

Varighet av salttiltak med befuktet salt

Effekt av ulike befruktningssvæsker og
kornstørrelse på salttap fra vegbanen

Krister Helland Skjærbekk

Master i veg og jernbane

Innlevert: mai 2017

Hovedveileder: Alex Klein-Paste, IBM

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for bygg- og miljøteknikk



Oppgavens tittel: Varighet av salttiltak med befuktet salt The effectiveness of salting with hydrated sodium chloride	Dato: 30.09.2017		
	Antall sider (inkl. bilag): 50		
	Masteroppgave	X	Prosjektoppgave
Navn: Stud.techn. Kristen Helland Skjærbekk			
Faglærer/veileder: Alex Klein-Paste, NTNU			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/veiledere: Kai Rune Lysbakken, Statens vegvesen			

Ekstrakt:

De viktigste aktivitetene i vinterdriften er knyttet til fjerning av snø og is fra vegbanen og opprettholde trafikksikkerheten. Natriumklorid (NaCl) står for om lag 99.5 % av kjemikalbruken på det norske riks- og fylkesvegnettet i vinterhalvåret. Etter hvert som saltbruken øker, blir det behov for å optimalisere bruken av NaCl grunnet miljøkonsekvenser.

I denne masteroppgaven undersøkes salttapet ved befuktet salt som spredemetode. Det studeres hvordan ulike befuktningssvæsker og saltets kornstørrelse, påvirker salttapet som følge av blow-off. Forsøkene baserer seg på befuktning med 80 vektprosent salt og 20 vektprosent løsning/vann. Det ble brukt fire forskjellige befuktningssvæsker (NaCl-løsning, MgCl₂-løsning, sukkerløsning og vann). For å kunne undersøke effekten på blow-off på ulike kornstørrelser av salt ble det brukt finkornet og grovkornet salt (siktet til 0-1mm og 2-4mm). Arealet av asfaltplaten som ble saltet var på 180 cm², og det ble benyttet to gram salt og 0,6 gram løsning, som tilsvarer 110 g/m² salt og 33 g/m² løsning.

Et av målene i denne oppgaven var å undersøke hvor godt friksjonsbanen simulerte blow-off av salt. Friksjonsbanen har fravær av turbulens og gir et potensiale for blow-off. Oppgaven peker på usikkerheter knyttet til friksjonsbanen og målemetoden.

Resultatene i oppgaven viser at det er liten forskjell på salttap på forskjellige befuktningssvæsker. MgCl₂-løsning viser mindre salttap men dog så lite at resultatet kan være tilfeldig. Salt uten befuktningssvæske viser stor forskjell, der salttapet er om lag 16-20 % høyere. Et annet interessant funn er at resultatene viser større forskjell på kornstørrelse, der fraksjon 2-4 mm har 21 % lavere salttap sammenlignet med fraksjon 0-1 mm.

Stikkord:

- | |
|----------------------|
| 1. Blow-off |
| 2. Befuktningssvæske |
| 3. Kornstørrelse |
| 4. Saltløsning |

Kristen H. Skjærbekk

Forord

Denne rapporten er resultatet av mitt arbeid med den avsluttende masteroppgaven som er skrevet som en del av erfaringsbasert master, med studieretning veg på NTNU våren 2017. Arbeidsbelastningen skal tilsvare 30 studiepoeng.

Dette masterprogrammet er utviklet i samarbeid med Statens vegvesen, BaneNord og NTNU, for å kunne øke kunnskapen innenfor samferdsel. Masteroppgaven har vært lærerikt, utfordrende og interessant. Temaet i denne oppgaven ble valgt på bakgrunn av interesse for vegsalt og hvilke utfordringer det står ovenfor. Gjennom denne oppgaven ønsket jeg å finne ut mer om hvordan forskjellige befuktningssvæsker og kornstørrelser påvirker vedheftet til saltet. Alex Klein-Paste ved NTNU har bistått med veiledning gjennom hele masteroppgaven, og hjulpet meg med å holde orden på fremdrift, se på aktuelle problemstillinger og veiledet i forhold til de formelle krav som stilles til en masteroppgave.

Ekstern veileder Kai-Rune Lysbakken i Statens vegvesen har bistått med kunnskap, formell skriving og kilder. Kai-Rune Lysbakken har svart villig, kritisk og konstruktivt på de mange spørsmålene som oppstår når man dykker ned i faget. Både Alex Klein-Paste og Kai-Rune Lysbakken har vært gode diskusjonspartnere, som gjennom sitt arbeid og engasjement bidrar til nytenking og kreativitet.

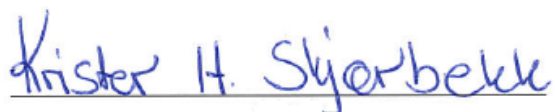
Jeg vil også rette en takk til Mathis Dahl Fenre som har bistått med praktisk testing i laboratoriet ved NTNU.

Uten disse personene hadde det ikke vært mulig å gjennomføre masteroppgaven slik jeg ønsket.

Jeg vil også rette en stor takk til Statens vegvesen med tilrettelegging for masterstudiet.

Hamar, 30.09.2017

Krister Helland Skjærbekk



Sammendrag

Vegsalthet er viktig for god framkommelighet og for å opprettholde trafikksikkerheten. Etter hvert som saltbruken øker, blir det behov for å optimalisere bruken grunnet miljøkonsekvenser. Riktig spredemetode er et mulig tiltak for optimal saltbruk.

I denne masteroppgaven undersøkes salttapet ved befuktet salt som spredemetode. Det studeres hvordan ulike befuktningsvæsker og saltets kornstørrelse, påvirker salttapet som følge av blow-off

Studien har bestått av en litteraturgjennomgang og laboratorietesting. Laboratorieforsøkene ble utført på en friksjonsbane hos NTNU, der et hjul ruller over en asfaltplate med utspredd salt. Hensikten med forsøket var å simulere blow-off ved fire forskjellige befuktningsvæsker.

Forsøkene baserer seg på befuktning med 80 vektprosent salt og 20 vektprosent løsning/vann. Det ble brukt fire forskjellige befuktningsvæsker (NaCl-løsning, MgCl₂-løsning, sukkerløsning og vann). For å kunne undersøke effekten på blow-off på ulike kornstørrelse av salt ble det brukt finkornet og grovkornet salt (siktet til 0-1mm og 2-4mm). Arealet av asfaltplaten som ble saltet var på 180 cm². Det ble benyttet 2 gram salt og 0,6 gram løsning, som tilsvarer 110 g/m² salt og 33 g/m² løsning.

Ett av målene i denne oppgaven var å undersøke hvor godt friksjonsbanen simulerte blow-off av salt. Friksjonsbanen har fravær av turbulens og gir et potensiale for blow-off. Oppgaven peker på usikkerheter knyttet til friksjonsbanen og målemetoden.

Resultatene i oppgaven viser at det er liten forskjell på salttap på forskjellige befuktningsvæsker. MgCl₂-løsning viser et noe mindre salttap enn de øvrige befuktningsvæskene, men dog så lite at resultatet kan være tilfeldig. Salt uten befuktningsvæske viser større forskjeller, der salttapet er mellom 16-20 % høyere enn salt med befuktning. Et annet interessant funn resultatene viser, er at det er større forskjeller på salttap avhengig av kornstørrelse. Saltfraksjon 2-4 mm har 21 % lavere salttap sammenlignet med saltfraksjon 0-1 mm.

Summary

Road salting is an important element of winter road maintenance. As the amount of salt used increases so does the need to optimise its use due to concerns for the environment. One mitigating measure to optimise the use of road salt is by enhancing the spreading method used.

This study includes both a literature study and laboratory testing to examine blow-off of different prewetting agents and grain sizes. The laboratory testing conducted was at a friction course at NTNU, where a tire was rolled over a specially designed asphalt slab (asphalt size was 30x30cm) with spreaded road salt. The salt residue was then soaked up using Wettex® cloths and placed in a tub of water with 1 litre of distilled water. Measurements of the salt residue were taken by using the conductivity meter SEVENGo™.

The use of prewetted salt as a spreading method and how the different prewetting agents and grain size influences the loss of salt in form of blow-off was evaluated in this study. The trials are based on prewetting with 80 wt.% salt and 20 wt.% solution/water. Four different prewetting agents were used; NaCl-solution, MgCl₂-solution, a sugar-solution and water alone. To examine the effects on “blow-off” of different grain sizes of salt both fine-grained and coarse-grained salt were used (sieved to 0-1mm and 2-4mm). The size of the asphalt slab was 180cm², and 2grams of salt per 0.6 grams of solution was used, which is the equivalent to 110g/m² of salt and 33g/m² of solution.

One of the main aims of this study was to examine how good a friction course simulated blow-off of salt. Friction courses lack turbulence and give a potential for blow-off. This study highlights the uncertainties connected to the use of a friction course and the measurement method.

Results of the study show that there is little difference in salt loss by using the different prewetting agents. The use of MgCl₂-solution resulted in less salt loss however; the loss was so insignificant that it is possible this could be coincidental. The use of salt without prewetting showed a salt loss that was between 16-20% greater. Finally, another interesting find was the difference in salt loss in connection to grain size, the coarse-grained salt (2-4mm) had a 21% lower salt loss compared to the fine-grained salt (0-1mm).

Innhold

Forord	II
Sammendrag	IV
Summary	VI
Figurliste	X
Bideliste.....	X
Definisjoner/begrepsforklaringer.....	XI
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn.....	1
1.2 Problemstilling	3
2. Teori	4
2.1 Varighet av salttiltak – ulike tapsmekanismer.....	4
2.2 Spredemetoder og befuktet salt.....	6
2.2.1 Befuktet salt	8
2.2.3 Egenskaper til magnesiumklorid som befuktningmiddel.....	9
2.3 Krav til salt.....	11
2.3.1 Kornstørrelse.....	11
2.4 Tidligere forsøk med befuktningvæsker	12
2.4.1 Sammenligning av tørt salt og befuktet salt	12
2.4.2 Forsøk med magnesiumklorid som befuktningmiddel	13
2.4.3 Forsøk med sukker som befuktningmiddel.....	14
2.4.4 Studie av ulike kornstørrelser	15
3. Metode	16
3.1 Testing av blow-off på forskjellige befuktningvæsker	16
3.2 Friksjonsbanen	17
3.3 Utspredning av salt.....	19
3.4 Opptaking av salt	19
3.5 Måling av restsalt	20
4. Resultat	21
4.2 Visualisering av resultater.....	23
5. Diskusjon	26
6. Konklusjon	29
6.1 Videre arbeid.....	30
Litteraturliste.....	32

Vedlegg 1 Masteroppgavetekst	34
Vedlegg 2 Rådata av restsaltmålinger	37
Vedlegg 3 Skisse av friksjonsbane	38

Figurliste

Figur 2-1: Illustrasjon av tapsmekanismer fra vegbanen.....	4
Figur 2-2: Salttiltak som funksjon av trafikkmengde og saltmengde.....	5
Figur 2-3: Ulike spredemetoder for strøing med salt.....	7
Figur 2-4: Avviklingsforløp for saltmengder etter tiltak ved ulike metoder.....	8
Figur 2-5: Fasediagram for magnesiumklorid og natriumklorid.....	10
Figur 2-6: Krav til siktestørrelse.....	11
Figur 2-7: Oversikt over testbane på sporoverflaten.....	12
Figur 2-8: Saltforbruk i kg/m ² på Kirkevegen og Sørkedalsvegen i Oslo.....	13
Figur 2-9: Fasediagram sukker	14
Figur 4-1: Resultat av restsalt.....	21
Figur 4-2: Tap i prosent.....	22

