

Oda Berg Aspevold

# Modelltesting av snøplog

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk

Veileder: Alex Klein-Paste

Januar 2019



Oda Berg Aspevold

# Modelltesting av snøplog

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk  
Veileder: Alex Klein-Paste  
Januar 2019

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for bygg- og miljøteknikk





# Forord

Denne masteroppgaven er resultat av det avsluttende arbeidet på det 5-årige studiet bygg- og miljøteknikk ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, NTNU. Arbeidet er i sin helhet gjennomført ved instituttet for bygg- og miljøteknikk med studieretningen Veg. Oppgaven er utført i siste semester av studiet og omfatter en tidsbruk på 28 uker, tilsvarende 30 studiepoeng.

Det er flere personer som fortjener en stor takk i forbindelse med arbeid de har lagt ned for at denne masteroppgaven har blitt til. Første takk går til Øveraasen AS for lån av lastebil med plog og for sponning av feltforsøk med leie av testbane (Trysil Flyplass) og hotellopphold. Det rettes her en ekstra stor takk til Erik Abrahamsen i Øveraasen AS for klargjøring av plog før feltforsøk, og for at jeg ble ønsket velkommen i Trysil og fikk bli med på arrangementet Scania Winter 2019, Trysil. Stor takk går også til Jan Erik Molde for helt fantastisk hjelp til å kjøre plog, samle inn data i felt, montere og bygge utstyr til modellforsøk, og gode samtaler. Det rettes også stor takk til min veileder Alex Klein-Paste for gode tilbakemeldinger og oppfølging underveis i arbeidet. Uten nevnte personer hadde det ikke vært mulig å gjennomføre studien slik den er i dag. I forbindelse med laboratoriearbeidet fortjener også de ansatte på snekkerverkstedet, til driftsavdelingen ved NTNU, en stor takk for god hjelp ved bygging av utstyr når den beste metoden for å utføre modellforsøkene skulle finnes. Til slutt vil jeg takke familie og venner for all støtte gjennom studieårene.

Trondheim, 31.07.2019

Oda Berg Aspevold

# Sammendrag

Motivasjonen for denne oppgaven var at når en plogprodusent ønsket å utvikle en ny plog hadde de ikke annet alternativ enn å lage den nye plogen i fullskala og teste den mot en annen plog i et feltforsøk. Dette er ressurskrevende både i form av tid og kostnader. Målet med oppgaven var å finne ut om utkastprofil og brøytefordeling fra modellplog samsvarer med fullskala feltforsøk. Denne rapporten beskriver hvordan hastighet kan skaleres for å oppnå en tilsvarende (1:10 nedskalert) maks utkastlengde og maks utkasthøyde. Studien tar også for seg hvilken effekt snøtype og høyden på snølaget har på maks utkastlengde, maks utkasthøyde og brøytefordeling.

En 1:10 nedskalert modell av en Øveraasen DHS285 plog ble frest ut av aluminium og festet til friksjonsbanen LARS. Modellforsøk ble utført med kunstig produsert nysnø, nedskalert asfalt, og parameterne hastighet, snøhøyde og snøtype ble variert. Det ble utført feltforsøk i fullskala på plog Øveraasen DHS285 ved hastighet 40 km/t.

Hastigheten ved modellforsøk med 1 cm høyt snølag som gav utkast som lignet mest på feltforsøk var 3,25 m/s (labsnø) og 3,4 m/s (natursnø). Dette kan forklares ved å nedskalere den kinetiske energien i modellforsøk med faktor 1:10.

Studien viser at best samsvar oppnås når tetthet på snø som brukes i modellforsøk og feltforsøk er lik. Labsnø anbefales til modellforsøk da tettheten kan justeres, den kan produseres til enhver tid, og utkast lignet på resultater fra feltforsøk.

Under modellforsøkene hadde snølagets høyde mye å si for utkastlengden ved høyere hastigheter. Når snølaget ved modelltesting av labsnø var 0,5 cm ble snøen kastet sentrert og høyt, og det var lite nedfall i plogen.

Det konkluderes med at det er mulig å få til en realistisk simulering av snø som kastes ut fra plogbladet. Oppsummert er det i denne oppgaven vist at modellforsøk med et 1 cm lag av labsnø og hastigheten 3,25 gir godt samsvar med feltforsøk hvor laget på natursnø var 10 cm og plogen kjørte med hastigheten 41 km/t. Det er funnet sammenhenger og forskjeller mellom modellforsøk og feltforsøk som viser at mulighetene på laboratoriet er store. Resultatene viser brukbare samsvar mellom modellforsøk og feltforsøk, hvor mange detaljer som fyllingsgrad, nedfall, utkastlengde, utkasthøyde og brøytefordeling kan testes med modellforsøk under kontrollerte forhold. Dermed vil det trolig være gunstig for plogfabrikanter å kunne utføre tester på nedskalerte modeller av snøploger under kontrollerte forhold i laboratorium.

# Abstract

The motivation for this study was that when a plow manufacturer wanted to develop a new plow, they had no alternative but to make the new plow at full scale and test it against another plow in a field experiment. This is resource consuming both in terms of time and cost. The aim of the study was to find out if there is a similarity in the shape, and the distribution of the snow thrown out by the plow, in the laboratory and field experiments. This report describes how speed can be scaled to achieve a corresponding (1:10 scaled) maximum length and height of snow thrown out of the plow. The study also considers the effect of snow type and height of the snow layer on the maximum length and height of snow thrown out of the plow.

A 1:10 scaled-down model of an Overaasen DHS285 plow was milled out of aluminium and attached to the LARS friction track. Model experiments were performed with snow gathered outside (natural snow) and snow produced in laboratory (lab snow), scaled down asphalt, and the parameters speed, snow height and snow type were varied. Full-scale field experiments were conducted on plow Overaasen DHS285 at a speed of 40 km/h.

Model experiments with a snow layer of 1 cm had the best correlation between model and field experiments at the speeds 3.25 m / s (lab snow) and 3.4 m / s (natural snow). This can be explained by scaling down the kinetic energy in model experiments by factor 1:10. The study shows that snow with similar density should be used in model experiments and field experiments. Lab snow is recommended for model experiments as the density can be adjusted, it can be produced at any time, and it had best correlation between model and field experiments. During the model experiments, the height of the snow layer had much to say for how the snow was thrown out of the plow at higher speeds. When the snow layer during model testing of lab snow was 0.5 cm, the snow was thrown centred and high, and there was little snow fall in the plow.

It is shown that it is possible to achieve a realistic simulation of a snow plow. In this study it is shown that model experiments with lab snow (1 cm) and the speed 3.25 has a good correlation to field experiments, where the layer on natural snow was 10 cm and the plow was driving at a speed of 41 km/h. Connections and differences have been found between model experiments and field experiments that show that the possibilities in the laboratory are large. The results show usable correlations between model experiments and field experiments. Thus, it will probably be beneficial for plow manufacturers to be able to perform tests on scaled-down models of snow plows under controlled conditions in the laboratory.

# Innholdsfortegnelse

Forord .....	i
Sammendrag .....	ii
Abstract .....	iii
Figurliste.....	vi
Tabelliste .....	viii
Ordforklaring.....	ix
1. Introduksjon .....	1
1.1 Snøplog.....	1
1.2 Utkast.....	2
1.3 utfordringer ved plogdesign.....	2
1.4 Muligheter ved modellforsøk .....	3
1.5 Målsetning .....	3
1.6 Modellforsøk og feltforsøk.....	4
1.7 Forsknings spørsmål .....	4
2 Tidligere gjennomførte studier.....	5
2.1 Utkast.....	5
2.2 Ryddeeffektivitet .....	6
2.3 Drivstofforbruk .....	9
2.4 Brøytehastighet.....	10
2.5 Støynivå .....	11
2.6 Slitestålet .....	11
2.7 Plogutstyr.....	12
3. Metode.....	15
3.1 Modellplogen.....	15
3.2 Snø.....	16



3.3	Utkast.....	18
4	Resultater.....	26
4.1	Utkastprofil fra modellforsøk med natursnø og labsnø.....	26
4.1.1	Natursnø.....	26
4.1.2	Labsnø.....	26
4.1.3	Forskjell mellom natursnø og labsnø.....	27
4.2	Utkastprofil fra modellforsøk med 1 cm og 0,5 cm natursnø.....	29
4.2.1	Forskjell mellom 1 cm og 0,5 cm høyt snølag.....	31
4.3	Stillbilder fra GoPro-kamera overføres til koordinatsystem.....	31
4.4	Repeterbarhet.....	31
4.5	Effekt av hastighet.....	32
4.6	Maks utkastlengde og maks utkashøyde.....	33
4.7	Effekt av snøtype.....	34
4.8	Effekt av snølagets høyde.....	34
4.9	Brøytefordeling fra modellforsøk.....	35
4.10	Utkastprofil fra feltforsøk.....	38
4.11	Brøytefordeling fra feltforsøk.....	41
5.	Diskusjon.....	43
5.1	Skalere hastighet.....	43
5.2	Effekt av snøtype.....	47
5.3	Effekt av snølagets høyde.....	48
5.4	Metoder fra tidligere studier vurdert opp mot denne rapportens metoder.....	49
6.	Konklusjon.....	51
7.	Videre forskning.....	53
	Litteraturliste.....	54
	Vedlegg.....	56

## Figurliste

Figur 1: Hovedelementene til en plog (Klein-Paste, 2018).....	2
Figur 2: Möller og Gabrielsson sin metode for måling av egenskaper hos plog (Möller og Gabrielsson, 2010, a).....	6
Figur 3: Kjørefeltet delt opp i fem punkter for måling av snøhøyde etter brøyting (Möller og Gabrielsson, 2010, a).....	6
Figur 4: Slaps etter brøyting (SV, 2001). .....	7
Figur 5: Anbefalt geometri for plog (Pell, 1994). .....	8
Figur 6: LARS (Giudici m.fl., 2017).....	15
Figur 7: Plogens bevegelse langs testbanen. ....	16
Figur 8: Siling av natursnø. ....	17
Figur 9: Fremgangsmåte for fjerning av overflødig labsnø. ....	18
Figur 10: Utkastprofil og koordinatsystem sett fra GoPro-kameraL1. ....	19
Figur 11: Oversiktsbilde som viser plassering av GoPro-kameraL1 (markert med rød sirkel) og mobilkamera (markert med blå sirkel). ....	20
Figur 12: Filmvinkel fra mobilkamera. ....	20
Figur 13: Filmvinkel fra GoPro-kamera L1. ....	21
Figur 14: Filmvinkel fra Gopro-kameraL2. ....	21
Figur 15: Utkastprofil fra GoPro-kameraL1 overført til koordinatsystem.....	31
Figur 16: Test av repeterbarhet ved gjentakelse av forsøk på 1 cm natursnø ved hastighetene 4 m/s, 3 m/s og 2 m/s. Fargen svart og blå representerer første og andre modellforsøk for hver av hastighetene. ....	32
Figur 17: Effekt av hastighet på maks utkastlengde og maks utkasthøyde.....	32
Figur 18: Hvordan maks utkastlengde avhenger av hastigheten.....	33
Figur 19: Hvordan maks utkasthøyde avhenger av hastigheten.....	33
Figur 20: Effekt av snøtype. Blå: 1 cm natursnø med gjennomsnittlig tetthet $0,31 \text{ kg/m}^3$ . Svart: 1 cm labsnø med gjennomsnittlig tetthet $0,11 \text{ kg/m}^3$ . ....	34
Figur 21: Effekt av snølagets høyde. Blå: 1 cm natursnø. Grønn: 0,5 cm natursnø. ....	35
Figur 22: Utkastprofiler fra feltforsøk 1 i 41 km/t. ....	40
Figur 23: Feltforsøk nr. 1 sammenlignet med modellforsøk ved hastighet 2 m/s, 3 m/s og 4 m/s. Svart tykk strek: 10 cm nysnø i felt, 41 km/t. Svart tynn strek: Oppskalert utkastprofil med faktor 10 av 1 cm labsnø 3 m/s. Blå: Oppskalert utkastprofil med faktor 10 av 1 cm	

natursnø 3 m/s. Striplet linje er tenkt fortsettelse på utkastprofilen, da grøft var i veien for å kunne tegne hele utkastprofilet..... 41

## Tabelliste

Tabell 1: Forskjell mellom 1 cm natursnø og labsnø. ....	27
Tabell 2: Forskjell mellom natursnø med høyden 1 cm og 0,5 cm. ....	30
Tabell 3: Brøytefordeling fra modellforsøk hvor 1 cm natursnø sammenlignes med 1 cm labsnø. Verdien på z-aksen er i % snømengde, og verdien på x-aksen er i cm. ....	35
Tabell 4: Brøytefordeling fra modellforsøk hvor 1 cm natursnø sammenlignes med 0,5 cm natursnø. Verdien på z-aksen er i % av total masse, og verdien på x-aksen er cm. ....	37
Tabell 5: Stillbilder fra feltforsøk 1-4 hvor natursnø ble ploget ved hastighetene 41 km/t og 43 km/t. ....	39
Tabell 6: Brøytefordeling fra feltforsøk 1 til 4. Verdien på z-aksen er i % av total masse, og verdien på x-aksen er cm. ....	42

# Ordforklaring

Her gis definisjoner av begreper som benyttes i oppgaven.

*Angrepsvinkel [°]*. Defineres i Norge som vinkelen mellom vegbanen og plogbladet (Klein-Paste, 2018).

*Brøytefordeling*. Hvor mye snø som blir lagt ved ulike avstander på tvers av kjøreretningen.

*Fyllingsgrad*. Defineres i denne oppgaven som hvor stor del av plogbladet som blir fylt opp med snø.

*Godt samsvar*. Oppstår når de geometriske dimensjoner av maks utkastlengde, maks utkasthøyde og, brøytefordelingen har en lik skaleringsfaktor som plogens geometri.

*Kram snø*. Oppstår når temperaturen er over eller lik frysepunktet. Denne konsistensen er lett å forme (Wikipedia, 2019).

*Labsnø*. Laboratorie-produsert nysnø.

*Maks utkasthøyde [m]*. Avstanden fra bakkenivå til høyest utkastet snø i luften.

*Maks utkastlengde [m]*. Avstanden fra lengst utkastet snø og kjørebanelinjen.

*Natursnø*. Snø hentet fra naturen.

*Nedfall*. Oppstår når snø følger buen til plogbladet og slipper buen sent, slik at mye snø faller fremfor og rett ved siden av plogbladet.

*Ryddeeffektivitet [%]*. Prosentvis andel snø fremfor plog som blir fjernet ved at plog kjører en gang over strekningen.

*Skråstilling [°]*. Plogen er plassert med en vinkel mot kjøreretningen som heter skråstilling, oftest mellom 30-35 grader (Klein-Paste, 2018).

*Slaps*. Blanding av vann i væskeform og is, som oppstår når snø og is smelter. Ved salting oppstår slaps ved lavere temperatur enn uten salt (Wikipedia, 2017).

*Utkast*. Snø som kommer ut av plogbladet.

*Utkasthøyde*. Avstanden fra bakkenivå til høyest utkastet snø i luften.

*Utkastlengde*. Avstanden fra kjørebanelinjen til lengst utkastet snø.

*Utkastprofil.* Viser den ytterste banen (i y-z-planet) snøen følger fra den forlater plogen til den treffer bakken (Möller og Gabrielsson, 2010).

# 1. Introduksjon

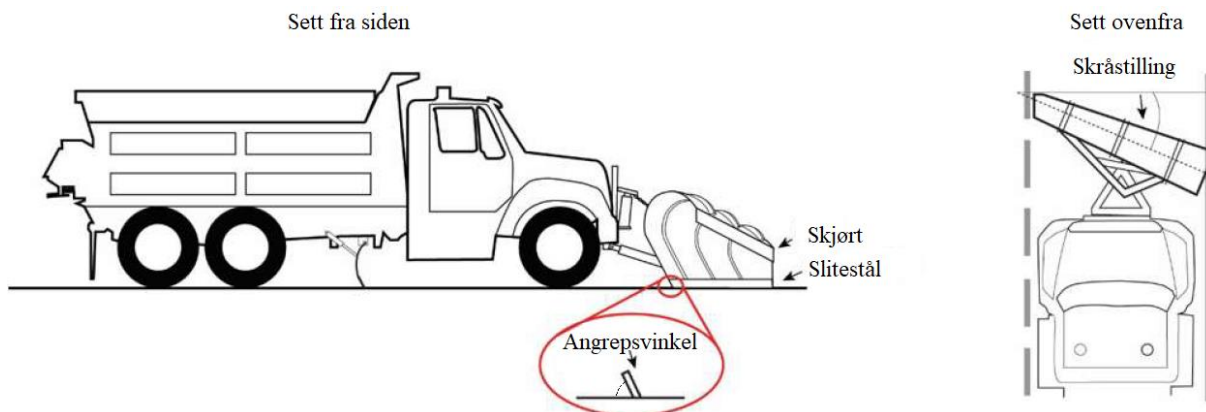
## 1.1 Snøplog

Snøplog er ett av verktøyene som brukes for å forbedre vegforholdene på vinteren og har som hovedfunksjon å fjerne løs snø fra veg. Fjerning av løs snø ved brøyting kan hindre dannelsen av kompakte, harde snølag på asfalten, noe som vil kunne resultere i mindre behov for andre vinteroperasjoner som salting og sanding. (Klein-Paste, 2018) I byområder og tettsteder er det ønskelig at snø fra plog kastes lavt og kort slik at den ikke havner på blant annet skilt og gangfelt. På landeveg-strøk skal snø kastes høyt opp og langt bort fra veg (Klein-Paste, 2018).

Snøploger kommer i mange ulike modeller med forskjellige utforminger, størrelser og egenskaper med hensikten å fjerne snø på best mulig måte under ulike vegbane- og klimatiske forhold. Plogen består av et plogblad, et slitestål og et skjørt. Funksjonen til plogbladet er å endre retningen til snøen og kaste den til side. Slitestålet har som hensikt å løfte snø fra vegen, og siden stålet er i kontakt med snø og vegbane slites det og kan derfor byttes ut (se figur 1). Skjørtet har som funksjon å unngå at snø blåser over plogen, og hindrer dermed dårlig sikt for fører, dersom plogen blir full av snø.

Plogen er plassert med en vinkel mot kjøreretningen som heter skråstilling, oftest mellom 30-35 grader, se figur 1. Slitestålet på plogen er plassert med en angrepsvinkel varierende mellom 40 og 90 grader. I Norge defineres angrepsvinkel som vinkelen mellom vegbanen og plogbladet. Plogen er festet til kjøretøyet, og ved hjelp av hydraulikk kan fører løfte og senke plogen, og styre skråstillingen (Klein-Paste, 2018).

Lav angrepsvinkel gjør det lettere for snø å havne i plogbladet. Sammenlignet med ploger med høy angrepsvinkel, vil ploger med lav angrepsvinkel ofte kaste snøen høyere og lengre bort fra vegen. Lav angrepsvinkel brukes derfor ofte på steder med mye snøfall. Lav angrepsvinkel er mindre motstandsdyktig mot humpete asfalt og kumløkk og det finnes derfor ulike typer slitestål (Klein-Paste, 2018).



Figur 1: Hovedelementene til en plog (Klein-Paste, 2018).

## 1.2 Utkast

Utkastet er snøen som kommer ut av plogbladet. I denne oppgaven skilles det mellom utkastprofil og brøyteprofil. Utkastprofil viser den ytterste banen (i y-z-planet) snøen følger fra den forlater plogen til den treffer bakken (Möller og Gabrielsson, 2010). Det sees bort fra skyer av løse snøkrystaller som ofte oppstår rundt profilen eller ved at snø spretter opp igjen etter at den har truffet bakken. Utkastprofil, illustrert i figur 10, deles inn i maks utkastlengde og maks utkasthøyde. Maks utkastlengde defineres i denne oppgaven som avstanden fra kjørebanelen til lengst utkastet snø. Maks utkasthøyde defineres i denne oppgaven som avstanden fra bakkenivå til høyest utkastet snø i luften. Brøytefordelingen beskriver hvor mye snø som blir lagt ved ulike avstander på tvers av kjøreretningen. Ryddeeffektivitet defineres som prosentvis andel snø fremfor plog som blir fjernet ved at plog kjører en gang over strekningen.

Det er mange variabler som påvirker plogens utkast. For eksempel snøtype, plogdesign, hastighet, helningsvinkel, angrepsvinkel, temperatur, belegg på plogen, normalkraft på plogen, asfalt, eventuelle hinder i vegen, høyde på snø som skal brøytes bort, og type snø. Ved å endre blant annet geometrien av plogbladet forsøker plogfabrikanter å optimalisere utkastet og lage ploger for et bestemt bruksområde.

## 1.3 utfordringer ved plogdesign

Når en plogprodusent ønsker å utvikle en ny plog, har dem per i dag ikke annet alternativ enn å lage den nye plogen i fullskala og teste den mot en annet plog i et feltforsøk. Dette er



ressurskrevende både i form av tid og kostnader. Fullskalaforsøk kan bare utføres på vinterhalvåret under de rette forholdene. Dette begrenser forsøksperioden, noe som gjør at det tar lang tid for plogfabrikanter å teste ut nye utforminger. Feltforsøk har svakheten at snøen varierer mellom ulike dager. Det er dermed vanskelig å sammenlikne forsøk hvor data er samlet inn med ulike snøtyper.

## 1.4 Muligheter ved modellforsøk

Denne studien vil undersøke om det er mulig å utføre tester på en nedskalert modell av plog. Det vil være gunstig for plogfabrikanter å kunne utføre tester på nedskalerte modeller av snøploger under kontrollerte forhold i laboratorium. Et modellforsøk vil kunne gjennomføres til alle tider innendørs på et laboratorium, og vil samtidig ikke være væravhengig. Forsøk i laboratoriet vil gjøre det mulig å endre én parameter om gangen og holde andre parametere konstante, og dermed teste det som er ønskelig å teste. En annen fordel er at en modellplog vil være mindre ressurskrevende å produsere sammenlignet med produksjon av en fullskala testplog. Dette kommer av at en modellplog vil være billigere å produsere, kreve mindre material og vil ta kortere tid å produsere. Det er også gunstig er at modellforsøket bare vil kreve én person for å kunne gjennomføres, og vil ikke være avhengig av at en yrkessjåfør kjører en brøytebil på testbane. Hele forsøket kan utføres på samme sted. Dette gjør det enklere å fortløpende gjøre små justeringer på plogdesignet, noe som kan gjøre forskningsprosessen mer effektiv.

