



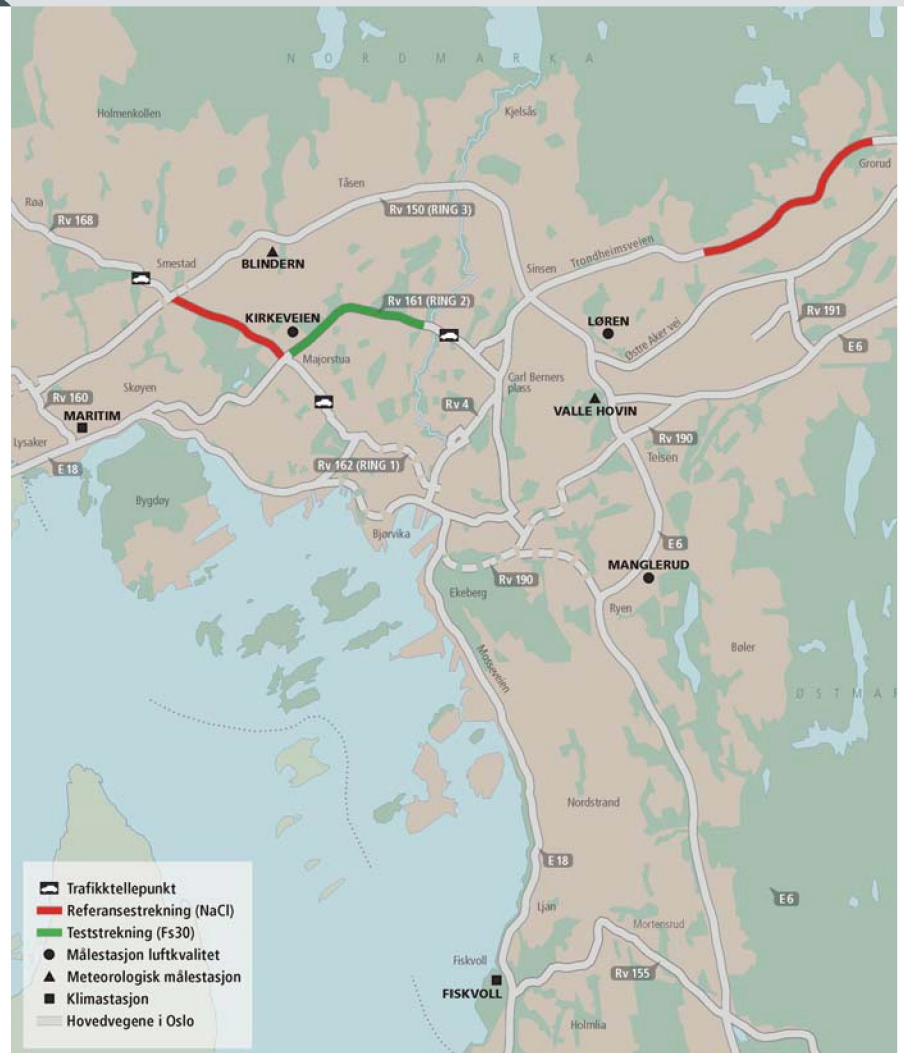
Statens vegvesen

Forsøk med befuktning med magnesium-
kloridløsning i Oslo.
Sesongen 2001/2002 - 2004/2005. Sluttrapport

RAPPORT

Teknologiavdelingen

nr: 2414





Statens vegvesen

Vegdirektoratet
Teknologiavdelingen

Postadr.: Postboks 8142 Dep
0033 Oslo

Telefon: 22 07 35 00

www.vegvesen.no

TEKNOLOGI-RAPPORT nr. 2414

Tittel

Forsøk med befuktning med magnesiumkloridløsning i Oslo. Sesongene 2001/2002 – 2004/2005. Sluttrapport

Utarbeidet av

SINTEF Teknologi og samfunn,
Transportsikkerhet og –informatikk v/ Torgeir Vaa

Dato:	Saksbehandler	Prosjektnr:
Desember 2005	Roar Støtterud	600649
	Kontrollert av	Antall sider og vedlegg:
	Øystein Larsen	67, 30

Sammendrag

Målsettingen med prosjektet på magnesiumklorid ($MgCl_2$) har vært både å se hvilke muligheter befuktning av tørt salt med $MgCl_2$ -løsning gir for å operere ved lavere temperaturer, samt å se på varigheten av tiltak, opptørkingstid og saltforbruket sammenlignet med befuktning med NaCl-løsning. 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 ble valgt som studieområde. Prosjektet er gjennomført som et 4-årig prosjekt. Det ble startet opp sesongen 2001/2002, og gikk ut sesongen 2004/2005.

Konklusjonen er at når det tas hensyn til ytre faktorer på det undersøkte vegnettet i Oslo, blir den reelle effekten av å benytte befuktning med $MgCl_2$ -løsning i stedet for NaCl-løsning en reduksjon i saltforbruket på mellom 20 – 25 prosent ved bruk av førstnevnte saltmetode. En kan ut fra foreliggende materiale ikke slutte at overgang til $MgCl_2$ fører til en reduksjon i antall saltdøgn og antall tiltak. På den annen side kan det konkluderes med at overgang til bruk av $MgCl_2$ ikke har medført økt tiltaksomfang på forsøksvegnettet i Oslo.

Resultatene av en miljøundersøkelse tyder på at de to befukningsmetodene har tilnærmet like egenskaper på miljøet gitt samme mengdeforbruk. Det ligger imidlertid en miljøgevinst i den påviste reduksjonen i saltforbruket. I tillegg har studien vist at dette ikke har gitt redusert friksjon på veiene i Oslo. I bestemte situasjoner (temperaturer under $-6^{\circ}C$) er det faktisk påvist en friksjonsforbedring. Ut ifra et miljøperspektiv vil det derfor være gunstig å gå over fra befuktning med NaCl til befuktning med $MgCl_2$. Hvis en bare tar hensyn til rene driftskostnader og ikke regner inn nyttekomponentene (miljø, friksjonsforbedring) blir befuktning med $MgCl_2$ 4 prosent dyrere.

Summary

The main goal with the magnesium chloride ($MgCl_2$) project has been both to look into which possibilities prewetting dry salt with $MgCl_2$ -brine gives to operate at lower temperatures, and to investigate the duration of a salting action, dry up time and salt consumption compared to prewetting with brine based on sodium chloride (NaCl). One of the purposes has been to study how different methods effects on friction and friction development under varying winter road conditions. The national roads within Ring 3 were chosen as study area. The project has been carried out as a 4 year project starting up in the winter season 2001/2002 and finished the winter season 2004/2005.

The conclusion is that with outer factors in the study area in consideration (local climate, traffic etc), the real effect from using prewetting with $MgCl_2$ -brine instead of NaCl-brine is a reduction in the salt consumption of between 20 – 25 percent by use of the first mentioned method. One can from the available operational statistics not draw the conclusion that a change to use of $MgCl_2$ -brine leads to a reduction in the number of salt days and number of actions. It can on the other hand be concluded that a transition to use of $MgCl_2$ -brine as prewetting agent has *not* caused an increase in the number of actions in the study area in Oslo.

The results from a study on the environmental effects indicate that the two methods for prewetting have almost the same properties regarding the environment given the same amount of salt usage. There is however environmental gains in the documented reduction in salt consumption. The study has in addition showed that this has not reduced the friction on the roads in the study area in Oslo. In certain conditions (temperatures below $-6^{\circ}C$) it is actually proven a friction improvement. From an environmental point of view it will therefore be favorable to change from prewetting with NaCl-brine to prewetting with $MgCl_2$ -brine. If one take into consideration only the operational costs and do not include the components of benefit (environment, friction improvement) prewetting with $MgCl_2$ -brine will be 4 percent more expensive.

Emneord:

Vinterdrift, salting, magnesiumklorid

Winter maintenance, salting, magnesium chloride



SINTEF Teknologi og samfunn
Transportsikkerhet og -informatikk

Postadresse: 7465 Trondheim
Besøksadresse: Klæbuveien 153
Telefon: 73 59 46 60
Telefaks: 73 59 46 56

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

SINTEF RAPPORT

TITTEL

**Forsøk med befuktning med magnesiumkloridløsning i Oslo.
Sesongene 2001/2002 – 2004/2005. Sluttrapport**

FORFATTER(E)

Torgeir Vaa, Sondre Meland

OPPDRAGSGIVER(E)

Veg- og trafikkfaglig senter i Trondheim, Vegdirektoratet

RAPPORTNR. STF50 A05180	GRADERING Åpen	OPPDRAGSGIVERS REF. Roar Støtterud	
GRADER. DENNE SIDE	ISBN 82-14-03727-1	PROSJEKTNR. 223301	ANTALL SIDER OG BILAG
ELEKTRONISK ARKIVKODE SINTEF RAPPORT_2414_mgcl2_oslo	PROSJEKTLEDER (NAVN, SIGN.) Torgeir Vaa <i>Torgeir Vaa</i>	VERIFISERT AV (NAVN, SIGN.) Terje Giæver <i>Terje Giæver</i>	
ARKIVKODE	DATO 2005-12-16	GODKJENT AV (NAVN, STILLING, SIGN.) Trond Foss, Forskningsjef <i>Trond Foss</i>	

SAMMENDRAG

Målsettingen med prosjektet på $MgCl_2$ har vært både å se hvilke muligheter befuktning av tørt salt med $MgCl_2$ -løsning gir for å operere ved lavere temperaturer, samt å se på varigheten av tiltak, opptørkingstid og saltforbruket sammenlignet med befuktning med $NaCl$ -løsning. 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 ble valgt som studieområde. Prosjektet er gjennomført som et 4-årig prosjekt. Det ble startet opp sesongen 2001/2002, og gikk ut sesongen 2004/2005.

Konklusjonen er at når det taes hensyn til ytre faktorer på det undersøkte vegnettet i Oslo, blir den reelle effekten av å benytte befuktning med $MgCl_2$ -løsning i stedet for $NaCl$ -løsning en reduksjon i saltforbruket på mellom 20 – 25 prosent ved bruk av førstnevnte saltmetode. Mens både antall dager med tiltak og antall registrerte salttiltak i 2002/2003 tydet på at det var færre saltedgn og færre tiltak der det ble benyttet $MgCl_2$ enn der det ble brukt $NaCl$, var innsatsnivået nokså likt de to påfølgende sesongene. En kan derfor ut fra foreliggende materiale ikke slutte at overgang til $MgCl_2$ fører til en reduksjon i antall saltedgn og antall tiltak. På den annen side kan det konkluderes med at overgang til bruk av $MgCl_2$ ikke har medført økt tiltaksomfang på forsøksvegnettet i Oslo.

Resultatene av en miljøundersøkelse tyder på at de to befuktningsmetodene har tilnærmet like egenskaper på miljøet gitt samme mengdeforbruk. Det ligger imidlertid en miljøgevinst i den påviste reduksjonen i saltforbruket. I tillegg har studien vist at dette ikke har gitt redusert friksjon på veiene i Oslo. I bestemte situasjoner (temperaturer under $-6^{\circ}C$) er det faktisk påvist en friksjonsforbedring. Ut ifra et miljøperspektiv vil det derfor være gunstig å gå over fra befuktning med $NaCl$ til befuktning med $MgCl_2$. Hvis en bare tar hensyn til rene driftskostnader og ikke regner inn nyttekomponentene (miljø, friksjonsforbedring) blir befuktning med $MgCl_2$ 4 prosent dyrere.

STIKKORD	NORSK	ENGELSK
GRUPPE 1	Samferdsel	Transport
GRUPPE 2	Veg	Road
EGENVALGTE	Vinterdrift	Winter Maintenance
	Salting	Salting
	Magnesiumklorid	Magnesium chloride

Innhold

SAMMENDRAG	III
SUMMARY	VII
DEFINISJONER/FORKLARINGER	XI
1. INNLEDNING	1
1.1 BAKGRUNN	1
1.2 AKTUELLE PROBLEMSTILLINGER	1
1.3 MÅLSETTING	2
1.4 ORGANISERING AV PROSJEKTET	2
1.5 OPPBYGGING AV RAPPORTEN.....	3
2. EGENSKAPER TIL FORSKJELLIGE TYPER SALTER.....	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
2.3 VIRKNINGEN AV MAGNESIUMKLORID SOM BEFUKTINGSVÆSKE	9
2.3.1 <i>Informasjon fra leverandøren</i>	9
2.3.2 <i>Bestemmelse av frysepunkt til natrium-/magnesiumkloridløsninger</i>	9
2.4 MENGDER AV ULIKE STOFFER.....	13
2.5 ANDRE PROBLEMSTILLINGER.....	14
3. UNDERSØKELSESOPPLEGG	15
3.1 GENERELT	15
3.2 FORSØKSOMRÅDE.....	15
3.3 NÆRMERE BESKRIVELSE AV SALTINGSMETODE I FORSØKSOMRÅDET	17
3.4 REGISTRERINGSOPPLEGG	19
3.4.1 <i>Maskiner til disposisjon / friksjonsmåling</i>	19
3.4.2 <i>Friksjonsmålinger med egen målebil</i>	20
3.4.3 <i>Klimadata</i>	22
3.4.4 <i>Trafikktall</i>	24
3.4.5 <i>Fotografering for å dokumentere opptørkingstiden</i>	25
3.4.6 <i>Kjemiske analyser</i>	25
4. RESULTATER.....	26
4.1 PRAKTISKE ERFARINGER.....	26
4.2 KONTROLL AV LØSNINGSKONSENTRASJONEN.....	26
4.3 KLIMADATA	28
4.4 TRAFIKKTALL	29
4.5 TILTAKSREGISTRERINGER.....	33
4.6 FRIKSJONSMÅLINGER.....	44
4.7 LABORATORIEFORSØK OG FELTSTUDIER.....	51
4.8 MILJØKONSEKVENSER VED BRUK AV SALT I VINTERVEDLIKEHOLDET	51
4.8.1 <i>Litteratur</i>	51
4.8.2 <i>Metodikk for egne undersøkelser</i>	54

4.8.3	Resultater og diskusjon	54
4.8.4	Toksisitetstesting	55
4.9	RESULTATER AV KJEMISK ANALYSE AV VEISTØVET (2001/2002)	57
4.10	FOTODOKUMENTASJON (2001/2002)	59
5.	KONKLUSJONER.....	60
5.1	MÅLSETTING OG FORSØKSOPPLEGG.....	60
5.2	VIRKNING PÅ SALTFORBRUK OG TILTAKSOMFANG	60
5.3	VIRKNING PÅ FRIKSJONSUTVIKLINGEN	61
5.4	VIRKNING PÅ OPPTØRKINGSTID	62
5.5	MILJØEFFEKTER.....	62
5.6	KOSTNADER VED ENDRET DRIFTSOPPLEGG	62
5.7	VIDEREFØRING	62
	LITTERATURLISTE.....	64

Sammendrag

Målsetting og forsøksopplegg

Målsettingen med prosjektet i Oslo har vært både å se hvilke muligheter befuktning av tørt salt med $MgCl_2$ -løsning gir for å operere ved lavere temperaturer, samt å se på varigheten av tiltak, opptørkingstid og saltforbruket sammenliknet med befuktning med $NaCl$ -løsning. 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.

Effektstudiene rundt den nye saltmetoden ble i utgangspunktet knyttet til en parsell av Rv 161 mellom Uelands gate og Vigs gate, en strekning med en lengde på 2,0 km. Som referansestrekning ble det valgt ut en parsell av Rv 168 mellom Majorstua og Smestad. Her ble det benyttet tradisjonell befuktning av tørt salt med $NaCl$ -løsning.

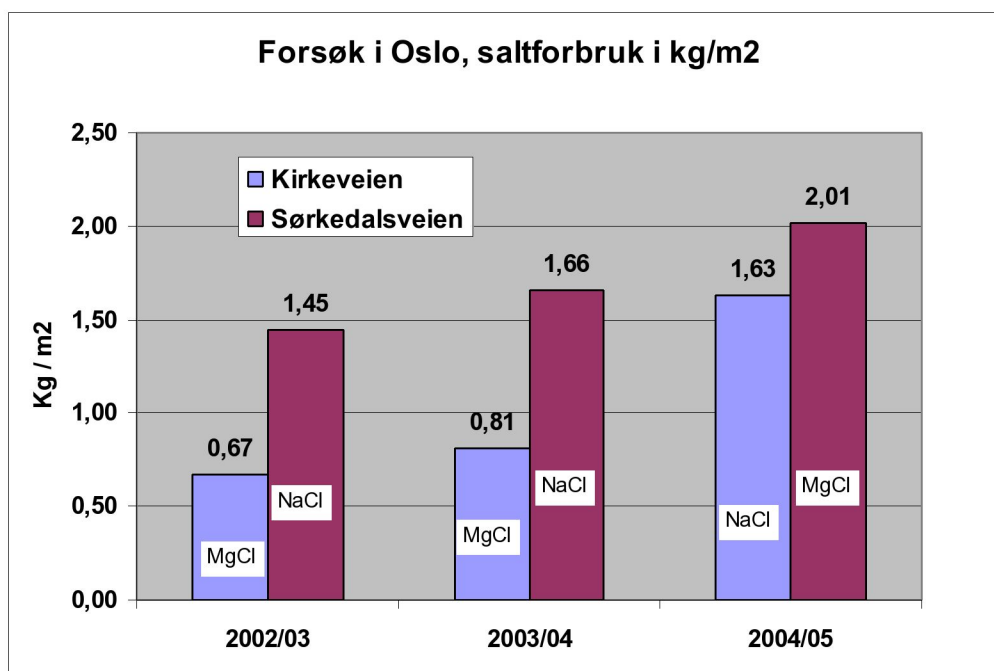


Figur: Del av undersøkelsesområdet

Høsten 2004 ble det gjort en vesentlig endring i forsøksopplegget. Resultatene etter de 3 første sesongene hadde da gitt interessante indikasjoner både i forhold til reduserte saltmengder og høyere friksjonsverdier ved lave temperaturer ved befuktning med $MgCl_2$ -løsning, men det ble likevel konkludert med at det var for tidlig å trekke sikre konklusjoner. For å verifisere resultatene ble det derfor besluttet å bytte om på metodene på strekningene som analysene er knyttet til for å kunne skille mellom effekten av selve metoden og eventuelle forhold knyttet til lokalklimatiske og trafikkmessige forhold.

Virkning på saltforbruk og tiltaksomfang

Både sesongene 2002/2003 og 2003/2004 ble det brukt mer enn dobbelt så mye salt per arealenhet på Sørkedalsveien sammenliknet med Kirkeveien. For å kunne verifisere om det lå andre faktorer bak enn selve saltingsmetodikken ble det før vintersesongen 2004/05 som nevnt besluttet å bytte om på referansestrekningene, dvs. befuktning med $MgCl_2$ -løsning på Sørkedalsveien og befuktning med $NaCl$ -løsning på Kirkeveien.



Figur: Saltforbruk pr m² veg i vintersesongene 2002/03 – 2004/05. I 2004/05 ble referansestrekningen byttet om og det ble saltet med MgCl₂-løsning på Rv 168 Sørkedalsveien i stedet for på Rv 161 Kirkeveien

Endringene i saltforbruket på de to strekningene sesongen 2004/2005 bekreftet hypotesen om at det var andre faktorer enn bare saltingsmetoden som var årsak til de store forskjellene i saltforbruk de første to sesongene. Disse faktorene er trolig forskjeller i mikroklima, trafikkvolum og kjøremønster.

Overgangen med bruk av NaCl-løsning på Kirkeveien gav en fordobling av saltforbruket på Kirkeveien. Det var også en økning på Sørkedalsveien men den var betydelig mindre, se figuren ovenfor. En kan derfor gå ut fra at det dreier seg om 2 effekter:

A – relativt forhold mellom MgCl₂ og NaCl, $A = MgCl_2 / NaCl$

B – relativt forhold mellom andre faktorer som påvirker saltforbruket, $B = K / S$

Ved å gå ut fra at det dreier seg om to uavhengige effekter, kan effektene multipliseres med hverandre og det kan settes opp to formler som gir som resultat:

$$A = MgCl_2 / NaCl = 0.776$$

$$B = K / S = 0.629$$

Konklusjonen er således at når det tas hensyn til ytre faktorer på det undersøkte vegnettet i Oslo, blir den reelle effekten av å benytte befuktning med MgCl₂-løsning i stedet for NaCl-løsning en reduksjon i saltforbruket på mellom 20 – 25 prosent ved bruk av førstnevnte saltmetode.

Mens både antall dager med tiltak og antall registrerte salttiltak i 2002/2003 tydet på at det var færre saltdøgn og færre tiltak på Kirkeveien (MgCl₂) enn på Sørkedalsveien (NaCl), var innsatsnivået nokså likt de to påfølgende sesongene. En kan derfor ut fra foreliggende materiale ikke slutte at overgang til MgCl₂ fører til en reduksjon i antall saltdøgn og antall

tiltak. På den annen side kan det konkluderes med at overgang til bruk av $MgCl_2$ *ikke* har medført økt tiltaksomfang på forsøksvegnettet i Oslo.

Virkning på friksjonsutviklingen

Når det gjelder friksjonsmålinger, er det grunn til å framholde resultatene i perioden 2. – 6. januar 2003, 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.

En nærmere analyse av friksjonsmålingene som ble foretatt sesongen 2002/2003 viste ingen signifikante forskjeller mellom Kirkeveien og Sørkedalsveien ut fra gjennomsnittlige friksjonsverdier. Det ble imidlertid funnet interessante tendenser i materialet når en skiller ut observasjoner som er gjort ved lufttemperatur under $-6^{\circ}C$. Selv om forskjellen ikke er statistisk signifikant, er den beregnede gjennomsnittsverdien høyest for Kirkeveien, dvs. der det er benyttet befuktning med $MgCl_2$ -løsning. Forskjellen i gjennomsnittlig friksjon mellom de 2 saltmetodene var særlig markert på nylagt asfalt ved lufttemperatur under $-6^{\circ}C$. Merk at analysene rundt friksjonsutvikling er gjort i forhold til lufttemperatur mens det er vegbanetemperaturen som er indikator for iverksetting av tiltak.

Miljøeffekter

Resultatene av miljøundersøkelsen tyder på at de to befukningsmetodene har tilnærmet like egenskaper på miljøet gitt samme mengdeforbruk. Imidlertid viser studien at ved å benytte befuktning med $MgCl_2$ -løsning så reduseres det totale forbruket med rundt 20 – 25 prosent, noe som er miljømessig gunstig. I tillegg har studien vist at dette ikke har gitt redusert friksjon på veiene i Oslo. Ut ifra et miljøperspektiv vil det derfor være gunstig å gå over fra befuktning med NaCl til befuktning med $MgCl_2$.

En sideeffekt av prosjektet er at det er indikasjon på at $MgCl_2$ -løsning kan ha en god støvbindende effekt.

Det er kjent at Magnesium har uheldig virkning på betong ved at det kan påvirke strukturen og føre til raskere nedbryting. Nedbrytningen skjer ved at magnesium bytter plass med kalsium i kalsiumhydroksyd og kalsium-silikat-hydratene og danner magnesiumderivater isteden. Disse har liten eller ingen limeeffekt, og dermed reduseres styrken av den eksponerte betongen dramatisk. Litteraturundersøkelser om erfaringer med Magnesiumklorid i andre land gir imidlertid ingen klare konklusjoner eller svar på hvilken effekt Magnesiumkloridløsning som befukningsmiddel til Natriumklorid har på betong. Vegdirektoratet har derfor satt i gang et eget prosjekt for å undersøke hvilken effekt Magnesiumklorid har på betong i Norge, og spesielt i forhold til bruk som befukningsmiddel for Natriumklorid. Dette gjennomføres som et eget prosjekt og vil gå over flere år.

Kostnader ved endret metode

Når en legger resultatene fra Oslo til grunn, ser effektene av å bruke $MgCl_2$ -løsning som befukningsvæske hovedsakelig ut til å ligge i reduserte saltmengder. Kostnadene ved bruk av $MgCl_2$ -løsning som befukningsvæske sammenlignet med NaCl vil være et resultat av en besparelse pga reduksjonen i tørrstoffdelen og kostnadsøkningen som ligger i en dyrere befukningsvæske.

Hvis en går ut fra en kostnad på 450 kroner per tonn for tørt salt, kr 1400 per tonn for MG-Kombi og at forholdet mellom tørt salt og væske over sesongen er 80/20 blir det en kostnadsøkning på 4 prosent ved overgang til $MgCl_2$ -løsning dersom reduksjonen i saltforbruket er 22 prosent. For å komme likt ut prismessig i rene driftskostnader må reduksjonen i saltforbruket være på 26 prosent. Dersom en tar med miljøgevinsten samt friksjonsforebedringen som er påvist ved temperaturer under $-6^{\circ}C$, vil regnestykket selv med en lav verdsetting bli positivt.

Summary

Goal and testing procedure

The main goal with the magnesium chloride (MgCl_2) project in Oslo has been both to look into which possibilities prewetting dry salt with MgCl_2 -brine gives to operate at lower temperatures, and to investigate the duration of a salting action, dry up time and salt consumption compared to prewetting with brine based on sodium chloride (NaCl). One of the purposes has been to study how different methods effects on friction and friction development under varying winter road conditions.

The national roads within Ring 3 were chosen as study area. The project has been carried out as a 4 year project starting up in the winter season 2001/2002 and finished the winter season 2004/2005. The studies of the effects of the new salting method with MgCl_2 -brine as prewetting agent started out with a section of NR161 between Uelands gate and Vigs gate, with a total length of 2.0 km. A section of NR168 between Majorstua and Smestad was chosen as a reference road. Here traditional prewetting of dry salt with NaCl -brine was used.



Figure: *Part of the test area*

The autumn 2004 it was made a substantial change in the test design. The results from the 3 first winter seasons had then given interesting indications both regarding reduced salt consumption and higher friction values at low temperatures by prewetting with MgCl_2 -brine, but it was concluded that it was too early to draw conclusions. To verify the results it was therefore decided to switch the methods between the two road sections the analysis are related to. The purpose with this change was to be able to part between the effects of the method itself and other factors as local climate and traffic.

The main method used on this road network is prewettet sodium chloride with a 20 percent solution of magnesium chloride added. The proportion is 70 percent solid salt and 30 percent brine in percentage of weight. The roads in the test area are treated with this method with exception of the road section where solid NaCl is prewettet with a NaCl solution.

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.

Effects on salt consumption and amount of measures

Both the winter seasons 2002/2003 and 2003/2004 the use of salt per area unit was double on Sørkedalsveien compared to Kirkeveien. To verify if there were other factors behind this result than the salting method itself, it was decided as mentioned before to switch the reference road section before the winter season 2004/2005, i.e. prewetting with MgCl₂-brine on Sørkedalsveien and prewetting with NaCl-løsning on Kirkeveien.

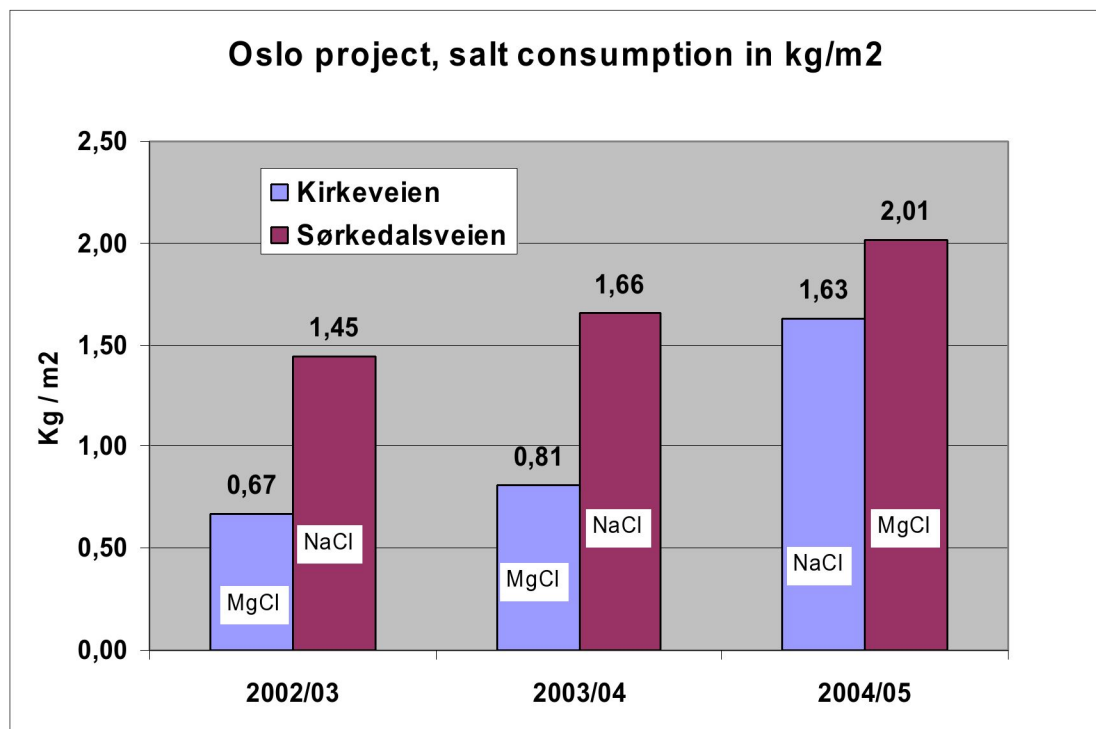


Figure: Salt consumption per m² road in the winter seasons 2002/03 – 2004/05. In 2004/05 the reference section was changed and it was salted with MgCl₂-brine on NR 168 Sørkedalsveien instead of on NR 161 Kirkeveien

The change in the salt consumption on the two road sections the winter season 2004/2005 confirmed the hypothesis that other factors than the salting method was the cause of the big salt usage the first two seasons. These factors are probably differences in micro climate, traffic volume and driving pattern.

The transition to use of NaCl-brine on Kirkeveien doubled the salt consumption there. It was also found an increase on Sørkedalsveien but considerably less, see the figure above. From this one can assume that it turns on two effects:

A – relative relation between MgCl₂ and NaCl, $A = MgCl_2 / NaCl$

B – relative relation between other factors influencing on the salt consumption, $B = K / S$

By assuming that it turns on two independent effects, the effects can be multiplied with each other on there can be put up to equations giving the following result:

$$A = \text{MgCl}_2/\text{NaCl} = 0.776$$

$$B = K/S = 0.629$$

The conclusion is thus that with outer factors in the study area in consideration (local climate, traffic etc), the real effect from using prewetting with MgCl_2 -brine instead of NaCl -brine is a reduction in the salt consumption of between 20 – 25 percent by use of the first mentioned method.

While both the number of days with salting actions and the number of registered actions in 2002/2003 indicated fewer salting days and less salting actions on Kirkeveien (MgCl_2) than on Sørkedalsveien (NaCl), the level of effort was almost the same the two following winter seasons. One can therefore from the available operational statistics not draw the conclusion that a change to use of MgCl_2 -brine leads to a reduction in the number of salting days and number of actions. It can on the other hand be concluded that a transition to use of MgCl_2 -brine as prewetting agent has *not* caused an increase in the number of actions in the study area in Oslo.

Effects on friction development

Regarding friction measurements, it is reason to call attention to the results from the period January 2. – 6. 2003, and especially the friction development January 6. That day the temperature was down to $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$, and the friction was substantially higher on NR 161 with MgCl_2 -brine than on NR168 where the prewetting was done by NaCl -brine. This gives interesting indications regarding the effects on friction at very low temperatures.

A closer analysis of the friction measurements carried through the winter season 2002/2003 showed no significant differences between Kirkeveien and Sørkedalsveien based on the average friction values. There were however found interesting tendencies in the data when the observations was split in two groups, one above and one below $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Even if the result was not found statistical significant, the mean coefficient of friction at temperatures below $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ was highest for Kirkeveien, i.e. where prewetting with MgCl_2 -brine was used. The difference in average friction was especially evident on new-laid asphalt at temperatures below $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Note that the analysis on friction development is related to the air temperature while the road temperature is the indicator for carrying out salting actions.

Environmental effects

The results from a study on the environmental effects indicate that the two methods for prewetting have almost the same properties regarding the environment given the same amount of salt usage. There is however environmental gains in the documented reduction in salt consumption. The study has in addition showed that this has not reduced the friction on the roads in the study area in Oslo. In certain conditions (temperatures below $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$) it is actually proven a friction improvement. From an environmental point of view it will therefore be favorable to change from prewetting with NaCl -brine to prewetting with MgCl_2 -brine.

A side effect of the project is that there is an indication that $MgCl_2$ -brine can have a good effect as a dust deduction material.

It is known that magnesium has a negative effect on concrete by affecting the structure in a way that can lead to a more rapid deterioration. The deterioration happens through a process where magnesium changes place with calcium in calcium hydroxide and calcium-silicate-hydrates creates magnesium derivatives instead. Magnesium derivatives have little or no pasting effect, and thereby reduce the strength of the exposed concrete dramatically. A literature review on experience with magnesium chloride in other countries gives however no clear indications or answers to which effect prewetting NaCl with $MgCl_2$ -brine has on concrete. The Norwegian Public Roads Administration has therefore initiated a separate project in Norway to examine the effect on concrete from use of $MgCl_2$, and especially used as brine to prewet NaCl. This study will have several years duration.

The costs with a change in methods

Based on the results from Oslo, the effects from using $MgCl_2$ -brine as a prewetting agent mainly seem to be a reduction in the total amount of salt. The cost by use of $MgCl_2$ -brine as a prewetting agent compared to NaCl-brine will be the sum of savings due to a reduction in the amount of salt and an increase of costs due to a more expensive liquid.

Assuming that the cost of dry salt is NOK 450 per ton, NOK 1400 per ton for MG-Kombi and that the relation between dry salt and liquid for the whole winter season is 80/20, there will be an increase in the total costs of 4 percent by a transition to $MgCl_2$ -brine provided that the reduction in the salt consumption is 22 percent. To end up with the same cost the reduction in the salt usage should be 26 percent. If one takes into account the environmental benefit and the friction improvement proven at temperatures below $-6^{\circ}C$, the calculation will be positive for the changes in methods even with a low estimate of value for the other components.

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 løsning. Dette skjer på den måten at når saltkornene absorberer fuktighet, utvikles det varme som øker smeltehastigheten
Eutektisk temperatur/	Den laveste temperaturen (teoretisk) blandingen forblir i løsning 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
Økotoxikologisk	Økotoxikologi er læren om forurensende stoffers spredning og opptak i organismer samt virkninger på individer og økosystemer

1. Innledning

1.1 Bakgrunn

Prosjektet kom 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 etatsprosjektet "Vinterfriksjonsprosjektet" i perioden 1998-2002 hvor det ble 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 potensial 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 miljøulemper blir redusert.

Selv om det ble oppnådd mange viktige resultater gjennom "Vinterfriksjonsprosjektet", ble det ansett nødvendig med en fortsatt systematisk og langsiktig satsing på FoU innenfor vinterdrift. Bl a når det gjelder strøing med salt er det et stort behov for videre forskning og metodeutvikling, 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 med utvikling av driftsmetoder.

1.2 Aktuelle problemstillinger

I Norge har det tradisjonelt vært mest vanlig å bruke $NaCl$ i vinterdriften både til preventive tiltak og som issmeltmiddel. 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 er anbefalt brukt ved lavere temperatur enn $-10^{\circ}C$ (når trafikken ligger til rette for det). 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, og dette kan være viktig moment for valg av alternative salter.

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" (<http://www.luftkvalitet.info/>).

På grunn av høy pris sammenlignet med NaCl, er det ikke aktuelt å bruke MgCl₂ som strømiddel i ren form verken i tørr tilstand eller som løsning. Den metoden som anses som mest aktuell er å befukte NaCl med en MgCl₂-løsning.

1.3 Målsetting

Målsettingen med prosjektet har vært både å se hvilke muligheter tilsetning av MgCl₂-løsning 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. Dette er en viktig indikator på om en kan forvente målbare trafikale effekter av ved å bruke andre kjemikalier enn NaCl.

MgCl₂ ligger prismessig høyere enn vanlig sjøsalt (6-8 ganger dyrere for å oppnå samme løsningsprosent). 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 MgCl₂ 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 har vært 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 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
- Hans Christian Akselsen, Region øst
- Raymond Grønvold, Mesta AS
- Erik Helland, Oslo Vei
- Svein Engebretsen, SEE Consulting
- Kim Aslaksen, G.C. Rieber Salt AS
- Pål Rosland, Statens vegvesen Vegdirektoratet
- Roar Støtterud, Statens vegvesen Vegdirektoratet
- Torgeir Vaa, SINTEF Transportsikkerhet og -informatikk

SINTEF Transportsikkerhet og -informatikk har hatt ansvaret for utarbeidelse av evalueringsopplegget samt systematisering og analyse av registrerte data og rapportering av resultatene.

