



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2017 30 stp
Fakultetet for realfag og teknologi

Måling av snøsig i et snødekke i den sentrale delen av Svalbard, Spitsbergen

Snow creep measurements in a snowpack in the
central part of Svalbard, Spitzbergen

Jan Are Sunde Jacobsen
Byggeteknikk og arkitektur

Til min kjære Maria,
som jeg falt for under mitt opphold på Svalbard og
som har gjort tiden etter vi møttes til den beste i mitt liv.

Takk for at du er den du er.

Forord

Denne masteroppgaven markerer avslutningen på min sivilingeniør-utdanning i byggeteknikk og arkitektur ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (heretter NMBU) på Ås i Norge.

Arbeidet med denne avhandlingen er utført våren 2017, hovedsakelig ved Universitetssenteret på Svalbard (heretter UNIS) og NMBU. Alt feltarbeid er utført i eller med umiddelbar nærhet til Longyearbyen på Svalbard.

Feltarbeid i Arktis er krevende, men UNIS tilbyr et sterkt støtteapparat, som inkluderer blant annet mekanisk verksted, elektroverksted, opplæring i sikkerhet (med fokus på feltarbeid i Arktis), utlån av feltutstyr, logistiske tjenester og unik kunnskap om lokale forhold. Uten støtten fra UNIS ville denne oppgaven vanskelig latt seg utføre. Arctic Technology ved UNIS har finansiert prosjektet, og midlene ble brukt til innkjøp og leie av måleutstyr og byggematerialer. Noe utstyr ble også lånt av NMBU.

Hovedveileder for oppgaven har vært Professor Thomas Thiis ved NMBU. Jeg ønsker å rette en spesiell takk til Thiis som foreslo oppgaven for meg og som har gitt meg god veiledning, spesielt i oppstarts- og avslutningsfasen. Veileder for prosjektet har vært Professor Arne Aalberg ved UNIS og Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet. Jeg ønsker også å takke Aalberg som har vært en fantastisk resursperson under arbeidet på Svalbard. Begge har gitt uttrykk for å stole på meg og mine evner, samt gitt støtte og råd underveis som jeg er svært takknemlig for.

Takk til Alexander Prokop, Holt Hancock og Martin Indreiten for hjelp og veiledning innenfor fagområdene laserscanning, skred og skredsikringstiltak. Takk til UNIS Logistikk, og da spesielt Kåre Johansen og Sebastian Sikora for veiledning og hjelp under bygging, feltarbeid og nedrigging. Takk til Tom Ringstad og Steinar Seehus for veiledning og hjelp med datalogging. Takk til alle som på et eller annet vis har bidratt til prosjektet og til at oppholdet mitt på Svalbard ble helt fantastisk.

Til slutt vil jeg takke "Jan Christensens legat for fremme av forskning og studier ved Universitetssenteret på Svalbard" og legatets styregruppe som tildelte meg et personlig legat som gjorde det mulig for meg å oppholde meg på Svalbard under hele den praktiske delen av forsøksprosjektet.

Sammendrag

Snø som ligger i hellende terreng vil alltid sige under smelte/fryse-metamorfoseprosessen og skape trykk mot eventuelle hindringer. Når en konstruksjon skal føres opp i slikt terreng er det nødvendig å dimensjonere for dette trykket. Egenskapene til snø varierer mellom geografiske områder og medfører at snøtrykket som oppstår også kan være forskjellig. Det er ikke utført test av snøtrykk på Svalbard tidligere, og for å utarbeide et godt beregningsgrunnlag tilpasset lokale forhold må det derfor måles snøtrykk.

Prosjektet har gått ut på å utvikle et målesystem for snøtrykk til den sentrale delen av Svalbard og teste system under virkelige forhold på et forsøksfelt. I den forbindelse er det konstruert og bygget en selvstendig konstruksjon, med en kontaktflate mot snøen på 3 m x 1.5 m. Konstruksjonen har likhetstrekk med tradisjonelle forbygninger, men har en glatt kontaktflate som er uten lysåpning. For å måle snøtrykket mot kontaktflaten er det benyttet lastceller i hvert hjørne. Konstruksjonen ble montert på et forsøksfelt som ligger mellom frøhvelvet og skytebanen utenfor Longyearbyen på Svalbard. Der har målesystemet blitt testet under virkelige forhold våren 2017. For å få bakgrunnsdata er det blitt utført feltobservasjoner og målinger av ulike egenskaper til snøen, samt innhentet værdata fra en lokal værstasjon. Forsøksfeltet er blitt kartlagt med en laserscanner, for å bestemme helningsvinkler i terrenget og endringer i snødybder. Det er også blitt utviklet og testet en temperaturlogger som måler temperaturene gjennom hele snødekket.

Testingen viste at systemet var i stand til å måle snøsig, men de målte verdiene var lavere enn det som var forventet, etter beregninger. Dette skyldes mest sannsynlig liten terrenghelning der konstruksjonen ble montert og ekstra stor snøsmelting mot konstruksjonsdelene.

Abstract

Snowpacks in sloping terrain will always start to creep during melt/freeze metamorphosis and create pressure against obstacles. When planning a construction in such terrain, it is necessary to take this pressure into account. The properties of snow vary between geographical areas; therefore, the snow pressure might differ as well. No snow creep testing has previously been performed on Svalbard, and to achieve a good calculation basis, according to local conditions, this needs to be done.

The project task was to develop a snow pressure measurement system for the central part of Svalbard and testing the system under real life conditions in a test field. A standalone construction has been constructed and built, with a contact surface towards the snow of 3 m x 1.5 m. The structure is similar to traditional snow bridges, but has a smooth contact surface, without aperture. To measure the snow pressure against the contact surface, load cells are placed in each corner. The construction was mounted in a test area located between the Global Seed Vault and the shooting range outside Longyearbyen, Svalbard. The measuring system has been tested in real conditions during spring of 2017. To obtain background data, field observations and measurements of various properties have been performed on the snow as well as collecting weather data from a local weather station. The test field has been mapped with a laser scanner, to determine slope angles in the terrain and changes in snow depths. A temperature logger that measures the temperatures throughout the snow cover has also been developed and tested.

The testing showed that the system was able to measure snow creep, but the measured values were lower than expected, from calculations. This is probably due to low terrain slope where the construction was mounted and extra snow melting against the structural parts.

Innhold

Tabelloversikt	1
Figuroversikt	2
1 Innledning.....	5
1.1 Formål.....	5
1.2 Problembeskrivelse	5
1.3 Bakgrunn	5
2 Litteratur og teori.....	7
2.1 Snø.....	7
2.1.1 Snødannelse	7
2.1.2 Fysiske egenskaper	8
2.1.3 Mekaniske egenskaper	9
2.1.4 Snømetamorfose	10
2.2 Bevegelser i snø og snø i bevegelse	11
2.2.1 Snøglidning	12
2.2.2 Snøsig.....	13
2.2.3 Setninger	14
2.2.4 Skred.....	14
2.2.5 Skredsikringstiltak.....	15
2.2.6 Snødriv og fokkdannelse	20
2.3 Snøtrykk.....	20
2.4 Permafrost.....	21
2.5 Svalbard-klima	22
2.5.1 Generelt.....	22
2.5.2 Nedbør og temperatur	23
2.5.3 Sollys.....	23
2.5.4 Snøklima	24
3 Beregningsmodeller av snøtrykk.....	25
3.1 Analytiske modeller	25
3.1.1 Snø modellert som rigid materiale (NS og ISO)	25
3.1.2 Viskoelastisk reologi	26
3.2 Empiriske modeller.....	28
3.2.1 Beregningsmetode etter SLFs "Defense structures in avalanche starting zones"	28
3.2.2 Beregningsmetode etter Statens vegvesens "Håndbok V138"	33
3.2.3 Beregningsmetode etter Jan Otto Larsen (2000)	34
4 Materialer og metoder	35

4.1	Forsøksområdet.....	35
4.2	Snøtrykkmåling.....	35
4.2.1	Forsøksveggen.....	35
4.2.2	Forankring.....	38
4.2.3	Montering.....	38
4.2.4	Måling av snøsig.....	39
4.3	Temperaturmåling i snødekket.....	40
4.4	Feltobservasjoner.....	42
4.4.1	Visuell inspeksjon.....	43
4.4.2	Snødybde.....	43
4.4.3	Temperatur.....	43
4.4.4	Hardhet.....	43
4.4.5	Kornform og størrelse.....	43
4.4.6	Densitet.....	44
4.4.7	Skjærkraft.....	44
4.5	Værdata.....	45
4.6	Snø- og terrengundersøkelser.....	45
4.7	ArcGIS.....	47
4.7.1	Snødybder.....	47
4.7.2	Maksimale snødybder.....	47
4.7.3	Terrenghelning og -profil.....	48
4.7.4	Egnede plasseringer for forsøksveggen.....	48
5	Resultater.....	50
5.1	Snø- og terrengundersøkelser.....	50
5.1.1	Terrenghelning.....	50
5.1.2	Endringer i snødybde.....	51
5.1.3	Største opptredende snødybder.....	52
5.2	Egnet plassering av forsøksvegg.....	54
5.3	Værdata.....	55
5.4	Feltobservasjoner.....	56
5.5	Temperatur i snødekket.....	57
5.6	Beregnet snøtrykk etter ulike standarder.....	60
5.6.1	Beregning etter SLFs "Defense structures in avalanche starting zones".....	60
5.6.2	Beregning etter Statens vegvesens Håndbok V138.....	61
5.7	Målt snøtrykk.....	61
5.8	Sammenheng mellom ulike data.....	62

6	Diskusjon	64
6.1	Resultat.....	64
6.1.1	Snø- og terrengundersøkelser	64
6.1.2	Egnet plassering av forsøksvegg.....	64
6.1.3	Temperaturlogging av snøprofil	65
6.1.4	Beregnet snøtrykk	65
6.1.5	Måling av snøsig	65
6.1.6	Sammenheng mellom forskjellig måledata	66
6.2	Mulige feilkilder.....	66
6.2.1	Loggesystemet.....	66
6.2.2	Kunstig påvirkning av snø.....	67
6.2.3	Jordsig.....	67
6.2.4	Smelting rundt konstruksjonen og mot veggen	68
6.3	Videre arbeid.....	68
7	Konklusjon	70
8	Litteraturliste.....	71
A	Vedlegg.....	74

Tabelloversikt

Tabell 1: Krypfaktor, K , som funksjon av gjennomsnittlig snødensitet, ρ , og terrenghelning, ψ . (Margreth, 2007)	28
Tabell 2: Glidefaktorer for ulike overflateklasser og eksponerte himmel-retninger, etter Margreth 2007.	30
Tabell 3: Hardhetstest, med form, symbol og beskrivelse, etter Greene et al., (2016)	43
Tabell 4: Beregnede verdier etter metode omtalt i punkt 3.2.1 og med snøhøyde satt etter konstruksjonshøyde (forsøksvegg), for ulike korreksjonsfaktorer	60
Tabell 5: Beregnede verdier etter metode omtalt i punkt 3.2.1 og med snøhøyde satt etter punkt 5.1.3, for ulike korreksjonsfaktorer	60
Tabell 6: Snøtrykk mot forsøksvegg, målt med lastceller.	61
Tabell 7: Kalibreringsdata for lastcellene (HBM S9M)	87
Tabell 8: Tabell over avlesingstid og temperatursteg ved ulike oppløsninger for Dallas DS18B20	87

Figuroversikt

Figur 1: Gjennomsnittlig temperatur i nedre del av atmosfæren ved forskjellige høyder (avstand fra jordens overflate). Verdier hentet fra U.S. Standard Atmosphere (Sissenwine, Dubin, & Wexler, 1962) og justert for å representere området over forsøksfeltet med tilgjengelige verdier for polområdene og Longyearbyen (MOSJ, 2017; Wikipedia, 2017). Illustrasjon: Jan Are Jacobsen.	7
Figur 2: Snøkrystall-strukturer dannet under atmosfærisk trykk, ved forskjellige lufttemperaturer og luftfuktigheter (overmetning), etter Ukichiro Nakaya (1954).....	8
Figur 3: E-modul, strekk-, trykk- og skjærstyrke til snø som funksjon av snødensitet. Figur fra Arenson et al., (2014).	10
Figur 4: Oversikt over trege deformasjoner i et snødekke i hellende terreng, etter Margreth (2007). Illustrasjon: Jan Are Jacobsen.....	12
Figur 5: Eksempel på sprekkdannelse forårsaket av snøglidning (Chugach National Forest Avalanche Information Center, 2010). Området til høyre, merket med en tydelig sprekkdannelse i overkant, undergår snøglidning. Området til venstre i bildet har undergått snøglidning som har utviklet seg til glideskred. De synlige bruddkantene er mellom 1.3 og 2 m høye.....	13
Figur 6: Støtteforbygning i stål med horisontale bjelker. Illustrasjon: Jan Are Jacobsen.	16
Figur 7: Snønett-konstruksjon med barduner og opplager. Illustrasjon: Jan Are Jacobsen.....	17
Figur 8: Ledevoll for å beskytte de nord-østligste boligene på Haugen i Longyearbyen (merket med rødt). Foto: Jan Are Jacobsen.	18
Figur 9: Fordeling av snøtrykk på smale konstruksjoner med utsatte ender. Skravert område viser reell distribusjon, gult område viser beregningsmessig forenklet distribusjon av randtillegget og brunt område viser distribusjon av snøtrykk uten randtillegg.....	21
Figur 10: Temperatur av grunn med permafrost plottet mot dybde under terrengoverflaten. Illustrasjon: Jan Are Jacobsen.....	22
Figur 11: Viser månedsnormaler for nedbør og temperatur i perioden 1961-1990 ved målestasjonen på Svalbard lufthavn. Data er levert av Meteorologisk Institutt. Illustrasjon: Jan Are Jacobsen.....	23
Figur 12: Kloss med masse m og vertikal last s som ligger på et skråplan (hustak). Illustrasjon: Jan Are Jacobsen.	25
Figur 13: Symbolsk representasjon av et Burgers-materiale, som består av et Maxwell-materiale og et Kelvin-Voigt-materiale i serie.	26
Figur 14: Rigid snødekke med høyde H og lengde l_0 (for området uten friksjon) og $l\mu$ (for området med Coulomb-friksjon) i terreng med helningsvinkel α , som bryter løs ved $t = 0$, akselererer med u og skaper trykk i området foran støtteforbygning (over l_s) slik at elastisk og viskøs deformasjon oppstår. Illustrasjon: Jan Are Jacobsen.....	27
Figur 15: Reell distribusjon (skravert) og forenklet distribusjon (stipulert) av randkrefter mot forbygninger (Margreth, 2007).	31
Figur 16: Komponenter for korrigering av snøtrykk ved to ikke-normale forbygninger, etter Margreth (2007). Illustrasjon: Jan Are Jacobsen.	32
Figur 17: Viser resulterende snøtrykk R' med komponenter etter SLFs retningslinjer.	32
Figur 18: Viser fordeling av sigetrykk etter Statens vegvesens håndbok V138.....	33
Figur 19: Posisjon til forsøksveggen markert i kart, med Longyearbyen og andre kjente landemerker. Kart er hentet fra Norsk Polarinstitut.	35
Figur 20: Konseptskisser av forsøksveggen med innfesting av lastceller. Til venstre: Hele konstruksjonen sett fra siden. Til høyre: Detalj av øvre innfestning sett ovenfra. Strekkstagene er fast innspent (sveiset) på forsøksveggen.	36
Figur 21: Viser påsveiset brakett til innfesting av lastceller og utskiftbare glideklosser for redusert friksjon mellom veggen og bunnprofilen. Bolten er 12.9 M24. Foto: Jan Are Jacobsen.	37

Figur 22: Forsøksvegg, med støtterammer forankret til bakken med armeringsjern og lastceller montert i strekk. Foto: Jan Are Jacobsen.	38
Figur 23: Viser det planlagte monteringsstedet merket med stikker til venstre i bildet og det endelige monteringsstedet som gravemaskinen er i ferd med å grave ut for. Gravemaskinen står så langt opp i skråningen som det var mulig å komme med maskinen. Foto: Jan Are Jacobsen.	39
Figur 24: HBM S9M-lastcelle montert i strekk i underkant av forsøksveggen. Foto: Jan Are Jacobsen.	40
Figur 25: Til venstre: Prinsippskisse av sensorrekke for temperaturmåling i snødekker. Til høyre: Sensorrekke montert i felt. Foto og illustrasjon: Jan Are Jacobsen.	41
Figur 26: Oppsett av temperaturloggeren som ble benyttet, med komponenter. Sensorrekken og batteriet er ikke tilkoblet, men kobles til via skruterminaler.....	42
Figur 27: Snøprøveskuffe med lokk, beregnet for densitetsmålinger. Foto: Arne Aalberg.	44
Figur 28: Skjærkraft-ramme og fjærvekt. Foto: Arne Aalberg.	45
Figur 29: TLS under scanning av forsøksområdet, med forsøksvegg i bakgrunnen. Foto: Jan Are Jacobsen.	46
Figur 30: Oversikt over snødybdemodellene (fra de ulike scanne-tidspunktene) som er brukt som utgangspunkt for bearbeidningen, bearbeidingsprosess der to og to modeller er sammenlignet og resultatet av bearbeidningen som er en maksdybde-modell. Hver boks i diagrammet representerer en raster-modell. Illustrasjon: Jan Are Jacobsen.....	48
Figur 31: Viser stigning i forsøksområdet (i grader). Bakgrunnskart er hentet fra Norsk Polarinstitutt og er georeferert.	50
Figur 32: Viser snitt gjennom terrenget ved forsøksveggen, med terrenghelning. Horisontal avstand med utgangspunkt i forsøksveggen (markert som pigg).....	51
Figur 33: Snitt gjennom forsøksvegg, terreng og snødekker, som viser høydeprofil til terrenget og snødybdene ved forskjellige måletidspunkt	52
Figur 34: Kartlagt maksimal snødybde (H_{maks}) i måleperioden 18.05.17-30.06.17. Bakgrunnskartet er hentet fra Norsk Polarinstitutt og er georeferert i ArcMap.	53
Figur 35: Utvikling av snøhøyde gjennom måleperioden, i et punkt 40 cm på oversiden av forsøksveggen, kartlagt med TLS.....	53
Figur 36: Kart over forsøksområdet med egnede plasseringer for forsøksveggen (merket grønt). Bakgrunnskart er hentet fra Norsk Polarinstitutt og er georeferert i ArcMap.	54
Figur 37: Viser plotting av koordinater i Norsk Polarinstitutt sitt web-baserte kartverktøy.	55
Figur 38: Værdata målt ved Svalbard Lufthavn. Kilde: Yr, levert av Meteorologisk institutt og NRK ...	55
Figur 39: Observasjoner og målinger gjort i snøgrop i Lia, på nordsiden av Sukkertoppen 20. april 2017.....	56
Figur 40: Observasjoner og målinger gjort i snøgrop på forsøksfeltet 14. juni 2017.....	57
Figur 41: Temperaturer i snødekket logget mellom 21.6.17 og 23.6.17.....	58
Figur 42: Temperaturer i snødekket og i luften, logget mellom 26.6.17 og 29.6.17	58
Figur 43: Viser loggede temperaturer for to utvalgte temperatursensorer, i tre loggeperioder. Hver periode er på omtrent to døgn.	59
Figur 44: Tosidig endelig differanse-analyse av loggede temperaturer for to utvalgte temperatursensorer, i tre loggeperioder.	59
Figur 45: Grafisk fremstilling av måledata omregnet til sigetrykk (punkter) med tilnærmingskurve (stiplet linje) mot tid.....	62
Figur 46: Sigetrykk (blå kurve), snødybde (orange kurve) og lufttemperatur (gul kurve) som funksjon av tid. Sigetrykket er målt med forsøksveggen. Snødybden gjelder for området på oversiden av forsøksveggen og er målt med TLS. Lufttemperaturene er hentet fra Yr, levert av Meteorologisk institutt og NRK, og er samlet inn ved værstasjonen på Svalbard lufthavn.....	62

Figur 47: Målt snøtrykk (blå kurve) sammen med de beregnede verdiene for største, gjennomsnittlige sigetrykk, etter punkt 3.2.1 og 3.2.2.	63
Figur 48: Forsøksveggen sett ovenfra med hvitt felt som markerer upåvirket snø og grått felt som markerer utgravd område som senere ble fylt med drivsnø.	67
Figur 49: Prinsippskisse av forbedret system for logging av temperaturer i snødekket. Temperaturprober laget av gjengestål (til høyre) er montert vertikalt nedover forsøksveggen, forskalingsplaten.	68

1 Innledning

1.1 Formål

Formålet med denne oppgaven er å utarbeide en metode for å vurdere snøsigkrefte som opptrer i snødekket i et bestemt forsøksfelt i den sentrale delen av Svalbard. Målingene skal på sikt gi relevante data til utarbeiding av analytisk modell for opptredende snøsigkrefter i området. En slik modell har nytteverdi blant annet ved dimensjonering av sikringstiltak for snøskred, utbygging av infrastruktur og ved andre typer byggeprosjekter.

1.2 Problembeskrivelse

I denne oppgaven skal det utvikles et system for å logge snøsigkrefte som opptrer i snødekket i et forsøksfelt med hellende terreng utenfor Longyearbyen. Systemet må bestå av en selvstendig konstruksjon som kan måle snøtrykket som oppstår fra et sigende snødekke uten å være avhengig av eksisterende konstruksjoner i terrenget. Konstruksjonen må være dimensjonert for å tåle kreftene som kan opptre og ha en lang levetid slik at loggingen kan fortsette i flere vintersesonger fremover. Systemet skal testes og vurderes under realistiske forhold på Svalbard. Måledata fra testingen skal analyseres og sammenlignes med teoretiske verdier. Parallelt med loggingen av snøtrykket skal data som værforhold og snøegenskaper samles inn. Dette skal brukes for å finne egenskapene som påvirker snøsigt slik at en god strategi for videre forskning og overvåking kan utvikles.

I sammenheng med dette arbeidet vil følgende temaer bli beskrevet og diskutert:

- Snø- og skredteori
- Sikringsmetoder mot snøskred
- Gjeldende regelverk og retningslinjer for prosjektering av støtteforbygninger, samt praktisk eksempel med utgangspunkt i lokale forhold
- Måleteknikk og utstyr for ulike laster, analysering av snø, kartlegging av terreng, mm
- Praktisk bruk av GIS-programvare
- Konsept- og produktutvikling, med testing og evaluering

I denne oppgaven besvares følgende spørsmål:

Er det mulig å utvikle en enkel metode for å måle snøsigkrefte som oppstår i forsøksområdet i den sentrale delen av Svalbard og som vil kunne generere tilfredsstillende måledata til videre forskning?

1.3 Bakgrunn

Snøskred er en naturkatastrofe som kan ha store konsekvenser for mennesker og infrastruktur, både direkte og indirekte. Snøskred har tatt liv i nesten alle Norges fylker, på Svalbard og i resten av verdens snødekte områder (Furusest, 2006; Varsom.no, 2017). Selv om det ikke finnes tall eller oversikt over de direkte samfunnsøkonomiske følgene (NGI, 2014), er det tydelig at snøskred har store samfunnsmessige konsekvenser. Historisk sett er det mange eksempler på at bosetninger har

blitt evakuert på grunn av skredfare, at lokalsamfunn har blitt avskjermet fra omverdenen på grunn av snøskred og at bygninger og annen infrastruktur har blitt knust.

Med klimaforandringene er det forventet endringer i været som vil arte seg forskjellig over hele landet. Fordi snøskred løses naturlig ut av ulike værphenomener (f.eks. sterke vinder eller mye nedbør), vil endringene føre til at årsaken til skred, typen skred og skredhyppigheten vil utvikle seg forskjellig i de ulike områdene. I forskningsprosjektet GeoExtreme (med Norges geologiske undersøkelse (NGU), Norges geotekniske institutt (heretter NGI), Bjerknes Centre for Climate Research, Senter for klimaforskning (CICERO) og Meteorologisk institutt) vises det en forventet oppgang i snøskredforekomster i Nord-Norge og på Vestlandet (Forskningsrådet, 2009). På Svalbard kan det ifølge Eckerstorfer & Christiansen (2011b) forventes stabil frekvens av skavlskred og en nedgang i andre typer snøskred. Med tanke på klimaforandringene er det altså antatt endringer i snøskredfrekvensen fremover, og ingenting tyder på at skredfaren vil forsvinne. Det er derfor viktig å fortsette å gjøre effektive sikringstiltak mot skred, for å beskytte mennesker og infrastruktur.

På 60- og 70-tallet manglet Norge egne retningslinjer for prosjektering av konstruksjoner for snøskredsikring, og benyttet derfor det Sveitsiske institutt for snø- og skredforskning (heretter SLF) sine retningslinjer (Larsen, 2000). Det viste seg i ettertid at forbygningene som ble satt opp i Norge ble overbelastet og fikk skader som gikk ut over funksjonen. I 1975 begynte NGI et forskningsprosjekt i samarbeid med Statnett for å undersøke kreftene som oppstår mot konstruksjoner i det norske klimaet. Det ble i denne sammenhengen montert sensorer på forbygninger og master i Stryn-fjellene. Undersøkelsene konstaterte at snøsigkreftene som opptrer i det maritime klimaet i Norge skiller seg fra snøsigkreftene som opptrer i det alpine klimaet som de sveitsiske retningslinjene baserer seg på. I dag bruker vi fortsatt de sveitsiske retningslinjene, men med lokale tilpasninger (Larsen, 2016).

Det er blitt kjent fra forskningsarbeidet til blant annet Eckerstorfer & Christiansen (2011a, 2011b) at også snøen på Svalbard har særegne fysiske egenskaper og ikke kan klassifiseres som hverken maritimt eller alpint snøklima. Det er derfor naturlig å anta at kreftene som opptrer på Svalbard på grunn av snøsig også skiller seg ut, men det er ikke gjort målinger av snøtrykk ved Longyearbyen eller andre plasser på Svalbard tidligere.

Longyearbyen er hovedbosetningen på Svalbard og startet som et gruvesamfunn som har fortsatt å vokse, også etter nedgangen i gruveaktivitet (SSB, 2015, 2017). Årlig går det hundretalls skred på Svalbard og de to siste vintrene har det gått skred i Longyearbyen som har tatt både bygninger og liv (Bolstad & Barr, 2017). Behovet for sikringstiltak er derfor stort hvis bosetningen skal forbli. Med økt utbygging i stadig mer krevende terreng og påtrykkende behov for sikringstiltak mot skred i og rundt Longyearbyen følger også et økt behov for kunnskap om lokale snøkrefter.

2 Litteratur og teori

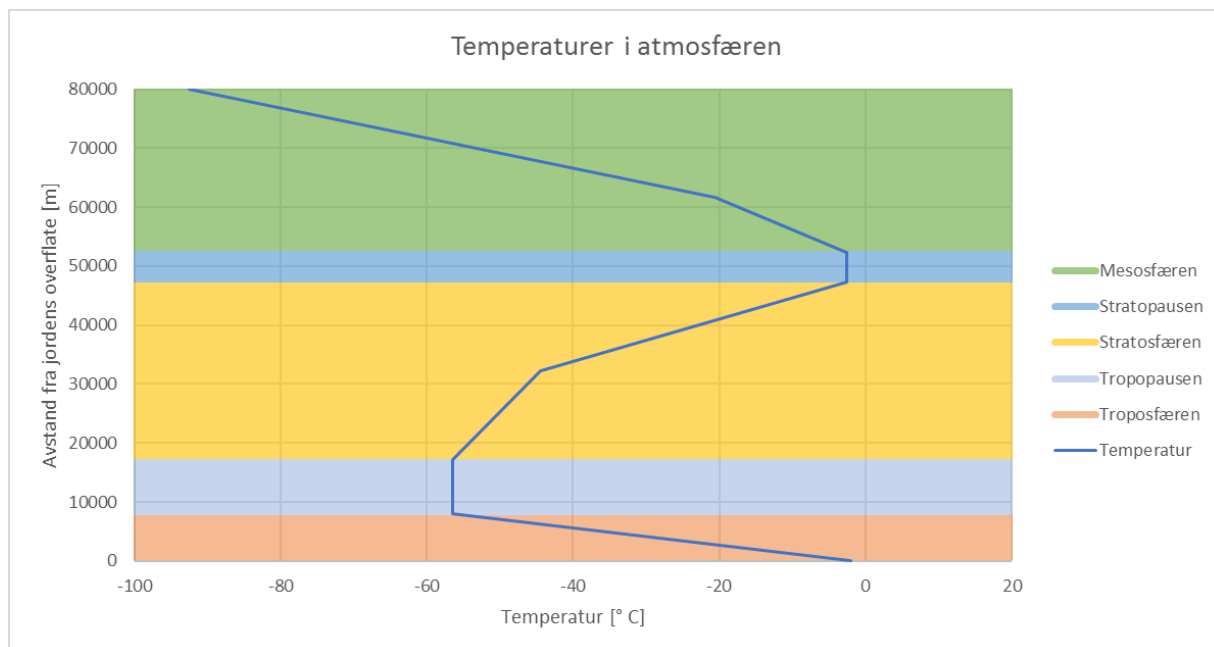
2.1 Snø

2.1.1 Snødannelse

Kryosfæren er definert som de områdene av jordens overflate der vann naturlig opptrer i fast form, som snø, islagte elver, islagte innsjøer, havis, isbreer, permafrost eller tele i bakken (Arenson, Colgan, & Marshall, 2014). Områdene strekker seg fra jordens poler mot ekvator, og avgrenses geografisk ved at temperaturen ikke går under frysepunktet. Kryosfæren har stor påvirkning for jordens overflate-energi, skydekke, nedbør og hydrologi, og spiller derfor en viktig rolle i det globale klimasystemet.

Snøkrystaller dannes høyt i troposfæren av underkjølt vanddamp som fester seg til frysekjerner (Norem, 2014). Frysekjernene er faste, mikroskopiske partikler, hovedsakelig naturlige aerosoler som støvkorn, salt- og askepartikler, men også menneskeskapt (antropogene) aerosoler (Meteorologisk institutt, 2009; Voiland, 2010). Uten frysekjernene vil vannmolekylene i dampen holdes underkjølt ned til en temperatur rundt -40°C , men ved kontakt med disse faste partiklene fryser vannmolekylene momentant til iskrystaller, uten å være innoom væskeform. Når molekylene går fra gassform direkte til fast form kalles det deposisjon. Videre bygger disse krystallene seg større og tyngre ved at de treffer nye vannmolekyler som fester seg utenpå krystallen når de gjennom deposisjon fryser til is (Rudolf-Miklau, Sauermoser & Mears, 2014).

Når krystallene blir så tunge at vekten overgår oppdriften fra oppadgående luftstrømmer, begynner de å falle mot jorden som nedbør, med en fart rundt 1 m s^{-1} .



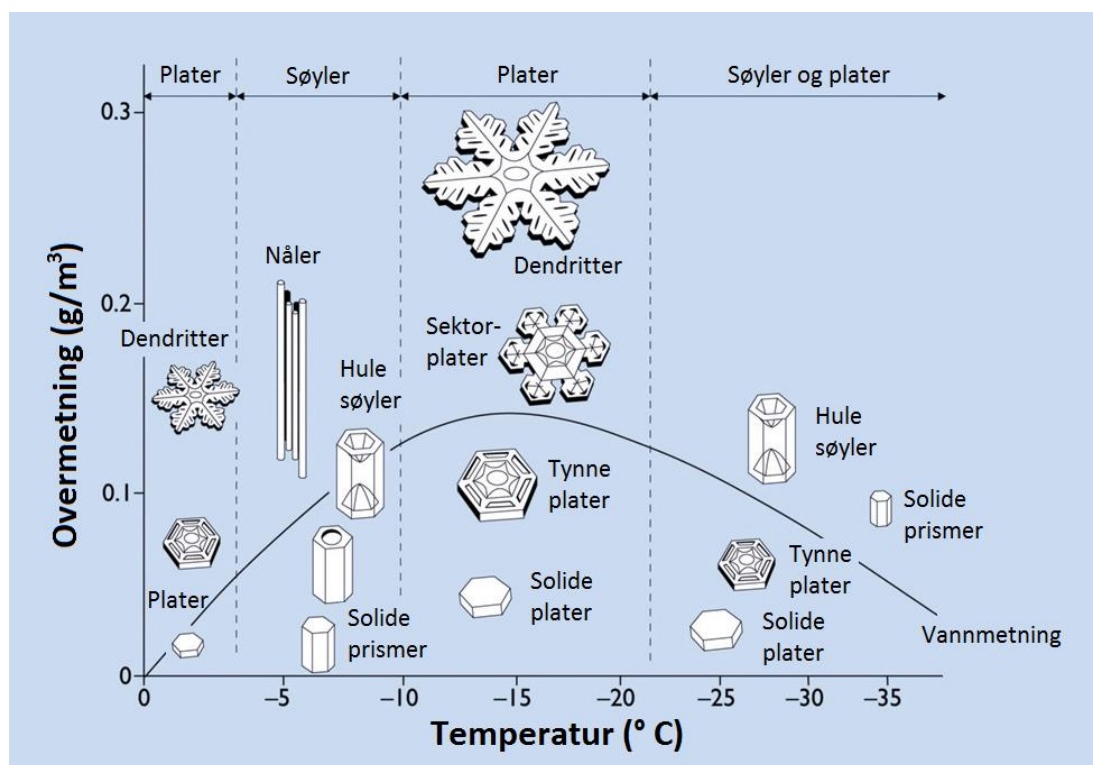
Figur 1: Gjennomsnittlig temperatur i nedre del av atmosfæren ved forskjellige høyder (avstand fra jordens overflate). Verdier hentet fra U.S. Standard Atmosphere (Sissenwine, Dubin, & Wexler, 1962) og justert for å representere området over forsøksfeltet med tilgjengelige verdier for polområdene og Longyearbyen (MOSJ, 2017; Wikipedia, 2017). Illustrasjon: Jan Are Jacobsen.

I Figur 1 kommer det frem at temperaturen øker nedover i troposfæren. Dermed øker sjansen for at snøen smelter jo nærmere jordoverflaten den kommer. Hvis temperaturen er lav nok hele veien ned

til jorden, slik at krystallene ikke smelter og faller som regndråper, vil nedbøren treffe jorden som nysnø. Studier fra Island viser at den kritiske lufttemperaturen, der sannsynligheten for nedbør i form av snø er like stor som sannsynligheten for regn, ligger rundt 0.5-2.1 °C (Ólafsson & Haraldsdóttir, 2003). Temperaturen varierer noe som følge av forskjell i geografi, tid på døgnet og tid på året. Etter hvert som snøkrystallene lander på jordoverflaten og akkumuleres, dannes et snødekke på jordens overflate.

2.1.2 Fysiske egenskaper

På grunn av H₂O-molekyleneles naturlige oppbygging, bygger i prinsippet alle snøkrystaller på en heksagonal form. Ved forskjellige temperaturer og fuktigheter dannes det ulike typer krystallstrukturer, men med den heksagonale formen som utgangspunkt. I Figur 2 er disse strukturene fremstilt, og figuren viser samtidig under hvilke forhold de ulike krystallstrukturene gjerne blir dannet.



Figur 2: Snøkrystall-strukturer dannet under atmosfærisk trykk, ved forskjellige lufttemperaturer og luftfuktigheter (overmetning), etter Ukichiro Nakaya (1954).

Fra figuren ser vi at temperaturen hovedsakelig bestemmer om krystallene vil vokse til plater eller søyler, mens metningsgraden hovedsakelig bestemmer hvor kompleks strukturen blir (Libbrecht & Rickerby, 2013). I tillegg til å vise hvilke krystallstrukturer som dannes under ulike forhold av temperatur og fuktighet, viser Figur 2 overmetningen av underkjølt vann i forhold til is.

Nysnøen er lettpåvirkelig og endrer raskt kornstruktur av påvirkning fra temperatur, vind og trykk under transporten gjennom atmosfæren og under lagring på bakken (Arenson et al., 2014). For eksempel fører vinden ofte til formasjon av små, avrundede snøkorn, som kan lage sterke bindinger (Arenson et al., 2014). Fordi snøkornene er så lettpåvirkelig og endrer utseende såpass mye sies det at det visstnok ikke finnes to identiske snøkorn i hele verden. Allikevel er det mulig å identifisere snø som har falt i samme periode fordi krystallene undergår relativt lik påvirkning av værforholdene og

dermed får den samme grunnstrukturen. Denne snøen kan derfor defineres som et snølag i det totale dekket, der kornstrukturen skiller seg ut fra kornstrukturen til eventuell snø som ligger over og/eller under (Larsen, 2015a). I et vanlig snødekke vil man gjerne finne nysnø eller fokksnø på toppen, og lagdelt snø med kornstruktur påvirket av avsetnings- og omvandlingsforholdene under.

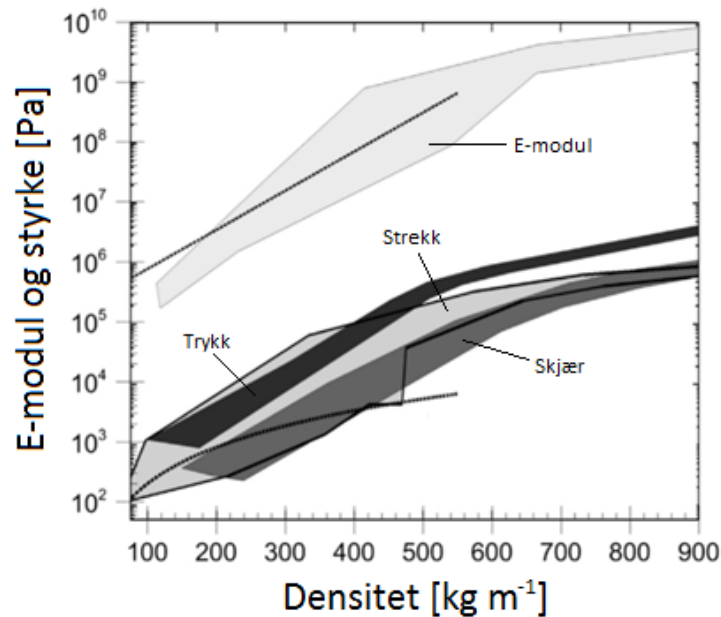
Fordi snø kan opptre som ukomprimert nysnø, ren is, eller noe mellom disse ytterpunktene, kan densiteten til snø teoretisk variere fra finkornet nysnø på 10 kg/m^3 til ren ferskvannsis på 917 kg/m^3 (Arenson et al., 2014). Typiske verdier for nysnø ligger allikevel i området $15\text{-}100 \text{ kg/m}^3$ for arktisk, kontinentalt snøklime og $100\text{-}300 \text{ kg/m}^3$ for maritimt snøklime. For eldre snø ligger densiteten som regel mellom 200 kg/m^3 (tørr snø) og 650 kg/m^3 (våt snø). Fordi tettheten og vanninnholdet kontinuerlig endres under metamorfose (se 2.1.4) og snøen pakkes og komprimeres under sin egen vekt, forandres tettheten og mikrostrukturen på kort tid. På grunn av disse store variasjoner i densitet og i mikrostrukturen, varierer også de mekaniske egenskapene svært mye.

Snø reflekterer sollys svært godt og det er derfor den opptre hvit. Refleksjon måles i albedo, der 0 er total absorpsjon og 1 er total refleksjon. Nysnø har en albedo på ca. 0.8-0.9 (McEvoy, Markvart, & Castaner, 2012). Til sammenligning har barmark (jord og gress) en albedo rundt 0.17-0.32, havet 0.06 og gjennomsnittlig har jordkloden en verdi på 0.34. Albedo-verdien til snø synker noe når den blir eldre, men holder seg relativt høy frem til snøen blir våt eller skitten. Når snøen begynner å smelte kan albedoen synke helt ned mot 0.45, fordi vannet i snøen absorberer mye av innstrålingen. Er snøen skitten, kan albedo-verdien nærme seg den til barmark.

Snø er bygget opp av individuelle snøkorn og mellom snøkornene er det luft og vann. Dette gjør at snøen kan beskrives som et porøst materiale. Når snøen har stor andel porer får den relativt god isoleringsevne, fordi luften i porene har dårlig varmeledningsevne og i tillegg stenges inne i porene slik at konveksjon forhindres. Fordi densiteten til snø kan variere mye, noe som betyr at andelen luft varierer mye, kan isoleringsevnen også variere mye. λ -verdien (varmeledningsevnen) til snø varierer mellom 0.04 og $1.0 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ for snø med densitet $100\text{-}550 \text{ kg m}^{-3}$ (Arenson et al., 2014).