Snølaboratoriet til NTNU har de nødvendige fasiliteter for å kunne utføre modellforsøk med det lineære testapparatet «The linear Test Apparatus», LARS. LARS er et 8,8 meter langt og 40 cm bredt testspor hvor plog kan kjøres i maksimalt 10 m/s. Dette gir mulighet til testing av ploger med opp til 1:10 nedskalering. Snømaskinen LUMI kan produsere kunstig nysnø, som er lik for hver test, året rundt.

## 1.5 Målsetning

I samråd med Øveraasen Motorfabrikk AS ble det bestemt at denne oppgaven skulle sette søkelys på utkastegenskapene til en snøplog. Målsetningen for denne oppgaven er derfor å finne ut om utkastprofil (maks utkastlengde og maks utkasthøyde) og brøytefordeling fra modellplog samsvarer med fullskala forsøk i felt.

## 1.6 Modellforsøk og feltforsøk

En 1:10 nedskalert modell av en Øveraasen DHS285 plog ble frest ut av en blokk aluminium og festet til friksjonsbanen LARS. Modellforsøk ble utført med en nedskalert asfalt (maks steinstørrelse 2 mm) og parameterne hastighet, snøhøyde og snøtype ble variert. Videokamera fra ulike vinkler filmet utkastet. Det ble utført feltforsøk i fullskala på plog Øveraasen DHS285 med filming av utkastmønster ved hastighet 40 km/t. For både modell- og feltforsøk ble brøytefordeling registrert ved å samle opp snø etter brøyting i områder ved siden av testbanen/kjørefeltet.

## 1.7 Forskningsspørsmål

Denne oppgaven undersøker tre forskningsspørsmål:

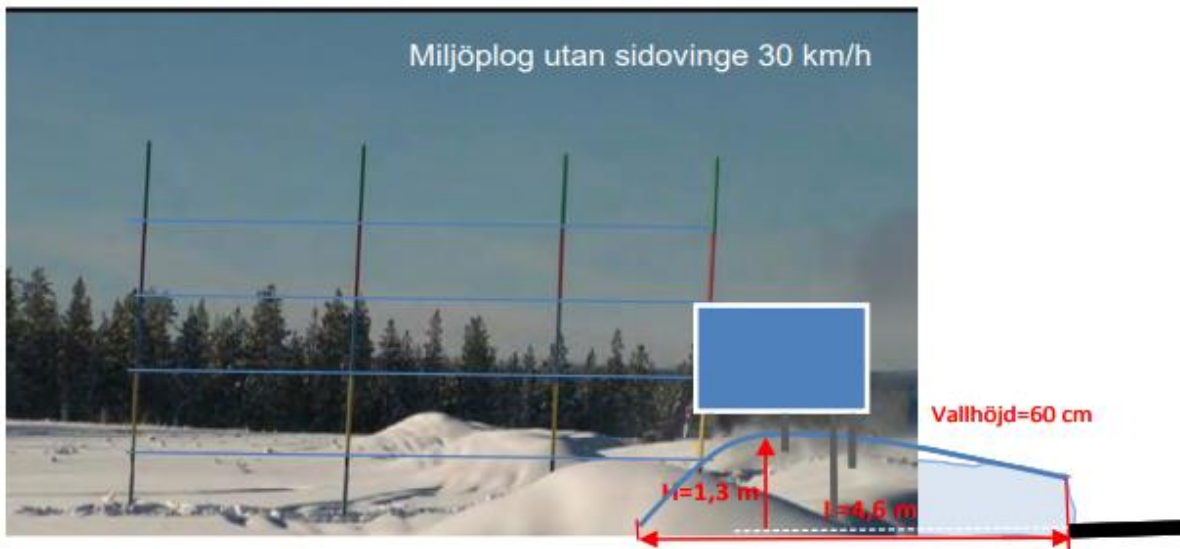
- Hvordan skaleres hastighet for å oppnå en tilsvarende (1:10 nedskalert) maks utkastlengde og maks utkasthøyde?
- Vil snøtype ha effekt på maks utkastlengde, maks utkasthøyde og brøytefordeling?
- Vil høyden på snølaget ha effekt på maks utkastlengde, maks utkasthøyde og brøytefordeling?

## 2 Tidligere gjennomførte studier

For å kunne gjennomføre denne studien har det blitt utført en litteraturstudie for å få oversikt over tidligere studier og prosjekter med plog som tema. Hensikten med dette var å lete etter tips og metoder som kunne videreutvikles for utførelse av feltforsøket i denne rapporten. Det ble funnet noen få studier av snøploger, og fokuset i disse studiene var rettet mot å finne og teste metoder som kan brukes til å utføre måling av utkast, ryddeeffektivitet, drivstofforbruk, brøytehastighet, støynivå, slitestål og utstyr til plog.

### 2.1 Utkast

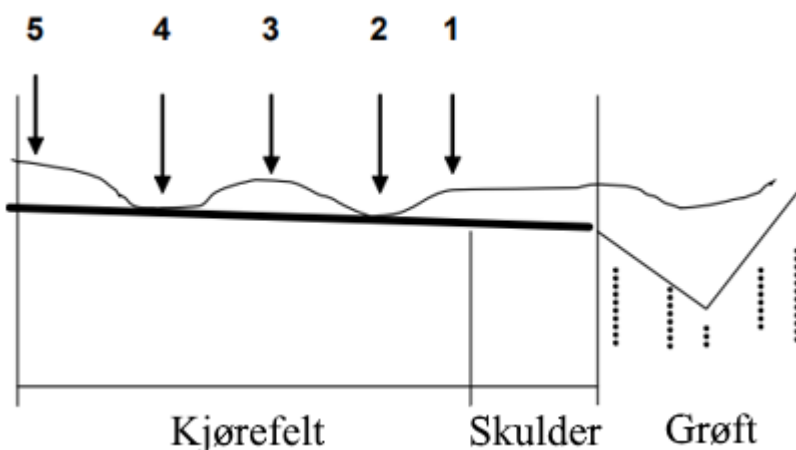
En rapport skrevet av Gabrielsson og Möller (2010, a) tar for seg hvordan måling av egenskaper hos en testplog og en referanseplog kan utføres i fullskala feltforsøk. Under feltforsøket kunne enten testbanen brukes med naturlig snø, eller prepareres med et lag snø som ble fordelt og jevnet ut. For å måle utkast ble det satt opp fire stenger med høyde fem meter, i avstandene 3, 6, 9 og 12 meter ut fra kjørebanelen. Hver stang ble delt inn i fem felt på en meter som ble malt i ulike farger, som vist i figur 2. Når testene skulle utføres ble ploget kjørt med hastighetene 30 km/t, 50 km/t og 70 km/t, og for å få høy nok akselerasjons- og retardasjonsavstander, var avstanden mellom ploget og stengene henholdsvis 150 meter, 300 meter og 450 meter. Dokumentering kan ifølge artikkelen gjøres ved hjelp av filming med kamera hvor stillbilder plukkes ut. Fra hjelpelinjer i stillbildet kan kastehøyde og kastelengde bestemmes (*Möller og Gabrielsson, 2010, a*).



Figur 2: Möller og Gabrielsson sin metode for måling av egenskaper hos plog (Möller og Gabrielsson, 2010, a).

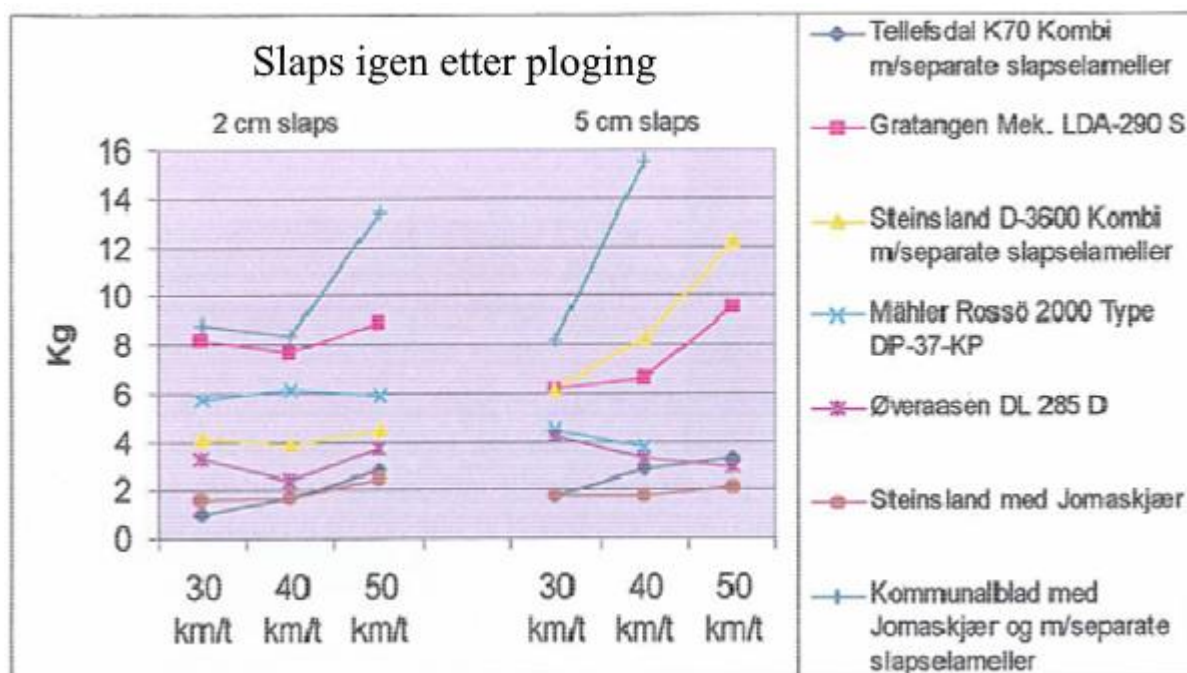
## 2.2 Ryddeeffektivitet

I rapporten nevnt ovenfor, av Möller og Gabrielsson (2010, a), ble ryddeeffektiviteten målt ved forskjellige hastigheter på en fullskala testbane i felt. Ryddeeffektiviteten ble vurdert ved å måle høyden av snølaget på testbanen før og etter brøyting ved hastighetene 30 km/t, 50 km/t og 70 km/t. Snøhøyden etter brøyting ble målt med linjal på fem ulike punkter, flere ganger, på en tenkt kjørebane som vist i figur 3 for så å finne middelverdien. Ryddeeffektiviteten ble i denne studien også testet på offentlig veg, hvor både en testplog og en referanseplog ble testet (Möller og Gabrielsson, 2010, a).



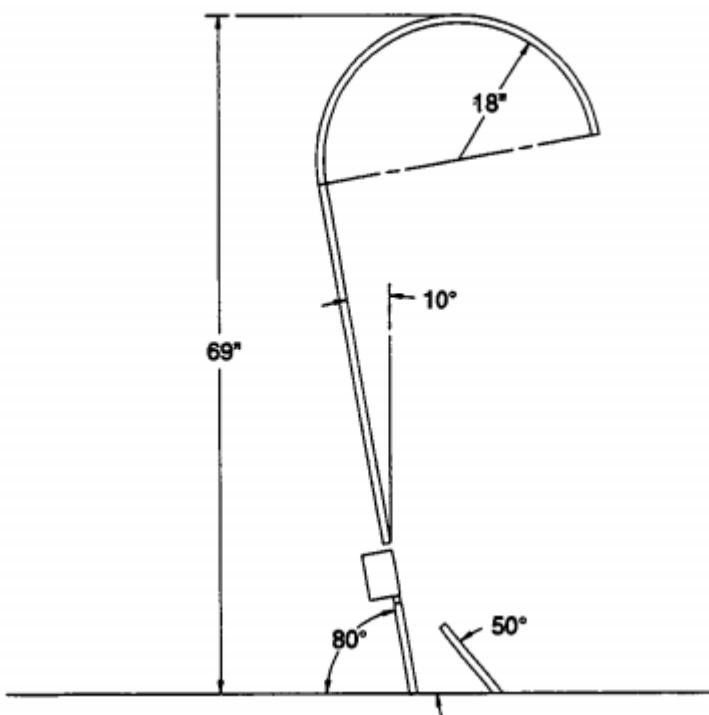
Figur 3: Kjørefeltet delt opp i fem punkter for måling av snøhøyde etter brøyting (Möller og Gabrielsson, 2010, a).

I et oppfølgingsprosjekt fra Statens Vegvesen (1993) ble fem nye snøploger sammenlignet med hverandre. Målet med prosjektet var å registrere ryddeeffektiviteten av snø og slaps på veg med sporslitasje. Slaps defineres som en blanding av vann i væskeform og is, og oppstår når snø og is smelter. Ved salting oppstår slaps ved lavere temperatur enn uten salt (Wikipedia, 2017). De utvalgte plogene var tilpasset til hovedveger med mye trafikk hvor det både eksisterte sporslitasje og salting. Plogene som ble brukt var Tellefsadal K70, GMI LDA-290 S, Steinsland kombiplog D-3600, Mähler Rossöplog 2000 og Øveraasen DL285D. Steinslandploggen hadde Jomaskjær, mens resten av plogene hadde plane stålskjær. Metoden under forsøket bestod både av at sjåfører observerte plogens visuelle egenskaper under ordinær drift, og testing på en avstengt testbane på 50 meter hvor spordybden var på ca. 10 mm. I enden av testbanen var det et 1 x 2 meter stort felt hvor prøver ble tatt. Slaps ble fylt ut på testbanen, og for hastighetene 30, 40 og 50 km/t ble det utført ett forsøk på et 2 cm høyt lag av slaps og ett forsøk på 5 cm. Andelen snø som lå igjen i prøvefeltet ble samlet opp og veid. Da det ikke ble utført mer enn ett forsøk for hver hastighet og høyde på lag av slaps, var det ikke mulig å si noe om hvor representativ resultatene er for plogens egenskaper. Figur 4 viser at ved hastigheten 50 km/t, for plogene som gav god ryddeeffekt, spilte mengde snø på kjørebanelen liten påvirkning på ryddeeffektiviteten. For plogene som gav dårligere ryddeeffektivitet hadde mengde snø større effekt på ryddeeffektiviteten (SV, 2001).



Figur 4: Slaps etter brøyting (SV, 2001).

Pell (1994) skreiv en rapport hvor han ledet et forskningsprosjekt med primær målsetningen å redusere energiforbruket med 20 %. Effektiv fjerning av snø krevde vurdering av snøens bevegelse fra den kom inn i plogbladet til den ble kastet ut. Snøens bevegelse gjennom plogbladet var sterkest avhengig av geometrien til slitestålet. For å hindre kompresjon av snø fremfor plogbladet ble det konkludert med at slitestålet burde ha en vinkel på 50 grader ( $\pm 10$  grader) i forhold til vegbanen. Studien konkluderer også med at en slik vinkel vil gi snøen lav akselerasjon og dermed kreve mindre energi da snøen vil bli mindre oppdelt. Geometrien av plogen rett over slitestålet viste seg å være av liten betydning for hvor mye kraft som krevdes for å få snø opp fra vegen, samt for retningen av snøen gjennom plogen. Forskningen viste likevel at en vinkel på plogens nedre del på 10 grader og flat nedre del fungerte bra. Figur 5 viser forskningsartikkelens anbefalte plogdesign. Lav akselerasjon på snø i plogbladet ble oppnådd ved å utforme plogbladet slik at det var kontinuerlig buet. For lav hastighet førte til at snø havnet fremfor plogen, og dette dominerte alle geometriske utforminger av plogen. Det ble i denne studien funnet ut at en hastighet på 36 km/t til 54 km/t vil kunne hindre at snø kasts ned fremfor plogen, og heller blir kastet ut fra vegen. Et høyt plogblad med stor radius på øvre del kan hindre at snø faller av plogbladet eller blåses over plogbladet og gir dårlig sikt. (Pell, 1994).



Figur 5: Anbefalt geometri for plog (Pell, 1994).

En dansk rapport fra Vinterudvalget (2004) baserer seg på subjektive systematiske vurderinger av ploger gjort av sjåførere. Det er få konkrete resultater ut fra vurderingene som ble tatt, men plogmodell Tellefsdals K70 var den som gav best ryddeeffektivitet for en høyde på laget med slaps opp mot 5 cm. For sweeper på plog gjaldt det at hastigheter opp mot 50 km/t gav god ryddeeffektivitet. Rapporten poengterer at det er viktig å passe på at fabrikantens forskrifter følges for å benytte seg av plogens egenskaper. Monteringsfeil kan føre til slitasje på plog og skjær og føre til dårligere ryddeeffektivitet (Vinterudvalget, 2004).

I Rosten (2011) sin rapport ble det sett på ryddeeffekt ved fullskala felt- og testbaneforsøk. Ryddeeffekten av brøytingen ble målt ved å plassere ut en ramme på 1 x 1,5 meter før og etter at snøen ble brøytet. Snøen innenfor rammen ble samlet opp ved å bruke en spade og en svaber, og deretter ble massen til oppsamlet snø veid. Dokumentering ble gjort ved å ta bilder før, underveis og etter brøyting. Snøplogens hastighet ble målt med speedometeret til brøytebilen. Det ble indikert at økning av hastigheten til snøplogen gav reduksjon av ryddeeffekten. Det viste seg at brøyteutstyret gav dårligere ryddeeffektivitet på veg med sporslitasje i forhold til veg uten sporslitasje (Rosten, 2011).

### 2.3 Drivstofforbruk

Möller og Gabrielsson (2010, a) gjennomførte en metode for undersøkelse av drivstofforbruk under brøyting i fullskala på offentlig veg hvor målinger ble utført i hastighetene 40 og 70 km/t for både en testplog og en referanseplog. Plogens drivstoffmåler kan brukes til å måle gjennomsnittlig drivstofforbruk (Möller og Gabrielsson, 2010, a).

Möller og Gabrielsson (2011) utførte nye tester da det viste seg at verdiene for støynivå utenfor og inne i førerhuset, drivstofforbruk og slitasje på slitestålet ikke var representative for normale plogforhold. Disse testene ble presentert i en ny forskningsartikkel, «Meirenplogen Kompletterande mätningar av buller, bränsleförbrukning och slitage på plogskär» som ble utgitt i 2011. En meirenplog ble testet mot en referanseplog. Det ble da målt støynivå både utenfor og inne i førerhuset i 30, 50 og 70 km/t, og av støynivå i førerhuset, drivstofforbruk og slitasje i 40 og 70 km/t. Feltforsøkene viste at Meiren snøplog brukte 20 % mer drivstoff enn Referanseplogen. Ved å øke hastigheten på begge plogene fra 40 til 70 km/t økte drivstofforbruket med 20 % for begge plogene (Möller og Gabrielsson, 2011).

## 2.4 Brøytehastighet

Emoto og Ohta (1997) skreiv en rapport som omhandlet forskning på kødannelse ved brøyting med mekanisk drevet høyhastighets snøfreser. Fullskala feltforsøk viste at en smal plog gav mulighet til raskere hastighet på plogen, som resulterte i mindre kødannelse. Feltforsøk i fullskala ble utført og faktorene hastighet og bredde på plogen ble tatt hensyn til. Den opprinnelige køen ble kartlagt, forbedringer på plogen ble gjort og virkninger av tiltak ble registrert. Det ble funnet at en reduksjon av plogbredde fra 2,6 til 2,2 meter gav en mulighet til å øke hastigheten på plogen fra 40 km/t til 49 km/t (Emoto og Ohta, 1997).

I rapporten til Rosten (2011) ble det utført fullskala feltforsøk med fire forskjellige ploger på veg uten sporslitasje. Tre av plogene hadde en angrepsvinkel på 70 til 75 grader, mens plog nummer fire var en diagonalplog og hadde angrepsvinkel på 40 grader. Feltforsøk utført med slaps hvor både gummi küper- og slettstål skjær ble benyttet viser at fire ulike ploger leverte bedre ryddeeffektivitet ved hastigheten 40 km/t sammenlignet med 60 km/t og 80 km/t. Feltforsøk hvor det lå tørr snø gav enda lavere ryddeeffektivitet når hastigheten til plogen ble økt. Ved en hastighet mellom 75 til 80 km/t oppstod det for mye motstand i plogen, og plogen begynte dermed å hoppe og gi dårlig ryddeeffektivitet (Rosten, 2011).

Det svenske vegverket (2010) gav ut en rapport hvor plogene Miljöplogen, Meirenplogen og Mächler sideplog S45 ble testet. Hensikten var å produsere en lett plog til høyere hastigheter enn 40 km/t. En lett plog ble utviklet på ca. 750 kg med skjærvinkel på 55 grader, og med hjul som var spesielt egnet til å tåle høye hastigheter opp mot 70 km/t. Miljöplogen ble sammenlignet med en referanseplog, Svedala-Arbrå 95-36, i 30, 50 og 70 km/t hvor snødybden var 10 til 15 cm.

Målingen av snøen som lå igjen etter brøyting ble utført ved å bruke linjal og måle høyden av snøen som lå igjen etter brøyting ved venstre hjulspor, i midten av kjørefeltet, i høyre hjulspor og i vegkanten. Resultatene viste at ved 30 km/t lå det dobbelt så mye snø igjen i vegkanten etter referanseplogen i forhold til Miljöplogen. De resterende tre høydene på snølaget etter brøyting var ganske likt for miljøplogen og referanseplogen. Ved 50 km/t la referanseplogen igjen dobbelt så mye snø sammenlignet med Miljöplogen for alle fire målingene av høyden. I 70 km/t var det fremdeles Miljöplogen som gav best ryddeeffektivitet, men den gav noe dårligere resultater enn ved 50 km/t. Referanseplogen derimot gav bedre ryddeeffektivitet ved 70 km/t enn ved 50 km/t. Meirenplogen og referanseplogen, Rossöplog 37, ble også sammenlignet ved hastighetene 30, 50 og 70 km/t. Det viste seg at i 30 km/t hadde disse to plogene samme ryddeeffektivitet. Når hastigheten var 50 km/t endret ikke ryddeeffektiviteten seg for Meirenplogen, mens for referanseplogen ble effektiviteten dårligere. Ved en hastighet på 70 km/t hadde referanseplogen



bedre ryddeeffektivitet enn ved 50 km/t. Meirenpløgen derimot fikk dårligere ryddeeffektivitet ved 70 km/t. Rapporten informerer også om at når vegen hadde sporslitasje ble ryddeeffektiviteten dårligere enn den var for veg uten sporslitasje (Möller og Gabrielsson, 2010, b).

