk 17, 18 og 19. Vasshøgde og liter vatn som skulle til for kollaps i snøen. (V_f =vassnivå målt framme i boksen, V_m =vassnivå målt på midten, V_b =vassnivå målt bak i boksen).

Forsøk (#)	Vasshøgde (cm) (% av snødjupne)			Differanse mellom V_f og V_b (cm)	Vatn (l)		Tettleik (g/cm ³)
	V_f	V_m	V_b		l/¼ m ²	mm/m ²	
<i>5° helling</i>							
18 Strynefjellet	29 (98)	28 (93)	26 (87)	3	42	168	0,570
19 Storesætra	29 (98)	27 (90)	26 (87)	3	44	176	0,498
<i>10° helling</i>							
17 Strynefjellet	28 (93)	26 (87)	18,5 (92)	9,5	35	140	0,530
19 Storesætra	29 (98)	26 (87)	22 (73)	7	40	160	0,498
<i>15° helling</i>							
17 Strynefjellet	24 (80)	17 (57)	10,5 (35)	13,5	25	100	0,530
19 Storesætra	26 (87)	20 (67)	15 (50)	11	35 + ~5	140	0,498

Fokksnøen trong generelt mindre vatn før utløysing, enn firnen. I tillegg såg det ut til at fokksnøen hadde noko større skilnad i vasshøgde framme og bak, altså ein «brattare» gradient på vassnivået ved kollaps, i forhold til firnen. Trass få målingar, stemmer dette med studiar som hevdar at gradienten til vassnivået i snøen er viktig for utløysing av sørpeskred, sjå kapittel 2.8, s. 34 (Gude og Scherer, 1995, 1998).

Firnen hadde noko mindre tettleik og var våtare enn den smelteomvandla fokksnøen. Firn skal eigentleg ha ein høgare tettleik enn den smelteomvandla snøen har (Paterson, 1972; Støyva, 1974). Snøen var også fastare å trø på, enn den meir rotne fokksnøen. Firnen hadde likevel mindre tettleik. Dette kan kome av at fuktigheit vurderast kvalitativt og vekta er sensitiv, slik at små skilnadar i desse målingane ikkje bør vektleggjast for tungt.

Foreløpig er resultatata frå dette studiet for mangelfulle for å samanlikne med eksisterande litteratur som omtalar ulik snø i forhold til sørpeskred, til dømes Hestnes *et al.* (1994), Gude og Scherer (1998) og Hestnes (1998). Men dei store vassmengdene som skulle til for utløysing,

ved 0° helling var det nærast umogleg å få snøen til å kollapse, samsvarar med Statens-Vegvesen (2014a) sine erfaringar om at sørpeskred helst går i snø som ikkje har vore gjennom smelteprosessar.

Resultata peikar mot at snøen treng *mykje meir vasstilførsel enn like mange mm vatn som cm snø*, i alle fall ved bruk av *denne metoden på denne snøtypen*. Mellom 80-100 % av snødjupne. Det stemmer overeins med skjønsmessige vurderingar frå jordskredvarslinga, at denne snøtypen (smelteomvandla snø og firn) er mindre utsett for danning av sørpeskred, sjå også vedlegg F (pers. kom. Sund, 2018a). Tatt i betraktning at sørpeskred kan gå i alle typar snø (Hestnes *et al.*, 1987), kan det verke som kritisk vasstilførsel har dels store variasjonar. Dette er også omtala av Hestnes og Bakkehøi (2004); kritisk vassnivå er avhengig av snøen sin tekstur og struktur, saman med intensiteten til vasstilførselen. Desse variasjonane kan gjere den erfaringsbaserte vurderinga av snøtypar i varslinga endå vanskelegare. Det heile vert også endå meir komplisert når ulike *kombinasjonar* av snøtypar også vil reagere ulikt. Jordskredvarslinga si vurdering av sørpeskredfare kan difor truleg ha ein nytte av å verte utvida med meir kunnskap om snødekket, samt å få utvikla eigne terskelverdiar for ulike snøtypar.

Det har ikkje vore tilstrekkeleg resultat for å trekke slutningar om ulike dreneringstypar, matriksstrøyming og dreneringsfingre (til dømes Waldner *et al.*, 2004), har relevans for sørpeutviklinga. Men i og med at snøpakka måtte vassmettast i full djupn før utløysing, kan det tenkast at infiltrasjonsmønsteret hadde mindre å seie i denne snøtypen. Dersom vassnivået uansett må byggast opp nedanfrå, vil dreneringsfingre gjere at oppbygginga går fortare.

6.6 Vasstilførsel: Intensitet, varigheit og mengd

For å få mest muleg realistisk utvikling av sørpe i snøen, vart analyser av vêrdata i samband med nokre sørpeskredhendingar brukt som utgangspunkt for å velje kva intensitet og vassmengd som skulle brukast, samt varigheita av forsøka (mellom anna Hestnes og Sandersen, 1987; Hansen, 2016; Colleuille *et al.*, 2017; xgeo.no, 2018).

I tabell 20 under er intensitet, varigheit og vassmengd henta frå litteratur, samt kva som vart nytta i feltforsøka i dette studiet.

Tabell 20 Oversikt intensitet, varigheit og total vassmengd henta frå litteratur og kva som vart nytta i feltforsøk.

	<i>Intensitet</i>	<i>Vassmengd totalt</i>	<i>Varigheit</i>
<i>Litteratur</i>	3-11 mm/t	Like mange mm vatn som cm snø. (Med atterhald om snøtypen).	6 timar til 15 dagar.
<i>Målt korttidsnedbør Vestlandet</i>	41,9 mm på éin time		
<i>Feltforsøk langsam</i>	10-20 mm/t per m ² (svarar til 10-20 liter/t per m ²)	100-176 mm per 30 cm snø før kollaps av snøen.	Maksimalt 8 t
<i>Feltforsøk hurtig</i>	30-40 liter/t per 0,25 m ² (svarar til 120-160 liter/t per m ²)		

Det vart altså nytta ein *høgare intensitet* og *kortare varigheit* i forsøka, enn kva som vart funne i litteraturen. Dette var på grunn av utstyret sine avgrensingar samt kva som var praktisk muleg å få til i felt.

Det var naudsynt med mykje meir vatn, for å gjere det smeltepåverka snødekket ustabil ved bruk av sørpeboksen, enn dei terskelverdiane som er utgangspunktet for jordskredvarslinga når dei vurderer sørpeskredfare (like mange mm vatn som cm snø). Dette illustrerer viktigheita til vurdering av snøtypen. Naudsynt vassmengd er vist meir grundig i resultatdelen (kapittel 5.3.1, s.77) og drøfta nærare i kapittel 6.5.3, s.104.

I litteraturen er det vel og merke ofte nytta målingar frå vêrstasjonar som ikkje ligg i sjølve utløysingsområdet, slik at vêrsituasjonen ikkje kan målast direkte. Dette kan gjere terskelverdiane i studia usikre.

7 Konklusjon

7.1 Problemstillinga sine tre formål

I oppgåva er det utvikla eit forsøksdesign, med metode og utstyr for å gjere feltforsøk med snø og vatn, der formålet var å studere tilstrekkelege vassmengder, altså terskelverdiar, for utløysing av sørpeskred. Forsøksdesignet, metoden og utstyret er prega av kompromiss mellom kva som er praktisk muleg å få til i tilrettelagte feltforsøk og kva som er likt naturlege prosessar.

I grove trekk går metoden ut på isolere ei snøblokk i ei boks av pleksiglas. Denne boksen garanterer oppbygging av vassnivået i snøen fordi den er tett. Dette var det naudsynt å simulere ettersom impermeable forhold i naturen kan vere vanskeleg og tidkrevjande å finne. Ein eigna feltlokalitet må også oppfylgje fleire kriterium, som tilgang på vatn, ynskt snøtype i tilstrekkeleg mengd og avstand til bilveg. Vatn vert tilført kunstig på to måtar, langsamt og hurtig, til vassnivået *er vurdert*, å vere høgt nok. Resultatet av testen avgjerast av korleis snøen oppfører seg når den vert frigjort, ved å opne fronten på boksen. Målet med testane er å finne ein terskelverdi for kor mykje vatn som skal til før snøen *kollapsar*, det vil seie at den rasar ut av boksen og bryt opp i mindre bitar. Alternativet er at snøblokka anten vert liggande i boksen, eller sklir ut som éi samla blokk.

- a. *Langsam vasstilførsel* med trykksprøyte frå Gardena. Denne metoden er truleg mest lik naturen, med låg intensitet (10-20 mm/t) over lengre tid (≤ 8 timar). Ulempa med denne vasstilførselen, er at ein berre får eitt forsøk på å frigjere snøblokka i løpet av éin dag, på grunn av den enkle opnemekanismen til boksen.
- b. *Hurtig vasstilførsel* med trakt, hageslange og munnstykke. Med høg intensitet (100-200 mm per 20-40 min) vert forsøka raskt gjennomført, og ein får gjennomført mange forsøk på same dag. Dette utnyttar for- og etterarbeid betre, og ein får dessutan fleire testar på same snø. Ulempa er ulikskap til naturlege situasjonar.

Det er uvisst om metoden i oppgåva kan bidra til å auke forståinga av utløysing av sørpeskred. Dette skuldast at konsekvensane av usikkerheitene som fyl med metoden, ikkje er fullstendig forstått. Metoden og utstyret liknar på andre forsøk som har studert snø og vatn, men der formålet har vore eit anna enn i denne studien. Metoden treng meir testing, særleg på snøtypar som nysnø og fokksnø, for å finne ut om den eignar seg til å undersøkje *relative skilnadar*, i naudsynt vassmengd, for ulike snøtypar.

Hurtig vasstilførsel vart brukt til testar seint i snøsesongen med variantar av smelteomvandla, våt snø. Resultata frå desse testane viste at denne snøtypen trong meir vatn for å bli ustabil sørpe enn estimata som jordskredvarslinga har brukt, altså 1 mm vasstilførsel per 1 cm snø (med atterhald om snøtype). Det vart observert at kritisk vasstilførsel i snøblokka i sørpeboksen var opp mot 170-180 mm per 30 cm snø, med vassnivå på 80-100 % av snødjupn. Dette stemmer likevel overeins med erfaringane til både jordskredvarslinga og Statens-Vegvesen (2014a), at snø som har vore gjennom smelteprosessar er mindre utsett for å danne sørpeskred. Resultata kan vel og merke ha blitt noko påverka av den korte tida snøen var vassmetta.

Sørpeskred er observert i alle typar snø. Når i tillegg resultata frå studiet avviker såpass mykje frå estimata jordskredvarslinga brukar for forventta utløysing av sørpeskred, indikerer dette ein stor variasjon i kritisk vassmengd for ulike snøtypar. Om metoden er representativ fell dette saman med andre studiar; at inngåande kunnskap om snødekket er naudsynt for å vurdere sørpeskredfare. Utarbeiding av eigne terskelverdiar for ulike snøtypar kan bli eit nyttig tilskot til vurderingane jordskredvarslinga gjer av sørpeskredfare i dag.

Andre observasjonar i samband med feltforsøk undervegs i metodeutviklinga, støttar opp under resultat frå den siterte kjeldelitteraturen;

- nysnø/kantkorna snø har stor evne til å binde vatn.
- lag inne i snødekket kan i stor grad påverke infiltrasjonen til vatn, men samstundes må laget ha spesielle eigenskapar for å kunne byggje opp vassnivået. I alle fall i så stor grad at det utgjer fare for tilstrekkeleg sørpeutvikling.

7.2 Samanfattande konklusjon

Store skilnadar mellom kritisk vasstilførsel observert for snøtypen testa i dette studiet, og kritisk vasstilførsel som vert brukt i varslingssamanheng, medfører at utvikling av eigne, meir presise terskelverdiar for utløysing for eigne snøtypar vil vere nyttig for vurdering av sørpeskredfare. Forsøksdesignet, metoden og utstyret utvikla i dette studiet kan brukast som utgangspunkt for vidare feltforsøk med formål å studere ulike snøtypar si betydning for utløysing av sørpeskred.

Feltforsøk, av typen gjort i dette studiet, representerer lokale forhold. Jordskredvarslinga utarbeidar regionale varsel, noko som betyr at forholda skal vere over ein grenseverdi i eit *større område* (pers. kom. Sund, 2018a). Så sjølv om varslinga er basert på lokale studiar, må ein likevel knyte kunnskapen frå studiane saman med regional erfaring i samband med varslinga.

8 Vidare arbeid

8.1 Metode

Gjere testar for å samanlikne dei ulike variantane i metoden:

- Langsam og hurtig vasstilførsel
- Vasstilførsel ovan- og nedanfrå.

Gjere testar med utstyret på ulike snøtypar. Først då vil ein oppdage om metoden kan finne relative, og kanskje etter kvart absolutte, skilnadar mellom ulike snøtypar.

8.2 Utstyr

Sørpeboksen:

- System for å samle og måle opp vatn som renn ut av snøen, dersom det ikkje vert kollaps ved frigjering av snøen. Kunne då fortsette forsøket med same utgangspunkt, som før ein opna fronten, når tilsvarende vassmengd som rann ut igjen var tilført snøen.
- Endre opne-/lukkemekanismen på boksen, slik at den enklare kan både opnast og lukkast igjen.
- Om og eventuelt korleis sørpeboksen påverkar dreneringa i snøen bør studerast nærare.

Andre supplement:

- Automatisk pumpe frå elv/vatn.
- Kople denne pumpa til systemet med hageslange og Solodyse, eventuelt også Gardenadyse. Dette ville forenkle arbeidet slik at forsøka kan utførast av éin person, og dessutan enklare gjere forsøk med lenger varigheit
- Undersøke om det finst instrument digitale/automatiske LWC-målingar til fleire nivå i boksen.

Disdrometer:

- Større utval i målingar av naturleg nedbør, med ulike intensitetar og nedbørstypar, for å betre kunne samanlikne vasstilførselen i forsøka. Særleg Gardena trykksprøyte, med sine elles gode eigenskapar for feltbruk.
- Fleire testar for å talfeste, eventuelt å forklare, avvika mellom disdrometer-målingar og faktiske målingar av vassnivået i sørpeboksen.

8.3 Vidare testar med snø

- Teste tørrare (lågare LWC vol.%) og meir porøse snøtypar enn det som er testa i dette studiet. Vil slik snø trenge lågare vassnivå for kollaps, ettersom den kan binde meir vatn?
- Fleire ulike oppsett, som varierer snøtype (tettleik, fritt vassinnhald, temperatur, osv.), ulike intensitetar, vassmengder og varigheit.
- Forsøk med tidvise opphald i vasstilførsel for å studere korleis tida, i forhold til smeltemetamorfose, verkar inn på resultatet.
- Sjå nærare på eventuelle koplingar mellom gradienten til vassnivået, mengd tilført vatn og kollaps.
- Teste korleis intensitet påverkar dreneringskapasiteten til ulik snø/skare/bakke. Kan tilstrekkeleg intensitet skape midlertidige impermeable forhold (Hortonsk overflateavrenning).

Ved slike forsøksrekker bør berre *ein* metode bli brukt, då overføringsverdien mellom hurtig og langsam vasstilførsel er usikker.