2.1.3 Mekaniske egenskaper

De mekaniske egenskapene til snø varierer med densiteten og mikrostrukturen. Selv om det er en sammenheng mellom styrken til snø og densiteten, slik det kommer frem fra Figur 3, kan egenskapene variere mye ved gitte densiteter. Det er fordi det er vanninnholdet i porene, formen på snøkornene og bindingene mellom disse snøkornene som egentlig bestemmer de mekaniske egenskapene til snøen, slik som snøens strekkfasthet, trykk- og skjærstyrke ved ulike påførte spenninger (Arenson et al., 2014).



Figur 3: E-modul, strekk-, trykk- og skjærstyrke til snø som funksjon av snødensitet. Figur fra Arenson et al., (2014).

Under snømetamorfose (se punkt 2.1.4) endres egenskapene til snøen, fordi bindingene, vanninnholdet og kornformen endres. Sterke bindinger oppstår mellom snøkorn der forgreningene i overflaten på snøkrystallene hektes i hverandre etter snøfall, spesielt i kaldt, vindstille vær. Dette gjør det mulig for snøen å legge seg i fjellskråninger med helning helt opp mot 80° (Jaedicke, 2014). Etter hvert forsvinner disse bindingene og strekkfastheten reduseres. Fryser snøkornene sammen igjen, vil strekkfastheten, trykkstyrken og skjærkapasiteten økes igjen. Slik fortsetter snøens egenskaper å endres, etter ytre påvirkning og snømetamorfose.

Snøens deformasjon avhenger av hvilken type spenning den blir påført og spenningsraten (endring i spenning over tid) (Arenson et al., 2014). Ved høye spenningsrater ($10^{-4} - 10^{-3} \text{ s}^{-1}$) virker snøen tilnærmet lineært elastisk frem til den går i brudd (Arenson et al., 2014). Ved lavere spenningsrater (rundt 10^{-6} s^{-1}) opptrer snøen derimot viskøs med viskøs deformasjon. Den mekaniske responsen til snø kan derfor karakteriseres som viskoelastisk.

2.1.4 Snømetamorfose

Snømetamorfose, også kalt krystallomvandling, opptrer når snøkrystallene endrer sin fysiske form og dermed snødekkets egenskaper. Det fins flere måter å dele inn snø på, en svært grundig inndeling er etter UNESCO sin internasjonale klassifikasjonen for snø på bakken (Fierz et al., 2009; NVE & Forsvaret, 2011). Denne klassifiseringen deler inn snøen etter fysisk form i følgende hovedklasser: Nedbørpartikler, kunstsne, fragmenterte nedbørpartikler, nedbrytende nedbørpartikler, avrundede korn, fasetterte krystaller, begerkrystaller, overflaterim, smelteformer og istyper. De ulike typene snø oppstår gjennom snømetamorfose og har ulike fysiske egenskaper. Noen typer snø fører til svake lag, slik som nysne, fasetterte krystaller og begerkrystaller. Andre typer snø fører til sterke lag, slik som fokksne og sammenpakket grovkornet snø (Larsen, 2015a).

Fordi krystallene påvirkes svært lett av endringer i omgivelsene, som endring av temperatur, trykk og/eller fuktighet, gjennomgår snøen metamorfose kontinuerlig fra snøkornene dannes i troposfæren til snødekket har smeltet (Rudolf-Miklau et al., 2014). Snømetamorfose på bakken kan deles inn i tre typer, likevektsmetamorfose, kinetisk metamorfose og smelte-/fryse-metamorfose.

Likevekstmetamorfose foregår når snøkornene blir rundere og mer kompakte. De lange, spisse grenene på snøkrystallene blir kortere og avrundes, samtidig som kornene vokser rundt "midjen". I de konvekse delene av snøkrystallene er overflatespenningen mellom molekylene stor, noe som fører til høyt damptrykk. I de konkave delene er det motsatt, overflatespenningen er liten, noe som fører til lavt damptrykk. Gjennom sublimasjon (fast direkte til gass) i de konvekse delene av krystallene, og deposisjon (gass direkte til fast) i de konkave delene, omfordes massen (Rudolf-Miklau et al., 2014). Resultatet er at krystallene mister kanter og tagger (som er konvekse), vokser i groper og fordypninger (som er konkave), og blir generelt mer kuleformet. Prosessen finner sted i snødekker med liten temperaturforskjell (typisk mindre enn $10\text{ }^{\circ}\text{C m}^{-1}$) og som ikke er for kalde ($> -10\text{ }^{\circ}\text{C}$). En del snøkrystaller deles i denne prosessen også opp i mindre krystaller. De minste krystallene fordamper mens de største vokser seg større.

Sintring oppstår når snøkornene fester seg til hverandre gjennom isforbindelser i kontaktpunktene mellom kornene. Disse forbindelsene fører til at snøen henger bedre sammen, og øker strekk-, trykk- og skjærkapasitet til snøen, fordi snøkornene blir vanskeligere å flytte i forhold til hverandre. Slik snø kan fortsatt bevege seg i flak eller blokker, uten at isforbindelsene brytes.

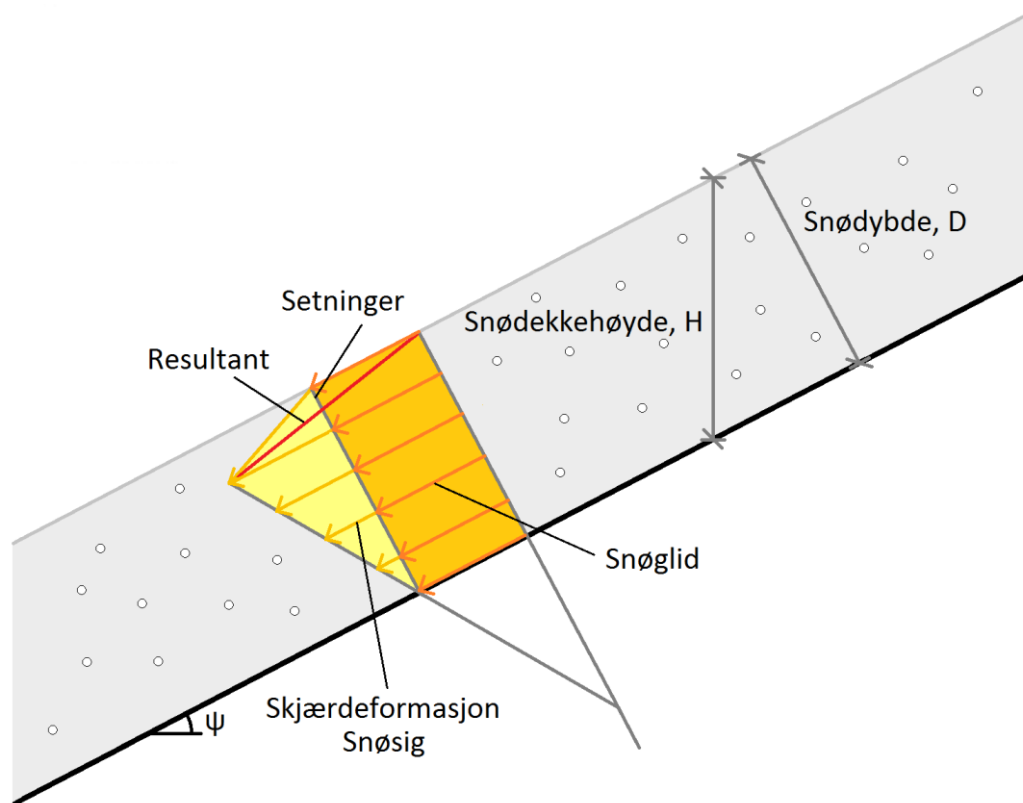
Kinetisk snømetamorfose, også kalt temperaturgradientmetamorfose, oppstår når vanddampforflytting gjennom snødekket fører til endring av kornformen (Rudolf-Miklau et al., 2014). Vanddampforflyttingen skyldes en stor temperaturforskjell mellom topp og bunn av snødekket, som driver vanddampoverskuddet ved bakken mot toppen av snødekket, der det er kaldere og dermed mindre vanddamp. Når vanddampen kommer i kontakt med snøkrystallene fester dampen seg utenpå som is gjennom deposisjon. Ved en temperaturgradient over $10\text{ }^{\circ}\text{C m}^{-1}$ blir kornene flatere, får skarpe kanter, vokser og mister isforbindelsene til andre korn. Denne typen krystaller kalles gjerne kantkorn eller sukknø. Under gode forhold vil metamorfosen fortsette, og krystallene får en sekskantet, begerformet krystallstruktur, samtidig som de vokser til å bli 4-8 mm store. Lag av begerkrystaller kan forekomme ved bakken, i snødekket og på toppen. Snødekker med slike snølag tåler jevnt fordelte laster, slik som nye snølag, relativt godt, men har dårlig kapasitet mot skjær og punktbelastning.

Smelte/fryse-metamorfose oppstår når overflatetemperaturen til snødekket blir $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Rudolf-Miklau et al., 2014). Dette skjer på våren som et resultat av varmere vær og/eller regn. Snøfuktigheten øker i løpet av dagen som følge av smelting og synker i løpet av natten som følge av at det frie vannet fryser. Denne smelte/fryse-prosessen resulterer i harde skorper nær overflaten, med gode lastfordelingsegenskaper og grovkornet snø. Etter hvert som lufttemperaturen, luftfuktigheten og solinnstrålingen øker, erstattes bindingene mellom snøkornene i økende grad av fritt vann. Dette medfører at strekkfastheten synker, trykkfastheten økes, og snødekket blir generelt mer ustabil. Et snødekke som er $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ gjennom hele sjiktet kalles et isotermisk snødekke, og er resultatet av smelte/fryse-metamorfosen. Soloppvarming og frontpassasjer kan varme opp snødekket på kort tid og føre til at dekket blir isotermisk (Larsen, 2015a). Når snødekket er isotermisk blir snødekket vannmettet. Det er i denne tilstanden snøsiget er størst.

2.2 Bevegelser i snø og snø i bevegelse

Snø som ligger i hellende terreng vil, på grunn av gravitasjonskreftene, i prinsippet alltid forsøke å bevege seg mot det laveste punktet i terrenget. Snødekkets bevegelser kan deles inn i to kategorier: trege og raske masseforflyttinger. Eksempler på trege masseforflytting er snøsig, snøglid og komprimering. Som Figur 4 viser er den totale, trege deformasjonen i et snødekke en virkning av

resultanten til snøglid, snøsig og setninger i snødekket. Eksempel på snø med rask bevegelse er drivende snø og ulike typer snøskred.



Figur 4: Oversikt over trege deformasjoner i et snødekke i hellende terreng, etter Margreth (2007). Illustrasjon: Jan Are Jacobsen.

2.2.1 Snøglidning

Når gravitasjonen fører til at snødekket sklir sakte på underlaget kalles det snøglidning. Som vist i Figur 4 er snøglidningen like stor gjennom hele snødekket, fordi hele dekket forflytter seg som en sammenhengende blokk. I begynnelsen, når snødekket fortsatt har liten forflytting, kan snøen virke uforandret, men raskt er det mulig å oppdage glidning visuelt ved at strekkfastheten overgås og snøen slår sprekker fra overflaten ned til terrenget (pers. komm. Margreth, 2017). Det oppstår en tydelig bruddkant i overgangen mellom glidende snø og snø som forblir liggende (se Figur 5). Snøen som forblir liggende er bedre forankret og/eller har større friksjon mot bakken enn snøen som glir.



Figur 5: Eksempel på sprekkdannelse forårsaket av snøglidning (Chugach National Forest Avalanche Information Center, 2010). Området til høyre, merket med en tydelig sprekkdannelse i overkant, undergås snøglidning. Området til venstre i bildet har undergått snøglidning som har utviklet seg til glideskred. De synlige bruddkantene er mellom 1.3 og 2 m høye.

Omfanget av glidningen er sterkt preget av ruheten til terrenget (gress, fjell, stein, etc.), egenvekt (snødybde og densitet) og terrengets helningsvinkel. Normalt glir snøen mellom 1 og 1000 mm pr. døgn, men glidningen kan også begynne å akselerere og resulterer da i glideskred (Rudolf-Miklau et al., 2014), slik området til venstre i Figur 5 viser.

2.2.2 Snøsig

Gravitasjonen og metamorfose fører til skjærspenninger i snødekket, parallelt med helningsvinkelen, som resulterer i skjærdeformasjon i snøen (Rudolf-Miklau et al., 2014). Deformasjonen er null ved bakkeplanet og øker mot overflaten til snøen, som vist i Figur 4. Snødybden vil derfor være sterkt med på å bestemme hvor mye snøen siger, og sammen med terrengets helningsvinkel bestemme de opptredende snøsigkrefte. Snøsig kan defineres som kryp da det er en kontinuerlig deformasjon av et materiale under konstant påtrykt spenning over tid. Snøsiget er størst når snødekket har blitt fullstendig isothermisk, altså når det er 0° C gjennom hele snødekket (Larsen, 2015b).

Hvis skjærspenningene i snødekket overskrider skjærfastheten i det svakeste snølaget kan snøen løsne fra de andre lagene og resultere i flakskred (se 2.2.4.2).

Den vanligste metoden for å beskrive snøsig og setninger er med to-dimensjonale kontinuum mekaniske modeller (Teufelsbauer, 2011). En-dimensjonale modeller er begrenset til å beregne deformasjon i en retning (f.eks. setninger forårsaket av tyngdekraften). Tre-dimensjonale modeller er sjeldne, og krever svært mye datakraft.

Det er mulig å måle snøsigkrefter på flere måter, hvilken metode som er best egnet må vurderes i hver enkelt situasjon. Ønsket nøyaktighet, områdets tilgjengelighet, forventet belastning, grunnforhold og tilgjengelige konstruksjoner og infrastruktur spiller inn ved prosjektering og dimensjonering. Er det oppført konstruksjoner i området, vil det som regel være fordelaktig å benytte seg av det, såfremt disse er fundamentert og forankret tilfredsstillende. For master og wirenettforbygninger kan man måle strekk i bardunene ved hjelp av lastceller. For fast innspenne master kan man også måle tøyning ved hjelp av strekkklapper montert rett på masten. For vegger og konstruksjoner med store flater mot snøen er sensorer for flatetrykk gunstig å bruke. For stålforbygninger kan det måles trykk i støtteben, tøyning i innspenne stolper, eller flatetrykk foran de horisontale bjelkene.

2.2.3 Setninger

Setninger oppstår når snøen komprimeres (National avalanche center, 2017). Nysnøen er gjerne lett og full av luft innledningsvis, men undergår hele tiden en omvandlingsprosess, sammen med resten av snødekket, som resulterer i økt tetthet. Under snømetamorfose endrer krystallene struktur og bindinger mellom kornene kan oppløses og bindes på nytt. Når dette skjer er krystallene friere til å omorganisere seg slik at gravitasjonen kan føre til at snøkrystallene plasserer seg mer «effektivt» i snødekket. I tillegg gjør vekten av høyereliggende snø at krystallene presses sammen. Deformasjonen skjer raskere under varmere temperaturer, enn under kalde temperaturer, men deformasjon opptrer hele tiden med en relativt sakte endringsrate. Snøbroer som strekker seg over luftlommer kan kollapse, noe som også fører til at snødekket komprimeres, men dette er en rask deformasjon og regnes derfor ikke som setning i snødekket.

2.2.4 Skred

Et skred er definert som en rask strøm av snø, is, jord eller stein, med volum over 100 m³, som sklir minst 50 m ned langs en skråning (Rudolf-Miklau et al., 2014). Uttrykket skred blir brukt for hele området og prosessen, fra utløsning i løsnområdet, masseforflytting i skredbanen, og til deponering i utløpsområdet.

Snøskred kan utløses naturlig som følge av et komplekst samspill mellom egenskapene til snøen, været og terrenget, eller kunstig som følge av uheldig aktivitet, for eksempel fra ski- eller snøscooterkjøring (NGI, 2014). I en del områder som kan evakueres og sikres for å tåle skred blir det også utløst skred, med full intensjon, for å eliminere skredfaren.

Det er tre hovedtyper snøskred: Løssnø-, flak- og sørpeskred.

2.2.4.1 Løssnøskred

Løssnøskred oppstår vanligvis i snødekker med lett nysnø eller våt snø, gjerne i forbindelse med sterke påkjenninger fra været og i terreng med stor helning (Jaedicke, 2014). Kraftig snøfall, mye solskinn eller regn på nysnø er karakteristisk vær som fører til løssnøskred.

Løssnøskred starter ved at snø i et lokalt punkt begynner å bevege seg, dytter på snø som ligger lavere i terrenget og drar med seg snø som ligger på sidene. Snøen som blir dratt med gjør det samme og en kjedereaksjon oppstår, som resulterer i at skredet brer seg langsomt utover og blir stadig større. Formen på skredbanen blir dermed dråpeformet (Larsen, 2015a). Gjennom destruktiv snømetamorfose avtar kohesjonen mellom snøkrystallene og strekkfastheten reduseres. Snødekket er konstant under belastning, og hvis kapasiteten synker under denne belastningen vil snøen kunne begynne å bevege seg. På samme måte kan ytre påkjenninger, som mye nedbør eller menneskelig

aktivitet, øke belastningen slik at kapasiteten overgås. Tørre løssnøskred oppstår typisk i terreng med helning over 45°, fordi det i slikt terreng skal relativt lite til for å overvinne kohesjonen og friksjonen mellom krystallene. Den største terrenghelningen som snøen kan ligge i uten at den begynner å skli ut kalles statisk friksjonsvinkel (NGI, n.d.). Den minste terrenghelningen der snø i bevegelse ikke vil bremse opp kalles dynamisk friksjonsvinkel og den statiske friksjonsvinkelen er vanligvis ca. 10° brattere enn denne. Når snøen komme i bevegelse er den statiske friksjonsvinkelen lavere enn terrenget snøen ligger i, og fordi den dynamiske vinkelen er ca. 10° lavere, vil snøen opprettholde farten med mindre terrenget eller friksjonen endrer seg.

2.2.4.2 Flakskred

Flakskred oppstår i snødekker med svake snølag, der hele eller deler av dekket løser ut som store flak. Når skredet trigges oppstår det et skjærbrudd i det svake laget som forplanter seg utover i sjiktet (Jaedicke, 2014). Dette medfører økt strekk i grensen til snøområdene som ikke har gått i skjærbrudd, og overgår raskt strekkfastheten, slik at det oppstår strekkbrudd, og snøflaket bryter dermed løs. Strekkbruddet etterlater en bruddkant vinkelrett på terrenget, som strekker seg fra toppen av snødekket ned til bunnen av det løsnende flaket. Bruddkanten kan ha en lengde på over 1 km og er typisk mellom 0.2 og 3 meter høy (NGI, n.d.). Det svake laget fungerer som et glidesjikt mellom snøen som løser ut og det faste laget under. Skredet kan på samme måte løsne langs bakken og klassifiseres også da som flakskred. Dette skjer gjerne når begerkrystallene ved bakken er godt utviklet (Larsen, 2015a). For isotermiske snødekker er det vanlig at skredene løsner langs bakken. På grunn av størrelsen og omfanget er flakskred den snøskredformen som har størst skadepotensiale.

2.2.4.3 Sørpeskred

Snøskred som løsner i områder der snøen er vannmettet kalles sørpeskred. Denne type skred utløses fordi snødekket nesten blir flytende og dermed svært ustabil når porene i snøen fylles med vann (Jaedicke, 2014; Larsen, 2016). Forekomst av denne typen skred skjer oftest i vannveier, som raviner og bekkedaler, og i terreng som heller mellom 5° og 30°. Gjerne løses skredet ut i bunnen av snødekket, slik at hele snødekket går til brudd (Larsen, 2015b). Slike skred frakter ofte med seg mye stein og jord, og får lange utløp med omfattende skadeomfang på grunn av høy densitet (Hannus, Pihlainen, & Larsen, 2017). Den høye densiteten skyldes den vannmettede snøen (som i seg selv er 700 – 800 kg/m³) samt mye stein og jord, som kan resultere i densiteter godt over 1000 kg/m³. Skredene kan strekke seg over 1 km i lengde (Jaedicke, 2014).

Sørpeskred opptrer gjerne i områder med mye lavtrykk og stadig milde perioder gjennom vinteren (Jaedicke, 2014). Dette gjør kyststrøkene i Norge til spesielt utsatte områder. Også i Arktis er sørpeskred relativt vanlig, og på Svalbard har sørpeskred tatt menneskeliv og ført til betydelige materielle skader.

2.2.5 Skredsikringstiltak

For å beskytte mennesker som oppholder seg i terrenget, samt bosetninger og infrastruktur som er oppført i skredfarlig terreng blir det benyttet ulike skredsikringstiltak. Disse kan deles inn i aktivt permanente tiltak (se punkt 2.2.5.1 - 2.2.5.6), aktivt midlertidige tiltak (2.2.5.7 - 2.2.5.9), passivt permanente tiltak (2.2.5.10) og passivt midlertidige tiltak (2.2.5.8), etter Schaerer & McClung (2006) (Larsen, 2016).

2.2.5.1 Vindskjermer

Vindskjermer blir brukt for å kontrollere ansamlingen av drivende snø til sikre deponeringsområder (Larsen, 2015a). Dette er spesielt aktuelt der snøskavler og fjellsider bygger seg opp av drivende snø

og skaper skredfare, og der veier fylles igjen slik at de må stenges eller brøytes hyppig. Det anbefales ikke å bruke vindskjermene alene som snøskredssikring der konsekvensene av skred er store (f. eks. der bebyggelse ligger i naturlig skredbane), men er i slike tilfeller et godt supplement til andre skredssikringstiltak.

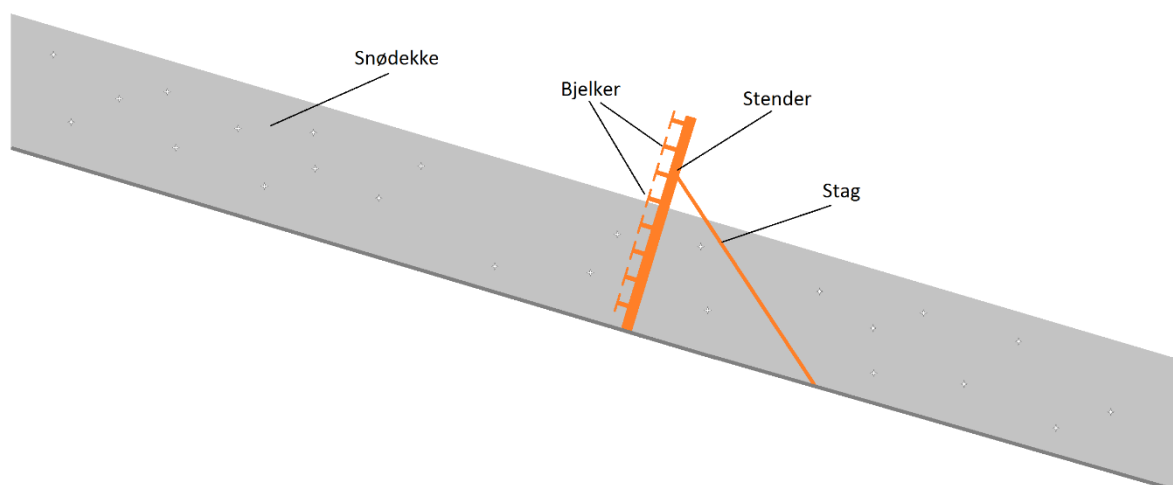
For å kontrollere fokkdannelsen brukes vindskjermene til å bryte vindens bevegelsesmønster ved å skape turbulens, slik at snøen får lavere hastighet og legger seg på bakken. Noe snø vil samle seg på lo side av veggen, men i all hovedsak vil snøen legge seg på bakken på le side. Vanligvis blir skjermene konstruert med 50% lysåpning og med laveste tverrbord plassert 20% av skjermhøyden over bakken (Larsen, 2016). En slik konfigurasjon resulterer i at snøen hovedsakelig avsettes i et området som strekker seg fra vindskjermen og ut 34 ganger skjermhøyden (Tabler, 2003). Lavere lysåpning-andel resulterer i kortere avsetningsområdet og lavere fonnhøyde, og er derfor ufordelaktig da mindre snø blir samlet opp. Lysåpningene må heller ikke være for små, slik at den drivende snøen tetter igjen lysåpningene og endrer lysåpning-andelen.

Vindskjermene er sjeldent utsatt for store snøsigkrefter fordi de som regel blir plassert i flatt terreng. Det kan allikevel være nødvendig å dimensjonere for sigkrefteene hvis skjermene blir oppført i hellende terreng.

2.2.5.2 Støtteforbygning i stål og tre

Støtteforbygninger er konstruksjoner som oppføres i utløsningssonene og som har til hensikt å holde snøen på plass slik at den ikke får anledning til å gli ut og resultere i skred (Larsen, 2015a; Rudolf-Miklau et al., 2014). Støtteforbygninger er derfor et forebyggende tiltak mot snøskred og regnes som et aktivt, permanent sikringstiltak. Forbygningene kan oppføres i stål, tømmer, betong eller en kombinasjon av disse, men blir i dag som oftest konstruert i stål, fordi snølasten gjerne blir stor. Forbygningene blir konstruert med bjelker som kontaktflate mot snøen, og disse bjelkene er festet til stendere som er innspent i bunn og støttet med skråstag. Bjelkelagene som snøen presser mot blir konstruert både vertikalt og horisontalt.

For at støtteforbygningene skal fungere som sikringstiltak mot snøskred, må hele området der snøen kan skli ut sikres. Det gjøres ved å fordele rader med støtteforbygninger utover området. Hvis det er for stor avstand mellom støtteforbygningene kan det allikevel oppstå skred mellom radene.

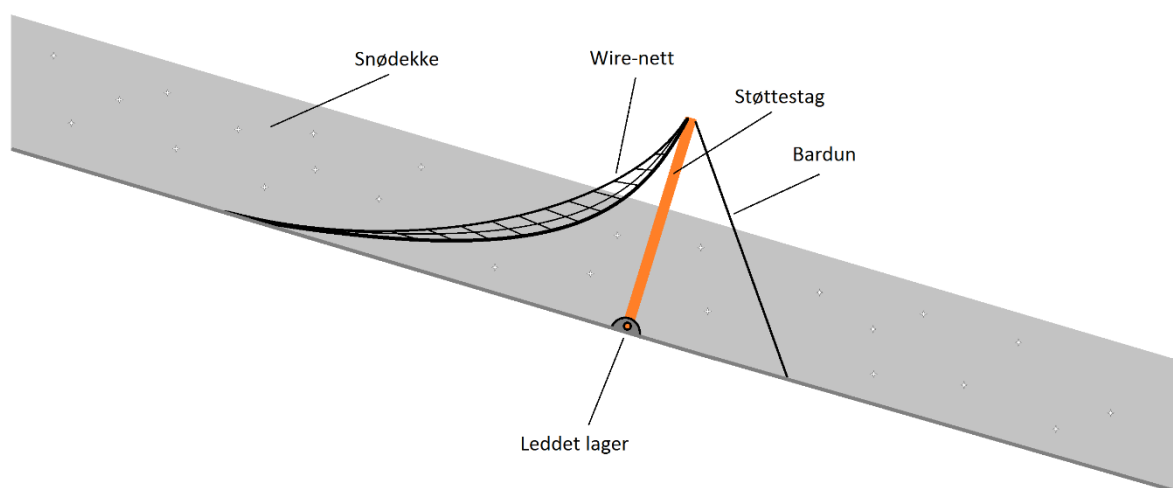


Figur 6: Støtteforbygning i stål med horisontale bjelker. Illustrasjon: Jan Are Jacobsen.

På grunn av tradisjoner blir det i enkelte områder fortsatt brukt trevirke (pers. komm. Prokop, 2017), og der det på sikt ønskes å sikre med skog, men snøsig, snøglidning og skred forhindrer skogtilveksten, foretrekkes det brukt (se punkt 2.2.5.4). I slike tilfeller er trevirke godt egnet fordi det er billigere enn stål, utfører sin funksjon i løpet av levetiden slik at det ikke er behov for vedlikehold og utskifting, og brytes naturlig ned i ettertid. Støtteforbygning i stål og tre egner seg ikke der det er risiko for steinras fordi konstruksjonene lett mister sin styrke ved skader fra steiner som treffer forbygningene. I slike tilfeller brukes gjerne snønett-forbygninger (se punkt 2.2.5.3).

2.2.5.3 Snønett-forbygning

Snønett er en form for støtteforbygning, men baserer seg på et stålwire-nett med flatere vinkel mot terrenget enn støtteforbygninger i stål og tre. Det holder snøen på plass ved å fungere som et armeringsnett i og mellom snølagene. Det fungerer også godt mot steinras, da det er fleksibelt slik at kreftene fordeles ut til flere punkter. Tradisjonelt sett er snønett dominerende i Frankrike, mens i Østerrike og Sveits kun brukes der det i tillegg til snøskred er sannsynlig for steinras (pers. komm. Prokop, 2017). Snønett må etterstrammes og har en kortere levetid enn støtteforbygninger i stål (typisk levetid er 30 år).



Figur 7: Snønett-konstruksjon med barduner og opplager. Illustrasjon: Jan Are Jacobsen.

På grunn av fleksibiliteten i nettet opptrer det mindre snøtrykk mot snønett-forbygninger enn mot stålforbygninger, og det benyttes derfor en reduksjonsfaktor ved beregning av krefter mot slike konstruksjoner forårsaket av snøsig- og snøglid (Larsen, 2016).

2.2.5.4 Skog

Skog fungerer godt som skredsikring ved å armere og holde tilbake snømassene i utløsningsområdet. Både naturlig voksende og kunstig plantet skog fungerer der et passivt, permanent skredsikringstiltak mange steder i Norge og resten av kryosfæren. Ved planting av skog må ungtrærne beskyttes mot snøsig frem til trærne er kraftige nok til å takle denne påkjenningen. Områder der dette ikke gjøres kan kjennes igjen ved at ungtrærne får en bøy på stammen (NGI, n.d.). Det blir som regel benyttet enkle forbygninger av treverk til slik sikring, da dette er billigere å bygge med enn stål og brytes naturlig ned når behovet for sikringen er borte.

Skog fungerer ved å sikre utløsningsområdet, slik at skred ikke oppstår. Hvis skred allikevel får anledning til å løse ut, for eksempel i skoglysninger, over tregrensen eller i andre områder der trærne

ikke vokser, vil skogen normalt ikke kunne stoppe skredet i ettetid (NGI, n.d.). Grovstammet skog kan ha noe bremsevirkning, men snøskred vil normalt gå gjennom selv slik skog. Skred kan gjøre stor skade på skogområder og forhindre gjenvoksing i områder der det hyppig går skred. Undersøkelser på Vestlandet har vist at bjørkeskog trenger minst tre etterfølgende vintersesonger uten skred for å klare seg.

På Svalbard er det uaktuelt å bruke skog som sikringsmetode for snøskred, da det ikke vokser trær der naturlig og forholdene ligger heller ikke til rette for skogvekst.

2.2.5.5 Ledevoller

En vanlig metode for å beskytte spesielle områder fra skred er å lede skredet vekk fra området ved å bruke løsmassevoller eller betongmurer til å styre skredet til trygge utløpsområder, via sikre skredbaner. Funksjonen til ledevollen er ikke å stoppe skredet, men å kontrollere bevegelsen. Dette fører til at kreftene som opptrer mot ledevollene blir langt mindre enn hvis skredet skulle stoppes i vollen (Larsen, 2016). Det anbefales å føre opp ledevoll kun i områder med terrenghelning 15° eller lavere og i nærheten av utløpsområdet, da farten og energien dermed blir lav nok. Videre bør skredet ikke avvøyres mer enn 20° fra opprinnelig skredbaneretning.

Høyden på ledevollen/-muren dimensjoneres etter antatt skredhastighet og flyte høyde, samt frekvensen av skredforekomst (Larsen, 2016). Sistnevnte er viktig da eldre skred vil avsette snø som resulterer i at eventuelle nye skred kommer høyere opp fra terrenget og dermed høyere opp på vollen/muren. En ledemur avleder skredmassen mer effektivt enn en ledevoll, på grunn av den vertikale støtflaten, men ledevoller kan også gis bratte støtflater, ved f.eks. bruk av gabioner, noe som vil forbedre avledningsevnen.



Figur 8: Ledevoll for å beskytte de nord-østligste boligene på Haugen i Longyearbyen (merket med rødt). Foto: Jan Are Jacobsen.

I Longyearbyen er det oppført en løsmassevoll for å beskytte boligfeltet Haugen fra sørpeskred som kan komme ned Vannledningsdalen (se Figur 8). Vannledningsdalen er en naturlig vannvei, og dermed et typisk sted for sørpeskred å oppstå.

2.2.5.6 Fangvoll

Fangvoller blir plassert vinkelrett på skredretningen for å stoppe skredet (Larsen, 2016), i motsetning til ledevoller som står skrått for å styre skredretningen. Fangvoller kan forøvrig ligne på ledevoller i oppbygning, i og med at de gjerne bygges opp av løsmasser. Bruk av gabioner for å øke helningsvinkelen på støtflaten er også brukt for fangvoller, og det er også eksempler på oppbygging der hele fangvollen består av gabioner. Fangvoller blir ikke brukt som skredsikring i områder der skredene er raskere enn 20 m s^{-1} da kreftene som oppstår vil bli for store. Det er viktig at området på oversiden av vollen er slik at det er plass til snømassene som forventes å samles opp ved et skred. For å tillate større volum blir ofte området på oversiden derfor gravd ut. Kan det forventes flere skred i løpet av samme vinter må det tas hensyn til at snø avsatt fra tidligere skred vil bygge opp terreng høyden.

2.2.5.7 Kunstig utløste skred

Kunstig utløsning av skred regnes som et aktivt midlertidig tiltak, og utføres som regel ved hjelp av eksplosiver. I områder der det er gjentakende behov for å løse ut skred blir det gjerne oppført spesielle konstruksjoner som brukes til å føre inn sprengstoffet. Der det ikke er slike innretninger kan for eksempel bombekaster benyttes til å skyte granater inn i området for å løse ut skredet. Da det hele går ut på å løse ut skred, og størrelsen og omfanget ofte er vanskelig å forutse fungerer systemet dårlig til å sikre for eksempel bosetninger (Larsen, 2015a). Systemet fungerer forøvrig godt for å sikre veier, toglinjer og skianlegg, der skredbane og utløpsområde kan stenges og evakueres på forhånd og objekter i skredbanen er dimensjonert for å tåle skred. Kunstig utløsning av skred brukes mange steder i alpene og i Canada for å sikre områder, men også i Norge og på Svalbard er det eksempler på skredutløsning med eksplosiver. Eksempler på bruk i Norge er RV15 og Oppdal Skianlegg. Eksempel fra Svalbard er utløsning av skavlene over Nybyen (Larsen, 2016).

Den mest effektive metoden for å løse ut skred med eksplosiver er å bruke trykkbølgen fra eksplosjonen i snøoverflaten. Dette kan gjøres ved å sette opp et tårn som senker eksplosiven ned til overflaten av snøen (gjesteforelesning, Larsen, 2017). Metoden har for øvrig liten effekt på sørpeskred (Larsen, 2016).

2.2.5.8 Manuell skredfarevurdering

Snøprofiler, værreporter, værprognoser og opplysninger om terrenget forteller mye om snøsituasjonen og skredfaren, men er alene ikke nok til å bestemme skredfaren. Stabilitetstester i det aktuelle området og betraktninger gjort ved å fysisk være i terrenget er minst like viktig som grunnlag for skredfarevurderingen. I Norge blir stabiliteten vurdert av observatører som rapporterer hvordan situasjonen i terrenget er til NVE (Larsen, 2015a). Sammen med værprognoser fra Meteorologisk institutt bestemmer NVE skredfaren. Skredfarevurderinger er basert på skjønsmessige vurderinger og krever derfor god kunnskap og erfaring for å bli utført korrekt. Basert på vurderingene blir det utført skredvarsling ved skilt og på nett som passive, midlertidige tiltak.

Hvis skredfaren vurderes som høy og konsekvensene av eventuelle skred vil kunne bli store må aktive, midlertidige tiltak settes inn. Eksempler på slike tiltak er at kommuner evakuerer bebyggelse, Statens vegvesen stenger veier, Jernbaneverket stopper trafikk på linjene, brøyting opphører, og skianlegg stenges. Disse tiltakene regnes som aktive, midlertidige tiltak.

2.2.5.9 Automatisk deteksjon og varsling

Ved hjelp av seismiske sensorer montert i skredterrenget kan skredaktivitet oppdages og varsles om automatisk (Larsen, 2015a). Både Statens vegvesen og Jernbaneverket benytter slike systemer til å

sikre henholdsvis vei og jernbane. Når de seismiske målerne fanger opp bevegelse, som rystelsene som oppstår i forbindelse med skred, sendes det ut varsel slik at den utsatte strekningen kan stenges. Dette skjer ved bruk av lys-signalanlegg som står montert tidlig i innkjøringen til skredområdet.

2.2.5.10 Skredfarekartlegging og flytting av bosettelse

Skredsonkart brukes til å informere om skredfrekvens og konsekvens av skred. Ved utarbeidelse av skredsonkart er skredfrekvensen for området viktig. Frekvensen blir gjerne basert på tidligere observert skredaktivitet. Informasjon om observerte skred kan hentes frem fra dokumenter som bygdebøker, aviser og rapporter, eller gjennom informasjon fra lokalbefolkning. Utredning av størrelse, skredbane og utløpsområde brukes til å kartlegge berørt område og sammen med kartlagt bebyggelse, infrastruktur og andre hensyn, til å vurdere konsekvensen av skred i området. I Norge er det NVE som har ansvaret for å få utarbeidet aktsomhetskart og faresonekart. Tegnsettingen i skredfarekartene kan ha forskjellig betydning i forskjellige land (f.eks. har Østerrike to skredsoner og Sveits tre).

Unngår man å bygge i skredfarlige områder slipper man å bruke ressurser på skredsikring. Skredfarekartlegging brukes derfor blant annet under utarbeidning av reguleringsplaner, som et passivt, permanent tiltak. Mange steder blir skredfaren allikevel kjent i områder med etablert bebyggelse og det må vurderes om bebyggelsen skal flyttes eller sikres. I alpene blir det ofte bygget i skredfarlig terreng, selv om risikoen er stor, på grunn av lange tradisjoner med bosettelse i områdene (pers. komm. Prokop, 2017). Den nye bebyggelsen må da skredsikres, og da gjerne med stål- eller wirenett-forbygninger, igjen på grunn av tradisjon.

2.2.6 Snødriv og fokkdannelse

Fokkdannelse skyldes snø som drives av vinden inn i områder med lavere vindhastigheter eller mye turbulens, slik at snøen legger seg og akkumulerer. Terrengets utforming har størst påvirkning over hvor denne oppsamlingen skjer (Norem, 2014). Formasjoner som fjellskar, juv, dype elveleier og skålformer er spesielt utsatt, da disse har distinkte lesider, i forhold til flere himmelretninger, og generelt lavere vindhastigheter.

Snødrivet oppfører seg forskjellig ved ulike vindhastigheten (Norem, 2014). Ved lave hastigheter er ikke skjærspenningen vinden påfører stor nok til å rive med seg snøkornene, men øker vindhastighet til 4-7 m s⁻¹ sklir og ruller snøkornene langs bakkeplanet. Ved vindhastigheter rundt 8-10 m s⁻¹ beveger snøkornene seg rykkvis i opptil 1 m lange byks og i 0-0.1 m høyde. Ved høyere vindhastigheter, >12-13 m s⁻¹, blir snøkornene suspendert i luften, og transporteres i høyder opp mot 10 m over bakken.

