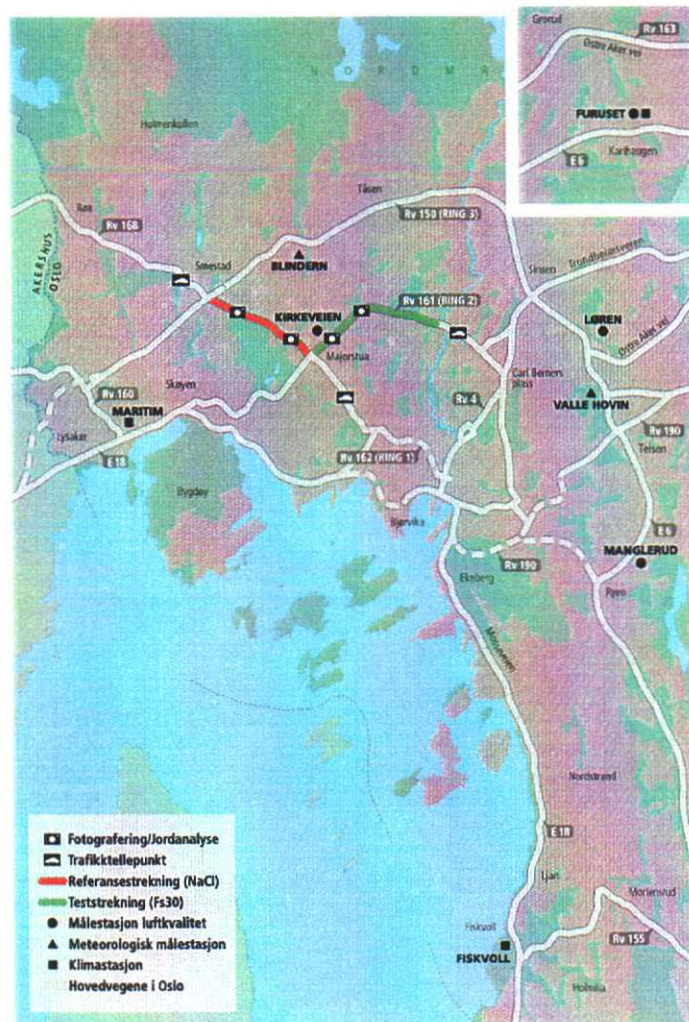


Intern rapport nr. 2299

Vinterfriksjonsprosjektet - forsøk med befuktning med magnesiumkloridløsning i Oslo sesongen 2001/2002



Oktober 2002



Intern rapport nr. 2299

Vinterfriksjonsprosjektet - forsøk med befuktning med magnesiumkloridløsning i Oslo sesongen 2001/2002

Sammendrag

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

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

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

Forsøkene som ble gjort på vegnettet innenfor sentrale deler av Oslo gir interessante indikasjoner, men materialet etter en sesong er for lite til å trekke sikre konklusjoner. Prosjektet er planlagt forlenget ytterligere 2 sesonger.

Emneord: *Vinterfriksjonsprosjektet*

Kontor: *Produksjonsteknisk kontor*

Saksbehandler: *Jon Dahlen/Roar Støtterud*

Dato: *Oktober 2002*

/rs



SINTEF Bygg og miljø
Veg og samferdsel

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

Vinterfriksjonsprosjektet - forsøk med befuktning med magnesiumkloridløsning i Oslo sesongen 2001/2002

FORFATTER(E)

Torgeir Vaa og Sondre Meland

OPPDRAGSGIVER(E)

Statens vegvesen Vegdirektoratet, Produksjonsteknisk kontor

RAPPORTNR. STF22 A02331	GRADERING Åpen	OPPDRAGSGIVERS REF. Roar Støtterud	
GRADER. DENNE SIDE Åpen	ISBN 82-14-02821-3	PROSJEKTNR. 22j151.01	ANTALL SIDER OG BILAG 69
ELEKTRONISK ARKIVKODE T:\22j151\rapport\2001_2002\rapport_mgcl2002	PROSJEKTLEDER (NAVN, SIGN.) Torgeir Vaa	VERIFISERT AV (NAVN, SIGN.) Terje Giæver <i>Terje Giæver</i>	
ARKIVKODE	DATO Oktober 2002	GODKJENT AV (NAVN, STILLING, SIGN.) Tore Knudsen, forskningssjef <i>Tore Knudsen</i>	

SAMMENDRAG

Målsettingen med Vinterfriksjonsprosjektet har vært å finne frem til hvilke friksjonstiltak og metoder som bør benyttes under gitte forhold (hensyn tatt til stedlige, trafikkmessige og klimatiske forhold). Prosjektet har vært driftsorientert, og målet har vært å komme frem til praktisk anvendelige metoder og anbefalinger. En viktig del av Vinterfriksjonsprosjektet har vært å se på bruk av kjemikalier, og prosjektet rundt magnesiumklorid ($MgCl_2$) har kommet i stand på initiativ fra Statens vegvesen Oslo med bakgrunn i observasjoner som ble gjort sesongen 2000/2001 i forbindelse med at enkelte saltingstiltak ble utført med $MgCl_2$ fast form. Uten at det ble direkte dokumentert, tydet resultatene på en lengre varighet av tiltak utført med $MgCl_2$ sammenlignet med tradisjonell strøing med Natriumklorid ($NaCl$).

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

Forsøkene som ble gjort på vegnettet innenfor sentrale deler av Oslo gir interessante indikasjoner, men materialet etter en sesong er for lite til å trekke sikre konklusjoner. Prosjektet er planlagt forlenget ytterligere 2 sesonger.

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

Innhold

1	INNLEDNING
1.1	BAKGRUNN
1.2	AKTUELLE PROBLEMSTILLINGER
1.3	MÅLSETTING.....
1.4	KOSTNADER VED ENDRET DRIFTSOPPLEGG
1.5	ORGANISERING AV PROSJEKTET
1.6	OPPBYGGING AV RAPPORTEN
2	EGENSKAPER TIL FORSKJELLIGE TYPER KJEMIKALER OG VIRKNING AV ULIKE BLANDINGER
2.1	ALTERNATIVE KJEMIKALIER
2.1.1	Generelt
2.1.2	Natriumklorid (NaCl).....
2.1.3	Kalsiumklorid (CaCl ₂)
2.1.4	Magnesiumklorid (MgCl ₂)
2.1.5	Kalsium Magnesium Acetat
2.1.6	Natriumformeat (NaHCO ₂).....
2.1.7	Kalsiumformeat (Ca(COOH) ₂)
2.1.8	Kalsiumacetat
2.1.9	Aviform
2.1.10	Urea
2.2	NEDBRYTING AV MATERIALER
2.2.1	Korrosjon.....
2.2.2	Betong.....
2.2.3	Asfaltdekker
2.3	MILJØVIRKNINGER AV SALTING
3	BETYDNINGEN AV BEFUKTNING FOR Å ØKE VIRKNINGSGRADEN
4	UNDERSØKELSEOPPLEGG
4.1	GENERELT.....
4.2	FORSØKSOMRÅDE
4.3	REGISTRERINGSOPPLEGG
4.3.1	Maskiner til disposisjon / friksjonsmåling
4.3.2	Friksjonsmålinger med egen målebil.....
4.3.3	Klimadata
4.3.4	Trafikkdata.....
4.3.5	Fotografering for å dokumentere opptørkingstiden.....
4.3.6	Kjemiske jordanalyser av massen som ligger i rennesteinen.....
5	RESULTATER
5.1	PRAKTISKE ERFARINGER
5.2	KLIMADATA
5.3	SAMMENLIGNING AV ULIKE KILDER FOR KLIMADATA
5.4	TRAFIKKTALL
5.5	TILTAKSREGISTRERINGER
5.6	FRIKSJONSMÅLINGER
5.7	RESULTATER AV KJEMISK ANALYSE AV VEISTØVET
5.8	FOTODOKUMENTASJON
5.9	OPPSUMMERING
	VEDLEGG 1: FOTODOKUMENTASJON JANUAR 2002
	VEDLEGG 2: FOTODOKUMENTASJON FEBRUAR 2002

Vinterfriksjonsprosjektet

Innledning

1.1 Bakgrunn

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

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

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

1.2 Aktuelle problemstillinger

I Norge har det tradisjonelt vært mest vanlig å bruke $NaCl$ i vinterdriften både til preventive tiltak og som 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 kan brukes ved lavere temperatur enn $-10^{\circ}C$. Dette har sammenheng med saltets kjemiske egenskaper. Under trafikkpåvirkning skjer det en relativt hurtig opptørking av en vegoverflate som er saltet med $NaCl$, noe som kan betraktes både som en fordel og som en ulempe. I områder med støvproblemer kan det faktisk være ønskelig å beholde fuktigheten lenger for å binde støv.

Det er kjent at det fins alternativer til vanlig salt ($NaCl$) med andre egenskaper både med tanke på virkningsområdet i forhold til temperatur og effekter med hensyn på støvbinding uten at dette foreløpig er tilstrekkelig dokumentert for norske forhold. Bl a tyder erfaringer fra Oslo på at magnesiumklorid har egenskaper som det er interessant å studere nærmere

både i forhold til virkning ved lave temperaturer og anvendt for støvbinding. Støvbindingsegenskapene er behandlet bl a gjennom prosjektet "Bedre byluft".

På grunn av høy pris sammenlignet med NaCl, er det ikke aktuelt å bruke MgCl₂ som strømiddel i ren form hverken i tørr tilstand eller som løsning. Den metoden som anses som mest aktuell er å befukte NaCl med en MgCl₂-løsning. Denne metoden ble forsøkt i sentrale deler av Oslo sesongen 2000/2001, men det foreligger ikke dokumentasjon fra disse prøvene.

1.3 Målsetting

Målsettingen med prosjektet er både å se hvilke muligheter MgCl₂ gir for å operere ved lavere temperaturer samt å se på varigheten av tiltak, opptørkingstid og saltforbruket sammenlignet med NaCl. En av hensiktene med prosjektet er også å se om ulike metoder gir forskjellig virkning når det gjelder friksjon og friksjonsutvikling på forskjellige føretyper. Dette vil være en viktig indikator på om en kan forvente målbare trafikale effekter av ved å bruke andre kjemikalier enn NaCl.

MgCl₂ ligger prismessig høyt (5x) over vanlig sjøsalt. 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. Det er en målsetting med prosjektet å få sett eventuelle kostnadsendringer ved en driftsomlegging til ny metode i forhold til trafikale effekter og virkninger på forurensning i form av klorholdige stoffer og støv.

1.4 Kostnader ved endret driftsopplegg

Et prøveprosjekt av denne karakteren vil naturlig medføre ekstra kostnader som ikke nødvendigvis vil være representative for kostnadene ved en varig driftsomlegging. Entreprenøren har regnet at salt delen vil koste ca. kr 600.000 ekstra ved overgangen til bruk av MgCl₂ løsning. Kostnadene er beregnet ut fra at befukning med MgCl₂ løsning skal resultere i et mindre saltforbruk, og de beregnede merkostnadene på kr 600.000 er stipulert ut fra selvkost. I tillegg kommer kostnadene med framskaffing av selve dokumentasjonen. Det presiseres at det ikke er foretatt noen endelig kalkyle av de faktiske kostnadene dersom det blir aktuelt å ta i bruk MgCl₂ på en mer fast basis.

1.5 Organisering av prosjektet

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

- Eilif Eggen, Statens vegvesen Oslo
- Olaf Mathisen, Statens vegvesen Oslo
- Kjell Bråta, Statens vegvesen Oslo
- Sondre Meland, Statens vegvesen Oslo
- Hans Moe-Christensen, Vaktmesterkompaniet
- Terje Urdal, Vaktmesterkompaniet
- Tom Brynildsen, Vaktmesterkompaniet
- Hans Christian Akselsen, Statens vegvesen Akershus
- Raymond Grønvold, Statens vegvesen Akershus

- Pål Berger, A/S Norske Saltkompagni
- Svein Engebretsen, A/S Norske Saltkompagni
- Kim Aslaksen, A/S Norske Saltkompagni
- Pål Rosland, Statens vegvesen Vegdirektoratet
- Roar Støtterud, Statens vegvesen Vegdirektoratet
- Torgeir Vaa, SINTEF Veg og samferdsel

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

Prosjektet er planlagt gjennomført som et 3-årig prosjekt, og det anses som nødvendig med ytterligere 2 sesonger for å kunne trekke sikre konklusjoner. Dvs at prosjektet vil gå ut sesongen 2003/2004. For å sikre kontinuiteten i prosjektet er det ansett å være helt nødvendig at det er samme operatør som drifter det aktuelle vegnettet i hele prosjektperioden slik at en sikrer en enhetlig og lik vinterdrift fra sesong til sesong. Dette går både på utstyr, beredskapsopplegg og kompetanse. Det er inngått avtale om dette med den angjeldende entreprenøren.

1.6 Oppbygging av rapporten

Før en går på beskrivelse av prøveprosjektet i Oslo og resultatene etter den første forsøksvinteren i henholdsvis kapittel 4 og 5, er det funnet hensiktsmessig å gi en kort beskrivelse av egenskapen til alternative kjemikalier og betydningen av befuktning for å øke virkningsgraden. Dette er gjort i kapittel 2 og 3 som bakgrunn for å kunne vurdere og tolke både valg av metode og resultater en kommer fram til.

Egenskaper til forskjellige typer kjemikalier og virkning av ulike blandinger

1.7 Alternative kjemikalier

1.7.1 Generelt

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

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

De ulike kjemikaliene kjennetegnes bl a ved frysepunktet for en mettet løsning. I tabell 2.1 er det satt opp en samleoversikt over egenskapene til de viktigste kjemikaliene som kan brukes som ismeltemiddel. Beskrivelsene i avsnitt 2.1 og 2.2 er i hovedsak basert på den oppgitte finske kilden (Järvinen, 1995). I tillegg er det benyttet en del svenske og amerikanske kilder (Öberg *et al*, 1991, FHWA 1996, Jørstad *et al* 1995, Minsk 1998)

Tabell 2.1: Viktige kjemiske egenskaper til kjemikalier som kan benyttes som ismeltemiddel. Kilde: Järvinen, Hanna-Liisa. *Technical Characteristics and Environmental Impacts of Deicing Chemicals*

Kjemikalium	Teoretisk frysepunkt (eutektisk) °C,		Effektiv temperatur	Endotermisk/ eksotermisk reaks'on	Hørskoitet
	tallet i parentes angir vekt% tørrstoff				
NaCl	-21	(23,3 %)	-8 - -12	Endotermisk	Lav
CaCl ₂	-51,6	(29,8 %)	-15 - -35	Eksotermisk	Hø
MgCl ₂	-33,3	(21,6 %)	-10	Eksotermisk	Høy, og høyere enn for CaCl ₂
CMA	-10 - -28		-10		Hø
Natrium Acetat NaCH ₃ COO ₂	ikke funnet		lavere enn for CMA		Høy
Kalsium Acetat CH ₃ COOK	-40	(50 %)			Høy
Natrium Formeat NACOOH	-14	(21 %)			
Kalcium Formeat Ca(COOH) ₂	-11	(13 %)	-4,4 - 8,5		
Urea	-11,7	(32,6 %)	-3 - -9		

I det følgende er det gitt en kort utfyllende kommentar til egenskapene til de ulike kjemikaliene. Som det framgår av tabell 2.1, er det viktig å skille mellom fryseegenskaper og bruksegenskaper med hensyn til temperaturgrenser. Det er også viktig å være klar over at stoffer som inneholder klor akselererer korrosjonen hos jern og stål, se avsnitt 2.2 for nærmere kommentarer når det gjelder materialpåvirkning.

1.7.2 Natriumklorid (NaCl)

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

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

- Tørt salt
- Befuktet salt
- Slurry
- Saltløsning

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

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.

1.7.3 Kalsiumklorid (CaCl₂)

Kalsiumklorid er tilgjengelig som granulat, flak eller i flytende form. Det kommersielt tilgjengelige produktet i fast form er normalt dihydrat ($\text{CaCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$). CaCl_2 har et frysepunkt på $-51,6^{\circ}\text{C}$ ved en konsentrasjon på vannløsningen på 29,8 %. 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 fordampning er en direkte funksjon av damptrykket, skjer fordampingen saktere fra en CaCl_2 -løsning enn fra vann. Overflatespenningen til en CaCl_2 -løsning er også høyere enn for vann – en egenskap som også hemmer fordampingen sammenlignet med vann. Overflater som er behandlet med CaCl_2 holder seg våte lenger fordi disse 3 egenskapene – hygroskopitet, lavt damptrykk og høy overflatespenning – forsinker fordampingen effektivt.

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

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

1.7.4 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 % dyrere enn flak. Det er ingen forskjell på løseligheten. Det er derfor naturlig å bruke flak for å produsere løsning. 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.

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 har en eutektisk temperatur på $-33,3^\circ\text{C}$ 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

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 befukningsmiddel, og vanlig befuktet salt hvor befukningen enten skjer med rent vann eller saltløsning basert på $NaCl$. En del av egenskapene som er listet opp ovenfor er derfor mer å anse som hypoteser foreløpig enn som dokumenterte fakta.

1.7.5 Kalsium Magnesium Acetat

Kalsium Magnesium Acetat (CMA) ble opprinnelig utviklet for å redusere de negative miljøpåvirkningene av konvensjonelle klorholdige kjemikalier. CMA framstilles gjennom en industriprosess. Kjemisk sett er CMA et salt av eddiksyre, og framstilling av CMA skjer gjennom reaksjon av et basisk materiale, f eks dolomittkalkstein, med eddiksyre. CMA leveres både som pellets og i flytende form.

CMA er svært hygroskopisk. Frysepunkt nedsettingen er avhengig av både størrelsen og formen på partiklene, tettheten av produktet og Ca/Mg-forholdet. Den eutektiske temperaturen til CMA ligger mellom $-10^{\circ}C$ og $-28^{\circ}C$ avhengig bl a av Ca/Mg-forholdet. Under anvendelse på veg er den effektive temperaturen på $-10^{\circ}C$, og det er observert tendenser til gjenfrysing ved lavere temperaturer.

CMA har dårligere løselighet enn $CaCl_2$ og $NaCl$ og smelteeffekten er derfor langsommere. Den største positive effekten av CMA sammenlignet med $NaCl$ er en betydelig redusert korrosjon, og CMA er mindre skadelig for betong enn $NaCl$. CMA har liten innvirkning på miljøet – særlig sammenlignet med $NaCl$.

Den største ulempen for CMA som et alternativt strømiddel i stort omfang er prisen, og nytte-/kostnadsaspektet er dessuten noe komplisert i et scenario med overgang til CMA som vil kunne gi store besparelser for bilistene i form av redusert korrosjon mens den store kostnaden med CMA faller på vegholder. CMA bør imidlertid kunne være et interessant alternativ i miljøømfintlige områder hvor det er ønskelig å begrense bruken av $NaCl$.

1.7.6 Natriumformeat ($NaHCO_2$)

Natriumformeat, kjemisk betegnelse $NaHCO_2$, er et hvitt krystallint pulver som også kan omdannes til noe større korn. Stoffet er et biprodukt ved framstilling av visse alkoholer (polyoler)

Natriumformeat er lettløselig med en eutektisk temperatur på $-14^{\circ}C$ ved en konsentrasjon på 20 vektprosent.

Effektiv temperatur ligger mellom $-5,6$ og $-10,8^{\circ}C$, dvs at frysepunkt nedsettingen er som for $NaCl$. Smelteeffekten er noe større enn for $NaCl$, noe som kan ha sammenheng med kornstørrelsen. Natriumformeat forårsaker ikke avskalling på betong, men i kvaliteter som inneholder klorider (forurenset) vil virke korrosivt. Natriumformeat er 5-6 ganger dyrere enn $NaCl$.

1.7.7 Kalsiumformeat ($\text{Ca}(\text{COOH})_2$)

Kalsium formeat ($\text{Ca}(\text{COOH})_2$) er tilgjengelig i krystallinsk form og er løselig i vann. Kalsium formeat har en eutektisk temperatur på $-11\text{ }^\circ\text{C}$ ved en konsentrasjon på 13 vektprosent. Lite kjent ellers om virkningen som issmeltemiddel.

1.7.8 Kalsiumacetat

Kalsiumacetat er nært beslektet med CMA, men er til forskjell fra CMA flytende. Kalsiumacetat er framstilt som et alternativ til urea til bruk på flyplasser. Frysepunktet er på ca $-40\text{ }^\circ\text{C}$ for en 50 % vannløsning.

Det er funnet at kalsiumacetat har en hurtigere og bedre effekt enn urea, men det er stilt spørsmål ved langtidseffekten. Kalsiumacetat er hygroskopisk. En klar fordel med kalsiumacetat framfor urea og NaCl er at stoffet er lite korrosivt.

1.7.9 Aviform

Aviform består av 50 vektprosent kaliumformeat pluss korrosjonsinhibitor. Frysepunktet er under $-50\text{ }^\circ\text{C}$, men virkningsområdet er ned til $-10\text{ }^\circ\text{C}$. Aviform kan ikke brukes direkte på snø-/istykkelser på over 3 mm. Dosering fra 15-120 g/m^2 avhengig av temperatur.

1.7.10 Urea

Urea er handelsnavnet på karbamid, $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, en kjemisk forbindelse som bl a brukes som gjødsel i landbruket. Urea benyttes i nokså stor utstrekning på flyplasser bl a fordi det er mindre korrosivt enn kloridsalter. Det er imidlertid stilt spørsmål ved miljøulempen og da særlig grunnvannsforurensning.

Som issmeltemiddel er urea mindre effektivt enn salt. Den teoretisk laveste temperaturen er $-11,7\text{ }^\circ\text{C}$ for å smelte snø og is, men i praksis er urea virksomt bare ned til ca $-4\text{ }^\circ\text{C}$. Prisen er betydelig høyere enn for NaCl.

1.8 Nedbryting av materialer

Som nevnt vil stoffer som inneholder klor akselerere korrosjonen hos jern og stål, og klorider vil dessuten også kunne virke nedbrytende på andre typer materialer. Når det gjelder bilparken, har det skjedd såvidt mye forbedringer i produksjonsprosessen at rust ikke lenger er en viktig årsak til at biler skrotes. Selv om korrosjon som følge av vegsalting likevel fortsatt er årsak til økte bilkostnader og verdiforringelse på bilene, ligger nok en god del av merkostnaden for bilparken som følge av salting av vegnettet i at det må brukes dyrere korrosjonsbestandige materialer og rustbehandling med coating.

I tillegg til å angripe jernholdige materialer, vil kjemikalier som benyttes som strømiddel også i ulik grad kunne virke nedbrytende på betong og asfaltdekker.

1.8.1 Korrosjon

Korrosjon er definert som en fysisk nedbryting av et materiale forårsaket av en kjemisk prosess. Dette kan forårsake at armert betong brytes ned på to måter. For det første svekker korrosjonen armeringen slik at betongstrukturen mister mye av styrken. For det andre øker

volumet gjennom den kjemiske reaksjonen som oppstår ved korrosjon slik at det oppstår avskalling. Nedbrytingen av betongen øker sprekkdannelsen slik at kloridene får en lettere vandring til stålkonstruksjonene.

Når det gjelder korrosjon viser bl a svenske forsøk at CMA er vesentlig mindre korrosivt enn både NaCl og CaCl₂. Urea er også klart mer skånsom enn de nevnte saltene når det gjelder korrosjon.

1.8.2 Betong

Klorholdige kjemikalier som saltene NaCl, CaCl₂ og MgCl₂ bryter ned strukturen i betongen både kjemisk og fysisk. Skadene er forårsaket av en kjemisk reaksjon. Særlig CaCl₂ og MgCl₂ kan i reaksjon med kalsiumoksyd i betongen danne svellende kloroksyder som øker porøsiteten i betongen. Korrosjonen på armeringsjern gjør at det dannes strekkrefter når volumet på jernet øker, noe som fører til avskalling av betongen. Nedbrytingen av betongen vil også øke ved bruk av hygroskopiske kjemikalier ved at vegbanen er våt lenger og antall fryse-tine sykluser øker.

Flere forsøk, bl a tester i Sverige, har vist at CMA er mindre aggressivt mot betong enn konvensjonelle salter, men at innvirkningen på betongen vil være avhengig av konsentrasjonen på løsningen, temperatur og betongkvaliteten. Etter at avskallingseffekten er på et maksimum for klorider ved en konsentrasjon på 3-4 %, avtar avskallingseffekten for NaCl, men øker bratt for CaCl₂ og MgCl₂. Avskallingseffekten for CMA utvikler seg på en annen måte. CMA-kurven har ikke noe maksimum, men øker lineært med økende konsentrasjon. Dvs at det avhengig av konsentrasjonen ikke er gitt at CMA har en mindre nedbrytende effekt på betong enn NaCl dersom det skjer en anrikning av CMA gjennom fordampning.

Både betong og armeringsjern kan beskyttes med coating eller en vanntett membran, så problemet med klorider kan begrenses. Det er imidlertid viktig å være klar over at når en har nådd et visst forurensningsnivå, vil nedbrytingen fortsette selv om en går over til en annen strøstrategi.

1.8.3 Asfaltdekker

Såvidt en kjenner til er det ikke gjennomført nyere forskning når det gjelder hvordan ulike kjemikalier virker inn på asfaltdekker. Dette anses derfor å være et område det vil være interessant å se nærmere på.

1.9 Miljøvirkninger av salting

Flere studier (For eksempel: Amrhein *et al.* 1992; Bäckman & Folkesson 1994; Labadia & Buttle 1996; Åhnberg & Knecht 1996; Åstebøl *et al.* 1996; Blomqvist 1998) har beskrevet og belyst miljøproblemer knyttet til bruken av salt på veinettet. Problemer som kan nevnes er:

1. Skader i ferskvannsmiljø:
 - Dannelse av "tungt" saltholdig bunnvann som fører til oksygenvinn i nedre vannsjikt
 - Respirasjonsproblemer og dehydrering for organismer pga endringer i osmoseforholdene
 - Foringelse av grunnvannskvaliteten som følge av høyt klorinnhold

- Tilførsel av natrium kan føre til utlekking av magnesium og kalsium som følge av ionebytte. Dette bidrar til økt ledningsevne
2. Skader i jord:
- Tilførsel av natrium fører til dårlig jordstruktur og nedbryting av jordaggregater. En slik jord vil ha dårlig permeabilitet for luft og vann. Natrium vil også kunne føre til utvasking av andre metaller som aluminium, kalsium og magnesium som følge av ionebytting. Det vil også kunne føre til utvasking av PAH (polysykliske aromatiske hydrokarboner)
3. Skader på vegetasjon:
- "Svidde" blader og nåler (kloridtoksisitet). Skadene varierer mellom forskjellig arter pga av ulik toleransenivå. Eksempel på norske arter med høyst ulik toleranse ovenfor salt er gran (*Picea abies*) og furu (*Pinus sylvestris*). Førstnevnte har lav toleranse, mens sistnevnte har høy toleranse
 - Ubalanse i næringsstoffene
 - Økte saltkonsentrasjoner i rotsonen vil gi osmotiske problemer og reduserer opptaket av vann

Ettersom salting representerer en betydelig forurensingskilde, prøves det stadig å finne andre

produkter og metoder som kan være et alternativ til utlegging av ordinær NaCl. I prosjektet i Oslo er det benyttet en metode bestående av 70 % NaCl og 30 % MgCl₂-løsning (20 % Mg). En av grunnene til å benytte MgCl₂-basert salting er nettopp for å prøve å redusere saltingsskadene på vegetasjonen, jorda og ferskvann. Det er blant annet hevdet fra AS Norske Saltkompagni at ved å benytte MgCl₂-løsning vil det totale forbruket reduseres, samt at produktet er mer "miljøvennlig" pga av at magnesium er et essensielt plantenæringsstoff i motsetning til natrium.