Bildeliste

Bilde 3-1: Dekk og asfaltplate på friksjonsbane.....	17
Bilde 3-2: Friksjonsbane.....	18
Bilde 3-3: Målehjul på friksjonsbane.....	18
Bilde 3-4: Måling av saltkonsentrasjon og opptak av restsalt med wettex-klut.....	19
Bilde 3-5: Konduktivitetmåler SEVENGo.....	20
Bilde 4-1: Finkornet salt med befuktningvæske.....	23
Bilde 4-2: Grovkornet salt med befuktningvæske.....	24
Bilde 4-3: Finkornet tørt salt.....	24
Bilde 4-4: Grovkornet tørt salt.....	25
Bilde 5-1: Friksjonsdekket ROAR.....	27

Definisjoner/begrepsforklaringer

Antibakemiddel	Består av jerncyanid og tilsettes salt for å hindre klumping
Blow-off	Saltkorn blåses av vegen av trafikken
Eksotermisk reaksjon	En reaksjon der varme avgis. Eksempelvis avgir saltet varme når det går i løsnings
Eutekisk temperatur	Laveste temperatur der blandingen forblir i løsnings
Fasediagram	Et diagram som viser frysepunkt for kjemikaler ved ulike vektkonsentrasjoner
Feilfelt	Gir uttrykk for potensielle feilstørrelser i en grafisk fremstilling i forhold til datapunkter i en dataserie
Friksjon	Motstand som oppstår mellom to overflater som glir mot hverandre
Hygroskopisk	Et materiale som kan ta opp og avgi fuktighet
Initial tap	Tap av salt under utstrøing
Kornstørrelse	Størrelse på saltkorn
MgCl ₂	Forkortelse for magnesiumklorid
NaCl	Forkortelse for natriumklorid (salt)
Run-off	Oppløst salt renner av vegen ved mye nedbør/regn
Standardavvik	Et alminnelig mål på spredningen i en observasjonsserie som sier noe om usikkerheten ved målingene
Spray-off	Oppløst salt spruter av vegen av trafikken

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Det overordna målet med vinterdrift er å opprettholde framkommelighet og trafikk sikkerhet gjennom vinteren. De viktigste aktivitetene i vinterdriften knytter seg til å fjerne snø og is fra vegbanen og å opprettholde friksjonsnivået.

Det er kjent at salting er nødvendig for opprettholde både framkommelighet og regularitet. Vaa, T. (1995) hevder at trafikkulykker reduseres med over 20 % på saltet veg. Det er ofte de alvorligste ulykkene som blir redusert. Samtidig er det er velkjent at salt i form av natriumklorid (NaCl) har en rekke negative effekter på miljøet og kjøretøyene, nedsatt sikt i form av klin på frontruten og tilsmussete lykteglass. Bruk av små mengder salt vil vanligvis være uproblematisk, men i områder hvor naturen er sårbar, kan det oppstå miljøskader dersom saltmengden blir høy. Vegsalt er ofte knyttet til problemer i forhold til drikkevann og innsjøer med for høye saltkonsentrasjoner og nedsatt vannkvalitet.

Salt på veger brukes med tre ulike hensikter:

- Hindre at is og rim dannes på vegen (anti-ising)
- Hindre at snøen pakker seg til en snø/issåle når det snør (anti-kompaktering). Dette gjør at snøen blir lettere å ploge
- For å smelte tykke, glatte ishinner som er dannet på vegen (de-ising)

Natriumklorid står for om lag 99.5 % av kjemikalbruken på det norske riks- og fylkesvegnettet i vinterhalvåret (Vaa og Sakshaug, 2007). I Norge er det stort fokus på alternative kjemikaler som kan tilsettes, slik at effekten økes og bruken natriumklorid kan reduseres. I Norge er bruken av salt i form av natriumklorid som dominerer grunnet pris og effekt (Vaa og Sakshaug, 2007).

Kjemisk bruk er en metode for å fjerne snø og is på vinterveger med for eksempelvis salt, men kjemiske metoder brukes ikke alene. De brukes sammen med mekaniske metoder slik som plogging (Lysbakken K.R, 2013).

Forbruket i Norge har de senere år variert fra 160 000 tonn til 265 000 tonn NaCl, og saltforbruket på tungt trafikkerte veger ligger på om lag 15 tonn/km (Sivertsen, 2012).

Optimalisering av saltbruk har vært et viktig tema i flere tiår og er fortsatt viktig tema for videre forskning.

Det opereres med flere ulike måter å spre salt på, som tørt salt eller med ulike former for befuktning. Valg av metode avhenger av hensikt, vær og føreforhold. Salt blir befuktet med væske før utspredning. Det kan benyttes både vann og kjemikalløsning til dette. Målet med salt tilsatt befuktningsvæske er å kunne gi hurtigere effekt av salttiltaket ved at oppløsningsprosessen skjer raskere og det blir bedre heft til vegen. Bruk av effektive spredemetoder er en viktig måte å optimalisere for eksempelvis å spre saltet med minst mulig tap og for å oppnå hurtigst mulig effekt.

NaCl befuktet med MgCl₂-løsning blir noen steder (f. eks Oslo og Trondheim,) brukt som kjemikaler i vinterdriften. I tillegg blir MgCl₂-løsning brukt til støvbinding som tiltak mot svevestøv.

1.2 Problemstilling

Temaet for denne oppgaven er å undersøke salttapet ved befuktet salt som spredemetode og se hvordan ulike befuktningssvæsker og kornstørrelse påvirker salttapet som følge av blow-off. Studien består av et litteraturstudium og laboratorietester der blow-off av salt fra vegbanen er forsøkt simulert og målt under kontrollerte forhold.

Laboratorietestene er gjennomført ved bruk av en friksjonsbane der et målehjul har rullet over en asfaltplate med utspredd salt. Dette simulerer prosessen der et bilhjul ruller over en vegoverflate med salt, men det er fravær av turbulens fra kjøretøy og vind. Forsøkene kan således ikke simulere de fullstendige mekanismene bak blow-off av salt, men angir et mulig potensiale for blow-off.

Målet med laboratorietestene har vært å:

- Undersøke og dokumentere hvorvidt friksjonsbanen kan brukes for å undersøke blow-off av salt
- Undersøke effekten på blow-off av salt for ulike befuktningssvæsker; NaCl-løsning, MgCl₂-løsning, sukkerløsning og vann
- Undersøke effekten på blow-off av salt for ulike kornstørrelser av salt

2. Teori

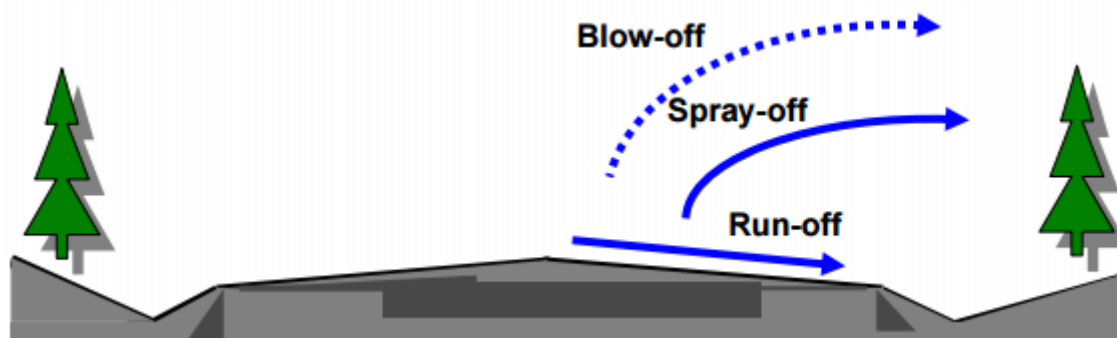
2.1 Varighet av salttiltak – ulike tapsmekanismer

Salt har en viss varighet på vegen. Varigheten defineres med hvor lenge saltet er tilstede på vegbanen. Det er imidlertid utfordrende å oppdage hva som faktisk skjer med saltkornene som er spredt ut i vegbanen.

Tapsmekanisme er en betegnelse på en prosess som fjerner saltet fra vegbanen. Det skilles mellom tap som forekommer under utlegging (initial tap) og tap som forekommer etter utlegging. Initialtap av salt kan oppstå av vind eller turbulens bak strø bilen som blåser vekk saltkornene, eller salt som spretter/ruller bort fra vegbanen.

I figur 2-1 er det definert tre tapsmekanismer etter tiltak:

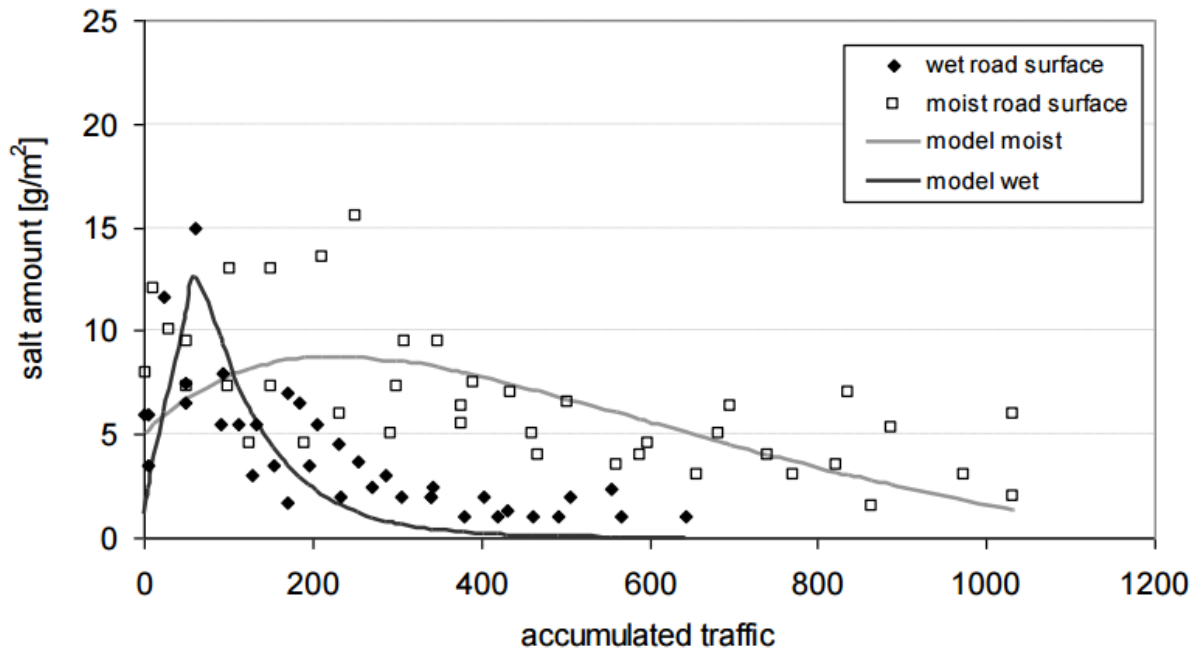
- 1) Blow-off
- 2) Spray-off
- 3) Run-off



Figur2-1: Illustrasjon av tapsmekanismer fra vegbanen. (Lysbakken, K.R, and Norem, H., 2008)

Det er godt kjent at når hjulet på kjøretøyet treffer saltkornene, kan de sprette opp, og turbulens og vind blåser saltkornene bort fra vegoverflaten. Blow-off oppstår ved at salt i uoppløst form, enten grunnet trafikk eller vær og vind, blåser saltkornene bort fra vegoverflaten. Blow-off er en funksjon av trafikkmengden (Lysbakken K.R, 2013).

Spray-off oppstår når oppløst salt sprøytes (sprutes) vekk fra vegoverflaten av trafikken. Avrenning skjer ved at oppløst salt dreneres naturlig bort fra vegbanen. Avrenning skjer bare på vegdekke med høy mengde av vann, for eksempel i forbindelse med nedbør. Nedenfor er en figur som viser hvordan salttiltak varierer med trafikkmengde og saltmengde.



Figur 2-2: Salttiltak som funksjon av trafikkmengde og saltmengde (Lysbakken, K.R, and Norem, H., 2011)

Figur 2-2 viser at oppløsningen av saltet påvirker tapsprosenten, og det bestemmer hvilke tapsmekanismer som er dominerende. Eksempelvis vil oppløsningsprosessen for tørt salt som er spredt utover vegbanen med liten mengde vann, være langsomt. Dette gir en høyere grad av blow-off. Dersom vegbanen er våt ved tiltak, vil oppløsningen gå raskere. Det vil føre til mindre blow-off, men spray-off vil øke. Når oppløsningsprosessen er fullført, vil tapsmekanismen utlukkende være spray-off.

2.2 Spredemetoder og befuktet salt

Salt kan spres på vegbanen med ulike spredemetoder og de ulike spredemetodene har forskjellige virkning ved de ulike hensikter og under ulike trafikk-, vær- og vegbaneforhold. (Statens vegvesen, 2015)

Hvilke spredemetoder som blir valgt, kan være avhengig av formål og vær- og føreforhold. Det er definert fire ulike spredemetoder for salt:

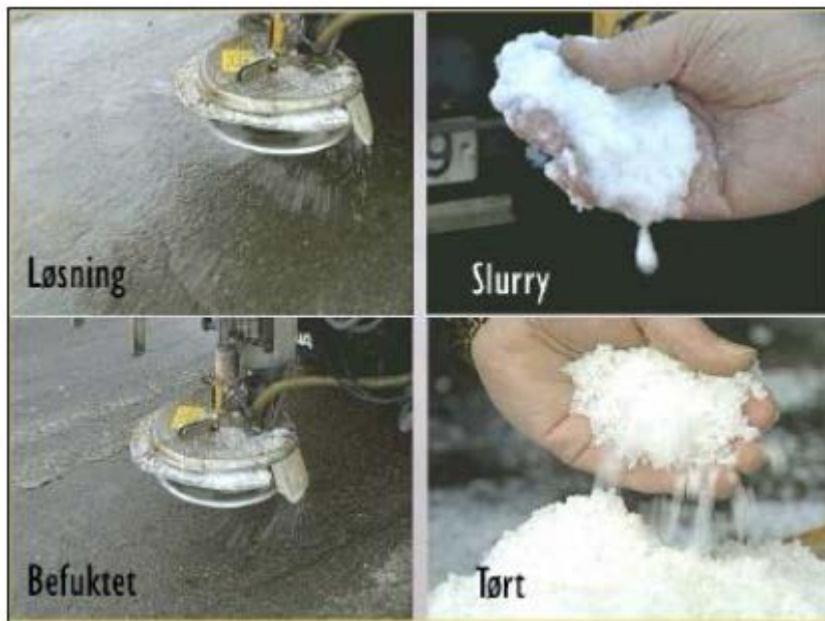
- Tørt salt
 - Salt blir spredt ut i vegen i form av tørre saltkorn. Denne metoden er oftest brukt på våt vegbane eller på snø og is. Saltet blir vanligvis strødd ut med tallerkenspredere

- Befuktet salt
 - Salt blir befuktet med vann, saltløsning eller andre kjemikalier (væskeblandinger). Det benyttes vanligvis saltspredere med tallerkenspredere for å strø blandingen på vegen

- Befuktet finkornet salt (slurry):
 - Finknuste befuktet saltkorn blir knust i en mikser før saltet befuktes. Blandingen spres vanligvis ut med tallerkenspreder

- Saltløsning
 - Dette er en blanding av salt og vann. Blandes vanligvis opp mot en løsning på ca. 23 vekt%. Saltløsningen spres vanligvis med tallerkenspreder eller ulike dysespredere

(Vaa and Sakshaug, 2007)



Figur 2-3: Ulike spredemetoder for strøing med salt (Sivertsen, Å., 2014)

Det er vanskelig å kalibrere saltspredere slik at saltet blir strødd jevnt, og saltet har en tendens til å spres utenfor vegoverflaten. For å forhindre isdannelser eller frost må saltet først danne en løsning, og derfor oppstår det en tidsforsinkelse før saltet oppnår sin effektivitet. Tidsforsinkelsen er avhengig av flere faktorer, som for eksempel størrelsen på saltkornene, type befuktningsvæske, temperatur og mengde vann på vegen (Burtwell, 2004).

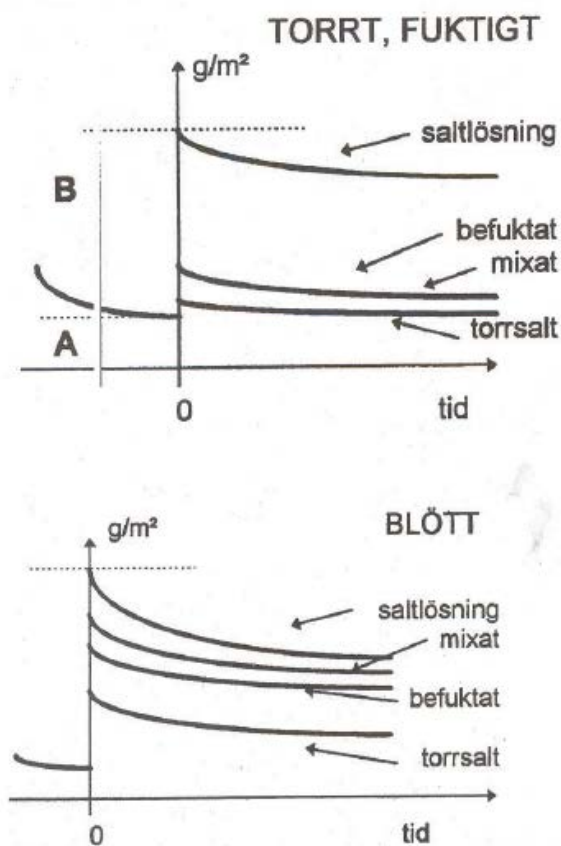
2.2.1 Befuktet salt

Befuktet salt som spredemetode har blitt mer eller mindre vanlig de ti siste årene. Den brukes til at saltkornene skal klistre seg bedre til vegoverflaten og gi hurtigere virkning (Gerbino-Bevins, 2011).

Shi og O'Keefe (2005) fant ut at 96% av det befuktete saltet havnet på vegoverflaten etter utspredning til sammenlikning med tørt salt, der 70% av saltet havnet på vegoverflaten. Etter 100 passerte kjøretøy lå restsaltmengden på 30% ved bruk av befuktet salt. Restsaltmengden ved tørt salt lå på 5% med samme antall passeringer (Donahey and Burkheimer, 1996).

Befuktet salt vil gjøre at saltet blir liggende på vegbanen i større utstrekning sammenlignet med tørt salt. Befuktet salt vil også virke raskere og dermed gi bedre effektivitet (Svanekil, 2007).

En datamodell (Ericsson, 1995) er utviklet for å kunne beregne restsaltmengden på vegbanen. Denne er bygd opp av feltmålinger av fuktighet og saltkonsentrasjoner. Forløpet for saltmengde etter salting er gjengitt i figur 2-4.



Figur 2- 4: Avviklingsforløp for saltmengder etter tiltak ved ulike metoder

En undersøkelse basert på flere modeller gjort av Sooklall and Perchanok (2006), viser at befuktet salt har en forbedret effektivitet på 17 % - 40 % sammenlignet med tørt salt.

Det er følgende mulige mekanismer som gir lavere tap ved befuktet salt:

- Befuktning gir hurtigere oppløsning som gir mindre blow-off
- Befuktning gjør at saltkornene kleber bedre til vegbanen

Et viktig spørsmål er hva slags type kjemikaler som har best virkning på faktorer som hurtighet, effekt og dosering. Ulike befuktningssvæsker har ulike frysepunkter og vil påvirke resultatet, og det er interessant å finne fram alternativer til NaCl som gir reduksjon i mengde salt.

2.2.3 Egenskaper til magnesiumklorid som befuktningmiddel

Engebretsen, S.E. (2004) hevder at NaCl befuktet med magnesiumklorid anses som et alternativ for salting ved lavere temperaturer. Det finnes midlertid ikke godt nok bevis for hvordan dette fysisk virker. En ofte brukt forklaring er at MgCl₂-løsning har et lavere frysepunkt

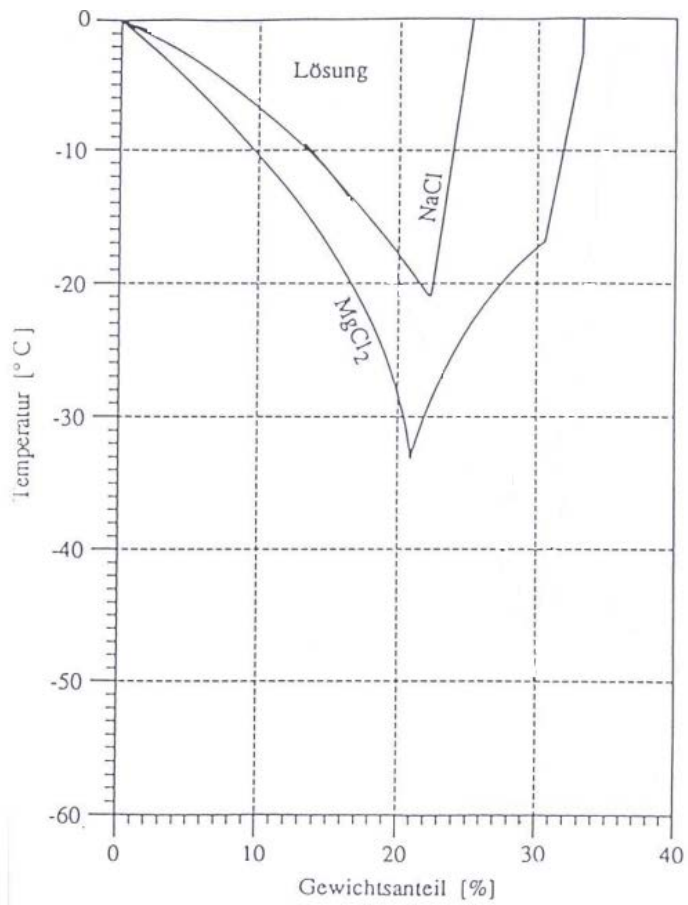
MgCl₂ kan spres som tørt eller løsning. Det er høyløselig i vann. Reaksjonen er eksotermisk som betyr at det avgis varme når saltet går i løsning. Dette kan igjen påskynde smelteprosessen. MgCl₂ løst i vann har en eutekisk temperatur på -33 °C ved konsentrasjon 21.6 vektprosent og er hygroskopisk.

MgCl₂ har følgende kjemiske egenskaper:

- Tetthet: 1,569
- Løselighet i kaldt vann: 1670 g/l
- Løselighet i varmt vann: 3670 g/l

Vaa, T (2005)

Dette betyr at løseligheten er mye større i varmt vann enn i kaldt vann.



Figur 2- 5: Fasediagram for magnesiumklorid og natriumklorid.

(Engebretsen, S.E., 2004)

2.3 Krav til salt

Det settes forskjellige krav til salt til vegformål, slik som kvalitet og kornstørrelse på salt. Kravene er gitt i kontraktmalen (D2-ID9300a «Bruk av salt», 2017), og de er satt av Statens vegvesen. Kontraktmalen stiller også krav til saltinnhold, vanninnhold, antibakemiddel og kornstørrelser.

2.3.1 Kornstørrelse

Finkornet salt vil løses opp raskere og gi hurtigere virkning på veg sammenlignet med grovkornet salt (Sivertsen, Å, 2012). Hurtigere oppløsning vil også bety mindre salttap og mindre grad av blow-off. I forsknings- og utviklingsprosjektet «Salt SMART» peker på at finkornet salt hører sammen med et driftsopplegg der fokuset ligger på rettidige og lave saltdoseringer.

Anbefalingen til «Salt SMART» prosjektet er å innføre strengere krav til kornstørrelse på salt som benyttes til befuktet salt eller tørt salt. Anbefalingene er at salt som passerer et 4 mm sikt skal være på linje med de danske krav. Målet med de skjerpete kravene er å få raskere effekt og begrenset salttap.

For natriumklorid som legges på veg som tørt salt eller blir benyttet til befuktet salt gjelder følgende krav:

Siktstørrelse (mm)	Gjennomslipp vektprosent
6,3	100
4	80 - 100
1	20 - 100
0,125	0 - 5

Figur 2- 6: Krav til siktestørrelse

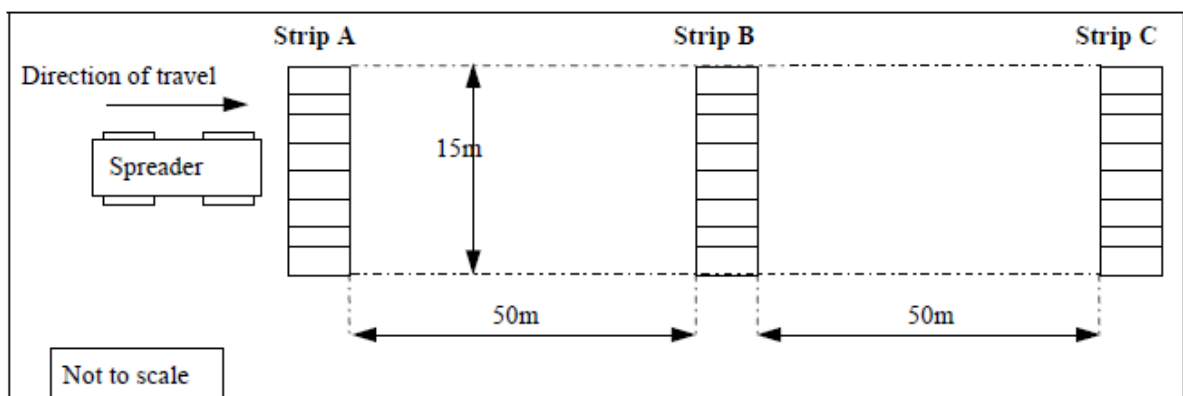
(Statens vegvesen, driftskontrakt veg, 2014-2019)

2.4 Tidligere forsøk med befuktningssvæsker

Erfaringer og effekter ved bruk av befuktningssvæsker baserer seg på tidligere forsøk i felt og fra laboratoriearbeid med de ulike kjemikaliene MgCl₂-løsning, NaCl-løsning, sukkerløsning og salt befuktet med vann.

2.4.1 Sammenligning av tørt salt og befuktet salt

I Storbritannia er det gjort forsøk på spredning av tørt salt og befuktet salt under kontrollerte forhold på en testbane, (se figur 2-7). Målet for denne testen var å evaluere forskjellige spredemetoder og spredningshastigheter. Testområdet besto av tre rektangulære striper, merket A, B og C med en bredde på 15 meter. Stripene ble lagt ut med en lengde på 50 meter, parallelt med hverandre, plassert tvers over spredningsretningen. Restsaltet ble tatt opp ved hjelp av en støvsuger.



Figur 2-7: Oversikt over testbane på sporoverflaten (Burtwell, M., 2004)

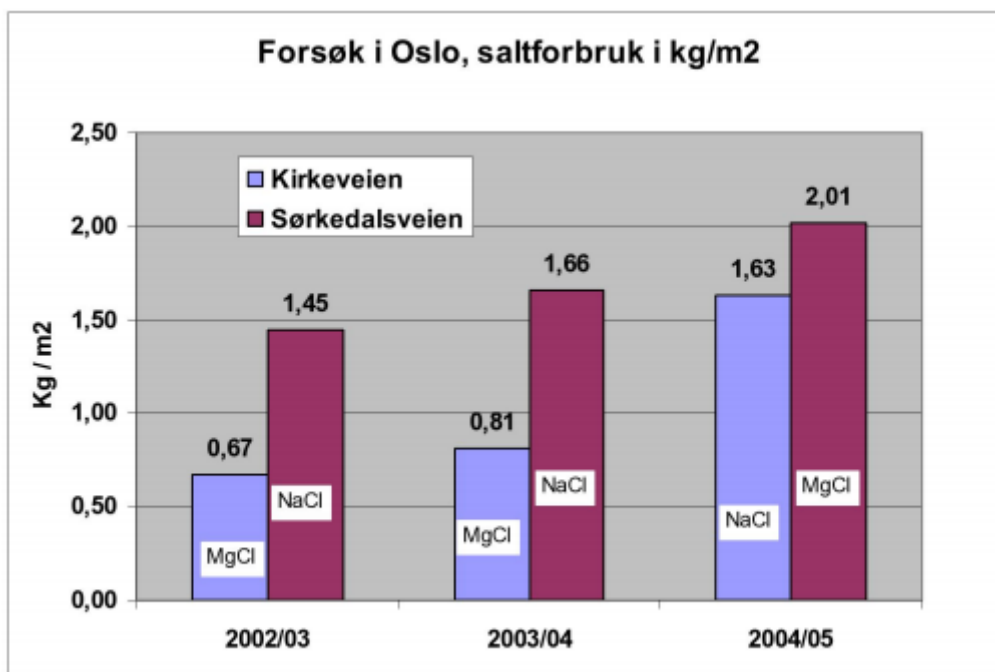
Resultatene fra testen viste:

- Befuktet salt hadde lengre varighet på vegbanen, og det oppstod mindre blow-off.
- Spredemetode med befuktet salt hadde mindre initial tap
- Spredning med befuktet salt lå på 5,11 g/m², sammenlignet med tørt salt som lå på 7,7 g/m²
- Besparelse opp til 25 % med befuktet salt i form av mengde salt, sammenlignet med tørt salt

2.4.2 Forsøk med magnesiumklorid som befuktningmiddel

Målsetningen for dette prosjektet var å se på sammenligning av tørt salt og befuktet salt som spredemetode, samt se på varigheten av tiltak, opptørkningstid og saltforbruk. Forsøket sammenligner $MgCl_2$ -løsning med $NaCl$ -løsning.

Både sesongene 2002/2003 og 2003/2004 ble det brukt over dobbelt så mye salt per arealenhet på Sørkedalsvegen sammenliknet med Kirkevegen. Sørkedalsvegen ble saltet med $NaCl$ -løsning mens Kirkevegen ble saltet med $MgCl_2$ -løsning. I vintersesongen 2004/2005 ble det besluttet å bytte om på referansestrekningene slik at Sørkedalsvegen ble befuktet med $MgCl_2$ -løsning og $NaCl$ -løsning ble brukt på Kirkevegen (Vaa, T. and Meland, S., 2005).



Figur 2-8: Saltforbruk i kg/m² på Kirkevegen og Sørkedalsvegen i Oslo (Vaa, T. and Meland, S., 2005)

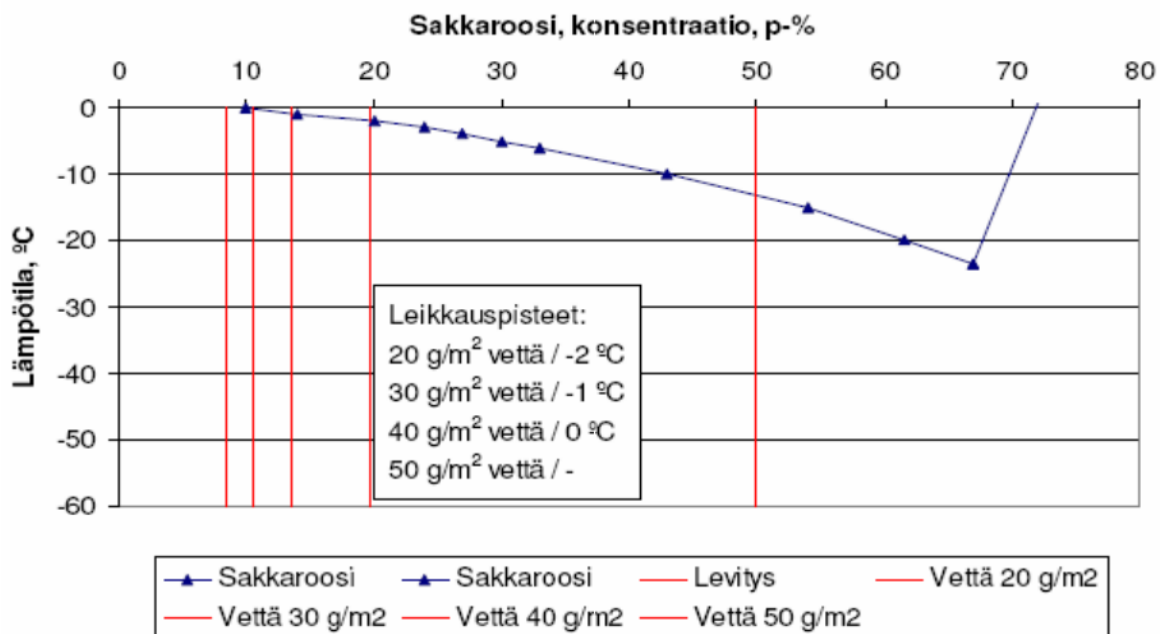
Konklusjonen med å benytte befuktning med $MgCl_2$ -løsning i stedet for $NaCl$ -løsning, var at dette ga en reduksjon i saltforbruket på mellom 20 -25 %. Overgangen med bruk av $NaCl$ -løsning på Kirkevegen ga en fordobling av saltforbruket på Kirkevegen. Det var også en økning av salt på Sørkedalsvegen med $MgCl_2$ -løsning, men betydelig mindre. Endring i saltforbruket kan skyldes flere faktorer enn bare saltingsmetoden. Eksempel på dette kan være mikroklima, trafikkvolum og kjøremønster.

2.4.3 Forsøk med sukker som befuktningmiddel

Forsøk med sukkertilsetning i NaCl har blitt prøvd tidligere. I USA har det blitt prøvd flere varianter og blandinger, med blant annet restprodukt fra sukkerproduksjon, sirup, sukkerbeter og rørsukker. Sverige utmerker seg ved prøving av sukker til vegsalt og arbeidet består av forsøk med å blande sukker sammen med tørt og befuktet salt (Gustafsson, A. og Gabriellson, G.,2006).

Bruk av sukkertilsetning i vegsalt har i de senere årene fått mer fokus, der målet er å redusere bruken av NaCl å forbedre salttiltaket. Det er i midlertidig lite dokumentasjon på NaCl tilsatt befuktningvæske med sukker (Dahl, G., 2009).

Det har tidligere blitt gjort laboratorieforsøk av Danisco med 50/50 salt og sukkerløsning. Forsøket viser at sukker har en suksessiv tilfrysing mellom $-5,0^{\circ}\text{C}$ og $-8,0^{\circ}\text{C}$ (Möller, S., 2007)



Figur 2-9: Fasediagram sukker (Möller, S., 2007)

Figur 2-9 «Fasediagram sukker» viser at en mettet sukkerløsning har sukkerinnhold på ca. 68 % og et frysepunkt på -22°C . Det har ikke lyktes å finne frem til opprinnelig kilde av fasediagrammet og det er ikke oppgitt hvilke sukkertype den presenterer. Det er derfor grunn til å være kritisk til diagrammet.

2.4.4 Studie av ulike kornstørrelser

Martinelli, T.J og Blackbrun, R.R. (2001) gjennomførte et 2-års studie i Kansas, der studien hadde som mål å se på effekten av forskjellige kornstørrelse, samt effekten av flere typer spredeutstyr. Det ble brukt kornstørrelse $< 3\text{ mm}$ (grov/finsalt) og $< 0,16\text{ mm}$ (veldig fint salt). Studien besto av laboratorieforsøk og feltobservasjoner, og det ble foretatt en innsamling av store mengder data. Resultatene viste at finsalt arbeidet raskt og gikk raskere i oppløsning, men hadde kortere varighet og førte til hyppigere tiltak. Resultatene viste at finsalt fungerte best ved anti-ising, og at finsalt hadde lavere grad av blow-off, men høyere grad av spray-off.

Grovkornet salt hadde en langsommere oppløsningsprosess, og det tok ca. 25% lenger tid før saltet var oppløst. Dette ga mer blow-off, men forsøket sier ingenting om dette skyldes lenger tid som følge av uoppløste korn, eller om det skyldes at kornstørrelsen har betydning for blow-off.

Fin –og middelgradert salt hadde bedre effekt ved høyere temperaturer (-2°C til 0°C), men dette hadde en raskere fortykning som resulterte i raskere tilfrysning (Martinelli, T.J. and Blackbrun,R.R., 2001).

3. Metode

I denne studien er det benyttet laboratorieforsøk for å undersøke blow-off av salt fra vegbanen. Det ble benyttet en friksjonsbane der et dekk ble kjørt over en asfaltplate med utspredd salt. Forsøkene ble gjennomført for fire befuktningsvæsker og med to ulike kornstørrelser av salt.

Forsøkene ble gjennomført ved at friksjonsbanen ble påført salt før dekket kjørte over den saltede banen i konstant hastighet. Dekkbevegelsen løfter saltet, og i det virkelige liv er det turbulens som trengs i tillegg for å skape blow-off. Friksjonsbanen har fravær av turbulens, vær og vind og forsøkene er ment å vise et potensiale for blow-off. Det ble gjennomført fem repetisjoner på begge saltfraksjoner og alle befuktningsvæsker, totalt 50 repetisjoner.

For å kunne finne forskjeller mellom salttap ved de ulike befuktningsvæskene og kornstørrelse, ble restsaltet tatt opp ved å bruke sterkt absorberende kluter. Målingene av restsalt ble gjennomført ved at klutene ble vasket ut i et vannkar, og restsaltmengden ble målt ved bruk av konduktivitetmåler.

3.1 Testing av blow-off på forskjellige befuktningsvæsker

De fire forskjellige befuktningsvæskene som ble benyttet var; $MgCl_2$ -løsning, $NaCl$ -løsning, vann og sukkerløsning. For å se betydningen av befuktet salt, ble det også utført forsøk med salt uten befuktningsvæske.

For å se om størrelsen av saltkornene hadde forskjellige klebe (klistre) effekt til vegbanen, ble det benyttet to kornstørrelser av saltet. Valget av kornstørrelse ble basert på gjeldende krav som beskrevet i kapittel 2.3 Krav til salt. For å få et klart skille på fin og grov salt, ble det valgt 0-1 mm og 2-4 mm kornstørrelse.



Bilde 3-1: Dekk og asfaltplate på friksjonsbane

3.2 Friksjonsbanen

Friksjonsbanen som ble benyttet i forsøket hadde en bane som var seks meter lang (Se vedlegg 3). Asfaltplatens størrelse var på 30x30 cm, og dekkets bredde ble målt til 6 cm. Dekket ble kjørt over banen med en konstant hastighet på 10 m/s, som var maks hastighet på friksjonsbanen. Dekket tilsvare det som er på ROAR friksjonsmålere.

Det ble valgt kun én overfart fordi målehjulet ikke kunne løftes ved tilbakekjøring. I stedetfor ble det valgt fem repetisjoner for å få et mer nøyaktig resultat.



Bilde 3-2: Friksjonsbane



Bilde 3-3: Målehjul på friksjonsbane

3.3 Utspredning av salt

Arealet med utspreddt salt utgjorde 180 cm² (30cm*6cm). Det ble valgt å salte kun innenfor arealet der målehjulet gikk. Det ble saltet med 2 gram salt og 0,6 gram løsning, som tilsvarer 110 g/m² og 33 g/m² løsning. Mengde salt og løsning er langt høyere enn hva som er vanlig ute på veg. Men denne mengden ble valgt for at det skulle bli målbart og håndterbart.

Løsningen ble laget med 100 gram destillert vann og 20 gram kjemikalie. Saltkornene og befuktningvæskene ble målt opp i egnet kar. Saltet og befuktningvæskene klebet seg til blandingskaret, og det ble vanskelig og få alt ned på asfaltplaten. For å få jevn spredning av saltet og løsningen ble det spredt utover for hånd med engangshanske.

3.4 Opptaking av salt

Restsalt og befuktningvæske ble tatt opp ved at sterkt absorberende kluter med navnet Wettex, ble lagt over asfaltplaten etter at dekket hadde kjørt over den. Klutene absorberer 15 ganger sin egen vekt. For hver av overkjøringene ble det benyttet 6 stk. kluter som ble klippet i strimler lik dekkets bredde.



Bilde 3- 4: Måling av saltkonsentrasjon og opptak av restsalt med wettex-klut

3.5 Måling av restsalt

For å finne ut hvor mye restsalt som lå igjen på asfalten etter overkjøringene, ble wettex-klutene vasket ut i et kar med 1 liter destillert vann. Det ble deretter utført målinger av hvor mye restsalt det var i væsken ved å benytte en konduktivitetsmåler, SEVENGo. Dette instrumentet måler mengde salt i vann (mg/L). Resultatene er omregnet til g/m².

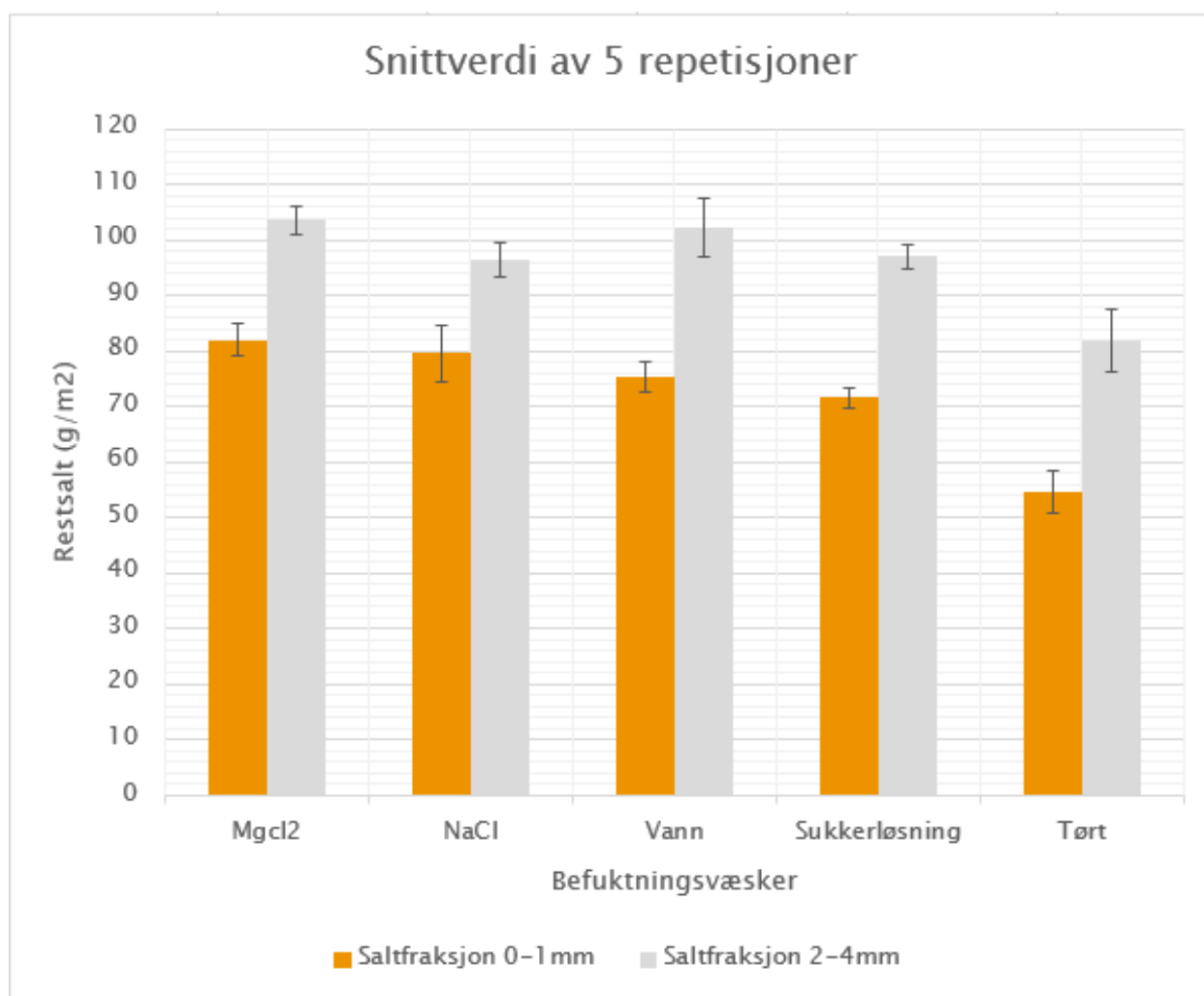


Bilde 3- 5: Konduktivitetsmåler SEVENGo

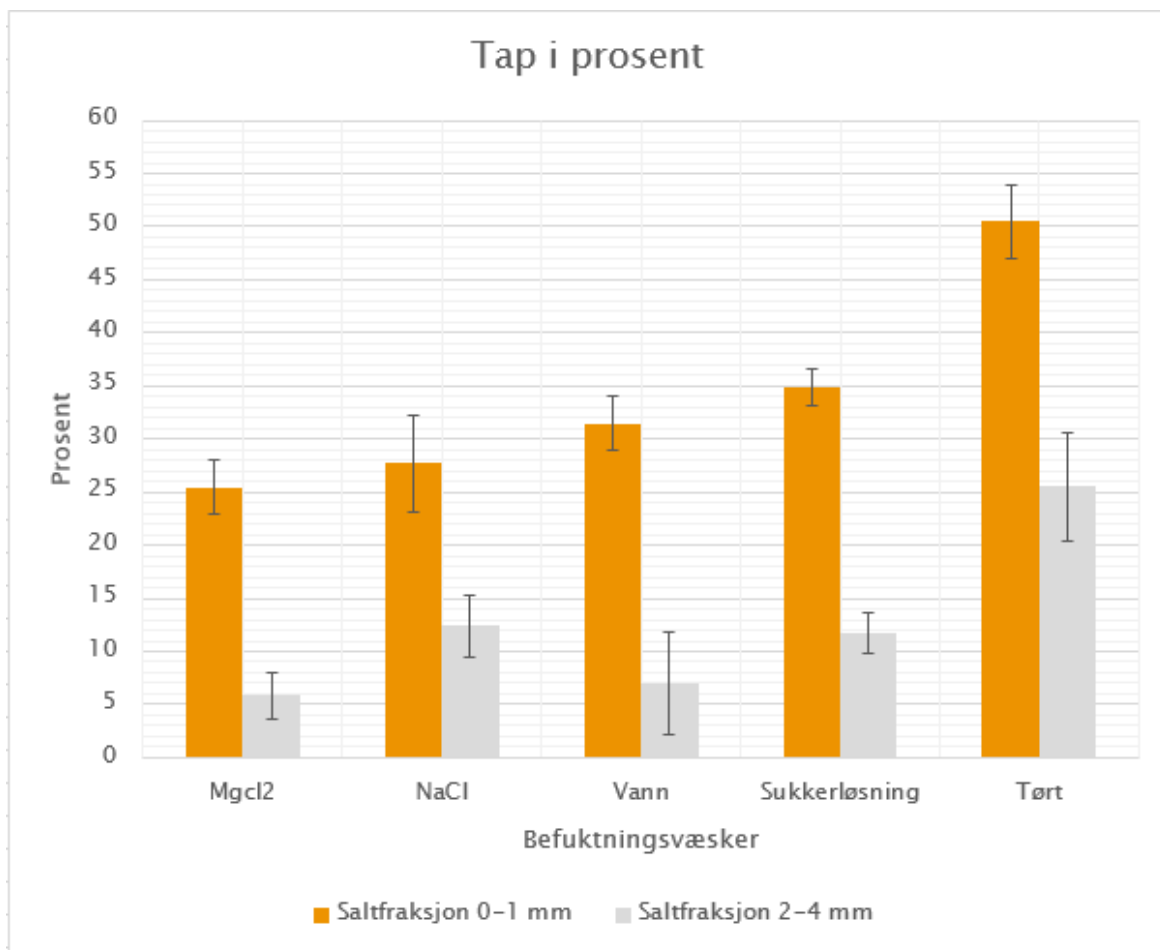
4. Resultat

Hensikten med analysen var å se om det er noen vesentlig forskjell på salttap ved forskjellige befuktingsvæsker og om kornstørrelsen har noen betydning for dette. Resultatene er basert på lab-forsøkene som ble gjennomført for å undersøke blow-off for salt med ulike kornstørrelse og tilsatt ulike befuktningvæsker.

Resultatene fra lab-forsøkene er vist i to grafer der det i den første grafen er foretatt en sammenligning mellom restsaltet for de forskjellige befuktningvæskene og kornstørrelsene. Den andre grafen viser salt tap i prosent for de ulike befuktningvæskene og kornstørrelsene. Opprinnelig saltmengde er 110 g/m²



Figur 4- 1: Resultat av restsalt



Figur 4- 2: Tap i prosent

Resultatene viser relativt liten forskjell mellom de ulike befruktningstvæskene. Størst forskjell er det mellom befruktet salt og tørt salt. Resultatene for begge kornstørrelse viser at befruktning med magnesiumklorid har noe mindre salttap enn de øvrige befruktningstvæskene. Verdiene er dog såpass like at det kan være tilfeldigheter og restsaltmengden er forholdsvis stabile.

Resultatene viser at restsalt uten befruktningstvæske har 16,1 % høyere salttap for fraksjon 0-1 mm og 20,3 % for fraksjon 2-4 mm, sammenlignet med befruktet salt. Det interessante og kanskje det mest uventet resultatet, er at saltfraksjon 0-1 mm har 21 % høyere salttap sammenlignet med saltfraksjon 2-4 mm.

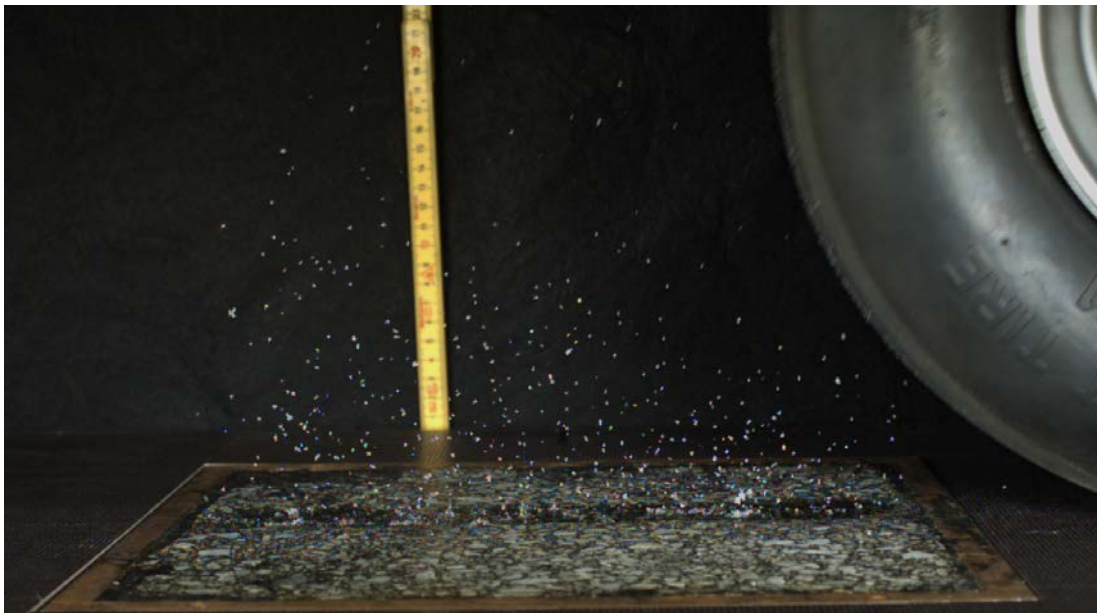
Gjennomsnittlig salttap for fraksjon 0-1mm salt med befruktningstvæske, er 29,9 %. Størst forskjell er salt uten befruktning, sammenlignet med befruktet salt. Der er salttap på 51 %.

Gjennomsnittlig salttap for fraksjon 2-4 mm med befuktningssvæske er 9,25 %. Størst forskjell er det mellom tørt salt og befuktet salt, der tørt salt har salttap på 25,5 %. Feilfeltene er presentert i figur 4-1 og figur 4-2 og viser liten usikkerhet i målingene.

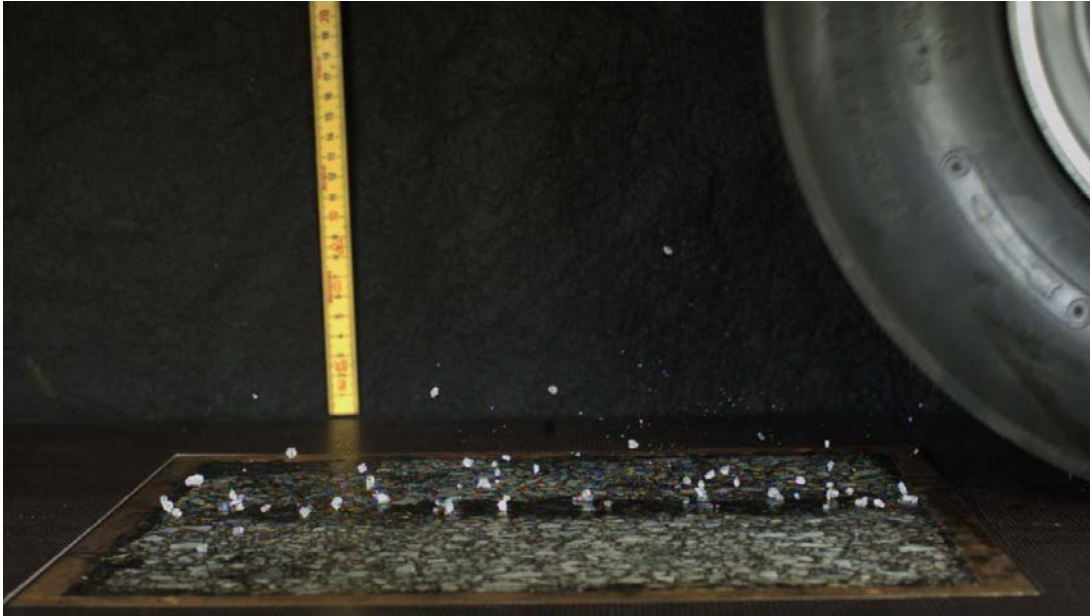
4.2 Visualisering av resultater

Forsøkene ble filmet av høyhastighetskamera. Visuelt kan man se større potensiale for blow-off på finkornet salt. Noe av årsaken til dette kan være at små saltkorn lettere løftes opp, og at de lettere kleber seg til hjulet.

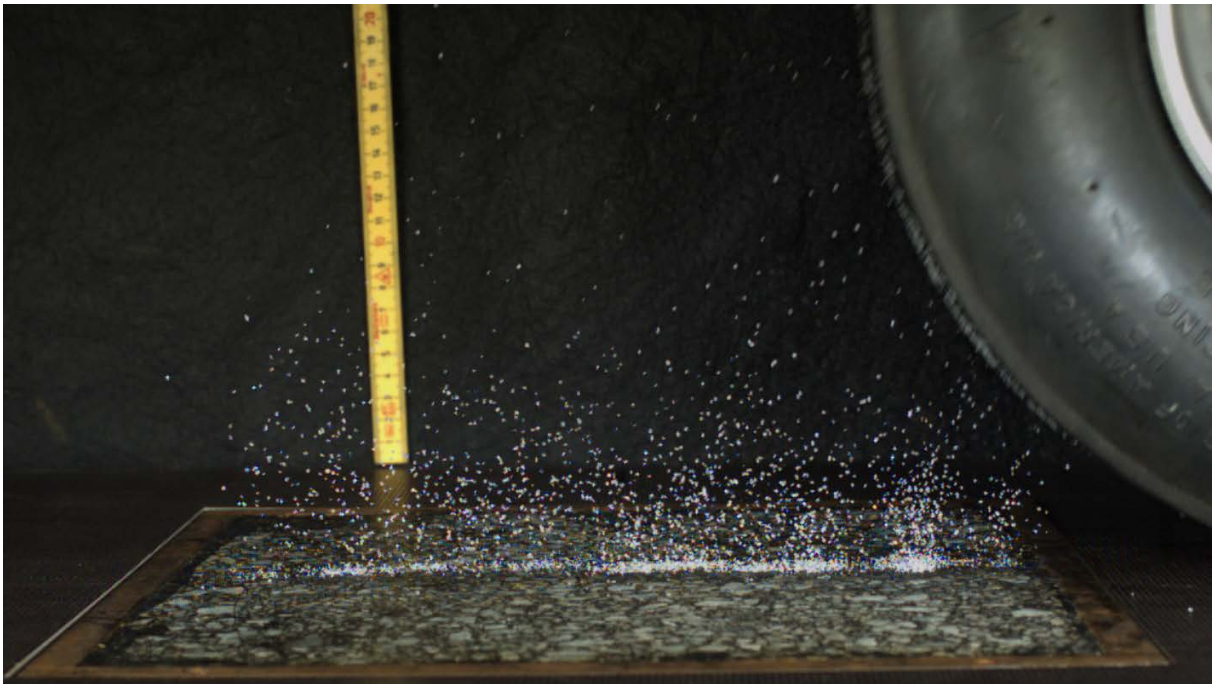
Bildene viser at det er stor forskjell på tørt salt og befuktet salt. De tørre saltkornene blir løftet høyere og får et større meddrag. Dette stemmer overens med de teoretiske resultatene. Det var imidlertid vanskelig å se visuelle forskjeller ved bruk av de ulike befuktningssvæskene.



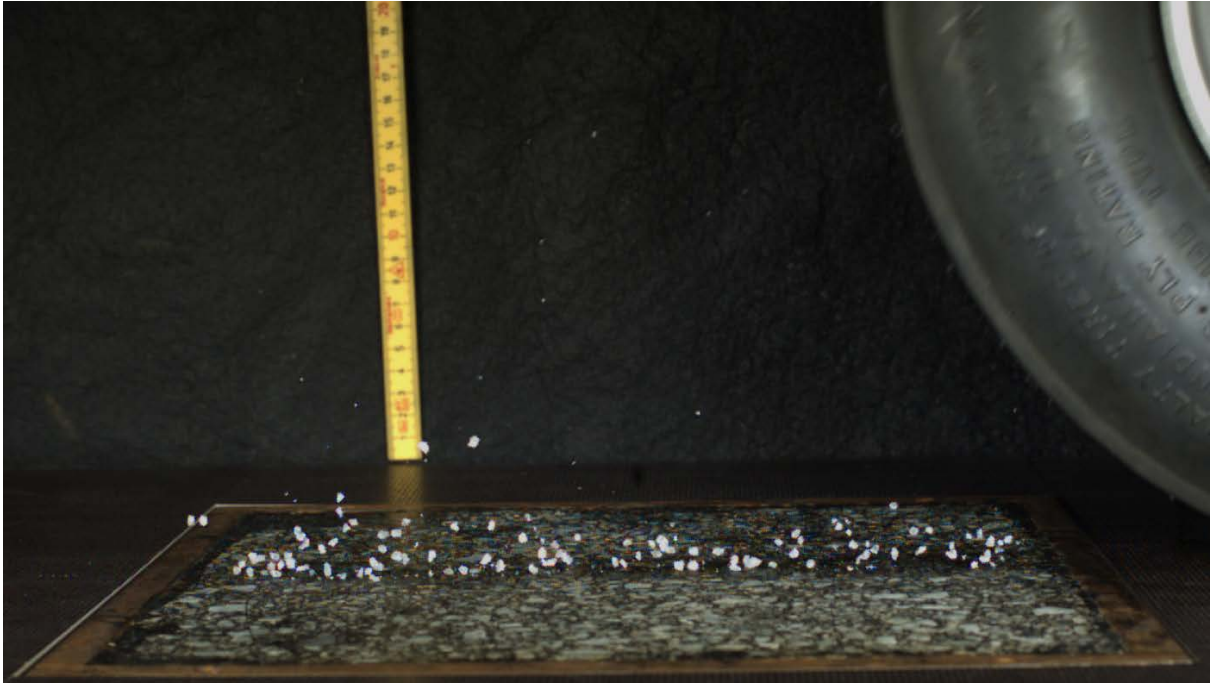
Bilde 4- 1: Finkornet salt med befuktningssvæske



Bilde 4- 2: Grovkornet salt med befuktningvæske



Bilde 4- 3: Finkornet tørt salt



Bilde 4- 4: Grovkornet tørt salt

5. Diskusjon

Hovedoppgaven i denne masteroppgaven er å se på forskjellen i salttap for forskjellige befuktningstvæsker og ulike kornstørrelser på saltet. Resultatene viser liten forskjell på de ulike befuktningstvæskene, mens de viser større forskjeller for kornstørrelsene. Resultatene kan skyldes en del usikkerheter fra laboratorieforsøkene:

Usikkerhet i utleggingsmetoder

Det er usikkerhet i utlegging og innblanding av befuktningstvæsker. Det ble prøvd flere forskjellige utleggingsmetoder, hvorav utlegging for hånd, med engangshanske fungerte bra. Noe av problemet var at saltet og befuktningstvæsken klistret seg til hånda og det var til tider vanskelig å få alt saltet ned på asfaltarealet. Saltet og befuktningstvæsken ble målt opp på forhånd og blandet sammen direkte på asfaltplaten for å simulere at saltet blir befuktet rett før utlegging. Det ble også gjort forsøk der saltet og befuktningstvæsken ble blandet sammen i en beholder før utlegging, men det viste seg at det var vanskelig å få alt fra beholderen ned på asfalten.

Usikkerhet i målemetode

Det er noen usikkerheter knyttet til målemetode, blant annet for opptaking av restsalt. Restsaltet ble tatt opp av wettex-kluter. Det er knyttet en del usikkerheter om alt restsaltet ble tatt opp. Opptaking av restsalt ble vurdert visuelt fordi det var lett å se om alle saltkorn ble tatt opp. Wettex-klutene ble fuktet i destillert vann og det var dermed vanskelig å se om asfaltplaten var våt grunnet klutene eller om det lå igjen befuktningstvæske. Det ble vurdert at fire stk. kluter var tilstrekkelig. For å redusere usikkerheten ble det brukt seks stk. kluter for hvert forsøk.

Usikkerhet i simulering

Simulering av blow-off på har en del usikkerheter ved seg. Det ble brukt asfalttype AGB11 laget hos NTNU. Det ble forsøkt med to asfaltplater av samme materiale, en plate som simulerer grovheten i asfalten som på veg, og en asfaltplate som ble skåret langsgående slik at det var glatt med lite sprekker og porer. Det ble valgt glatt asfaltoverflate for å eliminere at befuktningstvæsken og saltkornene skulle trekke ned i asfalten. Klutene kunne da suge til seg mest mulig av restsaltet, og at salttapet i størst grad skyldes dekkets passering.

Etter at hjulet hadde passert asfalten med utspredd salt, fikk saltkornene et meddrag i hjulets retning. Det kan tenkes at restsaltmengden hadde vært større hvis asfaltflaten hadde vært lengere. Salttapet kan være meddrag og ikke tap vekk fra vegbanen (på tvers av vegbanen). Hadde banen vært «uendelig» hadde effekten av meddraget kunne blitt eliminert/minimert. Saltet, spesielt med befuktningsevne, klistret seg til dekket etter overfarten. Noe av årsaken til dette kan være dekkets utforming. Dekket var et sommerdekk som er helt glatt uten mønster, såkalt slicks, se bilde 5-1.



Bilde 5- 1: Friksjonsdekket ROAR

Det er generelt vanskelig å simulere blow-off fordi det blant annet er fravær av vær, vind og turbulens. Resultatene i denne oppgaven gir derfor et potensiale for blow-off. Metoden bør utvikles slik at blow-off simuleres med vind og turbulens.

Diskusjon av resultater

Det ble valgt én overfart fordi målehjulet ikke kan løftes ved tilbakekjøring. Antall overfarer kan gi en tydeligere sammenheng mellom trafikk og tap av de ulike befuktningsvæskene. Resultatene gir et teoretisk svar på blow-off under kontrollerte forhold.

Trendene av resultatene viser mindre forskjeller mellom de ulike befuktningsvæskene, men stor forskjell mellom bruk av befuktet salt og tørt salt. Hvorvidt om dette er tilfeldig eller ikke, kan være vanskelig å vurdere, men resultatene viser tap av salt fra det trafikkerte arealet ved bruk av befuktningsvæske.

Feilfeltene «error bars» er basert på standardavviket, og resultatene viser liten spredning av verdiene. Det kan tyde på gode repetisjoner. Det er fortsatt knyttet usikkerhet om resultatene er statistisk signifikante.

6. Konklusjon

Ekspirimentet ble utført for å undersøke varighet på salttiltak for forskjellige befuktningssvæsker og kornstørrelser. Type befuktningssvæske som ble brukt var NaCl-løsning, MgCl₂-løsning, sukkerløsning og vann med blandingsforhold 80/20. Kornstørrelsen ble siktet til fraksjon 0-1 mm og 2-4 mm. Ekspirimentet baserer seg på fem repetisjoner for hver befuktningssvæske og hver av kornstørrelsene, totalt 50 repetisjoner. Hovedfunnene fra oppgaven er som følger:

- Friksjonsbanen har fravær av turbulens, vær og vind og forsøkene gir et potensiale for blow-off
- Resultatene viser liten forskjell på salttap for de forskjellige befuktningssvæskene
- Resultatene viser markant forskjell på salttap med og uten befuktningssvæske, der tørt salt har 16 - 20 % høyere salttap
- Det var stor forskjell på salttap på kornstørrelsen, og det interessante var et lavere salttap på 2-4 mm enn 0-1 mm fraksjon. Dette gjaldt alle befuktningssvæsker og tørt salt

6.1 Videre arbeid

Resultatene som presenteres i denne rapporten er basert på laboratorieforsøk, og under dette arbeidet har det dukket opp mange faktorer som kan forbedres. Laboratorietestene gir et teoretisk resultat og det er behov for å videreutvikle nøyaktigheten på simulering av blow-off.

- Utspredningsmetode og innblanding bør optimaliseres, og det bør lages en egen spredemetode slik at saltmengden og innblandingen blir lik ved alle forsøk
- Lengden på asfaltplaten bør være lengere i hjulets kjørebaneretning. Det er mulig å se visuelt at en del salt spruter/spretter langs hjulets bane, og i praksis vil dette ligge på vegen og fortsatt ha effekt
- Hjulet på banen bør kunne løftes ved tilbakekjøring, slik at den ikke drar med seg saltet tilbake. Dette er et argument for at det ble én overfart på hver test, men det hadde vært interessant å se effekten av saltet på blow-off ved flere overfarter

Litteraturliste

- Burtwell, M. (2004) Deicing Trials on UK Roads: Performance of Prewetted Salt Spreading and Dry Salt Spreading.
- Donahey T. J. and Burkheimer D. (1996) Prewetting with Salt Brine.
<http://www.ctre.iastate.edu/PUBS/semisesq/session1/donahey/index.htm>
- Driftskontrakt (2017) «D2-ID9300a Bruk av salt» Gitt av Statens vegvesen
https://www.vegvesen.no/s/anbud/dkmal2018/D2/xxxx-D2-ID9300a-Bruk_av_salt-20170612.pdf
- Dahl, G. (2009). Utprøving av alternative kjemikalier for vinterdrift av vegger. Masteroppgave ved NTNU
- Engebretsen, S. E. (2004). Magnesiumklorid. MgCl₂ salt til vegformål
- Ericsson, B (1995), Projekt Restsalt – En sammanfattning av kunskapslaget, Bergab, Vagverket
- GERBINO-BEVINS, B. M. (2011). Performance rating of de-icing chemicals for winter operations
- Gustafsson, A., and Gabrielsson, G. (2006), Vinterdrift - Sockerprodukter i kombination med NaCl. Vägverket Produktion
- Holen, Å. (2010). SaltSMART – Alternative kjemikalier og tilsetningsstoffer til natriumklorid
- Lysbakken, K.R, and Norem, H. (2011), Processes That Control Development of Quantity of Salt on Road Surfaces After Salt Application
- Lysbakken, K.R, and Norem, H. (2008). Surface Transportation Weather and Snow Removal and Ice Control Technology. <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/circulars/ec126.pdf>
- Lysbakken K.R, (2013) Salting of Winter Roads. Thesis for the degree of Philosophiae Doctor.
<https://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/232703?show=full>
- Martinelli, T, J. and Blackburn, R, R., (2001). Anti-Icing Operations whit Prewetted Fine-Graded Salt.
- Möller, S. (2007). Nya tekniker och metoder inom vinterväihållning. VTI rapport. Nr. 596.
- Statens vegvesen (2004). Vinterfriksjonsprosjektet – forsøk med befuktning med magnesiumklorid
- Statens vegvesen (2015). Opplæring i vinterdrift for operatører. Driftskontrakt med oppstart 2016.
https://www.vegvesen.no/fag/publikasjoner/Publikasjoner/Statens+vegvesens+rapporter/_atta

chment/1111293?_ts=1518ae5c608&download=true&fast_title=Oppl%C3%A6ring+i+vinter drift+for+operat%C3%B8rer

Statens vegvesen (2003). Temahefte for håndbok 111, standard for drift og vedlikehold

Svanekil, A.(2008/2009). Salt SMART. Levetid av ulike spredemetoder. Forsøk i Dalane vinteren 2008/2009

Statens vegvesen (2009), Når saltet møter vegen, arbeidspakke 1, Salt SMART.
https://www.vegvesen.no/_attachment/111703/binary/197293

Shi X. and O'Keefe K. (2004) Synthesis of Information on Anti-icing and Pre-wetting for Winter Highway Maintenance Practices in North America

Sooklall, L, R, (2006). Effectiveness of alternative chemicals for snow removal on highways

Sivertsen, Å. (2012). Sluttrapport for etatsprogrammet Salt SMART. Statens vegvesen rapporter. Nr.92

Sivertsen, Å. (2014). Kurs i drift og vedlikehold for ledere av driftskontrakter.
https://www.vegvesen.no/_attachment/830263/binary/1024808?fast_title=20.+Salting.pdf

Vaa, T. and Meland, S., (2005), Forsøk med befuktning med magnesiumkloridløsning i Oslo Sesong 2001/2002 - 2004/2005 sluttrapport. 2414.

Vaa, T (2005). Forsøk med befuktning med magnesiumklorid løsning på Gjøvik/Toten

Vaa. T. (1995). Salting og trafiksikkerhet – Sammenligning av ulykkesfrekvens på saltet og usaltet vegnett. Saltens effekt på kjørefart. Rapport STF63 A95004

Vaa T, and K. Sakshaug (2007). Salting av veger: En kunnskapoversikt (Teknologirapport 2493)

MASTEROPPGAVE

(BA6904, masteroppgave i studieratning Veg)

VÅREN 2017
for
Krister Helland Skjærbekk

Varighet av av salttiltak med befuktet salt

BAKGRUNN

De viktigste aktivitetene i vinterdriften er knyttet til fjerning av snø og is fra vegbanen og opprettholde trafikksikkerheten. Natriumklorid (NaCl) står for om lag 99.5 % av kjemikalbruken på det norske riks- og fylkesvegnettet i vinterhalvåret. Etter hvert som saltbruken øker, blir det behov for å optimalisere bruken av NaCl grunnet miljøkonsekvenser. I denne masteroppgaven undersøkes salttapet ved befuktet salt som spredemetode. Det studeres hvordan ulike befukningsvæsker og saltets kornstørrelse, påvirker salttapet som følge av blow-off

Studien har bestått av en litteraturgjennomgang og laboratorietesting. Laboratorieforskene ble utført på en friksjonsbane hos NTNU, der et hjul ruller over en asfaltplate med utspredd salt. Hensikten med forsøket var å simulere blow-off ved fire forskjellige befukningsvæsker.

MÅL

Målet for denne oppgaven er å undersøke salttapet ved befuktet salt som spredemetode og se hvordan ulike befukningsvæsker og kornstørrelse påvirker salttapet som følge av blow-off. Studien består av et litteraturstudium og laboratorietester der blow-off av salt fra vegbanen er forsøkt simulert og målt under kontrollerte forhold.

Beskrivelse av oppgaven

Masteroppgaven omfatter litteraturstudie og laboratorieforsk, og gjennom dette arbeidet skal rapporten svare på følgende oppgaver:

- Undersøke effekten på blow-off av salt av ulike befukningsvæsker; NaCl-løsning, MgCl₂-løsning, sukkerløsning og vann.
- Undersøke og dokumentere hvorvidt friksjonsbanen brukes for å undersøke blow-off av salt.
- Undersøke effekten av blow-off av salt på ulike kornstørrelse av salt.

GENERELT

Oppgaveteksten er ment som en ramme for kandidatens arbeid. Justeringer vil kunne skje underveis, når en ser hvordan arbeidet går. Eventuelle justeringer må skje i samråd med faglærer ved instituttet.

Ved bedømmelsen legges det vekt på grundighet i bearbeidningen og selvstendigheten i vurderinger og konklusjoner, samt at framstillingen er velredigert, klar, entydig og ryddig uten å være unødig voluminøs.

Besvarelsen skal inneholde

- standard rapportforside (automatisk fra DAIM, <http://daim.idi.ntnu.no/>)
- tittelside med ekstrakt og stikkord (mal finnes på siden <http://www.ntnu.no/bat/skjemabank>: 3) Om Masteroppgaven)
- sammendrag på norsk og engelsk (studenter som skriver sin masteroppgave på et ikke-skandinavisk språk og som ikke behersker et skandinavisk språk, trenger ikke å skrive sammendrag av masteroppgaven på norsk)
- hovedteksten
- oppgaveteksten (denne teksten signert av faglærer) legges ved som Vedlegg 1.

Besvarelsen kan evt. utformes som en vitenskapelig artikkel for internasjonal publisering. Besvarelsen inneholder da de samme punktene som beskrevet over, men der hovedteksten omfatter en vitenskapelig artikkel og en prosessrapport.

Råd og retningslinjer for masteroppgaven finnes på programmets nettsider.

http://videre.ntnu.no/pages/mastergrader/erfaringsbasert_masterprogram_i_veg_og_jernbane/priser_og_betingelser/

Hva skal innleveres?

Rutiner knyttet til innlevering av masteroppgaven er nærmere beskrevet i *Retningslinjer masteroppgaven erfaringsbasert master veg og jernbane* og på <http://daim.idi.ntnu.no/>. Trykking av masteroppgaven bestilles via DAIM direkte til Skipnes Trykkeri som leverer den trykte oppgaven til instituttkontoret 2-4 dager senere. Instituttet betaler for trykkingen, og 1 eksemplar blir sendt til studenten. Ekstra eksemplarer må bekostes av kandidaten/ekstern samarbeidspartner.

Videre skal kandidaten levere innleveringsskjemaet (fra DAIM) Innleveringsskjema sendes til NTNU VIDERE.

Dokumentasjon som med instituttets støtte er samlet inn under arbeidet med oppgaven skal leveres inn sammen med besvarelsen.

Besvarelsen er etter gjeldende reglement NTNUs eiendom. Eventuell benyttelse av materialet kan bare skje etter godkjennelse fra NTNU (og ekstern samarbeidspartner der dette er aktuelt). Instituttet har rett til å bruke resultatene av arbeidet til undervisnings- og

forskningsformål som om det var utført av en ansatt. Ved bruk ut over dette, som utgivelse og annen økonomisk utnyttelse, må det inngås særskilt avtale mellom NTNU og kandidaten.

Helse, miljø og sikkerhet (HMS):

NTNU legger stor vekt på sikkerheten til den enkelte arbeidstaker og student. Den enkeltes sikkerhet skal komme i første rekke og ingen skal ta unødige sjanser for å få gjennomført arbeidet. Studenten skal derfor ved uttak av masteroppgaven få utdelt brosjyren "Helse, miljø og sikkerhet ved feltarbeid m.m. ved NTNU".

Dersom studenten i arbeidet med masteroppgaven skal delta i feltarbeid, tokt, befarings, feltkurs eller ekskursjoner, skal studenten sette seg inn i "Retningslinje ved feltarbeid m.m.". Dersom studenten i arbeidet med oppgaven skal delta i laboratorie- eller verkstedarbeid skal studenten sette seg inn i og følge reglene i "Laboratorie- og verkstedhåndbok". Disse dokumentene finnes på fakultetets HMS-sider på nettet, se <http://www.ntnu.no/ivt/adm/hms/>. Alle studenter som skal gjennomføre laboratoriearbeid i forbindelse med prosjekt- og masteroppgave skal gjennomføre et web-basert TRAINOR HMS-kurs. Påmelding på kurset skjer til daniel.erland@ntnu.no

Studenter har ikke full forsikringsdekning gjennom sitt forhold til NTNU. Dersom en student ønsker samme forsikringsdekning som tilsatte ved universitetet, anbefales det at han/hun tegner reiseforsikring og personskadeforsikring. Mer om forsikringsordninger for studenter finnes under samme lenke som ovenfor.

Oppstart og innleveringsfrist:

Frist innlevering masterkontrakt **15. august**, frist innlevering masteroppgaven **15. mai**

Hovedveileder ved NTNU: Alex Klein-Paste/Inge Hoff

Lokal veileder : Kai-Rune Lysbakken Statens vegvesen, Vegdirektoratet

Institutt for bygg, anlegg og transport, NTNU

Dato: 12.05.2017 (revidert: 30.09.2017)

Underskrift


Veileder

Vedlegg 2 Rådata av restsaltmålinger

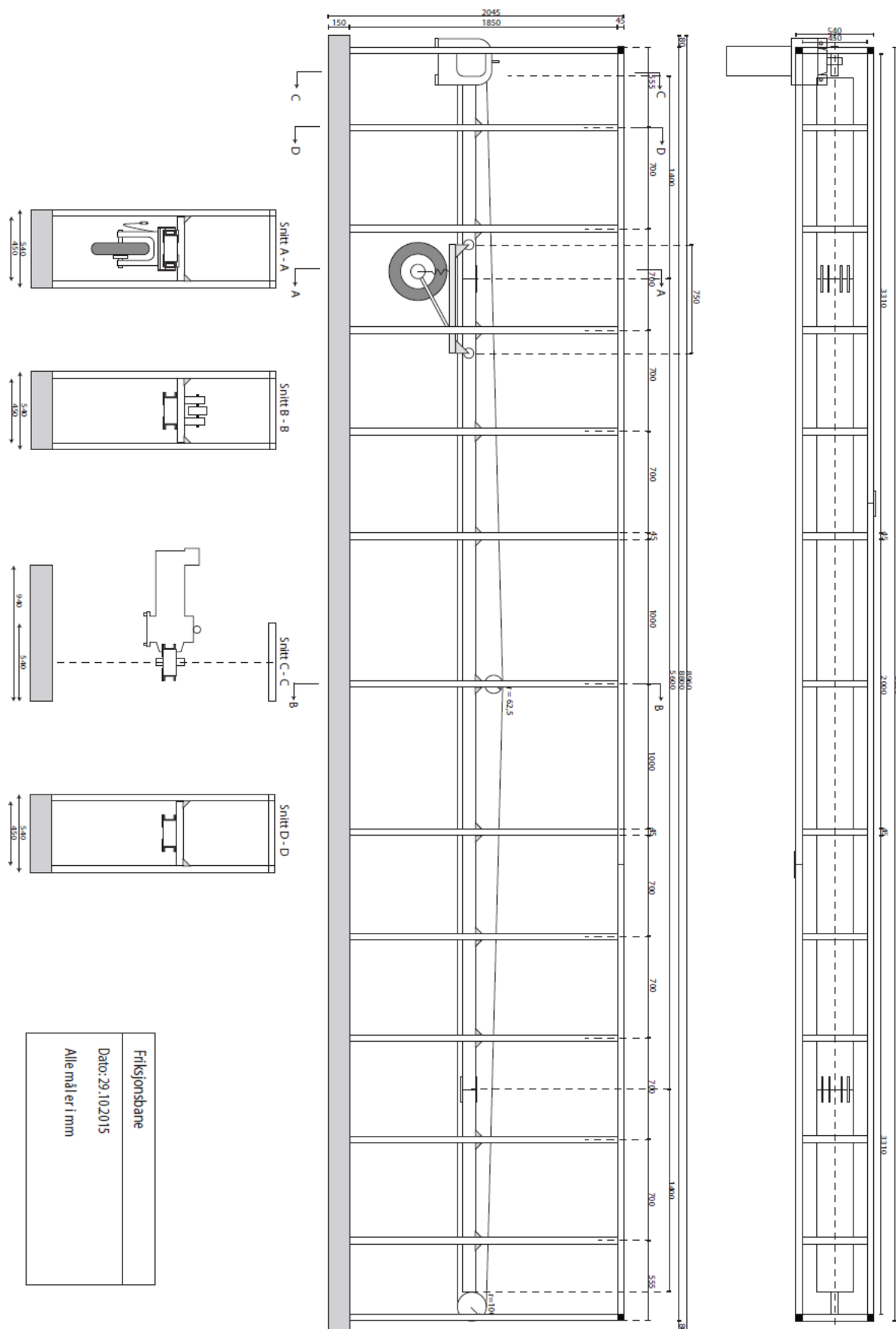
Testmatrise

Rådata fra restsaltmåling. Alle tall i mg/l

Fraksjon: 0-1mm	1	2	3	4	5	Snitt
MgCl ₂	1552	1422	1503	1520	1457	1491
NaCl	1307	1507	1490	1398	1529	1446
Vannløsning	1372	1385	1349	1305	1444	1337
Sukkerløsning	1282	1345	1257	1301	1324	1302
Tørt	963	1089	1025	972	906	991

Fraksjon: 2-4mm	1	2	3	4	5	Snitt
MgCl ₂	1858	1820	1896	1908	1935	1883
NaCl	1758	1802	1665	1802	1736	1753
Vannløsning	1909	1898	1900	1907	1685	1860
Sukkerløsning	1716	1732	1805	1779	1789	1764
Tørt	1662	1408	1469	1447	1455	1489

Vedlegg 3 Skisse av friksjonsbane



Friksjonsbane
Dato: 29.10.2015
Alle måler i mm