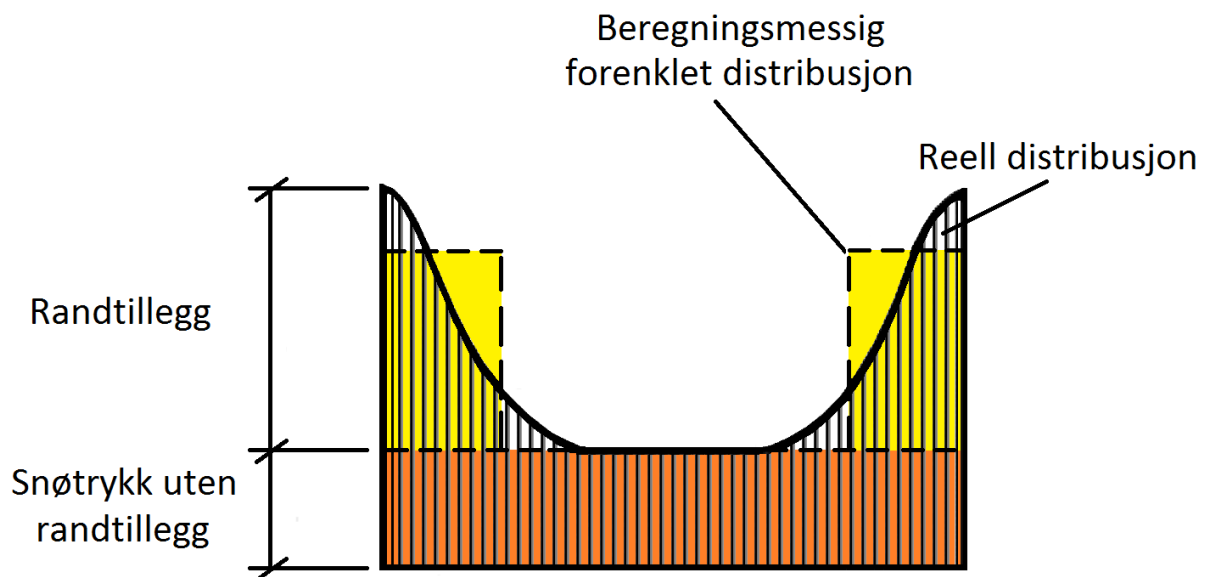
Fjellsider som ligger i le for dominerende vindretning er utsatt for stor oppsamling av drivende snø, som igjen kan medføre økt skredfare. Snø som drives langs bakken inn til toppen av en skråning i le vil avsettes høyt i skråningen (50-100 høydemeter fra toppen) og snø som transporteres i luften avsettes jevnere nedover skråningen (Norem, 2014). Brøytekanter langs veier fører også til oppsamling av drivende snø, og medfører ekstra brøytearbeid og stengte fjelloverganger.

2.3 Snøtrykk

Konstruksjoner og andre hindringer som står i hellende terreng vil forsøke å motvirke deformasjonen og bevegelsene i snødekket forårsaket av snøglidning og snøsig, frem til de eventuelt kollapser eller

gir etter. Det oppstår derfor statiske krefter mot konstruksjonene. Disse statiske kreftene blir bare overgått av de dynamiske kreftene forårsaket av snøskred, og ved riktig plassering av konstruksjonene er det mulig å sørge for at skred ikke kan treffe eller løsne over konstruksjonen, slik at den statiske lasten blir dimensjonerende (Rudolf-Miklau et al., 2014). Dette er et helt nødvendig prinsipp ved prosjektering av forbygninger da snøskredlasten kan være mange ganger den statiske lasten og vil være svært kostbar å dimensjonere for sammenlignet med den statiske lasten.

Det er viktig å bemerke seg at lasten øker dramatisk ved endene av forbygninger og andre konstruksjoner som er belastet av snø på grunn av broeffekten forårsaket av snøen som siger ved endene av kontaktflaten (Larsen, 2000). Dette kalles randbelastning og har størst effekt for smale konstruksjoner der den ekstra belastningen ikke blir utjevnet av midtpartiet som er uten randbelastning. Fordi det ikke er praktisk med veldig lange forbygninger (blant annet med tanke på tilgjengelighet ved inspeksjon og vedlikehold) blir forbygningene gjerne delt opp. Det er allikevel mulig å redusere randbelastningen ved korrekt distribuering og plassering av forbygningene i terrenget, gjennom å bruke snøen som en broforbindelse mellom konstruksjonene.

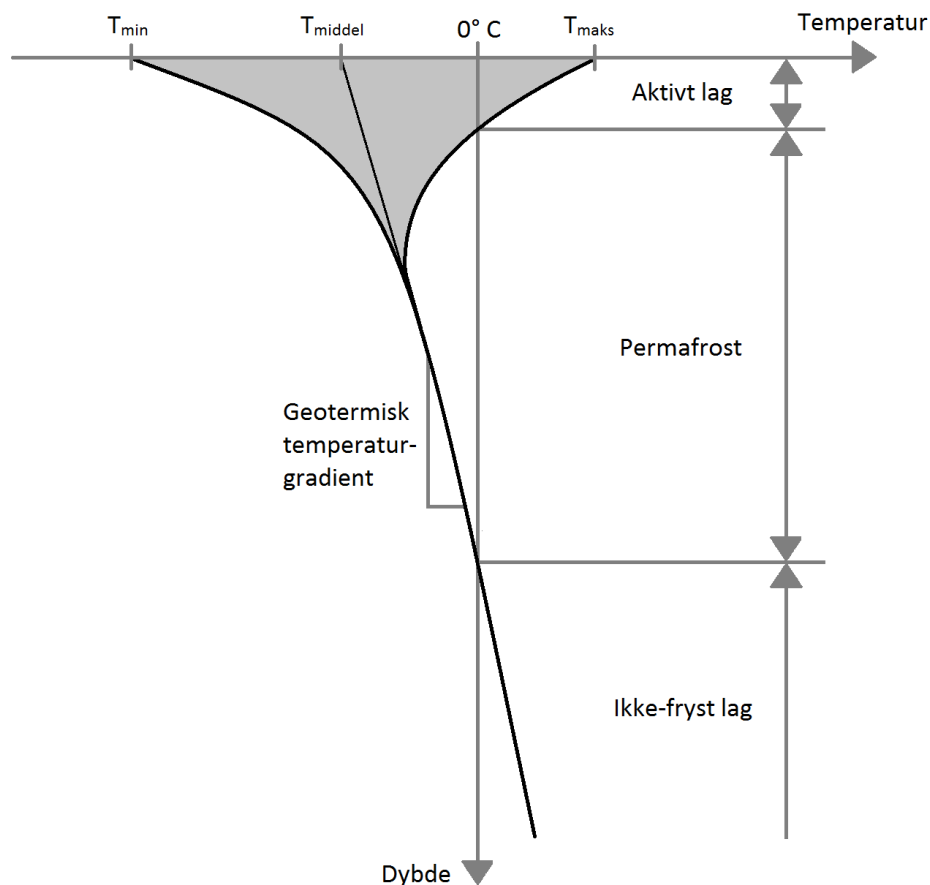


Figur 9: Fordeling av snøtrykk på smale konstruksjoner med utsatte ender. Skravert område viser reell distribusjon, gult område viser beregningsmessig forenklet distribusjon av randtillegget og brunt område viser distribusjon av snøtrykk uten randtillegg.

Master, stolper, barduner og andre konstruksjoner og konstruksjonsdeler med svært smal form får ekstra store randtillegg da snøen siger rundt på begge sider.

2.4 Permafrost

Permafrost er definert som konstant nedfrossen grunn i to eller flere etterfølgende år (Andersland & Ladanyi, 2004; Larsen, 2016). Den oppstår der bakken har en årlig gjennomsnittlig temperatur under trykksmeltepunktet og strekker seg ned til den dybden der den geotermiske oppvarmingen forhindrer grunnen i å fryse (se Figur 10). Fordi lufttemperaturen svinger over og under frysepunktet vil sjiktet som ligger rett under jordskorpen vekse mellom å fryse og tine. Dette sjiktet kalles det aktive laget.



Figur 10: Temperatur av grunn med permafrost plottet mot dybde under terrengoverflaten. Illustrasjon: Jan Are Jacobsen.

Typisk vil områder med årlig gjennomsnittlig overflatetemperatur på bakken under -3°C ha permafrost (Andersland & Ladanyi, 2004). I polare områder kan permafrosten strekke seg mer enn 1 km ned.

Permafrost blir gjerne delt inn i arktisk og alpin permafrost, basert på den geografiske årsaken til den lave temperaturen, og sporadisk, diskontinuerlig og kontinuerlig permafrost basert på varigheten. På Svalbard er det arktisk, kontinuerlig permafrost. Her strekker permafrosten seg ned til flere hundre meter enkelte steder og det aktive laget ligger stort sett rundt 1-2 meter.

2.5 Svalbard-klima

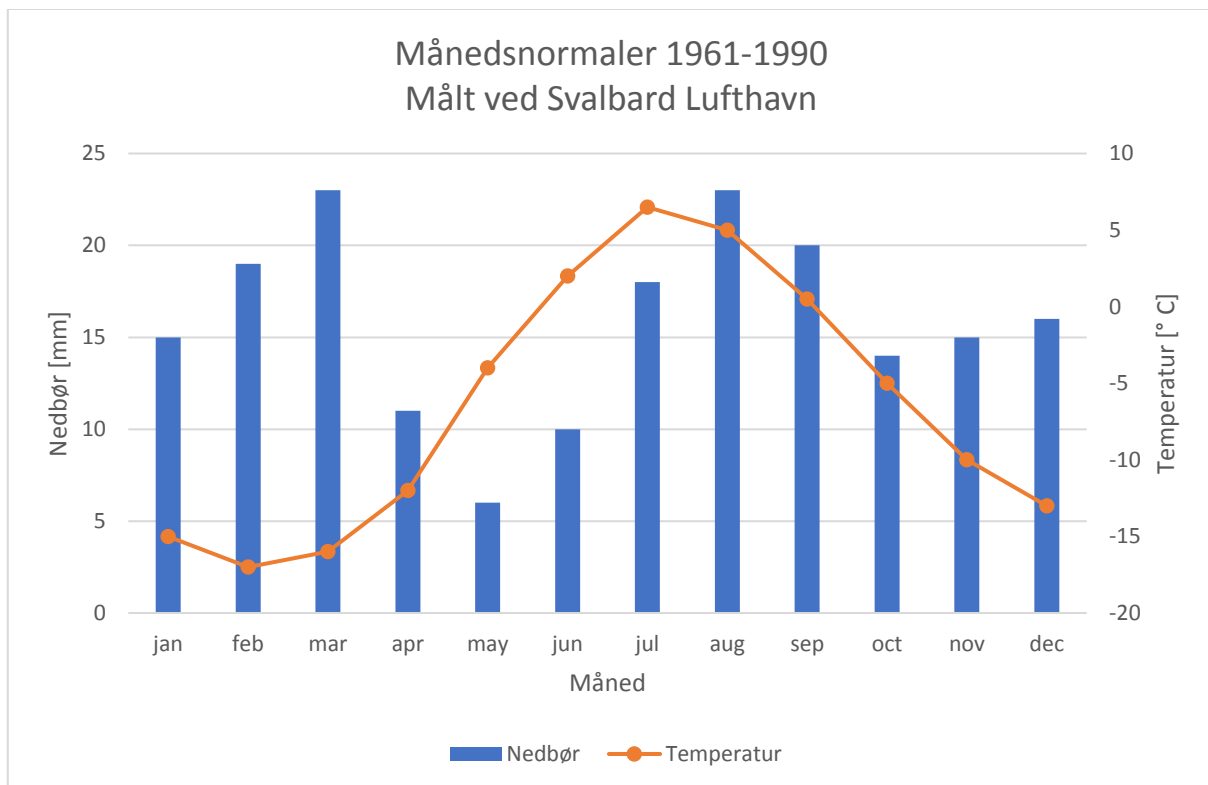
2.5.1 Generelt

Det er stor variasjon i klimaet mellom de forskjellige geografiske områdene på Svalbard. Generelt er vestkysten mildere da Atlanterhavsstrømmen hovedsakelig drives opp på vestsiden av øygruppen (Syssemmann på Svalbard, 2012). Atlanterhavsstrømmen bidrar til oppvarming av luften gjennom konveksjon ved å avgi varme fra sjøvann oppvarmet ved ekvator. Forskere har påvist en sammenheng mellom kaos i vannstrømmen og avgitt varme fra sjøen, som bidrar ytterligere til oppvarmingen fordi vannet avgir mer varme enn hvis havstrømmen hadde strømmet rett forbi (Mila, 2011). Milde luftstrømmer som kommer inn fra sørvest bidrar også til det forholdsvis milde klimaet (Amundsen, 2012; Syssemmann på Svalbard, 2012). Dette bidraget er størst i

sommersesongen når vind fra vestlig retningen er dominerende, da herskende vindretning resten av året er fra øst og sørøst (Dannevig, 2014). I de nord- og østlige delene av øygruppen er det større forekomst av is. Variasjonen mellom klimaet i sør-vest og nord-øst, samt maritim beliggenhet og mye fjell, resulterer i lavt skydekke og mye tåke, spesielt i sommermånedene.

2.5.2 Nedbør og temperatur

På Svalbard faller det svært lite nedbør og øygruppen betegnes derfor som arktisk ørken (Syssemmannen på Svalbard, 2012). Tall fra Meteorologisk institutt for perioden 1961-1990 viser at det i Longyearbyen kun faller 190 mm nedbør i årsgjennomsnitt.



Figur 11: Viser månedsnormaler for nedbør og temperatur i perioden 1961-1990 ved målestasjonen på Svalbard lufthavn. Data er levert av Meteorologisk Institutt. Illustrasjon: Jan Are Jacobsen.

I Figur 11 kommer fordelingen av nedbør og temperatur gjennom året frem, med månedsnormaler for nedbør som viser høyest forekomst i februar og mars, samt juli, august og september. I perioden oktober til mai ligger månedsnormalene for lufttemperatur under 0° C. Selv om det i store deler av året er kaldt nok til å forvente snøfall, faller det generelt lite snø på grunn av den lille nedbørsmengden.

2.5.3 Sollys

Gjennom året er det store forskjeller på tilgjengelig sollyss på Svalbard. Fra 20. april til 23. august er det midnattssol i Longyearbyen, og solen står over horisonten hele døgnet (Syssemmannen på Svalbard, 2012). Mellom 11. november og 30. januar er det derimot polarnatt, og solen står mer enn 6° under horisonten til enhver tid, noe som fører til at solen ikke bidrar med naturlig lys i denne perioden. Mellom periodene med midnattssol og polarnatt er det skumring, og merkbar forskjell på dag og natt.

Solintensiteten er relativ lav på Svalbard, fordi avstanden til ekvator er stor, og resulterer i at avgitt energi i form av solvarme er lavere der enn for eksempel på fastlands-Norge. Allikevel absorberer snøen mye solvarme i smelteperioden, fordi solen står på himmelen hele døgnet, og snøen smelter raskt. I tillegg er det mye aske- og støvpartikler som gjør snøen «skitten» og bidrar til lavere albedo, og dermed mer tilført varme fra solen.

2.5.4 Snøklima

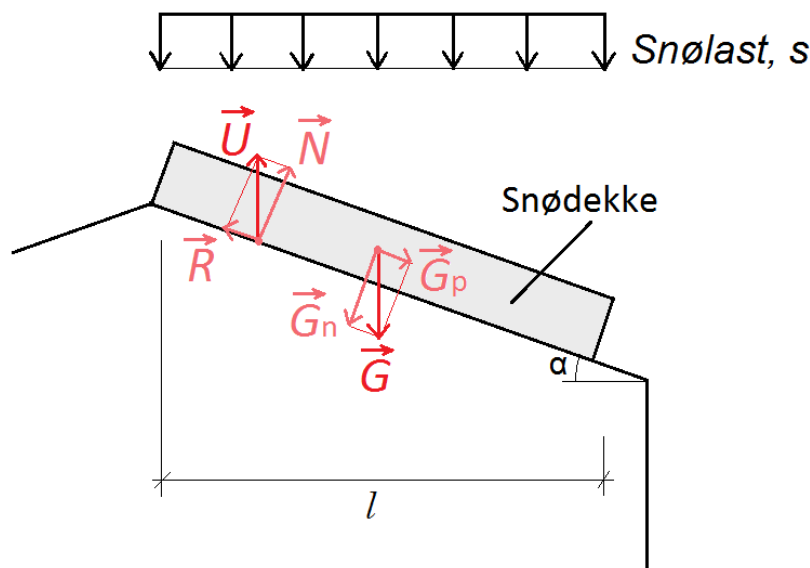
Snødekket i den sentrale delen av Svalbard er gjerne bygget opp av vindpakkede snølag, med sukkesnø i bunn og isskorper på toppen (Eckerstorfer & Christiansen, 2011a). Typisk beskrives snøen som ligger rundt Longyearbyen som tynn og kald, selv om dybden til snødekket kan variere mye (Eckerstorfer, 2012). Snødekket rundt Longyearbyen har ifølge Eckerstorfer og Christiansen typisk et vedvarende svakt lag av begerkrystaller i bunn, med sterke lag av vindpakket snø over, og med innslag av flere svake lag og harde islag fra smelte/fryse-perioder, som skyldes det spesielle arktiske kystklimaet. Dette gjør at det karakteristiske snødekket i dette området skiller seg fra snøen andre steder i verden og dermed passer dårlig å betegnes som maritimt snøklima, kontinentalt snøklima, eller en mellomting mellom disse (*transitional snow climate*). I 2011 introduserte derfor Markus Eckerstorfer klassifikasjonen *high arctic maritime snow climate* for å beskrive og klassifisere snøtypen i den sentrale delen av Svalbard.

3 Beregningsmodeller av snøtrykk

3.1 Analytiske modeller

3.1.1 Snø modellert som rigid materiale (NS og ISO)

Et snødekke i hellende terreng eller på et hustak kan modelleres som et rigid materiale, som en kloss som ligger på et skråplan. I Figur 12 ligger en kloss med masse m på et skråplan med helningsvinkelen α til horisontalplanet. Gravitasjonskraften \vec{G} og kraften fra underlaget \vec{U} er de eneste ytre kreftene. \vec{G} kan dekomponeres til \vec{G}_p (langs planet) og \vec{G}_n (normalt på planet). \vec{U} kan dekomponeres til friksjonen \vec{R} og normalkraften \vec{N} .



Figur 12: Kloss med masse m og vertikal last s som ligger på et skråplan (hustak). Illustrasjon: Jan Are Jacobsen.

Uten friksjon blir kraften ned langs planet

$$\vec{G}_p = mg \sin \alpha \quad [\text{kN}] \quad (3.1)$$

der g er gravitasjonskonstanten. Klossen skal representere snølast mot mark eller hustak, som gjerne blir oppført som en jevnt fordelt, vertikal last, fordelt over et horisontalt areal (oppført i kN m^{-2}). Derfor kan vi skrive om formelen til en linjelast inn i planet (takets lengderetning)

$$\vec{G}_p = sl \sin \alpha \quad [\text{kN m}^{-1}] \quad (3.2)$$

der s er snølast mot bakken i kN m^{-2} og l er lengden av lasten horisontalt i meter.

Å modellere snø som et rigid materiale vil alltid være en forenklet modell da snøen opptrer viskoelastisk, med interne deformasjoner som skaper spenninger i snødekket. Allikevel brukes metoden til enkle beregninger for statisk snøtrykk. I Eurokode 1: Laster på konstruksjoner, Del 1-3: Allmenne laster, Snølaster (heretter NS-EN 1991-1-3) og i ISO-standard 4355 Bases for design of structures – Determination of snow loads on roof (heretter ISO4355) benyttes metoden til å beregne lasten mot snøfangere og andre hindringer på skrå hustak. Beregningen i ISO4355 tar i tillegg for seg effekten av friksjonen mellom snø og tak, og anbefalt høyde av snøfanger:

Friksjonsmotstanden er definert som $R = N\mu$, der N er normalkraften og μ er friksjonstallet. Dekomponeres N blir

$$\vec{R} = sl \cos \alpha \mu . \quad [\text{kN m}^{-1}] \quad (3.3)$$

Kraften fra snøen mot eventuelle hindringer blir derfor kraften ned langs planet (3.2) minus friksjonskraften (3.3)

$$F_{\perp} = \vec{G}_p - \vec{R} = sl(\sin \alpha - \cos \alpha \mu) \quad [\text{kN m}^{-1}] \quad (3.4)$$

I ISO4355 er det også gjort rede for angrepshøyden til kraften på hindringen, h_1

$$h_1 = \frac{0.5S_0}{\rho g} \quad [\text{m}] \quad (3.5)$$

der S_0 er snølasten, ρ er snødensiteten og g er gravitasjonskonstanten. I Annex E.3 gis det også en beregning av anbefalt høyde på snøfanger, h_2 .

For $0^\circ < \alpha < 30^\circ$ gjelder

$$h_2 = (\mu S_0 / \rho g) \cos \alpha \left(1.1 - (30 - \alpha) / 30 \right) \quad [\text{m}] \quad (3.6)$$

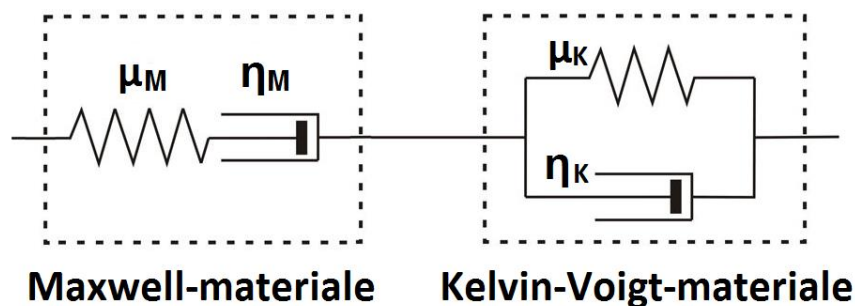
og for $\alpha < 30^\circ$ gjelder

$$h_2 = 1.1 S_0 / \rho g \cos \alpha \quad [\text{m}] \quad (3.7)$$

Dette regnes som en konservativ verdi, da det antas liten friksjon mellom snølagene.

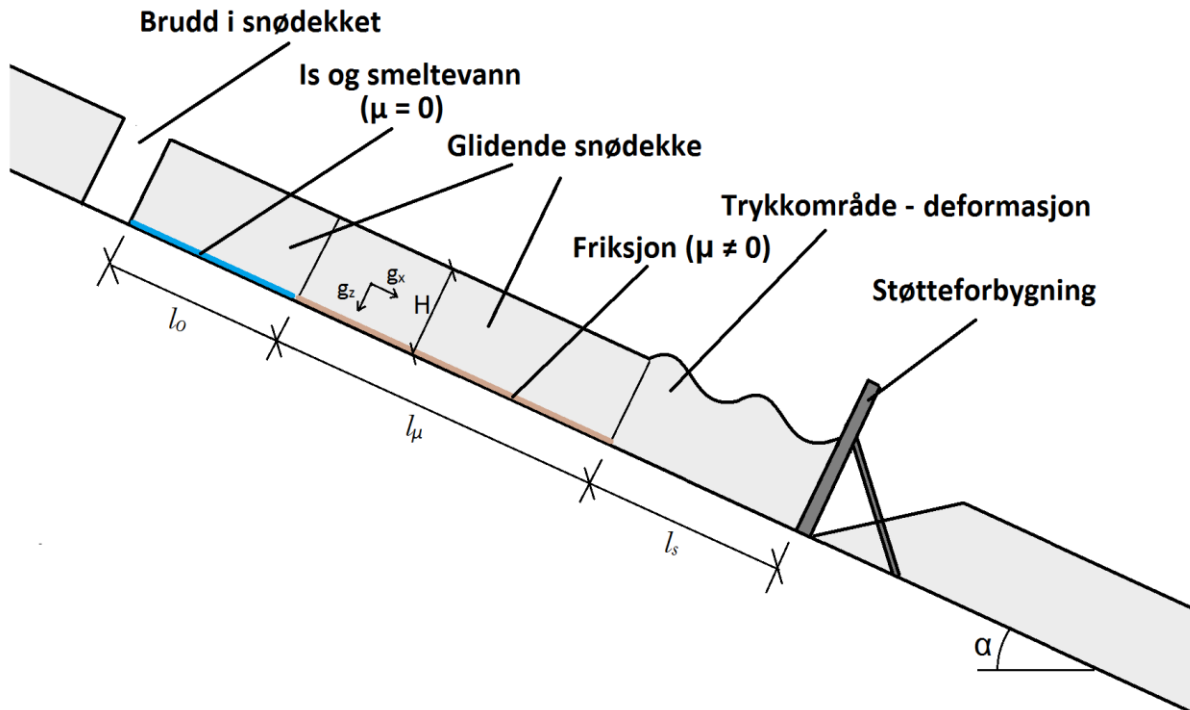
3.1.2 Viskoelastisk reologi

Snø blir gjerne beskrevet som et viskoelastisk materiale og også under modellering av snøsig fungerer en slik beskrivelse godt. Kjente modeller for modellering av blant annet snø som viskoelastisk materiale er Maxwell-, Kelvin-Voigt- og Burgers' modell (Teufelsbauer, 2011). Disse reologiene er brukt i sammenheng med et utall numeriske snøsig-modeller. Maxwell-modellen er bygget opp av en ren viskøs demper og en ren elastisk fjær i serie, og beskriver best små deformasjoner i viskoelastiske væsker. Kelvin-Voigt-modellen er også bygget opp av en ren viskøs demper og en ren elastisk fjær, men i parallell, og beskriver best kryp for et viskoelastisk fast stoff.



Figur 13: Symbolsk representasjon av et Burgers-materiale, som består av et Maxwell-materiale og et Kelvin-Voigt-materiale i serie.

Burgers' modell er bygget opp av et Maxwell-materiale og et Kelvin-Voigt-materiale i serie (se Figur 13), og en slik konfigurasjon kan beskrive kryp for en viskoelastisk væske godt.



Figur 14: Rigid snødekke med høyde H og lengde l_0 (for området uten friksjon) og l_μ (for området med Coulomb-friksjon) i terreng med helningsvinkel α , som bryter løs ved $t = 0$, akselererer med \dot{u} og skaper trykk i området foran støtteforbygning (over l_s) slik at elastisk og viskøs deformasjon oppstår. Illustrasjon: Jan Are Jacobsen.

Figur 14 viser eksempel på et snødekke i hellende terreng som bryter løs fra overliggende snødekke ved $t = 0$, slik at det mister strekkspenningene til den overliggende snøen. Hvis den tapte strekkspenningen tas opp som økt skjærspenning i området over l_μ vil dekket ikke løses ut som skred og kraften balanseres dermed mot friksjonsmotstanden:

$$mg_x = \mu mg_z \quad (3.8)$$

der m er den totale massen til det glidende snødekket, og g_x og g_z er gravitasjons-akselerasjonen i henholdsvis terreng-parallell og -normal retning. Dette krever stor friksjon (μ) mot bakken og det er derfor sannsynlig at snøen i området over l_s og mot støtteforbygningen tar opp den tapte strekkspenningen. Siden snø er viskoelastisk blir i dette tilfelle området belastet med den tidsavhengige spenningen σ og vi får den ubalanserte kraftligningen

$$m\dot{u}(t) = mg_x - \mu mg_z - \sigma(t)H \quad (3.9)$$

der snødekket har farten u og akselerasjonen \dot{u} .

Etter en viskoelastisk Burgers-modell er det mulig å benytte ligningen

$$\ddot{\sigma}(t) + \left[\frac{E_m}{\eta_m} + \frac{E_m}{\eta_k} + \frac{E_k}{\eta_k} \right] \dot{\sigma}(t) + \left[\frac{E_m E_k}{\eta_m \eta_k} \right] \sigma(t) = \frac{E_m}{2l_s} \dot{u}(t) + \frac{E_m E_k}{2\eta_k l_s} u(t) \quad (3.10)$$

der E_m , E_k , η_m og η_k er temperatur- og densitet-styrte viskoelastiske konstanter og l_s er lengden til området som deformeres. Legg merke til at denne er uavhengig av høyden H .

Fordi det ikke ble observert snøglidning i området var behovet for en slik modell ansett som liten, og modellen er derfor ikke brukt videre i oppgaven.

3.2 Empiriske modeller

3.2.1 Beregningsmetode etter SLFs "Defense structures in avalanche starting zones"

I følge SLF kan snøtrykket parallelt med terrengets helning mot en uendelig lang, rigid forbygning, S'_N , beregnes per lengdeenhet i forbygningens lengderetning, etter

$$S'_N = \rho g \frac{H^2}{2} KN \quad [\text{kN m}^{-1}] \quad (3.11)$$

der ρ er snøens gjennomsnittlige densitet i t m^{-3} , g er gravitasjonskonstanten i m s^{-2} , H er den målte vertikale snøhøyden i meter, K er krypfaktoren og N er glidefaktoren (Margreth, 2007).

På fastlands-Norge og på Island settes $\rho = 500 \text{ kg m}^{-3}$ som en gjennomsnittsverdi ved full snøhøyde (Johannesson & Margreth, 1999; Larsen, 2000).

Krypfaktor, K , beregnes med interpolering av tabellverdi for $K/\sin 2\psi$ etter Tabell 1, der ψ er terrengets helningsvinkel og ρ er gjennomsnittlig densitet i snødekket.

Tabell 1: Krypfaktor, K , som funksjon av gjennomsnittlig snødensitet, ρ , og terrenghelning, ψ . (Margreth, 2007)

ρ [t/m^3]	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60
$K/\sin 2\psi$	0.7	0.76	0.83	0.92	1.05

Som et alternativ til denne metoden kan K også beregnes etter



$$K = (2.50\rho^3 - 1.83\rho^2 + 1.06\rho + 0.54) \sin 2\psi \quad (3.12)$$

(Rudolf-Miklau et al., 2014).

Glidefaktor, N , settes normalt etter

Tabell 2 fra de sveitsiske retningslinjene (Margreth, 2007). For snøklimaet på fastlands-Norge og på Island multipliseres gjerne denne faktoren med 1.5 eller 2, for å korrigere for høyere trykk mot forbygningene (Johannesson & Margreth, 1999; Larsen, 2000).

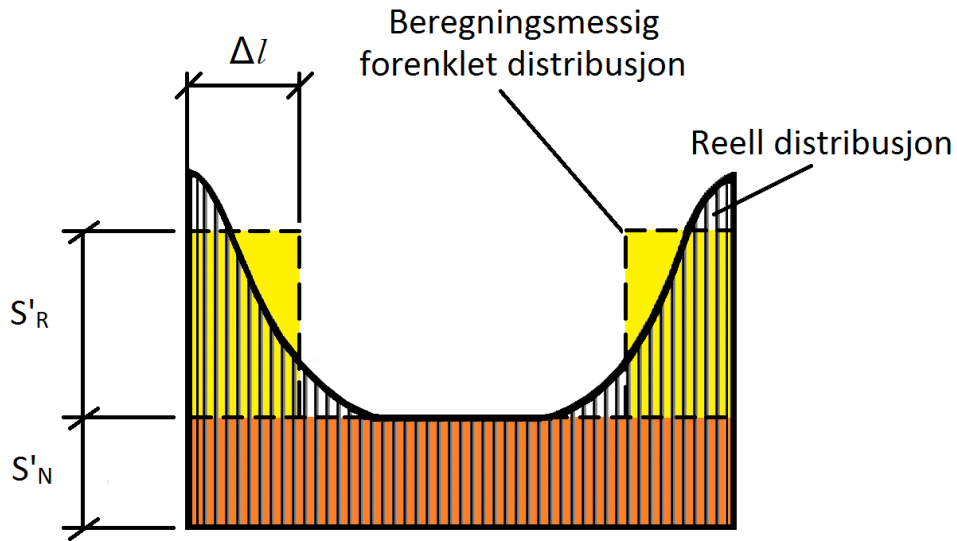
Tabell 2: Glidefaktorer for ulike overflateklasser og eksponerte himmel-retninger, etter Margreth 2007.

	Terrengets eksponerte himmel-retning:	
	VNV-N-ØNØ 	ØNØ-S-VNV 
d* er den dominerende steinforekomsten sin karakteristiske diameter.		
Overflateklasse	Glidefaktor, <i>N</i>	
Klasse 1 <ul style="list-style-type: none"> Grov steinrøys/ur ($d^* \geq 30$ cm) Små og store steiner 	1.2	1.3
Klasse 2 <ul style="list-style-type: none"> Busker og småtrær ($h \geq 1$ m) Kratt- og gresskledde hauger ($h > 50$ cm) Dominerende ku-tråkk Grov steinrøys/ur ($10 \text{ cm} \leq d \leq 30$ cm) 	1.6	1.8
Klasse 3 <ul style="list-style-type: none"> Kort gress med innslag av lave busker/trær ($h < 1$ m) Steinrøys/ur ($d \leq 10$ cm) med innslag av lave busker Kratt og gresskledde hauger ($h \leq 50$ cm) Gresskledd med innslag av grunne ku-tråkk 	2.0	2.4
Klasse 4 <ul style="list-style-type: none"> Langbladet gress, glatt og kompakt gressdekke Overgrodde flate steiner, flate-parallelt med terreng Fin stein-ur blandet med jord Myr-hull/nedsenkninger (Swampy depressions) 	2.6	3.2

I tillegg vil man få en komponent normalt på terrenget, fordi snøen ikke siger direkte normalt på veggen. Denne komponenten kalles S'_Q og beregnes etter

$$S'_Q = S'_N \frac{a}{N \tan \psi} \quad [\text{kN m}^{-1}] \quad (3.13)$$

der a er en snøtype-avhengig koeffisient basert på komprimeringspotensialet til snøen. Snø som vil kunne komprimeres mye gir $a = 0.5$, mens tettpakket, gammel snø eller is gir $a = 0$. SLF sine retningslinjer gir føringen at a skal ligge mellom 0.2 og 0.5 (Margreth, 2007).



Figur 15: Reell distribusjon (skravert) og forenklet distribusjon (stipulert) av randkrefter mot forbygninger (Margreth, 2007).

I tillegg er det viktig å beregne randkreftene, da disse kan medføre store ekstra belastninger. For randkrefter ved ubeskyttet ende settes randfaktoren f_R til

$$f_R = 1.00 + 1.25N \quad (3.14)$$

der N er glidefaktoren. Randkreftene blir da

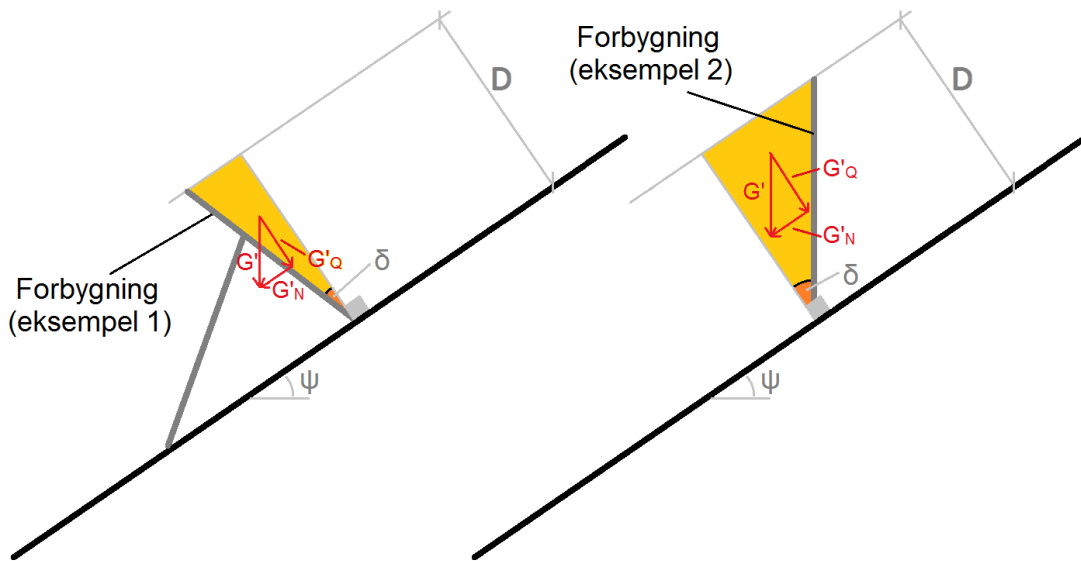
$$S'_R = f_R S'_N \quad [\text{kN m}^{-1}] \quad (3.15)$$

og opptrer i en lengde fra endekant (som vist i Figur 15) satt etter

$$\Delta l = D_K / 3 \quad [\text{m}] \quad (3.16)$$

der D_K er den effektive konstruksjonshøyden, gitt ved $D_K = H_K \cos \psi$ (Margreth, 2007).

For forbygninger og konstruksjoner som står ikke-normalt på terrenget må snøtrykk-komponentene S'_N og S'_Q korrigeres med komponentene G'_N og G'_Q , for å ta høyde for egenvekten til snøen som ligger i prismeformen mellom veggen og terrengnormalen, som vist i Figur 16 (Margreth, 2007).

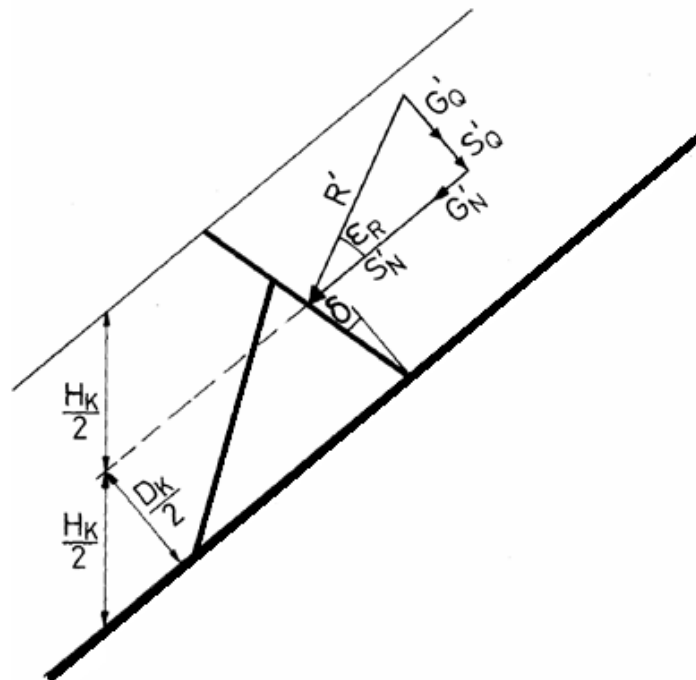


Figur 16: Komponenter for korrigerende av snøtrykk ved to ikke-normale forbygninger, etter Margreth (2007). Illustrasjon: Jan Are Jacobsen.

Figur 16 viser G' med komponentene G'_N og G'_Q ut ifra en vinkel δ fra terrengnormalen. G' kan etter SLF sine retningslinjer utledes fra

$$G' = \rho g \frac{D^2}{2} \tan \delta \quad [\text{kN m}^{-1}] \quad (3.17)$$

der ρ er den gjennomsnittlige densiteten i snødekket i t m^{-3} , g er gravitasjonskonstanten i m s^{-2} og D er snødekkets tykkelse normalt på terrenget i meter.



Figur 17: Viser resulterende snøtrykk R' med komponenter etter SLFs retningslinjer.

Dette gir et resulterende snøtrykk, som vist i Figur 17, etter

$$R' = \sqrt{R'_N{}^2 + R'_Q{}^2} = \sqrt{(S'_N + G'_N)^2 + (G'_Q + S'_Q)^2} \quad [\text{kN m}^{-1}] \quad (3.18)$$

som er rettet med en vinkel

$$\varepsilon_R = \tan^{-1}\left(\frac{R'_Q}{R'_N}\right) \quad [^\circ] \quad (3.19)$$

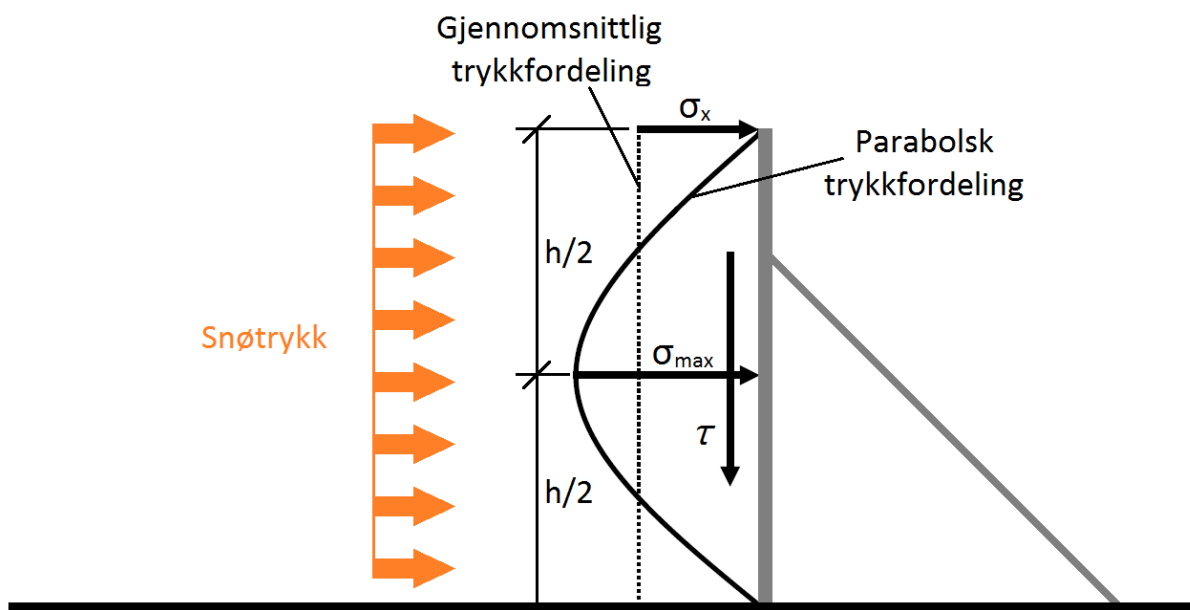
fra terrengets helningsvinkel. For områdene Δl fra endekantene, beregnet etter formel (3.16), må S'_R legges til R'_N for at denne skal bli korrekt. Dette gir en endret R' og angrepsvinkel, ε_R , for området Δl fra endekantene, etter formel (3.18) og (3.19).