9 Kjelder

- Agarwal, T., Khare, P. og Ghosh, S. (2012) How Custom-Built Rain Simulators Counter the Effect of Failed Monsoons: An Agricultural and Hydrological Study, *OIDA International Journal of Sustainable Development*, s. 35-42.
- avanet.com (2018). Tilgjengeleg frå: <https://avanet.avatech.com> (Henta: 02.02 2018).
- Avanzi, F., Petrucci, G., Matzl, M., Schneebeli, M. og Michele, C. D. (2017) Early formation of preferential flow in a homogeneous snowpack observed by micro-CT, *Water Resources Reserach*, s. 3713-3729.
- Bartelt, P. og Lehning, M. (2002) A physical SNOWPACK model for the Swiss avalanche warning: Part I: numerical model, *Cold Regions Science and Technology*, 35(3), s. 123-145. doi: [https://doi.org/10.1016/S0165-232X\(02\)00074-5](https://doi.org/10.1016/S0165-232X(02)00074-5).
- Beldring, S., Engeland, K., Roald, L., Sælthun, N. og Voksø, A. (2003) *Estimation of parameters in a distributed precipitation-runoff model for Norway*.
- Bjørlien, J. E. (2017) Skredhendelser i Odda og Ullensvang 23. november 2017: Statens Vegvesen. Tilgjengeleg frå: http://www.kvam.no/odda/seminar2017/29_3_SVV_Skred_23nov.pdf.
- Boje, S., Colleuille, H. og Devoli, G. (2014) *Terskelstudier for utløsning av jordskred i Norge*. (NIFS (Naturfare Infrastruktur Flom Skred)). Oslo, Norway: NVE(Henta: 25.01.18).
- Boje, S. (2017) Hydrometeorologiske terskler for jordskredfare på Sørlandet og Østlandet (b. 64). Oslo, Norway: NVE.
- Bruland, O. (2002) *Dynamics of the seasonal snowcover in the Arctic*, Norwegian University of Science and Technology.
- Brun, E. og Rey, L. (1987) Field study on snow mechanical properties with special regard to liquid water content, *IAHS*, 162.
- Brun, E. (1989) Investigation on wet-snow metamorphism in respect of liquid-water content, *Annals of Glaciology*, 13.
- Cao, Y. og Yin, K. (2015) The Artificial Dropping Experiment about the Mechanism Reach of Loess Landslides induced by Rain or Irrigation, *EJGE*, 20(7).
- Colbeck, S. C. (1974) Grain and bond growth in wet snow, *International Association of Hydrological Sciences*, Publication nr. 114.
- Colbeck, S. C. (1975) A Theory for Water Flow Through a Layered Snowpack, *Water Resources Reserach*, 11(2), s. 261-266.
- Colbeck, S. C. (1976) An Analysis of Water Flow in Dry Snow, *Water Resources Reserach*, 12(3), s. 523-527.
- Colbeck, S. C. (1991) The layered character of snow covers, *Reviews of Geophysics*, 21, s. 81-96.
- Colleuille, H. og Engen, I. K. (2009) *Utredning om overvåking og varsling av løsmasse- og snøskredfare på regionalt nivå*. Oslo: NVE.
- Colleuille, H. et al. (2017) *Jordskredvarslingen*. NVE, Statens Vegvesen, Meteorologisk Institutt, Bane NOR.
- Conway, H. og Raymond, C. F. (1993) Snow stability during rain, *Journal of Glaciology*, 39(133), s. 635-642.
- Conway, H. og Benedict, R. (1994) Infiltration of water into snow, *Water Resources Reserach*, 30(3), s. 641-649.
- Decaulne, A. og Sæmundsson, T. (2006) Meteorological conditions during slushflow release and their geomorphological impact in Northwestern Iceland: A case study from the Bíldudalur Valley, *Geographical Annals*, 88, s. 187-197.

- Denoth, A. (1999) Wet snow pendular regime: the amount of water in ring-shaped configurations, *Cold Regions Science and Technology*, 30, s. 13-18.
- Dingman, S. L. (2015) *Physical Hydrology*. Long Grove, Illinois: Waveland Press, Inc.
- Eu, S., Im, S., Kim, D. og Chun, K. W. (2017) Flow and deposition characteristics of sediment mixture in debris flow flume experiments, *Forest science and technology*, 13(2), s. 61-65.
- Fierz, C. og Föhn, P. M. B. (1994) Long-term observation of the water content of an alpine snowpack, *Swiss Federal Institute for Snow and Avalanche Research*, s. 117-131.
- Fierz, C. et al. (2009) *The international classification for seasonal snow on the ground*. (IHP-VII Technical Documents in Hydrology). Paris: UNESCO.
- Førland, E., Mamen, J., Dyrdal, A. V., Grinde, L. og Myrabø, S. (2015) *Dimensjonerende korttidsnedbør*. (NIFS-Naturfare Infrastruktur Flom Skred): NVE, Jernbaneverket og Statens Vegvesen.
- Grønsten, H. A. (2017) E-post-korrespondanse, modellering av snøsmelting, 06.03.17.
- Gude, M. og Scherer, D. (1995) Snowmelt and slush torrents - preliminary report from a field campaign in Kärkevagge, Swedish Lapland, *Geografiska Annaler*, 77, s. 199-206.
- Gude, M. og Scherer, D. (1998) Snowmelt and slushflows: hydrological and hazard implications, *International Glaciological Society*, 26, s. 381-384.
- Gunn, R. og Kinzer, G. D. (1949) The terminal velocity of fall for water droplets in stagnant air, *Journal of Meteorology*, 6, s. 243-248.
- Hansen, R. C. (2016) *Utløsning av sørpeskred*, Universitetet i Oslo.
- Hestnes, E. (1985) A contribution to the prediction of slush avalanches, *Annals of Glaciology*, 6.
- Hestnes, E., Bakkehøi, S., Sandersen, F. og Andresen, L. (1987) *Meteorological significance to slushflow release*. Upublisert paper presentert på Symposium on Snow and Glacier Research. Lom, Norway.
- Hestnes, E. og Sandersen, F. (1987) Slushflow activity in the Rana district, North Norway, *IAHS*, (162), s. 317-330.
- Hestnes, E. og Onesti, L. J. (1989) Slush-flow questionnaire *Annals of Glaciology*, 13.
Tilgjengeleg frå: https://www.igsoc.org/annals/13/igs_annals_vol13_year1989_pg226-230.pdf.
- Hestnes, E., Bakkehøi, S., Sandersen, F. og Andresen, L. (1994) *Weather and snowpack conditions essential to slushflow release and downward propagation*. Oslo, Norway: NGI.
- Hestnes, E. (1996) *Observations on water level fluctuations in snow due to rain and snowmelt. An illustrated review of basic characteristics*. Oslo, Norway: NGI.
- Hestnes, E. og Bakkehøi, S. (1996) *Observation on water level fluctuations in snow due to rain and snowmelt*. (International conference "avalanches and related subjects"): NGI.
- 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.
- Hestnes, E. og Bakkehøi, S. (2004) Slushflow hazard prediction and warning, *Annals of Glaciology*, 38, s. 45-51.
- Hirashima, H., Yamaguchi, S. og Katsushima, T. (2014) A multi-dimensional water transport model to reproduce preferential flow in the snowpack, *Cold Regions Science and Technology*, 108, s. 80-90. doi: <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2014.09.004>.
- Hisdal, H. (2017) *Evaluering av snø- og jordskredvarslingen*. NVE.
- Hock, R. (2010) *Glacier meteorology - Energy balance*. Fairbanks: Geophysical Institute, University of Alaska. Tilgjengeleg frå: http://glaciers.gi.alaska.edu/sites/default/files/mccarthy/Notes_Energybal_Hock.pdf (Henta: 09.02.17).

- Ito, Y., Matsushita, H., Hirashima, H., Ito, Y. og Noro, T. (2012) Change in snow strength caused by rain, *Annals of Glaciology*, 53, s. 1-5.
- Iwata, Y., Hayashi, M., Suzuki, S., Hirota, T. og Hasegawa, S. (2010) Effects of snow cover on soil freezing, water movement, and snow melt infiltration: A paired plot experiment, *Water Resources Reserach*, 46. doi: 10.1029/2009WR008070.
- J. Kinar, N. og Pomeroy, J. (2015) *Measurement of the physical properties of the snowpack*.
- Jaedicke, C., Kern, M. A., Gauer, P., Baillifard, M.-A. og Platzer, K. (2008) Chute experimetns on slushflow dynamics, *Cold Regions Scienve and Technology*, 51, s. 156-167.
- Jaedicke, C., Høydal, Ø. A. og Midtbø, K. H. (2013) Identification of slushflow situations from regional weather models, *International Snow Science Workshop, Chamonix Mont-Blanc*.
- Jaedicke, C. (2014) *Snøskred*. Tilgjengeleg frå: <https://snl.no/sn%C3%B8skred> (Henta: 26.01 2017).
- Jordet, S. (2017) *Validering av Snowpack for norske forhold*, Universitetet i Oslo.
- Juras, R., Würzer, S. og Jirka (2017) Rainwater propagation through snowpack during rain-on-snow sprinkling experiments under different snow conditions, *Hydrology and Earth System Sciences*, 21, s. 4973-4987.
- Kattelman, R. (1984) Wet slab instability, s. 102-108. Tilgjengeleg frå: <http://arc.lib.montana.edu/snow-science/objects/ISSW-1984-102-108.pdf> (Henta: 01.08.18).
- Kattelman, R. (1985) Macropores in snowpack of Sierra Nevada, *Annals of Glaciology*, 6, s. 272-273.
- Kattelman, R. (1987a) Methods of estimating liquid water storage in snow.
- Kattelman, R. (1987b) Some measurements of water movement and storage in snow, *IAHS*, 162, s. 245-254.
- Kattelman, R. og Dozier, J. (1999) Observation of snowpack ripening in the Sierra Nevada, California, U.S.A., *Journal of Glaciology*, 45(151), s. 409-416.
- Kobayashi, S., Izumi, K. og Kamiishi, I. (1994) Slushflow disasters in Japan and its charactersitics.
- Kristensen, K. (2007) *Håndbok for Skredobservatører, Vær-, snø- og snøskredobservasjoner*, i NGI (red.). (Henta: 10.11.17).
- Laws, J. O. og Parsons, D. A. (1943) The relation of raindrop-size to intensity, *Hydrology*.
- Lehning, M., Bartelt, P., Brown, B. og Fierz, C. (2002) A physical SNOWPACK model for the Swiss avalanche warning: Part III: meteorological forcing, thin layer formation and evaluation, *Cold Regions Science and Technology*, 35(3), s. 169-184. doi: [https://doi.org/10.1016/S0165-232X\(02\)00072-1](https://doi.org/10.1016/S0165-232X(02)00072-1).
- Lied, K. og Kristensen, K. (2003) *Snøskred Håndbok om snøskred*. Noreg: Vett & Viten AS.
- Löffler-Mang, M. og Joss, J. (2000) An Optical Disdrometer for Measuring Size and Velocity of Hydrometeors, *Journal of atmospheric and oceanic tehcnology*, 17, s. 130-139.
- McClung, D. og Schaerer, P. (2006) *The Avalanche Handbook*. Seattle: The mountaineers books.
- Meteorological-Office-of-the-UK (2007) *National Meteorological Library and Archive Fact sheet 3 - Water in the atmosphere*. Tilgjengeleg frå: https://www.metoffice.gov.uk/binaries/content/assets/mohippo/pdf/f/c/fact_sheet_no_3.pdf (Henta: 12.12 2017).
- Meteorologisk-Institutt (2009) *Tråg*. Tilgjengeleg frå: <https://web.archive.org/web/20160304114143/https://metlex.met.no/wiki/Tr%C3%A5g> (Henta: 15.03 2018).
- Meteorologisk-Institutt (2018a) e-post-korrespondanse.

- Meteorologisk-Institutt (2018b) *Hva er Yr?* Tilgjengeleg frå: <http://om.yr.no/fakta/> (Henta: 20.03 2018).
- Meteorologisk-Institutt (u.å.) *Klimaet i Norge*. Tilgjengeleg frå: https://met.no/Klima/Klima_i_Norge/ (Henta: 09.02 2017).
- Mitterer, C., Hirashima, H. og Schweizer, J. (2011) Wet-snow instabilities: comparison of measured and modelled liquid water content and snow stratigraphy, *Annals of Glaciology*, 52(58), s. 201-208.
- Mitterer, C. og Schweizer, J. (2013) Glide Snow Avalanches Revisited, *The avalanche journal*.
- Naturfare Infrastruktur Flom Skred (2014) *Delprosjekt 1, aktivitet 1A: Begrepsbruk innen naturfare*. Tilgjengeleg frå: <http://www.naturfare.no/attachment/683735/binary/982286>.
- Nemeth, K. og Hahn, J.-M. (u.å.) OTT Parsivel - Enhanced precipitation identifier and new generation of present weather sensor by OTT Messtechnik, Germany.
- NGI (2014) *SKRED*. Oslo: Universitetsforlaget.
- NGI (2017a) Results 2016 from SP 4 FoU Snøskred: Work Package 3 - Slushflows.
- NGI (2017b) *Project WP3 - Slushflows*. Tilgjengeleg frå: <https://www.ngi.no/eng/Projects/Avalanche-research/WP3-Slush-flows> (Henta: 07.02 2018).
- norgeskart.no (2018). Tilgjengeleg frå: <http://www.norgeskart.no/> (Henta: 14.06 2018).
- NVE (2015) *HBV-modellen*. Tilgjengeleg frå: <https://www.nve.no/hydrologi/analysemetoder-og-modeller/hbv-modellen/> (Henta: 12.03 2017).
- NVE (u.å.) *Faktaark: Hva er sørpeskred?* . NVE.
- Onesti, L. J. (1985) Meteorological conditions that initiate slushflow in the Central Brooks Range, Alaska, *Annals of Glaciology*, 6, s. 23-25.
- Onesti, L. J. (1987) Slushflow release mechanism: A first approximation, *IAHS*, (162).
- OTT-Messtechnik (2010a) *Operating Instructions Present Weather Sensor Parsivel*. (Henta: 26.10.17).
- OTT-Messtechnik (2010b) *Operating Instructions Parsivel Application Software ASDO*. Germany(Henta: 26.10.17).
- Paterson, W. S. B. (1972) *The physics of glaciers*. Pergamon Press.
- Peitzsch, E. H. (2009) *Water movement in a stratified and inclined snowpack: Implications for wet slab avalanches*, Montana State University.
- Pohl, S., Garvelmann, J., Wawerla, J. og Weiler, M. (2014) Potential of a low-cost sensor network to understand the spatial and temporal dynamics of a mountain snow cover, *Water Resources Reserach*, 50, s. 2533-2550.
- Rapp, A. (1960) Recent development of mountain slopes in Kärkevagge and surroundings, Northern Scandinavia, *Geografiska Annaler*, 42(2/3), s. 65-200.
- Raupach, T. H. og Berne, A. (2015) Correction of raindrop size distribution measured by Parsivel disdrometers, using a two-dimensional video disrometer as a reference, *Atmospheric Measurement Techniques*, 8, s. 343-365.
- Raymond, C. F. og Tusima, K. (1979) Grain coarsening of water-saturated snow, *Journal of Glaciology*, 22(89), s. 83-105.
- regobs.no (2018) *regobs.no* (Henta: 12.12 2017).
- Scherer, D., Gude, M., Gempeler, M. og Parlow, E. (1998) Atmospheric and hydrological boundary conditions for slushflow initiation due to snowmelt, *Annals of Glaciology*, 26, s. 377-380. doi: 10.3189/1998AoG26-1-377-380.
- Schneebeli, M. (1995) Development and stability of preferential flow paths in a layered snowpack, *IAHS*, (228), s. 89-95. (Henta: 17.10.17).
- seeiendom.no (2018). Tilgjengeleg frå: <http://www.seeiendom.no/> (Henta: 02.02 2018).