Ut i fra et litteratursøk, ble det kun funnet tre studier som omhandler miljøeffekter ved bruk av MgCl₂ på veier. Det ble ikke funnet noen studier som benyttet MgCl₂ i kombinasjon med NaCl som i forsøkene i Oslo. Konklusjoner fra studiene av MgCl₂ er gitt nedenfor.

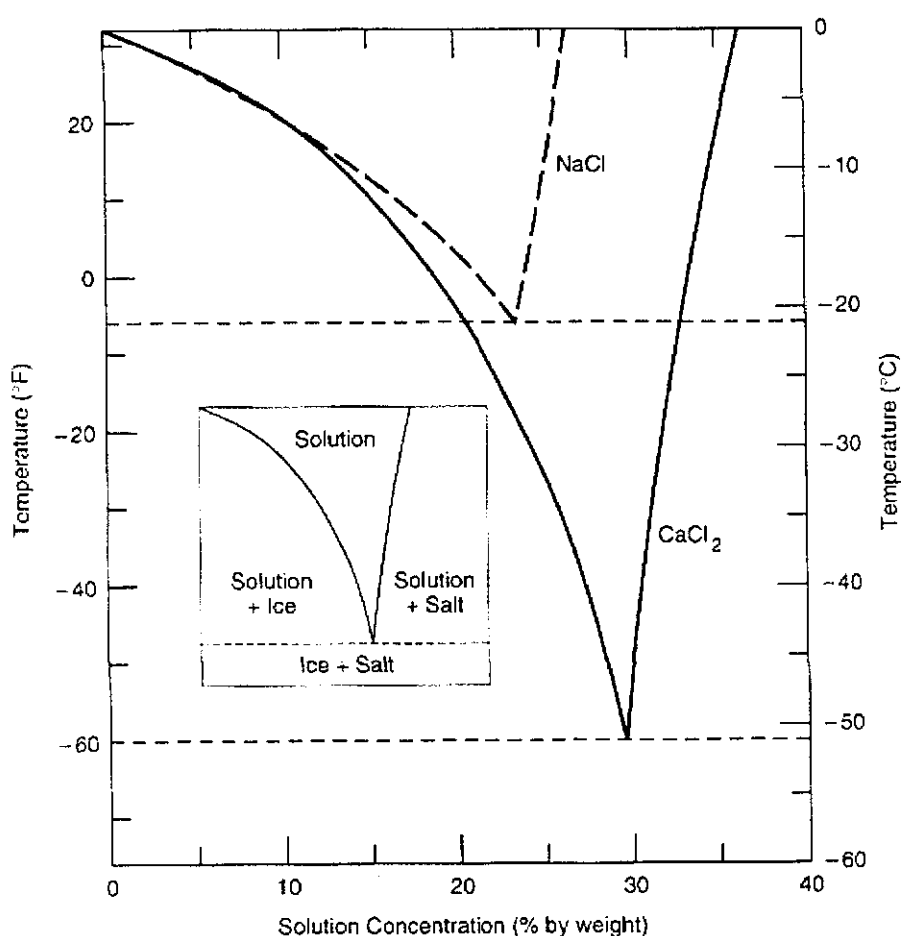
I en amerikansk undersøkelse utført av Minner *et al.* (1998) sammenlignet man skader på vegetasjon ved bruk av blant annet NaCl (Rock Salt) og MgCl₂ – hexahydrate. Ved samme mengdeforhold fant de mindre vegetasjonskader ved bruk av MgCl₂ – hexahydrate enn NaCl. Imidlertid ble resultatet motsatt når saltypene ble korrelert for samme vekt.

Fitch og Roosevelt (2000) fant ingen signifikante forskjeller mellom NaCl, NaCl + MgCl₂ + H₂O (i forholdet 23:1:76) og MgCl₂ (30 % løsning) ved bruk av spiretest. Imidlertid utførte de også en test på vegetasjonen langs veikanten. Her fant de at NaCl alene førte til større skader på vegetasjonen enn hvis man benyttet blandingen av NaCl og MgCl₂ (samme konsentrasjon).

I en rapport presentert under konferansen "Annual Conference of the Transportation Association of Canada" (1991) vedrørende miljøeffekter ved bruk av Dust-Off[®] (~30 % MgCl₂ + 70 % H₂O), konkluderte man med at risikoen for skader er størst i umiddelbar nærhet av de saltede arealene. Imidlertid vil effekten av fortynning begrense skadeområdet relativt raskt.

Betydningen av befuktning for å øke virkningsgraden

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



Figur 3.1: Fasediagrammer for løsninger av NaCl og CaCl₂. Kilde: FHWA 1996

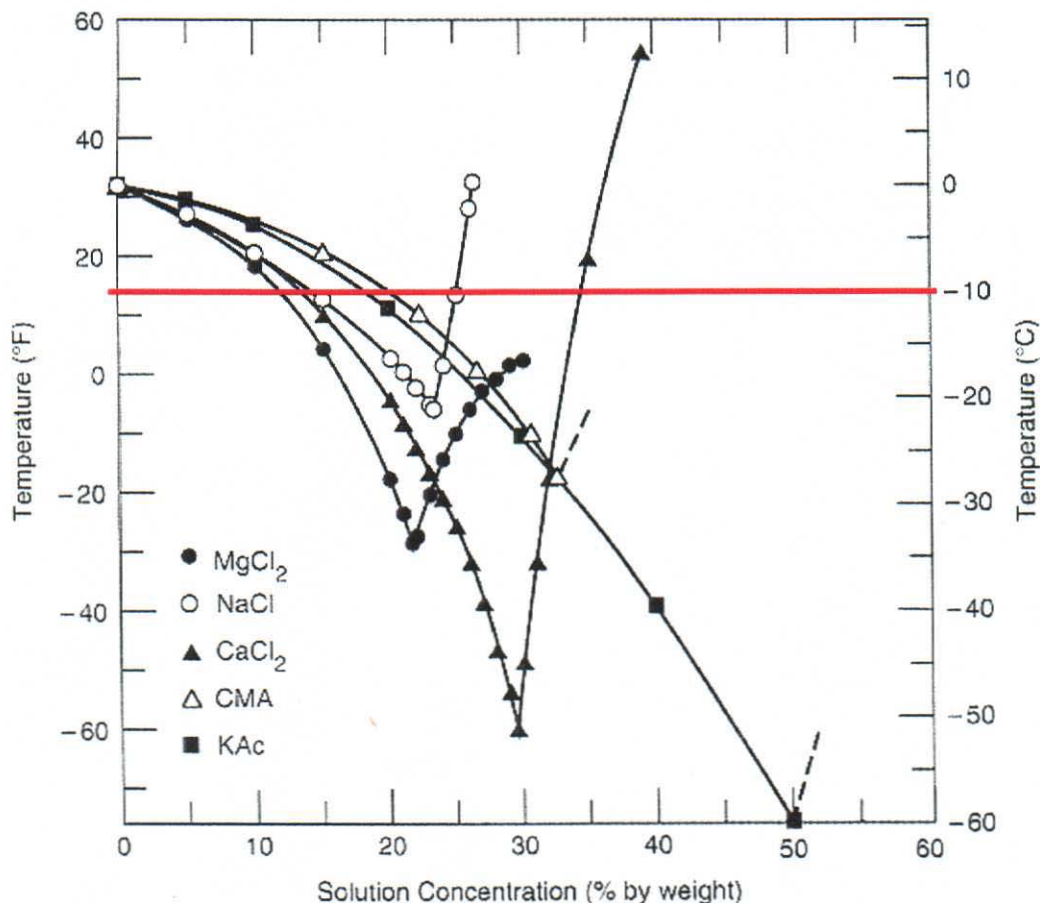
For å illustrere forskjellen mellom ulike kjemikalier og hvilken innvirkning konsentrasjonen på saltløsningen har for fryseforløpet, er fasediagrammene for NaCl og CaCl₂ gjengitt i figur 3.1. Det generelle er at frysepunktet for en saltløsning avtar med økende konsentrasjon opp til det eutektiske frysepunktet som nås ved en bestemt konsentrasjon, jfr tabell 2.1. Frysepunktet for saltløsningen vil deretter stige etter hvert som konsentrasjonen øker ut over

det eutektiske punktet. Saltløsninger som har en konsentrasjon som er lavere enn det eutektiske punktet, har et frysepunkt som er lavere enn smeltepunktet for ren is (0°C).

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

En kan også se av figur 3.1 at fasediagrammene for NaCl og CaCl_2 , som skiller seg ut fra andre kjemikalier med et svært lavt eutektisk frysepunkt, ikke skiller seg særlig fra hverandre i området fra 0°C og ned til -10°C og faktisk ned mot -15°C . Dette tyder på at det svært lave eutektiske frysepunktet for CaCl_2 ikke er av særlig praktisk betydning.

Fasediagrammet for MgCl_2 framgår av figur 3.2 hvor det også er tatt med diagrammene for de andre kloridløsningene samt CMA og kalsiumacetat.



Figur 3.2: Fasediagrammer for ulike kjemiske løsninger. Kilde: FHWA 1996

Hvis en tar utgangspunkt i en bestemt temperatur under 0°C men samtidig over den eutektiske temperaturen for NaCl, ser en at MgCl_2 vil fryse ved en lavere konsentrasjon enn tilsvarende konsentrasjoner av CaCl_2 og NaCl. F eks ved -10°C vil MgCl_2 fryse ved en konsentrasjon på ca 11 %, mens CaCl_2 og NaCl vil fryse omkring henholdsvis 12,5 % og

13,5 %. Dette betyr at MgCl_2 kan uttynnes mer enn de andre kloridløsningene før frysing ved en gitt temperatur. Samtidig er det viktig å være klar over at når fryseprosessen først starter, skjer denne tilfrysingen raskere for MgCl_2 enn både for CaCl_2 og NaCl . Dette kommer av at helningen på kurven til venstre for det eutektiske frysepunktet er brattere for MgCl_2 enn for de andre saltene. Forskjellen avtar ved stigende temperatur til fryseegenskapene er omtrent identiske ved -3°C tilsvarende en konsentrasjon på ca 5 %. Figur 3.2 illustrerer også at det er naturlig å teste egenskapene til MgCl_2 i forhold til NaCl siden forskjellene i fryseegenskaper er størst for disse to kloridene i det aktuelle temperaturområdet.

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

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

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

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

Det er også andre uavklarte spørsmål i forhold til bruk av MgCl_2 -løsning som befuktning, bl a hvorvidt dette vil være en anvendelig metode også under snøvær. Siden kontraktøren har stilt stort spørsmålstegn ved å bruke MgCl_2 under snøfall ut fra en del observasjoner som ble gjort, ble det tatt først tatt beslutning (11. mars) om bare å bruke tørt salt i slike tilfeller. Selv om det fortsatt er tvil om bruk av magnesiumklorid under snøfall, er dette senere revurdert i forbindelse med den uttestingen som foregår. For å kunne trekke konklusjoner om bruksområdet og virkninger sammenlignet med andre metoder, bør magnesiumklorid derfor brukes konsekvent under alle typer forhold det saltes under.

Når det gjelder CMA, kan faseagrammet i figur 3.2 tydes slik at en CMA-løsning fryser ved en høyere konsentrasjon sammenlignet med kloridsalter innenfor hele det aktuelle temperaturområdet for salting. Dette vil kunne påvirke doseringen ved at mengden av CMA trolig må økes sammenlignet med f eks NaCl for å smelte samme mengde snø og is uten fare for gjenfrysing. Her må det imidlertid presiseres at en ikke har kjennskap til at det er gjort slike direkte sammenligninger på veg.

Undersøkelseopplegg

1.10 Generelt

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

1.11 Forsøksområde

Sesongen 2001/2002 ble det tatt i bruk $MgCl_2$ -løsning som befuktning av $NaCl$ på det vegnettet som Vaktmesterkompaniet drifter innenfor Ring 3 med unntak av en kort referansestrekning, se figur 4.1 på neste side. På referansestrekningen er det kun strødd tørt salt ($NaCl$) uten befuktning.

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.

Fra starten av 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) å endre referansestrekningen til Rv 168 mellom Majorstua og Smestad, en strekning på 2,1 km. Referansestrekningen er sammenlignet med Rv 161 mellom Uelands gate og Vigs gate som har en lengde på 2,0 km.

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

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



Figur 4.1: Forsøksområde hvor det er benyttet en metode med $MgCl_2$ -løsning som befuktning til tørt $NaCl$ i Oslo sesongen 2001/2002. På referanserekningen er det benyttet tørt salt

1.12 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) inkludert fotografering med kamera på friksjonsmålebil
- klimadata fra SVO's klimastasjoner samt målestasjoner for luftkvalitet som er representative for det aktuelle området
- klimadata fra Valle Hovin og Blindern
- trafikkdata
- fotografering for å dokumentere opptørringstiden på fast definerte strekninger/punkter
- kjemiske jordanalyser av massen som ligger i rennesteinen

1.12.1 Maskiner til disposisjon / friksjonsmåling

Vaktmesterkompaniet har benyttet sitt faste utstyr til prøveprosjektet. Strøbilen ble kontrollert og kalibrert før forsøkene ble startet opp. Den aktuelle strøbilen har påmontert friksjonsmåler av typen Kofriks.

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, men det er ikke laget rutine for å generere gjennomsnittsverdier i driftsrapporten slik at det ikke har vært mulig å ta ut friksjonsdata fra strøbilen sesongen 2001/2002. Fra og med neste sesong vil dataene fra Kofriks blir gjort tilgjengelige.

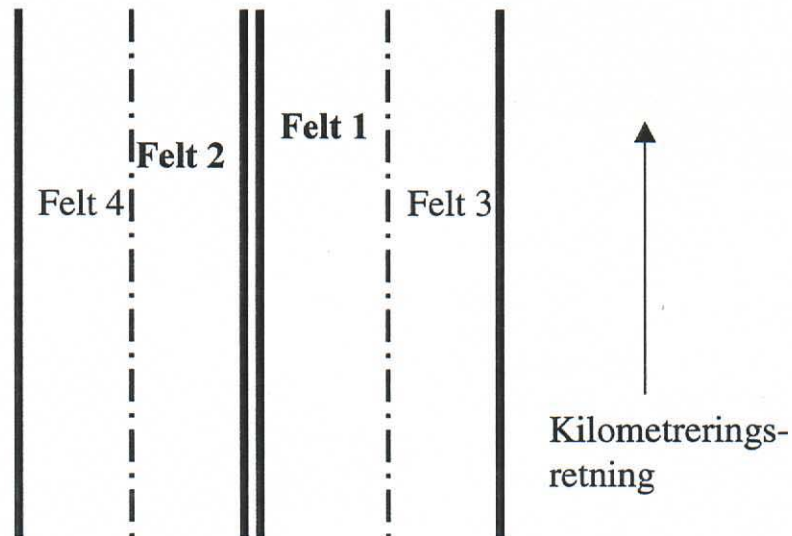
1.12.2 Friksjonsmålinger med egen målebil

Til friksjonsmålinger til faste tidspunkter er målebil fra Akershus benyttet. Friksjonen er målt med utstyr av typen Roar Mark I som er utstyrt med et ASTM målehjul med blankt dekk. Det er målt friksjon både på Rv 161 og Rv 168 på de delstrekningene som er oppgitt i tabell 4.1

Tabell 4.1: Delstrekninger hvor det er målt friksjon med Roar Mark I

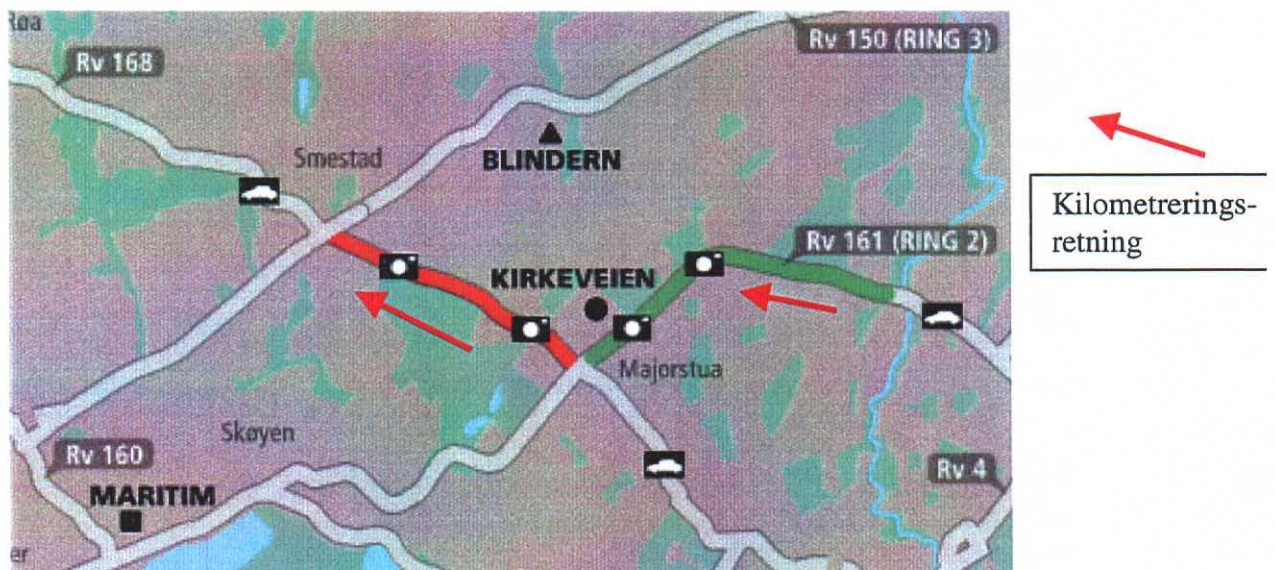
Veg	Strekning	Felt	Start Hp	Start km	Slutt Hp	Slutt km	Lengde i km
Rv 161	Uelands gt – Vigs gt	1	2	4,00	2	6,00	2,00
Rv 168	Majorstua – Smestad	1, 2	1	1,90	1	4,00	2,10

Roarmålingene er foretatt i felt 1 og 2 på Rv 168, og i felt 1 på Rv 161. Hovedregelen har vært at Roarmålingene er utført i 5-6-tida om morgenen. Prinsippet for feltinndelingen framgår av figur 4.2 på neste side. Felt 1 og 3 går i kilometreringsretningen, dvs at på Rv 168 er det foretatt friksjonsmålinger i begge retninger.



Figur 4.2: Prinsipp for nummerering av kjørefelt

Kilometreringsretningen for begge strekningene er den rekkefølgen som framgår av tabell 4.1. Rv 161, Kirkeveien, og Rv 168, Sørkedalsvegen, krysser hverandre på Majorstua. Dvs at slutten på målestrekningen på Rv 161 er omtrent sammenfallende med starten på målestrekningen på Rv 168 når en ser i kilometreringsretningen, se figur 4.3.



Figur 4.3: Oversikt over delstrekninger hvor det er målt friksjon

1.12.3 Klimadata

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

- E18 Fiskvoll
- E18 Maritim
- E6 Furuset

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

Helsevernetaten i Oslo har dessuten gitt tillatelse til å benytte klimadata fra stasjonen på Valle Hovin, og det foreligger tilgjengelig data for prosjektet fra denne stasjonen for januar, februar og mars. I tillegg har DNMI levert data fra Blindern i perioden november 2001 – mars 2002.

1.12.4 Trafikkdata

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

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

Dvs at det foreligger representative trafikktegninger for de 2 strekningene som er sammenlignet. Tellingene på Rv 168 ved Wergelandsveien er ikke benyttet i analysene siden denne strekningen ligger såvidt langt unna referansestrekningen som er valgt ut.

1.12.5 Fotografering for å dokumentere opptørkingstiden

For å dokumentere opptørkingstiden er det foretatt fotografering av vegbanen. Det er valgt ut bestemte referansesteder for fotografering morgen og ettermiddag i de perioder det er utført tiltak. Det er valgt steder som er vindutsatt/ikke vindeksponert og strekninger som er soleksponert/ligger i skyggen. Hensikten har vært å fremskaffe data på hvor effektivt $MgCl_2$ holder på fuktigheten kontra $NaCl$.

Det er valgt 2 fotosnitt både på Rv 161 og på referansestrekningen, se tabell 4.2.

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

Tabell 4.2: Punkter det er foretatt fotografering for å dokumentere opptørkingstiden

Veg	Strekning	Punkt 1	Punkt 2
Rv 161 (befuktning med $MgCl_2$ -løsning)	Uelands gt – Vigs gt	Suhrns gt	Ullevål
Rv 168 (tørt salt, referansestrekning)	Majorstua – Smestad	Borgen	Volvat

1.12.6 Kjemiske jordanalyser av massen som ligger i rennesteinen

For å dokumentere en eventuell akkumulering av $MgCl_2$ i vegstøvet som ligger i rennesteinen er det tatt prøver av denne massen. Det er valgt ut bestemte referansepunkter for prøvetaking ut fra at det skal være med punkter som er vindutsatt/ikke vindeksponert og gater med mye trafikk/middels trafikk. Punktene som er valgt ut for jordprøver er sammenfallende med fotosnittene på begge strekningene. Jordprøvene er analysert kjemisk for henholdsvis $MgCl_2$ og $NaCl$.

Resultater

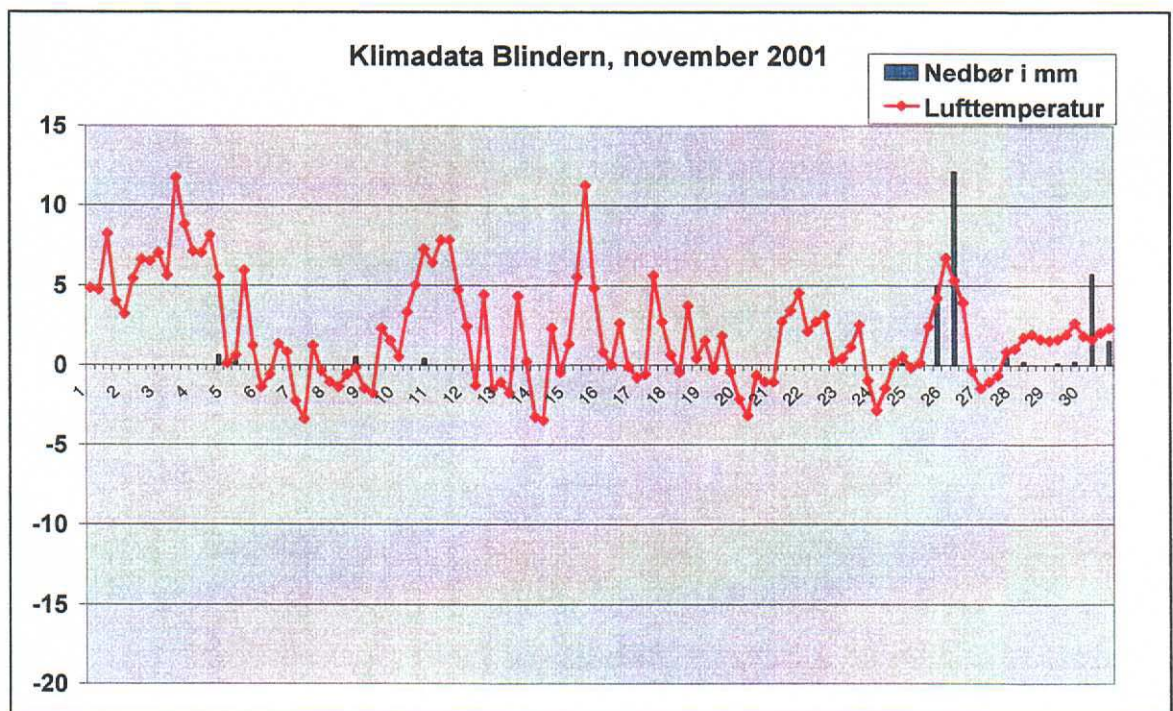
1.13 Praktiske erfaringer

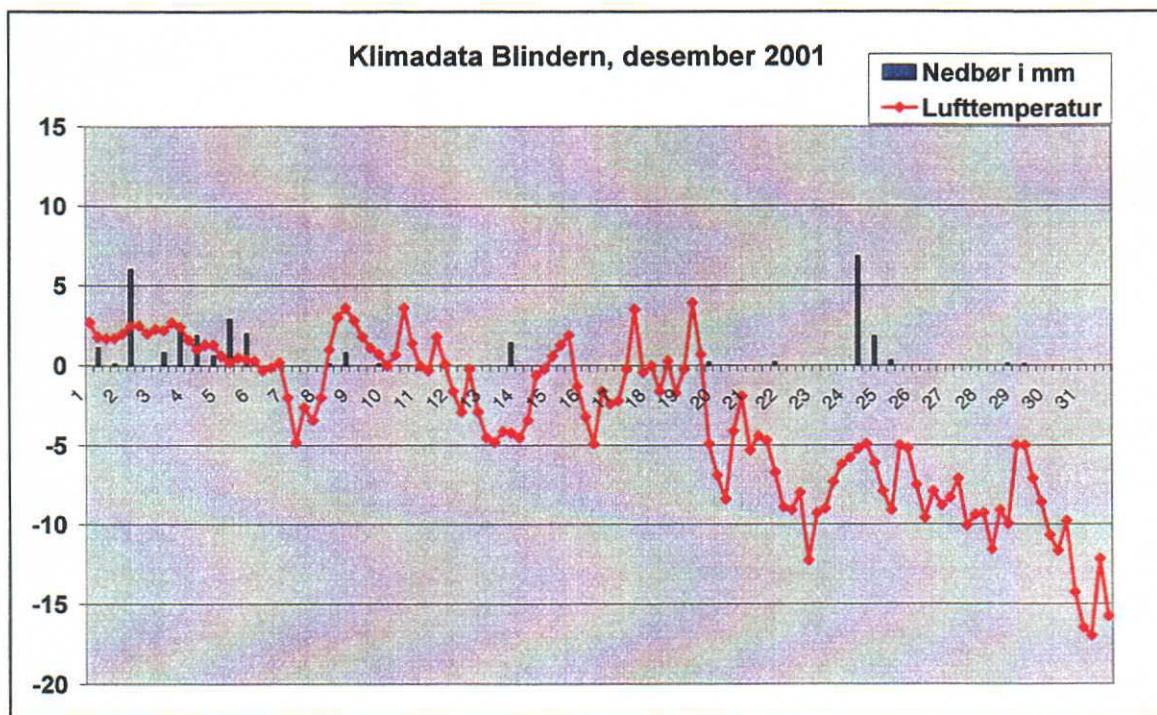
I følge Vaktmesterkompaniet har sesongen 2001/2002 vært en interessant periode med prøving og feiling, og erfaringene er at det "ikke er bare å bruke magnesiumklorid". Det praktiske rundt prøveprosjektet har imidlertid gått bra. Av momenter som er kommet opp kan nevnes:

- bruk av $MgCl_2$ stiller krav både til utstyr og sjåfør
- Det kan oppstå uheldige resultater, bl a er det observert tilfeller med glatt veg under snøfall
- Som preventiv salting er det gode erfaringer med bruk av $MgCl_2$ -løsning som befuktning, men det har ikke vært forhold for å prøve ut metoden under kalde perioder
- Resultatene må sees i lys av at en prøver å bruke små mengder kjemikalier, og at en ligger på minimum av det som det er mulig å dosere riktig
- Det er 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 ønsker å legge inn dette som et element i prosjektet
- Det er observert at $MgCl_2$ ser ut til å gi en svartere overflate enn $NaCl$
- Det er også et inntrykk at trafikkhastigheten har betydning for effekten av kjemikalier

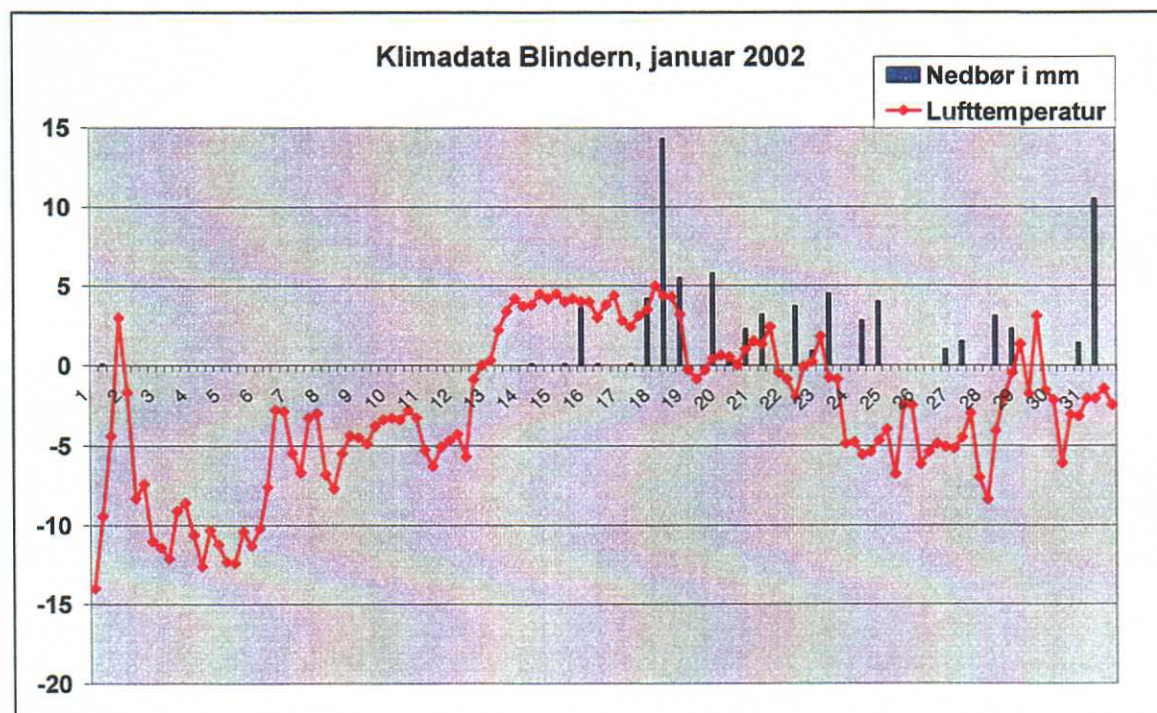
1.14 Klimadata

En har valgt å gjengi klimadata for alle stasjonene en har registreringer fra for å se hvor godt de ulike stasjonene representerer studieområdet. I figurene 5.1 – 5.5 er gjengitt klimadata fra Blindern på månedsbasis for perioden november – mars. Avlesninger av nedbør (akkumulert) og lufttemperatur er gjort 4 ganger i døgnet, dvs hver 6. time.