3.2.2 Beregningsmetode etter Statens vegvesens "Håndbok V138"

Det maksimale trykket fordelt som et gjennomsnitt over forbygningens flate gjennom vinteren (σ_x), kan etter Statens vegvesens *Håndbok V138* beregnes med følgende formel

$$\frac{\sigma_x}{\rho g H} = 3.125 \left[0.25(\sin \alpha)^{1/2} + 0.05 \right]^{1/2} \sin \alpha + 0.28 \cos \alpha \quad (3.20)$$

der ρ er snøens densitet, g er gravitasjonskonstanten, H er snødekkets høyde og α er terrenghelningen (Norem, 2014). Med en parabolisk fordeling foreslår håndboken at størst trykk, σ_{max} , inntreffer midt på forbygningens høyde og at denne er 1.5 ganger større enn gjennomsnittstrykket over flaten.



Figur 18: Viser fordeling av sigetrykk etter Statens vegvesens håndbok V138.

Skjærkraften normalt på veggen kan beregnes etter

$$\frac{\tau}{\rho g h} = 0.25(\cos \alpha)^{1/2} \left[1 - 0.84(\sin \alpha)^{1/2} \right] \quad (3.21)$$

Statens vegvesen bruker Formel (3.20) som grunnlag for beregning av sigetrykk mot forbygninger og Formel (3.21) for beregning av skjærspenning som virker parallelt med forbygninger (Norem, 2014). For beregninger utover dette referer Håndbok V138 til SLF sine retningslinjer (Defense structures in avalanche starting zones).

3.2.3 Beregningsmetode etter Jan Otto Larsen (2000)

Som dimensjoneringsgrunnlag kan snøtrykket normalt på veggen som et gjennomsnitt over hele høyden til veggen, $\bar{\sigma}_x$, bli beregnet etter Larsen (2000) fra

$$\frac{\bar{\sigma}_x}{\bar{\rho}gD} = \left[\frac{2}{1-\nu} \left(\frac{L}{D} \right) \right]^{1/2} \sin \varphi + \frac{1}{2} \frac{\nu}{1-\nu} \cos \varphi \quad (3.22)$$

der $\bar{\sigma}_x$ er gjennomsnittlig trykk mot forbygningen i kPa, $\bar{\rho}$ er gjennomsnittlig snødensitet i kg m^{-3} , φ er terrenghelning, ν er Poissons forholdstall, g er gravitasjonskonstanten i m s^{-2} , D er snødybde normalt på terrenget i m og $\frac{L}{D}$ er en snøsigparameter basert på terrenghelning og viskøst Poissons forholdstall, etter formel (3.23).

$$\frac{L}{D} = \frac{1}{4} \left[(\sin \varphi)^{1/2} + \left(\frac{\nu^2}{1-\nu} \right) \right] \quad (3.23)$$

I følge Larsen (2000) kan maksimalt trykk mot veggen beregnes etter

$$\sigma_m = 1.5\bar{\sigma}_x \quad (3.24)$$

Ved manglende beregningsgrunnlag for randtillegg beregnes randtillegget etter

$$\bar{\sigma}_r = (1 + 1.5 \cdot 1.2)\bar{\sigma}_x \quad (3.25)$$

Parallelt med forbygningens kontaktflate virker skjærkraften, $\bar{\tau}$, som kan beregnes etter

$$\frac{\bar{\tau}}{\bar{\rho}gD} = \frac{1}{4} (\cos \varphi)^{1/2} \left[1 - \frac{3}{2} \left(\frac{\nu}{1-\nu} \right) (\sin \varphi)^{1/2} \right] \quad (3.26)$$

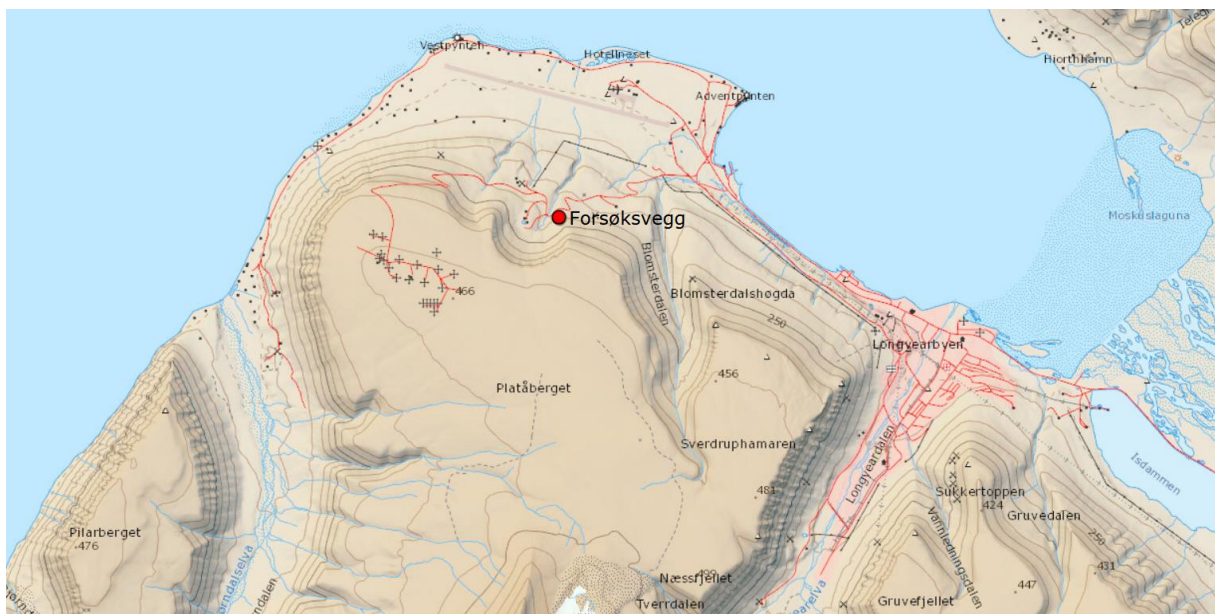
4 Materialer og metoder

I dette kapitlet beskrives materialer og metoder brukt for å utføre snøtrykkmålingene, målinger og observasjoner i forbindelse med snøtrykkmålingene og etterarbeid i forbindelse med forsøket.

På samme måte som at alle registrerte skred i Norge siden 60-tallet er koblet sammen med klimadata for å gjøre det mulig å analysere årsaken til skredene (Forskningsrådet, 2009), bør innsamling av forskjellig bakgrunnsdata utføres parallelt med snøtrykkmålingene til senere analysering av snøtrykkmålingene. I forbindelse med denne oppgaven er det derfor samlet inn data for lufttemperatur, nedbør, vind, snødybder, snødensitet, kornform (snøkorn), lagfordeling i snødekket, skjærstyrke og temperaturer gjennom hele snødekket samtidig som forsøksveggen ble testet.

4.1 Forsøksområdet

Forsøksfeltet ligger ca. 4 km vest-nord-vest for Longyearbyen, mellom inngangen til Svalbard globale frøhvelv og skytebanen til Longyearbyen jeger- og fiskerforening. Forsøksveggen ble montert på 0510574E og 8684594N i sone X33 etter UTM WGS84.



Figur 19: Posisjon til forsøksveggen markert i kart, med Longyearbyen og andre kjente landemerker. Kart er hentet fra Norsk Polarinstitutt.

Feltet er tilgjengelig med bil hele året, på brøytete grus- og asfaltveier. Fra UNIS er det ca 5 km til feltet. Det ble observert flere skavlskred i området, men forsøksveggen ligger i hverken skredbane eller utløpsområde for mulige skred, da utløpsområdene ligger lenger inn i botnen. Det var derfor mulig å oppholde seg ved veggen selv om det var generell fare for skred i området.

4.2 Snøtrykkmåling

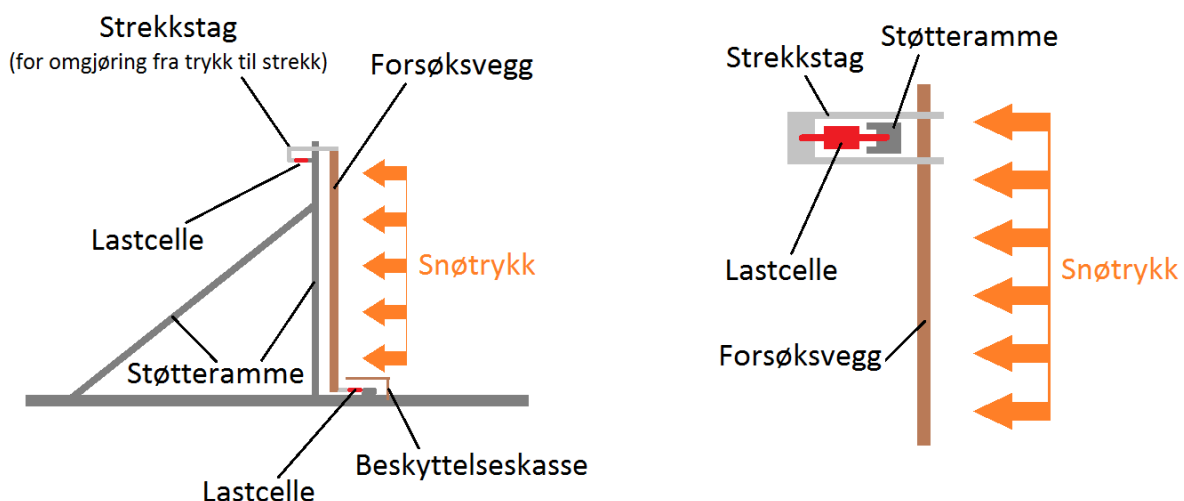
4.2.1 Forsøksveggen

Fordi det ikke er konstruksjoner tilgjengelig i det aktuelle forsøksområdet, måtte det konstrueres en egen selvstendig konstruksjon, som kunne settes ut i terrenget, fundamenteres i bakken og måle snøsigtrykk direkte på en forholdsvis stor flate. Det ble tidlig klart at målekonstruksjonen måtte

inneholde en flate som snøen kunne presse mot, som resultat av snøsig. Det ble vurdert ulike vinkler på denne flaten i forhold til terrenget, og det ble bestemt at forsøksveggen skulle stå vinkelrett på terrenget for å slippe tilpasning til terrenghelning i felt og for å få enklere sammenligningsgrunnlag ved måling på flere vegger i ulikt terreng og helning, ved at det ikke trenger tas hensyn til G' -komponentene (Margreth, 2007). Egenvekten til veggen kan neglisjeres fordi bidraget er vesentlig mindre enn snøtrykket (Rudolf-Miklau et al., 2014). Andre alternativ var å konstruere den slik en stålforbygning vanligvis blir konstruert, med $\delta = 10-15^\circ$ vinkel ned fra normalen (Margreth, 2007; Rudolf-Miklau et al., 2014). Et annet alternativ var å la veggen stå vertikalt, slik at den etterligner veggflaten til en bygning. Begge disse alternativene medfører at snøtrykk-komponentene S'_N og S'_Q etter SLF sine retningslinjer må korrigeres med komponentene G'_N og G'_Q for å ta høyde for egenvekten til snøen som ligger i prismeformen mellom veggen og terrengnormalen, som vist i Figur 16 (Margreth, 2007). I følge Rudolf-Miklau et al., (2014) kan sistnevnte sløyfes, da det vil gi redusert belastning.

Fordi forsøksveggen er en selvstendig konstruksjon som kan flyttes og det var ønskelig å ha full fleksibilitet til å velge avsidesliggende plasseringer i vanskelig terreng ble vekten forsøkt å holde så lav som mulig. Støtterammene er derfor konstruert i deler som boltes sammen, slik at disse kan fraktes adskilt og settes sammen på feltet. Dette er også en fordel ved lagring sommerstid, da de kan flatpakkes. Det ble også brukt aluminium som rammemateriale for vekt/styrke-forholdet og levetiden til aluminium.

Målestasjonen består av en tett vegg som snøen trykker mot, og to støtterammer som veggen er festet til via fire lastceller. Veggen er 3 meter bred og 1.5 meter høy, og er bygget opp som et stenderverk med topp- og bunnsvill, kledd med forskalingsplater. Rundt kantene er det forsterket med aluminiumsprofiler for å beskytte endene av forskalingsplatene og gjøre det mulig å sveise på innfestning til lastcellene (se Figur 21). Aluminiumslistene er sveiset i hjørnene og skrudd inn i stenderverket rundt hele veggen. Konseptet, med veggens oppbygging og plassering av lastceller, er illustrert i Figur 20.



Figur 20: Konseptskisser av forsøksveggen med innfesting av lastceller. Til venstre: Hele konstruksjonen sett fra siden. Til høyre: Detalj av øvre innfestning sett ovenfra. Strekkstagene er fast innspent (sveiset) på forsøksveggen.



Figur 21: Viser påsveiset brakett til innfestning av lastceller og utskiftbare glideklosser for redusert friksjon mellom veggen og bunnprofilen. Bolten er 12.9 M24. Foto: Jan Are Jacobsen.

Veggen er festet til to støtterammer. Støtterammene er bygd opp av aluminiumsprofiler; en U-profil som står terrengnormalt, en skråavstiver som står 45° mot den terrengnormale profilen, og en U-profil som ligger mot bakken, er forankret med kammet armeringsjern og som de to andre profilene er boltet fast til (se Figur 22). Veggen hviler på denne bunnprofilen, men sklir enkelt da det er montert teflonklosser med freste ledespor (som vist i Figur 21). Klossene er identiske og kan enkelt skiftes ut ved skade. Støtterammens ulike deler er merket med bokstavkoder i knutepunktene for å forenkle monteringen. For detaljer om konstruksjonen vises det til arbeidstegninger som ligger vedlagt.



Figur 22: Forsøksvegg, med støtterammer forankret til bakken med armeringsjern og lastceller montert i strekk. Foto: Jan Are Jacobsen.

4.2.2 Forankring

Det ble valgt en enkel løsning der støtterammen ble forankret i det aktive laget. Selv om det aktive laget tiner om sommeren forblir det nedfrosset gjennom vinteren, frem til overflatetemperaturen på bakken er over trykksmeltepunktet. Ved å helle vann ned i borehullene, rundt armeringsjernene fryser disse fast til bakken. Når det aktive laget etterhvert tiner og armeringsjernene løsner er eventuelt snøtrykk mot konstruksjonen så lavt at det ikke vil oppstå problemer for veggen. Det ble brukt slagdrill med bor og krone tilpasset stein til å forhåndsborre hull ned til ca. 1.3 meters dybde. Så ble armeringsjernene slått ned til forankring. Armeringsjernene som stikker opp av bakken ble sveiset med kryssgående armering for å forhindre at snøtrykket mot veggen skulle løfte rammen oppetter armeringsjernene, og det ble tilslutt helt på ca. 300 liter kaldt vann, fordelt på flere omganger.

Et mer permanent alternativ var å forankre forsøksveggen dypt i permafrosten, ved å bore gjennom det aktive laget på anslagsvis to meter, for så å fortsette ned i det permanente laget til tilstrekkelig feste kunne oppnås. Dette etterfulgt av innstøping med eksempelvis slurry (betong, kalksteinsfiller, sand, frostvæske og vann) slik det ble gjort blant annet for tilbygget til UNIS (Jullum, 2005). Denne metoden ble ikke benyttet da det ville blitt svært omfattende og etterlatt permanente spor i naturen.

4.2.3 Montering

Veggen ble montert og forankret til bakken etter at en god del snø hadde lagt seg. Det gjorde arbeidet med å sette opp veggen mer krevende, men viste samtidig at dette lar seg gjøre. Det ble leid inn gravemaskin til å ta den første delen av utgravingen og deretter ble hullet tilpasset for hånd med spade. Gravemaskinen kjørte oppe på snødekket inn til området fra veien, men fordi beltene på

maskinen begynte å skli på snøen og dermed grave seg ned i snødekket da helningen økte, ble det bestemt at monteringsstedet måtte flyttes noe lenger ned enn det som først var planen (se Figur 23).



Figur 23: Viser det planlagte monteringsstedet merket med stikker til venstre i bildet og det endelige monteringsstedet som gravemaskinen er i ferd med å grave ut for. Gravemaskinen står så langt opp i skråningen som det var mulig å komme med maskinen. Foto: Jan Are Jacobsen.

Da området var gravd ut med gravemaskin og for hånd med spade, ble veggen plassert inntil den utgravde snøprofilen og støtterammene ført inn og under veggen, før alt ble presset opp mot snøen og forankret til bakken. På grunn av mye drivsnø tok det kun et par dager før området var pakket med snø.

4.2.4 Måling av snøsig

Dataloggeren som ble benyttet til å måle snøtrykket er en HBM CX22B-W med MX440B signalforsterker. Oppsettet kan logge inntil 4 lastceller med 15-pin D-sub kontakter. CX22B-W er en liten datamaskin som kjører Windows og MX440B'en trenger denne (eller en annen datamaskin) tilkoblet for å logge dataen. Til sammen krever disse ca. 30 Watt (7-10W for CX22B-W'en og 20W for MX440B'en), og det ble fort klart at disse egnede seg dårlig til batteridrift. Systemet ble derfor brukt til å ta enkeltmålinger og korte serier under drift med strømaggregat.

En lastcelle er en kraftsensor som kan brukes til å måle strekk, trykk eller moment, avhengig av hvordan den er utformet. En lastcelle består av en metallkropp som deformeres (tøyes) av kraften den blir påført. Denne tøyningen kan måles ved hjelp av strekkklapper som er limt på metallkroppen. Strekkklappene inneholder en strømleder som strekkes ut av tøyningen (Hoffmann, 1989). Når strømlederen blir strukket, endres også tykkelsen (med Poissons forholdstall) og dermed endres også den elektriske motstanden i strømlederen seg. Ved å måle endringen i elektrisk motstand vet man

derfor hvor mye strekkappen er strukket, og kjenner man egenskapene til materialet den er limt på eller kalibrerer mot en referanseverdi kan man beregne strekket eller trykket på lastcellen.

Man kan også måle tøyning ved å montere strekkklapper direkte på konstruksjonsdeler. Dette er fordelaktig hvis man ønsker å måle tøyningen i en konstruksjonsdel som ikke har innfestning til lastceller, men krever erfaring og stor nøyaktighet for å oppnå et godt resultat.

Lastcellene som er brukt i forsøket er levert av HBM og har modellbetegnelsen S9M (se Figur 24). S-formede lastceller som dette kan måle både strekk og trykk, men krever at belastningen er aksiell for ikke å måle bidrag fra eventuelt moment som skulle oppstå. Lastcellene ble derfor montert i strekk med kulelagrede ledd i hver ende, slik at strekket gjør dem "selvopprettende" og dermed virker gjennom senteraksen på lastcellen.



Figur 24: HBM S9M-lastcelle montert i strekk i underkant av forsøksveggen. Foto: Jan Are Jacobsen.

Lastcellene som ble brukt kom med individuelle kalibreringsblad (se vedlegg) og har en microchip med EEPROM montert i kontakten, der individuell kalibreringsdata kan lagres og hentes ut med HBM-loggeren.

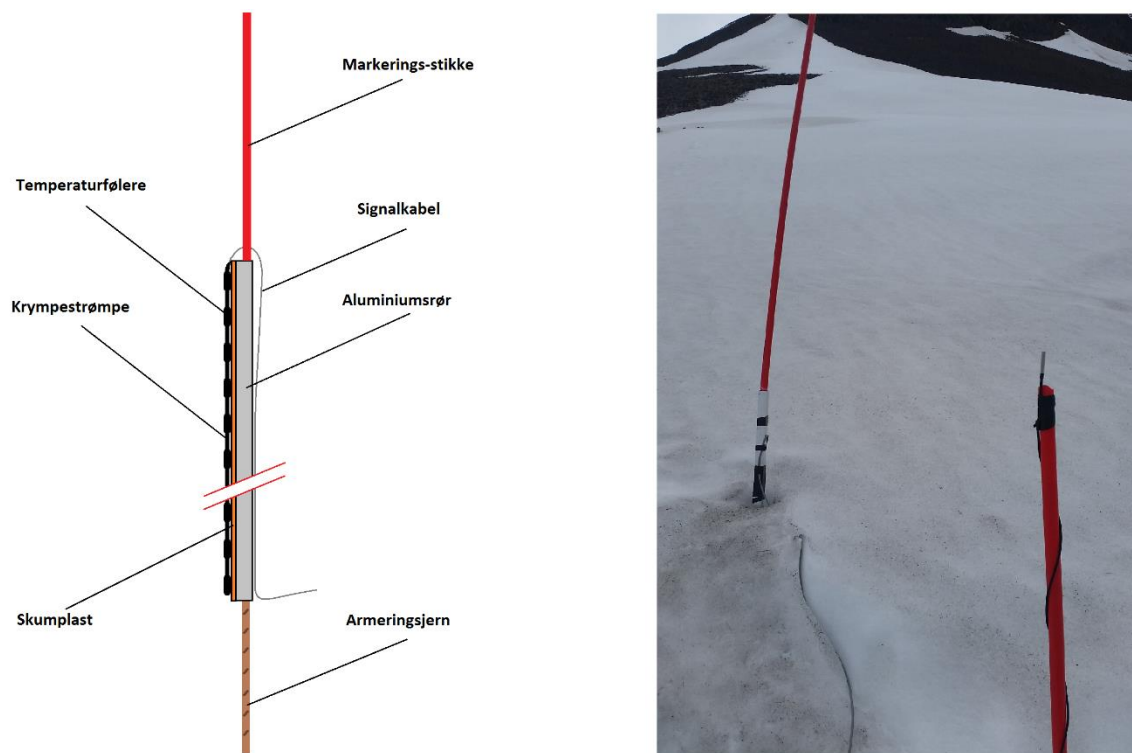
4.3 Temperaturmåling i snødekket

Temperaturen i snødekket er viktig for å koble snøsigtrykket opp mot omvandlingen og forandring i snøen. En stor forskjell mellom fastlands-Norge og Svalbard er at bakken ikke bidrar med varme til snøsmeltingen på Svalbard, på grunn av permafrosten, slik at snøen kun smelter fra oversiden og ned.

Slike målinger ble utført manuelt, som beskrevet under metode for utarbeiding av snøprofil (punkt 4.4.3). Metoden er tidkrevende fordi temperaturen i thermistorproben må utjevnes med snøens temperatur for hvert målepunkt. I tillegg har Calonne et al., (2011) og Riche & Schneebeli (2010) påvist unøyaktighet i måleverdiene på grunn av strukturell og termisk påvirkning ved innpressing av thermistorproben. Videre er det en risiko for at temperaturen i proben ikke er fullstendig utjevnet

med snøens temperatur ved avlesningstidspunktet. Derfor er det i forbindelse med denne masteroppgaven utviklet og testet et automatisk målesystem for temperaturene i hele snødekket, som kan stå fastmontert i snødekket. Et annet motiv for å utvikle et slikt system var for å teste om temperaturene logget med systemet kan brukes til utledning av snødybden. Dette med tanke på blant annet automatisk snødybdevarsel, som utledning av prosjekteringsgrunnlag og med videre utvikling til automatisk måling og varsling av skredfare.

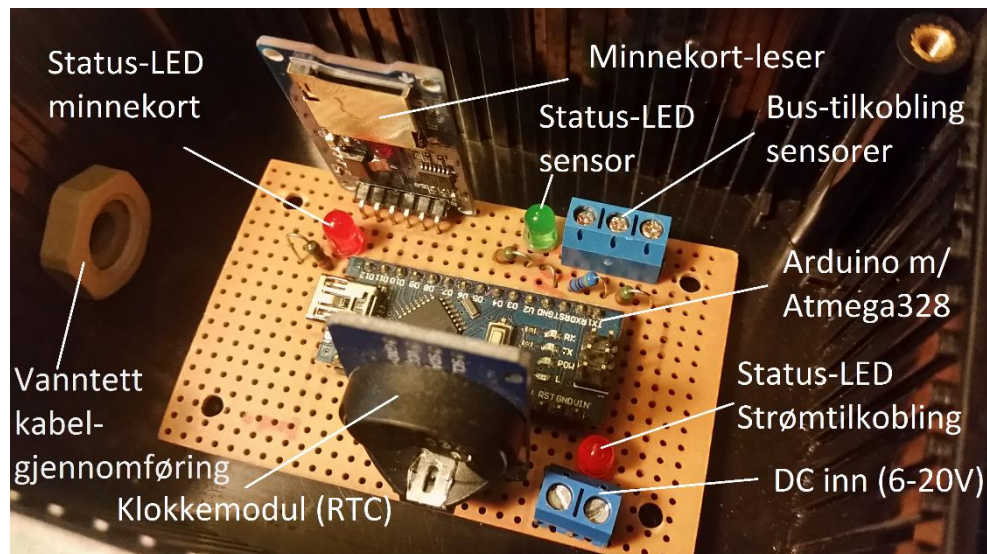
For å måle temperaturen gjennom hele snødekket ble det montert 20 temperaturfølere med 5 cm avstand på et firkantør (HUP) av aluminium. For å forhindre at aluminiumen jevner ut temperaturen gjennom snødekket er temperaturfølerne isolert fra aluminiumen med en skumplast-list. Over sensorrekken er det trukket en krympestrange for å beskytte temperaturfølerne mot vann og snø. Figur 25 viser prinsippskisse av oppbyggingen, samt bilde av konstruksjonen under testing i felt.



Figur 25: Til venstre: Prinsippskisse av sensorrekke for temperaturmåling i snødekker. Til høyre: Sensorrekke montert i felt. Foto og illustrasjon: Jan Are Jacobsen.

Temperaturfølerne er av typen Dallas DS18B20. Disse er digitale og har individuelle adresser, som gjør det mulig å koble alle sensorene på samme signalkabel og å avlese en og en sensor på rekken. For å oppnå avlesning av temperaturer med minst en desimal nøyaktighet er oppløsningen satt til 12 bits (den høyeste oppløsningen temperaturføleren støtter). Dette fører til at loggesekvensen tar noe lengre tid enn ved lavere oppløsning, men har ingen konsekvens ved loggeintervallet som her brukes. Med 12 bits oppløsning blir måletrinnene på 0.0625 °C. I følge databladet er temperaturfølerne operative ned til -55° C og er dermed egnet også på Svalbard. Temperaturfølerne støtter *parasitic power mode*, som gjør det mulig å koble dem til loggeren med kun to ledninger. For å unngå eventuelle stabilitetsproblemer, forårsaket av det store antallet sensorer på linjen, ble det allikevel valgt å bruke tradisjonell oppkobling med tre ledere, da dette regnes som sikrere.

For å logge temperaturene er det brukt en Arduino med Atmega328 microprosessor (se Figur 26). Denne leser temperaturene fra hver enkelt temperatursensor, henter klokkeslett og dato ved loggetidspunktet fra en klokke modul og skriver resultatene til et minnekort som er koblet til via en microSD-kortleser. Microprosessoren er programmert til å ta avlesning hvert 30. minutt.



Figur 26: Oppsett av temperaturloggeren som ble benyttet, med komponenter. Sensorrekken og batteriet er ikke tilkoblet, men kobles til via skruterterminaler.

4.4 Feltobservasjoner

En snøprofil er en grafisk fremstilling av en rekke egenskaper til et snødekke, og er en effektiv måte å lagre og presentere slik informasjonen på. Ved å lage serier av snøprofiler gjennom snøsesongen kan snøprofilene analyseres for å se endringer i snøen, som videre kan påvise, samt forutse utviklingen av svakheter i snødekket. Dette er nyttig tilleggsinformasjon for skredfarevurderinger. På <http://www.regobs.no/Avalanche> blir snøprofiler fra hele Norge og Svalbard samlet inn fra forskjellige observatører og publisert.

Egenskaper som gjerne blir loggført i snøprofilen er:

- Opplysninger om posisjon
- Total snødybde
- Lagfordeling og hardheten til de ulike lagene
- Snøfuktighet
- Kornstørrelse og krystallform
- Temperatur i luft, overflate og nedover i snødekket
- Densitet
- Skjærkraft
- Ulike stabilitetstester (som kompresjonstest, utvidet kompresjonstest, bruddflatekarakter, rutsblokktest, propagation saw test)
- Vær- og snøforhold
- Observasjoner av skredaktivitet og ulike faretegn

Mange av disse egenskapene er nyttige å loggføre med tanke på snøsigkrefter, og det er derfor gravd flere snøgroper gjennom snøsesongen, for å utføre tester og gjøre observasjoner, for å lage

snøprofiler. Under feltarbeidet ble disse egenskapene notert i felthåndbok, for senere å bli plottet i et web-basert snøprofil-verktøy.

4.4.1 Visuell inspeksjon

Tegn på skred- og snøglidaktivitet kan enkelt påvises ved visuell inspeksjon når sikten er god nok, og er relativt raskt å utføre. Det ble derfor utført visuell inspeksjon ved alle turer på feltet og spesielle observasjoner ble notert i feltbok. Det ble også tatt bilder av observasjoner av interesse.

4.4.2 Snødybde

For å utføre full snøprofilering med ulike tester i forskjellige høyder av snødekket ned til bakkenivå, var det nødvendig å grave snøgrop helt ned til bakken. Det var derfor praktisk å sjekke snødybdene i det aktuelle testområdet før snøgropen ble utgravd, for å finne egnet sted med passende snødybde. Dybden til snøgropen ble ved hjelp av en søkestang med centimeter-mål målt før graving av snøgropen. Snødybden i området var varierende, og den målte, loggførte dybden gjelder derfor kun for snøgropens posisjon.






4.4.3 Temperatur

Temperaturen ble målt nedover snødekket, samt i overflaten og luften, ved hjelp av et digitalt termometer med termistorprobe. For å måle temperaturene i snødekket ble proben presset inn i den utgravde snøveggen og holdt i ro til displayet viste stabil verdi for temperatur, før verdien ble loggført i felthåndbok. Dette ble gjentatt for hver 10. cm nedover veggen i snøgropen.

4.4.4 Hardhet

Det ble utført hardhetstest, eller håndtest, nedover snøprofilen for å finne hardheten på snøen, samtidig som lagene ble identifisert. Testen ble utført ved å presse ulike objekter (se Tabell 3) inn i snøen for å finne den største formen som kan presses inn i snøen (Greene et al., 2016). Forsøkene ble utført med hansker og med alminnelig kraft, etter instruksjonen omtrent 1-1.5 kg trykk. Under testingen i felt ble dybdene til prøvetakingen og symbolene etter Tabell 3 notert i en felthåndbok.

Tabell 3: Hardhetstest, med form, symbol og beskrivelse, etter Greene et al., (2016)

Test	Symbol	Beskrivelse	Grafisk symbol
Neve	F	Veldig lav	
4 fingre	4F	Lav	
1 finger	1F	Medium	
Penn	P	Høy	
Kniv	K	Veldig høy	
Is	I	Is	
Ikke observert	N/O	-	N/A

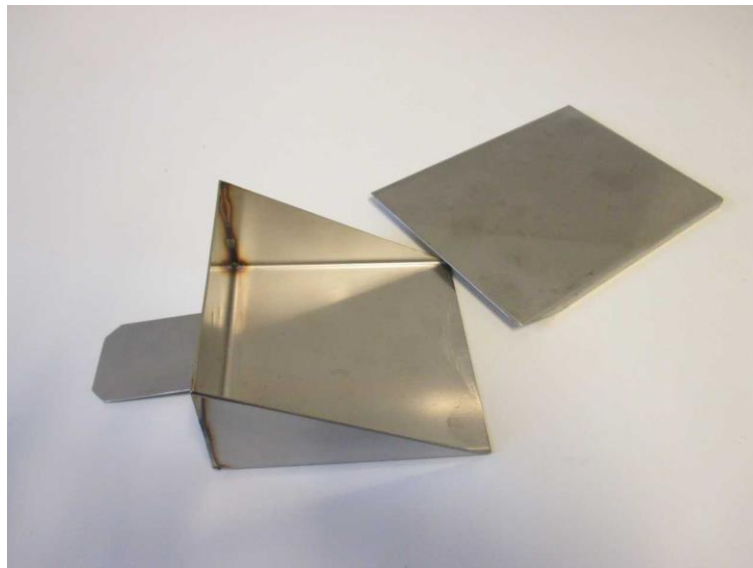
4.4.5 Kornform og størrelse

Et referansekort for kornstørrelser ble brukt for å måle størrelsen på snøkornene. Referansekortene er vanligvis sorte for å gi god kontrast til den lyse snøen og har påtrykt rutemønstre med forskjellige rutestørrelser. En liten prøve av snøen som skal undersøkes fordeles utover kortet og kornene sammenlignes med de forskjellige rutestørrelsene for å finne kornstørrelsen.

4.4.6 Densitet

Densiteten ble målt ved å veie et kjent volum med snø. Snøprøvene ble tatt fra ulike høyder i snøgropen ved hjelp av en prismeformet skuffe med tilpasset lokk (vist i Figur 27). Skuffen ble presset inn i snøen før lokket ble skjøvet inn på toppen for å fange snøen i skuffen. Skuffen med lokk ble trukket ut, innholdet helt i en pose og veid med en fjærvekt.

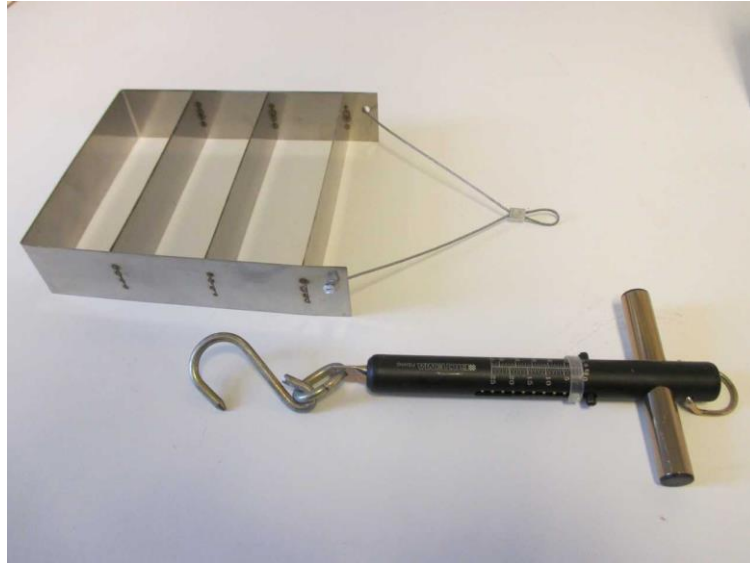
Densiteten blir regnet ut fra vekten til snøprøven (poseprøvens vekt minus egenvekten til posen) dividert med skuffevolumet.



Figur 27: Snøprøveskuffe med lokk, beregnet for densitetsmålinger. Foto: Arne Aalberg.

4.4.7 Skjærkraft

Skjærkraft ble målt ved først å lage en flat hylle i snøen, uten å komprimere eller på annen måte forstyrre snøen mer enn høyst nødvendig. Så ble en ramme (som vist i Figur 28) presset ned i snøen, til kanten på rammen var på nivå med snøen. Snø i forkant av rammen ble fjernes. En fjærvekt med angiver for maksnivå ble festet til rammen og brukt til å dra løs snøen som ligger i rammen, fra resten av snødekket. Det er viktig at trekk-kraften går parallelt med rammen og gradvis økes til snøen gir etter. Skjærkraften er den største målte strekk-kraften dividert på arealet til rammens fotavtrykk.



Figur 28: Skjærkraft-ramme og fjærvekt. Foto: Arne Aalberg.

4.5 Værdata

Værdata er hentet fra yr.no som er en tjeneste levert av Meteorologisk institutt og NRK. Målestasjonen som har samlet inn værdataen ligger på Svalbard Lufthavn, ca 10 meter over havnivå. Alternativt kunne værdata fra UNIS sine stasjoner bli brukt, men Svalbard Lufthavn ligger nærmest forsøksfeltet (1.3 km i luftlinje).

På forsøksfeltet ble det ved utgraving konstatert en snødybde på 450 cm. I værdataen fra yr.no rapporteres en maksimal snødybde på kun 35 cm snø i løpet av hele vinteren 2016/2017. Dette skyldes lokal oppsamling av drivsnø og demonstrerer viktigheten av egen snødybde-kartlegging i prosjektområdet.

4.6 Snø- og terrengundersøkelser

For å kartlegge snøen og terrenget i forsøksområdet ble en *Terrestrial Laser Scanner* (heretter TLS) av typen Riegl VZ-6000 benyttet (se Figur 29). De største fordelene med å bruke en TLS kontra å måle manuelt med søkestang er at det er mulig å dekke et vesentlig større område, antall målepunkter blir betydelig flere, man slipper å oppholde seg i skredfarlig terreng og snøen i forsøksområdet forblir upåvirket.

Evnen til å scanne snø og is varierer mye mellom ulike laser-scannere, hovedsakelig fordi de opererer med ulike bølgelengder og snø reflekterer ulike bølgelengder med forskjellig intensitet. Riegl VZ-6000 er en TLS som er godt egnet til å måle snø og is på grunn av bølgelengden på 950 nm som den opererer på (Prokop, 2008). I tillegg scanner den over lange distanser og kan dekke store områder. Riegl VZ-6000 ble derfor valgt til arbeidet med å scanne forsøksområdet i dette prosjektet.



Figur 29: TLS under scanning av forsøksområdet, med forsøksvegg i bakgrunnen. Foto: Jan Are Jacobsen.

Scanneren fungerer ved å sende ut en lys-puls på 950 nm samtidig som en teller starter å telle svingningene på en krystall med kjent frekvens. Når lyset treffer et objekt reflekteres det i overflaten og sendes tilbake til laser-skanneren. Dette stopper telleren, som sammen med svingfrekvensen gir tiden lyset bruker på å dekke strekningen to ganger (frem og tilbake). TLS'en korrigerer for forskjellig lufttemperatur og atmosfærisk trykk, da dette er med å bestemme lyshastigheten, og beregner avstanden. Endringer i luftfuktighet gir også endringer i lyshastigheten, men i mindre grad, slik at det ikke trengs å tas hensyn til for målenøyaktigheten vi ønsker i dette prosjektet. Scanneren logger retningen på lys-pulsen og avstanden til punktet før den går et steg videre og repeterer målesekvensen for neste punkt. Når dette er gjort for hele forsøksfeltet settes alle punktene sammen til en punktsky som representerer områdets overflate tre-dimensjonalt. Denne punktskydataen kan videre brukes sammen GIS-programvare for å gjennomføre ulike analyser av terreng og snø.

TLS'en er portabel, og ble opp- og nedrigget for hver arbeidsøkt, fordi den er et kostbart og noe skjørt instrument. Dette medførte at modellene fra hver enkelt scan måtte synkroniseres i ettertid, fordi plasseringen av TLS'en endret seg litt for hver opprigging, mens det interessante forsøksområdet var det samme. For å forenkle synkroniseringen ble det montert reflektorer på faste punkter i området, som referansepunkter. Disse ble identifisert automatisk av systemet. Med middels høy oppløsning og automatisk søk og detektering av reflektorene tok scanningen av hele området ca. en time per gang.

For et godt resultat er det viktig at TLS'en ikke blir påvirket under scanne-sekvensen, f.eks. ved at stativet sigrer ned i underlaget. Ved scanning av forsøksområdet ble derfor TLS'en plassert på veidekket til Svalsatveien, nedenfor prosjektområdet, for å få fast grunn under stativet. Fordi scanneren fungerer ved å sende en lys-puls som skal reflekteres tilbake, er den avhengig av fri sikt.

Snø, regn og andre partikler i luften medfører feilrefleksjoner og flere planlagte scanninger utgikk på grunn av dårlig vær.

4.7 ArcGIS

ArcGIS er en programpakke utgitt av Esri og inneholder blant annet programmene ArcMap og ArcScene som ble benyttet i denne oppgaven. ArcMap er et GIS-program som er godt egnet til analysering av punktskyer, rasterfiler og 3D-modeller og støtter konvertering mellom ulike typer filer. Programmet ble brukt til å lage punktskyer fra .txt-filer som inneholdt koordinater til punktene, som videre ble konvertert til raster- og TIN-modeller (triangulært uregelmessig nettverk). Videre er det utført analyser ved hjelp av raster-kalkulator og andre verktøy, og lagt inn georeferert bakgrunnskart til stedsfesting. ArcScene er hovedsakelig et visualiseringsverktøy, og ble for det meste benyttet til kontroll av 3D-modellene, da det er mulig å rotere modellene for å se dem i perspektiv og fra ulike vinkler.

