



Statens vegvesen

# SaltSMART

## Reduksjon av saltforbruk ved bruk av tilsetningsstoffer - feltforsøk vinter 2007/08

**RAPPORT**

Teknologiavdelingen

Nr. 2523



Vegteknologiseksjonen  
Dato: 2008-06-02





**Statens vegvesen**

Vegdirektoratet  
Teknologiavdelingen

Postadr.: Postboks 8142 Dep  
0033 Oslo

Telefon: (+47 915) 02030

www.vegvesen.no

## TEKNOL OGIRAPPORT nr. 2523

Tittel

**SaltSMART**  
**Reduksjon av saltforbruk ved bruk av**  
**tilsetningsstoffer - feltforsøk vinter 2007/08**

Utarbeidet av

Alex Klein-Paste

Dato:

2008-06-02

Saksbehandler

Åge Sivertsen

Prosjektnr:

601945

Kontrollert av

Kai-Rune Lysbakken

Antall sider og vedlegg:

29 / 6

### Sammendrag

Som en del av etatsprosjektet SaltSMART utføres det en studie for å øke forståelsen om hvordan tilsetningsstoffer kan redusere saltforbruket. Denne rapporten fokuserer på levetiden av salt på veg. Det gis først en beskrivelse av de ulike mekanismene som fjerner salt fra vegbanen og hvordan tilsetningsstoffer muligens kan påvirke disse mekanismene. Deretter beskrives det et feltforsøk hvor salttapet har blitt dokumentert for salt med og uten tilsetningsstoff. Det har blitt utført fem tester hvor forløpet i saltmengde på veg er beskrevet med mer enn 1900 saltmålinger.

Det er ikke dokumentert en økning av saltets levetid ved å bruke et tilsetningsstoff til saltløsning. I alle tester var levetiden av salt med tilsetningsstoff i samme størrelsesorden som salt uten tilsetningsstoff. På våte vegoverflater, hvor både vegsalt og tilsetningsstoffet var i oppløsning, foregikk salttapet via de samme tapsmekanismer; nemlig sprut fra kjøretøy og muligens naturlig avrenning.

På tørre vegoverflater, hvor saltet hadde krystallisert ut på vegbanen, holdte saltet seg lenge på vegen, både med og uten tilsetningsstoff. I et spesifikt tilfelle med gunstig testforhold var det etter 30 timer og mer enn 20 000 kjøretøypasseringer fortsatt ingen tegn til at saltet hadde blitt fjernet fra vegbanen, verken det med eller uten tilsetningsstoff.

Den lange levetid til salt som har utkrystallisert seg etter fordampning av vannet motstrider den vanlige oppfatningen at "salt forsvinner når veien tørker opp". Det er funnet tydelige indikasjoner at det er måletekniske begrensninger ved restsaltmåler SOBO20 som forårsaker en underestimering av den reelle saltmengde på tørre vegoverflater.

### Summary

The Norwegian Public Roads Administration seeks to optimize salt usage in winter maintenance in order to minimize environmental impacts. In this respect there is a need for a better understanding of how road salt additives, such as agricultural bi-products, can reduce usage of road salt. This report describes the different mechanisms of salt removal from road surfaces and how salt additives possibly can affect these mechanisms. Following, it describes a case study performed in Norway to document the removal of salt with and without salt additives. Five tests have been performed where the change in salt amount is described by over 1900 salt measurements.

An extended lifetime due to salt additives has not been found. In all tests, the lifetime of salt with additive was about the same as the lifetime of salt without additives. On wet road surfaces, where both the salt and the additive were dissolved, the salt loss occurred by the same mechanisms; the spray of water from vehicles and possibly run-off.

On dry road surfaces, where the salt had crystallized due to evaporation of water, salt remained on the road surface for a prolonged period of time, both with and without the salt additive. In one case with favourable testing conditions, there were no indications of salt loss after 30 hours, or 20 000 vehicle passages.

There has been found clear indications that the used instrument to measure salt, SOBO20, is unable to detect all salt that is present in crystallized form. This can result in an underestimation of the real amount of salt present on dry surfaces.

Emneord:

Vinterdrift, salting, tilsetningsstoffer



## FORORD

Dette studiet har blitt utført som en del av Statens vegvesens etatsprosjekt SaltSMART, og har blitt utført av Vegdirektoratet, seksjon for Vegteknologi ved Teknologiavdelingen i Trondheim (Tek-T), i samarbeid med Mesta AS og Statens vegvesen Region Nord.

Mange personer har blitt involvert i sette prosjektet. Forfatteren vil først og fremst takke trainee Håvard Engen, Mesta AS for hans store innsats, både i planleggingsfase, og ved utførelse av eksperimentene. En stor takk går til driftsansvarlig Stig Brunnes og hans ansatte i Mesta Kundesenter Salten for gjestfriheten og støtte ved utførelse av forsøkene. Denne støtte var avgjørende for prosjektet og forfatteren satte pris på samarbeidet med veimester Kjell Vassbotn og fagarbeidere Bjørn Christensen, Kenneth Simensen, Anja Dahlberg, Svein Kåre Jentoftsen, Tom Karlsen, Jim Roger Savjord, og Torbjørn Monsen.

En stor takk går til Ottar Nilsen (SVV) og Harald Kristensen (SVV) for assistanse under datasamlingen, til Tore Menne (NTNU/SINTEF) for logistikk støtte, til Kai-Rune Lysbakken (SVV) for innspill til planlegging av forsøkene, og til Ronny Aanes (Mesta) for praktiske assistanse.

Forfatteren takker regionsdirektør Region Nord i Mesta, Harald Rostad, byggeherre i Statens vegvesen Region Nord, Roald Birkeli, prosjektleder av SaltSMART, Åge Sivertsen, og fagsjef Kurt Haarberg, Mesta, for tilliten i, og tilrettelegging av prosjektet.

Juni 2008  
Alex Klein-Paste



## SAMMENDRAG

I de senere årene har det vært gjennomført ulike forsøk med tilsetningsstoffer til vegsalt, blant annet med den hensikt å redusere saltforbruket. Som en del av etatsprosjektet SaltSMART utføres det en studie for å øke forståelsen om hvordan tilsetningsstoffer kan redusere saltforbruket. Denne rapporten fokuserer på levetiden av salt på veg. Det gis først en beskrivelse av de ulike mekanismene som fjerner salt fra vegbanen og hvordan tilsetningsstoffer muligens kan påvirke disse mekanismene. Deretter beskrives det et feltforsøk hvor salttapet har blitt dokumentert for salt med og uten tilsetningsstoff. Forsøkene fant sted i vintersesongen 2007/2008 på en 1,4 km lang strekning av Rv 80 mellom Bodø og Fauske og har blitt utført med saltløsning. Det har blitt utført fem tester hvor forløpet i saltmengde på veg er beskrevet med mer enn 1900 saltmålinger.

Det er ikke dokumentert en økning av saltets levetid ved å bruke et tilsetningsstoff til saltløsning. I alle tester var levetiden av salt med tilsetningsstoff i samme størrelsesorden som salt uten tilsetningsstoff. På våte vegoverflater, hvor både vegsalt og tilsetningsstoffet var i oppløsning, foregikk salttapet via de samme tapsmekanismer; nemlig sprut fra kjøretøy og muligens naturlig avrenning. Under disse forhold hadde tilsetningsstoffet ikke mulighet til å øke levetiden.

På tørre vegoverflater, hvor saltet hadde krystallisert ut på vegbanen, holdte saltet seg lenge på vegen, både med og uten tilsetningsstoff. I et spesifikt tilfelle med gunstig testforhold var det etter 30 timer og mer enn 20 000 kjøretøypasseringer fortsatt ingen tegn til at saltet hadde blitt fjernet fra vegbanen, verken det med eller uten tilsetningsstoff. Denne lenge levetiden ble rask avsluttet da det kom regn på vegbanen og salt forsvunnet ved sprut og muligens avrenning.

Den lenge levetid til salt som har utkrystallisert seg etter fordampning av vannet motstrider den vanlige oppfatningen at "salt forsvinner når veien tørker opp". Det er funnet tydelige indikasjoner at det er måletekniske begrensninger ved restsaltmåler SOBO20 som forårsaker en underestimering av den reelle saltmengde på tørre vegoverflater.





## SUMMARY

In recent years, several tests have been conducted with additives to road salt (such as agricultural bi-products), with one of the purposes being reduction of the amount of salt used for winter maintenance. The Norwegian Public Roads Administration seeks to optimize salt usage in winter maintenance in order to minimize environmental impacts. In this respect there is a need for a better understanding of *how* road salt additives can reduce usage of road salt. Focus is directed to the extension of the lifetime of salt on road surfaces.

This report describes the different mechanisms of salt removal from road surfaces and how salt additives possibly can affect these mechanisms. Following, it describes a case study performed in Norway to document the removal of salt with and without salt additives. Five tests have been performed where the change in salt amount is described by over 1900 salt measurements.

An extended lifetime due to salt additives has not been found. In all tests, the lifetime of salt with additive was about the same as the lifetime of salt without additives. On wet road surfaces, where both the salt and the additive were dissolved, the salt loss occurred by the same mechanisms; the spray of water from vehicles and possibly run-off. Under these conditions the additive had no possibilities to increase the lifetime of salt.

On dry road surfaces, where the salt had crystallized due to evaporation of water, salt remained on the road surface for a prolonged period of time, both with and without the salt additive. In one case with favourable testing conditions, there were no indications of salt loss after 30 hours, or 20 000 vehicle passages. This long lifetime quickly terminated when rain wetted the pavement.

In Norway, winter maintenance personnel appear to share a common opinion that “salt disappears when the road dries up”. This opinion, however, contradicts the measurements performed in this case study. There has been found clear indications that the instrument to measure salt (SOBO20) is unable to detect all salt that is present in crystallized form. This underestimation of salt on dry surfaces may have contributed to the opinion that “salt disappears when the road dries up”.



## INNHOOLD

Sammendrag.....	3
Summary .....	5
1 Introduksjon.....	9
1.1 Bakgrunn .....	9
1.2 Målsetningen .....	9
1.3 Avgrensing.....	10
1.4 Forskningsspørsmålet og hypotesen.....	10
1.4.1 Forskningsspørsmålet .....	11
1.4.2 Hypotese.....	12
2 Eksperimentelle detaljer.....	15
2.1 Planlegging .....	15
2.2 Forsøksstrekningen .....	15
2.3 Test- og referanseløsning.....	16
2.4 Datasamling.....	16
2.4.1 Saltmålinger.....	16
2.4.2 Fuktmålinger .....	18
2.4.3 Klima- og trafikkdata.....	19
2.4.4 Friksjonsmålinger.....	20
3 Resultater.....	21
3.1 Kasus 1.....	21
3.2 Kasus 2.....	22
3.3 Kasus 3.....	22
3.4 Kasus 4.....	23
3.5 Kasus 5.....	23
4 Diskusjon.....	25
5 Konklusjoner .....	27
Referanser.....	29
Vedlegg .....	31



# 1 INTRODUKSJON

## 1.1 Bakgrunn

Med bakgrunn i det økende saltforbruket i Norge, samt et sterkere fokus på miljøkonsekvenser av salting, leter Statens vegvesen gjennom etatsprosjektet SaltSMART etter muligheter for en mer miljøforsvarlig saltpraksis. Siden miljøkonsekvensene av dagens saltbruk, naturens tålegrenser, og utslipp av salt varierer geografisk, varierer også innsatsen for å oppnå en miljøforsvarlig saltpraksis geografisk. For å håndtere disse forskjeller brukes det i SaltSMART et konsept hvor vegnettet blir delt inn i tre ulike soner. Sonene, som er angitt med fargene grønn, gul, og rød, representerer størrelse av miljøkonflikten som oppstår på grunn av dagens salting. Dimensjonen av miljøkonflikten gir grunnlag til innsatsnivået for å redusere miljøkonflikten. Utviklingen av konseptet er fortsatt i gang og sonene er ikke endelig definert. En foreløpig beskrivelse av sonene er gitt i Tabell 1.

Tabell 1. Forløpig beskrivelse av soneinndelingen.

Sone	Miljøkonflikt	Ønsket/nødvendig tiltak
Grønn	Ingen konkret miljøkonflikt med dagens saltpraksis	Generell saltreduksjon <sup>1</sup>
Gul	ikke alvorlig miljøkonflikt, men en stigende trend for miljøpåvirkning av dagens salting	Sterk reduksjon av saltforbruket
Rød	Dagens saltbruk fører til en alvorlig miljøkonflikt	Sterk reduksjon eller alternative metoder av vinterdrift

I de senere årene har ulike tilsetningsstoffer til vegsalt fått mer fokus: i Sveige har det blitt tilsett sukker med utgangspunktet å stimulere lokale sukkerproduksjon (Gabrielsson, 2008), i England har det blitt forsøk med det et sukkerderivat, blant annet for å oppnå et bedre spredemønster og minske korrosjonsskader av salt (Wilson et al., 2003), og i Oslo har vært forsøk med vegsalt befuktet med magnesiumkloridløsning med ønske å redusere saltforbruket og utvidere brukstemperaturområde (Vaa and Meland, 2005).

I denne rapporten defineres et tilsetningsstoff som et produkt tilsatt til et virkemiddel (vegsalt) for å øke ytelsen av virkemiddelet i vinterdrift av vegger.

## 1.2 Målsetningen

For å oppnå en generell reduksjon av saltforbruket (tiltak for grønne soner) ble tilsetningsstoffer ansett som potensiell interessante. Men som påpekt i en nylig utgitt litteraturoversikt som var utarbeidet for den britiske Highways Agency (2007) mangler det vitenskapelig kunnskap om ytelse av produkter som blir brukt som tilsetningsstoffer. Slik kunnskap er nødvendig for å kunne foreta rasjonelle

<sup>1</sup> Selv om det er ingen konkrete miljøkonflikter i grønne soner er det et behov for generell reduksjon for å unngå at det på et seinere tidspunkt oppstår en miljøkonflikt.

beslutninger om bruk av tilsetningsstoffer. Et generelt spørsmål som er fortsatt ubesvart er *hvordan* tilsetningsstoffer eventuelt kan redusere saltforbruket. Derfor har dette studiet følgende målsetting:

*Øke forståelsen om hvordan tilsetningsstoffer kan redusere saltforbruket.*

### 1.3 Avgrensing

Dette studiet er spesifikt rettet mot økt forståelse av virkingen av tilsetningsstoffer. En totalvurdering om spesifikke produkter, eller en kvantifisering av oppnåelig saltreduksjon med hjelp av tilsetningsstoffer er utafør rekkevidde av dette studiet.

### 1.4 Forskningsspørsmålet og hypotesen

I utgangspunktet er det to muligheter hvordan et tilsetningsstoff til vegsalt fysisk sett kan redusere saltforbruket og beholde samme resultatet på veg: (1) ved å øke virkningsgraden av vegsalt, og (2) forlenge levetiden av salt på veg. Begge muligheter diskuteres adskilt nedenfor:

#### **Virkningsgrad av vegsalt**

Sentralt i virkningen av salt er evnen til å sette ned frysepunktet av vann, både når det gjelder anti-ising og de-ising. Frysepunktnedsettelse er i hovedsak avhenging av *antall* molekyler eller ioner som er i oppløsningen (Atkins and de Paula, 2002), og i mindre grad om egenskapene av molekylet som er i oppløsning<sup>2</sup>. Frysepunktnedsettelse av vann oppstår dermed ved alle stoffer som er i oppløsning, ikke bare med natriumklorid.

Siden natriumklorid er godt løselig i vann, skal all natriumklorid være i oppløsning så lenge løsningen er ikke mettet enda, gitt at stoffet har fått nok tid til å løse opp. Et tilsetningsstoff kan dermed ikke øke antall oppløste ioner av en gitt mengde natriumklorid. Ved å tilsette et annet stoff til natriumklorid kan tilsetningsstoffet selv også bidra til å sette ned frysepunktet, men i dette tilfelle øker stoffet ikke virkningsgraden av natriumklorid, men "overtar" en del av virkningen.

Det er opplagt at hvis man erstatter en del av vegsalt med et annet produkt som setter ned frysepunktet, at man kan oppnå en saltreduksjon i størrelsesorden av den mengde salt som har blitt erstattet. Men vanligvis blir ikke tilsetningsstoffet tilsatt i stor nok mengde for å utgjøre en vesentlig forskjell på denne måte. Dette reflekteres også i en eksperimentell sammenlikning av fasediagrammer av natriumklorid og natriumklorid med magnesiumklorid i vektforhold 70/6, hvor forskjellen i frysepunktet var mindre enn én grad Celsius (Rekstad and Hardarson, 2005).

---

<sup>2</sup> Frysepunktnedsettelse er et kollegativt egenskap og er dermed i prinsipp uavhengig av molekyl-art, men det finnes molekylspesifikke interaksjoner som gir fravik fra denne ideelle oppførselen (Fullerton et al., 1994).

Basert på den generelle forståelse av de fysiske mekanismene som forårsaker frysepunktsnedsettelse (ofte referert til som kolligative egenskaper) kan man fastslå at:

1. Et stoff må være i oppløsning for å kunne sette ned frysepunktet av vannet.
2. To ulike stoffer i oppløsning bidrar begge til nedsetting av frysepunktet, men påvirker hverandre i utgangspunktet ikke.<sup>3</sup>

Ut fra disse observasjoner anses det at et produkt X kan erstatte en del av saltets virkning, men kan ikke øke virkningen av en gitt mengde salt i oppløsning. Det anses derfor usannsynlig at et tilsetningsstoff kan redusere saltforbruket ved å øke virkningsgraden av natriumklorid.

### **Levetid av salt på veg**

Levetiden av salt på veg kan defineres av tiden salt er fysisk tilstede på vegbanen og beskrives vanligvis med forløpet av saltmengde i tid, eller akkumulert trafikk. Levetiden av salt, og dermed varighet av et salttiltak, er et tema som er fortsatt under aktiv forskning. Mitchell m.fl. (2004) beskriver en enkel empirisk modell for saltmengdeforløpet for saltlake av natriumklorid på tørr veg, Raukola m.fl. (2004) utførte feltmålinger med saltlake av natriumklorid, saltlake av kalsiumklorid og befuktet natriumklorid, Svanekil (2007) utførte feltmåling med varmbefuktet, kaldbefuktet og tørr natriumklorid på relativ tørre vegbaner, og Lysbakken og Norem (i trykk) beskriver ulike tapsmekanismer av salt, basert på feltmålinger av befuktet natriumklorid på fuktige og våte vegbaner.

En tapsmekanisme er forstått som en fysisk prosess som fjerner salt fra vegbanen. Man kan skille mellom initial tap (tap som forekommer under utleggingen) og tap som foregår etter utleggingen. I det siste tilfelle kan salt tapes (1) i uoppløst form enten pga. vind og luftturbulens fra trafikk (såkalt blow-off), (2) i oppløst form ved vannsprut fra kjøretøy, (3) i oppløst form gjennom avrenning av vann fra vegbanen, eller (4) ved mekanisk fjerning av snø, eller slaps. Når man ser bort fra mekanisk fjerning, som er forårsaket av vinterdriften selv, så bør et tilsetningsstoff påvirke en eller flere av tapsmekanismene for å kunne påvirke levetiden av salt.

#### **1.4.1 Forskningsspørsmålet**

Siden det anses som usannsynlig at et tilsetningsstoff kan øke virkningsgraden av natriumklorid, er det mer sannsynlig at en eventuell reduksjon i saltforbruket pga et tilsetningsstoff kan forklares med en økning i levetiden. Forskningsspørsmålet for denne studien er derfor definert som:

*Kan et tilsetningsstoff øke levetiden av natriumklorid på veg?*

Dette forskningsspørsmålet skal utdypes for de ulike tapsmekanismer som har blitt identifisert.

---

<sup>3</sup> Fravik fra denne påstand er fysisk mulig hvis det oppstår interaksjon mellom de ulike stoffer (for eksempel at stoffene reagerer med hverandre), men forfatteren kjenner ikke til studier som påviser at dette har en positiv effekt på frysepunktsnedsettelse av natriumklorid og/eller oppstår ved relativ lave konsentrasjoner som er realistisk på fuktige og våte vegbaner.

Initialtap av salt kan forårsakes av (1) vind eller turbulens bak strømbilen som blåser vekk salt og forhindrer at den treffer det ønskete området, eller (2) saltkorn som ruller/spretter fra vegen da den treffer vegoverflater. I Norge anvendes det befuktning av salt med vann eller saltløsning for bl.a. å redusere initial tap. Forfatteren er ukjent med studier som fokuserer på de mekanismer hvordan initial tap kan minskes, men det anses at det er endringen i fysiske sammensetning av saltet (for eksempel kohesjon mellom saltkornene og forholdet mellom vekt og areal) som kan påvirke initial tapet. Hvis et tilsetningsstoff skal kunne bidra til reduksjon av initialtap, da bør tilsetningsstoffer endrer den fysiske sammensetning av det som spres ut.

Når det er mye vann på veg skal vegsalt og et løselig tilsetningsstoff løse opp i det vannet som er tilstede. Kort etter utleggingen kan det være store romlig variasjon i saltkonsentrasjon (og eventuell viskositet, densitet, etc.) men det forventes at trafikken homogeniserer vannet og salt, og dermed jevne ut disse romlige variasjoner. I oppløst tilstand skal salttapet skal være dominert av tap via sprut og eventuell avrenning. Hvis, i dette tilfelle, et tilsetningsstoff skal kunne hindre at saltet tapes, da bør stoffet hindres at vann forsvinner fra vegen. I prinsipp kan dette oppnås ved å øke viskositeten av vannet på veg. Men en økning i viskositeten kan medføre friksjonsproblemer på våte føre. Vannet må nemlig presses ut under dekkene av kjøretøy før det kan skapes friksjon og denne prosessen er avhenging av viskositeten av vannet (Moore, 1975). Dessuten kan det ligge betydelige mengder vann på veg (mer enn 300-400 g/m<sup>2</sup> er ikke uvanlig), så selv om tilsetningsstoffet skulle være meget viskøs skal viskositeten senke betydelig da tilsetningsstoffet tynner ut.

Når det er lite vann på veg, derimot, skal tapet etter utleggingen være dominert av tap i uoppløst form. Her kan man igjen skille mellom to tilfeller: (1) saltet har ikke vært i oppløsning men er fremdeles i fast form (ved bruk av tørt, befuktet, eller slurry spredning), og (2) saltet har vært i oppløsning, men har krystallisert ut etter at vannet har fordampet (opptørking av veien). I begge tilfeller kan et tilsetningsstoff muligens forlenge levetiden hvis den øker vedhefte mellom vegbanen og saltkornene. I det siste tilfelle er det i tillegg mulig at tilsetningsstoffet hindrer fordampning av vannet, for eksempel hvis produktet er mer hygroskopisk enn natriumklorid.

#### **1.4.2 Hypotese**

Som beskrevet i seksjon 1.2 er målet av studiet å øke forståelse av hvordan tilsetningsstoffer kan redusere saltforbruket. Derfor er det ønskelig å være så generalsistisk som mulig. I dette studiet har det derfor valgt å fokusere kun på tilfeller hvor det er sikkert at alt saltet på vegbanen er/har vært i oppløsning. (Dette gjelder når man bruker løsningsspredning, og når tørt salt, befuktet salt og slurry har fått muligheter til å løse opp i vannet på vegbanen. Det antas at når saltet på vegbanen er/har vært i oppløsning er salttapet uavhengig av hvilke spredemetode er brukt. Basert på utdypningen av forskningsspørsmålet kan det utredes følgende hypotese:

*For vegsalt som er, eller har vært i oppløst tilstand på vegbanen kan tilsetningsstoffer kun øke levetiden når det er lite vann tilstedet.*

Forklaringen er at når det er mye vann på veg, er både salt og tilsetningsstoffet i oppløsning og salttap domineres av sprut og muligens avrenning, som ikke påvirkes av tilsetningsstoffet. Når det er lite vann på veg er det derimot muligheter for at saltet



krystalliserer ut, og her kan tilsetningsstoffet muligens øke vedheft mellom saltkrystaller og veien, eller unngå at vannet fordampes og dermed øke levetiden av salt.

For å kunne teste hypotesen bør begrepene "mye vann" og "lite vann" defineres. Med "lite vann" menes en mengde som er ikke tilstrekkelig til å holde all salt i oppløsning. En tommelfingerregel er at man trenger cirka tre ganger så mye vann enn salt for å holde all salt i oppløsning. Siden det sjelden blir brukt mer enn  $30 \text{ g/m}^2$  salt i Norge er  $100 \text{ g/m}^2$  vann tilstrekkelig for å holde all salt i oppløsning. Som en konservativ klassifisering antegnes derfor vannmengder  $<100 \text{ g/m}^2$  som "lite vann" og  $>100 \text{ g/m}^2$  som "mye vann".



## 2 EKSPERIMENTELLE DETALJER

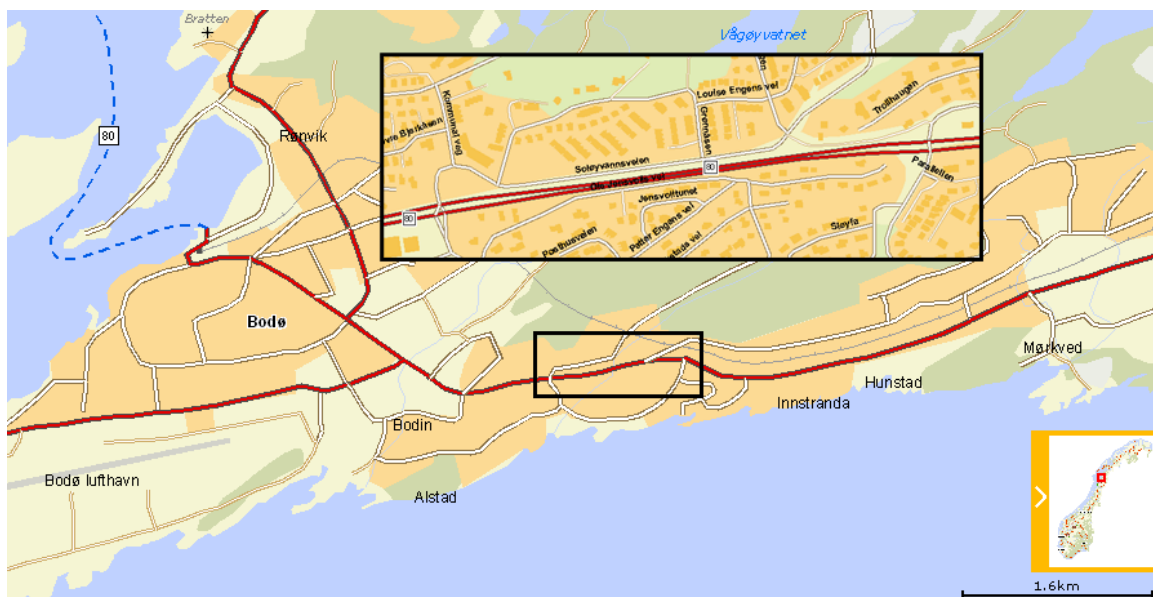
### 2.1 Planlegging

For å teste hypotesen definert i kapittel 1.4 ble det planlagt et forsøk i vintersesongen 2007-2008. Forsøkene skulle utføres på en offentlig veg som driftes med en barvegstrategi. I forberedende fase ble ansvarsforholdene avklart mellom byggeherre, entreprenøren som utfører vinterdriften, alle saltbilsjåførene og medarbeidere som utførte datasamlingen.

Det var valgt en løsning hvor vanlig drift til en hver tid hadde prioritet foran forsøksaktivitetene. Entreprenøren beholdte ansvaret for utførelse av vinterdriften og overvåking av vegbaneforhold under forsøket. Testene ble "sjansebasert" planlagt og ansvarshavne hos entreprenøren hadde til en hver tid mulighet til å endre, utsette eller avlyse testene.

### 2.2 Forsøksstrekningen

Forsøkene ble utført på østgående vegen av Rv 80 fra Bodø til Fauske mellom HP4 Km 12,775 og HP4 Km 11,375. Denne strekningen er en firfeltsveg med midtdeler. Strekningen er 1,4 kilometer lang, har ingen sideveier, en fartsgrens på 70 km/t og er avgrenset med trafikklys på begge endene. Plasseringen av vegen er illustrert i Figur 1.



Figur 1. Kart av forsøksvegen som har blitt brukt i studiet.

Vegen ble delt inn i én prøvestrekning og én referansestrekning, begge cirka 0,7 km lang. Fordelen med disse strekningene er at det klimatiske forhold på begge strekninger er godt sammenlignbare og at de er utsatt for en lik trafikkbelastning. Ulempen med de relativ korte stekninger er faren for at medrag av salt eller tilsetningsstoff påvirker målinger på andre strekningen. Derfor ble referansestrekningen (hvor det ble lagt ut salt uten tilsetningsstoff) plassert foran prøvestrekningen og ikke omvendt. På denne måte sikres det at referansestrekningen ikke blir "forurenset" med tilsetningsstoffet og dermed maskerer

en positiv effekt av tilsetningsstoffet, i forhold til referansestrekningen. De første 400 m av prøvestrekningen ble ikke brukt for restsaltmålinger for å redusere forstyrrelse av saltmeddrag.

Det ble utført forsøk hvor det ble lagt ut salt kun på referansestrekningen, og saltmengde ble målt på ulike avstander fra begynnelse av prøvestrekningen. Detaljene av dette meddragsforsøket er gitt i Vedlegg A. Med en utlegging av cirka 7.5 g  $\text{g/m}^2$  natriumklorid på referansestrekningen ble det på siste delen av prøvestrekningen (mellom 400 og 700m) målt en saltmengde av cirka 1-1,5  $\text{g/m}^2$ .

### 2.3 Test- og referanseløsning

For å sikre fullstendig oppløsning av saltet har det kun benyttet saltløsningspreding i forsøkene. Testene ble utført med natriumkloridløsning med tilsetningsstoff på prøvestrekningen og natriumkloridløsning uten tilsetningsstoff på referansestrekningen. Det ble valgt et kommersielt tillengelig produkt som blir markedsført spesifikt for bruk i vinterdriften. Produktet er et biprodukt fra sukkerproduksjon og blir markedsført under navnet Safecote<sup>tm</sup>. Produktet består hovedsakelig av organiske komponenter og mineraler og blir levert i oppløst form. Produktspesifikasjon mottatt fra leverandøren er gitt i Vedlegg B. For å sikre tilstrekkelig tilsetningsstoff i testløsningen ble den lagt en blanding av 50 vol% natriumkloridløsning (med en opprinnelige konsentrasjon av cirka 25 w% NaCl) og 50 vol% av Safecote<sup>tm</sup>. Som referanseløsning ble det brukt natriumkloridløsning av cirka 25 w% NaCl.

Utlegging av test- og referanseløsningen ble utført simultant med to strøbiler. For referansestrekningen ble det brukt en Epoke Sirius Kombispreder. I det første fire forsøkene ble testløsningen lagt ut med en Schmidt Stratos befuktningsspreder. Her var det nødvendig å tømme tørrsaltkassen først, for å kunne legge ut kun løsning. Ved en innstilling av 40  $\text{g/m}^2$  befuktet salt (maksimum innstilling) leveres det 12  $\text{g/m}^2$  løsning (30 w%). I løpet vintersesongen ble denne sprederen skiftet ut med en Falköping CLC647 kombispreder.

### 2.4 Datasamling

Utviklingen av vegbaneforhold ble dokumentert før og etter utleggingen. Her ble et begrenset område av høyre kjørefeltet (cirka 50 m) sperret med en inspeksjonsbil og trafikken ble dermed tvunget til å bruke venstre kjørefelt. I disse perioder, som varte cirka 5 til 7 minutter, ble følgende målinger foretatt:

- Restsaltmålinger i høyre hjulspor, og mellom hjulspor
- Fuktmålinger i høyre hjulspor, og mellom hjulspor
- Luft-, vegbane-, og duggpunktstemperatur
- Bilder av veiforholdene

Målinger ble utført med jevn mellomrom etter tiltak. Det var imidlertid ikke alltid mulig å måle i trafikkrushen, da det fort kunne oppstå kø bak inspeksjonsbilen. All samlet data ble sammenfattet i kasuser.

#### 2.4.1 Saltmålinger

Saltmålinger ble utført med restsaltmåleren SOBO20. Dette instrumentet måler mengde salt på veg (i  $\text{gram/m}^2$ ) på et lite areal (20  $\text{cm}^2$ ) ved å spyle arealet med 50

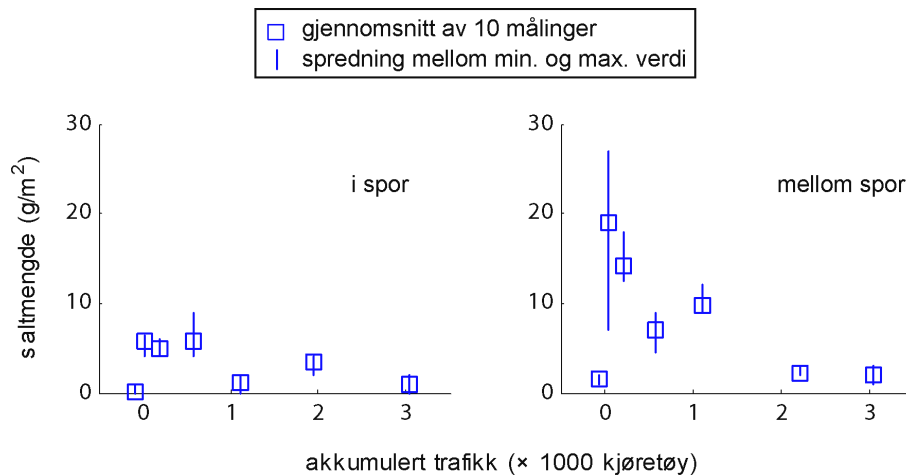
ml vann/acetone blanding og måle elektriske ledningsevne i væsken. Måleinstrumentet er illustrert i Figur 2a. Restsaltmåleren er kalibrert for natriumklorid. Tilsetningsstoff bidrar også til konduktiviteten og gir dermed til utslag på måleren. Målet med studiet er å beskrive forløpet, og ikke absolutte verdier på et gitt tidspunkt. Derfor har det ikke lagt noe innsats i å korrigere målingene på prøvestrekningen, eller kalibrere spesifikk for testløsningen. Siden man studerer kun forløpet og ikke absolutte verdier har mangel på en slik korreksjon ingen effekt på resultatene.

Det er et kjent problem at SOBO20 ikke alltid måler den korrekte mengde salt (Mitchell et al., 2004; Raukola et al., 2004) og en årsak er at instrumentet har vanskeligheter til å løse opp saltet som var i fastform på vegbanen. Siden det ikke benyttes fast natriumklorid i dette forsøket var dette i utgangspunktet ikke et problem. Men måleproblemet oppsto likevel under testene da vegen begynte å tørke opp og saltet krystalliserte ut på vegbanen. Derfor ble måleprosedyre endret når det var lite vann på vegbanen. I disse tilfeller ble en del av vegbanen befuktet med vann/acetone blanding før målingene ble foretatt. Det ble tilført vann til det punkt at asfaltteksturen nesten var mettet, men ikke slik at man fikk avrenning. Befuktningprosedyre er illustrert i Figur 2b og 2c.



Figur 2. (a) SOBO20 restsaltmåleren i bruk, (b) befuktning av vegbanen, og (c) vegbanen etter befuktning før saltmålingene ble foretatt.

Både test- og referanseløsningen ble utlagt med tallerkenspredere, som medfører at saltet blir lagt ut i buer. Siden SOBO måleren er av mindre dimensjon enn disse buene ble det målt betydelig romlig variasjon i saltmengde. Derfor ble det utført ti repetisjoner, både i høyre hjulspor og i mellom hjulspor. Denne spredningen avtar i tid fordi trafikken hjelper til å fordele saltet over vegbanen. Denne prosessen er illustrert i Figur 3.



**Figur 3. Utvikling av variasjon i målte saltmengder.**

I noen tilfeller ble det valgt å redusere antall repetisjoner fra ti til seks av to grunner: (1) målingene viste at saltmengden hadde jevnet seg ut, og (2) det var planlagt å måle i rushtrafikken. Beholderen til SOBO måleren er tilstrekkelig for cirka 25 målinger, og med å redusere antall repetisjoner til seks i hjulspor og seks i mellom hjulspor kunne både referanse- og prøvestrekningen måles uten etterfylling. Dette går en betydelig reduksjon i tida som ble brukt på vegen.

#### 2.4.2 Fuktmålinger

Menge vann på veg ble estimert ved å tørke vegbanen med sterk absorberende kluter, som er markedsført under produktnavnet Wettex<sup>tm</sup>. Kluten har et kjent areal og vekten ble målt før og etter absorberingen. Mengde vann på veg blir da beregnet og uttrykt i gram vann per m<sup>2</sup> veioverflate. Måleprosedyren er illustrert i Figur 4.



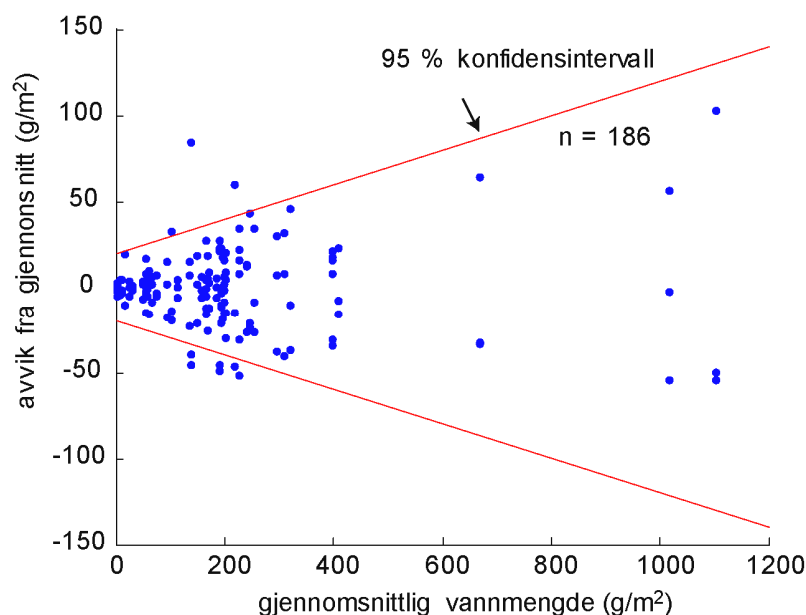
**Figur 4. Utførelse av fuktmålingen og resultatet etter absorbering av vannet.**



Fuktmålingene er i utgangspunktet kun et grovt estimat på mengde vann på veg. Det er lite kjent om nøyaktigheten av denne målemetoden. Følgende feilkilder kan identifiseres:

- Ufullstendig absorbering av vannet
- Usikkerheten av vektmålingen
- Absorbering av veistøv
- Romlig variasjon av mengde vann på veg.

Det var ikke et mål for dette prosjektet og utforske usikkerheten av målemetoden, men den samlede data gir muligheter til noe grove estimater av variasjon i målte verdier. I to kasuser ble det utført tre repetisjoner, både i hjulspor og i mellom hjulspor. Av disse repetisjoner ble det beregnet en gjennomsnittsverdi av fuktmålingene. Avvik fra hver måling fra dette gjennomsnittet er plottet i Figur 5.



**Figur 5. Spredning i fuktmålinger**

Som forventet øker det absolutte avviket med økende vannmengder på veg. Basert på de 186 målinger som har blitt utført kan det defineres et 95 % konfidensintervall, hvor da mindre enn 10 målinger ligger utenfor intervallet. Dette intervallet kan beskrives ved:

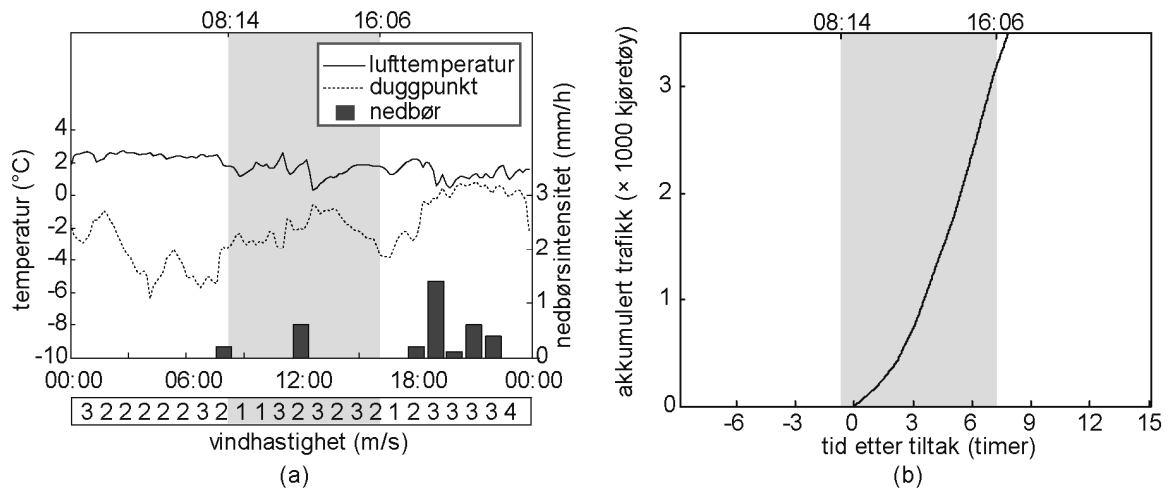
$$95\%CI = \pm(0,1 \cdot m_{vann} + 20) \quad (1.1)$$

Hvor  $m_{vann}$  er mengde vann på veg i  $g/m^2$ .

### 2.4.3 Klima- og trafikkdata

Det ble plassert en mobil klimastasjon ved siden av prøvestrekningen som kontinuerlig målte lufttemperatur og duggpunktstemperatur på 2m høyde. Vindhastighets- og nedbørsdata ble hentet fra klimastasjonen "Vågønes" som eies av Bioforsk. Denne klimastasjonen står cirka 2 km nordvest for forsøksstrekningen. For hver kasus er den målte klimadata sammenfattet i et 24-timers meteogram. Et

eksempel er gitt i Figur 6a. Observasjonsperioden er angitt med en grå bakgrunn. Trafikkdata ble hentet fra Jensvoll tellepunkt, som ligger cirka 1 km vest for forsøksstrekningen. Den akkumulerte trafikken på strekningene er beregnet fra tidspunktet at utleggingen på prøvestrekningen startet. Et eksempel er gitt i Figur 6b. Plottet med trafikkdata har samme tidsakse som meteogrammet, men her er tiden uttrykt i timer etter tiltak, istedenfor klokkeslett.



Figur 6. Eksempel av (a) et 24-timers meteogram og (b) samsvarende trafikkdata.

#### 2.4.4 Friksjonsmålinger

For å overvåke forholdene under testene ble det med jevne mellomrom utført friksjonsmålinger. Målingene ble utført med en TWO<sup>tm</sup> friksjonsmåler. Men siden forsøket primært fokuserer på forløpet i saltmengde har data ikke vart analysert i relasjon med virkningen av tilsetningsstoffet.



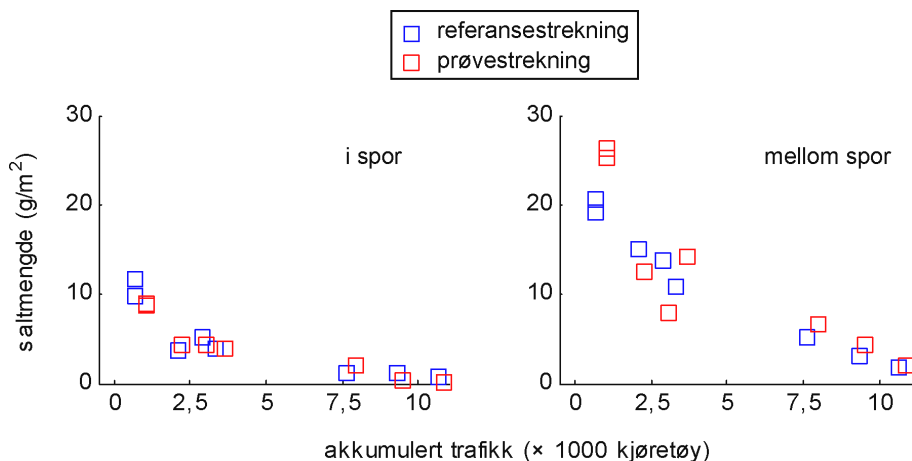
### 3 RESULTATER

I forsøksperioden ble det utført fem tester. Disse tester betraktes som selvstendige kasuser og detaljene beskrevet i vedlegg C til G. En sammenfatning av hver kasus beskrives her.

#### 3.1 Kasus 1

På grunn av høye restsaltmengder før start av forsøket ble kasus 1 en sammenlikning av test- og referansestrekningen. Det ble lagt ut både test- og referanseløsning (10 g/m<sup>2</sup>, som tilsvarer cirka 2,5 g/m<sup>2</sup> NaCl), men mengden tilsetningsstoff var ubetydelig i forhold til restsaltmengden som var igjen fra siste ordinære driftstiltak. Første målinger ble foretatt cirka en halv time etter tiltaket.

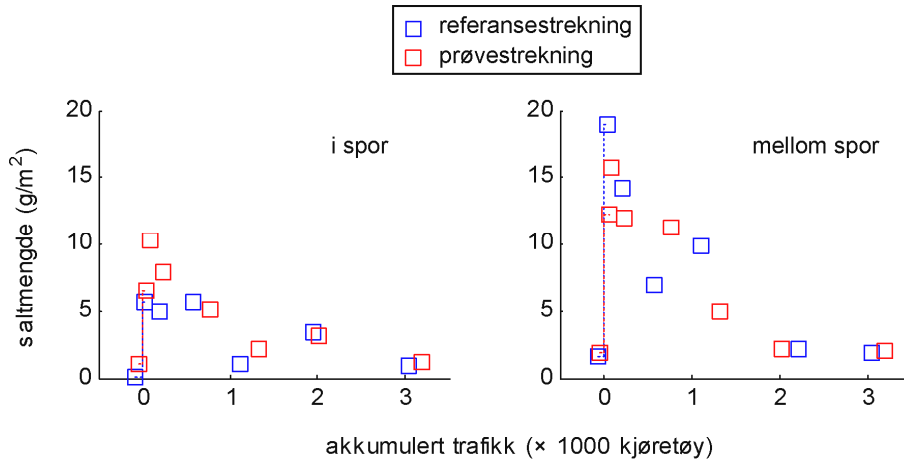
Restsaltforløpet i høyre spor og mellom hjulspor er presentert i Figur 7. Hvert datapunkt er gjennomsnittet av ti saltmålinger. Til tross for noe forskjell i vannmengden i mellomspor (100-200 g/m<sup>2</sup> på referansestrekning versus 300-400 g/m<sup>2</sup> på teststrekningen) viser Figur 7 at restsaltforløpet på begge strekningene veldig like.



Figur 7. Restsaltforløpet i kasus 1.

### 3.2 Kasus 2

Kasus 2 var et typisk tilfelle av en våt veibane. Det hadde snødd før tiltaket, i observasjonsperioden kom det litt nedbør som smeltet til vann. Det var observert tydelig vannsprut fra trafikken og vannmengden i mellomspor varierte stort sett mellom 100 og 400 g/m<sup>2</sup>. Restsaltforløpet, som er presentert i Figur 8, viser ingen tydelig forskjell mellom test- og referansestrekningen. Salttapet foregikk raskt. Etter 1500 kjøretøypasseringer var den største del av utlagte mengden fjernet fra vegbanen.

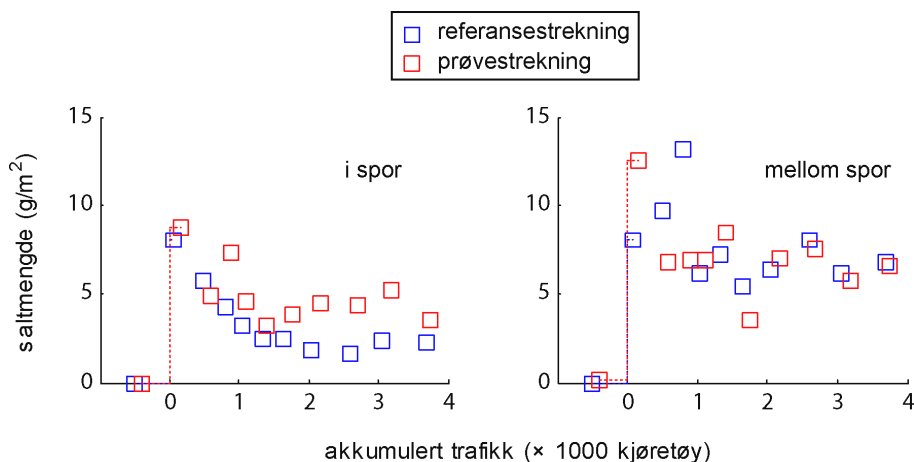


Figur 8. Restsaltforløpet i kasus 2.

### 3.3 Kasus 3

Kasus 3 var et tilfelle av en våt vegbane i oppholdsvær. Mengde vann på veg ble redusert relativt langsomt p.g.a. lite trafikk og mangel på solstråling. Restsaltforløpet er vist i Figur 9. Saltforløpet i mellom spor viste ingen forskjell mellom prøve- og referansestrekningen. I spor, mellom cirka 1500 og 3500 bilpasseringer, ble det målt noe høyere verdier på prøvestrekningen, i forhold til referansestrekningen.

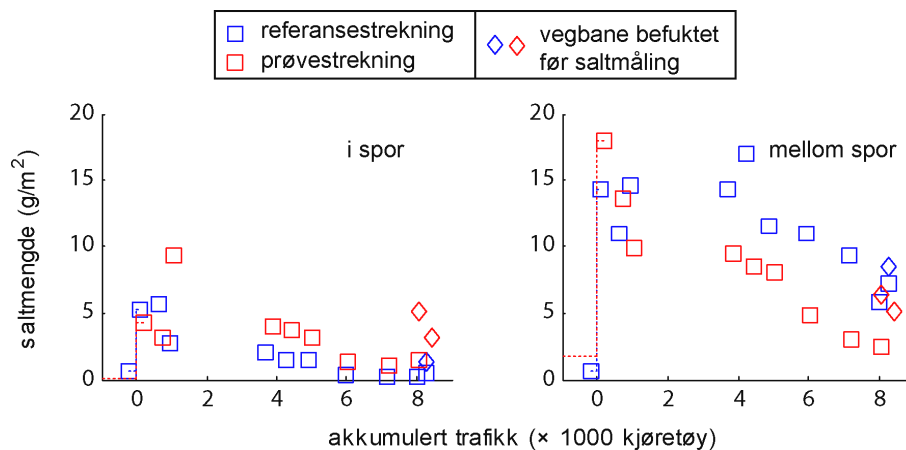
Selve test- og referansestrekningen var isfritt under hele observasjonsperioden, men midt på i krysset i enden av prøvestrekningen ble det observert at is begynte å danne seg, som er illustrert i Figur E-3 i Vedlegg E. Saltmengden i krysset var noe lavere enn på selve vegbanen som var fortsatt isfritt.



Figur 9. Restsaltforløpet i kasus 3.

### 3.4 Kasus 4

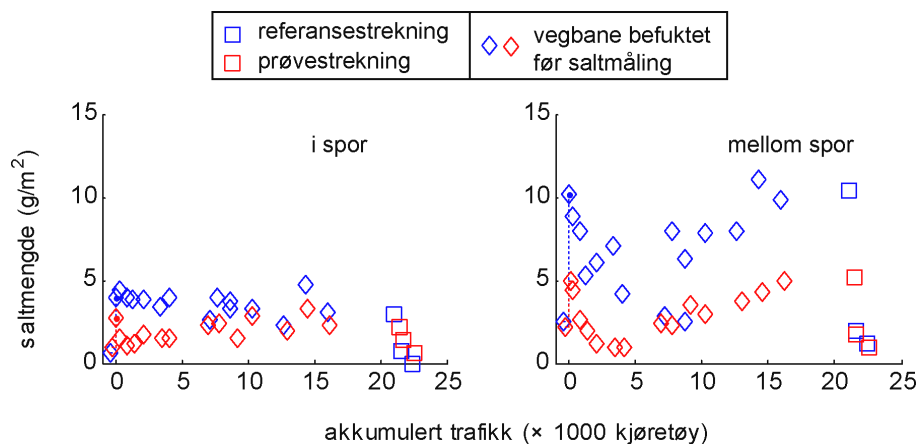
I begynnelsen av denne observasjonsperioden var det relativt lite fukt på veg (mindre enn  $100 \text{ g/m}^2$ ) og veibanen tørket opp i observasjonsperioden. Saltmålingene viste litt lavere salttap i mellomspor på referansestrekningen, i forhold til prøvestrekningen. Men i slutten av observasjonsperioden ble det funnet at målingene sannsynligvis ikke var valide på grunn av begrensningen av målemetoden (se kapittel 2.4.1). I de tilfeller hvor vegbanen var befuktet før saltmålinger ble det funnet høyere saltverdier.



Figur 10. Restsaltforløpet i kasus 4.

### 3.5 Kasus 5

I kasus 5 var veibanen fuktig/våt under utleggingen, men asfaltteksturen var ikke mettet med vann og det var nesten ingen sprut fra bilene. Vegen tørket opp innen to timer. Både på test- og referansestrekningen var holdte saltet seg forholdsvis veldig lenge på vegbanen. Dette tiltaket, både på test- og referansestrekningen hadde en varighet av mer enn 30 timer og mer enn 20 000 kjøretøy. Restsaltforløpet er gitt i Figur 11. Den tilsynelatende nedgang i saltmengden i mellomspor mellom 0 og 5000 kjøretøy skyldes sannsynligvis at det var for kort tid mellom befuktning og måling. Da denne effekten ble oppdaget ble et brukt mer ventetid mellom befuktning og måling, som resulterte i høyere saltmålinger. Da det kom regnvær hadde saltet forsvunnet fra vegbanen innen én time.



Figur 11. Restsaltforløpet i kasus 5.



## 4 DISKUSJON

Hypotesen som var testet i dette forsøket var at tilsetningsstoffer kan øke levetiden av salt på vegen kun når det er lite vann tilstede. Hypotesen er imidlertid kun gyldig i situasjoner hvor vegsaltet er, eller har vært, i oppløst tilstand på vegbanen. I praksis betyr dette når det brukes løsningsspredning, og i de perioder der tørt og befuktet salt, eller saltslurry har fått muligheter til å løse opp. Forklaringen for hypotesen er at når det er lite vann tilstedet, er det muligheter for at saltet krystalliserer ut. I dette tilfelle kan tilsetningsstoffet muligens forhindre at det alt vannet fordampes, og/eller saltkrystallene ble bedre "limt" til vegbanen. Når det er mye vann på veg vil både salt og tilsetningsstoff være i oppløsning. Her vil salttapet foregå via tap vann, dvs. ved sprut fra kjøretøy og muligens ved naturlig avrenning. Her vil tilsetningsstoffet ikke kunne påvirke salttapet.

Det er viktig å presisere at samlede data kun kan brukes for å sammenlikne nedgangen i saltmengde, og ikke absolutte saltmengde verdier. Dette skyldes både måletekniske begrensninger (beskrevet i kapittel 2.4.1) og usikkerheter fordi forskjellige spredere har blitt brukt for utlegging av test- og referanseløsningen.

Data som var samlet i Kasus 2 og 3 bekreftet den siste del av forklaringen til hypotesen. Det ble funnet at salttapet var lik på test- og referansestrekningen når det er mye vann på veg. Visuelle observasjonene bekreftet at tilsetningsstoffet (som var godt synlig pga. sin mørke farge), ble tapt i oppløst form (se Figur D-3 i vedlegg D). Salttapet gikk raskest i kasus 2, som også hadde høyeste mengder vann på veg, og en tilførsel av nedbør under observasjonsperioden (Det ble målt 1 mm nedbør, som tilsvarer  $1000 \text{ g/m}^2$  vann på veg). I slutten av Kasus 5, hvor det også begynte å regne, foregikk salttapet også veldig raskt (innen 1 time fall restsaltmengder fra  $5\text{-}10 \text{ g/m}^2$  til mindre enn  $1 \text{ g/m}^2$ ). Levetiden av saltet ble dermed begrenset av en nedbørperiode som tilførte vann på vegbanen, som fungerte som transportmedium for både salt og tilsetningsstoff.

Data som var samlet i Kasus 5 ga ikke støtte til forklaringen, og avkreftet dermed hypotesen. Saltet med tilsetningsstoff holdt seg lenge på vegen (over 30 timer og 20 000 kjøretøypasseringer), men det gjorde også saltet uten tilsetningsstoff. Begge hadde et likt forløp, som ble avsluttet da regn kom på vegbanen. De bildene som ble tatt 24 timer etter tiltak (Figur G-4 i vedlegg G) viser at saltet er mer synlig på prøvestrekningen enn på referansestrekningen. Dette er imidlertid kun kosmetisk; saltmålingene viser at det også ligger salt på referansestrekningen.

I kommunikasjon med vinterdriftspersonell virker det som det eksisterer en felles oppfatning at "*saltet forsvinner når vegen tørker opp*". Denne oppfatningen gir en logisk forklaring hvorfor tilsetningsstoffer tilsynelatende kan øke levetiden av saltet. Men resultatene av denne studie påpeker at salt som har blitt utkrystallisert muligens ikke forsvinner så fort som tidligere har blitt antatt. Oppfatningen "*saltet forsvinner når vegen tørker opp*" kan ha fått støtte av "ordinære" restsaltmålingen utført med SOBO20. Slike målinger, uten befukning av vegbanen, kan gi inntrykk at saltet har forsvunnet fra vegbanen fordi instrumentet ikke klarer å løse opp alt saltet som er tilstede.

Det er viktig å presisere at resultatene i denne studien ble oppnådd med salt som har vært i oppløsning, og har krystallisert ut pga fordampning av vannet på veg og gjelder derfor kun for spredning med saltløsning og alle andre tilfeller hvor saltet har fått muligheter til å løse opp. En tidligere studie på levetid av tørr og befuktet salt på relativ tørre vegoverflater konkluderte at 80-90 % av saltet hadde forsvunnet innen 15 minutter (Svanekil, 2007). Det er fremdeles mulig at det oppstår et betydelig tap av salt i fast form på grunn av vind og trafikk rett etter utleggingen, spesielt ved større kornstørrelse, men pga. begrensningen av brukte målemetoden (SOBO20 uten befuktning før måling) kan man ikke utelukke at mer salt var tilstede enn målingene viste.

## 5 KONKLUSJONER

Det har det ikke blitt funnet en økning av saltets levetid ved å bruke et tilsetningsstoff til saltløsning. I alle tester var levetiden av salt med tilsetningsstoff sammenlignbar med salt uten tilsetningsstoff.

På våte vegoverflater, hvor både vegsalt og tilsetningsstoffet var i oppløsning, foregikk salttapet likt, via de samme tapsmekanismer; nemlig sprut fra kjøretøy og muligens naturlig avrenning. Under disse forhold hadde tilsetningsstoffet ingen mulighet til å øke levetiden.

I en test hvor saltet krystalliserte ut på vegbanen (under opptørking av vegoverflaten), holdte saltet seg lenge på veg, både med og uten tilsetningsstoff. I dette spesifikke tilfelle var det etter 30 timer og mer enn 20 000 kjøretøypasseringer fortsatt ingen tegn at salt hadde blitt fjernet fra vegbanen, verken med eller uten tilsetningsstoff. Den lange varigheten i dette tilfelle ble rask begrenset da regn kom på vegbanen.

Den lange varighet av salt som har utkrystallisert etter fordampning av vannet motstrider den vanlige oppfatningen at "salt forsvinner når veien tørker opp". Det har funnet tydelige indikasjoner at det er måletekniske begrensninger av SOBO20 restsaltmålinger som forårsaker en underestimering av den reelle saltmengde på tørre vegoverflater.





## REFERANSER

Atkins,P. and de Paula,J., (2002), Physical Chemistry. Seventh edition. New York, Oxford University Press Inc.

Fullerton,G.D., Keener,C.R., and Cameron,I.L., (1994), Correction for solute/solvent interaction extends accurate freezing point depression theory to high concentration range. Journal of Biochemical and Biophysical Methods 29[3-4], 217-235.

Gabrielsson G. (2008) Sockerprodukter i kombinasjon med salt. presentasjon på Vinterdagene 2008 - Beitostølen, Norge.

Highways Agency, (2007), Use of ABP treated de-icing road salt - Task report. 212(387)WSPB/TR/A. Highways Agency.

Lysbakken,K.R. and Norem,H., (*i trykk*), Amount of Salt on Road Surfaces After Salt Application: Discussion of Mechanisms and Parameters. to be presented at the 7th international conference on snow removal and ice control technologies .

Mitchell,G.F., Hunt,C.L., and Richardson,W., (2004), Prediction of Brine Application for Pretreatment and Anti-Icing. Transportation Research Record 1877, 129-136.

Moore,D.F., (1975), The friction of pneumatic tyres. Amsterdam, Elsevier Scientific publishing Company.

Raukola,T., Kuusela,R., Lappalainen,H., and Piirainen,A., (2004), Anti-icing Activities in Finland: Field Tests with Liquid and Prewetted Chemicals. Transportation Research Record 1387, 48-56.

Rekstad,H. and Hardarson,V., (2005), Bestemmelse av frysepunkt til natrium-/magnesiumklorid løsninger. report nr TR F6174. Trondheim, SINTEF.

Svanekil,A., (2007), Forsøk med varmbefuktet salt for å forbedre friksjonen på vinterveger. Norges Teknisk-Naturvitenskapelig Unversitetet, institutt for Bygg, anlegg og transport.

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

Wilson,M., Burtwell,M., and Zohrabi,M., (2003), Assessment of Safecote de-icer product: Phase 2. Project Report PR/IS/13/02. Transportation Research Laboratory.



## VEDLEGG



## Vedlegg A meddragsforsøk

Dato: tirsdag 1. april 2008  
Type veiforhold: våt vegbane  
Start observasjon: kl 13:11  
Utlegging: kl 13:16  
Slutt observasjon: kl 14:41

### Mål

Målet med forsøket er å kvantifisere meddrag av salt fra referansestreking til prøvestrekingen.

### Beskrivelse av situasjonen

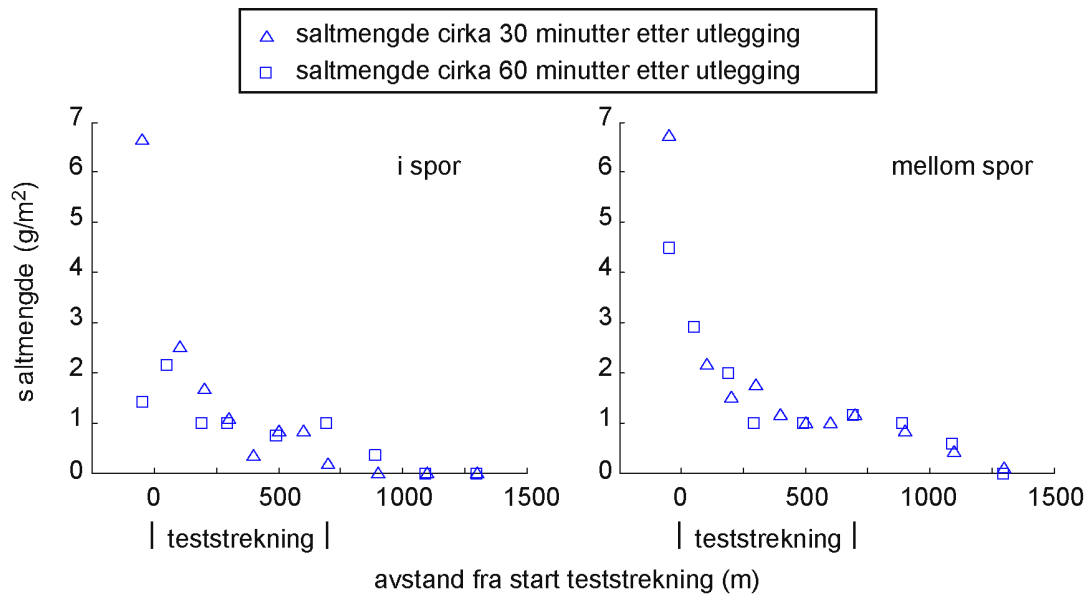
Dagen begynte med regn på formiddagen og testene var sett i gang da det ble oppholdsvær, som holdte seg under forsøket. Lufttemperaturen var 4°C og det var ingen snø eller is på veien. Før forsøket startet ble det målt restsalt på teststrekingen. Alle 20 målinger viste 0 g/m<sup>2</sup> salt og det var dermed ingen restsalt igjen fra tidligere utlegging. Det ble utført fuktmålinger i begynnelse, i midten, og i slutten av forsøket. Gjennomsnittsverdier av disse målinger er gitt i Tabell A-1.

**Tabell A-1 Mengde fukt på veg.**

Klokkeslett	Mengde fukt (g/m <sup>2</sup> )	
	i spor	mellom spor
13:23	186	169
14:06	69	101
14:41	29	73

På referansestrekingen ble det lagt ut 30 g/m<sup>2</sup> natriumkloridløsning (cirka 25 w%, som tilsvarer 7.5 g/m<sup>2</sup> natriumklorid). Restsaltmengden på prøvestrekingen ble målt cirka 30 og 60 minutter etter utleggingen på forskjellige distanser (nullpunktet ble lagt på begynnelse av prøvestrekingen). Selve prøvestrekingen var 700 m lang, men målingen ble fortsatt forbi prøvestrekingen til det var ingen målbare mengder salt igjen. Restsaltmålingene er presentert i Figur A-1.

Resultatene viser at restsaltmengden avtar raskt i første delen av teststrekingen, og at forfallet avtar med avstand. Mellom 400 og 700 m (hvor det ble målt salt i kasuser) var saltmengde på grunn av meddraget cirka 1-1,5 g/m<sup>2</sup>.



**Figur A-1 meddrag av salt fra referansestrekningen på prøvestrekningen. Hver datapunkt er gjennomsnittet av seks repetisjoner.**

## Vedlegg B: Produktspesifikasjon tilsetningsstoffet Safecote™

### TEKNISK DATABLAD

#### Typiske verdier(fersk basis)

		<u>Verdier</u>	<u>Analysemetode</u>
Tørstoff	%	56	Vakuum Oven, Karl Fischer
Fuktighet	%	44	Vakuum Oven, Karl Fischer
Sukker	%	15.7	Lane Eynon konstant volum
Organiske syrer	%	7.5	HPLC Organiske syrer
Betanin	%	9.5	HPLC Betanin analyse
Aminosyrer	%	1.5	Automatisk aminosyre analyse
Løselige mineralsalter	%	21.6	Mat syre forbrenning
Fiber	%	0	Mat metode
Olje	%	0	Oljemetode B

#### Mineraler

Kalium	%	6.0	Atomabsorpsjon
Natrium	%	0.9	
Kalsium	%	0	
Svovel	%	0.4	
Magnesium	%	0.04	
Fosfor	%	0.1	
Klorid	%	1.4	
Jern	mg/kg	80	
Sink	mg/kg	11	
Kobber	mg/kg	1.6	

#### Tungmetaller

Bly	mg/kg	<0.05	Akkreditert laboratorium
Arsen	mg/kg	<0.1	(LabCo bv, Rotterdam)
Kvikksølv	mg/kg	<0.02	
Kadmium	mg/kg	<0.01	

#### Fysiske egenskaper

pH	Enheter	7-8
Viskositet	cps ved 20 °C	50-100
Spesifikk vekt	Enheter	1.25
Tetthet	kg/m <sup>3</sup> 25 °C	1250
Lier/tonn	Enheter	775

Utgitt: 16. November 2007 ved : Tate &Lyle , Melasses Technical Department



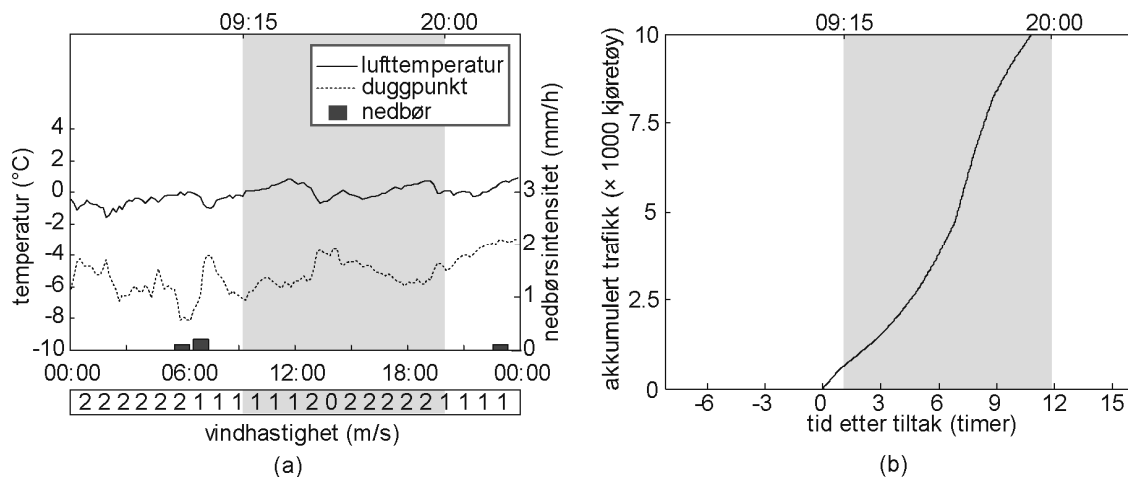


## Vedlegg C: Kasus 1

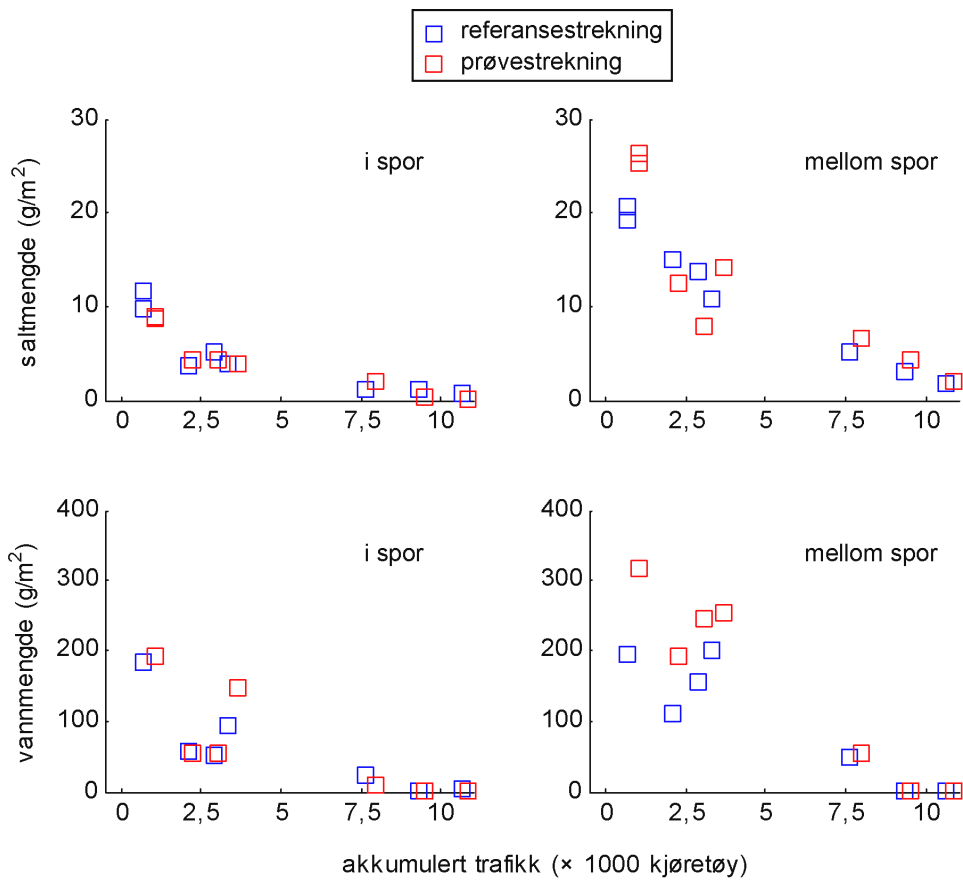
Dato: fredag 15. februar 2008  
Type veiforhold: våt vegbane  
Start observasjon: kl 08:10  
Utlegging: kl 08:13  
Slutt observasjon: kl 20:00

### Beskrivelse av situasjonen

Dagen begynte med oppholdsvær og en våt vegbane. Siste ordinære saltingstiltak på strekningen ble utført kl 08:13 med befuktet salt. Uleggingen foregikk kl 13:10 hvor det ble lagt ut 10 g/m<sup>2</sup> saltløsning på referansestrekningen og 10 g/m<sup>2</sup> saltløsning med tilsetningsstoff på prøvestrekningen. Det viste seg imidlertid at mengde restsalt fra ordinære saltingstiltaket var mye større enn det som blitt utlagt under forsøket. I denne kasus kan derfor betraktes som et tilfelle hvor tilnærmet like mengder befuktet salt har blitt tilført til både referansestrekningen og prøvestrekningen. Det kom ingen betydelig mengder med nedbør under testen og vegen ble gradvis tørrere men var fortsatt fuktig i slutten av observasjonsperiode. Klimadata er sammenfattet i Figur C-1. Forløpet i salt- og vannmengde er presentert i Figur C-2.



Figur C-1. (a) Klimadata og (b) trafikkdata den 15. februar 2008.



**Figur C-2. Salt- og vannmengden i spor og mellom spor, som en funksjon av akkumulert trafikk (15. februar 2008).**

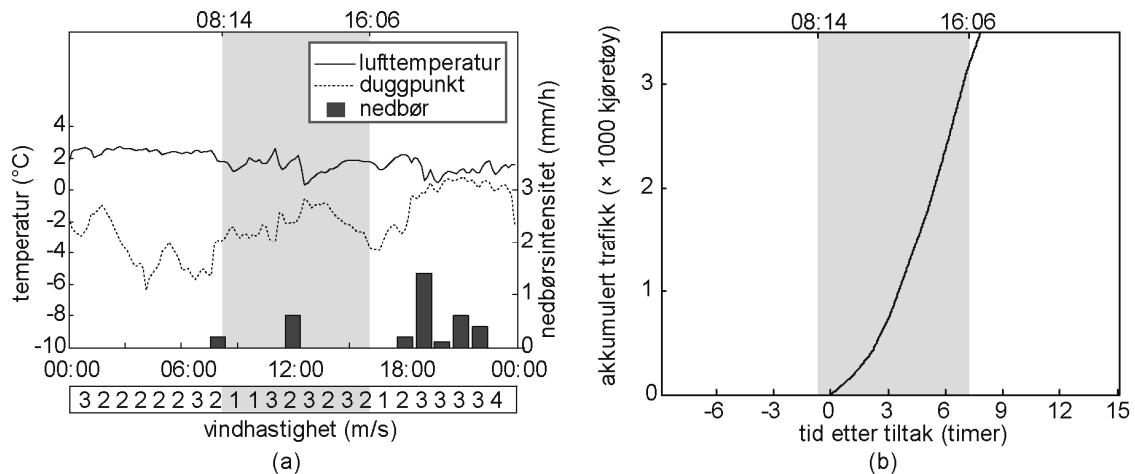
## Vedlegg D: Kasus 2

Dato: søndag 17. februar 2008  
Type veiforhold: våt vegbane  
Start observasjon: kl 08:14  
Utlegging: kl 09:54  
Slutt observasjon: kl 16:06

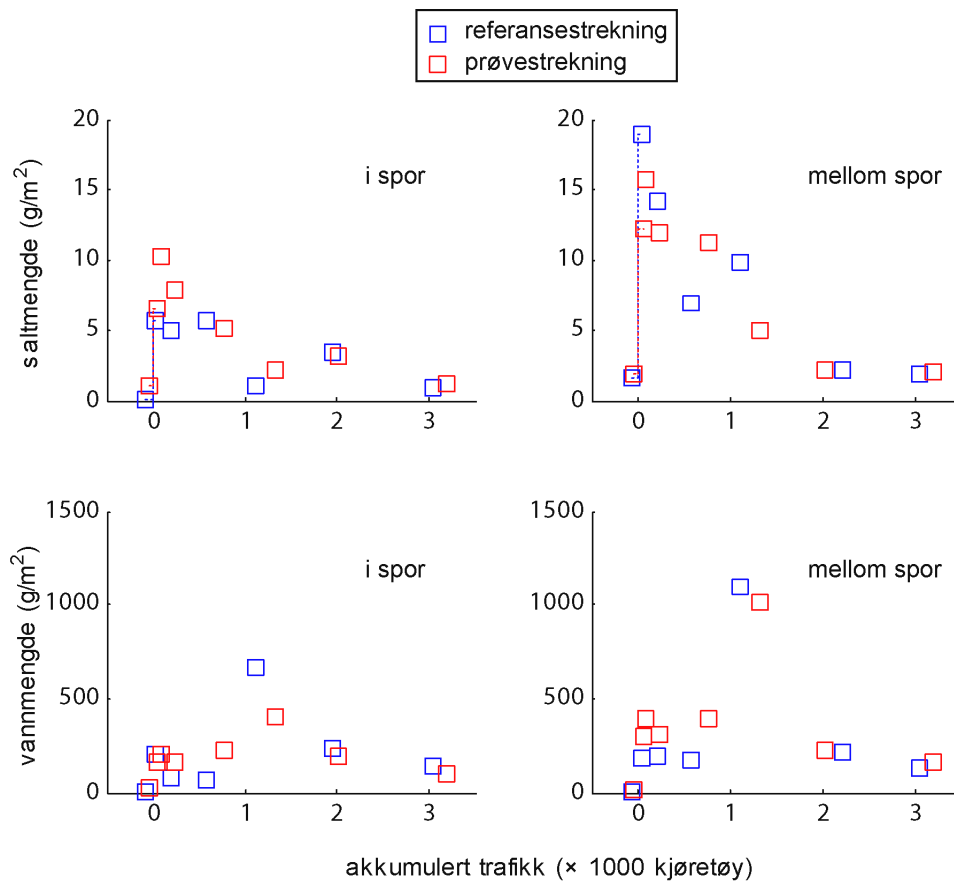
### Beskrivelse av situasjonen

Dagen begynte med oppholdsvær og veibanen var i ferd med å tørke opp. Høyre hjulspor fra høyre felt var allerede tørr. Cirka kl 09:30 begynte det å snø lett, som varte cirka 30 min. Det ble lagt ut  $3 \times 10 \text{ g/m}^2$  saltløsning på referansestrekning og cirka  $3 \times 12 \text{ g/m}^2$  saltløsning med tilsetningsstoff på prøvestrekningen. Første strøbilten hadde pløgen nede for å fjerne snøen som hadde lagt seg på veien. Snøen på veg begynte å endre konsistensen etter tiltaket og kl 10:45 var veien våt uten synlig snø eller slaps på vegbanen. Det ble observert at det tydelig sprutes fra trafikken. Kl 12:25 begynte det å snø, som varte cirka 15 min. Deretter ble det oppholdsvær fram til slutten av observasjonsperioden. Klimadata er sammenfattet i Figur D-1. Forløpet i salt- og vannmengde er presentert i Figur D-2.

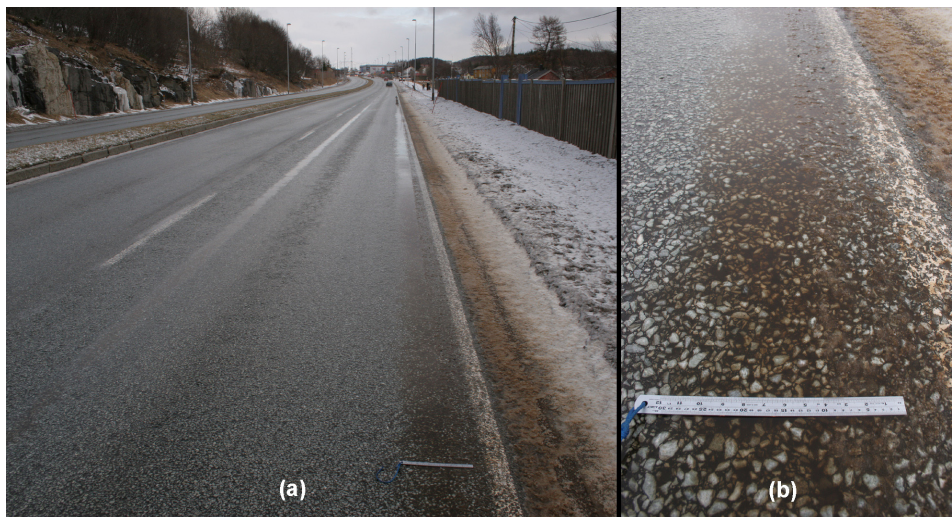
Kl 13:10 ble det observert at mye av testløsningen lo rundt sidelinje av veien, som er illustrert i Figur D-3. I selve hjulspor var det lite testløsning igjen.



Figur D-1. (a) Klimadata og (b) trafikkdata den 17. februar 2008.



Figur D-2. Salt- og vannmengden i spor og mellom spor, som en funksjon av akkumulert trafikk (17. februar 2008).



Figur D-3. (a) Teststrekningen kl 13:10 (etter cirka 1000 kjøretøy), en halv time etter et kort snøfall. Testløsningen er godt synlig pga brune farge og ligger mest i nærheten av sidelinje. I selve hjulsporet (til venstre for linjalen) er det lite testløsning igjen. (b) Detaljbilde av samme område.

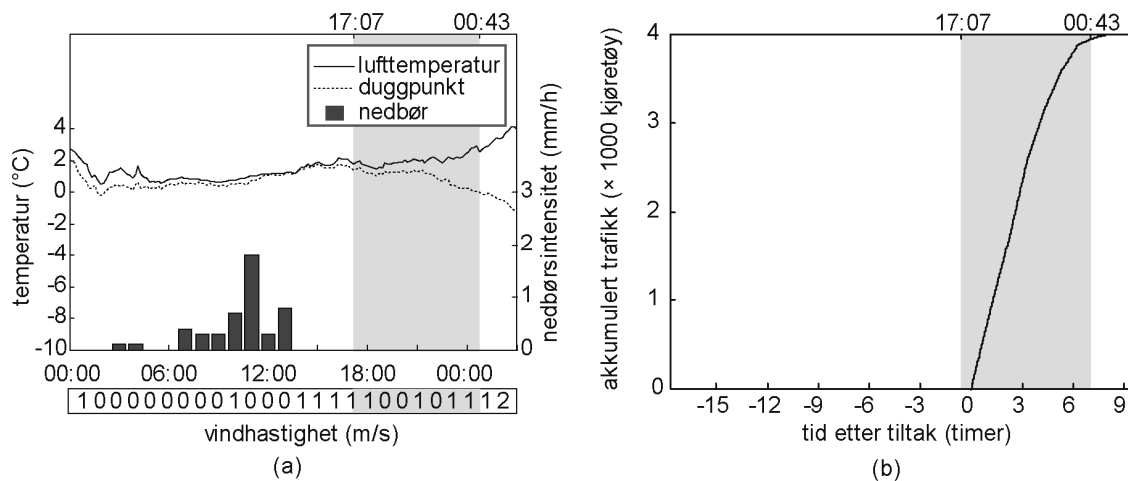
## Vedlegg E: Kasus 3

Dato: onsdag 20. februar 2008  
Type veiforhold: våt vegbane  
Start observasjon: kl 17:07  
Utlekking: kl 17:44  
Slutt observasjon: kl 00:43

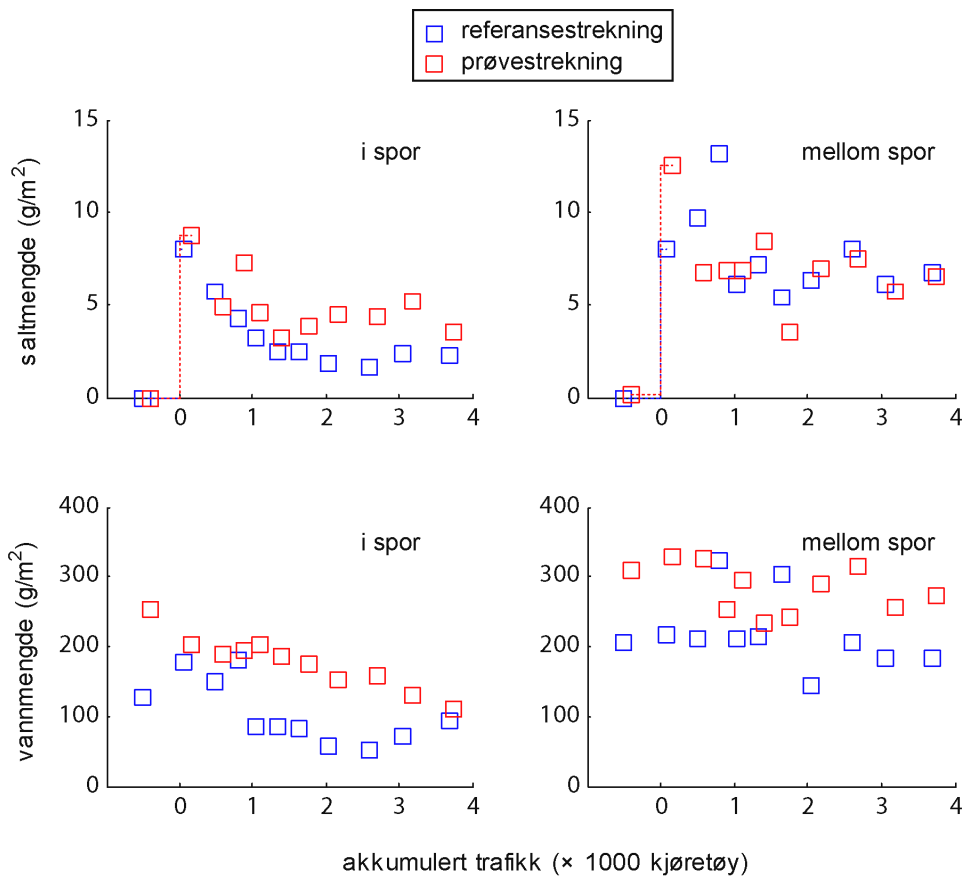
### Beskrivelse av situasjonen

På formiddagen regnte det nesten kontinuerlig fram til kl 13:30 og dagen fortsettet deretter med oppholdsvær. Hele formiddagen var asfaltteksturen mettet med vann og det var observert tydelig sprutt fra bilene. Kl 17:07 hadde mengden vann på veg redusert nok for å kunne starte forsøket. Det ble lagt ut  $3 \times 10 \text{ g/m}^2$  saltløsning på referansestrekning og  $3 \times 12 \text{ g/m}^2$  saltløsning med tilsetningsstoff på prøvestrekningen. Under hele observasjonsperioden var det oppholdsvær, men vegen tørket opp relativt sakte pga lite trafikk, lite vind og mangel på solinnstråling. Seint på kvelden begynte det å klare opp og  $\pm$  kl 0:30 ble det lagt merke til at det hadde blitt en skyfri himmel. Klimadata er sammenfattet i Figur E-1. Forløpet i salt- og vannmengde er presentert i Figur E-2.

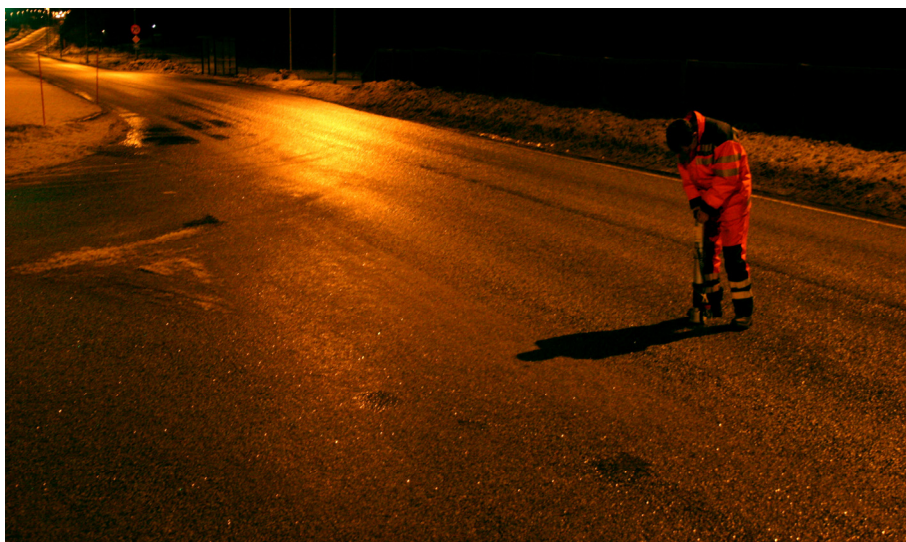
Kl 00:57 ble det observert at is begynte å danne seg is, midt i krysset hvor prøvestrekningen sluttet og på de hvitmalte overflater (piler og sidelinje) før krysset. Selve kjørefeltene var fortsatt isfritt. Iskrystallene var løse (ikke en kontinuelle islag) og glistret i motlyset av gatebelysning (se Figur E-3). Midt i krysset og på kjørebane ble det henholdsvis målt 1 og 3  $\text{g/m}^2$  salt. Asfalten kjentes ikke spesielt glatt, men de hvitmalte overflater hadde blitt merkbart glattere.



Figur E-1. (a) Klimadata og (b) trafikkdata den 20. februar 2008.



Figur E-2. Salt- og vannmengden i spor og mellom spor, som en funksjon av akkumulert trafikk (20. februar 2008).



Figur E-3. Krysset ved enden av prøvestrekningen KI 00:57. Legg merke til glitringen av iskrystaller nederst til venstre i bilde. Selve kjørefeltene er fortsatt isfritt.

## Vedlegg F: Kasus 4

Dato: torsdag 21. februar 2008  
Type veiforhold: i begynnelsen: våt/fuktig, i slutten: tørr vegbane  
Start observasjon: kl 10:36  
Utlekking: kl 14:04  
Slutt observasjon: kl 21:58

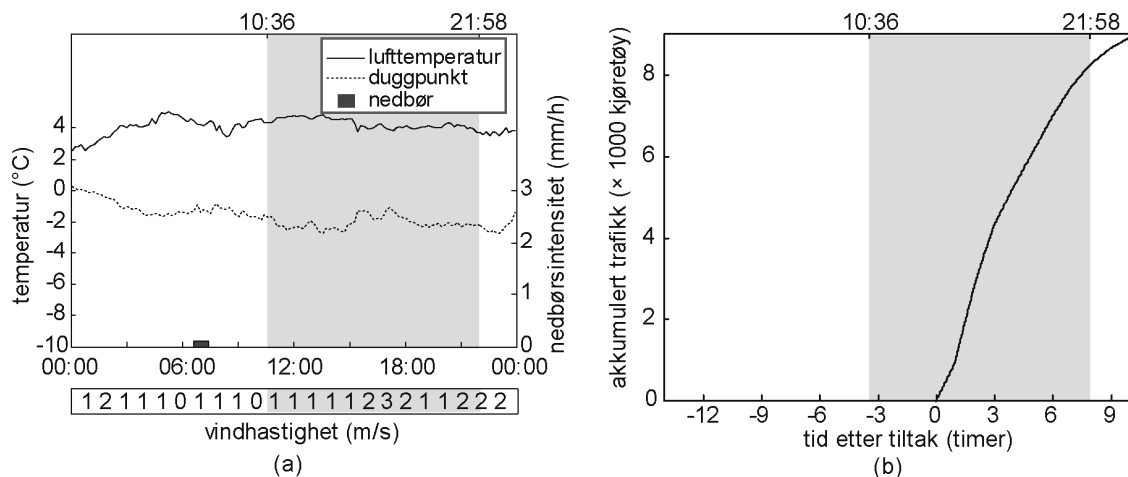
### Beskrivelse av situasjonen

I begynnelsen av observasjonsperioden var veien fuktig/våt, mens asfalten ikke var mettet med vann. Utlekking fant sted kl 14:04 med  $3 \times 10 \text{ g/m}^2$  saltløsning på referansestreking og  $3 \times 12 \text{ g/m}^2$  saltløsning med tilsetningsstoff på prøvestrekingen. Cirka kl 18:00 (4 timer og 6000 kjøretøy etter tiltak) var veien nesten tørr, både i spor og mellom spor. Klimadata er gitt i Figur F-1. Forløpet i salt- og vannmengde er presentert i Figur F-2.

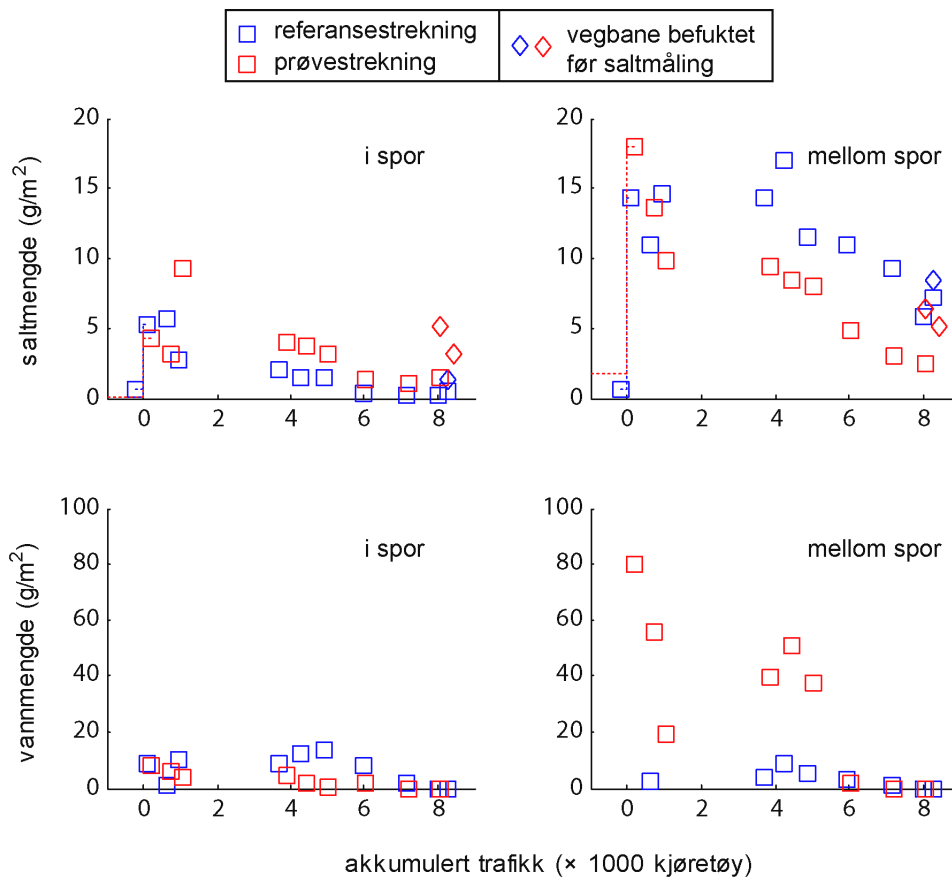
### Observasjoner

Kl 21:30 ble det vurdert en hypotese at den observerte nedgående trend i saltmengde ikke bare skyldes tap av salt, men også på grunn av målebegrensninger av restsaltmåleren. (se kapittel 2.4.1 for detaljene)

Veibanen ble befuktet med vann før restsaltmålinger ble foretatt. På referansestrekingen økte målte verdien med cirka  $1 \text{ g/m}^2$ , mens på prøvestrekingen var økningen cirka  $4 \text{ g/m}^2$ . Det er viktig å påpeke at befuktningen her foregikk med å sprinkle vann fra en flaske på vegbanen. Med denne befuktningsmetoden var det vanskelig å unngå at vann begynte å avrenne.



Figur F-1. (a) Klimadata og (b) trafikkdata den 21. februar 2008.



**Figur F-2. Salt- og vannmengden i spor og mellom spor, som en funksjon av akkumulert trafikk (21. februar 2008).**



## Vedlegg G: Kasus 5

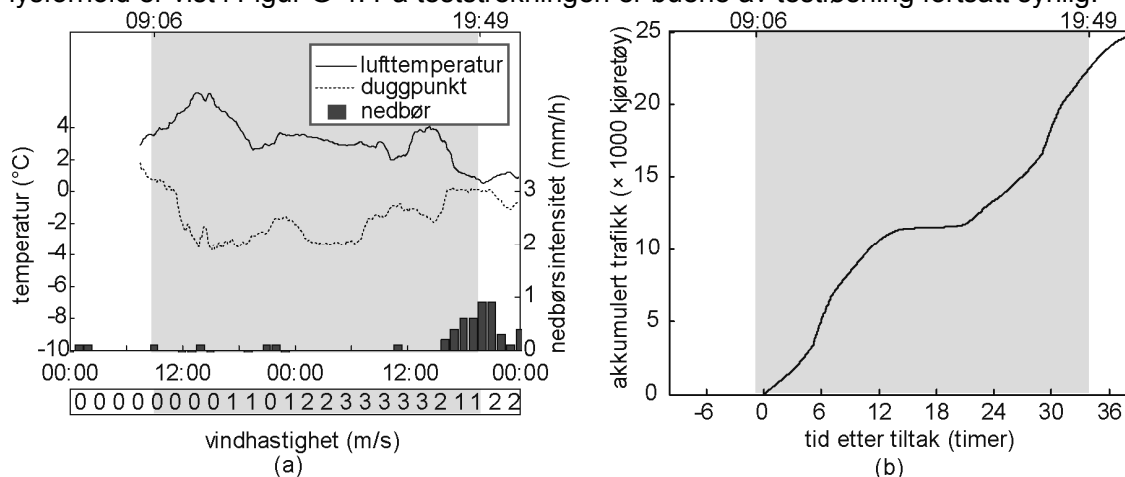
Dato: 2. og 3. april 2008  
Type veiforhold: våt og tørr vegbane  
Start observasjon: 2. april kl 09:06  
Utlegging: 2. april kl 09:55  
Slutt observasjon: 3. april kl 19:49

### Beskrivelse av situasjonen

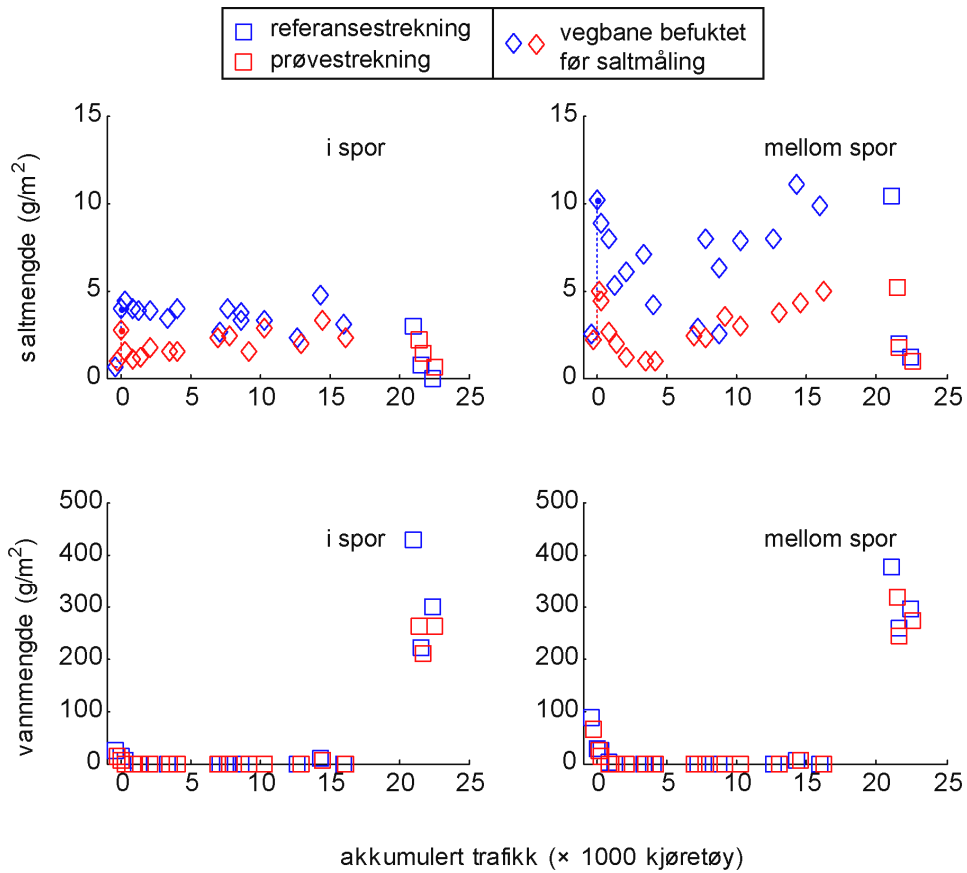
I begynnelsen av observasjonsperioden var veibanen fuktig/våt (asfaltteksturen var ikke mettet med vann). Kl 9:55 ble det lagt ut  $1 \times 30 \text{ g/m}^2$  saltløsning på referansestrekning og  $1 \times 30 \text{ g/m}^2$  saltløsning med tilsetningsstoff på prøvestrekningen. Det regnet litt under utleggingen, men det sprutt fra bilene var bare så vidt synlig. Det var stort sett oppholdsvær utover dagen. Rundt kl 12:00 hadde veien tørket opp. Oppholdsværet fortsettet til neste dag kl 11:00 hvor det kom i en kort periode litt regn, men nedbørsmengden var her nok til å gjøre veien særlig våt. Kl 16:30 begynte det å regne igjen, som økte i intensitet. Kl 19:49 var saltmengden var ned til  $1 \text{ g/m}^2$ . Klima- og trafikdata er presentert i Figur G-1. Salt- og vannmengder er presentert i Figur G-2.

Bortsett fra de målingene i siste regnperioden ble veioverflaten befuktet før saltmålingene ble foretatt. Saltmengden holdte seg stabilt helt til siste regnværet på 3. april kl 16:30. Den tilsynelatende nedgang i saltmengden i mellomspor mellom 0 og 5000 kjøretøy skilles sannsynligvis at det var for kort tid mellom befuktning og måling. Da denne effekten ble oppdraget ble et brukt mer ventetid mellom befuktning og måling, som resulterte i høyere saltmålinger.

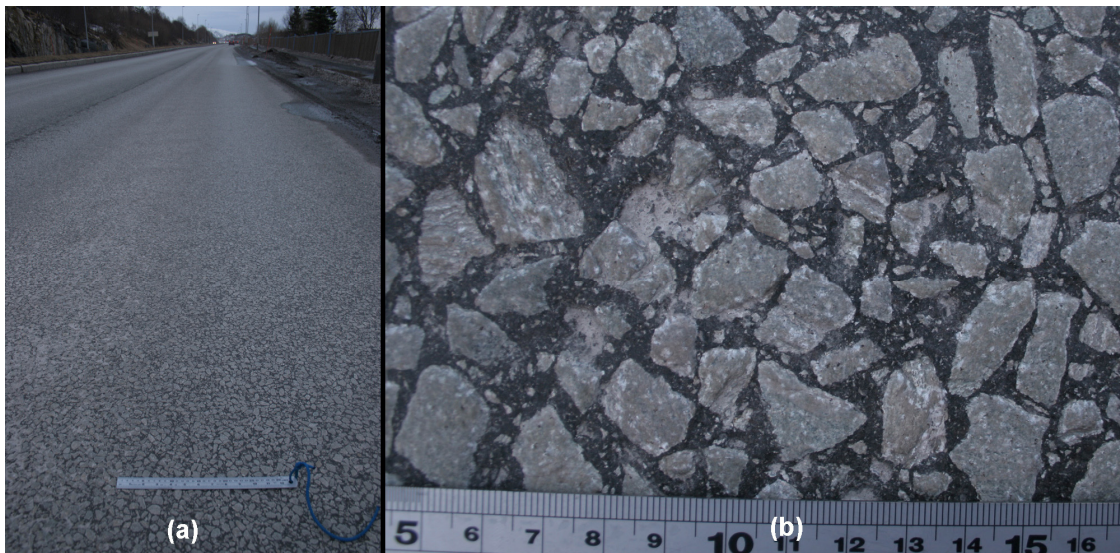
Da vegen hadde tørket opp ble det observert at, spesielt på referansestrekningen, asfaltoverflaten var hvitere enn normal. Inspeksjon av asfaltteksturen viste kvite saltkrystaller, se Figur G-3. Den 3. april kl 09:50, 24 timer og 12 500 kjøretøypasseringer etter tiltak, ble det tatt bilder fra en kjørende inspeksjonsbil. På teststrekningen var saltet mer synlig pga det mørke farge av tilsetningsstoffet. Bildene, som er tatt under samme lysforhold er vist i Figur G-4. På teststrekningen er buene av testløsning fortsatt synlig.



Figur G-1. (a) Klimadata og (b) trafikdata den 2. og 3. april 2008.



Figur G-2. Salt- og vannmengden i spor og mellom spor, som en funksjon av akkumulert trafikk (2. og 3. april 2008).



Figur G-3. (a) Opptørket salt på referansestrekningen gjør at vegoverflaten blir "hvitere". (b) Nærbilde av område viser utkrystalliserte saltet.



**Figur G-4. Oversiktsbilde av (a) referansestrekning, og (b) teststrekning, 24 timer, og 12500 kjøretøypasseringer etter tiltak. Bildene er tatt kort etter hverandre under samme lysforhold. På teststrekningen kan man fortsatt se buene av testløsning, som var ikke synlig på referansestrekningen.**



**Statens vegvesen**

Statens vegvesen Vegdirektoratet  
Postboks 8142 Dep  
N - 0033 Oslo

Tlf. (+47 915) 02030  
E-post: [publvd@vegvesen.no](mailto:publvd@vegvesen.no)

ISSN 1504-5005