## 2.5 Støynivå

Ifølge en rapport fra Statens Vegvesen fører brøyting til støy i omgivelsene (SV, 1993). Testing av støynivå utenfor pløgen og i førerhuset i fullskala feltforsøk med forskjellige hastigheter både på en testbane og på en offentlig veg ble gjennomført av Möller og Gabrielsson (2010, a). Det ble konkludert med at måling av støynivå utenfor bilen kan utføres i 30, 50 og 70 km/t, og at støymåler kan plasseres 1,25 meter over bakkenivå og 7,5 meter fra midten av kjørebane. Ifølge rapporten kan maksimalt støynivå registreres når pløgen kjører 3 ganger frem og tilbake. Mikrofon til støymåleren kan plasseres i midten mellom fører- og passasjer-setet i høyde med øret til føreren. Testpløgen og referansepløgen burde ifølge rapporten kjøre med hastighetene 40 og 70 km/t, og gjennomsnittlig støynivå kan registreres under 30 sekunder (Möller og Gabrielsson, 2010, a).

## 2.6 Slitestålet

Möller og Gabrielsson (2010) gjennomførte en metode i fullskala for å måle slitasje på slitestålet ved forskjellige hastigheter på offentlig veg. Metoden går ut på at en testpløge og en referansepløge blir kjørt i både 40 og 70 km/t på en strekning på 80-100 km. Deretter anbefales det i denne metoden at slitasje på slitestålet måles ved å registrere avstanden mellom nedre monteringshjul og bunnen av slitestålet (Möller og Gabrielsson, 2010, a).

Möller og Gabrielsson (2010, a) gjennomførte fullskala testforsøk for testing av skjæreevnen til slitestålet på pløgen. Det ble testet på hardpakket snø med bredde og lengde på henholdsvis 10 meter og 400 meter. Det uforstyrrede snølaget som ble brukt hadde en tykkelse på 10 cm til 20 cm. Den hardpakke snøen ble dannet ved å la snøen ligge urørt noen dager med en temperatur mellom -10°C og -20°C. En voksen person kunne dermed gå på den hardpakke snøen uten å trå igjennom snølaget. Videre går metoden ut på å måle høyden av snølaget før brøyting ved å måle testområdet i seksjoner. Et eksempel som blir nevnt i rapporten er å måle dybden på snølaget med intervallene 2 meter sideveis og 20 meter på langs. Testing av skjæreevne kan utføres med en hastighet mellom 30 km/t – 40 km/t for både testpløgen og referansepløgen. Det ble i

forskningsartikkelen beskrevet at måling av plogens ryddeeffekt, maks utkasthøyde og maks utkastlengde kan måles samtidig for å forsikre en tids- og arbeidsbesparende måte å utføre feltforsøk på (Möller og Gabrielsson, 2010, a).

Nixon (1993) forsket på effekten av geometri og kraft på slitestål for fjerning av is på veg, og forbedring av geometrien på bladet. Resultat fra dette viste at angrepsvinkel og slitestålbredden var de mest avgjørende parameterne for fjerning av is. Angrepsvinkel, skråstilling og temperatur hadde liten effekt på kraften som krevdes for å skrape bort is fra asfalt. Testing av forbedrede vinkel og slitestålbredde for fullskala prototype, med to eksisterende ploger som referanseploger, viser store forbedringer (Nixon, 1993).

## 2.7 Plogutstyr

Möller og Gabrielsson (2010, a) utførte målinger på tidsbruken på uttaging og inntak av sideplog. Metoden går ut på at plogen står parkert, mens tiden tas fra sideplogen er på innerste til ytterste stilling. Tiden for å dra inn sideplogen gjøres på samme måte, men da kjøres sideplogen fra ytterste til innerste stilling (Möller og Gabrielsson, 2010, a).

En rapport av Statens Vegvesen (1993) tok for seg 16 forskjellige typer utstyr for snørydding som brukes til å rydde bort slaps og snø. Forsøkene ble utført på Hardangervidda hvor det ikke var noe sporslitasje i asfalten. Metoden for testing av utstyret gikk ut på at sjåfører som kjørte plog og brukte utstyr gav tilbakemelding på funksjon og resultat ved bruk av utstyret. Deretter ble det utført fullskala feltforsøk hvor mengde snø eller slaps og friksjon ble målt før og etter brøyting. Resultatene gav at diagonalplogen som ble brukt med forskjellige utstyr gav best ryddeeffektivitet. Videre viste resultatene at kombinerte ploger med skjær og slapselameller gav gode resultater, men for disse tilfellene lå det igjen et tynt lag med snø eller slaps etter brøyting. Det ble likevel vurdert at utstyret hadde en bra ryddeeffekt for både slaps og is, når plogen hadde en hastighet på ca. 40 km/t og slapsekaren hadde en hastighet mellom 40 til 60 km/t. Slapsekaren viste seg å ha best ryddeeffektivitet av alle utprøvde utstyr i denne rapporten. For et 2 cm høyt lag med slaps sank ryddeeffektiviteten når hastigheten ble høyere. Denne tendensen kom også frem når et 5 cm høyt lag med slaps ble testet. Koster gav best resultat når laget med slaps var tynt og hastigheten var under 30 km/t. Ved høyere hastigheter burde derfor koster brukes i kombinasjon med andet utstyr. I denne rapporten ble det konkludert at det var stor forskjell mellom disse seks plogtypene, det oppstod en dårligere ryddeeffektivitet ved hastighet over 40 km/t. Det ble også observert god effekt av slapselameller og kombinert stål/gummiskjær. De plogene som ryddet best

hadde best friksjon, og plogene som gav minst støy var de som hvilte på slapselamellene (SV, 1993).

Riger og Mazur (1979) utførte fullskalatesting i felt av en plog hvor luft ble blåst på plogen slik at luften fungerte som et mellomlag mellom plog og snø. Plogen møtte da mindre motstand og fikk mindre slitasje. Det ble utført tester med hastigheter som viste at konseptet fungerte. Luften mellom snøen og plogbladet gav en friksjonsfri overflate. Uten friksjon bevegde snøen seg helt ukontrollerbar i plogbladet. Det ble designet et nytt plogblad som gav kontrollerbare utkast av snø, samtidig som den lave friksjonen ble utnyttet. Med det nye plogbladet ble snøen, ved lav kjørehastighet, kastet langt bort fra plogen. Dette kom av den høye hastigheten på luftlaget mellom plogbladet og snøen. Det ble vist at å blåse et luftlag mellom plogbladet og snøen i bladet er mulig å utføre. Videre ble det foreslått at denne metoden kanskje kan være en fordel ved bruk av ploger med høy hastighet eller for effektivisering av brøyting med lav hastighet (Riger og Mazur, 1979).

Under prosjektet Salt SMART til Statens Vegvesen ligger et prosjekt av Vaa og Svanekil (2009) hvor utstyr på ploger ble testet. Slapsekaren, Jet Broom fra Boschhung med plog, børste, blåsefunksjon og saltspreder ble testet ut på en testbane. En ombygd RSS 200 av Øveraasen, og modifisert høvel med slapsegrid fra Pon Equipment ble også testet. Jet Boom hadde original plog og skjærutstyr levert av fabrikken, mens alt annet plogutstyr hadde skjær av typen Joma 6000 og plog type Tellefsdal K70. Det ble gjennomført en test på kram snø i 40 km/t, og fem tester på slaps i 30, 40 og 50 km/t. Kram snø oppstår når temperaturen er over eller lik frysepunktet. Denne konsistensen er lett å forme (Wikipedia, 2019). I samtlige forsøk hadde høvelen fra Pon 5 til 10 km/t lavere hastighet. Det ble brukt en høvel til å plassere ut snø og slaps på forsøksbanen. Etter brøyting ble en stålramme med dimensjon 3 x 1 meter plassert på kjørebanelen. En støvsuger ble brukt til å samle opp snø eller slaps som ble værende igjen etter brøyting. Ved bruk av kram snø lå det 7 til 8 cm igjen på banen, og ved bruk av slaps lå det 3 til 6 cm igjen på banen. Jet Broom hadde god ryddeeffekt på alle utførte tester, mens høvelen fra Pon gav nest best resultater. På slaps hadde RSS 200 god ryddeeffekt, men gav dårlig effekt på kram snø. Ut fra rapporten så det ut til at ryddeeffektiviteten ble dårligere når hastigheten økte, men utstyret gav god ryddeeffektivitet opp til 50 km/t. Høvelen fra Pon Equipment og RSS 200 fra Øveraasen ble brukt til test på sporslitt veg, og resultatene viste at begge viste gode nok resultater for ryddeeffektivitet når spordybden var under 15 til 20 mm. En spordybde på 50 til 60 cm gav dårlig ryddeeffektivitet for begge utstyrene (Vaa og Svanekil, 2009).

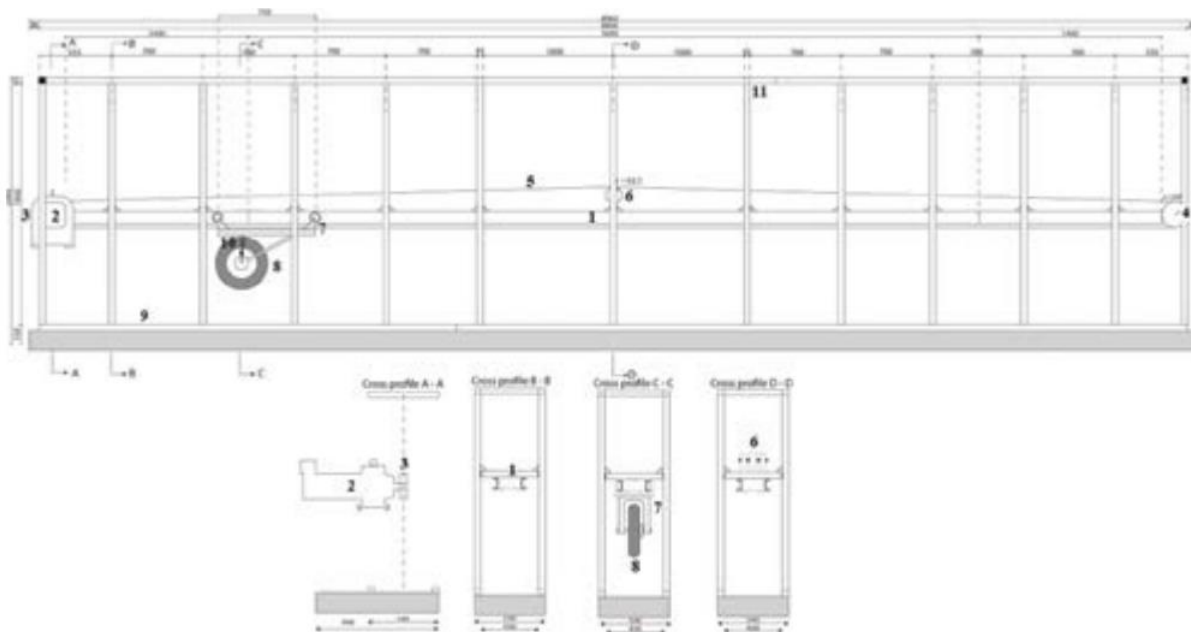
I forbindelse med 0-visjonprosjektet Trafikksikkerhet Lillehammer gjennomførte Giæver, Lindland og Vaa (2016) et prosjekt hvor det var ønskelig å undersøke kvaliteten på utstyr og ploger fra fabrikant i forhold til standardkrav, hvordan trafikksikkerheten blir påvirket av snø og ryddeeffektiviteten under snøfall. Det ble utført feltforsøk med plog under ordinær drift og på Rv 4 ved Raufoss. Plogene som ble brukt til forsøkene var: Seksjonsplog Tarron fra Schmidt Norge, Tellefsdals K70 med slapselameller, Rossöplog med fjærende skjærseksjoner, diagonalplog VD 4000 Tellefsdal med Joma 6000 skjær. Disse plogene ble evaluert av sjåførere, og det viste seg at Tellefsdal K70 var den plogen som hadde best ryddeeffektivitet sammenlignet med de andre. I 2005 ble en Øveraasen diagonalplog med RSC sweeper, stålbørste, hardmetall slitestål, og regulerbar vifte brukt i feltforsøk. Resultatene fra feltforsøk viste at sweeper gjør at vegbanen raskere tørker, og at mer av kompakt snø fra trafikk ble fjernet, og at mye snø ble blåst bort av viften. For fuktig veg tydet det i dette prosjektet på at bruk av sweeper kan være effektivt. For å måle ryddeeffektiviteten ble snø eller slaps plassert ut over en strekning på 50 meter. I siste del av strekningen ble en ramme på 1 x 2 meter brukt til å måle vekt av snø før og etter brøyting i rammen. Hastigheten til plogen ble målt med radar, og varierte mellom 23 til 36 km/t. For forsøkene med løs snø ble utført med spordybde på 3,5 cm og sporbredde på 75 cm. Selv ved lav hastighet forårsaket spordybden at det lå en del snø igjen etter brøyting. Videre kom det frem i prosjektet at å koste etter brøyting gav godt resultat. Det ble også vist at det var liten forskjell mellom plog med og uten slapselameller. Siden underlaget i forsøkene bestod av ruglete is og snøen som ble brukt i forsøket hadde høyere egenvekt enn nysnø, er brøyteforsøkene lite karakteristisk for brøyting på bar veg. Forsøkene med bruk av slaps ble utført uten sporslitasje på vegen, og slaps ble laget ved å tilsette salt i snøen på testbanen. For forsøk med 2 til 3 cm slaps hvor hastigheten til plogen var mellom 30 km/t til 39 km/t viste det seg at plog med slapselameller gav god ryddeeffektivitet. Kosting etter dette resulterte i nærmest null slaps igjen på vegen. Ved å bare koste vegen derimot ble ryddeeffektivitet 60 % (Giæver, Lindland og Vaa, 2016).

### 3. Metode

#### 3.1 Metode for feltforsøk

##### 3.1.1 Modellplogen

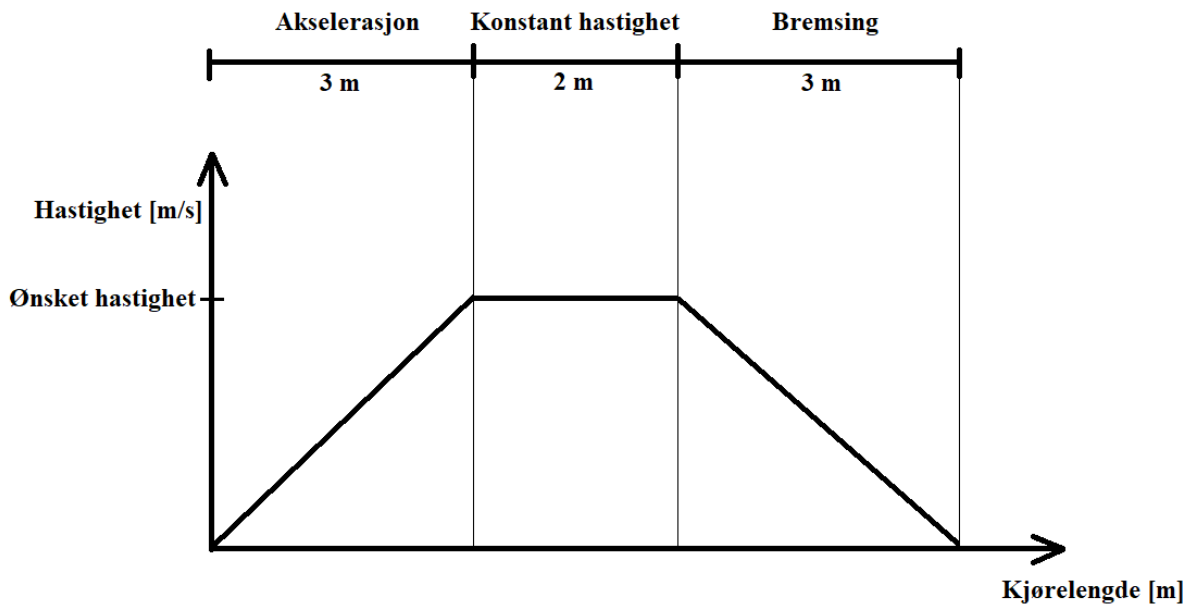
Modelltesting av en spesifikk testplog ble utført på vinterlaboratoriet på NTNU med det lineære testapparatet «The linear Test Apparatus», LARS (Giudici m.fl., 2017). LARS består blant annet av et 8,8 meter langt testspor og en vogn som forflytter seg langs sporet. Figur 6 illustrerer LARS.



Figur 6: LARS (Giudici m.fl., 2017).

En 1:10 modell av en Øveraasen DHS 285 ble frest ut av aluminium, montert på vognen, og justert med en glippe på 0,1 mm mellom testbanen og skjæringskanten av plogen.

Hver test startet med at plogen ble akselerert opp til en hastighet mellom 0,1 og 4 m/s i løpet av de tre første meterne. De neste to meterne holdt plogen denne hastigheten. Deretter bremses plogen opp over de tre siste meterne og stoppet. Plogens bevegelse langs testbanen er skissert i figur 7. På strekningen hvor plogen kjører med konstant hastighet ble underlaget byttet ut med nedskalert asfalt (maks 2 mm).



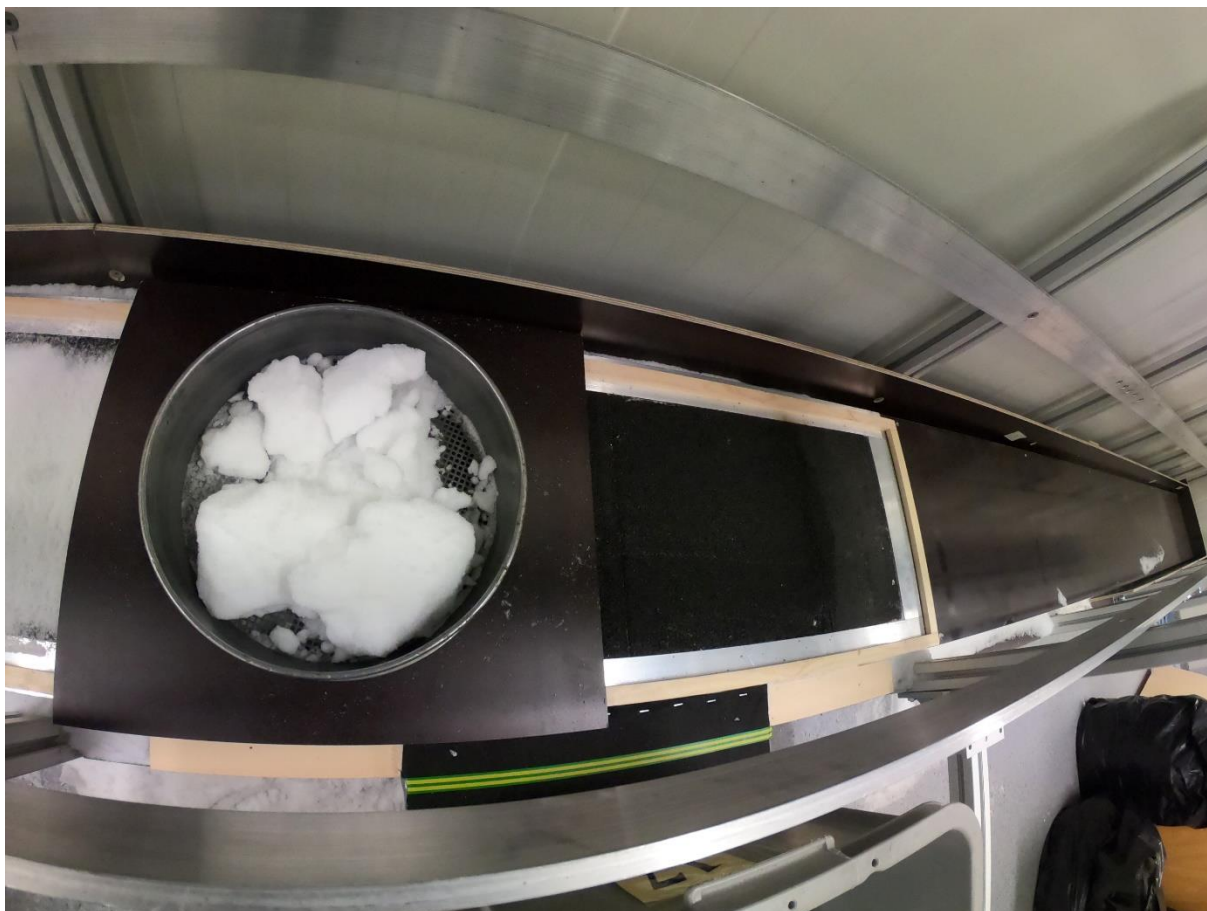
Figur 7: Plogens bevegelse langs testbanen.

### 3.1.2 Snø

Til forsøkene ble det benyttet snø hentet fra naturen (heretter omtalt som natursnø) og laboratorieproduisert nysnø (heretter omtalt som labsnø). Natursnø ble hentet utenfra den 15.mars 2019, samlet opp i søppelsekker og lagret på laboratorium i -5 grader. Labsnø ble produsert på laboratorium i snømaskin LUMI ved -25 grader, og oppbevart som natursnøen (Giudici m.fl., 2017). Et snølag på enten 10 mm eller 5 mm ble lagt på asfalten. Dette tilsvarte henholdsvis 10 cm og 5 cm snø i full-skala. For å gjøre dette ble det laget to rammer som var 10 mm og 5 mm høye, 2000 mm lange og 350 mm brede. Tettheten av snølaget ble målt ved å veie mengde snø som ble fordelt på asfaltområdet innenfor rammen.