Det ble benyttet versjon 10.4.1 av både ArcMap og ArcScene i denne oppgaven.

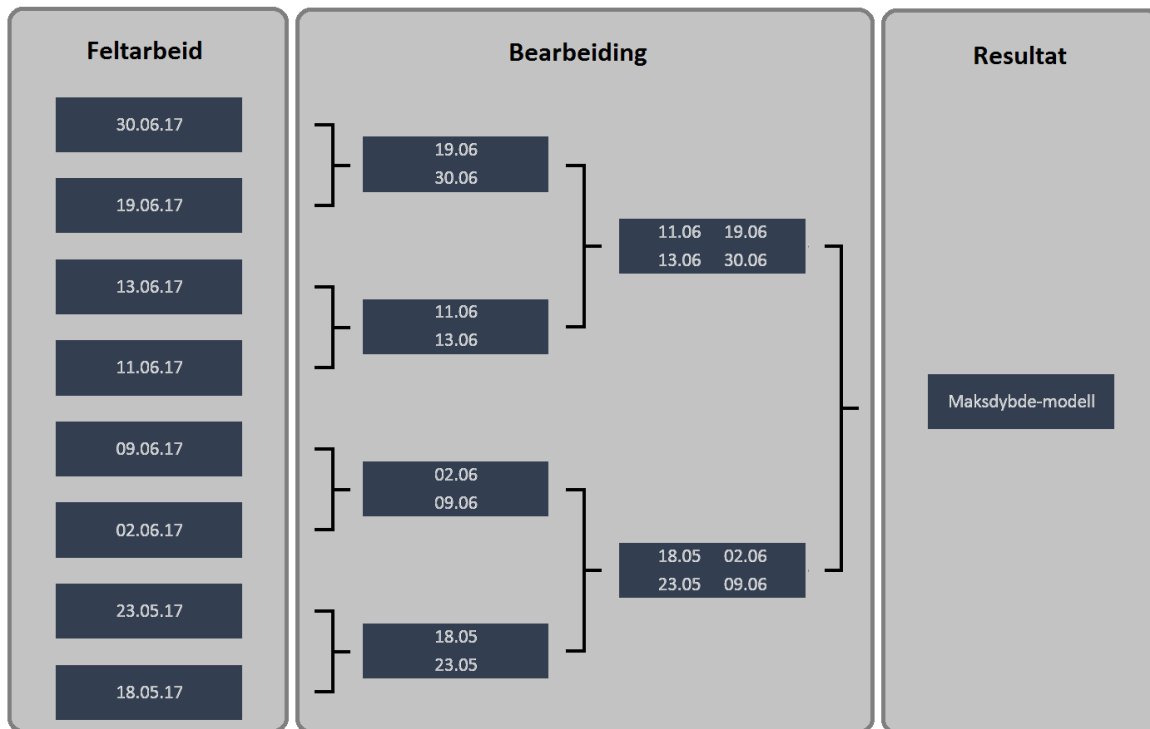
4.7.1 Snødybder

Fra scanninger av forsøksområdet, utført med TLS gjennom vinteren, ble det laget raster- og TIN-modeller som representerer høyden til toppen av snødekket ved de ulike scanne-tidspunktene. I tillegg ble terrenget scannet uten snø som referanse. Modellene ble georeferert og konvertert til et globalt koordinat-system basert på WGS84 UTM sone X33 med høyde i NN2000 (etter fundamentalpunktet Normaals Amsterdams Peil). Fordi modellene ble georeferert ga differansen mellom terrengets høyde og snødekkets høyde de vertikale snødybdene i prosjektområdet ved tidspunktet da snødekket ble scannet. Dette ble utnyttet til å lage snødybde-modeller ved hjelp av raster-kalkulatoren i ArcMap. Raster-kalkulatoren ble brukt til å trekke høyden på terrenget fra høyden på snødekket, for så å lagre resultatet i en ny raster-modell for snødybdene i prosjektområdet. Dette ble gjentatt for alle scanne-tidspunktene.

4.7.2 Maksimale snødybder

Fordi snøen driver, siger og komprimeres forskjellig i området på grunn av lokale terrengforskjeller, ulik snøpåvirkning og værforandring, er det mulig at største snødybde i en del av prosjektområdet opptrer ved et annet tidspunkt enn største snødybde i en annen del av prosjektområdet. Snødybde-modellene etter punkt 4.7.1 ble brukt til å analysere snødybdene i hele prosjektområdet ved de ulike tidspunktene, for så å bruke den største verdien, uavhengig av tidspunkt, til å bestemme den maksimale snødybden gjennom vintersesongen.

Dette ble utført ved hjelp av raster-kalkulatoren i ArcMap som ble brukt til å sammenligne to og to snødybde-modeller fra forskjellige måletidspunkt og lagre den største snødybdeverdien i en ny, midlertidig raster-modell (se "Bearbeiding" i Figur 30). Dette ble gjort for alle måletidspunktene og så gjentatt for de nye, midlertidige modellene til resultatet var en enkelt raster-modell som viser de største målte snødybdene i prosjektområdet, uavhengig av scannetidspunktet (se Figur 30).



Figur 30: Oversikt over snødybdemodellene (fra de ulike scanne-tidspunktene) som er brukt som utgangspunkt for bearbeidingen, bearbeidingsprosess der to og to modeller er sammenlignet og resultatet av bearbeidingen som er en maksdybde-modell. Hver boks i diagrammet representerer en raster-modell. Illustrasjon: Jan Are Jacobsen.

4.7.3 Terrenghelning og -profil

Terrenghelningen kan bestemmes i ArcGIS ut ifra TIN-modeller, basert på ferdige tre-dimensjonale kart, modeller tegnet fra bunn basert på kotelinjer i to-dimensjonale kartlag eller fra punktsky-data fra egne scanninger. Store deler av jorden er scannet fra luften, og det finnes digitale tre-dimensjonale kart av disse områdene som er fritt tilgjengelig, men det er fortsatt områder som mangler eller som kun finnes i dårlig oppløsning. Det var ikke mulig å oppdrive gode tre-dimensjonale kart for det aktuelle prosjektområdet, men fordi terrenget ble scannet med TLS, ble punktskyen brukt til å bestemme terrenghelningene. Ved å bruke ArcMap og ArcScene er det mulig å visualisere terrenghelningen, og bruke den videre i analyser av terrenget.

Terrengprofilen til området ved forsøksveggen ble funnet ved å bruke *line of sight*-verktøyet i ArcMap. Verktøyet er ment å brukes for å finne siktlinjer mellom to punkter ved å vise hva som er synlig og ikke synlig fra et punkt mot et annet, men viser samtidig høydeprofilen til snittet i linjen mellom punktene. Startpunktet og sluttunktet ble valgt slik at linjen gikk gjennom forsøksveggen og så vinkelrett på kotelinjene til terrenget som mulig. Verktøyet ble benyttet sammen med videre bearbeiding i MS Excel. En stegvis beskrivelse av metoden ligger som vedlegg.

4.7.4 Egnede plasseringer for forsøksveggen

For å bestemme egnede plasseringer for forsøksveggen(e) i prosjektområdet, ble kriterier for ønskede snø- og terrengegenskaper angitt, for så å analysere hvilke områder som tilfredstilte disse egenskapene med ArcMap. Fordi veggen er 1.5 meter høy, ble det valgt ønsket maksimal snødybde (etter punkt 4.7.2) mellom 1.2 og 1.5 meter, som er 80-100% av forsøksveggenes høyde. Kriteriet for helningsvinkel ble satt til å være mellom 20-40 °, fordi snøen siger lite i terrenghelning under 20° og det er vanskelig å jobbe i terreng med helning over 40 °.

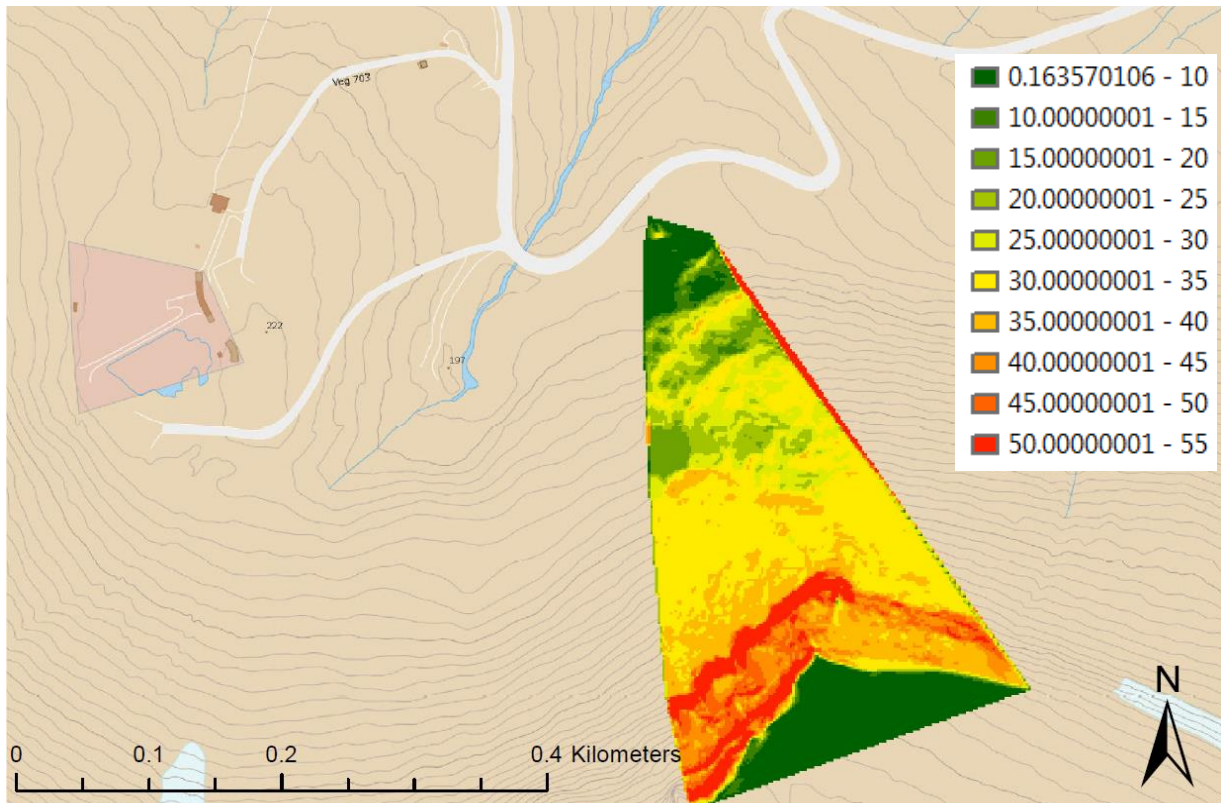
Med de angitte kriteriene for helningsvinkel og snødybde, kunne områder som ikke tilfredstilte kravene elimineres. Dette ble gjort ved å ta utgangspunkt i en kopi av raster-modellen for helningsvinkler (etter punkt 4.7.3) og endre celleverdiene til 0 hvis de ikke var innenfor kriteriet på 20-40 °. Operasjonen ble utført med raster-kalkulatoren i ArcMap. På samme måte ble maksimal snødybde vurdert, ved å sette celleverdiene i en kopi av raster-modellen for maksdybde-modellen (etter punkt 4.7.2) til 0 hvis de ikke var innenfor kriteriet på 1.2-1.5 meter. Ved å multiplisere cellene fra de to raster-modellene med hverandre fikk områdene som både tilfredstiller kravene til helningsvinkel og snødybde en verdi > 0, og områdene som ikke tilfredstilte en av eller begge kravene verdien 0. Denne operasjonen ble også utført med raster-kalkulatoren, og de nye verdiene ble lagret i en ny raster-modell. Områdene med verdi > 0 i denne nye modellen markerer dermed plasseringene som anbefales for oppsetting av forsøksveggen.

5 Resultater

5.1 Snø- og terrengundersøkelser

5.1.1 Terrenghelning

ArcGIS ble brukt sammen med de scannede høydene i terrenget til å kartlegge helningsvinkler i området, etter punkt 4.7.3.

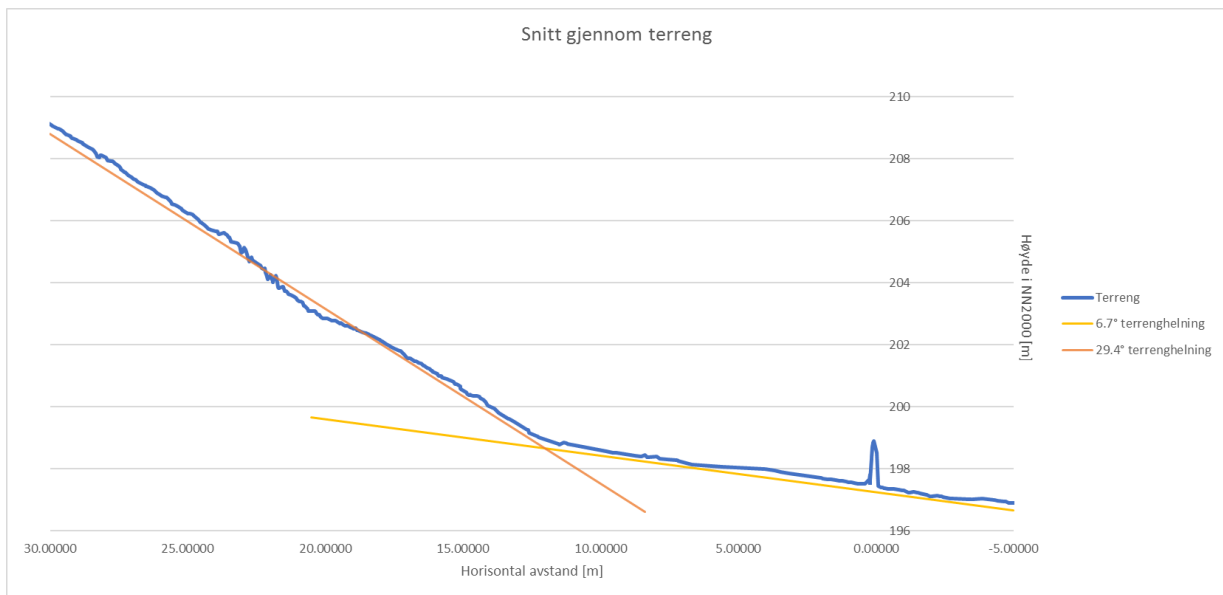


Figur 31: Viser stigning i forsøksområdet (i grader). Bakgrunnskart er hentet fra Norsk Polarinstitutt og er georeferert.

Figur 31 viser stigningen i terrenget, basert på celleverdi i forhold til verdien til de hosliggende cellene. Fordi det er vanlig praksis å bruke grader ved prosjektering av forbygninger og det tillater enkel dekomponering, ble det valgt å presentere helningsvinklene i grader i stedet for i prosent.

Fra veien og ca. 100 meter inn, i den nordligste delen av forsøksområdet, er det liten stigning. Midt i forsøksfeltet er det større stigning, med rundt 25-30° helning. I den sørlige delen er det svært bratt, med partier opp mot 55°, opp til platået der stigningen flater ut.

Fra et snitt i terrenget ble det også funnet terrenghelninger fra forsøksveggen og oppover fjellsiden, som vist i Figur 32.



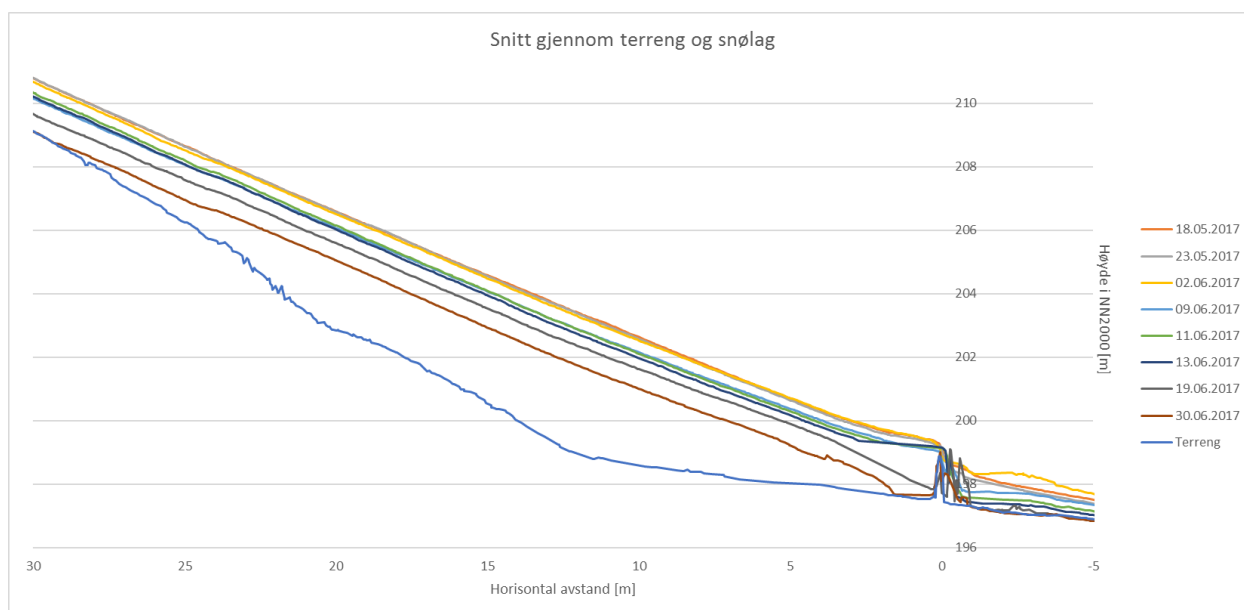
Figur 32: Viser snitt gjennom terrenget ved forsøksveggen, med terrenghelning. Horizontal avstand med utgangspunkt i forsøksveggen (markert som pigg).

X-aksen som viser horisontal avstand i meter er justert slik at forsøksveggen står ved 0 m, med positive verdier på oversiden av forsøksveggen og negative verdier på nedsiden. Y-aksen presenterer høyde i meter etter NN2000.

Figuren viser en helning på 6.7° i området rundt forsøksveggen, og en helning på 29.4° som starter omtrent 12 m fra veggen i horisontal distanse, på oversiden av veggen.

5.1.2 Endringer i snødybde

Høyden til snødekket ved de ulike scannetidspunktene er fremstilt grafisk i Figur 33 langs et snitt som går gjennom konstruksjonen og opp fjellsiden. I det samme snittet er høyden til terrenget tatt med, som referanse.



Figur 33: Snitt gjennom forsøksvegg, terreng og snødekker, som viser høydeprofil til terrenget og snødybdene ved forskjellige måletidspunkt

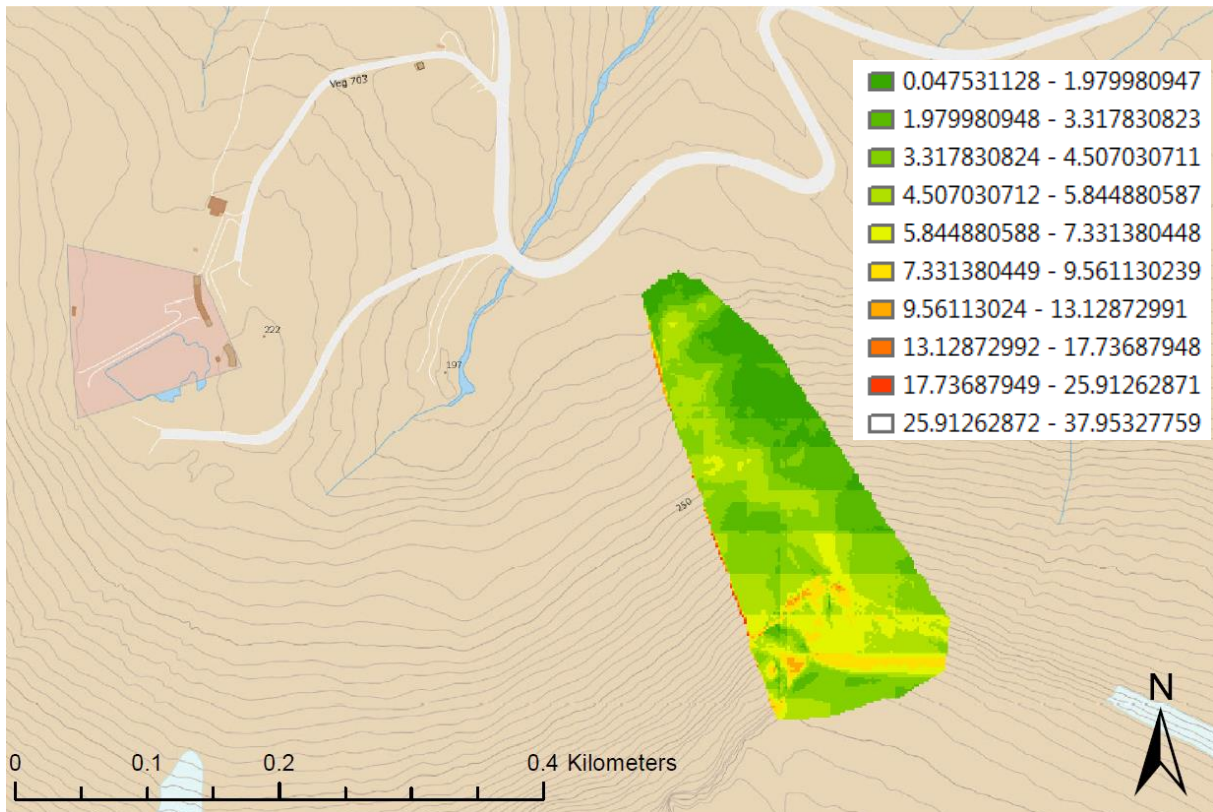
X-aksen som viser horisontal avstand i meter er justert slik at forsøksveggen står ved 0 m, med positive verdier på oversiden av forsøksveggen og negative verdier på nedsiden. Y-aksen presenterer høyde i meter etter NN2000.

Snittet viser terrengoverflaten i bunn og snødybdene ved de ulike måletidspunktene. Overflaten til snøen ligger relativt plan ved alle de ulike måletidspunktene. Snødybden faller noe ved forsøksveggen, også for periodene med mest snø.

5.1.3 Største opptredende snødybder

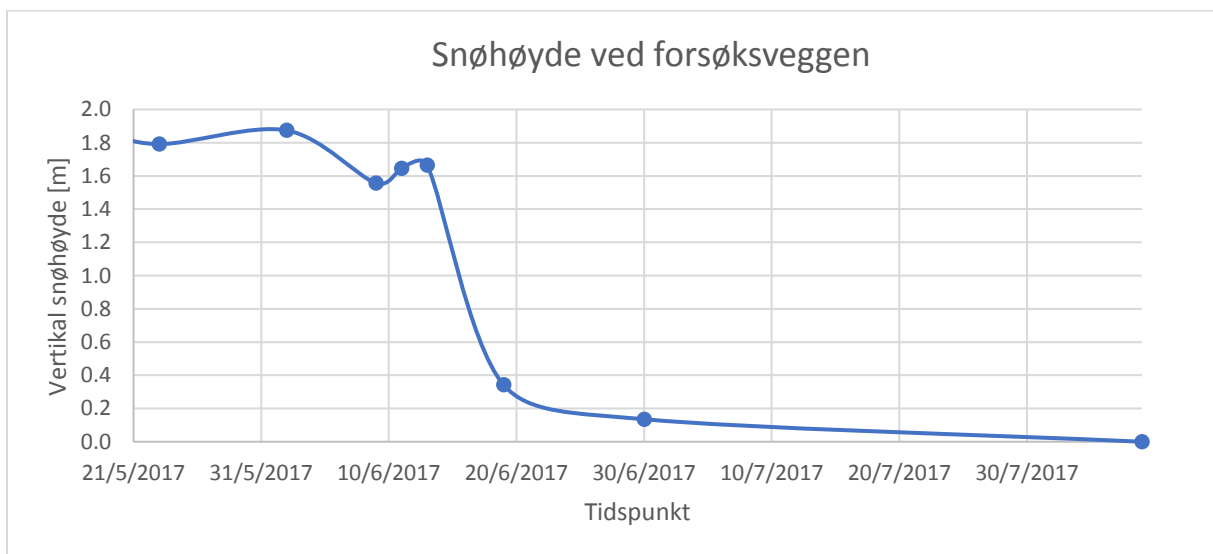
Snødybdene som er kartlagt gjennom vintersesongen ble brukt til å finne maksverdier for snødybdene gjennom vintersesongen, H_{maks} . Denne verdien benyttes ved prosjektering av støtteforbygninger til å bestemme høyden til forbygningene.

Figur 34 viser et oversiktskart med største målte verdien for vertikal snødybde gjennom måleperioden. Midt i det kartlagte forsøksområdet går en rygg nedover fjellsiden som deler området i en nordvestlig eksponert fjellside og en nordøstlig eksponert fjellside. Primært er det lavere opptredende snødybder i den nordøstlige delen, med store områder markert som under 2 m, enn i den nordvestlige rettede delen, med områder markert mellom 4.5 og 5.8 m.



Figur 34: Kartlagt maksimal snødybde (H_{maks}) i måleperioden 18.05.17-30.06.17. Bakgrunnskartet er hentet fra Norsk Polarinstitutt og er georeferert i ArcMap.

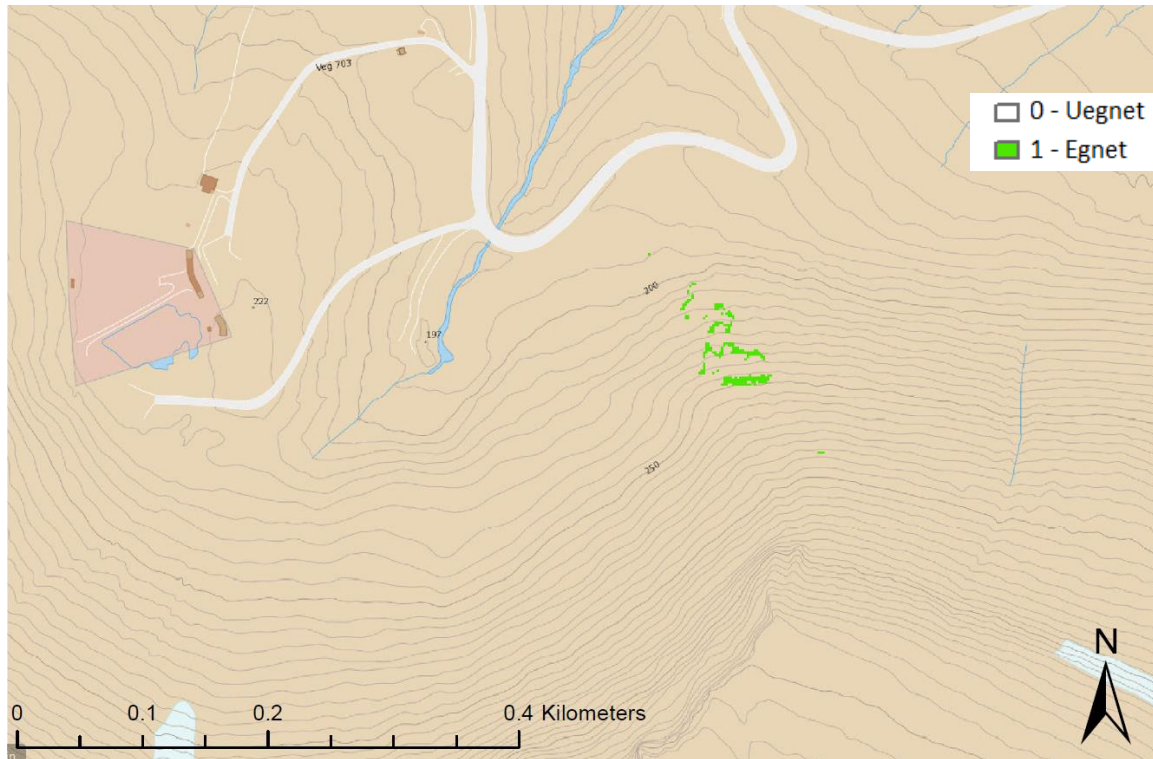
Snøhøyden i et bestemt punkt, 40 cm fra forsøksveggen og på oversiden av konstruksjonen, ble kartlagt gjennom hele måleperioden ved hjelp at TLS. Fra Figur 35 kommer det frem at største snøhøyde, i dette punktet er 1.87 m og opptrer 2. juni 2017. Det vises også en kraftig reduksjon i snøhøyden på 1.4 m mellom 13. og 20. juni.



Figur 35: Utvikling av snøhøyde gjennom måleperioden, i et punkt 40 cm på oversiden av forsøksveggen, kartlagt med TLS.

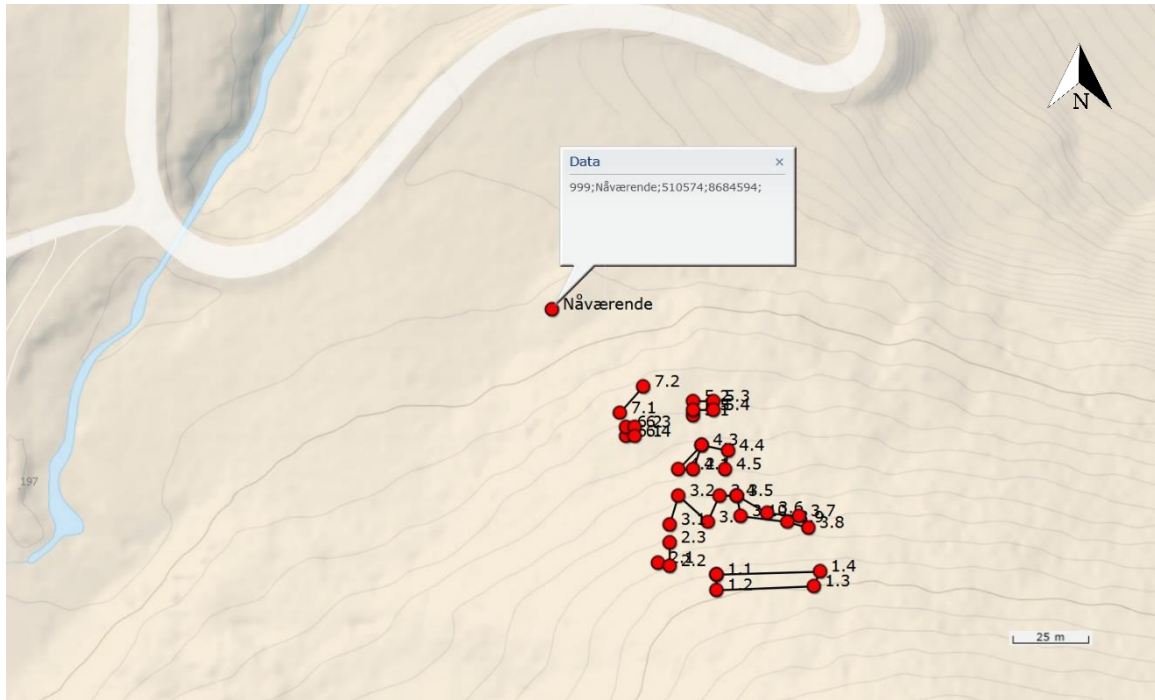
5.2 Egnert plassering av forsøksvegg

Figur 36 viser områdene som tilfredstiller kravene til egnert plassering for forsøksveggen, satt etter punkt 4.7.4. Områdene som er egnert er merket grønt og de resterende områdene viser bakgrunnskartet for stedfesting og referanser i terrenget.



Figur 36: Kart over forsøksområdet med egnede plassinger for forsøksveggen (merket grønt). Bakgrunnskart er hentet fra Norsk Polarinstitutt og er georeferert i ArcMap.

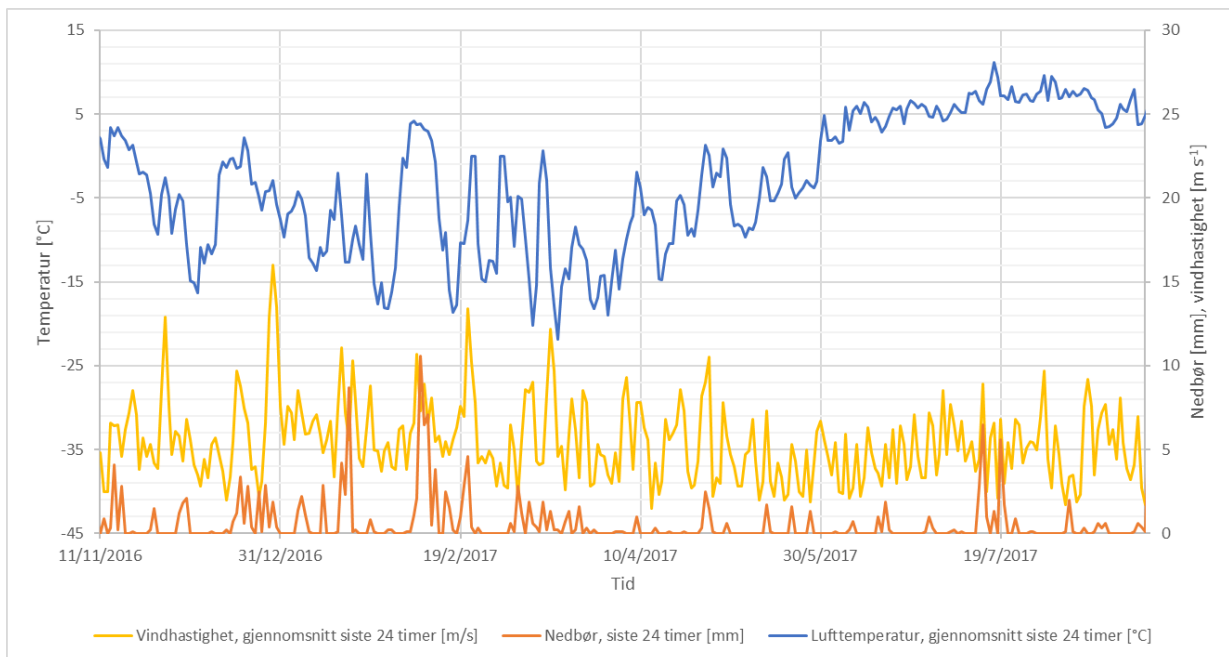
Det egnede området er også markert i Norsk Polarinstitutt sitt web-baserte kartverktøy etter metode i vedlegg. Figur 37 viser hvordan områdene blir markert i verktøyet. Smale områder er markert som enkle linjer og større områder er markert ved avgrensning med linjer. Bruk av verktøyet resulterer i et mer interaktivt kart enn det som kommer frem i figuren under. De røde punktene markerer koordinatenes plassering og disse koordinatene kan enkelt hentes frem fra kartet, ved f.eks. navigering i terrenget.



Figur 37: Viser plotting av koordinater i Norsk Polarinstitutt sitt web-baserte kartverktøy.

5.3 Værdata

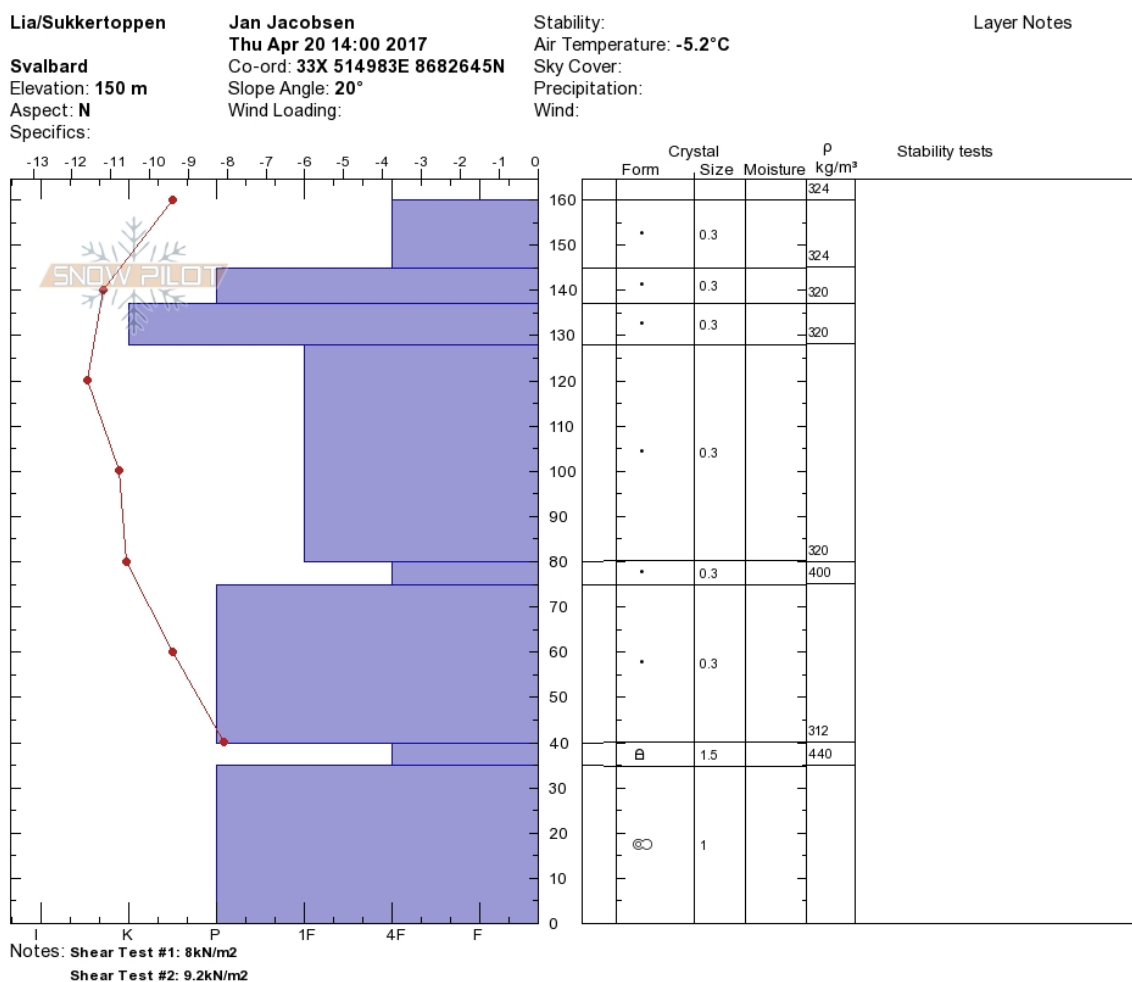
Verdier for temperaturer, nedbør og vindhastigheter målt ved værstasjonen på Svalbard lufthavn (1.3 km fra forsøksfeltet) er fremstilt grafisk i Figur 38. Værdataen ble hentet fra yr.no (levert av Meteorologisk institutt og NRK). Verdier for målte snødybder er utelatt, da disse ikke er representative for forsøksfeltet.



Figur 38: Værdata målt ved Svalbard Lufthavn. Kilde: Yr, levert av Meteorologisk institutt og NRK

5.4 Feltobservasjoner

Fra feltobservasjonene utført i Lia under Sukkertoppen 20. april 2017 og ved forsøksveggen 14. juni 2017 ble det konstatert en rekke egenskaper for snødekket, som er plottet i snøprofilene i henholdsvis Figur 39 og Figur 40.



Figur 39: Observasjoner og målinger gjort i snøgrop i Lia, på nordsiden av Sukkertoppen 20. april 2017.

Figur 39 viser resultatene fra snøobservasjoner og målinger utført i Lia, på nordsiden av Sukkertoppen, den 20. april 2017. Snødekket på 160 cm er delt inn i 8 klart definerte snølag. De øverste 6 snølagene er bygd opp av samme type kornform, små avrundede partikler med diameter rundt 0.3 mm. Densiteten varierer lite mellom disse lagene, bortsett fra lag 5 fra toppen, som har en noe høyere densitet. Lag 7 har også høyere densitet og samme tykkelse og hardhet som lag 5, men inneholder fasetterte krystaller med avrundede hjørner og kanter, med en gjennomsnittlig diameter på 1.5 mm. Lag 6 og 8 er relativt tykke lag (ca 35 cm) med lik hardhet, selv om kornformen i det nederste laget er bygget opp av smelte/fryse-polykrystaller på 1 mm, og derfor skiller seg ut fra lag 6. Lufttemperaturen ligger på -5.2°C og snøens overflatetemperatur på -9.3°C . Temperaturen synker nedover de første 40 cm, til en minimumstemperatur på -11.2°C , før den øker igjen. Gjennomsnittlig densitet er beregnet til $\bar{\rho} = 326 \text{ kg m}^{-3}$.