Prosjektet var opprinnelig planlagt som et 3-årig prosjekt, og sesongen 2003/2004 var tenkt som tredje og siste sesong med prøveordningen med magnesiumklorid. Ut fra resultatene som framkom de første sesongene ble det imidlertid ansett som nødvendig å forlenge prosjektet med enda en sesong for å få verifisert hva som er resultater knyttet til selve metoden, og hva som skyldes lokalklimatiske og trafikkmessige forhold. Prosjektet ble derfor forlenget med enda en sesong vinteren 2004/2005.

1.5 Oppbygging av rapporten

I kapittel 3 er det gitt en nærmere beskrivelse av prøveprosjektet i Oslo, og i kapittel 4 er presentert resultatene fra hele prosjektperioden. Fra de tre første forsøksvintrene er det utarbeidet egne rapporter (Vaa, 2002, 2004 og 2005).

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 salter

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 (Statens vegvesen, 2003). 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 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 omtale av de øvrige kjemikaliene vises det til rapporten fra sesongen 2001/2002 (Vaa, 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 i Norge til nå har det vært mest vanlig å bruke en løsning basert på NaCl.

Natriumklorid løst i vann har en eutektisk temperatur på $-21,1^{\circ}\text{C}$ ved en konsentrasjon på 23,3 vektprosent. Praksis 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 - -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 ekstern 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 ($MgCl_2$)

Magnesiumklorid har høy løselighet i vann, og reaksjonen er eksotermisk. $MgCl_2$ leveres både som granulater og i flak. Granulatet er 20 prosent 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 $MgCl_2$ eventuelt benyttes i form av granulater. $MgCl_2$ kan benyttes både til befuktning og som ren løsning. I Norge er $MgCl_2$ tilgjengelig i flak og leveres under merkenavnet Mg-kombi.

Det er viktig å skille mellom $MgCl_2$ som strømiddel 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 strømiddel. 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 $-33,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ved en konsentrasjon på 21,6 vektprosent og er mer hygroskopisk enn kalsiumklorid. $MgCl_2$ 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 $MgCl_2$ enn NaCl:

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

Kommentar:

Bortsett fra de kjemiske egenskapene i forhold til virkningsområde med hensyn på temperatur, er det et spørsmål hvor store forskjellene reelt er mellom $MgCl_2$ 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 enn som dokumenterte fakta.

2.1.4 Kalsiumklorid ($CaCl_2$)

Kalsiumklorid er tilgjengelig som granulater, flak eller i flytende form. Det kommersielt tilgjengelige produktet i fast form er normalt dihydrat ($CaCl_2 + 2H_2O$). $CaCl_2$ løst i vann har et frysepunkt på $-51,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ved en konsentrasjon på vannløsningen på 29,8 prosent. Kalsiumklorid er hygroskopisk og lettøslig i vann.

Sammenlignet med NaCl har $CaCl_2$ en raskere smelteeffekt delvis på grunn av at det er hygroskopisk og at saltet derved lettere går i løsning, og delvis ved at $CaCl_2$ avgir varme når

det går i løsning, dvs. det skjer en eksotermisk reaksjon. Dette skjer på den måten at når CaCl_2 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 ishinne, 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.

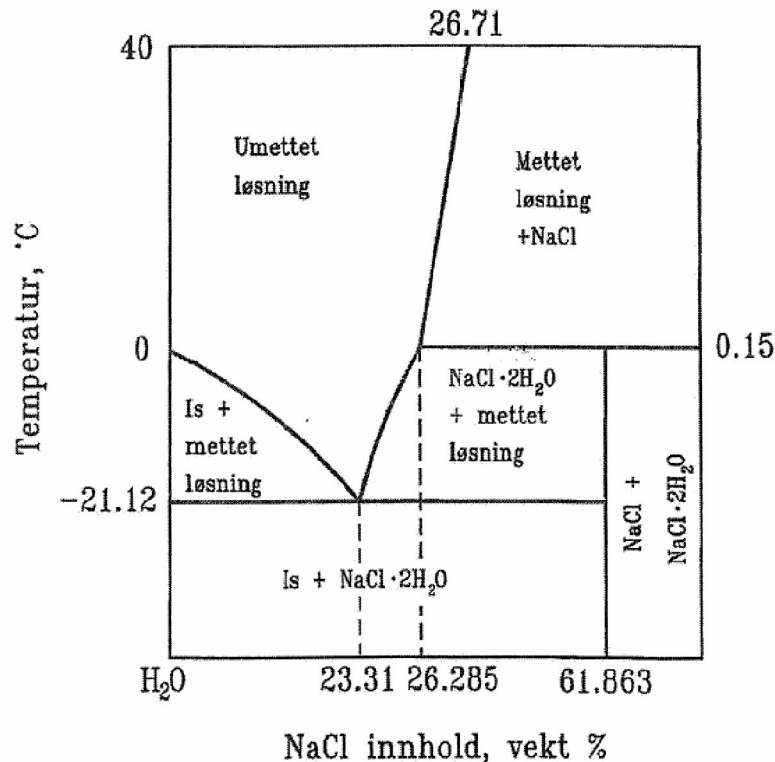
2.2 Betydningen av befuktning for å øke virkningsgraden

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. Tørrestoffdelen består vanligvis av NaCl . Effekten på vegen 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 (Feuchtsaltz) om befuktet salt. I Tyskland er det mest vanlig å bruke FS 30, dvs. tilsetning av 30 prosent 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.

Det generelle er at frysepunktet for en saltløsning avtar med økende konsentrasjon, ned til det eutektiske frysepunktet, som nås ved en bestemt konsentrasjon. 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).

Figur 2.1 viser et skjematisk fase-diagram for en løsning av natriumklorid og vann (SINTEF, 1995). Det fins 5 ulike faser i diagrammet; umettet løsning, mettet løsning, natriumklorid, is og hydrat ($\text{NaCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) som er en ionisk binding mellom natriumklorid og vann.

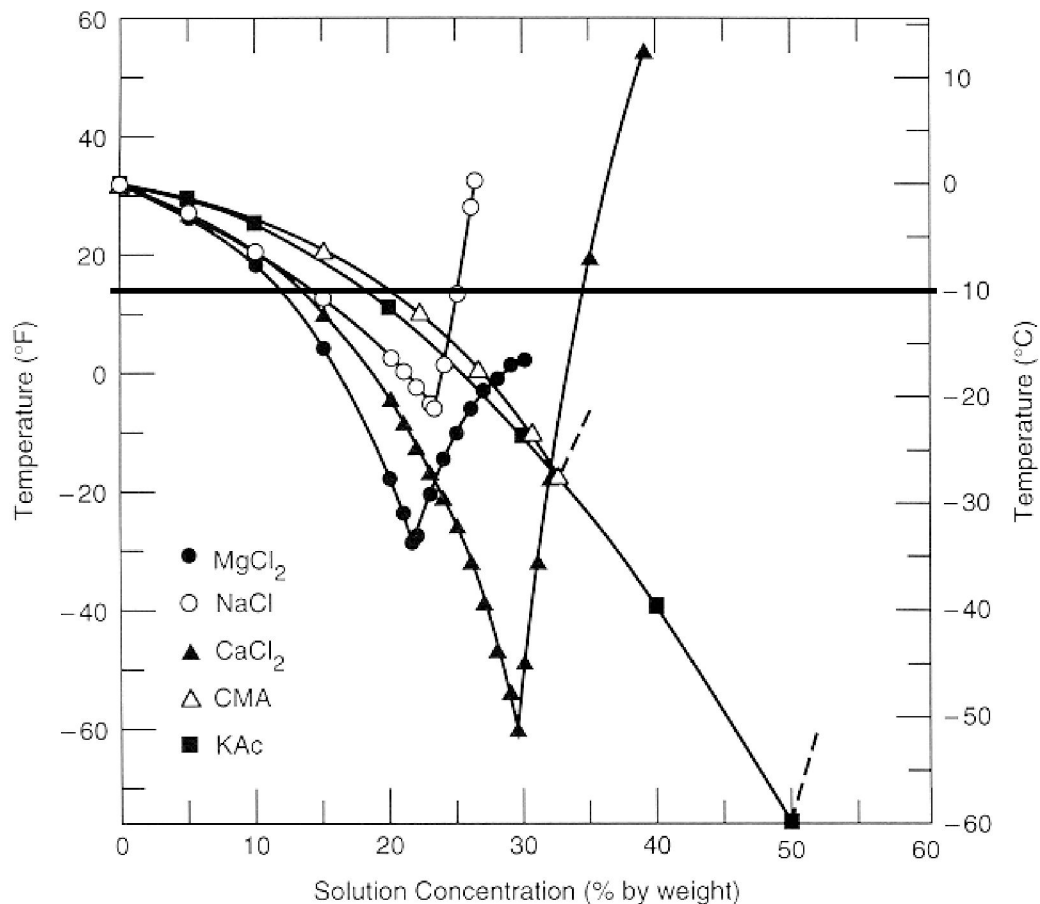


Figur 2.1: Fasediagram for $\text{NaCl} - \text{H}_2\text{O}$ system, (skjematisk, ikke skalert). Kilde: SINTEF 1995

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 holder seg lavere enn vegbanetemperaturen fordi det da ellers vil skje en gjenfrysing.

Fasediagrammet for MgCl_2 framgår av Figur 2.2 hvor det også er tatt med diagrammene for de andre kloridsaltene 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 MgCl_2 vil fryse ved en lavere konsentrasjon enn tilsvarende konsentrasjoner av CaCl_2 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 prosent, mens CaCl_2 og NaCl vil fryse omkring henholdsvis 12,5 prosent og 13,5 prosent. 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 prosent, 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 noe i forhold til rent NaCl avhengig av blandingsforholdet og saltkonsentrasjonen i væsken. Konsentrasjonen av løsningen vil variere i forhold til oppgaven. Hva dette betyr i forhold til den faktiske senking av frysepunktet er nærmere utdypet i avsnitt 2.3.

2.3 Virkningen av magnesiumklorid som befuktingsvæske

2.3.1 Informasjon fra leverandøren

I en blandingstabell for produksjon av $MgCl_2$ løsning av produktet MG – Kombi, oppgir leverandøren (G.C. Rieber Salt AS) at det for 100 liter løsning med en konsentrasjon på 20 prosent $MgCl_2$ må tilsettes 50,7 kg MG – Kombi til 68,3 liter vann. Denne løsningen skal i følge leverandøren ha et frysepunkt på $-27,4^{\circ}C$. 100 liter $MgCl_2$ -løsning av denne konsentrasjonen veier 119 kg (tetthet på 1,19).



Figur 2.3: Storsekk med MG-Kombi

Fra G.C. Rieber Salt AS (tidligere Saltkompaniet AS) har en fått oppgitt følgende fryseegenskaper for forskjellige blandingsforhold mellom tørt salt ($NaCl$) og $MgCl_2$ -løsning:

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

I informasjonen fra G.C. Rieber Salt AS er det ikke angitt hvilken løsningskonsentrasjon de oppgitte temperaturverdiene gjelder for, men en går ut fra at en 20 prosent løsning. Hva de angitte temperaturverdiene betyr i praksis under ulike driftsforhold, er et av hovedspørsmålene når en skal sammenligne bruk av ulike kjemikalier til befuktning.

2.3.2 Bestemmelse av frysepunkt til natrium-/magnesiumkloridløsninger

De gjengitte faseagrammene foran gjelder for enkeltsaltløsninger, og det har ikke vært tilgjengelig fasekurver for en kombinasjon av 2 salter. Det har derfor vært ansett som viktig å få bestemt en fasekurve som viser ved hvilken temperatur utfrysingen av is starter for løsninger med forskjellig konsentrasjon og et fast vektforhold mellom $NaCl$ og $MgCl_2$.

Statens vegvesen, Veg- og trafikkfaglig senter ga dette som oppdrag til SINTEF, og i det følgende er gjengitt hovedresultatene fra rapporten som foreligger (Rekstad, 2005).

Prosjektet var todelt og besto i å:

- Vurdere en teoretisk løsning av oppgaven
- Finne aktuell del av fasekurven eksperimentelt

Det normale blandingsforholdet mellom tørt salt og befuktingsvæske er 70:30 regnet etter vektprosent. Oppdraget bestod i å finne frysetemperatur for is ved følgende løsningskonsentrasjoner: 5, 10, 15, 20, 25, 30 vekt- prosent (kg salt/kg løsning). Konsentrasjon ble definert som kg salter per kg ferdig løsning. Vektforholdet NaCl og MgCl₂ skulle holdes konstant på 70/6 mens konsentrasjonen ble endret ved å variere vannmengden.

Bakgrunnen for mengdeforholdet 70/6 er at en går ut fra en løsningskonsentrasjon på MgCl₂-løsningen på 20 prosent. Av 100 vektenheter vil det ut fra de gitte forutsetninger være 70 vektenheter tørt salt og $30 \cdot (20/100) = 6$ vektenheter MgCl₂.

En konsentrasjon på 30 prosent ville gi 55 g NaCl i 140 g vann (28.2 vektprosent). Som vist i Figur 2.1 ville dette gi uoppløst NaCl i blandingen siden metningspunkt for NaCl i vann ved 20 °C er 35.8 g pr. 100 g vann, dvs. 26.4 vektprosent NaCl. I stedet for en konsentrasjon på 30 vektprosent ble dette forsøket utført ved 27 vektprosent (26.3 vektprosent NaCl) som var den teoretisk største konsentrasjonen hvor all NaCl var oppløst i vannet.

Eutektisk konsentrasjon for en NaCl-vann løsning er som nevnt 23.3 prosent. Siden testene ved 25 prosent og 27 prosent begge hadde høyere konsentrasjon ble to tester med NaCl og MgCl₂ konsentrasjon på 17.5 prosent og 22.5 prosent også utført for å få 6 punkter på grensekurven mellom *umettet* løsning og *is+mettet* løsning. I testene ved 25 og 27 prosent antas det at blandingen vil kjøles ned til metningslinjen mot *NaCl·2H₂O* området. Ved videre kjøling antas konsentrasjonen å følge metningslinjen ned til eutektisk NaCl-konsentrasjon. Dette gjelder for en enkeltsaltløsning og forløpet i en tosaltløsning kan være forskjellig fra dette.

Tabell 2.1 viser blandingsforholdet for hvert enkelt forsøk. Vekt-prosent MgCl₂ og NaCl ble definert som vekt av henholdsvis MgCl₂ eller NaCl dividert på total vekt. Konsentrasjon ble definert som vekt av MgCl₂ og NaCl dividert på total vekt. Total vekt var summen av MgCl₂·6H₂O, NaCl og vann.

Tabell 2.1: Mengder, blandingsforhold og konsentrasjoner

MgCl ₂ -6H ₂ O, g	MgCl ₂ , g ¹	NaCl, g	H ₂ O, g	Total, g ²	MgCl ₂ , vekt- prosent	NaCl, vekt- prosent	H ₂ O, vekt- prosent	Konsen- trasjon, prosent
1,752	0,788	9,212	190,080	201,04	0,4	4,6	94,5	5,0
3,504	1,577	18,430	180,140	202,07	0,8	9,1	89,1	9,9
5,266	2,370	27,634	170,007	202,91	1,2	13,6	83,8	14,8
6,161	2,772	32,231	165,087	203,48	1,4	15,8	81,1	17,2
7,027	3,162	36,853	160,031	203,91	1,6	18,1	78,5	19,6
7,895	3,553	41,460	155,115	204,47	1,7	20,3	75,9	22,0
8,781	3,951	46,044	150,03	204,85	1,9	22,5	73,2	24,4
9,52	4,284	50,044	140,01	199,57	2,1	25,1	70,2	27,2

¹Angitt MgCl₂ mengde er ikke veid opp men beregnet som 45 prosent av oppveid MgCl₂-6H₂O mengde.

² Sum MgCl₂-6H₂O, NaCl og vann

Det ble observert underkjøling i alle forsøkene, og i henhold til standard ble frysepunktstemperatur, T_{fi} , definert som høyeste temperatur like etter frysestart. Tabell 2.2 viser målt og beregnet temperatur for isfrysepunkt ved ulike konsentrasjoner. Kolonnen "Underkjøling" viser laveste løsningsstemperatur før frysing startet.

Tabell 2.2: Målt og beregnet startfrysetemperatur

MgCl ₂ , vekt- prosent	NaCl, vekt- prosent	H ₂ O, vekt- prosent	Konsentrasjon, prosent	Under- kjøling, K	Målt, temperatur, °C	Beregnet temperatur, °C
0,4	4,6	94,5	5,0	0,5	-3,1	-2,9
0,8	9,1	89,1	9,9	0,4	-6,8	-6,6
1,2	13,6	83,8	14,8	0,6	-11,2	-11,3
1,4	15,8	81,1	17,2	0,6	-13,9	-14,0
1,6	18,1	78,5	19,6	0,6	-17,1	-17,0
1,7	20,3	75,9	22,0	0,8	-20,5	-20,4

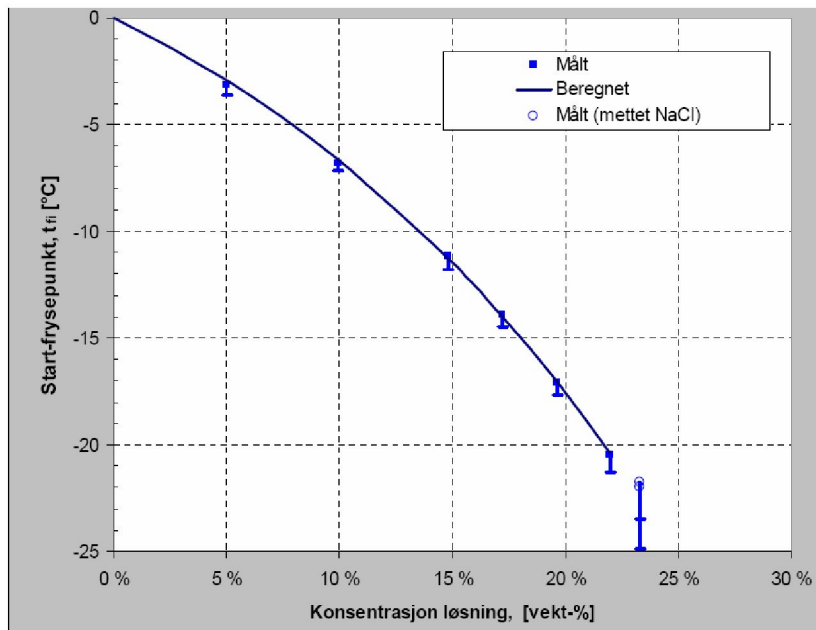
Tabell 2.3 viser målt isfrysetemperatur ved konsentrasjoner høyere enn eutektisk konsentrasjon for en NaCl-H₂O løsning. Siden ligningen for startfrysetemperatur kun er gyldig ned til eutektisk NaCl-konsentrasjon (23.3 vektprosent) er det ikke beregnet temperaturer for disse konsentrasjonene.

Tabell 2.3: Målt startfrysetemperatur

MgCl ₂ , vekt-%	NaCl, vekt-%	H ₂ O, vekt-%	Start- konsentrasjon, % ¹	Underkjøling, K	Målt temperatur, °C
1,9	22,5	73,2	24,4	3,2	-21,7
2,1	25,1	70,2	27,2	1,5	-22,0

¹ Konsentrasjonen ved startfrysepunkt vil avvike fra startkonsentrasjon pga. utfelling

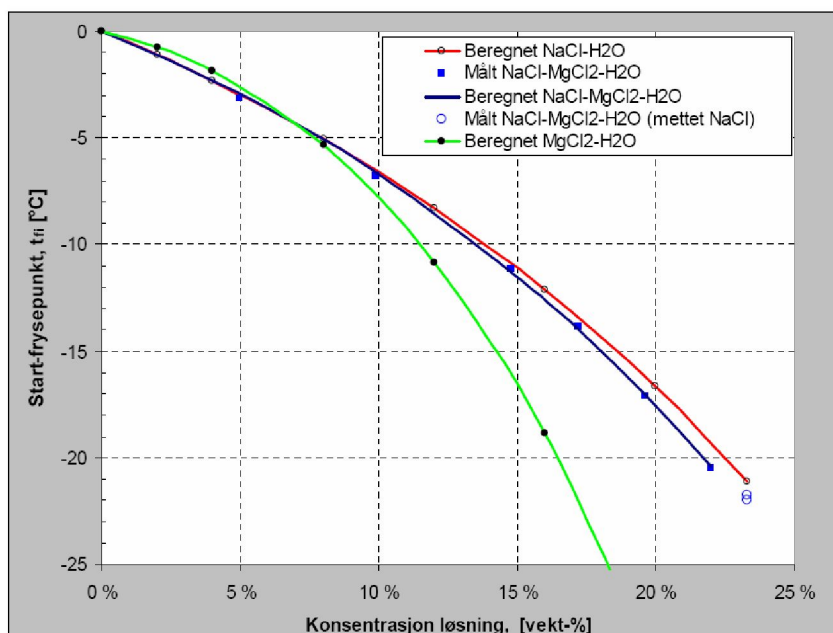
Figur 2.4 viser sammenligning av målt og beregnet frysepunktstemperatur. Målt underkjøling er angitt med horisontale linjer under hvert målepunkt. Frysetemperatur for de to målingene med startkonsentrasjon 24.4 og 27.2 prosent er angitt ved eutektisk (23.3 prosent) NaCl konsentrasjon.



Figur 2.4: Målt og beregnet startfrysetemperatur ved ulike konsentrasjoner. Konsentrasjon ved laveste målte temperatur er anslått til 23.3 prosent

Standardavvik for målt og beregnet temperatur var 0,13 °C. Største differanse var -0,2 °C.

En sammenligning av isfrysetemperatur som funksjon av konsentrasjon for løsninger med NaCl-H₂O, MgCl₂-H₂O og NaCl-MgCl₂-H₂O er vist i Figur 2.5.



Figur 2.5: Startfrysetemperatur som funksjon av konsentrasjon for løsninger med NaCl-H₂O, MgCl₂-H₂O og NaCl-MgCl₂-H₂O. Konsentrasjon ved laveste målte temperatur er anslått til 23.3 prosent

Når en sammenligner en NaCl-H₂O og en NaCl-MgCl₂-H₂O løsning ved samme konsentrasjon, jfr. Figur 2.5, kan det se ut som om frysepunktstemperaturen kun senkes mindre enn én grad ved å tilsette MgCl₂. Men, som eksemplet i Tabell 2.4 viser vil

konsentrasjonen også endres ved tilsetning av $MgCl_2$ i en $NaCl-H_2O$ løsning og frysepunktet blir en del lavere.

Tabell 2.4: Frysepunktsendring ved å tilsette $MgCl_2$ i en $NaCl-H_2O$ løsning

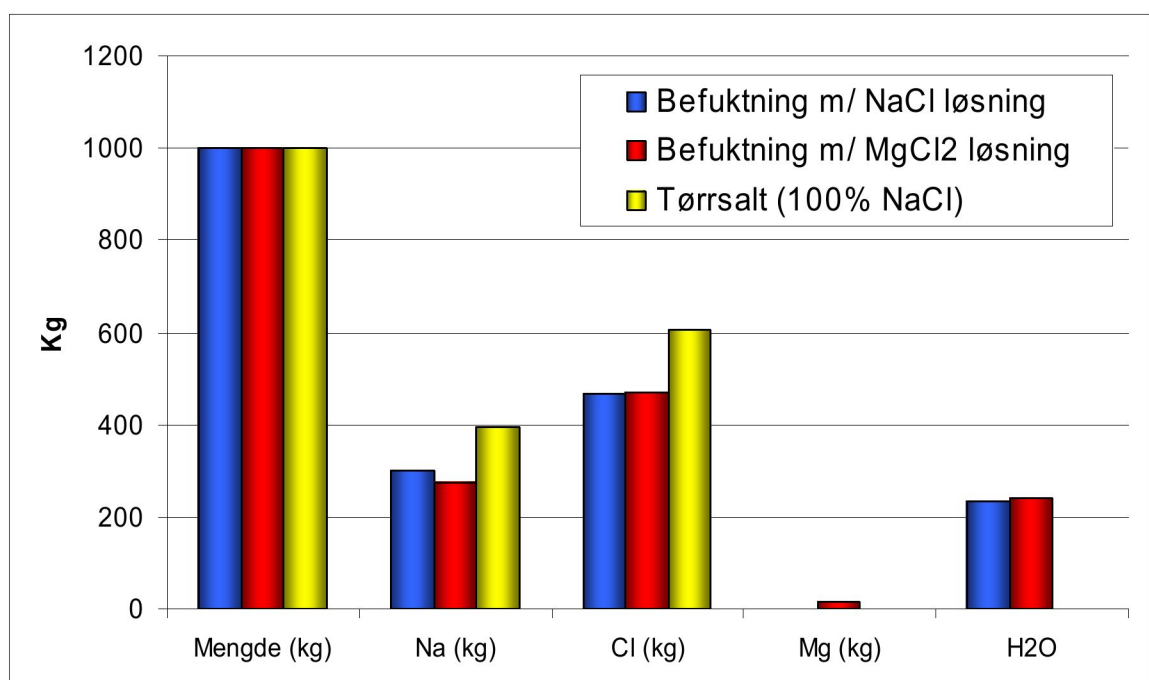
MgCl ₂ , g	NaCl, g	H ₂ O, g	Total, g	MgCl ₂ , vekt-%	NaCl, vekt-%	H ₂ O, vekt-%	Konsen- trasjon, %	Beregnet frysetemperatur, °C		
0	20	20	80	100	0	1,7	20	80	20,0	-16,7 -19,4
1,714 ¹		80	101,714		19,7	78,2	21,3			

¹ 6/70 av opprinnelig NaCl mengde.

Ut fra laboratorieforsøkene og beregningene som er gjort i SINTEF rapporten fra 2005 (Rekstad, 2005) synes det ikke å være dokumentert at tilsetning av $MgCl_2$ -løsning senker frysepunktet så mye som tidligere oppgitt. Det må derfor være andre egenskaper ved $MgCl_2$ blandingen som eventuelt gjør denne metoden mer effektiv. Disse egenskapene kan være knyttet bl a til viskositeten og den eksotermiske reaksjonen. Dette kan ha praktisk betydning ved lave temperaturer ved at faren for uttykning blir redusert.

2.4 Mengder av ulike stoffer

Ved å benytte befuktet salt i stedet for tørrsalt vil mengden klor og natrium reduseres. I Figur 2.6 er satt opp en oversikt over beregnede mengder Na, Cl og Mg ved ulike metoder. Beregningene er basert på molekylvekten til de ulike stoffene. Ut i fra Figur 2.6 ser man at ved en antatt lik totalforbruk av de tre saltmetodene vil kloridinnholdet i de to befuktningssystemene med $NaCl$ og $MgCl_2$ reduseres med henholdsvis 23 og 26 prosent i forhold til tørrsalt. For natrium er reduksjonen 23 og 30 prosent. Forskjellen i klorid- og natriuminnhold mellom de to befuktningssystemene er imidlertid langt mindre.



Figur 2.6: Beregnede mengder av ulike stoffer ved forskjellige metoder

Som en kan se av Figur 2.6, 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.

2.5 Andre problemstillinger

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, ble det besluttet at magnesiumklorid skulle 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, er hypotesen at det oppnås en viss tilleggseffekt med hensyn til redusert fare for gjenfrysing dersom det er kaldt eller er varslet et temperaturfall.

3. Undersøkelsesopplegg

3.1 Generelt

Ut fra at de skisserte problemstillingene rundt alternative kjemikalier ble ansett som meget aktuelle i Oslo, og det da prosjektet startet allerede hadde 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 allerede var 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. 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.

Ved oppstarten av prosjektet ble Rv 161 mellom Økernveien og Sars gate valgt som referansestrekning hvor det ble saltet med tørt salt (NaCl). På grunn av miljømessige hensyn ble det senere besluttet (7. januar 2002) å endre referansestrekningen til Rv 168 (Sørkedalsveien) mellom Majorstua og Smestad, en strekning på 2,1 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 samt en strekning på Rv 4. På referansestrekningen ble det kun strødd tørt salt (NaCl) uten befuktning første forsøksvinteren, mens sesongene 2002/2003 - 2004/2005 ble det benyttet befuktning med NaCl-løsning på referansestrekningen. Pga skifte av referansestrekning ble det ikke komplette data første vinteren, og sesongen 2001/2002 er derfor utelatt fra beregningene av effektene på saltforbruket.

Til sesongen 2004/2005 ble det gjort en vesentlig endring. Resultatene etter de 3 første sesongene hadde da gitt interessante indikasjoner både i forhold til reduserte saltmengder og høyere friksjonsverdier ved lave temperaturer ved befuktning med $MgCl_2$ -løsning, men det ble likevel konkludert med at det var for tidlig å trekke sikre konklusjoner. For å verifisere resultatene ble det derfor besluttet å bytte om på metodene på strekningene som analysene er knyttet til for å kunne skille mellom effekten av selve metoden og eventuell forhold knyttet til lokalklimatiske og trafikkmessige forhold.

Vegnettet i forsøksområdet har vært uendret i forsøksperioden, men i løpet av sommeren 2002 ble det lagt ny asfalt på deler av både Rv 161 og Rv 168 hvor det er blitt målt friksjon, se tabell 3.2 på side 21. Det at målestrekningene for friksjon delvis har fått ny asfalt, gjør at en kan få sjekket ut asfaltens betydning for måleresultatene.



Figur 3.1: Forsøksområde hvor det er benyttet en metode med $MgCl_2$ -løsning som befuktning til tørt $NaCl$ i Oslo. På referansestrekningene Sørkedalsveien (Rv 168) og Trondheimsveien (Rv 4) er det benyttet befuktning med $NaCl$ -løsning sesongene 2001/2002 – 2003/2004. Sesongen 2004/2005 ble metodene på Kirkeveien og Sørkedalsveien byttet om

3.3 Nærmere beskrivelse av saltingsmetode i forsøksområdet

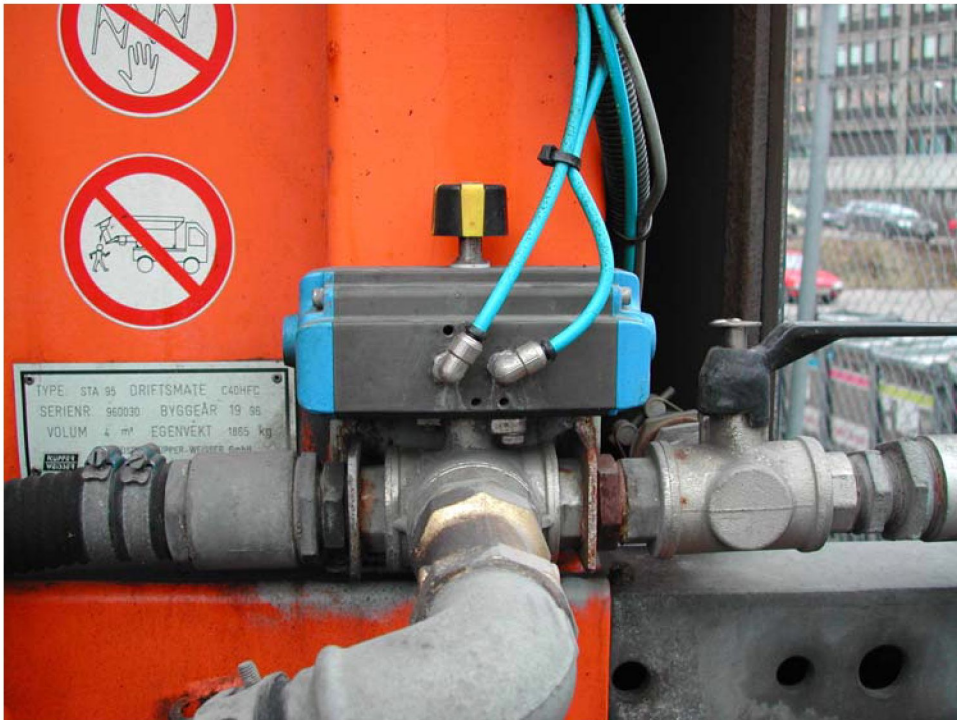
Under forsøkene i Oslo er det benyttet en 20 prosent -løsning av $MgCl_2$ som befuktning av $NaCl$. Det er benyttet standard befuktningsmengde, dvs. 30 prosent løsning regnet i vektprosent av den totale blandingen og 70 prosent tørt salt (FS 30). Det er ikke lagt opp til å eksperimentere med andre metoder 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.

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 prosent mens sjøsaltet har en fuktighet på 2-4 prosent. Lite og forutsigbart vanninnhold 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 prosent av kornene ligger mellom 0,2 – 3,2 mm.

For å få til vekslingen mellom de 2 befuktningmåtene, ble strøbilen bygd om til sesongen 2002/2003 slik at det ble mulig å kjøre med tanker både for $NaCl$ - og $MgCl_2$ -løsning samtidig ved at det ble montert en veksler for skifting mellom de 2 tankene. Figur 3.2 og Figur 3.3 viser bilde av strøapparatet og ventilen for veksling mellom de 2 løsningsvæskene som også ble benyttet sesongen 2003/2004.



Figur 3.2: Strøbilen som er benyttet i magnesiumkloridprosjektet i Oslo til og med sesongen 2003/2004



Figur 3.3: Ventilsystem for veksling mellom tanker med ulike væsketyper

Til sesongen 2004/2005 anskaffet entreprenøren et nytt strøpparat, se Figur 3.4. Foran fremre bakaksel kan en se målehjulet til friksjonsmåleren Kofriks som har vært benyttet de 2 siste sesongene i prosjektet.



Figur 3.4: Strøpparat som ble tatt i bruk til sesongen 2004/2005

Det nye strøpparatet har også 2 separate tanker. Vekslingen mellom tankene skjer ved å slå over en bryter på toppen av styrepanelet, se Figur 3.5.



Figur 3.5: Styrepanel med hendel for å veksle mellom 2 separate løsningstanker

3.4 Registreringsopplegg

Det har vært lagt opp til registrering av følgende data:

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

3.4.1 Maskiner til disposisjon / friksjonsmåling

ISS Vaktmester Kompaniet har benyttet sitt faste utstyr til prøveprosjektet. Strøbilen ble kontrollert og kalibrert før forsøkene ble startet opp. Strøbilen 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 strøbilen lagres i rådatabasen, og det er laget en rutine for å generere gjennomsnittsverdier i driftsrapporten. Selv om Kofriks data var tilgjengelige sesongen 2003/2004, ble disse ikke benyttet i analysene siden det var en del driftsproblemer og ustabile data fra Kofriks. Dette var dessverre også tilfelle siste vintersesongen.

3.4.2 Friksjonsmålinger med egen målebil

Målebilen fra Region øst er benyttet til friksjonsmålinger. Til og med sesongen 2003/2004 ble friksjonen målt med utstyr av typen Roar Mark I, se Figur 3.6, som er utstyrt med et ASTM målehjul med blankt dekk. Høsten 2004 ble denne måleren skiftet ut med en måler av typen FION, Figur 3.7. Mens Roar Mark I er en variabel slip måler, kan det måles både variabel slip og fast slip med FION.



Figur 3.6: Friksjonsmåler av typen Roar Mark I



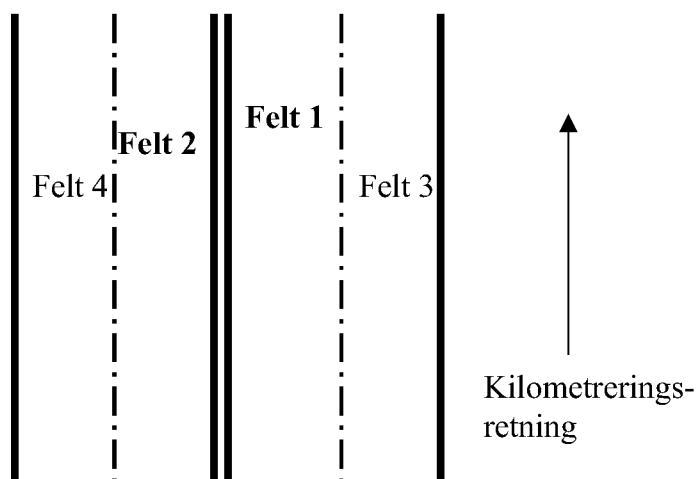
Figur 3.7: Friksjonsmåler av typen FION

Det er målt friksjon både på Rv 161, Rv 168 og Rv 4 på de delstrekningene som er oppgitt i Tabell 3.1. Rv 4 er driftet av Oslo Vei, mens Rv 168 vest for Smestad er driftet av Mesta.

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

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 168	Smestad - Røa	1, 2	1	4,50	1	6,50	2,00
Rv 4	Rødtvedtvn – Grorudvn	3	3	5,50	3	7,50	2,00

Friksjonsmålingene 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 friksjonsmålingene er utført i 5-6-tida om morgenen. Prinsippet for feltinndelingen framgår av Figur 3.8. Felt 1 og 3 går i kilometreringsretningen, dvs at på Rv 168 er det foretatt friksjonsmålinger i begge retninger.



Figur 3.8: Prinsipp for nummerering av kjørefelt

Kilometreringsretningen for strekningene er den rekkefølgen som framgår av Figur 3.9. 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 3.9.

Tabell 3.2 gir en oversikt over delstrekninger hvor det ble lagt ny asfalt sommeren 2002. I deler av analysene sesongen 2002/2003 ble 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

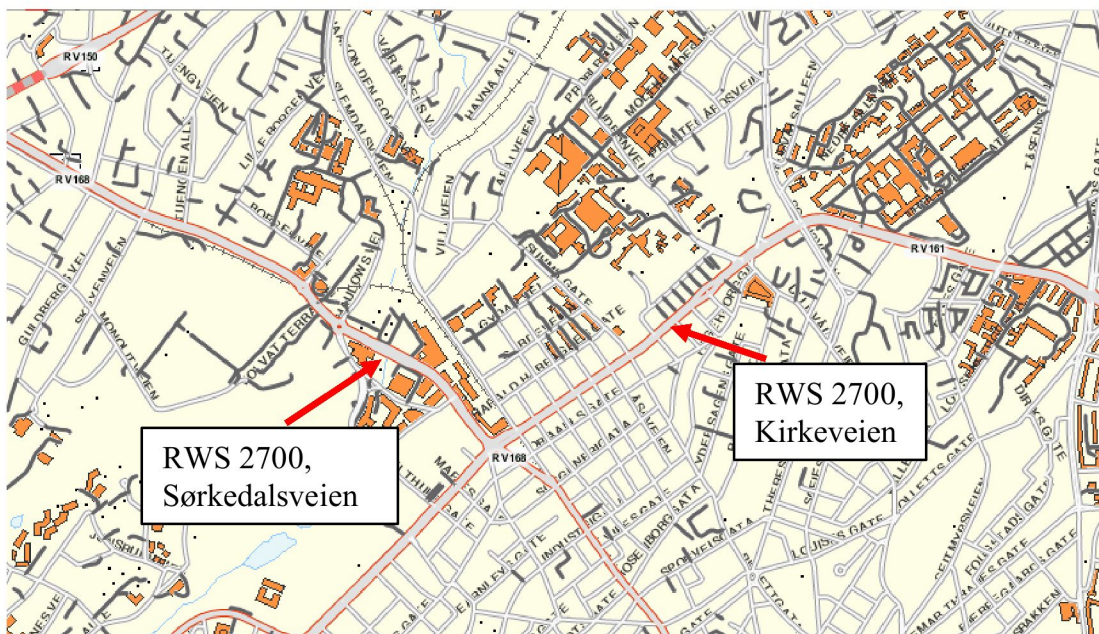


Figur 3.9: Oversikt over delstrekninger hvor det er målt friksjon

3.4.3 Klimadata

Klimadata er hentet fra SVO's egne klimastasjoner, og det er benyttet data fra stasjonen ved E18 på Maritim (OS1). Klimadataene er lagret i 20 minutters intervaller, og det er laget en rutine for konvertering til timeverdier.

Høsten 2004 ble det satt opp 2 nye klimastasjoner av typen RWS 2700 fra Aanderaa Data Instruments AS inntil forsøksvegnettet, se Figur 3.10.



Figur 3.10: Plassering av nye klimastasjoner

Hensikten med de nye stasjonene var hovedsakelig å få registrert eventuelle lokalklimatiske forskjeller mellom de 2 strekningene i forhold til temperaturer og nedbørsmengder. Stasjonene er instrumentert med nedbørsmålere av typen Tipping Bucket (type 3864),

lufttemperatur (type 3455), relativ luftfuktighet (type 3445), utstråling (type 2811) samt en vegbanesensor (type 3565). Vegbanesensorene registrerer vegbanetemperatur, frysepunkt og om overflaten er våt eller tørr. Data lagres i en logger (type 3660), og kommunikasjon skjer via GSM nettet. Disse stasjonene kom i drift 11. januar 2005. Når det gjelder nedbørssensoren ble den ved en misforståelse levert uten varmeelement for tining av snø. Det ble foretatt bytte til en annen modell med varmeelement innebygd, men den nye måleren var ikke operativ før i slutten av februar slik at det foreligger lite nedbørsdata fra de nye stasjonene sesongen 2004/2005.



Figur 3.11: Klimastasjon i Kirkeveien (Rv 161)



Figur 3.12: Vegbanesensor i Kirkeveien (Rv 161)



Figur 3.13: Klimastasjon i Sørkedalsveien (Rv 168)



Figur 3.14: Vegbanesensor i Sørkedalsveien (Rv 168)

3.4.4 Trafikkdata

Det foreligger trafikktegninger på timebasis 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 trafikkdata for de 3 strekningene som er sammenlignet.

3.4.5 Fotografering for å dokumentere opptørringstiden

Første sesongen ble det foretatt fotografering av vegbanen til faste tidspunkter for å dokumentere opptørringstiden. 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 ble foretatt fotografering for å dokumentere opptørringstiden 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 fra og med andre sesongen. For nærmere detaljer vises det til rapporten fra sesongen 2001/2002 (Vaa, 2002).

3.4.6 Kjemiske analyser

Se avsnitt 4.8.2.

4. Resultater

4.1 Praktiske erfaringer

I følge Vaktmesterkompaniet var sesongen 2001/2002 en interessant periode med prøving og feiling, og erfaringene var at det "ikke er bare å bruke magnesiumklorid". Av momenter som kom opp kan nevnes:

- bruk av $MgCl_2$ stiller krav både til utstyr og sjåfør
- Det kan oppstå uheldige resultater, bl a ble det observert tilfeller med glatt veg under snøfall
- Som preventiv salting er det gode erfaringer med bruk av $MgCl_2$ -løsning som befuktning, men sesongen 2001/2002 var det ikke forhold for å prøve ut metoden under kalde perioder
- Resultatene må sees i lys av at en generelt prøver å bruke små mengder kjemikalier, og at en ligger på minimum av det som det er mulig å dosere riktig
- Det ble lagt vekt på å salte smalt for å sikre at mest mulig salt blir liggende der det skal virke
- Til dels ujevne vegdekker gjør at det er problemer med å få brøytet godt nok
- Vaktmesterkompaniet tror på kosting som virkemiddel for å få et bedre resultat og redusert saltforbruk, og ønsket å legge inn dette som et element i prosjektet senere sesonger
- Det ble observert at $MgCl_2$ ga en svartere overflate enn $NaCl$
- Det var også et inntrykk at trafikkhastigheten har betydning for effekten av kjemikalier

4.2 Kontroll av løsningskonsentrasjonen

Som ledd i kvalitetskontrollen i forbindelse med prosjektgjennomføringen, ble det høsten 2004 foretatt 2 runder med prøvetaking av begge løsningsvæskene samt av det tørre saltet, se Figur 4.1 og Figur 4.2.



Figur 4.1: Prøve av løsningskonsentrasjonen



Figur 4.2: Prøve for kontroll av saltkvaliteten

Den første kontrollen som ble foretatt 7. november indikerte til dels store avvik, se Tabell 4.1 og Tabell 4.2.

Tabell 4.1: Kontroll av saltprøver 7. november 2004

Prøve merket	SINTEF ID	Mg mg/L	Na mg/L	Cl mg/L	Egenvekt, gram pr.ml
MgCl ₂ 12/12-03 22% løsning	2003-3304	63190	1158	155584	1,158
MgCl-slange 12/12-03	2003-3305	63840	2326	158184	1,159
NaCl løsning 12/12-03	2003-3306	140,2	104200	149015	1,156
NaCl-slange 12/12-03	2003-3307	142,8	107400	151068	1,157
MgCl-tank 12/12-03	2003-3308	65930	1212	160647	1,158
NaCl-tank 12/12-03	2003-3309	143,1	101300	157910	1,157
		Mg mg/kg	Na mg/kg	Cl mg/kg	Tørrestoff
NaCl steinsalt*	2003-3303	558	421895	602575	99,06 %

Tabell 1. Konsentrasjon i mg/L

*Konsentrasjonen er ikke korrigert for tørrestoffinnhold. Tørrestoff ble bestemt til 99,06%.

Tabell 4.2: Kontroll av saltprøver 7. november 2004

SINTEF ID	% MgCl ₂	% NaCl
2003-3304	24,74	0,29
2003-3305	25,00	0,59
2003-3306	0,055	26,49
2003-3307	0,056	27,30
2003-3308	25,82	0,31
2003-3309	0,056	25,75

Tabell 2. Resultater fra tabell 1 omregnet til % MgCl₂ og % NaCl

Det ble også foretatt en kontroll av saltapparatet som påviste avvik mellom innstilt mengde på displayet og målte mengder. Saltapparatet ble kontrollert på nytt hos Oslo Vei 14.

november, og det viste seg nødvendig å justere løsningsmengden. Rapport fra Oslo Vei foreligger.

For å sjekke løsningsvæskene på nytt ble det tatt nye prøver 12. desember. Resultatene fra disse prøvene er gjengitt i Tabell 4.3.

Tabell 4.3: *Analyse av løsningsvæsker kontrollert 12. desember 2004*

Prøve merket	SINTEF ID	NaCl (vekt%)	MgCl ₂ (vekt %)	Egenvekt g/mL
MgCl ₂ løsning 20,1%	2004-0293	0,26	18,93	1,144
NaCl løsning 22,5%	2004-0294	23,06	0,06	1,161

Resultatene har en relativ usikkerhet på ±10%.

Hver av prøvene var på forhånd kontrollmålt med et areometer av Rieber C G Salt AS. Som det framgår av verdiene fra den siste testen, lå de oppgitte verdiene fra leverandøren godt innenfor usikkerhetsmarginen.

4.3 Klimadata

I vedlegg 1 er gjengitt klimadata på månedsbasis for de 3 siste vintersesongene fra stasjonen på E 18 ved Maritim for vinterperioden november – mars. Nedbøren som er angitt er nedbørsintensitet etter følgende skala:

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

I Tabell 4.4 det satt opp oversikter over temperaturforholdene sesongene 2002/2003 - 2004/2005 i form av andelen av tiden med lufttemperatur under -6 °C.

Tabell 4.4: *Andel av tiden med lufttemperatur under -6 °C. Sesongene 2002/2003 – 2004/2005*

Sesong	Andel av tiden med lufttemperatur under -6 grader					
	Hele sesongen	Nov	Des	Januar	Feb	Mars
2002/2003	19 %	5 %	39 %	41 %	15 %	1 %
2003/2004	10 %	0 %	11 %	24 %	7 %	4 %
2004/2005	7 %	9 %	4 %	0 %	8 %	14 %

Tabell 4.4 viser tydelig at det kan være store sesongmessige variasjoner når det gjelder temperaturforholdene. Sesongen sett under ett var lufttemperaturen under -6 °C i 19 prosent av tiden i 2002/2003 sesongen, i 10 prosent av tiden i 2003/2004 sesongen og i 7 prosent av tiden sesongen 2004/2005.

I tillegg til dataene fra stasjonen på Maritim foreligger det også data fra met.no sin stasjon på Valle Hovin på timebasis med følgende parametre:

- Vindretning
- Vindstyrke
- Vindkast
- Relativ fuktighet
- Temperatur 2 meter over bakken
- Temperatur 25 meter over bakken

I Tabell 4.5 er gjengitt gjennomsnittlig lufttemperatur for Valle Hovin, Maritim og de to nye lokale stasjonene på forsøksvegnettet.

Tabell 4.5: Gjennomsnittlig lufttemperatur sesongen 2004/2005 ved ulike stasjoner

Stasjon	Gjennomsnittlig lufttemperatur					
	Hele ses	Nov	Des	Januar	Februar	Mars
Valle Hovin	0,2	0,9	0,3	1,7	-1,1	-0,7
Maritim	0,5	1,3	0,3	2,1	-0,5	-0,6
Kirkeveien					-0,6	-0,4
Sørkedalsveien					-0,8	-0,6

Som en ser av Tabell 4.5 er det relativt små forskjeller i gjennomsnittlig lufttemperatur både over sesongen og per måned ved de ulike stasjonene. Det kan likevel være lokalklimatiske forskjeller på grunn av omkringliggende bygningsstrukturer og gatens orientering i forhold til framherskende vindretning.

4.4 Trafikktall

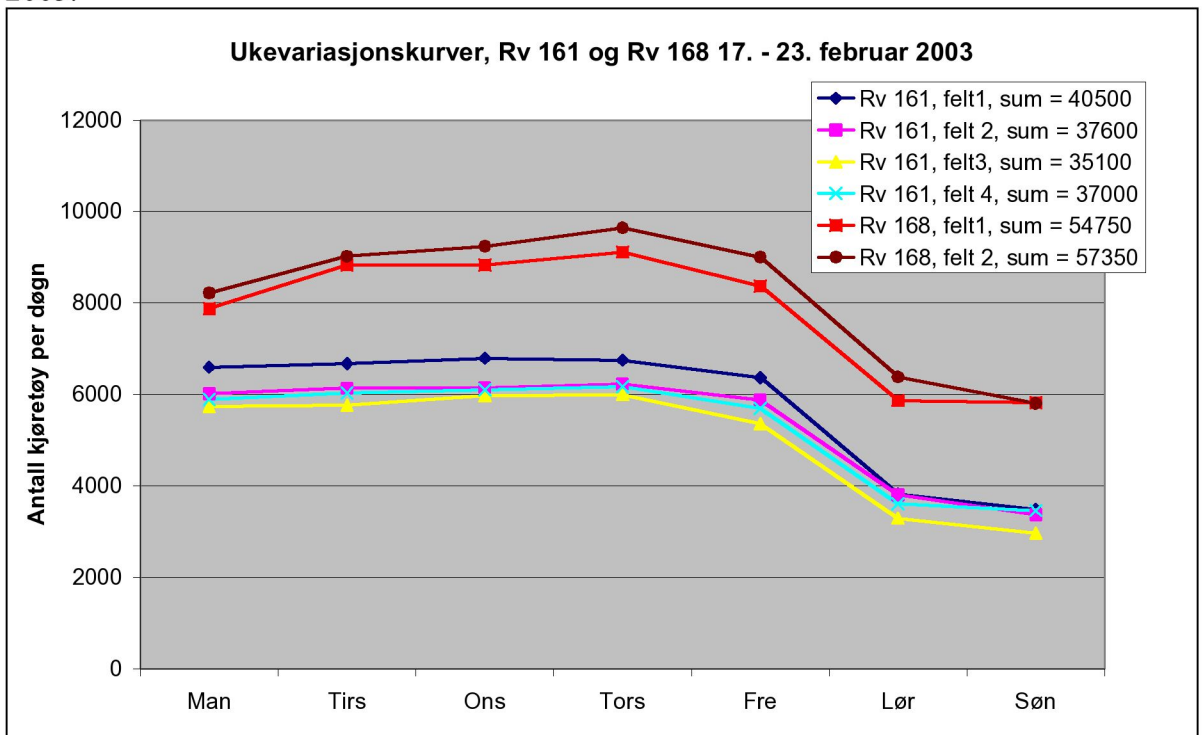
Det er ikke framskaffet kontinuerlige tellinger for de aktuelle tellepunktene. Hovedpoenget med å gjengi trafikktall er å få et inntrykk av trafikkvolum og trafikkvariasjon, og til det har en funnet det tilstrekkelig å gjengi tall for uke 8 i 2003 og uke 7 i 2005, se Tabell 4.6 for oversikt over de periodene som er benyttet:

Tabell 4.6: Oversikt over tidsperioder som er grunnlaget for uke- og døgnvariasjonskurver

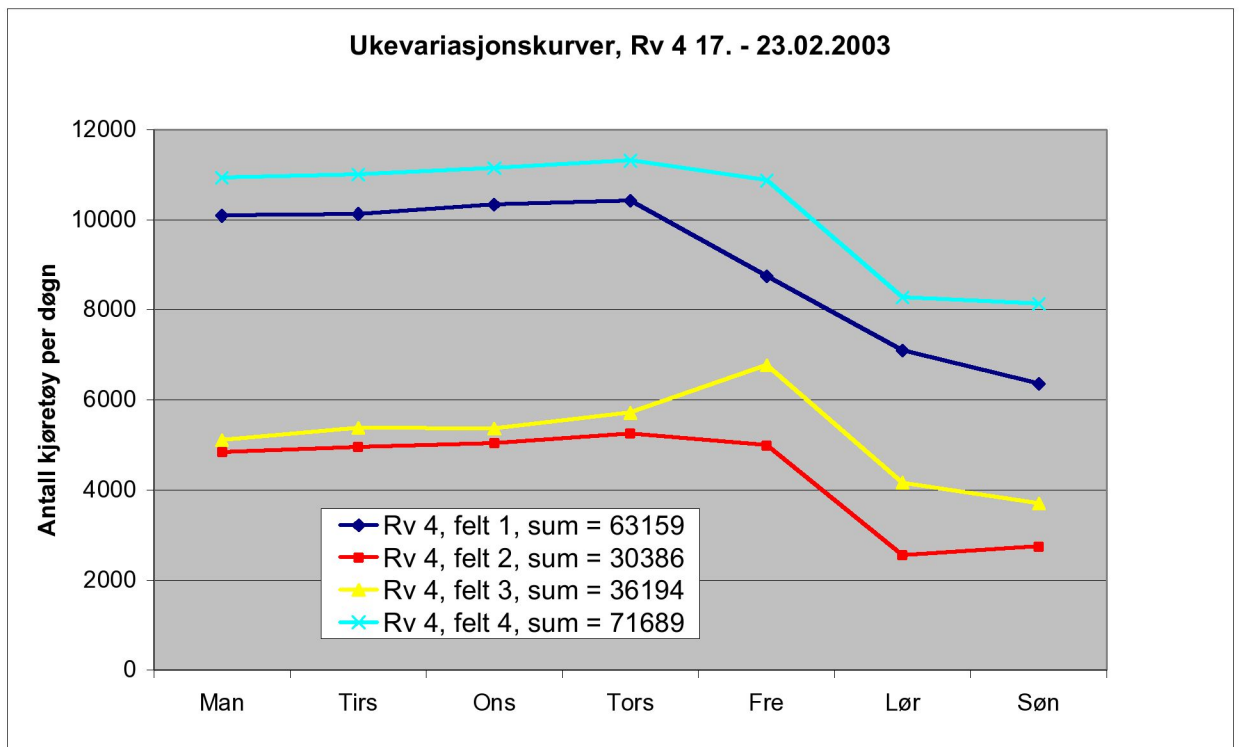
Strekning	Trafikkvolum		Hastighet
	Ukevariasjon	Døgnvariasjon	Døgnvariasjon
Rv 161	17.-23.02.03	Onsdag 19.02.03	Onsdag 19.02.03
		Onsdag 16.02.05	
Rv 168	17.-23.02.03	Onsdag 19.02.03	Onsdag 19.02.03
		Onsdag 16.02.05	
Rv 4	17.-23.02.03	Onsdag 19.02.03	Onsdag 19.02.03

I Figur 4.3 og Figur 4.4 er vist ukevariasjonskurver for de 3 teststedene i februar 2003. Figur 4.5 og Figur 4.6 viser trafikkvariasjoner over døgnet, og Figur 4.7 viser

hastighetsvariasjoner over døgnet i 2003. Figur 4.8 viser døgnavariasjonskurver fra februar 2005.

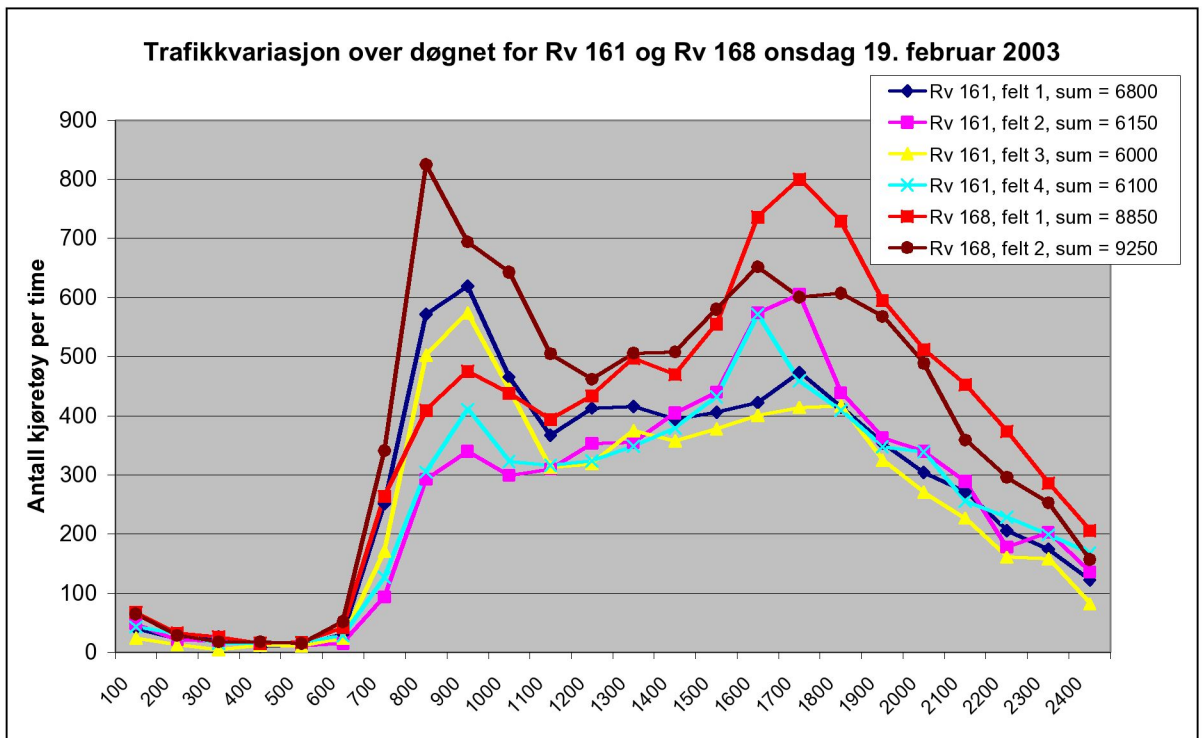


Figur 4.3: Ukevariasjonskurver for Rv 161 og Rv 168 sesongen 2002/2003

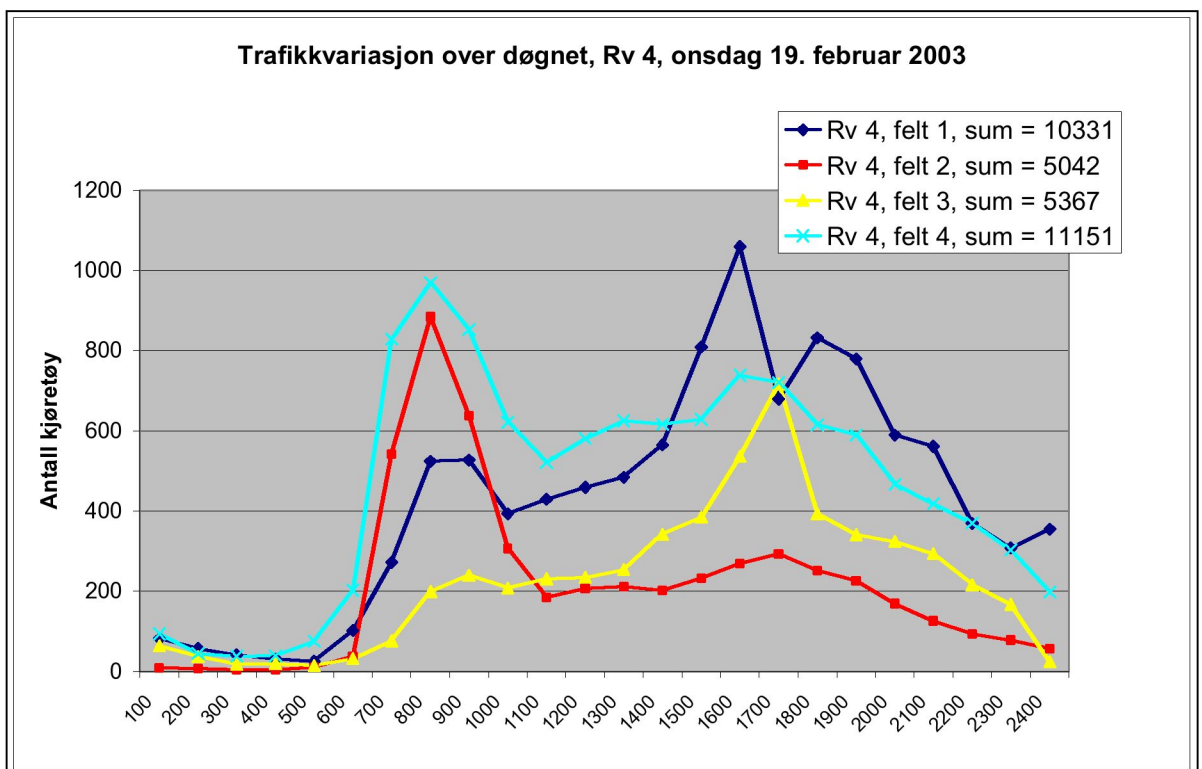


Figur 4.4: Ukevariasjonskurver for Rv 4 sesongen 2002/2003

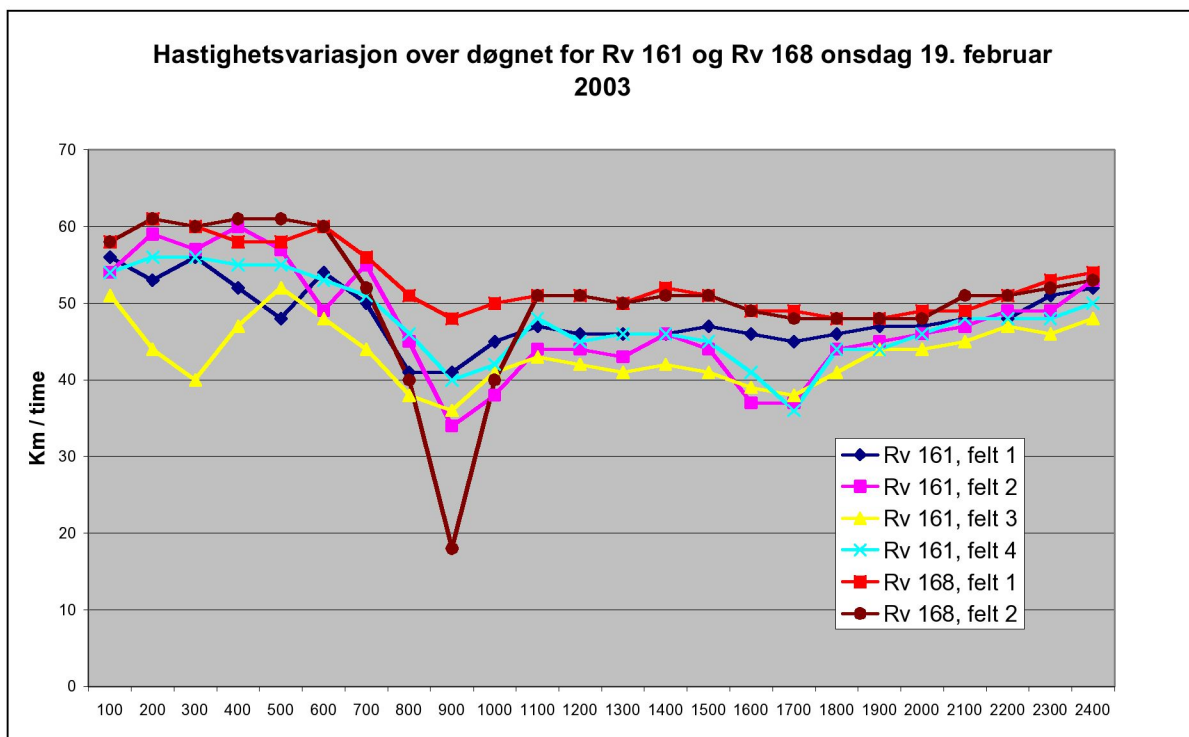
Som en ser av Figur 4.3 er det stor forskjell i trafikkmengdene på Rv 161 og Rv 168 alle ukedagene. Summert over uka er trafikken på Rv 168 ca 43 prosent høyere enn på Rv 161 for felt 1 og 2 summert og 20 prosent høyere enn på Rv 4.



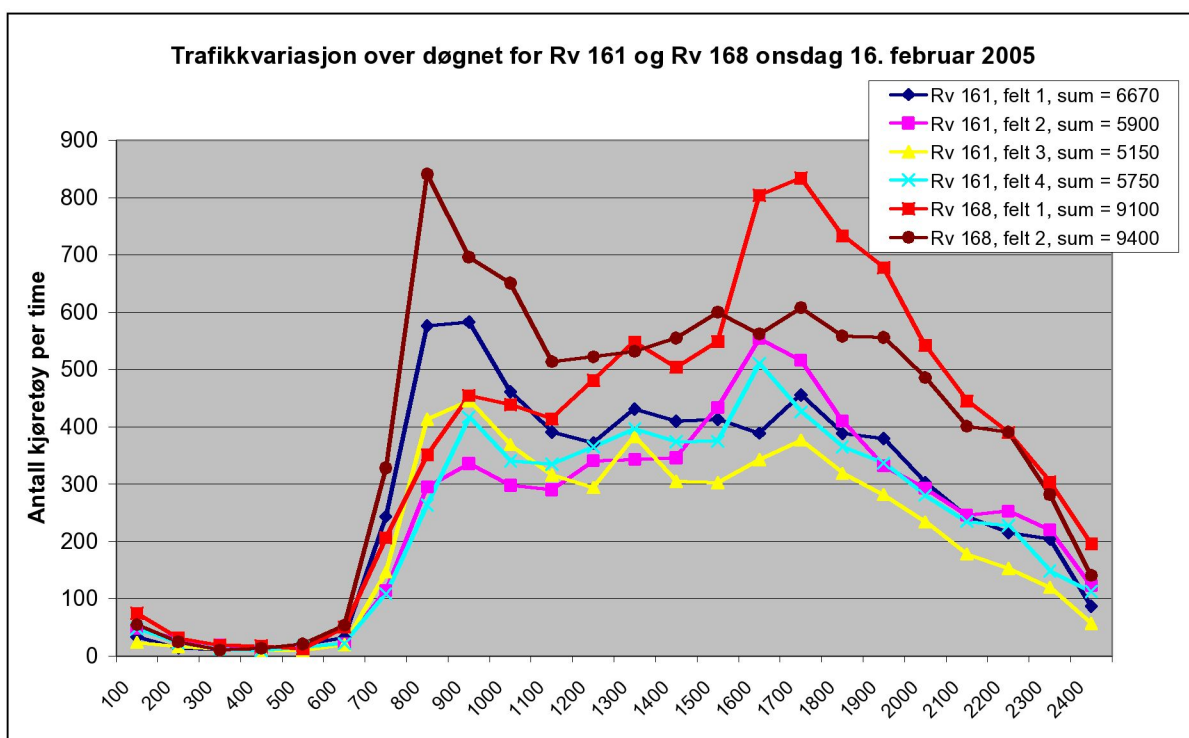
Figur 4.5: Døgnvariasjonskurver for Rv 161 og Rv 168 sesongen 2002/2003



Figur 4.6: Døgnvariasjonskurver for Rv 4 sesongen 2002/2003



Figur 4.7: Hastighetsvariasjonskurver for Rv 161 og Rv 168 sesongen 2002/2003



Figur 4.8: Døgnvariasjonskurver for Rv 161 og Rv 168 sesongen 2004/2005

Variasjonskurvene over døgnet, se Figur 4.5 - Figur 4.8, 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 trafikkanslaget på den delen av Rv 168 hvor de øvrige observasjonene er gjort.

Når en sammenholder Figur 4.5 og Figur 4.8 kan en se at det har vært omtrent uendret trafikk i perioden 2003 – 2005. Dvs. at de trafikkmessige forholdene ikke skal ha hatt noen vesentlig innvirkning på resultatene fra år til år.

4.5 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

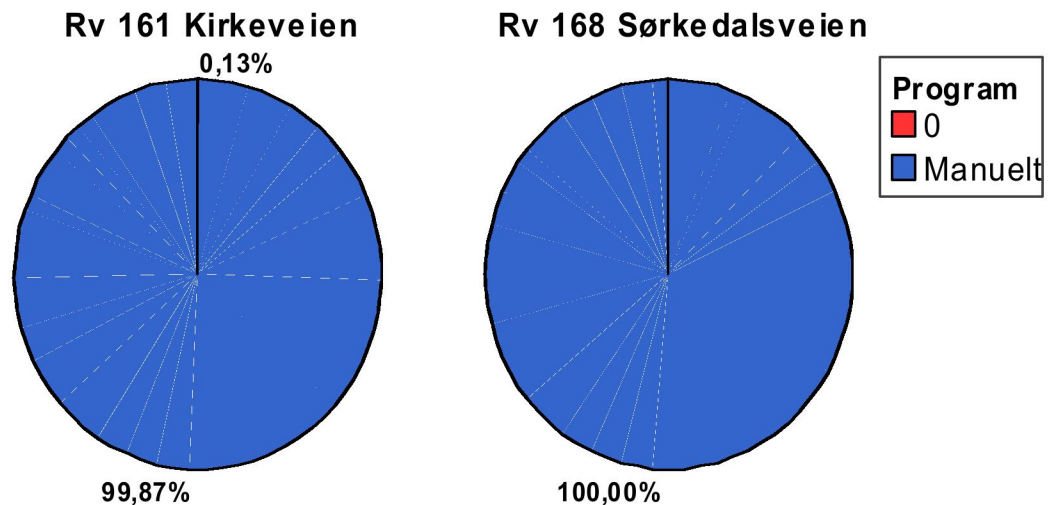
Dette er vegstrekninger som er sammenlignbare både med hensyn til klima og trafikkforhold, men det knytter seg som nevnt en usikkerhet til den faktiske trafikkmengden på Rv 168 på den aktuelle parsellen. Disse 2 strekningene er også en del forskjellige med hensyn til topografi, orientering i forhold 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. Strø bilen 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 løsning (kilo)
- Dekketemperatur
- Antall strøkilometer
- Antall kjørte kilometer
- Strødd areal
- Mengde salt og løsning per m^2

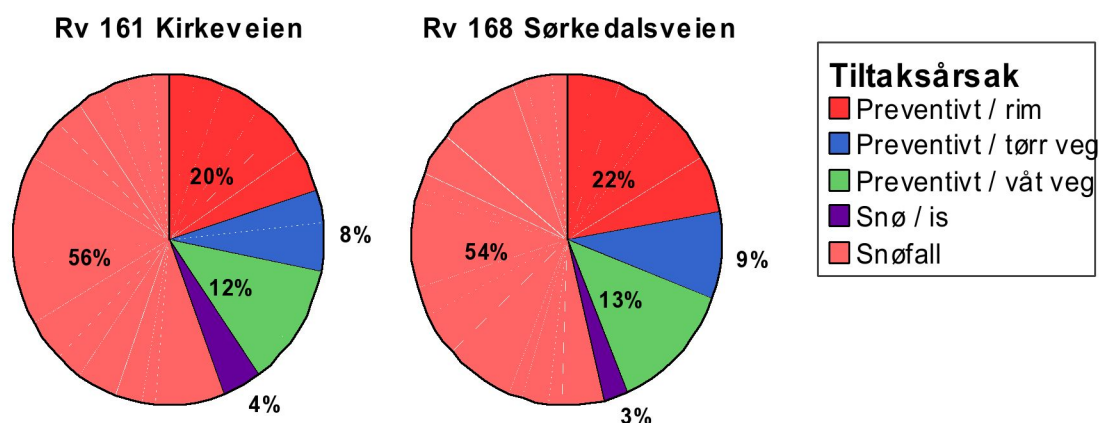
Figur 4.9 viser hvilke programmer det ble kjørt med på de 2 strekningene i de tilfellene det ble gjort salttiltak i november 2003 – mars 2004. Som en ser var det i hovedsak program 5 som ble benyttet, dvs. manuell styring av doseringen. Dette har også vært situasjonen de øvrige sesongene.

Sesongen 2003/2004



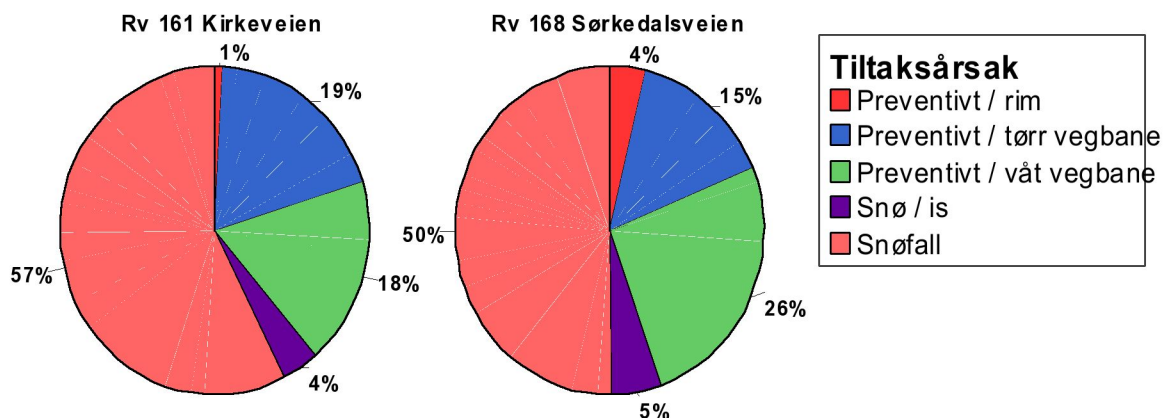
Figur 4.9: Tiltaksregistreringer i november 2003 – mars 2004. Fordeling på programinnstillinger

Figur 4.10 - Figur 4.12 viser en oversikt over hva som ble angitt som tiltakstype i forbindelse med salting henholdsvis sesongene 2002/2003 - 2004/2005. Som en ser dominerte "Snøfall" bildet de 2 første sesongene med ca 50 – 57 prosent av tilfellene. Bare 3-5 prosent av tiltakene ble utført på snø/is, og ca 40 prosent ble utført som preventive tiltak. Sesongen 2004/2005 ble det utført flere preventive tiltak og færre tiltak under snøvær.



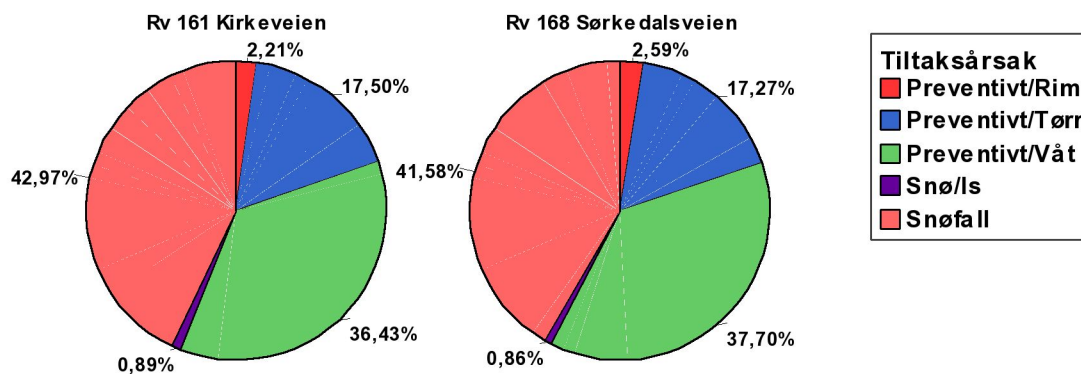
Figur 4.10: Tiltaksregistreringer i november 2002 – mars 2003, fordeling mellom ulike typer tiltak

Sesongen 2003/2004



Figur 4.11: Tiltaksregistreringer i november 2003 – mars 2004, fordeling mellom ulike typer tiltak

Sesongen 2004/2005



Figur 4.12: Tiltaksregistreringer i november 2004 – mars 2005, fordeling mellom ulike typer tiltak

Fordelingen mellom type preventive tiltak er som en ser nokså forskjellig når en sammenligner de 3 sesongene. Det er ikke noen vesentlig forskjell på de 2 strekningene når det gjelder tiltaksårsaker.

Tabell 4.7 viser en oversikt over antall dager det er registrert tiltak på de 2 strekningene sesongene 2001/2002 – 2004/2005.

Tabell 4.7: Antall dager det er registrert salttiltak (saltdøgn) fordelt på månedsbasis og totalt per sesong

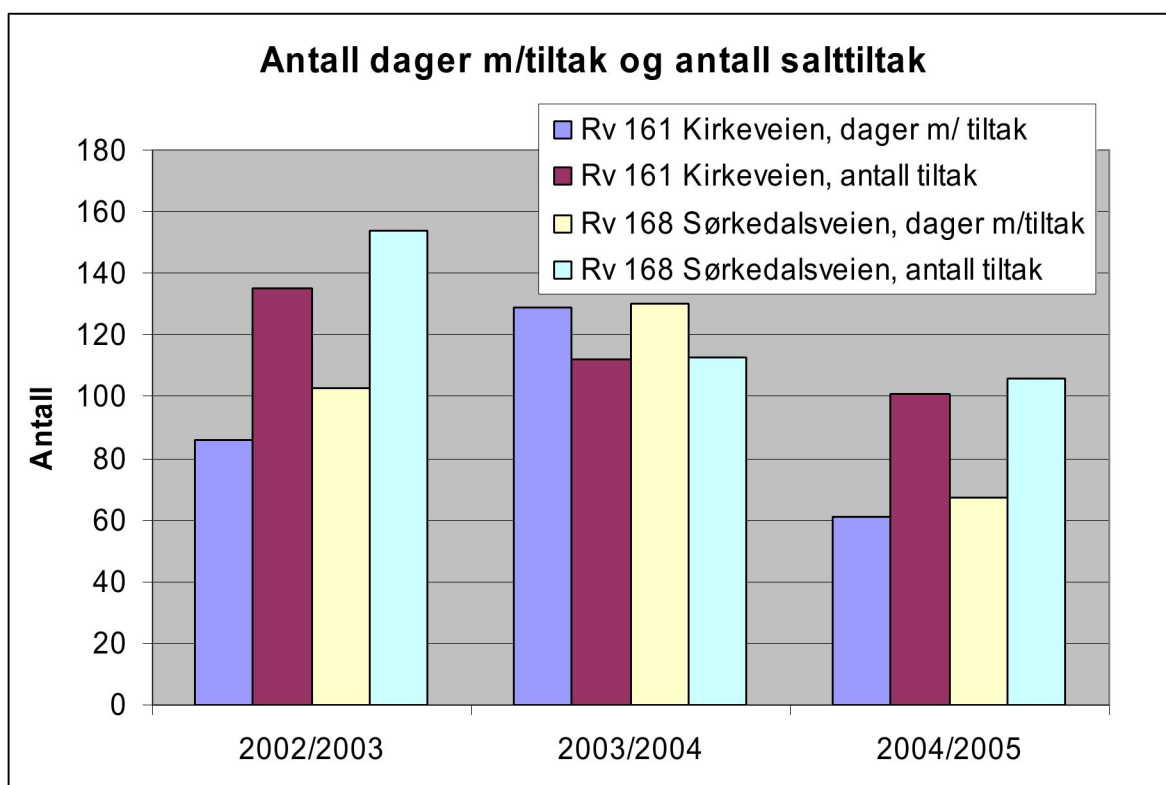
Sesong	Strekning	Antall dager det er registrert salttiltak					
		Nov	Des	Jan	Feb	Mars	Sum
2001/2002	Rv 161 Kirkeveien	2	15	18	13	3	51
	Rv 168 Sørkedalsveien	9	18	17	13	4	61
2002/2003	Rv 161 Kirkeveien	19	20	20	17	10	86
	Rv 168 Sørkedalsveien	20	21	22	23	17	103
2003/2004	Rv 161 Kirkeveien	26	28	29	25	21	129
	Rv 168 Sørkedalsveien	26	29	29	26	20	130
2004/2005	Rv 161 Kirkeveien	13	19	8	9	12	61
	Rv 168 Sørkedalsveien	15	20	11	9	12	67

I Tabell 4.8 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 4.8: Antall registrerte salttiltak fordelt på månedsbasis og totalt per sesong

Sesong	Strekning	Antall registrerte salttiltak					
		Nov	Des	Jan	Feb	Mars	Sum
2001/2002	Rv 161 Kirkeveien	2	18	25	15	3	63
	Rv 168 Sørkedalsveien	9	20	31	16	4	80
2002/2003	Rv 161 Kirkeveien	34	35	30	24	12	135
	Rv 168 Sørkedalsveien	41	36	35	28	14	154
2003/2004	Rv 161 Kirkeveien	8	22	50	26	6	112
	Rv 168 Sørkedalsveien	6	23	52	24	8	113
2003/2005	Rv 161 Kirkeveien	30	31	9	11	20	101
	Rv 168 Sørkedalsveien	31	31	14	12	18	106

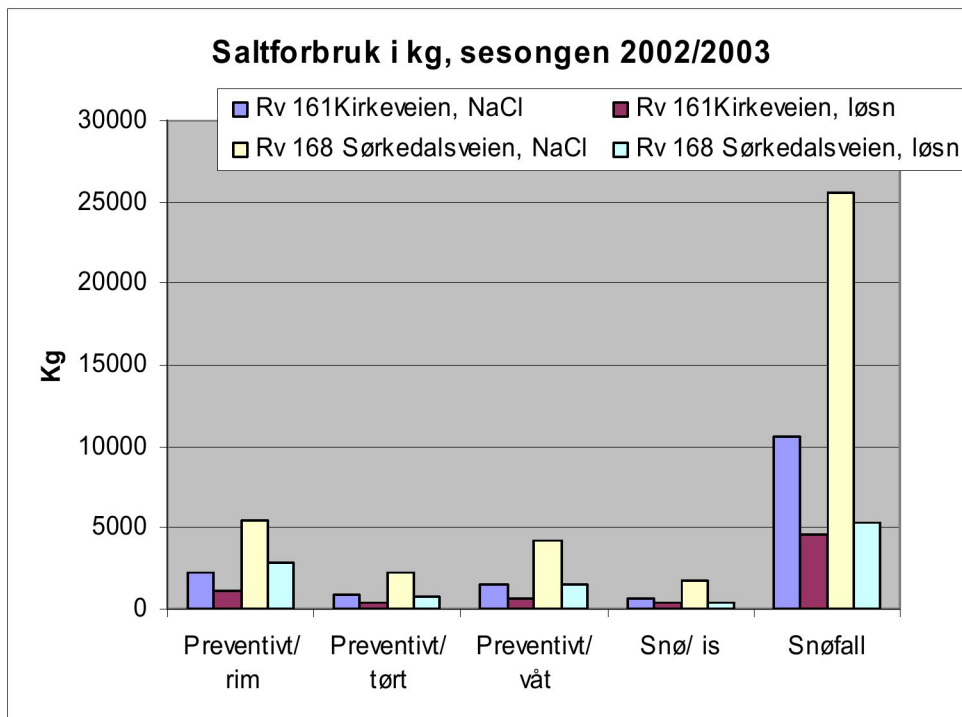
I Figur 4.13 er det foretatt en sammenstilling på sesongbasis av innsatsnivået i form av antall saltdøgn og antall registrerte tiltak på de to strekningene sesongene 2002/2003 – 2004/2005.



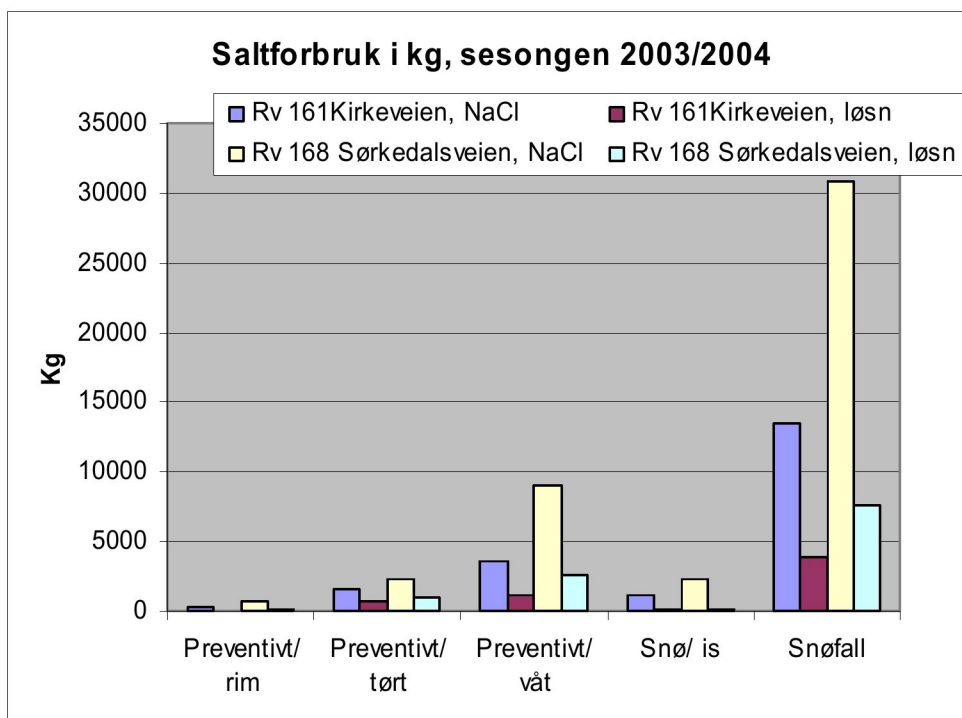
Figur 4.13: Antall dager med salttiltak og antall salttiltak sesongene 2002/2003 – 2004/2005

Mens tallene både for antall dager med tiltak og antall registrerte salttiltak i 2002/2003 tydet på at det var færre saltdøgn og færre tiltak på Kirkeveien ($MgCl_2$) enn på Sørkedalsveien ($NaCl$), var innsatsnivået nokså likt de to påfølgende sesongene. En kan derfor ut fra foreliggende materiale ikke slutte at overgang til $MgCl_2$ fører til en reduksjon i antall saltdøgn og antall tiltak. På den annen side kan det konkluderes med at overgang til bruk av $MgCl_2$ ikke har medført økt tiltaksomfang på forsøksvegnettet i Oslo.

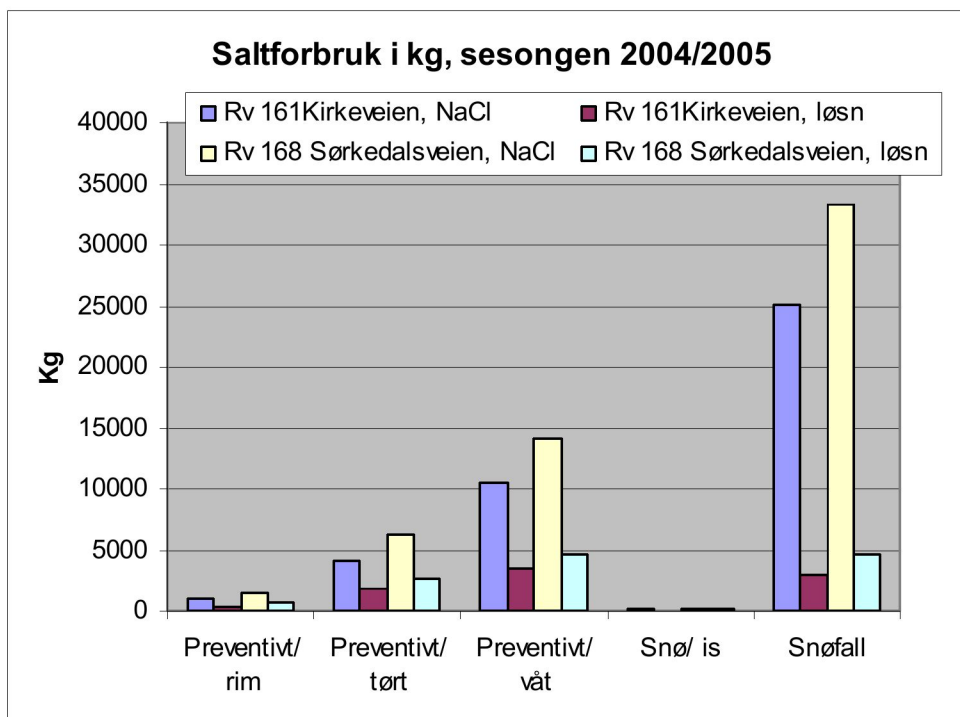
Figur 4.14 - Figur 4.16 viser saltforbruket fordelt på tiltaksårsaker sesongene 2002/2003 – 2004/2005. Ca 65 prosent av både tørrstoffdelen og befuktningstvæskken ble lagt ut i forbindelse med snøfall, jfr. Figur 4.21.



Figur 4.14: Totalt saltforbruk i kg fordelt på tiltaksårsaker sesongen 2002/2003

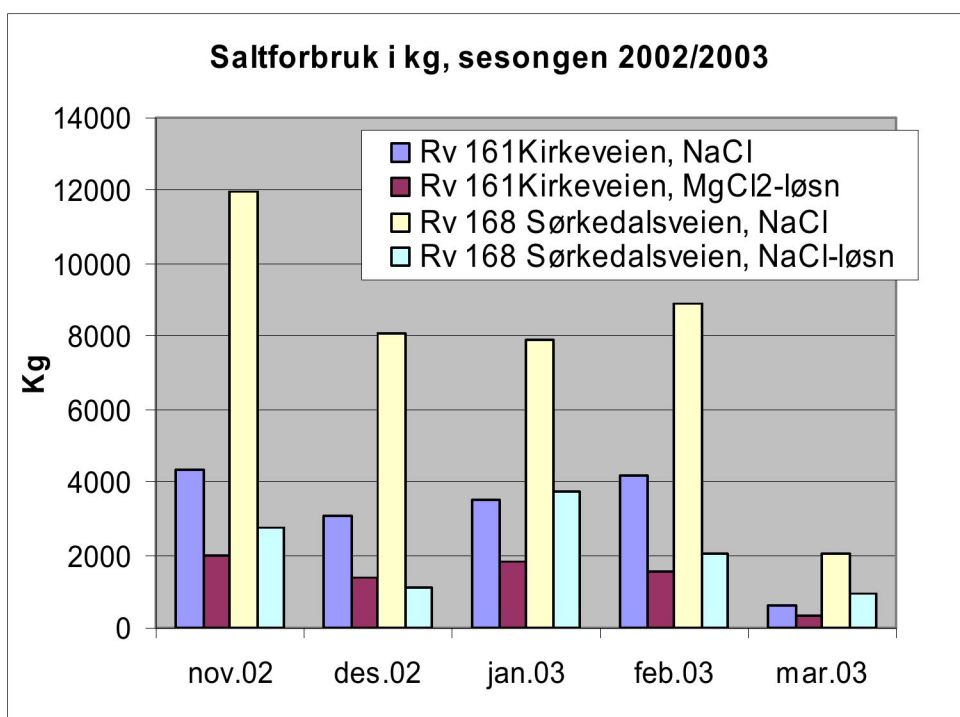


Figur 4.15: Totalt saltforbruk i kg fordelt på tiltaksårsaker sesongen 2003/2004

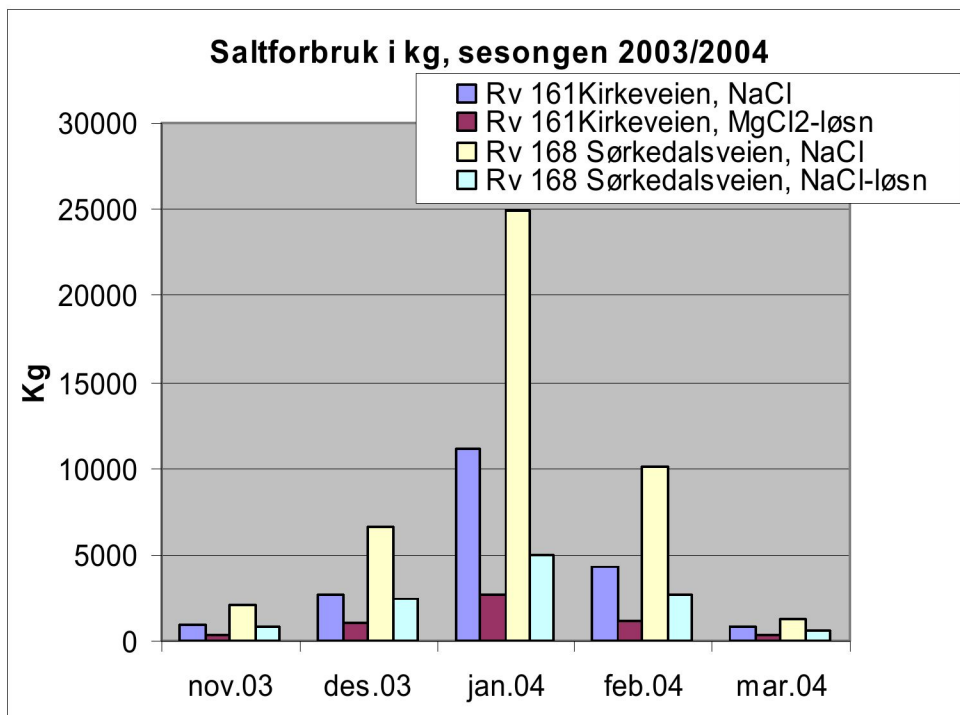


Figur 4.16: Totalt saltforbruk i kg fordelt på tiltaksårsaker sesongen 2004/2005

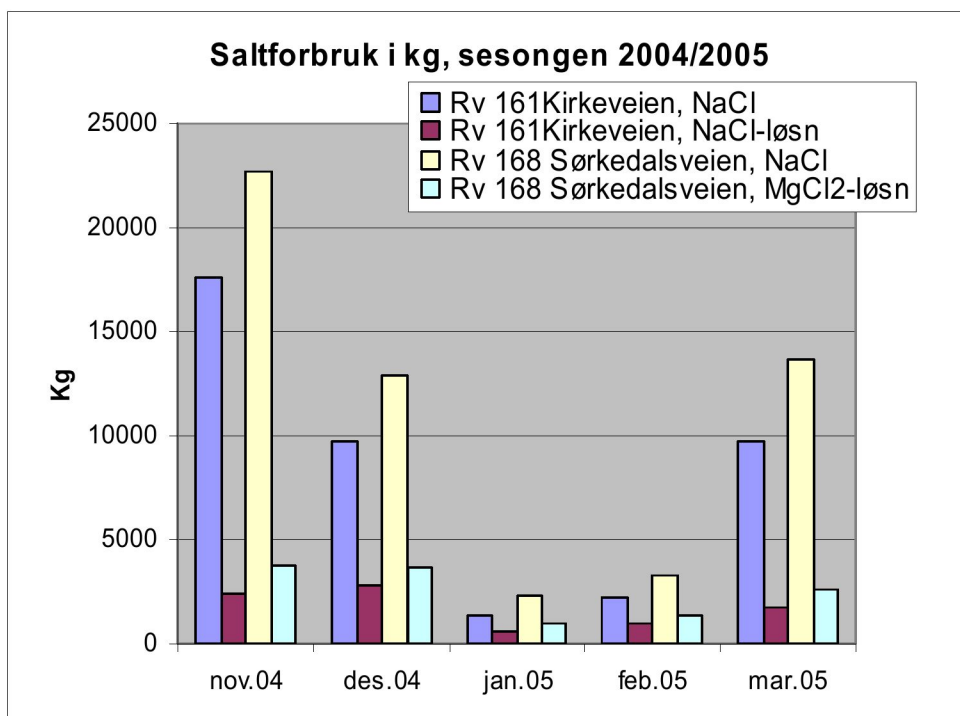
Totalt saltforbruk på månedsbasis på de 2 strekningene av Rv 161 og Rv 168 sesongene 2002/2003 - 2004/2005 framgår av Figur 4.17 - Figur 4.19.



Figur 4.17: Registrert saltforbruk på Rv 161 og Rv 168 sesongen 2002/2003



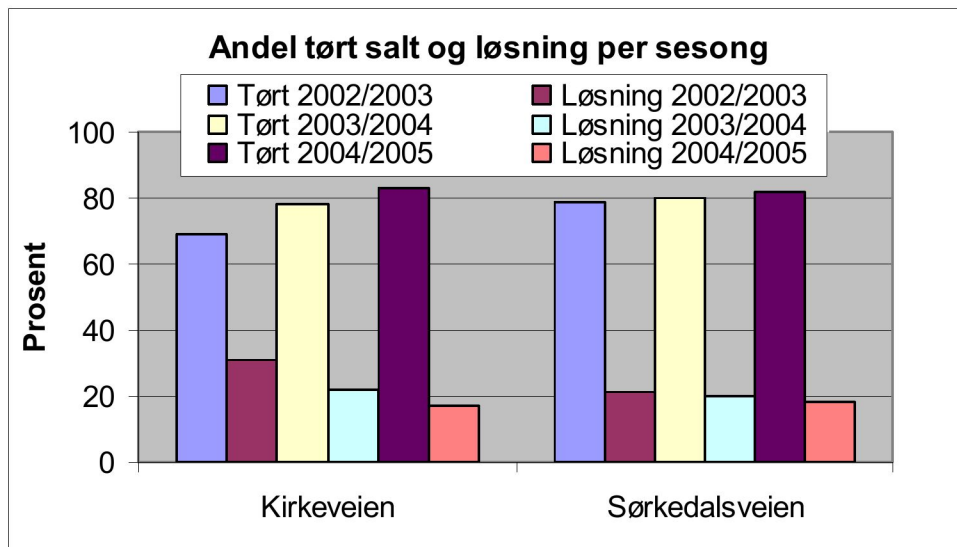
Figur 4.18: Registrert saltforbruk på Rv 161 og Rv 168 sesongen 2003/2004



Figur 4.19: Registrert saltforbruk på Rv 161 og Rv 168 sesongen 2004/2005

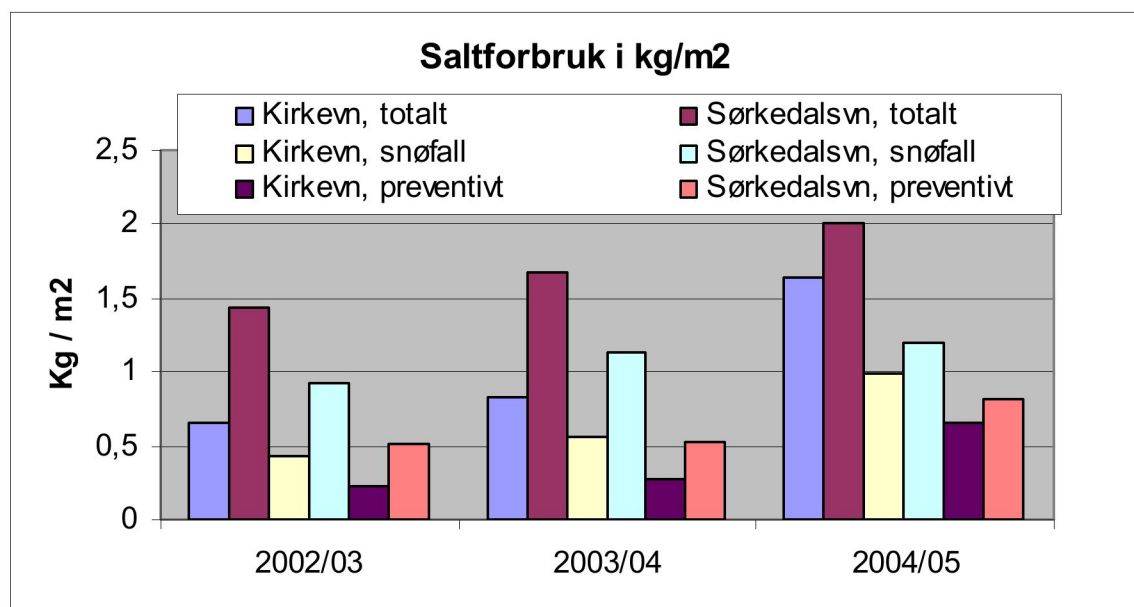
Det er som en kan se store sesongmessige variasjoner når det gjelder saltforbruket fra måned til måned. For en stor del vil nok månedsforbruket av salt gjenspeile hvordan mengden snønedbør har vært fordelt over vinteren.

Figur 4.20 viser saltforbruket fordelt på tørt salt og løsning sesongene 2002/2003 – 2004/2005. Med unntak av Kirkeveien sesongen 2002/2003, har andelen løsning på sesongbasis ligget på 17 – 22 prosent uavhengig av metode.



Figur 4.20: Saltforbruk per sesong fordelt på tørt salt og løsning

I Figur 4.21 er det sammenstilt saltforbruk i kg/m^2 totalt og fordelt på snøfall/preventive tiltak for Kirkeveien og Sørkedalsveien sesongene 2002/2003 – 2004/2005. Tiltak i forbindelse med snøfall dominerer som en ser bildet alle 3 sesongene, men andelen av saltforbruket under snøfall var mindre sesongen 2004/2005 enn de to foregående sesongene.

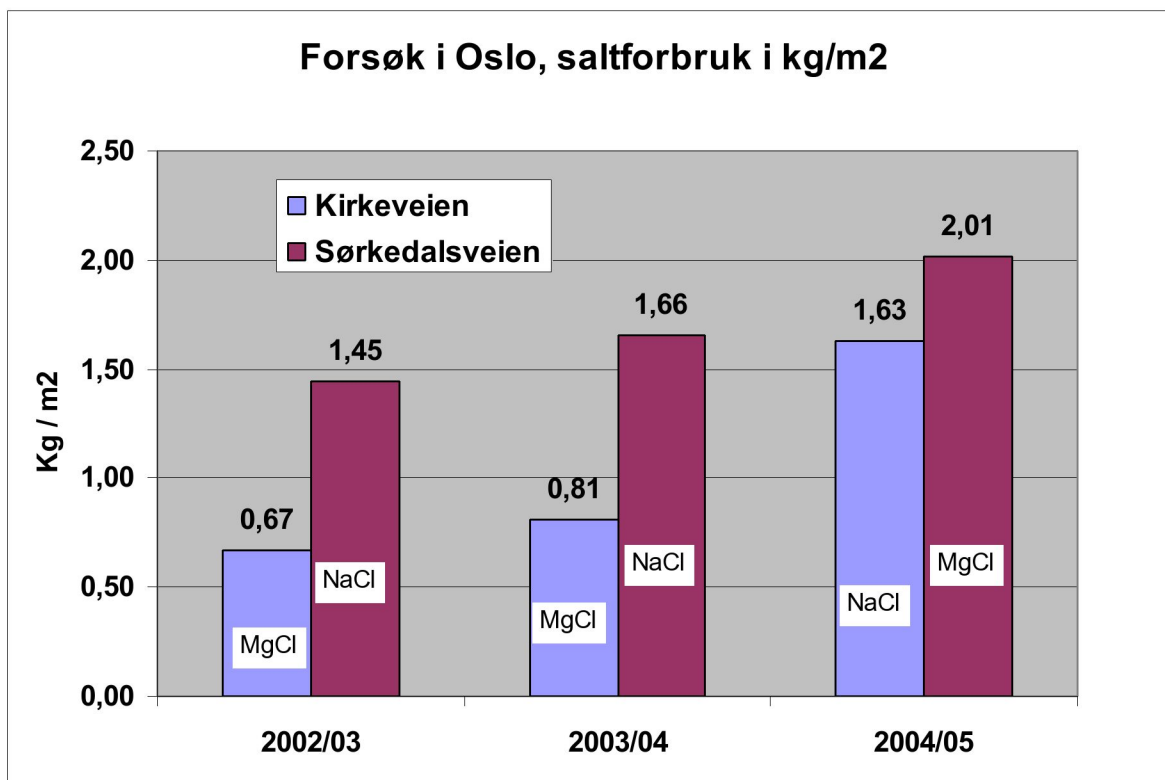


Figur 4.21: Saltforbruk i kg/m^2 fordelt på tiltaksårsaker

Vegarealene (dekkebredde) for Kirkeveien og Sørkedalsveien på de 2 parsellene er henholdsvis 25.900 og 28.700 m^2 . Siden arealet på Sørkedalsveien er bare ca 11 prosent

større enn på Kirkeveien, betyr dette at det forholdsmessig ble brukt betydelig mer salt på Sørkedalsveien enn på Kirkeveien både sesongen 2002/2003 og sesongen 2003/2004.

For å kunne verifisere at det ikke lå andre faktorer bak enn selve saltingsmetodikken ble det før vintersesongen 2004/05 som nevnt besluttet å bytte om på referansestrekingene, dvs. befuktning med $MgCl_2$ -løsning på Sørkedalsveien og befuktning med $NaCl$ -løsning på Rv 161. Overgangen med bruk av $NaCl$ -løsning på Kirkeveien gav en fordobling av saltforbruket på Kirkeveien. Det var også en økning på Sørkedalsveien men den var betydelig mindre, se Figur 4.22.



Figur 4.22: Saltforbruk pr m^2 veg i vintersesongene 2002/03 – 2004/05. I 2004/05 ble referansestrekingen byttet om og det ble saltet med $MgCl_2$ -løsning på Rv 168 Sørkedalsveien i stedet for på Rv 161 Kirkeveien

Endringene i saltforbruket på de to strekningene sesongen 2004/2005 bekreftet hypotesen om at det var andre faktorer enn bare saltingsmetoden som var årsak til de store forskjellene i saltforbruk de første to sesongene. Disse faktorene er trolig forskjeller i mikroklima, trafikkvolum og kjøremønster.

En kan derfor gå ut fra at det dreier seg om 2 effekter:

A – relativt forhold mellom $MgCl_2$ og $NaCl$, $A = MgCl_2 / NaCl$

B – relativt forhold mellom andre faktorer som påvirker saltforbruket, $B = K / S$

Ved å gå ut fra at det dreier seg om to uavhengige effekter, kan effektene multipliseres med hverandre og det kan settes opp følgende to formler:

$$(1) MgCl_2_K = A * B * NaCl_S \text{ (husk at } MgCl_2 = A * NaCl \text{ og } K = B * S)$$

$$(2) \text{MgCl}_2_S = A * (1/B) * \text{NaCl_K}$$

Ligning (2) gir at :

$$A = B * (\text{MgCl}_2_S / \text{NaCl_K}) = B * (2.01 / 1.63) = 1.233 * B$$

Innsatt i (1) så finner vi B:

$$\text{MgCl}_2_K = 1.233 * B * B * \text{NaCl_S}$$

$$1.23 B * B = 0.81 / 1.66 = 0.488$$

$$B = \text{sqrt}(0.488 / 1.23) = 0.629$$

Og A blir da:

$$A = 1.233 * 0.629 = 0.776$$

Vi har altså funnet at:

$$A = \text{MgCl}_2 / \text{NaCl} = 0.776$$

$$B = K / S = 0.629$$

Kontroll på de oppgitte data for 2003/2004:

$$\text{MgCl}_2_K = 0.81$$

$$\text{NaCl_S} = 1.66$$

$$\text{NaCl_K ville teoretisk vært } 1.66 * 0.629 = 1.044$$

$$\text{MgCl}_2_K \text{ kan beregnes til } 1.044 * 0.776 = 0.81 \text{ (OK!)}$$

Tilsvarende kontroll for saltforbruket i 2004/2005:

$$\text{MgCl}_2_S = 2.01$$

$$\text{NaCl_K} = 1.63$$

$$\text{NaCl_S ville teoretisk vært } 1.63 * (1/0.629) = 2.591$$

$$\text{MgCl}_2_S \text{ kan da beregnes til } 2.591 * 0.776 = 2.01 \text{ (OK!)}$$

En kan også se hvordan dette ville passe for registrerte saltmengder per arealenhet sesongen 2002/2003:

$$\text{MgCl}_2_K = 0.67$$

$$\text{NaCl_S} = 1.45$$

$$\text{NaCl_K ville teoretisk vært } 1.45 * 0.629 = 0.912$$

$$\text{MgCl}_2_K \text{ kan da beregnes som } 0.912 * 0.776 = 0.708$$

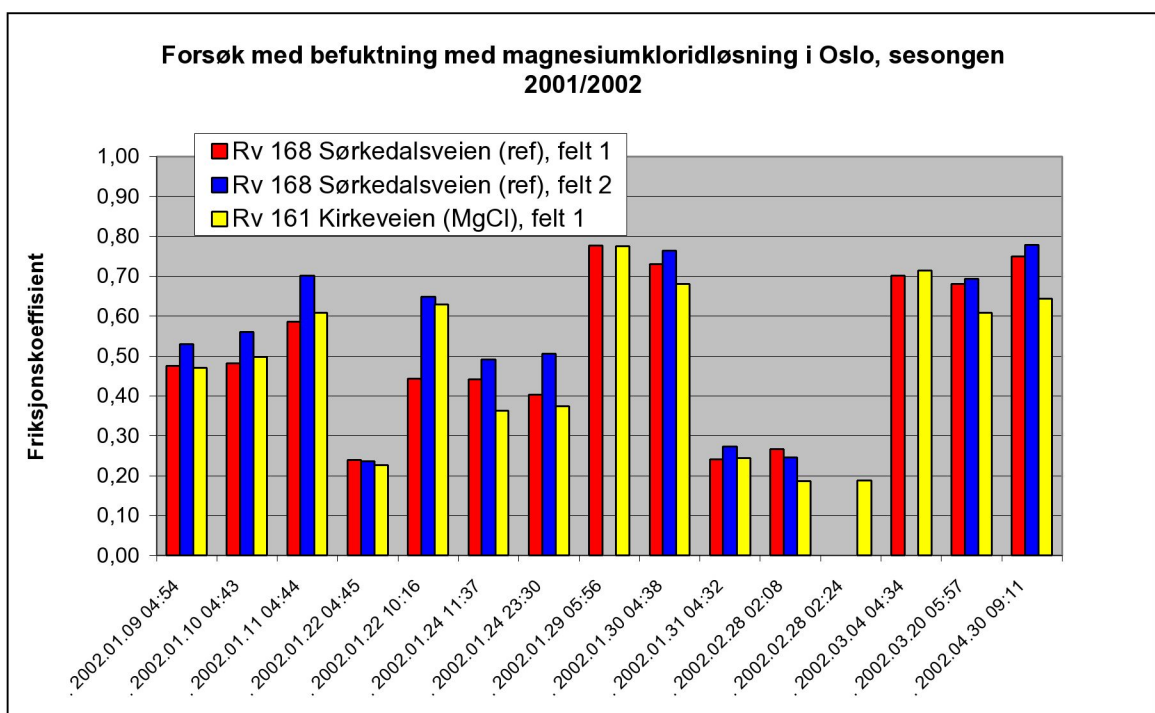
Dette er noe høyere enn det som ble målt, nemlig 0.67, men forskjellen er innenfor det en kan akseptere.

Konklusjonen er at når det taes hensyn til ytre faktorer på det undersøkte vegnettet i Oslo, blir den reelle effekten av å benytte befuktning med MgCl_2 -løsning i stedet for NaCl -løsning en reduksjon i saltforbruket på mellom 20 – 25 prosent ved bruk av førstnevnte saltmetode.

De nye klimastasjonene i Kirkeveien og Sørkedalsveien ble etablert for seint til å kunne understøtte beregningen av den delen av forskjellen (faktor B) som forklares av andre forhold enn saltmetoden.

4.6 Friksjonsmålinger

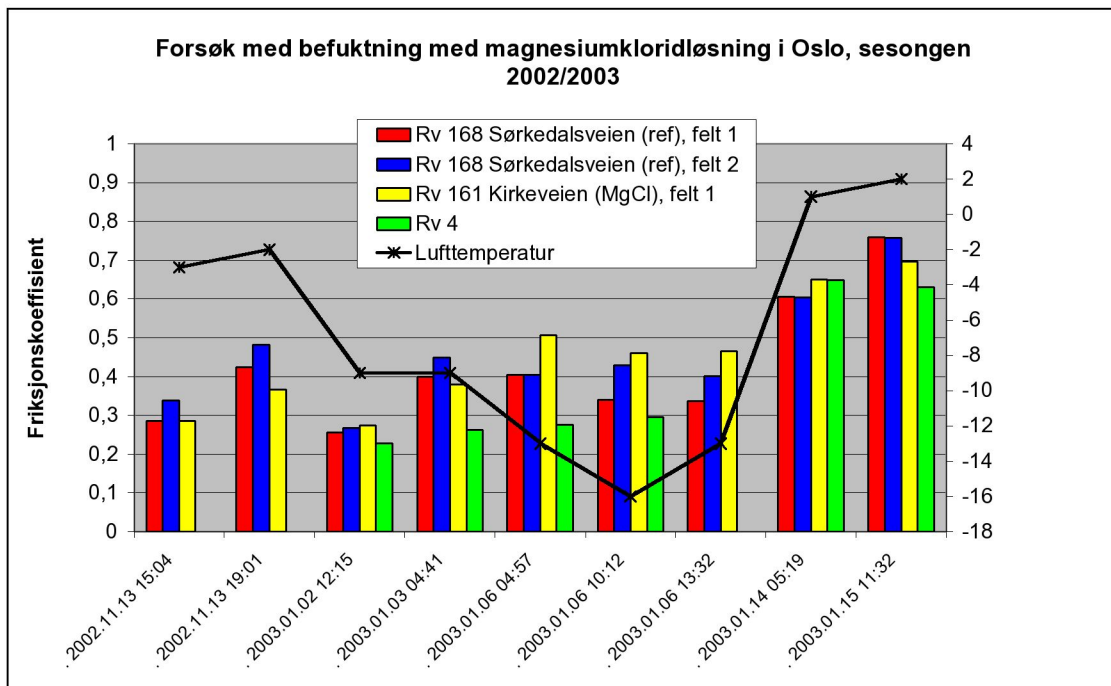
I Figur 4.23 er det foretatt en sammenstilling av målingene med Roar Mark I på de 2 strekningene sesongen 2001/2002. Selv om materialet er lite er det indikasjoner på at det ikke ble oppnådd høyere friksjon der det ble benyttet befuktning med $MgCl_2$ -løsning sammenlignet med referansestrekningen med bare tørt salt. En kan imidlertid heller ikke trekke den motsatte konklusjonen ut fra det foreliggende materialet selv om strekningen hvor det ble benyttet $MgCl_2$ -løsning i flere tilfeller kom ut med den laveste friksjonsverdien.



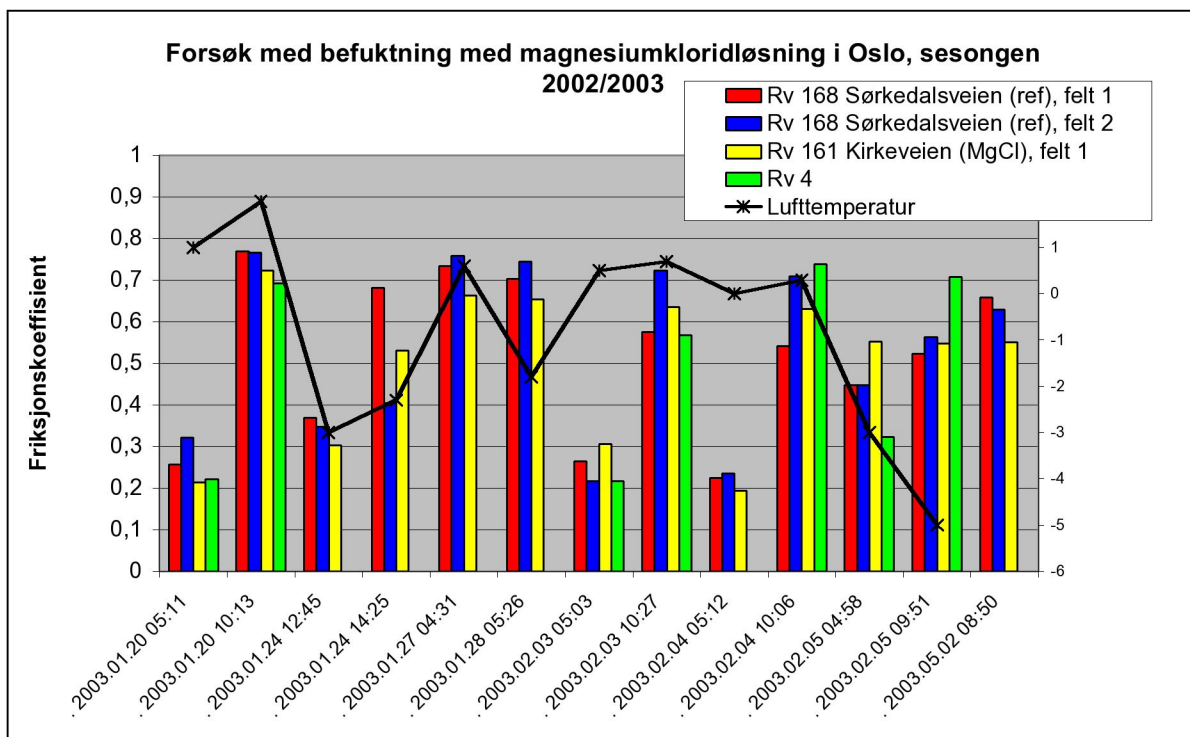
Figur 4.23: Friksjonsmålinger sesongen 2001/2002

I Figur 4.24 og Figur 4.24 er det foretatt en sammenstilling av målingene med Roar Mark I på de 3 strekningene som ble fulgt opp med friksjonsmålinger sesongen 2002/2003. Heller ikke sesongen 2002/2003 ble det funnet indikasjoner på at det generelt ble oppnådd høyere friksjon der det ble benyttet befuktning med $MgCl_2$ -løsning sammenlignet med referansestrekningen med bare tørt salt.

Merk at det er lufttemperaturen som er framstilt i figurene, mens det er vegbanetemperaturen som er indikator for iverksetting av tiltak.



Figur 4.24: Målt friksjon på Rv 161 Kirkeveien og Rv 168 Sørkedalsveien sesongen 2002/2003



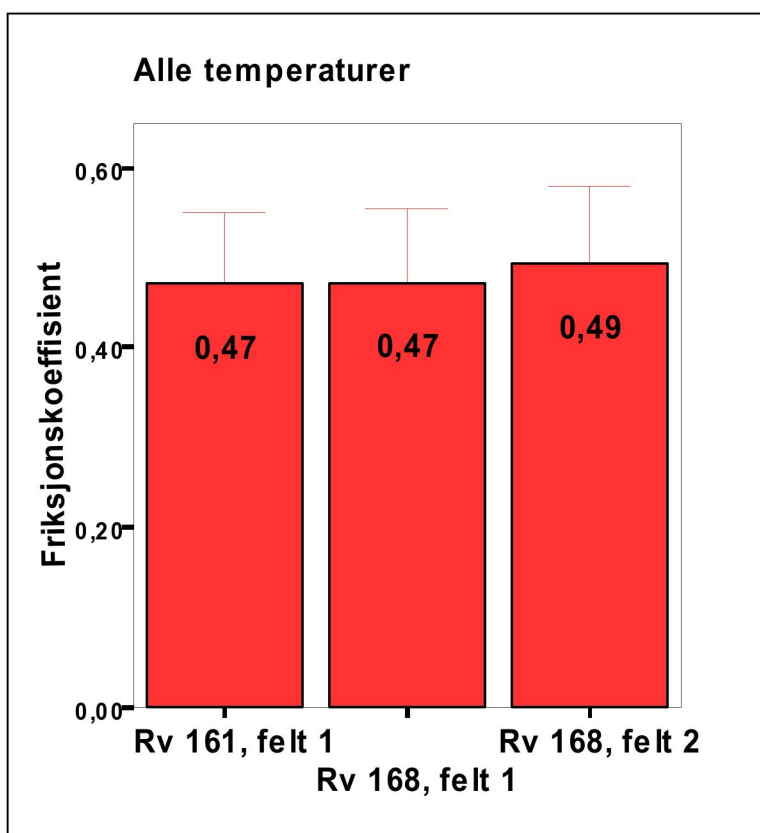
Figur 4.25: Målt friksjon på Rv 161 Kirkeveien og Rv 168 Sørkedalsveien sesongen 2002/2003

Sett i forhold til temperaturen, er det grunn til å framholde resultatene i perioden 2. – 6. januar 2003, og særlig friksjonsutviklingen 6. januar. Den dagen var temperaturen nede i -16°C , og målt friksjon var klart høyere på Rv 161 med MgCl_2 -løsning enn på Rv 168 med befruktning med NaCl -løsning. Dette gir klart interessante indikasjoner i forhold til effektene på friksjon ved svært lave temperaturer. I den samme perioden i januar var friksjonsnivået på målestrekningen på Rv 4 klart lavere enn både på Rv 161 og Rv 168.

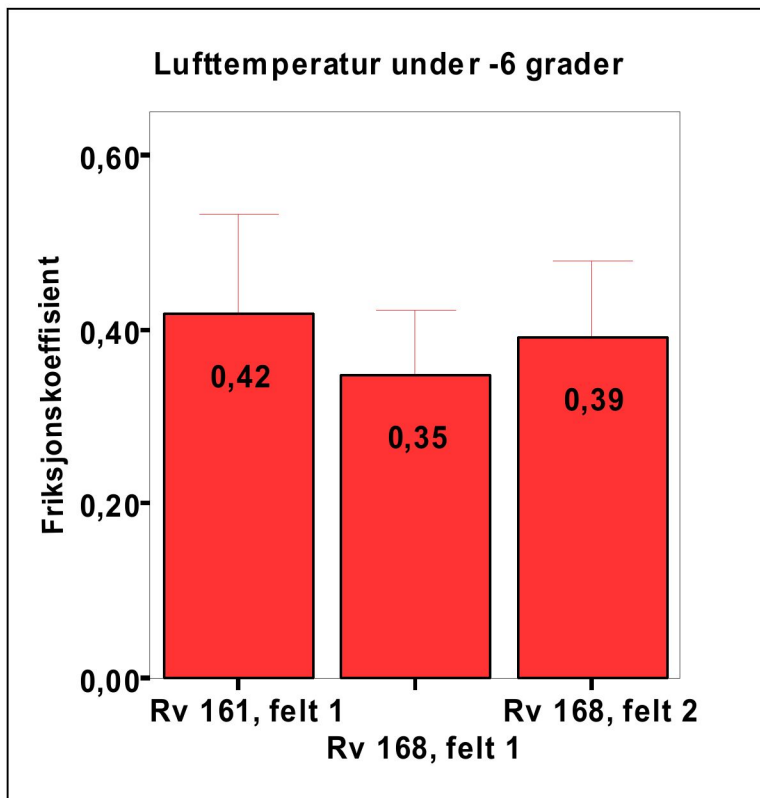
I Figur 4.26 - Figur 4.28 er det foretatt en beregning av gjennomsnittlig friksjon på Kirkeveien og Sørkedalsveien ut fra de målingene som ble foretatt sesongen 2002/2003. Dataene er framstilt på følgende måte:

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

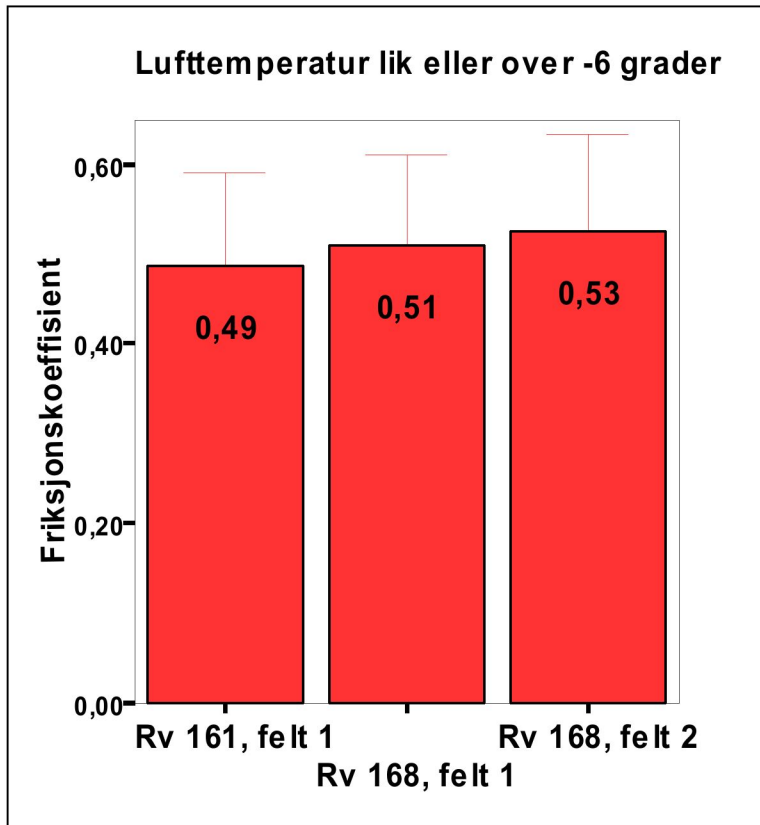
I tillegg til gjennomsnittsverdier er det også gjengitt 95 prosent konfidensintervall for gjennomsnittsverdien (angitt med en tynn vertikal og horisontal strek). Dersom konfidensintervallene for 2 forskjellige grupper ikke overlapper hverandre vil det si at forskjellen er statistisk signifikant på 5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



Figur 4.26: Gjennomsnittlig friksjon ut fra foreliggende målinger sesongen 2002/2003. Alle observasjoner



Figur 4.27: Gjennomsnittlig friksjon ut fra foreliggende målinger sesongen 2002/2003. Lufttemperatur lavere enn -6 grader

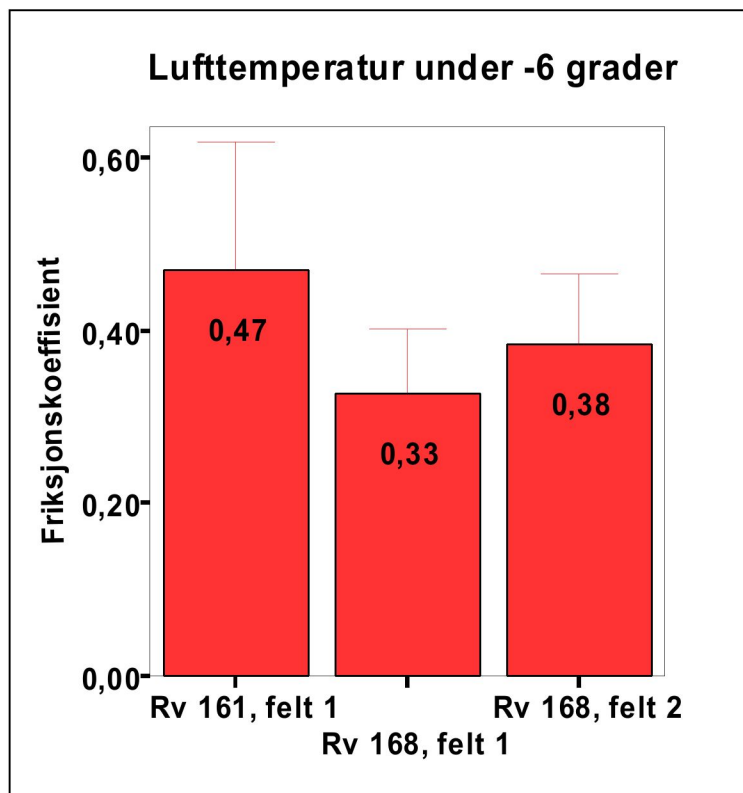


Figur 4.28: Gjennomsnittlig friksjon ut fra foreliggende målinger sesongen 2002/2003. Lufttemperatur lik eller over -6 grader

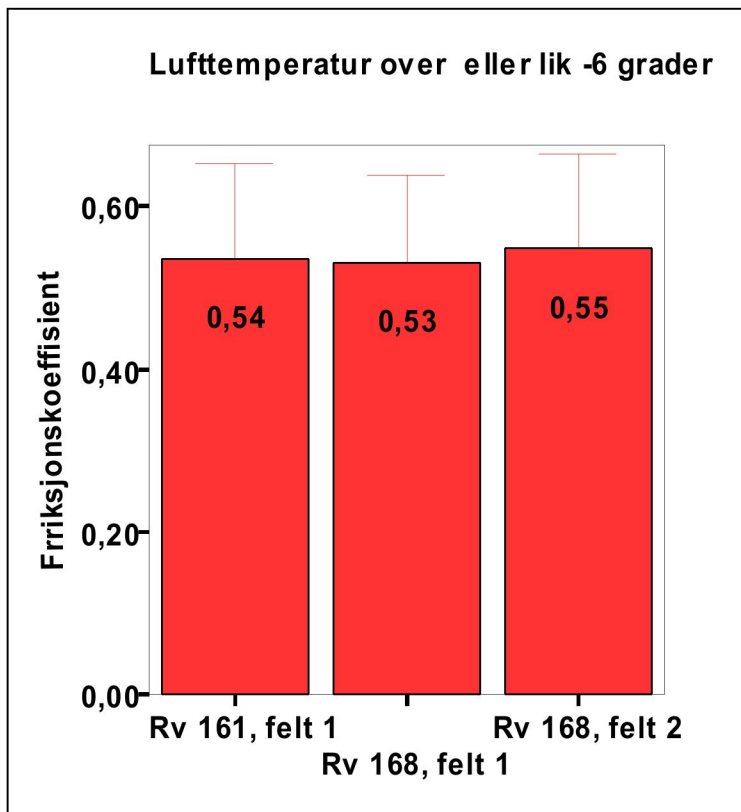
Det ble ikke funnet signifikante forskjeller mellom de 3 målestrekningene som det er beregnet gjennomsnittlige friksjonsverdier for. Det er imidlertid interessante tendenser i materialet når en skiller ut observasjoner som er gjort ved lufttemperatur under -6°C . Selv om forskjellen ikke er statistisk 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 Figur 4.29 og Figur 4.30 foretatt en sammenligning mellom målt friksjon på ny og gammel asfalt med en oppdeling etter lufttemperatur.

Figur 4.29 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.



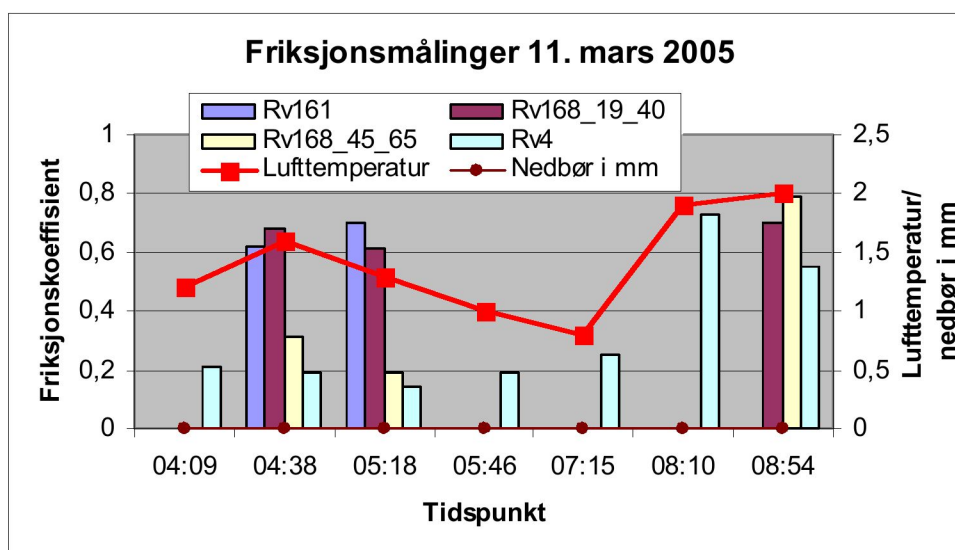
Figur 4.29: Gjennomsnittlig friksjon ut fra foreliggende målinger på ny asfalt sesongen 2002/2003. Lufttemperatur lavere enn -6 grader



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

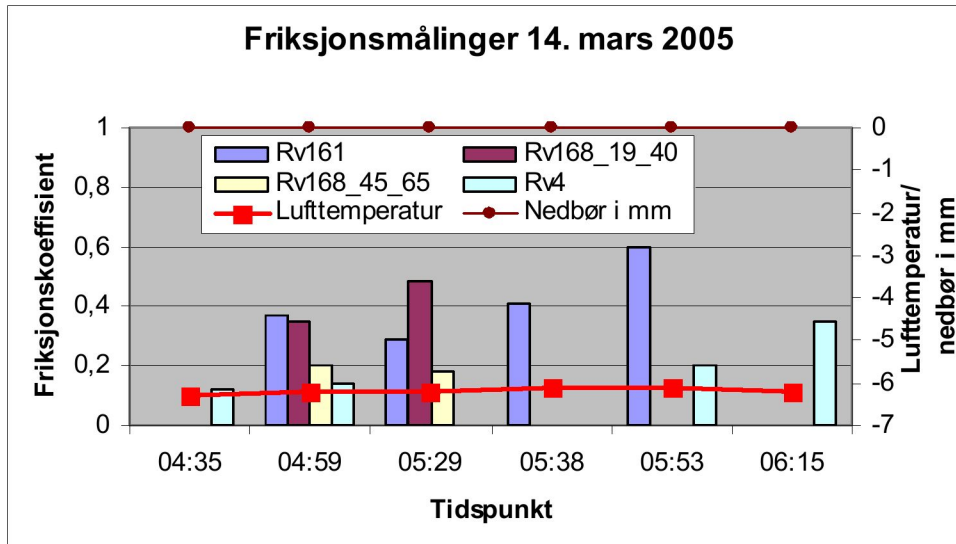
Sesongen 2003/2004 ble det gjort så lite friksjonsmålinger at det er vanskelig å trekke noen slutninger bare på det grunnlaget.

Fra sesongen 2004/2005 er det tatt med måleresultater fra 11., 14, og 16. mars, se Figur 4.31 - Figur 4.33.



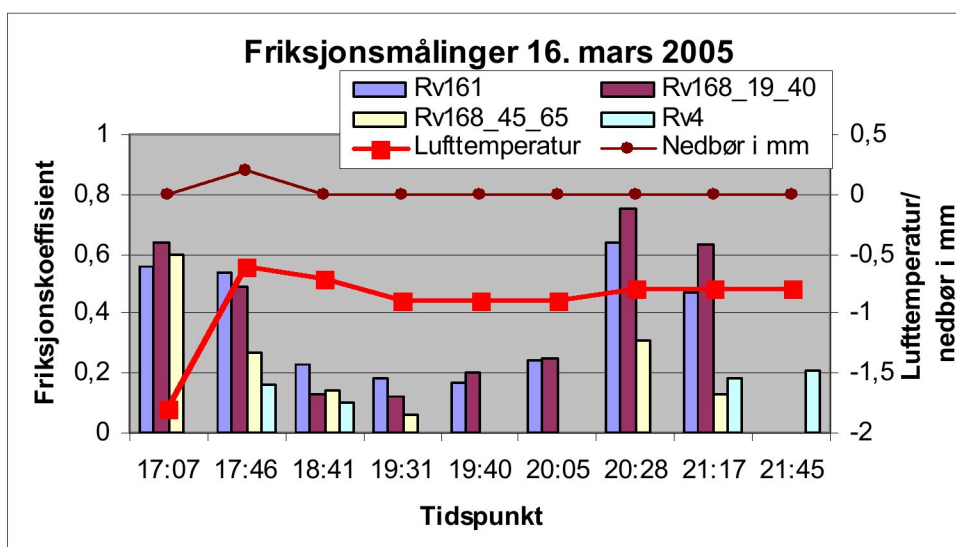
Figur 4.31: Friksjonsmålinger med FION, 11. mars 2005

Det ble registrert ca 0,2 mm nedbør ved Maritim rundt midnatt 11. mars, tilsvarende 2-3 mm snø. Friksjonsmålingene 11. mars viste en klar nivåforskjell mellom de to delstrekningene på Sørkedalsveien med best friksjon mellom Majorstua og Smestad hvor det ikke ble målt lavere verdi enn 0,60. Heller ikke på Kirkeveien ble det målt lavere verdier enn 0,60, mens det på Rv 4 ble målt verdier under 0,20 på det laveste.



Figur 4.32: Friksjonsmålinger med FION, 14. mars 2005

Det ble registrert 0,3 mm nedbør ved Maritim rundt midnatt 14. mars, tilsvarende 3-4 mm snø. Også 14. mars var det tilsvarende nivåforskjell mellom de ulike målestrekningene som det som ble observert 11. mars. Lufttemperaturen lå på -6,1 - -6,3 °C, og en kan se at det var en raskere friksjonsoppgang i Sørkedalsveien der det ble benyttet befukting med magnesiumkloridløsning enn i Kirkeveien med natriumkloridløsning som befuktingsvæske.



Figur 4.33: Friksjonsmålinger med FION, 16. mars 2005

Det ble registrert ca 6 mm nedbør ved Maritim kl 14-16 16. mars, tilsvarende 6 cm snø. Også 16. mars ble det målt ulik friksjonsutvikling på de fire observasjonsstedene. Kirkeveien og Sørkedalsveien mellom Majorstua og Smestad fulgte omtrent samme forløp, men også 16. mars ble det målt noe høyere friksjon på Sørkedalsveien.

4.7 Laboratorieforsøk og feltstudier

Sesongen 2004/2005 ble det gjennomført feltstudier innenfor studieområdet i Oslo som ledd i en masteroppgave ved NTNU (Hernes, 2005). Studiene ble begrenset til Sørkedalsveien og Kirkeveien. I tillegg til feltforsøk, bestod oppgaven også av laboratorietester.

Det ble gjort bare ett forsøk som preventivt tiltak med befukting med henholdsvis $MgCl_2$ -løsning og $NaCl$ -løsning. Tiltaket ble utført om kvelden/natta med lite trafikk. Det ble observert at det tok fire timer før restsaltkonsentrasjonen var på topp, og det ble ikke målt noen forskjell i restsaltmengde med de to metodene ved slutten av observasjonsperioden. Den ene feltstudien er imidlertid for lite grunnlag til å si noe om de to befuktingsmetodene har ulik virkning.

I laboratorieforsøkene ble det utført tre standardiserte SHRP forsøk med penetrasjon, underkutting og smeltekapasitet. Smeltekapasiteten er en test på hvor mye is som blir smeltet. Penetrasjon er et mål på hvor lang tid et kjemikalie trenger for å penetrere gjennom en gitt istykkelse. Underkutting blir benyttet for å beskrive smelteegenskapene til kjemikalier mellom en asfaltoverflate og et relativt tynt lag med is. Alle tre SHRP testene ble utført ved temperaturene -1, -5, -10, og -15 °C der det ble sammenlignet 20 prosent $MgCl_2$ -løsning med 22 prosent $NaCl$ -løsning i blandingsforhold 70/30 mellom tørt salt og løsning. Alle tre testene viste at befukting med $MgCl_2$ -løsning ga det beste resultatet og med økende forskjell ved synkende temperatur.

4.8 Miljøkonsekvenser ved bruk av salt i vintervedlikeholdet

4.8.1 Litteratur

Flere studier, både nasjonale og internasjonale (f.eks. Åstebøl *et al* 1996; Mayer *et al.* 1999; Kayama *et al.* 2003; Bäckström *et al.* 2004), har beskrevet årsaker og effekter knyttet til bruk av salt i vintervedlikeholdet. Majoriteten av studiene dreier seg utelukkende om natriumklorid ($NaCl$), og det er bare et fåtall som omhandler bruk av magnesiumklorid ($MgCl_2$). Av totalt 44 internasjonale og nasjonale artikler er det bare funnet 8 som omhandler salting med $MgCl_2$ i en eller annen form.

I det følgende presenteres en kort beskrivelse av potensielle negative miljøeffekter samt mulige skader på betong som følge av vegsalting.

Skader på vegetasjonen

Skader på vegetasjon er det man enklest kan observere som følge av vegsalting. Skadene kommer ofte til uttrykk ved at blader og nåler blir brunsvide (kloridtoksisitet). Denne kloridtoksisiteten oppstår som følge av at saltet hefter seg på knopper og nåler / bladverk, eller ved at kloridioner tas opp gjennom rotsystemet. Saltingen kan også føre til en kjemisk ubalanse i rotsonen og dermed redusere plantens evne til å ta opp vann og andre næringsstoffer. Forhøyede konsentrasjoner av salt gir også redusert fotosyntese. En rekke studier både nasjonalt og internasjonalt har beskrevet saltskader på vegetasjon (Bäckman &

Folkesson 1995; Åstebøl *et al.* 1996; Minner *et al.* 1998; Viskari & Kärpenlampi 2000; Paludan-Müller *et al.* 2002; Kayama *et al.* 2003). Åstebøl *et al.* (1996) antydte at trær som var utsatt for saltstress også var mer mottakelig for insektsangrep. I denne studien var det økt hyppighet av barkebilleangrep på grantrær med saltskader. Graden av saltskader vil variere fra art til art ettersom de har forskjellig toleranse for salt. Furu (*Pinus sylvestris*) er f.eks. mer tolerant enn gran (*Picea abies*).

Skader i overflatevann

Padderudvann og Svinesjøen i Asker er naturlige meromiktiske innsjøer noe som betyr at bare øvre deler av vannmassene sirkulerer vår / høst og at de nedre vannmassene aldri sirkulerer. Årsaken er at det er en stor forskjell på saltinnholdet mellom øvre og nedre vannmasser. De nedre vannmassene preges av stor nedbrytning av tilført organiske materiale og høyt forbruk av oksygen. I disse nedre vannmassene vil det derfor samle seg opp mengder med kjemiske forbindelser og anaerobe gasser. Den store forskjellen i saltinnhold mellom øvre og nedre vannmasser gjør at innsjøene er stabile. Ved økt tilførsel av f.eks. vegsalt vil dette kunne forsterke stabiliteten hvis sirkulasjonsdypet forblir uendret. Hvis derimot sirkulasjonsdypet endres kan stabiliteten svekkes og det kan oppstå fullsirkulering av hele vannmassen. Dette vil friggi masse algetilgjengelig fosfor fra de tidligere ”beskyttede” nedre vannmassene og algeoppblomstringer kan oppstå. Dette er observert i Svinesjøen og det kan trolig skje i Padderudvann ved fortsatt salttilførsel (Kjensmo 1997; Færøvig *et al.* 2003; Bækken & Færøvig 2004). En slik fullsirkulering vil også kunne friggi andre akkumulerte stoffer som kan være biologisk uheldig, f.eks. tungmetaller og organiske miljøgifter som PAH (Polysykliske Aromatiske Hydrokarboner).

I innsjøer som naturlig fullsirkulerer vil økte salttilførsler kunne føre til at den utvikler seg til å bli en meromiktisk innsjø med det som følge at vi får et reduserende miljø med oksygenvinn. Dette vil igjen være svært skadelig for særlig bunnlevende organismer som er avhengig av tilstrekkelig med oksygen, f.eks. muslinger og insektslarver.

Faktorer som resipientens størrelse og tilstand vil ha mye å si for hvor stor risiko saltingen har på miljøet. For eksempel vil store resipienter ha en større fortyningsevne enn små og på den måte være mindre utsatt for negative miljøeffekter.

Skader i grunnvann

En rekke studier har vist at grunnvann ofte er utsatt for høye saltverdier grunnet vegsalting. Salt som ikke blir direkte vasket ut av snøsmeltevann, regnvann og overflatevann vil transporteres gjennom jordmassene og eventuelt blande seg med grunnvann. En av bekymringene rundt dette er at grunnvann ofte er drikkevannskilder eller har potensiell som drikkevannskilde og forhøyede saltkonsentrasjoner kan forringe vannkvaliteten betydelig. Forhøyede saltkonsentrasjoner i grunnvann er dokumentert i flere undersøkelser (Bäckman & Folkesson 1995; Åstebøl *et al.* 1996; Williams *et al.* 2000). De kjemiske prosessene i grunnvannet er stort sett de samme som for overflatevann f.eks. ionebytte.

Skader i jord

Klorid er ansett som mindre skadelig for jorda sammenlignet med natriumet fordi kloridioner i stor grad vaskes ut til nærmeste vannkilde, være seg grunnvann eller overflatevann. Natriumionene vil i motsetning til kloridionene inngå i de kjemiske prosessene i jorda, og vil kunne føre til dårlig jordstruktur og nedbrytning av jordaggregater. Dette vil redusere stabiliteten til jorda og faren for erosjon øker. En slik jord vil også ha dårlig permeabilitet for luft og vann. Gjennom ionebytte vil natrium kunne føre til utvasking

av plantenæringsstoffer som kalsium, magnesium og kalium, noe som kan reduserer planteveksten (Cheng & Guthrie 1998; Fischel 2001; Kayama *et al.* 2003). I veinære omgivelser vil det ofte være forhøyede konsentrasjoner av tungmetaller, disse vil også kunne vaskes ut som følge av ionebytte. Dette vil øke sannsynligheten for negative miljøeffekter.

Mobilisering av tungmetaller

Studier har vist at salting med NaCl medfører økt fare for utlekking av tungmetaller som ofte finnes i forhøyede konsentrasjoner i nærheten av veier. Bäckström *et al.* (2004) fant en klar sammenheng mellom bruken av salt og konsentrasjonen av kadmium, kobber, bly og sink i jordløsningen siden metallene korrelerte signifikant med kloridinnhold og konduktivitet. Den samme studien påpekte at mobiliteten av metallene øker som følge av ionebytte, senket pH, dannelsen av kloridkomplekser og kolloid spredning, mens koagulering og eller sorpsjon av organisk materiale vil ha en motvirkende effekt for metaller med sterke interaksjoner med organisk materiale (eks. kobber og bly). Dette er i samsvar med tidligere studier (Amrhein *et al.* 1992; Löfgren 2001). Forhøyede konsentrasjoner av tungmetaller kan være en betydelig risiko for dyr og planter. Tungmetaller kan gi både akutte og mer kroniske effekter. I tillegg vil mange tungmetaller kunne bioakkumuleres i næringskjedene. Mye av de samme prosessene vil foregå mellom sediment og vannfase i innsjøer og på den måten utgjøre en risiko for bunnlevende organismer.

Natriumklorid versus magnesiumklorid

Sett i forhold til NaCl er det lite litteratur knyttet til miljøeffekter av MgCl₂, noe som trolig skyldes at NaCl brukes i langt større omfang. Den litteraturen som omhandler MgCl₂ er ikke direkte sammenlignbar med det som er gjort i forsøksprosjektet i Oslo. Eksempelvis er en del av de MgCl₂-baserte produktene en blanding bestående av MgCl₂ og organisk materiale som f.eks. mais eller andre landbruksbaserte biprodukter (melk, sukker etc.). Den organiske delen har funksjon som korrosjonsinhibitor (Fischel 2001). Disse vil ikke bli nærmere omtalt her.

Det vil i utgangspunktet ikke være noen forskjell med tanke på negative miljøeffekter av kloridionet som følge av at man enten bruker NaCl eller MgCl₂. Kloridionene løser seg i vann og kan lett transporteres i jord og til vannresipienter. Den eventuelle forskjellen vil være ved bruk av samme mengde av de to salttypene så vil MgCl₂ tilføre miljøet langt færre kloridioner (reduksjon på ca 50 prosent). Dette skyldes at naturlig MgCl₂ er hydratisert og inneholder 6 vannmolekyler (MgCl₂ x 6 H₂O). Dette underbygges av en amerikansk studie hvor man bl.a. sammenlignet effekten av NaCl og MgCl₂ på vegetasjonen (Minner *et al.* 1998). Ved samme mengdeforhold fant de mindre vegetasjonskader ved bruk av MgCl₂ enn NaCl. Imidlertid ble resultatet motsatt når saltinnholdet ble korrelert for samme vekt (dvs. oppjusterte saltinnholdet som følge av at naturlig MgCl₂ inneholder 6 vannmolekyler).

Magnesiumioner (og kalsiumioner) er toverdige ioner og har i utgangspunktet en positiv effekt på f.eks. jordstruktur. Disse ionene bidrar til at jorda får en struktur som innebærer god drenering og lufting. Imidlertid kan forhøyede konsentrasjoner, som for natrium, føre til ionebytte og utlekking av metaller. Tilstedeværelse av Magnesiumioner vil også kunne være positivt i vannresipienter pga at disse ionene kan bidra til å øke vannets hardhet. Økt hardhet kan ofte gi mer produktive vann. Imidlertid er en slik påvirkning ikke nødvendigvis ønskelig ettersom det kan bidra til å endre den opprinnelige økologiske balansen.

I motsetning til natrium er magnesium et essensielt næringsstoff for planter. Magnesium inngår som en viktig komponent i klorofyllmolekylet (nødvendig for fotosyntesen) og er

ikke ansett som toksisk selv ved høye konsentrasjoner (Cheng & Guthrie 1998).

Skader på betong

Det er kjent at Magnesium har uheldig virkning på betong ved at det kan påvirke strukturen og føre til raskere nedbryting. Nedbrytningen skjer ved at magnesium bytter plass med kalsium i kalsiumhydroksyd og kalsium-silikat-hydratene og danner magnesiumderivater isteden. Disse har liten eller ingen limeeffekt, og dermed reduseres styrken av den eksponerte betongen dramatisk. Litteraturundersøkelser om erfaringer med Magnesiumklorid i andre land gir imidlertid ingen klare konklusjoner eller svar på hvilken effekt Magnesiumkloridløsning som befuktingsmiddel til Natriumklorid har på betong. Vegdirektoratet har derfor satt i gang et eget prosjekt for å undersøke hvilken effekt Magnesiumklorid har på betong i Norge, og spesielt i forhold til bruk som befuktingsmiddel for Natriumklorid. Dette gjennomføres som et eget prosjekt og vil gå over flere år.

4.8.2 Metodikk for egne undersøkelser

For å dokumentere en eventuell akkumulering av $MgCl_2$ 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 skulle være med punkter som var 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 $MgCl_2$ og NaCl.

20. januar 2003 ble det samlet inn jordprøver fra Rv 150 (Ring 3) og Rv 161 (Kirkeveien), henholdsvis ved Ullevål sykehus og ved Sinsenkrysset. Jordprøvene ble analysert for en rekke organiske og uorganiske stoffer (Tabell 4.9). Utlekkingsforsøk med rent vann (ionebyttet vann) og to forskjellige saltløsninger, henholdsvis befuktning med NaCl-løsning og $MgCl_2$ -løsning, ble gjennomført for jordprøvene fra begge lokalitetene. Utlekkingsvannet ble analysert for de samme stoffene som for jordprøvene (Tabell 4.9). Til slutt ble toksisiteten til utlekkingsvannet undersøkt ved bruk av den marine algen *Vibrio Fischeri* (Microtox) og ferskvannsalgen *Pseudokirchneriella subcapitata*.

EC_{50} (Effect Concentration) og NOEC (No Observed Effect Concentration) ble brukt som mål på toksisiteten. EC_{50} angir hvilken konsentrasjon av utlekkingsvannet som gir målbar negativ effekt hos 50 prosent av algene i testpopulasjonen, mens NOEC angir den laveste konsentrasjonen av utlekkingsvannet hvor det ikke ble påvist noen effekt (lavere konsentrasjonstill betyr høyer giftighet).

Sesongen 2004/2005 ble det gjennomført utlekkingsforsøk og økotoksikologiske tester for å se nærmere på eventuelle skadelige effekter ved bruk av de to salttypene. Utlekkingsforsøk vil kunne si noe om hvordan tungmetaller og andre miljøgifter akkumulert i veistøv/jord påvirkes av saltingen, mens økotoksikologiske tester 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).

4.8.3 Resultater og diskusjon

Resultatene fra jordprøvene (Tabell 4.9) viste at flere av komponentene fantes i konsentrasjoner over SFTs normverdier f.eks. sink og pyren (PAH)(SFT 1999). Analysene

av utlekkingsvannet viste også til dels høye konsentrasjoner for en rekke komponenter. I en reell situasjon vil imidlertid konsentrasjonene bli mindre på grunn av fortynning.

Av Tabell 4.9 går det også frem at flere av tungmetallene er mobile, noen synes også å være mer mobil ved eksponering av saltløsning, noe som stemmer godt overens med tidligere utlekkingsforsøk med veistøv i Norge (Amundsen *et al.* 1999). I tillegg ser det ut til at befruktning med $MgCl_2$ gir noe mer utlekking enn befruktning med NaCl. Graden av utlekking under naturlige forhold vil være påvirket av faktorer som pH og temperatur. Med unntak av naftalen ble det ikke påvist PAH'er eller alifater i utlekkingsvannet, selv om enkelte av de viste høye konsentrasjoner i jordprøvene. Disse stoffene er ofte sterkt bundet til partikler og organisk materiale.

4.8.4 Toksisitetstesting

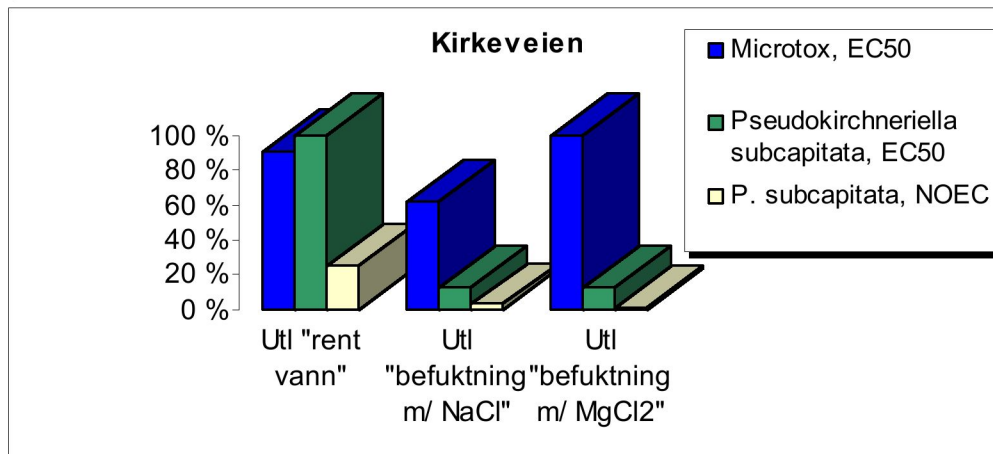
For å eventuelt finne ut om det var forskjeller i potensiell negativ miljøeffekt mellom de to befruktningsmetodene ble det gjennomført enkle toksisitetsundersøkelser ved bruk av alger. Algene ble eksponert for utlekkingsvannet fra jordprøvene fra Ring 3 og Kirkeveien (Tabell 4.9).

Microtoxtesten antydte at utlekkingsvannet fra jordprøvene eksponert med NaCl-løsning var noe mer toksisk enn de andre to testløsningene (Figur 4.34). Dette gjaldt både for Kirkeveien og Ring 3-prøven. Testene utført med ferskvannsalgen hadde en langt sterkere respons sammenlignet med Microtox. Årsaken til dette er trolig at Microtox benytter en marin alge som dermed er mer tolerant ovenfor høye saltkonsentrasjoner. De to befruktningsmetodene gav relativt sterk toksisk respons og EC_{50} lå mellom 12 og 13 prosent, dvs. konsentrasjonen i prosent av opprinnelig utlekkingsvann som skal til for å gi negativ effekt hos 50 prosent av algene (jo lavere konsentrasjon jo større giftighet). Den samme toksisiteten ble ikke funnet for utlekkingsprøven med "rent vann", selv om prøven fra Ring 3 viste $EC_{50} = 55$ prosent.

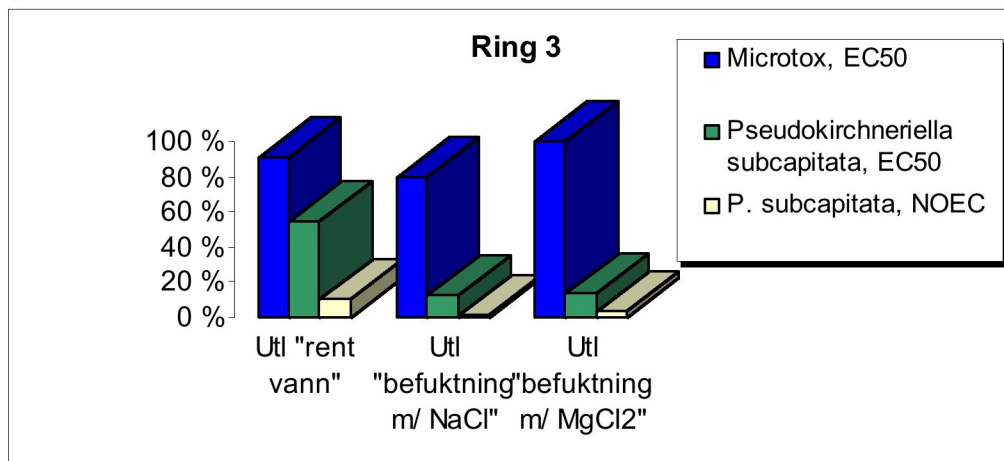
Tabell 4.9: Analyseresultat av jordprøvene og utlekkingsprøvene. Jordprøver: GRÅTT angir overskridelse av normverdien for jord (SFT 1999). Utlekkingsprøver: RØDT = meget sterkt forurenset, ORANGE = sterkt forurenset, GUL = markert forurenset, GRØNN = moderat forurenset, BLÅ = ubetydelig forurenset (SFT 1997). (*) angir hvilke stoffer som har grenseverdi

	rv 161 (Kirkeveien)				rv 150 (Ring 3)			
	mg/kg tørrstoff	utlekkingsvann, µg/L			mg/kg tørrstoff	Utlekkingsvann, µg/L		
	jord	vann	NaCl	FS30	jord	vann	NaCl	FS30
Tørrstoff	81,3				58,3			
pH*		8	7,3	7,3		8,3	7,3	6,3
Kond. (µs/cm)		7,6	9260	8980		13,5	9320	8920
Zink*	150	25	<5	7	220	52	51	149
Kadmium*	0,41	<0,5	1,7	3,9	0,46	<0,5	7,2	9
Nickel*	25	<5	<5	<5	19	<5	<5	<5
Jern*	17100	2360	18	30	18000	1050	48	524
Bly*	92	10	<10	<10	46	13	<10	<10
Kvikksølv*	0,112	<0,01	0,13	0,01	0,041	0,03	0,02	0,04
Kobber*	34	9	<5	7	46	13	13	21
Krom*	24	6	<5	<5	34	<5	<5	<5
Arsen*	3,6	2	<5	<5	1,4	1	<5	<10
Benzen*	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Toluen*	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Etylbenzen*	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
p,m-xylen*	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
ΣPAH (16)*	1,6	<0,01	<0,01	<0,01	1,70	<0,01	0,01	0,01
Benzo(a)-antracen	0,12	<0,01	<0,01	<0,01	0,13	<0,01	<0,01	<0,01
Krysen	0,1	<0,01	<0,01	<0,01	0,13	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo(a)-pyren*	0,15	<0,01	<0,01	<0,01	0,14	<0,01	<0,01	<0,01
benzo(b,k)-fluroanten	0,28	<0,01	<0,01	<0,01	0,27	<0,01	<0,01	<0,02
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,14	<0,01	<0,01	<0,01	0,1	<0,01	<0,01	<0,01
Dibenzo(a,h)antracen	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	0,03	<0,01	<0,01	<0,01
Naftalen*	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	0,01	0,01
Acenaftylen	0,04	<0,01	<0,01	<0,01	0,03	<0,01	<0,01	<0,01
Fenatren	0,07	<0,01	<0,01	<0,01	0,11	<0,01	<0,01	<0,01
Antracen	0,04	<0,01	<0,01	<0,01	0,04	<0,01	<0,01	<0,01
Fluoranten*	0,23	<0,01	<0,01	<0,01	0,26	<0,01	<0,01	<0,01
Pyren*	0,18	<0,01	<0,01	<0,01	0,21	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo(g,h,i)perylen	0,2	<0,01	<0,01	<0,01	0,21	<0,01	<0,01	<0,01
Σ THC	44	<40	<40	<40	270	<40	<40	<40
THC >C16 - C35	44	<20	<20	<20	270	<20	<20	<20

a)



b)



Figur 4.34: Toksisiteten til utlekkingsvannet fra jordprøver utlekket med rent vann og salt befuktet med henholdsvis NaCl- og MgCl₂-løsning. a) viser Kirkeveien og b) viser Ring 3. Utlekkingen med "rent vann" i Microtoxtesten ble tilsatt MOAS (Microtox Osmotic Adjustment Solution) for å justere saliniteten til 2 prosent. Denne fortynningen fører til at høyeste testdose er 91 prosent og ikke 100 prosent. Denne justeringen var ikke nødvendig for de andre to testløsningene da de allerede hadde en salinitet på 7 prosent og høyeste testdose er derfor 100 prosent.

Resultatene tyder på at den største forklaringsfaktoren for den observerte toksisiteten er saltkonsentrasjonen, imidlertid skal man ikke neglisjere betydningen av andre komponenter som f.eks. tungmetaller (se Figur 4.34 og utlekking med rent vann). Man skal også være forsiktig ved tolkningen av resultatene da det kun er benyttet to arter og toleransenivåer mellom ulike arter kan variere. Resultatene gir allikevel en pekepinn og det tyder på at det er liten forskjell mellom de to befuktningemetodene når det gjelder potensiell negativ miljøeffekt.

4.9 Resultater av kjemisk analyse av veistøvet (2001/2002)

Kjemiske undersøkelser av veistøv har vist at konsentrasjonen av kalsium, natrium, sink, bly, kobber, PAH og klorid gjennomsnittlig er 2-3 ganger høyere enn i naturlig jord.

Kalsium og natrium er blant de metallene som er høyest anriket i veistøv i forhold til mineraljord. For natrium skyldes det hovedsakelig salting, mens for kalsium er det en kombinasjon av salting og veislitasje (Amundsen *et al.* 1999).

Analysen¹⁾ av magnesium, natrium og klorid i veistøvet viste at verdiene lå innenfor det man kunne forvente å finne, se tabell 5.4. Lignende støvanalyser utført av Amundsen *et al.* (1999) viste at konsentrasjonen av Mg og Na varierte henholdsvis fra 2540 - 12800 mg kg⁻¹ og 325 - 6630 mg kg⁻¹.

Høye verdier av natrium og magnesium skyldes trolig også at det i Oslo-feltet er naturlig høye bakgrunnskonsentrasjoner her som følge av berggrunnen og de marine avsetningene. Det er imidlertid vanskelig å finne ut hvilke konsentrasjonsnivåer som er naturlige og hva er overskridelser av disse pga at de naturlige konsentrasjonene også varierer svært mye.

Tabell 5.4: Oversikt over veistøvprøvene. Resultatene er oppgitt i mg kg⁻¹ tørrstoff

Observasjonssted	Salttype	Magnesium		Natrium		Klorid	
		6. feb	6. mar	6. feb	6. mar	6. feb	6. mar
Suhmsgt RV161	FS30	9100	9100	550	780	15	34
Ullevål sykehus RV161	FS30	9400	8600	980	890	120	200
Volvat RV168	NaCl	6700	7200	520	770	26	75
Borgen RV168	NaCl	9600	9000	720	900	32	71

Det er ingen av prøvene som indikerer at det er noen stor forskjell mellom FS30 og NaCl når det gjelder innhold av magnesium, natrium og klorid.

Det kan settes spørsmål ved hvorvidt befukning med MgCl₂-løsning er mer ”miljøvennlig” pga av at magnesium er et essensielt plantenæringsstoff. For at plantene skal kunne nyttegjøre seg av magnesiumen må magnesiumionene bindes opp og gjøres tilgjengelig under vekstsesongen. Saltingen skjer i en periode hvor jorda er relativt lite permeabel for vann grunnet tele, samtidig tar plantene heller ikke opp næring i denne årstiden. Videre vil bindingen av magnesiumioner (Mg²⁺) være avhengig av tilgjengeligheten av negative ladede jordkolloider i jorda. Mye av magnesiumionene (Mg²⁺) vil allikevel kunne vaskes ut som følge av ionebytte med natriumioner (Na⁺, som det som regel finnes nok av) (Mengel & Kirkby 1987). Det vil derfor være nærliggende å tro at mye av magnesiumen vil vaskes ut under perioder med regn og snøsmelting i løpet av vinteren og våren.

Trolig vil den potensielle miljøgevinsten ved bruk av MgCl₂ som befukning være forbundet med en eventuell reduisering av den totale tilførte saltmengden. På grunn av at blandingen som er forsøkt i Oslo består av 70 prosent vanlig salt (NaCl) og 30 prosent MgCl₂-løsning (20 prosent Mg i løsning) vil ikke denne salttypen i seg selv ikke redusere mengden natrium og klorid i særlig grad (gitt samme mengde forbruk).

For å kunne fange opp eventuelle forskjeller mellom de to salttypene er det nødvendig med en utvidet undersøkelse basert på hyppigere prøvetagninger og eventuelt økotoksikologisk testing.

¹ Kjemisk analyse av vegstøvet er utført av MILJØ-KJEMI, Norsk Miljø Senter

4.10 Fotodokumentasjon (2001/2002)

I vedlegg 1 og 2 er det gjengitt fotodokumentasjon for henholdsvis januar og februar for punktene der det er tatt bilder, jfr figur 4.1. Det er vanskelig å se noen klare forskjeller mellom $MgCl_2$ -strekningen og referansestrekningen, men det kan være visse tendenser til at det er mer fuktig der det er benyttet $MgCl_2$ -løsning.

5. Konklusjoner

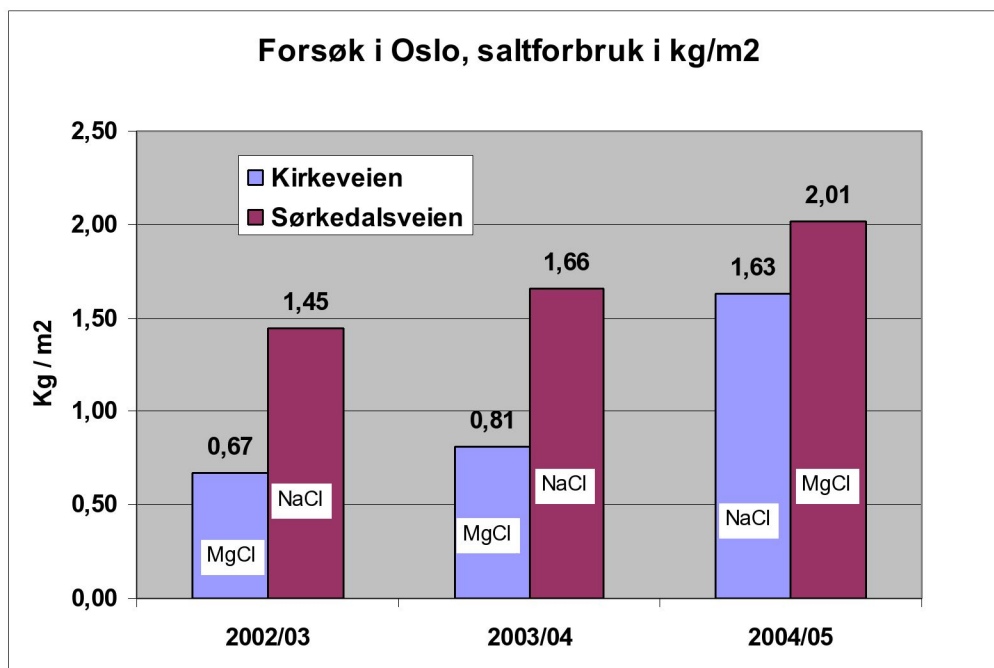
5.1 Målsetting og forsøksopplegg

Målsettingen med prosjektet i Oslo har vært både å se hvilke muligheter befuktning av tørt salt med $MgCl_2$ -løsning gir for å operere ved lavere temperaturer, samt å se på varigheten av tiltak, opptørkingstid og saltforbruket sammenlignet med befuktning med $NaCl$ -løsning. 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.

Effektstudiene rundt den nye saltmetoden ble i utgangspunktet knyttet til en parsell av Rv 161 mellom Uelands gate og Vigs gate, en strekning med en lengde på 2,0 km. Som referansestrekning ble det valgt ut en parsell av Rv 168 mellom Majorstua og Smestad. Her ble det benyttet tradisjonell befuktning av tørt salt med $NaCl$ -løsning.

Til sesongen 2004/2005 ble det gjort en vesentlig endring. Resultatene etter de 3 første sesongene hadde da gitt interessante indikasjoner både i forhold til reduserte saltmengder og høyere friksjonsverdier ved lave temperaturer ved befuktning med $MgCl_2$ -løsning, men det ble likevel konkludert med at det var for tidlig å trekke sikre konklusjoner. For å verifisere resultatene ble det derfor besluttet å bytte om på metodene på strekningene som analysene er knyttet til for å kunne skille mellom effekten av selve metoden og eventuelle forhold knyttet til lokalklimatiske og trafikkmessige forhold.

5.2 Virkning på saltforbruk og tiltaksomfang



Figur 5.1: Saltforbruk pr m² veg i vintersesongene 2002/03 – 2004/05. I 2004/05 ble referansestrekningen byttet om og det ble saltet med $MgCl_2$ -løsning på Rv 168 Sørkedalsveien i stedet for på Rv 161 Kirkeveien

Både sesongene 2002/2003 og 2003/2004 ble det brukt mer enn dobbelt så mye salt per arealenhet på Sørkedalsveien sammenliknet med Kirkeveien. For å kunne verifisere at det ikke lå andre faktorer bak enn selve saltingsmetodikken ble det før vintersesongen 2004/05 som nevnt besluttet å bytte om på referansestrekningene, dvs. befuktning med $MgCl_2$ -løsning på Sørkedalsveien og befuktning med $NaCl$ -løsning på Rv 161. Endringene i saltforbruket på de to strekningene sesongen 2004/2005 bekreftet hypotesen om at det var andre faktorer enn bare saltingsmetoden som var årsak til de store forskjellene i saltforbruk de første to sesongene. Disse faktorene er trolig forskjeller i mikroklima, trafikkvolum og kjøremønster.

Overgangen med bruk av $NaCl$ -løsning på Kirkeveien gav en fordobling av saltforbruket på Kirkeveien. Det var også en økning på Sørkedalsveien men den var betydelig mindre, se Figur 5.1. En kan derfor gå ut fra at det dreier seg om 2 effekter:

A – relativt forhold mellom $MgCl_2$ og $NaCl$, $A = MgCl_2 / NaCl$

B – relativt forhold mellom andre faktorer som påvirker saltforbruket, $B = K / S$

Ved å gå ut fra at det dreier seg om to uavhengige effekter, kan effektene multipliseres med hverandre og det kan settes opp to formler som gir som resultat:

$$A = MgCl_2 / NaCl = 0.776$$

$$B = K / S = 0.629$$

Konklusjonen er således at når det tas hensyn til ytre faktorer på det undersøkte vegnettet i Oslo, blir den reelle effekten av å benytte befuktning med $MgCl_2$ -løsning i stedet for $NaCl$ -løsning en reduksjon i saltforbruket på mellom 20 – 25 prosent ved bruk av førstnevnte saltmetode.

Mens både antall dager med tiltak og antall registrerte salttiltak i 2002/2003 tydet på at det var færre saltdøgn og færre tiltak på Kirkeveien ($MgCl_2$) enn på Sørkedalsveien ($NaCl$), var innsatsnivået nokså likt de to påfølgende sesongene. En kan derfor ut fra foreliggende materiale ikke slutte at overgang til $MgCl_2$ fører til en reduksjon i antall saltdøgn og antall tiltak. På den annen side kan det konkluderes med at overgang til bruk av $MgCl_2$ *ikke* har medført økt tiltaksomfang på forsøksvegnettet i Oslo. Dvs. at en noe utvidet salting og derav mer saltforbruk ved lave temperaturer utgjør en ubetydelig tilleggsmengde i forhold til det totale saltforbruket.

5.3 Virkning på friksjonsutviklingen

Når det gjelder friksjonsmålinger, er det grunn til å framholde resultatene i perioden 2. – 6. januar 2003, 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.

En nærmere analyse av friksjonsmålingene som ble foretatt sesongen 2002/2003 viste ingen signifikante forskjeller mellom Kirkeveien og Sørkedalsveien ut fra gjennomsnittlige friksjonsverdier. Det ble imidlertid funnet interessante tendenser i materialet når en skiller ut observasjoner som er gjort ved lufttemperatur under $-6^{\circ}C$. Selv om forskjellen ikke er statistisk signifikant, er den beregnede gjennomsnittsverdien høyest for Kirkeveien, dvs. der

det er benyttet befuktning med $MgCl_2$ -løsning. Forskjellen i gjennomsnittlig friksjon mellom de 2 saltmetodene var særlig markert på nylagt asfalt ved lufttemperatur under $-6^{\circ}C$. Siden forskjellene med hensyn på friksjon ikke er signifikante skal en være forsiktig med å generalisere virkningene i forhold til friksjon, og det er ønskelig med flere observasjoner for å få verifisert disse resultatene.

5.4 Virkning på opptørkingstid

I forhold til målsettingen fore prosjektet er virkningen på opptørkingstid ikke direkte besvart. Et opplegg med fotografering i faste observasjonspunkt viste seg å være en lite velegnet metode, og det ble ikke lagt ressurser i alternative metoder.

5.5 Miljøeffekter

Resultatene av miljøundersøkelsen tyder på at de to befukningsmetodene har tilnærmet like egenskaper på miljøet gitt samme mengdeforbruk. Imidlertid viser studien at ved å benytte befuktning med $MgCl_2$ -løsning så reduseres det totale forbruket med rundt 20 – 25 prosent, noe som er miljømessig gunstig. I tillegg har studien vist at dette ikke har gitt redusert friksjon på veiene i Oslo. Ut ifra et miljøperspektiv vil det derfor være gunstig å gå over fra befuktning med NaCl til befuktning med $MgCl_2$.

5.6 Kostnader ved endret driftsopplegg

Når en legger resultatene fra Oslo til grunn, ser effektene av å bruke $MgCl_2$ -løsning som befukningsvæske hovedsakelig ut til å ligge i reduserte saltmengder. Kostnadene ved bruk av $MgCl_2$ -løsning som befukningsvæske sammenlignet med NaCl vil være et resultat av en besparelse pga reduksjonen i tørrstoffdelen og kostnadsøkningen som ligger i en dyrere befukningsvæske.

Hvis en går ut fra en kostnad på 450 kroner per tonn for tørt salt, kr 1400 per tonn for MG-Kombi og at forholdet mellom tørt salt og væske over sesongen er 80/20 blir det en kostnadsøkning på 4 prosent ved overgang til $MgCl_2$ -løsning dersom reduksjonen i saltforbruket er 22 prosent. For å komme likt ut prismessig i rene driftskostnader må reduksjonen i saltforbruket være på 26 prosent. Dersom en tar med miljøgevinsten samt friksjonsforebedringen som er påvist ved temperaturer under $-6^{\circ}C$, vil regnestykket selv med en lav verdsetting bli positivt.

5.7 Videreføring

Mulig videreføring når det gjelder problemstillinger i forhold til miljøeffekter vil være å se nærmere på:

- Den gode vedheften ved bruk av $MgCl_2$ -løsning kan bety at saltet ikke vaskes så lett av og at det øker salteksposeringen på f.eks. nåler og knopper sammenlignet med tradisjonell befuktning med NaCl-løsning. Vil salting med $MgCl_2$ -løsning bidra til mer omfattende skader på den vegnære vegetasjonen som følge av at saltet har bedre vedheft?
- Erfaringer fra Rv 4 i Oslo har vist at opptørket salt kan gi et betydelig bidrag til PM_{10} – forurensning (svevestøv) særlig i tørre perioder på sen vinteren. Hvordan vil befuktning med og bruk av $MgCl_2$ -løsning i stedet for NaCl påvirke dette bidraget?

- Reduserte PM10 verdier i Kirkeveien indikerer at magnesiumkloridløsning kan ha en god støvbindende effekt. Dette er bakgrunnen for at det er satt i gang et prosjekt i Oslo hvor vinterdrift og støvdemping sees i sammenheng
- Med bakgrunn i ulike erfaringer fra andre land er Vegdirektoratet i ferd med å undersøke hvilken effekt denne typen bruk av magnesiumklorid har på betong. Dette gjennomføres som et eget prosjekt

Når det gjelder friksjonsutvikling ved bruk av ulike metoder, er det aktuelt å gjennomføre noen kontrollerte forsøk på samme vegstrekning ved lave temperaturer.

I forhold til opptørking er det naturlig å se dette i sammenheng med den positive støvdempende effekten som er observert. I prosjektet i Oslo er det ikke dokumentert hvor lenge vegbanen holder seg fuktig med ulike metoder eller om det er andre egenskaper som gjør at $MgCl_2$ er et effektivt støvdempingsmiddel. Det er derfor aktuelt å se nærmere på dette i det nye prosjektet i Oslo.

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.
- Bækken, T., & Færøvig, P.J. 2004. Effekter av vegforurensninger på vannkvalitet og biologi i Padderudvann. Vegdirektoratet, Teknologivdelingen. Publikasjon nr 106. 89s.
- 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.
- Bäckström, M., Karlsson, S Bäckman, L., Folkesson, L. & Lind, B. 2004. Mobilisation of heavy metals by deicing salts in a roadside environment. *Water., Research* 38: 720-732.
- Blomqvist, G. 1998. Impact of de-icing salt on roadside vegetation. A literature review. VTI rapport 427A 1998. 36s.
- Cheng, K.C. & Guthrie, T.F. 1998. Liquid Road Deicing Environment Impact. Prepared for Insurance Corporation of British Colombia. 34s
- 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
- Fischel, M. 2001. Evaluation of selected deicers based on a review of the literature. Colorado Department of Transportation Research Branch. Report No. CDOT-DTD-R-2001-15. 273s.
- 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.
- Færøvig, P.J., Kaasa, B. & Kjensmo, J. 2003. Innvirkningen på Svinesjøens vannmasser og sirkulasjonforhold etter 3 års stans av vegsalting i innsjøens nedslagsfelt. Avdeling for Marin Biologi og Limnologi, Biologisk institutt Universitetet i Oslo. 22s
- Hernes, Invild. 2005. Magnesiumkloriløysingar som friksjonsforbetrande tiltak – laboratorieforsøk og oppfølging av feltarbeid. Masteroppgåve NTNU, juni 2005
- 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

- Kayama, M., Quoreshi, A.M., Kitaoka, S., Kitahashi, Y., Sakamoto, Y., Maruyama, Y., Kitao, M. & Koike, T. 2003. Effects of deicing salt on the vitality and health of two spruce species, *Picea abies* Karst., and *Picea glehnii* Masters planted along roadside in northern Japan. *Environmental Pollution* 124: 127-137.
- Kjensmo, J. 1997. The influence of road salt on the salinity and the meromictic stability of Lake Svinesjøen, south eastern Norway. *Hydrobiologia* 347: 151-158.
- 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.
- Lewis, W.M. jr. 1999. Studies of environmental effects of magnesium chloride deicer in Colorado. Colorado Department of Transportation Research Branch. Report No. CDOT-DTD-R-99-3. 101s.
- Löfgren, S. 2001. The chemical effects of deicing salt on soil and stream water of five catchments in southeast Sweden. *Water, Air and Soil Pollution* 130: 863-868.
- Mayer, T., Snodgrass, W.J. & Morin, D. 1999. Spatial Characterization of the occurrence of road salts and their environmental concentrations as chlorides in Canadian Surface Waters and Benthic Sediments. *Water Quality Research Journal Canada Vol 34, No. 4: 545-574.*
- 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
- Paludan-Müller, G., Saxe, H., Bo Pedersen, L. & Randrup, T. B. 2002. Differences in salt sensitivity of four deciduous tree species to soil or airborne salt. *Physiologia Plantarum* 114: 223-230.
- Rekstad, Håvard, Hardarsson, Vidar. 2005. Bestemmelse av frysepunkt til natrium-/magnesiumklorid løsninger. SINTEF Energiforskning AS. Teknisk rapport datert 2005-06-21
- Ruth, O. 2003. The effect of de-icing in Helsinki urban streams, Southern Finland. *Water Science and Technology* Vol 48, No. 9: 33-43.
- SFT, Statens forurensningstilsyn, 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann. SFT-rapport 97:04. 31s.
- SFT, Statens forurensningstilsyn, 1999. Risikovurdering av forurenset grunn. SFT-rapport 99:01A. 102s.
- Statens vegvesen Vegdirektoratet, 2003. Standard for drift og vedlikehold av riksveger. Håndbok 111.

Vaa, Torgeir. 2002. Vinterfriksjonsprosjektet – forsøk med befuktning med magnesiumkloridløsning i Oslo sesongen 2001/2002. Intern rapport 2299, Vegteknisk avdeling

Vaa, Torgeir. 2004. Vinterfriksjonsprosjektet – forsøk med befuktning med magnesiumkloridløsning i Oslo sesongen 2002/2003. Intern rapport 2342, Teknologivdelingen

Vaa, Torgeir. 2005. Vinterfriksjonsprosjektet – forsøk med befuktning med magnesiumkloridløsning i Oslo sesongen 2003/2004. Intern rapport 2373, Teknologivdelingen

Viskari, E. & Kärenlampi, L. 2000. Roadside Scots pine as an indicator of deicing salt use – a comparative study from two consecutive winters. *Water, Air and Soil Pollution* 122: 405-419.

Williams, D.D., Williams, N. & Cao, Y. 2000. Road salt contamination of groundwater in a major metropolitan area and development of a biological index to monitor its impact. *Water Research Vol 34. No 1*: 127-138.

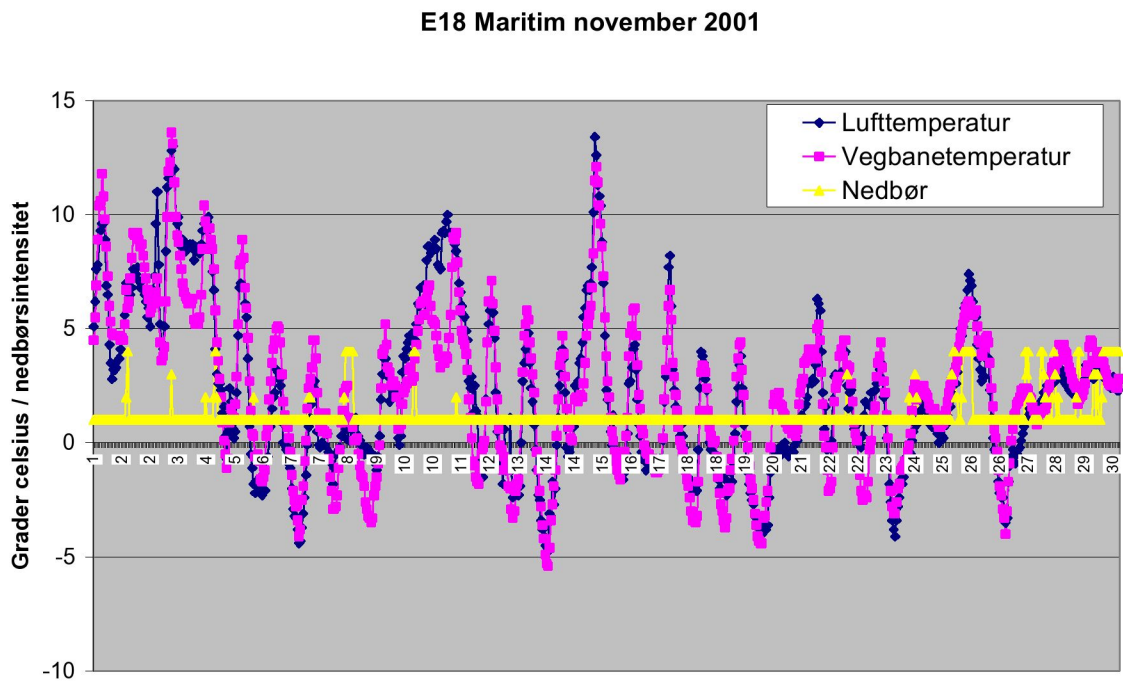
Thunqvist, E.L.J. 2003. Estimating chloride concentration in surface water and groundwater due to deicing salt application. Dr.gradsavhandling ved Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm. 21s.

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

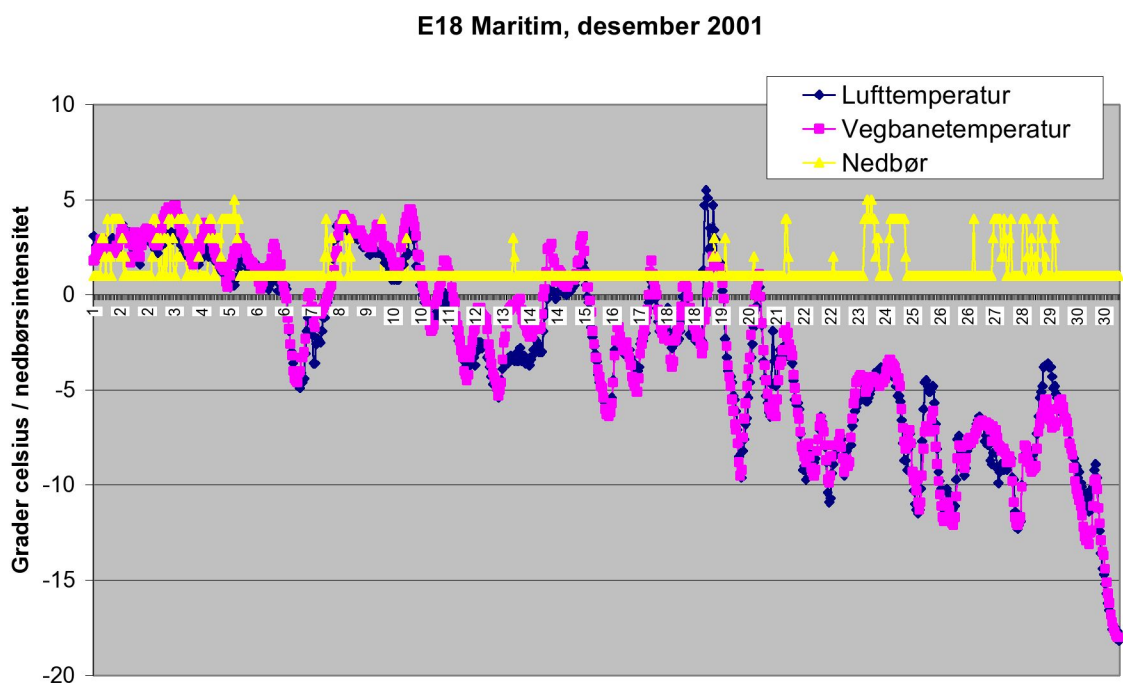
Åhnberg, A & Knecht, M. 1996. Vintervägsaltets spridning i grundvattnet, metoder att bedöma belastningskänslighet. Uppsala universitet, Institutionen för geovetenskap. Hydrologi. Uppsala, Sweden.

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

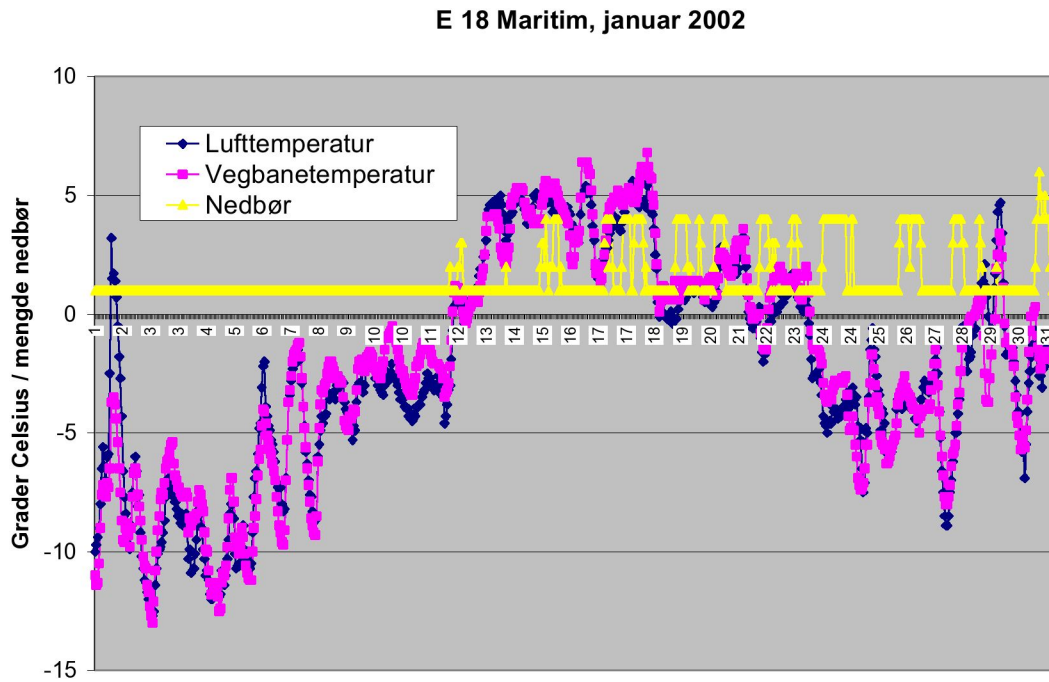
Vedlegg 1: Klimadata for sesongen 2001/2002 basert på observasjoner fra Maritim



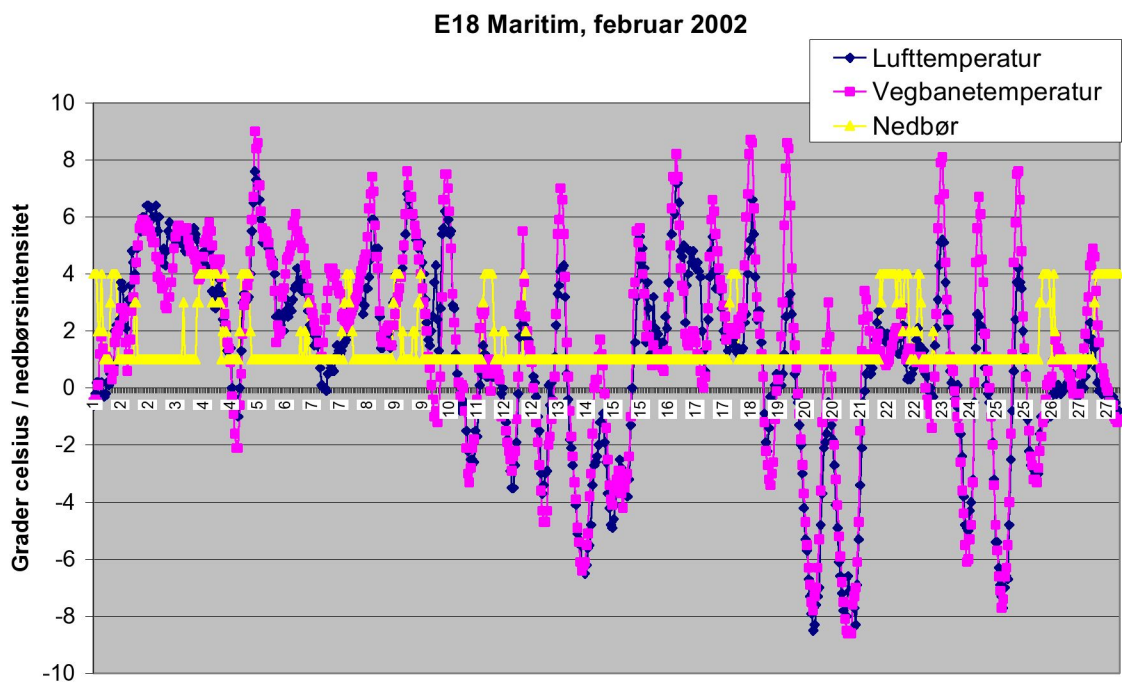
Figur 5.2: Klimadata fra klimastasjonen på Maritim, november 2001



Figur 5.3: Klimadata fra klimastasjonen på Maritim, desember 2001

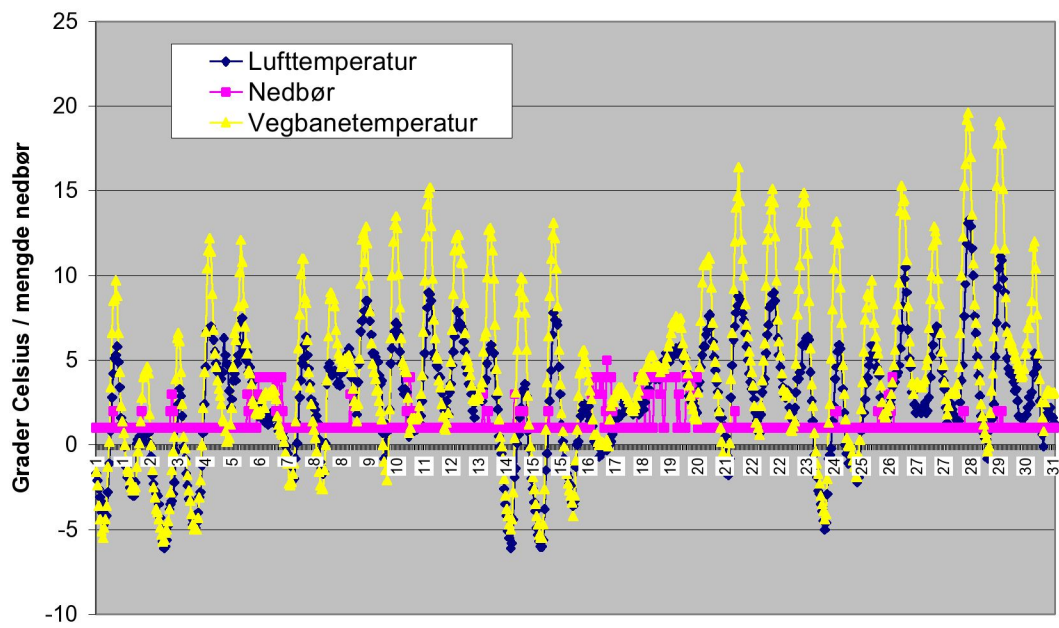


Figur 5.4: Klimadata fra klimastasjonen på Maritim, januar 2002



Figur 5.5: Klimadata fra klimastasjonen på Maritim, februar 2002

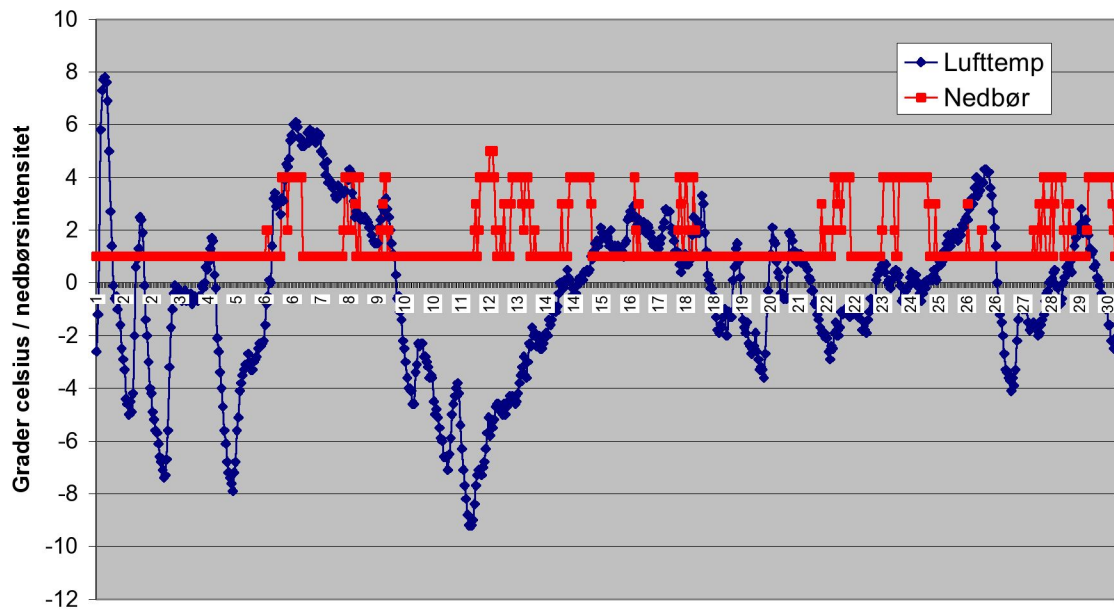
E 18 Maritim, mars 2002



Figur 5.6: Klimadata fra klimastasjonen på Maritim, mars 2002

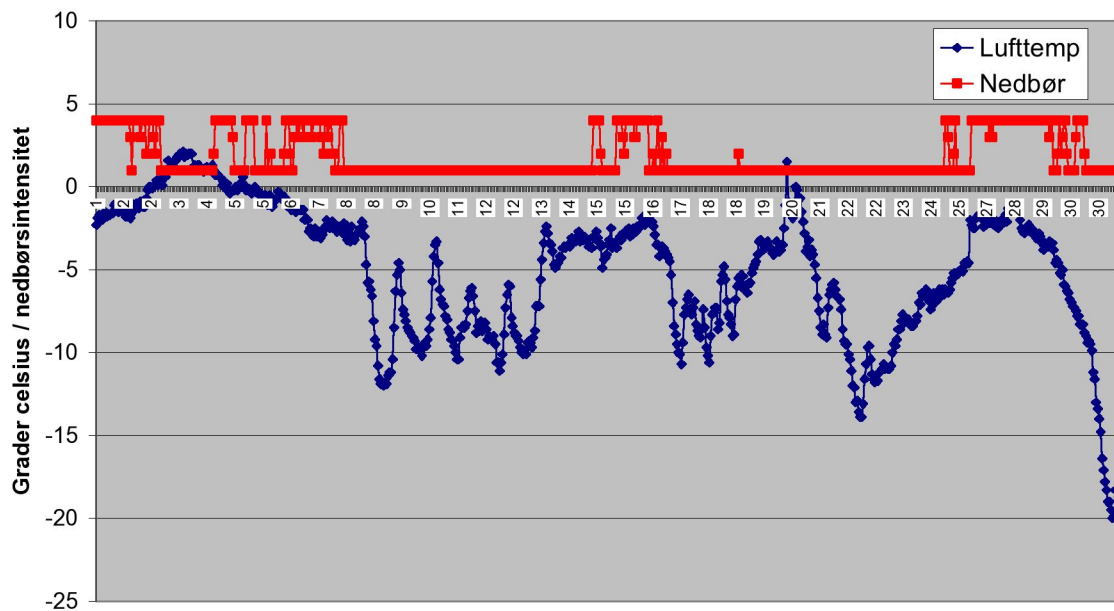
Vedlegg 2: Klimadata for sesongen 2002/2003 basert på observasjoner fra Maritim

E 18 Maritim, november 2002



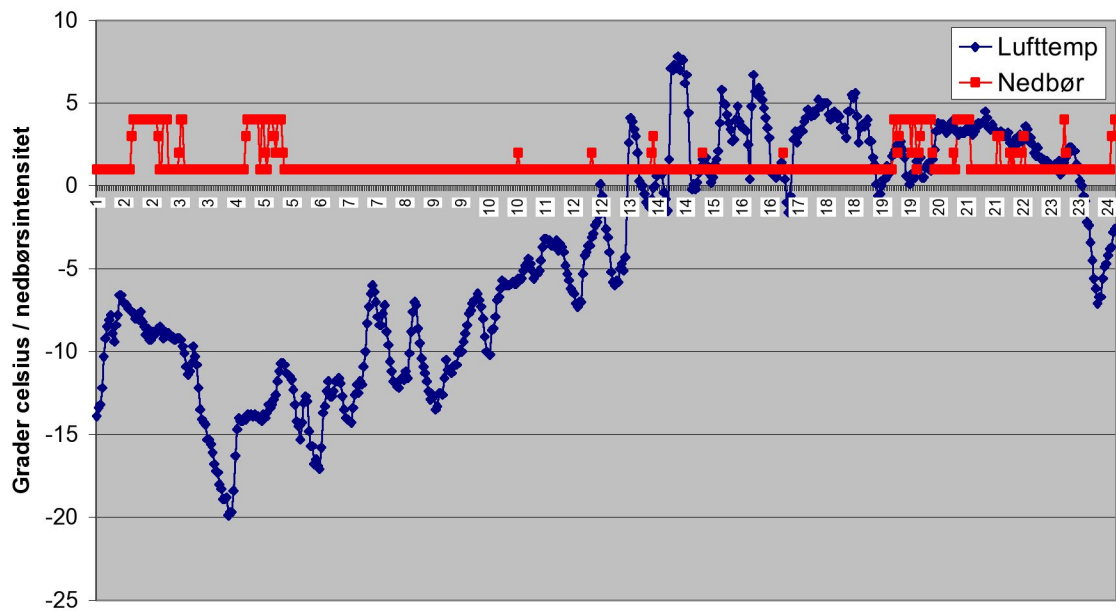
Figur 5.7: Klimadata fra klimastasjonen på Maritim, november 2002

E 18 Maritim, desember 2002



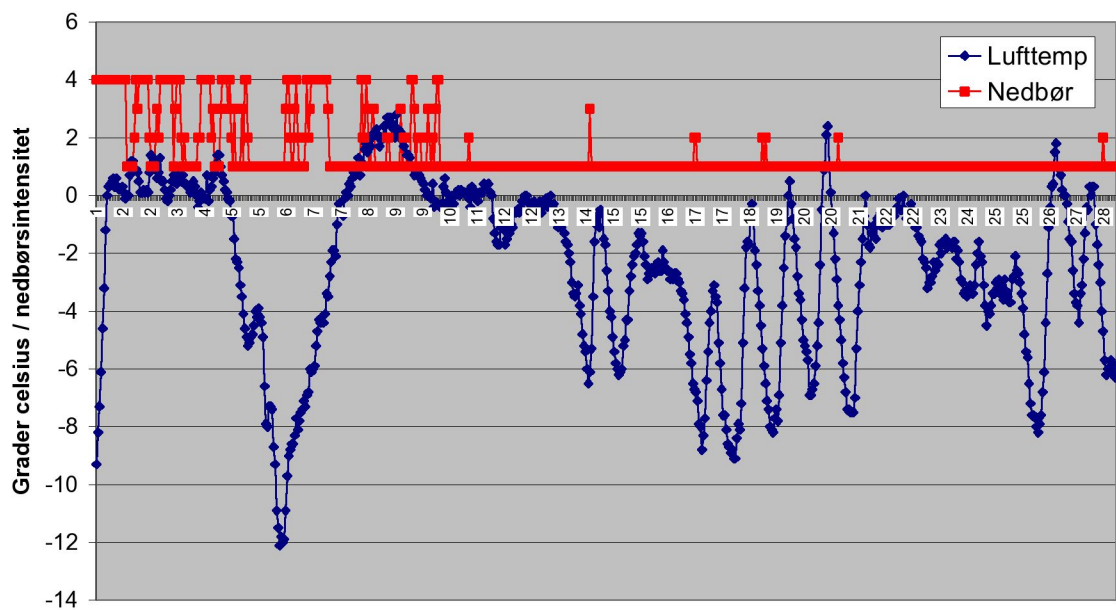
Figur 5.8: Klimadata fra klimastasjonen på Maritim, desember 2002

E 18 Maritim, januar 2003

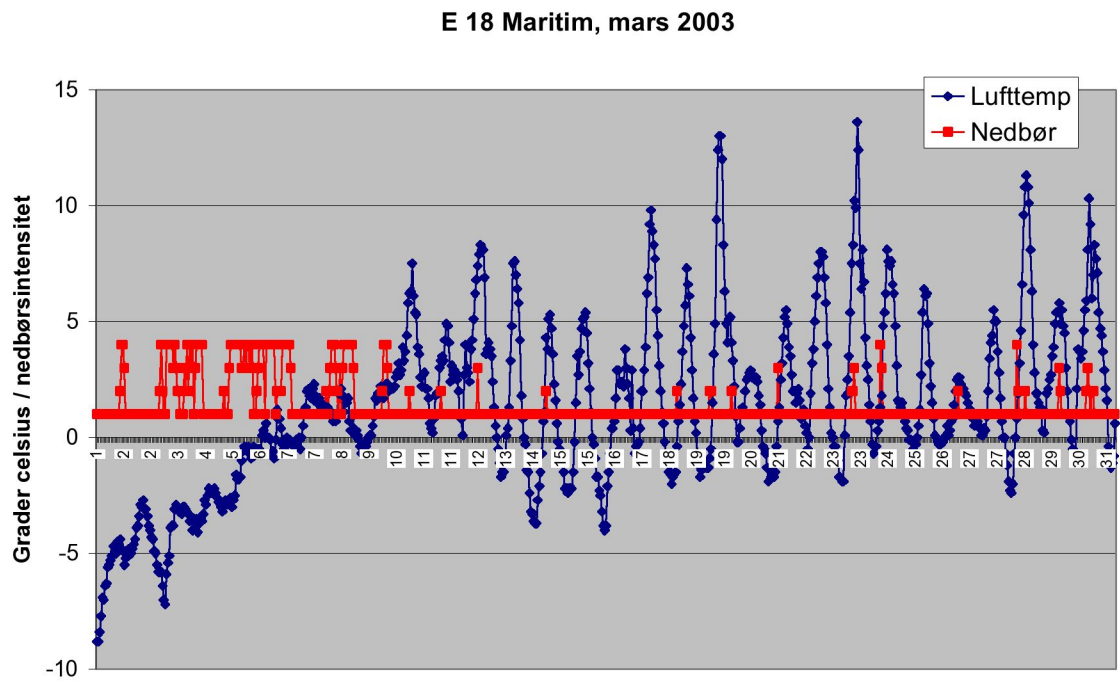


Figur 5.9: Klimadata fra klimastasjonen på Maritim, januar 2003

E 18 Maritim, februar 2003



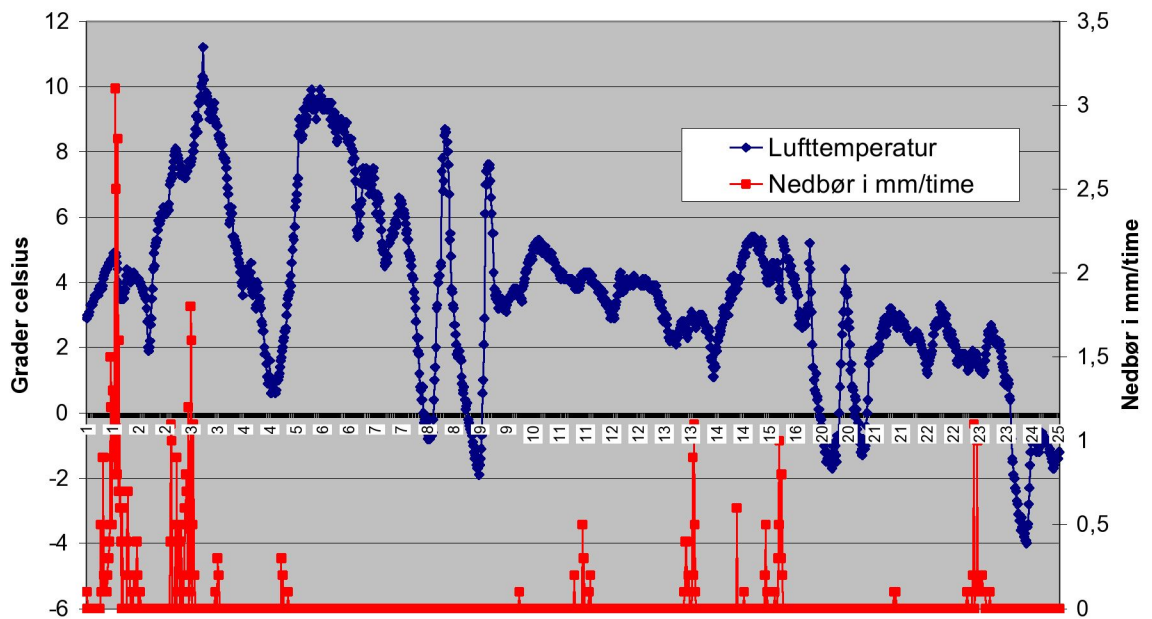
Figur 5.10: Klimadata fra klimastasjonen på Maritim, februar 2003



Figur 5.11: Klimadata fra klimastasjonen på Maritim, mars 2003

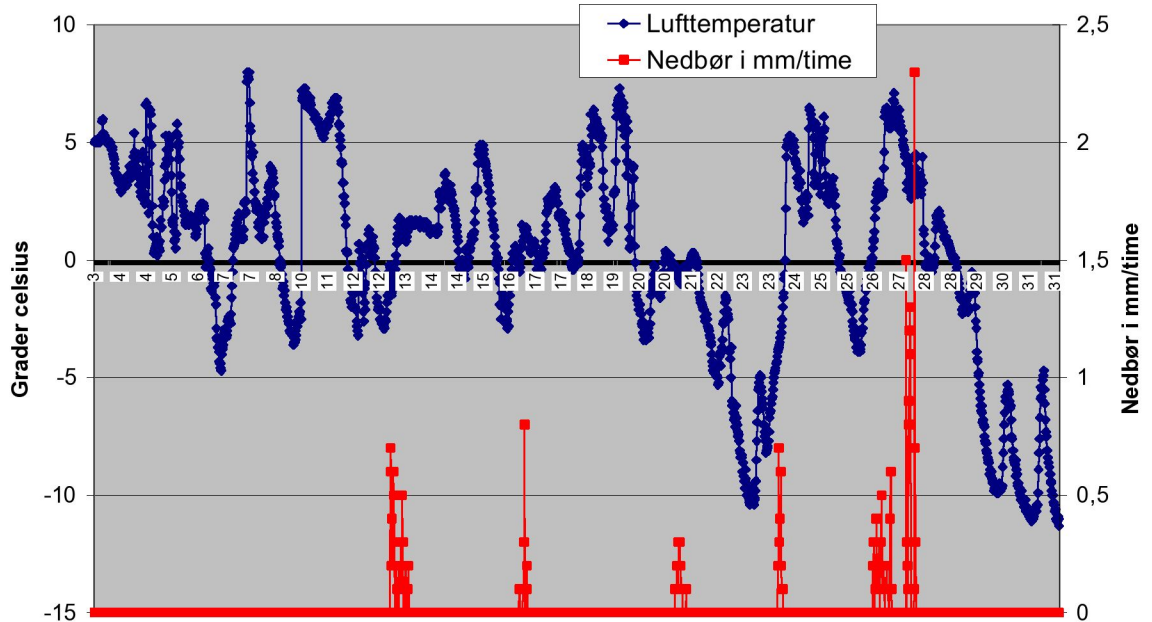
Vedlegg 3: Klimadata for sesongen 2003/2004 basert på observasjoner fra Maritim

E 18 Maritim, november 2003

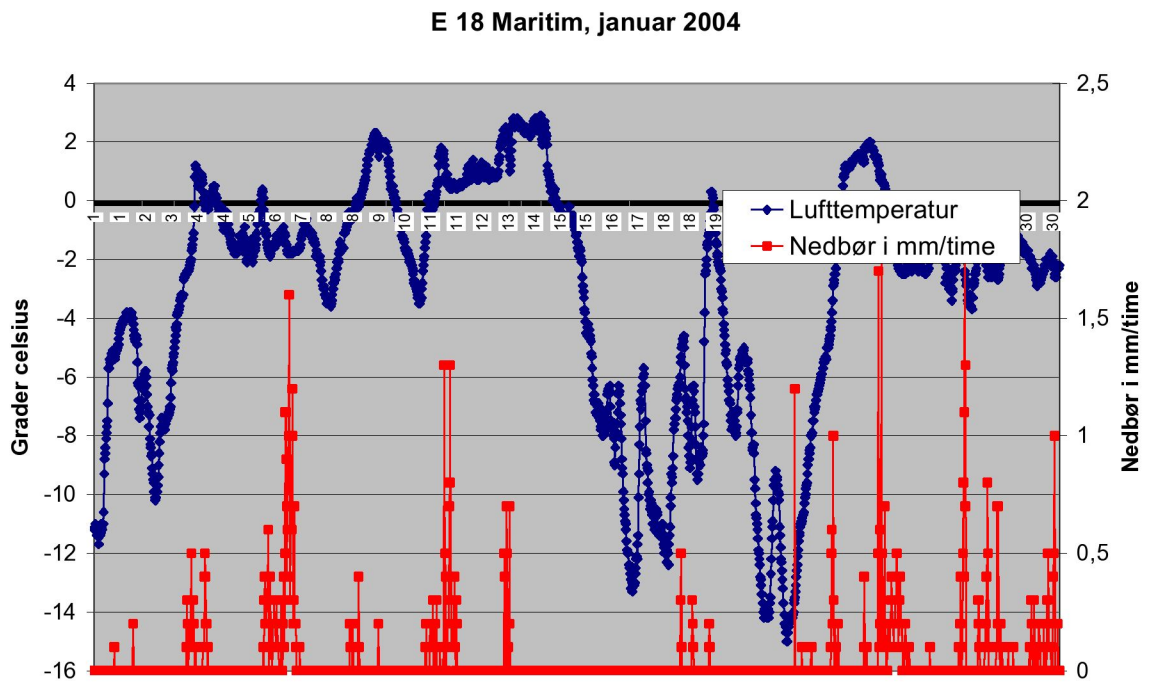


Figur 5.12: Klimadata fra klimastasjonen på Maritim, november 2003

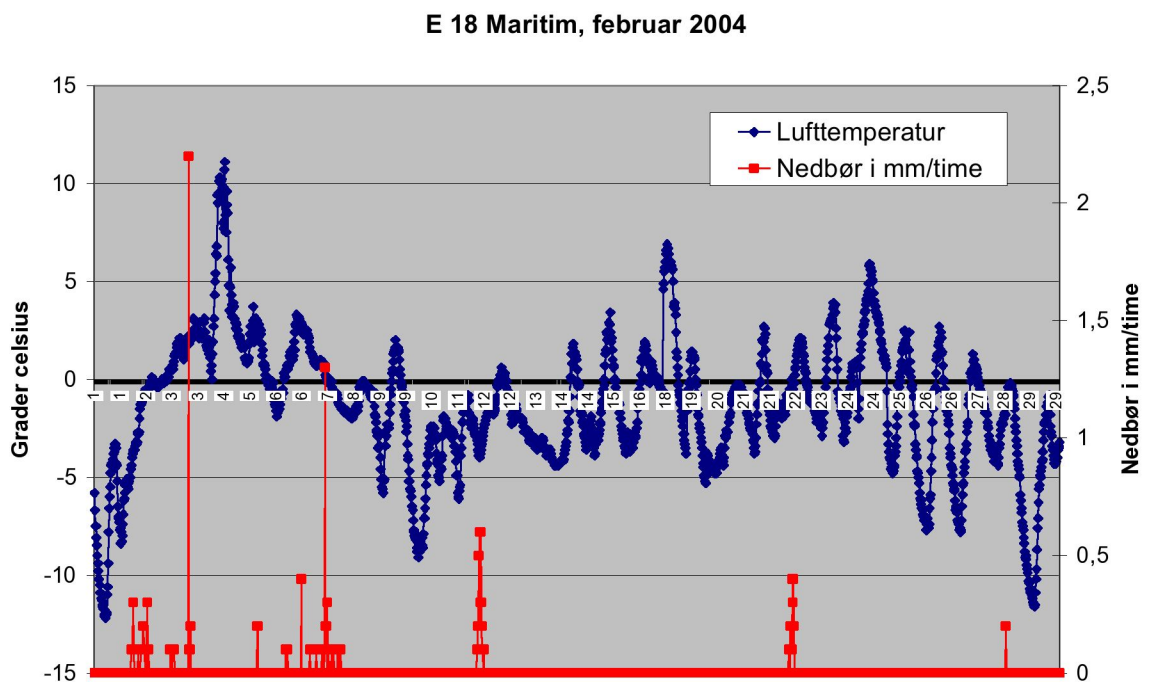
E 18 Maritim, desember 2003



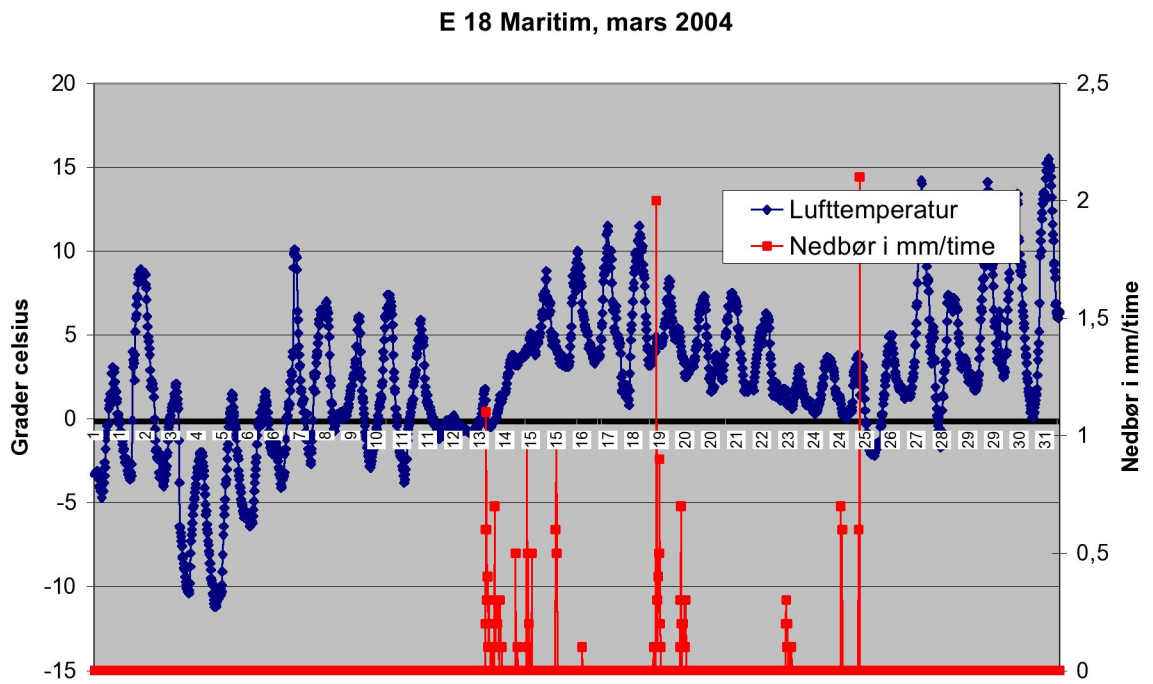
Figur 5.13: Klimadata fra klimastasjonen på Maritim, desember 2003



Figur 5.14: Klimadata fra klimastasjonen på Maritim, januar 2004



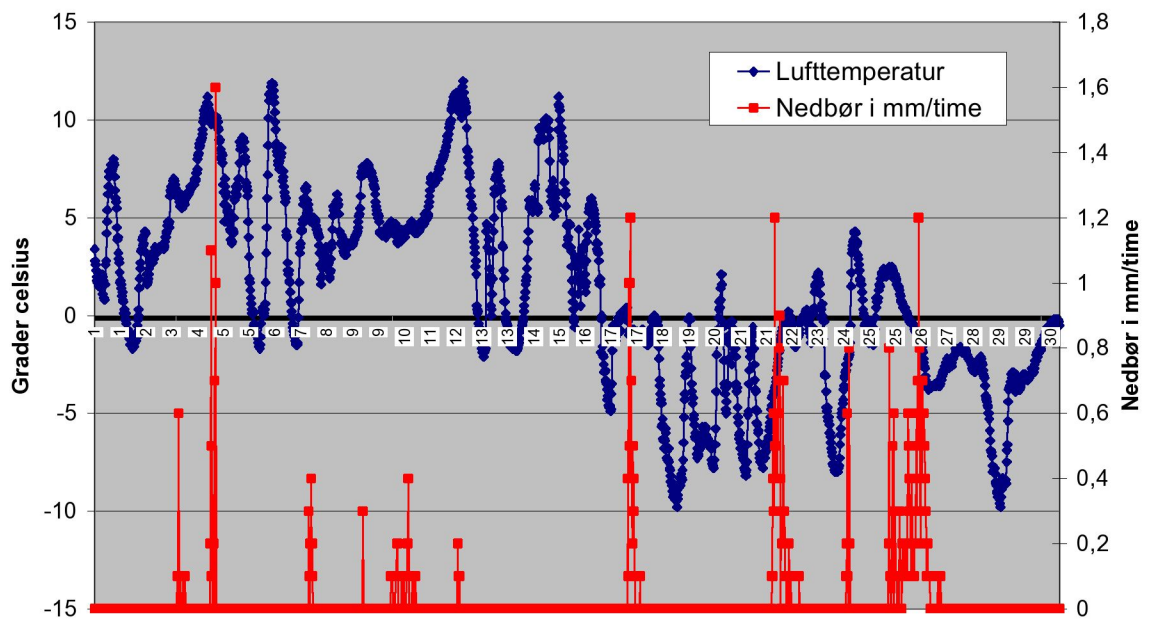
Figur 5.15: Klimadata fra klimastasjonen på Maritim, februar 2004



Figur 5.16: Klimadata fra klimastasjonen på Maritim, mars 2004

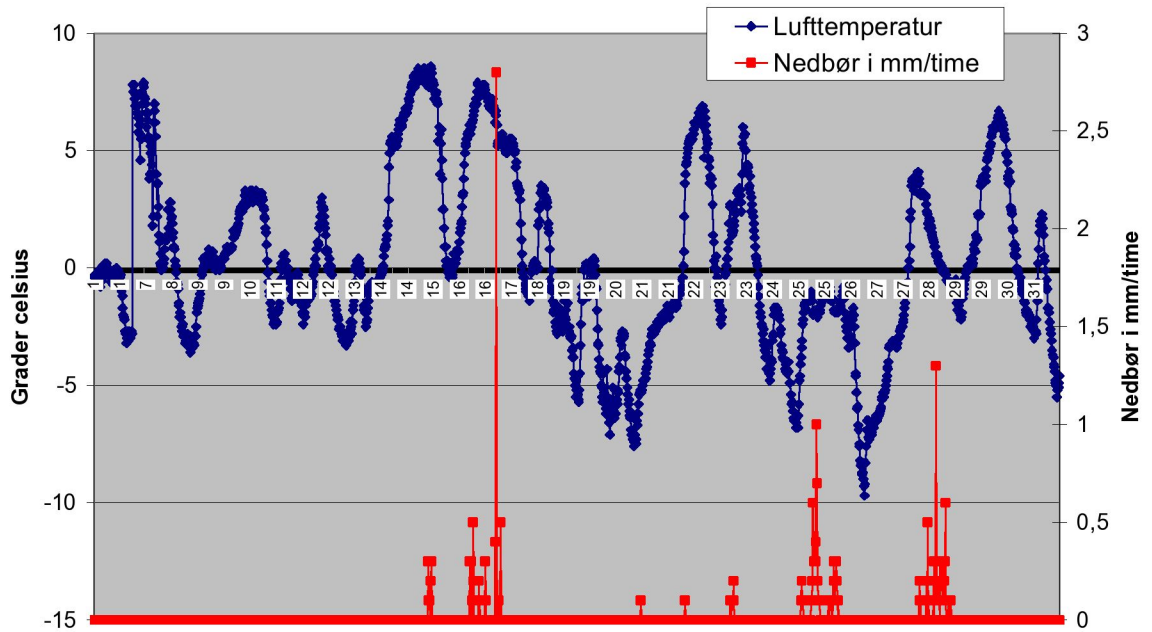
Vedlegg 4: Klimadata for sesongen 2004/2005 basert på observasjoner fra Maritim

E 18 Maritim, november 2004

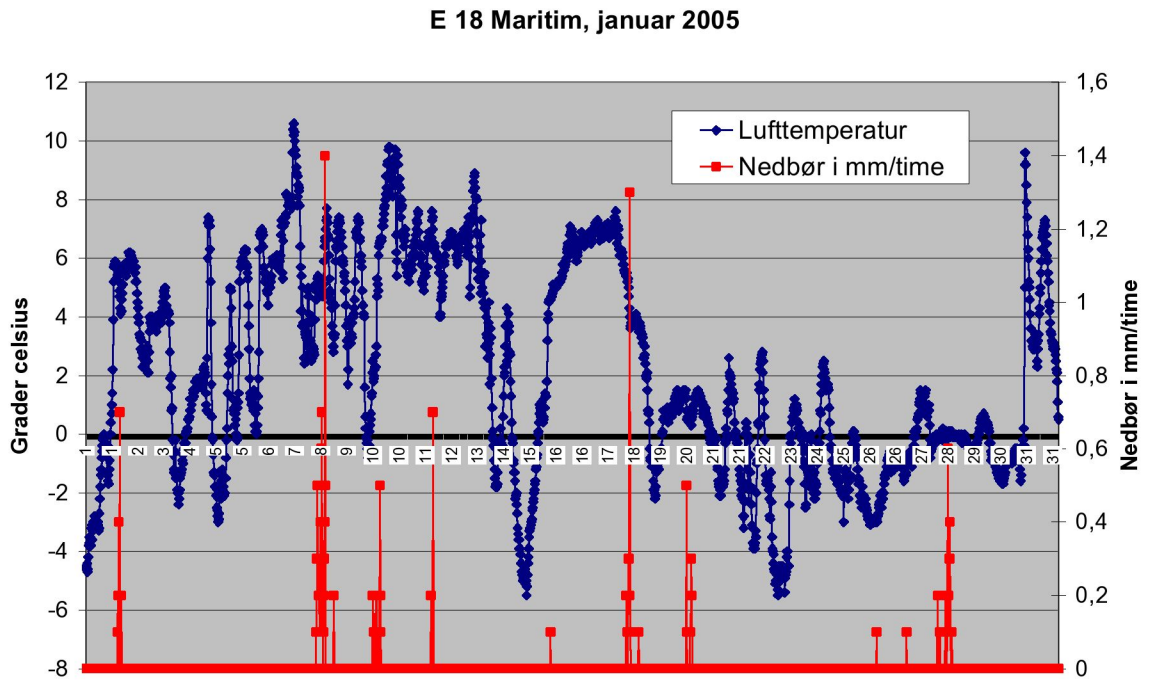


Figur 5.17: Klimadata fra klimastasjonen på Maritim, november 2004

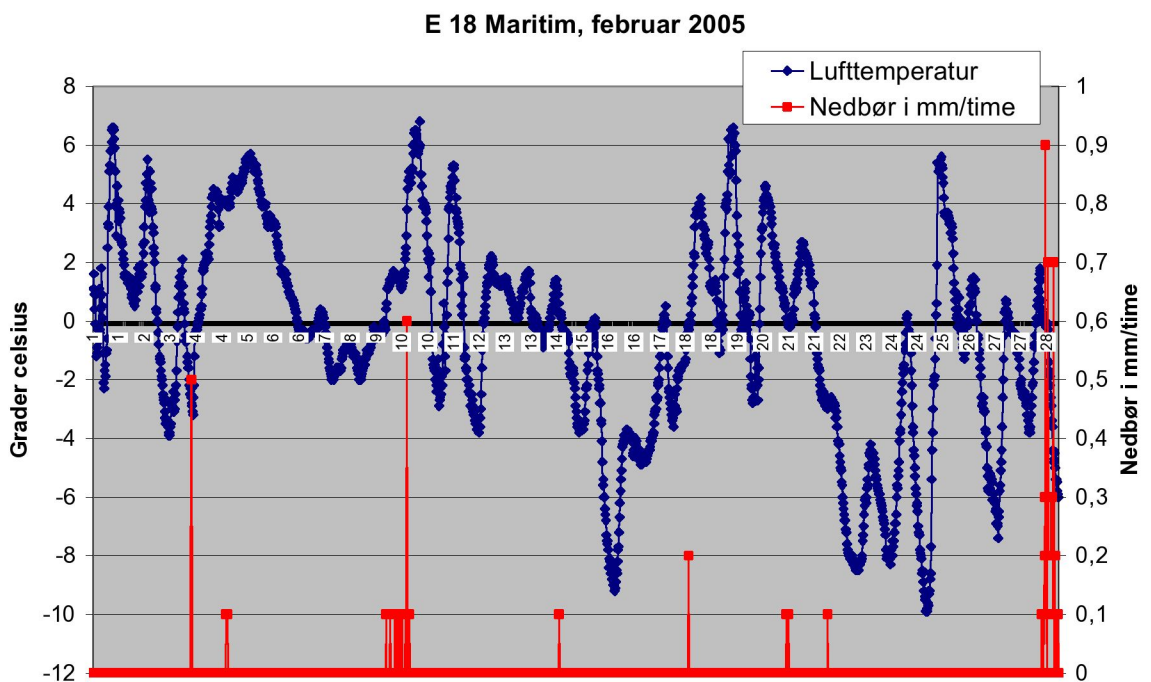
E 18 Maritim, desember 2004



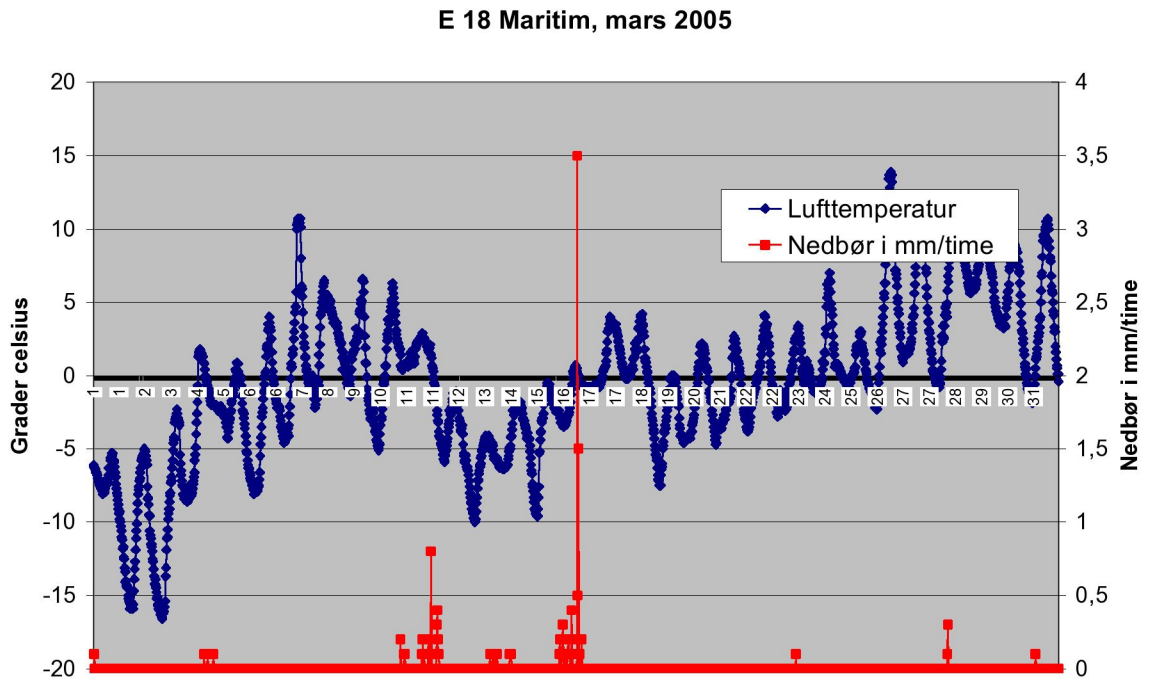
Figur 5.18: Klimadata fra klimastasjonen på Maritim, desember 2004



Figur 5.19: Klimadata fra klimastasjonen på Maritim, januar 2005



Figur 5.20: Klimadata fra klimastasjonen på Maritim, februar 2005



Figur 5.21: Klimadata fra klimastasjonen på Maritim, mars 2005

Vedlegg 5: Fotodokumentasjon



Figur VI.1: Rv 161, gammel asfalt



Figur VI.2: Rv 161, ny asfalt



Figur V1.3: Rv 168, gammel asfalt



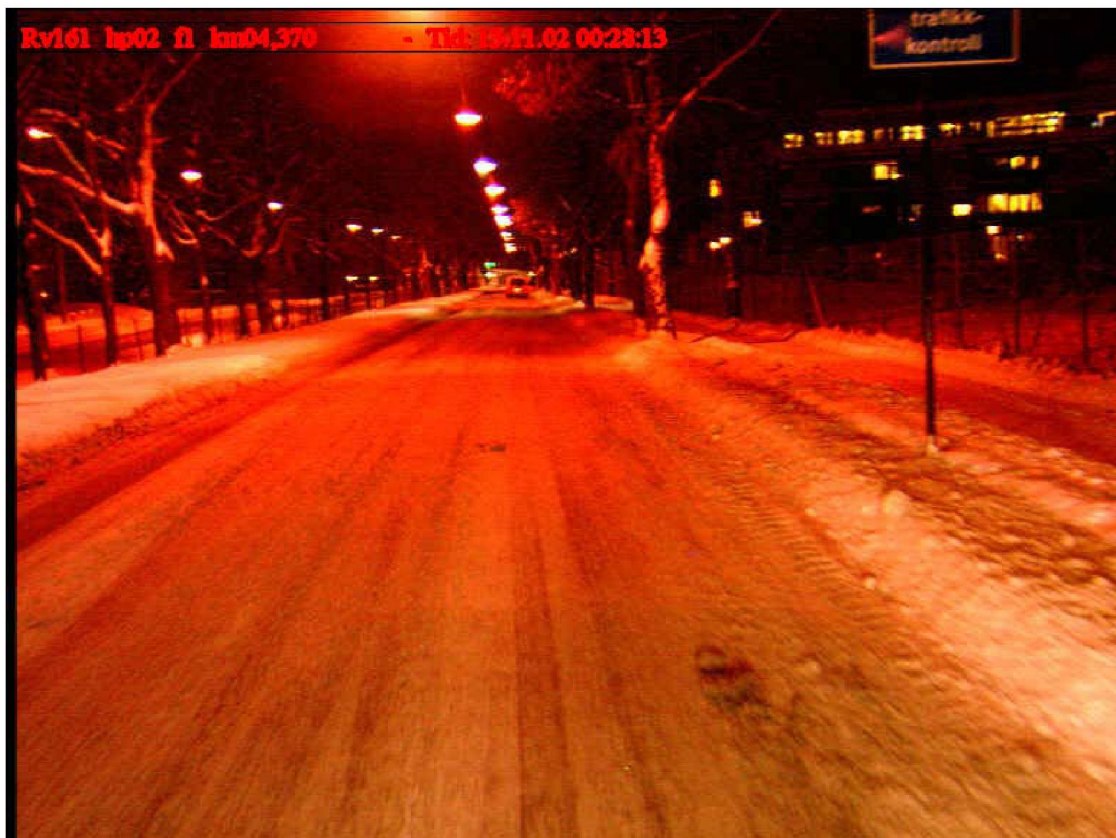
Figur V1.4: Rv 168, ny asfalt



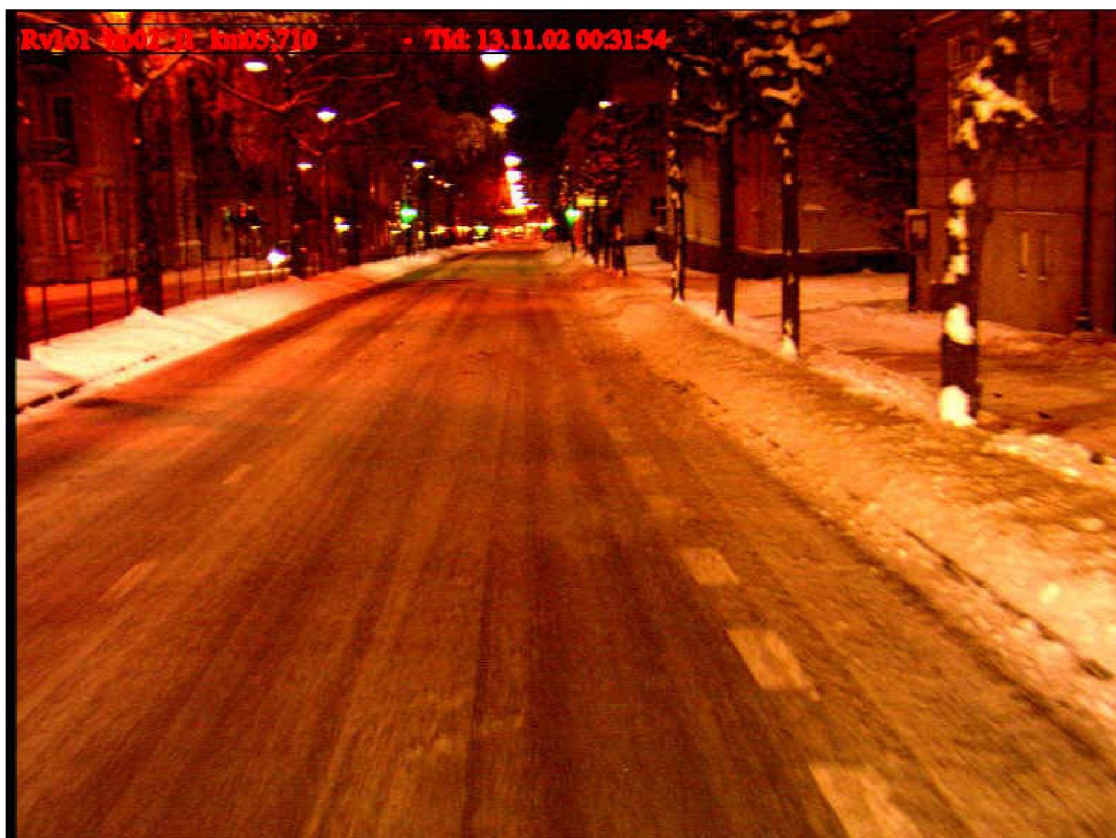
Figur V1.5: Rv 168, gammel asfalt



Figur V1.6: Rv 168, ny asfalt



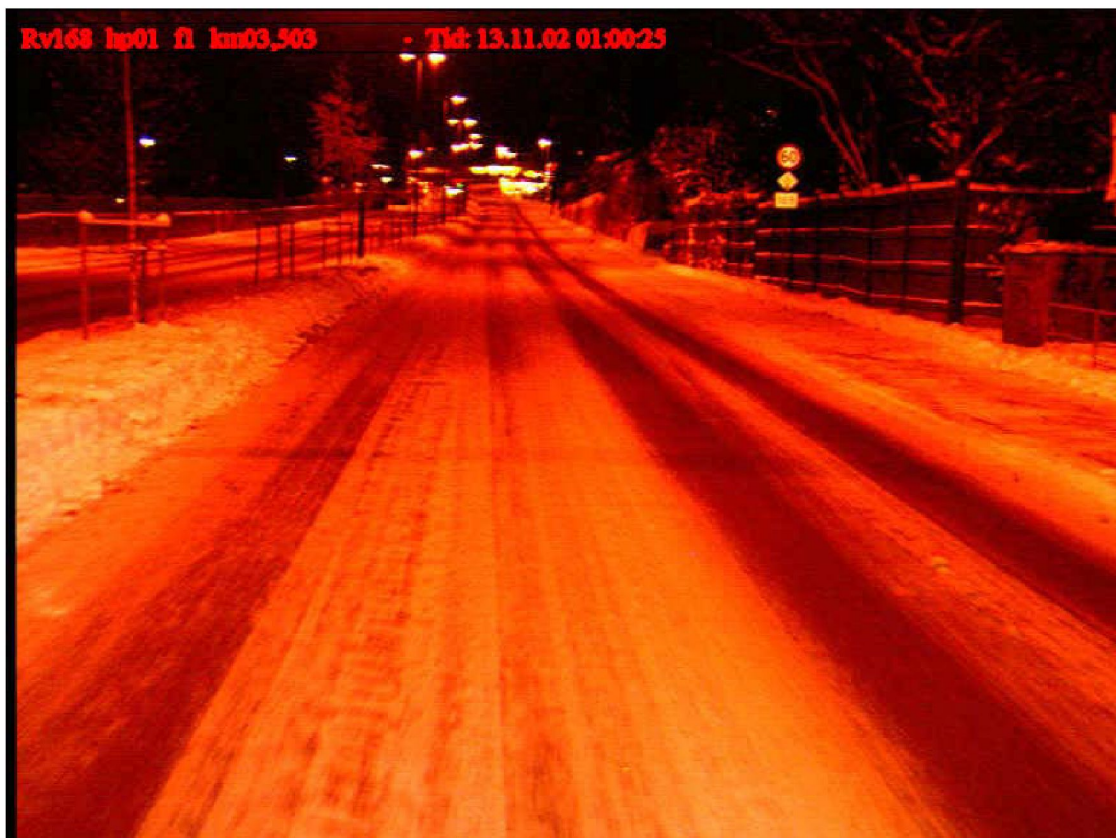
Figur VI.7: Rv 161, gammel asfalt



Figur VI.8: Rv 161, ny asfalt



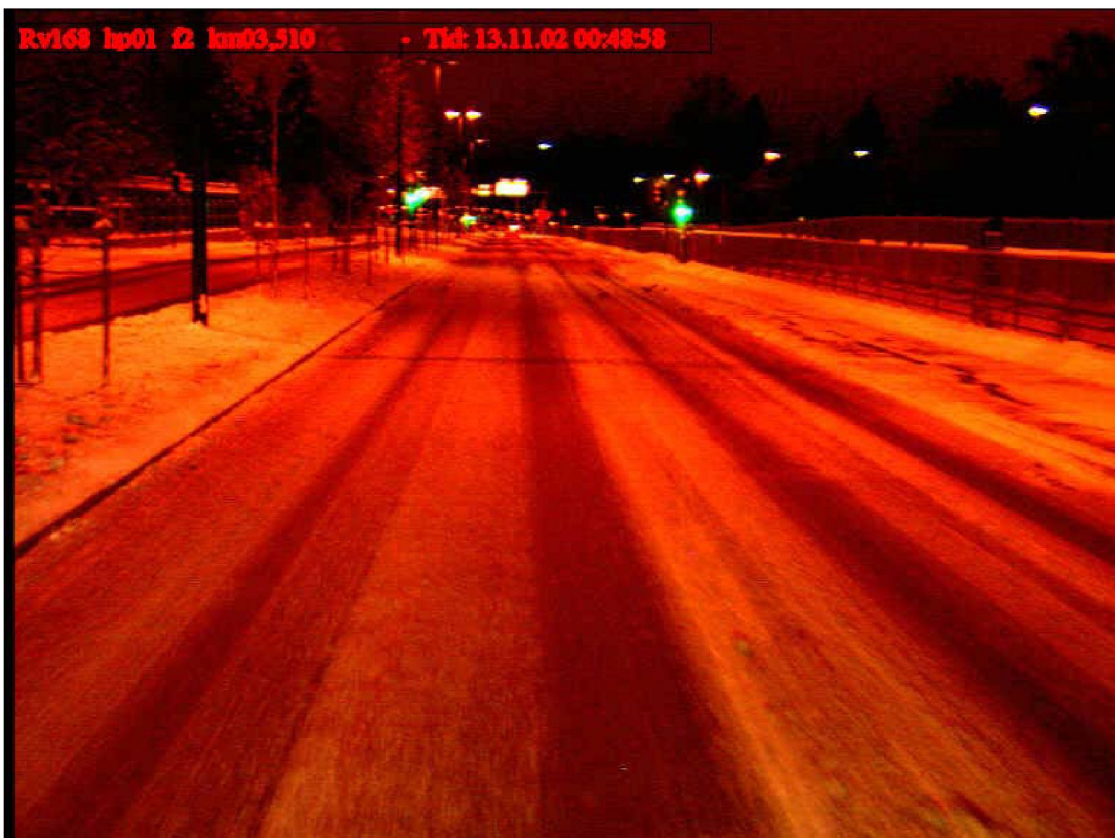
Figur V1.9: Rv 168, gammel asfalt



Figur V1.10: Rv 168, ny asfalt



Figur V1.11: Rv 168, gammel asfalt



Figur V1.12: Rv 168, ny asfalt



Figur V1.13: Rv 161, gammel asfalt



Figur V1.14: Rv 161: Rv 161, ny asfalt



Figur V1.15: Rv 168, gammel asfalt



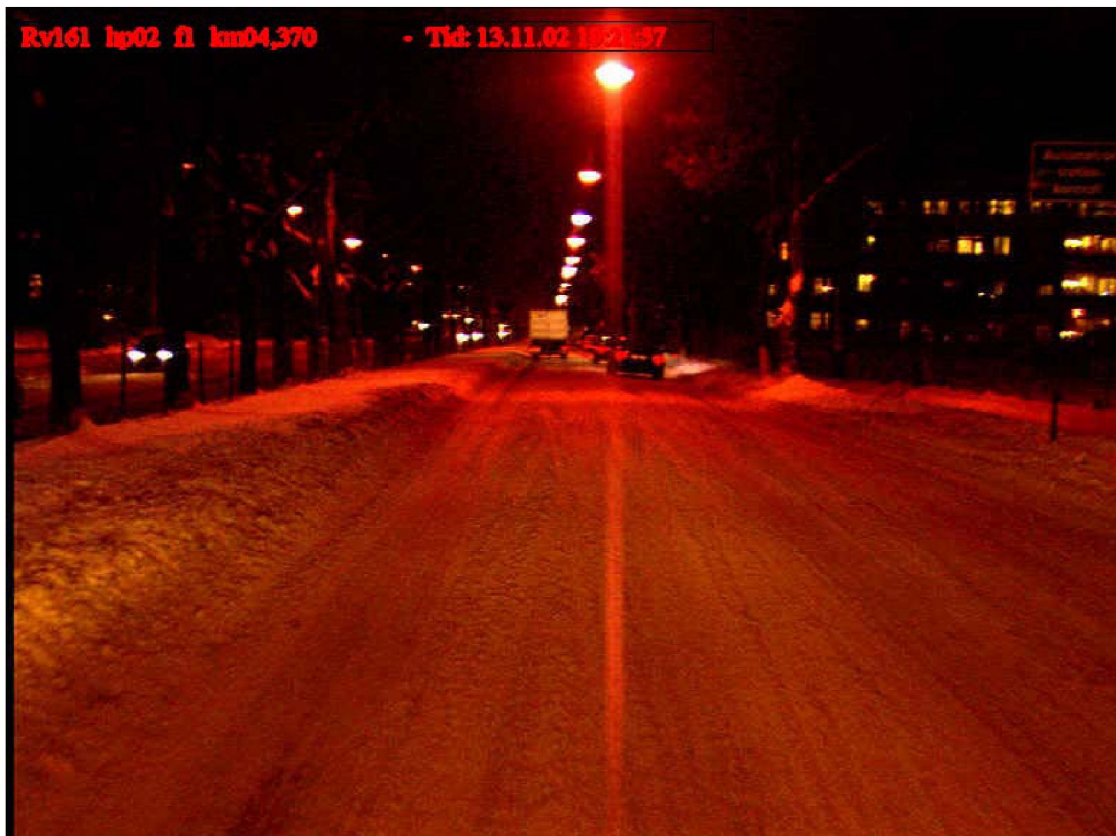
Figur V1.16: Rv 168, ny asfalt



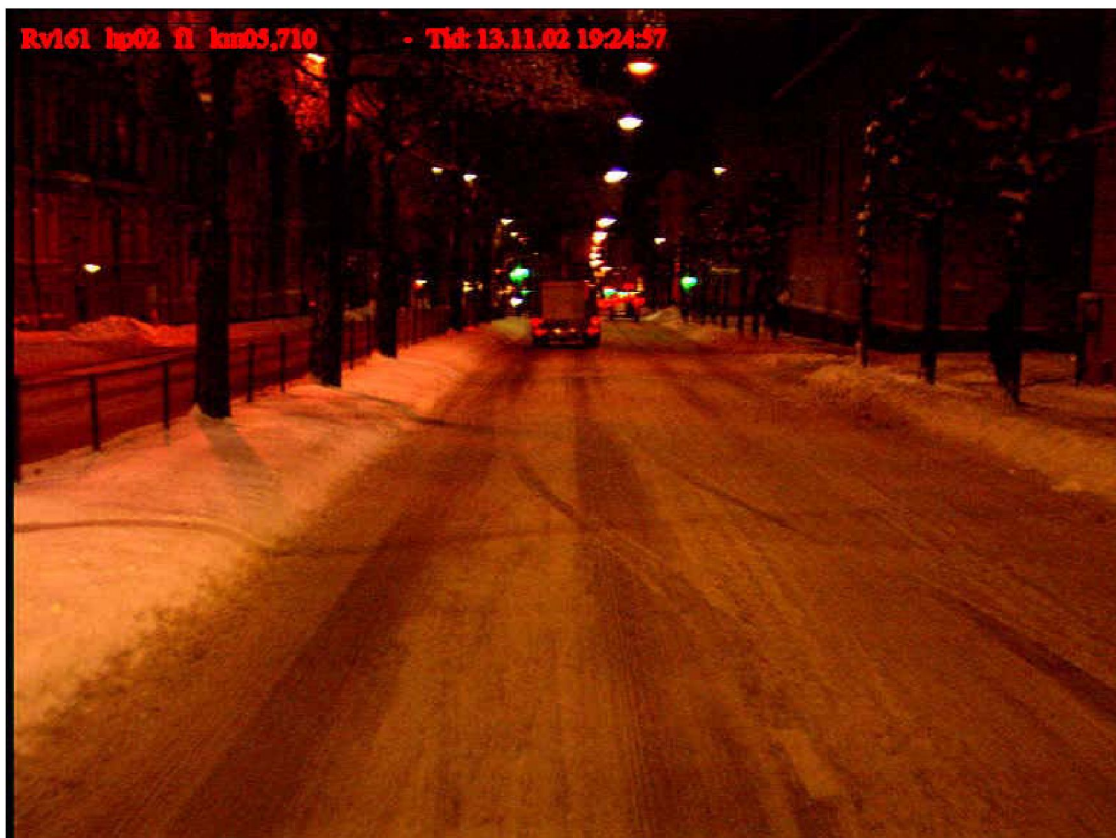
Figur V1.17: Rv 168, gammel asfalt



Figur V1.18: Rv 168, ny asfalt



Figur V1.19: Rv 161, gammel asfalt



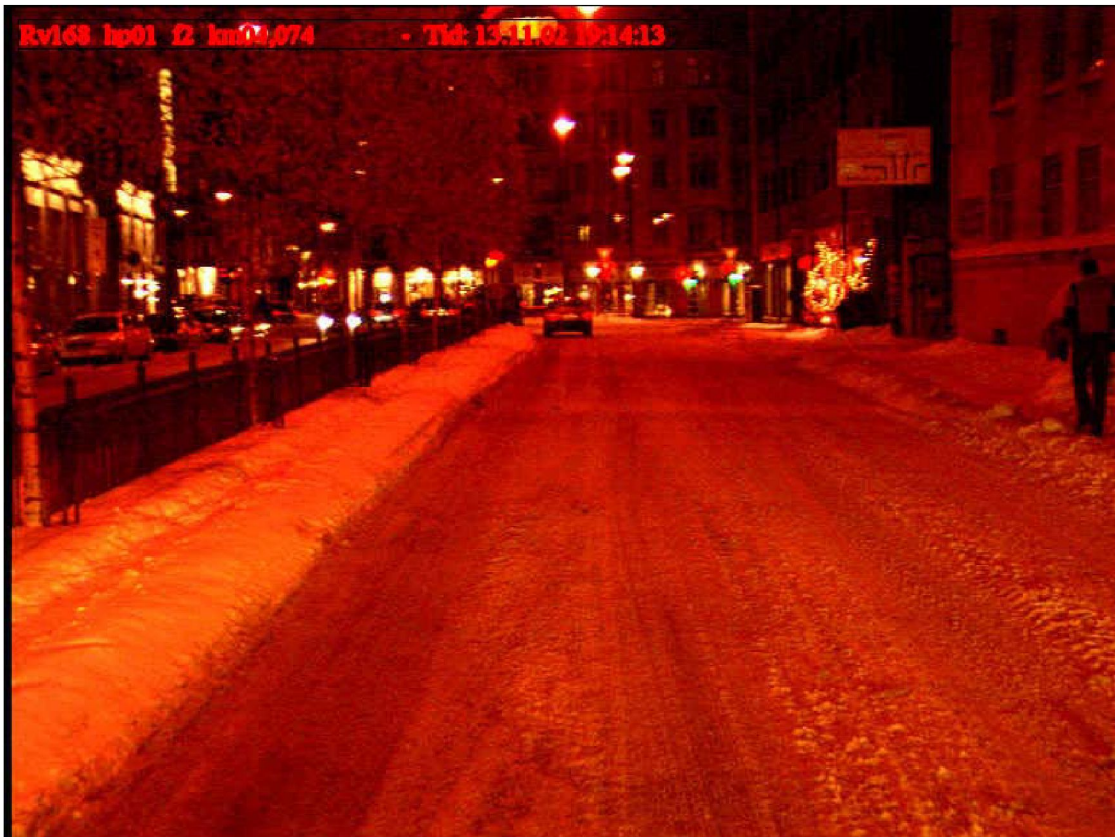
Figur V1.20: Rv 161, ny asfalt



Figur V1.21: Rv 168, gammel asfalt



Figur V1.22: Rv 168, ny asfalt



Figur V1.23: Rv 168, gammel asfalt



Statens vegvesen

Statens vegvesen Vegdirektoratet
Postboks 8142 Dep
N - 0033 Oslo

Tlf. (47) 22 07 35 00
E-post: publvd@vegvesen.no

ISSN 1504- 500 5