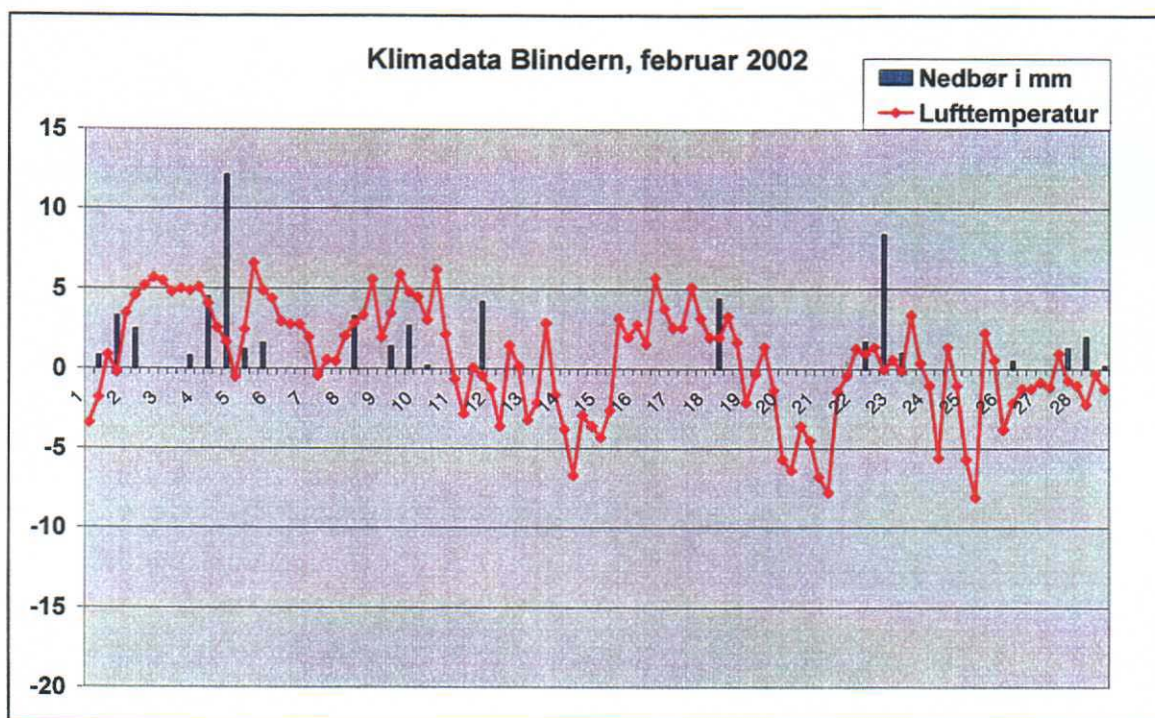




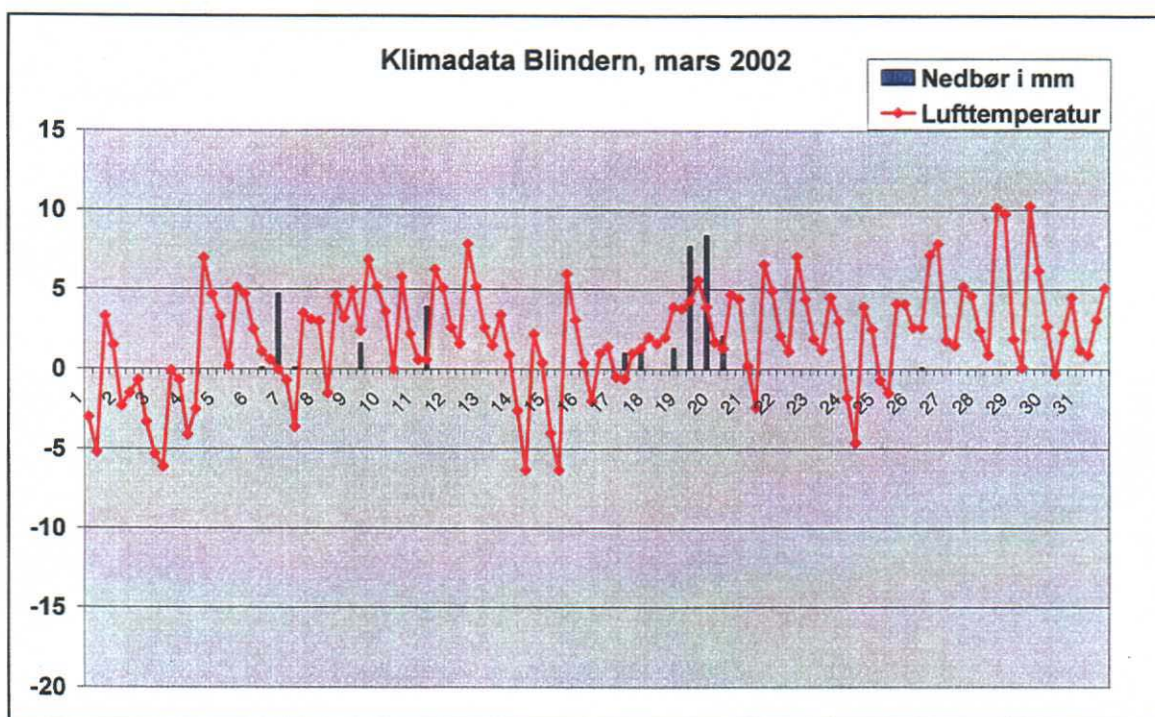
Figur 5.2: Klimadata Blindern desember 2001



Figur 5.3: Klimadata Blindern januar 2002

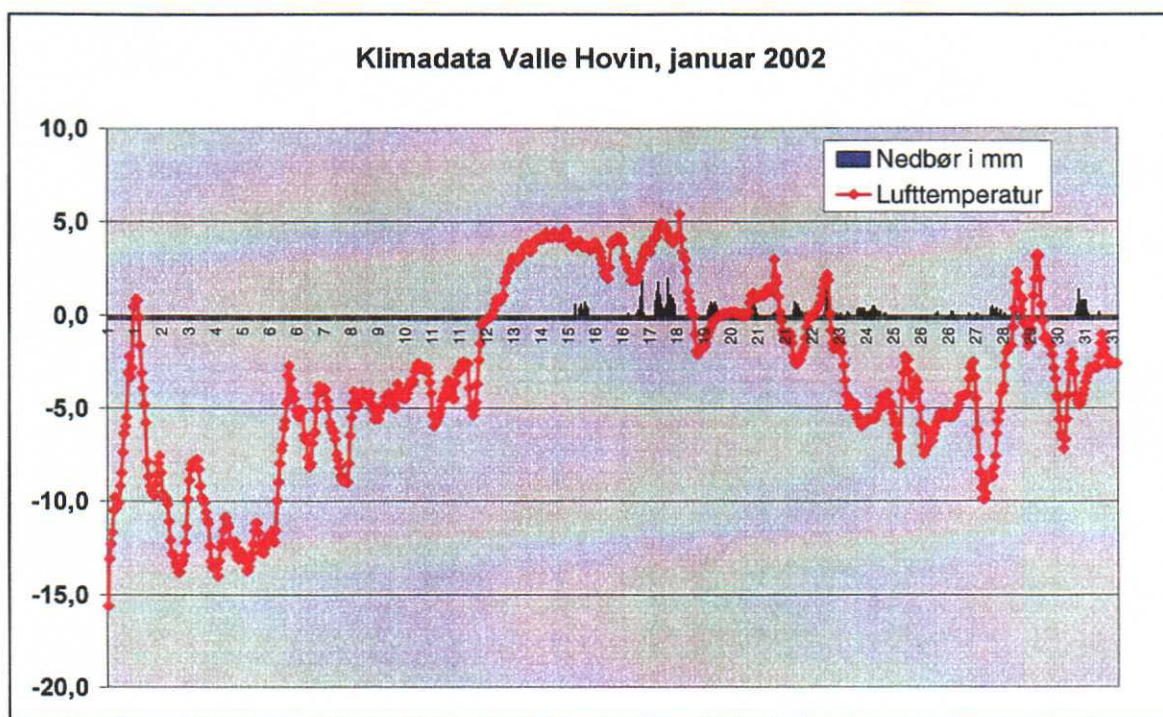


Figur 5.4: Klimadata Blindern februar 2002

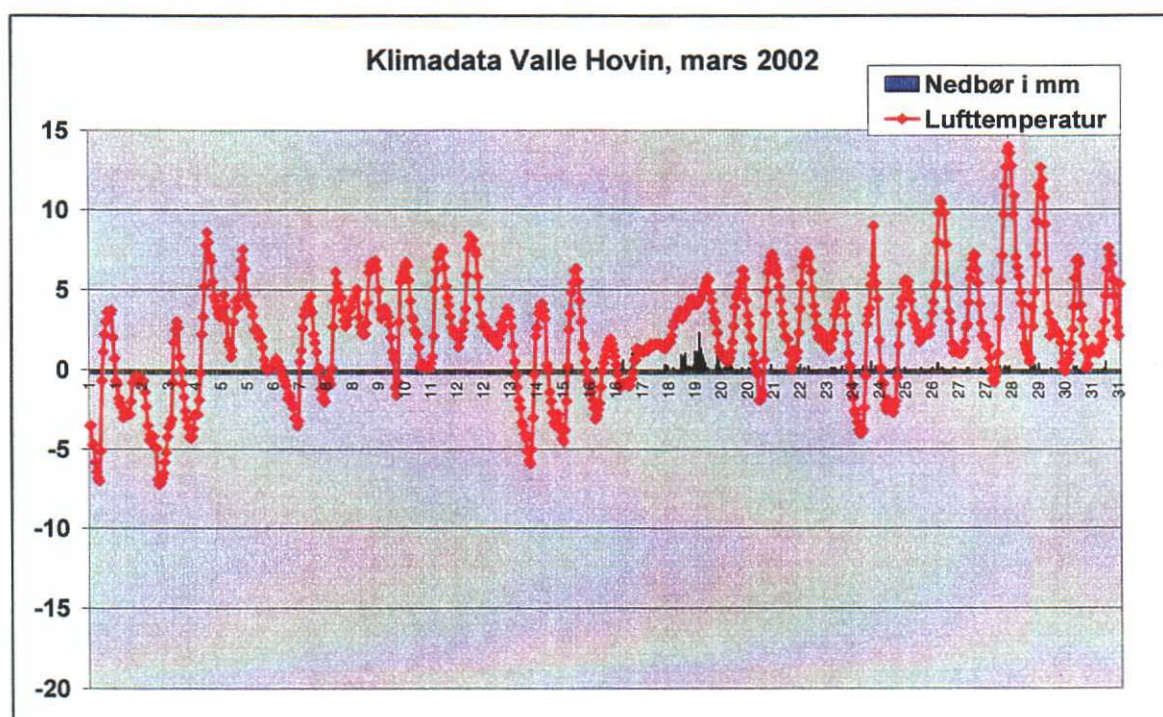


Figur 5.5: Klimadata Blindern mars 2002

Som en ser av figurene 5.1 – 5.5 var det bare en kort periode i månedsskiftet desember/januar at temperaturen var lavere enn minus 10 °C og noen korte perioder med temperaturer i området minus 5 til minus 10 °C, noe som underbygger at en hadde få tilfeller av tiltak ut over temperaturområdet for NaCl sesongen 2001/2002. En kan også legge merke til at november var mild og nedbørsfattig. Det samme var tilfelle for mars som normalt er en snørik måned.



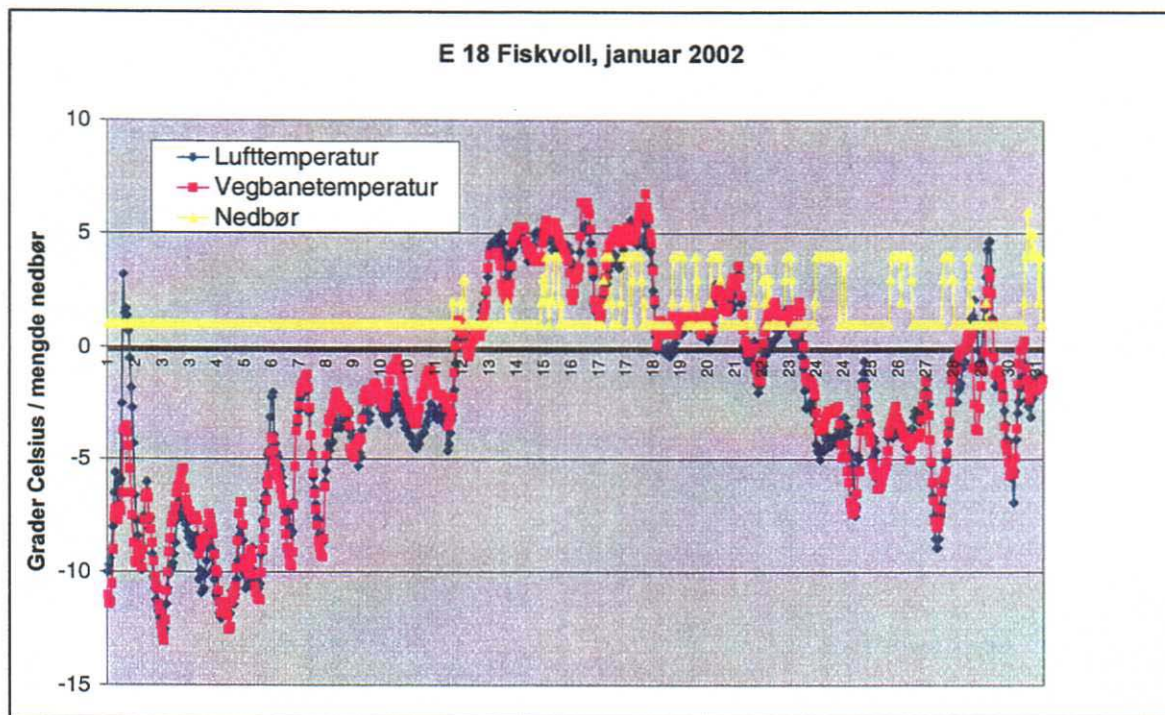
Figur 5.6: Klimadata Valle Hovin, januar 2002



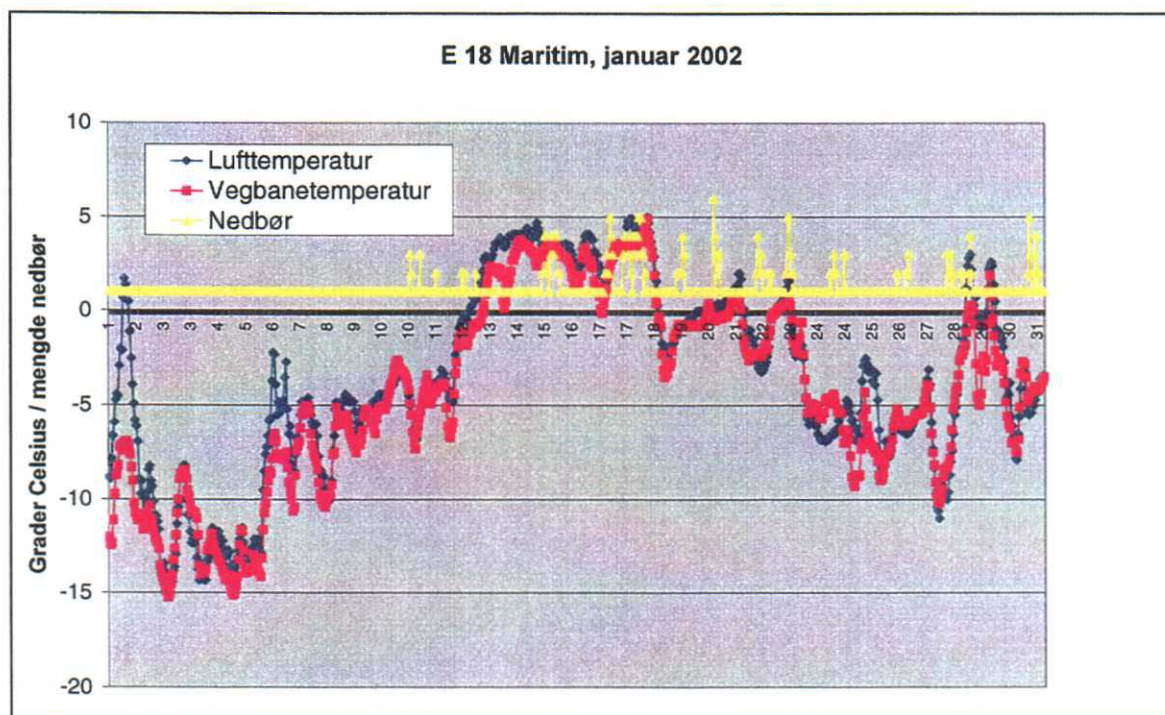
Figur 5.7: Klimadata Valle Hovin, mars 2002

Figurene 5.6 – 5.7 viser klimadata fra stasjonen på Valle Hovin. Disse dataene er på timesbasis. Både for januar og mars er det bra samsvar mellom temperaturverdiene fra Blindern og Valle Hovin, se også avsnitt 5.3.

I figurene 5.8 - 5.11 er det vist eksempler på statistikk fra SVO's klimastasjoner i Oslo. I tillegg til temperatur- og nedbørsdata, blir det foretatt beregninger av frysepunkt og overflatetilstand. Dette er imidlertid data det er vanskelig å knytte direkte til prøveprosjektet siden klimastasjonene ligger utenfor forsøksområdet.

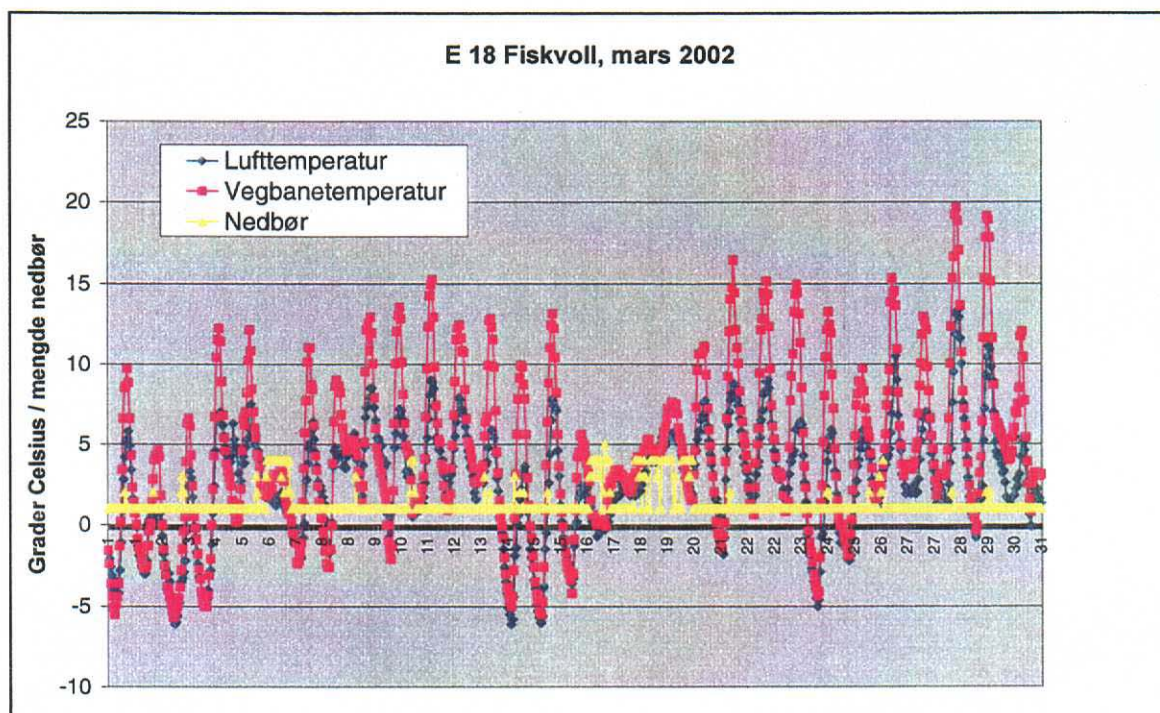


Figur 5.8: Klimadata fra SVO's klimastasjon på Fiskvoll, januar 2002

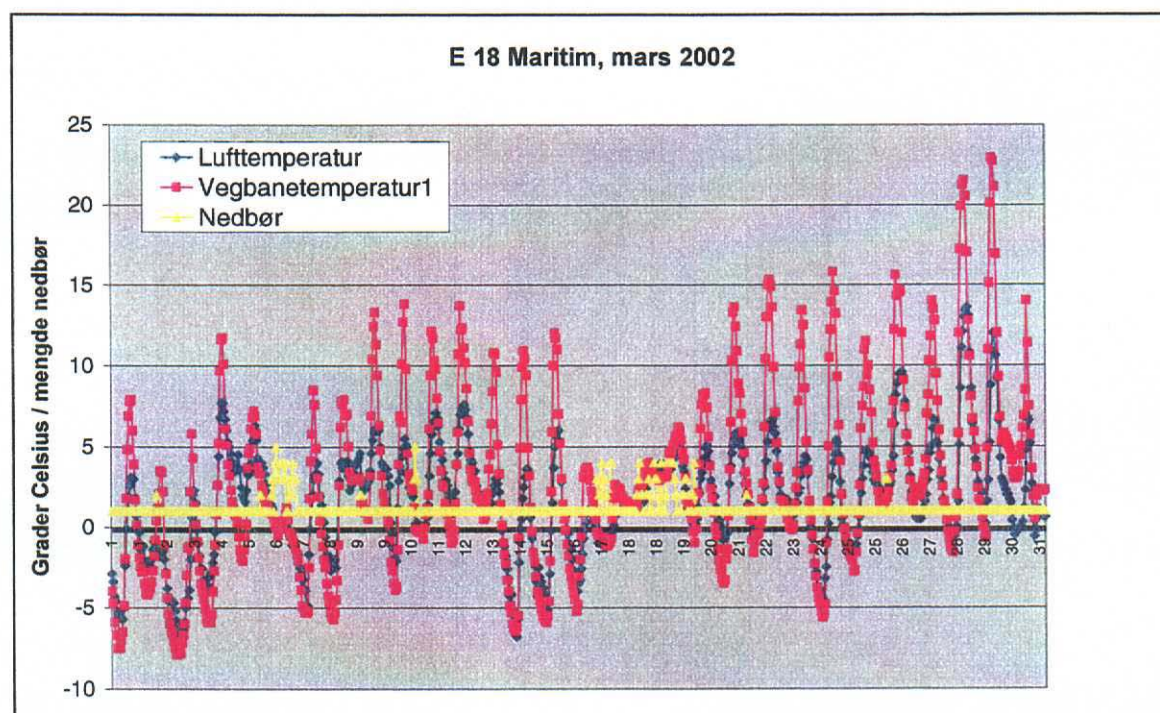


Figur 5.9: Klimadata fra SVO's klimastasjon på Maritim, januar 2002

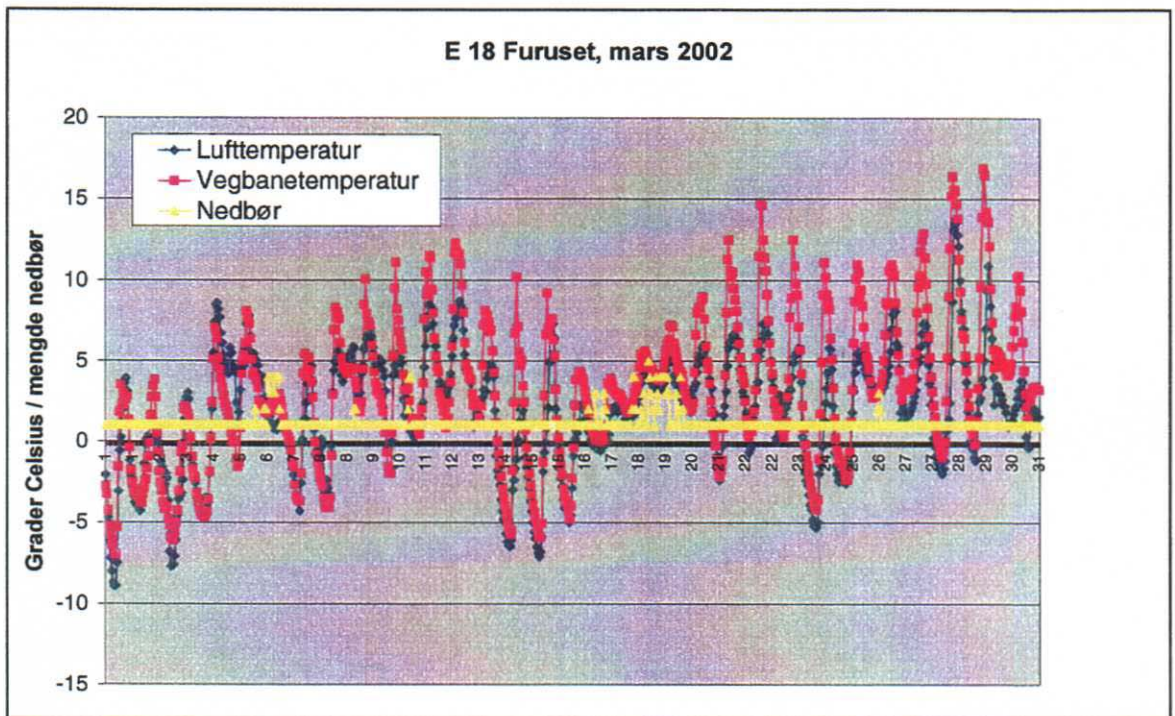
I januar var gjennomsnittstemperaturen på Fiskvoll henholdsvis $-2,1$ i luft og $-2,0$ i vegbane, mens tilsvarende temperaturer ved stasjonen på Maritim ble målt til $-3,5$ i luft og $-4,3$ i vegbane. Dvs at det var kaldest ved Maritim.