Svalsatveien/Skytebane Jan Jacobsen

Wed Jun 14 18:00 2017

Co-ord: 33X 510570E 8684580N

Stability:

HS160

Layer Notes

Air Temperature: 1.8°C

Sky Cover: OVC

Precipitation: NO

Wind: Moderate

Svalbard

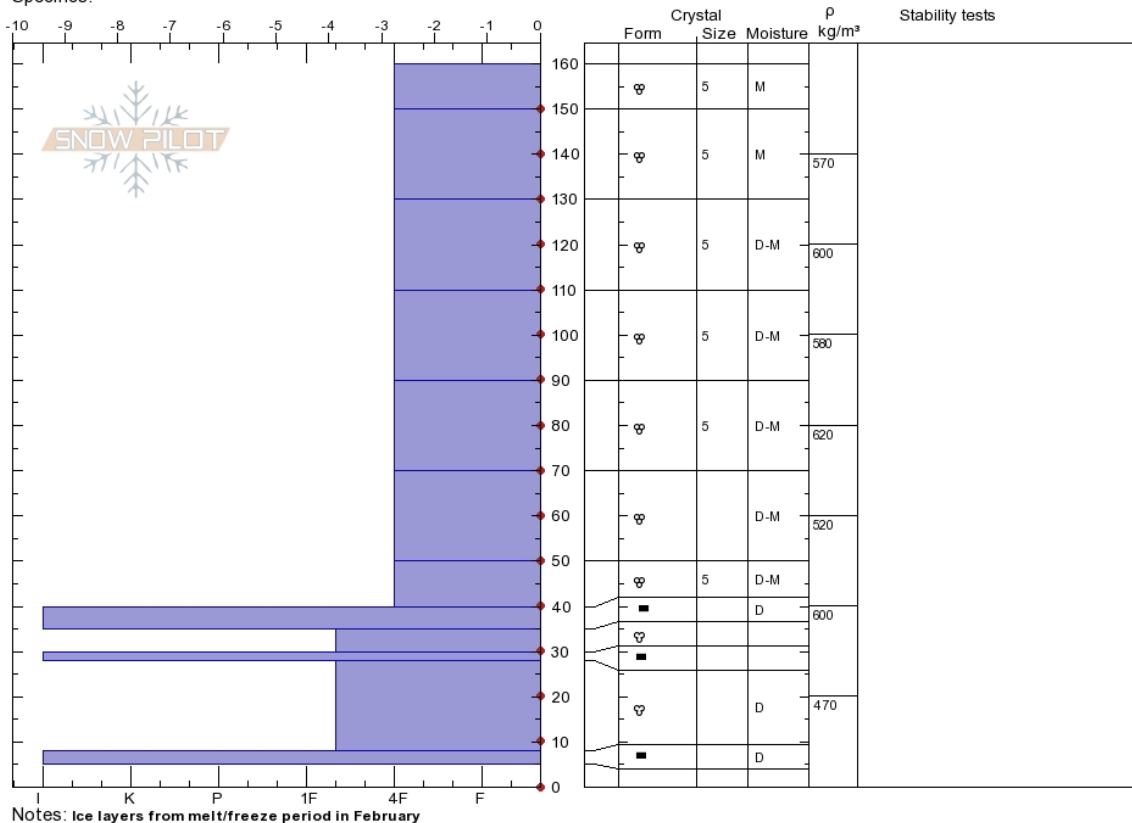
Elevation: 200 m

Aspect: N

Specifics:

Slope Angle:

Wind Loading:

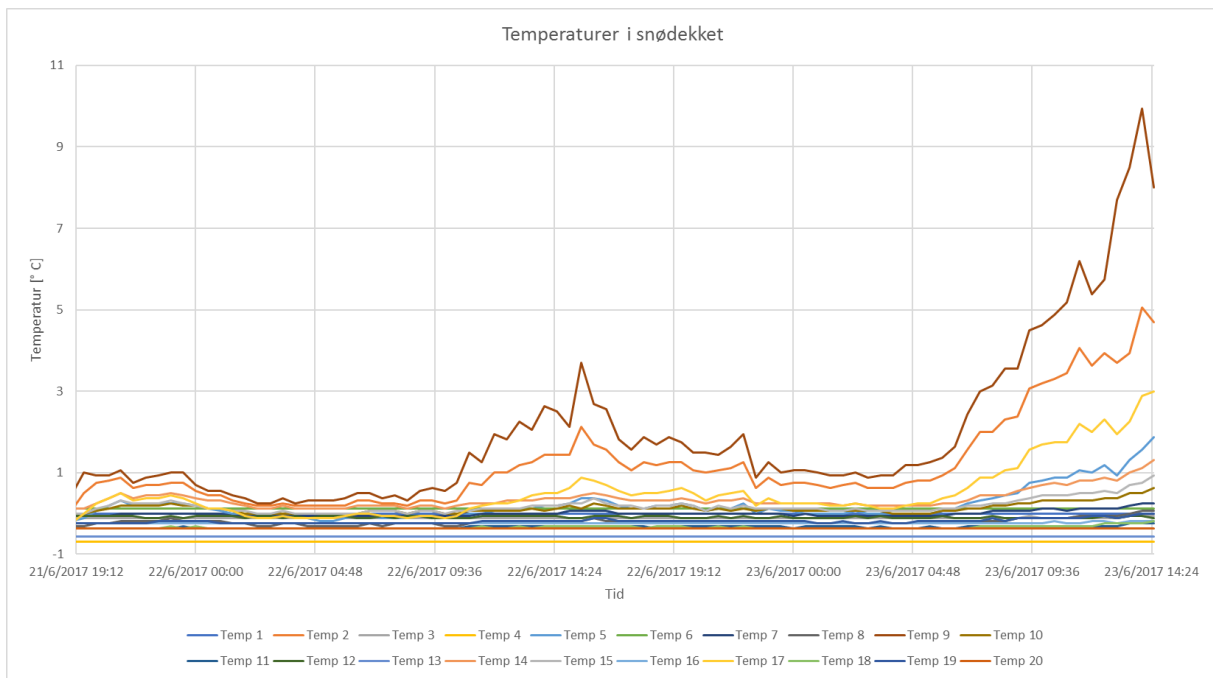


Figur 40: Observasjoner og målinger gjort i snøgrop på forsøksfeltet 14. juni 2017.

Figur 40 viser profil av et snødekke som også er 160 cm dypt. Profilen er tatt ved forsøksfeltet 14. juni 2017. De øverste 120 cm er dominert av snø med sammensmeltede avrundede korn i lik størrelse. Hardheten og densiteten varierer også lite i denne høyden og opptrer som et uniformt snølag. De øverste 30 cm er dog noe våtere. Under denne høyden ligger tre tydelige islag og mellom islagene er krystallene avrundede polykrystaller. Legg også merke til at temperatuene i snødekke, som er markert med røde prikker, er noe vanskelig å oppdage fordi hele snødekke ble målt til 0°C. Gjennomsnittlig densitet er beregnet etter verdiene i Figur 40 til å bli $\bar{\rho} = 565 \text{ kg m}^{-3}$. Det ble ikke observert snøglidning i området.

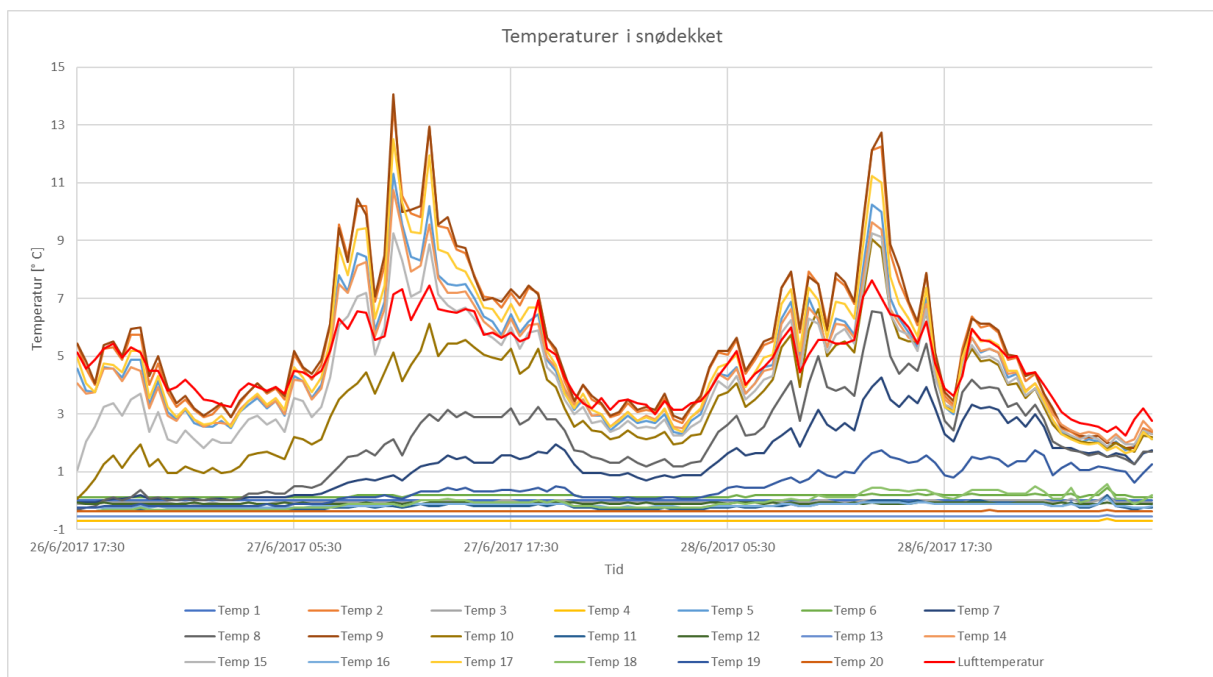
5.5 Temperatur i snødekke

Temperatuene i snødekke ble logget i perioder på nesten tre døgn. Perioden da snødybden sank under plasseringen av de øverste temperatursensorene er vist i Figur 41.



Figur 41: Temperaturer i snødekket logget mellom 21.6.7 og 23.6.17.

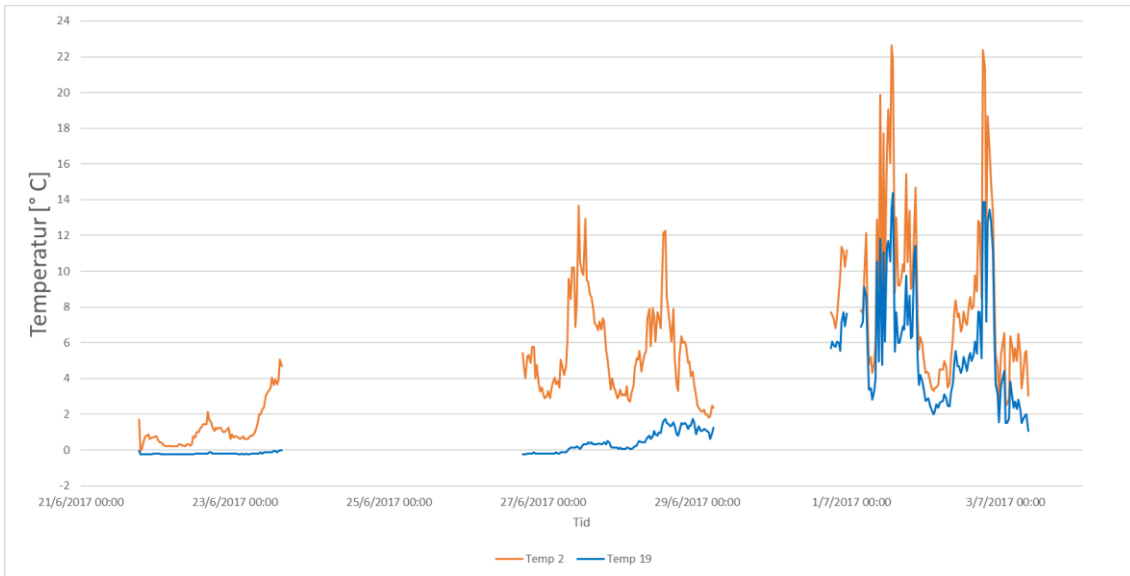
I begynnelsen av loggeperioden viser figuren temperaturer uniformt rundt 0° C, men ca. kl 12.00 den 22. juni øker temperaturen til de to sensorene som er montert høyest på sensorstaven med 1 - 2° C. Temperaturen målt med disse to sensorene toppes seg 4 timer senere før de synker noe utover kvelden, dog ligger de merkbart høyere enn temperaturlene målt med de resterende sensorene. Morgenen 23. juni øker disse igjen, og utover dagene begynner flere og flere sensorer å måle temperaturer godt over snødekkets isotermiske 0°-verdi.



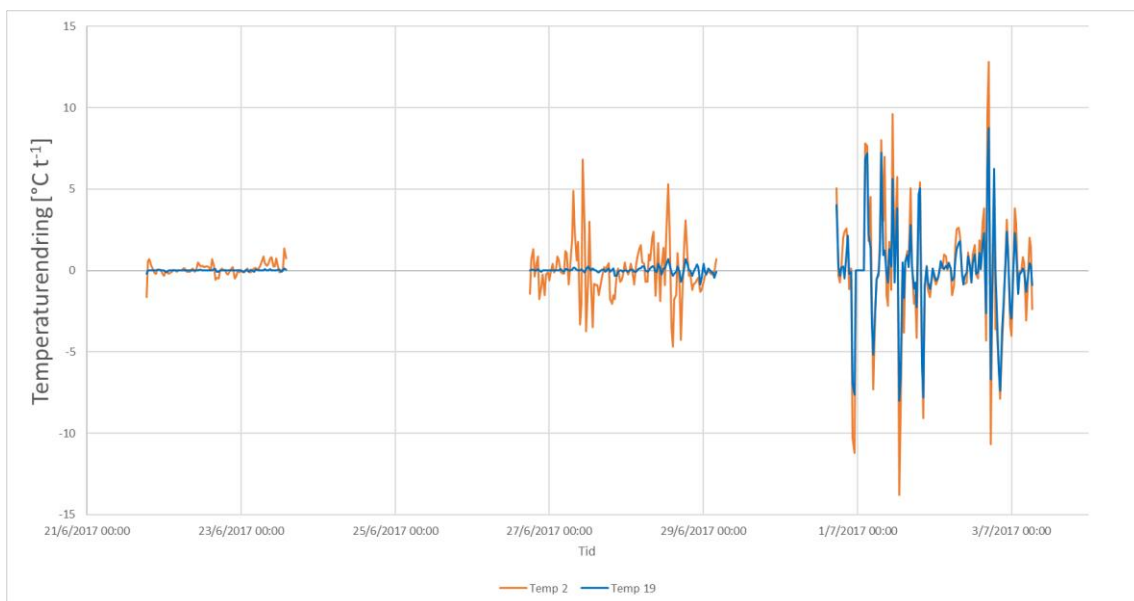
Figur 42: Temperaturer i snødekket og i luften, logget mellom 26.6.17 og 29.6.17

I Figur 42 er de målte temperaturene for den neste loggeperioden vist. Figuren viser den samme trenden som Figur 41; fortsatt mange temperatursensorer som måler rundt 0° C, samt økende antall temperatursensorer som måler temperaturer over denne verdien. Temperatursensor for lufttemperaturen (merket rødt) er nå tilkoblet og denne viser temperaturer som endres med tilnærmet ren sinus-form, med bølgelengde på et døgn, og verdier kontinuerlig over 0° C.

Figur 43 og Figur 44 viser temperaturen logget med to utvalgte temperatursensorer for å demonstrere forskjellen i logget verdi for sensor i og over snødekket. Sensoren merket som Temp 2 (orange kurve) er montert høyt på sensorstaven og sensoren merket Temp 19 (blå kurve) er montert lavt.



Figur 43: Viser loggede temperaturer for to utvalgte temperatursensorer, i tre loggeperioder. Hver periode er på omtrent to døgn.



Figur 44: Tosidig endelig differanse-analyse av loggede temperaturer for to utvalgte temperatursensorer, i tre loggeperioder.

Figur 44 viser en tosidig endelig differanse-analyse av loggede temperaturer for to utvalgte temperatursensorer, plottet som temperaturendring ($^{\circ}\text{C t}^{-1}$) langs Y-aksen, mot tiden (t) langs X-aksen.

5.6 Beregnet snøtrykk etter ulike standarder

I de følgende underkapitlene er resultatene fra ulike beregningsmetoder av snøtrykk presentert. Resultatet brukes for å sammenligne de ulike metodene og som kontroll for de målte verdiene av snøtrykk. Utgangspunktet for de ulike beregningene er derfor lik for alle de ulike metodene og verdiene er hentet fra forsøksområdet og ved forsøksveggen så langt det har latt seg gjøre.

Snøsiget er beregnet for en konstruksjon som følger dimensjonene og forholdene til forsøksveggen. Beregningsgrunnlaget er dermed en konstruksjon som er 1.5 m høy og 3 m bred, der kontaktflaten står vinkelrett på terrenget. Fra Figur 32 kommer det frem at terrenget er 6.7° . Selv om Figur 35 viser en maksimal snøhøyde ved forsøksveggen på 1.87 m, kommer det frem fra profilen i Figur 33 at snødekket brytes ved veggen, slik at det ikke blir randtillegg for snø på oversiden av veggen. Densiteten er beregnet etter Figur 40 og er på 565 kg m^{-3} .

5.6.1 Beregning etter SLFs "Defense structures in avalanche starting zones"

Fra metode omtalt i punkt 3.2.1 og beregningseksempel gitt av første del i punkt 5.6 beregnes:

- Snøtrykk mot uendelig lang forbygning, S'_N , fra formel (3.11)
- Skjærbelastning parallelt med forbygningen, S'_Q , etter formel (3.13)
- Randtillegget, S'_R , fordi konstruksjonen har en gitt lengde, fra formel (3.15)
- Gjennomsnittlig snøtrykk mot forsøksveggen, $\overline{R'_N}$, med utgangspunkt i S'_N , S'_R , Δl og forenklet distribusjonsmodell av snøtrykket (Figur 15)

Disse er beregnet uten korrigerende av N for tilpasning av snøklimate og med korreksjonsfaktor på 1.5 og 2.0, både for snøhøyde lik konstruksjonshøyden (resultat i Tabell 4) og for snøhøyde lik største opptredende snøhøyde etter punkt 5.1.3 (resultat i Tabell 5).

For alle beregningstilfellene opptrer S'_R etter forenklet distribusjon (Figur 15) med den samme lengden fra endekanten, $\Delta l = 0.50 \text{ m}$.

Tabell 4: Beregnede verdier etter metode omtalt i punkt 3.2.1 og med snøhøyde satt etter konstruksjonshøyde (forsøksvegg), for ulike korreksjonsfaktorer.

Korreksjonsfaktor	S'_N [kN m^{-1}]	S'_Q [kN m^{-1}]	S'_R [kN m^{-1}]	$\overline{R'_N}$ [kN m^{-1}]
1.0N	1.77	6.27	4.42	3.23
1.5N	2.65	6.27	8.61	5.50
2.0N	3.53	6.27	14.14	8.21

Tabell 5: Beregnede verdier etter metode omtalt i punkt 3.2.1 og med snøhøyde satt etter punkt 5.1.3, for ulike korreksjonsfaktorer.

Korreksjonsfaktor	S'_N [kN m^{-1}]	S'_Q [kN m^{-1}]	S'_R [kN m^{-1}]	$\overline{R'_N}$ [kN m^{-1}]
1.0N	2.75	9.75	6.87	5.02
1.5N	4.12	9.75	13.39	8.56
2.0N	5.50	9.75	21.98	12.77

For detaljer rundt utregningene utover dette vises det til vedlegg F.1-F.10.

5.6.2 Beregning etter Statens vegvesens Håndbok V138

Fra metode omtalt i punkt 3.2.2 og beregningseksempel gitt i første del av punkt 5.6 får vi følgende verdier:

Med høyde på sigende snødekke satt etter konstruksjonshøyden

- $\sigma_x = 3,45 \text{ kN m}^{-1}$ i konstruksjonens lengderetning
- $\sigma_{maks} = 5.18 \text{ kN m}^{-1}$
- $6.90 \text{ kN m}^{-1} < \sigma_R < 17.25 \text{ kN m}^{-1}$
- $\tau = 1.49 \text{ kN m}^{-1}$

For høyde på sigende snødekke satt etter største opptredende snøhøyde etter punkt 5.1.3

- $\sigma_x = 4.30 \text{ kN m}^{-1}$ i konstruksjonens lengderetning
- $\sigma_{maks} = 6.45 \text{ kN m}^{-1}$
- $8.60 \text{ kN m}^{-1} < \sigma_R < 21.51 \text{ kN m}^{-1}$
- $\tau = 1.49 \text{ kN m}^{-1}$

Gjennomsnittlig sigetrykket mot konstruksjon, σ_x , er beregnet etter formel (3.20). σ_{maks} og σ_R er beregnet i henhold til punkt 3.2.2. Skjærspenningen parallelt med forbygningen, τ , er beregnet etter formel (3.21). For detaljer rundt utregningene utover dette vises det til vedlegg F.11-F.12.

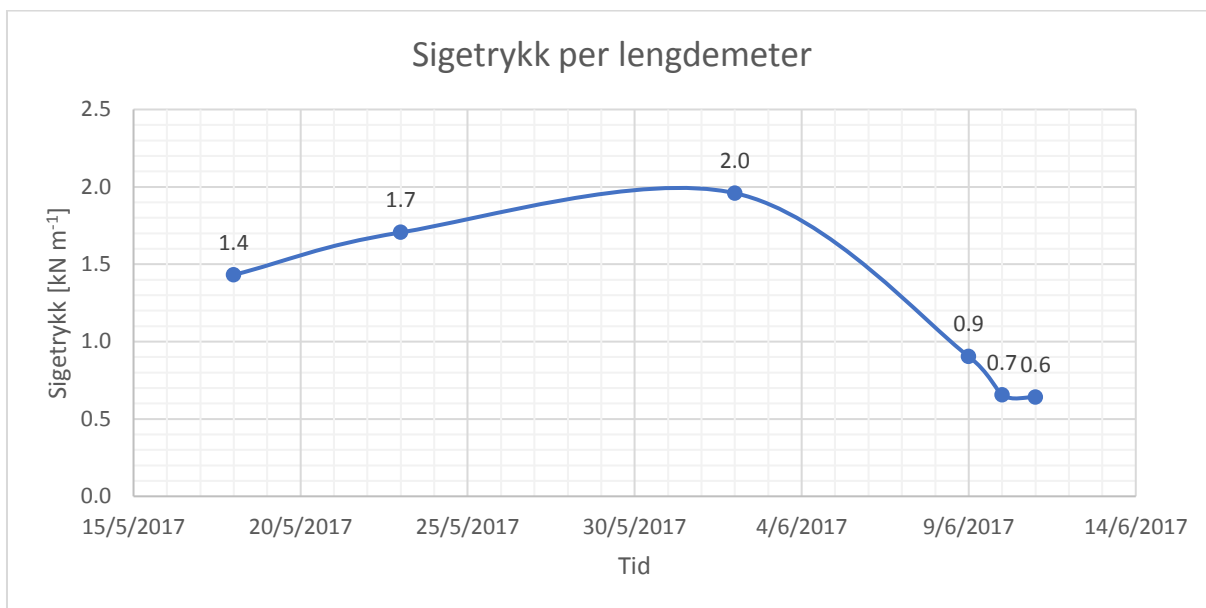
5.7 Målt snøtrykk

Målt snøtrykk mot forsøksveggen i prosjektområdet utenfor Longyearbyen er vist i Tabell 6.

Tabell 6: Snøtrykk mot forsøksvegg, målt med lastceller.

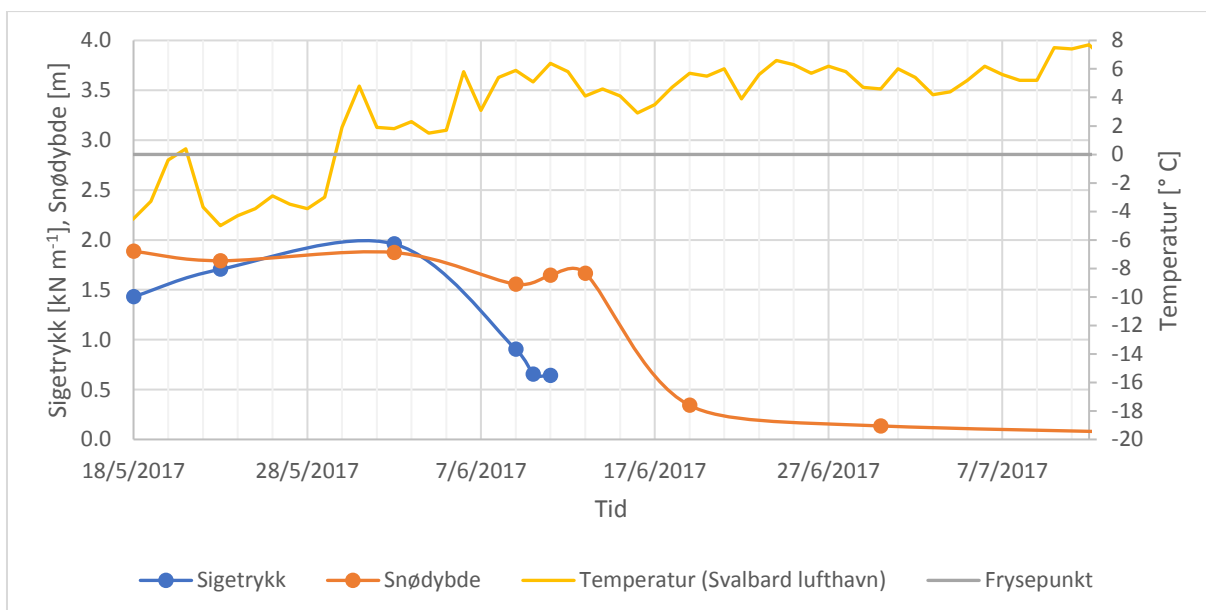
Dato	Flatetrykk [kN m^{-2}]	Snøtrykk per lengde [kN m^{-1}]
18.05.2017	0.95	1.43
23.05.2017	1.14	1.71
02.06.2017	1.31	1.96
09.06.2017	0.60	0.90
10.06.2017	0.44	0.66
11.06.2017	0.43	0.64

Disse verdiene er plottet grafisk med tilhørende tilnæringskurve i Figur 45, som indikerer at største opptredende sigetrykk gjennom måleperioden oppsto rundt 31. mai og var på ca. 2.0 kN m^{-1} .



Figur 45: Grafisk fremstilling av måledata omregnet til sigetrykk (punkter) med tilnæringskurve (stiplet linje) mot tid

5.8 Sammenheng mellom ulike data

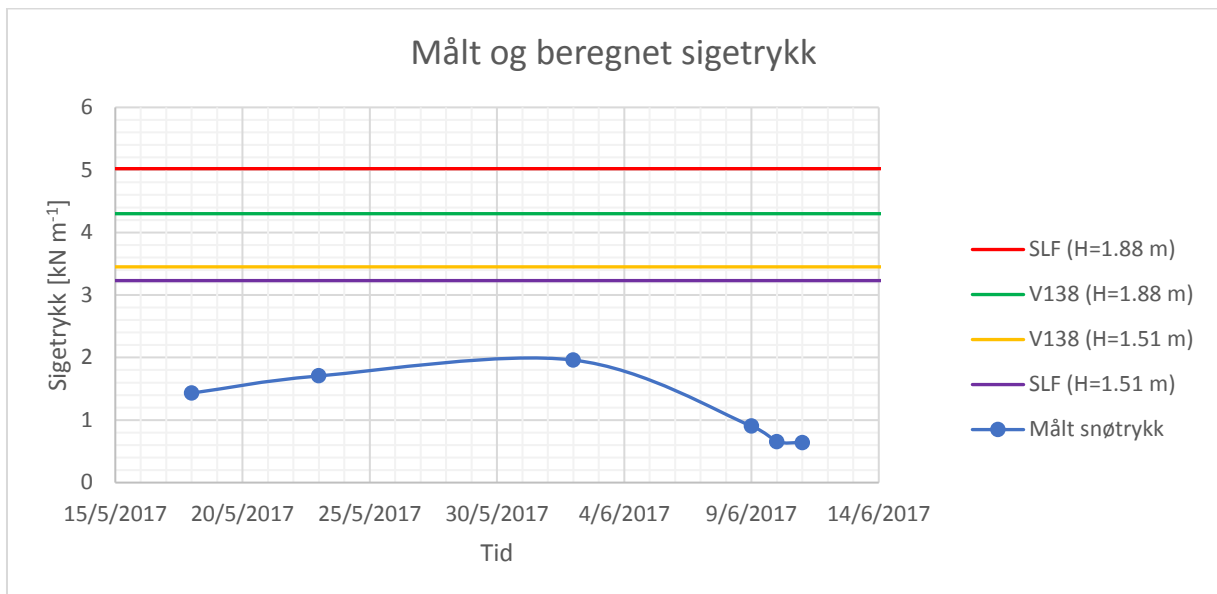


Figur 46: Sigetrykk (blå kurve), snødybde (orange kurve) og lufttemperatur (gul kurve) som funksjon av tid. Sigetrykket er målt med forsøksveggen. Snødybden gjelder for området på oversiden av forsøksveggen og er målt med TLS. Lufttemperaturene er hentet fra Yr, levert av Meteorologisk institutt og NRK, og er samlet inn ved værstasjonen på Svalbard lufthavn.

Figur 46 viser målt sigetrykk og snødybde som funksjon av tid. I tillegg er lufttemperaturen målt ved værstasjonen på Svalbard lufthavn plottet mot samme tidsakse som sigetrykket og snødybden. Sigetrykket er målt på forsøksveggen. Snødybden er målt med TLS og den plottede verdien er tatt fra det samme punktet på oversiden av forsøksveggen for alle loggetidspunktene. De plottede lufttemperaturene er et gjennomsnitt av temperaturene de siste 24 timene.

I perioden 18. mai til 31. mai 2017 øker sigetrykket fra 1.4 kN m^{-1} til 2.0 kN m^{-1} . I denne perioden synker snødybden fra 189 cm til 179 cm, før den igjen øker, og ender på 187 cm. Temperaturen øker med 9°C i perioden, fra -6°C til 3°C . Etter 31. mai synker sigetrykket fra 2.0 kN m^{-1} til 0.7 kN m^{-1} og i starten av denne perioden synker også snødybden til 156 cm, før den øker til 165 cm. Temperaturen fortsetter å stige i perioden, men kun med 1°C .

Det målte snøtrykket mot forsøksveggen er i Figur 47 vist med de beregnede verdiene for sigetrykket mot tilsvarende konstruksjon etter metodene angitt i punkt 3.2.1 og 3.2.2. De beregnede verdiene gjelder for tidspunktet der trykket opptrer som størst, og er trukket over hele måleperioden fordi dette tidspunktet ikke kan bestemmes på forhånd.



Figur 47: Målt snøtrykk (blå kurve) sammen med de beregnede verdiene for største, gjennomsnittlige sigetrykk, etter punkt 3.2.1 og 3.2.2.

6 Diskusjon

6.1 Resultat

6.1.1 Snø- og terrengundersøkelser

Kartlegging av terrenghelningen i forsøksområdet viste stor variasjon, fra nesten terrengflate områder ved veien og oppe på platået til bratte heng med helning over 50° (Figur 31). Terrenghelningen der forsøksveggen ble montert er etter Figur 32 på 6.7° , noe som var mindre enn anslått etter observasjoner med snø i terrenget. Helningen øker brått til 29.4° bare 12 meter fra veggen i horisontal retning, og det kan tenkes at snøtrykket mot veggen får bidrag fra økt snøtrykk i området med større helningsvinkel.

Fra Figur 33 kommer det frem at overflaten til snøen har jevnet ut store variasjoner i terrenget, og at terrenget under snøen er flatere i området 0-12 m foran forsøksveggen og brattere 12-30 m foran forsøksveggen, enn hva snøoverflatehelningen skulle tilsi. At snøen ligger plan og med samme helningsvinkel ved alle måletidspunktene uavhengig av terrengformen under viser også at snødybden ble redusert like mye over hele overflaten gjennom metamorfoseprosessen og snøsmeltingen. Dette gjør det nærliggende å tenke at snøsmeltingen skjedde fra toppen, uten bidrag fra varme fra bakken, noe som bekrefter at det er permafrosten i bakken.

I Figur 34 av største opptredende snødybder i terrenget, kommer det frem en tydelig grid-tendens. Dette skyldes trolig av bearbeidingsmetoden der to og to raster-modeller ble vurdert mot hverandre frem til snødybden i alle modellene var vurdert (Figur 30). Det anbefales å rådføre med en GIS-ekspert for å bekrefte om dette stemmer og for å finne en bedre egnet metode.

Snøhøyden i prosjektområdet, som vist i Figur 34, kan virke noe misledende isolert sett, da terrengets helning vil påvirke snøhøyden. For bratte helningsvinkler vil snøhøyden (målt vertikalt) bli stor, selv om snødybden (målt normalt på terreng) er liten. For å få en modell som faktisk representerer virkeligheten må terrenghelningen tas i betraktning. Den enkleste metoden er å bruke snødybden, normalt på terrenget, i stedet for snøhøyden vertikalt i snødekket.

Fra veien skjulte forsøksveggen en del av området bak veggen, slik at det ikke var mulig å skanne terrenget og snøen når snøhøyden var lavere enn veggen i det området. Det ble derfor tatt utgangspunkt i punkter scannet på hver side og på oversiden av forsøksveggen, for å estimere punktene i skyggeområdet.

Scanning med TLS ga mer korrekte resultat enn ved manuelle målinger med søkestang, på grunn av sterke islag som resulterte i måling av falsk bunn. Beregning av snødybde med TLS krever dog en god terrengmodell av snøfritt område.

6.1.2 Egnet plassering av forsøksvegg

Analysen viser at forsøksveggen ikke ble plassert på det som kan klassifiseres som et godt egnet sted, da plasseringen ikke tilfredstilte kravene som ble satt etter punkt 4.7.4. Dette kommer frem av Figur 36 og Figur 37. Forsøksveggen ble plassert i et område av prosjektområdet der terrenghelningen kun er 6.7° (fra Figur 32), noe som er for flatt i forhold til kravene som er satt, på $20-40^\circ$ helning. Som punkt 5.7 viser vil det fortsatt opptre snøsigkrefter mot konstruksjonen, men disse blir mindre enn ønsket. Analysen viste for øvrig at metoden er godt egnet til å kartlegge områder etter gitte kriterier og ga et godt grunnlag for valg av nye plasseringer av forsøksveggen til neste vinter.

Som Figur 37 viser kan det egnede området markeres i Norsk Polarinstitutt sitt web-baserte kartverktøy, etter beskrevet metode i vedlegg. Dette resulterer i et interaktivt kart der kartutsnittet kan justeres ved å zoome og/eller dra i kartet. Koordinatene til de plottede punktene vises som røde prikker og kan enkelt hentes frem og brukes sammen med håndholdt GPS, som referanse ved befaring/montering i felt. Smale områder er markert som enkle linjer der de egnede områdene strekker seg omtrent en meter til hver side og større områder er markert med linjer som avgrensner hele det egnede området.

6.1.3 Temperaturlogging av snøprofil

Fra Figur 41 og Figur 42 er det mulig å se at snøen undergår en smelte/fryse-metamorfoseprosess, da de laveste temperaturene holder seg rundt 0 grader. Kurvene som går over dette nivået er avlest av temperatursensorer som måler temperatur i friluft. Det er dermed mulig å beregne snødybden rundt sensorstaven ved å telle antall sensorer som fortsatt er i det isoterme snødekket og multiplisere dette med avstanden mellom sensorene, som her er 5 cm. På grunn av snøsmelting rundt staven er det allikevel noen verdier som avviker, da en del temperatursensorer står i luft, men i en grop nede i snødekket. Fordi denne metoden ikke vil fungere når lufttemperaturen er den samme som snødekkets temperatur ble det utført en tosidig endelig differanse-analyse av de loggede temperaturene, i et forsøk på å bestemme snødybden ut fra temperaturendringene i snødekket. Figur 43 og Figur 44 viser at den loggede temperaturen svinger mer i luft enn i snødekket. Hvis den største temperaturendringen som opptrer i snødekket alltid vil være mindre enn den minste temperaturendring som opptrer i luften kan et automatisk system, ved hjelp av en grenseverdi, enkelt detektere om sensoren står i luft eller snø, og videre beregne snødybden basert på posisjonen til sensoren. Det er allikevel tenkelig at temperaturendringen i luften periodevis kan være så liten at en fast grenseverdi ikke vil kunne skille amplitudene.

Tredje loggeperiode i Figur 44 viser store endringer for begge sensorene, men større endring målt med sensoren som er monterte høyest. Hvis dette skyldes at sensoren står lengre unna snødekket, bør dette bety at det er mulig å påvise at det ikke er snø rundt temperaturstaven når endringen i målt temperatur er lik for alle sensorene.

6.1.4 Beregnet snøtrykk

Fordi forsøksveggen står vinkelnormalt på terrenget og S'_Q er den dekomponerte kraften ned langs veggen, vil S'_Q ikke påvirke lastcellene. Dette betyr at det ikke er nødvendig å beregne R' i forhold til sammenligningen mot det målte snøtrykket. Lastcellene måler derimot det som kan betegnes som $\overline{R'_N}$ etter punkt 3.2.1.

Selv om de målte snødybdene på oversiden av forsøksveggen var høyere enn selve forsøksveggen, var snødekket brutt av veggen, og det er derfor grunn til å anta at oversiden på forsøksveggen ikke hadde bidrag av randkrefter. S'_R trengs derfor bare tas hensyn til på sidekantene og inn Δl mot senter av konstruksjonen.

For sammenligningsgrunnlag etter Statens vegvesens metode i Håndbok V138 er det σ_x som blir korrekt å bruke, fordi forsøksveggen står normalt på terrenget. Sammenligning av resultatene til de ulike metodene samt egne målinger

6.1.5 Måling av snøsig

Fordi en av de fire lastcellene måtte holdes igjen for testing ble den siste lastcellen montert etter at loggingen med de resterende tre lastcellene hadde startet. I stedet for lastcellen ble det satt inn en HUP som "dummy". På grunn av dette er det gjort en antagelse av at veggen ble belastet helt symmetrisk i forsøksveggens lengderetning. Dette vil i prinsippet bety at HUP'en blir belastet like

mye som lastcellen den speiler, slik at verdiene denne lastcellen måler kan brukes for hjørnet som mangler lastcelle. I praksis vil lastfordelingen tvilsomt være helt symmetrisk, med mindre forsøksveggen og terrenget går helt vannrett, sigeretningen er helt vinkelrett mot veggen og snøhøyden er helt lik langs forsøksveggenes lengderetning. På måleresultatene fra de nedre lastcellene kommer det frem at forsøksveggen ikke er belastet symmetrisk.

6.1.6 Sammenheng mellom forskjellig måledata

Fra Figur 46 kommer det frem at lufttemperaturen stiger samtidig som snøsiget øker og at største snøsig opptrer to dager etter at lufttemperaturen klatret over 0° C. Det kan antas at snødekket ble isotermt mellom 29. mai, som er da lufttemperaturen gikk over 0° C, og 6. juni som er første rapportering av vått (vannmettet) snødekke (se vedlegg for snørapport). Hvis omdannelsen skjedde tidlig i det mulige tidsrommet (perioden mellom 29. mai og 6. juni) opptrådte største sigetrykk ved isotermt snødekke, slik teorien skulle tilsi.

Som det kommer frem fra Figur 47 er største opptredende snøtrykk målt mot forsøksveggen gjennom forsøksperioden mellom 38% og 60% lavere enn de beregningene verdiene for snøsig mot tilsvarende konstruksjon, etter metode gitt av punkt 3.2.1. Beregningene etter 3.2.1 gir som kjent noe konservativt resultat, men de målte verdiene skal i utgangspunktet ikke ligge noe særlig lavere enn 20% under beregnet verdi. En mulig forklaring er at glidefaktoren, N, må justert med en faktor mindre enn 1 for å korrigere for snøklimaet på Svalbard, i motsetning til fastlands-Norge og Island der snøklimaet krever korrigeringsfaktor 1.5-2.0. Den målte densiteten, etter Figur 40, bekrefter derimot ikke dette. Det ble observert ekstra snøsmelting mot konstruksjonen og på oversiden av veggen, slik at det til tider oppsto luftrom mellom snøen og kontaktflaten. Dette er en mer sannsynlig forklaring, da det gir grunn for å tro at de målte verdiene for snøtrykk blir lavere enn det de egentlig er. For best mulig resultat bør snøtrykket mot forsøksveggen være i nærheten av kapasiteten til konstruksjonen og lastcellene, men den lave helningsvinkelen fører til at snøsiget blir lite.