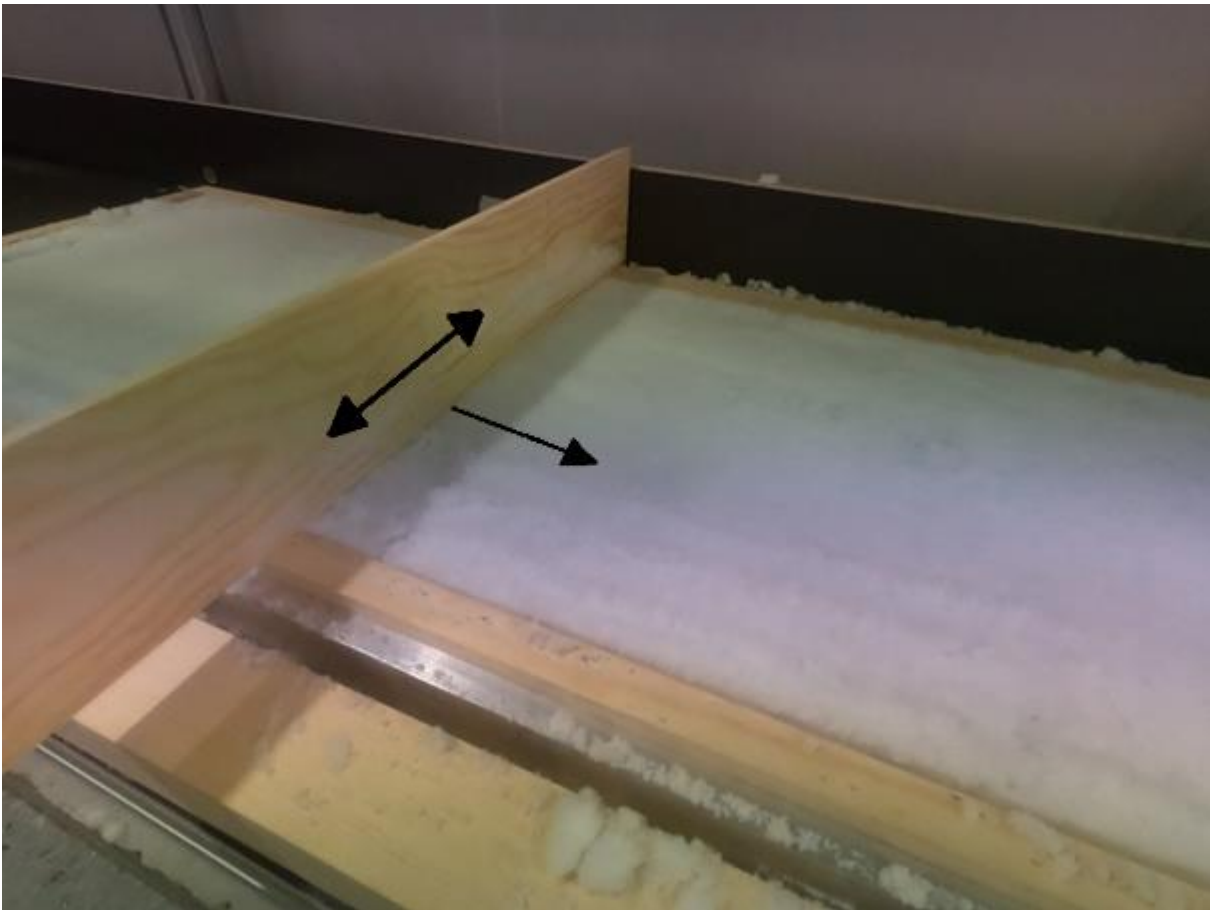
Det viste seg at snøtypen som ble brukt under hvert enkelt forsøk bestemte hvordan snøen skulle legges ut på asfaltområdet. Natursnø ble fordelt på det asfalterte området ved bruk av et glidesystem bestående av en treplate med et sentrisk hull og en rund sikt med 4 mm sikte og diameter på 40 cm. Treplaten ble plassert på en av rammene nevnt ovenfor. For at silen skulle holde seg innenfor rammen ble det festet to parallelle klosser på undersiden av treplaten med en plassering slik at de lå utenfor rammen. Silen kunne dermed forskyves fritt langs rammen uten å gli av på siden.

Oppbevaring av natursnø ved -5 grader gav klumpete snø. For å skape et finkornet lag av snø på asfaltlaget ble snøklumper av natursnø gnidd mot silen. Silen ble vridd, ristet og skyvet på for å fordele snøen jevnt over asfaltlaget som vist i figur 8.



*Figur 8: Siling av natursnø.*

Labsnø ble fordelt ved å helle snø over i silen og riste på den. Deretter ble en smal planke plassert hvilende på rammen. Planken ble brukt til å fjerne overskudd av snø utenfor rammen ved å bevege planken frem og tilbake på tvers av kjørebanelen og samtidig i lengderetningen med en hastighet på 10 mm/s som vist i figur 9.



*Figur 9: Fremgangsmåte for fjerning av overflødig labsnø.*

Lufttemperaturen på laboratoriet ble holdt til ca.  $-5^{\circ}\text{C}$ . Temperaturen på snøen ble målt med et PT1000 probe thermometer (Ebro TFX 410-1) etter at snøen ble plassert på asfaltområdet.

### 3.1.3 Utkast

For å beskrive utkast er det nødvendig med et koordinatsystem, som vist i figur 10. Positiv x-retning er definert i kjøreretning, positiv z-retning er definert i høyderetningen, negativ y-retning er definert i retning av maks utkastlengde, og origo punktet legges på ytterkant av plogen på bakken. (Möller og Gabrielsson, 2010, a)

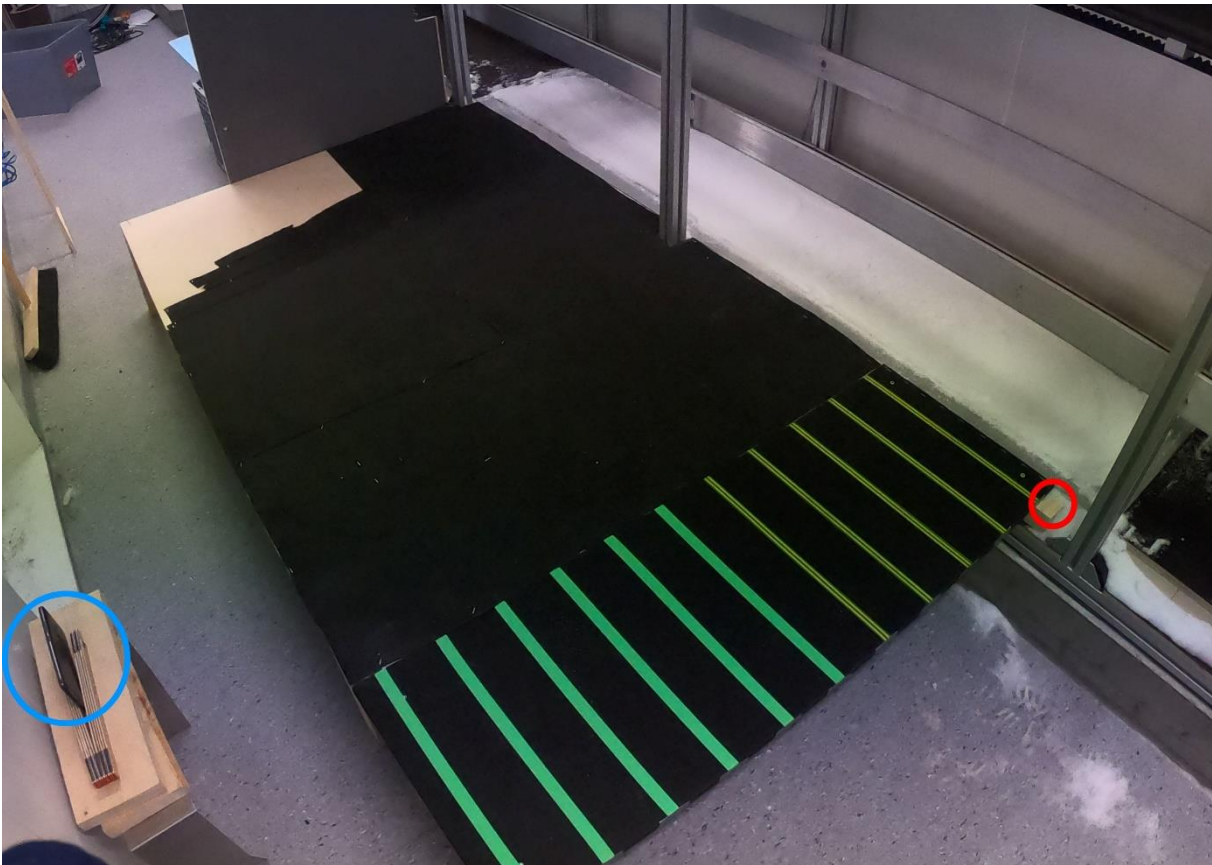
Utkastprofil viser den ytterste banen (i y-z-planet) snøen følger fra den forlater plogen til den treffer bakken. Det sees bort fra skyer av løse snøkrystaller som ofte oppstår rundt profilen eller ved at snø spretter opp igjen etter at den har truffet bakken. Utkastprofil og koordinatsystem er illustrert i Figur 10.



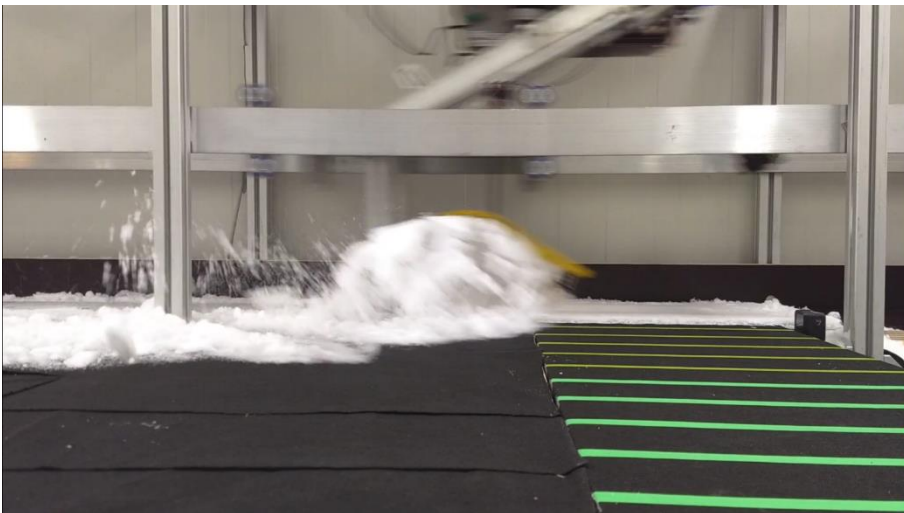


Figur 10: Utkastprofil og koordinatsystem sett fra GoPro-kameraL1.

Utkastprofiler ble filmet fra ulike vinkler med to GoPro-kameraer og et mobilkamera. GoPro-kameraL1 ble plassert ved testbanens høyde mot kjøreretningen som vist i figur 11. Dette kameraet filmet y-z-planet mens plogen bevegde seg mot kameraet. GoPro-kameraL2 ble festet på plogen med kameranlinen vendt ovenfra og ned mot plogen, som vist i figur 13 og figur 14. Mobilkameraet ble plassert vinkelrett mot kjøreretningen, som vist i figur 11 og figur 12. Videoer fra GoPro-kameraL1 ble brukt til å lage stillbilde (Möller og Gabrielsson, 2010, a) hvor avstanden mellom plog og kamera er (nærmest mulig) lik for alle forsøkene. Stillbildene ble brukt til å tegne utkastprofiler, og ved bruk av den kjente høyden på plogen (19 cm) ble utkastprofilene plassert i koordinatsystemer. GoPro-kameraL2 ble brukt til å måle avstanden fra plog til punktet hvor utkastprofilen traff bakken (maks utkastlengde). Denne avstanden ble sjekket opp mot utkastprofiler funnet fra GoPro-kameraL1. For forsøk hvor hastigheten var på 4 m/s ble maks utkastlengde brukt til å anta den delen av utkastprofilet som var utenfor kameranlinen. Kamerafilmene fra mobil ble brukt til å undersøke om snøen bevegde seg gjennom plogen eller om plogen dyttet snøen fremfor seg.



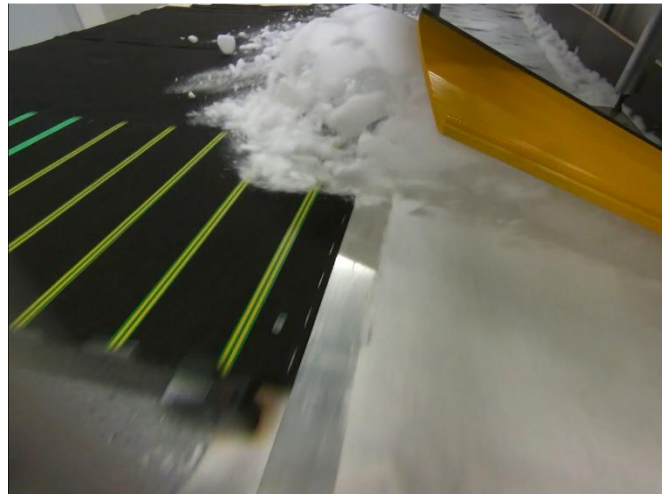
*Figur 11: Oversiktsbilde som viser plassering av GoPro-kameraL1 (markert med rød sirkel) og mobilkamera (markert med blå sirkel).*



*Figur 12: Filmvinkel fra mobilkamera.*



*Figur 14: Filmvinkel fra GoPro-kamera L2.*



*Figur 13: Filmvinkel fra GoPro-kamera L1.*

For å måle brøytefordelingen ble det satt opp en plate (2 x 1,1 m) i høyde med testbanen. For å skape friksjon på platen ble den dekket med fiberduk. Dette hindret snø fra utkastet i å skli av platen og havne på gulvet. Det ble brukt tape til å dele platen opp i 11 felt med bredde 10 cm og lengde 40 cm hvor første felt startet rett ved asfaltlaget.

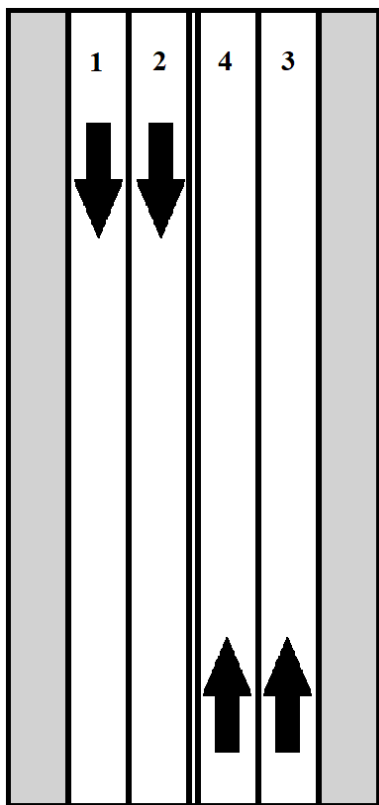
Det ble utført tetthetsmålinger på ploget snø, i hvert oppmerket felt, ved bruk av et gjennomsiktig plastrør med diameter 7,5 cm. Plastrøret ble presset ned i snøen, en metallplate ble skjøvet under røret, og høyden og vekten av snø i røret ble målt. Massen av snø innenfor hvert felt ble målt etter at ploget hadde brøytet snø, og til slutt ble ryddeeffektiviteten registrert ved å veie snø som lå igjen på asfaltområdet (Rosten, 2011) og (SV, 2001).

## 3.2 Metode feltforsøk

Fullskala feltforsøk ble utført på Trysil flyplass med en Øveraasen DHS 285 diagonal plog, og målet med feltforsøket var å skaffe referansedata for et typisk utkast av snø fra denne ploget. Utkastprofilen og brøyteprofilen ble dokumentert på tilsvarende måte som i laboratorieforsøket. Underlaget bestod av kompakt snø, og det hadde snødd 9,25 cm nysnø dagen før testene ble utført. Lufttemperaturen var på  $-5^{\circ}\text{C}$  og det var vindstille og sol under utførelsen av forsøkene. Det ble brukt (nærmest) uberørt snø, noe som begrenset antall forsøk som kunne gjennomføres.

### 3.2.1 Testbanens fasiliteter og klargjøring

Testbanen, med lengde 800 meter og bredde 18 meter, ble klargjort ved at snø ble ryddet bort langs kanten av begge langsidene (i figur 25 markert med grå). Feltforsøkene ble utført i rekkefølgen 1, 2, 3, og 4 og med retning som vist i figur 24. Plogen brukte første halvdel av banen til å akselerere opp til hastighetene 41 km/t (test 1, 2, og 4) og 43 km/t (test 2). Etter denne halvdel ble måleutstyr plassert til høyre for hvert forsøksfelt.



Figur 24: Utførelse av feltforsøk 1, 2, 3 og 4 skissert.

### 3.2.2 Måling av forholdene på banen

Snøtemperaturen ble målt med et PT1000 probe thermometer (Ebro TFX 410-1) som ble plassert i snøen. Tettheten av snøen ble målt både av nysnø og brøytet snø.

Tetthet av snø på testbanen ble målt ved bruk av sylindermålere av metall med høyde 150 mm og diameter 167 mm. Snø ble samlet opp av sylindere ved å plassere sylindere i snøen, skyve en treplate under snølaget, og veie oppsamlet snø. Snølagets høyde ble målt ved å stikke en pinne i snøen til den traff bakken, markere hvor mye av pinnen som ble dekket av snø, og måle denne

lengden med et målebånd. Det ble utført 8 tetthetsmålinger. 6 målinger ble utført i urørt snø og 2 målinger ble gjort i ploget snø.

GoPro-kameraF1 ble plassert -2 meter i y-retning og 12,25 meter i x-retning, filmende mot kjøreretningen. En målestang ble plassert i synsfeltet til GoPro-Kameraet, slik at høydemetrene kunne leses av fra filmen. Kameraets plassering vises i figur 26, markert som en rød sirkel



Figur 25: Målestang, trerammer og koordinatsystem



Figur 26: Plassering av GoPro-kameraF1

Utkastprofiler ble tegnet og plassert i koordinatsystemer ved å bruke en kjent lengde på målestangen.

Til måling av brøytefordelingen ble det benyttet tre rektangulære rammer, i størrelsen 1 m x 0,5 m, som ble lagt ut ved siden av hverandre med den lengste flaten liggende langs med kjørebanelen. Rammene nærmest plogen ble plassert mellom 2 og 3 meter i y-retning, deretter ble de to neste plassert på utsiden av den som vist i figur 27.



*Figur 27: Plassering av målestang og trerammer*

#### Kjøring av forsøk, hastighet og målinger

Snøplogen kjørte og brøytet snø over til det snøfrie området. Hastigheten på plogen var 41 km/t i forsøk 1, 3, og 4. For forsøk 2 ble hastighet 43 km/t brukt. Etter brøyting ble det utført målinger på snøen. Lengden på lengst utkastet snø ble målt for hvert forsøk. Deretter ble plasseringen av tre rammene målt etter plogging, samt vekten av ploget snø som havnet innenfor hver ramme.



## 4 Resultater

Det ble utført 22 modellforsøk og 4 feltforsøk, og resultater fra målingene vises i vedlegg 1.

### 4.1 Utkastprofil fra modellforsøk med natursnø og labsnø

Tabell 1 viser stillbilder av videoer fra GoPro-kameraL1 fra modelltesting i laboratoriet ved ulike hastigheter. Venstre kolonne viser 1 cm natursnø, og høyre kolonne viser 1 cm labsnø. Tetthet til labsnø var lavere enn tettheten til natursnø. Tabell 1 viser hvordan snø flyter gjennom plogen og utkastprofiler ved ulike hastigheter, hvor hastigheten varierer fra og med 0,1 m/s til om med 4 m/s.

#### 4.1.1 Natursnø

For natursnø (venstre kolonne i tabell 1) gjaldt det at fra 0,1 m/s til og med 1 m/s klatret snøen litt oppover plogbladet, men ble hovedsakelig skjøvet fremover. Plogen kan her sammenlignes nærmest med en snøskuff. Fra og med 2 m/s fikk snøen rullende bevegelse. Ved 2 m/s falt snøen før den hadde fullført hele plogens bue, og mye snø ble ligger nærme plogen. For hastighetene 3 m/s og 4 m/s fløyt snøen langs hele plogbladet, og høyere hastighet gav betydelig stort forskjell i maks utkastlengde.

#### 4.1.2 Labsnø





Ved bruk av labsnø ble skyveeffekten observert ved de samme hastighetene som for natursnø. For 1 m/s datt større flak ut. Stillbildene for labsnø viser en flakete snø som klabbet seg sammen. Labsnøen etterlignet formen på plogbladet. Dette gav et stykkevis og delt mønster hvor klumper ble kastet ut.