Figur 5.10: Klimadata fra SVO's klimastasjon på Fiskvoll, mars 2002



Figur 5.11: Klimadata fra SVO's klimastasjon på Maritim, mars 2002

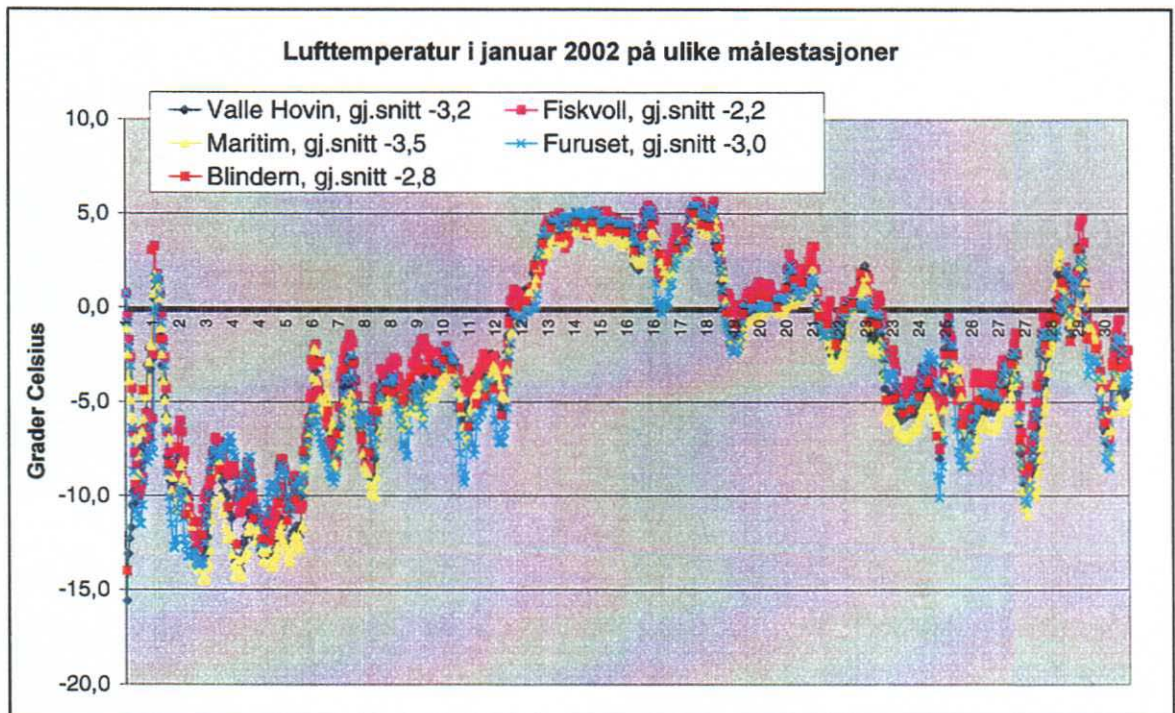


Figur 5.12: Klimadata fra SVO's klimastasjon på Furuset, mars 2002

Også i mars var gjennomsnittstemperaturen 1-2 grader lavere på Maritim enn på Fiskvoll. Stasjonene på Fiskvoll og Furuset lå omtrent på samme nivå.

1.15 Sammenligning av ulike kilder for klimadata

I figur 5.13 er det vist en sammenstilling av lufttemperaturen i januar fra alle 5 målestasjonene en har data for.



Figur 5.13: Sammenligning av lufttemperatur fra ulike målestasjoner, januar 2002

Som det framgår av figur 5.13 er det bra samsvar mellom temperaturverdiene som er målt i ulike punkter, men stasjonen på Furuset skiller seg enkelte dager noe ut fra de øvrige målepunktene. Best sammenfall er det mellom Valle Hovin og Maritim hvor det ved en lineær regresjonsanalyse er beregnet en R^2 -faktor på 0,98. Også for Valle Hovin og Blindern er sammenhengen god med en R^2 -faktor på 0,95-0,96. For Furuset sammenlignet med Valle Hovin er regresjonskoeffisienten beregnet til 0,89. Dette viser at flere stasjoner representerer studieområdet på en god måte når det gjelder klimadata, og at Maritim, Valle Hovin og Blindern peker seg ut til å være mest representative for studieområdet.

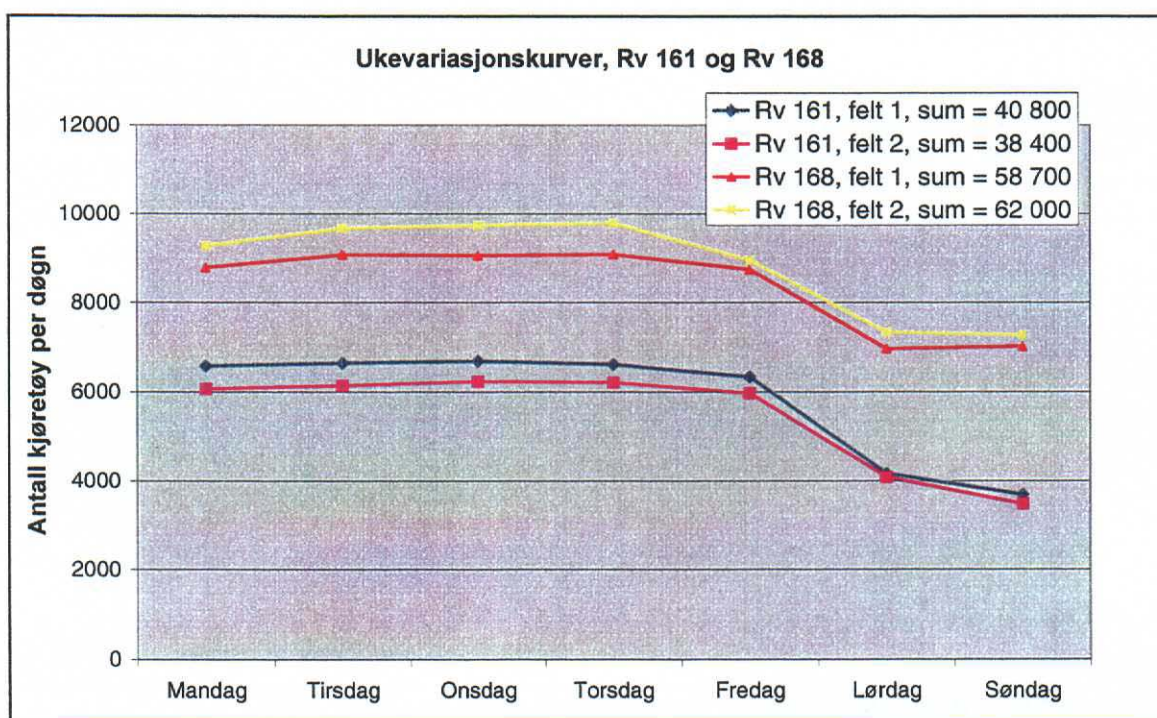
1.16 Trafikktall

Det foreligger ikke kontinuerlige tellinger for de 2 aktuelle tellepunktene på Rv 161 og Rv 168, og tellingene som er gjort er heller ikke foretatt på sammenfallende tidspunkter. En har derfor valgt å basere presentasjonen av trafikktall på representative perioder som angitt i tabell 5.1:

Tabell 5.1: Oversikt over tidsperioder som er grunnlaget for uke- og døgnvariasjonskurver

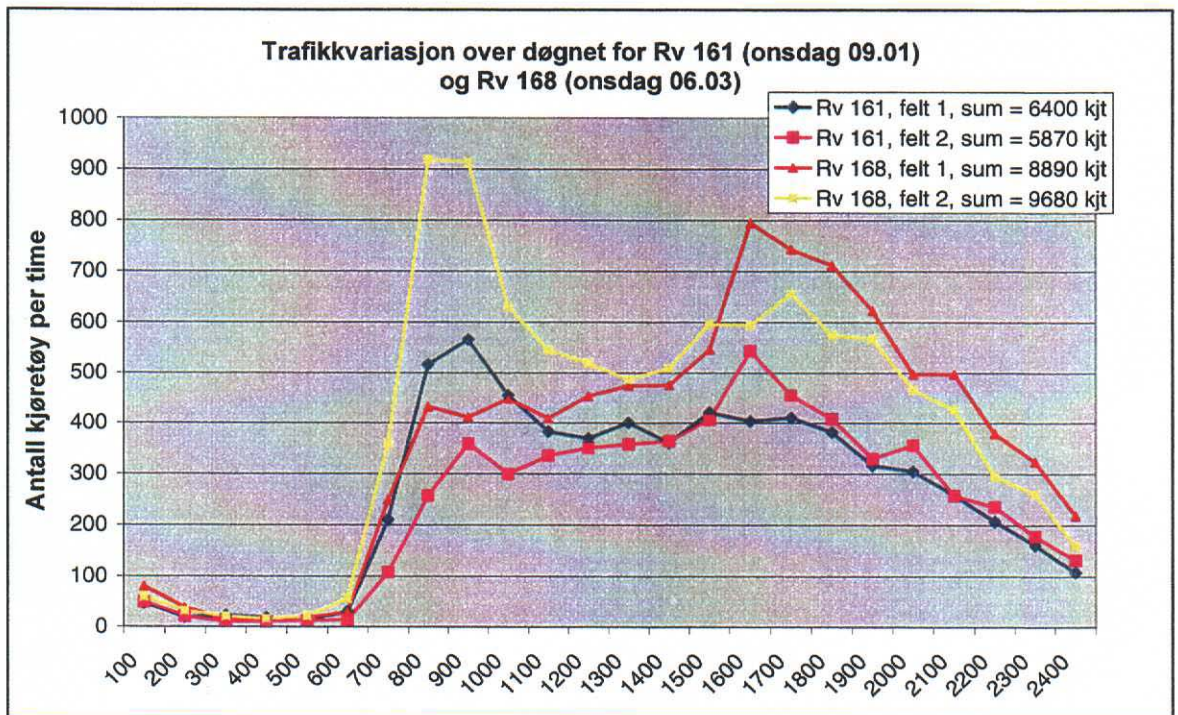
Strekning	Trafikkvolum		Hastighet
	Ukevariasjon	Døgnvariasjon	Døgnvariasjon
Rv 161	05.-11.11.01, 19.-25.11.01 07.-13.01.02, 14.-20.01.02	Onsdag 09.01.02	Onsdag 09.01.02
Rv 168	03.-09.12.01, 10.-16.12.01 04.-10.03.02, 11.-17.03.02	Onsdag 06.03.02	Onsdag 06.03.02

Ukevariasjonskurvene som er presentert i figur 5.14 er gjennomsnittet for 4 uker.

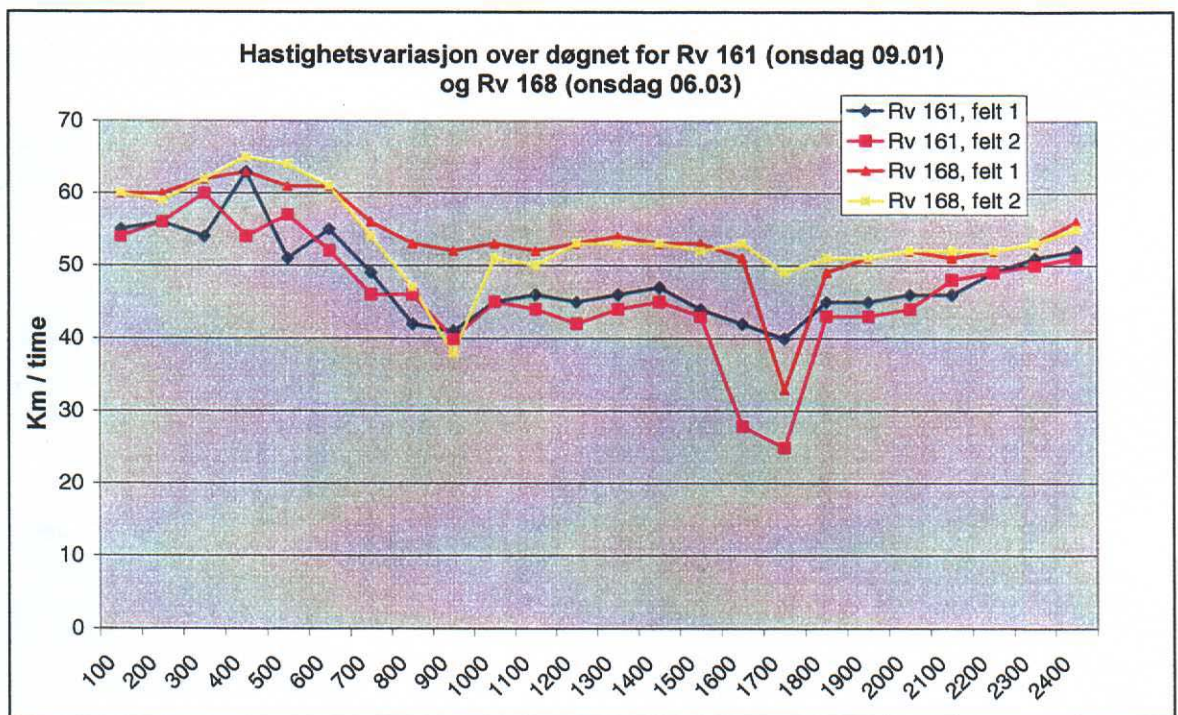


Figur 5.14: Ukevariasjonskurver sesongen 2001/2002

Som en ser av figur 5.14 er det stor forskjell i trafikkmengdene på de 2 strekningene alle ukedagene. Summert over uka er trafikken på Rv 168 ca 50 % høyere enn på Rv 161 for felt 1 og 2 summert.



Figur 5.15: Døgnvariasjonskurver sesongen 2001/2002



Figur 5.16: Hastighetsvariasjonskurver sesongen 2001/2002

Variasjonskurvene over døgnet, se figur 5.15 og 5.16, 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 liten om natta og

fram til ca kl 07 om morgenen. 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 trafikkslaget på den delen av Rv 168 hvor også de øvrige observasjonene er gjort.

1.17 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 befruktning med $MgCl_2$ -løsning.

For en direkte sammenligning av tiltak som er gjort med befruktning med $MgCl_2$ -løsning og $NaCl$,

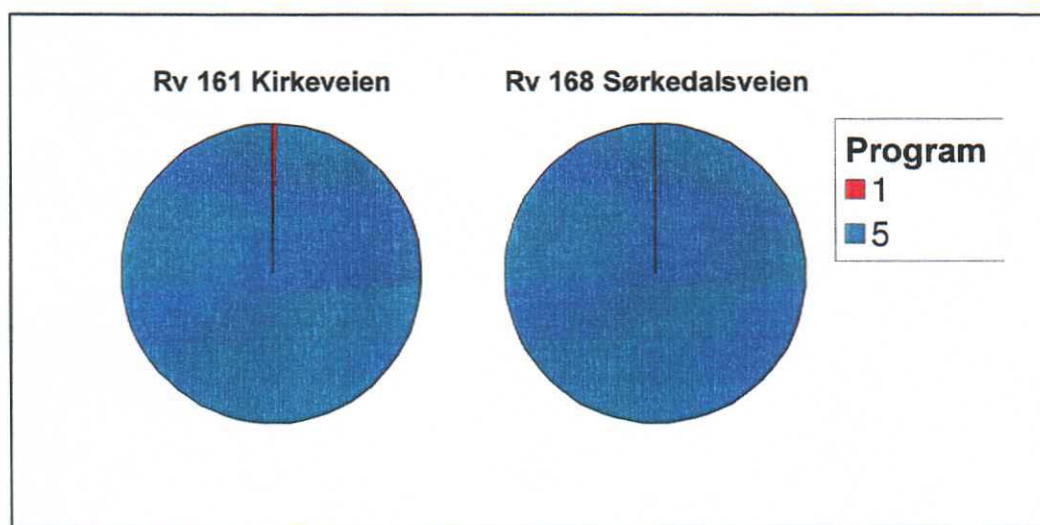
er det benyttet de samme strekningene hvor det er gjort øvrige observasjoner i form av friksjonsmålinger, fotografering og jordprøver:

- 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.

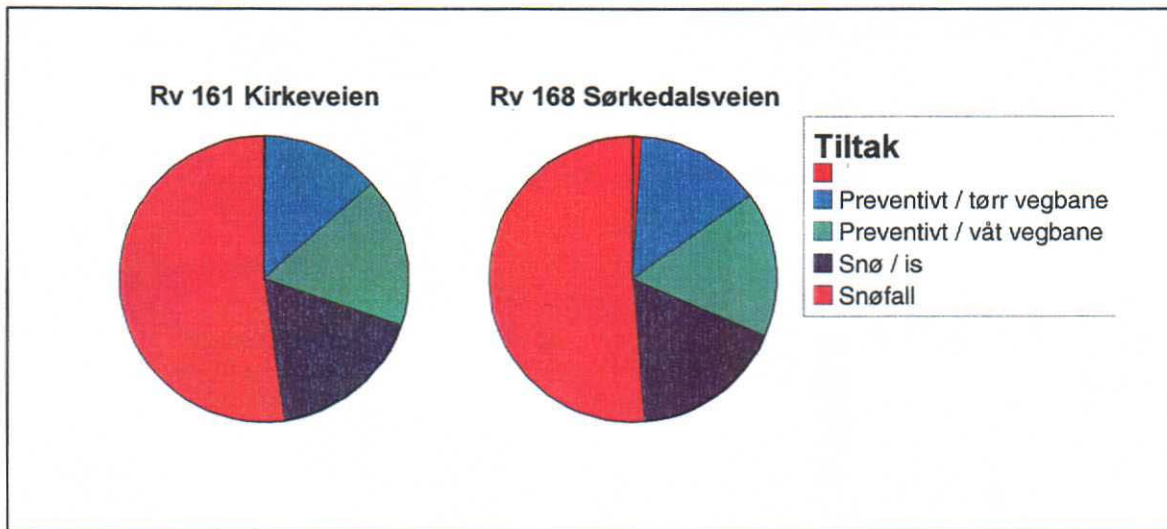
Grunnlaget for registreringene av tiltak er GPS-punkter som er plassert ut etter visse kriterier. Strøbilen som benyttes er utstyrt med et system for automatisk dataoppsamling med registrering bl a av:

- Dato og tidspunkt
- Programinnstilling (automatisk i 4 alternativer eller manuelt)
- Mengde salt og løsning (kilo)
- Dekketemperatur
- Antall strøkilometer
- Antall kjørte kilometer
- Strødd areal
- Mengde salt og løsning per m^2



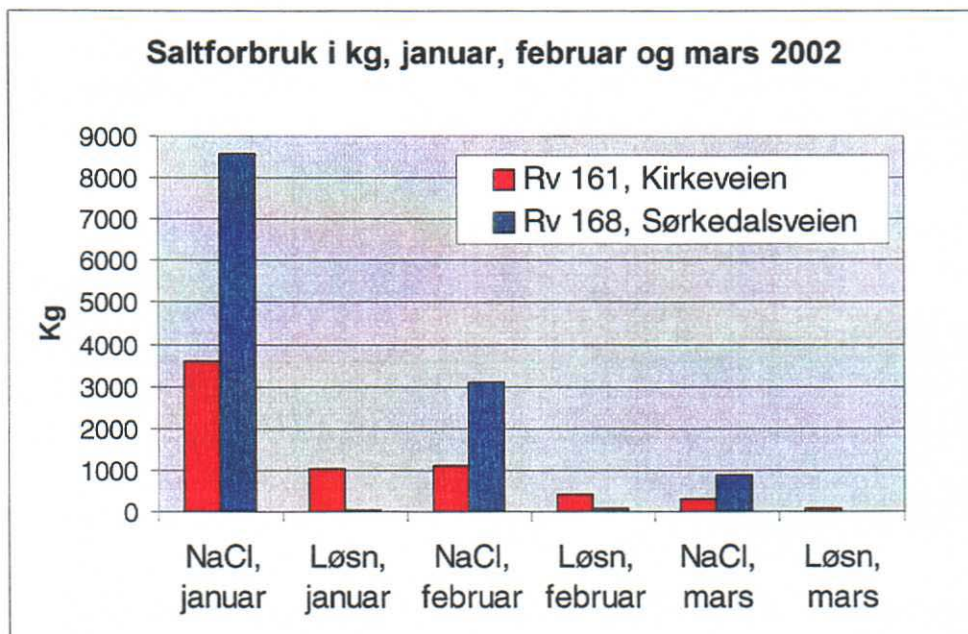
Figur 5.17: Tiltaksregistreringer i januar, februar og mars. Fordeling på programinnstillinger

Figur 5.17 viser hvilke programmer det er kjørt med på de 2 strekningene i de tilfellene det er gjort salttiltak i januar - mars. Som en ser er det i hovedsak program 5 som er benyttet, dvs manuell styring av doseringen.



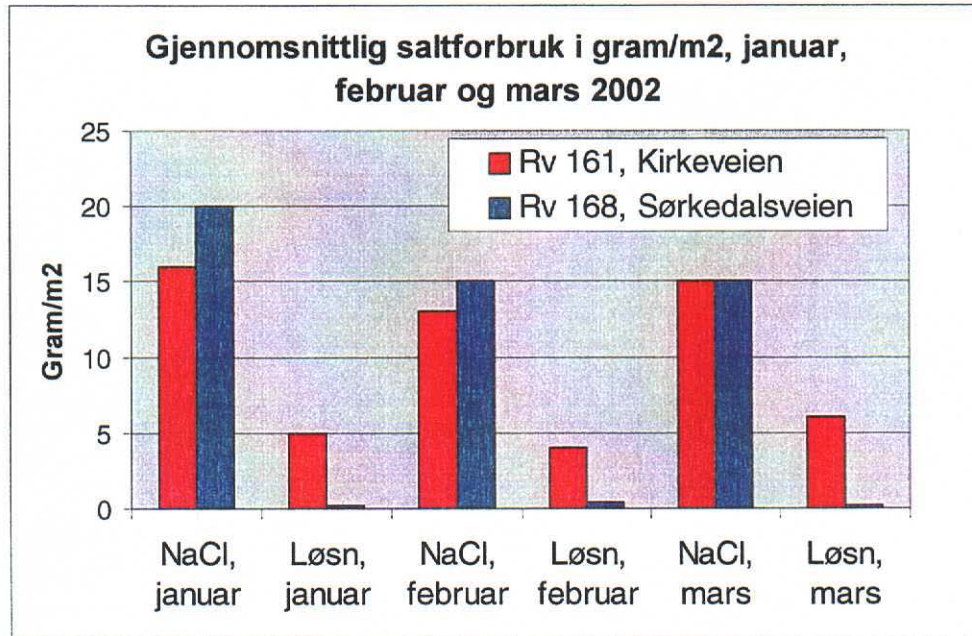
Figur 5.18: Tiltaksregistreringer i januar, februar og mars, fordeling mellom ulike typer tiltak

Figur 5.18 viser en oversikt over hva som er angitt som tiltakstype i forbindelse med salting. Som en ser dominerer "Snøfall" bildet med ca 50 % av tilfellene. Ca 17 % av tiltakene er utført på snø/is og ca 33 % er utført som preventive tiltak. Det er ikke noen vesentlig forskjell på de 2 strekningene når det gjelder tiltaksårsaker.



Figur 5.19: Registrert saltforbruk på Rv 161 og Rv 168 i perioden 7. januar – 31. mars 2002

Saltforbruket på de 2 strekningene etter 7. januar 2002 og ut sesongen framgår av figur 5.19. Som en ser er det bare benyttet ubetydelige mengder løsningsmiddel på Rv 168, dvs at dette er en strekning hvor det så og si utelukkende er brukt tørt salt. Vegarealene (dekkebredde) for Kirkeveien og Sørkedalsveien på de 2 parsellene er henholdsvis 30.200 og 34.100 m². Siden arealet på Sørkedalsveien er bare ca 12 % større enn på Kirkeveien, betyr dette at det forholdsmessig er brukt vesentlig mer salt på Sørkedalsveien enn på Kirkeveien i perioden januar - mars. Omregnet til forbruk per arealenhet er det benyttet 0,22 kg salt/m² på Kirkeveien og 0,37 kg salt/m² på Sørkedalsveien etter 7. januar.



Figur 5.20: Tiltaksregistreringer i januar, februar og mars, gjennomsnittlige mengder av salt og magnesiumkloridløsning per tiltak

Figur 5.20 viser gjennomsnittlig dosering av henholdsvis tørt salt og løsningsmiddel på MgCl₂-strekningen og referansestrekningen. Det er som en ser benyttet en større gjennomsnittlig mengde tørt salt per tiltak på referansestrekningen enn på strekningen hvor det er tilsatt MgCl₂-løsning.

Tabell 5.2 viser en oversikt over antall dager det er registrert med tiltak på de 2 strekningene sesongen 2001/2002.