6.2 Mulige feilkilder

6.2.1 Loggesystemet

HBM-loggeren og signalforsterkeren var svært strømkrevende og fungerte dårlig på batteridrift. I tillegg kræsjet loggeprogrammet som kjørte på loggeren ved flere anledninger. I et forsøk på å finne en løsning på strømproblemet og feilsøking ble en av de fire lastcellene holdt igjen på UNIS for videre testing sammen med loggeutstyret. Det ble testet ut script og AutoSequences, for å redusere samplings-raten, men uten støtte for dvale mellom loggingene førte ikke dette til noe redusert strømbruk.

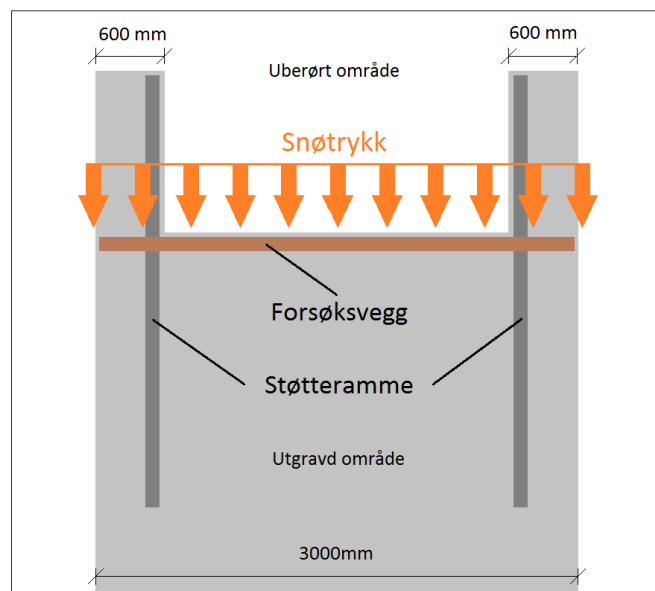
Som en mulig løsning på det strømkrevende loggesystemet ble det forsøkt å bruke et bensindrevet strømaggregat for å logge kontinuerlig. Dette aggregatet stoppet, på grunn av ukjent årsak, mellom hvert besøk på feltet og før det hadde gått tomt for drivstoff. Dette gjorde at loggeren mistet strøm og de målte verdiene ble tapt. Det ble derfor besluttet å ta målinger kun under feltarbeid, selv om dette resulterte i færre målinger enn ønsket, fordi dette var en sikrere metode for innsamling av data.

Det ble også forsøkt å bruke en Campbell CR800-logger som et alternativ til HMB-loggeren. Dette er en logger utviklet og produsert av Campbell Scientific spesifikt for å være en enkel, selvstendig datalogger for værharde og avsidesliggende strøk. Loggerne fra Campbell har en rekke fordeler, blant annet at de kan tilpasses mange ulike oppgaver og at de har svært lavt strømforbruk fordi de kan gå i

stand by mellom loggingene, og egner seg dermed godt til batteridrift. I tillegg brukes loggerne flere steder på Svalbard allerede, blant annet som værstasjoner, noe som viser at de takler Svalbard-klimaet. Da CR800 ikke har nok data- og exciteringsporter til fire fullbro lastceller, ble to AM416 multiplexere koblet opp, som resulterte i 16 kanaler med nok porter til å støtte en fullbro lastcelle med kompensering på eksitering på hver kanal. Denne løsningen er relativt avansert å programmere og arbeidet ble raskt svært tidkrevende. Det ble derfor bestemt å ikke bruke denne loggeren, selv om det allerede var lagt ned svært mange timer i arbeidet med å bygge opp loggeskapet og i forsøket på å programmere loggeren.

6.2.2 Kunstig påvirkning av snø

Snøen i forsøksområdet ble påvirket ved at det ble benyttet gravemaskin til mye av utgravingen. Den var aldri høyere opp i fjellskrånningen enn veggens plassering, men utgravingen var litt grovere enn ønskelig. Det resulterte i at mye drivsnø fylte opp rundt veggen i stedet for upåvirket snø. Drivsnøen har en densitet, lagfordeling og kornform som ikke er kjent og ikke er lik den upåvirkede snøen i området.



Figur 48: Forsøksveggen sett ovenfra med hvitt felt som markerer upåvirket snø og grått felt som markerer utgravd område som senere ble fylt med drivsnø.

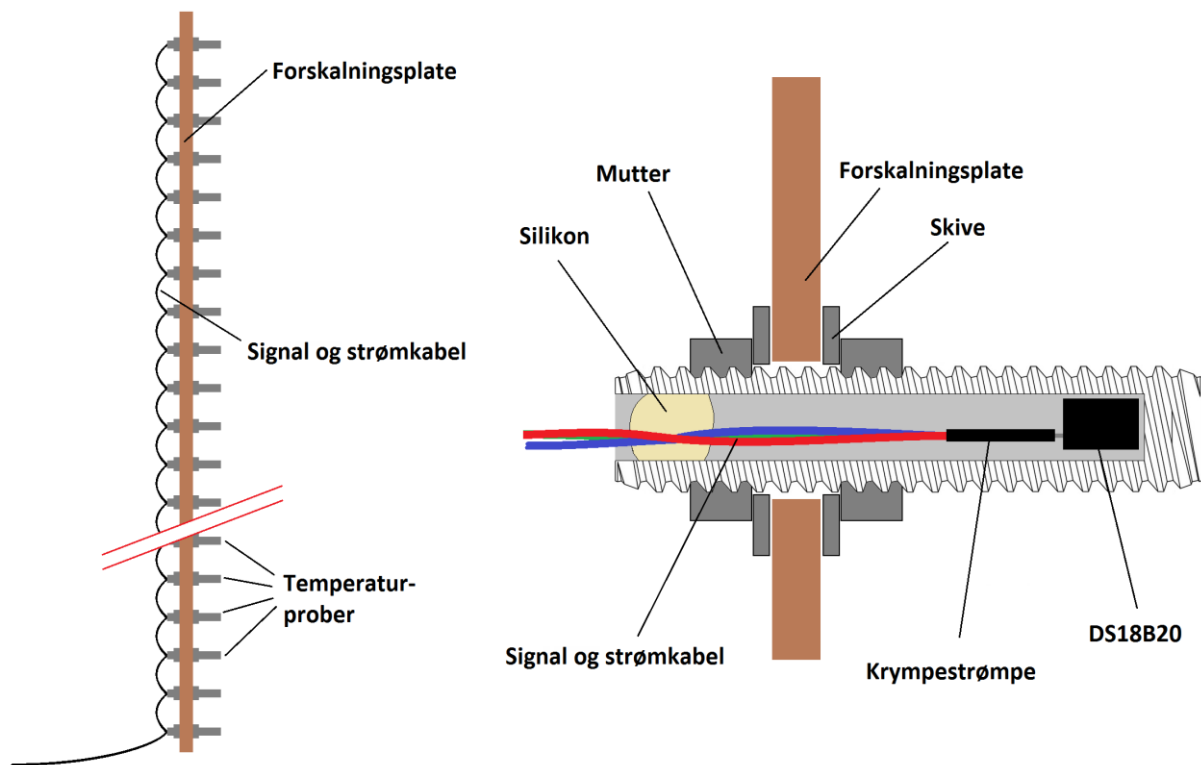
I Figur 48 av forsøksveggen sett ovenfra, er det utgravde området markert hvitt og det relativt upåvirkede snødekket markert grått. I endene av forsøksveggen ble det åpne områder etter montering, som relativt raskt ble fylt igjen med drivsnø. Selv om det berørte arealet på veggen er relativt lite er det store randbelastninger som gir tillegg der, og en feil i form av «kunstig» snø med ulik densitet vil kunne påvirke måleresultatet betydelig. Det er vanskelig å si om dette vil gi høyere eller lavere målt belastning, da densiteten på snøen er ukjent.

6.2.3 Jordsig

Det ble ikke kontrollert for sig i det aktive laget der konstruksjonen er fundamentert. Dette burde vært gjort da jordsig kan føre til at konstruksjonen beveger seg i samme retning som snøsiget og resultere i redusert trykk mot konstruksjonen. Med en totalstasjon vil det være mulig å kontrollere posisjonen til konstruksjonen før og etter vinteren, slik at eventuelle forflytninger blir oppdaget.

6.2.4 Smelting rundt konstruksjonen og mot veggen

Det ble observert snøsmelting rundt forsøksveggen og temperaturmåleren. Dette er mest sannsynlig forårsaket av at forskalingsplatene som er brukt i forsøksveggen har lav albedo fordi de er mørkebrune og fordi aluminiumsrammene leder varme fra de sol- og lufteeksponerte konstruksjonsdelene godt. I et forsøk på å forbedre situasjonen ble konstruksjonen dekket til med hvit plast. Dette reduserte snøsmeltingen vesentlig, men det ble fortsatt observert noe smelting.



Figur 49: Prinsippkisse av forbedret system for logging av temperaturer i snødekket. Temperaturprober laget av gjengestål (til høyre) er montert vertikalt nedover forsøksveggen, forskalingsplaten.

6.3 Videre arbeid

Under følger en oppsummering av poengene i denne oppgaven som har betydning for videre logging. Oppsummeringen kan brukes som en huskeliste og utgangspunkt for planlegging ved videreføring av prosjektet.

Før snøen legger seg bør følgende utføres:

- Programmering av Campbell-logger for logging av 8 fullbro lastceller (6-leder), for å støtte måling og logging av snøsig mot to forsøksvegger med 4 lastceller hver, samt batteridrift
- Montering av forsøksveggene i egnet område etter punkt 5.2 og 6.1.2
- Montering av sensorrekke for logging av temperaturene i snødekket
- Utføre tiltak mot snøsmelting rundt konstruksjonene etter punkt 6.2.4
- Måle referanseposisjoner for forsøksveggene med totalstasjon (ref. punkt 6.2.3)
- Scanning av terreng med TLS

Når snøen har lagt seg

- Igangsetting av loggesekvenser for snøtrykk og temperatur
- Systematisk logging gjennom snøsesongen av snøprofil med densitet- og skjærkraft-målinger
- Systematisk scanning av området med TLS gjennom snøsesongen

Når snøen er borte

- Sjekk posisjonene til forsøksveggene opp mot referanseposisjonene
- Demonter forsøksveggene hvis dette er nødvendig. Bevar bunnprofilen hvis veggen skal opp på samme sted neste vinter.

7 Konklusjon

Utprøving av målesystemet viser at systemet kan måle snøsig som opptrer i forsøksområdet, men at måleresultatene avviker fra de forventede verdiene, beregnet etter anerkjente metoder, med opptil 60%. For å forbedre systemet må forsøksveggen plasseres i brattere terreng for å øke snøsiget mot konstruksjonen og konstruksjonen må gjøres mindre utsatt for oppvarming fra solinnstråling, for eksempel ved å males hvit og/eller påmonteres hvit duk. Det anbefales å montere opp målestasjonene på angitte plasser etter punkt 5.2. I tillegg bør det legges til rette for automatisk avlesing og logging av snøsiget som opptrer.

Bruk av TLS med etterarbeid i ArcGIS fungerte meget godt både for å kartlegge terrenget, analysere området og logge snødybder, og kan brukes både til å vurdere nye aktuelle forsøksområder og til datainnsamling under forskningsprosjekt. Temperaturloggeren kan benyttes til å bestemme snødybden og beskrive temperaturen i hele snødekket gjennom snøsesongen, men må videreutvikles, da den også er utsatt for ekstra snøsmelting. I tillegg bør loggefrequensen på temperaturmålingene reduseres og loggeren tilkobles et større batteri for å tillate lengre måleserier.

8 Litteraturliste

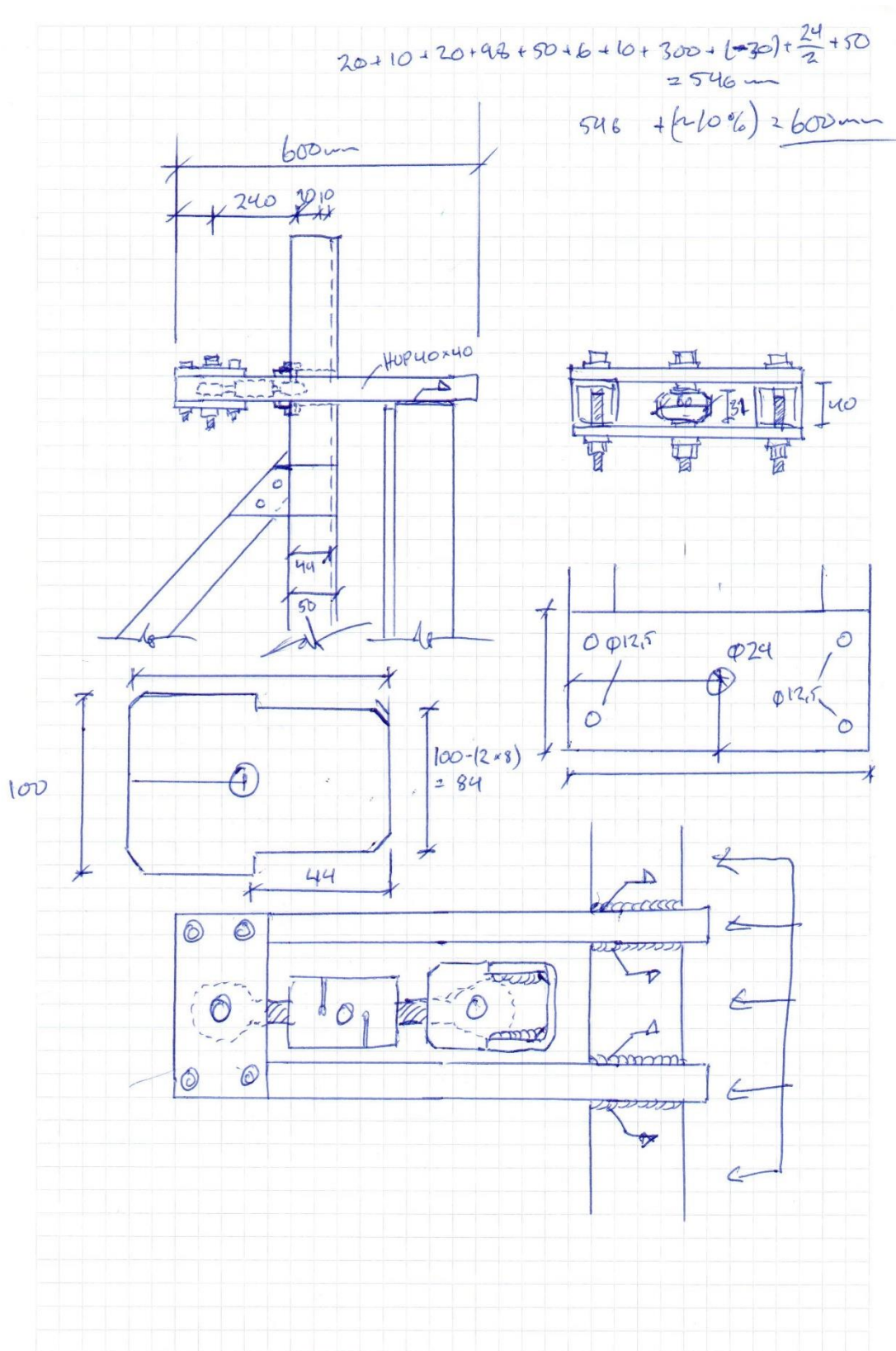
- Amundsen, B. (2012). Vestaværet varmer landet - Norges forskningsråd. Retrieved September 29, 2017, from https://www.forskningsradet.no/no/Nyheter/Vestaværet_varmer_landet/1253979114293/p1174467583739
- Andersland, O. B., & Ladanyi, B. (2004). *Frozen Ground Engineering*. John Wiley & Sons, Inc.
- Arenson, L. U., Colgan, W., & Marshall, H. P. (2014). Physical, Thermal and Mechanical Properties of Snow Ice, and Permafrost. In *Snow and Ice-Related Hazards, Risks, and Disasters* (pp. 35–75). Elsevier Science Publishing Co Inc.
- Bolstad, E., & Barr, S. (2017). Sukkertoppen – Svalbard – Store norske leksikon. Retrieved November 4, 2017, from https://snl.no/Sukkertoppen_-_Svalbard
- Calonne, N., Flin, F., Morin, S., Lesaffre, B., Du Roscoat, S. R., & Geindreau, C. (2011). Numerical and experimental investigations of the effective thermal conductivity of snow. *Geophysical Research Letters*, *38*(23), 1–21. <https://doi.org/10.1029/2011GL049234>
- Chugach National Forest Avalanche Information Center. (2010). Turnagain Advisory - Friday, 11/26/2010 - Chugach National Forest Avalanche Information Center. Retrieved October 18, 2017, from <http://www.cnfaic.org/advisories/current.php?id=646>
- Dannevig, P. (2014). Klima på Svalbard – Store norske leksikon. Retrieved October 1, 2017, from https://snl.no/Klima_på_Svalbard
- Eckerstorfer, M. (2012). Snow avalanches in central Svalbard : A field study of meteorological and topographical triggering factors and geomorphological significance. *Ph.D. Thesis*, 126. Retrieved from <https://www.duo.uio.no/handle/10852/34832>
- Eckerstorfer, M., & Christiansen, H. H. (2011a). The “High Arctic Maritime Snow Climate” in Central Svalbard. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, *43*(1), 11–21. <https://doi.org/10.1657/1938-4246-43.1.11>
- Eckerstorfer, M., & Christiansen, H. H. (2011b). Topographical and meteorological control on snow avalanching in the Longyearbyen area, central Svalbard 2006-2009. *Geomorphology*, *134*(3–4), 186–196. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.07.001>
- Fierz, C., Armstrong, R. L., Durand, Y., Etchevers, P., Greene, E., McClung, D. M., ... Sokratov, S. a. (2009). The international classification for seasonal snow on the ground - UNESCO/IHP. *IHP-VII Technical Documents in Hydrology*, *83*(1), 90. <https://doi.org/http://www.cosis.net/abstracts/EGU05/09775/EGU05-J-09775.pdf>
- Forskningsrådet. (2009). Flere skred i fremtidens klima. *Fakta Fra NORKLIMA*, 1–2009.
- Furuset, A. (2006). *Skredulykker i Norge* (1st ed.). Tun Forlag.
- Greene, E., Birkeland, K. W., Elder, K., Mccammon, I., Staples, M., & Sharaf, D. (2016). *Snow, Weather and Avalanches: Observation Guidelines for Avalanche Programs in the United States (SWAG)*. American Avalanche Association. Retrieved from <http://www.americanavalancheassociation.org/swag/>
- Hannus, M., Pihlainen, M., & Larsen, J. O. (2017). *Skredfarekartlegging Svalbard*.
- Hoffmann, K. (1989). *An Introduction to Measurements using Strain Gages*. Darmstadt: Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH.

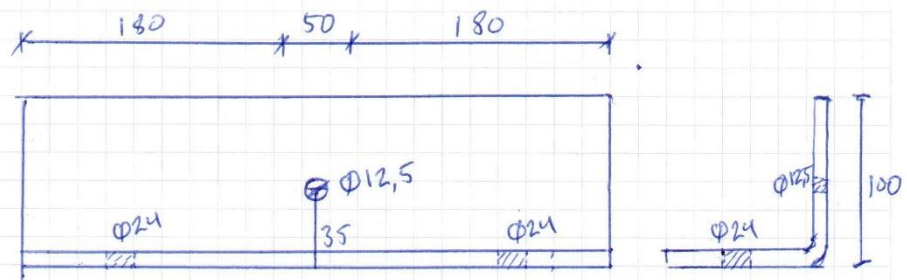
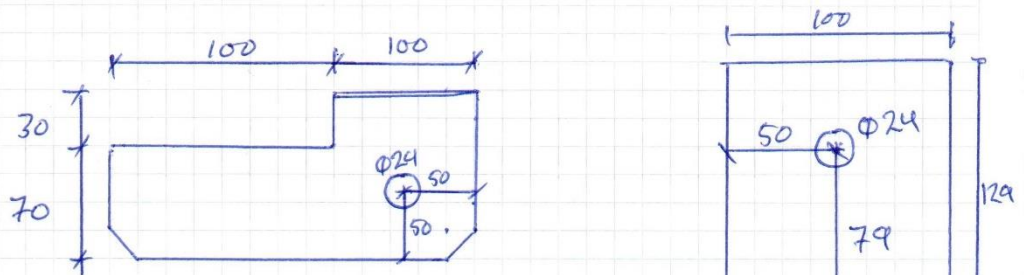
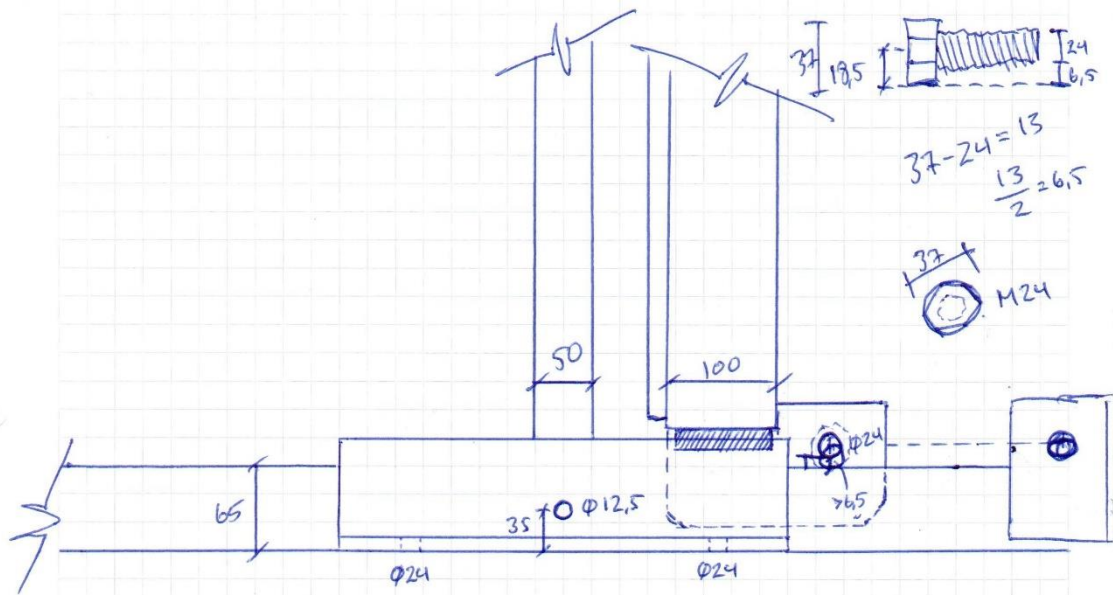
- Jaedicke, C. (2014). Snøskred – Store norske leksikon. Retrieved November 4, 2017, from <https://snl.no/snøskred>
- Johannesson, T., & Margreth, S. (1999). Adaption of the Swiss Guidelines for supporting structures for Icelandic conditions. *Ve6urstofa Islands Report, VI-G99013-*, 15.
- Jullum, R. (2005). Erfaring med fundamentering i permafrost. *Frost / Jord*. Statens vegvesen.
- Larsen, J. O. (2000). Design criteria for avalanche supporting structures exposed to snow creep forces in maritime climate, 109–113.
- Larsen, J. O. (2015a). Byggforsklad 311.125: Snøskred - Skredfare og sikring.
- Larsen, J. O. (2015b). Byggforsklad 311.126: Sørpeskred - Skredfare og sikring.
- Larsen, J. O. (2016). Skredsikring og fundamentering i permafrost, 2016–12, 1–61.
- Larsen, J. O. (2017). Gjesteforelesning, UNIS, AT-329. UNIS, Longyearbyen.
- Libbrecht, K. G., & Rickerby, M. E. (2013). Measurements of surface attachment kinetics for faceted ice crystal growth. *Journal of Crystal Growth*, 377, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2013.04.037>
- Margreth, S. (2007). Defense structures in avalanche starting zones - Technical guideline as an aid to enforcement. Environment in Practice no. 0704., 134.
- Margreth, S. (2017). Personlig kommunikasjon angående deformasjoner og laster i snødekker.
- McEvoy, A., Markvart, T., & Castaner, L. (2012). Practical Handbook of Photovoltaics. *Practical Handbook of Photovoltaics*. <https://doi.org/10.1016/C2011-0-05723-X>
- Meteorologisk institutt. (2009). Frysekjerner – Meteorologileksikon. Retrieved September 10, 2017, from <https://metlex.met.no/wiki/Frysekjerner>
- Mila, M. (2011). Kaos varmer Norge. *Fakta Fra NORKLIMA, 9–2011*. Retrieved from <https://www.forskningsradet.no/servlet/Satellite?c=Nyhet&pagename=norklima%2FHovedside%2Fmal&cid=1253969401673>
- MOSJ. (2017). Lufttemperatur og nedbør - MOSJ – Miljøovervåking Svalbard og Jan Mayen. Retrieved October 8, 2017, from <http://www.mosj.no/no/klima/atmosfare/temperatur-nedbor.html>
- Nakaya, U. (1954). *Snow Crystals: Natural and Artificial*. Cambridge: Harvard University Press.
- National avalanche center. (2017). Avalanche Encyclopedia - Settlement. Retrieved November 20, 2017, from <https://avalanche.org/avalanche-encyclopedia/settlement/>
- NGI. (n.d.). Nasjonal skreddatabase - Orientering om snøskred, 1–13.
- NGI. (2014). *Skred skredfare og sikringstiltak*. Universitetsforlaget.
- Norem, H. (2014). *Håndbok V138 - Veger og snøskred*. Statens vegvesen. Retrieved from www.vegvesen.no
- NVE, & Forsvaret. (2011). *Felthåndbok for snø- og skredobservasjoner*. Oslo: Norges Vassdrags- og Energidirektorat.
- Ólafsson, H., & Haraldsdóttir, S. (2003). Diurnal, seasonal, and geographical variability of air temperature limits of snow and rain. ... (*ICAM 2003*), May 19-23, 2003, ..., 473–476. Retrieved from <http://www.map.meteoswiss.ch/icam2003/741.pdf>
- Prokop, A. (2008). Assessing the applicability of terrestrial laser scanning for spatial snow depth

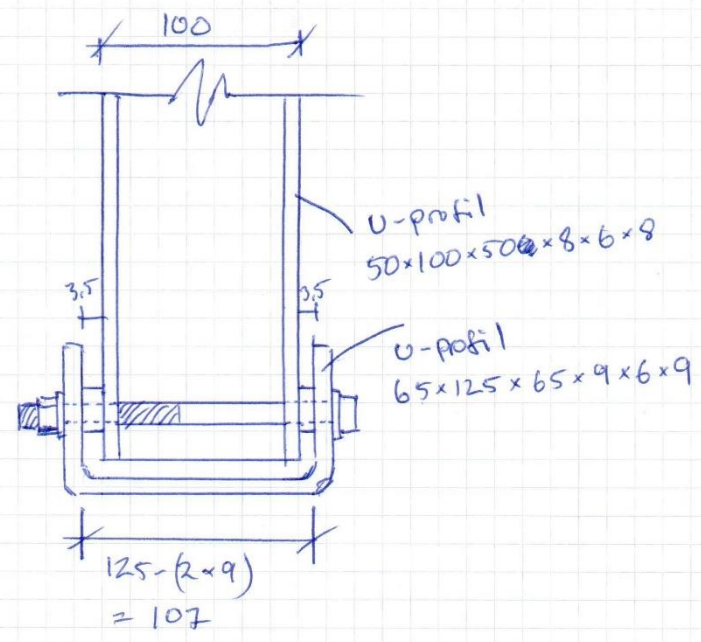
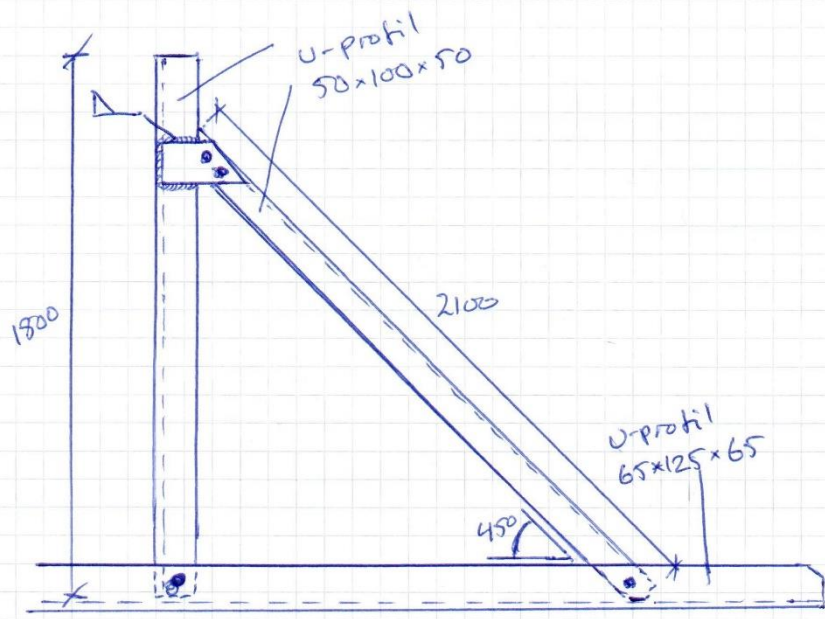
- measurements. *Cold Regions Science and Technology*, 54(3), 155–163.
<https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2008.07.002>
- Prokop, A. (2017). Personlig kommunikasjon angående sikringstiltak og byggetradisjon i Alpene. UNIS, Longyearbyen.
- Riche, F., & Schneebeli, M. (2010). Microstructural change around a needle probe to measure thermal conductivity of snow. *Journal of Glaciology*, 56(199), 871–876.
- Rudolf-Miklau, F., Sauermoser, S., & Mears, A. I. (2014). *The Technical Avalanche Protection Handbook*. Ernst & Sohn.
- Schaerer, P., & McClung, D. (2006). *The Avalanche Handbook* (3rd Editio). Seattle: The Mountaineers Books.
- Sissenwine, N., Dubin, M., & Wexler, H. (1962). The U. S. Standard Atmosphere. *Journal of Geophysical Research*, 67(9), 3627–3630.
- SSB. (2015). Befolkningen på Svalbard - SSB. Retrieved November 10, 2017, from <https://www.ssb.no/befolkning/statistikker/befsvallbard/halvaar/2015-09-24>
- SSB. (2017). Befolkningen på Svalbard - SSB. Retrieved November 10, 2017, from <https://www.ssb.no/befolkning/statistikker/befsvallbard>
- Sysselemanden på Svalbard. (2012). Klima og lysforhold på Svalbard. Retrieved September 10, 2017, from <https://www.sysselemanden.no/Toppmeny/Om-Svalbard/Klima-og-lysforhold/>
- Tabler, R. D. (2003). Controlling blowing and drifting snow with snow fences and road design, NCHRP Project 20-7(147). *National Cooperative Highway Research Program Transportation Research Board of the National Academies*, (August), 346.
- Teufelsbauer, H. (2011). A two-dimensional snow creep model for alpine terrain. *Natural Hazards*, 56(2), 481–497. <https://doi.org/10.1007/s11069-010-9515-8>
- Varsom.no. (2017). Snøskredulykker- og hendelser - Varsom. Retrieved September 10, 2017, from <http://www.varsom.no/ulykker/snoskredulykker-og-hendelser/>
- Voiland, A. (2010). Aerosols: Tiny Particles, Big Impact : Feature Articles. Retrieved September 10, 2017, from <https://earthobservatory.nasa.gov/Features/Aerosols/>
- Wikipedia. (2017). Stratosphere - Wikipedia. Retrieved October 20, 2017, from <https://en.wikipedia.org/wiki/Stratosphere>

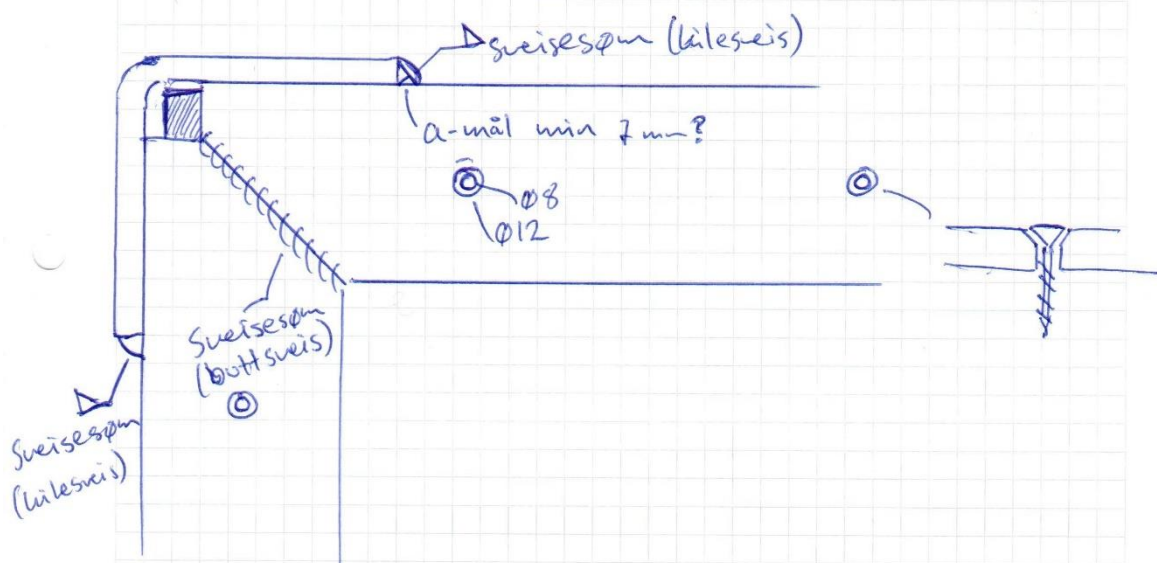
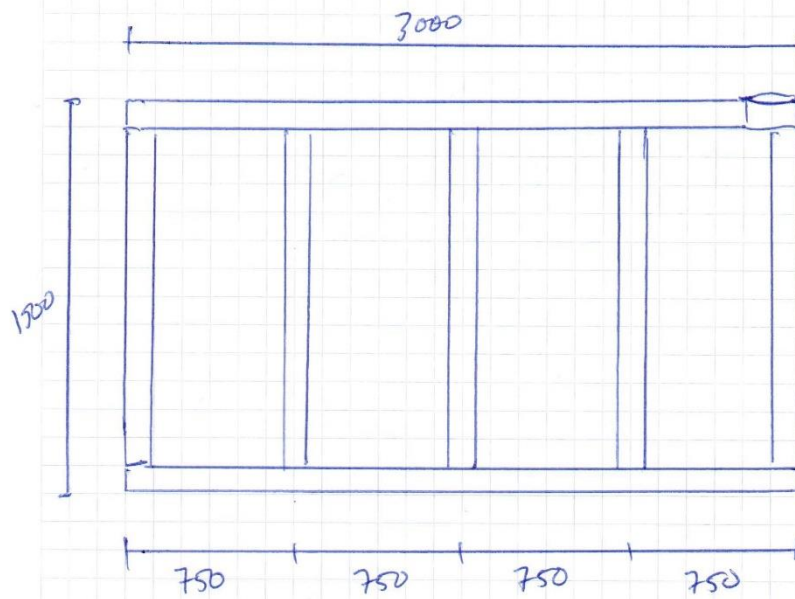
A Vedlegg

A.1

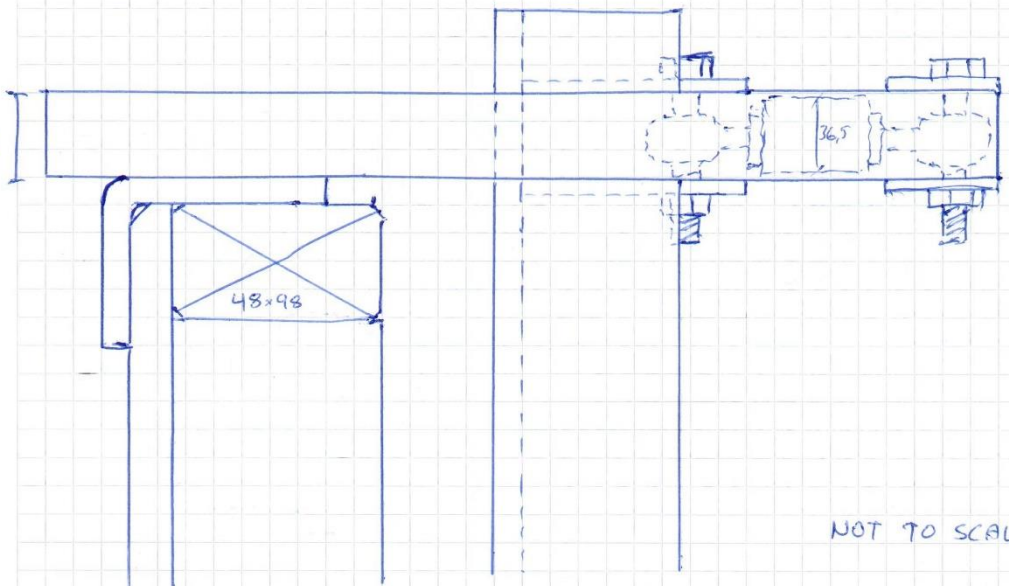




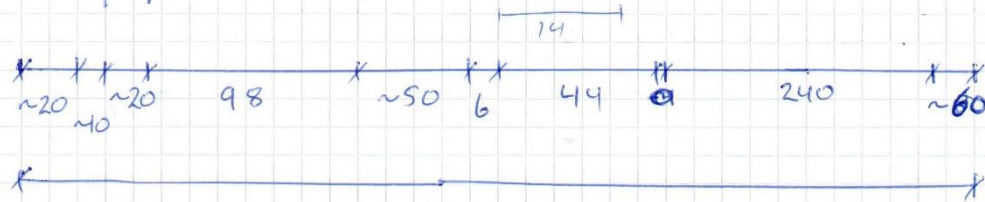




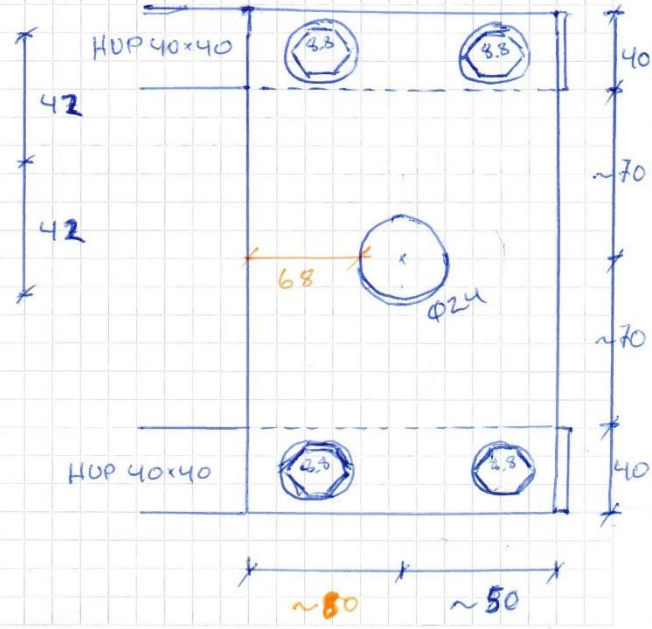
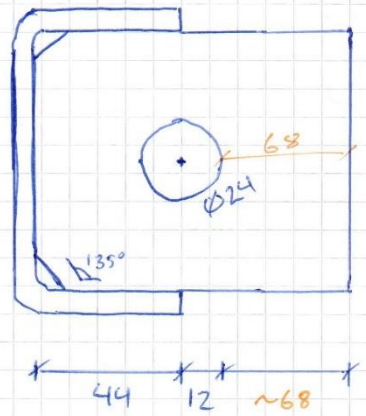
40x40
HUP



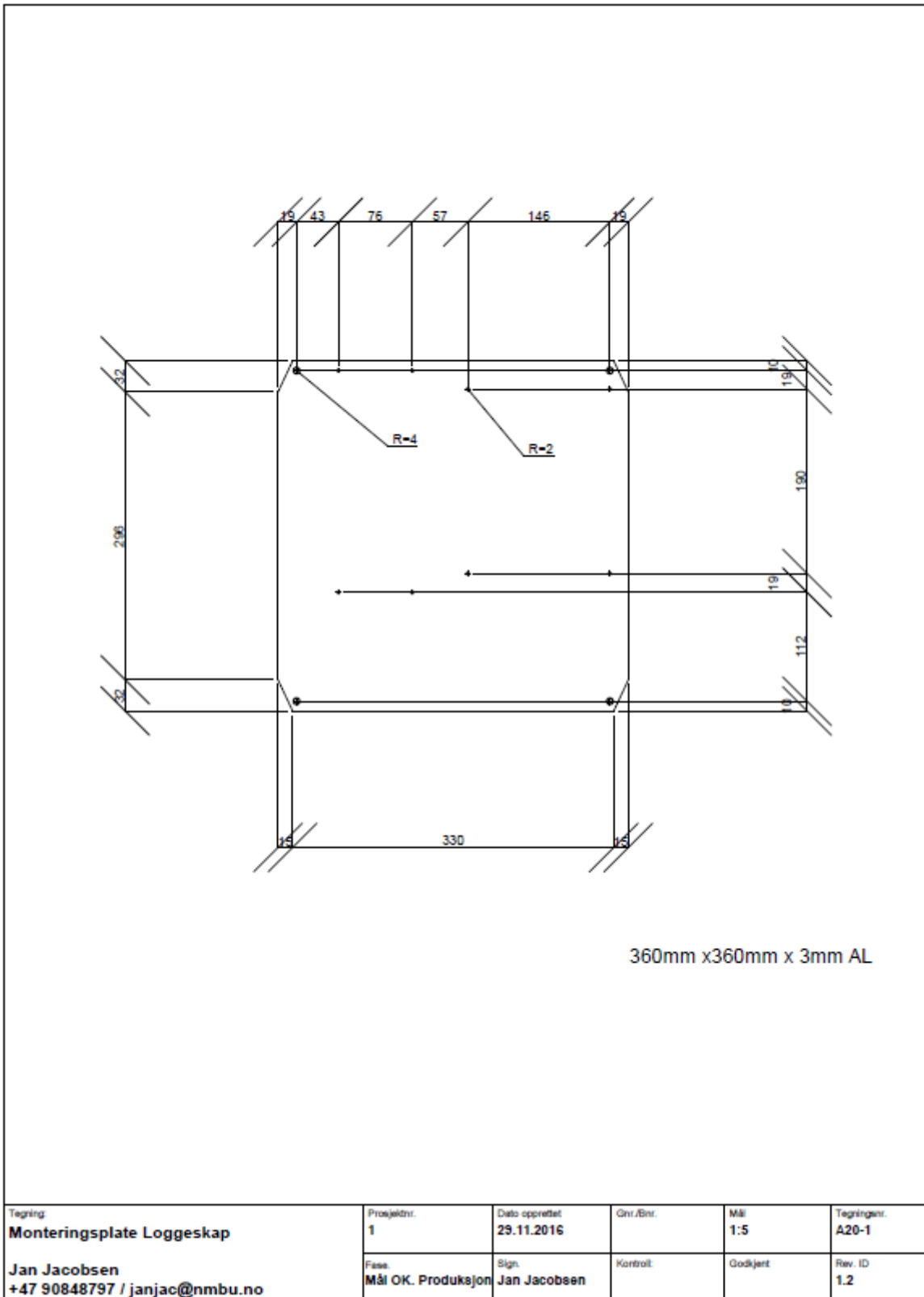
NOT TO SCALE



548mm
~600mm



A.2



B.1 Fra punktsky-koordinater til TIN-modell i ArcMap

1. I ArcMap, aktiver 3D Analysis-verktøyet ved å gå til Customize > Extensions. Merk 3D Analysis og trykk close.
2. I ArcMap under «Catalog», finn .txt-filene med XYZ-kolonner. Legg til «Connection» og finn mappen filene ligger i ved behov.
3. Høyreklikk på filene, velg Create Feature Class > From XY table
4. I dialogvinduet som åpnes, velg Input korresponderende til txt-filene. For eksempel:

Input X -> Field 1

Input Y -> Field 2

Input Z -> Field 3

Velg Coordinat system XY etter gjeldende koordinat-system (f.eks. UTM WGS84 sone X33).