- Shimizu, H. (1970) Air permeability of deposited snow, *Institute of Low Temperature Science*, 1053.
- Skaugen, T. og Saloranta, T. (2015) *Simplified energy-balance snowmelt modelling*. Oslo, Norway: NVE(Henta: 20.07.17).
- SLF (2017) *Snowpack*. Tilgjengeleg frå: <https://www.slf.ch/en/snow/snowpack/snow-cover-modelling.html> (Henta: 05.05 2018).
- snowpilot.org (2018). Tilgjengeleg frå: <https://snowpilot.org/> (Henta: 02.02 2018).
- Statens-Vegvesen (2014a) *Håndbok V139-Flom- og sørpeskred*. Tilgjengeleg frå: <http://www.vegvesen.no/attachment/740653/binary/1006021> (Henta: 04.04 2018).
- Statens-Vegvesen (2014b) *Håndbok V138-Veger og snøskred*. Tilgjengeleg frå: <https://www.vegvesen.no/attachment/740624/binary/1003961> (Henta: 24.08 2018).
- Støyva, J. (1974) *Breboka*. Oslo: Grøndahl & søns forlag.
- Sund, M. (2014) *Jord- og sørpeskred i Sør-Norge, mai 2013*. Oslo, Norway: NVE. Tilgjengeleg frå: http://publikasjoner.nve.no/rapport/2014/rapport2014_52.pdf.
- Sund, M. (2018a) Personleg kommunikasjon, Jordskredvarslinga, 23.08.18.
- Sund, M. (2018b) Personleg kommunikasjon, ulike snøpakkar og grunnforhold, 23.08.18.
- Sund, M. (2018c) Personleg kommunikasjon, 50 mm vasstilførsel, 50 cm snø, 24.01.18.
- Techel, F. og Pielmeier, C. (2011) Point observation of liquid water content in wet snow - investigating methodical, spatial and temporal aspects, *The Cryosphere*, 5, s. 405-418.
- Thies (2011) *Laser Precipitation Monitor - Instruction for Use*. Tilgjengeleg frå: <http://www.biral.com/wp-content/uploads/2015/01/5.4110.xx.xxx.pdf>. (Henta: 01.10 2017).
- Turnbull, B., Bowman, E. og McElwaine, J. (2014) *Debris flows: Experiments and modelling*.
- Tusima, K. (1985) Grain coarsening of snow particles immersed in water and solutions, *Annals of Glaciology*, 6.
- U.S.-Geological-survey (1992) *Water fact sheet: Debris flume at HJ. Andrews experimental forest, Oregon*.
- Uijlenhoet, R. og Sempere Torres, D. (2006) Measurement and parameterization of rainfall microstructure, *Journal of Hydrology*, 328(1), s. 1-7. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.11.038>.
- UiO (2018) *Overflatespenning*. Tilgjengeleg frå: <https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/o/overflatespenning.html> (Henta: 23.05 2018).
- Varhola, A., Wawerla, J., Weiler, M., Coops, N. C., Bewley, D. og Alila, Y. (2010) A New Low-Cost, Stand-Alone Sensor System for Snow Monitoring, *Journal of atmospheric and oceanic technology*, 27. Tilgjengeleg frå: <https://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/2010JTECHA1508.1>.
- varsom.no (2018) *Glideskred*. Tilgjengeleg frå: www.varsom.no/snorskredskolen/snorskredproblemer/glideskred/ (Henta: 15.08 2018).
- Wakahama, G. (1967) *The metamorphism of wet snow*. Tilgjengeleg frå: hydrologie.org/redbooks/a079/079035.pdf (Henta: 01.06 2018).
- Wakahama, G. (1975) The role of meltwater in densification process in snow and firn, *IAHS*, 114(International Symposium on snow mechanics), s. 66-72.
- Walberg, N. A. K. og Devoli, G. (2014) *Regional varsling av jordskredfare: Analyse av historiske jordskred, flomskred og sørpeskred i Gudbrandsdalen og Ottadalen*. (NISF-Naturfare Infrastruktur Flom Skred, Rapport 44). Oslo, Norway. Tilgjengeleg frå: https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/2497094/rapport2014_44.pdf?sequence=1&isAllowed=y (Henta: 01.05.18).

- Waldner, P. A., Schneebeli, M., Schultze-Zimmermann, U. og Flüher, H. (2004) Effect of snow structure on water flow and sloute transport, *Hydrological Processes*, 18, s. 1271-1290.
- Walter, B., Horender, S., Gromke, C. og Lehning, M. (2013) Measurements of the pore-scale water flow through snow using Fluorescent Particle Tracking Velocimetry, *Water Resources Research*, 49(11), s. 7448-7456. doi: doi:10.1002/2013WR013960.
- windy.com (2017). Tilgjengeleg frå: <https://www.windy.com> (Henta: 01.12 2017).
- Würtzer et al. (2016) Influence of Initial Snowpack Proberties on Runoff Formation during Rain-on-Snow Events, *American Meteorological Society*, s. 1801-1815.
- xgeo.no (2018). Tilgjengeleg frå: <http://www.xgeo.no/> (Henta: 14.06 2018).
- Yan, X., Lu, S. og Li, J. (2016) Experimental studies on the rain noise of lightweight roofs: Natural rains vs artificial rains, *Applied Acoustics*, 106, s. 63-76. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2015.12.022>.
- yr.no (2010) *Korleis måle nedbør?* Tilgjengeleg frå: http://www.yr.no/artikkel/korleis-male-nedbor_-1.7303273 (Henta: 17.06 2018).
- yr.no (2018). Tilgjengeleg frå: www.yr.no
- Øyehaug, G. B. (2016) *Hydrometeorologiske tersklar for sørpeskredfare*, Universitetet i Oslo.

10 Vedlegg

Vedlegg A. Skjemaet NVE brukar for skredfarevurdering, med eksempel på innhenta data.

Vedlegg B. Detaljert skildring av snødekkeundersøking

Vedlegg C. Data frå disdrometeret for det enkelte oppsett

Vedlegg C-1: Spektrogram

Vedlegg C-2: Type nedbør

Vedlegg D. Komplette ustyrsliste for feltforsøk

Vedlegg E. Snøprofilar

Vedlegg E-1: Forsøk 6: Krøvelseidet 10.01.18.

Vedlegg E-2: Forsøk 7: Krøvelseidet 13.01.18

Vedlegg E-3: Forsøk 8: Presteskaret 14.02.18.

Vedlegg E-4: Forsøk 9: Raudehytta 28.02.18.

Vedlegg E-5: Forsøk 10: Hornindal skisenter 22.03.18.

Vedlegg E-6: Forsøk 11: Hornindal skisenter 23.03.18.

Vedlegg E-7: Forsøk 12: Hagen i Volda 28.03.18.

Vedlegg E-8: Forsøk 13: Follestaddalen 02.04.18.

Vedlegg E-9: Forsøk 14: Hornindal skisenter 07.04.18.

Vedlegg E-10: Forsøk 15: Hagen i Volda 22.04.18.

Vedlegg E-11: Forsøk 16, 17 og 18: Strynefjellet 26., 27. og 29. 04.18.

Vedlegg E-12: Forsøk 19: Storesætra 15.05.18.

Vedlegg E-13: Forsøk 20: Filefjell 05.06.18

Vedlegg F: Vurdering av ulike snøpakkar i samband med sørpeskredvurdering

Vedlegg A. Skjemaet NVE brukar for skredfarevurdering

Vurdering utføres for i dag (dag 0) og de to neste dagene (dag 1 og 2) for kl. 07-07 (kl. 08-08 sommertid). Fet skrift angir forhold som er obligatorisk å sjekke. Skriv ev. «ok» ved grei situasjon alle dager. Skjemaet er ment som en hjelp for vakta selv. Utfyllende tekst kan alternativt gis i boksen «vaktens vanskelighetsgrad».

Jordskredfare	
Hydmet <i>Hydmet Geo</i> <i>Hydmet Sør- og Østlandet</i> <i>Hydmet Tele</i>	
Regn og snøsmelting (snøkartmodellen)	
Regn og snøsmelting GWB (sammenlikn snøkartmodellen)	
Nedbør	
<i>Nedbørintensitet (3-timer)</i>	
<i>Snøsmelting siste døgn</i>	
<i>Temperatur</i>	
Meteogram fra yr.no <i>(Bør sjekkes ved vanskelig situasjon)</i>	
MET-briefing <i>Ev. tekstvarsel på yr.no</i>	
Vanntilførsel i % av årsnormal	
<i>Vanntilførsel i % av døgnmaks</i>	
<i>Vanntilførsel 3 døgn i % av 3-døgn maks</i>	

<i>Nedbør i % av 5 år (døgnedbør i % av estimert maks døgnedbør med en 5-års returperiode)</i>	
<i>Nedbør i % av 5 år test (se versjon 2.0)</i>	
Vannmetning jord (% av normal)	
<i>Jordas vannkapasitet (mm)</i>	
<i>Grunnvanntilstand</i>	
Døgnendring grunnvann	
<i>Teledyp (cm)</i>	

Sørpeskredfare

<p>Snøstruktur</p> <p>Sjekk forrige vakts notat og viderefør.</p> <p>Sjekk snødekkehistorikk i varsom.</p> <p>Ta ev. kontakt med vaktleder på snø: <i>Finns det grovkornet snø, kantkornet snø, begerkrystaller, nysnø (ikke vinnpakket), islag. Sjekk ev. registreringer i regObs</i></p> <p>Sjekk ev xBegerkrystallindeks1</p>	
<p>Snørapport</p> <p>http://www.varsom.no/nytt/snorapporter-fra-nve/ Tenkt brukt som bakgrunns-info, ikke noter alt. Se også forrige vakts notat.</p>	
<p>Avrenning fra snøpakken</p> <p>Gamle «Vanntilførsel snø»</p>	
<p>Regn og snøsmelting under sørpeskred med alternative fargeskala</p>	
<p>Snødybde</p>	
<p><i>GWB snødybde</i></p>	
<p><i>Snødekning NR, MODIS-satellitt</i></p> <p><i>Snødekning NR nord, MODIS-satellitt</i></p>	
<p>Temperatur</p>	

Vedlegg A

<i>Temperaturendring</i>	
Snøtilstand	
<i>Snøsmelting</i>	
<i>Snøsmelting (fra Skaugen-Saloranta)</i>	
<i>Vindhastighet (maksverdi)</i>	
Teledyp (cm)	
Sjekk Longyearbyen mandag og fredag frem til 20. juni. Sjekk temperatur, nedbør og vind på yr.no	

Observasjoner	
Grunnvannsstand siste obs	
Vannføring siste obs	
<i>Snødybde</i>	
Skredhendelser i xgeo (<i>regObs, Nasjonal skredatabase og Vegmeldinger</i>)	
Skredhendelser i mediene (<i>bruk gjerne retriever-appen</i>)	
<i>Webkameraer xgeo</i> <i>Webkameraer</i> <i>vegvesenet</i> http://www.vegvesen.no/Trafikkinformasjon/Reiseinformasjon/Trafikkmeldinger/Webkamera	
<i>Jordskjelv – årsak til hendelser</i> www.jordskjelv.no/siste/auto/ <i>og</i> http://nnsn_geo.uib.no/	

Støttekart

Helningskart *Kart av geomorfologiske tegn for jordskred og flomskred (NGU)* *Aktsomhetskart på regional nivå (NVE)* *Aktsomhetskart på vassdragsnivå (NVE, Bell)* *Potensielle utløsningsområder for jordskred ved bebyggelse* *Marin grense* *Kvikkleiresoner*

Vaktens vanskelighetsgrad

- Helt uproblematisk vurdering
 - Vanskelig vurdering dag 0 (kryss også av i loggføringen -> kommer da automatisk i mandagspresentasjonen)
 - Vanskelig vurdering dag 1 eller 2
-

Vedlegg B. Detaljert skildring av snødekkeundersøking

Noteringar før snødekkeundersøking

- Koordinatar/ stad
- Dato
- Observatør
- Klokkeslett
- Høgde over havet
- Lufttemperatur (beskytta mot stråling)
- Nedbør, evt. Nedbørstype
- Vindhastigheit (m/s)
- Vindretning (N, NE, E, SE, S, SW, W, NW).
- Skydekke (0/8 til 8/8)
- Total snødjupne (cm)
- Helling på snødekket (°)
- Bilete

Dei ulike målingane i snødekkeundersøkinga nyttar klassifisering frå Kristensen (2007).

Snødjupn

Snødjupna målast i cm. Dersom snøprofilen ikkje gravast ut til bar bakke, skal dette noterast.

Utstyr: Måleband

Lagdeling

Skaffe ei grov oversikt over lagdelinga i snøen.

Prosedyre: Dra ein finger (eller rasterkort) nedover snøveggen og notere seg overgangar. Desse kan ein markere med fyrstikker/ ispinnar.

Dokumentasjon: Markere øvre og nedre overgang i skjemaet.

Utstyr: Hanskar, rasterplate, børste, merkeutstyr, måleband/tommestokk.

Hardheit

Ein måler den sjiktparallelle hardheita i ulike lag (Kristensen, 2007). Hardheita i snø er basert på motstand mot å presse objekt inn i snøen (Fierz *et al.*, 2009). Ein vanleg metode er handtesten. Her vert objekt, med ulike areal, pressa inn i snøen med moderat kraft (i teorien omtrent 10-15 kN/ 5 kg) (Kristensen, 2007). Baksida med denne testen er at den er svært

subjektiv og krev dermed mykje erfaring. Testen vert likevel ofte brukt av skredobservatørar då den er effektiv og krev lite utstyr. I denne samanheng er det ofte tilstrekkeleg å vite skilnaden i hardheit, framfor den nøyaktige hardheita.

Prosedyre: Bruk hanskar og mål hardheita i kvart enkelt lag, og noter kva objekt som kan bli pressa inn i snøen.

Dokumentasjon: Ein registrerer tjuknad og hardheit i dei ulike laga. Ved grafisk framstilling i eit skjema vert hardheita lagt inn som horisontalakse, og tjukkelsen av snøлага langs den vertikale aksan.

Utstyr: Hanskar, blyant, kniv

Kornform

Kornforma er ei morfologisk skildring av snøkorna. Klassifiseringa gir også skildring av kva omvandlingsprosessar snøkorna har vore gjennom. Ein har 9 hovudklassifiseringar, som vist på figuren, samt fleire underklassar som er meir detaljerte (Kristensen, 2007).

Prosedyre: Skrape vekk ytterste snølaget, for å finne snø som ikkje er omforma etter at snøprofilet er utgrave. Skrap ut litt snø på rasterkort og observer raskt. Ein kan gjerne bruke lupe til dette. Kortet bør stå i snø før ein brukar det, slik at det er kaldt. Unngå å puste på snøen då den smeltar.

Dokumentasjon: Bruk grafisk symbol i feltskjemaet.

Utstyr: Rasterplate, lupe, børste.

Kornstorleik

Viser ein til den gjennomsnittlege (største) ustsrekninga til snøkorn/ krystallar i eit lag.

Prosedyre: Fjernar yste lag av snø. Måler snøkorna i forhold til rutenettet på rasterplata. Her gjeld også å ha kaldt kort, unngå å puste på snøen og gjere undersøkingane raskt. Bruk gjerne lupe.

Utstyr: Rasterplate, lupe, børste.

Temperatur

Temperaturen gir ein peikepinn på kva omvandlingsprosessar som skjer i snøen. Ein er då oppteken av temperaturgradienten nedover i snødekket. I tillegg til temperaturen i snødekket tek ein gjerne målingar av lufttemperaturen (1,5 m over snøoverflata) og temperaturen på

snøoverflata (i skuggen, tørt termometer). Termometeret skal vere skjerma for sollys ved målingar av lufttemperaturen og temperaturmålingar i øvste 30 cm av snødekket.

Prosedyre: Ein tek temperaturmålingar med jamne intervall, typisk 10 cm når snødekket ikkje er isotermt (Kristensen, 2007). Termometeret bør førast minst 15 cm inn i snøen, parallelt med snøoverflata. Det bør stå i minimum 1 min før ein les av målinga, medan termometeret fortsett står i snøen.

Dokumentasjon: Temperaturar registrerast med ein desimals nøyaktigheit. Eventuelt karakterisere snødekket som isotermt, når dette er tilfelle.

Utstyr: Termometer med oppløysing på 0,1.

Fritt vassinnhald (LWC) / fuktigheit

Gir uttrykk for volumprosent av vatn i snøen. For at fritt vatn skal vere til stades i snøen må temperaturen vere 0°C. Vassinnhald vert skildra ved hjelp inndelingane tørr, fuktig, våt, veldig våt og sørpe, basert på kva grad snøen vert kitta saman.

Prosedyre: Ta bort overflatesnøen i veggen slik at ein undersøker snø, som ikkje er påverka av lufttemperaturen. Testen gjerast med tørre hanskar.

Dokumentasjon: Målingane for ulike lag vert ført inn i feltskjemaet.

Utstyr: Tørre hanskar

Snøen sin tettheit / densitet (ρ , g/cm³)

Tettleiken til snøen målast i faste eller varierende intervall nedover i snøen, avhengig av formål (Kristensen, 2007). Faste intervall gir ein ide om den generelle tettleiken, ein kan og måle tettleik i ulike lag. I dette feltarbeidet er faste intervall mest aktuelt.

For å rekne ut tettleiken må ein vite vekten av eit visst volum med snø nyttast følgjande formel:

$$\rho \left(\frac{g}{cm^3} \right) = \frac{\text{vekta av snøprøva (g)}}{\text{volumet av snøprøva (cm}^3\text{)}}$$

Til dette formålet vert det brukt to ulike songarøyr. Desse røyra har følgjande innvendige mål:

- Lite: $r = 3,25 \text{ cm}$ $l = 20 \text{ cm}$ $V = 663,325 \text{ cm}^3$
- Stort: $r = 3,57 \text{ cm}$ $l = 50 \text{ cm}$ $V = 2000,95 \text{ cm}^3$

Prosedyre: Dersom ein ikkje har snøprofil frå, før må ein grave ei sjakt. Først fører ein plata inn horisontalt i veggen i djupne som er lik lengda til songarøyrret. Deretter set ein røyret på

toppen av snøen, med den koniske enden ned, og trykkjer røyret nedover i snøen til det treff plata. Kan eventuelt bruke gummihammaren til å drive røyret ned i snøen om den er kompakt/hard. Avstand mellom røyrekanten og snøveggen skal vere 7-8 cm.

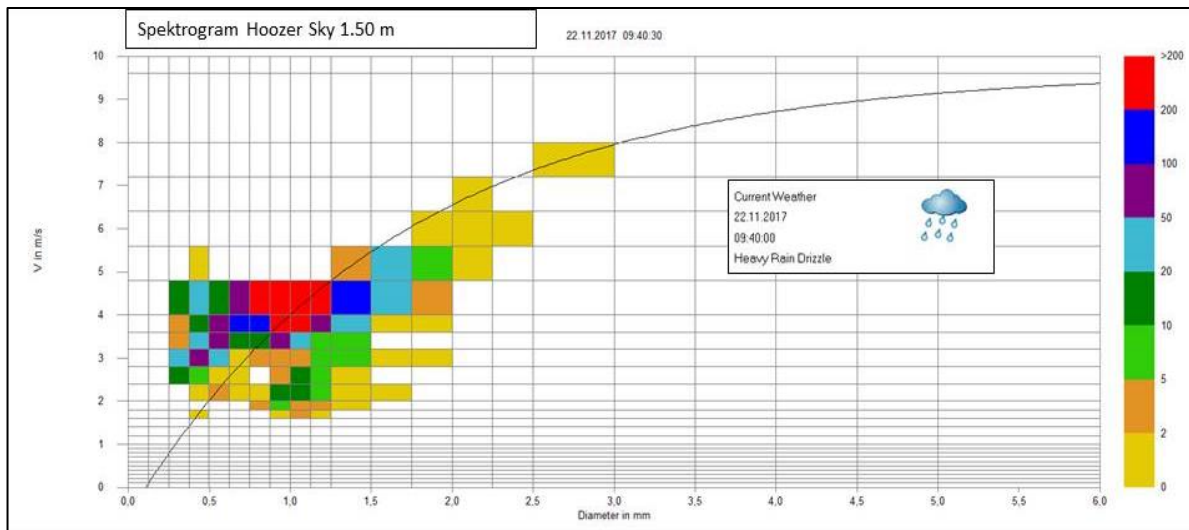
Fjern snøen framfor røyret forsiktig. Dersom snøen ikkje fyller heile røyret, mål lengda på snøprøva. Ein løftar røyret ut, utan at snøen fell ut, og heller snøen over i pose. Passar på at ikkje noko ekstra snø kjem med. Veg snøen med elektronisk vekt, og trekkjer frå vekta av posen, 60 g (tara). Dette gjer ein om att til bakken er nådd. Botnen av førre prøve dannar toppen for den neste prøven.

Dokumentasjon: Resultata blir gitt i enten cm og gram eller meter og kilogram. Ein summerer lengd og vekt for heile snøprofilet.

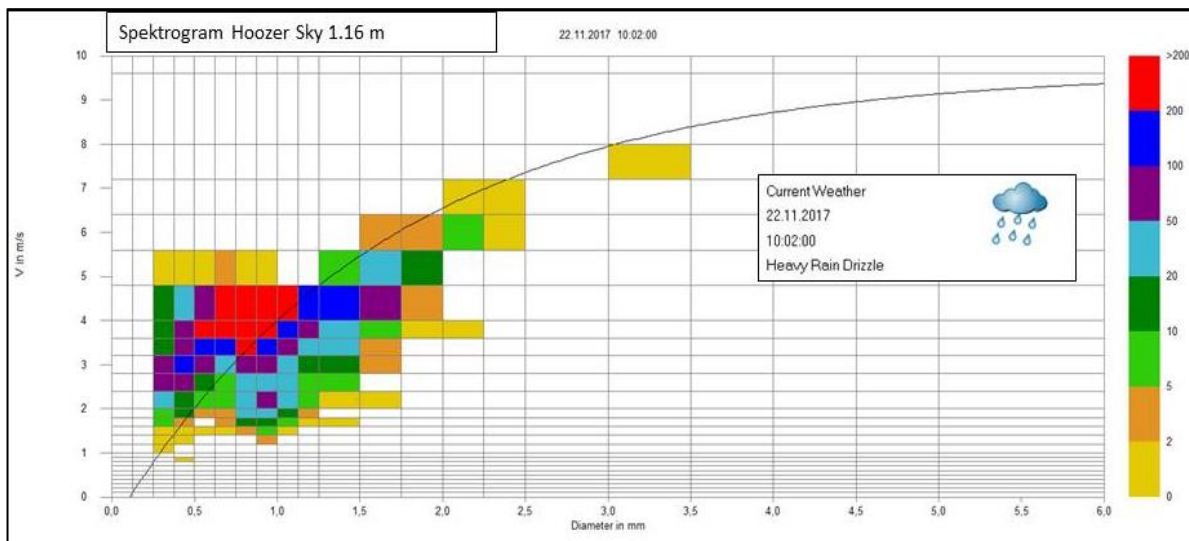
Utstyr: Songarøyr, plate, gummihammar, elektronisk vekt med ekstra batteri, pose, måleband, børste.

Vedlegg C. Data frå disdrometeret for det enkelte oppsett

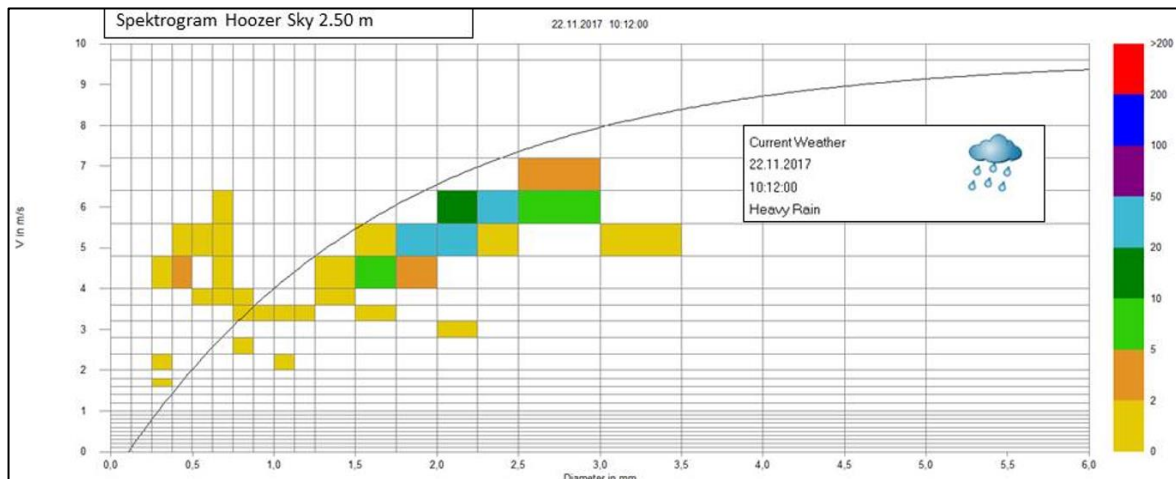
Vedlegg C-1: Spektrogram, x-akse: diameter (mm), y-akse: hastighet (m/s)



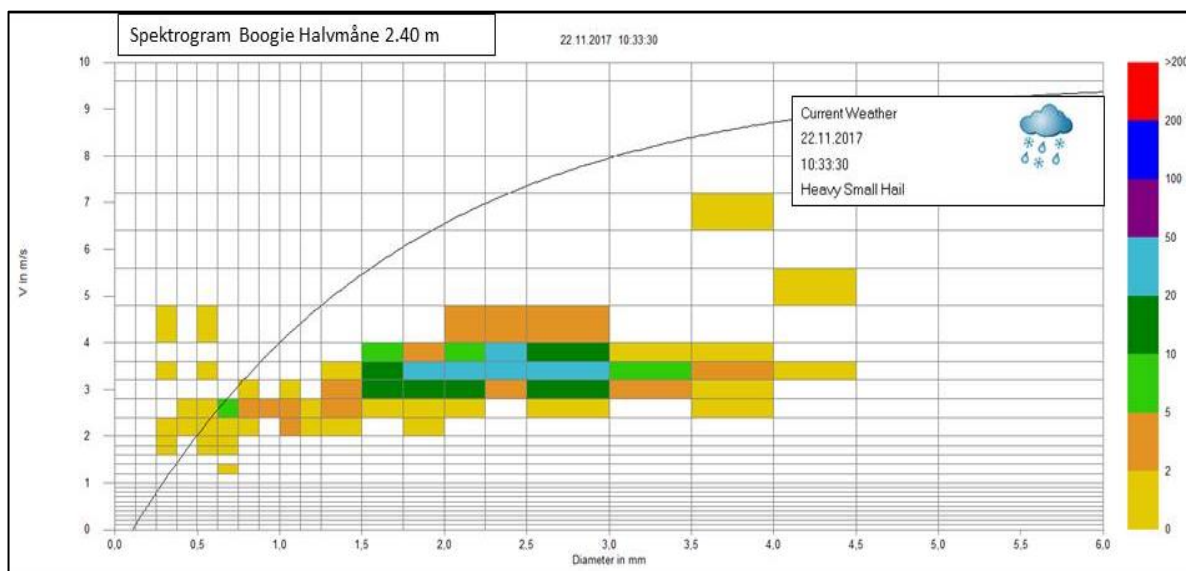
Hoozer Sky 1.50 m



Hoozer Sky 1.16 m

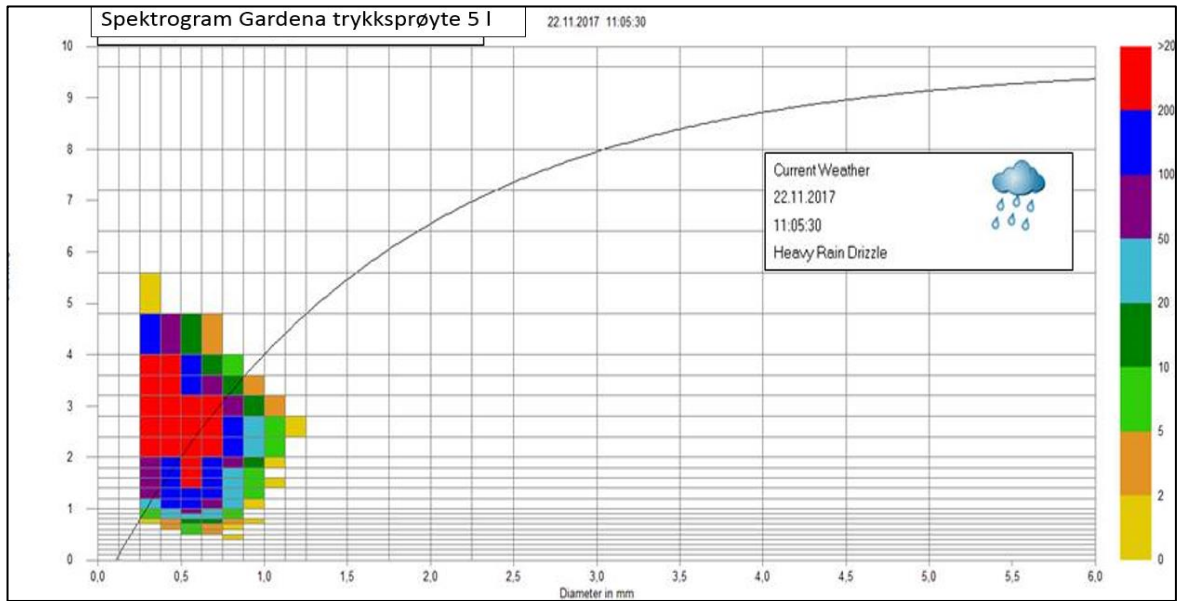


Hoozer Sky 2.50 m

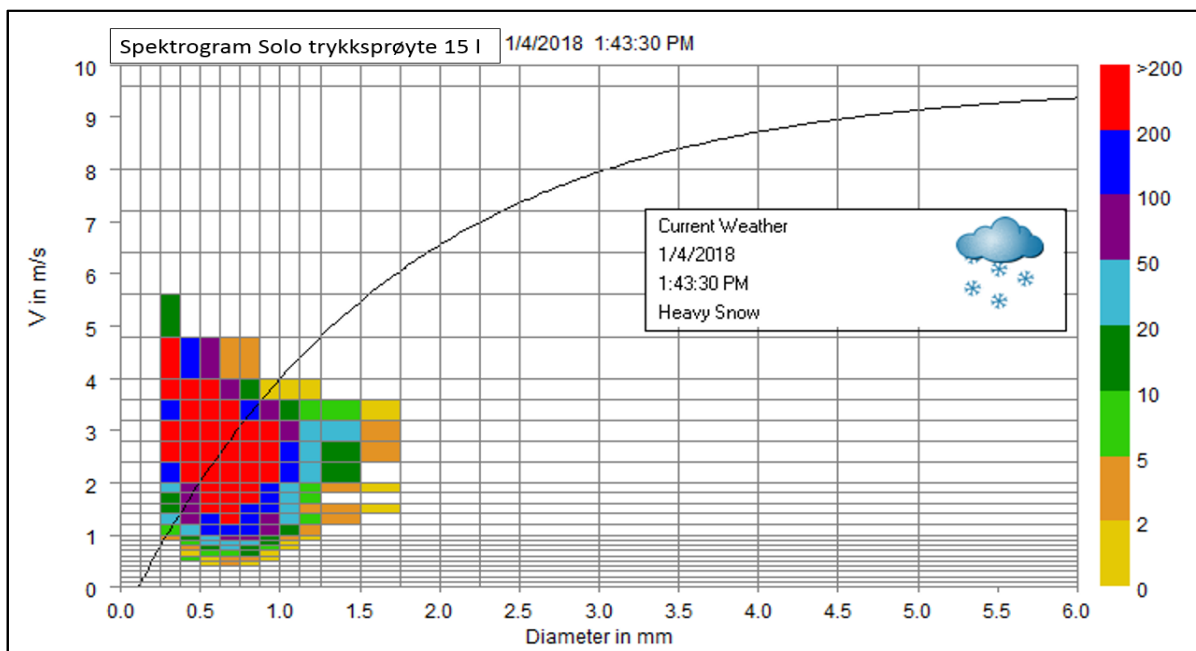


Boogie Halvmåne 2.40 m

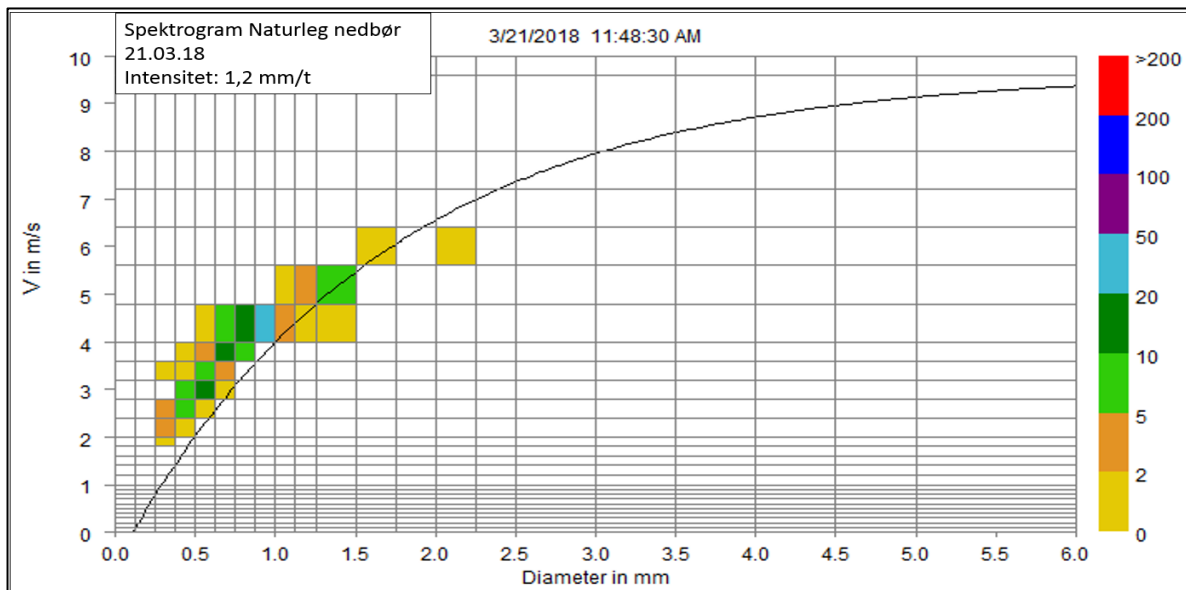
Vedlegg C



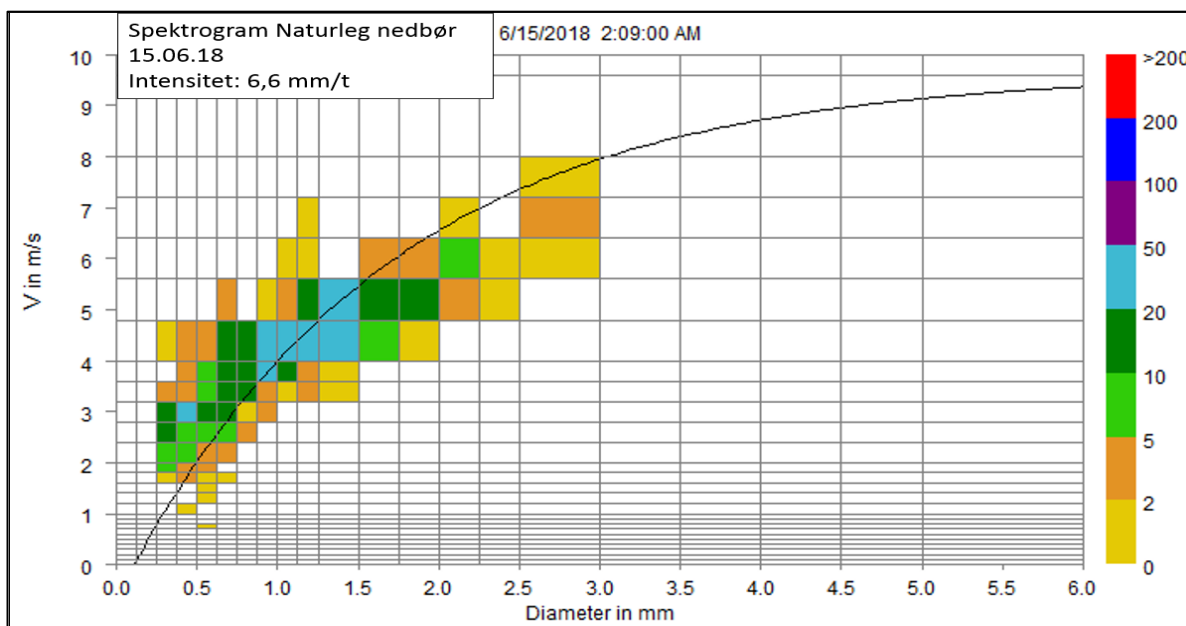
Gardena trykksprøyte 5 l



Solo trykksprøyte 15 l



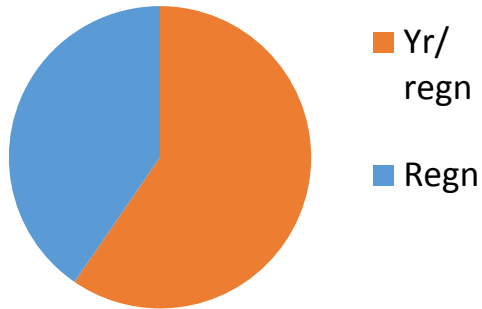
Naturleg nedbør 21.03.18



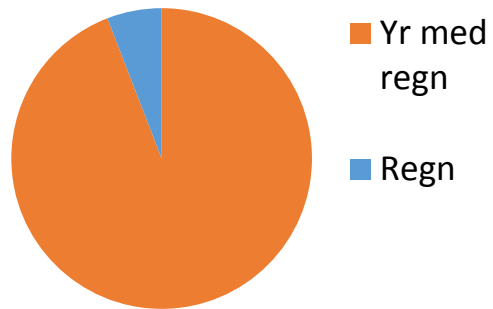
Naturleg nedbør 15.06.18

Vedlegg C-2: Type nedbør

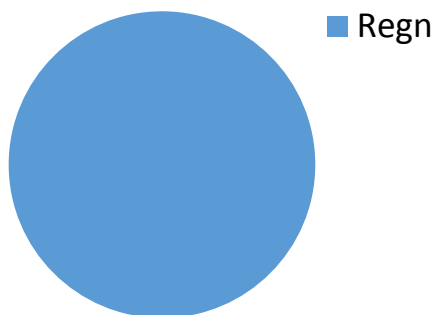
**Nedbørstype Hoozer, Sky,
1.50 m**



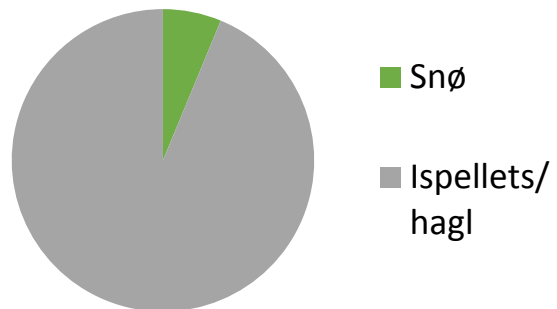
**Nedbørstype Hoozer, Sky,
1.16 m**



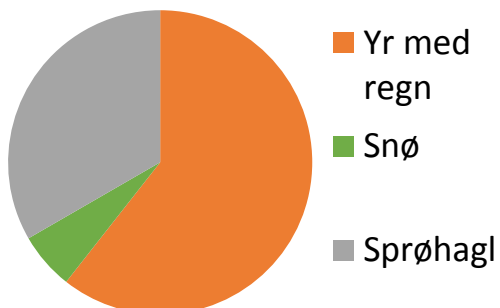
**Nedbørstype Hoozer, Sky,
2.50 m**



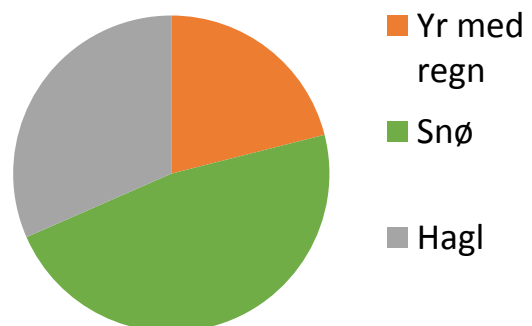
**Nedbørstype Boogie, Halvmåne,
2.40 m**



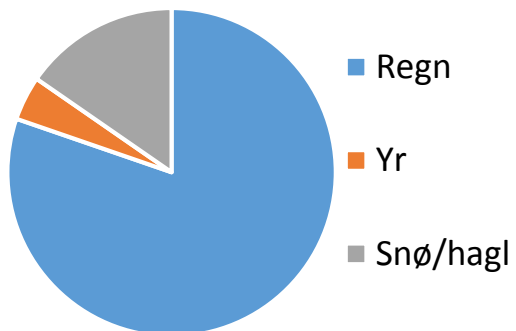
**Nedbørstype Gardena
trykksprøyte 5 L**



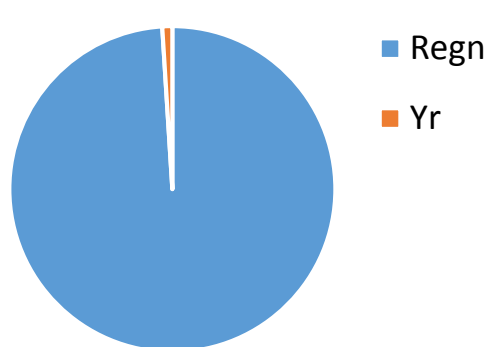
**Nedbørstype Solo trykksprøyte
15 L, 1.10 m**



**Nedbørstype Naturleg nedbør,
21.03.18**



**Nedbørstype Naturleg nedbør,
15.06.18**

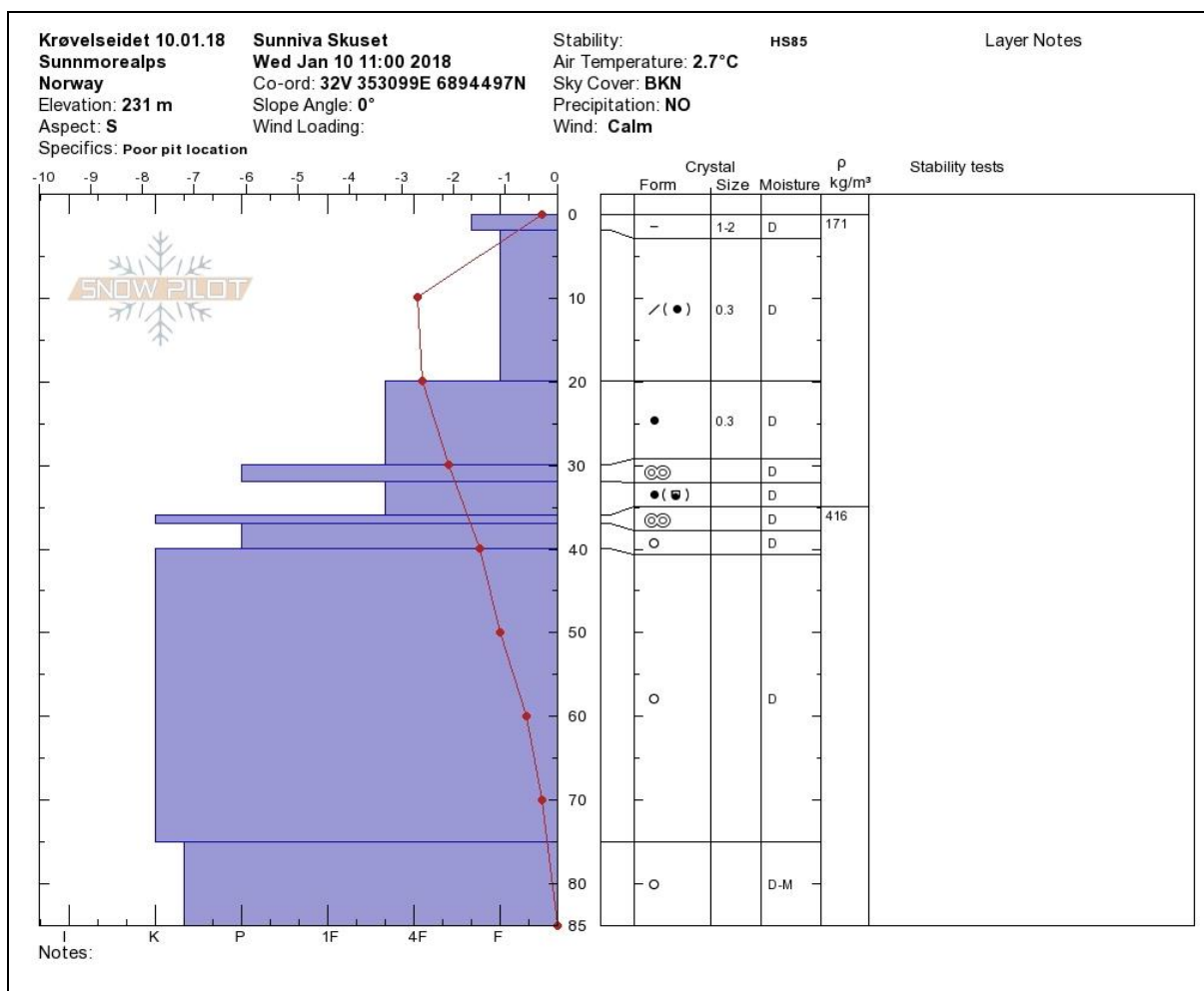


Vedlegg D. Komplette utstysrliste for feltforsøk

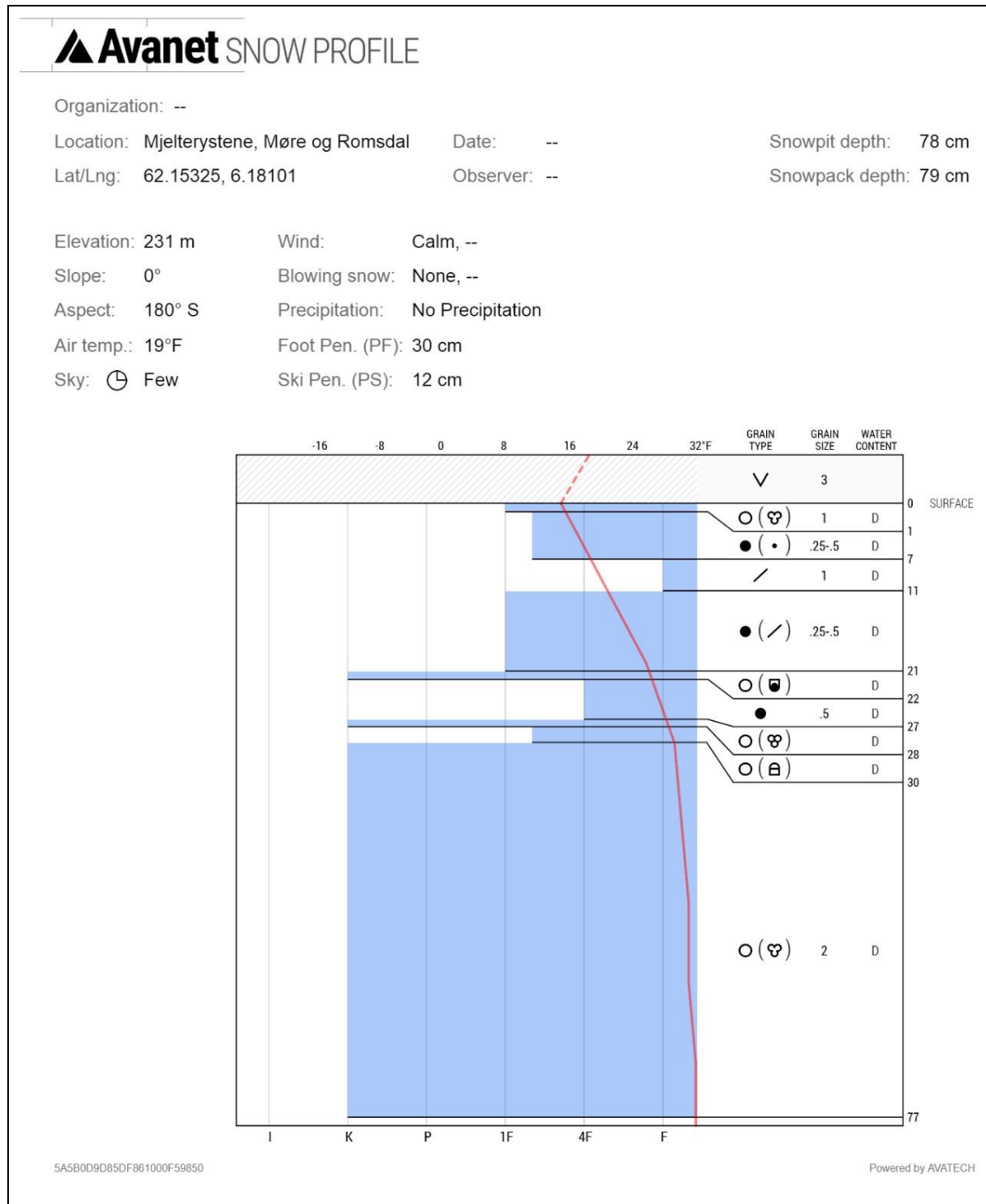
- Sørpekasse av pleksiglas (50 x 50 x 50 cm)
 - Isoporplate til underlag for sørpekassa (50 x 50 cm).
 - teip
 - 2 stk. knivar
 - knivslipar
 - saks
 - hageslange
 - ekstra slange
 - trakt
 - munnstykke
 - vasspreiar
 - litermål
 - balje
 - kamera + stativ + ladar
 - tørkeklut
 - 2 stk. 20 l - dunkar + bøtte
 - spade + søkestang
 - meterstokk
 - tau
 - OTT Parsivel disdrometer + USB/ RS 485-overgang
 - batteri med ladar
 - PC med ladar
 - ekstra databatteri
 - pulkar + pulkdrag + belte
 - 2 stk. trykksprøyter frå Gardena
 - solodyse
 - levegg + snøpluggar
 - småverktøy + reservedelar
 - Kart
 - Utstyr særleg for snødekkeundersøking:
 - o Notatbok som toler vatn
 - o Termometer
 - o Rasterkort
 - o Lupe
 - o Kniv
 - o Blyant
 - o Merkeutstyr/ispinnar
 - o Songarøyr (til å måle volum og tettleik)
 - o Gummihammar
 - o Elektronisk vekt med ekstra batteri
 - o Pose, anten berepose i plast eller tilpassa pose for dette bruket
 - o Børste
 - o Hanskar.
-

Vedlegg E. Snøprofilar

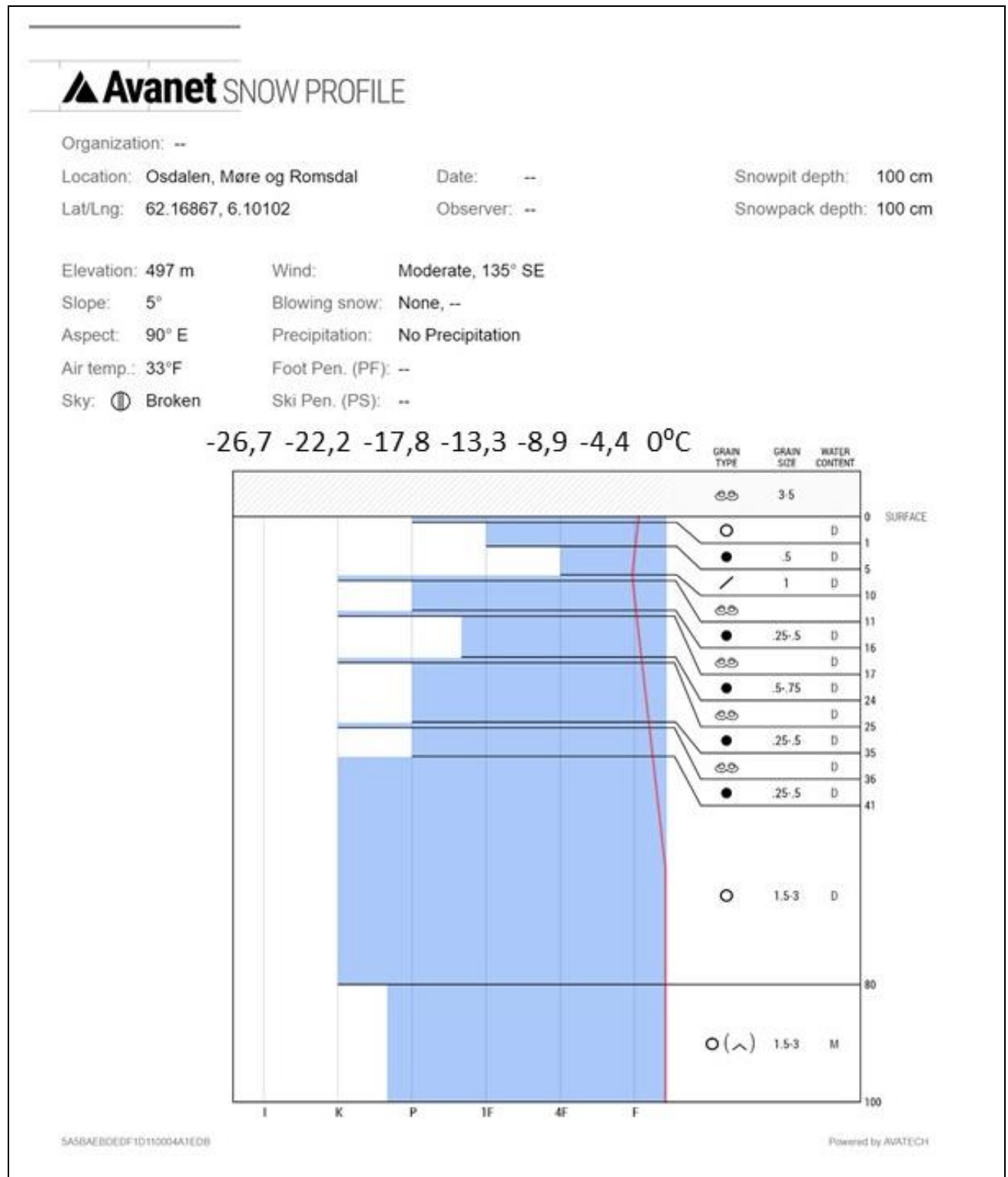
Vedlegg E-1: Forsøk 6: Krøvelseidet 10.01.18.



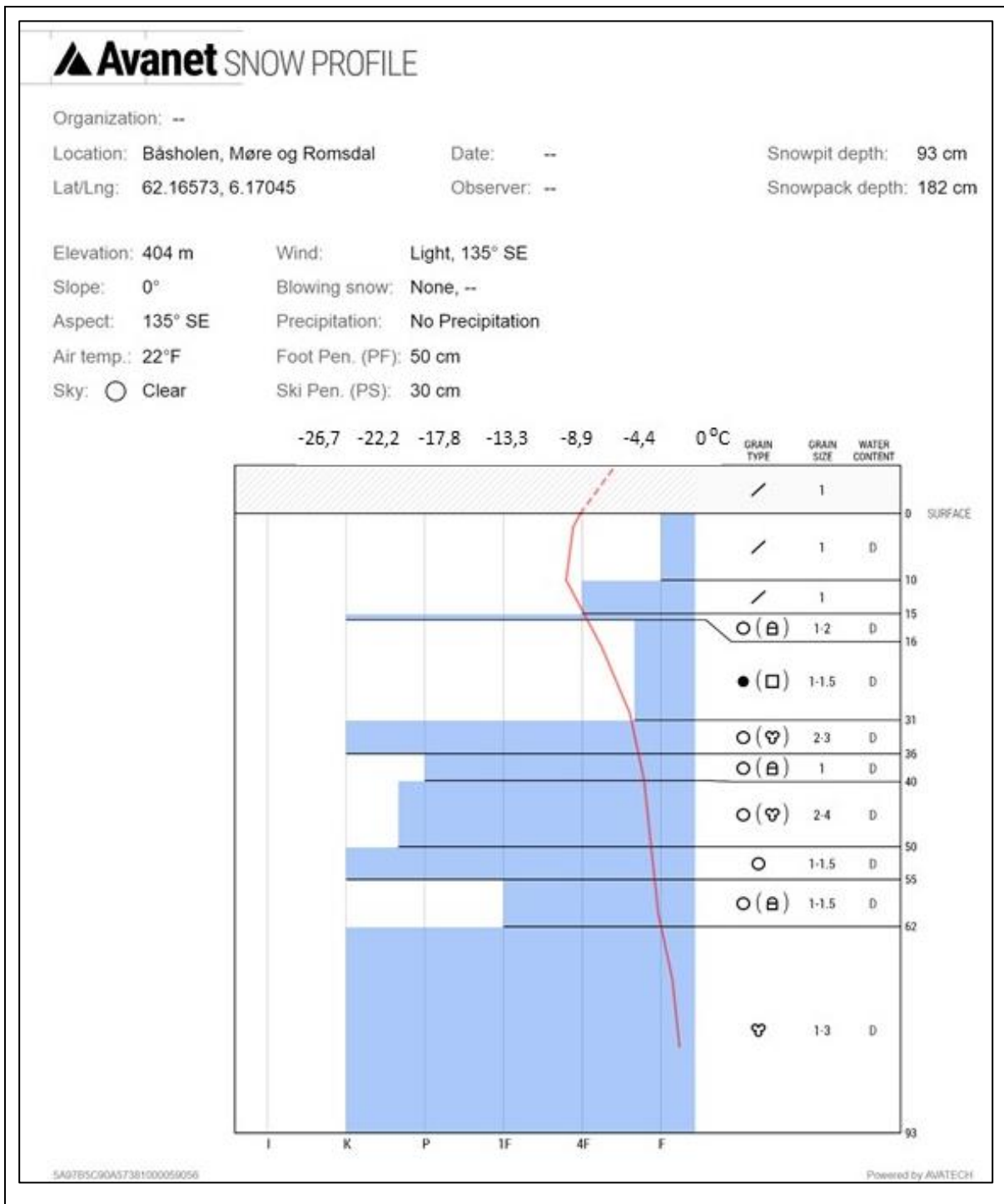
Vedlegg E-2: Forsøk 7: Krøvelseidet 13.01.18. (16 °F = -8,8 °C, 32 °F = 0,0 °C).



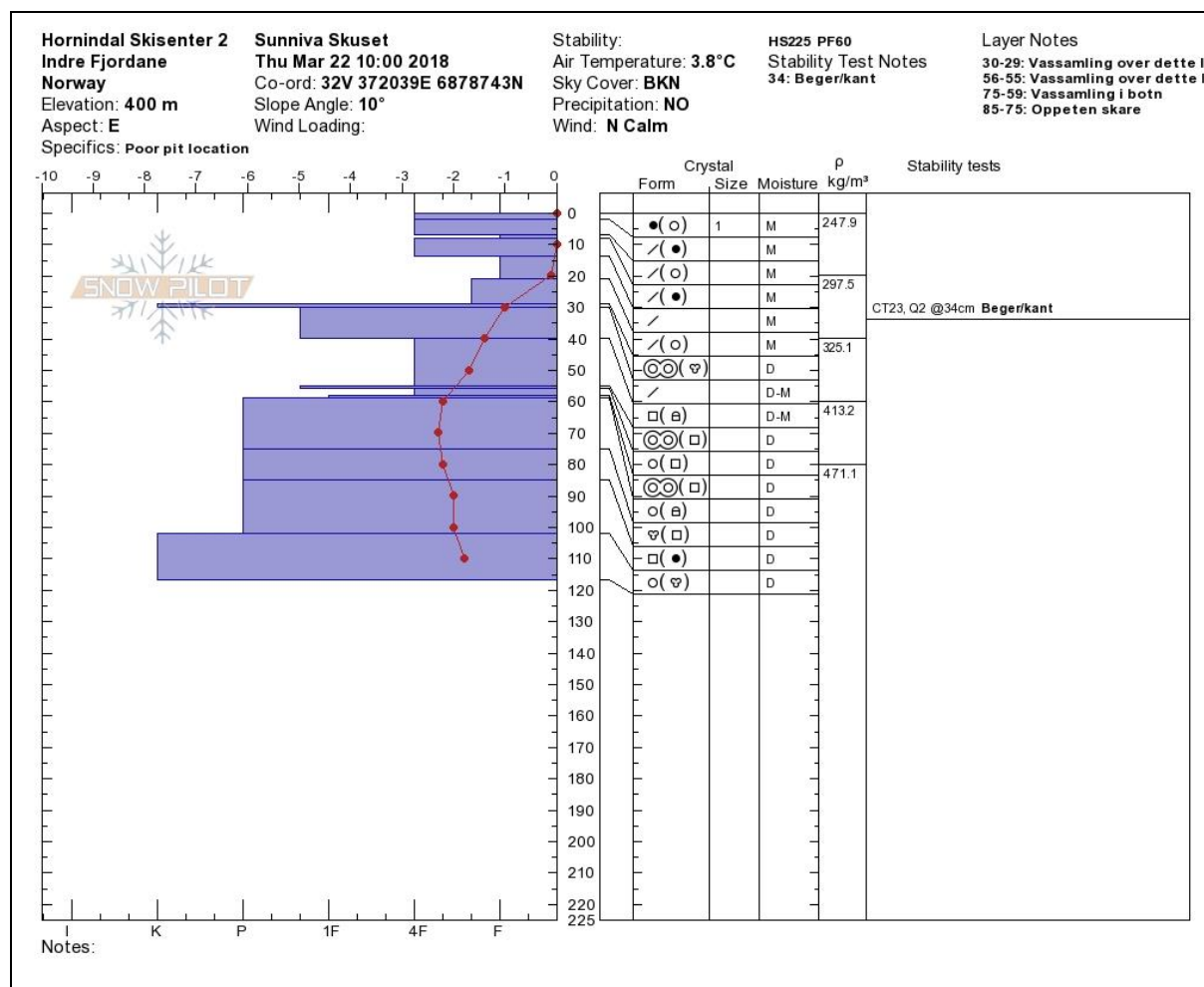
Vedlegg E-3: Forsøk 8: Presteskaret 14.02.18.



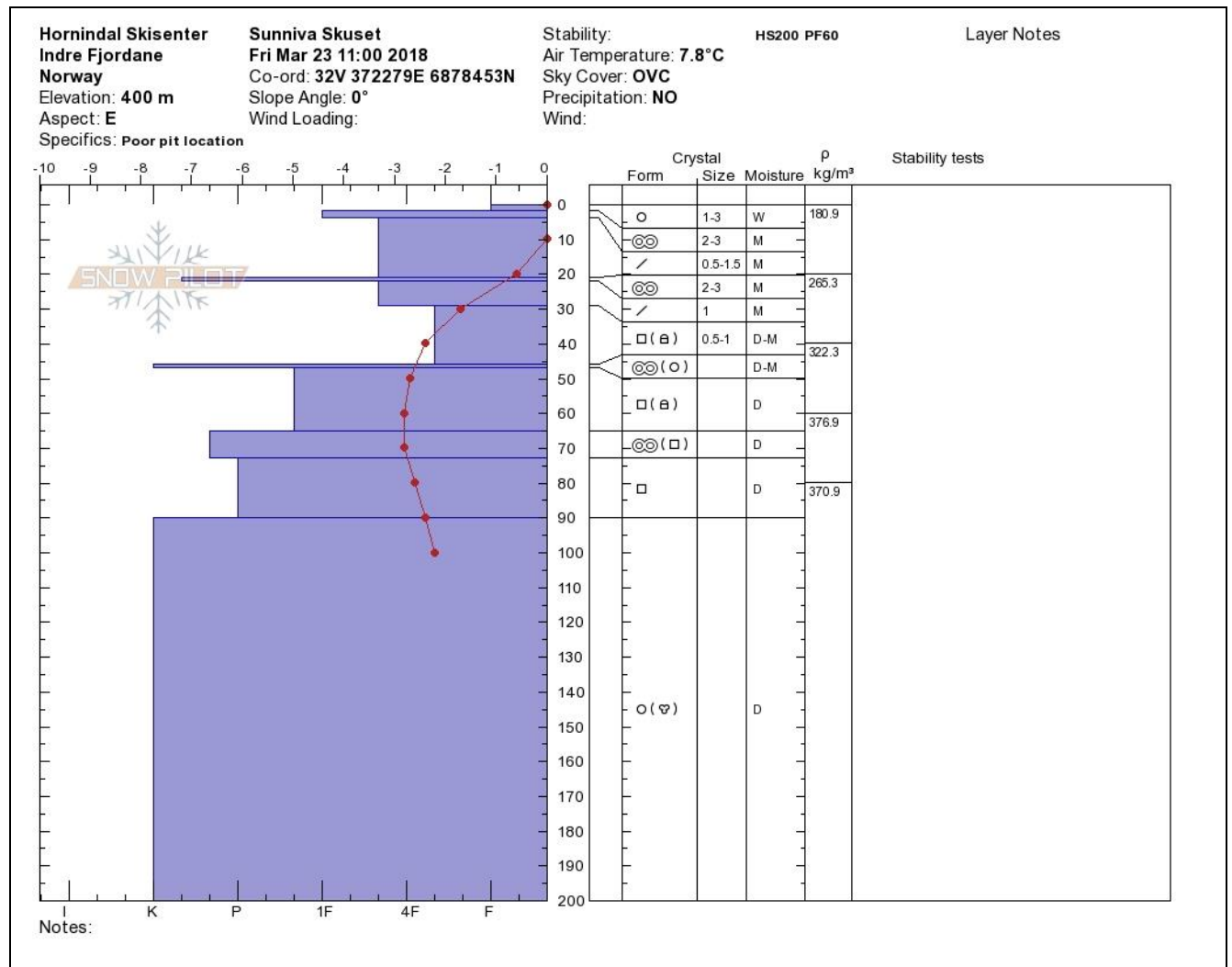
Vedlegg E-4: Forsøk 9: Raudehytta 28.02.18.



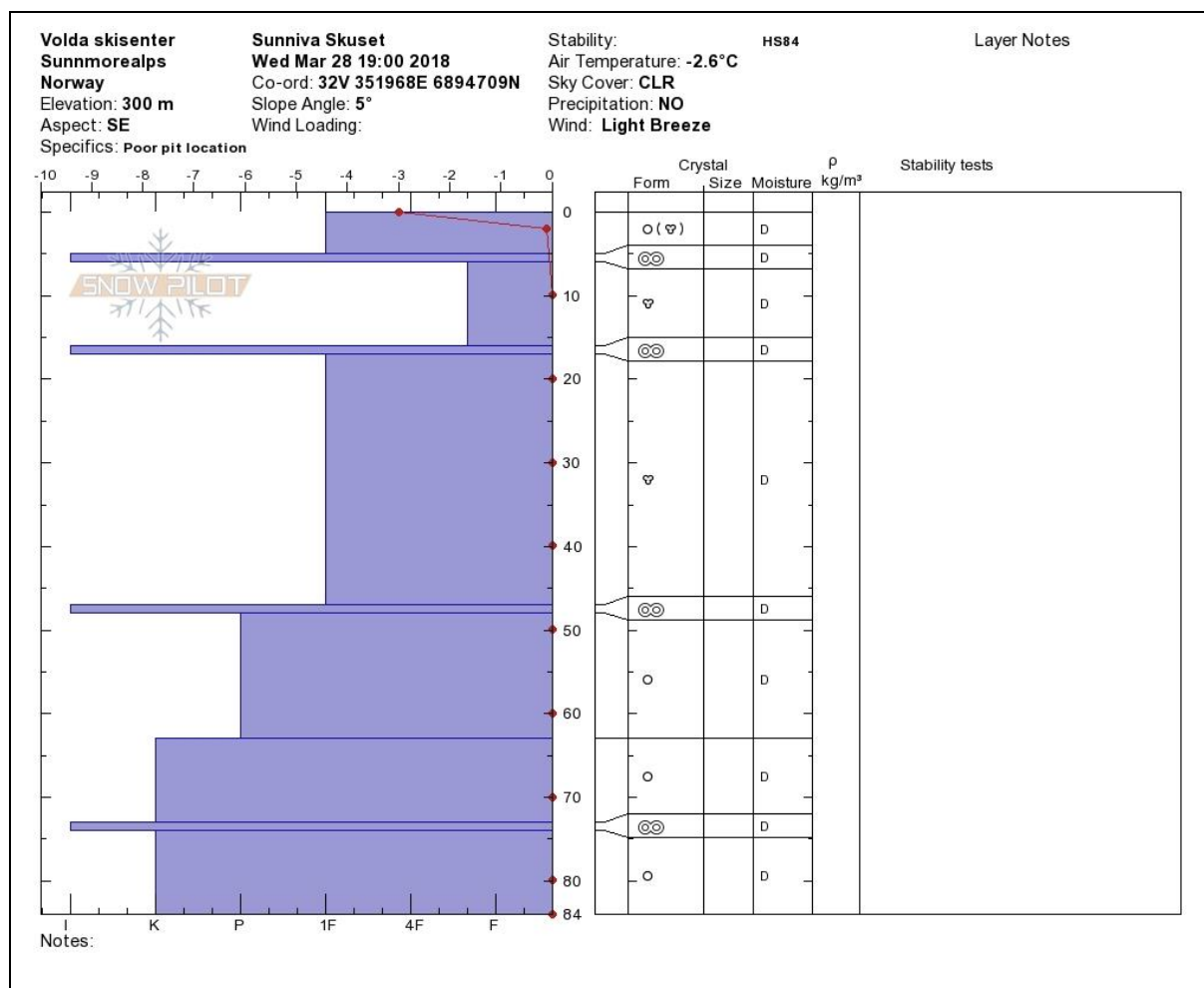
Vedlegg E-5: Forsøk 10: Hornindal skisenter 22.03.18.



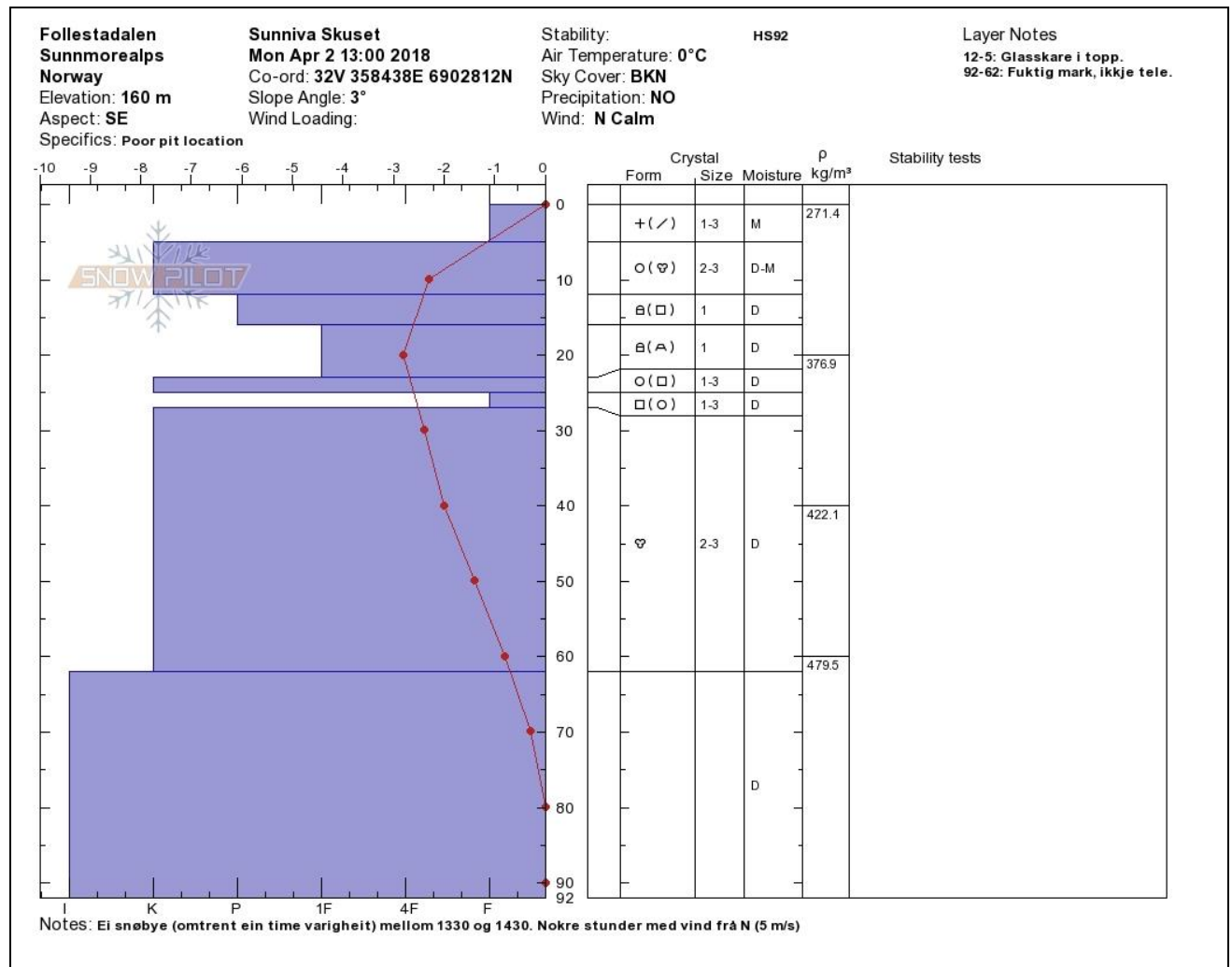
Vedlegg E-6: Forsøk 11: Hornindal skisenter 23.03.18.



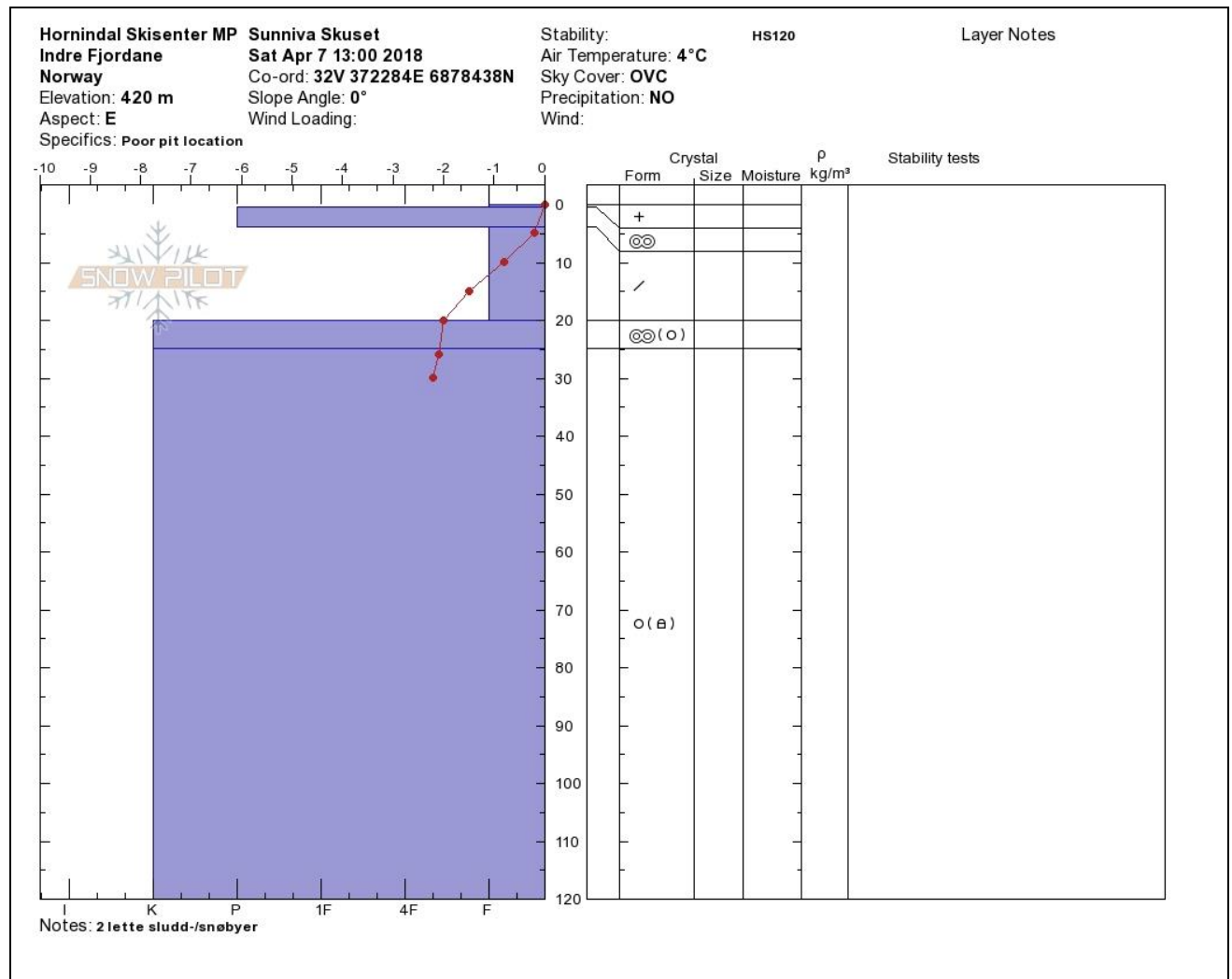
Vedlegg E-7: Forsøk 12: Hagen i Volda 28.03.18.