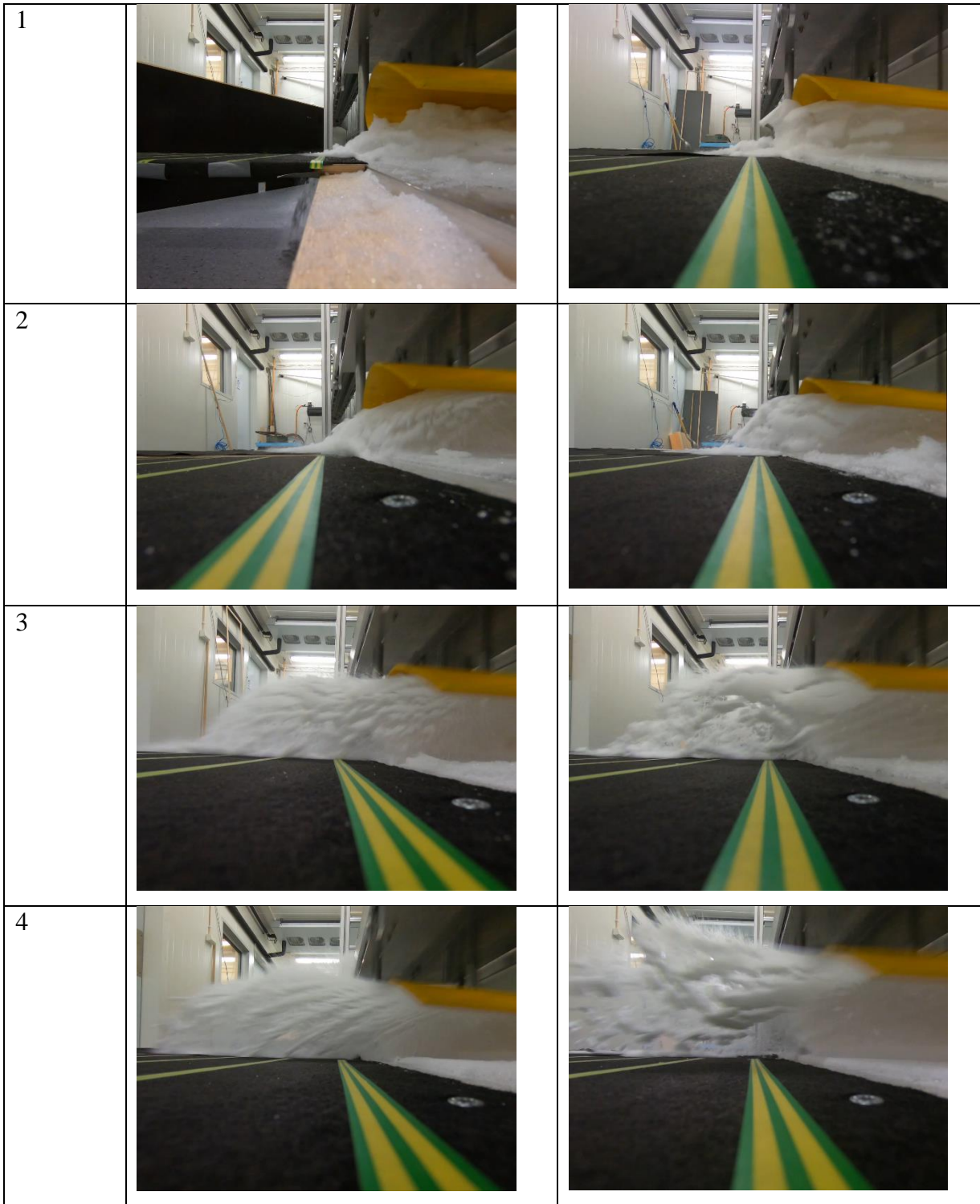


### 4.1.3 Forskjell mellom natursnø og labsnø

Fyllingsgrad defineres i denne oppgaven som hvor stor del av plogbladet som blir fylt opp med snø. Fra 0,1 m/s til og med 2 m/s var fyllingsgraden for labsnø høyere enn for natursnø ved samme hastighet. Ved hastighetene 2 m/s til og med 4 m/s var maks utkastlengden for labsnø lengre enn for natursnø. Ved hastighetene 3 m/s og 4 m/s lå labsnø høyere i luften sammenlignet med natursnø for de samme hastighetene. Ved de to sistnevnte hastighetene falt en mindre mengde labsnø fremfor plogen, i forhold til natursnø.

Tabell 1: Forskjell mellom 1 cm natursnø og labsnø.









Hastighet	Natursnø Høyde på snølag = 1 cm Gjennomsnittlig tetthet, $\rho = 0,31 \pm 0,037 \text{ g/cm}^3$	Labsnø Høyde på snølag = 1 cm Gjennomsnittlig tetthet, $\rho = 0,11 \pm 0,014 \text{ g/cm}^3$
0,1		
0,5		



## 4.2 Utkastprofil fra modellforsøk med 1 cm og 0,5 cm natursnø

Tabell 2 viser forskjellen mellom modellforsøk med 1 cm og 0,5 cm høyde på snølaget, utført med natursnø i hastighetsområdet 1 til 4 m/s. I venstre kolonne brukes igjen de samme bildene, som i tabell 1, for natursnø. I høyre kolonne vises 0,5 cm.

Tabell 2: Forskjell mellom natursnø med høyden 1 cm og 0,5 cm.

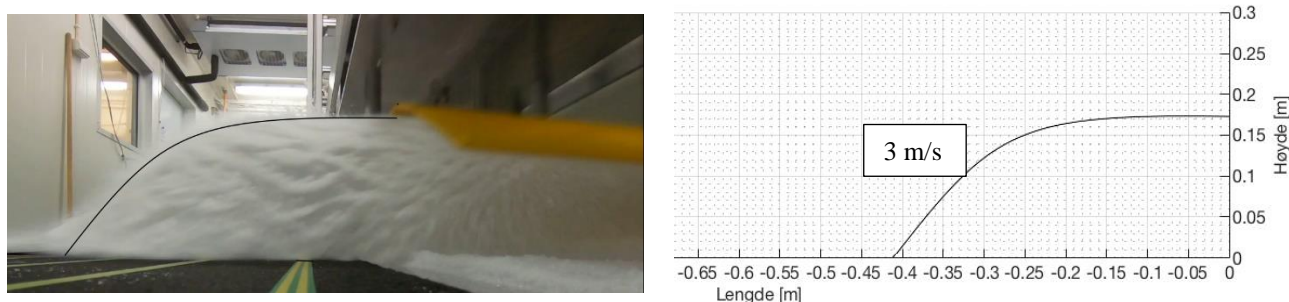
Hastighet [m/s]	Natursnø Høyde på snølag = 1 cm Gjennomsnittlig tetthet, $\rho = 0,31 \pm 0,037 \text{ g/cm}^3$	Natursnø Høyde på snølag = 0,5 cm Gjennomsnittlig tetthet, $\rho = 0,42 \pm 0,001 \text{ g/cm}^3$
1		
2		
3		
4		

### 4.2.1 Forskjell mellom 1 cm og 0,5 cm høyt snølag

Tabell 2 viser at for 1 m/s ble natursnø både for 1 cm og 0,5 cm skjøvet fremover og til siden uten å bevege seg gjennom plogen. Ved 2 m/s var utkastprofil og maks utkastlengde svært lik for 1 cm og 0,5 cm, men 0,5 cm gav flakete snø. 0,5 cm ved 3 m/s gav en mer samlet og løftet stråle av snø, sammenlignet med 1 cm. For hastighetene 3 m/s og 4 m/s ved bruk av et 0,5 cm høyt snølag, sammenlignet med et snølag på 1 cm, ble en høyere andel av snø kastet vekk fra plog og det ble dermed mindre nedfall i plogen. Nedfall i plogen oppstår når snø følger buen til plogbladet og slipper buen sent, slik at mye snø faller fremfor og rett ved siden av plogbladet. Høyde på snølaget var avgjørende for hvor mye som ble kastet hvor langt for en gitt hastighet.

### 4.3 Stillbilder fra GoPro-kamera overføres til koordinatsystem

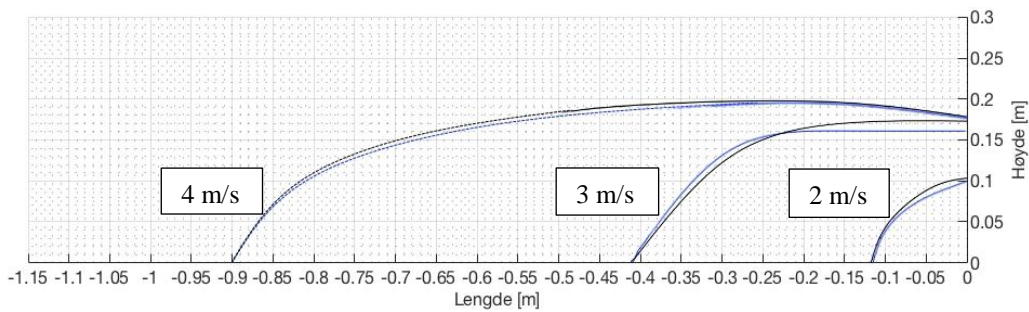
Figur 15 illustrerer resultatet hvor utkastprofil fra GoPro-kameraL1 ble overført til et koordinatsystem i y-z-planet hvor null defineres i punktet hvor ytterkanten av slitestålet treffer kjørebanelen. Figur 15 viser resultater fra modellforsøk utført i 3 m/s med 1 cm natursnø, hvor maks utkastlengde er 0,41 og maks utkasthøyde er 0,172.



Figur 15: Utkastprofil fra GoPro-kameraL1 overført til koordinatsystem.

### 4.4 Repeterbarhet

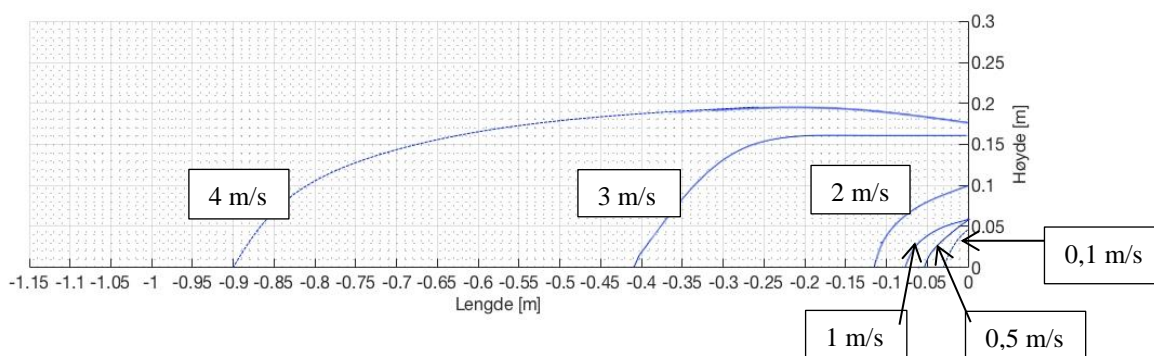
Repetierbarhet ble testet ved å gjenta modellforsøk for 1 cm natursnø ved hastighetene 4 m/s, 3 m/s og 2 m/s, og utkastprofilene er vist i figur 16. Figuren viser at det var små variasjoner i utkastprofil ved gjentak av forsøkene, og dermed god repeterbarhet for utkastprofilene.



Figur 16: Test av repeterbarhet ved gjentakelse av forsøk på 1 cm natursnø ved hastighetene 4 m/s, 3 m/s og 2 m/s. Fargen svart og blå representerer første og andre modellforsøk for hver av hastighetene.

## 4.5 Effekt av hastighet

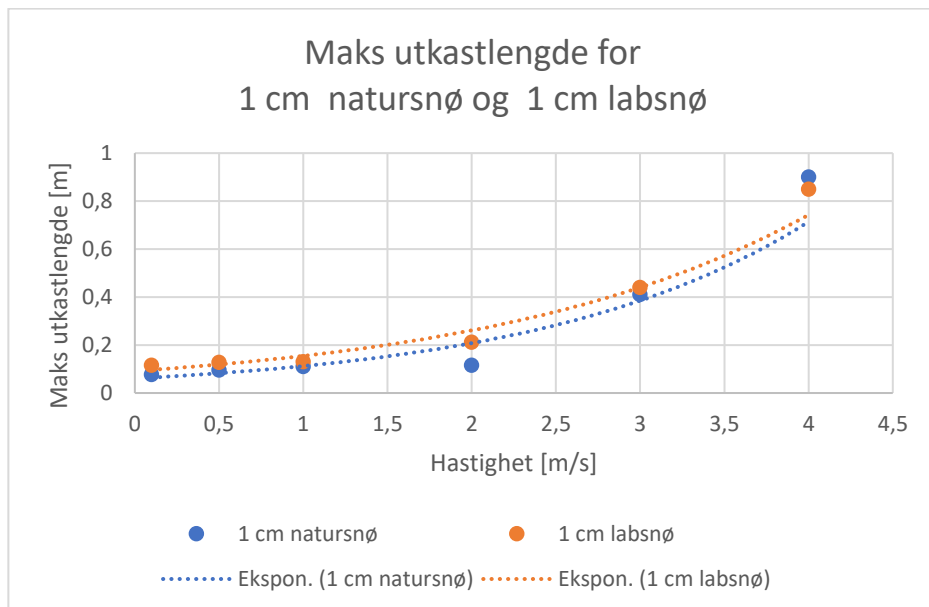
Resultater fra 1 cm natursnø viser i figur 17, at både maks utkastlengde og maks utkastlengde varierer sterkt med hastigheten. Ved 4 m/s var maks utkastlengde 0,95 meter og maks utkasthøyde 0,2 meter, for 3 m/s var maks utkastlengden 0,41 meter og maks utkasthøyde 0,16 meter, og for 2 m/s var maks utkastlengde 0,15 meter og maks utkasthøyde 0,1 meter. Ved 4 m/s var maks utkastlengde plassert 0,2 meter ut fra kjørebanelen, mens for de lavere hastigheter var maks utkasthøyde lik høyden snøen hadde når den forlot pløgen. Forholdet mellom maks utkastlengde og hastighet, og maks utkasthøyde og hastighet er plottet i henholdsvis figur 18 og figur 19.



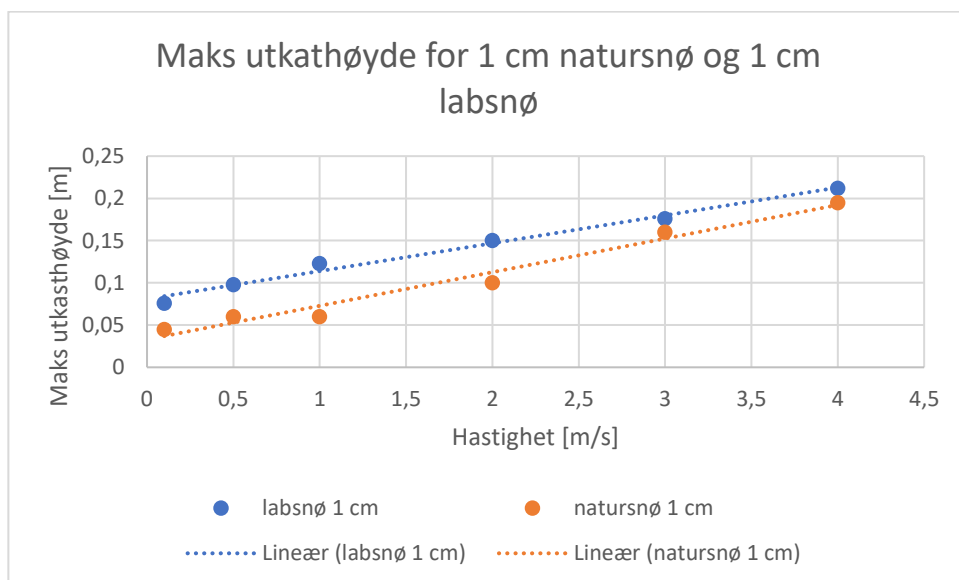
Figur 17: Effekt av hastighet på maks utkastlengde og maks utkasthøyde.

## 4.6 Maks utkastlengde og maks utkasthøyde

Figur 18 viser en eksponentiell økning. Figur 19 viser en lineær økning.



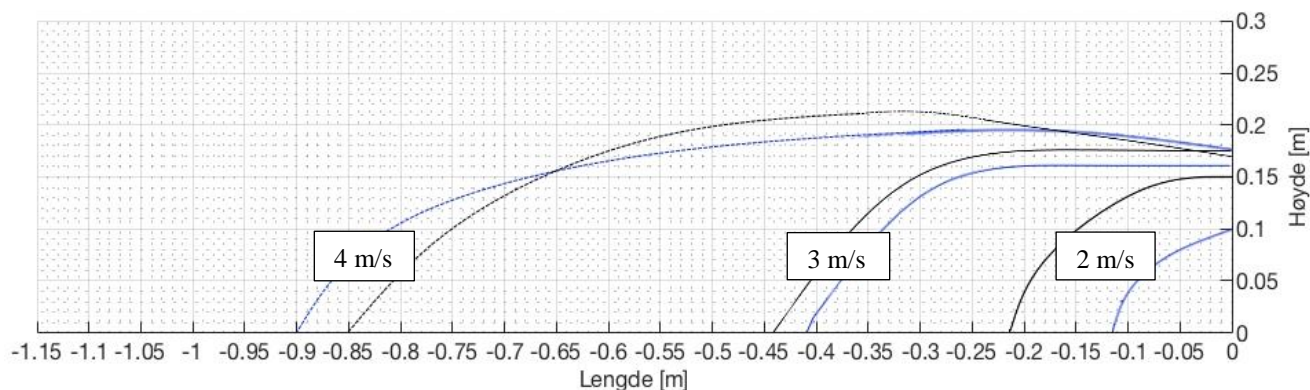
Figur 18: Hvordan maks utkastlengde avhenger av hastigheten.



Figur 19: Hvordan maks utkasthøyde avhenger av hastigheten.

## 4.7 Effekt av snøtype

Effekt av snøtype, hvor blå kurve er natursnø og svart kurve er labsnø, fremstilles i figur 20. Figur 20 viser at ved hastigheten 2 m/s var det stor forskjell mellom utkastprofilen for natursnø og labsnø. Labsnø hadde høyere maks utkasthøyde og lengre maks utkastlengde enn natursnø. For høyere hastigheter var det forholdsvis like utkastprofiler for labsnø og natursnø.



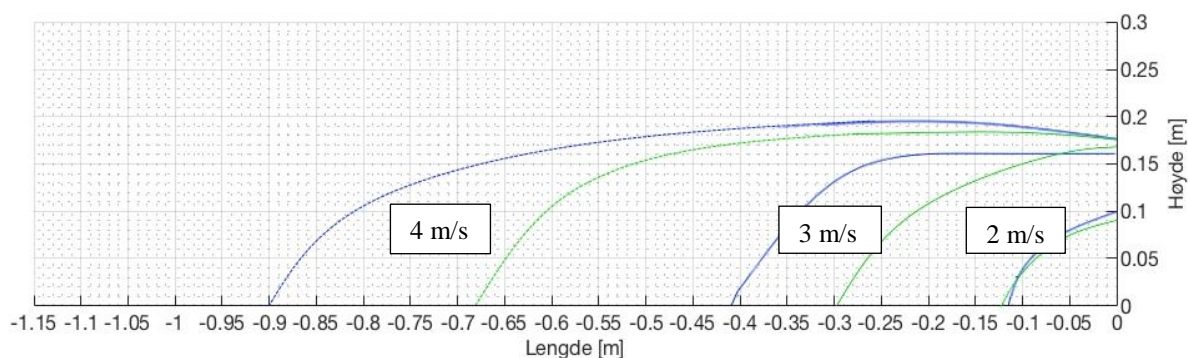
Figur 20: Effekt av snøtype. Blå: 1 cm natursnø med gjennomsnittlig tetthet  $0,31 \text{ kg/m}^3$ . Svart: 1 cm labsnø med gjennomsnittlig tetthet  $0,11 \text{ kg/m}^3$ .

Ved hastighetene 2 m/s og 3 m/s hadde labsnø lengst maks utkastlengde, mens ved 4 m/s hadde natursnø lengst maks utkastlengde. Maks utkasthøyde var høyest for labsnø ved 2 og 3 m/s, mens ved 4 m/s hadde labsnø høyest maks utkasthøyde. For 4 m/s bevegede labsnø seg høyere i luften, men landet kortere ut fra plogen sammenlignet med natursnø. Ved 3 m/s var utkastlengden 0,402 for natursnø og 0,44 for labsnø.

## 4.8 Effekt av snølagets høyde

Effekt av snølagets høyde blir fremstilt i figur 21, hvor blå graf representerer 0,1 cm natursnø og grønn graf representerer 0,5 cm natursnø. For hastighetene 3 m/s og 4 m/s var det stor forskjell mellom utkastprofilene ved ulike høyder på snølaget. 1 cm snølag gav lengre maks utkastlengde, men samme maks utkasthøyde. For 2 m/s var utkastprofilene like.





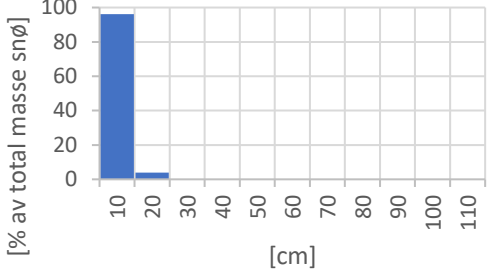
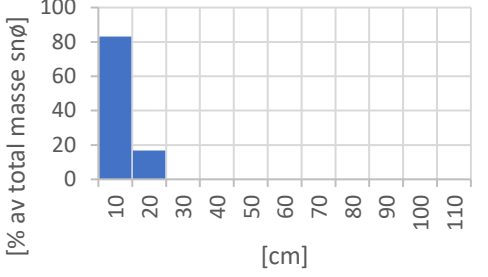
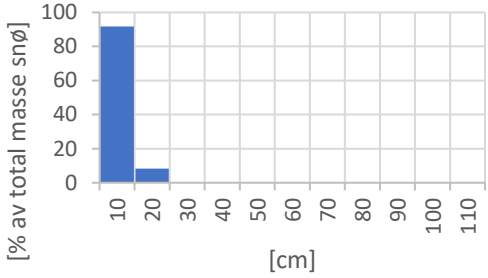
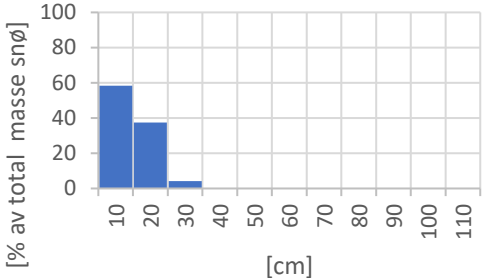
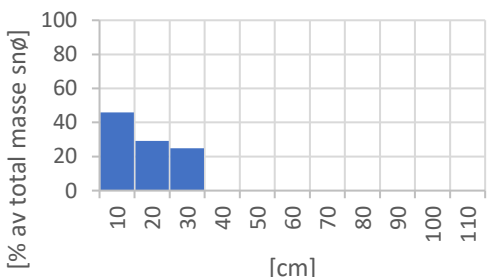
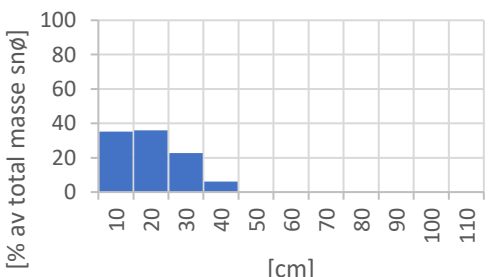
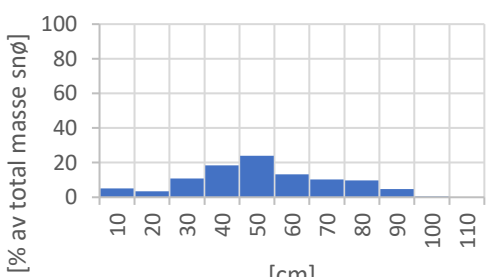
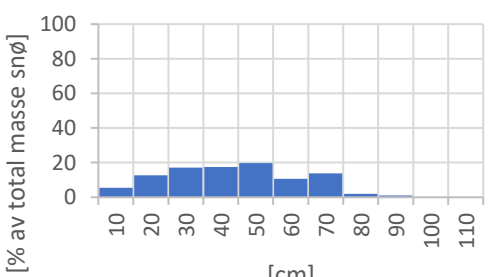
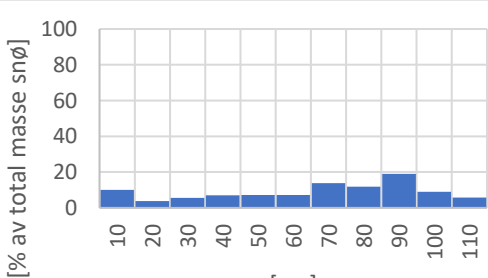
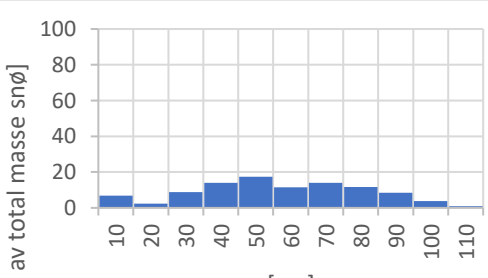
Figur 21: Effekt av snølagets høyde. Blå: 1 cm natursnø. Grønn: 0,5 cm natursnø.

## 4.9 Brøytefordeling fra modellforsøk

Brøytefordeling fra modellforsøk vises i tabell 3 og 4. Venstre kolonne, i begge tabellene, viser brøytefordeling for 1 cm natursnø ved hastighetene 0,1 m/s til 4 m/s. Høyre kolonne i tabell 3 og 4 viser henholdsvis brøytefordeling for 1 cm labsnø, og 0,5 cm natursnø. Data er oppgitt i % av snø mengde innenfor et bestemt område fra plog til 110 cm i y-retning med bredde på 40 cm. For modellforsøk med 1 cm og 0,5 cm natursnø ved 4 m/s la det seg en haug med snø i området rundt 90 cm ut fra plogen. For 1 cm labsnø ved 4 m/s bygde det seg opp en haug med snø rundt 60 cm ut fra plogen. For hastigheten 3 m/s bygde det seg opp en haug med snø rundt 50 cm ut fra plogen. Hastighetene fra og med 0,1 m/s til og med 2 m/s ble mye snø samlet nærme plogen.

Tabell 3: Brøytefordeling fra modellforsøk hvor 1 cm natursnø sammenlignes med 1 cm labsnø. Verdien på z-aksen er i % snømengde, og verdien på x-aksen er i cm.

Hastighet [m/s]	Natursnø Høyde på snølag = 1 cm Gjennomsnittlig tetthet, $\rho = 0,31 \pm 0,037$ g/cm <sup>3</sup>	Labsnø Høyde på snølag = 1 cm Gjennomsnittlig tetthet, $\rho = 0,11 \pm 0,014$ g/cm <sup>3</sup>
0,1		

0,5	 <p>Bar chart showing the percentage of total mass for different particle sizes (cm) for a 0,5 cm filter. The y-axis is labeled '[% av total masse snø]' and ranges from 0 to 100. The x-axis is labeled '[cm]' and ranges from 10 to 110. The data shows that approximately 100% of the mass is in the 10 cm size range, with a very small amount (around 5%) in the 20 cm range.</p>	 <p>Bar chart showing the percentage of total mass for different particle sizes (cm) for a 0,5 cm filter. The y-axis is labeled '[% av total masse snø]' and ranges from 0 to 100. The x-axis is labeled '[cm]' and ranges from 10 to 110. The data shows that approximately 85% of the mass is in the 10 cm size range, and about 15% is in the 20 cm range.</p>
1	 <p>Bar chart showing the percentage of total mass for different particle sizes (cm) for a 1 cm filter. The y-axis is labeled '[% av total masse snø]' and ranges from 0 to 100. The x-axis is labeled '[cm]' and ranges from 10 to 110. The data shows that approximately 95% of the mass is in the 10 cm size range, and about 5% is in the 20 cm range.</p>	 <p>Bar chart showing the percentage of total mass for different particle sizes (cm) for a 1 cm filter. The y-axis is labeled '[% av total masse snø]' and ranges from 0 to 100. The x-axis is labeled '[cm]' and ranges from 10 to 110. The data shows that approximately 60% of the mass is in the 10 cm size range, 35% is in the 20 cm range, and about 5% is in the 30 cm range.</p>
2	 <p>Bar chart showing the percentage of total mass for different particle sizes (cm) for a 2 cm filter. The y-axis is labeled '[% av total masse snø]' and ranges from 0 to 100. The x-axis is labeled '[cm]' and ranges from 10 to 110. The data shows that approximately 45% of the mass is in the 10 cm size range, 30% is in the 20 cm range, and about 25% is in the 30 cm range.</p>	 <p>Bar chart showing the percentage of total mass for different particle sizes (cm) for a 2 cm filter. The y-axis is labeled '[% av total masse snø]' and ranges from 0 to 100. The x-axis is labeled '[cm]' and ranges from 10 to 110. The data shows that approximately 35% of the mass is in the 10 cm size range, 35% is in the 20 cm range, 20% is in the 30 cm range, and about 10% is in the 40 cm range.</p>
3	 <p>Bar chart showing the percentage of total mass for different particle sizes (cm) for a 3 cm filter. The y-axis is labeled '[% av total masse snø]' and ranges from 0 to 100. The x-axis is labeled '[cm]' and ranges from 10 to 110. The data shows a more distributed mass across sizes: 5% at 10 cm, 10% at 20 cm, 15% at 30 cm, 25% at 40 cm, 25% at 50 cm, 15% at 60 cm, 10% at 70 cm, 10% at 80 cm, and 5% at 90 cm.</p>	 <p>Bar chart showing the percentage of total mass for different particle sizes (cm) for a 3 cm filter. The y-axis is labeled '[% av total masse snø]' and ranges from 0 to 100. The x-axis is labeled '[cm]' and ranges from 10 to 110. The data shows a more distributed mass across sizes: 5% at 10 cm, 15% at 20 cm, 20% at 30 cm, 20% at 40 cm, 20% at 50 cm, 10% at 60 cm, 15% at 70 cm, 5% at 80 cm, and 5% at 90 cm.</p>
4	 <p>Bar chart showing the percentage of total mass for different particle sizes (cm) for a 4 cm filter. The y-axis is labeled '[% av total masse snø]' and ranges from 0 to 100. The x-axis is labeled '[cm]' and ranges from 10 to 110. The data shows a very distributed mass across sizes: 10% at 10 cm, 5% at 20 cm, 5% at 30 cm, 5% at 40 cm, 5% at 50 cm, 5% at 60 cm, 15% at 70 cm, 10% at 80 cm, 20% at 90 cm, 10% at 100 cm, and 5% at 110 cm.</p>	 <p>Bar chart showing the percentage of total mass for different particle sizes (cm) for a 4 cm filter. The y-axis is labeled '[% av total masse snø]' and ranges from 0 to 100. The x-axis is labeled '[cm]' and ranges from 10 to 110. The data shows a very distributed mass across sizes: 10% at 10 cm, 5% at 20 cm, 10% at 30 cm, 15% at 40 cm, 20% at 50 cm, 10% at 60 cm, 15% at 70 cm, 10% at 80 cm, 5% at 90 cm, 5% at 100 cm, and 5% at 110 cm.</p>

Tabell 4: Brøytefordeling fra modellforsøk hvor 1 cm natursnø sammenlignes med 0,5 cm natursnø. Verdien på z-aksen er i % av total masse, og verdien på x-aksen er cm.




Hastighe t [m/s]	Natursnø Høyde på snølag = 1 cm Gjennomsnittlig tetthet, $\rho = 0,31 \pm 0,037$ g/cm <sup>3</sup>	Natursnø Høyde på snølag = 0,5 cm Gjennomsnittlig tetthet, $\rho = 0,42 \pm$ 0,0086 g/cm <sup>3</sup>
1		
2		
3		
4		

## 4.10 Utkastprofil fra feltforsøk

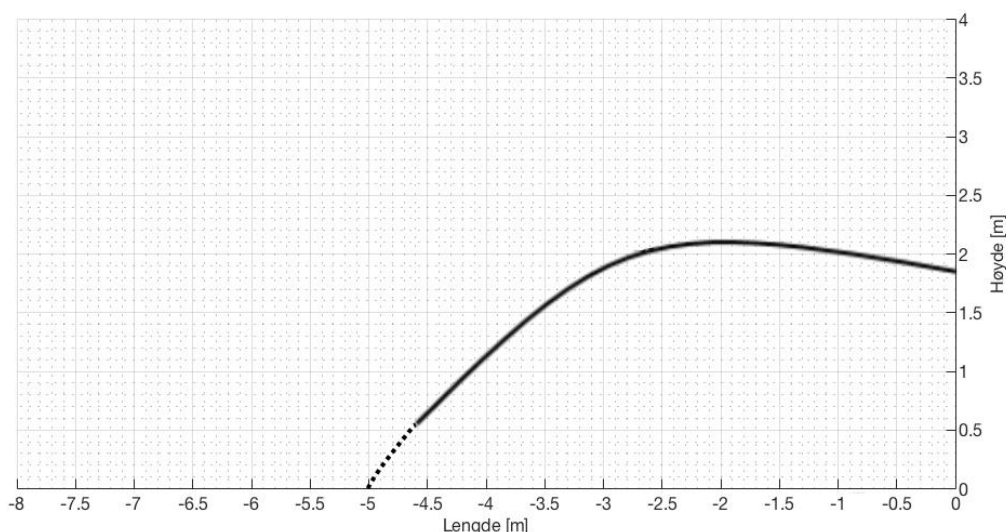
Tabell 5 viser stillbilder av videoer fra GoPro-kameraF1 fra feltforsøk med hastighetene 41 km/t og 43 km/t. For alle 4 forsøkene gjaldt det at fyllingsgraden var maksimal, samt at mye snø falt fremfor plogen. Snøen klumpet seg sammen i plogen og kom ut av plogen som flak.

Forsøk 3 og 4 ble utført med hastighet 41 km/t, og ble filmet med tilnærmet identisk vinkel, hvor plogen ble sett fra siden, og utkastprofilene ble svært like. Dette viser at feltforsøkene hadde god repeterbarhet. Forsøk 2 ble filmet med en vinkel som befinner seg mellom vinkelen ved forsøk 3 og 4, og vinkelen ved forsøk 1. Utkastprofilen fra forsøk 2 viser at det ikke var store forskjeller mellom 41 km/t og 43 km/t. Feltforsøk 1 gav gunstigste kameravinkel for sammenligning med modellforsøk da denne kameravinkelen var lik kameravinkel til GoPro-kameraL1, og resultater fra forsøk 1 blir derfor vurdert videre i figur 23 hvor utkastprofil sammenlignes med utkastprofiler fra modellforsøk.

Tabell 5: Stillbilder fra feltforsøk 1-4 hvor natursnø ble ploget ved hastighetene 41 km/t og 43 km/t.

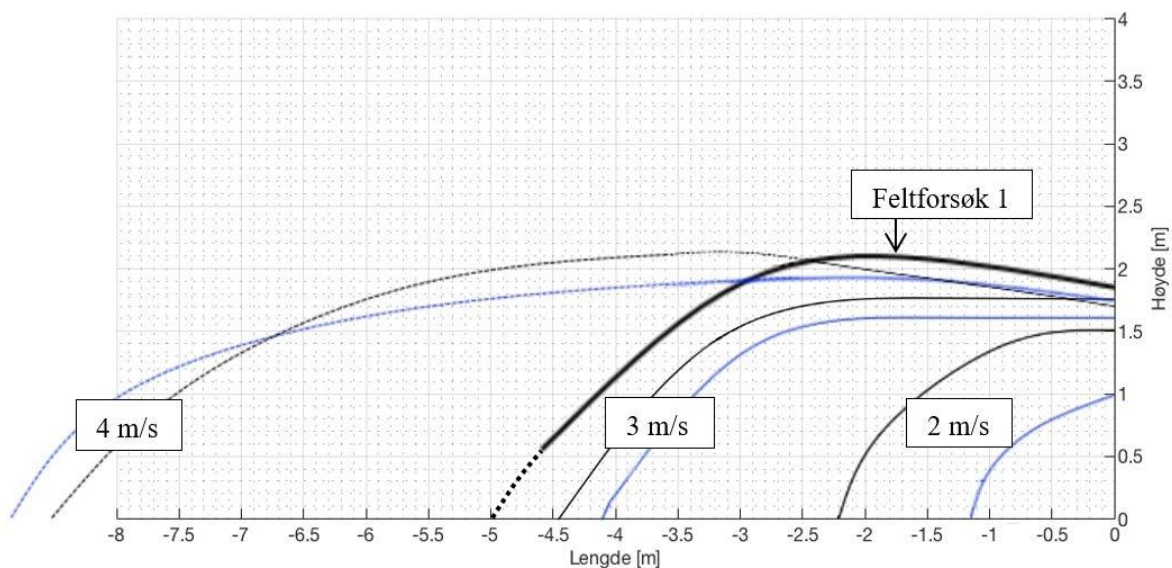
Forsøk	Hastighet [km/t]	10 cm Nysnø Gjennomsnittlig tetthet, $\rho = 0,104 \text{ g/cm}^3$
1	41	
2	43	
3	41	
4	41	

Ved filming av feltforsøk 2, 3 og 4 ble kameraet satt for mye på skrå for å pålitelig kunne bestemme utkastprofiler for disse forsøkene. Derfor er det kun forsøk 1 som brukes til å lage utkastprofil i koordinatsystem. Ut fra en visuell bedømmelse var utkastprofilene like for de ulike feltforsøkene, og dermed antas repeterbarheten å være god. Figur 22 viser utkastprofiler for feltforsøk 1 satt inn i et koordinatsystem. Maks utkastlengde for feltforsøk 1 var 5 meter og maks utkasthøyde var 1,85 meter.



Figur 22: Utkastprofiler fra feltforsøk 1 i 41 km/t.

I figur 23 er utkastprofilet for modellforsøkene skalert opp med faktor 10 både i y- og z-retning. Figur 23 viser utkastprofilet til feltforsøk nr. 1 sammen med utkastprofilene for laboratorieforsøk hvor hastigheten 2, m/s, 3 m/s og 4 m/s ble utført ved to variasjoner hvor svart tynn graf representerer 1 cm labsnø, og blå 1 cm natursnø. Maks utkastlengden for feltforsøk 1 og oppskalert, med faktor 10, maks utkastlengde fra modellforsøk ved 3 m/s av 1 cm labsnø var nærmest like lange. Maks utkasthøyde fra feltforsøk 1 var derimot høyere enn alle modellforsøkene. Svart stiplet linje markerer tenkt avslutning på utkastprofilen da utkastet trolig stoppes av brøytekant. Det antas at utkastlengden fra feltforsøk 1 var 5 meter.



Figur 23: Feltforsøk nr. 1 sammenlignet med modellforsøk ved hastighet 2 m/s, 3 m/s og 4 m/s. Svart tykk strek: 10 cm nysnø i felt, 41 km/t. Svart tynn strek: Oppskalert utkastprofil med faktor 10 av 1 cm labsnø 3 m/s. Blå: Oppskalert utkastprofil med faktor 10 av 1 cm natursnø 3 m/s. Striplet linje er tengt fortsettelse på utkastprofilen, da grøft var i veien for å kunne tegne hele utkastprofilen.

#### 4.11 Brøytefordeling fra feltforsøk

Tabell 6 viser brøytefordeling fra feltforsøk 1 til 4 hvor hastigheten 41 km/t og 43 km/t ble brukt. Resultater fra feltforsøk hvor det ble utført måling av hvor mye snø som havnet i de tre trekassene, som ble plassert i området hvor snø ble kastet ut fra snøplog, brukes til å undersøke brøytefordeling fra feltforsøk 1 til 4. Under feltforsøk 1 fanget trekassene opp snø i området fra 200 til 350 meter ut fra plogen med en bredde på 0,5 meter. Dette tilsvarer 20 % av total mengde snø innenfor en bredde på 0,5 meter ut fra plogen. Under feltforsøk 2 fanget trekassene opp snø i området fra 380 til 530 meter fra kjørebanelen, som tilsvarer 68 % av total mengde snø innenfor en bredde på 0,5 meter ut fra plogen. Under feltforsøk 3 fanget trekassene opp snø i området fra 190 til 340, som tilsvarer 30 % av total mengde snø innenfor en bredde på 0,5 meter ut fra plogen. Under feltforsøk 4 fanget trekassene opp snø i området fra 170 til 320 meter, som tilsvarer 33,6 % av total mengde snø innenfor en bredde på 0,5 meter ut fra plogen. Total snømengde er basert på tettheten til snøen, høyde av snølaget og arealet av et område fremfor plogen som var 0,5 meter langt. Tabell 6 viser at størst mengde av snø ble kastet ut til 300 – 500 cm ut fra plogen.

Tabell 6: Brøytefordeling fra feltforsøk 1 til 4. Verdien på z-aksen er i % av total masse, og verdien på x-aksen er cm.

Forsøk	Hastighet [km/t]	10 cm nysnø Gjennomsnittlig tetthet, $\rho = 0,104 \text{ g/cm}^3$
1	41	
2	43	
3	41	
4	41	



## 5. Diskusjon

Som skrevet i introduksjonen er målet med denne oppgaven å finne ut om maks utkastlengde, maks utkasthøyde og brøytefordeling fra modellplog samsvarer med fullskala feltforsøk. Godt samsvar oppstår når de geometriske dimensjoner av maks utkastlengde, maks utkasthøyde og brøytefordelingen har en lik skaleringsfaktor som plogens geometri.

### 5.1 Skalere hastighet

Første forskningsspørsmål var å svare på hvordan skalere hastighet for å oppnå en tilsvarende (1:10 nedskalert) maks utkastlengde og maks utkasthøyde. Dette skal gjøres ved å se på effekten av hastighet. Data fra modellforsøk og feltforsøk skal vurderes opp mot hverandre for å finne den hastigheten ved modellforsøk som gir best samsvar med feltforsøk når det kommer til maks utkastlengde, maks utkasthøyde og brøytefordeling.

Modellforsøk som krevde forskjellige fremgangsmåter for å legge natursnø og labsnø på kjørebanelen var med på å skape større forskjell i tetthet mellom disse to snøtypene. Natursnø hadde tre ganger større tetthet enn labsnø.

Resultater i figur 18 gir innsikt i forholdet mellom maks utkastlengde og hastighet. Maks utkastlengde fra feltforsøk var 5 meter, som tilsvarer 0,5 cm (nedskalert med faktor 1:10). 0,5 cm maks utkastlengde innsatt i figur 18 tilsvarer, for modellforsøk, hastighetene 3,25 m/s ved bruk av 1 cm labsnø og 3,4 m/s ved bruk av 1 cm natursnø. Maks utkasthøyde i felt for forsøk 1 var 2,15 meter, som tilsvarer 0,215 meter nedskalert med faktor 10. Lest ut fra figur 19 tilsvarer dette hastigheten 3,75 m/s (1 cm labsnø) og 4,25 m/s (1 cm natursnø).

Figur 18 og 19 fra modellforsøk viser henholdsvis at maks utkastlengde øker eksponentielt, og at maks utkasthøyde øker lineært. Det vil si at maks utkastlengde er mer ømfintlig for endring i hastighet sammenlignet med maks utkasthøyde, og utkastlengde blir derfor tatt mest hensyn til. Basert på dette og verdier i tabell 7 tyder det på at hastigheten 3,25 m/s ved modellforsøk med 1 cm labsnø samsvarer best med feltforsøk. På lik måte, ved bruk av 1 cm natursnø ved modellforsøk, samsvarer hastigheten 3,4 best med feltforsøk. Verdier for beste samsvar mellom modellforsøk og feltforsøk for målinger av maks utkasthøyde, maks utkastlengde og brøytefordeling viser at hastigheten 3,25 m/s med 1 cm labsnø gir best samsvar med feltforsøk.

Dette samsvarer med figur 23 hvor resultater for utkastprofil fra modellforsøk oppskaleres med faktor 10 og grafisk fremstilles med feltforsøk 1.

Tabell 7: Oversikt over hastighetene som gir best samsvar mellom modellforsøk og feltforsøk

Utkast	1 cm labsnø [m/s]	1 cm natursnø [m/s]
Maks utkastlengde	3,25	3,4
Maks utkasthøyde	3,75	4,25
Brøytefordeling	3	3
Samlet vurdering	3,25	3,4

Resultater for brøytefordeling tatt i felt inneholder ikke data for hele brøytefordelingen, men 150 cm av den. Under vurdering av best hastighet legges det derfor mer vekt på resultater for maks utkastlengde og maks utkasthøyde. Brøytefordelingen fra feltforsøk viser likevel en tendens til størst oppsamling av snø ved avstanden 300 – 500 cm ut fra plogen, som tilsvarer 30 – 50 cm nedskalert med faktor 10. Dette har en likhet med brøytefordelingen for modellforsøk ved hastigheten 3 m/s for både labsnø og natursnø. Basert på brøytefordelingen er det hastigheten 3 m/s ved modellforsøk som samsvarer best med feltforsøk. Sammenlignet med brøytefordelingen for modellforsøk er det hastigheten 3 m/s som samsvarer best.

Plogmodell Øveraasen DHS285 er designet for å kaste snø langt og høyt. Det er dermed ønskelig med en brøytefordeling hvor den største haugen av snø bygger seg opp langt bort fra brøyteplogen. Tabell 4 viser at ved hastigheten 4 m/s oppstår de gunstigste brøytefordelinger for denne type plog ved modellforsøk med 1 cm natursnø. En hastighet på 3 m/s og lavere gav ikke en like gunstig brøytefordeling for denne plogmodellen. Hastigheten 4 m/s ved modellforsøk ser ut til å være den hastigheten hvor plogmodellen fungerer best. Ved denne hastigheten var det lite nedfall i plogen, og snøen ut fra plogen hadde en sentrert og løftet stråle, som vist i tabell 1. Tabell 4 og tabell 2 viser at for et 0,5 cm høyt lag av natursnø ved hastigheten 3 m/s ble både utkastet og brøytefordelingen mer samlet enn for en høyde på 1 cm.

Tabell 1 viser en oversikt over hastighetene ved modellforsøk som gir best samsvar med feltforsøk, med hensyn til maks utkastlengde, maks utkasthøyde og brøytefordeling. Siste rad i tabellen viser den samlede vurderingen av hastigheten som samlet sett gir best samsvar mellom modellforsøk og feltforsøk for labsnø og natursnø. Analysen av hvilken hastighet som gir best samsvar mellom modellforsøk og feltforsøk er basert på at det er ønskelig å vite hvor langt plogen

kaster. Derfor legges det mest vekt på maks utkastlengde. Ved bruk av 1 cm labsnø i modellforsøk var det dermed hastigheten 3,25 m/s som gir best samsvar med feltforsøk. For natursnø er denne hastigheten 3,4 m/s. For å finne den anbefalte snøtypen ved modelltesting er det av interesse å se på hvilken snøtype som har minst variasjon mellom skaleringene for maks utkastlengde, maks utkasthøyde og brøytefordeling. Tabell 1 viser at labsnø har minst variasjon mellom disse skaleringene, og dermed er 1 cm labsnø ved hastighet 3,25 den snøtypen som samsvarer best med feltforsøk.

Å skalere hastigheten i felt med skaleringsfaktor 1:10 gir ikke et godt samsvar mellom maks utkastlengde, maks utkasthøyde eller brøytefordeling for felt og lab. 41 km/t = 11,39 m/s som nedskalert med faktor 1:10 tilsvarer 1,14 m/s. Tabell 1 og 2 viser at hastigheten 1 m/s ved modelltesting nærmest ikke gir noe utkast, og gir ingen roterende bevegelse i plogen. For hastighetene fra og med 0,1 m/s til og med 1 m/s ble snøen dyttet fremover og til siden. Dette kom av for lav akselerasjon på snøen i plogen. Dette betyr at å nedskalere hastigheten med en faktor 10 ikke gir riktig maks utkastlengde, maks utkasthøyde eller brøytefordeling.

For å undersøke hvordan hastighetene 3,25 m/s og 3,4 m/s passer med skaleringsfaktoren beregnes teoretisk hastighet for modelltesting ved bruk av hastigheten 41 km/t i felt. Videre skal det utforskes hva hastigheten ville blitt dersom den kinetiske energien skaleres ned med skaleringsfaktor 1:10. Snøen som forlot plogen inneholdt en viss mengde kinetisk energi. Maks utkastlengde og maks utkasthøyde varierer med hastigheten, da hvor mye snøen som forflytter seg i y-z-retning avhengig av hvor mye energi snøen blir påført. Snøen påføres mer energi ved høy hastighet enn ved lave hastigheter. Høy energi gjør dermed at snøen beveger seg lengre i y-z-retning. Til denne utregningen brukes ligningen for kinetisk energi,  $E_k$  (SNL, 2018). Hvor skaleringsfaktor,  $s = 0,1$ ,  $v$  er hastighet,  $V$  er volum av brøytet snø,  $E_{k, \text{felt}}$  er kinetisk energi ved feltforsøk og  $E_{k, \text{lab}}$  er kinetisk energi ved modellforsøk. Volum av snø som ble brøytet var likt for feltforsøk og modellforsøk. Tettheten som brukes i ligning 6 er tettheten snøen har når den ligger på kjørebanelen, ikke når den forlater plogen.

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1)$$

$$E_{k,felt} \cdot s = E_{k,lab} \quad (2)$$

$$\frac{1}{2}mv_{felt}^2 \cdot s = \frac{1}{2}mv_{lab}^2 \quad (3)$$

I overgangen fra ligning 3 til ligning 4 brukes sammenhengen:  $m = V\delta_{felt}$

$$\frac{1}{2}V\delta_{felt}v_{felt}^2 \cdot s = \frac{1}{2}V\delta_{lab}v_{lab}^2 \quad (4)$$

Da volumet av snø som ble brøytet under hvert forsøk i felt (nedskalert 1:10) og i modellforsøk hadde likt volum gjelder det at:

$$\delta_{felt}v_{felt}^2 \cdot s = \delta_{lab}v_{lab}^2 \quad (5)$$

$$v_{lab} = \sqrt{\frac{\delta_{felt}v_{felt}^2 \cdot s}{\delta_{lab}}} \quad (6)$$

Dersom tettheten til snø i felt og laboratorium holdes like gjelder det at  $v_{lab} = 3,6$  m/s. Dette blir beregnet ved å sette inn verdi for hastigheten  $v_{felt} = 41$  km/t (= 11,39 m/s) inn i ligning 6. Hvis det antas at det ikke skjer kompaktering i plogen, noe som er svært usannsynlig, kan teoretisk hastighet for modellforsøk beregnes ut fra ligning 6. Teoretisk hastighet for labsnø er på 3,5, og teoretisk hastighet for natursnø er på 2,1. I denne oppgaven hadde labsnø og snø i felt svært lik tetthet med en forskjell i tetthet på 0,0075. Forskjellen mellom tettheten til natursnø og snø i felt var på 0,2067. Derfor er det ikke stor forskjell mellom verdiene for  $v_{lab}$  når tettheten til snø i felt og laboratorium settes lik hverandre, og teoretisk  $v_{lab}$  for labsnø.

Forskjellen mellom de teoretiske hastighetene og hastigheten for best samsvar mellom modellforsøk og feltforsøk fra tabell 1 er på 0,25 m/s (7,7 %) for labsnø og 1,3 m/s (38,2 %) for natursnø. Den teoretiske hastigheten for modellforsøk samsvarer mye bedre med beste hastighet for labsnø og natursnø sammenlignet med en nedskalering av hastigheten på 1:10. Fremdeles gir den teoretiske hastigheten et avvik på 7,7 % for labsnø og 38,2 % for natursnø fra den beste hastigheten funnet fra maks utkastlengde, maks utkasthøyde og brøytfordeling i tabell 1. Dette

kommer trolig av at luftmotstand ikke blir tatt med i beregningen. Det kanskje derfor forskjellen ble størst for natursnø (38,2 %) da natursnø ikke klumpet seg like mye sammen i forhold til labsnø, og som derfor hadde større luftmotstand enn labsnø.

## 5.2 Effekt av snøtype

Videre blir neste forskningsspørsmål svart på ved å diskutere snøtypens effekt på maks utkastlengde, maks utkasthøyde og brøytefordeling. Ved hastighetene 4 m/s og 3 m/s hadde snøtype lite innvirkning på maks utkastlengde og maks utkasthøyde, mens ved hastigheten 2 m/s hadde snøtype stor effekt på både maks utkastlengde og maks utkasthøyde. Labsnø hadde lengre maks utkasthøyde enn natursnø ved hastigheten 2 m/s, dette kan skyldes at labsnø hadde lavere tetthet enn natursnø og dermed trolig krevde mindre kraft for å flyttes i y-retning og i z-retning. Det er også trolig at lavere tetthet, som gav mindre luftmotstand, for labsnø enn natursnø var årsaken til at labsnø hadde høyere maksutkasthøyde enn natursnø ved 4 m/s.

Figur 20 viser at ved 4 m/s ble labsnø kastet kortere enn natursnø. Dette kommer trolig av at labsnø hadde en større bevegelse mot z-retning. Mye energi vil derfor gikk til at snøen bevegde seg oppover, og kanskje var det derfor labsnø landet litt kortere enn natursnø. Natursnø ved 4 m/s hadde en slakere bane og snøens bevegelse var vendt mer i y-retning. Labsnø ved 4 m/s hadde større maks utkasthøyde enn natursnø ved samme hastighet, da labsnø klumpet seg sammen i ploegen og kom ut som flak, og dermed fikk mindre luftmotstand. Konsistensen på labsnø som kom ut av ploegen lignet dermed på konsistensen av snø som kom ut av ploegen under feltforsøkene.

Tabell 4 viser at det var forskjell mellom brøytefordelingene for natursnø og labsnø ved hastigheten 4 m/s. Det samlet seg en haug med snø rundt avstanden 70-90 cm ut fra ploegen ved bruk av natursnø, mens ved bruk av labsnø samlet haugen seg rundt 30-80 cm. Disse resultatene sammen med resultater funnet i tabell 1, hvor det var tydelig at labsnø ble kastet høyere enn natursnø, forteller at mye av labsnø ble kastet høyt, men ikke så langt, mens mye av natursnø ble kastet lavt og langt for hastigheten 4 m/s. Dette kan ha kommet av at labsnø hadde lavere tetthet og kom ut av ploegen som flak.

Tabell 1 viser at ved hastighetene fra 0,1 m/s til og med 3 m/s var fyllingsgraden i ploegen høyere for labsnø enn for natursnø. Dette kom av at det krevdes mindre kraft for å løfte labsnø med lavere tetthet enn natursnø. Forskjell i fyllingsgrad forårsaket at maks utkasthøyde for labsnø var litt høyere enn for natursnø ved 3 m/s. Ved hastigheten 3 m/s hadde labsnø og natursnø samme form på utkastprofilet, men labsnø ble løftet høyere opp i plogbladet og fikk trolig derfor lengre

maks utkastlengde. Forskjellen mellom fyllingsgrad var størst mellom labsnø og natursnø ved 2 m/s, dette resulterte i størst forskjell på verdiene for maks utkastlengde og maks utkasthøyde for natursnø og labsnø ved denne hastigheten.

For å få et godt samsvar mellom modellforsøk og feltforsøk er det best at snø som brukes i modellforsøk har lik tetthet og konsistens som snø i felt. Basert på denne studien anbefales det å bruke labsnø ved modellforsøk av flere grunner. En av grunnene er at tettheten til labsnø kan justeres, en annen fordel er at labsnø kan produseres til enhver tid, og dermed vil det alltid være tilgang til nyprodusert labsnø. En neste fordel er at resultater fra feltforsøk og modellforsøk viste at labsnø gav mindre spredning mellom nedskaleringsfaktoren med hensyn til maks utkastlengde, maks utkasthøyde og brøytefordeling. Modellforsøkene med labsnø hadde svært lik tetthet og struktur som snøen i felt. Natursnøen som ble hentet utenfra var derimot gammel, kornene hadde fått avrundede hjørner slik at snø-kornene pakket seg tett. Tettheten til natursnø var 3 ganger så stor som tettheten til labsnø. Det ble brukt ulike metoder for å legge ut snø på testbanen ved modellforsøk, noe som var medvirkende for å gi ulik tetthet for natursnø og labsnø. Tilnærmet lik tettheten og konsistensen mellom labsnø og snø i felt var kanskje årsaken til at 1 cm labsnø, ved hastigheten 3,25 m/s, gav best samsvar med feltforsøk ved 41 km/t.

### 5.3 Effekt av snølagets høyde

Videre blir siste forskningsspørsmålet svares på ved å undersøke hvilken effekt høyden på snølaget har for maks utkastlengde, maks utkasthøyde og brøytefordeling. Snølagets høyde hadde ingen synlig påvirkning på maks utkasthøyden, men hadde påvirkning på maks utkastlengden og brøytefordeling. Figur 21 viser at en hastighet på 3 m/s var høy nok for at snølaget på 1 cm holdt høyden den hadde ut av plogen i over 0,2 meter før den begynte å dale. For 0,5 cm ble trolig ikke nok energi overført til snøen ved 3 m/s og snøen begynte kanskje derfor å dale med det samme den forlot plogen. Ved hastigheten 4 m/s hadde snølaget på 1 cm, av trolig samme årsak, lengre maks utkastlengde enn ved 0,5 cm. Trolig skyldes forskjell i maks utkastlengde at snølaget på 1 cm hadde mindre overflateareal idet det kommer ut av plogen sammenlignet med overflatearealet av snø fra snølaget på 0,5 cm. Tettheten til snølaget på 0,5 cm var i utgangspunktet høyere enn for snølaget på 1 cm. Likevel ser det ut som at snølaget på 1 cm ble mer tettpakket, kompakt og klumpete i plogen og dermed kom ut av plogen som flak. Dette skapte trolig et mindre overflateareal og dermed mindre luftmotstand for snølaget på 1 cm ved hastighetene 3 og 4 m/s. Utførelse med 2 m/s på natursnø med høyde på snølaget på 0,5 cm og 1 cm gav like utkastprofiler

da fyllingsgradene var svært lave og snøen dermed bare så vidt fikk en rullende bevegelse i plogen.

Høyden på snølaget hadde mye å si for maks utkastlengde ved høyere hastigheter. Det er derfor viktig å skalere høyde ned riktig. Generelt sett har hver plog en gunstig høyde på snølaget hvor den rydder bort snø på en effektiv måte slik at snøen blir fjernet fra vegen og det kommer lite nedfall fra plogen. Ut fra tabell 2 er det trolig at 1 cm høyt snølag av natursnø var for høyt for at denne modellplogen skal kunne fjerne snø på en effektiv måte. Det oppstod mye nedfall fra plogen, noe som trolig kom av at plogen ble helt fylt opp og derfor slapp plogbladet veldig sent. Det ser ut til at snøen rett og slett ruller for langt utover plogen ved et 1 cm høyt snølag av natursnø. Når snølaget med natursnø var 0,5 cm fungerte denne plogmodellen best. Snøen ble kastet sentrert og høyt, snøen slapp tidlig, og det var tilnærmet null nedfall fra plogen. Den generelle forskjellen er at for mye snø i plogen fører til at snøen slipper sent og dermed ruller seg inn mot plogen og mye snø legger seg nærme plogen. Dette kan sees i tabell 1 ved sammenligning mellom natursnø og labsnø ved hastighetene 3 m/s og 4 m/s hvor mye snø legger seg nærme plogen. Ut fra brøytefordelingen tabell 4 var det ved 0,5 cm mindre snø som la seg nærme plogen (0-20 cm ut fra plogen) i forhold til for snølaget på 1 cm hvor mer snø la seg nærme plogen. I felt er høyden av snølaget avhengig av hvor hardt det snør og hvor ofte det brøytes.

På bakgrunn av studien mener jeg at en plog realistisk kan simuleres gjennom et modellforsøk for maks utkastlengde, maks utkasthøyde og brøytefordeling. Resultatene viser brukbare samsvar mellom modellforsøk og felt, hvor mange detaljer som fyllingsgrad, nedfall, maks utkastlengde, maks utkasthøyde og brøytefordeling kan testes med modellforsøk under kontrollerte forhold. Dermed finnes det trolig en nytte for plogfabrikanter å utføre tester på nedskalerte modeller av snøploger under kontrollerte forhold i laboratorium.

## 5.4 Metoder fra tidligere studier vurdert opp mot denne rapportens metoder

Det har tidligere blitt gjennomført metoder i felt for å måle ryddeeffektivitet (Rosten, 2011), (Möller og Gabrielsson, 2010, a), (SV, 2001) og (Vinterudvalget, 2004). Rosten (2011) og SV (2001) samlet opp snø etter brøyting og veide den. Denne metoden ble også brukt i denne studien. Resultatene for ryddeeffektivitet i disse rapportene kan ikke sammenlignes med resultater for

ryddeeffektivitet ved modellforsøket gjennomført i denne studien, da plogfestet ikke var riktig modellert.

Pell (1994) viste at brøyting ved for lav hastighet gav mye nedfall i plogen. Dette samsvarer svært godt med resultater funnet i denne studien hvor tabell 1 og tabell 2 viser at var hastigheter fra og med 0,1 m/s til og med 2 m/s ble det mye nedfall i plogen både for labsnø og natursnø ved 1 cm og 0,5 cm.

I denne studien ble utkastprofil filmet under feltforsøk i likhet med studiet til Möller og Gabrielsen (2010, a), og stillbilder ble hentet ut. Möller og Gabrielsson brukte hjelpelinjer med kjente avstander i stillbildene av utkastprofilene for å finne utkastlengde og utkasthøyde. I denne studien ble utkastprofilen med kjente avstand fra bakkenivå til plogen brukt til å plassere utkastprofilet. Deretter ble utkastlengde og utkasthøyde lest av.



## 6. Konklusjon

Det konkluderes med at det er mulig å få en realistisk simulering av snø som kastes ut fra plogbladet, hvor utkast gir et godt samsvar mellom modellforsøk og feltforsøk. Å nedskalere hastigheten med faktor 1:10 gav ikke et godt samsvar. Til modellforsøkene ble det benyttet snø hentet fra naturen (naturesnø) og laboratorie-produsert nysnø (labsnø). Resultater fra feltforsøk og modellforsøk viste at hastigheten ved modellforsøk som gav best samsvar mellom feltforsøk med nysnø og modellforsøk med 1 cm labsnø og 1 cm naturesnø var henholdsvis 3,25 m/s og 3,4 m/s. Dette kan forklares ved å nedskalere den kinetiske energien i modellforsøk med faktor 1:10, istedenfor å nedskalere hastigheten med faktor 1:10.

For å få et godt samsvar mellom modellforsøk og feltforsøk er det best at snø som brukes i modellforsøk har lik tetthet og konsistens som snø i felt. Basert på denne studien anbefales det å bruke labsnø ved modellforsøk av flere grunner. En av grunnene er at tettheten til labsnø kan justeres, en annen fordel er at labsnø kan produseres til enhver tid, og dermed vil det alltid være tilgang til nyprodusert labsnø. En neste fordel er at resultater fra feltforsøk og modellforsøk viste at labsnø gav mindre spredning mellom nedskaleringsfaktoren med hensyn til maks utkastlengde, maks utkashøyde og brøytefordeling. Modellforsøkene med labsnø hadde svært lik tetthet og struktur som snøen i felt. Naturesnøen som ble hentet utenfra var derimot gammel, kornene hadde fått avrundede hjørner slik at snø-kornene pakket seg tett. Tettheten til naturesnø var 3 ganger så stor som tettheten til labsnø. Det ble brukt ulike metoder for å legge ut snø på testbanen ved modellforsøk, noe som var medvirkende for å gi ulik tetthet for naturesnø og labsnø. Snøen i felt kom ut av plogen som flak, og lignet mer på labsnø enn naturesnø. Dette kom av at labsnø klumpet seg sammen i plogen og kom ut som flak i likhet med snøen under feltforsøkene.

Under modellforsøkene hadde snølagets høyde mye å si for maks utkastlengden ved høyere hastigheter, og det er derfor viktig å skalere ned høyden på snølaget riktig. Det ser ut til at et snølag på 1 cm kan vær for høyt for spesifikt denne plogmodellen, da plogen ved denne snøhøyden vil fjerne snø mindre effektivt. 1 cm snøhøyde gav mye nedfall fra plogen. For naturesnø gjaldt det at et snølag på 0,5 cm fungerte best for denne plogmodellen. Snøen ble da kastet sentrert og høyt, og det var tilnærmet null nedfall fra plogen. Generelt tyder modellforsøkene på at for mye snø i plogen fører til at snøen slipper sent fra plogen og dermed ruller seg inn mot plogen og dermed vil mye snø legge seg nærme kjørebanelen og i kjørebanelen. Når snølaget var 0,5 cm høyt var det mindre snø som la seg nærme plogen (0-20 cm ut fra plogen) i forhold til ved et snølag på 1 cm, hvor mer snø la seg nærme plogen. Tettheten til snølaget på 0,5 cm var i utgangspunktet høyere enn for snølaget på 1 cm. Likevel så det ut som at snølaget på 1

cm ble mer tettpakket, kompakt og klumpete i plogen, og dermed kom ut av plogen med en mer flaket form enn for snølaget på 0,5 cm.

Oppsummert er det i denne oppgaven vist at modellforsøk med et 1 cm høyt lag av labsnø og hastigheten 3,25 gir godt samsvar med feltforsøk hvor laget på natursnø var 10 cm og plogen kjørte med hastigheten 41 km/t. Spesifikt for denne plogmodellen ser det ut til at Øveraasen DHS285 får mindre nedfall fra plogen ved et snølag på 0,5 cm.

Det er funnet sammenhenger og forskjeller mellom modellforsøk og feltforsøk og mulighetene på laboratoriet er store. Resultatene viser brukbare samsvar mellom modellforsøk og felt, hvor mange detaljer som fyllingsgrad, nedfall, maks utkastlengde, maks utkasthøyde og brøytefordeling kan testes med modellforsøk under kontrollerte forhold. Dermed tror jeg det finnes en nytte for plogfabrikanter å utføre tester på nedskalerte modeller av snøploger under kontrollerte forhold i laboratorium.

## 7. Videre forskning

Neste steg for modellforsøk er å utforske ryddeeffektivitet. Det vil kreve en riktig simulering av plogfestet, noe modellen ikke har i dag da plogen er fastmontert uten mulighet til å bevege seg i z-retning. Til dette vil det være lurt å involvere leverandør av snøplog mer slik at innstillingen av plogen blir mest mulig riktig (Vinterudvalget, 2004). Videre er det stor etterspørsel etter å dokumentere plogens oppførsel ved høyere hastigheter enn 40 km/t. Hvor mye plogen fyltes opp viste seg å trolig ha en stor innvirkning på plogens effektivitet. Det er derfor av stor interesse å fortsette modellforsøk med søkelys på hvor mye plogen fylles opp ved ulike hastigheter. For å oppnå et mer nøyaktig resultat for brøytefordelingen i felt og dermed kunne sammenligne den med resultater fra modellforsøk ville det vært interesse å bruke flere trerammer for å dekke maks utkastlengde. Det er også aktuelt å bruke modellforsøket til å undersøke hvordan ulike utstyr for plog fungerer mot vegbanen. Eksempler på det er effekt av sideplog, sleik, luft- og stålfjæring og plogfeste. Støy, steinsprut og svevestøv er også aktuelt å forske videre på ved bruk av modellforsøk. Kanskje kan modellforsøkene videreutvikles ved å tilføye en plog fremfor den som er der i dag, som dermed kan brukes til å se på effekten av å kjøre to ploger etter hverandre. Videre kan modellforsøkene testes ved asfalt med kjørespor eller byttes ut med is som underlag. Plogens påvirkning på asfaltens levetid kan kanskje undersøkes ved modellforsøk. Et mange utførelser av feltforsøk og modellforsøk vil det kanskje være mulig å digitalisere modellen.

## Litteraturliste

- Emoto, T., Ohta, M. (1997) Development of narrow, high speed rotary snowplow, i Lzumi, M., Nakamura, T. og Slack, R. L (red.) *Snow Engineering Recent Advances*. 1. utg. Rotterdam, Nederland: A. A. Balkema, s.443.
- Giudici, H., Fenre, M., Klein-Paste, A. og Rekilä K. (2017) *A technical Description of LARS and Lumi: Two Apparatus for Studying Tire-Pavement Interactions*. Routes/Roads N° 375, side: 49-54.
- Giæver, T., Lindland, T. og Vaa, T. (2006) *Vinterdrift/TS Lillehammer Sluttrapport*. SINTEF teknologi og samfunn, Transportsikkerhet og -informatikk. Rapport nr. STF50 A06089.
- Klein-Paste, A. og Dalen, R. (2018) Kapittel 6: *The fundamentals of Plowing, Anti-icing, De-icing, and Sanding in Sustainable Winter Roads Operations*. ed. X. Shi and L. Fu, Wiley Blackwell.
- Möller, S. og Gabrielsson, G. (2010, a) *Metodbeskrivning för plogtester*. VTI rapport 685.
- Möller, S. og Gabrielsson, G. (2010, b) *Miljöplogen, Meirenplogen och Mähler sideplog S45*. Test av egenskaper hos tre nye plogtyper. VTI rapport 661.
- Möller, S. og Gabrielsson, G. (2011) *Meirenplogen Kompletterande mätningar av buller, bränsleförbrukning och slitage på plogskär*. VTI rapport 713.
- Nixon, W. A. (1993) *Improved Cuttin Edges*. National Research Council. Rapportnummer: SHRP-H-346. <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/shrp/SHRP-H-346.pdf>.
- Pell, K. M. (1994) *An Improved Displacement Snowplow*. National Research Council. Rapport nr. SHRP-H-673. Tilgjengelig fra: <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/shrp/SHRP-H-673.pdf> (Hentet: 31. juli 2019)
- Riger, T. R. og Mazur, T. M. (1979) Research on an Air Lubricated Snow Plow, i Montgomery, S (red.) *Snow Removal and Ice Control Research Special report 185*. utg.1 Washington D. C.: Beatrice G. Crofoot, s 226-23.1 Tilgjengelig fra: <http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/sr/sr185/185-037.pdf>. (Hentet: 31. juli 2019)
- Rosten, O. M. (2011) Mekanisk fjerning av snø og slaps. Rapport Bacheloroppgave Avdeling for teknologi Prosjektnummer: 32 - 2011.

Statens Vegvesen (1993) *Utstyr for fjerning av slaps og snø*. Testresultater og konklusjoner fra vintersesongen 1991/92 og 1992/93 Vegdirektoratet, driftsavdelingen, Vedlikeholdskontoret, rapport 93-311.

Statens Vegvesen (2001) *Utprøving og oppfølging av snø- og slapseploger*, Del av FoU-prosjekt nr. 30646 Utstyr vinter. Vegteknisk avdeling. Intern rapport nr. 2243.

Store Norske Leksikon (2018) *kinetisk energi*. Tilgjengelig fra: [https://snl.no/kinetisk\\_energi](https://snl.no/kinetisk_energi) (Hentet: 30.juli.2019).

Vaa, T. og Svanekil, A. (2009) Statens Vegvesen Salt SMART – *Ap 1.6. Mekanisk fjerning av snø og is, Testing av ulike ryddeutstyr*. Vegdirektoratet, teknologiavdelingen, rapport nr. 2558.

Vinterudvalget (Dk) (2004) *Sneplog, status og utviklingstendenser*, Plovgruppen.

Wikipedia (2017) *Slaps*. Tilgjengelig fra: <https://no.wikipedia.org/wiki/Slaps> (Hentet: 30. juli 2019)

# Vedlegg

## Vedlegg A - Resultater fra modellforsøk og feltforsøk

### Modellforsøk

Forsøk nr.	Dato	Snøtype	Snøhøyde [cm]	Hastighet [m/s]
1	03.04.2019	Natursnø	1	2
2	04.04.2019	Natursnø	1	1
3	04.04.2019	Natursnø	1	0,5
4	04.04.2019	Natursnø	1	0,1
5	05.04.2019	Natursnø	1	3
6	05.04.2019	Natursnø	1	4
7	09.04.2019	Natursnø	1	2
8	09.04.2019	Natursnø	1	3
9	10.04.2019	Natursnø	1	3
10	10.04.2019	Natursnø	1	4
11	11.04.2019	Labsnø	1	2
12	11.04.2019	Labsnø	1	3
13	11.04.2019	Labsnø	1	4
14	11.04.2019	Labsnø	1	3
15	11.04.2019	Labsnø	1	2
16	11.04.2019	Labsnø	1	1
17	12.04.2019	Labsnø	1	0,5
18	12.04.2019	Labsnø	1	0,1
19	12.04.2019	Natursnø	0,5	2
20	12.04.2019	Natursnø	0,5	3
21	13.04.2019	Natursnø	0,5	4
22	13.04.2019	Natursnø	0,5	1

### Feltforsøk i Trysil

Forsøk nr.	Dato	Snøtype	Snøhøyde [cm]	Hastighet [km/t]
1	08.02.2019	Nysnø	10	41
2	09.02.2019	Nysnø	10	43
3	10.02.202019	Nysnø	10	41
4	11.02.202019	Nysnø	10	41

Modellforsøk

Forsøk nr.	Maks utkasthøyde [m]	Maks utkastlengde i luft [m]	Maks lengde på sklidd [m]
1			
2	0,076	0,150	0,150
3	0,058	0,110	0,110
4	0,037	0,087	0,087
5			
6			
7	0,100	0,112	0,270
8			
9	0,160	0,402	0,930
10	0,177	0,900	1,162
11			
12			
13	0,85	0,850	1,120
14	0,440	0,440	0,850
15	0,215	0,230	0,380
16		0,168	0,270
17		0,144	0,200
18		0,150	0,150
19	0,090	0,120	0,260
20	0,17	0,298	0,700
21	0,177	0,68	1,120
22		0,140	0,140

Feltforsøk i Trysil

Forsøk nr.	Maks utkasthøyde [m]	Maks utkastlengde i luft [m]	Maks lengde på sklidd [m]
1	2,027	4,4	5,735
2	1,952	3,916	-
3	2,347	4,186	3,935
4	2,309	4,577	4,855

Modellforsøk

Forsøk nr.	Mkasse før [g]	Mkasse etter utleggelse [g]	Masse i rammen [g]
1	7845	6081	1764
2	5783	3957	1826
3	5564	3592	1972
4	6553	4048	2505
5	10091	7803	2288
6	7803	4469	3334
7	7174	4607	2567
8	5036,2	2772,5	2263,7
9	6370	4091	2279
10	6409	4159	2250
11	4894	3672	1222
12	5217	4276	941
13	5425	4808	617
14	4805	3940	865
15	5483	4762	721
16	4762	3891	871
17	5387	4561	826
18	3688	2790	898
19	11403	9861	1542
20	9861	8345	1516
21	8321	6722	1599
22	6722	5192	1530

Feltforsøk i Trysil

Forsøk nr.	Snøtemperatur [°C]
1	-6,4
2	-
3	-
4	-5,5



## Modellforsøk

## Modelforsøk

Forsøk nr.	Volum av ramme [cm <sup>3</sup> ]	Test nr	Tetthet [g/cm <sup>3</sup> ]	Temp [°C]	Rør-prøver
					Felt 1
					Vekt [g]
1	7195,5	1	0,245153221	-6,2	12,5
2		2	0,253769717	-5,9	24,5
3		3	0,274060176	-6,1	0
4		4	0,348134251	-6,2	0
5		5	0,317976513	-6	1,5
6		6	0,463345146	-6,5	1
7		7	0,356750747	-5,7	11,2
8		8	0,314599402	-6	0,7
9		9	0,316725731	-6,5	0,5
10		10	0,312695435	-6,6	3,3
11		11	0,169828365	-5,7	2,9
12		12	0,13077618	-5,7	0,7
13		13	0,085748037	-6,5	0,1
14		14	0,120214023	-6	0,7
15		15	0,100201515	-6,2	4,7
16		16	0,121047877	-5,8	10,9
17		17	0,114793968	-5,8	12,1
18		18	0,124800222	-6	16
19	3669,75	19	0,420192111	-5,9	7,8
20		20	0,41310716	-5,9	0,4
21		21	0,435724504	-6,5	0,3
22		22	0,416922134	-5,9	19,7

## Modellforsøk

Forsøk nr.	Rør-prøver				
	Felt 1		Felt 2		
	Høyde [cm]	Tetthet [g/cm <sup>3</sup> ]	Vekt [g]	Høyde [cm]	Tetthet [g/cm <sup>3</sup> ]
1	1,2	0,235785101	7,6	0,7	0,245755442
2	2,5	0,221826623	0		0
3	0	0	0		0
4	0	0	0	0	0
5	1	0,033953055	1	0,1	0,226353697
6	0,05	0,452707394	0,6	0,1	0,135812218
7	1	0,25351614	9,5	1	0,215036012
8	0,05	0,316895176	1,2	0,1	0,271624436
9	0,1	0,113176848	1	0,2	0,113176848
10	0,05	1,493934399	0,6	0,1	0,135812218
11	0,6	0,109404287	3,2	1	0,072433183
12	0,2	0,079223794	1,3	1	0,029425981
13	0,1	0,02263537	0,2	0,2	0,02263537
14	0,2	0,079223794	1,8	0,8	0,050929582
15	1,5	0,070924158	4,7	1,4	0,07599017
16	2,8	0,088116261	6,4	1,4	0,103475976
17	4,8	0,057059994	0	0	0
18	7	0,051737988	0	0	0
19	1,1	0,160505349	7,1	0,6	0,267851875
20	0,05	0,181082957	0,2	0,05	0,090541479
21	0,05	0,135812218	0,4	0,05	0,181082957
22	1,8	0,247731546	0	0	0

Diameter rør [cm]

7,5

Overflate rør

44,1786467

## Modellforsøk

Forsøk nr.	Rør-prøver				
	Felt 3			Felt 4	
	Vekt [g]	Høyde [cm]	Tetthet [g/cm <sup>3</sup> ]	Vekt [g]	Høyde [cm]
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	3,5	0,5	0,158447588	9,8	1
6	1,1	0,2	0,124494533	1,4	0,3
7	9,5	1	0,215036012	0	0
8	3,9	0,4	0,220694854	8,2	1,8
9	5	0,5	0,226353697	6,2	0,5
10	1,1	0,15	0,165992711	1,6	0,25
11	6	1	0,135812218	4,1	1
12	2,6	1	0,058851961	3,8	1,2
13	0,3	0,6	0,011317685	0,8	1,2
14	2	0,6	0,075451232	2	1,1
15	3,8	1	0,086014405	0	0
16	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0
20	1,6	0,1	0,362165915	6,6	0,7
21	0,9	0,1	0,203718327	0,8	0,2
22	0	0	0	0	0

## Modellforsøk

Forsøk nr.	Rør-prøver				Rør-prøver	
	Felt 4	Felt 5			Felt 6	
	Tetthet [g/cm <sup>3</sup> ]	Vekt [g]	Høyde [cm]	Tetthet [g/cm <sup>3</sup> ]	Vekt [g]	Høyde [cm]
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0,221826623	5,9	0,5	0,267097362	0,6	0,1
6	0,105631725	1	0,2	0,113176848	0,9	0,2
7	0	0	0	0	0	0
8	0,103116684	12,6	1,2	0,237671382	7,4	0,6
9	0,280678584	10,7	0,7	0,345997794	6,6	0,6
10	0,144866366	2,2	0,3	0,165992711	2,1	0,25
11	0,092805016	0	0	0	0	0
12	0,071678671	5,1	1	0,115440385	2,5	1
13	0,015090246	1,9	0,9	0,04778578	1,1	1
14	0,041155218	3,6	1,4	0,058205236	6,2	1,5
15	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0
20	0,2134192	4,6	0,4	0,260306751	2,1	0,3
21	0,090541479	1,3	0,2	0,147129903	1,3	0,2
22	0	0	0	0	0	0

## Modellforsøk

Forsøk nr.	Rør-prøver				
	Felt 6	Felt 7			Felt 8
	Tetthet [g/cm <sup>3</sup> ]	Vekt [g]	Høyde [cm]	Tetthet [g/cm <sup>3</sup> ]	Vekt [g]
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0,135812218	0,9	0,1	0,203718327	0
6	0,101859164	2,3	0,3	0,173537834	2
7	0	0	0	0	0
8	0,279169559	4,6	0,5	0,208245401	2,6
9	0,248989067	6,2	0,6	0,23389882	5,3
10	0,190137105	4,1	0,4	0,232012539	3,5
11	0	0	0	0	0
12	0,056588424	0	0	0	0
13	0,024898907	2,5	0,9	0,062876027	1,4
14	0,093559528	4,2	1	0,095068553	0
15	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0
20	0,158447588	2,2	0,3	0,165992711	0
21	0,147129903	2,8	0,3	0,21126345	3,4
22	0	0	0	0	0

## Modellforsøk

Forsøk nr.	Rør-prøver		Rør-prøver		
	Felt 8		Felt 9		
	Høyde [cm]	Tetthet [g/cm <sup>3</sup> ]	Vekt [g]	Høyde [cm]	Tetthet [g/cm <sup>3</sup> ]
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0
6	0,3	0,150902465	2,5	0,2	0,282942121
7	0	0	0	0	0
8	0,2	0,294259806	3,5	0,3	0,264079313
9	0,5	0,239934919	3,1	0,2	0,35084823
10	0,5	0,158447588	4	0,3	0,301804929
11	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0
13	1	0,031689518	1,2	1,1	0,024693131
14	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0
21	0,3	0,25653419	3,6	0,4	0,203718327
22	0	0	0	0	0

## Modellforsøk

Forsøkt nr.	Rør-prøver				
	Felt 10			Felt 11	
	Vekt [g]	Høyde [cm]	Tetthet [g/cm <sup>3</sup> ]	Vekt [g]	Høyde [cm]
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0
6	1,5	0,1	0,339530545	0,5	0,1
7	0	0	0	0	0
8	1,3	0,2	0,147129903	0	0
9	0	0	0	0	0
10	2	0,25	0,181082957	1,3	0,2
11	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0
13	0,9	0,9	0,02263537	0,2	0,1
14	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0
21	1,6	0,25	0,144866366	0,5	0,05
22	0	0	0	0	0

## Modellforsøk

Forsøk nr.	Rør-prøver	Vekt av felt				
	Felt 11	M1	M2	M3	M4	M5
	Tetthet [g/cm <sup>3</sup> ]					
1	0	87	36,5	15,6	0	0
2	0	160,9	16,6	0	0	0
3	0	262,7	10,5	0	0	0
4	0	195,8	0	0	0	0
5	0	12,5	7,7	17,3	21,7	17,5
6	0,015370799	5,2	5,5	8	6,9	4,2
7	0	116,5	72	60	0	0
8	0	15	9,6	29	51	49,5
9	0	13	7,9	23,3	41,8	51,9
10	0,003152984	14,6	6	8,7	10,7	10,5
11	0	22,7	34,6	44,7	21,8	5
12	0	6,2	9,1	10,8	19,1	16,7
13	0,0025618	3,8	1,2	4,7	7,2	8
14	0	4,4	10,1	14,1	14,3	14,8
15	0	33	33,7	20,4	6,6	0
16	0	69,7	45,3	5,9	0	0
17	0	79	18,4	0	0	0
18	0	103	6	0	0	0
19	0	69	50,5	17,9	0	0
20	0	3,8	1,9	11,7	33,4	27,4
21	0,006558207	5,3	1,3	3,6	5,8	7,8
22	0	139,5	7,5	0	0	0



## Modellforsøk

Forsøk nr.	Vekt av felt					
	M6	M7	M8	M9	M10	M11
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	8,5	4,1	0	0	0	0
6	5,1	4,3	4,7	5	3,6	1,5
7	0	0	0	0	0	0
8	35	5,4	11,9	55	1,7	0
9	34,5	20,9	20	9,1	1,1	0
10	12,6	20,5	17,5	29,5	13,9	8,8
11	0,3	0	0	0	0	0
12	12	2,8	1,3	0	0	0
13	6,6	5,5	5,3	3,6	1,3	0,3
14	10	8,8	1,8	1	0	0
15	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0
20	11,4	4,7	0	0	0	0
21	10,7	14,9	20,8	15	7,1	3,1
22	0	0	0	0	0	0

Modellforsøk

Forsøk nr.	Vekt av felt + vekt fra rørprøver					
	M1	M1/m <sup>2</sup>	M2	M2/m <sup>2</sup>	M3	M3/m <sup>2</sup>
1	99,5	2487,5	44,1	1102,5	15,6	390
2	185,4	4635	16,6	415	0	0
3	262,7	6567,5	10,5	262,5	0	0
4	195,8	4895	0	0	0	0
5	14	350	8,7	217,5	20,8	520
6	6,2	155	6,1	152,5	9,1	227,5
7	127,7	3192,5	81,5	2037,5	69,5	1737,5
8	15,7	392,5	10,8	270	32,9	822,5
9	13,5	337,5	8,9	222,5	28,3	707,5
10	17,9	447,5	6,6	165	9,8	245
11	25,6	640	37,8	945	50,7	1267,5
12	6,9	172,5	10,4	260	13,4	335
13	3,9	97,5	1,4	35	5	125
14	5,1	127,5	11,9	297,5	16,1	402,5
15	37,7	942,5	38,4	960	24,2	605
16	80,6	2015	51,7	1292,5	5,9	147,5
17	91,1	2277,5	18,4	460	0	0
18	119	2975	6	150	0	0
19	76,8	1920	57,6	1440	17,9	447,5
20	4,2	105	2,1	52,5	13,3	332,5
21	5,6	140	1,7	42,5	4,5	112,5
22	159,2	3980	7,5	187,5	0	0

overflateareal felt [m<sup>2</sup>]

0,04

## Modellforsøk

Forsøk nr.	Vekt av felt + vekt fra rørprøver						
	M4	M4/m <sup>2</sup>	M5	M5/m <sup>2</sup>	M6	M6/m <sup>2</sup>	M7
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0
5	31,5	787,5	23,4	585	8,5	212,5	5
6	8,3	207,5	5,2	130	5,1	127,5	6,6
7	0	0	0	0	0	0	0
8	59,2	1480	62,1	1552,5	35	875	10
9	48	1200	62,6	1565	34,5	862,5	27,1
10	12,3	307,5	12,7	317,5	12,6	315	24,6
11	25,9	647,5	5	125	0,3	7,5	0
12	22,9	572,5	21,8	545	12	300	2,8
13	8	200	9,9	247,5	6,6	165	8
14	16,3	407,5	18,4	460	10	250	13
15	6,6	165	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0
20	40	1000	32	800	11,4	285	6,9
21	6,6	165	9,1	227,5	10,7	267,5	17,7
22	0	0	0	0	0	0	0

## Modellforsøk

Forsøk nr.	Vekt av felt + vekt fra rørprøver						
	M7/m <sup>2</sup>	M8	M8/m <sup>2</sup>	M9	M9/m <sup>2</sup>	M10	M10/m <sup>2</sup>
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0
5	125	0	0	0	0	0	0
6	165	6,7	167,5	7,5	187,5	5,1	127,5
7	0	0	0	0	0	0	0
8	250	14,5	362,5	58,5	1462,5	3	75
9	677,5	25,3	632,5	12,2	305	1,1	27,5
10	615	21	525	33,5	837,5	15,9	397,5
11	0	0	0	0	0	0	0
12	70	1,3	32,5	0	0	0	0
13	200	6,7	167,5	4,8	120	2,2	55
14	325	1,8	45	1	25	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0
20	172,5	0	0	0	0	0	0
21	442,5	24,2	605	18,6	465	8,7	217,5
22	0	0	0	0	0	0	0

## Modellforsøk

Forsøk nr.	Vekt av felt + vekt fra rørprøver		Snø igjen etter plogging [g]
	M11	M11/m <sup>2</sup>	
1	0	0	398,5
2	0	0	446,5
3	0	0	411,7
4	0	0	542
5	0	0	456,5
6	2	50	366
7	0	0	441
8	0	0	429,7
9	0	0	416
10	10,1	252,5	446
11	0	0	124,4
12	0	0	158
13	0,5	12,5	88
14	0	0	111
15	0	0	130,3
16	0	0	112,5
17	0	0	93,9
18	0	0	155
19	0	0	496
20	0	0	435
21	3,6	90	420
22	0	0	444,4