Velg Coordinat system Z: Vertical Coordinat system > Europe > NN2000 (height).

Velg shapefile (.shp) som output og bruk navn som kan identifiseres til scanningen (f.eks. dato).

5. I «Catalog», finn de nye shapefilene og dra de over til «Table of Contents» for å legge dem til.
6. Under «Search», søk etter «Create TIN» og velg «Create a Triangular Irregular Network».
7. Velg et identifiserbart navn (f.eks dato på scan) under «Output TIN». Velg samme koordinatsystem som tidligere (usikker på om dette er nødvendig). Legg til en shape-fil og trykk OK.

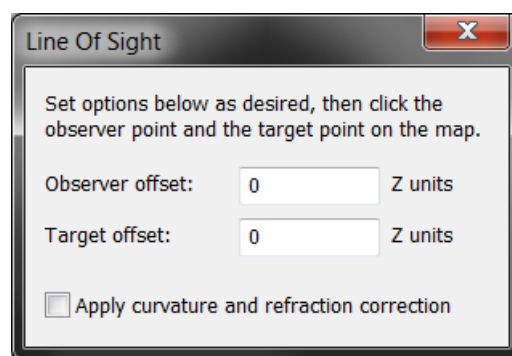
Repetere punkt 7 for alle shapefilene.

B.2 Metode for å hente høydeprofil i ArcGIS for redigering i MS Excel

1. I ArcMap, aktiver 3D Analysis-verktøyet ved å gå til Customize > Extensions. Merk 3D Analysis og trykk close. På verktøylinjen, høyreklikk og merk 3D Analysis, for å få frem verktøyet.
2. Finn ønsket TIN i Table of Contents og sørg for at den er synlig. Velg samme TIN i menyen til 3D Analysis og trykk på «Line of Sight»-symbolet



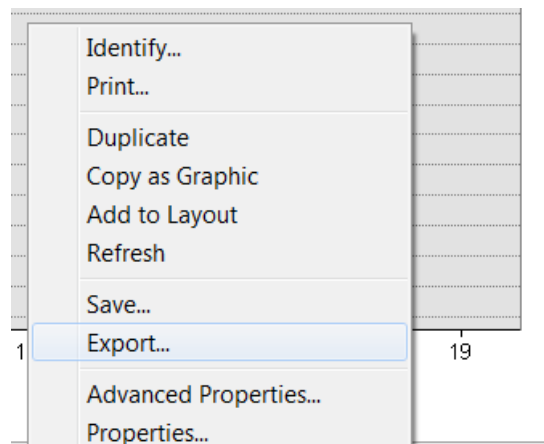
3. I dialogboksen, sett observer og target offset til 0.



4. I nedre høyre hjørne indikeres til enhver tid posisjonen til musepekeren. Finn posisjonene du ønsker å lage en høydeprofil mellom. Trykk og hold musetasten inne på startposisjonen og slipp på sluttposisjonen. Linjen som kommer frem viser hva som er synlig og ikke synlig.
5. I verktøylinjen til 3D Analysis, trykk Profile Graph



6. Et nytt vindu vil åpne seg med grafisk fremstilling av høydeprofilen. Strekk vinduet ut og sjekk om det ligner forventet/ønsket resultat. Høyreklikk på grafen og velg «Export...».



7. I «Export Dialog»-vinduet kan du lagre grafen i f.eks. PDF- eller PNG-format, hvis du ønsker å enkelt kunne kontrollere grafen du senere lager i Excel.

Gå så til «Data» og velg «Text».

Picture Native Data

Series:
(all)

Format:

Text

XML

HTML Table

Excel

Preview

Gå til Options og velg Comma som Delimiter.

Include Options Format

Delimiter:
Comma

Text Quotes:

Encoding:
Default

XML Encoding:
UTF-16

Velg så «Save», legg inn ønsket filnavn (gjerne noe som refererer til aktuell TIN) og lagre i .csv-format.

8. Åpne den nye filen i Excel og lagre som Excel Workbook (.xlsx).
9. Hvis siktlinjen er brutt vil det være egne kolonner for de ulike delene av grafen.

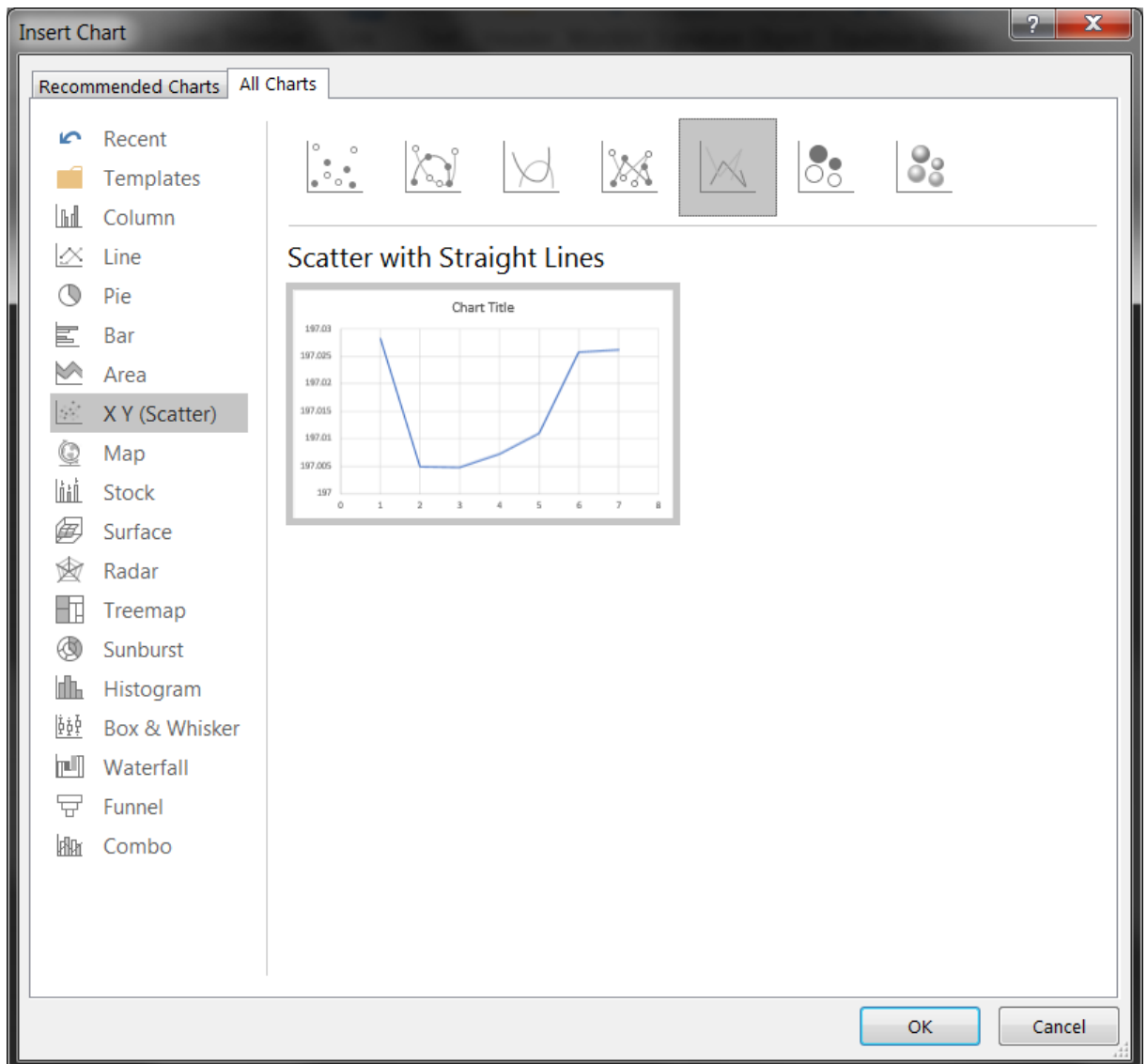
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	X	LOS Visible 1 Part 1	X	LOS Visible 1 Part 2	X	LOS Nonvisible 1 Part 1	X	LOS Nonvisible 1 Part 2
2	0	195.7994	0.095228	195.8307	0.056216	195.8178	0.300574	195.967
3	0.056216	195.8178	0.095973	195.8311	0.088454	195.827	0.347314	195.983
4			0.294955	195.958	0.095228	195.8307	0.50682	196.0318
5			0.300589	195.967			0.576614	196.0437
5							0.710202	196.0706
7							0.715036	196.0712
3							0.86995	196.0814
9							0.891646	196.0842
0							1.071584	196.0924

Flett disse sammen til en sammenhengende kolonne (med tilhørende X-verdi) i rekkefølgen


X	Y
X	LOS Visible 1 Part 1
X	LOS Nonvisible 1 Part 1
X	LOS Visible 1 Part 2
X	LOS Nonvisible 1 Part 2
X	LOS Visible 1 Part 3
X	LOS Nonvisible 1 Part 3
	OSV...

Opprett en ny Excel Workbook og samle alle dataseriene i ulike arbeidsark. Navngi arbeidsarkene etter aktuell TIN.

10. TIPS: Husk å bruk X Y (Scatter) som diagramform. Det muliggjør egne X-verdier for de ulike data-settene.



C.1 Plotting av egnede posisjoner i Norsk Polarinstitutt sitt web-baserte kartverktøy

1. Gå til <http://toposvalbard.npolar.no/> og trykk på *Plott data list*, som har symbolet .
2. Kopier følgende liste over punkter og lim inn i data list editoren (behold formateringen)

999;Nåværende;510574;8684594

001;1.1;510630;8684504

002;1.2;510630;8684499

003;1.3;510663;8684500

004;1.4;510665;8684505

005;;510630;8684504

007;2.1;510610;8684508

008;2.2;510614;8684507

009;2.3;510614;8684515

010;3.1;510614;8684521

011;3.2;510617;8684531

012;3.3;510627;8684522

013;3.4;510631;8684531

014;3.5;510637;8684531

015;3.6;510647;8684525

016;3.7;510658;8684524

017;3.8;510661;8684520

018;3.9;510654;8684522

019;3,10;510638;8684524

020;;510637;8684531

021;;510625;8684548

022;4.1;510622;8684540

023;4.2;510617;8684540

024;4.3;510625;8684548

025;4.4;510634;8684546

026;4.5;510633;8684540

027;5.1;510622;8684558

028;5.2;510622;8684563

029;5.3;510629;8684563

030;5.4;510629;8684560

031;5.5;510622;8684560

032;6.1;510599;8684551

033;6.2;510599;8684554

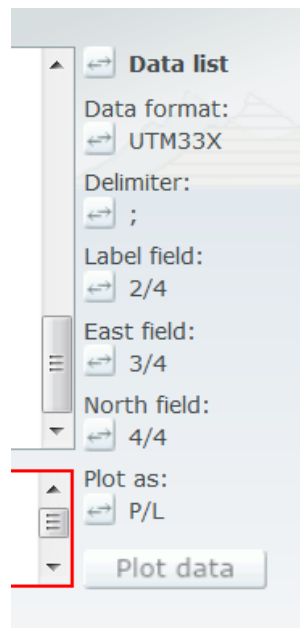
034;6.3;510602;8684554

035;6.4;510602;8684551

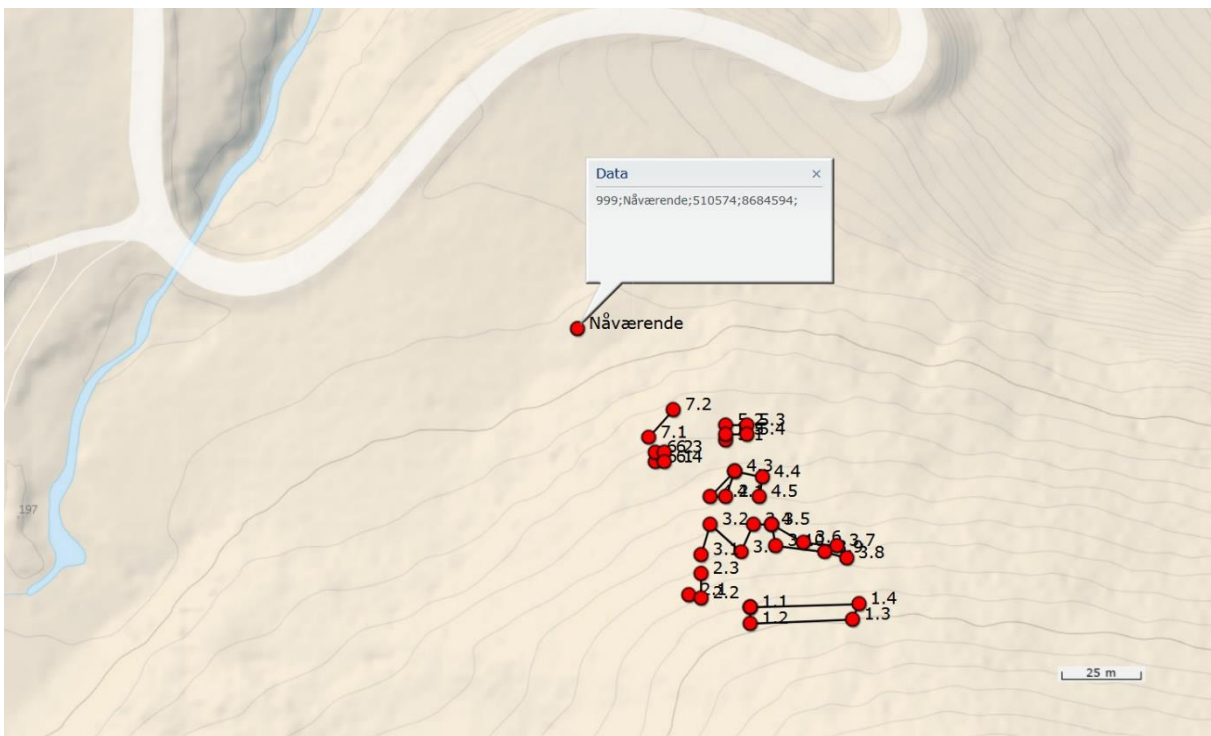
034;7.1;510597;8684559

035;7.2;510605;8684568

3. Endre innstillingene til følgende innstillinger:

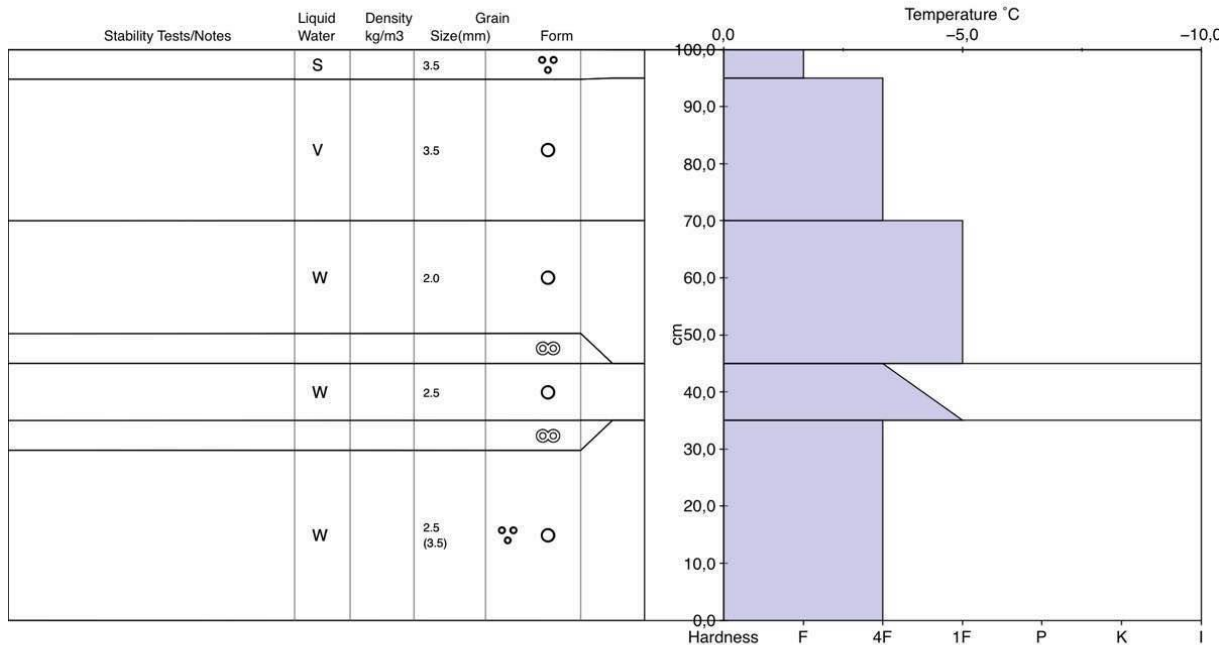


4. Finn koordinatene til punktene ved å klikke på de røde prikkene



D.1

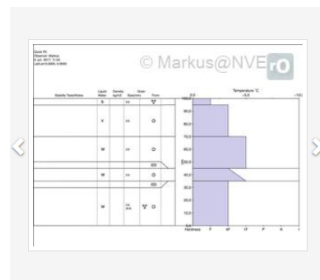
Quick Pit
 Observer: Markus
 6. jun. 2017, 11.04
 Lat/Lon: 0.0000, 0.0000



Nordenskiöld Land / SVALBARD

Antall: 7 snøobservasjoner
 Av: Markus@NVE (*****)
 Regid: 129154

Observert: 06.06.2017 11:37
 Registrert: 06.06.2017 11:48
 Oppdatert: 06.06.2017 12:12



Blide 5 av 5

Av: Snøprofil. Copyright: Markus@NVE Kommentar: Ingen svake lag av betydning. Drenerer godt.

Snødekke

Snøfokk: Ikke snøfokk. **Snødekkehardhet:** Våt løssne. **Snøfuktighet:** Meget våt. **Kommentar:** Mye avsmeltet. Ingen tørrsno igjen selv i høyden. Rundt en meter snøtykkelse i leformasjoner. Gjenomfuktet snødekke som drenerer bra. Gamle Sprekker i snødekket tyder på tidligere kollaps i svakt lag. Nå stabil.

Faretegn

Type: Ingen faretegn observert **Kommentar:** Område: I denne fjellsiden. Beskrivelse: God sik.

Vær observasjon

Nedbørstype: Ikke nedbør. **Temperatur:** 9°C. **Vind:** 5 m/s fra Ø ← **Skydekke:** 100% skyer. **Kommentar:** Enkelte ubetydelige regnbyger, ingen igjenfrysing i løpet av natten.

Skredfarevurdering

Faregrad: 1 Liten **Skredvurdering:** Gjennomfuktet snødekke med enkelte skarelag. Drenerer godt. Ingen svake lag av betydning, ingen tørr sno tilgjengelig for transport. **Utvikling:** Ved svært kraftig regnvær kombinert med høy temperatur vil det kunne løse våte løssnøskred i enkelte leområder.

Skredproblem

Type: Våte løssnøskred. **Type svakt lag:** Ubunden sno. **Sannsynlig belastning for å løse ut skred:** Naturlig uløst. **Sannsynlighet for skred:** Lite sannsynlig. **Størrelse på forventet skred:** 1 - Harmiløst (sluff). **Utbredelse løssneområder:** Få bratte heng, over 200moh. **Kommentar:** kun i sno av betydning i leområder uavhengig av himmelretning

Skredaktivitet

Tid: 6.juni. I løpet av dagen. **Antall, størrelse og skredutløser:** Ingen skredaktivitet **Kommentar:** Ingen skredaktivitet i dag. Ingen synlige skred fra de siste dagene. Selv ikke i bratte solvendte sider.

Snøprofil

Av: Snøprofil. Copyright: Markus@NVE Kommentar: Ingen svake lag av betydning. Drenerer godt.

E.1

Tabell 7: Kalibreringsdata for lastcellene (HBM S9M)

SN / F _{nom}	Posisjon	C _{nom} [mV/V]	U _{out} @0kN [mV/V]	U _{out} @F _{nom} [mV/V]	R _{out} [Ω]
31444032/10kN	C1	2.00164	0.00048	2.00212	349.92
31444039/10kN	D1	1.99953	-0.00357	1.99596	350.05
31466944/20kN	D2	1.99913	0.00165	2.00078	349.95
31466956/20kN	C2	1.99915	-0.00023	1.99892	349.92
31509630/20kN		2.00013	-0.00170	1.99843	350.00
31509635/20kN		2.00017	0.00230	2.00247	349.95
31509636/20kN		2.00029	-0.00080	1.99949	349.93
31509641/20kN		1.99972	0.00400	2.00372	349.92

Tabell 8: Tabell over avlesingstid og temperatursteg ved ulike oppløsninger for Dallas DS18B20

Oppløsning [Bits]	Avlesingstid [m s]	Temperatursteg [°C]
9	93.75	0.5
10	187.75	0.25
11	375	0.125
12	750	0.0625

F.1

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1															
2															
3															
4															
5															
6			$S^1_N = \rho g \frac{H^2}{2} KN$												
7															
8			der												
9			ρ	=	0.565	t/m3		etter figur 38							
10			g	=	9.81	m/s2									
11			H	=	1.88	m		1.87	1.5 m for snøhøyde = konstruksjonshøyde og 1.87 m for snøhøyde etter punkt 5.1.3 (TLS)						
12			K	=	0.23										
13			N etter Tabell 2 =		1.2			tabell-verdi							
14			kor.faktor N =		2.0			1.5-2 for Norge/Island							
15			N	=	2.4			korrigert							
16															
17															
18			Krypfaktoren, K												
19															
20			Tabell 1												
21			ρ		0.2	0.3	0.4	0.5	0.6						
22			$K / \sin 2\psi$		0.7	0.76	0.83	0.92	1.05						
23															
24			ρ	=	0.565										
25			$K / \sin 2\psi$	=	1.0045										
26															
27			der												
28			ψ	=	6.7	°									
29															
30			K	=	0.2328			etter Tabell 1 og interpolering mellom 0.5 og 0.6							
31															
32			alternativ metode:												
33															
34			$K = (2.50\rho^2 - 1.83\rho^2 + 1.06\rho + 0.54) \sin 2\psi =$					0.2331							
35															
36															
37															
38															
39			$S^1_N = \rho g \frac{H^2}{2} KN$	=	5.495224	KN m ¹									

F.2

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2											
3											
4											
5											
6			$S^1_N = \rho g \frac{H^2}{2} KN$								
7											
8			der								
9			ρ	=	0.565/1000	t/m3		etter figur 38			
10			g	=	9.81	m/s2					
11			H	=	1.88/(COS(RADIANS(6.7)))	m		1.87	1.5 m for snøhøyde = konstruksjonshøyde og 1.87 m for snøhøyde etter punkt 5.1.3 (TLS)		
12			K	=	0.23						
13			N etter Tabell 2 =		1.2			tabell-verdi			
14			kor.faktor N =		2			1.5-2 for Norge/Island			
15			N	=	0.13*0.14			korrigert			
16											
17			Krypfaktoren, K								
18											
19			Tabell 1								
20			ρ		0.2	0.3	0.4	0.5	0.6		
21			$K / \sin 2\psi$		0.7	0.76	0.83	0.92	1.05		
22											
23			ρ	=	0.9						
24			$K / \sin 2\psi =$		=(0.22-0.22)*(0.24-0.21)/(0.21-0.21))+0.22						
25			der								
26			ψ	=	6.7	°					
27											
28			K	=	0.25*SIN(2*RADIANS(0.28))			etter Tabell 1 og interpolering mellom 0.5 og 0.6			
29			alternativ metode:								
30											
31			$K = (2.50\rho^2 - 1.83\rho^2 + 1.06\rho + 0.54) \sin 2\psi =$					=(2.5*0.24^2)-(1.83*0.24^2)+(1.06*0.24+0.54)*SIN(2*RADIANS(0.28))			
32											
33											
34			$S^1_N = \rho g \frac{H^2}{2} KN$	=	0.9*0.13*0.14*0.14*0.14*0.14*0.14	KN m ¹					
35											
36											
37											
38											
39											

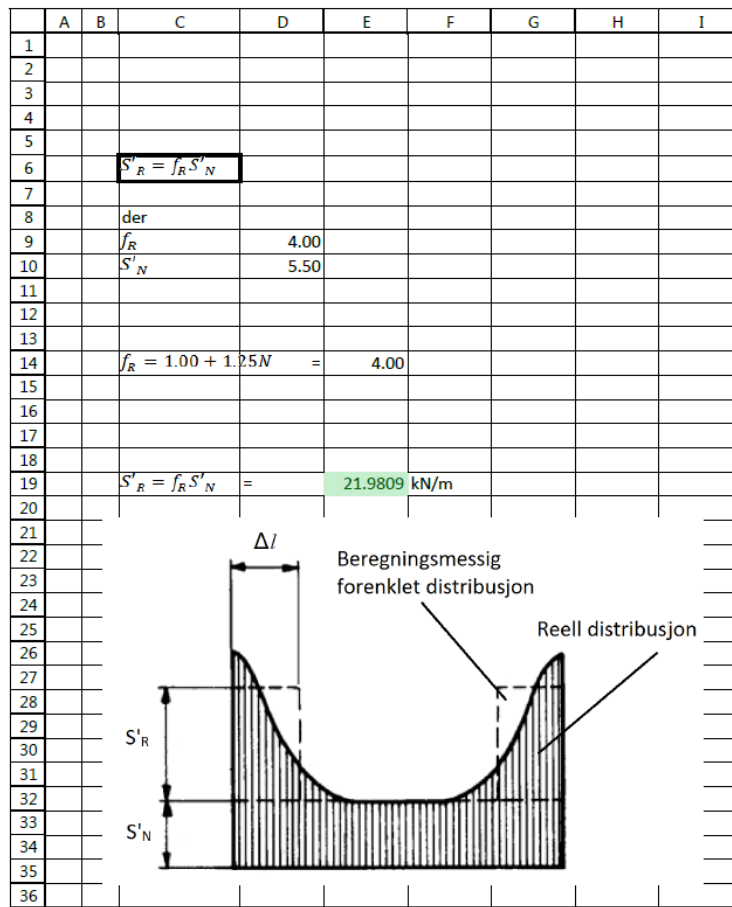
F.3

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2									
3									
4									
5									
6			$S'_Q = S'_N \frac{a}{N \tan \psi}$						
7									
8			der						
9			S'_N	=	5.495224				
10			a	=	0.5		snøtype koeffisient mellom 0.2 og 0.5		
11			N	=	2.4				
12			ψ	=	6.7 °				
13									
14									
15			$S'_Q = S'_N \frac{a}{N \tan \psi}$	=	9.745545	kN m ⁻¹			

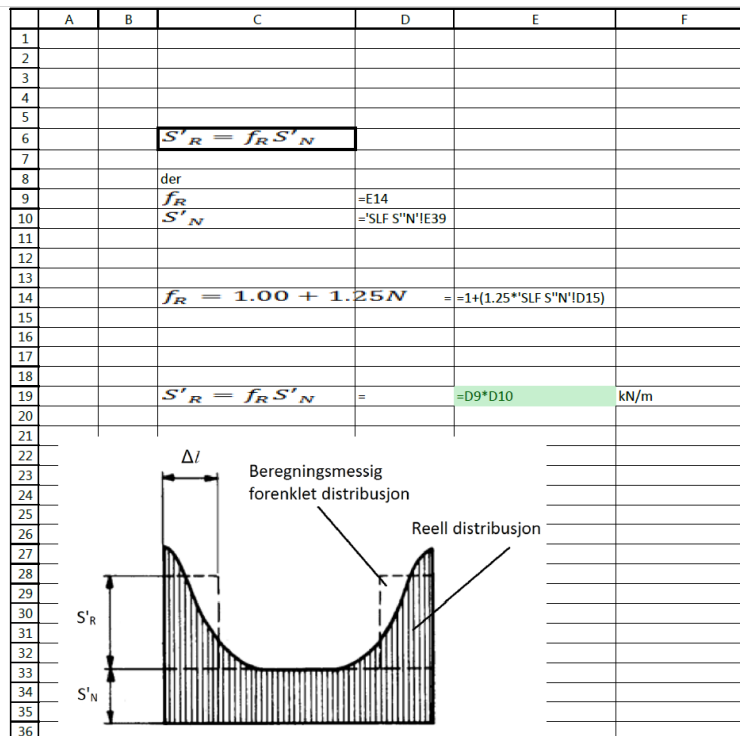
F.4

	A	B	C	D	E	F
1						
2						
3						
4						
5						
6			$S'_Q = S'_N \frac{a}{N \tan \psi}$			
7						
8			der			
9			S'_N	=	'SLF S''N'!\$E\$39	
10			a	=	0.5	snøtype koeffisient m
11			N	=	'SLF S''N'!\$D\$15	
12			ψ	=	'SLF S''N'!\$D\$28 °	
13						
14						
15			$S'_Q = S'_N \frac{a}{N \tan \psi}$	=	=(D9*D10)/(D11*TAN(RADIANS(D12)))	kN m ⁻¹

F.5

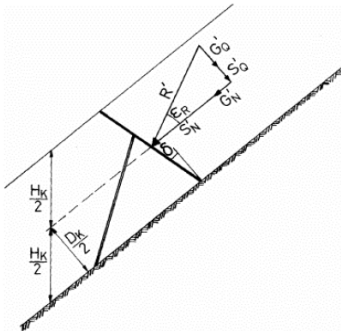


F.6



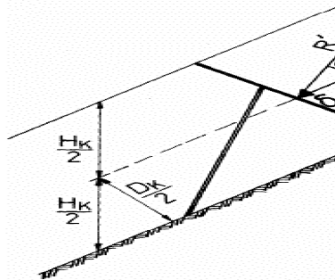
F.7

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1																		
2																		
3																		
4																		
5																		
6		Infinite wall											End-effect area					
7		$R'_N = S'_N + G'_N$	=	5.495224196	kn/m								$R'_N = S'_N + G'_N + S'R$	=	27.47612	kn/m		
8																		
9		$R'_Q = S'_Q + G'_Q$	=	9.745544598	kn/m													
10																		
11																		
12																		
13																		
14																		
15																		
16		$R' = \sqrt{R'^2_N - R'^2_Q}$	=	11.18807975	kn/m								$R' = \sqrt{R'^2_N - R'^2_Q}$	=	29.15327	kn/m		
17																		
18																		
19																		
20																		
21		$\tan \epsilon_R = \frac{R'_Q}{R'_N}$																
22																		
23		ϵ_R	=	60.58263527	°								$\tan \epsilon_R = \frac{R'_Q}{R'_N}$		ϵ_R	=	19.52916	°

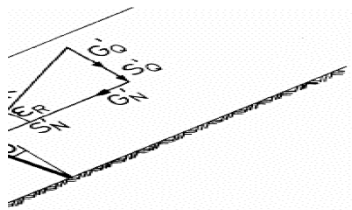


F.8

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2									
3									
4									
5									
6		Infinite wall							
7		$R'_N = S'_N + G'_N$	=	S'LF S'N'IE39+0	kn/m				
8									
9		$R'_Q = S'_Q + G'_Q$	=	S'LF S'Q'IE15+0	kn/m				
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16		$R' = \sqrt{R'^2_N + R'^2_Q}$	=	SQRT((D7^2)+(D10^2))	kn/m				
17									
18									
19									
20									
21		$\tan \epsilon_R = \frac{R'_Q}{R'_N}$							
22									
23		ϵ_R	=	=DEGREES(ATAN(D10/D7))	°				



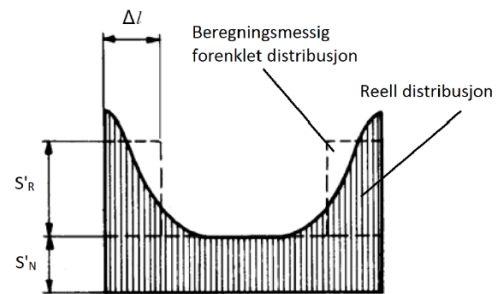
	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									



	M	N	O	P	Q	R
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						

F.9

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1																
2		Snøtrykk midt på konstruksjon terrenget														
3		S'N	=	5.495224 kN/m												
4																
5																
6																
7		Snøtrykk ved endene terrenget														
8		R'N	=	27.47612 kN/m		(=S'R + S'N)										
9																
10																
11		$D_K = H_K \cos \psi$	=	1.489756 m												
12		gir														
13		$\Delta l = D_K / 3$	=	0.496585 m												
14																
15																
16																
17		Veggens lengde		3 m												
18		Gjennomsnittlig snøtrykk		12.77215 kN/m												

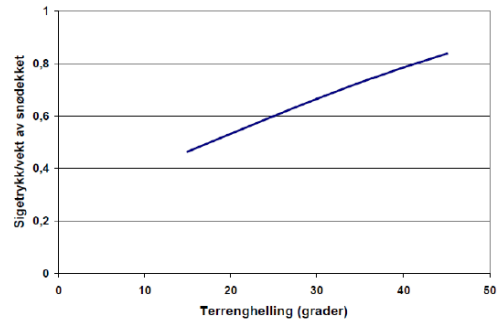


F.10

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2		Snøtrykk midt på konstruksjon terrenget						
3		S'N	=	=SLF S''N!E39		kN/m		
4								
5								
6								
7		Snøtrykk ved endene terrenget						
8		R'N	=	=SLF S''R!E19+SLF S''N!E39		kN/m		(=S'R + S'N)
9								
10								
11		$D_K = H_K \cos \psi$	=	=1.5 * COS(RADIANS(SLF S''N!D28))		m		
12		gir						
13		$\Delta l = D_K / 3$	=	=D11/3		m		
14								
15								
16								
17		Veggens lengde		3		m		
18		Gjennomsnittlig snøtrykk		=((2*D13*D8)+(D17-(2*D13))*SLF S''N!E39)/D17		kN/m		

F.11

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1																			
2																			
3			Etter Håndbok V138																
4																			
5																			
6			$\frac{\sigma_x}{\rho g H} = 3.125 \left[0.25(\sin \alpha)^{1/2} + 0.05 \right]^{1/2} \sin \alpha + 0.28 \cos \alpha$																
7																			
8			der																
9			ρ	=	565	kg/m ³													
10			g	=	9.81	m/s ²													
11			H	=	1.882859	m													
12			α	=	6.7	°													
13																			
14			dermed blir																
15			$\frac{\sigma_x}{\rho g H}$	=	0.412244														
16																			
17			og																
18			σ_x	=	4302.186	N/m													
19																			
20																			
21			σ_{maks}	=	6453.279	N/m													
22																			
23																			
24																			
25			$\frac{\tau}{\rho g h} = 0.25(\cos \alpha)^{1/2} [1 - 0.84(\sin \alpha)^{1/2}]$																
26																			
27			$\frac{\tau}{\rho g H}$	=	0.17766														
28																			
29			og																
30			τ	=	1854.068	N/m													
31																			
32																			
33																			
34			σ_x	2	8604.371														
35			σ_x	5	21510.93														



Figur 6.18 Gjennomsnittlig sigetrykk mot forbygning i forhold til vekten av snødekket som funksjon av terrenghelling, likn 6.19, Etter Larsen (2000b)

F.12

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2									
3			Etter Håndbok V138						
4									
5									
6			$\frac{\sigma_x}{\rho g H} = 3.125 \left[0.25(\sin \alpha)^{1/2} + 0.05 \right]^{1/2} \sin \alpha + 0.28 \cos \alpha$						
7									
8			der						
9			ρ	=	=SIF S*N>ID9*1000	kg/m ³			
10			g	=	=SIF S*N>ID10	m/s ²			
11			H	=	=SIF S*N>ID11	m			
12			α	=	=SIF S*N>ID28	°			
13									
14			dermed blir						
15			$\frac{\sigma_x}{\rho g H}$	=	= (3.125*((0.25*(SIN(RADIANS(D12)))^0.5)+0.05)^0.5)*SIN(RADIANS(D12)))+(0.28*COS(RADIANS(D12)))				
16									
17			og						
18			σ_x	=	=D15*D9*D10*D11	N/m			
19									
20									
21			σ_{maks}	=	=D18*1.5	N/m			
22									
23									
24									
25			$\frac{\tau}{\rho g h} = 0.25(\cos \alpha)^{1/2} [1 - 0.84(\sin \alpha)^{1/2}]$						
26									
27			$\frac{\tau}{\rho g H}$	=	= (0.25*(COS(RADIANS(D12)))^0.5)*(1-(0.84*(SIN(RADIANS(D12)))^0.5))				
28									
29			og						
30			τ	=	=D27*D9*D10*D11	N/m			
31									
32									
33									
34			σ_x	=	=D18*C34				
35			σ_x	=	=D18*C35				



Norges miljø- og biovitenskapelig universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway