

Utvikling og testing av en ny restsaltmåler

Martin Kjøglum

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: juni 2018

Hovedveileder: Alex Klein-Paste, IBM

Medveileder: Kai-Rune Lysbakken, Statens Vegvesen

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for bygg- og miljøteknikk

Forord

Denne masteroppgaven er blitt skrevet i løpet av våren 2018. Masteroppgaven tilsvarer 30 studiepoeng, og er en avsluttende oppgave for studieløpet på bygg- og miljøteknikk ved NTNU. Oppgaven er blitt utført under veiledning av førsteamanuensis ved NTNU, Alex Klein-Paste som har vært behjelpelig med blant annet innspill og faglige diskusjoner ved jevnlig møter som er blitt arrangert i løpet av semesteret.

Temaet i denne oppgaven omhandler vinterdrift, og mer presist hvordan man på en bedre måte kan måle saltmengde fra en vegoverflate. Oppgaven har bestått av å bygge en prototype for en mulig ny restsaltmåler. Og videre testing av denne prototypen. Testene har gått ut på å måle nøyaktigheten til restsaltmåleren på forskjellige typer salttilstander og forskjellige spredemetoder.

I tillegg til hovedveileder har også bi-veileder, Kai-Rune Lysbakken bidratt med kunnskap og innspill igjennom prosessen. Andre personer som har vært delaktig og hjelpsom i min gjennomføring er doktorgradsstudent, Mathis Dahl Fenre og ingeniør, Bent Lervik. Disse har hovedsakelig kommet med innspill og hjulpet til under bygging av den nye restsaltmåleren. Til slutt vil jeg også nevne Statens Vegvesen som har vært behjelpelig med finansering av dette prosjektet.

Sammendrag

Innenfor temaet vinterdrift er salting av veger et sentralt tema, spesielt i nordliggende områder med lange kalde vintre. Salting langs vegene i dag gjøres hovedsakelig for å oppnå en bar veg. Ved å kjøre på en bar veg kontra en veg som er dekket med snø og is, vil man mest sannsynlig oppnå bedre fremkommelighet, samt at trafikksikkerheten øker. I Norge er det ønskelig at de 15% mest trafikkerte vegene holdes bar året rundt. Årlig brukes det rundt 250 000 tonn salt til å vedlikeholde veger i Norge. (Wåhlin, J. 2017)

Det er ønskelig å optimalisere et salttiltak for å vite hvor mye salt som er nok. Med for lite salt vil man kunne risikere glatt veg og begrenset fremkommelighet, og med oversalting kan man risikere skade på det ytre miljø. I tillegg til dette vil man kunne spare mye penger ved å optimalisere saltingen. Det er ønskelig fra statens side å oppnå best mulig effekt ved å bruke minst mulig salt. For å kunne optimalisere dagens saltbruk må man forske. Et tiltak for dette vil være å utvikle en ny metode for å måle salt fra vegbanen. Med en bedre metode til å måle restsalt, kan det gi bedre informasjon om hvor lenge et salttiltak vil vare under forskjellige forhold.

I denne masteroppgaven er det derfor blitt utviklet en ny restsaltmåler med inspirasjon fra tidligere målere, veileders og bi-veileders innspill. Utførelse av forsøkene har grovt sett bestått i tre deler. Hvor det først er blitt utviklet en restsaltmåler og nødvendig informasjon om hvordan en skal bruke måleren er funnet ut. Deretter har det blitt utført tester som måler nøyaktigheten av måleren på forskjellige former av salt. Til slutt er det blitt gjort undersøkelser av potensielle feilkilder, og det er kommet med forslag for å bedre prototypen opp imot brukervennligheten og kvalitetsmessig.

Det er også blitt gjort et litteraturstudium om dagens restsaltmålere og dagens utfordringer tilknyttet disse. Videre også om hva som tidligere er gjort av forskning innenfor temaet varighet av salttiltak. Og hvordan man kan simulere varigheten til salttiltak ved hjelp av matematiske modeller.

Opgavens laboratorieforsøk er blitt utført på snø-laben til NTNU. Hovedforsøkene har gått ut på å teste nøyaktigheten til måleren på ulike former salt. Disse testene har blitt gjennomført med at det er blitt utlagt en kjent mengde med forskjellig typer salttilstander og spredemetoder. De forskjellige typene salt er blitt utlagt på en grov asfalttype. Videre er den

nye restsaltmåleren blitt brukt til å se om den greier å detektere like mye salt som er blitt lagt ut.

Resultatene har først og fremst vist hvordan man på best mulig måte skulle kunne bruke restsaltmåleren for å få et representativt svar per forsøk. Videre er det blitt gjennomført 31 tester om forskjellige typer salttilstander og spredemetoder. Resultatene har vist at detektert salt varierer fra 91,1% detektert og opp til 105,2% detektert. Hvor det ble oppnådd gode resultater med salt i oppløst form, grove saltkorn og inntørket salt. Resultatene med størst variasjon og usikkerhet var å bemerke når fine saltkorn var utlagt på tørr og befuktet asfaltplate.

Summary

Within the theme of winter maintenance operations, salting of roads is a central theme, especially in the Northern areas with long, cold winters. The reason for salting is to attain a road free from ice, as driving on a road free from ice versus a road covered in snow and ice, one is more likely to achieve better navigability, as well as increased safety in the traffic. In Norway, 15% of the busiest roads should be free from ice and snow all year around.

Annually, around 250,000 tonnes of salt are used to maintain the roads in Norway every year (Wählin, J. 2017)

Therefore, it is desirable to optimize actions on salt use to find out how much salt is enough. The consequence of using too little salt is icy roads and limited navigability, and on the other hand, by using too much salt, one risks damaging the environment. In addition to this, one will save a lot of money by optimize the salting. Regarding the state, they want to achieve the best results but still limiting the use of salt. To optimize the actions on salt use of today, research must be done, and in order to do this research one needs ways to measure residual salt. One action one can take is to develop a new method of measuring salt from the roads. Optimizing this method might give better information on how long salt will last under different conditions.

In this master thesis it has been developed a new way of measuring residual salt, greatly inspired by former surveyors, the supervisor, and bi-supervisor's input and contributions. The conduct of the study has been carried out in three parts. Firstly, it has been developed a residual salt meter, and necessary information on how to use this meter has been established. Thereafter, it has been tested how accurate this salt meter is and how it measures different types of salt. Finally, the weaknesses of the meter have been found, and suggestions on how to improve the prototype, regarding user-friendliness and overall quality, has been discussed.

A literature study has also been carried out in this dissertation regarding the residual salt meters of today, and the challenges associated with them. Furthermore, it has also been carried out a study within the theme of duration of the actions regarding salting, and also how one can simulate the duration of salt action using mathematical models.

The dissertation's laboratory investigations have been carried out in NTNU's snow-lab. The main studies have been regarding testing the accuracy of the meter on different types of salt. These tests have been carried out by spreading out well-known types of salt and scattering methods. The salt has been deposited on rough asphalt. Furthermore, the new salt meter is used to see if it can detect as much salt as the former meters that has been used.

The results have shown how one best can use the residual salt meter to get a representative response per try. Furthermore, it has been carried out 31 tests on different types of salt and scattering methods. The results have shown that detected salt ranges from 91,1% up to 105,2%. Where good results were achieved with salt in dissolved form, coarse salt grains, and dried salt. The results that varied the most, and with the greatest uncertainty, was noticed when fine salt grains were laid on dry and humid coarse asphalt.

Innholdsfortegnelse

Forord.....	i
Sammendrag	iii
Summary	v
1 Innledning.....	1
1.1 Introduksjon.....	1
1.2 Målsetning	3
2 Litteraturstudie.....	4
2.1 Bruksområde hos forskjellige spredemetoder	4
2.2 Varighet av salttiltak	6
Blow-off	7
Spray-off.....	7
Run-off	8
Initialtap.....	8
Oppsummering varighet av salttiltak	9
2.3 Restsaltmodeller.....	10
Oppsummering restsaltmodeller	12
2.4 Måling av salt på vegbanen i dag	13
Metoder	13
Instrumenter.....	13
2.5 Tilsetningsstoffer sammen med salt	15
2.6 Oppsummering	16
3 Metode	17
Konseptbeskrivelse	17
3.1 Utvikling og kalibrering.....	18
3.1.1 Byggeprosess av måleren	18
3.1.2 Kalibrering av konduktivitetsmåler	21
3.1.3 Sukkerets påvirkning av kalibreringskurvene.....	22
3.1.4 Optimal vannmengde	22
3.1.5 Behandling av asfalten.....	23
3.2 Nøyaktighet av restsaltmåleren.....	24
3.2.1 Fremgangsmåte under forsøk om måling av nøyaktigheten av måleren	25
3.3 Mulige feilkilder	26
4 Resultater.....	27
4.1 Utvikling og kalibrering.....	27

4.1.1 Kalibrering av konduktivitetsmåleren	27
4.1.2 Optimal skyllemengde	29
4.1.3 Antall vask per forsøk	30
4.1.3 Sukkerets påvirkning på målingene.....	31
4.2 Nøyaktighet av restsaltmåleren.....	32
4.3 Feilanalyse	34
4.3.1 Presentasjon av nøyaktighet	34
4.3.2 Varierende resultat avhengig av temperatur.....	35
5 Diskusjon	37
5.1 Usikkerheter angående resultatene	37
5.2 Oppsummering.....	41
5.3 Erfaringer med det nye konseptet og videre arbeid	42
6 Konklusjon	46
7 Litteraturliste	47
8 Vedleggsliste	50
Vedlegg 1 – Løsninger som er bakgrunnen for kalibreringskurvene	50
Vedlegg 2 – Nødvendig skyllemengde av restsaltmåleren.....	51
Vedlegg 3 - Andel prøve detektert per vask	52
Vedlegg 4 - Oversikt over rekkefølgen prøvene ble tatt i.....	53

1 Innledning

1.1 Introduksjon

Salting¹ av veger i dag gjøres for å holde vegen bar for snø, slaps og is. Dette er igjen med på å opprettholde trafikkens fremkommelighet og for øke trafikksikkerheten når det er is og/eller snø på vegdekket. Ved å gjøre vegen bar gjør at friksjonen på underlaget kan øke. Vegsalt har i hovedsak tre funksjoner:

1. «Anti-Icing». Salt oppløst i vann gjør at frysepunktet til vann senkes. Ved riktig vektprosent av salt i løsningen kan man unngå at vann fryser til is, helt til man har nådd en temperatur på -21 grader celsius, avhengig av saltmengden.
2. «Anti-kompaktering». Salt sammen med snøkrystaller gjør at snøkrystallene får det vanskeligere med å binde seg med hverandre, dette gjør at snøen unngår å bli hardpakket. Hardpakket snø er uønskelig med tanke på at det vil bli vanskelig å fjerne snøen mekanisk fra vegbanen, samt at man risikerer en glattere overflate.
3. «De-Icing». Salt sammen med is får isen til å smelte å gå over til væskeform. Denne er spesielt effektiv på tynne ishinner som ligger på vegen.

Salt kan utlegges på vegen ved hjelp av forskjellige spredemetoder. De fire mest populære metodene i dag er tørr saltspredning, saltløsning, «slurry» og befuktet salt. Valg av hvilken metode som skal brukes avhenger blant annet av pris, hva som er ønskelig funksjon, føre, vegbaneforhold og værmelding.

En viktig faktor når det gjelder salting er å finne ut hvor lenge et salttiltak varer. Dette er viktig å vite for å optimalisere saltbruken. Man kan da finne ut til hvilken tid man bør salte på nytt. Å bruke for mye salt vil bli dyrt, og miljøet i rundt vegen kan bli skadet. Eksempelvis innsjøer, biler, grunnvann og vegetasjon (Amundsen, C. med flere, 2008). Salter man for lite kan man risikere glatt veg som kan føre til alvorlige ulykker og dårligere fremkommelighet.

For å finne ut varigheten av et salttiltak må man kartlegge hvordan saltet forsvinner fra vegbanen. Salttap kan deles inn i to hovedkategorier. Tap under utlegging, og tap etter utlegging. Salttap under utlegging kalles initialtap, mens salttap etter utlegging kan igjen deles

¹ Når salt nevnes i denne rapporten er det saltet natriumklorid (NaCl) som menes, om ikke annet er spesifisert.

inn i flere kategorier. Saltet kan bli blåst av, sprutet av, renne av, eller bli fjernet mekanisk (Lysbakken, K. R. 2013).

For å optimere et salttiltak må man altså vite hvor mye salt som ligger på vegbanen til enhver tid, dette avhenger av en rekke faktorer som nevnt. Blant annet vær, trafikk, føreforhold og vannmengden på vegoverflaten. Til å måle restsalt på vegbanen i dag eksisterer flere metoder, som nærmere er beskrevet i litteraturdelen. Instrumentet SOBO20 er mest utbedret til å måle restsalt på vegbanen i dag på grunn av dens mobilitet, og at man får informasjon om saltmengde relativt kjapt. SOBO20 fungerer på den måten at et avgrenset område blir spylt med en kjent mengde vann. Konduktiviteten av dette vaskevannet blir deretter målt, videre inneholder instrumentet en egen konverter som gir ut en verdi av salt i gram per arealenheter av å måle konduktiviteten. Denne metoden fungerer bra når salt er løst opp i vannet. Men ikke like bra når det jobbes med inntørket salt og tørr salt. Kun 5-6% av salt i fast form blir detektert av denne måleren (Lysbakken, K. og Lalague, A. 2013).

N. İkiz, E. Galip lagde en modifisert versjon av SOBO20, kalt «WALLY BO» og «YSI BO». Disse versjonene endret konduktiviteten på målingene til SOBO20. (İkiz, N., & Galip, E. 2016). Men ved å endre konduktiviteten på målinger vil man ikke løse problemet med å detektere salt i sin faste form, denne metoden gjør at man bare «pynter» på resultatet uten å være sikker på virkelig saltmengde.

En annen ulempe med SOBO20 er at målearealet er svært begrenset. Med en diameter på 5,6 centimeter (Lysbakken, K., & Lalagüe, A. 2013). Med denne korte diameteren gjør at kun en liten del av vegen blir målt. Dette gjør at man må ta mange prøver for å finne et godt nok tall som estimerer saltmengden pr. arealenheter på vegbanen. Dagens spredemetoder gjør at saltet blir utlagt i buer, noe som igjen fører til at saltet blir liggende veldig vilkårlig på vegbanen. Med en større restsaltmåler, vil man derfor kunne spare seg for flere målinger, og få et bedre estimat om hvor mye salt som er på vegbanen. I Statens Vegvesens rapport fra 2009 ble det konkludert med følgende (Svanekil, A. 2009):

«Det er behov for å utvikle en restsaltmåler som fungerer bedre under tørre forhold og i den fasen der saltet tørker inn og blir utkrystallisert.»

1.2 Målsetning

Målet med masteroppgaven blir derfor å forsøke og utvikle en ny restsaltmåler, og måle dens nøyaktighet. Denne må være god nok til å måle salt i alle ulike former på vegbane og under alle forhold. Etter samråd med veileder, ble det kommet frem til at et resultat kan betraktes som tilfredsstillende dersom målingene er innenfor en nøyaktighet på $\pm 5\%$. Dette tilsvarer en absolutt nøyaktighet innenfor ± 1 gram per kvadratmeter når det i praksis saltes med 20 gram per kvadratmeter.

Ettersom tidligere metoder for restsaltmåling har sine problemer med spesielt med tørr salt, er det derfor ønskelig å utvikle en restsaltmåler som kan måle salt i tørr form. Men også i andre ulike former som for eksempel «slurry», befuktet salt og saltløsning, til en tilstrekkelig nøyaktighet. Målene med masteroppgaven kan deles inn i tre deler:

1. Utvikle en ny restsaltmåler.
2. Teste dens nøyaktighet på ulike former av salt og spredemetoder.
3. Undersøke mulige feilkilder og vurdere forbedringspotensialet til restsaltmåleren.

2 Litteraturstudie

I litteraturstudiet er det ønskelig å finne ut nærmere hvilke faktorer som er med på å bestemme levetiden av salt på veg. Og videre hvilke restmålere som tidligere er blitt brukt for å måle salt på veg, samt deres nøyaktighet og fordeler og ulemper på ulike saltutlegginger. I tillegg var det også interessant å finne ut mere generelt om vegsalt. Blant annet om tilsetningsstoffer gir forbedret levetid og smeltekapasitet, og videre hvordan man kan optimere salttiltak.

2.1 Bruksområde hos forskjellige spredemetoder

Salt som brukes i dag kan være i forskjellig form. Man kan velge mellom å bruke tørr salt, befuktet salt, saltløsning og «slurry». Valg av riktig type spredemetode varierer med en rekke faktorer hvor de viktigste er hvilken tilstand vegen har under utlegging, og hvilken tilstand man tror vegen vil få i løpet av den neste tiden. Vaa, T. & Gievær, T. (2007) lagde en tabell som gir en anbefaling om når man skal bruke de forskjellige spredemetodene, avhengig av vær- og føreforhold vist i figur 2-1.

	Vær- og føreforhold	Metode
Preventiv salting før: <ul style="list-style-type: none">• rimfrost• underkjølt regn• regn på frossen vegbane• snøvær	Tørr og fuktig, bar veg	Befuktet salt
		Slurry
		Saltløsning
	Våt, bar veg	Tørr salt
		Befuktet salt
		Slurry
Salting på is eller snø	Rimfrost/tynn is	Befuktet salt
		Slurry
		Saltløsning
	Tykk is	Befuktet salt
Under snøvær ¹	Tørr salt	

¹ I utgangspunktet saltes det ikke under snøvær, men ved vedvarende nedbør kan det utføres salting i kombinasjon med brøyting for å hindre at snøen fryser fast til underlaget og danner uønsket snøsale. Salmengden må vurderes både ut fra temperatur og tid på døgnet.

Figur 2-1: Illustrasjon som viser anbefalt spredemetode, avhengig av vær- og føreforhold (Vaa, T., & Gievær, T. 2007)

Tørr salt

Tørr salt er en type som er enkel å oppbevare. Den er også enkel å håndtere under utlegging. Ulempen med denne typen er at de lette kornene veldig lett forsvinner fra vegbanen på grunn av blant annet vind og turbulens fra kjøretøy. Man vil derfor oppnå best effekt ved denne typen ved å benytte seg av tørr salt når det er vått på vegen, eller under nedbør. (Vaa, T., & Giæver, T. 2007) Et annet problem med tørr salt er at man har vanskeligheter med å måle saltmengden til enhver tid. Og det er derfor mangel av kunnskap om tørr salts levetid på vegbanen. (Svanekil, A. 2009)

Befuktet salt

Dette er tørr salt som blir befuktet før det legges ut. Dette er med på å forbedre vedheften mellom saltet og vegbanen, noe som gjør at de befuktete saltkornene kleber seg bedre fast til vegen. I tillegg vil befuktet salt gjøre at saltet oppløser seg raskere på grunn av det allerede har kontakt med vann under utlegging. (Vegvesen, S. 2008)

Saltløsning

Saltløsning er en vannløsning med oppløst salt. Etersom saltet her allerede er oppløst vil man oppleve en rask effekt for å unngå isdannelse på vegbanen. Man bruker typisk en vannløsning med 23% vekprosent salt, ettersom 23% vekt er metningspunktet for saltløsning. Og man opplever best effekt med denne vektprosenten som gjør at saltløsning ikke fryser over -21 grader celsius. Denne typen er derfor best egnet ved bruk av smelting av ishinner, og som preventivt tiltak. (Vaa, T., & Giæver, T. 2007) Preventiv salting gjøres for å unngå at en fuktig veg fryser. Og for å unngå at snøen kompaktere seg under snøfall.

Slurry

Dette er finknuste saltkorn som er blitt befuktet. Denne tilstanden har en grøtaktig konsistens. Til sammenlikning med saltløsning har denne et enda større potensial til å klebe seg fast på vegdekket. Denne er derfor også en god metode på å bruke som preventiv salting. (Vaa, T., & Giæver, T. 2007) Etersom slurry består av mindre saltkorn, vil den løse seg opp raskere, enn om det blir brukt større saltkorn.

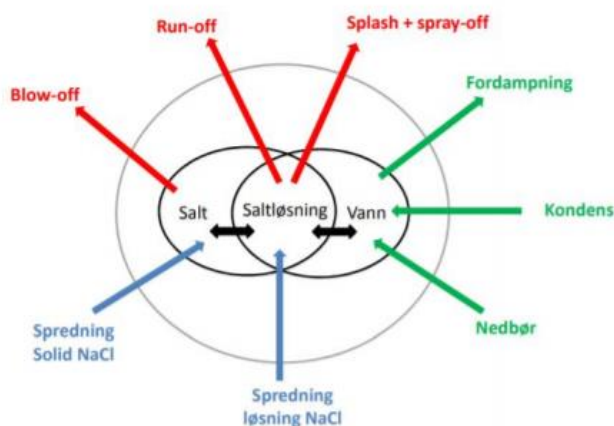
Salting i dag skjer hovedsakelig med disse nevnte fire spredemetodene. Hvilken av disse som er det beste alternative avhenger blant annet av hva saltet har som formål å oppnå. Og hvordan føreforholdene er, og hvordan de blir i fremtiden. I Salt Smart sin rapport fra 2009, ble det konkludert med at vann i form av fuktighet på vegbanen og nedbør er den mest

avgjørende faktoren om hvor lenge et salttiltak vil vare. Hvis det lar seg gjøre, er det derfor viktig å få fjernet mest mulig av fuktighet i form av snø, slaps og is før et salttiltak utføres. Da kan man unngå unødvendig salttap. (Svanekil, A. 2009).

2.2 Varighet av salttiltak

Etter at man har utført et salttiltak på en veg er det bare et tidsspørsmål før vegen er fri for salt igjen. Hvor lang tid dette tar er vanskelig å vite. Dette på grunn av de mange uforutsigbare faktorene som kan oppstå. Dette er mange faktorer som Lysbakken og Norem (2008) delte opp i de tre hovedkategoriene vær, trafikk og vegkarakteristikk. Innenfor kategorien vær er det blant annet faktorer som vannmengde, vind og nedbør. Innenfor kategorien trafikk kommer blant annet faktorene fart, tyngde og turbulens fra forskjellige kjøretøy. I den siste kategorien har man faktorer som gjelder vegens fysiske tilstand. Dette kan for eksempel være overhøyde, spordannelse og asfalttype.

For å finne ut varigheten av et salttiltak må man kartlegge hvordan saltet forsvinner fra vegbanen. Salttap kan deles inn i to hovedkategorier. Tap under utlegging, og tap etter utlegging. Salttap under utlegging kalles initialtap, mens salttap etter utlegging kan igjen deles inn i flere kategorier. Saltet kan bli blåst av (blow-off), sprutet av (spray-off), renne av (run-off), eller bli fjernet mekanisk (Lysbakken, K. R. 2013).



Figur 2-2: Illustrasjon av en enkel massemodell fra vegbane (Eram, M., Blomqvist, G., Thordarson, S., & Lysbakken, K.R. 2013)

Figur 2-2 illustrerer en enkel massemodell fra en vegbane, som har uoppløst og oppløst salt, i tillegg til vann på vegbanen. Den viser med piler hvordan salt og vann kommer til, og forsvinner fra vegbanen. Massemodellen tar for seg de viktigste parameterne som påvirker et salttiltak. Figuren tar for seg «livsløpet» til salt og vann på vegbane. Det er i forrige kapittel nevnt hvordan salt kan legges ut på vegbanen. Hvordan salt forsvinner beskrives nærmere i de neste delkapitlene.

Blow-off

Denne tapsmekanismen beskriver salt som blir blåst av vegbanen. Salt som blir blåst av vegbanen er ikke oppløst salt, men salt i dens faste form. Saltet blir blåst av på grunn av vind, turbulens og trafikk. Faktorer som hovedsakelig påvirker dette vil være trafikk og vær. I følge Lysbakken og Norem (2008) kommer blow-off av turbulens fra trafikken, mens vind er med på å øke salttapet.

Dette kan beskrives med at når trafikken kjører over saltkorn, vil kornene bli skutt i været på grunn av et meddrag hjulene pådrar kornene. Vind og turbulens kan gjøre at kornene havner utenfor vegbanen. Og med desto mere vind, desto større sannsynlighet er det for at kornene blåses av vegbanen. Andelen av korn som forsvinner vil her avhenge av en rekke mindre faktorer innenfor hovedkategorien, trafikk. Dette kan være for eksempel vekt og fart på bilen, hvordan dekkene er, med tanke på struktur, type og trykk. Andelen på trafikk, større og mindre kjøretøy. I tillegg til hvor mye vann eller snø som er på vegbanen fra før, og om asfalten er grov eller fin.

En annen faktor som bestemmer andelen tap på grunn av blow-off er hvilken type salt som er brukt. Resultatene til Skjærbekk (2017) viste at tørr salt har 16-20% høyere tapsprosent enn befuktet salt. Og at mindre saltfraksjoner (0-1mm) har betydelig større tap enn ved større saltfraksjoner (2-4mm). Dette gjelder for tørr salt og befuktet salt. Det er verdt å nevne at disse testene ble utført innendørs som et laboratorieforsøk med fravær av vind og turbulens.

Spray-off

Spray-off er en tapsmekanisme som beskriver salt som er oppløst i vann og blir sprutet av vegbanen på grunn av trafikken. I likhet med blow-off er også her hovedsakelig trafikken hovedkategorien med blant annet faktorer som antall kjøretøy og dens fart og tyngde. Men for

spray-off spiller vegens fysiske tilstand en mer betydelig rolle. Er det for eksempel spordannelser eller hull i veggen hvor det er lett for å samle seg opp vann, sprutes vann også lettere av vegbanen. I tillegg vil også faktorer som vind, asfalttype og dekktype spille rolle. (Lysbakken, K.R., & Norem, H. 2008)

Denne tapsmekanismen varierer derfor veldig med hvor mye vann som er på vegbanen til enhver tid. I et tidligere studium viste resultater til Nicholss, J.C., & Daines, M. E (1997) at spray-off på et nylagt porøst asfaltlag kun gir 5% av sprut sammenliknet med et tett asfaltlag. Å implementere porøs asfalt kunne ha vært et godt alternativ for å minske mengden spray-off. Men på grunn av bruk av piggdekk i land som har behov for salting vil piggene ødelegge den porøse asfalten og dette vil trolig ikke lønne seg.

Run-off

En tredje tapsmekanisme er Run-off. Denne mekanismen beskriver når oppløst salt i vann renner av vegbanen uten hjelp av trafikken. Veggen har en viss grense på hvor mye vann den kan holde på. Når vannmengden overstiger denne verdien, vil vannet renne av veggen. Vann kan komme til vegbanen ved hjelp av nedbør og snøsmelting, men også av kondens, som vist i figur 2-2. Hvor mye og hvor raskt vannet vil renne av avhenger primært av vegkarakteristikken. Og spesielt tverrsnittet på vertikalgeometrien. (Lysbakken, K.R og Norem, H. 2008)

I tillegg til disse tre tapsmekanismene som foregår etter utlegging er det også en fjerde mulighet for at salt fjernes. Dette foregår når salt fjernes mekanisk. Dette skjer typisk under brøyting eller av andre fysiske mekanismer.

Initialtap

I tillegg til nevnte tapsmekanismer, har man også noe kalt initialtap. Dette er salttap som skjer under utlegging og beskriver salt som aldri legger seg på vegdekket. Initialtap kan forekomme på grunn av vind og turbulens bak strømbilen, eller at saltkorn ruller eller spretter av veggen på grunn av saltspredning. (Klein-Paste, A. 2008)

For å unngå initialtap er det derfor ønskelig å unngå og salte med tørr salt, dette for at tørr salt er mer sårbar for turbulens og vind, da disse saltkornene er veldig små og lette. Og at saltkornene enklere kan rulle og sprette av vegbanen under utlegging. Man bør heller befukte salt eller bruke saltløsning. Dette kan være ideelt på grunn av at man får mest mulig vekt per

arealdel, samt bedre kohesjon mellom saltkorn. (Klein-Paste, A. 2008) Ericsson (1995) lagde en modell som beskrev levetid hos salt basert på spredemetoder. Det ble konkludert med at salt i form av saltløsning var den spredemetoden som ga minst initialtap. Feltforsøk fra 2009 stemmer godt overens med Ericssons modell fra 1995. Og man fant blant annet ut at befuktet salt har større initialtap enn saltløsning på tørr vegbane (Svanekil, A. 2009).

Faktorene som er med på å bestemme initialtapet vil derfor trolig være hvilken spredemetode og rekkevidde som blir brukt, fart på bilen, fuktighet og geometri på vegdekke, samt vind og vær.

Oppsummering varighet av salttiltak

Den mest avgjørende faktoren for utlegging og varighet av salt er å vite hvor mye vann og fuktighet som ligger på vegbanen (Lysbakken, K og Norem, H. 2013). Som vist i figur 2-2 ser man at vann kan komme til vegbanen ved nedbør og kondensasjon. Men forekommer også når snø og is smelter og går over til vann. Er det mye vann og fuktighet på vegbanen når et salttiltak utføres, vil mye av oppløst salt forsvinne fra vegbanen på grunn av «spray-off-effekten» og på grunn av avrenning («run-off»). Det er derfor viktig å gjøre vegbanen minst mulig fuktig før et salttiltak skal utføres, dette kan enkelt gjøres ved å brøyte vekk det meste av vann, snø og slaps før et salttiltak. Man vil da kunne oppleve at man kan begrense saltbruk, og at tiltaket varer lengre. (Svanekil, A. 2009).

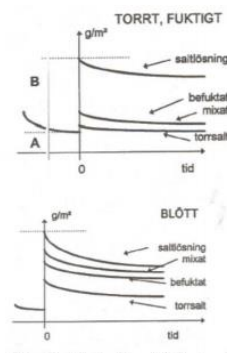
Lysbakken og Norem (2013) konkluderte med at på våte vegbaner vil salt forsvinne raskere, men at man har en høyere maksverdi av salt. På en tørrere vegbane hadde man ikke lik høy maksverdi av salt på vegen, men det ble konkludert med at saltet ble liggende lengre. Målingen av salt ble gjort av instrumentet SOBO20, og målinger ble målt opp imot andel passert trafikk.

I tillegg til faktoren fuktighet på vegbanen, er det også andre parametere som må tas hensyn til for å vite varighet av et salttiltak. Dette kan være geometri på vegen, topografi, trafikkforhold, vegdekke, vind og ikke minst trafikk. Ved høyt trafikkerte veger vil tørr salt være saltmetoden som forsvinner enklest på grunn av «blow-off», men også befuktet salt vil også forsvinne raskt på høyt trafikkerte veger. (Raukola, T., Kuusela, R., Lappalainen, H., & Piirainen, A. 1993)

2.3 Restsaltmodeller

I senere tid er det blitt forsøkt å lage restsaltmodeller, dette er modeller som beskriver saltets levetid på vegbanen. Studiene om dette temaet har hovedsakelig gått ut på å måle salt på vegbanen over tid etter et utført salttiltak. Restsaltmengden har i fleste studier blitt sammenliknet opp imot tid og trafikk. Eksempelvis gikk feltstudiet til Raukola med flere (1993) ut på å måle restsalt hos de forskjellige spredemetodene på vegbanen avhengig av tid og trafikk. Raukola konkluderte med at bruk av tørr og befuktet salt forsvinner raskt bort fra høyt trafikkerte veger. I tillegg ble det også her konkludert med at fuktighet spilte rolle angående levetiden til salt, og med at bruk av kalsiumklorid (CaCl_2) ikke gir bedre levetid. Og at størst salttap skjer på grunn av initialtap.

Ericsson (1995) lagde en modell som beskriver levetid av salt basert på spredemetoder, og om hvor mye vann som var på vegbanen. Det ble skilt mellom tørr og bløt vegbane.



Figur 2-3: Modell som illustrerer levetid av salt fra 1995 (Ericsson., 1995)

Fra figur 2-3 laget av Ericsson (1995), kan man legge merke til at initialtapet ved saltløsning skiller seg ut. Den har nesten ikke initialtap i det hele tatt. Feltforsøk fra 2009 stemmer godt overens med Ericssons modell fra 1995. (Svanekil, A 2009) I feltforsøket ble det utført fem forsøk med saltløsning som spredemetode. Og restsalt ble målt etter antall passeringer av kjøretøy. I tillegg til disse målingene ble også vannmengde i gram per kvadratmeter også målt når salt ble målt. Forsøkene foregikk i en periode på rundt to uker i slutten av februar 2008. Man kan tydelig se fra grafene til Svanekil at utviklingen av restsalt over tid minner om Ericssons modell. Hvor saltet forsvant raskere på en bløt vegbane, enn tørr. Noe som skyldes mere avrenning og at mere saltløsning blir sprutet vekk fra vegbanen av kjøretøy.

Fonnesbech (2001) utførte en studie om levetid av salt i Danmark tilbake i 1998 og 1999. Fonnesbech ønsket å studere forskjellen mellom saltløsning (20%) og befuktet salt. Fonnesbech så i likhet med Raukola på levetiden til salt avhengig av trafikk og tid. Det ble utført forsøk på to forskjellige vegger, en høytrafikkert veg og en veg med mindre trafikk. Det ble konkludert også her med at trafikkmengden er en viktig faktor for levetiden til salt ettersom målinger etter 2 timer viser at man har 21% mer salt ved å bruke saltløsning på lavtrafikkerte vegger. Og hele 30% mere salt på å bruke saltløsning istedenfor befuktet salt på høytrafikkerte vegger. Det ble også konkludert med at ved å bruke saltløsning, vil omtrent 85-90 prosent ende opp på vegen. Denne konklusjonen ble bekreftet av Svanekil i 2009, men at dette kun er tilfelle på tørr veg. (Svanekil, A. 2009)

Det er ikke blitt beskrevet hvordan værforholdene under testdagene var, bortsett fra at det var utført i et kystlig klima og at testpunktene var plassert slik at de var så like som mulig. Studiet endte opp med en lineær restsaltkurve for de to tilfellene som ble utført med saltløsning. Denne restsaltmodellen kunne gi informasjon av restsalt avhengig av tid og trafikk etter salttiltak. AADT for de to veistrekningene var for øvrig lik 1300 på den lavtrafikkerte vegen, og 7200 på den høytrafikkerte vegen.

Blomqvist og Gustaffson (2004) forsøkte å lage en restsaltmodell som også beskriver mengde salt som et resultat avhengig av akkumulert trafikk, utlagt salt og en konstant. Den akkumulerte trafikken regner vanlige biler til en verdi lik én, mens større kjøretøy som busser blir regnet med en verdi lik fem. Restsaltmodellen er av eksponentiell form, og regner ut restsalt på den måte at utlagt salt i gram per kvadratmeter, ganges med en eksponentverdi til akkumulert trafikk ganget med en konstant.

For å bestemme konstanten k , ble det brukt befuktet salt og forsøkene ble utført to forskjellige steder i Sverige, og man endte opp med to forskjellige verdier for konstanten, k . Konstanten varierte noe mellom de to testpunktene, noe som trolig blant annet kan ha skyldtes forskjellig fuktighet og vegkarakteristikk. Andre utfordringer knyttet til å bestemme en riktig konstant er å finne en riktig metode å akkumulere trafikken på, lokale værforhold og tilstanden på asfalt, samt geometrien. (Blomqvist, G. and Gustafsson, M. 2004)

Senere, i 2012 publiserte Blomqvist og Gustafsson med flere en studie hvor de forsøkte å fastsette konstanten, k ved hjelp av å se på vannmengden vegoverflaten har. Vannmengden ble bestemt av at den ble lest av ved hjelp av sensorer. Det ble deretter utviklet en matematisk formell, og et diagram som viser restsalt på vegbanen avhengig av akkumulert trafikk, og

hvor våt vegbanen er. Likevel er det flere faktorer som potensielt kan være avgjørende for restsaltmengden som ikke er tatt med i diagrammet. Dette er faktorer som blant annet er fart, vind, saltkornstørrelse og asfalttype. (Blomqvist, G. and Gustafsson, M. 2012)

Mitchell m.fl. (2004) forsøkte seg på å lage en modell for saltløsning, og ville forsøke å sammenligne levetiden av salt på forskjellige asfalttyper, og videre vise hvordan saltmengden på vegdekket endret seg med tid, trafikk og temperatur. Hans målinger ble gjort på tørr veg. Det ble konkludert med at type asfalt spiller en signifikant rolle på varigheten av salttiltak. Noe som også Nicholss, J.C., & Daines, M. E (1997) fant ut, og som er nærmere beskrevet i kapittel 2.2.

I senere tid har Lysbakken (2013) forsøkt seg på å lage en fornyet modell, bestående av enda flere faktorer. Hvor det blant annet ble dratt inn kompliserte matematiske formler for initialtap, saltoppløsning og for forsvinningsmekanismene.

Oppsummering restsaltmodeller

Til felles for nevnte restsaltmodellene er at samtlige brukte måleren SOBO20 for å måle restsalt på vegen. I tillegg til at denne sliter med å måle tørr salt, oppsto det også problemer for feltforsøk for Svanekil (2009) da saltløsningen på vegen tørket veldig tidlig inn i et av forsøkene, og man kunne se saltet ligge på vegen etter at målingene ble tatt, og målingene ble feil.

I mange studier om levetid av salttiltak på vegbane, har man forsøkt å lage restsaltmodeller. Men ettersom studiene som er blitt gjennomført med mye usikkerheter, er det vanskelig å lage en presis modell. Et steg i riktig retning vil være å ha en god restsaltmåler, som også kan måle salt i alle former, uten at det er oppstår store feilkilder.

2.4 Måling av salt på vegbanen i dag

Det finnes i dag mange forskjellige metoder for å måle salt på vegbane. Mye har blitt utprøvd de senere årene, men det er kun et fåtall av disse restsaltmålerne som er ferdig utviklet og god nok til å få et godt nok resultat.

Metoder

En metode på å måle salt er å måle saltkonsentrasjonen i en saltløsning. Dette kan gjøres på flere forskjellige metoder. Ved blant annet hjelp av optiske metoder kan man finne saltkonsentrasjonen. Saltkonsentrasjonen måles da med å måle refraksjon av lys i væsken, og derfra finner man saltinnholdet. Bruk av refraktometer brukes ofte for å finne salt i væsker, men metoden er veldig lite brukt for å finne saltinnhold på veg. Prinsippet har derimot blitt brukt til sensorer for å måle vanntykkelse. (Lysbakken, K. R. 2013)

En annen metode for å finne saltkonsentrasjonen i en saltløsning er å finne frysepunktet til væsken. Det er en kjent sak at temperaturen er konstant under en fryseprosess. Denne metoden ser på temperaturen over tid, og når temperaturen til væsken holder samme temperatur finner man frysepunktet. Og man kan da regne seg tilbake til saltkonsentrasjonen. Denne metoden er også blitt brukt til sensorer (Lysbakken, K. R. 2013)

En tredje metode for å finne saltkonsentrasjon i en saltløsning er å måle væskens konduktivitet. Altså man måler den elektriske ledningsevnen til væsken. En utfordring med dette prinsippet er at konduktiviteten varierer med temperaturen, så instrumenter som bruker dette prinsippet må kompensere for avvik mellom den faktiske temperaturen og referansetemperaturen, som vanligvis er på 25 grader celsius. Denne metoden brukes i flere instrumenter til å måle saltinnhold på veg i dag. Der i blant instrumentet SOBO20.

Instrumenter

Mange av de tidligere restsaltstudiene har brukt instrumentet SOBO20 av Boschung, til å måle saltmengden på vegoverflaten. Instrumentet måler den elektriske konduktiviteten av en væske, og man kan derfra se hvor mye salt det er i væsken. Instrumentet er velegnet for mobilitet, og man får svar på saltmengde på vegbanen relativt raskt.

Dette instrumentet fungerer slik at man kan sette instrumentet på vegoverflaten og dette dekker arealet ved hjelp av en pakning og man får et tett volum, deretter tilsetter man en kjent

dose med 85% vann og 15% aceton for deretter å måle konduktiviteten i væsken ved hjelp av elektroder og sensorer. Aceton kan være gunstig å tilsette blandingen for å unngå at væsken fryser. Når spredemetoden av salt er saltløsning, er dette instrumentet velegnet til å måle saltinnholdet. Men ved bruk av spredemetoder som tørr salt og befuktet salt, vil SOBO20 ikke være optimal å bruke på grunn av at den ikke detekterer uoppløst salt godt nok. (Lysbakken, K., & Lalagüe, A. 2013)

Ettersom SOBO20 kun måler saltinnhold ut ifra konduktiviteten på en væske, fører det til at salt i sin faste form har problemer med å bli målt. Kun 5-6% av salt i fast form blir detektert (Lysbakken, K. og Lalague, A. 2013). N. İkiz, E. Galip lagde en modifisert versjon av SOBO20, kalt «WALLY BO» og «YSI BO». Disse versjonene endret konduktiviteten på målingene til SOBO20. (İkiz, N., & Galip, E. 2016). Men ved å endre konduktiviteten på målinger vil man ikke løse problemet med å detektere riktig saltmengde i sin faste form.

«Wet Dust Sampler» er et instrument som ble utviklet i Sverige i 2008. Denne tar opp og samler alt av løse partikler fra veggen ved hjelp av en kompressor. Ved hjelp av vann løsner den partikler, og man får mere partikler opp. Og man kan deretter studere vannet etter at partikler har blitt sugd opp. Ettersom instrumentet tar opp alt av løse partikler, kan man blant annet studere støvmengde og støvpartikler, i tillegg til å studere mengde salt man får opp av instrumentet. I rapporten til Jonsson m.fl (2008) ble det utført en sammenlikning mellom SOBO20 og Wet dust sampler til å måle salt. Resultatene var ikke overbevisende, og man konkluderte med at man trenger mere forskning på det nye instrumentet for å få mer optimal oppsamling av partikler, samt bedre vasking av veggen. (Jonsson, P., Blomqvist, G. and Gustafsson, M. 2008). Et senere forsøk ble utført av Gustafsson og Blomqvist i 2012 for å måle restsalt ved hjelp av «wet dust sampler» og SOBO20. Begge instrumentene oppnådde gode resultater på å måle oppløst salt, men med tørr salt hadde «wet dust sampler» et bedre resultat, men likevel var det stor spredning i målingene, noe som kan ha skyldtes at ikke alt salt ble oppløst. (Blomqvist, G. and Gustafsson, M. 2012)

I 2004 ble det lagd en liknende metode som er planlagt å teste i denne rapporten, nemlig med bruk av en våtstøvsuger. Burtwell (2004) brukte en våtstøvsuger til å suge opp salt fra et areal på en kvadratmeter. Og senere ble prøven analysert kjemisk for å finne saltinnholdet. Studiet til Burtwell gikk ut på å sammenlikne forskjell i spredning mellom tørr salt og befuktet salt.

Og metoden ble ikke brukt til å måle nøyaktigheten til instrumentet, men til å se på forskjellen av spredning til tørr og befuktet salt.

2.5 Tilsetningsstoffer sammen med salt

Det er blitt utført flere studier for å undersøke om det har noe for seg å tilsette kjemiske tilsetningsstoffer sammen med saltløsning for at levetiden skal kunne øke. I tillegg om tilsetningsstoffene har innvirkning på smeltekapasitet og endret frysepunkt. I salt SMART sin rapport fra 2010 ble det utført en større rapport om tilsetningsstoffer sammen med salt, og alternative metoder for bruk av vanlig natriumklorid. (Holen, Å. 2010) Alternativene til salt har blitt annet blitt vurdert opp imot hvordan det må holdes lagret, hvordan smeltekapasitet og frysepunkt de har, samt hvordan man kan spre de ut langs vegnettet. Disse alternativene er blitt vurdert opp imot vanlig salt på seks forskjellige kriterier og blitt gradert med pluss eller minus. Kalsiumklorid CaCl_2 fikk beste karakter for alternativ til natriumklorid ifølge rapporten. Etterfulgt av magnesiumklorid, MgCl_2 og kaliumacetat. Fordelene med å bruke kalsiumklorid er at tørt stoff av denne typen salt kleber seg lettere til vegen, fordi det tiltrekker seg fuktighet raskere enn vanlig salt. Man har også en brukstemperatur ned til -25 grader celsius og smeltekapasiteten er noe høyere enn hos natriumklorid. Problemet med kalsiumklorid er at det må lagres i lufttett og vanntett emballasje. I tillegg til at denne type salt ikke tørker opp på vegen, som kan medføre våt og glatt veg etter opptørring. Ser man på forskjellige tilsetningsstoffer man kan bruke sammen med natriumklorid, skiller også her kalsiumklorid og magnesiumklorid seg ut. Disse to som tilsetningsstoffer indikerer at det er veldig liten forskjell mellom de to kjemisk sett. (Holen, Å. 2010) Denne rapporten fra Statens vegvesen baserer seg på litteraturstudier som tidligere er gjort om kjemikalier i vinterdrift. Det må nevnes at ikke alle kriteriene til alternativene var å finne fra tidligere studier.

Bruk av sukker i vinterdrift er blitt testet som både tilsetningsstoff, og som smeltemiddel. Som smeltemiddel ble det ikke det ikke blitt oppnådd suksess (Holen, Å. 2010). Sukker som tilsetningsstoff kan derimot forhindre plutselig tilfrysning. Og kan være mere skånsom mot miljøet. (Gustafsson og Gabrielsson. 2006) I tillegg er det trolig at sukker som tilsetningsstoff til tørr, eller befuktet tilstand kan gjøre at salt kleber seg bedre til vegdekket, noe som gjør at varigheten av salttiltaket kan øke. Ebersten (2015) gjorde forsøk med forskjellige sukkermengde i salt Og konkluderte med at jo mere sukker, jo mindre salttap ble detektert på grunn av bedre evne til å klebe seg fast med mere sukker. Det må i tillegg nevnes at dette var

et forsøk utført på laboratoriet, og ikke nødvendigvis trenger å gjenspeile hvordan det fungerer i realiteten.

2.6 Oppsummering

Det er i litteraturstudiet blitt undersøkt hvilke tidligere studier som er blitt gjort spesielt på varighet av salt og hvordan man tidligere har forsøkt å måle salt på vegbanen. Dette søket er hovedsakelig blitt gjort for å få innsikt i hvordan tidligere restsaltmålere fungerer. Det er i denne masteroppgaven blitt utviklet en ny restsaltmåler som er blitt bygget på bakgrunn av tidligere restsaltmåleres funksjoner. Spesielt har saltsamleren til Burtwell (2004) vært en viktig inspirasjonskilde. I tillegg til visse funksjoner til SOBO20 og «Wet dust sampler» også blitt tatt med i betraktning under bygging for å få til en god prototype.

I tillegg til bygging av en restsaltmåler er det også i litteraturdelen blitt undersøkt hvilke salttyper og salttilstander som hittil har vært utfordrende å måle til en tilstrekkelig nøyaktighet. Eksempelvis kunne man bare detektere 5-6% av tørr salt i SOBO20. Mens med bruk av «Wet Dust Sampler» også hadde store variasjoner, spesielt på tørr salt. Burtwell (2004) hadde en interessant metode for å få opp tørr salt, men hans studie gikk ikke ut på å måle nøyaktigheten på målt tørr salt. Det er også oppstått problemer å måle saltløsning som har tørket inn over tid. Det er derfor i denne oppgaven blitt forsøkt å bruke de beste egenskapene til tidligere instrumenter for å forsøke å lage en restsaltmåler som forhåpentligvis kan detektere salt i alle former til en tilstrekkelig nøyaktighet.

Ellers er det i litteraturdelen blant annet blitt nærmere undersøkt hvilke tapsmekanismer man har for salt. Denne delen vil være behjelpelig når mulige feilkilder kan oppstå i løpet av forsøk som er planlagt utført med den nye restsaltmåleren. Med å ha en god oversikt over de mulige feilkildene kan man ved bruk av disse fortsette å utvikle restsaltmåleren til en forbedret måler.

3 Metode

Bygging og testing av restsaltmåleren har foregått på snølaboratoriet på Lerkendalsbygget ved NTNU. Resultatene er blitt satt inn og analysert og utregnet i et egenkomponert Excelark. I praksis i dag brukes det cirka 20 gram salt per kvadratmeter på tørr veg når man salter, men med høyere fuktighet på vegbanen kan denne mengden øke. Testene som er blitt utført er gjort på en asfaltplate på 30 centimeter x 30 centimeter. Altså $0,09\text{m}^2$. Da vil man regne med at arealet til asfaltplaten vil tilsvare en saltmengde på $20\text{g} \times 0,09\text{m}^2 = 1,80$ gram salt. I de forsøkene som er blitt gjennomført på asfaltplaten er det hovedsakelig blitt brukt mellom 1,75 gram til 1,85 gram salt.

Konseptbeskrivelse

Før nøyaktigheten til måleren på de forskjellige salttilstandene og spredemetodene kunne testes, måtte en rekke andre komponenter klareres og fastsettes. Konseptet for restsaltmålingene som er ønskelig å utvikle i denne oppgaven, er hovedsakelig utviklet på bakgrunn fra Burtwells studie fra 2004. Det ble i dette studiet samlet salt for å analysere forskjell i spredning mellom tørr og befuktet salt ved hjelp av en våtstøvsuger. I denne oppgaven er planen å bruke en lignende maskin, men med å installere en komponent som kan samle alt av salt i en beholder. Denne beholderen skal være lett tilgjengelig, slik at man enkelt kan ta av denne beholderen for så å analysere oppsamlet salt.

For å greie å suge opp alt av salt må man bruke vann til hjelp, slik at saltet blir oppløst og enklere kan løsne fra vegoverflaten. Man må også vaske overflaten, for å være helt sikker på å få med seg alt av salt opp fra asfalten. Når alt av vann og salt er blitt sugd opp, må man renske måleren slik at alt av salt ender i den samme beholderen. Deretter må man røre slik at alt salt blir oppløst. Når alt av salt er oppløst i en kjent mengde vann, kan man finne ut hvor mye gram salt som er i vannbeholderen og regne seg tilbake til å finne antall gram salt pr. kvadratmeter. Dette gjøres ved at en konduktivitetmåler måler elektrisk ledeevne av prøven.

Gjennomføringen av laboratorieforsøket kan deles inn i tre forskjellige deler, og en beskrivelse av hva som omhandler hver del er beskrevet her:

Del 1 – Utvikling og kalibrering

I første del ble en prototype bygget og testet. I tillegg til at en rekke faktorer ble undersøkt, som var nødvendig for videre testing.

Man måtte også undersøke om konduktivitetmåleren var kalibrert inn riktig, og hvordan den responderte mot kjente saltløsninger. Både med lave og høye konsentrasjoner av salt. Det ble

laget en rekke saltløsninger med kjent innhold av salt og vann som ble målt opp imot konduktivitetsmåleren.

Det er riktignok svært trolig at salt vil sette seg fast i munnstykket, rør og i sykklonen til måleren. Derfor var det ønskelig å finne en tilstrekkelig mengde vann til å skylle systemet slik at alt av salt ender i beholderen til videre analyse.

For å få opp alt av salt måtte man vaske asfalten flere ganger. Asfalten ble påsprayet vann, for så at vaskevannet ble sugd opp. Hver vask ble analysert, til en ikke detekterte noe salt i en vask lenger. Etter hver vask, ble systemet skylt med en standard vannmengde, som ble funnet i forrige test. Disse nødvendige prosessene om utvikling og kalibrering er bedre beskrevet i kapittel 3.1.

Del 2 Undersøke nøyaktigheten av måleren

Dette vil være hovedforsøket i oppgaven og det er her interessant å teste om måleren greier å detektere riktige mengder av forskjellige former salt. Spesielt er det interessant å teste salt i fast form og når saltløsning har tørket inn, men også test av andre saltformer som for eksempel saltløsning. Andre tester som er interessante å undersøke er salt med tilsetningsstoff. Nærmere beskrivelse av dette forsøket er nærmere beskrevet i delkapittel 3.2

Del 3 Undersøkelse av feilkilder

Det er og interessant å finne ut hvordan feilprosenten varierer med de forskjellige mulige feilene. Blant annet hvordan temperaturen til væsken og omgivelsene endrer resultatet, og hvordan resultatene variere med forskjellige kalibreringskurver. Dette er beskrevet i kapittel 3.3

3.1 Utvikling og kalibrering

I dette delkapitlet beskrives metoden til første del av gjennomføringen på laboratoriet. Dette er hvordan restsaltmåleren ble bygget, og hvordan det ble funnet ut nødvendig tilleggsinformasjon som optimaliserer bruken av måleren.

3.1.1 Byggeprosess av måleren

Da en restsaltmåler skulle bygges var planen å bruke en våtstøvsuger med innebygd sykklon for å suge opp salt fra vegbanen. For å få samlet alt av salt i en og samme beholder ble det konkludert med at det var enklest å få til ved hjelp av en sykklon. Syklonens hensikt er at

partikler sirkler seg nedover og blir liggende i en beholder, mens luftsugget fortsetter inn til støvsugeren, fri for partikler. Det ble først bygget en egenkomponert sykklon, som skulle få plass inne i selve våtstøvsugeren, se figur 3-1. Det viste seg derimot at denne beholderen ble for liten i forhold til sugekraften til støvsugeren. Dette gjorde at mye salt og vann ble med inn i selve støvsugeren, som gjorde at riktige målinger ble umulig å få til.



Figur 3-1: Egenkomponert sykklon

Dette problemet ble løst ved at det ble kjøpt inn en større støvsyklon. Denne sykklonen var for stor for å få plass inne i støvsugeren, og den måtte derfor plasseres utenfor. Det ble deretter limt på et lokk under sykklonen, slik at forskjellige beholdere enkelt kunne skrus av og på. Dette viste seg å være mere praktisk metode, da beholderne enklere kunne håndteres. Slangen til støvsugeren ble kappet, og festet til sykklonen slik figur 3-2 viser. Det ble også brukt sølvteip og lim på utsatte steder for å få måleren tett. Dermed ble den første prototypen ferdigbygd og var klar for testing.



Figur 3-2: Prototype av restsaltmåleren

I tillegg til nevnte komponenter består restsaltmåleren også av munnstykke, beholder, lavtrykksprøyte og to rør.

For oppsug av salt er det installert et plastikkunnstykke med bredde på 26 centimeter. Dette munnstykket gir et stort areal for oppsug, munnstykket består av glatt plast, noe som gjør at salt har vanskelig for å sette seg fast og det blir enklere å skylle med vann. Videre følger et støvsugerrør fra munnstykke til støvsyklonen. Dette røret er kappet slik at det er kortest mulig, men fortsatt har tilstrekkelig rekkevidde. Med et kort rør kontra et langt et, er det mindre sannsynlighet at vann og salt setter seg fast i røret. Ettersom røret ikke er helt glatt på innsiden gjør det at det er økt sannsynlighet for salttap. Dette fordi at salt i en større grad kan kile seg fast i ruere rør.

Lavtrykksprøyten er blitt brukt til å befukte asfaltplaten mellom oppsuging, dette som et hjelpemiddel til å få løst alt av salt som kan ha kilt seg fast i den grove asfalten.

Beholderen som ble brukt til oppsamling av prøven var hovedsakelig på 1000 milliliter. Men under noen prøver ble det brukt beholdere på 500 milliliter. Dette på grunn av bedre tilgjengelighet av denne typen. Støvsyklonen har en høyde på 35 centimeter. Dette gjør at det vanskelig for partikler, og trengte inn i støvsugere. I instruksjonsboken til produktet sies det at minimum 99% av partikler skal havne i beholderen.

Etter enkle tester av denne prototypen ble den vurdert til å være god nok til videre testing. Dette på bakgrunn av at det ikke ble observert tap av salt til støvsugerbeholderen og at

måleren var tett. Det er derfor denne prototypen som er blitt brukt til forsøk som er utført senere i denne rapporten.

Til testing av restsaltmåleren ute på eksisterende asfalt, ble det snekret sammen en enkel ramme på 26 centimeter x 58 centimeter. Denne rammen var ment til å avgrense et areal og gir et samlet areal på 0.15m². Med 20 gram per kvadratmeter tilsvarer det bruk av denne rammen på 3,0 gram per forsøk. I tillegg ble det utviklet en asfaltplate på 30 centimeter x 30 centimeter som kan sees fra figur 3-2. Denne asfalten er av grov type og gir oss et areal på 0.09m². Tester med denne asfaltplaten tilsvarer bruk av rundt 1,80 gram salt. Denne platen gjorde at forsøk kunne bli utført innendørs. Det ble konkludert med at dette var mere optimalt, da dette ga lettere tilgang til blant annet vann, strøm, og rengjøring av komponentene ble mindre krevende. Dette er tre elementer som er nødvendig for utførelse av forsøk. I tillegg til at eventuelle forsøk ute ville være veldig væravhengige med mye usikkerheter. Dette kan for eksempel være vedrørende riktig utlagt saltmengde over et område, som enkelt kunne bli påvirket av blant annet vær og vind.

3.1.2 Kalibrering av konduktivitetsmåler

Saltmengden ble bestemt ved å måle konduktiviteten av oppsamlet vaskevann. Til denne operasjonen ble konduktivitetsmåleren «SevenGO» fra Mettler Toledo brukt. Denne måleren kan vise antall gram salt per enhet vann. Denne funksjonen stemte ikke overens med kjente løsninger. Tre forskjellige løsninger med 3,00 gram salt ble målt opp, og løst opp i 200gram vann. Konduktivitetsmåleren ga ut verdier på 2,12, 2,12 og 2,20 gram på de tre testene da temperaturen hos løsningen var på 25,0 grader celsius. En kalibreringsvæske som var med produktet viste seg heller ikke å være løsningen med denne feilmarginen, og den nye verdien for disse væskene ble målt til å være rundt 2,40 gram.

Dette problemet ble løst ved hjelp av at det ble laget en rekke forskjellige prøver med kjente saltløsninger. Disse ble målt i standardenheten til konduktivitetsmåleren, $\mu\text{S}/\text{cm}$. Hvor S er Siemens, som er en enhet som måler ledningsevne. Det er blitt laget til sammen 16 prøver, med både destillert vann (7 prøver), og vanlig springvann (9 prøver). Prøvene varierte med forskjellig vektprosent av salt. Og ved hjelp av disse prøvene ble det laget en kalibreringskurve som viste hvordan $\mu\text{S}/\text{cm}$ varierte med forskjellig vektprosent av oppløst salt i vann.

En kalibreringskurve gjør at man med målt $\mu\text{S}/\text{cm}$ og antall gram vann kan regne seg tilbake til hvor mye salt som finnes i en løsning. Ved å sette inn en målt konduktivitet i enheten $\mu\text{S}/\text{cm}$ i formelen fra kalibreringskurven, kan man finne den ukjente verdien, som i dette tilfelle tilsvarer vektprosent salt av løsningen. Deretter ved å legge til den kjente verdien av målt vann, kan man bruke formelen om masseprosent (1) for å finne antall gram salt i løsningen:

$$c_{\text{NaCl}} = \frac{m_{\text{NaCl}}}{m_{\text{NaCl}} + m_{\text{water}}} \times 100\%$$

(1)

Ved bruk av formel fra kalibreringskurve og observerte data kunne man altså finne antall gram salt det finnes i den målte løsningen. Disse utrekningene ble kodet i et egenkomponert Excel ark slik at analysedelen skulle gå raskere.

3.1.3 Sukkerets påvirkning av kalibreringskurvene

Sukker kan potensielt påvirke ledningsevnen og derfor måtte man undersøke i hvilken grad denne endres. Og eventuelt lage en ny kalibreringskurve for salt og sukker oppløst i vann om disse ikke stemte overens. Det ble laget fire saltløsningsprøver med sukker som ble sammenliknet opp imot eksisterende kalibreringskurver. Forsøkene vedrørende denne typen er laget som en 50/50 prosent vekt mellom salt og sukker. Løsningene som ble laget besto av vektprosent av salt og sukker fra rundt 0,2 til 2,1 prosent.

3.1.4 Optimal vannmengde

Under testing av prototypen var det interessant å sjekke om syklonen greide å skille salt fra luftstrømmen. Ved å suge kun tørr salt, ble det observert at mye salt kilte seg fast i rør, munnstykke og i syklonen. Det ble derfor nødvendig å skylle etter med vann for å være sikker på å få med seg alt av salt til beholderen. Det var ønskelig å vite hvor mye vann som må gå med for hver test for å få målt tilstrekkelig mengde salt i beholderen. Man vil da kunne forholde seg til en standard vannmengde. Ved å bruke en standard vannmengde i kommende tester vil man kunne spare seg for tid og arbeid. Dette er også ønskelig når tester skal foregå

utendørs uten tilgang til vann, da kan man planlegge hvor mye vann en trenger å ta med for å gjennomføre antall ønskelige tester.

For å finne en optimal vannmengde for de ulike saltformene var det ønskelig å finne ut hvilken vannmengde det mest utfordrende saltet trenger for å bli målt til en tilstrekkelig nøyaktighet. I dette tilfelle er det trolig finkornet tørr salt som har lettest for å sette seg fast i systemet, på grunn av kornenes små fasong og dens lette vekt. Derfor kan man si at denne målte vannmengden vil være standard, og være tilstrekkelig for de andre saltformene.

Det ble i dette forsøket brukt to typer tørr salt. En med finkornet saltfraksjon (0-1mm), og en type grovere saltfraksjoner (2-4mm). Til felles for testene ble det brukt $3,00 \pm 0,02$ gram salt. Denne saltmengden ble lagt i munnstykket på støvsugeren, slik at man skulle være sikker på at alt av salt skulle gå gjennom måleren. Testene ble deretter skylt med forskjellige mengder vann for deretter å bli analysert. Etter hver test, ble sykklonen skylt med en stor mengde vann for å få rensket alt av potensielt gjenliggende salt i restsaltmåleren. Dette for å unngå at mulig gjenliggende salt fra forrige test skulle bli detektert på neste test. Etter endt testing og analyse av denne testen vil man kunne bruke en bestemt standard vannmengde til å skylle restsaltmåleren med for de kommende testene. Det er tidligere blitt fastsatt at en nøyaktighet på 95% for måleren er tilfredsstillende. Minimum 95% detektering var også ønskelig å oppnå på denne testen.

3.1.5 Behandling av asfalten

Det var også ønskelig å fastsette en standard for hvor mange ganger en måtte «vaske» asfaltplaten for å få opp alt av salt. Salt kan kile seg fast i de dype sprekke til den grove asfalten og være vanskelig for måleren å få tak på. Dette løses med at man må tilsette vann for at salt kan løsne, og bli enklere å suge opp. En «vask» i dette tilfelle vil si at asfalten sprayes med en lavtrykksprøyte til asfalten er mettet med vann, dette anslås å være rundt 30-40 milliliter per vask. Deretter suges dette vaskevannet gjennom restsaltmåleren, og restsaltmåleren ble skylt med en standard vannmengde, funnet i forrige test. Beholderen med prøven ble deretter lagt i varmbasseng til prøven fikk en temperatur på referansepunktet til konduktivitetmåleren, rundt 25 grader celsius. Denne løsningen ble analysert og man kunne finne ut hvor mange gram salt som ble detektert per vask. Denne operasjonen ble gjort på ny,

helt til man ikke kunne detektere mere salt fra en vask. Slik fikk man en god indikasjon på hvor mange vasker av asfaltplaten som var nødvendig for å få opp alt av salt.

Den vanskeligste kombinasjonen for å få sugd opp alt av salt antas å være når fine saltkorn ligger på en grov asfalt. Det er på grunn av at det er ved denne kombinasjonen salt har lettest for å kile seg fast i asfalten, samt i måleren. Det er denne kombinasjonen som er blitt testet for å finne et standard antall vask man behøver å utføre. Finner man tilstrekkelig antall vask på denne kombinasjonen, kan man anslå at denne mengden antall vask vil være tilstrekkelig for antatt enklere kombinasjoner òg. Denne operasjonen ble testet flere ganger og varierte mellom når asfaltplaten var tørr, befuktet og våt.

En annen ting man fikk ut av denne testen var bedre innsikt i hvor mye salt som blir tatt opp for hver vask. Man fikk tall på hvor mye salt som ble detektert per vask. Hovedhensikten med denne testen var altså å finne ut hvor mange vasker av asfaltplaten som må til for å få et tilstrekkelig resultat. Etter å ha funnet ut dette vil senere testene gå raskere, dette fordi at man vil kunne slippe å skylle måleren og måle konduktiviteten til løsningen etter hver vask. Samtlige løsninger av vasker og skyllevann havner derfor opp i en og samme beholder, som kun behøver å bli analysert en gang.

3.2 Nøyaktighet av restsaltmåleren

Det er en rekke forskjellige salttilstander og spredemetoder som er interessant å gjøre forsøk på. Noen av disse er blant annet tørr salt med forskjellige kornstørrelse, og ulike salttilstander som har tørket inn over tid. I tillegg er det også ønskelig å gjøre tester på salt med tilsetningsstoff, spesielt sukker som kan gjøre at salt kleber seg bedre fast til asfalten, og som kan skape problemer for måleren. Alle de forskjellige testene er blitt planlagt utført for å se hvordan måleren takler de forskjellige salttyper og salttilstander en kan møte på langs en eksisterende veg.

Grove og fine saltkorn var å finne på beholdere i snølaboratoriet og det er blitt laget en saltløsning med 20%-vekt av salt. 19,3 gram salt ble løst opp i 77,2 gram vann. Deretter ble det lagt på en mengde løsning på asfaltplaten som varierte mellom 8 til 10 gram. Dette tilsvarte 1,6 til 2,0 gram salt. Denne løsningen ble liggende på asfaltplaten i et døgn, slik at saltet kunne tørke inn. Dagen etter ble brukt til å se om man kunne detektere like mye salt som ble lagt på dagen i forveien. Dette var er interessant forsøk å finne ut mere om, ettersom

denne typen saltilstand har man tidligere hatt store problemer med å detektere med dagens restsaltmålere. Slik så asfaltplaten ut et døgn etter pålagt saltløsning:



Figur 3-3: Opptørket saltløsning med 20%vekt av NaCl

Man ser tydelig at saltet har tørket inn. Det viste seg også at det nesten var umulig å få opp noe salt uten bruk av vann.

En annen interessant saltilstand var å tilsette sukker i saltløsning, og teste dens nøyaktighet. Det er trolig at sukker får løsningen til å klebe seg bedre fast i asfaltplaten. Det ble i dette forsøket brukt en 50/50 prosent vekt av salt og sukker. Løsningen ble bestående av 13,8 gram salt, 13,8 gram sukker og 55,2 gram vann. Denne løsningen tilsvarer en vektprosent på 16,67% salt og 16,67% sukker.

Ellers ble saltløsning i væskeform også undersøkt opp imot måleren. I tillegg ble også flere typer av tørr salt undersøkt. Både i forskjellig størrelse på kornene, og med varierende fuktighet på asfaltplaten. Fine saltkorn ble testet på tørr, befuktet og våt asfaltplate. Til felles for samtlige tester for tørr salt var det lagt på $1,80 \pm 0,05$ gram salt før gjennomføring.

3.2.1 Fremgangsmåte under forsøk om måling av nøyaktigheten av måleren

Det var planlagt utført rundt fem forsøk per salttype. Dette for å få et godt innblikk i hvordan variasjonen og gjennomsnittet vil bli. En beskrivelse av fremgangsmåten til hvordan denne prosessen foregikk beskrives her:

Før et forsøk kunne startes måtte asfaltplaten og støvsugeren skylles. Asfaltplaten ble skylt i springen, mens støvsugeren ble skyllet med en god mengde vann som ble kjørt gjennom

systemet. Dette ble gjort for å være sikker på at minst mulig salt skal sitte fast i systemet, for så å bli detektert på en senere test. Deretter ble det målt opp ønsket mengde salt, rundt 1,80 gram som ble spredt utover asfaltplaten. Innen kort tid ble støvsugeren brukt på platen for å få opp salt. Man måtte deretter vaske asfaltoverflaten og suge opp vaskevannet x antall ganger. Dette for å være helt sikker på å få med seg alt av salt fra platen, og til beholderen. Tilslutt ble restsaltmåleren skyllet med en standard mengde vann for å få med seg salt som potensielt kan ha satt seg fast i slangen eller i syklonen. Etter denne prosessen var fullført ble beholderen tatt av restsaltmåleren, og prøven ble satt i et varmebasseng, til temperaturen på væsken nådde en temperatur på rundt 25 grader celsius. Det viste seg at å røre i prøven for å få oppløst alt av salt var unødvendig, da suget fra støvsugeren gjorde at saltet løste opp seg selv. Da ønskelig temperatur ble nådd, ble konduktiviteten og tyngden på væsken målt. Med disse to kjente verdiene kunne man finne mengde salt i løsningen, som ble sammenliknet opp imot utlagt saltmengde.

3.3 Mulige feilkilder

Etter å ha studert resultatene var det nå interessant å sjekke hvordan resultatene ville endres med ulike feilkilder. Det ble blant annet observert at målingene var veldig temperaturavhengig. Og konduktiviteten fra en 0,37%-vektløsning av salt ble målt når løsningen hadde forskjellige temperaturer. I tillegg ble det sett på hvordan denne løsningen varierte mellom de to kalibreringskurvene som var blitt utviklet.

Med mye tid med måleren og resultatene gjorde at man ble bedre kjent med målerens styrker og svakheter. Dette gjorde at man kunne komme opp med en helhetsvurdering av måleren, og komme med forslag til forbedringer og videreutvikling av prototypen.

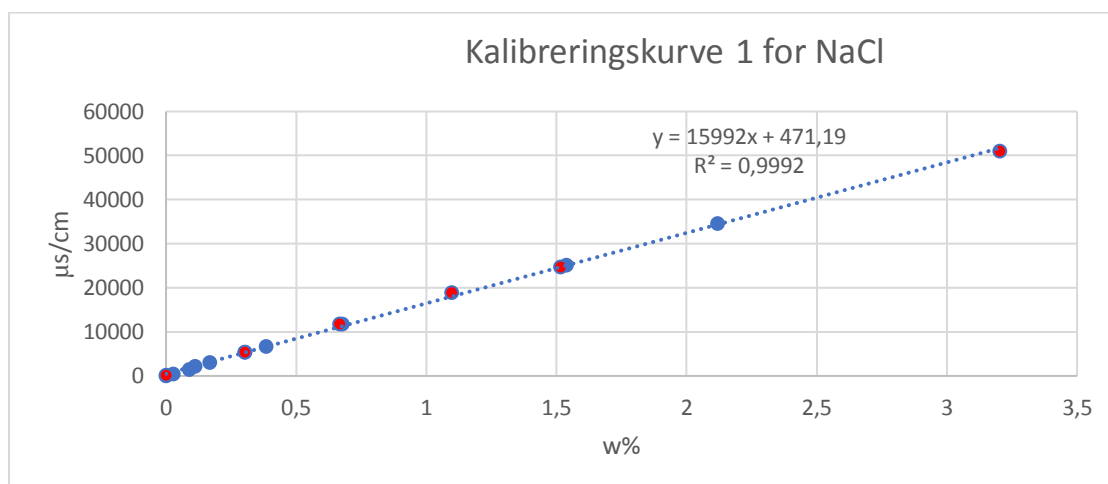
4 Resultater

I første del av oppgaven dreide forsøkene seg om å finne en optimalisert bruk av restsaltmåleren. Etter at dette var funnet ut er det blitt gjennomført 31 tester for å teste nøyaktigheten til måleren på forskjellige typer salttilstander og spredemetoder. Til slutt er det også presentert en del resultater om på hvilken måte visse feilkilder endrer resultatene på.

4.1 Utvikling og kalibrering

4.1.1 Kalibrering av konduktivitetsmåleren

En fullverdig kalibreringskurve for prøvene av kjente saltløsninger ble lagd og kan sees i figur 4-1. Og data vedrørende hvert punkt er vedlagt, vedlegg 1.



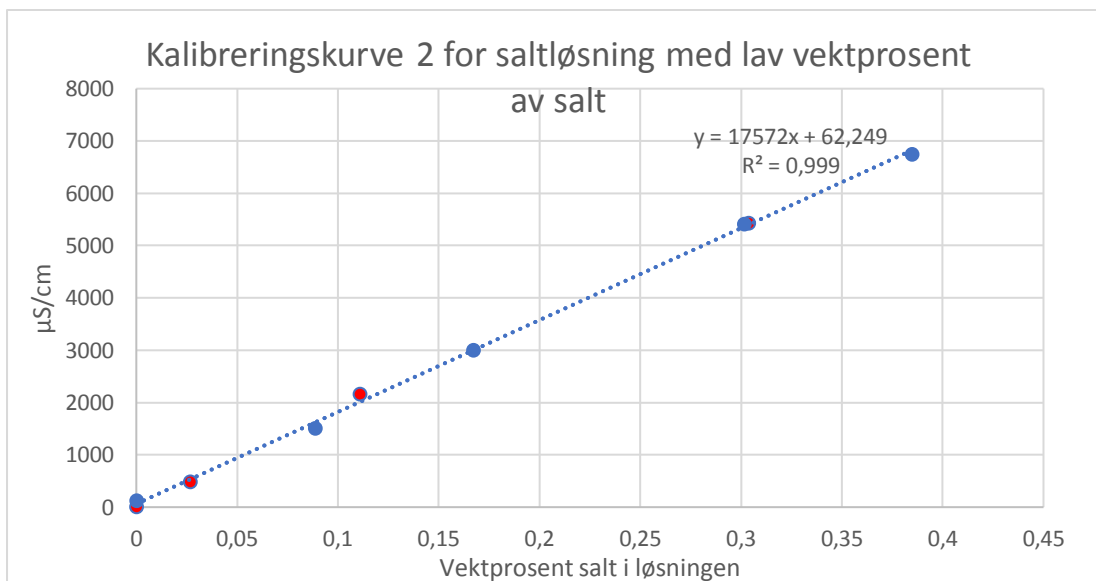
Figur 4-1: Kalibreringskurve 1 for NaCl oppløst i vann

Grafen ser på vektprosent av salt i en vannløsning mot målt konduktivitet av væsken, µS/cm. De røde punktene representerer prøver med destillert vann, mens de blå representerer saltløsninger med vanlig springvann. Man kan legge merke til at forskjellene mellom destillert og ikke-destillert vann er ubetydelige og derfor er vanlig springvann blitt brukt i kommende tester, dette på grunn av bedre tilgjengelighet. En R^2 -verdi på 0,9992 bekrefter at målte punkter korrelerer godt og den lineære kurven kan derfor brukes for å få en god indikasjon for ukjente saltløsninger. Utrechnet saltmengde fra ukjente saltløsninger vil være fra bakgrunn av likning (2).

$$Y=15992x +471 \quad (2)$$

Det viste seg under tester av kalibreringsmåleren at kalibreringskurve 1 ofte ga ut negative saltverdier når man testet løsninger med lav vektprosent. Dette på grunn av den høye konstanten til kalibreringskurve 1. Ettersom mesteparten av forsøk som ble analysert hadde innhold av lav vektprosent av salt, (mindre enn 0,4%) ble kalibreringskurven begrenset til å kun inneholde verdier mindre enn vektprosent på 0,4%. Dette gjorde at man trolig fikk et mer realistisk tall for saltløsninger med liten vektprosent, ettersom de høye w% -verdiene i kalibreringskurve 1 påvirket løsningene med lav vektprosent i høy grad. Det er derfor kalibreringskurve 2 fra figur 4-2 som har vært bakgrunnen til likningen (3) som er blitt brukt for å regne seg tilbake til antall gram salt i beholderen i de fleste prøver.

$$Y=17572x+62,249 \quad (3)$$



Figur 4-2: Kalibreringskurve 2 for NaCl oppløst i vann

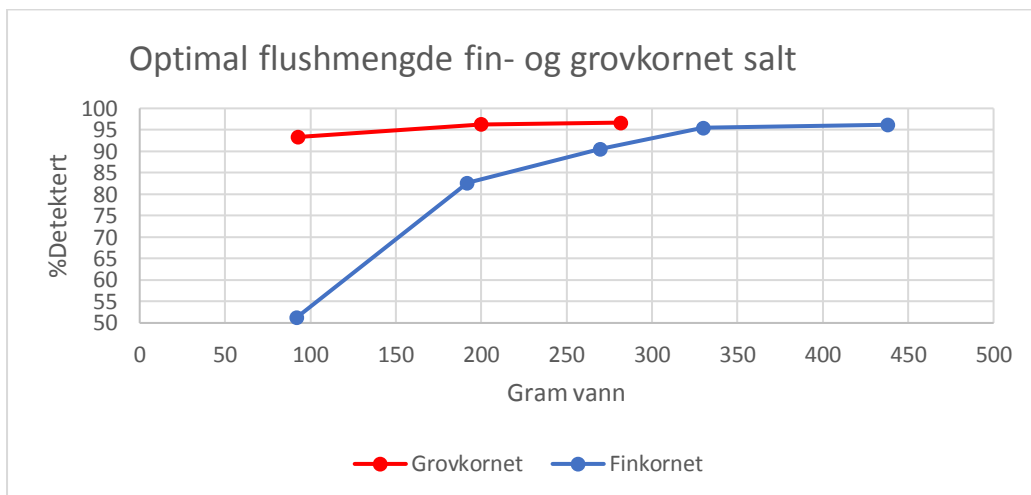
Kalibreringskurve 2 består av ni punkt, noe som er mindre enn den forrige. Dette gjør at eventuelle unøyaktige målinger vil påvirke kurven i en større grad, men ettersom denne kurven har en R^2 -verdi lik 0,9990, sier det at punktene har god statistisk korrelasjon mellom

hverandre, og kurven kan brukes. Fra figuren vises også her prøver med destillert vann som røde punkt, mens prøver med vanlig springvann er de blå punktene.

Hvilken kalibreringskurve som ble brukt på hvilken test avhenger derfor om hvilken vektprosent løsningen hadde. Med vektprosent mindre enn 0,4% må altså kalibreringskurve 2 brukes for å unngå negative og misvisende verdier. Mens under analyse av løsninger med høyere vektprosent kan det være greit å bruke kalibreringskurve 1, ettersom denne kurven har flere referansepunkt for høyere vektprosent.

4.1.2 Optimal skyllemengde

Hvor mye vann som måtte brukes for å få skylt slangen og syklonen godt nok er illustrert i figur4-3. Figurens røde punkter tilsvarer grove saltkorn, mens de blå punktene tilsvarer fine saltkorn.



Figur 4-3: Optimal skyllemengde

Som det kan ses ut fra figuren var det som forventet de fine saltkornene som var vanskeligst å detektere. Disse måtte bli skylt med rundt 330 gram vann for at minimum 95% av opprinnelig saltverdi skulle kunne detekteres i beholderen. 8 forskjellige prøver ble skylt med forskjellig mengde vann, etter at $3,00 \pm 0,02$ gram salt ble lagt i munnstykket på restsaltmåleren. Mer presise tall fra denne testen kan ses i vedlegg 2.

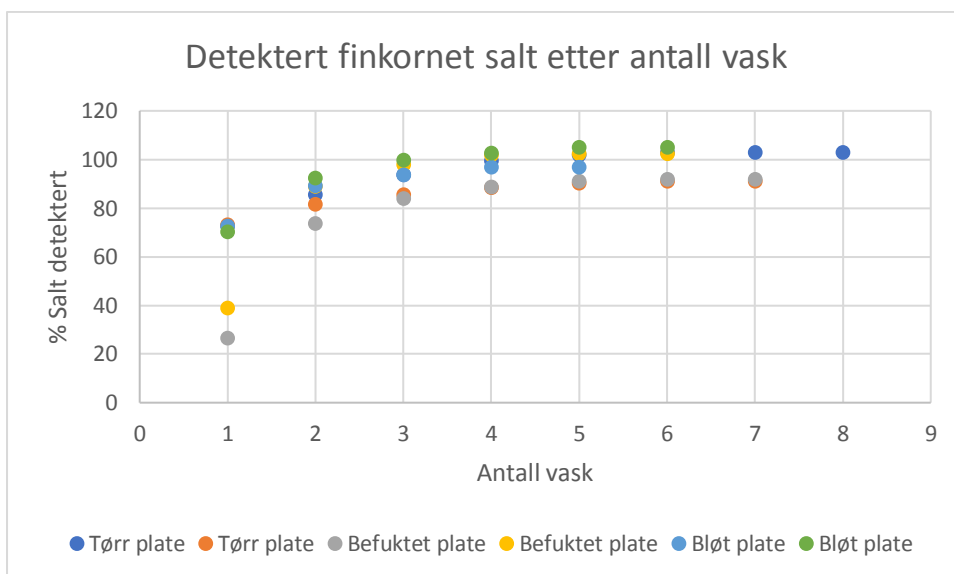
Dette resultatet gjorde dermed at det ble konkludert med bruk av rundt 350 gram vann i resterende forsøk ville være tilstrekkelig. Og at denne mengden også skulle være tilstrekkelig

for de andre saltformene, ettersom finkornet antas å være den vanskeligste salttypen å få gjennom systemet.

Det er også verdt å nevne at under denne testen ble kalibreringskurve 1 brukt. Dette var fordi det her ble arbeidet med rundt 3 gram salt, som gjorde at vektprosent av salt i vannløsning var høyere og varierte mellom en vektprosent på 0,7 og opp til 2,9. Kalibreringskurve 1 inneholder punkt mellom disse to vektprosentene, og ga trolig en bedre indikasjon på riktig saltmengde.

4.1.3 Antall vask per forsøk

For å finne en standard for antall vask, ble samme prinsipp brukt som den forrige testen. Nemlig med å finne antall vask for den antatt vanskeligste kombinasjonen mellom saltform og vegoverflate. Dette ble antatt å være bruk av tørre fine saltkorn på en grov asfalt. Det er blitt utført 6 slike forsøk med finkornet salt på henholdsvis tørr, befuktet og våt asfaltplate. Hvor mye salt som ble detektert per vask er illustrert ved Figur 4-4.



Figur 4-4: Antall vask på grov asfaltplate. Forsøk utført med fine saltkorn

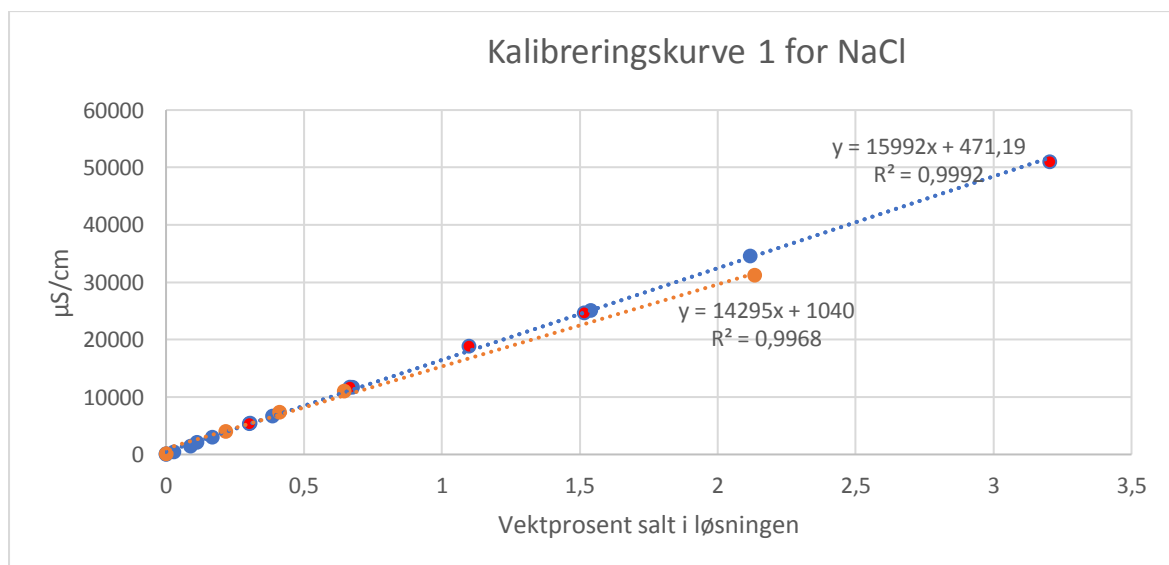
Figur 4-4 viser at punktene begynner å jevne seg ut etter 4 til 5 vask, og det ble konkludert med at fem vasker på asfaltplaten skulle være nok for å få et tilstrekkelig resultat på resterende kombinasjoner.

Etter hver vask ble systemet skylt med 350 gram vann. Og oppsamlet vaske- og skyllevann ble satt i varmbasseng og analysert for hver vask. Data ble lagret, og prøven ble tømt ut og beholderen ble skyllet. Deretter kunne de neste vaskene og skyllingene gjennomføres. Tabell om nøyaktigere tall fra dette forsøket kan ses i vedlegg 3.

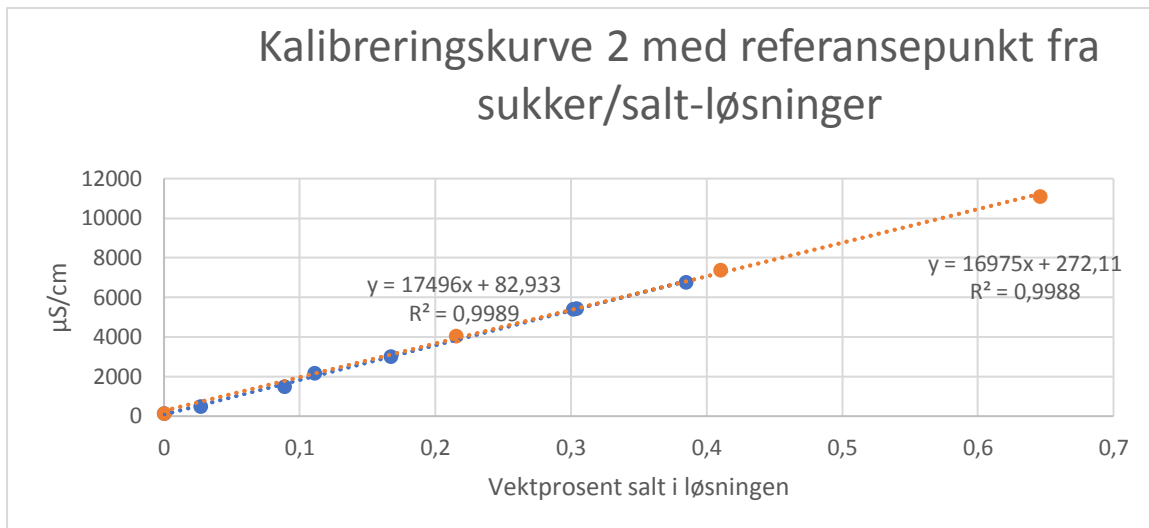
Fra figuren kan det også være interessant å se at finkornet salt på befuktet asfaltplate kleber seg godt fast til asfalten. Kun 40 og 25 prosent av utlagt salt blir detektert etter første vask. Dette kan sees i sammenheng med at salt i befuktet klima kleber seg bedre fast til asfalten enn under tørre eller helt våte forhold. Dette er også noe som er blitt funnet ut tidligere, og som blir nevnt i litteraturdelen. Disse skiller seg veldig ut fra de resterende tilstandene, hvor asfaltplaten enten har vært helt tørr, eller våt. Under disse forholdene blir hele 75% detektert etter første oppsug.

4.1.3 Sukkerets påvirkning på målingene

Det ble laget 4 kjente prøver med sukker i saltløsning. Testene viste at sukker i løsningen ikke påvirker konduktiviteten nevneverdig på løsninger med lav vektprosent, men spiller en større faktor jo mere sukker som er tilsatt i løsningen. Dette er illustrert i figur 4-5 og 4-6. Etersom salt/sukker-løsningene som skulle testes under nøyaktighetsmålingene inneholdt en lav vektprosent av salt og sukker. (0,2-0,4%) Det ble konkludert med at sukker ikke hadde betydelig påvirkning på resultatene fra målingene. og opprinnelige kalibreringskurve 2 ble brukt.



Figur 4-5: Kalibreringskurve 1 for NaCl og sukker oppløst i vann



Figur 4-6: Kalibreringskurve 2 for NaCl og sukker oppløst i vann

I figurene vises saltløsningen med sukker som gule punkter og linjer. I følge figuren korrelerer trendlinjene og punktene godt, spesielt frem til man kan se en tydelig forskjell etter en vektprosent høyere enn én prosent. Løsninger med vektprosent mindre enn 0,5% kan ikke sies å ha en nevneverdig effekt på målingene, som også kan sees fra ligningene i figurene. Her vises løsning med sukker som gul trendlinje. Forskjellen mellom de to likningene fra figur 4-6 er også så små, at forskjellen i målt salt vil være tilnærmet lik null.

Kalibreringskurvene ligner forøvrig på kalibreringskurven til Ebersten (2015), som også utførte en lignende kontroll under et tidligere laboratorieforsøk. Sukker er trolig med på å dempe den elektriske ledningsevnen til en saltløsning når det er høy konsentrasjon av oppløst sukker.

4.2 Nøyaktighet av restsaltmåleren

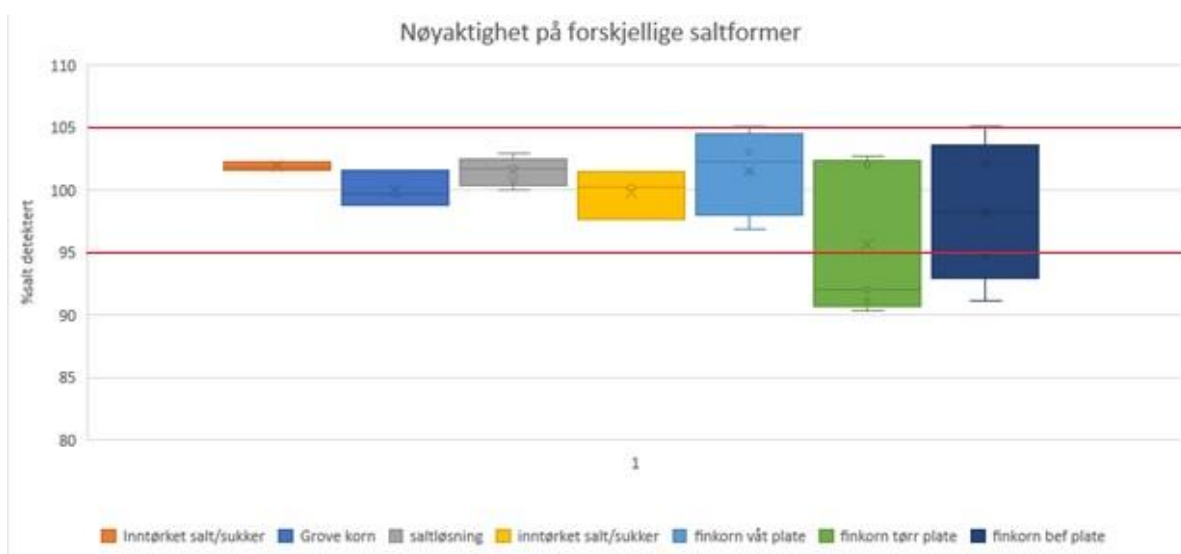
Resterende tester omhandler nøyaktigheten av restsaltmåleren opp imot forskjellige salttilstander. Som foregående resultater har vist, er disse testene derfor blitt utført med en skylling på rundt 350 gram vann, etter at asfaltplaten er blitt vasket fem ganger.

Det er blitt utført rundt fem forsøk per salttilstand, bortsett fra de inntørkede salttilstandene som er blitt utført tre ganger, dette på grunn av at disse var mere tidkrevende enn de andre. Noe som skyldtes at man måtte beregne tid for at løsningen skulle kunne tørke inn i asfaltplaten. Samtlige tester er blitt utført på den grove asfaltplaten, som er anslått for å være det mest utfordrende underlaget med tanke på å få opp alt av salt.

Det er i hovedsak blitt testet salt i sin faste tilstand og inntørket salt. Det er disse typene som har vært mest utfordrende å måle med dagens restsaltmålere. Men det er også blitt utført tester med saltløsning, for å se om måleren kan takle flere ulike tilstander av salt. De forskjellige målte verdiene av detektert salt kan leses av i tabell 4-1 og figur 4-7:

Tabell 4-1: Detekteringsgrad av ulike saltformer

Test nummer	inntørket salt/sukker	inntørket saltløsning	finkorn tørr plate	finkorn bef plate	finkorn våt plate	saltløsning	Grove korn
A	100,2%	102,2%	102,0%	91,1%	96,9%	100,0%	98,8%
B	97,6%	101,6%	92,0%	94,7%	105%	100,7%	101,6%
C	101,4%	101,8%	91,1%	102,1%	103%	102,9%	99,7%
D			90,3%	105,1%	101,4%	101,7%	99,4%
E			102,7%	98,2%		102,0%	100,4%
F				102,5%			



Figur 4-7: Detekteringsgrad

Som figuren og tabellen viser er det store variasjoner til måling av fine saltkorn på tørr og befuktet asfaltplate. Størst variasjon kan bevitnes på befuktet asfaltplate. Her varierer resultatene fra 91,1% og opp til 105,1% detektert. Ved saltbruk på 20gram per kvadratmeter, tilsvarer denne forskjellen en differanse på 2,8 gram.

Fra figuren kan man også se at to typer er utenfor tilstrekkelig nøyaktighet, mens de fem andre typene av salt er innenfor ønsket nøyaktighetskrav. Man kan også legge merke til at det er størst variasjon på testene hvor man legger fine tørre saltkorn på asfaltplaten, de tre mest varierende resultatene er fine saltkorn på tørr, befuktet og våt asfaltplate. Man kan også legge merke til at grove korn på tørr asfalt fikk betydelige bedre resultater, enn fine korn. Dette skyldes nok at de større kornene er tyngre og har mindre mulighet til å sette seg fast i måleren

og asfaltplaten. Det er også interessant å se at salttypen med minst variasjon er når 20% saltløsning har tørket inn i asfaltplaten over en lengre tid.

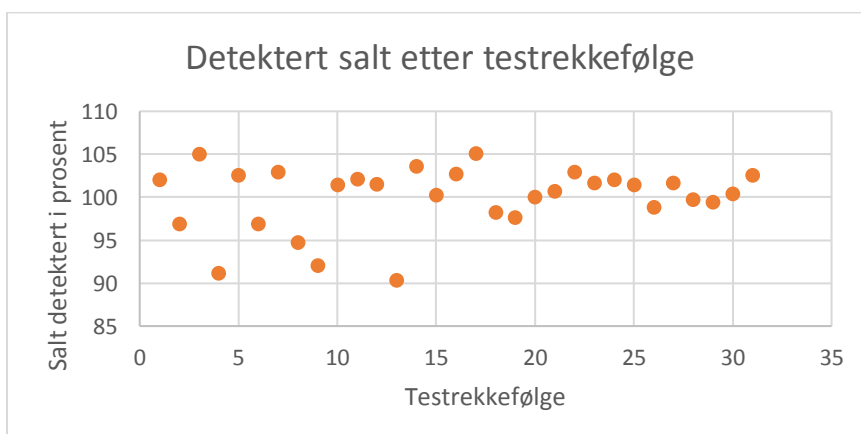
En annen ting å legge merke til fra resultatene er at det på mange av testene ble detektert over 100% salt. Spesielt hos saltløsning og inntørket saltløsning, hvor samtlige tester ble målt til 100% detektert eller mere.

Under disse testene er det blitt brukt forholdsvis mye vann og lite salt. Noe som gjør at vektprosenten for salt har vært lav, mellom 0,2 - 0,4%. Det er derfor under dette forsøket blitt brukt kalibreringskurve 2. Dette for å unngå at de høye referansepunktene til kalibreringskurve 1 påvirker saltløsninger med liten vektprosent i høy grad.

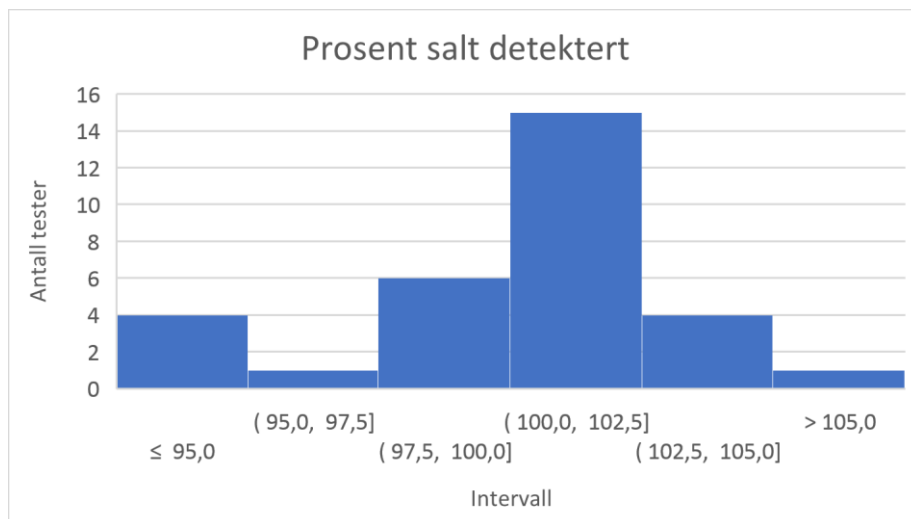
4.3 Feilanalyse

4.3.1 Presentasjon av nøyaktighet

Feilmarginene til de 31 testene er blitt analysert, og det er blitt laget tabeller og figurer av feilmålingene for å kunne få et bedre innblikk i hva som kan ha skyldtes feilmålingene. Dette viser at det i snitt er blitt detektert 100,05% av alt salt. Med en minimumsverdi på 91,1% og opp til en maksimumsverdi på 105,2%. Figur 4-8 og 4-9 illustrerer hvordan feilene utviklet seg. Hvilken type test i den gitte rekkefølgen er beskrevet i vedlegg 4.



Figur 4-8: Illustrasjon som viser detektert salt etter rekkefølge av utførte prøver



Figur 4-9: Fordeling av detektert salt

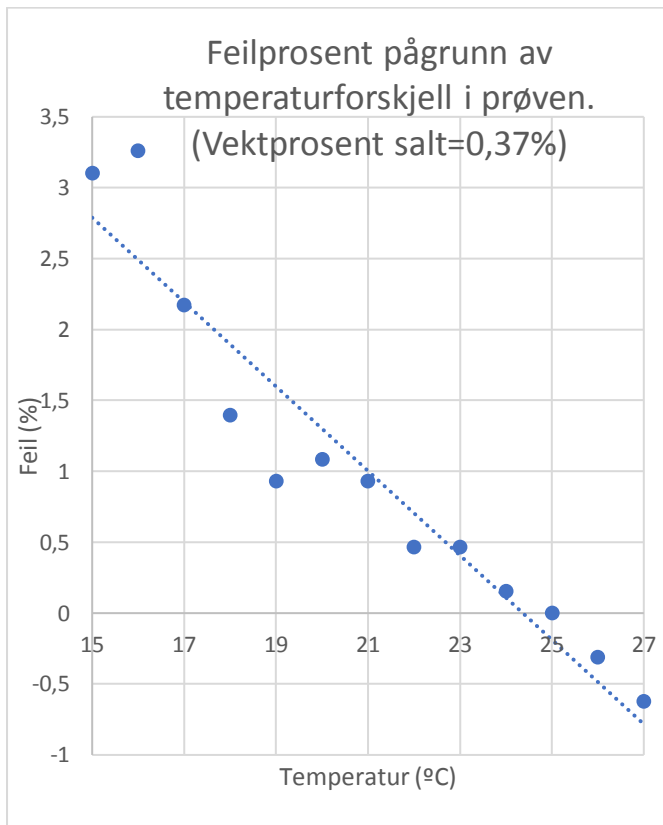
Før forsøkene ble gjennomført, ble det i samråd med veileder sagt at resultat som var 5% unna den opprinnelige verdien kunne kalles en tilstrekkelig måling for målerens nøyaktighet. Dette tilsvarer en absoluttverdi på 1 gram forskjell på målinger gjort per kvadratmeter når det er snakk om 20 gram. Etter 31 forsøk er det 5 målinger som ikke oppfyller dette kravet, mens 26 målinger er innenfor det bestemte kravet på $\pm 5\%$. Dette gjør at 16,1% av forsøkene ikke oppnår det gitte kriteriet som ble satt før testingen, og at 83,9% er innenfor det bestemte kravet. En annen ting en kan se fra resultatene er at 67,7% er innenfor en nøyaktighet på $\pm 2,5\%$.

Av de fem forsøkene som blir ansett som ikke tilstrekkelig er tre av disse gjort under måling av finkornet salt på tørr plate og de to siste er blitt gjort under tester av fine saltkorn på befuktet plate. Dette er to tester som ligner veldig på hverandre, og til sammen er det 45,5% (5/11) av disse to testene som ikke kan anses som tilstrekkelig målt. 3 av 6 tester på tørr asfalt, og 2 av 5 tester på befuktet asfalt kommer ikke innenfor kravet om $\pm 5\%$ nøyaktighet. Hva enn dette kan skyldes er nærmere diskutert i kapittel 5.

4.3.2 Varierende resultat avhengig av temperatur

Da kalibreringskurvene ble laget ble prøvene målt da temperaturen varierte fra 23,5 grader til 25,1 grader. Resultatene fra gjennomførte tester er blitt målt på 25 grader $\pm 0,2$ grader. Det viste seg under forsøkene at konduktivitetmålingene var veldig temperaturavhengig. Ettersom kalibreringskurven er blitt målt i en noe kaldere miljø, kan dette ha hatt innvirkning

på resultatene. En test som ble utført under forsøkene viser at jo kaldere vannet er, jo høyere verdi av $\mu\text{S}/\text{cm}$ blir målt. På denne testen ble en saltløsning med vektprosent på 0,37% brukt. Og den viste at ved 23,0 grader målte den 1,864gram salt. Og ved 25,0 grader, målte samme prøve 1,855 gram. Dette gir oss en forskjell på 0,009gram, og en feilprosent i underkant av 0,5%. Hvordan temperaturen påvirker feilprosenten er illustrert i Figur 4-10. Denne kurven gjelder for saltløsning med vektprosent av salt på 0,37%.



Figur 4-10: Feilprosent av detektert salt, avhengig av temperatur på løsningen

Denne testen er kun gjennomført med en saltløsning på 0,37%. Om hvordan denne forskjellen endres i annen grad for løsninger med høyere eller lavere vektprosent av salt er uvisst. Men ettersom de fleste prøver ble målt med rundt 0,37% vil denne kurven trolig representere feilmarginen for målte resultat.

I tillegg viste det seg at konduktivitetsmåleren målte ulike verdier av den samme saltløsningen da måleren var nedkjølt til 2 grader celsius kontra vanlig romtemperatur. I et kaldere klima for selve konduktivitetsmåleren ble løsningene målt til en forskjell på 1,66%

5 Diskusjon

I denne masteroppgaven var hovedhensikten å teste den nye restsaltmålerens nøyaktighet opp imot forskjellige tilstander av salt. Resultatene viser liten variasjon og tilstrekkelig målinger på de fleste salttilstander. Men de viser også større forskjeller i variasjon, og noen tester som ikke er innenfor $\pm 5\%$ nøyaktighetskravet. Testene som ikke er tilstrekkelig er når finkornet salt ble målt på tilnærmet tørr plate. Hva dette skyldes er vanskelig å fastslå, men kan skyldes flere faktorer som kan ha påvirket resultatene.

Som resultatene viste var det i gjennomsnitt blitt detektert salt med 100,05% nøyaktighet. Etersom det er en gjennomsnittlig nøyaktighet på 100% kan dette indikere på at det ikke kan være noe systematiske feil som er blitt gjort. Systematiske feil er feil som har samme feilkilde, som gjør at man hele tiden vil få målt for mye, eller for lite. Det heller isteden imot at det er oppstått tilfeldige feil. Altså at man har flere forskjellige typer feilkilder for de utførte testene.

5.1 Usikkerheter angående resultatene

Usikkerhet under utlegging

Da faste saltkorn ble lagt ut på asfaltplaten ble de målt på en plate oppå en vekt. Platen salt ble målt på var ikke bestandig sikret med kanter. Da saltkornene skulle transporteres fra vekta til asfaltplaten ble platen forflyttet for hånd et stykke. Under denne transportetappen kan salt ha falt av platen og falt på gulvet. Etter utlegging ble platen målt på ny, for å sjekke om alt salt var blitt utlagt. Dette er trolig en feilkilde som kan ha oppstått på samtlige resultater, ettersom oppmåling av salt har foregått på alle utførte tester. Trolig er det usannsynlig at noe mere enn 15 små saltkorn kan ha forsvunnet, uten at det ble oppdaget. Dette vil si en vekt på rundt 0,02 gram. Som tilsvarer en feilprosent på noe over 1%.

En annen faktor som kunne ha oppstått under utlegging er at man kan ha opplevd initialtap, som beskrevet kapittel 2,2. Spesielt utsatt er man når asfaltplaten er helt tørr at saltkorn kan sprette og rulle av asfaltplaten. Saltet var forsøkt lagt på så forsiktig som mulig og det ble unngått at salt ble lagt langs kantene. Likevel kan man ikke utelukke at salt kunne ha forsvunnet under utlegging.

Salttap grunnet påspraying

Under vasking av asfaltplaten i forsøkene ble det sprayet med en lavtrykkssprøyte fire til fem ganger, avhengig av hvilken type salt som ble testet. Under spraying havnet noe vann utenfor asfaltplaten. Spruten fra flasken kan ha gjort at saltkorn kan ha forlatt asfaltplaten. Det ble uansett forsøkt å spraye på så forsiktig som mulig, og at vannet skulle komme ned på platen i rettest mulig vinkel. Lavtrykkssprøyten var også stilt inn på at den sprayet med mest mulig spredning, som ga lavest trykk.

Rengjøring

For hver test ble systemet og asfalten rengjort. Dette var for å få mest mulig av potensielt restsalt bort fra systemet. Etersom denne sekvensen ble gjort mange ganger kan det ha blitt glemt noen ganger. Eller at rengjøring har vært utilstrekkelig og man har hatt igjen salt på asfaltplaten eller i restsaltmåleren, som kan ha blitt detektert på neste test. Målinger av kun skyllevann har vist i noen tilfeller små konsentrasjoner av salt. En annen ting er at beholderne som ble brukt heller ikke ble vasket tilstrekkelig, og kan ha inneholdt spor av salt fra tidligere målinger, som også kan ha blitt detektert på nytt under senere tester.

For å finne ut om dette er tilfelle har prøvene blitt studert i den rekkefølge de ble tatt. Dårlig rengjøring kan se ut til å være tilfelle om det blir detektert for mye salt, etter at den forrige testen fikk detektert for lite salt. Etter nærmere analyse kan man se at dette kan tenkes å være tilfelle, spesielt for de 10 første testene, som vist i figur 4-8. Det er også viktig å få med seg at de 10 første testene inneholdt mange tester med finkornet salt på tørr og befuktet asfaltplate. De senere forsøkene er gjort med ofte varierende salttyper, noe som kan bety at disse ikke trenger like mye rengjøring, som den finkornete salttypen.

På en annen side er det blitt 6 tester på rad som detekterer 100% eller mere. Noe som vil si at rengjøring ikke er hele grunnen til for høy måling. Men det kan heller ikke utelukkes at dette til en viss grad kan skyltes for høy og lav måling på utvalgte tester.

Måling av vann og salt

En annen usikkerhet som kan oppstå er når man måler mengde av løsningen. Vannmengden måtte som regel måles i to omganger, da vekten som ble brukt ikke kunne måle mere enn 400 gram. Dette kan ha skapt tap av vann under forflytting av vann, som måtte måles i to omganger. Analyser ved hjelp av kalibreringskurven viser at man kan oppnå en feilprosent hos saltmengden på 0,2% per gram feilmåling av vann. Denne feilprosenten er representativ

for 500 milliliter vann, og med en målt $\mu\text{S}/\text{cm}$ på 6000, som ofte var representativt for de prøvene som ble målt. En prøve med mindre vann vil kunne øke feilprosenten per gram feilmålt.

Det kan også ha blitt målt for mye vann, da ikke alt av vann forsvant etter at første måling var tatt, og vekten viste over 0 gram før andre måling. Det ble likevel antatt at denne overskuddsmengden ville gå opp i opp med vann som ikke kom seg til målebeholderen fra samlebeholderen.

En annen ting kan ha vært at det er blitt målt opp feil saltmengde på vekten. Dette kan ha vært veldig utslagsgivende for prøvene som ble laget som løsning. Dette fordi at løsningen som ble laget ble brukt på flere prøver. Det ble derfor gjort veldig grundig under disse innmålingene.

For lite skylling

Ettersom finkornet salt på tilnærmet tørr plate hadde størst variasjon, kan det også tenkes at korn likevel kunne sette seg fast inne i måleren. Det kan spesielt se ut som en av testene på tørr asfaltplate (test 9) ikke hadde tilstrekkelig mengde vann. Hvor det kun er blitt målt 428 gram løsning i beholderen. Med 5 påsprayinger á 30 milliliter, vil man her kun ha brukt rundt 280 gram med skylling. Dette var i tillegg for en prøve med finkornet på tørr plate, denne detekterte kun 92% av den utlagte prøven, så dette kan trolig være en tilfeldig feil som har oppstått for denne utvalgte prøven.

Påvirkning av konduktiviteten

Det kan også tenkes at beholderen kan ha blitt forurenset under oppsug, dette kan ha vært andre stoffer fra asfaltplaten, eller restsaltmåleren. Dette kan ha gjort at andre stoffer enn salt har vært med på å påvirke målingene. Ved figur 4-7 kan man se at de fleste målingene detekterte over 100%. Hele 21 av de 31 testene kunne indikere 100% eller mer.

Temperatur under målingene

Konduktivetsmålere er veldig temperaturavhengig og er kalibrert inn på 25,0 grader celsius. Konduktivetsmåleren av Mettler Toledo som ble brukt under disse forsøkene har en innebygd funksjon som skal kunne jevne ut temperaturforskjellene til en viss grad, men tester gjort på dette viser at denne funksjonen ikke stemmer overens med riktig løsning. Se kapittel 4.3.2.

Figur 4-9 viser oss at det blir målt mindre og mindre konduktivitet, jo varmere prøven blir. Dette vil si at jo varmere prøven blir, jo mindre salt detekterer den. Det kunne ha blitt lagd nye kalibreringsprøver for prøver med nøyaktig 25 grader celsius, men på grunn av en for liten feilprosent av nåværende prøver er det blitt konkludert med at dette ikke vil påvirke resultatene i noen høy grad, ettersom samtlige tester har vært målt rundt 25 grader. Og i verste fall kan man oppleve en feilprosent på 0,5%. Målinger utført under kalibreringen av kjente saltløsninger varierte fra 23,5 til 25,1 grader celsius.

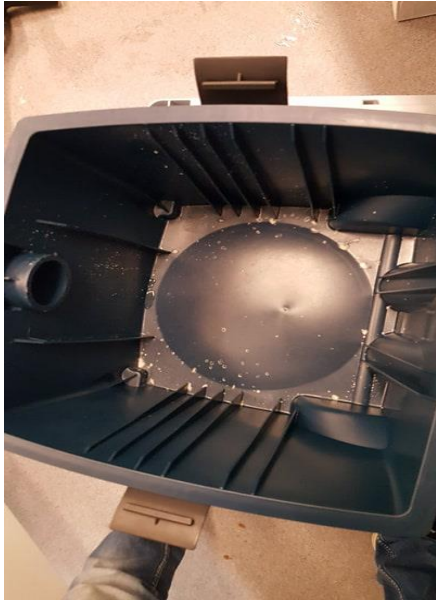
Riktig kalibreringskurve

Bruk av riktig kalibreringskurve er også en usikkerhet. Det er i denne rapporten blitt brukt 2 kalibreringskurver, med forskjellige likninger. Hvor mye endres resultatene med å bytte kalibreringskurve som referanse opp imot gjeldene prøver kan være interessant å finne ut. Ettersom samtlige tester har hatt en løsning med vektprosent av salt på under 0,45% ble det valgt å bruke kurven og likningen for punkter registrert opp til denne vektprosenten. Kalibreringskurven som inneholdt samtlige prøver kunne også bli brukt, men den ble ikke brukt på grunn av man fikk negative verdier for løsninger med små vektprosent, dette var spesielt gjentakende under testen med antall vask. Dette skyldtes de høye vektprosentverdiene som hadde for stor påvirkning på de små vektprosentprøvene.

Likevel kan denne kurven ha gitt et bedre innblikk for løsninger med vektprosent rundt 0,40%. Analyser fra en prøve med 500 milligram løsning og vektprosent på 0,37% viser at kalibreringskurve 1 viser 1,887 prosent mindre detektert salt, enn den kurven som er blitt brukt under disse testene, kalibreringskurve 2. Man har altså her en feilmargin på nesten 1,9%! Denne feilprosenten vil trolig øke med prøver med høyere vektprosent av salt. Dette er på grunn av at stigningstallene til kalibreringskurvene er veldig forskjellige. Og tilsvarende vil løsninger med lavere vektprosent ha mindre feilprosent. Dette kan være en av grunnene til at det ofte er blitt målt for mye salt under prøvene. Et forslag for å utvikle en forbedret kalibreringskurve er beskrevet i delkapittel 5.3.

Deler av prøven har havnet inne i støvsugeren

Etter de første testene var utført kunne man ikke observere saltløsning inne i selve støvsugeren. Men etter at alle testene hadde blitt utført kunne man se klare spor av inntørket salt i støvsugeren. Som figur 5-1 viser. Det må også nevnes at noe av dette saltet også trolig stammer fra den egenkomponerte syklonen fra figur 3-1.



Figur 5-1: Inntørket salt i støvsugeren etter at samtlige forsøk var gjennomført.

Det som også kan ha skjedd er at saltvann har fordampet inn i denne beholderen når den er satt bort over lengre tid, uten og blitt rengjort først, noe den ofte ble. Etter å ha sprayet ned denne beholderen med vann og samlet væsken ble denne væsken analysert. Resultatet viser at det ble detektert 0,99 gram salt i denne beholderen. I løpet forsøket er det blitt registrert flere prøver, og det er over 80 gram salt som er blitt registrert som har gått gjennom restsaltmåleren. I tillegg er det blitt utført flere tester som ikke er blitt registrert. Anslagsvis er det totalt cirka 100 gram salt som har gått igjennom restsaltmåleren i løpet av denne tiden. Det vil si at 1% av salt vil gå til støvsugerbeholderen. Men trolig skyldes størsteparten av denne mengden uregistrerte tester utført med den egenkomponerte syklonen. Men det er likevel observert mere salt i beholderen etter at eksisterende syklon er blitt brukt.

5.2 Oppsummering

Det ble tidligere nevnt hvorfor man trolig opplever tilfeldige feilkilder. Om hvorfor testene detekterer for lite salt er enklere å forstå, enn når den detekterer for mye. Dette på grunn av at det er mye forskjellig som kan gå galt som gjør at salt forsvinner. Mest sannsynlig skyldes dette at salt setter seg fast i systemet, eller at man har opplevd salttap før og under selve testingen.

Når det kommer til at det er blitt målt for mye salt er dette vanskeligere å forklare. De mest sannsynlige feilkildene for dette vil være at det har vært for dårlig rengjøring av systemet som

gjør at salt fra tidligere forsøk er blitt målt på nytt, det kan ha skyldtes at det ble målt for mye vann. Det var også interessant å se at de to forskjellige kalibreringskurvene hadde så stor differanse, og ved bruk av kalibreringskurve 1, kontra kalibreringskurve 2 ville man ha detektert opp imot 1,9% mindre salt. Dette for en prøve som var representativ med 0,37% vekt salt, noe som ofte var målt løsnings hos resultatene. Det er derfor sannsynlig at den brukte kalibreringskurven kan ha vist for mye salt. Dette bør derfor undersøkes nærmere i senere forsøk.

5.3 Erfaringer med det nye konseptet og videre arbeid

Dette konseptet er kun blitt testet inne i laboratoriet. Om dette nye konseptet skal ta et videre steg til å bli en enda bedre restsaltmåler må denne prototypen videreutvikles. Spesielt med tanke for å øke dens nøyaktighet og brukervennlighet ute i praksis.

Et steg i riktig retning vil først og fremst være å redusere størrelsen på denne måleren. Støvsugeren er veldig stor, og blir vanskelig å håndtere ute. Det skal være godt mulig å redusere størrelsen på en slik støvsuger da det er beholderen, som ikke blir brukt, som tar opp mye av plassen til nåværende prototype.

Syklonen anbefales det ikke å redusere størrelsen på. Det ble under byggingen av restsaltmåleren laget en mindre syklon som forklart i kapittel 3,1. Den selvsnekrete syklonen var ikke brukbar, da veldig mye salt og vann forsvant inne i selve støvsugeren. Det er også blitt observert salt inne i støvsugerbeholderen ved bruk av den nåværende syklonen (kapittel 5,2). Det anbefales derfor ikke å redusere størrelsen på nåværende syklon i første omgang.

Etttersom det ble detektert 0,99 gram salt inne i selve støvsugeren etter at samtlige forsøk var utført, kan det være en idé å prøve å sette på et enkelt filter i toppen av syklonen. Dette kan være med på å redusere dette tapet. Det anbefales også at filteret ikke er for tett, slik at sugenevnen ikke reduseres merkverdig. En annen ting vedrørende syklonen er å forsøke å feste syklonen fast til støvsugeren. Med dagens prototype oppfattes syklonen som veldig hengslete, og dette er det måttet blitt tatt mye hensyn til under forsøk.

Munnstykket som er blitt brukt har vært 26 centimeter i bredde og passet asfaltplaten godt, men denne bør kunne reduseres om ønskelig. Dette gjelder spesielt der hvor veien ikke er flat, og man kan trenge et mindre munnstykke som er mere hendig å komme rundt med. Det kan

være en idé å utvikle et mykere munnstykke, som kan gjøre at oppsug kan gjøres bedre der asfalten er sporete.

Det er meget trolig at kommende tester vil foregå ute i minusgrader. Derfor kan det også være lurt å tilsette et stoff som kan fungere som en frostvæske, som for eksempel aceton. Aceton er et stoff som også blir brukt i restsaltmåleren, SOBO20. Dette er for å unngå at prøven fryser til is og man får misvisende resultat. I tillegg må man sjekke om tilsetningsstoffet er med på å påvirke målingen for konduktiviteten.

En annen ting å anbefale for å spare tid vil være å forsøke og installere en innebygd konduktivitetmåler. Dette krever at man må da kalibrere bedre for varierende temperaturer på prøvene. Ved å få til dette kan man få ut et svar relativt raskt om saltinnhold fra den angitte prøven. Det ble gjort en test på samme løsning etter at konduktivitetmåleren hadde blitt kjølt ned til 2 grader celsius, og en hvor måleren var på romtemperatur. Resultatet sier at dette har innvirkning på måleresultatet, og man kunne detektere en feilmargin på 1,66%. Hvor det ble detektert mere salt da måleren var i kaldt klima enn i romtemperatur. Dette skyldes nok at elektronikken får misvisende tall på grunn av varierende klima. Likevel må det tas forbehold til dette resultatet, da dette forsøket kun er blitt gjennomført én gang.

I tillegg anbefales det å lage en mer presis kalibreringskurve. Kalibreringskurven i denne rapporten ble målt på løsninger fra 23,5 til 25,1 grader celsius. En ny forbedret kalibreringskurve anbefales å bli lagd når samtlige prøver er målt med prøver på 25,0 grader. Det viste seg at konduktivitetmåleren var veldig temperaturavhengig, og med denne forskjellen kunne man risikere 0,5% feilmåling på 2 grader forskjell. (Dette er representativt for en saltløsning med vektprosent på 0,37%). Det er i denne oppgaven blitt brukt to forskjellige likninger med forskjellig stigningsverdi og konstant. Valg av hvilken kurve som er riktig å bruk rundt saltløsning med vektprosent 0,4% ble en utfordring, ettersom hvilken kurve som ble brukt hadde forskjell på opp imot 1,9%. Derfor bør det forskes nærmere på å finne den riktige kalibreringskurven til senere forsøk.

En ny kalibreringskurve anbefales å lages med 7 prøver fra vektprosent fra 0,20% til 0,5%, og med en spredning på 0,05%. I tillegg til noen prøver ekstra med vektprosent med høyere spredning. Eksempelvis 0,00%, 0,10%, 0,65%, 0,80%. Dette fordi at samtlige av forsøkene angående nøyaktighet av saltformer inneholdt prøver med vektprosent fra 0,20 til 0,46. Disse løsningene må måles på samme temperatur, 25,0 grader celsius. Men det må tas forbehold, om man greier å utvikle en ny prototype som ikke trenger bruk av like mye vann, vil man få

prøver med høyere vektprosent. Og kalibreringskurven må da heller være mere nøyaktig i det område disse nye prøvene legger seg på.

Det kan også være en idé å kun bruke destillert vann til utvikling av en standard kalibreringskurve. Som man kan se fra vedlegg 1 ble springvann målt 130 $\mu\text{S}/\text{cm}$ høyere enn for destillert vann da det ikke var tilsatt salt. Konduktivitetsverdien til vanlig springvann kan trolig variere fra sted til sted, derfor vil en standard kurve med destillert vann fungere for flere steder, og man kan legge til målt konduktivitet til springvann som konstantledd i en standardkurve.

En annen faktor som kan gjøre testene enklere er å installere dyser på munnstykke som spruter vann i asfaltdekket. Dette gjør at man unngår bruk av å spraye asfaltdekket manuelt, og man kan trolig spare mye tid. Med et høyt trykk, kan man også trolig slippe å vaske asfalten flere ganger. Dysene kan også muligens være behjelpelig med skylling av systemet etter oppsug.

Til slutt anbefales det å teste ut i hvilken grad forskjellen på målingene varierer ved bruk av et helt glatt rør, istedenfor bruk av nåværende som er noenlunde ru. Dette kan gjøre at salt, spesielt finkornet, ikke setter seg fast i systemet like enkelt. Og man kan derfor oppleve mindre behov for bruk av vann. Det er på asfaltplaten på 0,09m² blitt brukt rundt 550 gram vann per test. Denne bestående av cirka 40 milliliter per vask, for så en flush på 350gram. Er det derimot ønskelig å måle over et større område, må det derfor til mye mere vann pr måling. For eksempel om man ønsker å måle over et område på 1m² tilsvarer oppnådde resultater at det må til 5 liter vann pr test.

Med disse anbefalingene er det blitt laget noen forslag til forbedring for videre utvikling av restsaltmåleren:

- Utvikle en nøyaktigere kalibreringskurve
- Reduser størrelsen til støvsugeren
- Fest syklonen til måleren og installer et filter i syklonen
- Bruk et mykere munnstykke
- Installer dyser til munnstykket, og undersøk bruk av en type frostvæske
- Undersøk kalibreringen til en væske avhengig av temperatur til væsken og omgivelsene
- Installer en innebygd kalibreringsfunksjon
- Bruk glatt rør fra munnstykket til syklon

6 Konklusjon

Som flere studier tidligere har konkludert med er det behov for en restsaltmåler som kan måle salt i alle ulike former. Det er i denne oppgaven blitt testet syv forskjellige salttilstander og salttyper på et nytt restsaltmålerkonsept. Valgene på hvilke former av salt som er blitt testet er blitt tatt i utgangspunkt med tanke på at de antatt vanskeligste saltformene er forsøkt detektert. I tillegg til at noen antatt enklere salttyper og detektore også er blitt testet.

Det er blitt utført en rekke forsøk per salttype, som gir grunnlaget til konklusjonene som ble funnet i laboratorieforsøket:

- Testene fra restsaltmåleren viser at 83,9% av de utførte testene er innenfor det gitte nøyaktighetskravet på $\pm 5\%$. Dette gjør at dette konseptet potensielt kan bli brukt som en god restsaltmåler en gang i fremtiden.
- 67,7% av utførte tester er innenfor en nøyaktighet på $\pm 2,5\%$
- Resultatene viser at måleren har størst variasjon og usikkerhet når det jobbes med finkornet tørt salt.
- Konseptet klarte å måle både inntørket salt og inntørket salt/sukker løsning til en nøyaktighet innenfor $\pm 5\%$

7 Litteraturliste

Amundsen, C. E., French, H. K., Haaland, S., Pedersen, P. A., Riise, G., & Roseth, R. (2008). Miljøkonsekvenser ved salting av veger-en litteraturgjennomgang. Consequences of road salt on the environment—a literature review),

Blomqvist, G., Gustafsson, M., Eram, M. and Unver, K. (2011). Prediction of Salt on Road Surface: Tool to Minimize Use of Salt. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* (2258), pp 131-138.

Blomqvist, G. and Gustafsson, M. (2004). Patterns of Residual Salt on Road Surface Case Study. Sixth International Symposium on Snow Removal and Ice Control Technology. Spokane, Washington. Transportation Research Board. Transportation Research Circular E-C063, pp 602-608.

Blomqvist, G. and Gustafsson, M. (2012). Residual Salt and Road Surface Wetness: Comparison of Field Techniques. International Conference on Winter Maintenance and Surface Transportation Weather. Coralville, Iowa. Transportation Research Board. Transportation Research Circular E-C162, pp 443-449.

Burtwell, M. (2004) Deicing Trials on UK Roads: Performance of prewetted Salt spreading and Dry Salt Spreading.

Ebersten, R. B. (2015). *Effect of Sugar as an Additive on the Longevity of Salt on Pavements* (Master's thesis, NTNU).

Eram, M., Blomqvist, G., Thordarson, S., & Lysbakken, K. R. (2013). Modelling Residual Salt-MORS.

Ericsson (1995), Prosjekt Restsalt – En sammanfattning av kunnskapsläget, Bergab, Vägverket. Borlänge, 1995.

Fonnesbech, J. (2001). Ice control technology with 20 percent brine on highways. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1741), 54-59.

Gustafsson, A. and G. Gabrielsson (2006). Vinterdrift. Sockerprodukter i kombination med NaCl. Borlänge, Vägverket Produktion.

- Holen, Å. (2010). Salt SMART-Alternative kjemikalier og tilsetningsstoffer til natriumkloriden litteraturgjennomgang. Staten Vegvesen-Rapport, (2593).
- İkiz, N., & Galip, E. (2016). Computerized decision tree for anti-icing/pretreatment applications as a result of laboratory and field testings. *Cold Regions Science and Technology*, 126, 90-108.
- Jonsson, P., Blomqvist, G., & Gustafsson, M. (2008). Wet Dust Sampler: Technological innovation for sampling particles and salt on road surface. In *Fourth National Conference on Surface Transportation Weather and Seventh International Symposium on Snow Removal and Ice Control Technology June 16–19, 2008 Indianapolis, Indiana* (pp. 102-111). Transportation Research Board, TRB.
- Klein-Paste, A. (2008). SaltSMART: reduksjon av saltforbruk ved bruk av tilsetningsstoffer-feltforsøk vinter 2007/08.
- Lysbakken, K. R., & Norem, H. (2008). The Amount of Salt on Road Surfaces after Salt Application. *Surface Transportation Weather and Snow Removal and Ice Control Technology*, 85.
- Lysbakken, K., & Lalagüe, A. (2013). Accuracy of SOBO 20 in the Measurement of Salt on Winter Pavements. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2329), 24-30.
- Lysbakken, K. R. (2013). Salting of winter roads: the quantity of salt on road surfaces after application. Burtwell, M. (2004). Deicing trials on UK roads: performance of prewetted salt spreading and dry salt spreading (No. E-C063,).
- Mitchell, G., Hunt, C., & Richardson, W. (2004). Prediction of brine application for pretreatment and antiicing. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1877), 126-136.
- Nicholls, J. C., & Daines, M. E. (1997). Spray suppression by porous asphalt. *TRL STAFF PAPER PA2092/92*.
- Raukola, T., Kuusela, R., Lappalainen, H., & Piirainen, A. (1993). Anti-icing activities in Finland: field tests with liquid and prewetted chemicals. *Transportation Research Record*, (1387).

Salt SMART, Statens vegvesen (The Norwegian national public road administration, in Norwegian), Teknologivdelingen, rapport, 2535, 98.

Skjærbekk, K. H. (2017). *Varighet av salttiltak med befuktet salt-Effekt av ulike befuktningsvæsker og kornstørrelse på salttap fra vegbanen* (Master's thesis, NTNU).

Svanekil, A. (2009). SaltSMART: levetid av ulike spredningsmetoder: forsøk i Dalane vinteren 2008/2009.

Vaa, T., & Giæver, T. (2007). Salting av veger: en kunnskapsoversikt.

Vegvesen, S. (2008). Salt SMART Miljøkonsekvenser ved salting av veger-en litteraturgjennomgang.

Wåhlin, J. (2017) Mengderapportering vinteren 2016/2017, Statens Vegvesen, rapportnummer nr. 529.

8 Vedleggsliste

Vedlegg 1 – Løsninger som er bakgrunnen for kalibreringskurvene

Destillert vann						
prøve	Saltmengde (g)	w%	µS/cm	Temperatur (°C)	Navn flaske	gram løsning
1	0	0	0,97	23,4	0-7	200
2	0,05	0,026874496	488	23,8	0-5	186
3	0,21	0,110987791	2160	23,8	0-8	189
4	0,57	0,303886549	5430	23,5	0-6	187
5	1,3	0,676027041	11750	24,2	0-3	191
6	3	1,538461538	25100	24,3	0-1	192
7	4,11	2,117356138	34600	24	N-23	190
Springvann						
prøve	saltmengde (g)	w%	µS/cm	Temperatur (°C)	Navn flaske	gram løsning
8	0	0	130	25	undefinert	200
9	0,59	0,301651414	5410	23,6	0-2	195
10	1,33	0,667235238	11770	23,6	N-24	198
11	3	1,515151515	24700	24,2	0-4	195
12	6,62	3,203949279	51000	24,6	C-19	199
13	2,22	1,097814262	18840	25,1	C-17	201
14	0,33	0,167232555	3000	24,4	J-5	197
15	0,18	0,088591397	1510	24,3	G-20	203
16	0,73	0,384757287	6750	24,4	J-7	189

Vedlegg 2 – Nødvendig skyllemengde av restsaltmåleren

Prøvenr	Utlagt salt (g)	vann (g)	µS/cm	Gram salt detektert	Salttype	Prosent detektert
1	3,02	270	16900	2,74	finkornet	90,57
2	3,00	192	21300	2,48	finkornet	82,65
3	2,99	92	27200	1,53	finkornet	51,30
4	3,01	282	17200	2,91	grovkornet	96,70
5	3,00	200	23700	2,89	grovkornet	96,26
6	3,01	93	48100	2,80	grovkornet	93,34
7	2,99	330	14550	2,85	finkornet	95,47
8	3,00	438	12100	2,90	finkornet	96,95

Vedlegg 3 - Andel prøve detektert per vask

Vask nr	Tørr plate (1)	Tørr plate (2)	Befuktet plate (3)	Befuktet plate (4)	Bløt plate (5)	Bløt plate (6)
I	72,6%	73,2%	26,5%	39%	72,6%	70,4%
II	85,5%	81,6%	73,68%	89%	89,3%	92,5%
III	93,7%	85,5%	84,1%	97,9%	93,7%	99,7%
IV	99,5%	88,5%	88,6%	101,9%	96%	102,6%
V	102%	90,2%	91,2%	102%	96%	103%
VI	103%	92%	92%	102%		103%
VII	103%	92%	92%			
VIII	103%					

Vedlegg 4 - Oversikt over rekkefølgen prøvene ble tatt i

Test nr.	Detektert%	
1	102	Finkorn tørr
2	96,9	Finkorn bløt
3	105	Finkorn bløt
4	91,1	Finkorn bef
5	102,5	Finkorn bef
6	96,9	Finkorn tørr
7	103	Finkorn bef
8	94,7	Finkorn bef
9	92	Finkorn tørr
10	101,4	Finkorn bløt
11	102,1	inntørket 20%
12	101,5	inntørket 20%
13	90,3	Finkorn tørr
14	103,6	inntørket 20%
15	100,2	inntørket m sukker
16	102,7	Finkorn tørr
17	105,1	Finkorn bef
18	98,2	Finkorn bef
19	97,6	inntørket m sukker
20	100	Saltløsning
21	100,7	Saltløsning
22	102,9	Saltløsning
23	101,6	Saltløsning
24	102	Saltløsning
25	101,4	inntørket m sukker
26	98,8	Grovkornet
27	101,6	Grovkornet
28	99,7	Grovkornet
29	99,4	Gronkornet
30	100,4	Grovkornet
31	102,5	Finkorn bef