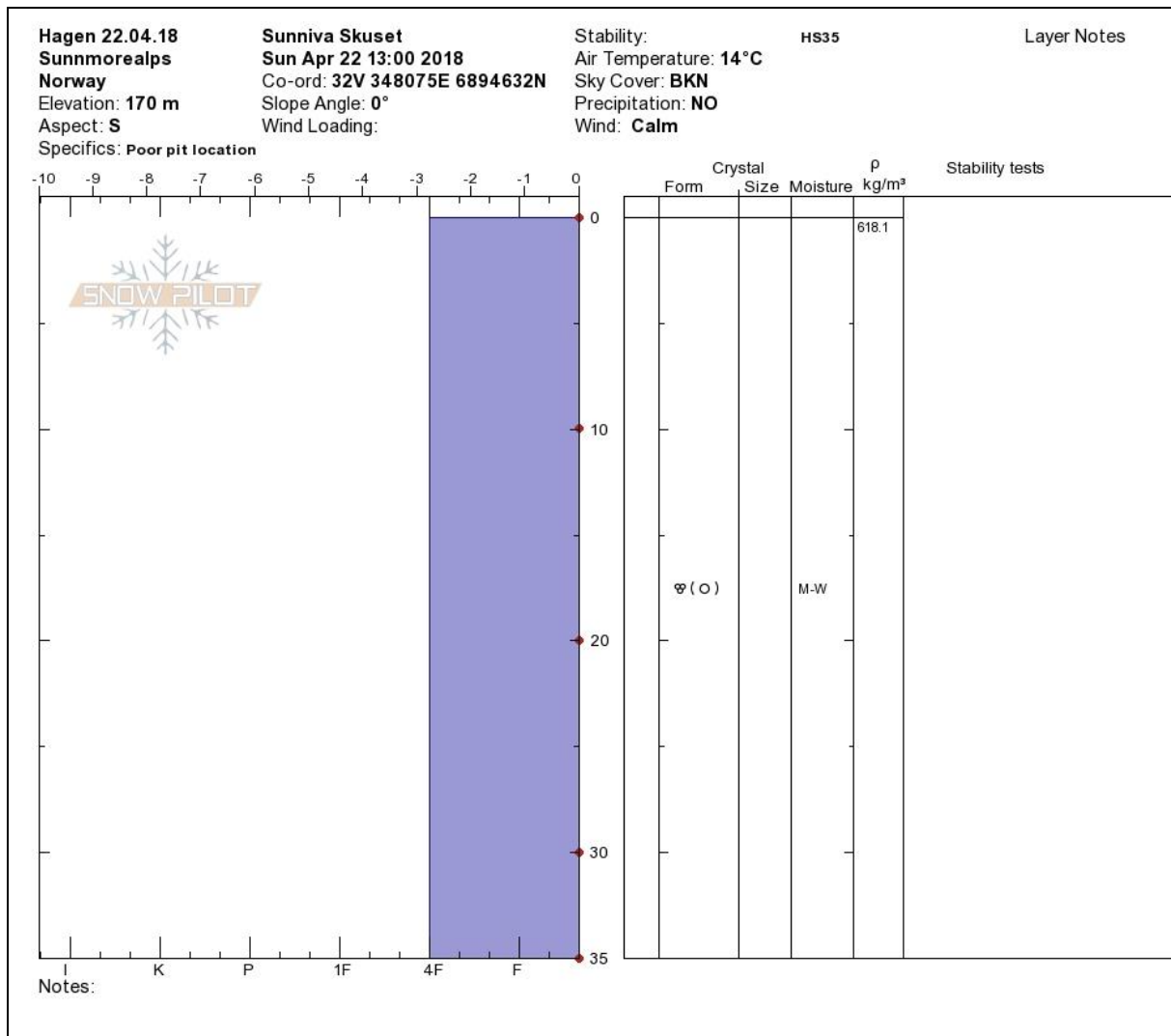
Vedlegg E-8: Forsøk 13: Follestadalen 02.04.18.



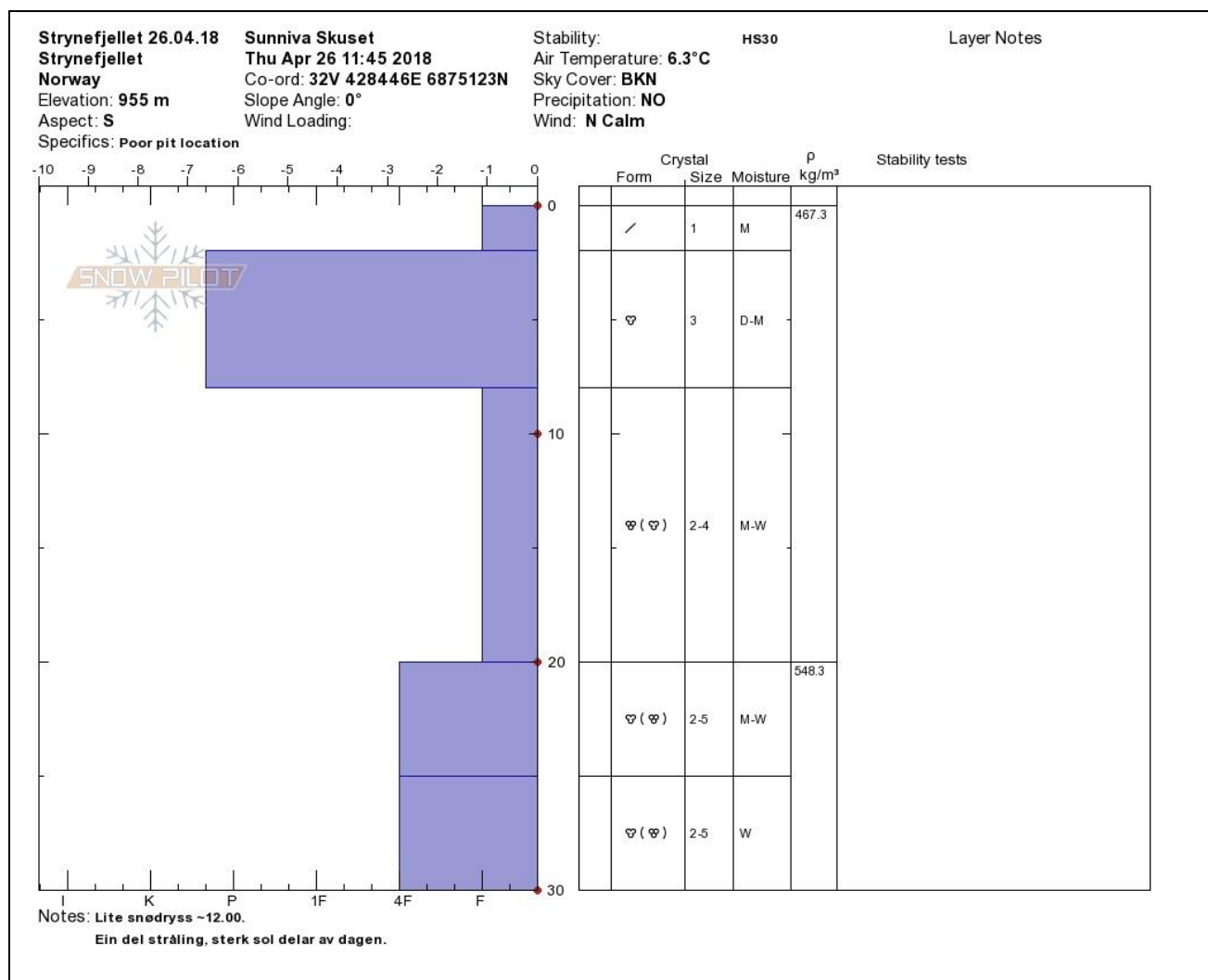
Vedlegg E-9: Forsøk 14: Hornindal skisenter 07.04.18.



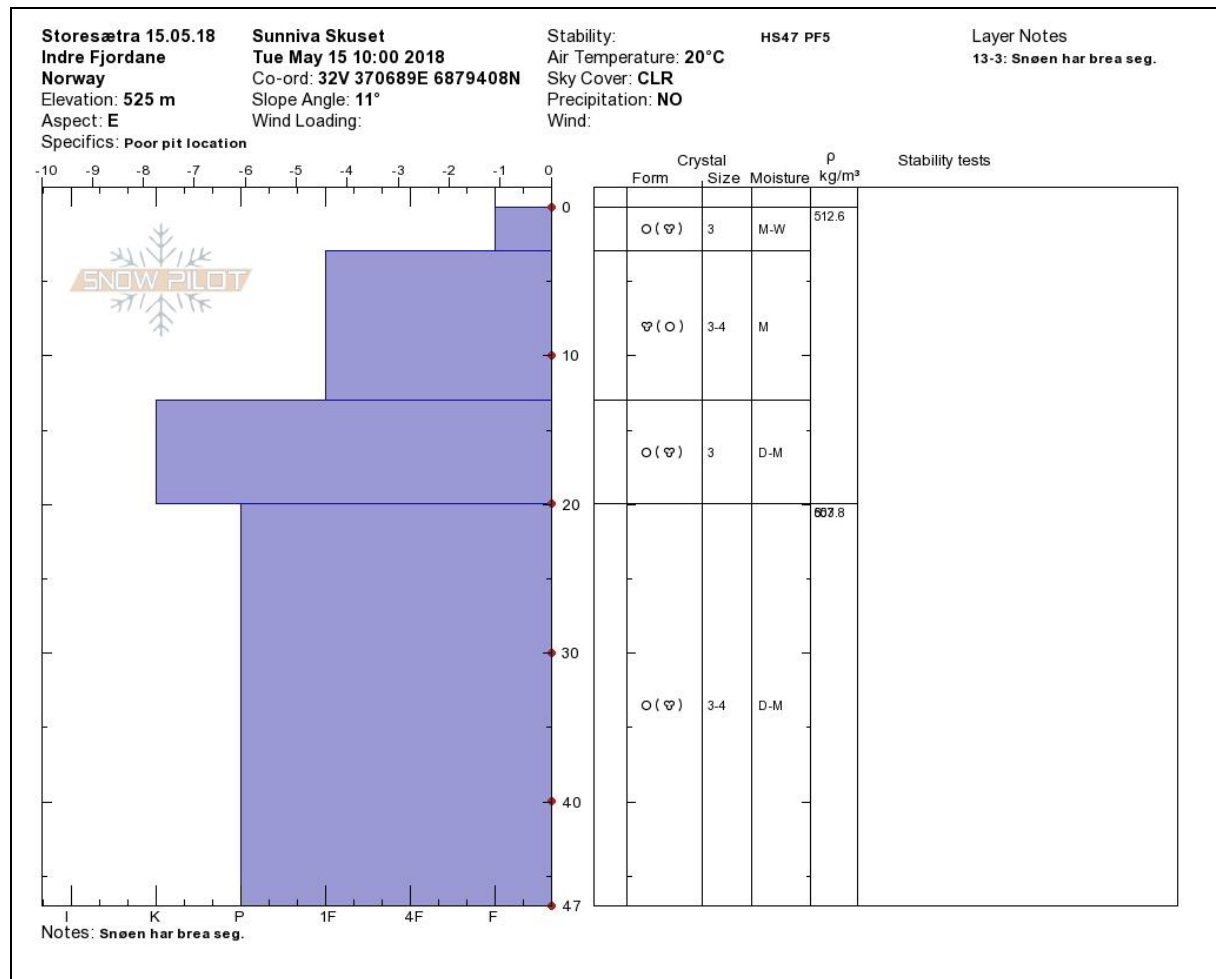
Vedlegg E-10: Forsøk 15: Hagen i Volda 22.04.18.



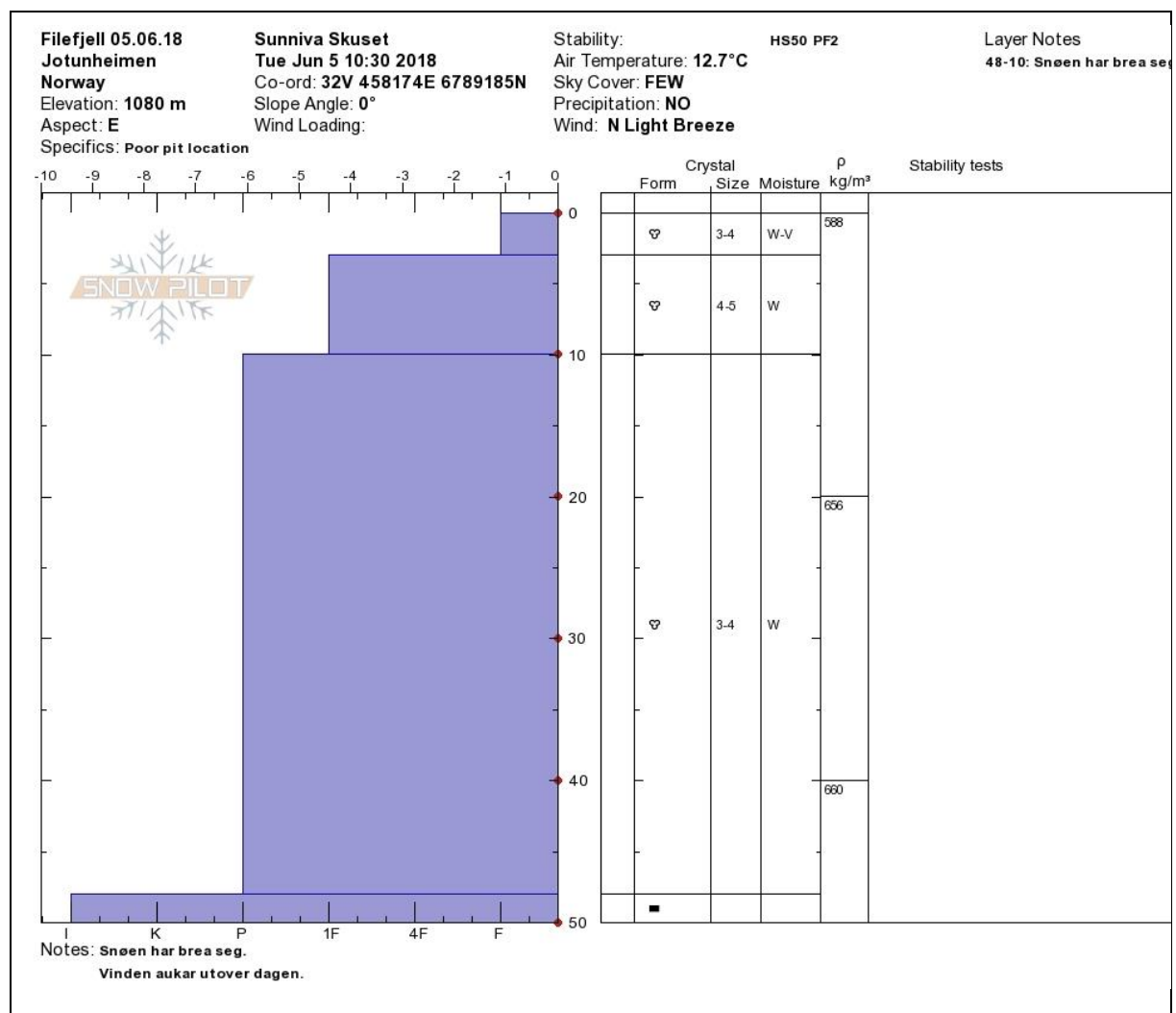
Vedlegg E-11: Forsøk 16, 17 og 18: Strynefjellet 26., 27. og 29. 04.18.



Vedlegg E-12: Forsøk 19: Storesætra 15.05.18.



Vedlegg E-13: Forsøk 20: Filefjell 05.06.18



Vedlegg F. Vurdering av ulike snøpakker i samband med sørpeskredfarevurdering