Tabell 5.2: Antall dager det er registrert salttiltak

Strekning	Antall dager det er registrert tiltak sesongen 2001/2002				
	November	Desember	Januar	Februar	Mars
Rv 161 Kirkeveien	2	15	18	13	3
Rv 168 Sørkedalsveien	9	18	17	13	4

I følge tabell 5.2 er det noen få flere dager med tiltak på Sørkedalsveien enn på Kirkeveien i november og desember, dvs i perioden det ble benyttet befruktning med MgCl₂-løsning på begge strekningene. Uten at en skal legge for stor vekt på det, kan dette indikere at forholdene er litt forskjellige på de 2 strekningene. Videre ut over vinteren kan en se at antall dager med tiltak er det samme på de 2 strekningene. Dvs at en ikke kan se noen effekt

i form av at befruktning med $MgCl_2$ -løsning har ført til redusert innsats i form av færre saltdøgn.

I tabell 5.3 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.

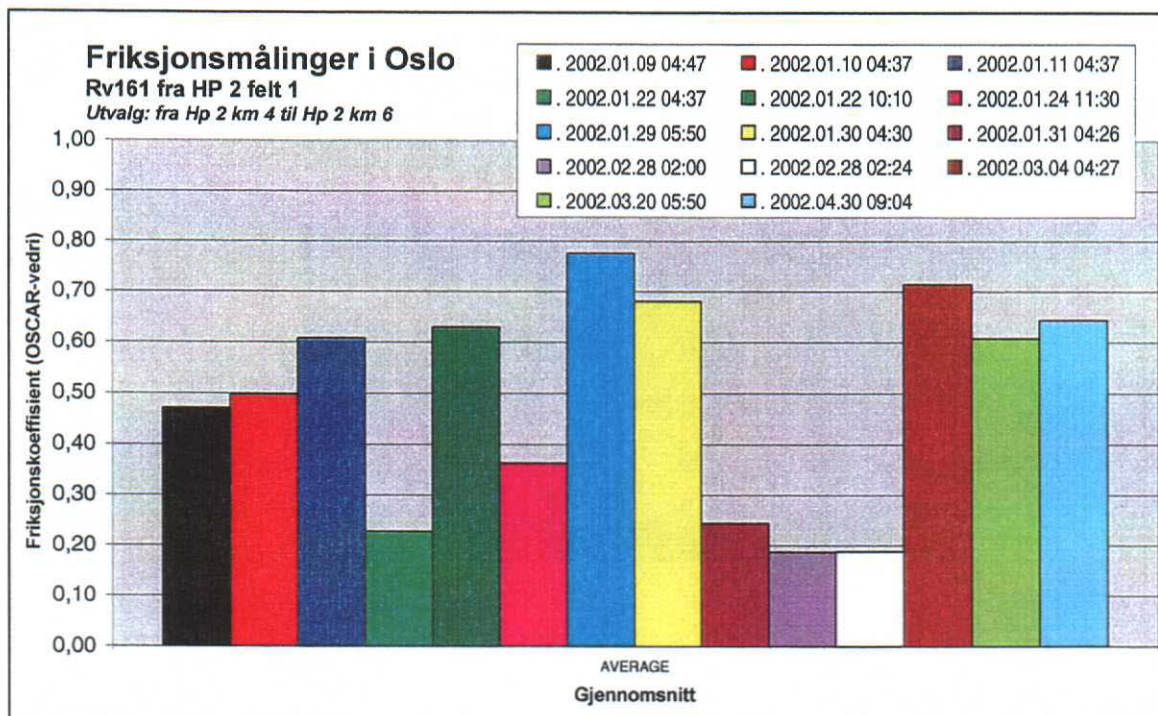
Tabell 5.3: Antall registrerte salttiltak

Strekning	Antall registrerte salttiltak sesongen 2001/2002				
	November	Desember	Januar	Februar	Mars
Rv 161 Kirkeveien	2	18	25	15	3
Rv 168 Sørkedalsveien	9	20	31	16	4

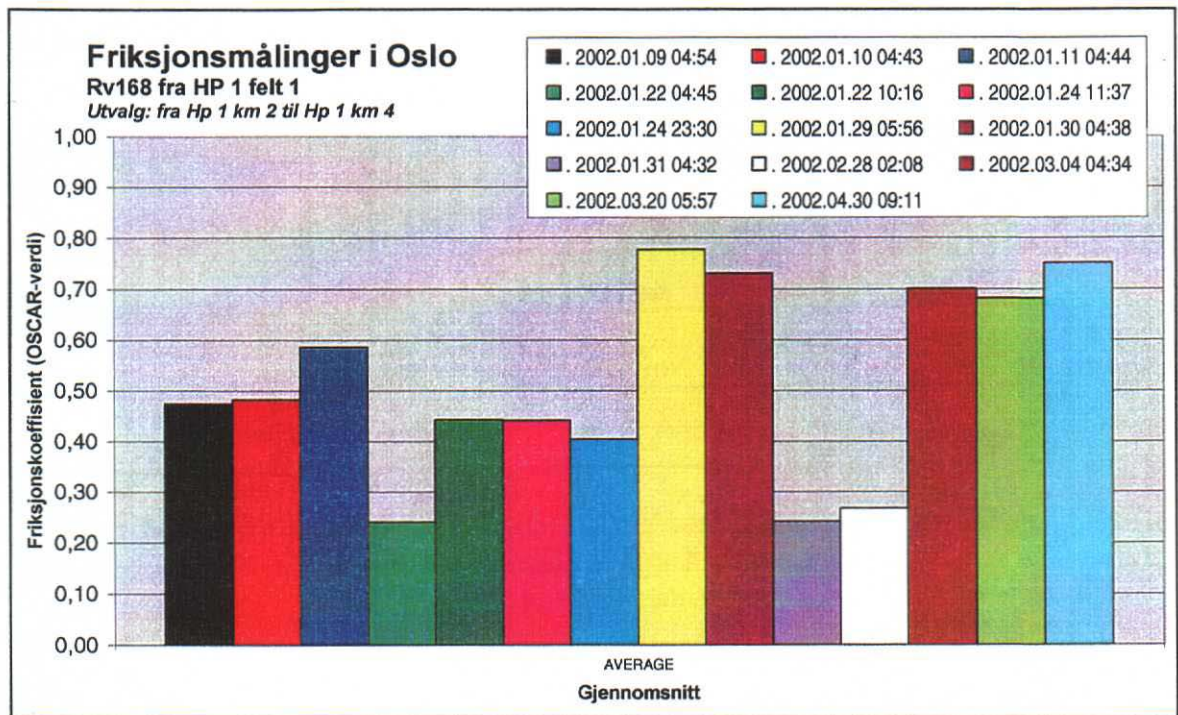
I perioden januar – mars ble det utført totalt 43 salttiltak på Kirkeveien og 51 tiltak på Sørkedalsveien, noe som tyder på at tiltakene med befruktning med $MgCl_2$ -løsning har hatt en noe lengre varighet enn tiltak som er utført med tørt salt.

1.18 Friksjonsmålinger

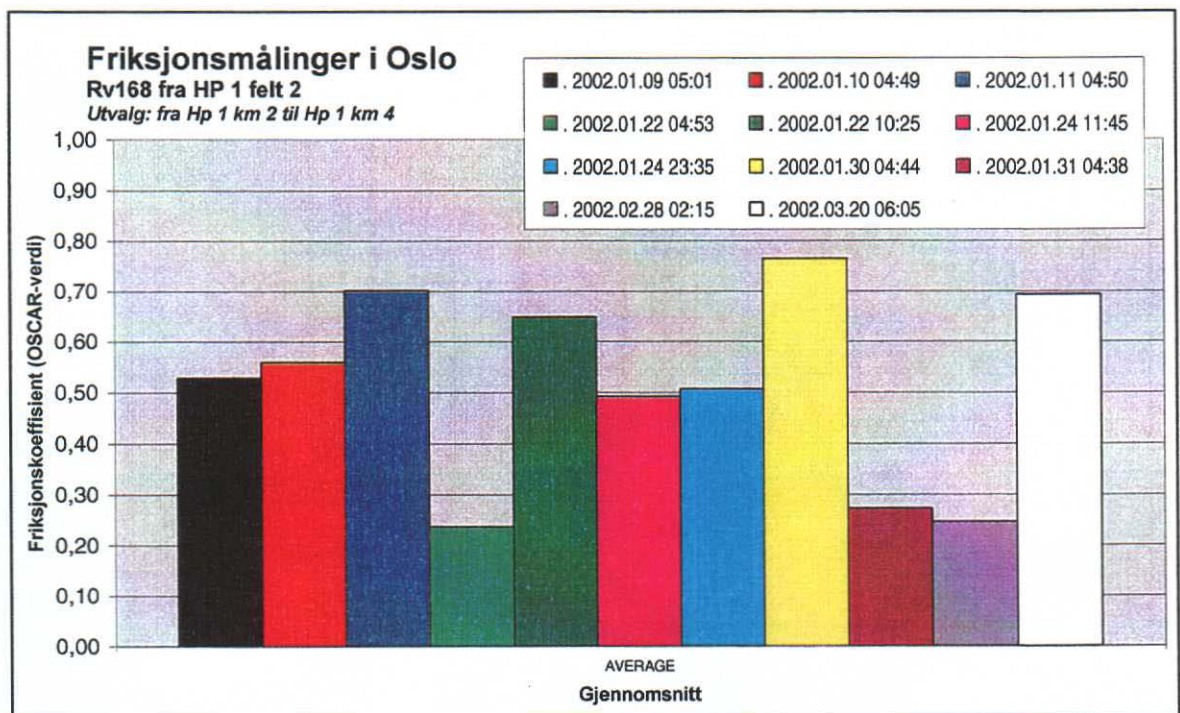
I figurene 5.21 – 5.23 er gjengitt resultater fra friksjonsmålingene i form av gjennomsnittsverdier fra de dagene/periodene det er gjort målinger. Med noen få unntak er friksjonsmålingene gjort om natten eller tidlig om morgenen.



Figur 5.21: Friksjon målt med Roar Mark I på Rv 161, felt 1

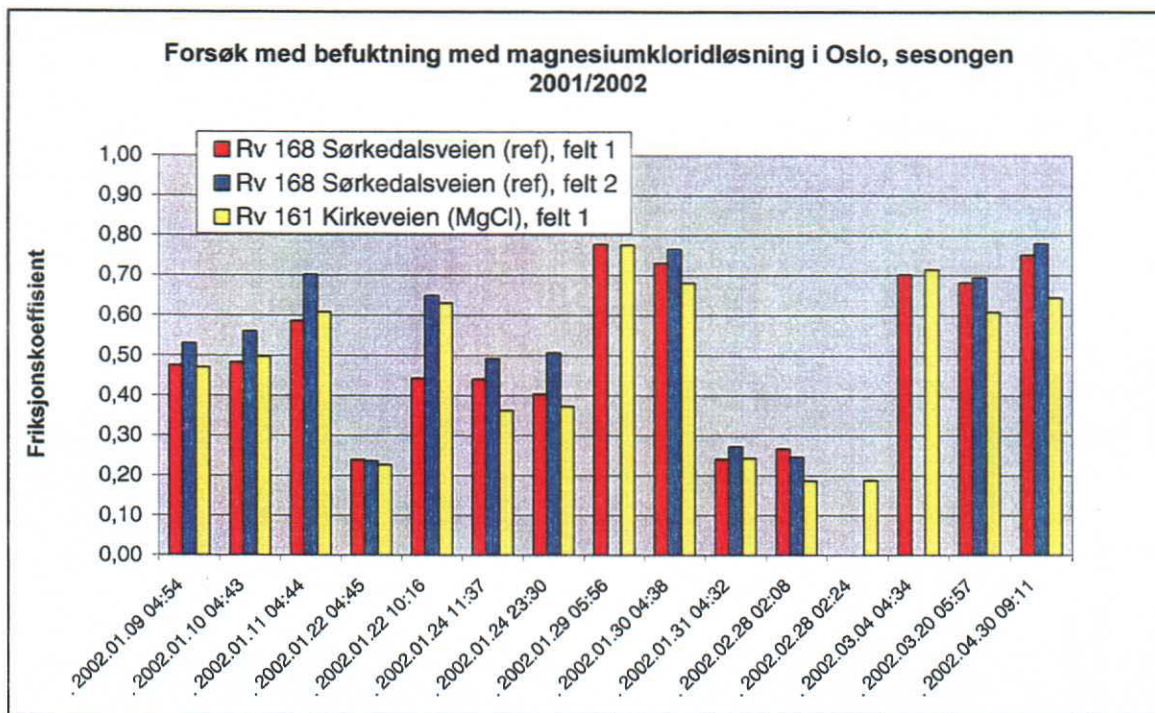


Figur 5.22: Friksjon målt med Roar Mark I på Rv 168, felt 1



Figur 5.23: Friksjon målt med Roar Mark I på Rv 168, felt 2

Friksjonsmålingene som er gjort gir ikke noen fullstendig oversikt over friksjonsnivået over sesongen. Selv om det kunne vært ønskelig med flere måleserier særlig i forbindelse med nedbørsituasjoner, gir likevel friksjonsmålingene grunnlag for å foreta en sammenligning mellom $MgCl_2$ -strekningen og referansestrekningen med tanke på å se eventuelle tendenser til sammenheng mellom saltingsmetode og friksjonsnivå.



Figur 5.24: Målt friksjon på Rv 161 Kirkeveien og Rv 168 Sørkedalsveien sesongen 2001/2002

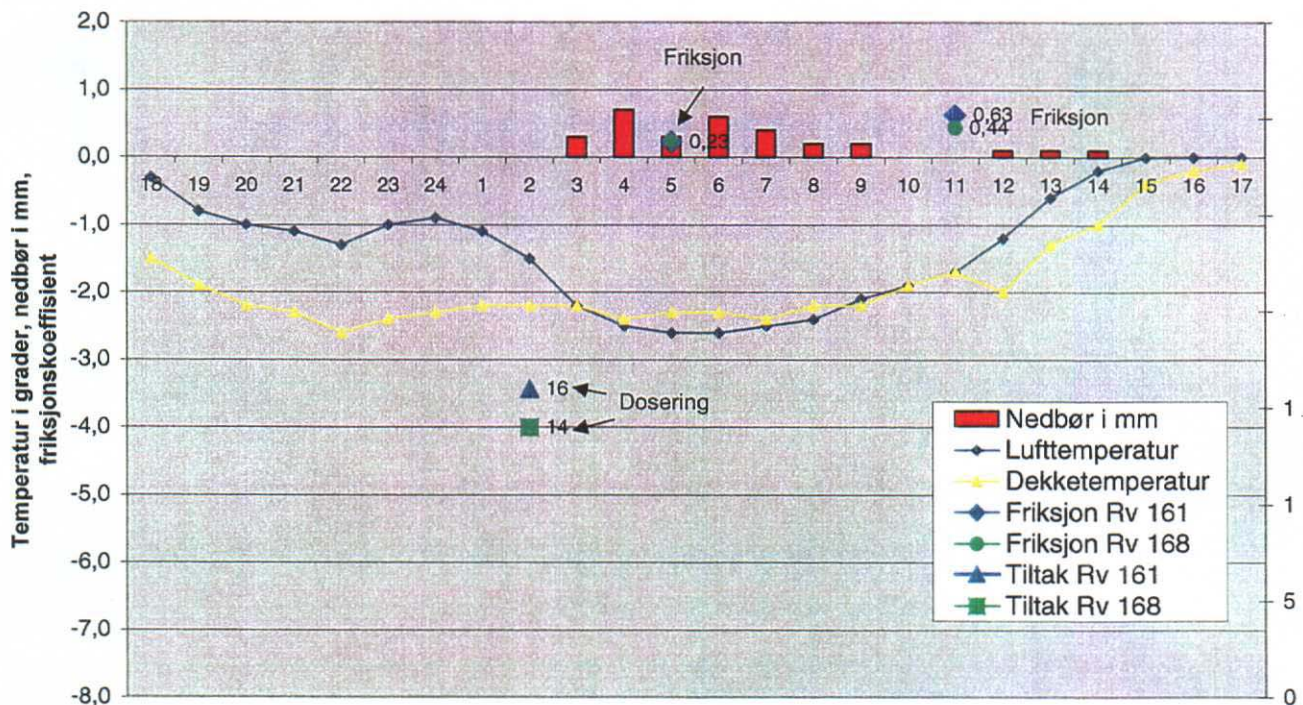
I figur 5.24 er det foretatt en sammenstilling av målingene med Roar Mark I på de 2 strekningene.

Selv om materialet er lite er det indikasjoner på at det ikke er oppnådd høyere friksjon der det er

benyttet befuktning med $MgCl_2$ -løsning sammenlignet med referansestrekningen med bare tørt salt. En kan imidlertid heller ikke trekke den motsatte konklusjonen ut fra det foreliggende materialet selv om strekningen hvor det er benyttet $MgCl_2$ -løsning i flere tilfeller kommer ut med den laveste friksjonsverdien. Målinger som er gjort på våt veg etter at saltsesongen var over (30. april), tyder på at asfalten har ulike egenskaper på de 2 strekningene. Det er derfor et usikkerhetsmoment rundt hva dette også kan bety ved målinger på føretyper med lavere friksjon. Dessuten må det taes i betraktning at trafikkmengden er forskjellig på de 2 strekningene.

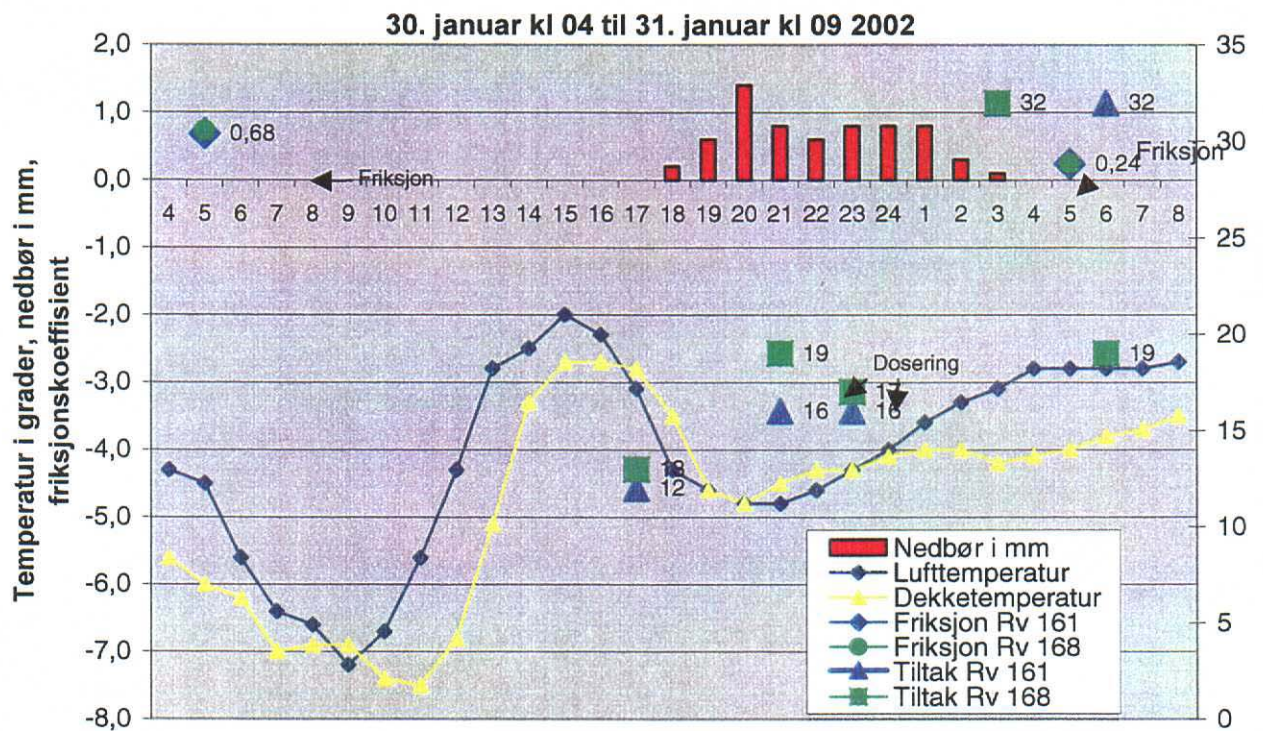
For å sette friksjonsverdiene i relasjon til klimadata og saltingstiltak, er det sett nærmere på det som skjedde i forbindelse med snøfall 21. – 22. januar og 30. – 31. januar, se figurene 5.25 og 5.26.

21. januar kl 18 til 22. januar kl 18 2002



Figur 5.25: Friksjonsutvikling sett i sammenheng med klimadata og saltingstiltak

22. januar kl 04:45 ble friksjonen målt til 0,23-0,24 på begge strekningene. Snøværet hadde da pågått et par timer, men med forholdsvis liten intensitet. Det ble iverksatt bare ett tiltak i det aktuelle døgnet og det ble gjort før snøværet startet. Friksjonen ble kl 10:16 samme dag målt til 0,44 på referansestrekningen og 0,63 på $MgCl_2$ -strekningen. Det hadde da vært et opphold i snøværet på 1-2 timer. Nedbørmengdene som er hentet fra stasjonen på Valle Hovin tilsvarer ca 3 cm snø i perioden kl 03 – kl 09.



Figur 5.26: Friksjonsutvikling sett i sammenheng med klimadata og saltingstiltak

30. januar kl 04:38 ble friksjonen målt til 0,68-0,73 på begge strekningene, dvs at det var bar og våt veg på det tidspunktet. Snøværet startet kl 18 om kvelden 30. januar og varte til kl 03 31. januar. Det var da falt til sammen ca 7 cm snø.

Tiltakstidspunkt og dosering framgår også av figur 5.26. I perioden fra 30. januar kl 17 til 31. januar kl 06 ble det iverksatt totalt 5 tiltak på begge strekningene. I tillegg til ett tiltak like før snøværet startet, ble det saltet 2 ganger under snøværet og en gang idet snøværet sluttet. Siste tiltaket ble foretatt 3-4 timer etter at nedbøren opphørte.

En har ikke oversikt over friksjonsforløpet i den aktuelle perioden, men en kan se at friksjonen ble målt til 0,24 kl 04:32 tidlig om morgenen 31. januar, dvs et nivå som tilsvarende snøslaps. Ut fra fotodokumentasjonen var det fortsatt noe slaps både på Rv 161 og Rv 168 kl 10:00 samme formiddag. I dette tilfellet var det altså ingen synlig forskjell mellom de 2 strekningene hverken visuelt eller ut fra målt friksjon.

I en videreføring av prosjektet vil det være interessant å se på flere tilsvarende situasjoner med en tettere oppfølging av friksjonsutviklingen, og i tillegg ta fram en del andre situasjoner. Bl a tilfeller hvor det er gjøres preventive tiltak mot ishinner.

1.19 Resultater av kjemisk analyse av veistøvet

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 anrikt 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

	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

1

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 befukting 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 befukting være forbundet med en eventuelt redusering av den totale tilførte saltmengden. På grunn av at blandingen som er forsøkt i Oslo består av 70 % vanlig salt (NaCl) og 30 % MgCl₂-løsning (20 % 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

1.20 Fotodokumentasjon

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.

1.21 Oppsummering

Forsøkene med befuktning med $MgCl_2$ -løsning i Oslo sesongen 2001/2002 gir ikke grunnlag for å trekke konklusjoner om hvor egnet metoden er, men viser likevel at det er interessant å fortsette prosjektet som planlagt ytterligere 2 sesonger ut fra at anvendelse av magnesiumklorid kan påvirke totalt saltforbruk. Samtidig er det usikkert hvilke utslag dette vil gi på friksjonsforhold og opptørkingstid samt støvsituasjonen. En trenger også flere sesonger for å få undersøkt hva som skjer ved lavere temperaturer.

Litteraturliste

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

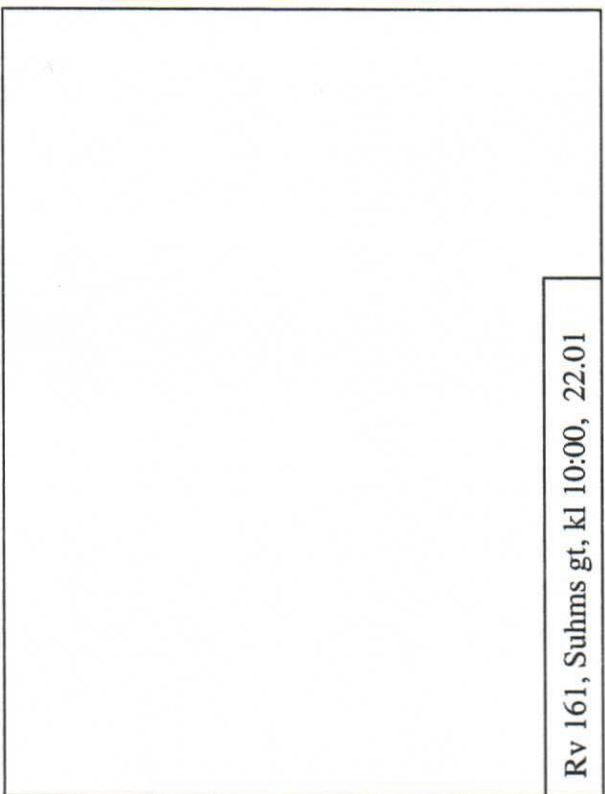
Minsk, David L. Snow and Ice Control Manual for Transportation Facilities

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

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

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

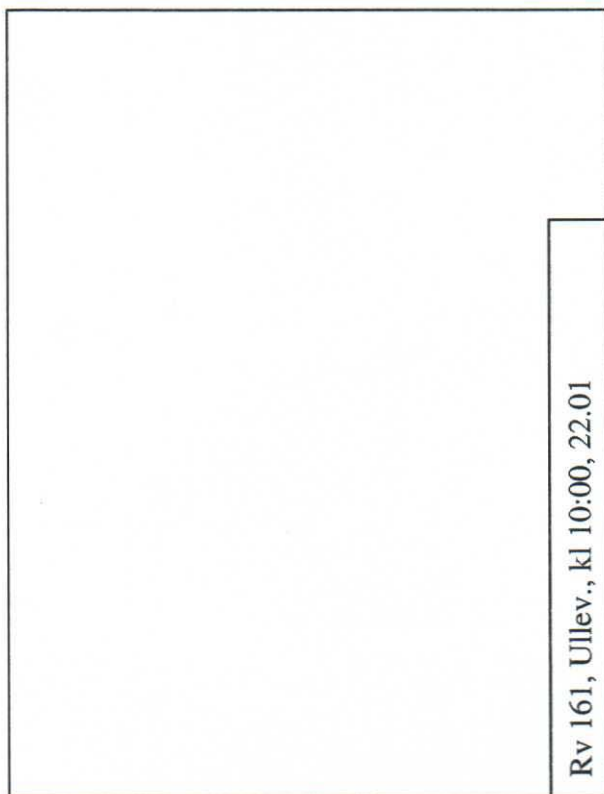
Vedlegg 1: Fotodokumentasjon fra januar 2002



Rv 161, Suhms gt, kl 10:00, 22.01



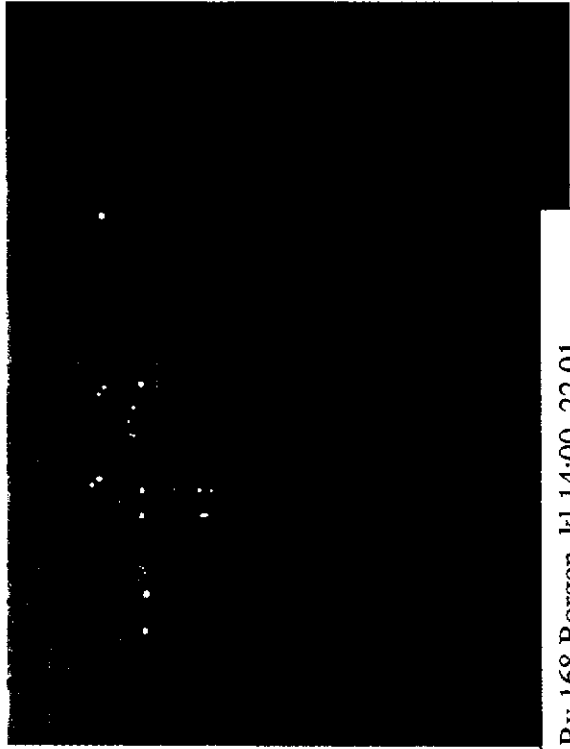
Rv 161, Suhms gt, kl 14:00, 22.01



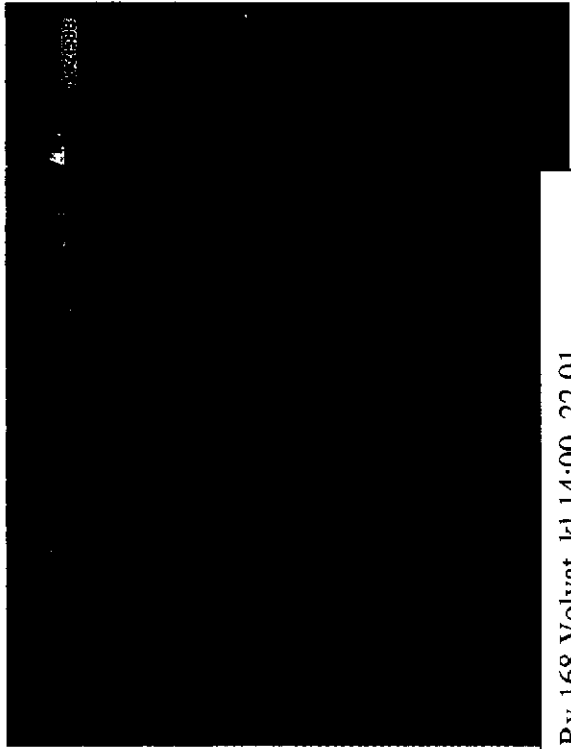
Rv 161, Ullev., kl 10:00, 22.01



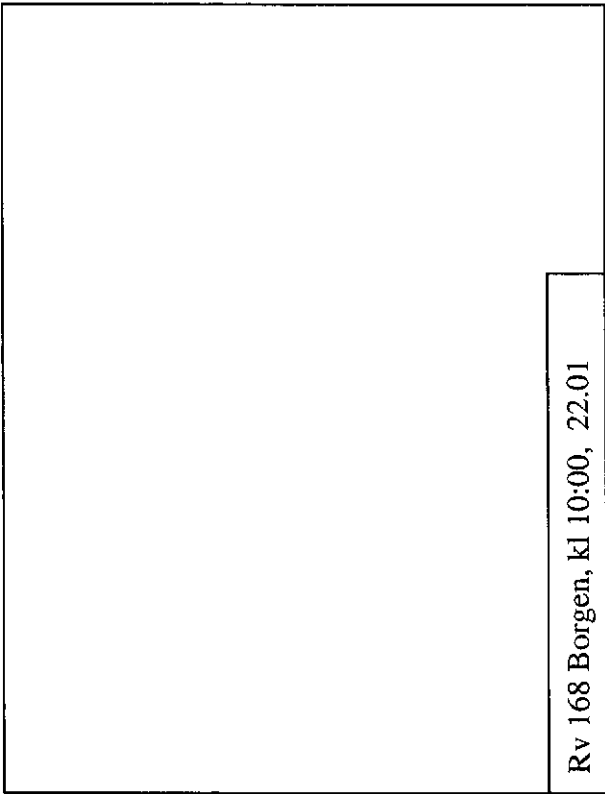
Rv 161, Ullev., kl 14:00, 22.01



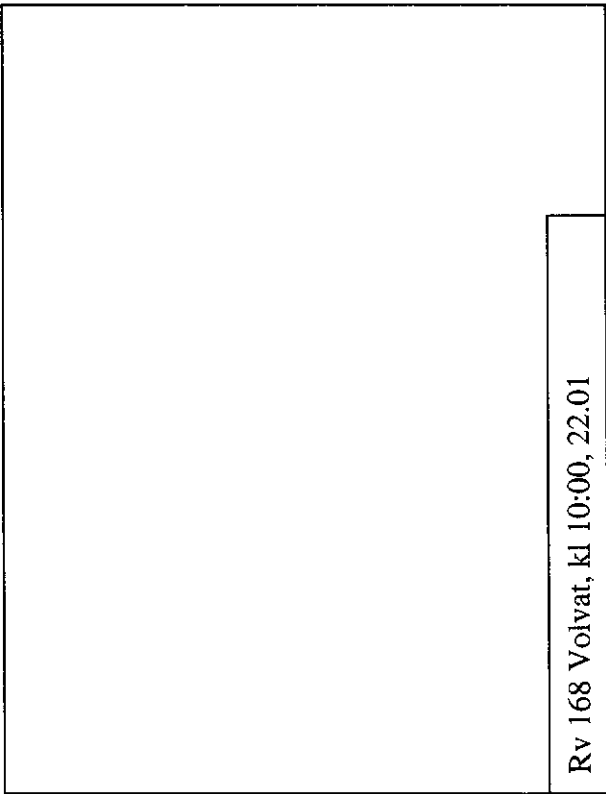
Rv 168 Borgen, kl 14:00, 22.01



Rv 168 Volvat, kl 14:00, 22.01



Rv 168 Borgen, kl 10:00, 22.01



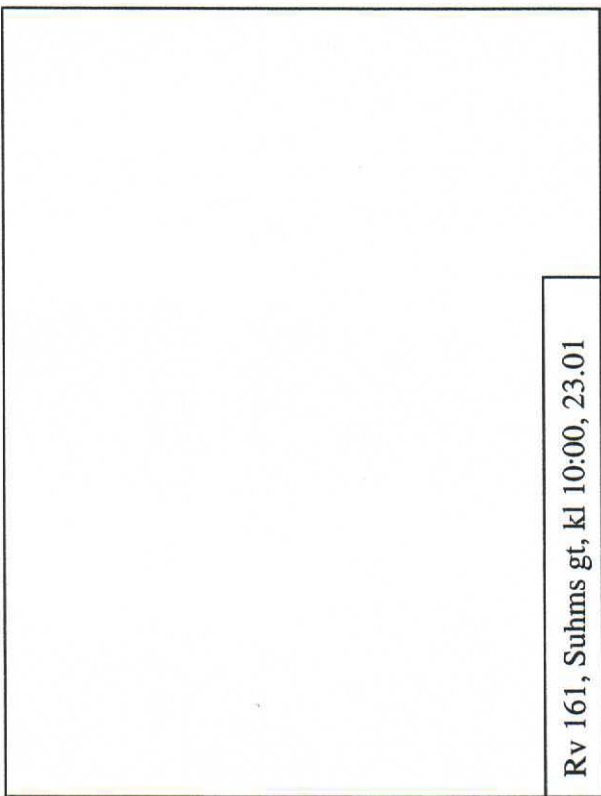
Rv 168 Volvat, kl 10:00, 22.01



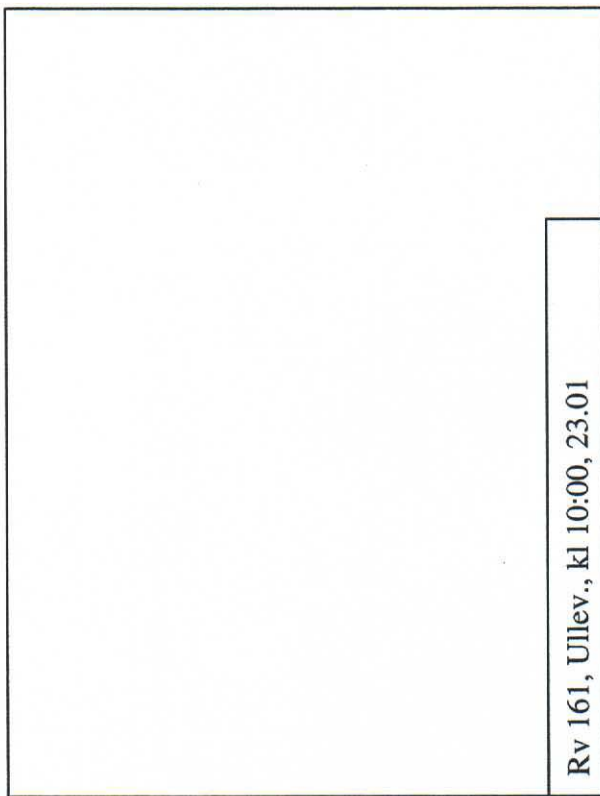
Rv 161, Suhms gt, kl 14:00, 23.01



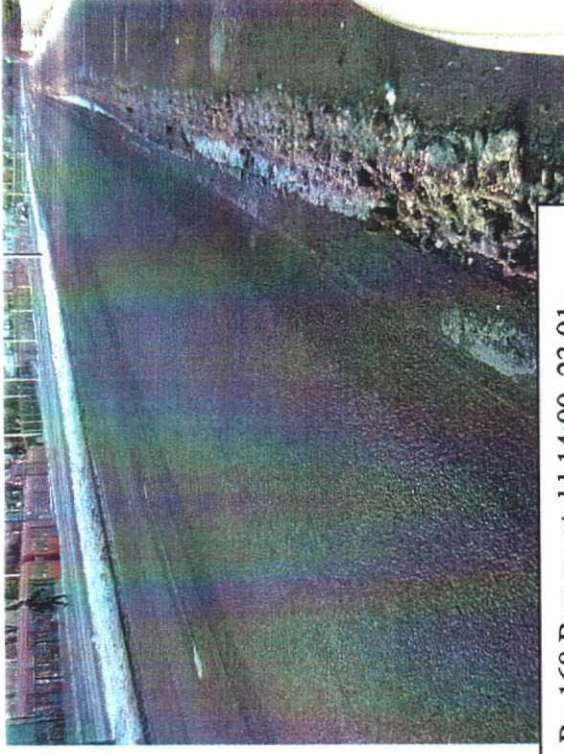
Rv 161, Ullev., kl 14:00, 23.01



Rv 161, Suhms gt, kl 10:00, 23.01



Rv 161, Ullev., kl 10:00, 23.01



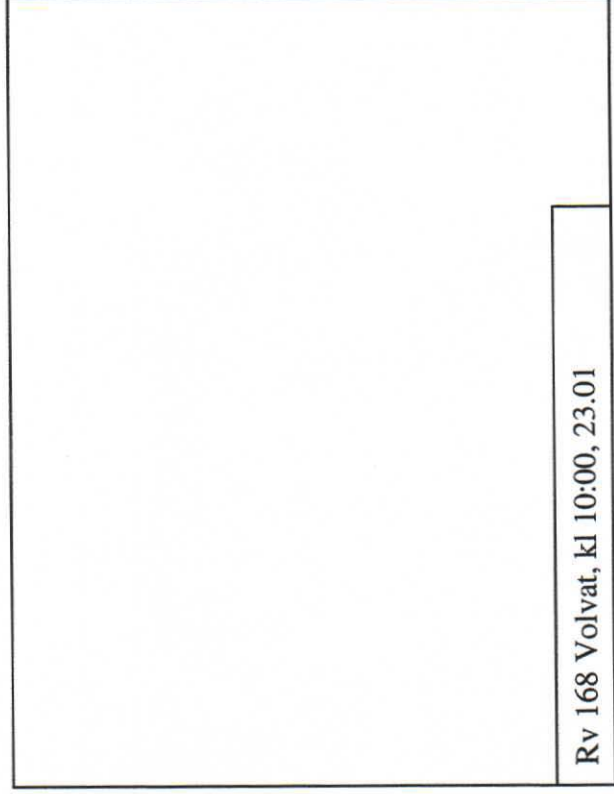
Rv 168 Borgen gt, kl 14:00, 23.01



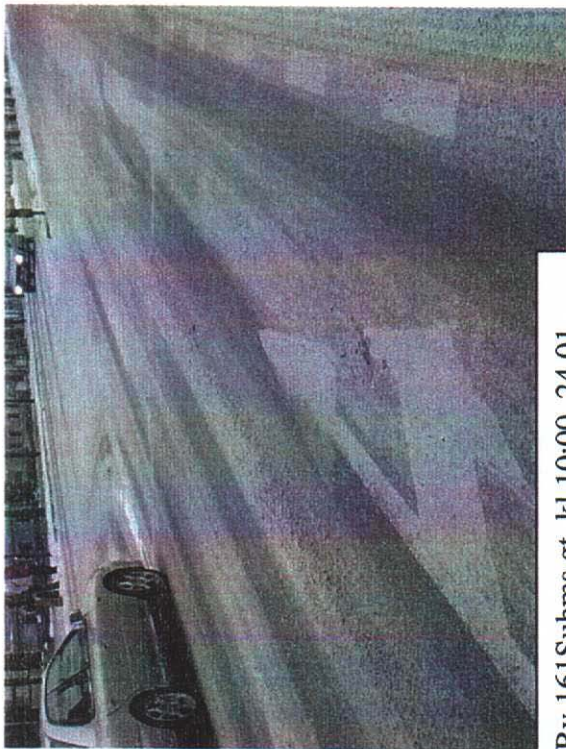
Rv 168 Volvat, kl 14:00, 23.01



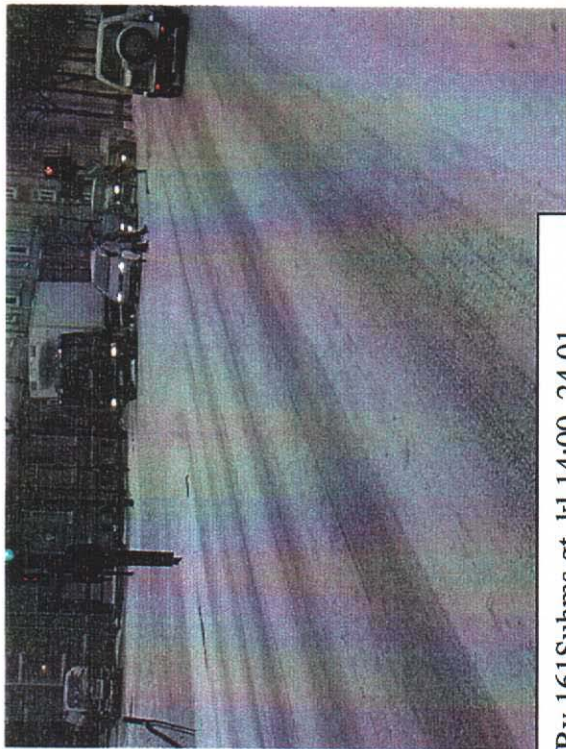
Rv 168 Borgen gt, kl 10:00, 23.01



Rv 168 Volvat, kl 10:00, 23.01



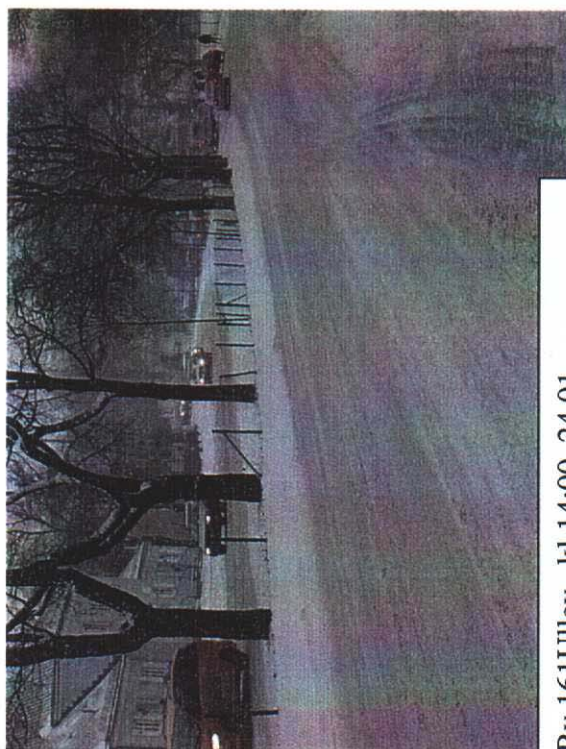
Rv 161Suhms gt, kl 10:00, 24.01



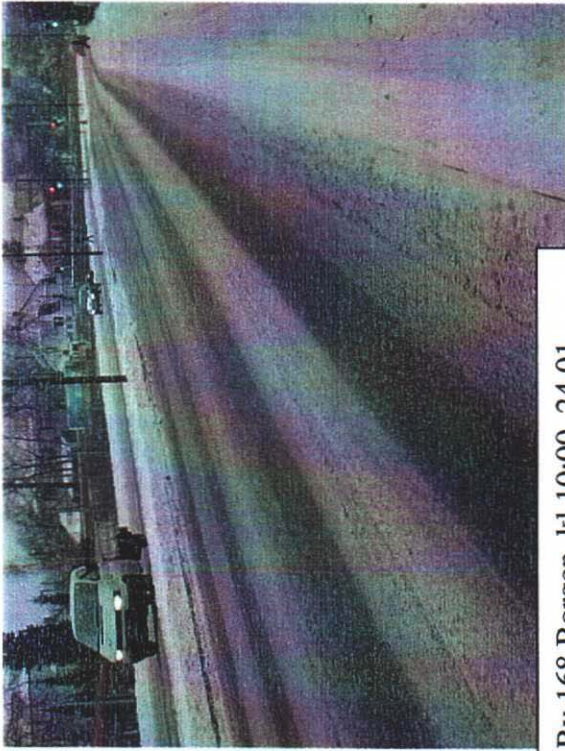
Rv 161Suhms gt, kl 14:00, 24.01



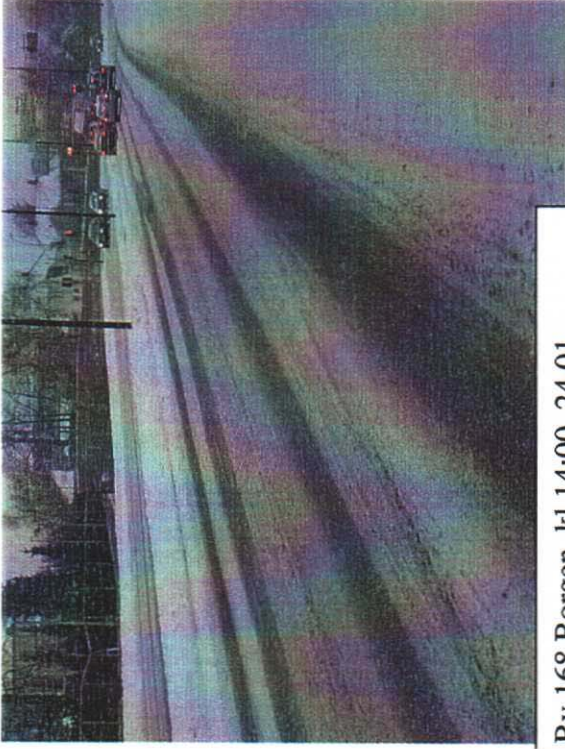
Rv 161Ullev., kl 10:00, 24.01



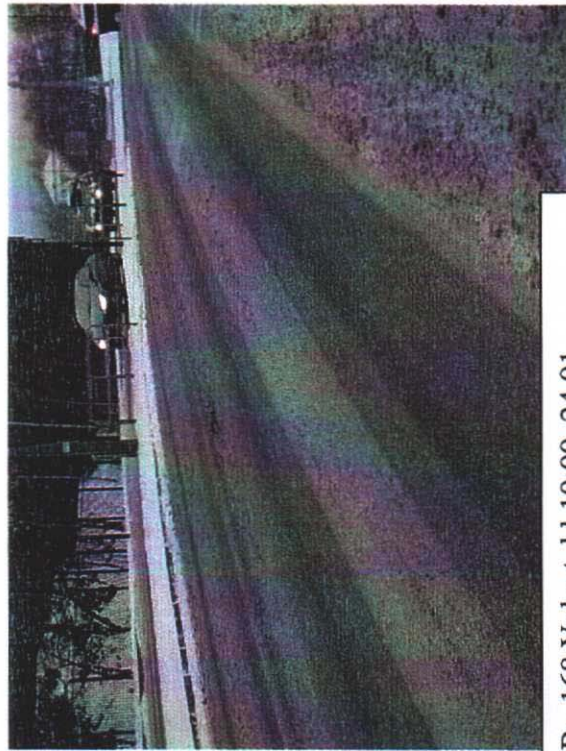
Rv 161Ullev., kl 14:00, 24.01



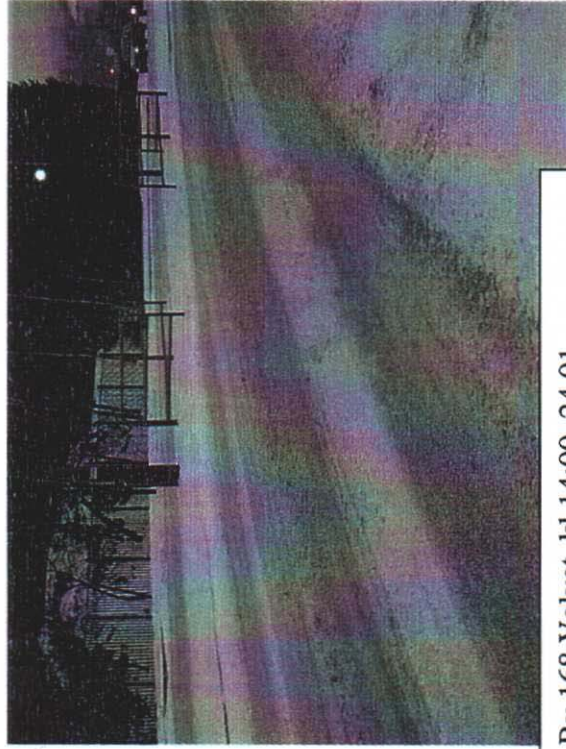
Rv 168 Borgen, kl 10:00, 24.01



Rv 168 Borgen, kl 14:00, 24.01



Rv 168 Volvat, kl 10:00, 24.01



Rv 168 Volvat, kl 14:00, 24.01



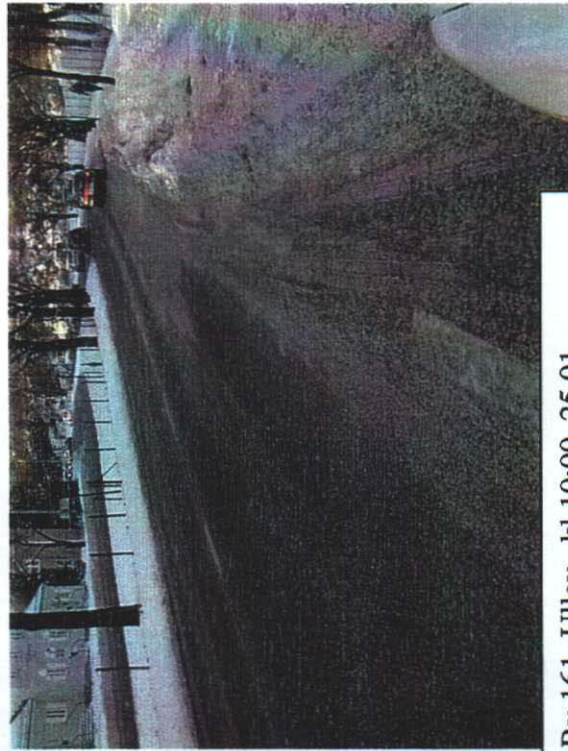
Rv 161, Suhms gt, kl 14:00, 25.01



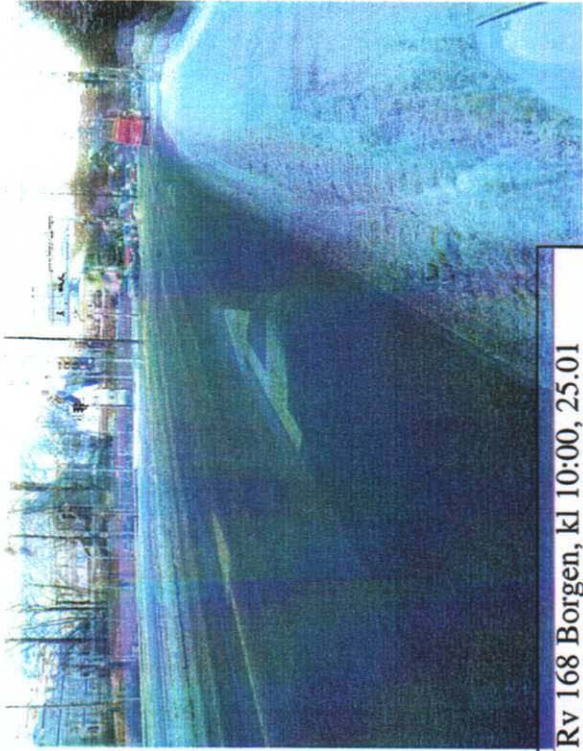
Rv 161, Ullev., kl 14:00, 25.01



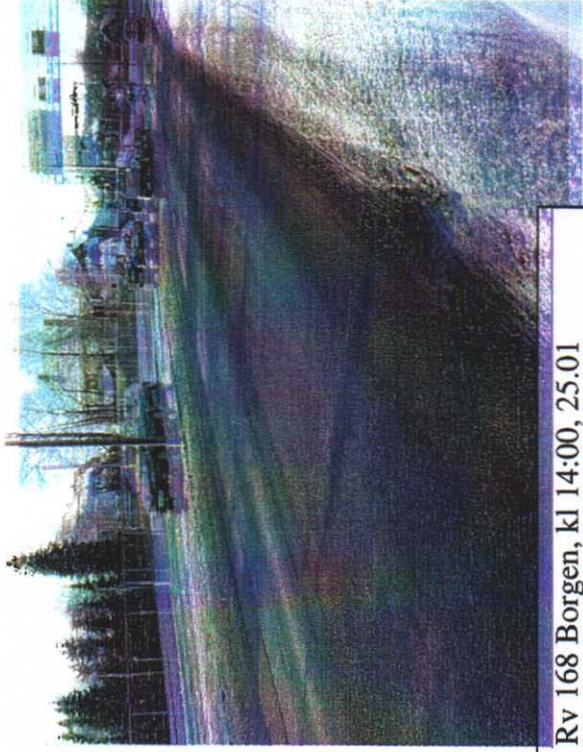
Rv 161, Suhms gt, kl 10:00, 25.01



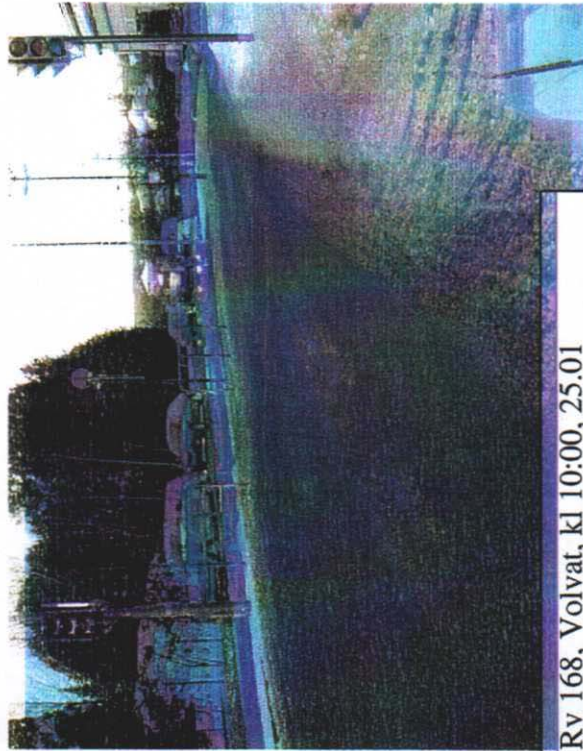
Rv 161, Ullev., kl 10:00, 25.01



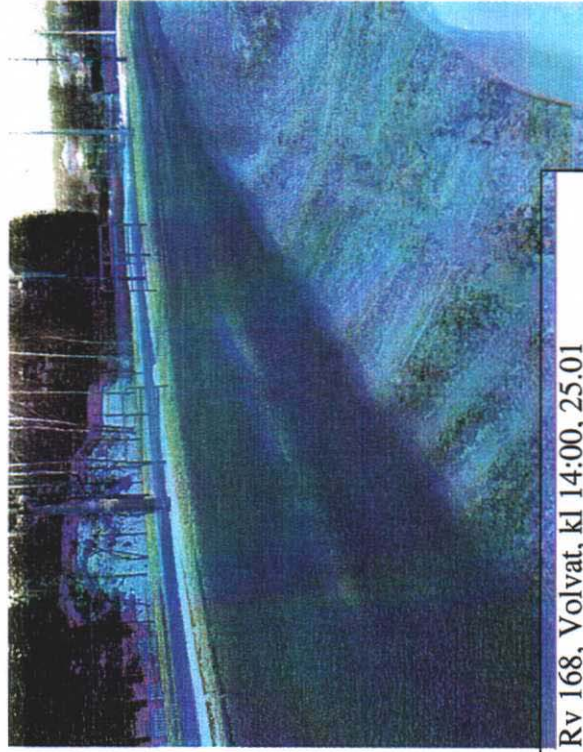
Rv 168 Borgen, kl 10:00, 25.01



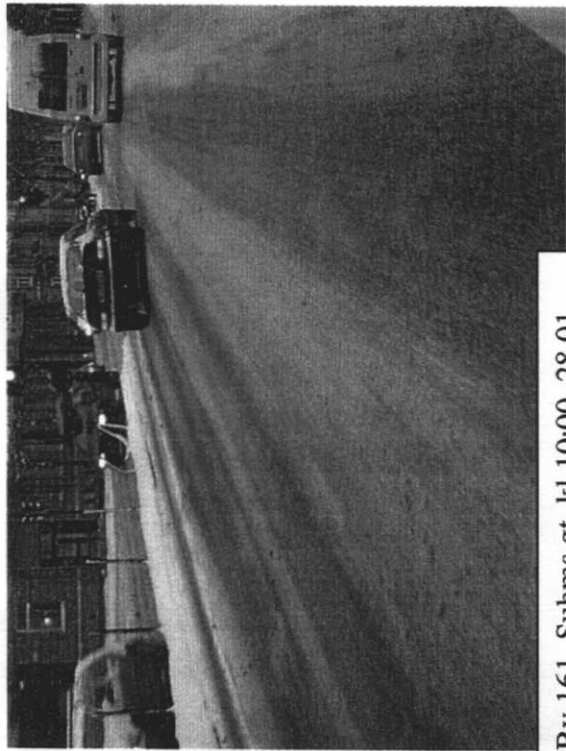
Rv 168 Borgen, kl 14:00, 25.01



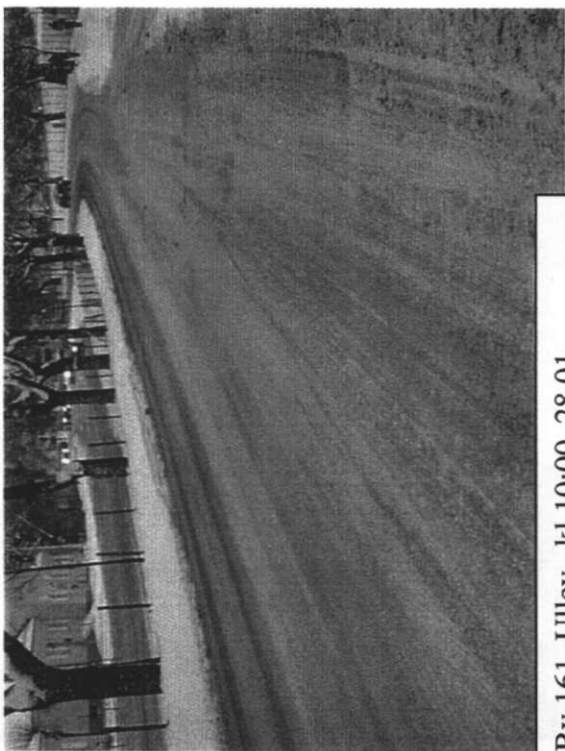
Rv 168, Volvat, kl 10:00, 25.01



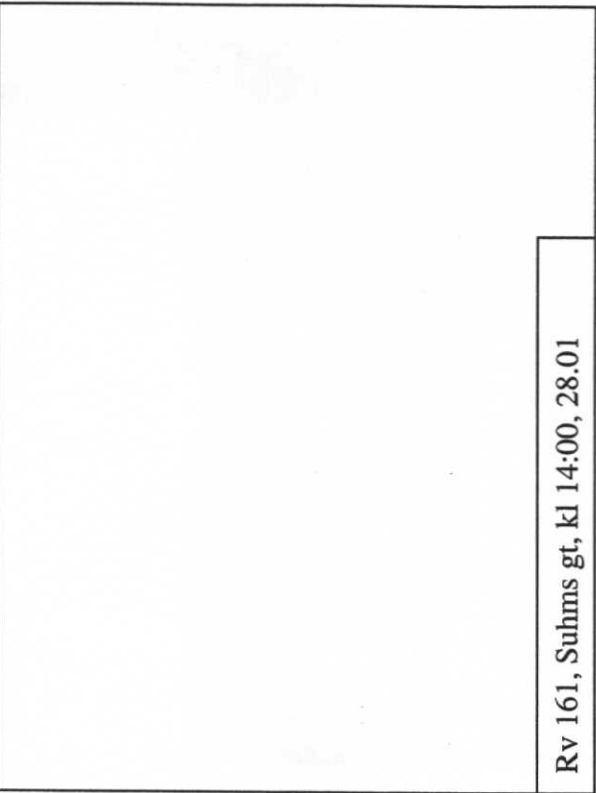
Rv 168, Volvat, kl 14:00, 25.01



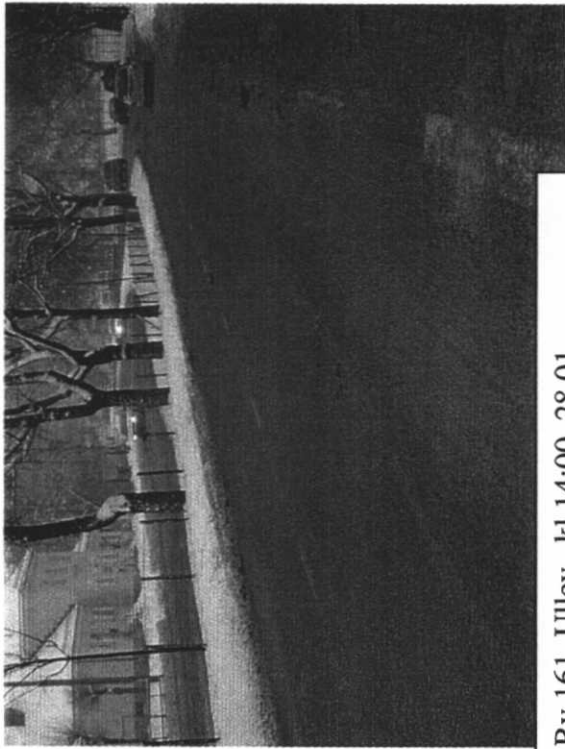
Rv 161, Suhms gt, kl 10:00, 28.01



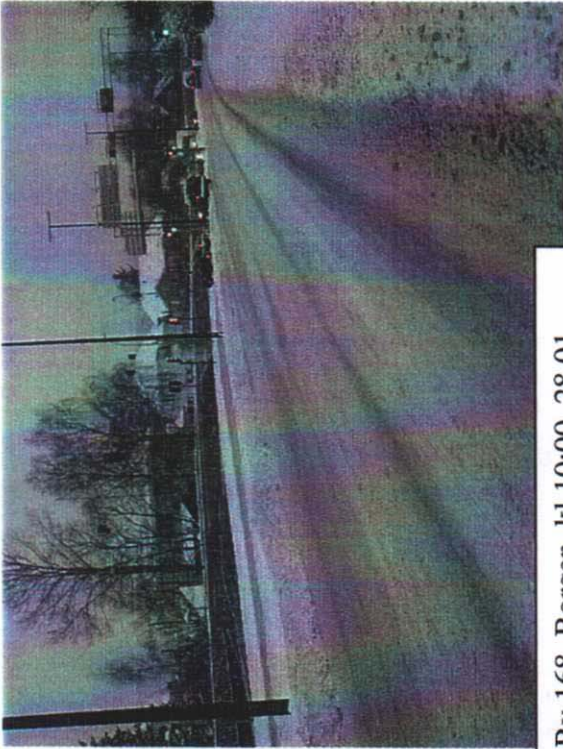
Rv 161, Ullev., kl 10:00, 28.01



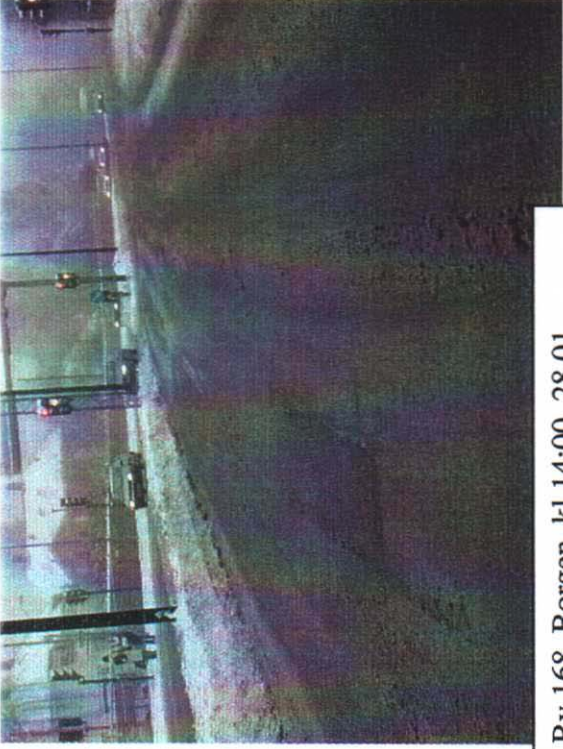
Rv 161, Suhms gt, kl 14:00, 28.01



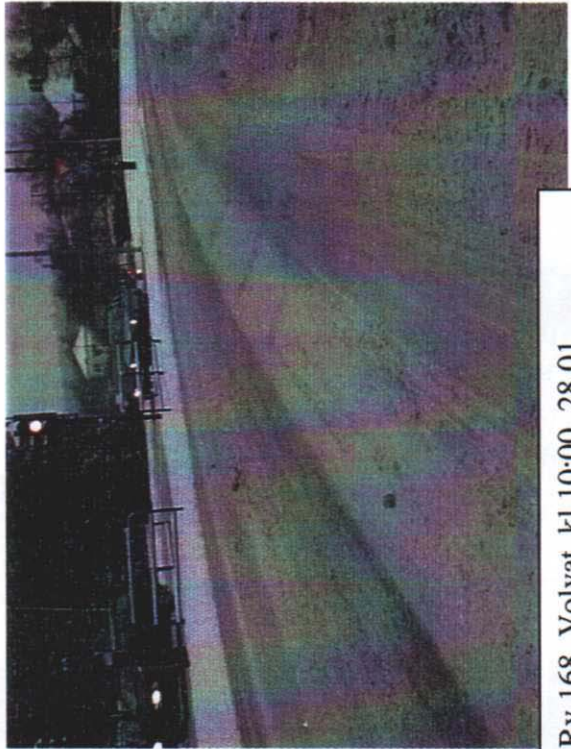
Rv 161, Ullev., kl 14:00, 28.01



Rv 168, Borgen, kl 10:00, 28.01



Rv 168, Borgen, kl 14:00, 28.01



Rv 168, Volvat, kl 10:00, 28.01



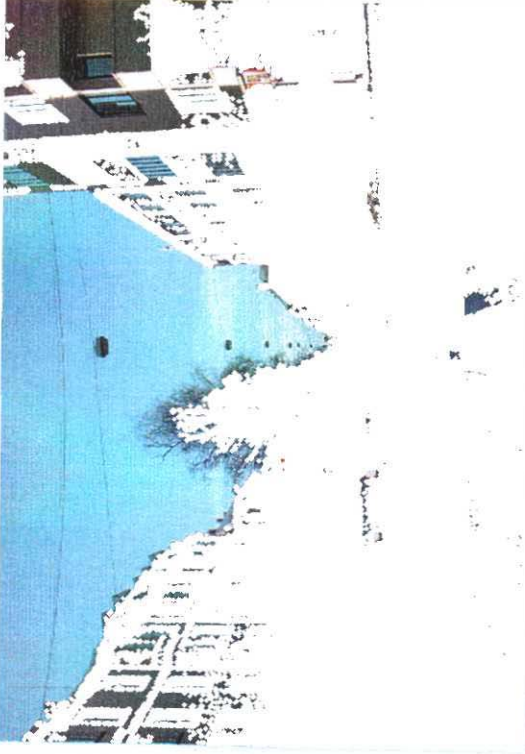
Rv 168, Volvat, kl 14:00, 28.01



