

Intern rapport nr. 2342

Vinterfriksjonsprosjektet – forsøk med befuktning med magnesiumkloridløsning i Oslo sesongen 2002/2003



Januar 2004

Teknologiavdelingen

Intern rapport nr.2342

Vinterfriksjonsprosjektet – forsøk med befuktning med magnesiumkloridløsning i Oslo sesongen 2002/2003

Sammendrag

Målsettingen med Vinterfriksjonsprosjektet har vært å finne frem til hvilke friksjonstiltak og metoder som bør benyttes under gitte forhold (hensyn tatt til stedlige, trafikkmessige og klimatiske forhold). Prosjektet har vært driftsorientert, og målet har vært å komme frem til praktisk anvendelige metoder og anbefalinger.

En viktig del av Vinterfriksjonsprosjektet har vært å se på bruk av kjemikalier, og prosjektet rundt magnesiumklorid ($MgCl_2$) har kommet i stand på initiativ fra Statens vegvesen Oslo med bakgrunn i observasjoner som ble gjort sesongen 2000/2001 i forbindelse med at enkelte saltingstiltak ble utført med $MgCl_2$ i fast form. Uten at det ble direkte dokumentert, tydet resultatene på en lengre varighet av tiltak utført med $MgCl_2$ sammenlignet med tradisjonell strøing med Natriumklorid ($NaCl$).

Målsettingen med prosjektet på $MgCl_2$ har vært både å se hvilke muligheter $MgCl_2$ gir for å operere ved lavere temperaturer, samt å se på varigheten av tiltak, opptørkingstid og saltforbruket sammenlignet med $NaCl$. En av hensiktene med prosjektet har også vært å se om ulike metoder gir forskjellig virkning når det gjelder friksjon og friksjonsutvikling på forskjellige føretyper.

Vegnettet innenfor Ring 3 er valgt som studieområde. Prosjektet gjennomføres som et 3-årig prosjekt. Det ble startet opp sesongen 2001/2002, og vil gå ut sesongen 2003/2004.

Resultatene etter de 2 første sesongene gir interessante indikasjoner både i forhold til reduserte saltmengder og høyere friksjonsverdier ved lave temperaturer ved befuktning med $MgCl_2$ -løsning, men det er for tidlig å trekke sikre konklusjoner.

Emneord: *Vinterdrift, salting, magnesiumklorid, friksjon,, veistøv*

Kontor: *Veg- og trafikkfaglig senter*

Saksbehandler: *Øystein Larsen/Roar Støtterud*

Dato: *Januar 2004*

Statens vegvesen, Vegdirektoratet

Teknologiavdelingen

Postboks 8142 Dep, 0033 Oslo

Telefon: 22 07 39 00 Telefax: 22 07 34 44

Innholdsfortegnelse

1	INNLEDNING	1
1.1	BAKGRUNN	1
1.2	AKTUELLE PROBLEMSTILLINGER	1
1.3	MÅLSETTING	2
1.4	KOSTNADER VED ENDRET DRIFTSOPPLEGG	2
1.5	ORGANISERING AV PROSJEKTET	2
1.6	OPPBYGGING AV RAPPORTEN	3
2	EGENSKAPER TIL FORSKJELLIGE TYPER KJEMIKALER OG VIRKNING AV ULIKE BLANDINGER	4
2.1	ALTERNATIVE KJEMIKALIER	4
2.1.1	<i>Generelt</i>	4
2.1.2	<i>Natriumklorid (NaCl)</i>	4
2.1.3	<i>Magnesiumklorid (MgCl₂)</i>	5
2.1.4	<i>Kalsiumklorid (CaCl₂)</i>	5
2.2	BETYDNINGEN AV BEFUKTNING FOR Å ØKE VIRKNINGSGRADEN	6
3	UNDERSØKELSEOPPLEGG	10
3.1	GENERELT	10
3.2	FORSØKSOMRÅDE	10
3.2.1	<i>Nærmere beskrivelse av saltingsmetode i forsøksområdet</i>	10
3.3	REGISTRERINGSOPPLEGG	13
3.3.1	<i>Maskiner til disposisjon / friksjonsmåling</i>	13
3.3.2	<i>Friksjonsmålinger med egen målebil</i>	13
3.3.3	<i>Klimadata</i>	14
3.3.4	<i>Trafikkdata</i>	15
3.3.5	<i>Fotografering for å dokumentere opptørkingstiden</i>	15
3.3.6	<i>Kjemiske analyser</i>	15
4	RESULTATER	16
4.1	KLIMADATA	16
4.2	TRAFIKKTALL	21
4.3	TILTAKSREGISTRERINGER	24
4.4	FRIKSJONSMÅLINGER	29
4.5	FOTODOKUMENTASJON	42
4.6	MENGDER AV ULIKE STOFFER	42
4.7	OPPSUMMERING	42

Summary

Background

One of the main activities in the Norwegian Winter Friction project has been to carry out a testing program (scientific studies) to document performance of different friction improvement methods. The goal has been to come up with a recommendation what the best method under different conditions is. An important part of the Winter Friction Project has been to study the use of chemicals.

The project on the use of magnesium chloride was initiated by Public Roads Administration in Oslo on the background of observations during the winter season 2000/2001 in connection with some salting actions with magnesium chloride in solid form. Even if it was not documented in a scientific way, the results indicated a longer lasting effect compared to the use of sodium chloride and thereby indicating that transfer to more use of magnesium chloride can effect the total salt consumption.

Goal

In Norway it is most common to use NaCl in the winter maintenance both as preventive actions and as a de-icer. Sea salt is the most common salt in Norway, and in some extent also rock salt. Spreading of salt can be done with different methods according to a recommended salt table. This table is a guidance to support the choice of method and amount of salt from the prevailing road- and weather conditions.

Even if salting by use of NaCl has a broad application in Norway, it is well known that NaCl has some limitations. These limitations are first and foremost due to the chemical performance implying that NaCl can not be used below -10 degrees C. The normal temperature limit for application of NaCl is -6 degrees C.

The main goal with the magnesium chloride project has been to verify how the amount of salt is affected by alternative salting methods and also study which possibilities magnesium chloride gives to operate under temperatures where sodium chloride does not work. In addition it has been an aim for the project to investigate the duration of an action and time to dry up the road surface after salting with different chemicals. One of the hypotheses has been that magnesium chloride due to the fact that this is a hygroscopic salt, under certain conditions can result in slippery road conditions. One of the purposes has therefore been to study how different methods effects on friction and friction development under varying winter road conditions. The development in friction can be an indicator on the effects that can be expected on the road conditions by use of different salting methods.

Besides studying the deicing effect and consequences on the friction, it has also been given focus to the environmental issue. From an environmental point of view it will be of importance to reduce the amount of salt. Longer time before the road surface dry up can result in less dust and lastly magnesium chloride can reduce the negative impact on organisms and vegetation along environmentally exposed surroundings like parks in cities.

Alternative chemicals

Is well known that there are alternatives to NaCl with other properties both in regards to the temperature range for application as a de icing agent and effects on binding dust on the road surface during the winter time (not only on gravel roads in the summer time). So far this has not been documented under Norwegian conditions.

Due to high price compared to NaCl, MgCl will not be used as a de icing agent in solid form or as a solution. The method considered as the most actual alternative is to prewet solid NaCl with a MgCl solution.

The phase diagrams for the three chloride solutions differ from each other especially at temperatures below -10°C . For a given pavement temperature below 0°C but above the eutectic temperature of NaCl, a MgCl_2 solution will refreeze at a lower concentration than the corresponding concentrations of either CaCl_2 or NaCl at the same temperature. For example, the refreeze concentration of MgCl_2 at -10°C is about 11 percent while the refreeze concentrations of CaCl_2 and NaCl at that temperature are about 12.5 percent and 13.5 percent, respectively. This means that MgCl_2 brines can be diluted more than CaCl_2 and NaCl before refreezing at a given temperature.

However, once the dilution process starts, the slope of the MgCl_2 curve rises faster than do the refreeze temperatures both of CaCl_2 and NaCl. The slope of the MgCl_2 curve to the left of its eutectic concentration is steeper than the slope of either the CaCl_2 or NaCl curves until the three brine concentrations reach about 5 percent or a corresponding temperature of about -3°C . Between this temperature and 0°C , all three brines have about the same refreeze characteristics.

This also illustrates that it is natural to test the properties of MgCl_2 related to NaCl since the difference in freezing characteristics is greatest for these two chlorides within the actual temperature range.

Test area and salting method

The test area comprises 42 km road network in the inner city of Oslo. Figure 1 show a part of the road network within the test area.



Figure 1: Part of the test area

The main method used on this road network is prewetted sodium chloride with a 20 % solution of magnesium chloride added. The proportion is 70 % solid salt and 30 % brine in percentage of weight. The roads in the test area are treated with this method with exception of a road section where solid NaCl is prewetted with a NaCl solution. This road section is used as a reference for the standard salting method.

To ease the change between the two different liquid solutions, the spreader has been modified by mounting an extra tank for the NaCl solution. The change between the two tanks is controlled by a button on the control panel giving a signal to a valve.

The project has been going on for 2 winter seasons now, and will be finally reported in 2004 after the 2003/2004 season. The results after two winter seasons shows some interesting tendencies towards less salt consumption with the method based on prewetting with magnesium chloride. There are however some uncertainty in what way the friction is effected.

Testing procedure

The following data has been registered:

- Operational data from the truck
- Friction measurements by use of a friction trailer
- RWIS data
- Traffic volume

In addition chemical analysis will be conducted to study the effects on plants, earth organisms and fresh water biotopes.

Operational data from the truck

The operational data for the road network in the test area is registered by use of an automatic data recording system on the truck based on GPS/GSM function.

Friction measurements by a friction trailer

Friction measurements were made by use of a Roar Mark I friction trailer with a standard ASTM measuring wheel.

The friction measurements are used as the main data to evaluate the effect from the different salting methods, and two road sections were chosen to make a comparison between the two methods. The magnesium chloride method on NR 161, Kirkeveien (marked with green in Figure 1) and the sodium chloride method on NR 168, Sørkedalsveien (marked with red in Figure 1).

On parts of the road sections where friction measurements are made, there were made a resurfacing with new asphalt during the summer 2002. This makes it possible to study in what extent the type of asphalt influence on the friction measurements.

RWIS data

The main source for climate data is a RWIS station at Maritim. The data are recorded every 20 minutes, and a routine has been set up to convert the data to 1 hour intervals.

Results

If the temperature limit for the use of Sodium Chloride is set to -6 degrees C, the portion of the time where the air temperature was falling below this limit is as shown in table 1 on the next page.

Both in November, December, January, February and the first days in March the air temperature was below -10 °C for shorter periods of time, and there were longer periods with temperatures in the range -5 to -10 °C. This indicates several cases with salting actions beyond the temperature range for NaCl the winter season 2002/2003. For the season as a whole the air temperature was below -6 °C in 19 % of the time.

Table 1: Portion of the time with air temperature falling below -6 degrees C.

Month	Portion of the time below -6 degrees C
November	5 %
December	39 %
January	41 %
February	15 %
March	1 %
November – March	19 %

Summarized over the whole winter season it was registered 86 salt days on NR 161 (prewetting with $MgCl_2$ -liquid) and 103 salt days on NR 168 (prewetting with $NaCl$ -liquid). In the period November 2002 – March 2003 it was carried out a total of 135 salting actions on Kirkeveien and 154 salting actions on Sørkedalsveien. The total amount of salt converted to consumption per m^2 showed that it was spread $0.67 \text{ kg salt}/m^2$ on Kirkeveien and $1.45 \text{ kg salt}/m^2$ on Sørkedalsveien. This is equivalent to a difference of 216 %, i.e. through the winter season 2003/2004 there were used the double amount of salt per square meter on Sørkedalsveien compared to Kirkeveien.

There is a difference in the daily traffic variation between the two road sections which in some situations can influence on the development in the road condition. It is not known in detail how much the traffic is effecting on the salt consumption locally in the study area, but from the traffic volume it does not seem that the difference in the total amount of salt used can be explained by traffic differences. It is important however to underline the fact that there are some differences in topography, direction and surroundings which possibly can influence on the need for salting actions on the two roads. The difference in the number of actions and total amount of salt per area unit should in any case for a certain part be claimed as a result of the salting methods, and indicates that prewetting with $MgCl_2$ solution can lead to a reduction both in the number of salting days and actions and reduced salt consumption. Further investigation is needed to verify the real reduction in salt consumption.

The friction measurements gave interesting results especially in one occasion. During a snowfall 2. – 6. January, the temperature was down to $-16 \text{ }^{\circ}\text{C}$, and the friction was markedly higher on NR 161 with $MgCl_2$ liquid than on NR 168 with solid $NaCl$ prewetted with a $NaCl$ liquid. This gives an interesting perspective for the use of the $MgCl_2$ method at very low temperatures.

There are no significant differences between Kirkeveien and Sørkedalsveien when comparing mean values from all the friction measurements. There is however interesting tendencies in the data material when looking on observations made under temperatures below $-6 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Even if the difference is not statistical significant, the mean value for the coefficient of friction is highest for Kirkeveien, i.e. were it is used prewetting with $MgCl_2$ liquid. The difference in average friction level between the two salting methods was especially evident on the road sections with new asphalt at temperatures below $-6 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

It is too early to draw final conclusions after two winter seasons with the trials with prewetting $NaCl$ with $MgCl_2$ liquid in Oslo. The results so far are promising and underlines that it is important to continue the project at least one more season to verify the findings both with regards to the salt consumption and how suitable the method is under extreme weather conditions with low temperatures.

Definisjoner/forklaringer

Endotermisk	Ved en endotermisk reaksjon er det behov for 100 % tilførsel av ekstern varme for å løse opp saltet
Eksotermisk	At et salt er eksotermisk vil si at saltet avgir varme når det går i løsnings. Dette skjer på den måten at når saltkornene absorberer fuktighet, utvikles det varme som øker smeltehastigheten
Eutektisk temperatur/ konsentrasjonen	Den laveste temperaturen (teoretisk) blandingen forblir i løsnings og tilhørende konsentrasjon
Fasediagram	Beskriver løseligheten av et ismeltemiddel og relaterer den kjemiske konsentrasjonen til frysetemperaturen
Friksjonskoeffisient	Friksjonskoeffisienten benevnes med den greske bokstaven μ , og er et mål for kreftene som virker mellom to flater. For is vil friksjonskoeffisienten vanligvis ligge i området 0,15-0,20 og for snøføre i området 0,25-0,30. En friksjonskoeffisient på 0,15 tilsvarer en bremselengde på 168 m ved en fart på 80 km/t. Med samme fart og friksjonskoeffisient på 0,30 er bremselengden 84 m
Hygroskopisk	Hygroskopiske kjemikalier kan absorbere fuktighet fra omgivelsene. Denne egenskapen gjør at smelteprosessen kan starte selv om det ikke er vann til stede
Statistisk signifikant	Dersom konfidensintervallene for gjennomsnittsverdien av to grupper av data ikke overlapper hverandre, er forskjellen statistisk signifikant
Ferskvannsbiotop	Leveområder for planter og organismer
Jordorganismer	Organismer som lever i jordsmonnet
Økotoksikologisk	Økotoksikologi er læren om forurensende stoffers spredning og opptak i organismer samt virkninger på individer og økosystemer

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Prosjektet er kommet i stand på initiativ fra Statens vegvesen Oslo med bakgrunn i observasjoner som ble gjort sesongen 2000/2001 i forbindelse med at enkelte saltingstiltak ble utført med magnesiumklorid ($MgCl_2$) i fast form. Uten at det ble direkte dokumentert, tydet resultatene på en lengre varighet av tiltak utført med $MgCl_2$ sammenlignet med tradisjonell strøing med Natriumklorid ($NaCl$).

Det har vært naturlig å se forsøk med $MgCl_2$ i sammenheng med Vinterfriksjonsprosjektet hvor det er dokumentert at det gjennom systematisk arbeide er mulig både å utvikle nye teknikker og forbedre eksisterende metoder innenfor friksjonsforbedrende tiltak. Det ser ut til å være et stort potensiale både i forhold til å bedre resultatene på veg, øke effektiviteten og redusere mengdene strømidler som brukes. I dette ligger det også en samfunnsøkonomisk gevinst ved at det blir større effekt av de midlene som går til vinterdrift, samt at eventuelle miljøulempen blir redusert.

Selv om det er oppnådd mange viktige resultater gjennom Vinterfriksjonsprosjektet, er det fortsatt nødvendig med en systematisk og langsiktig satsing på FoU innenfor vinterdrift. Bl a når det gjelder strøing med salt er det et stort behov for videre arbeid, og det forventes resultater som vil kunne få stor betydning for metodevalg, driftsrutiner og saltforbruk. Bruk av alternative kjemikalier er også et viktig tema i det videre arbeidet.

1.2 Aktuelle problemstillinger

I Norge har det tradisjonelt vært mest vanlig å bruke $NaCl$ i vinterdriften både til preventive tiltak og som issmeltemiddel. I hovedsak benyttes $NaCl$ i form av sjøsalt, men det brukes også noe steinsalt. Salting kan utføres med ulike metoder, og det er utarbeidet en veiledende tabell som støtte for valg av riktig metode og mengder ut fra de opptredende vær- og føreforhold.

Selv om salting med $NaCl$ har fått en bred anvendelse i Norge, er det også velkjent at denne salttypen har en del begrensninger. Begrensningene ligger først og fremst i at $NaCl$ ikke kan brukes ved lavere temperatur enn $-10^{\circ}C$. Dette har sammenheng med saltets kjemiske egenskaper. Under trafikkpåvirkning skjer det en relativt hurtig opptørking av en vegoverflate som er saltet med $NaCl$, noe som kan betraktes både som en fordel og som en ulempe. I områder med støvproblemer kan det faktisk være ønskelig å beholde fuktigheten lenger for å binde støv.

Det er kjent at det fins alternativer til vanlig salt ($NaCl$) med andre egenskaper både med tanke på virkningsområdet i forhold til temperatur og effekter med hensyn på støvbinding, uten at dette foreløpig er tilstrekkelig dokumentert for norske forhold. Bl a tyder erfaringer fra Oslo på at magnesiumklorid har egenskaper som det er interessant å studere nærmere både i forhold til virkning ved lave temperaturer og anvendt for støvbinding. Støvbindingsegenskapene er behandlet bl a gjennom prosjektet "Bedre byluft".

På grunn av høy pris sammenlignet med $NaCl$, er det ikke aktuelt å bruke $MgCl_2$ som strømiddel i ren form hverken i tørr tilstand eller som løsning. Den metoden som anses som mest aktuell er å befukte $NaCl$ med en $MgCl_2$ -løsning. Denne metoden ble forsøkt i sentrale deler av Oslo sesongen 2000/2001, men det foreligger ikke dokumentasjon fra disse prøvene.

1.3 Målsetting

Målsettingen med prosjektet er både å se hvilke muligheter $MgCl_2$ gir for å operere ved lavere temperaturer samt å se på varigheten av tiltak, opptørkingstid og saltforbruket sammenlignet med NaCl. En av hensiktene med prosjektet er også å se om ulike metoder gir forskjellig virkning når det gjelder friksjon og friksjonsutvikling på forskjellige føretyper. Dette vil være en viktig indikator på om en kan forvente målbare trafikale effekter av ved å bruke andre kjemikalier enn NaCl.

$MgCl_2$ ligger prismessig høyere enn vanlig sjøsalt (ca 3 ganger dyrere). Dvs at kostnadene sammenlignet med bruk av NaCl vil kunne endres avhengig av i hvilken grad tiltaksomfanget blir påvirket. Bl a kan kostnadene øke dersom bruk av $MgCl_2$ fører til flere tiltak ved temperaturer under grensen for bruk av NaCl. Samtidig kan det ligge en besparelse dersom det totale saltforbruket går ned. Det er en målsetting med prosjektet å få sett eventuelle kostnadsendringer ved en driftsomlegging til ny metode i forhold til trafikale effekter og virkninger på forurensning i form av klorholdige stoffer og støv.

1.4 Kostnader ved endret driftsopplegg

Et prøveprosjekt av denne karakteren vil naturlig medføre ekstra kostnader som ikke nødvendigvis vil være representative for kostnadene ved en varig driftsomlegging. Entreprenøren har regnet at salt delen vil koste ca. kr 600.000 ekstra per sesong ved overgangen til bruk av $MgCl_2$ løsning på et vegnett som utgjør ca 40 km. Kostnadene er beregnet ut fra at befukning med $MgCl_2$ løsning skal resultere i et mindre saltforbruk, og de beregnede merkostnadene på kr 600.000 er stipulert ut fra selvkost. I tillegg kommer kostnadene med framskaffing av selve dokumentasjonen. Det presiseres at det ikke er foretatt noen endelig kalkyle av de faktiske kostnadene dersom det blir aktuelt å ta i bruk $MgCl_2$ på en mer fast basis.

1.5 Organisering av prosjektet

Prosjektet er gjennomført som et samarbeid mellom Statens vegvesen Oslo og Vegdirektoratet. I tillegg er flere andre parter trukket inn i arbeidet gjennom en arbeidsgruppe med følgende sammensetning:

- Eilif Eggen, Region øst
- Olaf Mathisen, Region øst
- Kjell Bråta, Region øst
- Sondre Meland, Region øst
- Hans Moe-Christensen, ISS Vaktmester Kompaniet
- Terje Urdal, ISS Vaktmester Kompaniet
- Tom Brynildsen, ISS Vaktmester Kompaniet
- Hans Christian Akselsen, Region øst
- Raymond Grønvold, Mesta AS
- Erik Helland, Oslo Vei
- Svein Engebretsen, A/S Norske Saltkompagni
- Kim Aslaksen, A/S Norske Saltkompagni
- Pål Rosland, Statens vegvesen Vegdirektoratet
- Roar Støtterud, Statens vegvesen Vegdirektoratet
- Torgeir Vaa, SINTEF Veg og samferdsel

SINTEF Veg og samferdsel har hatt ansvaret for utarbeidelse av evalueringsopplegget samt systematisering og analyse av registrerte data og rapportering av resultatene fra den første forsøksvinteren.

Prosjektet er planlagt gjennomført som et 3-årig prosjekt, og sesongen 2002/2003 var andre vinteren med prøveordningen med magnesiumklorid. Prosjektet avsluttes etter neste vinter med en sammenfatningsrapport. For å sikre kontinuiteten i prosjektet er det ansett å være helt nødvendig at det er samme operatør som drifter det aktuelle vegnettet i hele prosjektperioden slik at en sikrer en enhetlig og lik vinterdrift fra sesong til sesong. Dette går både på utstyr, beredskapsopplegg og kompetanse. Det er inngått avtale om dette med den angjeldende entreprenøren.

1.6 Oppbygging av rapporten

I kapittel 3 er det gitt en nærmere beskrivelse av prøveprosjektet i Oslo, og i kapittel 4 er presentert resultatene fra sesongen 2002/2003. For resultatene fra første forsøksvinteren henvises det til rapporten fra sesongen 2001/2002. I den første rapporten er det også en kort beskrivelse av egenskapen til alternative kjemikalier og betydningen av befruktning for å øke virkningsgraden. Det er også referert undersøkelser av miljøvirkninger av salting.

Egenskapene til ulike kjemikalier er et viktig grunnlag for å kunne vurdere og tolke både valg av metode og resultater en kommer fram til, og det er derfor i denne rapporten i kapittel 2 tatt med en forklaring til egenskapene til alternative salter.

2 Egenskaper til forskjellige typer kjemikaler og virkning av ulike blandinger

2.1 Alternative kjemikalier

2.1.1 Generelt

Kjemikalier i vinterdriften benyttes enten som preventive tiltak eller som ismeltemiddel. Bruken av kjemikalier bestemmes av Håndbok 111. I hovedsak benyttes Natriumklorid (NaCl) i Norge, men det finnes flere typer salter og kjemikalier som har evnen til å motvirke isdannelse og smelte is. De mest aktuelle kjemikaliene er:

- Natriumklorid
- Magnesiumklorid
- Kalsiumklorid
- Formeater og acetater
- CMA
- Urea

I det følgende er det bare gitt en nærmere beskrivelse av saltene natriumklorid, magnesiumklorid og kalsiumklorid. For de øvrige kjemikaliene vises det til rapporten fra sesongen 2001/2002.

2.1.2 Natriumklorid (NaCl)

NaCl leveres både som sjøsalt og steinsalt, og kan også produseres som vakuumsalt. Vakuumsalt er det reneste produktet og lages ved å tørke under vakuum en løsning som framstilles ved å injisere vann inn i dype underjordiske saltforekomster. En av fordelene med steinsalt framfor sjøsalt er at steinsaltet inneholder svært lite fuktighet, mens vanninnholdet i sjøsalt kan være relativt høyt.

En opererer i dag med 4 ulike måter å salte på:

- Tørt salt
- Befuktet salt
- Slurry
- Saltløsning

Valg av metode er avhengig av temperatur og føreforhold i henhold til en anbefalt salttabell. Både befuktet salt og slurry tilsettes væske i en viss mengde. Befuktningen kan skje ved bruk av vann, men det bør fortrinnsvis benyttes en kjemikalieløsning. Det mest vanlige i Norge er å benytte en løsning basert på NaCl.

Natriumklorid løst i vann har en eutektisk temperatur på $-21,1^{\circ}\text{C}$ ved en konsentrasjon på 21,6 vektprosent. Praxis i Norge er at det er satt en temperaturgrense for bruk av NaCl på -6°C . I litteraturen er det imidlertid angitt at NaCl er effektivt ned til -8°C - -12°C , og kan under ideelle forhold benyttes helt ned til -18°C . I den veiledende salttabellen er det åpnet for bruk av NaCl ned til -10°C .

Løsningsprosessen for NaCl er en endotermisk reaksjon, dvs det behov for 100 % tilførsel av eksterne varme for å løse opp saltet, og det tar dermed lenger tid før smelteprosessen starter for

NaCl enn for salt som frigjør varme. På grunn av dette samt den lave hygroskopiteten gjør at NaCl starter smelteprosessen saktere enn kalsiumklorid og magnesiumklorid.

2.1.3 Magnesiumklorid (MgCl₂)

Magnesiumklorid har høy løselighet i vann, og reaksjonen er eksotermisk. MgCl₂ leveres både som granulater og i flak. Granulatet er 20 % dyrere enn flak. Det er ingen forskjell på løseligheten. Det er derfor naturlig å bruke flak for å produsere løsninger. I tørr form er flak vanskelig å kontrollere, og i slike tilfeller bør MgCl₂ eventuelt benyttes i form av granulater. MgCl₂ kan benyttes både til befuktning og som ren løsning.

Det er viktig å skille mellom MgCl₂ som strømmiddel og brukt til støvbinding. I tillegg til å gjøre forsøk med støvbinding (15 % -løsning) ble det i Oslo sesongen 2000/2001 gjort forsøk med en blanding av 15 % -løsning og tørt salt som alternativt strømmiddel. Det ble utført en del tiltak ved lave temperaturer med et tilsynelatende godt resultat uten at dette ble dokumentert på annen måte enn rent visuelt.

Magnesiumklorid løst i vann har en eutektisk temperatur på -33,3 °C ved en konsentrasjon på 21,6 vektprosent og er mer hygroskopisk enn kalsiumklorid. MgCl₂ har følgende kjemiske egenskaper:

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

Dvs at løseligheten er vesentlig større i varmt enn i kaldt vann. Høyere egenvekt og et annet fasediagram enn NaCl, gir andre karakteristika for MgCl₂ enn NaCl:

- Bedre vedheft, mindre tap
- Lavere saltforbruk
- Raskere tineeffekt
- Effektiv ved lavere temperaturer
- Homogent og kontrollert strømbilde

Bortsett fra de kjemiske egenskapene i forhold til virkningsområde med hensyn på temperatur, er det et spørsmål hvor store forskjellene reelt er mellom MgCl₂ benyttet som befuktningmiddel, og vanlig befuktet salt hvor befuktningen enten skjer med rent vann eller saltløsning basert på NaCl. En del av egenskapene som er listet opp ovenfor er derfor mer å anse som hypoteser foreløpig enn som dokumenterte fakta.

2.1.4 Kalsiumklorid (CaCl₂)

Kalsiumklorid er tilgjengelig som granulater, flak eller i flytende form. Det kommersielt tilgjengelige produktet i fast form er normalt dihydrat (CaCl₂ + 2H₂O). CaCl₂ løst i vann har et frysepunkt på -51,6 °C ved en konsentrasjon på vannløsningen på 29,8 %. Kalsiumklorid er hygroskopisk og lett løslig i vann.

Sammenlignet med NaCl har CaCl₂ en raskere smelteeffekt delvis på grunn av at det er hygroskopisk og at saltet derved lettere går i løsning, og delvis ved at CaCl₂ avgir varme når det går i løsning, dvs det skjer en eksotermisk reaksjon. Dette skjer på den måten at når CaCl₂ kornene absorberer fuktighet, utvikles det varme som øker smeltehastigheten.

Den hygroskopiske virkningen kan være både positiv og negativ. Hygroskopiske kjemikalier kan absorbere fuktighet fra omgivelsene. Denne egenskapen gjør at smelteprosessen kan starte selv om det ikke er vann til stede. I tillegg blir det mindre svinn fordi saltpartiklene blir tyngre og har

derved en bedre vedheft til underlaget. På grunn av hygroskopiteten, vil opptørkingstiden bli lengre og det blir derved økt risiko for fortykning og gjenfrysing. I tillegg kan hyppig bruk av hygroskopiske kjemikalier føre til økt antall fryse-tine sykluser som igjen kan føre til hurtigere nedbryting av asfalten.

Damptrykket til en CaCl_2 løsning er vesentlig lavere enn for vann ved samme temperatur. Fordi fordamping er en direkte funksjon av damptrykket, skjer fordampingen saktere fra en CaCl_2 -løsning enn fra vann. Overflatespenningen til en CaCl_2 -løsning er også høyere enn for vann – en egenskap som også hemmer fordampingen sammenlignet med vann. Overflater som er behandlet med CaCl_2 holder seg våte lenger fordi disse 3 egenskapene – hygroskopitet, lavt damptrykk og høy overflatespenning – forsinker fordampingen effektivt.

Den raske starten på smelteprosessen, gjør at CaCl_2 i følge litteraturen er svært effektivt på tynne ishinner, men virker ikke så bra på tykkere is i temperaturintervallet mellom 0 og -6°C . Dette har sammenheng med krystallvannet i kalsiumklorid.

I tillegg til at det tar lenger tid før vegbanen tørker opp, er det andre ulemper med CaCl_2 som at det er like korrosivt som NaCl og er dessuten aggressivt mot betong. Prismessig er CaCl_2 ca 5 ganger dyrere enn NaCl . De store ulempene med CaCl_2 er en årsak til dette saltet har fått liten anvendelse som strømiddel.

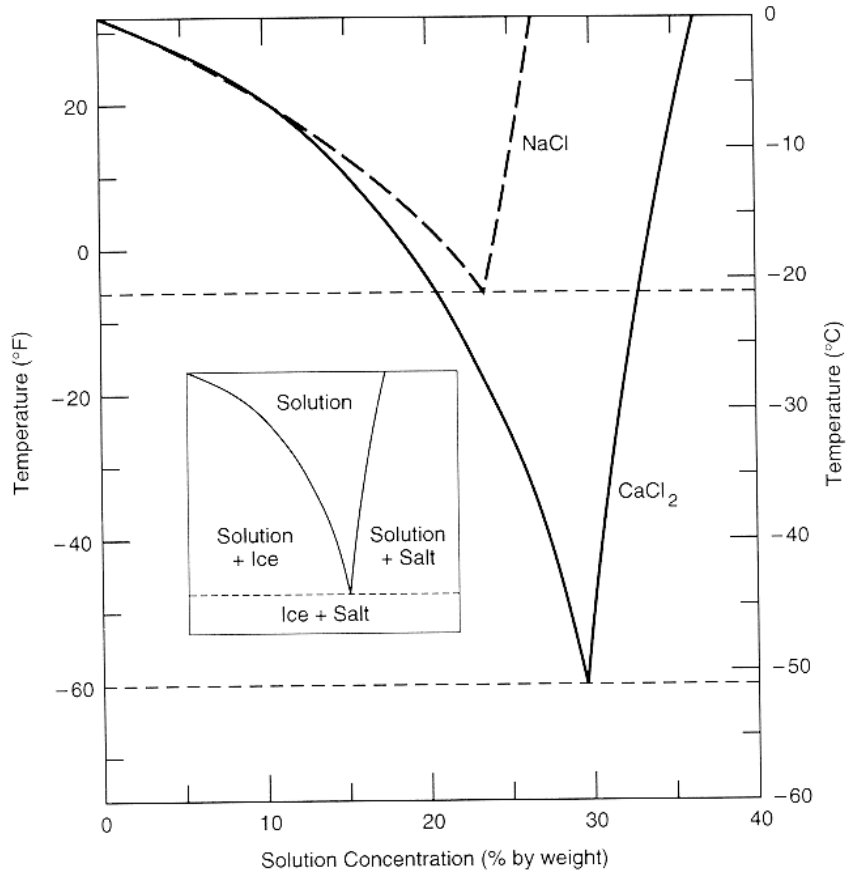
2.2 Betydningen av befuktning for å øke virkningsgraden

For at et kjemisk stoff skal virke nedsettende på frysepunktet, må det dannes en løsning. Hastigheten på denne løsningsprosessen kan påvirkes på forskjellige måter. Som nevnt tidligere er tilsetning av væske til tørt salt en av de aktuelle saltmetodene og da fortrinnsvis ved bruk av en kjemikalieløsning. Tørrstoffdelen består vanligvis av NaCl . Effekten på veggen vil kunne variere avhengig av hvilke kjemikalier/salter som benyttes og saltingsmetode, men også kvaliteten på tørrsaltet vil være av betydning.

Bl a i Tyskland benyttes betegnelsen FS (Feuchtsalt) om befuktet salt. I Tyskland er det mest vanlig å bruke FS 30, dvs tilsetning av 30 % løsning regnet i vektprosent av den totale blandingen. Det er viktig å presisere at FS 30 er ikke knyttet til bruken av bestemte kjemikalier som f eks magnesiumklorid, men angir mengdeforholdet mellom tørt salt og væske.

For å illustrere forskjellen mellom ulike kjemikalier og hvilken innvirkning konsentrasjonen på saltløsningen har for fryseforløpet, er fasediagrammene for NaCl og CaCl_2 gjengitt i figur 2.1. Det generelle er at frysepunktet for en saltløsning avtar med økende konsentrasjon, ned til det eutektiske frysepunktet, som nås ved en bestemt konsentrasjon, jfr tabell 2.1. Frysepunktet for saltløsningen vil deretter stige etter hvert som konsentrasjonen øker ut over det eutektiske punktet. Saltløsninger som har en konsentrasjon som er lavere enn det eutektiske punktet, har et frysepunkt som er lavere enn smeltepunktet for ren is (0°C).

I praktisk bruk i vinterdriften, særlig ved fjerning av is, er det viktig å operere med saltløsninger som er så nært som mulig, men mindre enn det eutektiske punktet. Konsentrasjonen vil synke på grunn av uttynningen enten fra smelting av is/snø eller på grunn av fallende nedbør. Det er derfor også viktig å følge uttynningsprosessen slik at frysepunktet på væsken blir lavere enn vegbanetemperaturen fordi det da ellers vil skje en gjenfrysing.

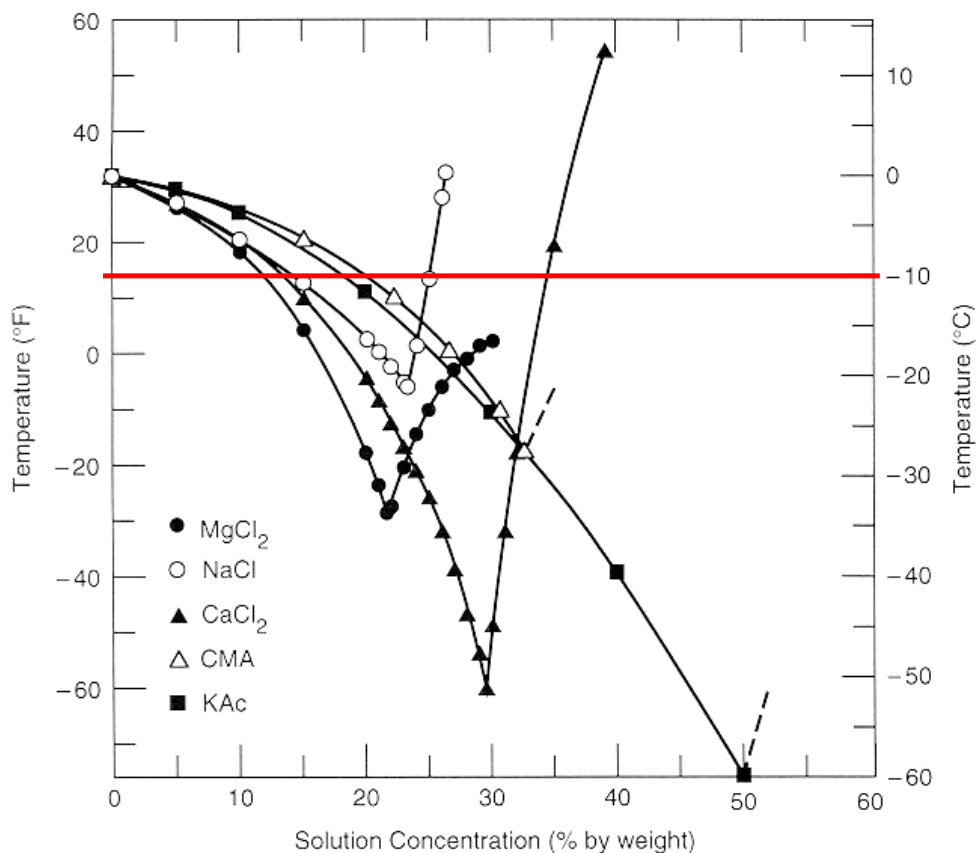


Figur 2.1: Fasediagrammer for løsninger av NaCl og CaCl₂. Kilde: FHWA 1996

En kan også se av figur 2.1 at fasediagrammene for NaCl og CaCl₂ (kalsiumklorid), som skiller seg ut fra andre kjemikalier med et svært lavt eutektisk frysepunkt, ikke skiller seg særlig fra hverandre i området fra 0 °C og ned til -10 °C og faktisk ned mot -15 °C. Dette tyder på at det svært lave eutektiske frysepunktet for CaCl₂ ikke er av særlig praktisk betydning.

Fasediagrammet for MgCl₂ framgår av figur 2.2 hvor det også er tatt med diagrammene for de andre kloridløsningene samt CMA og kalsiumacetat.

Hvis en tar utgangspunkt i en bestemt temperatur under 0 °C, men samtidig over den eutektiske temperaturen for NaCl, ser en av figur 2.2 at MgCl₂ vil fryse ved en lavere konsentrasjon enn tilsvarende konsentrasjoner av CaCl₂ og NaCl.



Figur 2.2: Fasediagrammer for ulike kjemiske løsninger. Kilde: FHWA 1996

F eks ved -10°C vil MgCl_2 fryse ved en konsentrasjon på ca 11 %, mens CaCl_2 og NaCl vil fryse omkring henholdsvis 12,5 % og 13,5 %. Dette betyr at MgCl_2 kan uttynnes mer enn de andre kloridløsningene før frysing ved en gitt temperatur. Samtidig er det viktig å være klar over at når fryseprosessen først starter, skjer denne tilfrysingen raskere for MgCl_2 enn både for CaCl_2 og NaCl . Dette kommer av at helningen på kurven til venstre for det eutektiske frysepunktet er brattere for MgCl_2 enn for de andre saltene. Forskjellen avtar ved stigende temperatur til fryseegenskapene er omtrent identiske ved -3°C tilsvarende en konsentrasjon på ca 5 %, jfr figur 2.2. Figur 2.2 illustrerer også at det er naturlig å teste egenskapene til MgCl_2 i forhold til NaCl siden forskjellene i fryseegenskaper er størst for disse to kloridene i det aktuelle temperaturområdet.

Et viktig spørsmål er hva typen kjemikalier betyr i forhold til andre innvirkende faktorer som dosering, temperatur og trafikkmengde. Det som imidlertid er klart er at væsker med ulike frysepunkter vil påvirke resultatet, og det er særlig interessant å finne fram til alternativer til NaCl ved lave temperaturer. F eks vil en blanding av NaCl og MgCl_2 -løsning senke frysepunktet i forhold til rent NaCl avhengig av blandingsforholdet og saltkonsentrasjonen i væsken. Konsentrasjonen av løsningen vil variere i forhold til oppgaven.

Fra AS Norske Saltkompagni har en fått oppgitt følgende fryseegenskaper for forskjellige blandingsforhold:

- Tørt salt, NaCl har et frysepunkt på $-9^{\circ} \pm 4^{\circ}$
- FS 5, med 5 % magnesiumkloridløsning har et frysepunkt på $-12^{\circ} \pm 4^{\circ}$
- FS 30, med 30 % magnesiumkloridløsning har et frysepunkt på $-16^{\circ} \pm 5^{\circ}$

Hva de angitte temperaturverdiene betyr i praksis under ulike driftsforhold, er et av hovedspørsmålene når en skal sammenligne bruk av ulike kjemikalier til befuktning.

Det er også andre uavklarte spørsmål i forhold til bruk av $MgCl_2$ -løsning som befuktning, bl a hvorvidt dette vil være en anvendelig metode også under snøvær. Selv om det er tvil om hvor egnet magnesiumklorid er under snøfall, er en kommet til at magnesiumklorid bør brukes konsekvent under alle typer forhold det saltes under for å kunne trekke konklusjoner om bruksområdet og virkninger sammenlignet med andre metoder under ulike forhold.

I følge veiledende salttabell er hovedregelen at det skal brukes tørt salt i forbindelse med snøvær. En får da best utnyttelse av saltet uten en forutgående uttynning av tørrsaltet ved tilsetning av saltløsning (NaCl). Ved tilsetning av $MgCl_2$ -løsning, oppnås det en tilleggseffekt med hensyn til temperaturen dersom det er kaldt eller er varslet et temperaturfall.

3 Undersøkelseopplegg

3.1 Generelt

Ut fra at de skisserte problemstillingene rundt alternative kjemikalier er meget aktuelle i Oslo, og det allerede har vært gjort en del tester med magnesiumklorid der, ble Oslo valgt som testområde for å skaffe seg mer erfaringer og dokumentere effekten av å bruke magnesiumklorid i vinterdriften. I tillegg til at det klimatisk og trafikkmessig ligger godt til rette for slike forsøk i Oslo, har en derved også kunnet dra nytte av det tekniske apparatet og den kompetansen som er bygd opp i forbindelse med Vinterfriksjonsprosjektet og prosjektet Bedre byluft.

3.2 Forsøksområde

Sesongen 2001/2002 ble det tatt i bruk $MgCl_2$ -løsning som befuktning av NaCl på det vegnettet som ISS Vaktmester Kompaniet drifter innenfor Ring 3 med unntak av en kort referansestrekning på Sørkedalsveien, se figur 3.3 på side 11. På referansestrekningen ble det kun strødd tørt salt (NaCl) uten befuktning første forsøksvinteren, mens det sesongen 2002/2003 ble benyttet befuktning med NaCl-løsning på referansestrekningen.

Vegnettet som omfattes av prøveprosjektet er Rv 161, Rv 162, Rv 4 til Sinsen og Rv 168 til Smestad, noe som utgjør en total veglengde på ca 42 km. Effektstudiene er knyttet til en parsell av Rv 161 mellom Uelands gate og Vigs gate som har en lengde på 2,0 km. Som referansestrekning er det benyttet en parsell av Rv 168 mellom Majorstua og Smestad, en strekning på 2,1 km.

Forsøksområdet var uendret i forhold til første sesongen, men i løpet av sommeren 2002 ble det lagt ny asfalt på deler av både Rv 161 og Rv 168, se tabell 3.2. Det at målestrekningene for friksjon delvis har fått ny asfalt, gjør at en kan få sjekket ut asfaltens betydning for måleresultatene.

3.2.1 Nærmere beskrivelse av saltingsmetode i forsøksområdet

Under forsøkene i Oslo er det benyttet en 20 % -løsning av $MgCl_2$ som befuktning av NaCl. Det er benyttet standard befuktningsmengde, dvs 30 % løsning regnet i vektprosent av den totale blandingen og 70 % tørt salt (FS 30). Det er ikke lagt opp til å eksperimentere med andre metoder på det aktuelle vegnettet i Oslo. Ved temperaturer lavere enn $-10^{\circ}C$, er det åpnet for at det kan benyttes $MgCl_2$ som befuktning også på referansestrekningen.

Uttesting av $MgCl_2$ i andre former og konsentrasjoner vil bli gjort på prøvestrekningen på E6 i Follo som er instrumentert med tanke på å teste ulike saltingsmetoder.

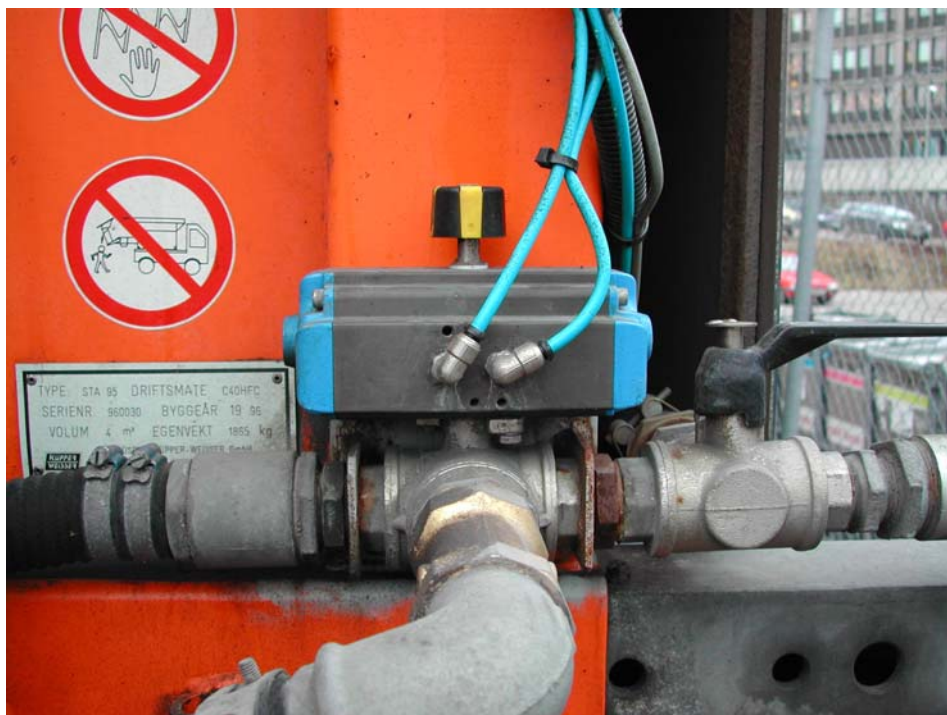
Høsten 2002 ble det besluttet å gå over til steinsalt (NaCl) innenfor forsøksområdet. Steinsalt har andre egenskaper enn sjøsaltet både ved at steinsaltet leveres i finere graderinger og inneholder vesentlige mindre fuktighet enn sjøsalt. Steinsaltet har en fuktighet på maks 0,1 % mens sjøsaltet har en fuktighet på 2-4 %. Lite og forutsigbart fuktighetsinnhold er vesentlig i forbindelse med befuktning. Det er generelt enklere å kombinere tørt salt og væske enn fuktig salt og væske. Graderingen har betydning for hvor raskt saltet begynner å virke. Steinsaltet som er tatt i bruk i Oslo har en kornfordeling der ca 80 % av kornene ligger mellom 0,2 – 3,2 mm.

For å få til vekslingen mellom de 2 befuktningsmåtene, ble strøbilen bygd om slik at det kan kjøres med tanker både for NaCl- og $MgCl_2$ samtidig med en veksler for å skifte mellom de 2

tankene. Figurene 3.1 og 3.2 viser bilde av strøparatet og ventilen for veksling mellom de 2 løsningsvæskene.



Figur 3.1: Strøbilen som er benyttet i magnesiumkloridprosjektet i Oslo



Figur 3.2: Ventilsystem for veksling mellom tanker med ulike væsketyper



Figur 3.3: Forsøksområde hvor det er benyttet en metode med $MgCl_2$ -løsning som befuktning til tørt NaCl i Oslo. På referansestrekningen (Rv 168) er det benyttet befuktning med NaCl-løsning

3.3 Registreringsopplegg

Det har vært lagt opp til registrering av følgende data:

- driftsdata fra strø bilen og feiebil inklusive friksjonsmålinger på strø bilen (Kofriks)
- friksjonsmålinger med egen friksjonsmålebil (Roar Mark I) inkludert fotografering med kamera på friksjonsmåle bilen
- klimadata fra SVO's klimastasjoner samt målestasjoner for luftkvalitet som er representative for det aktuelle området
- trafikkdata

3.3.1 Maskiner til disposisjon / friksjonsmåling

ISS Vaktmester Kompaniet har benyttet sitt faste utstyr til prøveprosjektet. Strø bilen ble kontrollert og kalibrert før forsøkene ble startet opp. Den aktuelle strø bilen har påmontert friksjonsmåler av typen Kofriks. Strø bilen er utstyrt med system for automatisk dataoppsamling og det foreligger driftsdata for hele forsøksområdet. I tillegg er det mulig å ta ut data for delstrekninger etter behov. Friksjonsverdier fra Kofriksmåleren på strø bilen lagres i rådatabasen, og det er laget en rutine for å generere gjennomsnittsverdier i driftsrapporten. Selv om Kofriks data var tilgjengelige sesongen 2002/2003, er disse ikke benyttet i analysene siden det var en del driftsproblemer og ustabile data fra Kofriks.

3.3.2 Friksjonsmålinger med egen målebil

Til friksjonsmålinger til faste tidspunkter er måle bilen fra Akershus benyttet. Friksjonen er målt med utstyr av typen Roar Mark I som er utstyrt med et ASTM målehjul med blankt dekk. Det er målt friksjon både på Rv 161 og Rv 168 på de delstrekningene som er oppgitt i tabell 3.1 samt på en parsell av Rv 4 som ble driftet av en annen entreprenør (Oslo Vei).

Tabell 3.1: Delstrekninger hvor det er målt friksjon med Roar Mark I

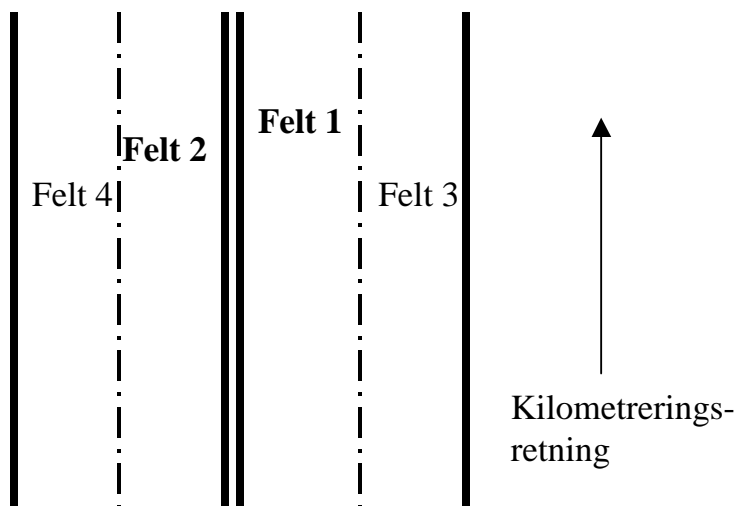
Veg	Strekning	Felt	Start Hp	Start km	Slutt Hp	Slutt km	Lengde i km
Rv 161	Uelands gt – Vigs gt	1	2	4,00	2	6,00	2,00
Rv 168	Majorstua – Smestad	1, 2	1	1,90	1	4,00	2,10
Rv 4	Rødtvedtn – Grorudvn	3	3	5,50	3	7,50	2,00

Roarmålingene er foretatt i felt 1 og 2 på Rv 168, i felt 1 på Rv 161 og i felt 3 på Rv 4. Hovedregelen har vært at Roarmålingene er utført i 5-6-tida om morgenen. Prinsippet for feltinndelingen framgår av figur 3.4 på neste side. Felt 1 og 3 går i kilometreringsretningen, dvs at på Rv 168 er det foretatt friksjonsmålinger i begge retninger.

Tabell 3.2 gir en oversikt over delstrekninger hvor det ble lagt ny asfalt sommeren 2002. I deler av analysene er det foretatt et skille mellom gammel og ny asfalt for å se hvordan asfaltkvaliteten påvirker friksjonsforholdene.

Tabell 3.2: Delstrekninger hvor det ble lagt ny asfalt sommeren 2002

Veg	Strekning	Felt	Start Hp	Start km	Slutt Hp	Slutt km	Lengde i km
Rv 161	Sums gt – Vigs gt	1, 3	2	5,50	2	6,00	0,50
Rv 168	Diakonvn – Smestad	1, 2, 3, 4	1	2,70	1	3,90	1,20



Figur 3.4: Prinsipp for nummerering av kjørefelt

Kilometreringsretningen for strekningene er den rekkefølgen som framgår av tabell 3.1. Rv 161, Kirkeveien, og Rv 168, Sørkedalsvegen, krysser hverandre på Majorstua. Dvs at slutten på målestrekningen på Rv 161 er omtrent sammenfallende med starten på målestrekningen på Rv 168 når en ser i kilometreringsretningen, se figur 3.5.



Figur 3.5: Oversikt over delstrekninger hvor det er målt friksjon

3.3.3 Klimadata

Klimadata er hentet fra SVO's egne klimastasjoner, og det er benyttet data fra følgende stasjoner:

- E18 Fiskvoll (OS3)
- E18 Maritim (OS1)
- E6 Furuset (OS2)

Klimadataene er lagret i 20 minutters intervaller, og det er laget en rutine for konvertering til timeverdier.

3.3.4 Trafikkdata

Det foreligger trafikktegninger på timesbasis både for Rv 161 og Rv 168 samt Rv 4 i følgende punkter:

- Rv 161 v/ Vøyen bru, Hp 01 km 3,4
- Rv 168 v/ Makrellbekken, Hp 01 km 5,0
- Rv 4 v/ Ammerud, Hp 3 km 7,5

Dvs at det foreligger representative trafikktegninger for de 3 strekningene som er sammenlignet.

3.3.5 Fotografering for å dokumentere opptørkingstiden

Første sesongen ble det foretatt fotografering av vegbanen til faste tidspunkter for å dokumentere opptørkingstiden. Det ble valgt ut bestemte referansesteder for fotografering morgen og ettermiddag i de perioder det ble utført tiltak. Det ble valgt steder som er vindutsatt/ikke vindeksponert og strekninger som er soleksponert/ligger i skyggen.

Det ble valgt 2 fotosnitt både på Rv 161 og på referansestrekningen, se tabell 3.3.

Vaktmesterkompaniet stod for fotograferingen til faste tidspunkter på dagen, kl 10:00 og 14:00.

Tabell 3.3: Punkter det er foretatt fotografering for å dokumentere opptørkingstiden sesongen 2001/2002

Veg	Strekning	Punkt 1	Punkt 2
Rv 161 (befuktning med MgCl ₂ -løsning)	Uelands gt – Vigs gt	Suhms gt	Ullevål
Rv 168 (tørt salt, referansestrekning)	Majorstua – Smestad	Borgen	Volvat

Hensikten med fotograferingen var å fremskaffe data på hvor effektivt MgCl₂ holder på fuktigheten kontra NaCl. Det viste seg imidlertid at dette ikke var noen velegnet metode, og denne fotograferingen ble sløffet andre sesongen.

3.3.6 Kjemiske analyser

For å dokumentere en eventuell akkumulering av MgCl₂ i vegstøvet som ligger i rennesteinen ble det sesongen 2001/2002 tatt prøver av denne massen. Det ble valgt ut bestemte referansepunkter for prøvetaking ut fra at det skal være med punkter som er vindutsatt/ikke vindeksponert og gater med mye trafikk/middels trafikk. Punktene som ble valgt ut for jordprøver er sammenfallende med fotosnittene på begge strekningene. Jordprøvene ble analysert kjemisk for henholdsvis MgCl₂ og NaCl.

I løpet av vinteren 2003/04 vil det bli gjennomført tester for å se nærmere på eventuelle skadelige effekter ved bruk av de to salttypene. Testene vil omfatte utlekkingsforsøk og økotoksikologiske tester. Førstnevnte vil kunne si noe om hvordan tungmetaller og andre miljøgifter akkumulert i veistøv/jord påvirkes av saltingen, mens sistnevnte vil si noe om hvordan organismer påvirkes av de to salttypene. De økotoksikologiske testene kan omfatte tester på jordlevende organismer som meitemark, vannlevende alger og planter (spiretest).

4 Resultater

4.1 Klimadata

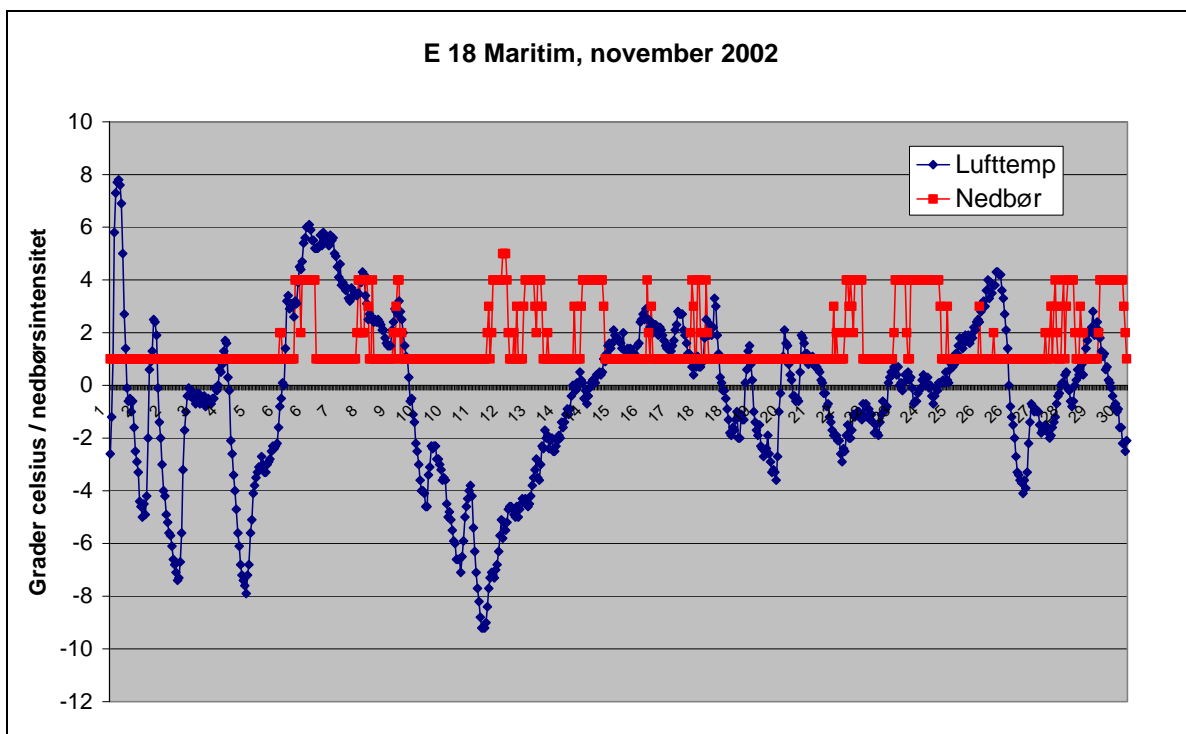
I figurene 4.1 – 4.5 er gjengitt klimadata fra stasjonen på E 18 ved Maritim for perioden november 2002 – mars 2003. Nedbøren som er angitt er nedbørsintensitet etter følgende skala:

- 1 ingen nedbør
- 2 lett nedbør
- 3 middels nedbør
- 4 sterk nedbør

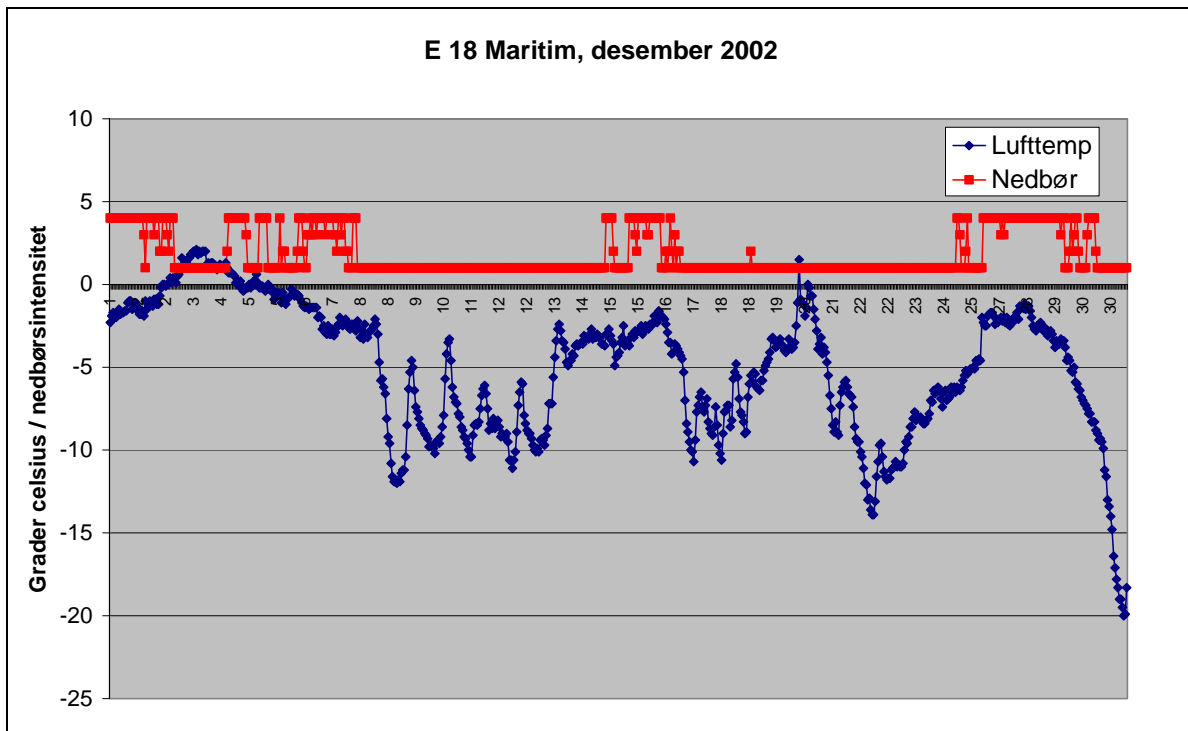
Både i november, desember, januar, februar og de første dagene i mars var det temperaturer under minus 10 °C, og lengre perioder med temperaturer i området minus 5 til minus 10 °C. Dette indikerer flere tilfeller av tiltak ut over temperaturområdet for NaCl sesongen 2002/2003, se tabell 4.1. Sesongen sett under ett var lufttemperaturen under -6 °C i 19 % av tiden.

Tabell 4.1: Andel av tiden med lufttemperatur under -6 °C

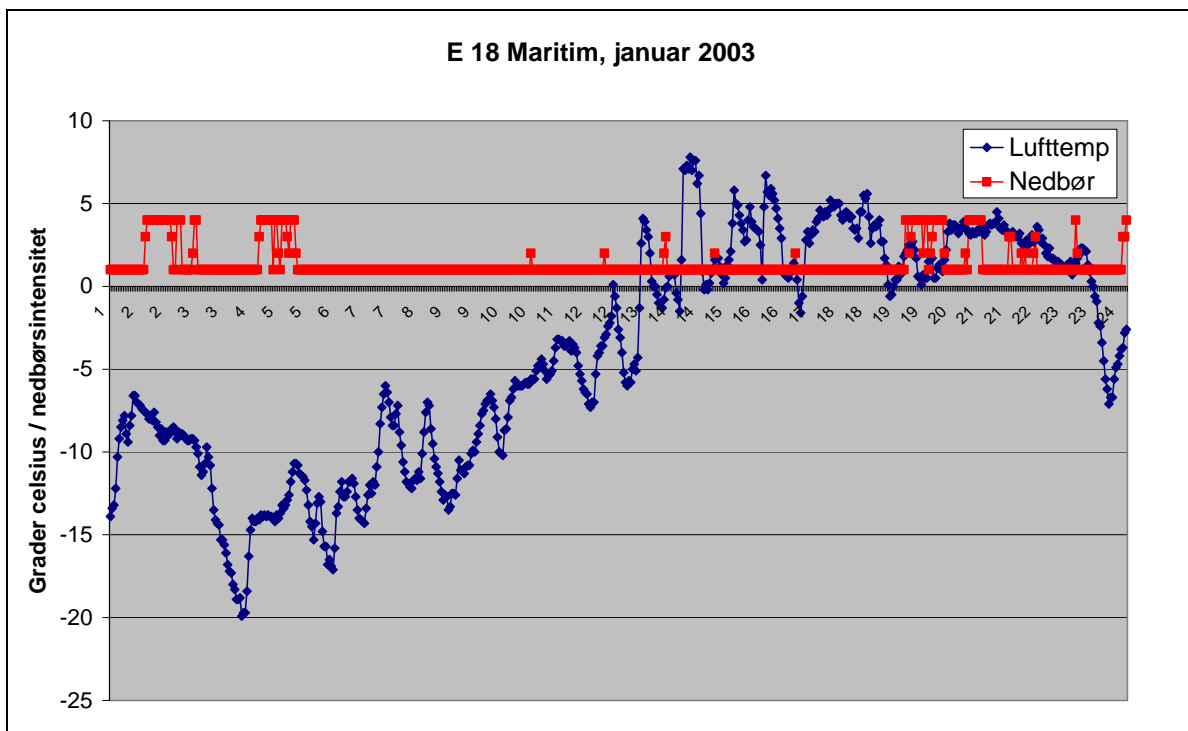
Stasjon	Andel av tiden med lufttemperatur under -6 grader				
	November	Desember	Januar	Februar	Mars
Maritim	5 %	39 %	41 %	15 %	1 %



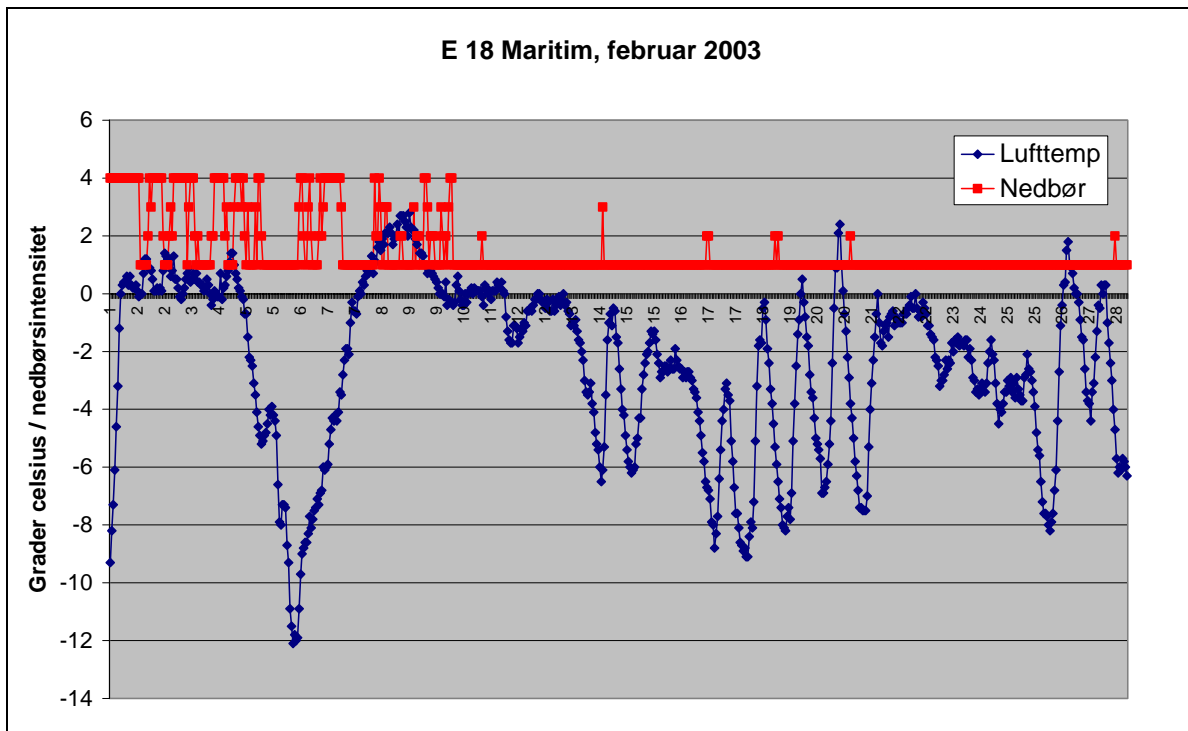
Figur 4.1: Klimadata fra klimastasjonen på Maritim, november 2002



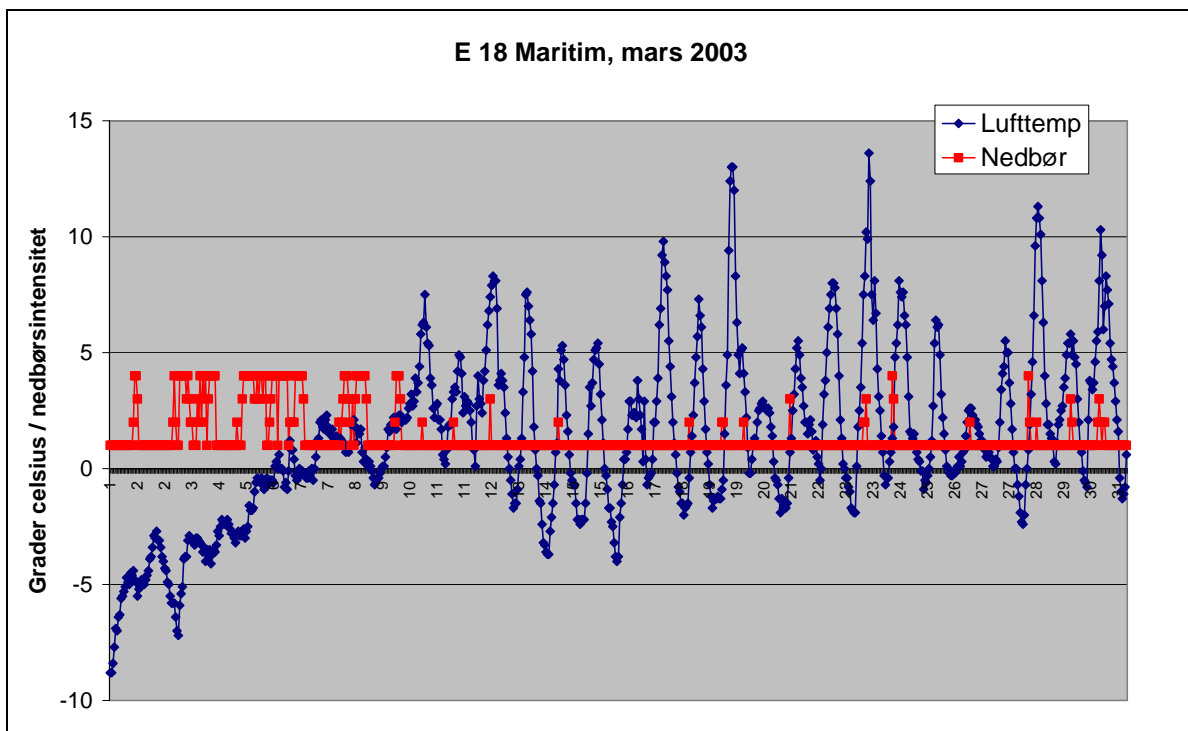
Figur 4.2: Klimadata fra klimastasjonen på Maritim, desember 2002



Figur 4.3: Klimadata fra klimastasjonen på Maritim, januar 2003

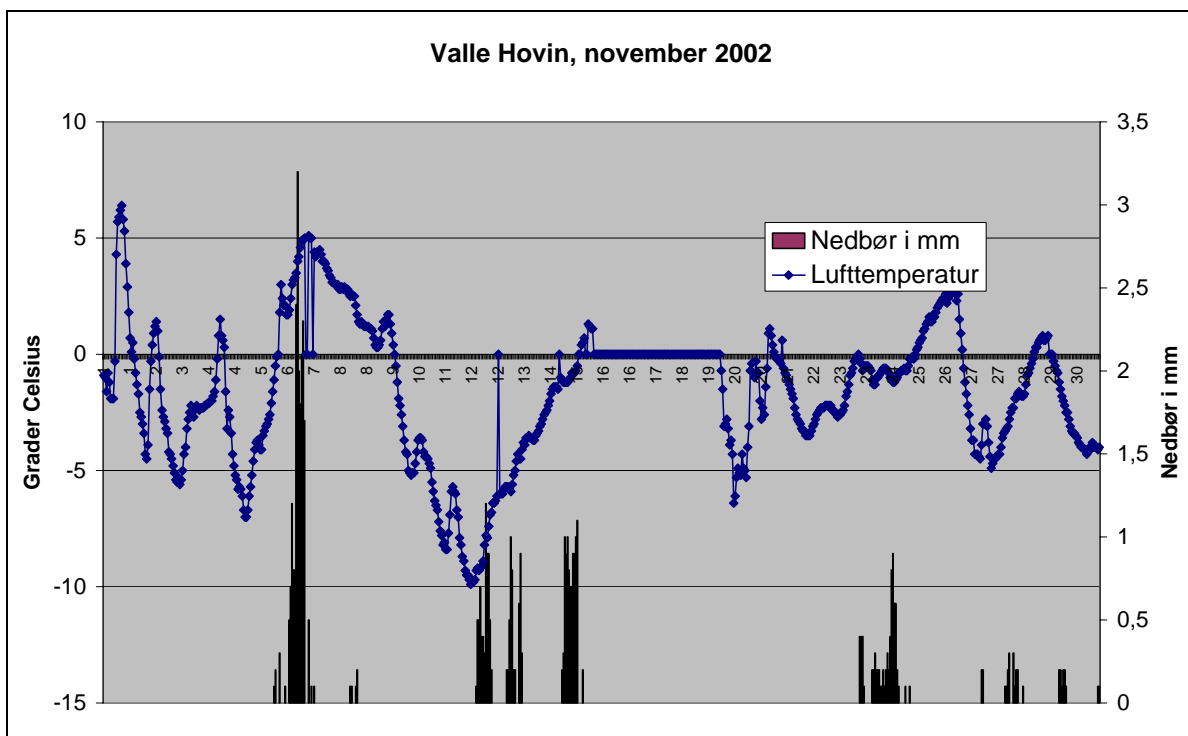


Figur 4.4: Klimadata fra klimastasjonen på Maritim, februar 2003

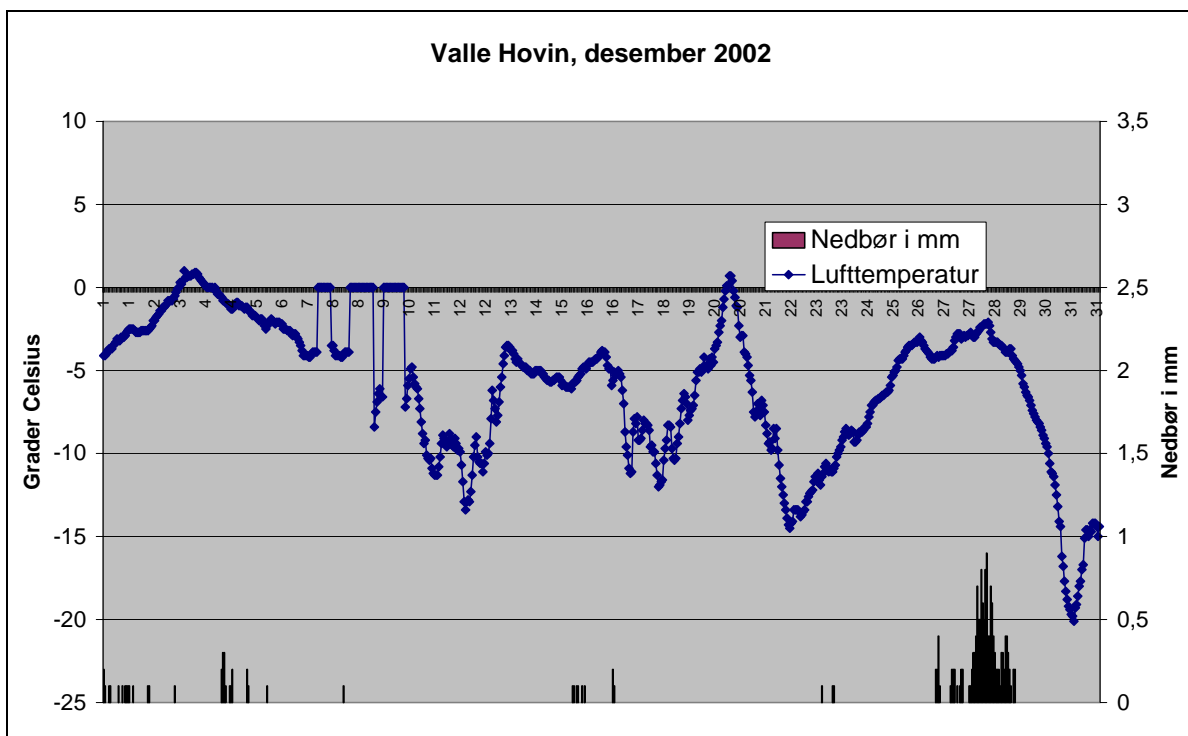


Figur 4.5: Klimadata fra klimastasjonen på Maritim, mars 2003

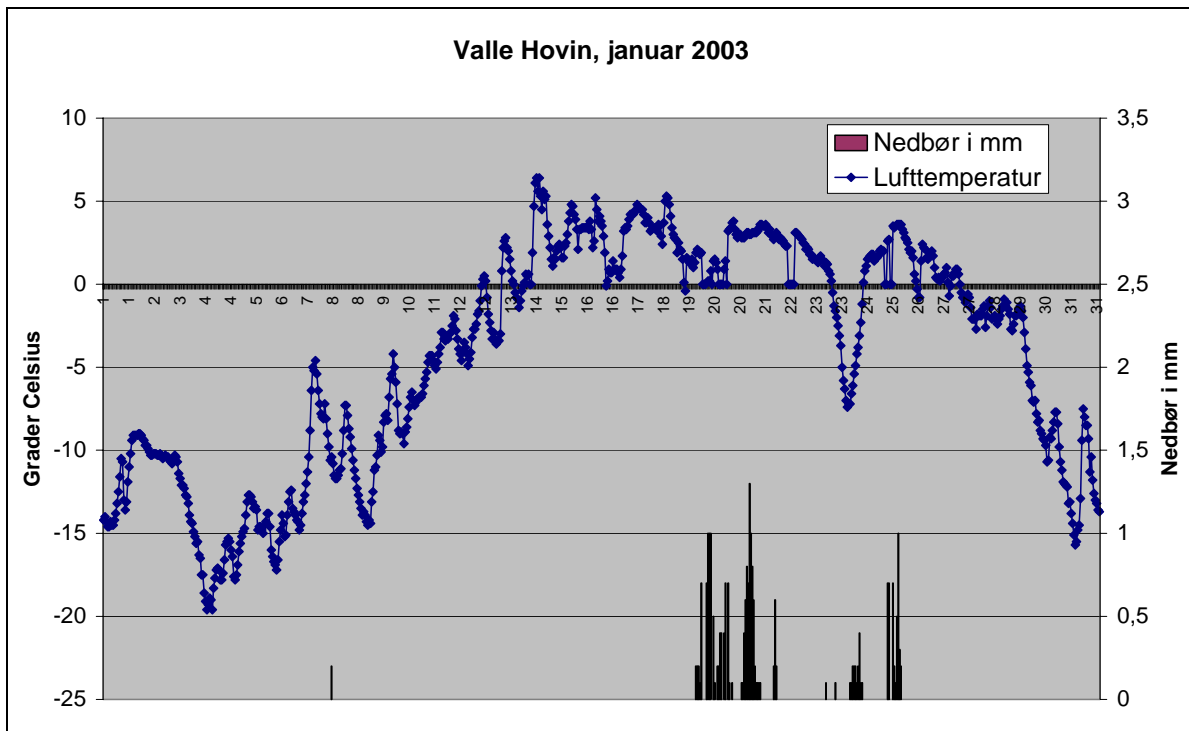
I figurene 4.6 – 4.10 er gjengitt klimadata fra Valle Hovin. Temperaturverdiene er godt sammenfallende med dataene fra Maritim, men det var en del bortfall av nedbørsdata i stasjonen på Valle Hovin.



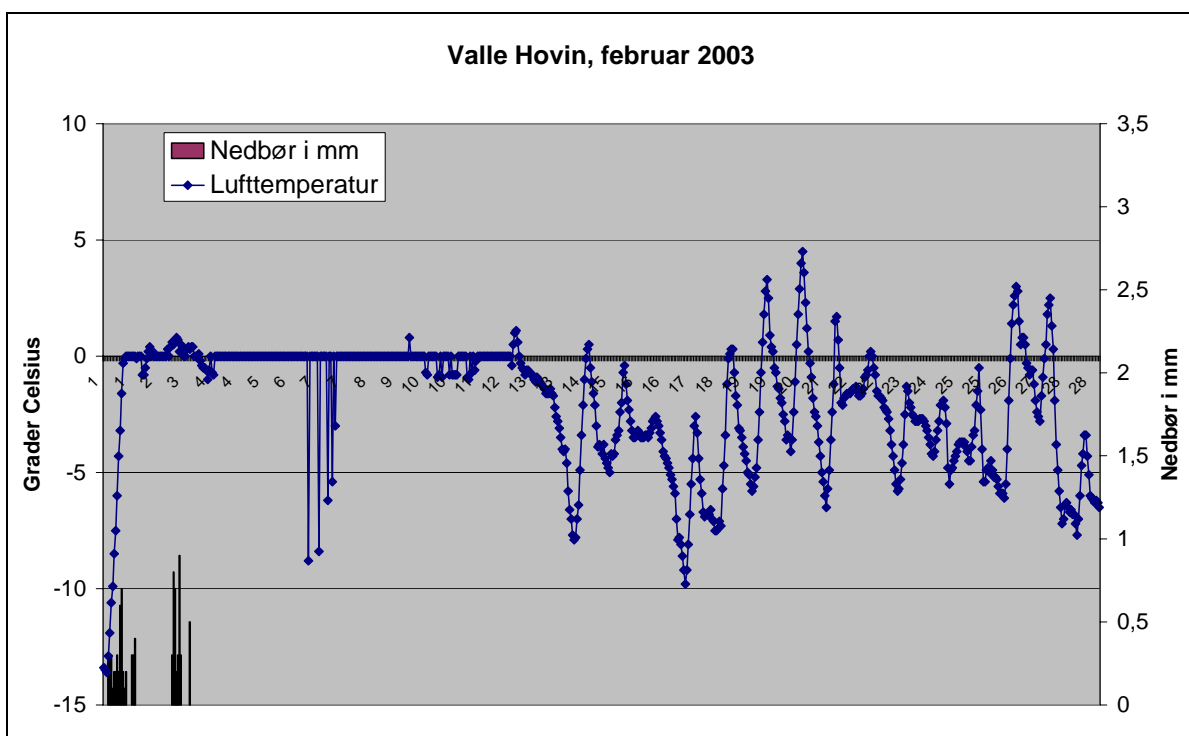
Figur 4.6: Klimadata fra klimastasjonen på Valle Hovin, november 2002



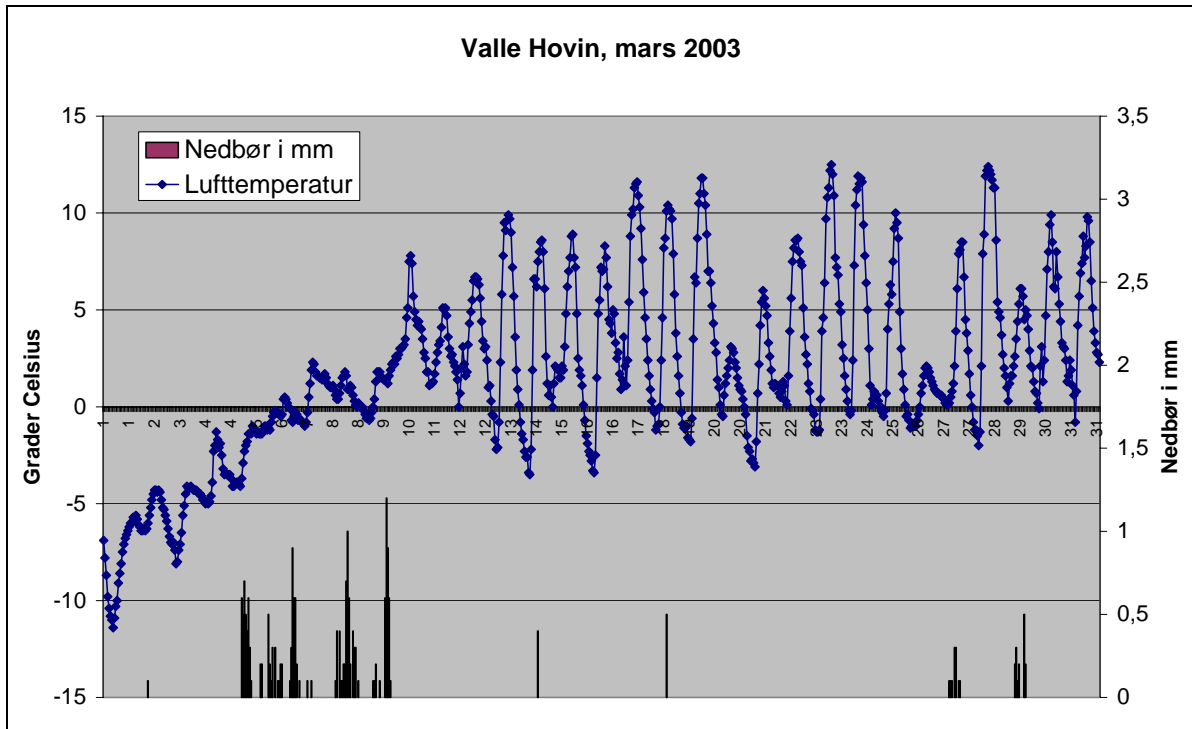
Figur 4.7: Klimadata fra klimastasjonen på Valle Hovin, desember 2002



Figur 4.8: Klimadata fra klimastasjonen på Valle Hovin, januar 2003



Figur 4.9: Klimadata fra klimastasjonen på Valle Hovin, februar 2003



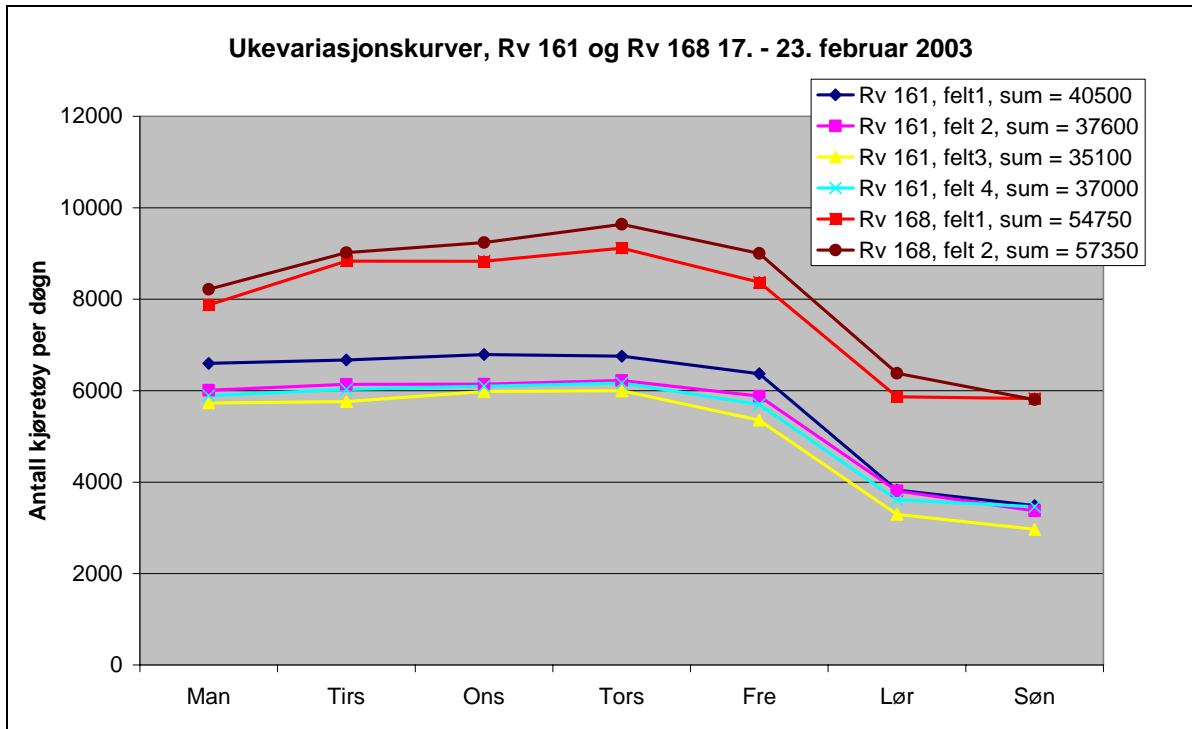
Figur 4.10: Klimadata fra klimastasjonen på Valle Hovin, mars 2003

4.2 Trafikktall

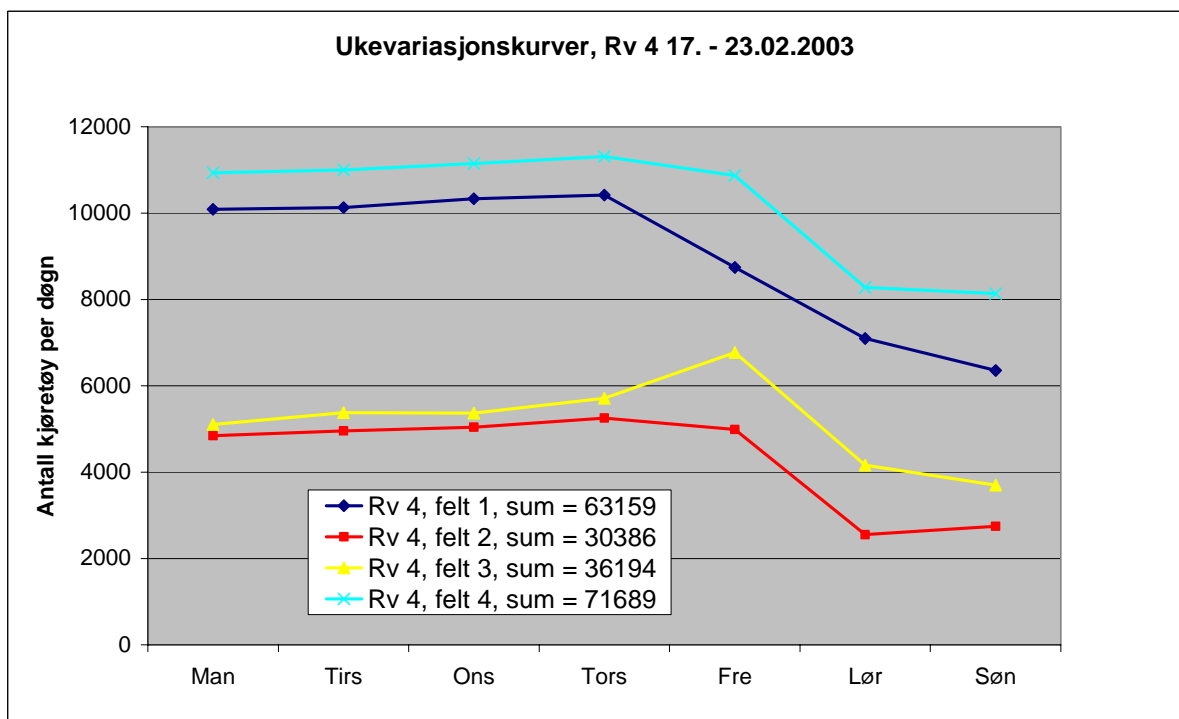
Det er ikke framskaffet kontinuerlige tellinger for de aktuelle tellepunktene. Hovedpoenget med å gjengi trafikktall er å få et inntrykk av trafikkvolum og trafikkvariasjon, og til det har en funnet det tilstrekkelig å gjengi tall for uke 8 i 2003, se tabell 4.2 for oversikt over de periodene som er benyttet:

Tabell 4.2: Oversikt over tidsperioder som er grunnlaget for uke- og døgnavariasjonskurver

Strekning	Trafikkvolum		Hastighet
	Ukevariasjon	Døgnavariasjon	Døgnavariasjon
Rv 161	17.-23.02.03	Onsdag 19.02.03	Onsdag 19.02.03
Rv 168	17.-23.02.03	Onsdag 19.02.03	Onsdag 19.02.03
Rv 4	17.-23.02.03	Onsdag 19.02.03	Onsdag 19.02.03

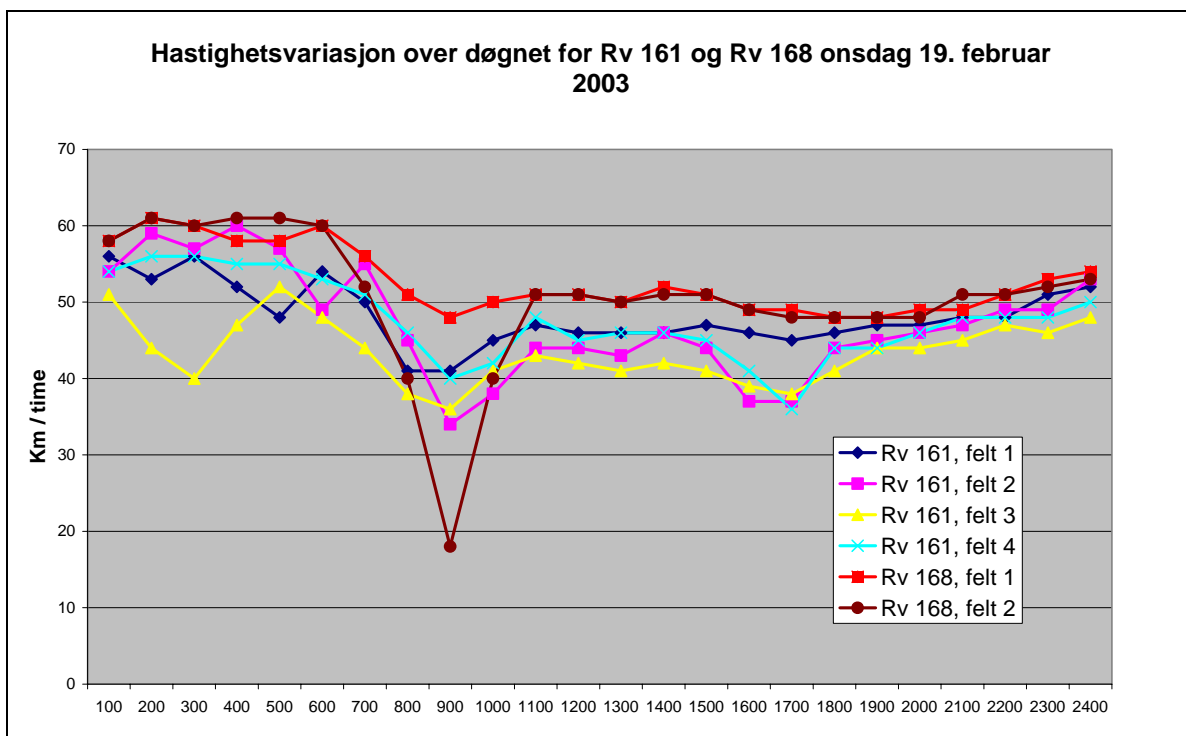
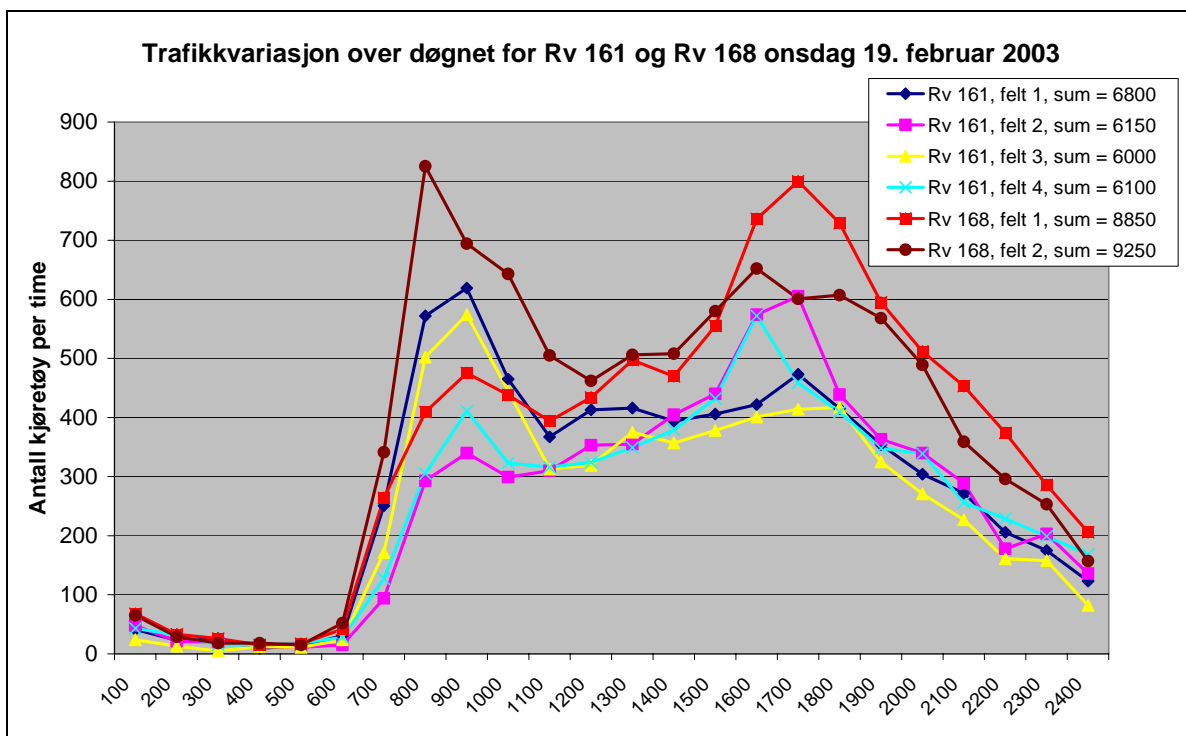


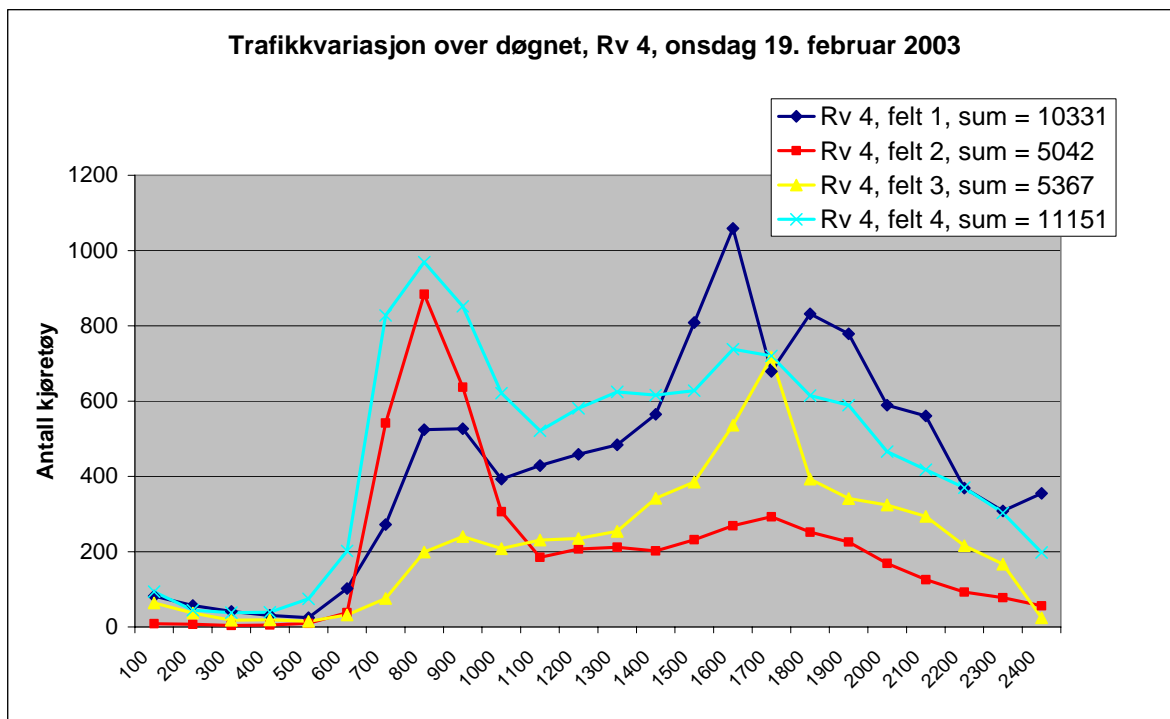
Figur 4.11: Ukevariasjonskurver sesongen 2002/2003



Figur 4.12: Ukevariasjonskurver sesongen 2002/2003

Som en ser av figur 4.11 er det stor forskjell i trafikkmengdene på Rv 161 og Rv 168 alle ukedagene. Summert over uka er trafikken på Rv 168 ca 43 % høyere enn på Rv 161 for felt 1 og 2 summert og 20 % høyere enn på Rv 4.





Figur 4.15: Hastighetsvariasjonskurver sesongen 2002/2003

Variasjonskurvene over døgnet, se figur 4.13 – 4.15, viser klare forskjeller både når det gjelder trafikkmengder og hastighetsnivå. Selv om det akkumulert over dagen er stor forskjell i trafikkmengden, er det samtidig viktig å påpeke at forskjellen er relativt liten om natta og fram til ca kl 07 om morgenen. Ut over dagen er det imidlertid trafikkvariasjoner som kan ha en viss betydning for effekten av salttiltak. Det må dessuten presiseres at tellepunktet på Rv 168 som er benyttet ligger utenfor parsellen det er gjort målinger på, slik at det knytter seg noe usikkerhet til trafikkanlaget på den delen av Rv 168 hvor også de øvrige observasjonene er gjort.

4.3 Tiltaksregistreringer

Det har vært lagt vekt på at driftsansvarlig skal gjøre en vurdering av behov for tiltak ut fra vær- og føreforhold på de ulike parsellene som inngår i forsøksområdet, slik at en kan få fram reelle forskjeller i tiltaksfrekvenser og saltmengder mellom referansestrekningen og vegnettet hvor det er benyttet befuktning med $MgCl_2$ -løsning.

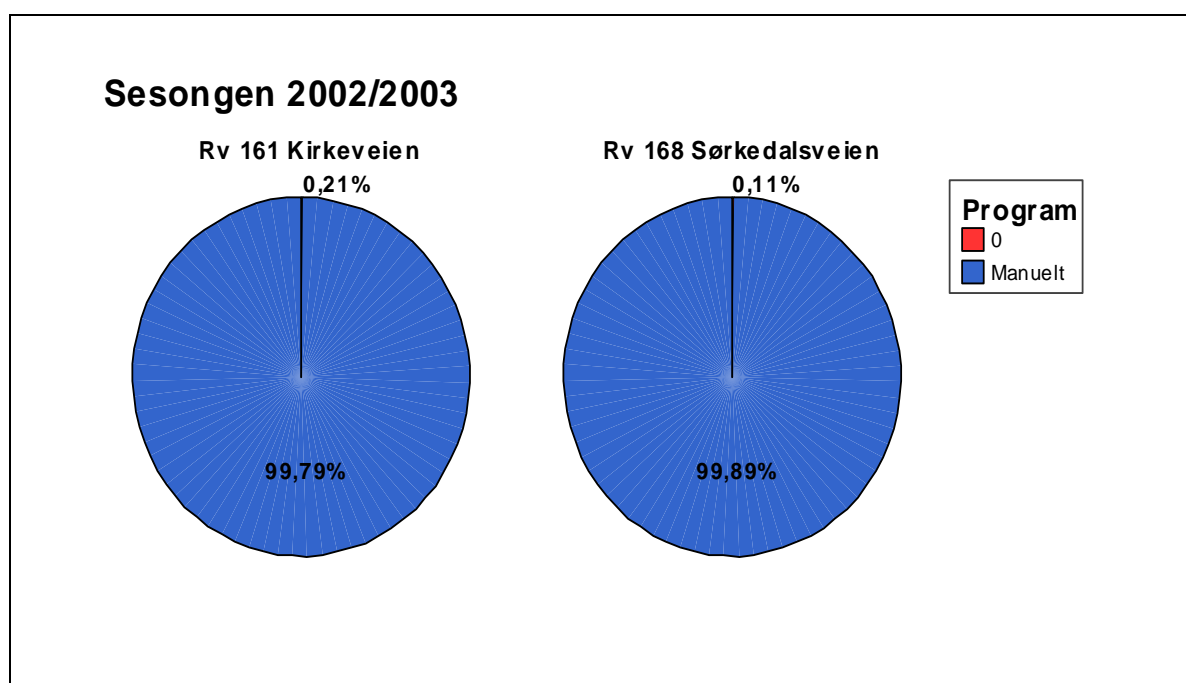
For en direkte sammenligning av tiltak som er gjort med befuktning med $MgCl_2$ -løsning og $NaCl$, er det benyttet de samme strekningene hvor det er gjort øvrige observasjoner i form av friksjonsmålinger:

- Rv 161 Kirkeveien mellom Uelands gate og Vigs gate
- Rv 168 Sørkedalsvegen mellom Majorstua og Smestad

Dette er vegstrekninger som er sammenlignbare både med hensyn til klima og trafikkforhold, men det knytter seg som nevnt en usikkerhet til den faktiske trafikkmengden på Rv 168 på den aktuelle parsellen. Disse 2 strekningene er også en del forskjellige med hensyn til topografi, orientering i forhold til himmelretning og omgivelser i form av strukturen på omkringliggende bygninger.

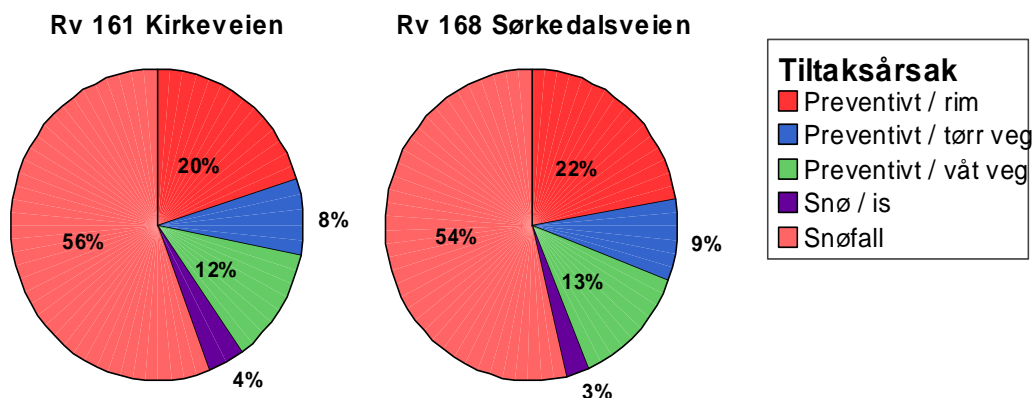
Grunnlaget for registreringene av tiltak er GPS-punkter som er plassert ut etter visse kriterier. Strøbilen som benyttes er utstyrt med et system for automatisk dataoppsamling med registrering bl a av:

- Dato og tidspunkt
- Programinnstilling (automatisk i 4 alternativer eller manuelt)
- Mengde salt og løsningsmiddel (kilo)
- Dekketemperatur
- Antall strøkilometer
- Antall kjørte kilometer
- Strødd areal
- Mengde salt og løsningsmiddel per m²



Figur 4.16: Tiltaksregistreringer i november 2002 – april 2003. Fordeling på programinnstillinger

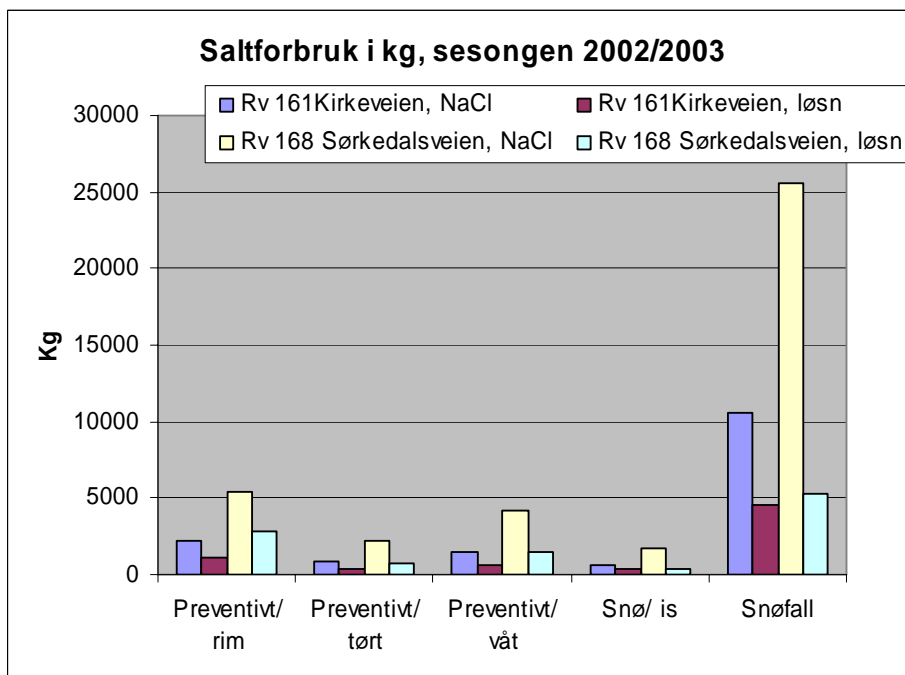
Figur 4.16 viser hvilke programmer det ble kjørt med på de 2 strekningene i de tilfellene det ble gjort salttiltak i november 2002 – mars 2003. Som en ser var det i hovedsak program 5 som ble benyttet, dvs manuell styring av doseringen.



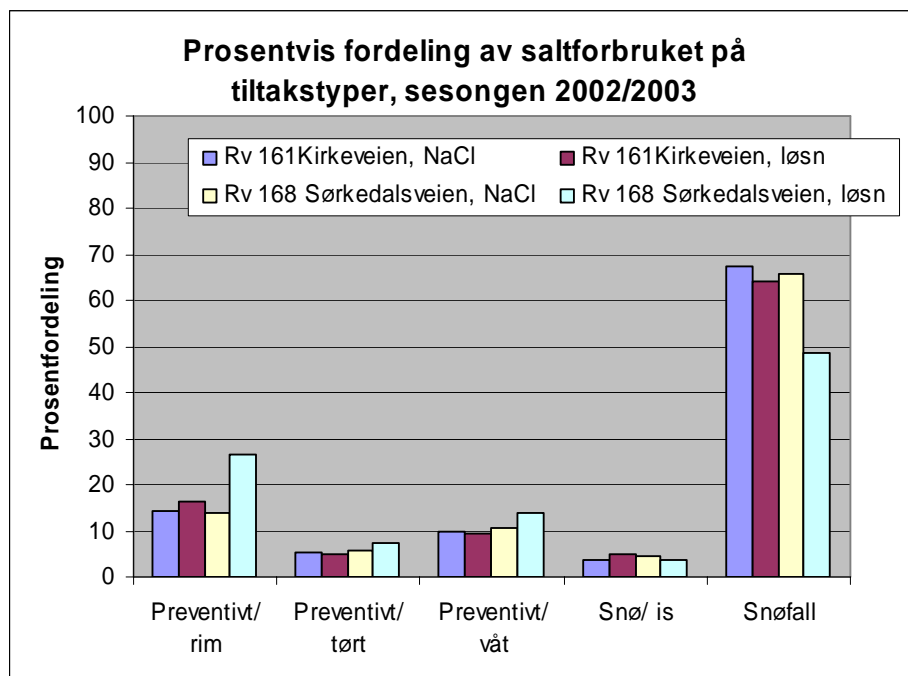
Figur 4.17: Tiltaksregistreringer i november 2002 – mars 2003, fordeling mellom ulike typer tiltak

Figur 4.17 viser en oversikt over hva som ble angitt som tiltakstype i forbindelse med salting. Som en ser dominerte ”Snøfall” bildet med ca 55 % av tilfellene. Bare 3-4 % av tiltakene ble utført på snø/is, og ca 40 % ble utført som preventive tiltak. Det er ikke noen vesentlig forskjell på de 2 strekningene når det gjelder tiltaksårsaker.

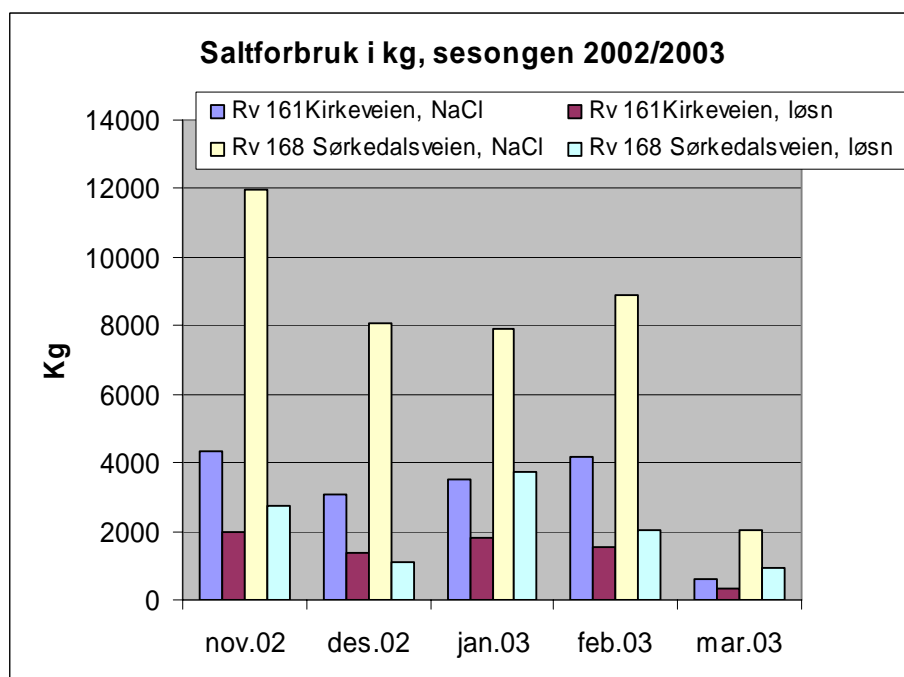
Figur 4.18 viser saltforbruket fordelt på tiltaksårsaker sesongen 2002/2003. Ca 65 % av både tørrstoffdelen og befruktningvæsken ble lagt ut i forbindelse med snøfall, jfr figur 4.19.



Figur 4.18: Totalt saltforbruk i kg fordelt på tiltaksårsaker



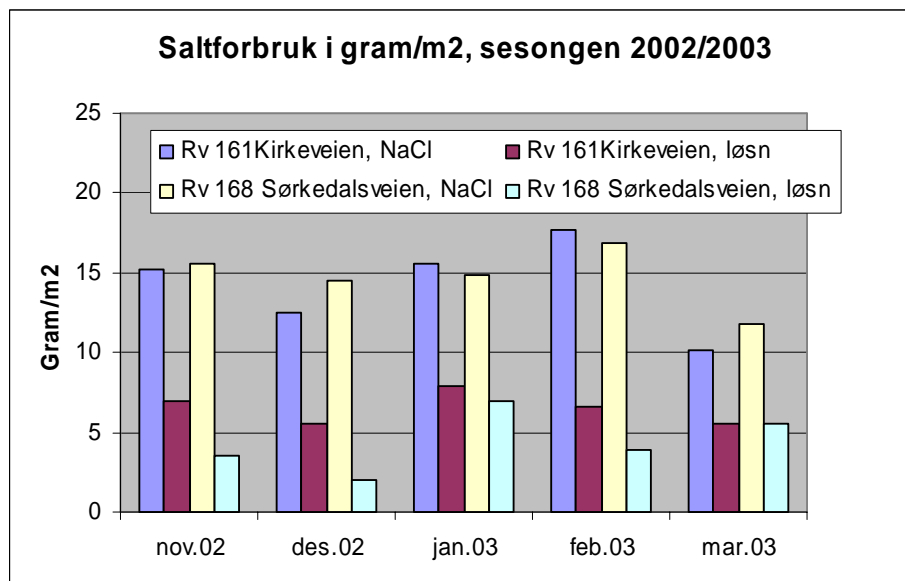
Figur 4.19: Prosentvis fordeling av saltforbruket på tiltaksårsaker



Figur 4.20: Registrert saltforbruk på Rv 161 og Rv 168 sesongen 2002/2003

Totalt saltforbruk på de 2 strekningene av Rv 161 og Rv 168 framgår av figur 4.20. Det kan se ut som det forholdsvis ble benyttet mindre befruktning i forhold til tørrstoffet på Rv 168 enn på Rv 161. Mengden befruktning var omtrent den samme, mens det ble benyttet større mengder tørrstoff på Rv 168 enn på Rv 161. Vegarealene (dekkebredde) for Kirkeveien og Sørkedalsveien på de 2 parsellene er henholdsvis 25.900 og 28.700 m².

Siden arealet på Sørkedalsveien er bare ca 11 % større enn på Kirkeveien, betyr dette at det forholdsmessig ble brukt mer salt på Sørkedalsveien enn på Kirkeveien sesongen 2002/2003. Omregnet til forbruk per arealenhet ble det benyttet 0,67 kg salt/m² på Kirkeveien og 1,45 kg salt/m² på Sørkedalsveien. Dette utgjør en forskjell på hele 216 %, dvs at det gjennom vinteren ble benyttet omtrent dobbelt så mye salt per kvadratmeter på Sørkedalsveien som på Kirkeveien.



Figur 4.21: Tiltaksregistreringer sesongen 2002/2003, gjennomsnittlige mengder av salt og magnesiumkloridløsning per tiltak

Figur 4.21 viser gjennomsnittlig dosering av henholdsvis tørt salt og løsning på MgCl₂-strekningen og referansestrekningen regnet ut fra registrert strødd areal. Det ble som en ser benyttet nokså nøyaktig samme mengde tørt salt per tiltak på referansestrekningen som på strekningen hvor det ble tilsatt MgCl₂-løsning. Det ble imidlertid ut fra foreliggende dokumentasjon gjennomgående benyttet mindre befruktningmengder på Rv 168 enn på Rv 161.

Tabell 4.3 viser en oversikt over antall dager det ble registrert med tiltak på de 2 strekningene sesongen 2002/2003. Tabellen inneholder også opplysninger om antall dager det ble kjørt over strekningene.

Tabell 4.3: Antall dager det er kjørt over strekningene og antall dager det er registrert salttiltak sesongen 2002/2003

Strekning	Dager det er kjørt over strekningen/dager med tiltak	Måned				
		Nov	Des	Jan	Feb	Mars
Rv 161 Kirkevn	Dager det er kjørt over strekn.	24	29	28	28	27
Rv 161 Kirkevn	Dager med tiltak	19	20	20	17	10
Rv 168 Sørkedalsvn	Dager det er kjørt over str.	24	29	28	28	27
Rv 168 Sørkedalsvn	Dager med tiltak	20	21	22	23	17

I følge tabell 4.3 var det omtrent likt antall dager med tiltak på Sørkedalsveien og å Kirkeveien i november – januar. I februar og mars var det imidlertid flere dager med tiltak på Rv 168 enn på Rv 161. Summert over hele sesongen var det 86 saltdøgn på Rv 161 og 103 saltdøgn på Rv 168.

Forskjellen i antall tiltak og totale saltmengder bør kunne tilskrives forskjellige metoder, og tyder altså på at befuktning med MgCl₂-løsning kan føre til redusert innsats i form av færre saltdøgn og redusert saltforbruk. Trafikkmønsteret og lokale klimavariasjoner kan være en tilleggsforklaring, men dette har en ikke gått detaljert inn på. Det er derfor foreløpig usikkert hvor stor prosentvis den faktiske reduksjonen i saltforbruket er ved bruk av MgCl₂-løsning som befuktningssvæske.

I tabell 4.4 er satt opp en oversikt over antall tiltak som er utført på de 2 strekningene. Det er regnet som nytt tiltak hvis det er mer enn 2 timers opphold mellom etterfølgende passeringer.

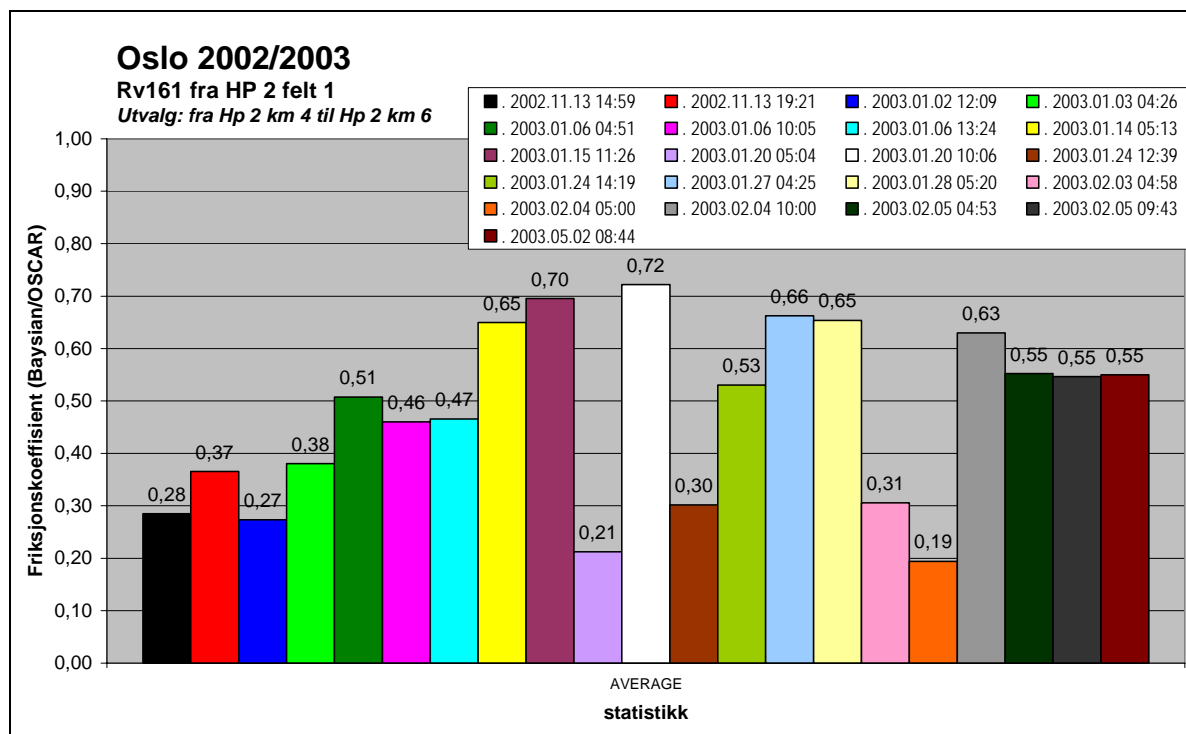
Tabell 4.4: Antall registrerte salttiltak

Strekning	Antall registrerte salttiltak sesongen 2002/2003				
	November	Desember	Januar	Februar	Mars
Rv 161 Kirkeveien	34	35	30	24	12
Rv 168 Sørkedalsveien	41	36	35	28	14

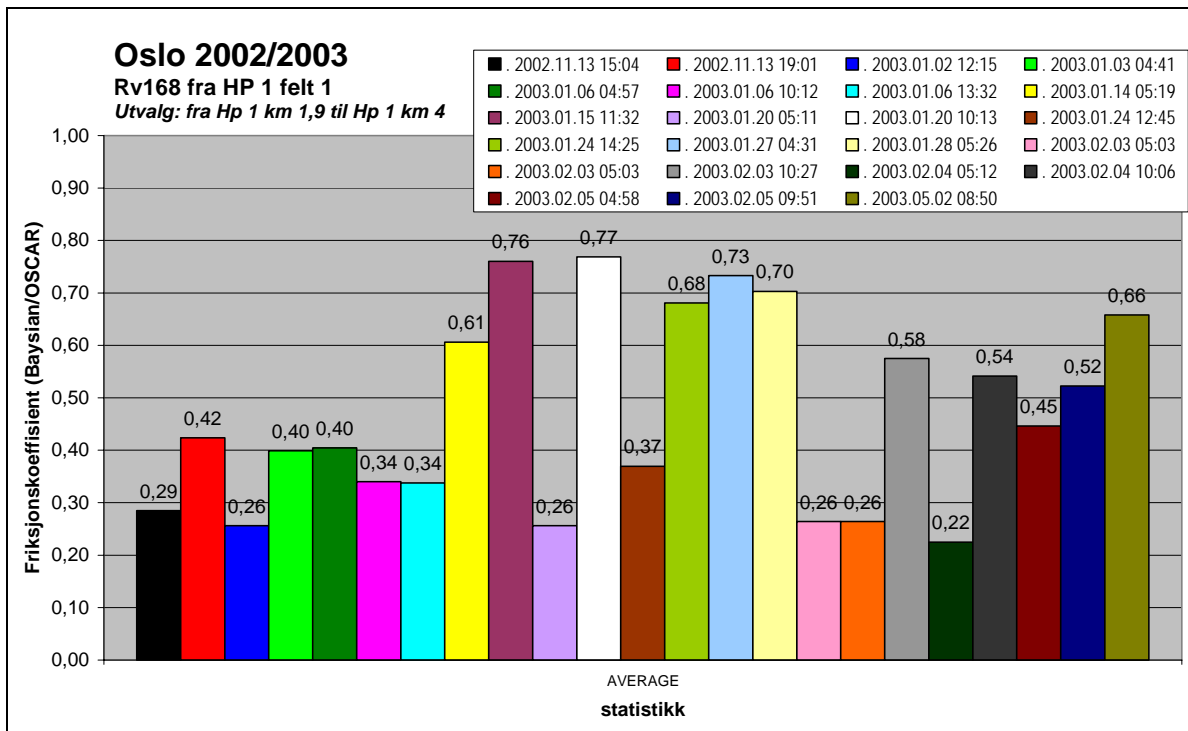
I perioden november 2002 – mars 2003 ble det utført totalt 135 salttiltak på Kirkeveien og 154 på Sørkedalsveien. Det er litt usikkert hvor godt tallene i tabell 4.4 representerer innsatsen på de 2 strekningene, siden det kan være tilfeller som ligger nært inntil den grenseverdien som er satt. Tabell 4.4 gir likevel en pekepinn om totalinnsatsen når det gjelder antall passeringer med strøpbilen.

4.4 Friksjonsmålinger

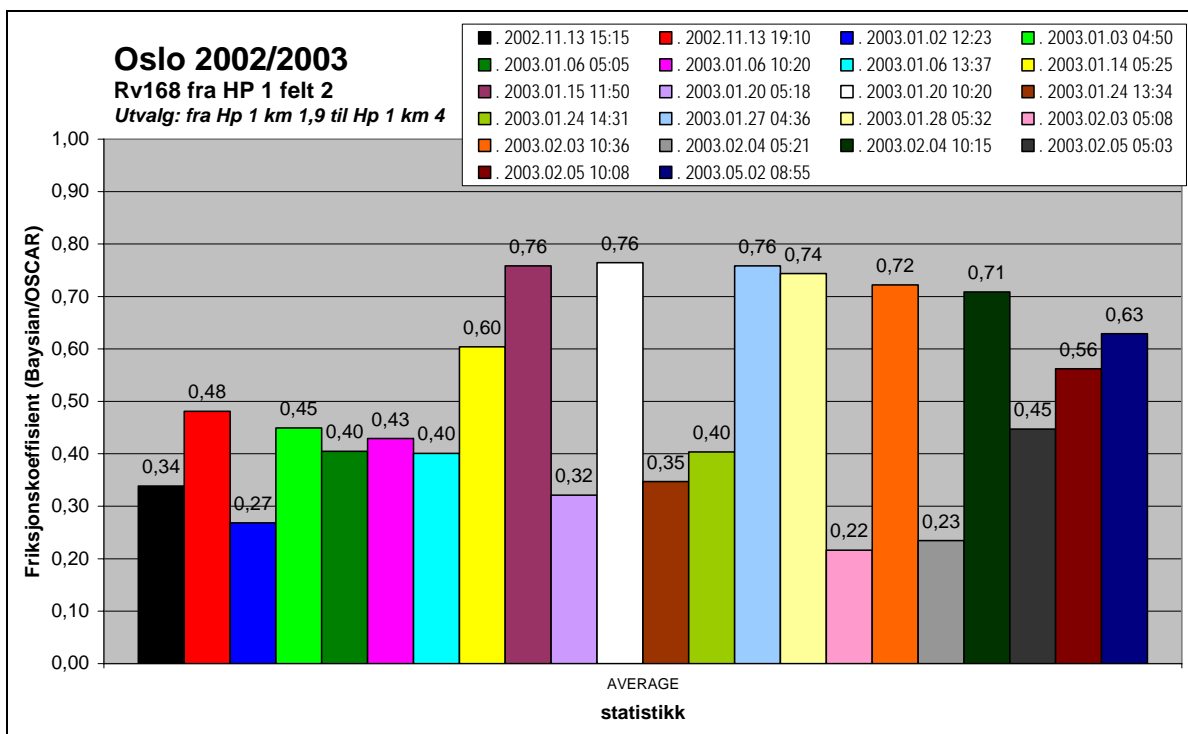
I figurene 4.22 – 4.25 er gjengitt resultater fra friksjonsmålingene i form av gjennomsnittsverdier fra de dagene/periodene det er gjort målinger. Med noen få unntak er friksjonsmålingene gjort om natten eller tidlig om morgenen.



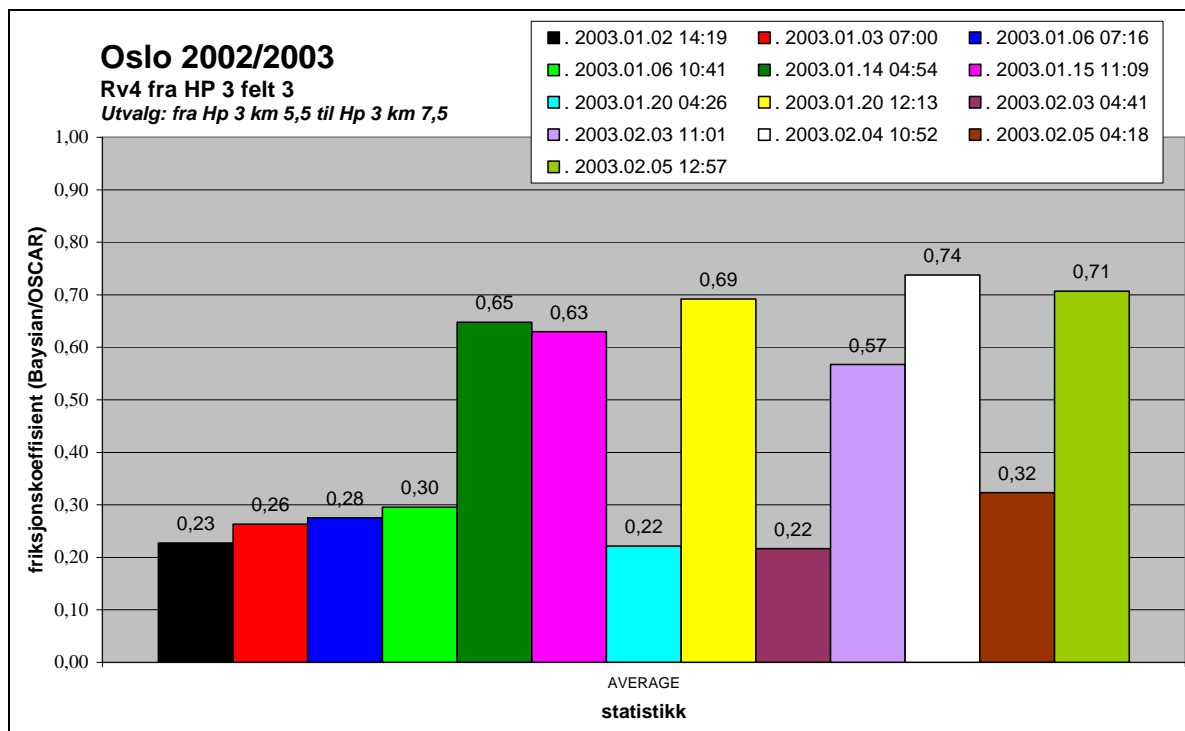
Figur 4.22: Friksjon målt med Roar Mark I på Rv 161, felt 1



Figur 4.23: Friksjon målt med Roar Mark I på Rv 168, felt 1

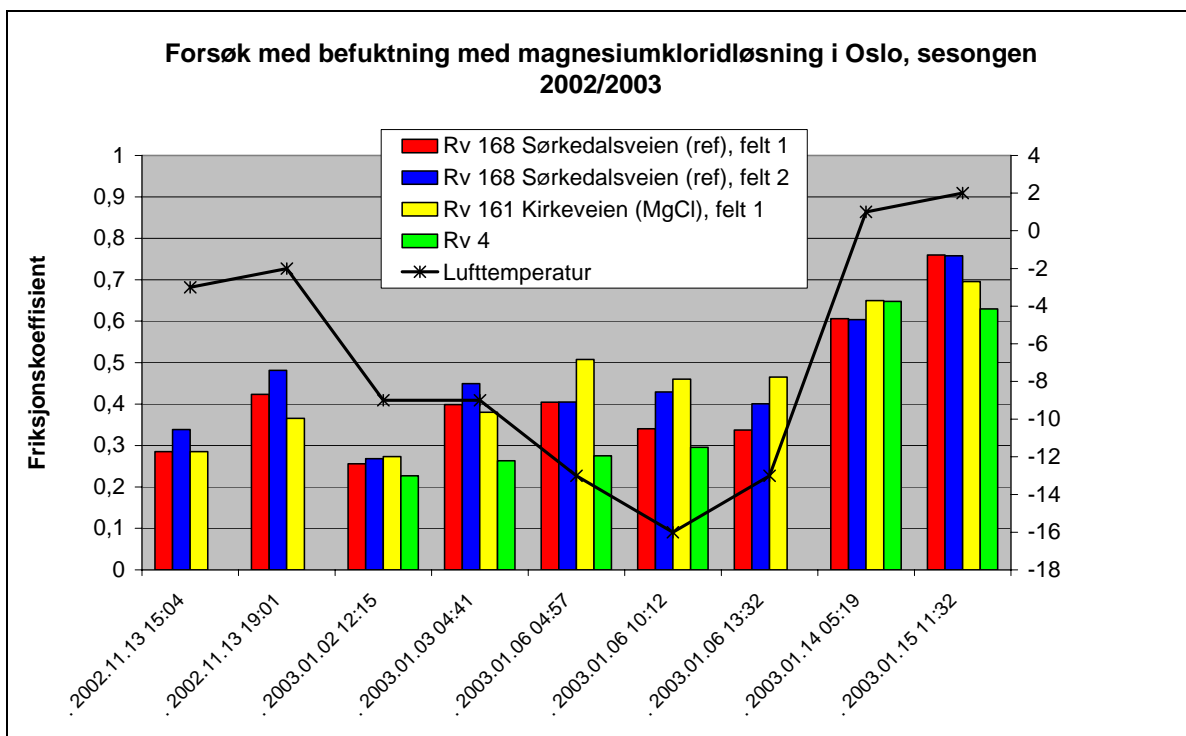


Figur 4.24: Friksjon målt med Roar Mark I på Rv 168, felt 2

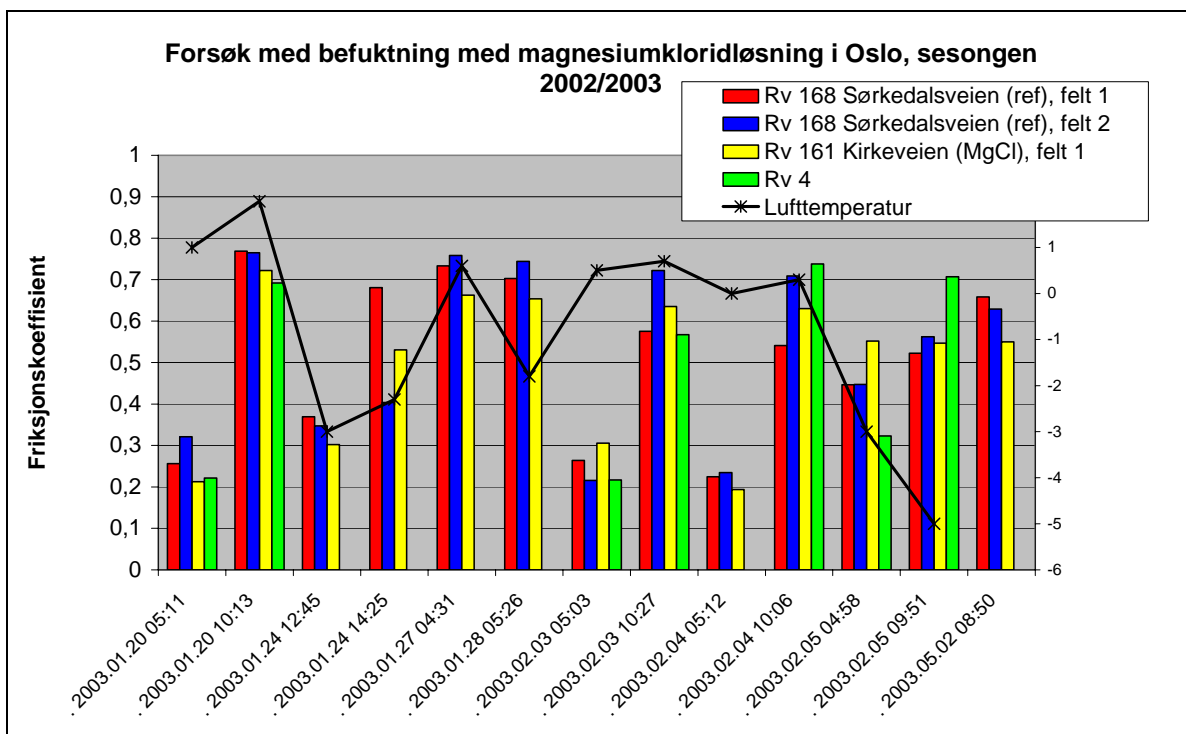


Figur 4.25: Friksjon målt med Roar Mark I på Rv 4, felt 3

Friksjonsmålingene som er gjort gir ikke noen fullstendig oversikt over friksjonsnivået over sesongen. Selv om det kunne vært ønskelig med flere måleserier særlig i forbindelse med nedbørssituasjoner, gir likevel friksjonsmålingene grunnlag for å foreta en sammenligning mellom MgCl₂-strekningen og referansestrekningen med tanke på å se eventuelle tendenser til sammenheng mellom saltingsmetode og friksjonsnivå, se figurene 4.26 og 4.27.



Figur 4.26: Målt friksjon på Rv 161 Kirkeveien og Rv 168 Sørkedalsveien sesongen 2002/2003



Figur 4.27: Målt friksjon på Rv 161 Kirkeveien og Rv 168 Sørkedalsveien sesongen 2002/2003

I figur 4.26 og 4.27 er det foretatt en sammenstilling av målingene med Roar Mark I på de 3 strekningene som er fulgt opp med friksjonsmålinger. Selv om materialet er lite, er det ikke indikasjoner på at det generelt er oppnådd høyere friksjon der det er benyttet befuktning med $MgCl_2$ -løsning sammenlignet med referansestrekningen med bare tørt salt. En kan imidlertid

heller ikke trekke den motsatte konklusjonen ut fra det foreliggende materialet selv om strekningen hvor det er benyttet $MgCl_2$ -løsning i flere tilfeller kommer ut med den laveste friksjonsverdien.

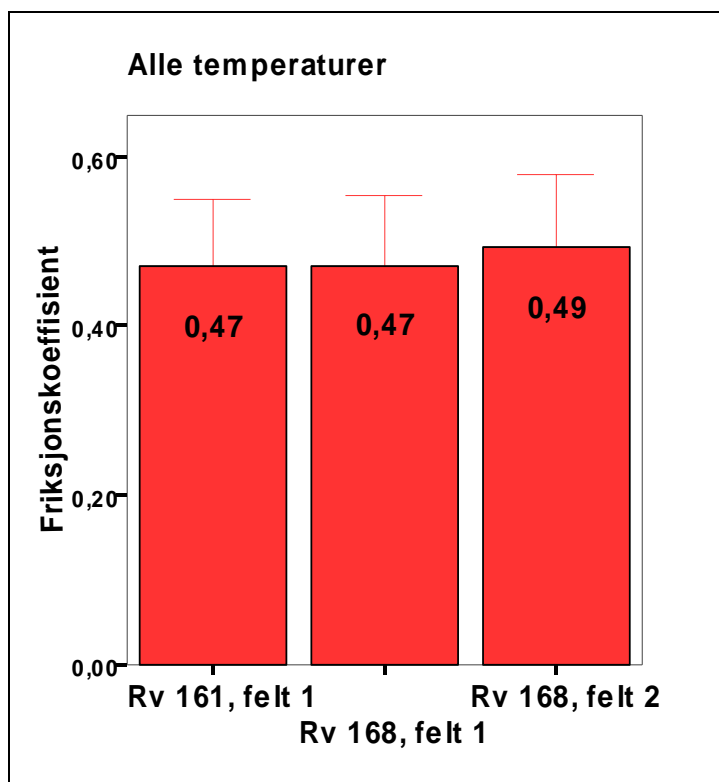
Sett i forhold til temperaturen, er det grunn til å framholde resultatene i perioden 2. – 6. januar, og særlig friksjonsutviklingen 6. januar. Den dagen var temperaturen nede i $-16^{\circ}C$, og målt friksjon var klart høyere på Rv 161 med $MgCl_2$ -løsning enn på Rv 168 med befuktning med $NaCl$ -løsning. Dette gir klart interessante indikasjoner i forhold til effektene på friksjon ved svært lave temperaturer. Tallmaterialet er imidlertid for lite til å trekke sikre konklusjoner.

I den samme perioden i januar var friksjonsnivået på målestrekningen på Rv 4 klart lavere enn både på Rv 161 og Rv 168.

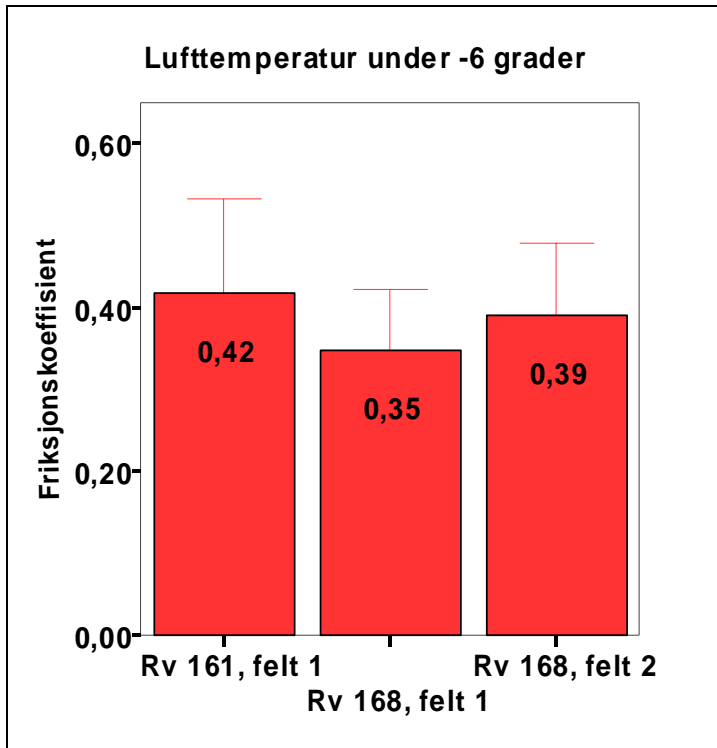
I figurene 4.28 – 4.30 er det foretatt en beregning av gjennomsnittlig friksjon på Kirkeveien og Sørkedalsveien ut fra de målingene som ble foretatt sesongen 2002/2003. Dataene er framstilt på følgende måte:

- Alle målinger, dvs uten å skille på temperatur
- Målinger ved lufttemperatur under -6 grader
- Målinger ved lufttemperatur over -6 grader

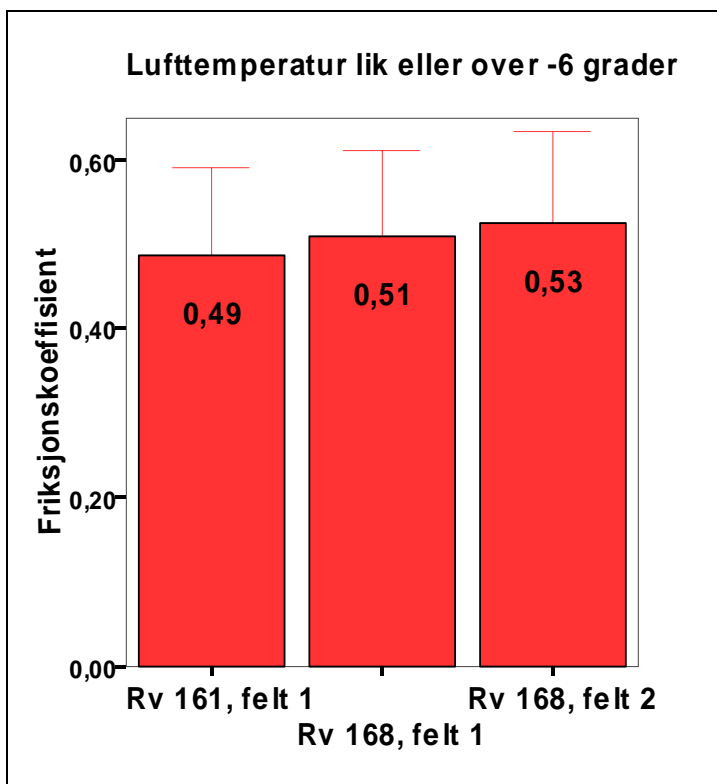
I tillegg til gjennomsnittsverdier er det også gjengitt 95 % konfidensintervall for gjennomsnittsverdien (angitt med en tynn vertikal og horisontal strek). Dersom konfidensintervallene for 2 forskjellige grupper ikke overlapper hverandre vil det si at forskjellen er statistisk signifikant på 5 %-nivå. Dvs. at det er mindre enn 5 % sannsynlighet for at forskjellen er utslag av tilfeldige variasjoner.



Figur 4.28: Gjennomsnittlig friksjon ut fra foreliggende målinger sesongen 2002/2003. Alle observasjoner



Figur 4.29: Gjennomsnittlig friksjon ut fra foreliggende målinger sesongen 2002/2003. Lufttemperatur lavere enn -6 grader

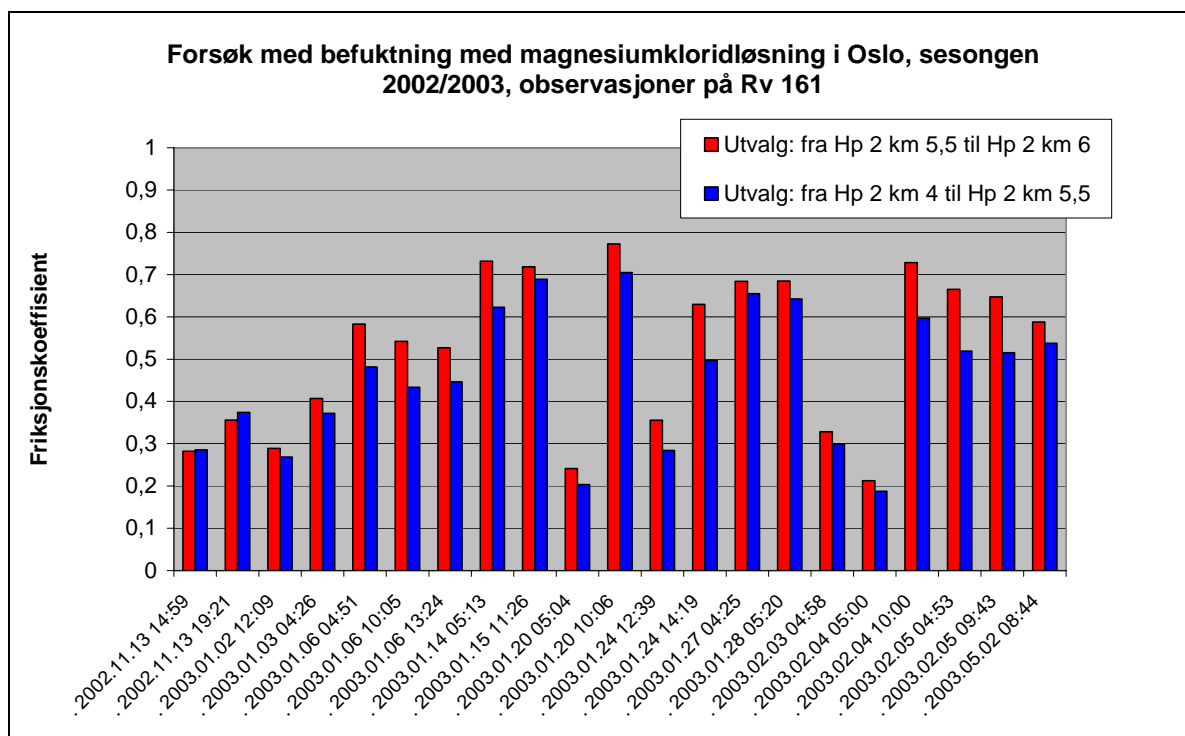


Figur 4.30: Gjennomsnittlig friksjon ut fra foreliggende målinger sesongen 2002/2003. Lufttemperatur lik eller over -6 grader

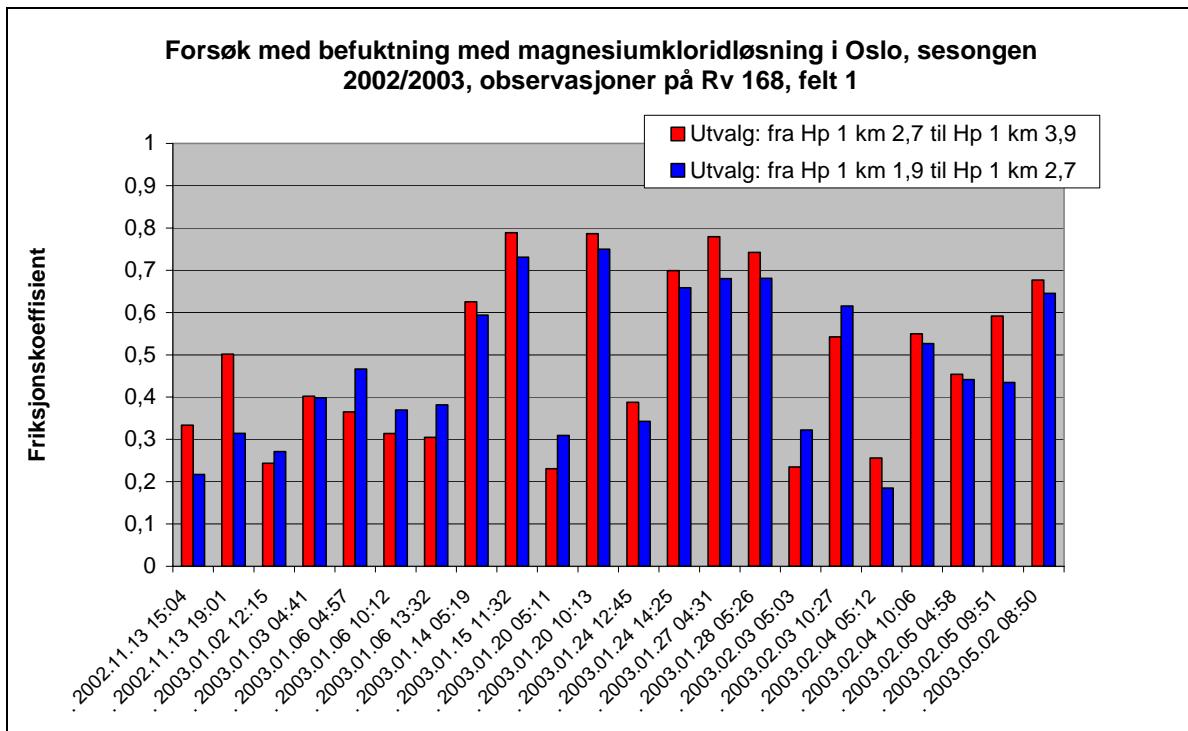
Det er ingen signifikante forskjeller mellom de 3 målestrekningene som det er beregnet gjennomsnittlige friksjonsverdier for. Det er imidlertid interessante tendenser i materialet når en skiller ut observasjoner som er gjort ved lufttemperatur under -6°C . Selv om forskjellen ikke er statistisk signifikant, er den beregnede gjennomsnittsverdien høyest for Kirkeveien, dvs der det er benyttet befuktning med MgCl_2 -løsning. De små forskjellene for observasjonene som er gjort med lufttemperatur lik eller over -6°C bør ikke tillegges vesentlig vekt og tolkes slik at foreliggende materiale tyder ikke på at type befuktningssvæske påvirker friksjonsforholdene når lufttemperaturen er over -6°C .

For å se hvordan asfaltegenskapene virker inn, er det i figurene 4.31 – 4.33 foretatt en sammenligning mellom målt friksjon på ny og gammel asfalt. I figur 4.34 er det foretatt en sammenstilling av måleresultatene bare på parsellene med ny asfalt.

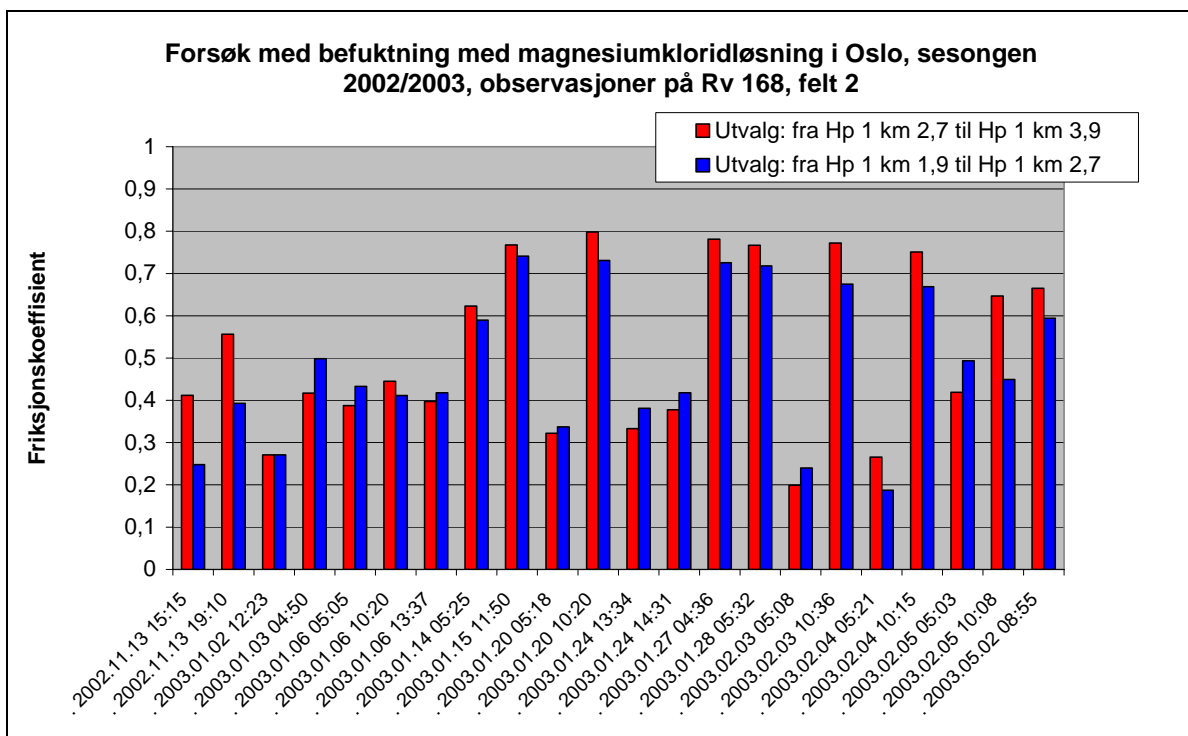
Selv om det ikke er helt entydig, er det et gjennomgående trekk at friksjonen var høyere på den nylagte asfalten enn på den gamle asfalten. Dette er tydeligst for Rv 161, men i hvilke grad dette har sammenheng med metoden som er benyttet er det vanskelig å si noe sikkert om. Av figur 4.34 kan en imidlertid se at forskjellen til fordel for MgCl_2 -strekningen forsterkes når en bare ser på parsellene med nylagt asfalt.



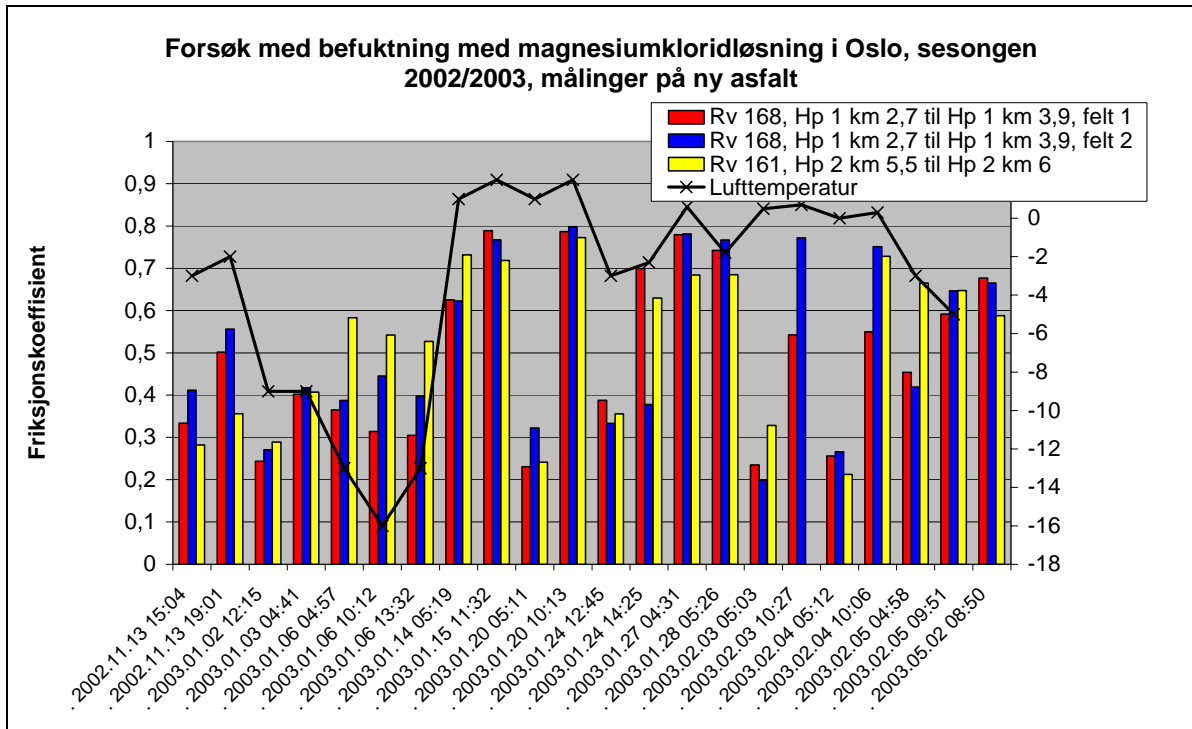
Figur 4.31: Målt friksjon på Rv 161 på ny og gammel asfalt



Figur 4.32: Målt friksjon på Rv 168 på ny og gammel asfalt, felt 1

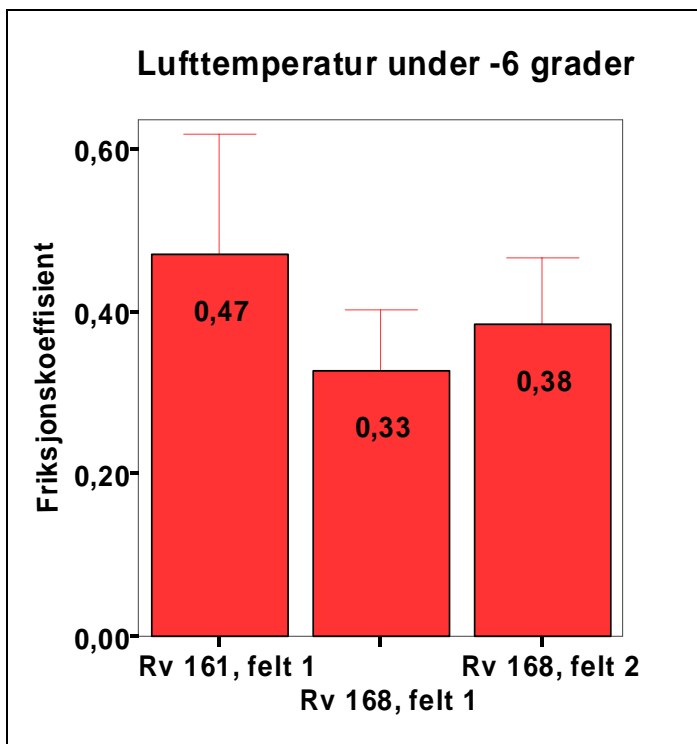


Figur 4.33: Målt friksjon på Rv 168 på ny og gammel asfalt, felt 2

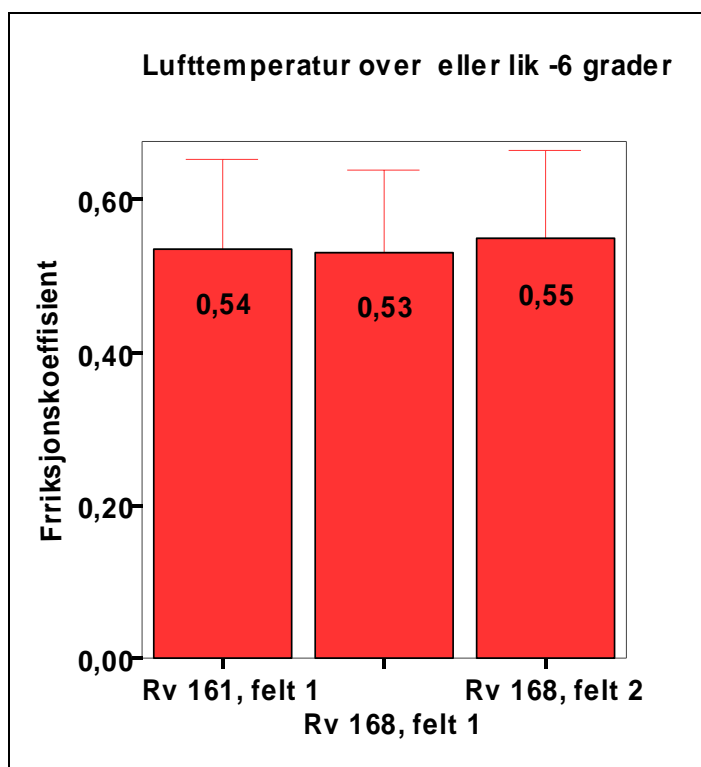


Figur 4.34: Målt friksjon på ny asfalt

En beregning av gjennomsnittlig friksjon for parsellene med nylagt asfalt er vist i figur 4.35 og 4.36 med en oppdeling etter lufttemperatur.



Figur 4.35: Gjennomsnittlig friksjon ut fra foreliggende målinger på ny asfalt sesongen 2002/2003. Lufttemperatur lavere enn -6 grader



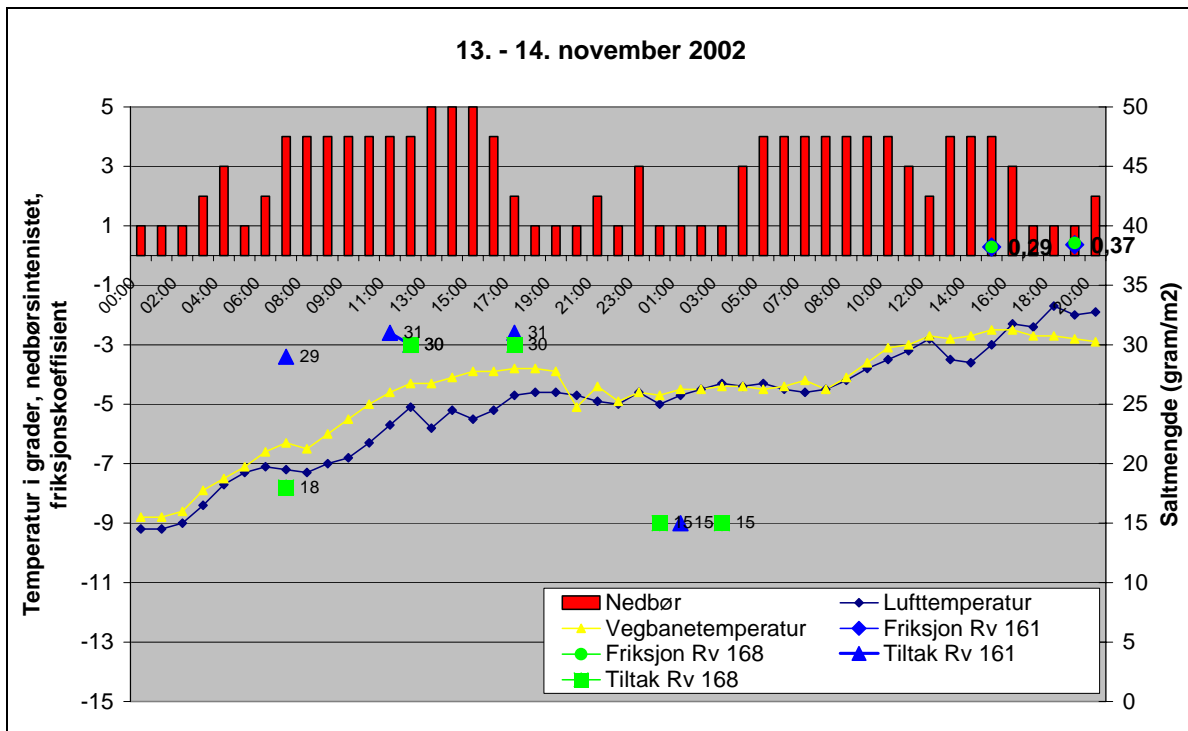
Figur 4.36: Gjennomsnittlig friksjon ut fra foreliggende målinger på ny asfalt sesongen 2002/2003. Lufttemperatur lik eller over -6 grader

Figur 4.35 viser at forskjellen i gjennomsnittlig friksjon mellom de 2 saltmetodene var særlig markert på nylagt asfalt ved lufttemperatur under -6 °C. For å få verifisert dette vil det være nødvendig med flere observasjoner.

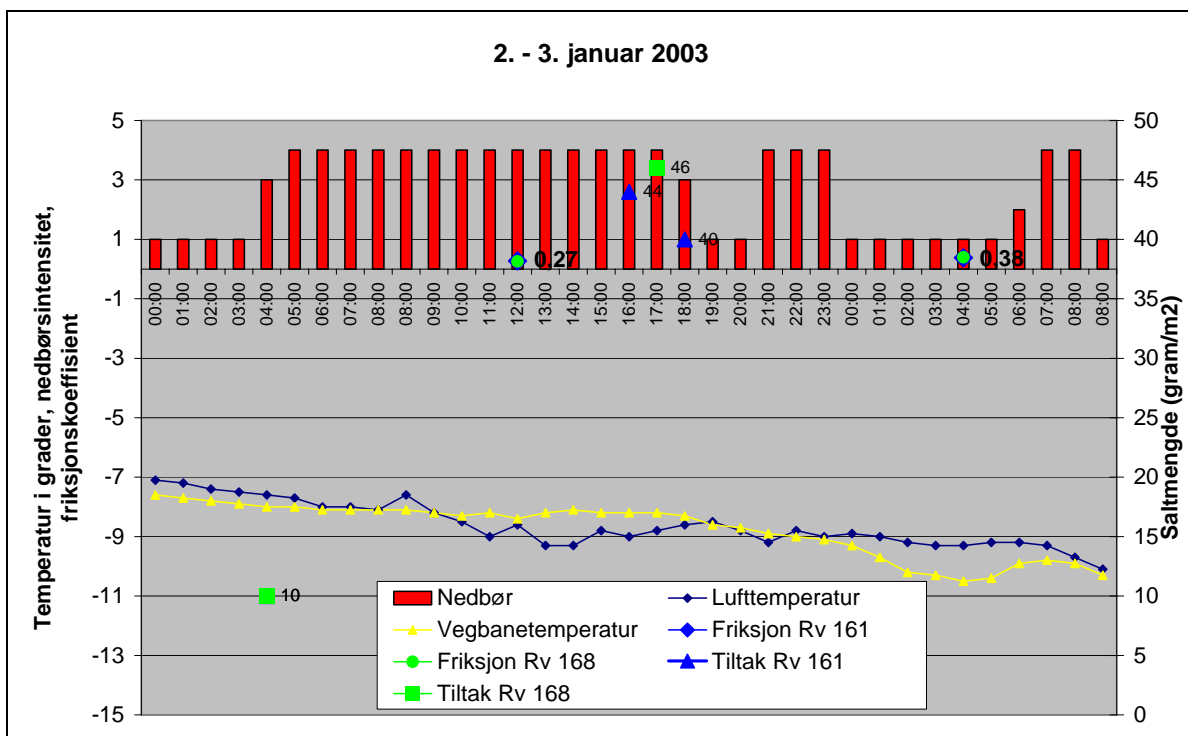
For å sette friksjonsverdiene i relasjon til klimadata og saltingstiltak, er det sett nærmere på det som skjedde i forbindelse med snøfall i følgende perioder:

- 13. – 14. november, se figur 4.35
- 2. – 3. januar, se figur 4.36
- 5. – 6. januar, se figur 4.37
- 19. – 20. januar, se figur 4.38
- 2. – 3. februar, se figur 4.39
- 4. – 5. februar, se figur 4.40

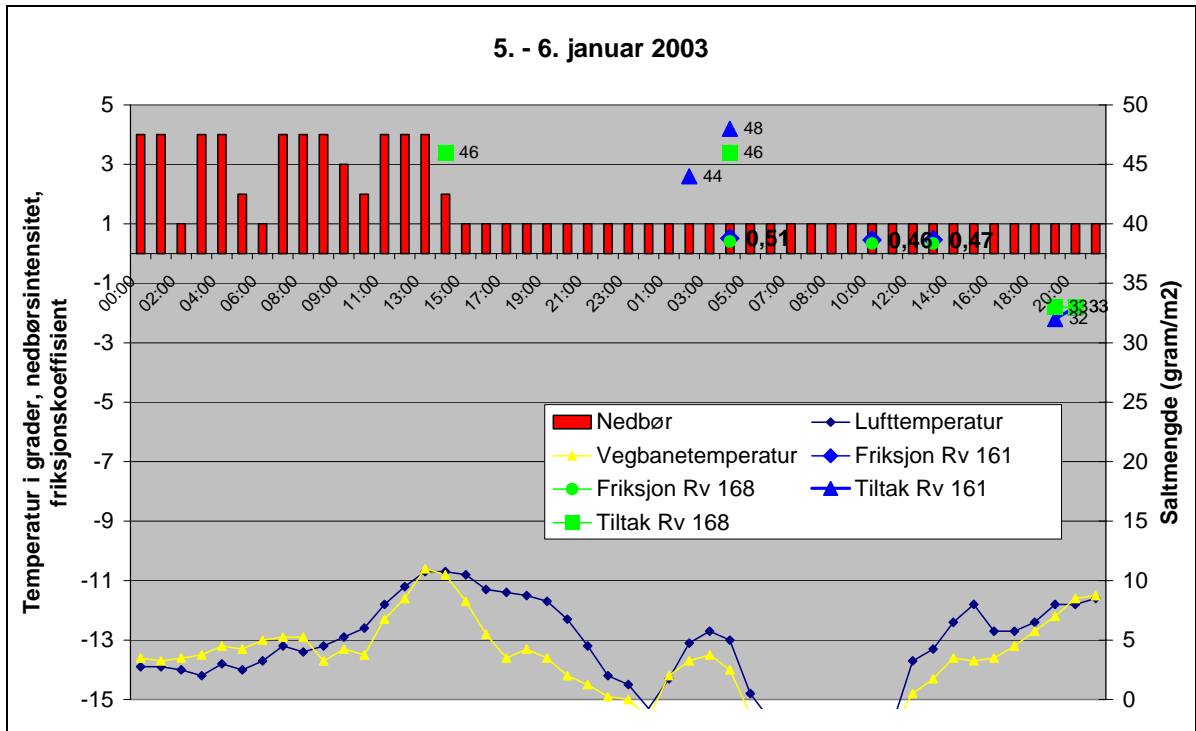
Det er vanskelig å trekke ut noe entydig mønster ut fra sammenstillingene i figurene 4.35 – 4.40. Det ville vært ønskelig med en tettere friksjonsoppfølging i periodene med snøfall for å få en mer detaljert utvikling av friksjonsforløpet fra glatte forhold til friksjonen har stabilisert seg igjen med bar veg.



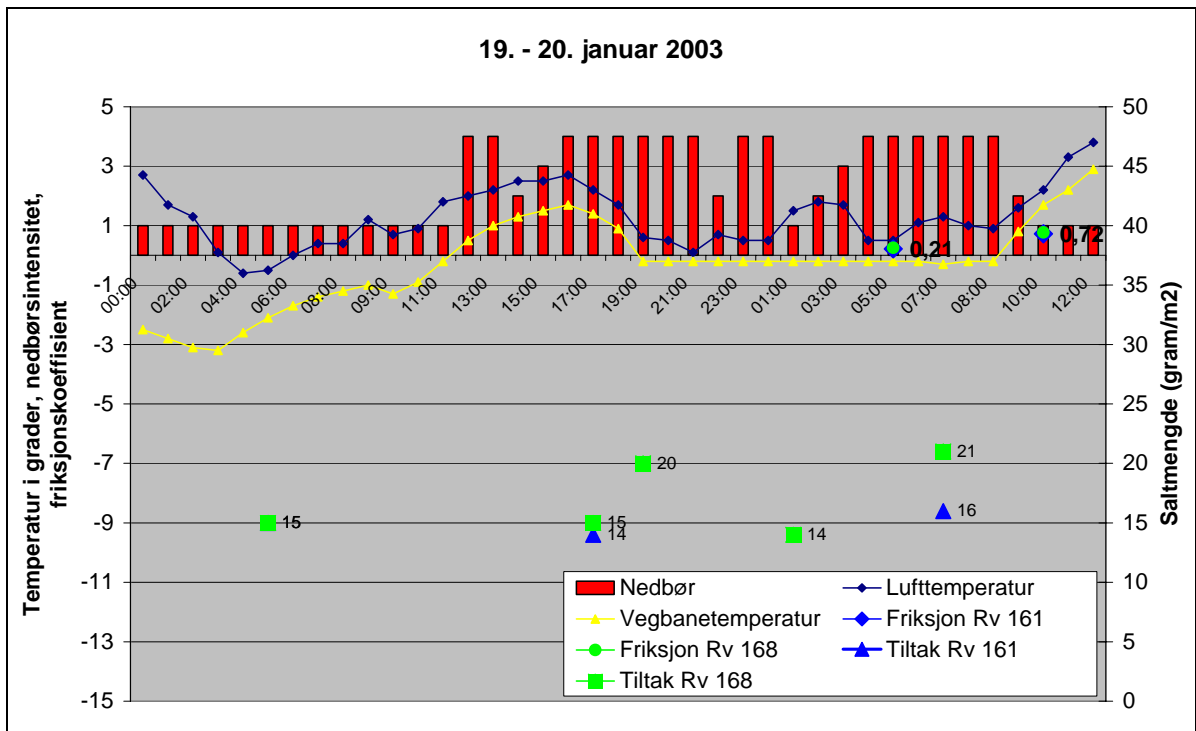
Figur 4.35: Friksjonsutvikling sett i sammenheng med klimadata og saltingstiltak, 13. – 14. november 2002



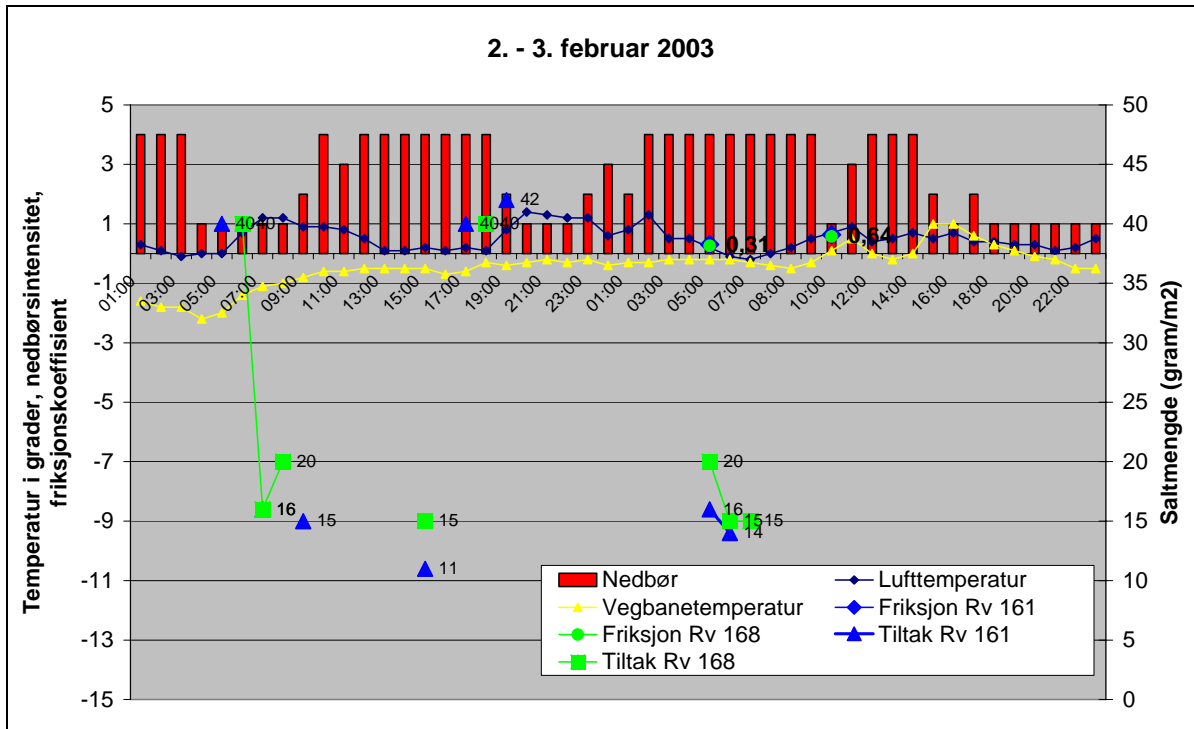
Figur 4.36: Friksjonsutvikling sett i sammenheng med klimadata og saltingstiltak, 2. – 3. januar 2003



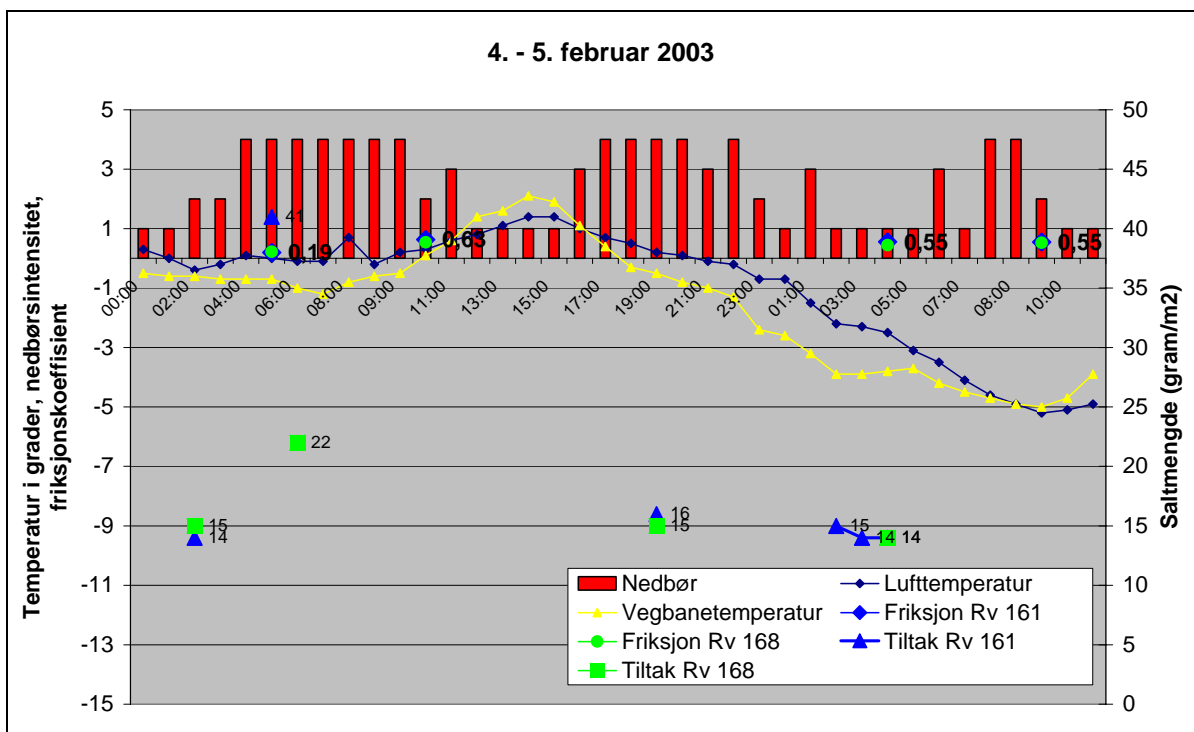
Figur 4.37: Friksjonsutvikling sett i sammenheng med klimadata og saltingstiltak, 5. – 6. januar 2003



Figur 4.38: Friksjonsutvikling sett i sammenheng med klimadata og saltingstiltak, 19. – 20. januar 2003



Figur 4.39: Friksjonsutvikling sett i sammenheng med klimadata og saltingstiltak, 2. – 3. februar 2003



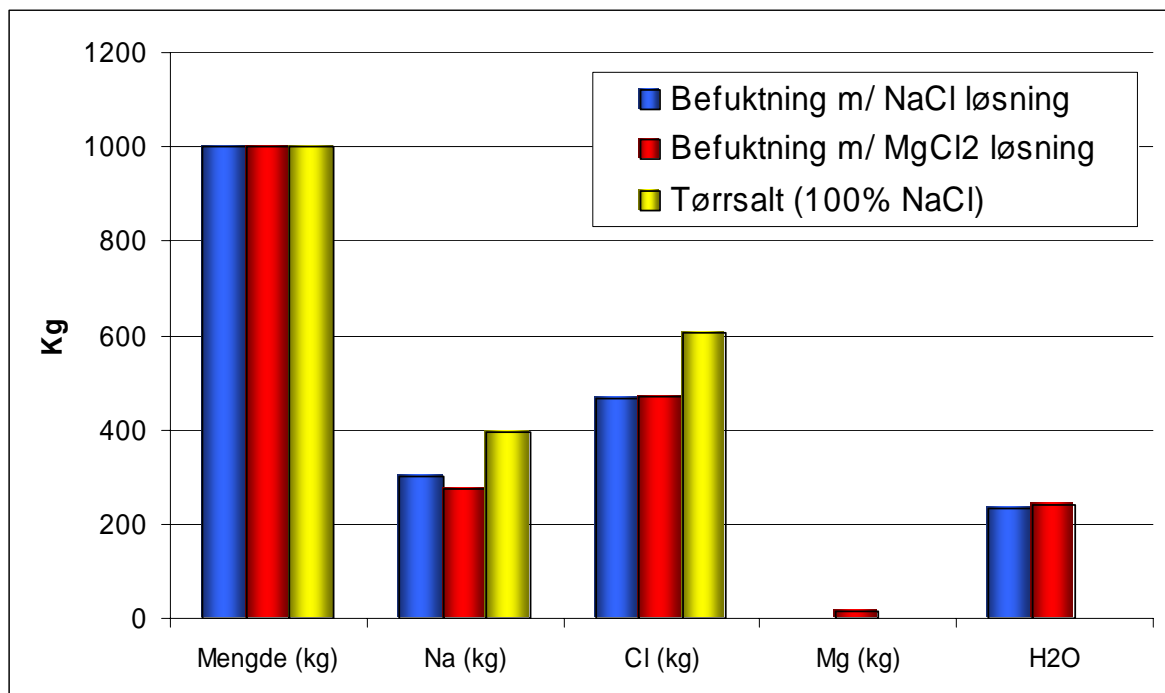
Figur 4.40: Friksjonsutvikling sett i sammenheng med klimadata og saltingstiltak, 4. – 5. februar 2003

4.5 Fotodokumentasjon

I vedlegg 1 er gjengitt bilder fra perioden 12. -13. november tatt med VidKon i friksjonsmålebilen.

4.6 Mengder av ulike stoffer

I figur 4.41 er satt opp en oversikt over beregnede mengder Na, Cl og Mg ved ulike metoder. Beregningene er basert på molekylvekten til de ulike stoffene.



Figur 4.41: Beregnede mengder av ulike stoffer ved forskjellige metoder

Som en kan se av figur 4.41, er det ikke særlig stor forskjell i mengde Cl hvis man salter samme mengde med de to metodene. Det er altså først ved en reell reduksjon i saltmengden at metodevalget får miljømessig betydning.

4.7 Oppsummering

Både i november, desember, januar, februar og de første dagene i mars var det temperaturer under minus 10 °C, og lengre perioder med temperaturer i området minus 5 til minus 10 °C. Dette indikerer flere tilfeller av tiltak ut over temperaturområdet for NaCl sesongen 2002/2003. Sesongen sett under ett var lufttemperaturen under -6 °C i 19 % av tiden.

Summert over hele sesongen var det 86 saltedøgn på Rv 161 og 103 saltedøgn på Rv 168. I perioden november 2002 – mars 2003 ble det utført totalt 135 salttiltak på Kirkeveien og 154 på Sørkedalsveien. Saltmengden omregnet til forbruk per arealenhet viser at det ble benyttet 0,67 kg

salt/m² på Kirkeveien og 1,45 kg salt/m² på Sørkedalsveien. Dette utgjør en forskjell på hele 216 %, dvs at det gjennom vinteren ble benyttet omtrent dobbelt så mye salt per kvadratmeter på Sørkedalsveien som på Kirkeveien..

Forskjellen i antall tiltak og totale saltmengder per arealenhet bør for en stor del kunne tilskrives forskjellige metoder, og tyder altså på at befuktning med MgCl₂-løsning kan føre til redusert innsats i form av færre saltdøgn, færre tiltak og redusert saltforbruk. Trafikkmønsteret og lokale klimavariasjoner kan være en tilleggsforklaring. Siden en ikke har gått detaljert inn på slike forhold, er det foreløpig usikkert hvor stor prosentvis den faktiske reduksjonen i saltforbruket er ved bruk av MgCl₂-løsning som befuktningssvæske.

Når det gjelder friksjonsmålinger, er det grunn til å framholde resultatene i perioden 2. – 6. januar, og særlig friksjonsutviklingen 6. januar. Den dagen var temperaturen nede i -16 °C, og målt friksjon var klart høyere på Rv 161 med MgCl₂-løsning enn på Rv 168 med befuktning med NaCl-løsning. Dette gir klart interessante indikasjoner i forhold til effektene på friksjon ved svært lave temperaturer.

Det er ingen signifikante forskjeller mellom Kirkeveien og Sørkedalsveien ut fra gjennomsnittlige friksjonsverdier. Det er imidlertid interessante tendenser i materialet når en skiller ut observasjoner som er gjort ved lufttemperatur under -6 °C. Selv om forskjellen ikke er statistisk signifikant, er den beregnede gjennomsnittsverdien høyest for Kirkeveien, dvs der det er benyttet befuktning med MgCl₂-løsning. Forskjellen i gjennomsnittlig friksjon mellom de 2 saltmetodene var særlig markert på nylagt asfalt ved lufttemperatur under -6 °C.

Forsøkene med befuktning med MgCl₂-løsning i Oslo etter to sesonger gir ikke grunnlag for å trekke konklusjoner om hvor egnet metoden er, men viser likevel at det er interessant å fortsette prosjektet som planlagt ytterligere 1 sesong ut fra at anvendelse av magnesiumklorid kan påvirke totalt saltforbruk. Sesongen 2002/2003 ble det også gjort interessante observasjoner ved lave temperaturer som tyder på at det er gunstig å bruke tilsetning av MgCl₂-løsning i slike tilfeller. For å få verifisert dette vil det være nødvendig med flere observasjoner.

Litteraturliste

Amundsen, C.E., Andersen, S., Hartnik, T., Krogh, P.H., Linjordet, R., Nordal, R. & Warner, B. 1999. Kjemisk og økotoksikologisk karakterisering av veistøv. Jordforskrappport 84/99.

Amrhein, C., Strong, J.E. & Mosher, P.A. 1992. Effect of deicing salts on metal and organic matter mobilization in roadside soils. *Environ. Sci. Technol.* 26, 703 - 709.

Bäckman, L. & Folkesson, L. 1995. Saltpåverkan på vegetation, grundvatten och mark utmed E20 och Rv 48 i Skaraborgs län 1994. VTI meddelande nr 775. 43s.

Blomqvist, G. 1998. Impact of de-icing salt on roadside vegetation. A literature review. VTI rapport 427A 1998. 36s.

FHWA. Manual of Practice for an Effective Anti-icing Program. A Guide for Highway Winter Maintenance Personnel. Prepared for the Federal Highway Administration by US Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Corps of Engineers. Hanover, New Hampshire. 1996

Fitch, G.M. & Roosevelt, D.S. 2000. Environmental implications of the use of "Ice ban" as an ice prewetting agent for sodium chloride. Transportation Research Record, No 00-0879, 32-37.

Järvinen, Hanna-Liisa. Technical Characteristics and Environmental Impacts of Deicing Chemicals. Tampere University of Technology, Engineering Geology. Tampere 1995

Jørstad, Oddvar, Grini, Per G., Owren, Geir A. Bruk av saltløsninger til vegvedlikehold. SINTEF Klima- og kuldeteknikk. SINTEF rapport STF11 F95008. Juni 1995

Labadia, C.F. & Buttle, J.M. 1996. Road salt accumulation in highway snow banks and transport through the unsaturated zone of the Oak Ridges Moraine, Southern Ontario. *Hydrological Processes*, Vol. 10, 1575 - 1589.

Mengel, K. & Kirkby, E.A. 1987. Principles of Plant Nutrition. 4th edition. International Potash Institute, Bern. 687s.

Minner, D.D., Bingaman, B.R. & Gall, J.A. 1998. The effect of deicing chemicals on turfgrass. XTH Piarc International Winter Road Congress. VTI-rapport Vol 2, 529-537.

Minsk, David L. Snow and Ice Control Manual for Transportation Facilities

Öberg, Gudrun, Gustafson, Kent, Axelson, Lennart. Effektivare halkbekämpning med mindre salt. MINSALT-prosjektets huvudrapport. VTI-rapport 369/1991

Åhnberg, A & Knecht, M. 1996. Vintervägsaltets spridning i grundvattnet, metoder att bedöma belastningskänslighet. Uppsala universitet, Institutionen för geovetenskap. Hydrologi. Uppsala, Sweden.

Åstebøl, S.O., Pedersen, P.A., Røhr, P.K., Fostad, O. & Soldal O. 1996. Effekter av veisaltning på jord, vann og vegetasjon, Sammendragsrapport MITRA nr 05/96. 63s.

Vaa, Torgeir 2002. Vinterfriksjonsprosjektet – forsøk med befuktning med magnesiumkloridløsning i Oslo sesongen 2001/2002. Intern rapport, Vegteknisk avdeling

Vedlegg 1: Fotodokumentasjon



Figur VI.1: Rv 161, gammel asfalt



Figur VI.2: Rv 161, ny asfalt



Figur VI.3: Rv 168, gammel asfalt



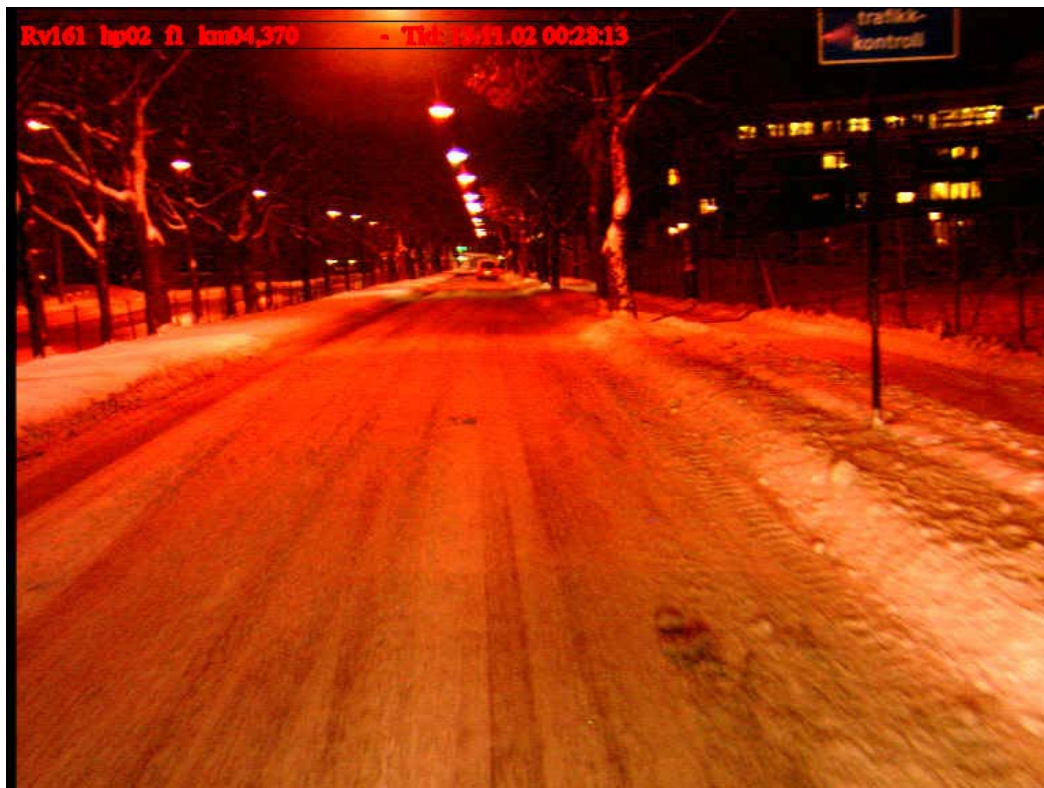
Figur VI.4: Rv 168, ny asfalt



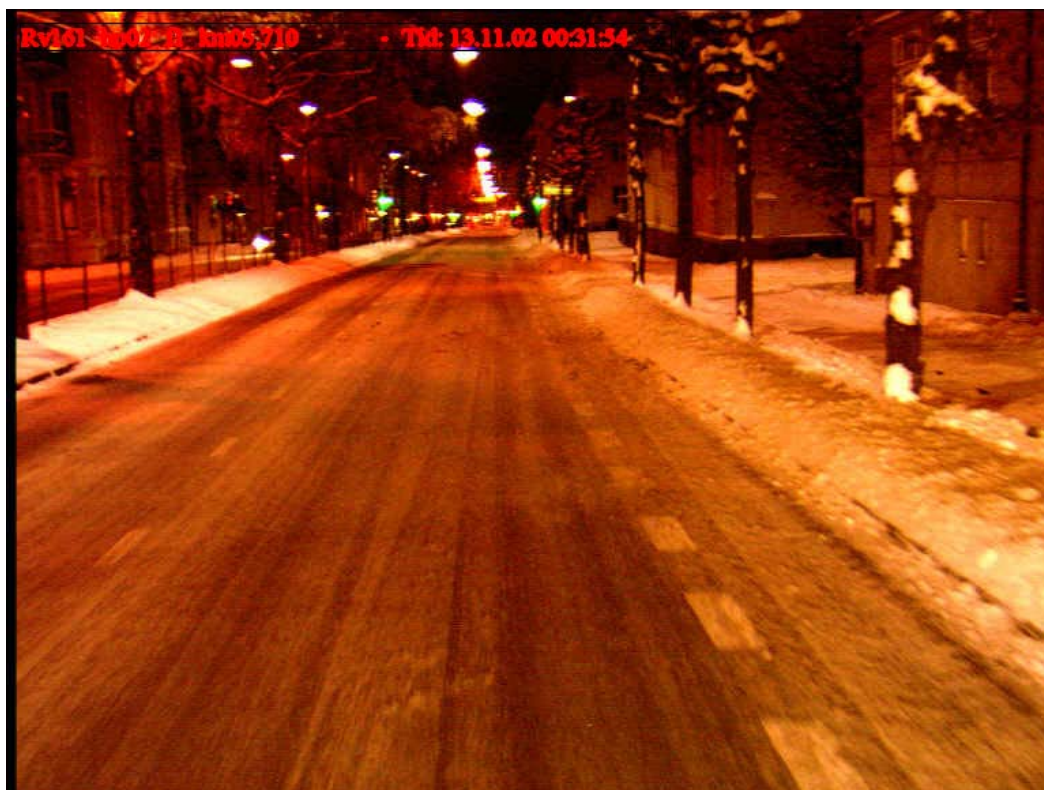
Figur VI.5: Rv 168, gammel asfalt



Figur VI.6: Rv 168, ny asfalt



Figur VI.7: Rv 161, gammel asfalt



Figur VI.8: Rv 161, ny asfalt



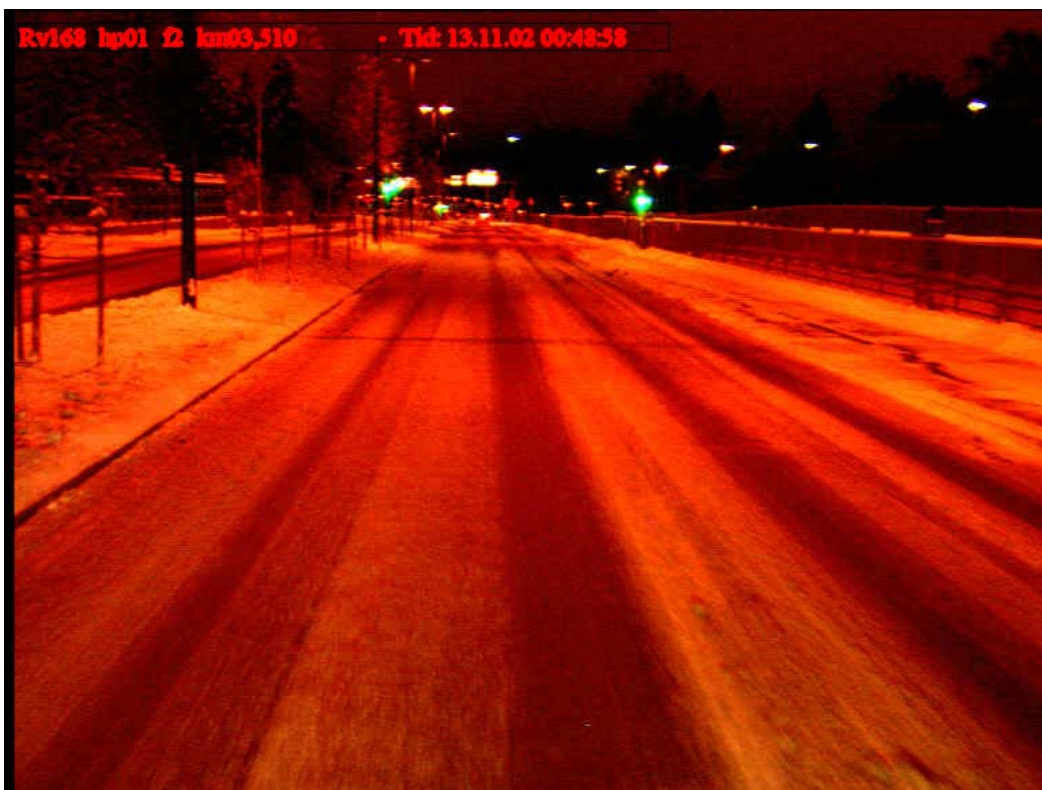
Figur VI.9: Rv 168, gammel asfalt



Figur VI.10: Rv 168, ny asfalt



Figur VI.11: Rv 168, gammel asfalt



Figur VI.12: Rv 168, ny asfalt



Figur VI.13: Rv 161, gammel asfalt



Figur VI.14: Rv 161: Rv 161, ny asfalt



Figur VI.15: Rv 168, gammel asfalt



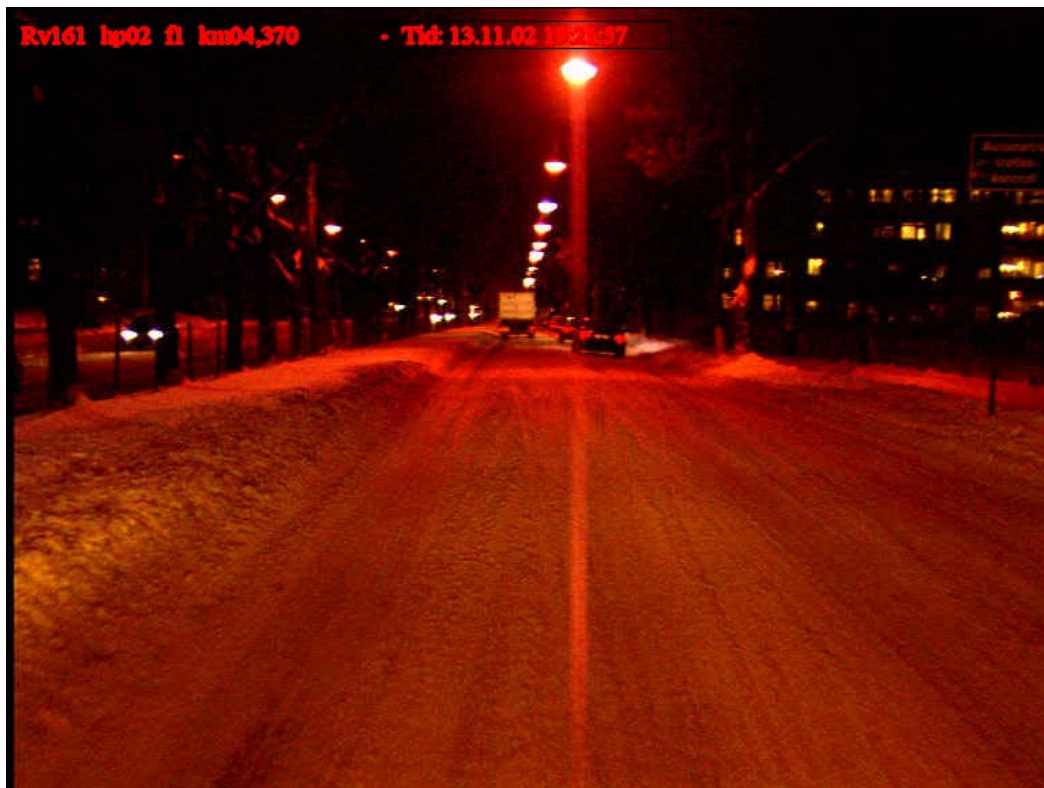
Figur VI.16: Rv 168, ny asfalt



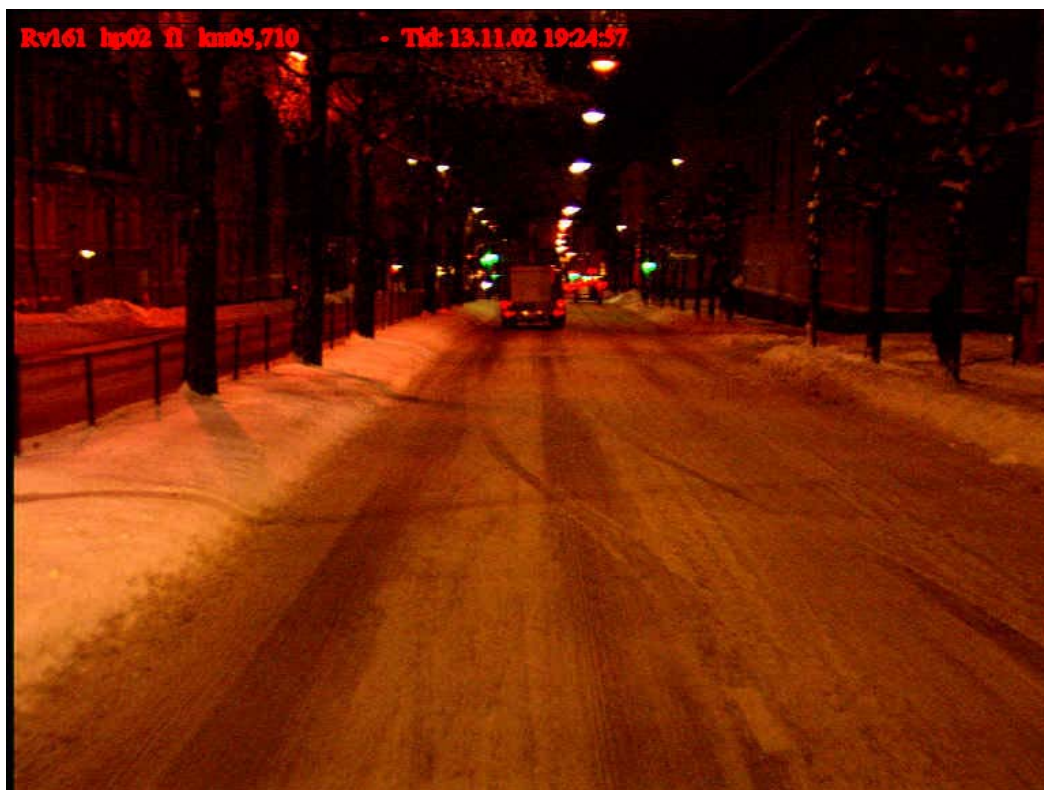
Figur VI.17: Rv 168, gammel asfalt



Figur VI.18: Rv 168, ny asfalt



Figur VI.19: Rv 161, gammel asfalt



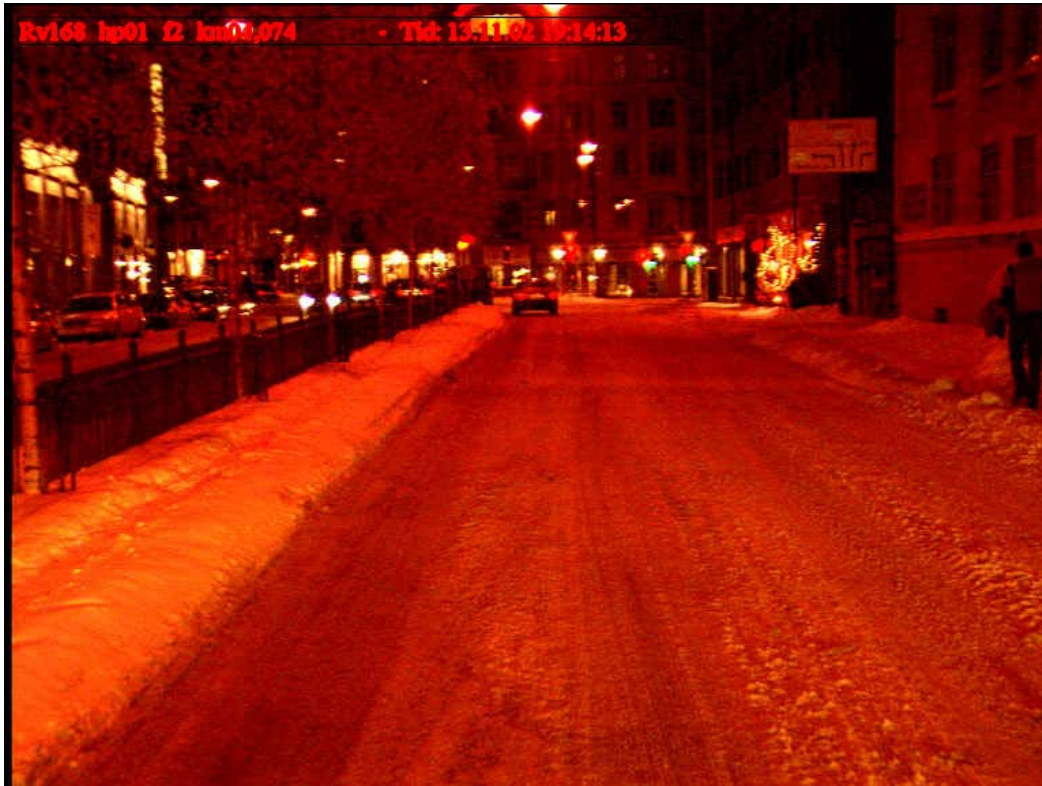
Figur VI.20: Rv 161, ny asfalt



Figur VI.21: Rv 168, gammel asfalt



Figur VI.22: Rv 168, ny asfalt



Figur VI.23: Rv 168, gammel asfalt