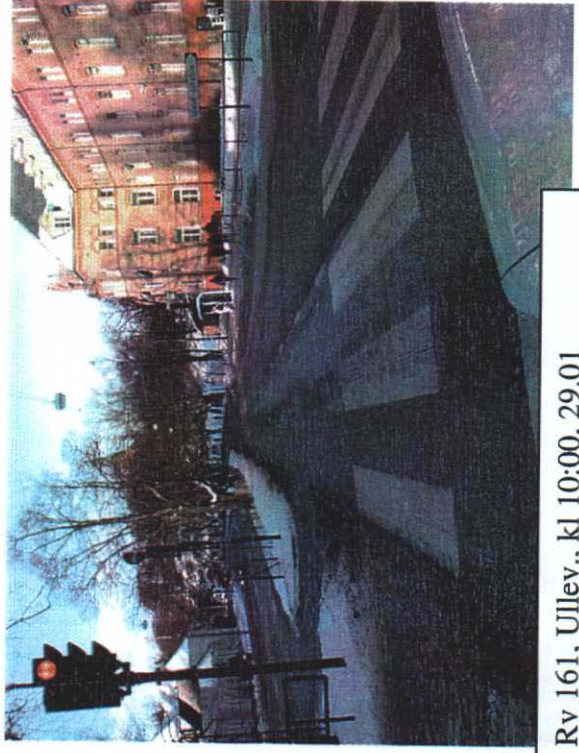
Rv 161, Suhms gt, kl 14:00, 29.01



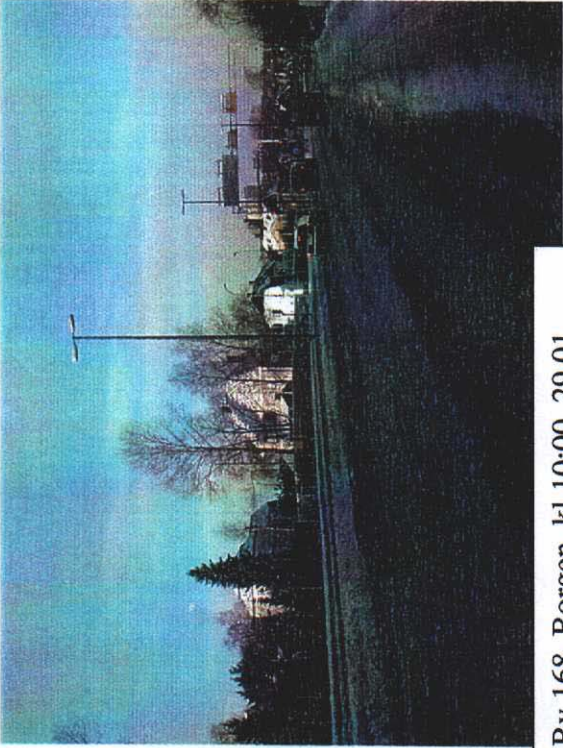
Rv 161, Ulllev., kl 14:00, 29.01



Rv 161, Suhms gt, kl 10:00, 29.01



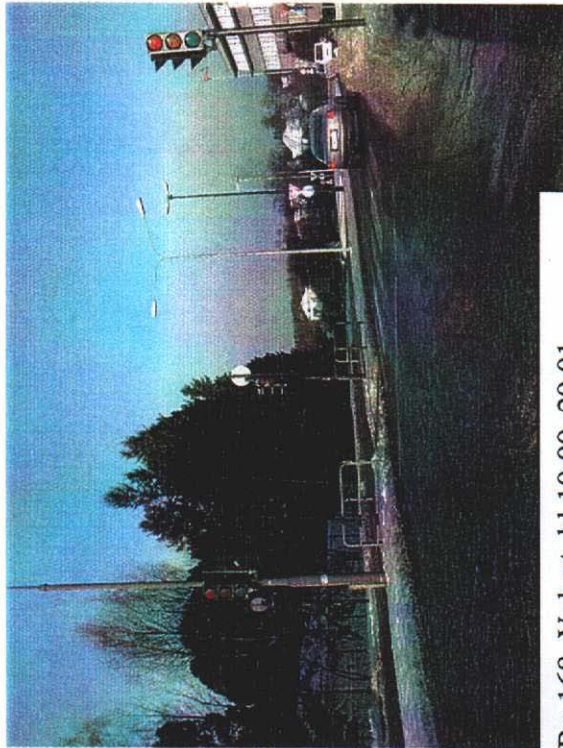
Rv 161, Ulllev., kl 10:00, 29.01



Rv 168, Borgen, kl 10:00, 29.01



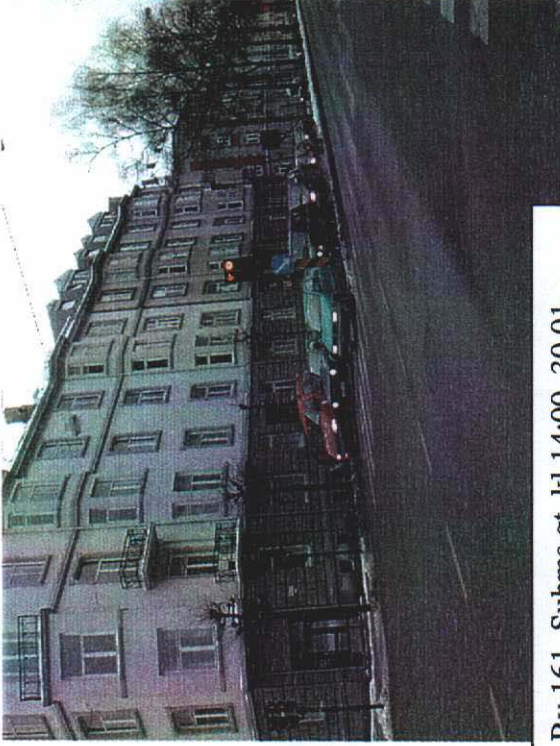
Rv 168, Borgen, kl 14:00, 29.01



Rv 168, Volvat, kl 10:00, 29.01



Rv 168, Volvat, kl 14:00, 29.01



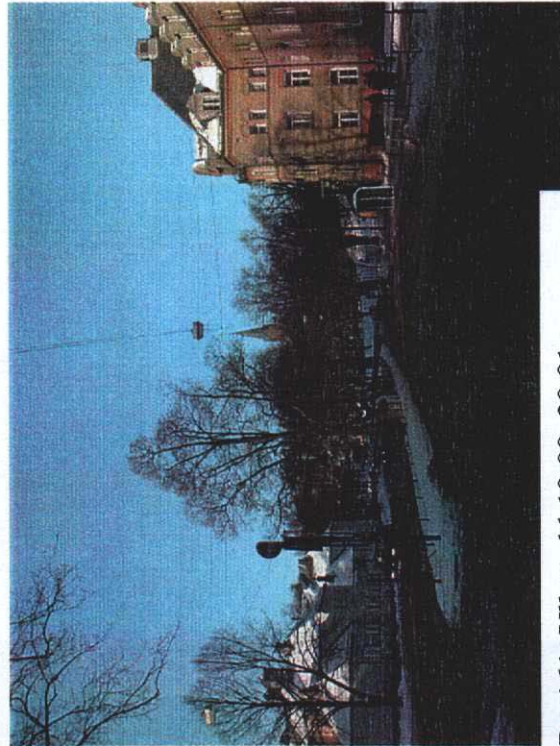
Rv 161, Suhms gt, kl 14:00, 30.01



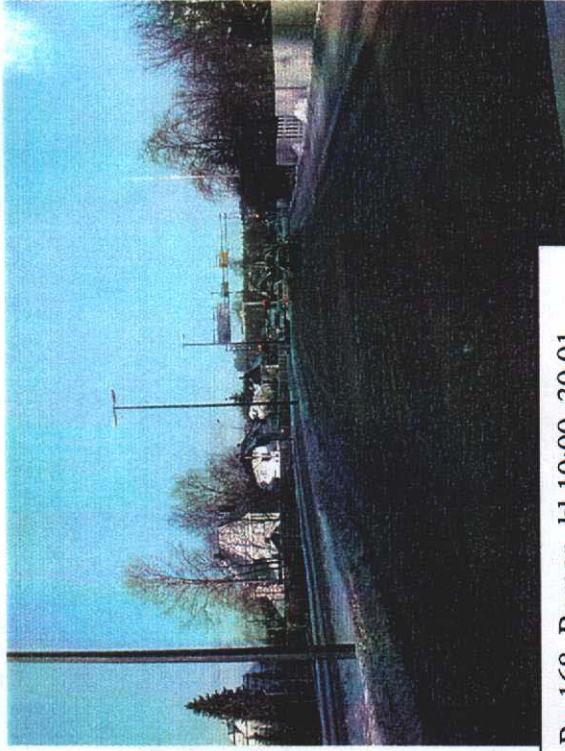
Rv 161, Ullev., kl 14:00, 30.01



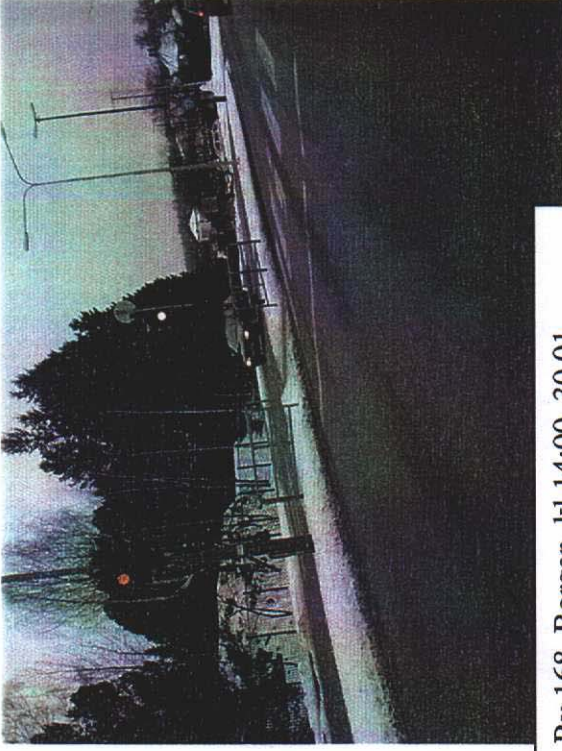
Rv 161, Suhms gt, kl 10:00, 30.01



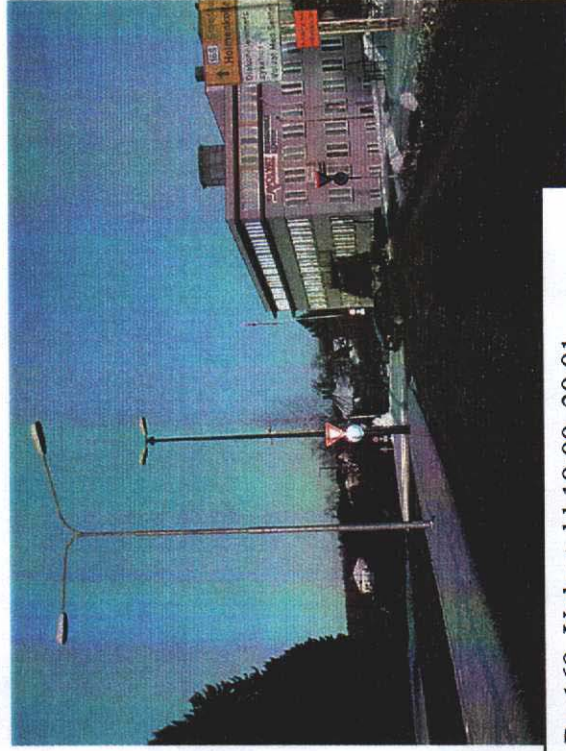
Rv 161, Ullev., kl 10:00, 30.01



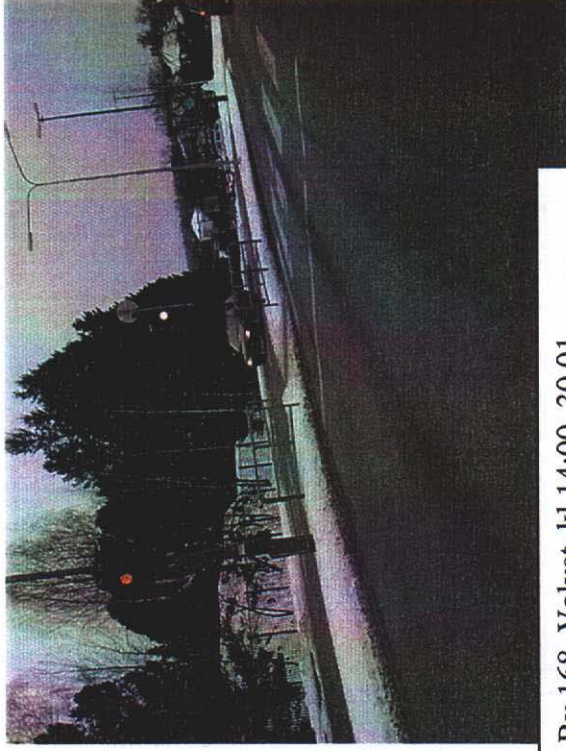
Rv 168, Borgen, kl 10:00, 30.01



Rv 168, Borgen, kl 14:00, 30.01



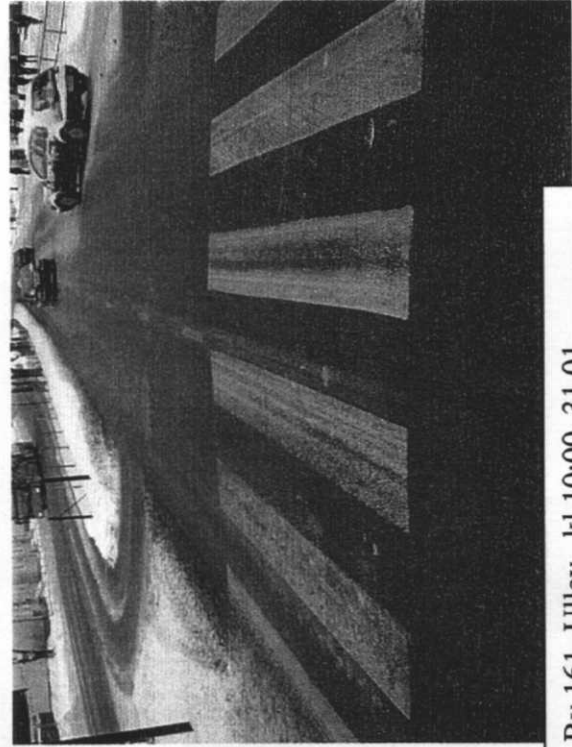
Rv 168, Volvat, kl 10:00, 30.01



Rv 168, Volvat, kl 14:00, 30.01



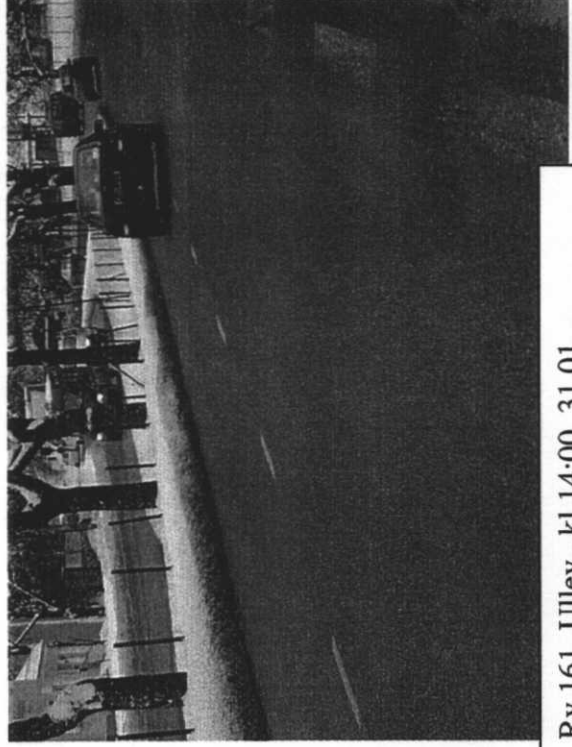
Rv 161, Suhms gt, kl 10:00, 31.01



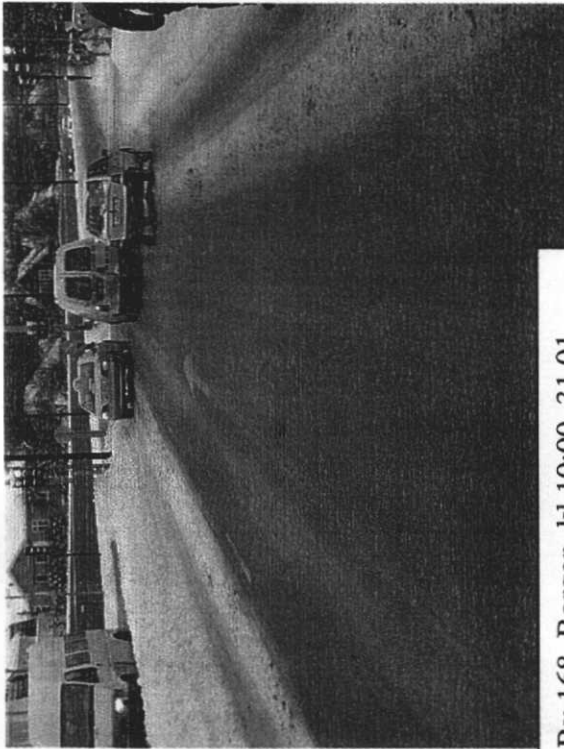
Rv 161, Ullev., kl 10:00, 31.01



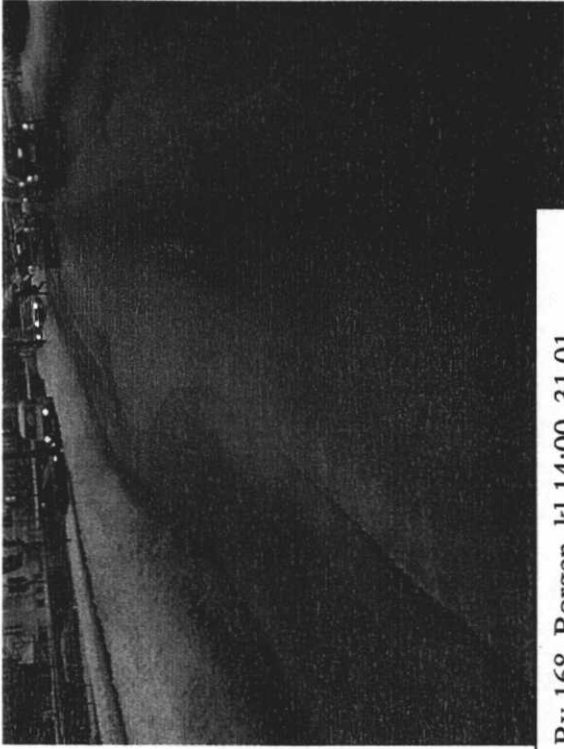
Rv 161, Suhms gt, kl 14:00, 31.01



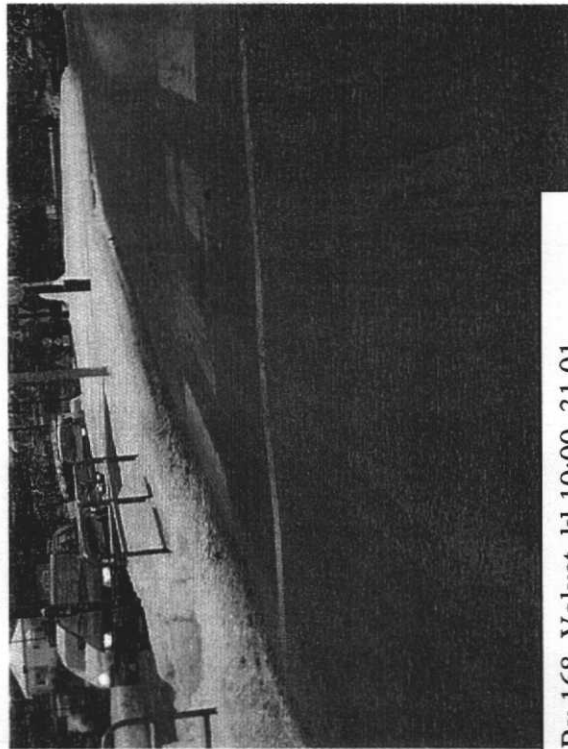
Rv 161, Ullev., kl 14:00, 31.01



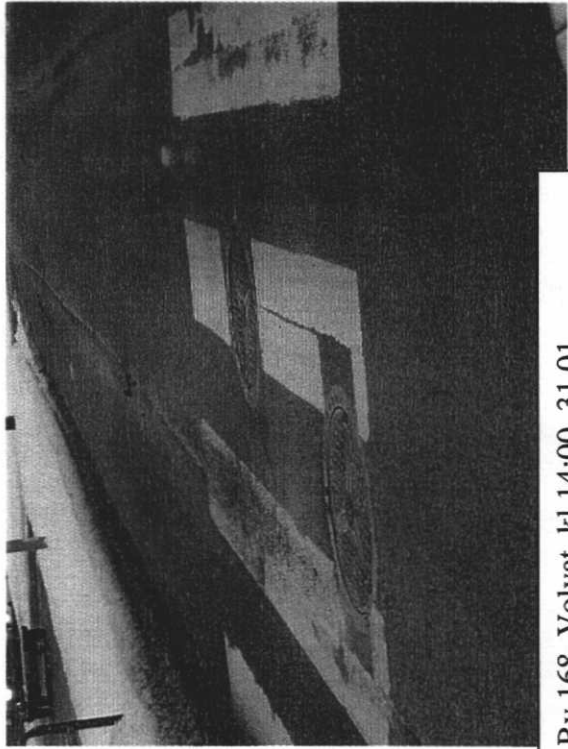
Rv 168, Borgen, kl 10:00, 31.01



Rv 168, Borgen, kl 14:00, 31.01

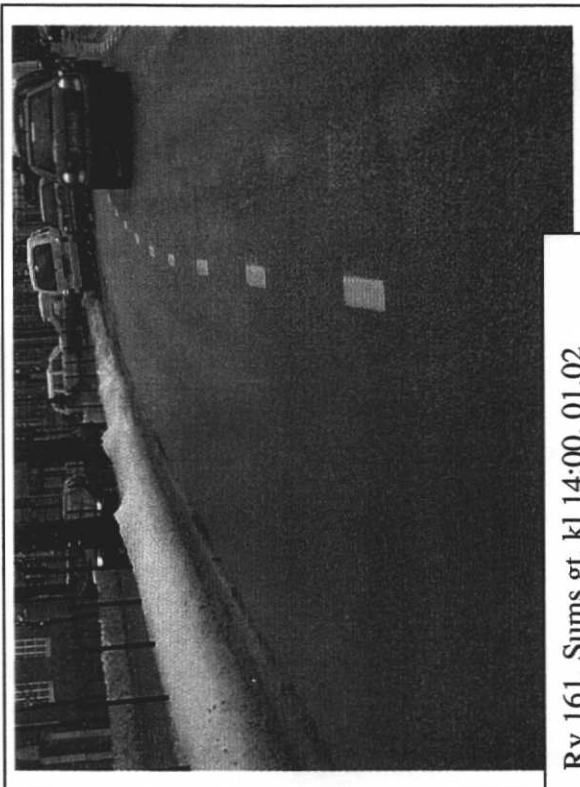


Rv 168, Volvat, kl 10:00, 31.01

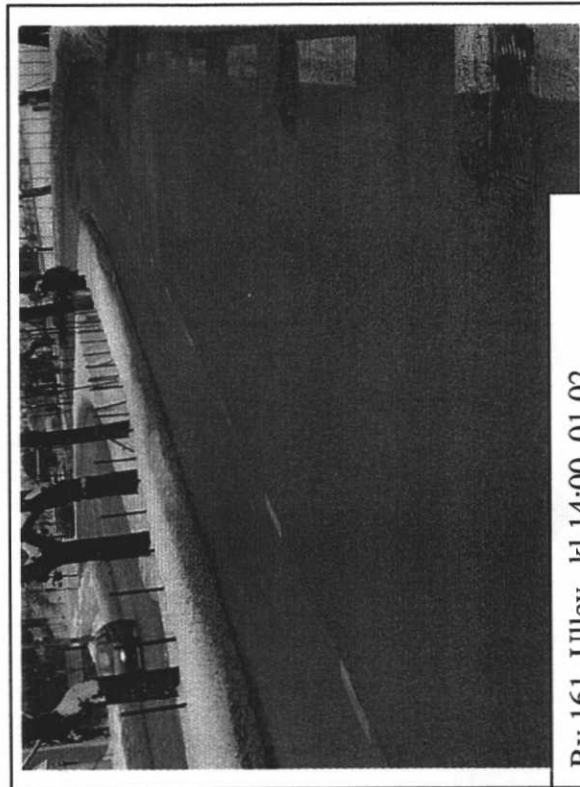


Rv 168, Volvat, kl 14:00, 31.01

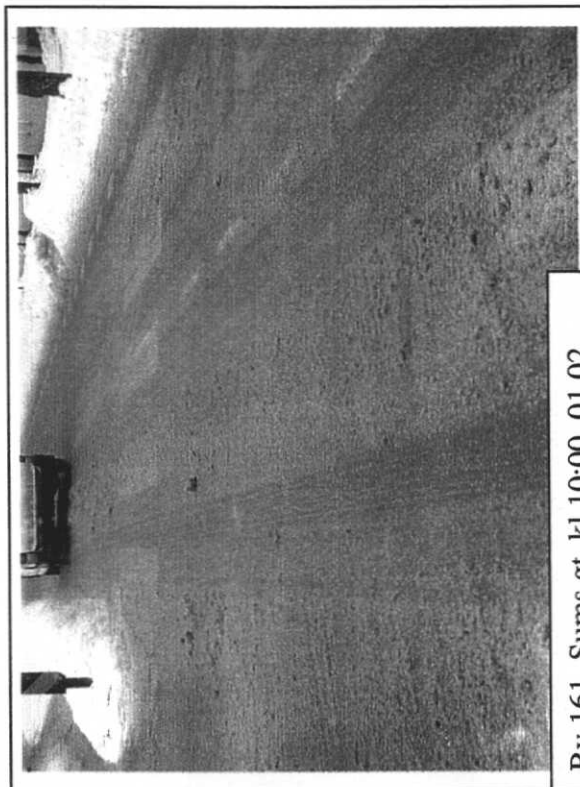
Vedlegg 2: Fotodokumentasjon fra februar 2002



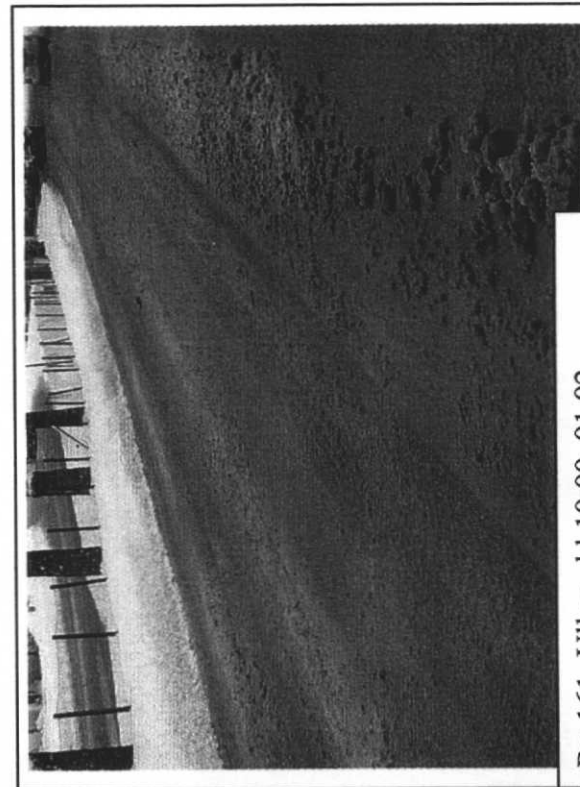
Rv 161, Sums gt, kl 14:00, 01.02



Rv 161, Ullev., kl 14:00, 01.02



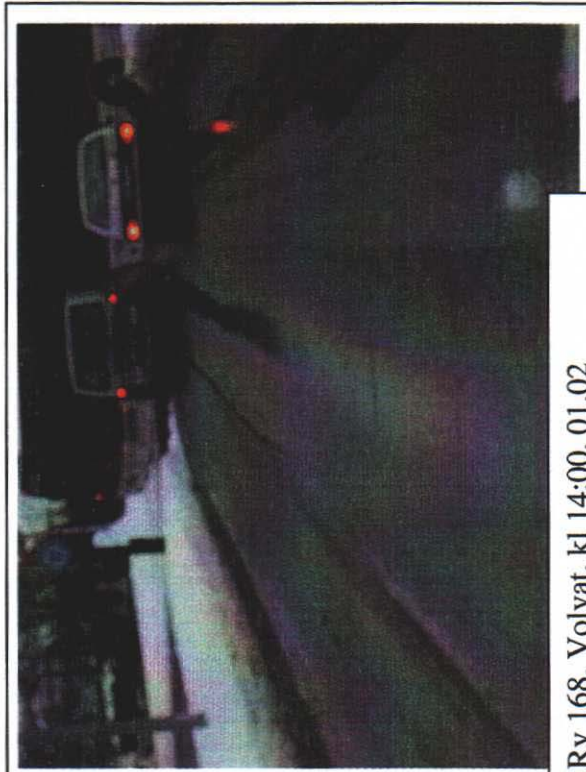
Rv 161, Sums gt, kl 10:00, 01.02



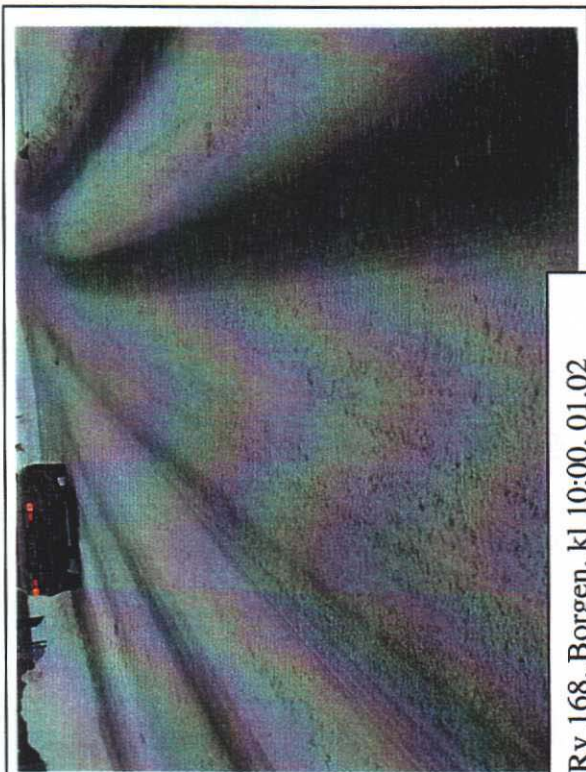
Rv 161, Ullev., kl 10:00, 01.02



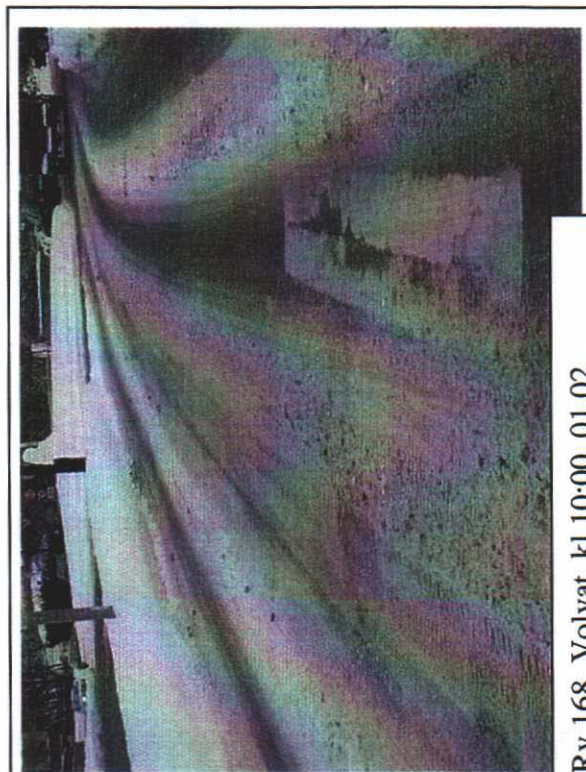
Rv 168, Borgen, kl 14:00, 01.02



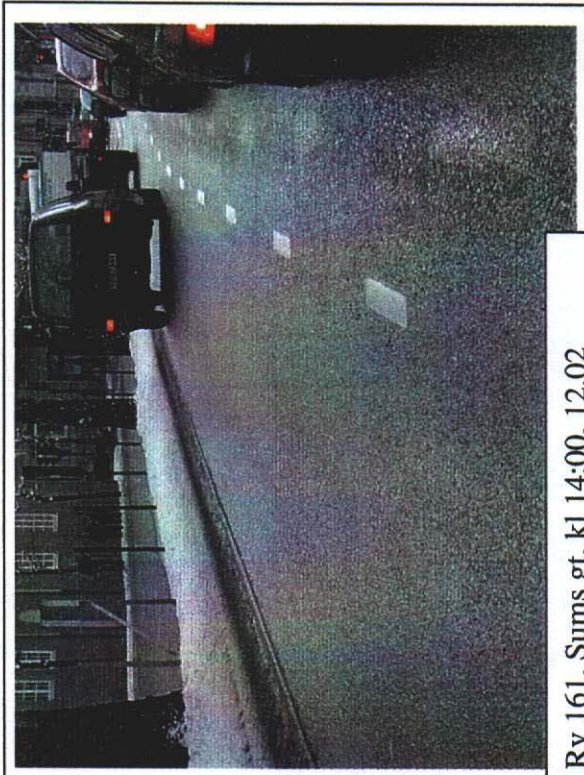
Rv 168, Volvat, kl 14:00, 01.02



Rv 168, Borgen, kl 10:00, 01.02



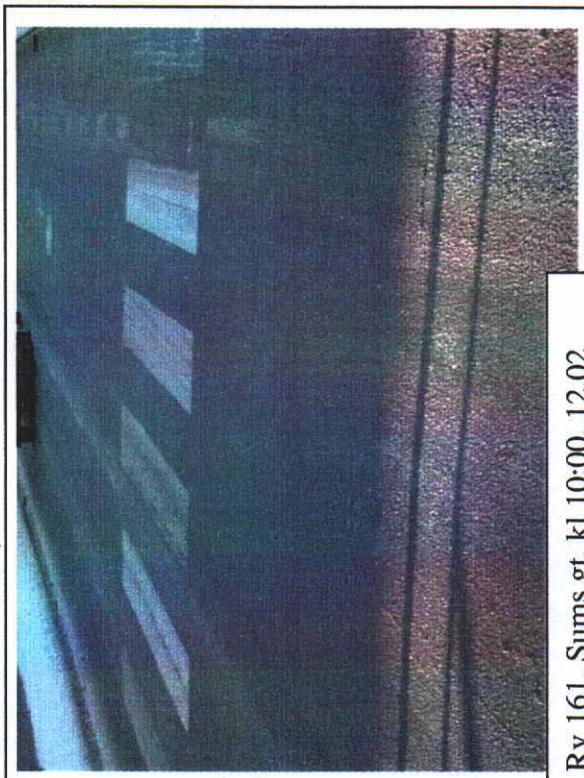
Rv 168, Volvat, kl 10:00, 01.02



Rv 161, Sums gt, kl 14:00, 12.02



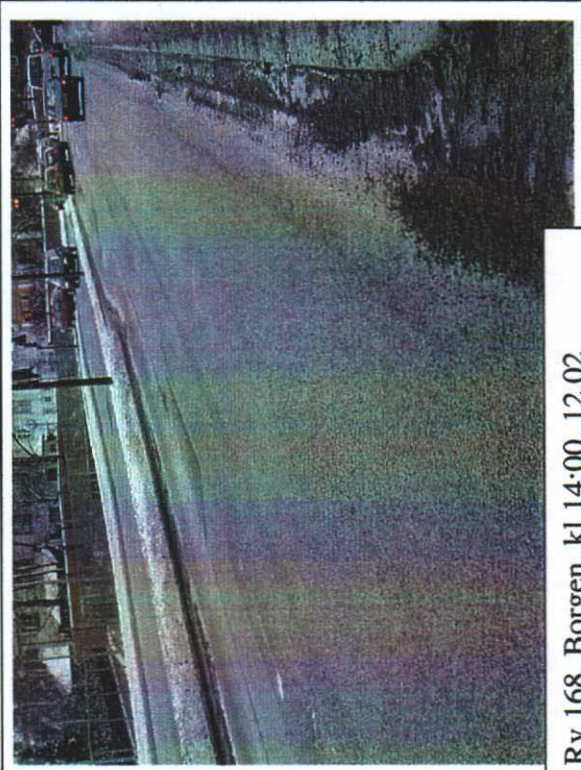
Rv 161, Ullev., kl 14:00, 12.02



Rv 161, Sums gt, kl 10:00, 12.02



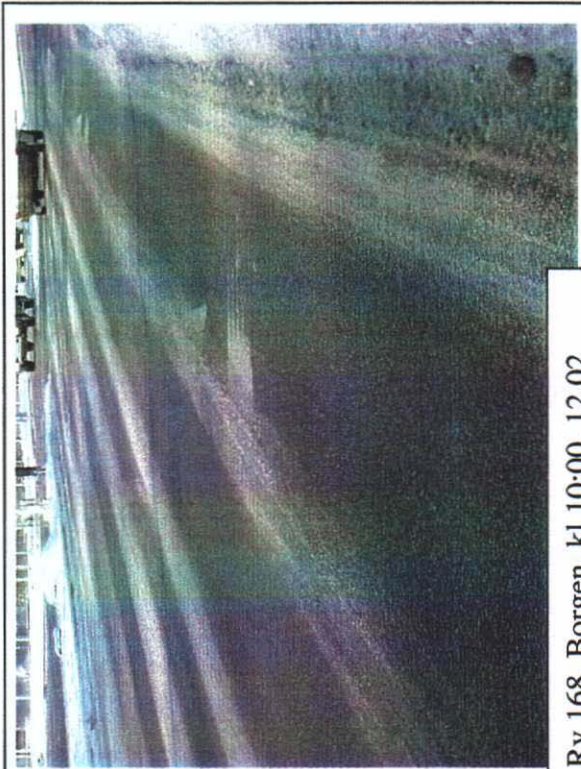
Rv 161, Ullev., kl 10:00, 12.02



Rv 168, Borgen, kl 14:00, 12.02



Rv 168, Volvat, kl 14:00, 12.02



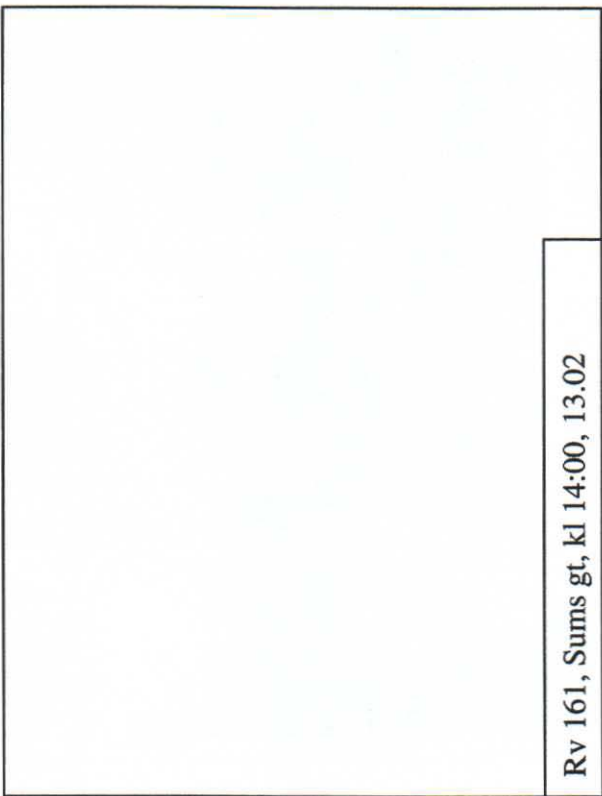
Rv 168, Borgen, kl 10:00, 12.02



Rv 168, Volvat, kl 10:00, 12.02



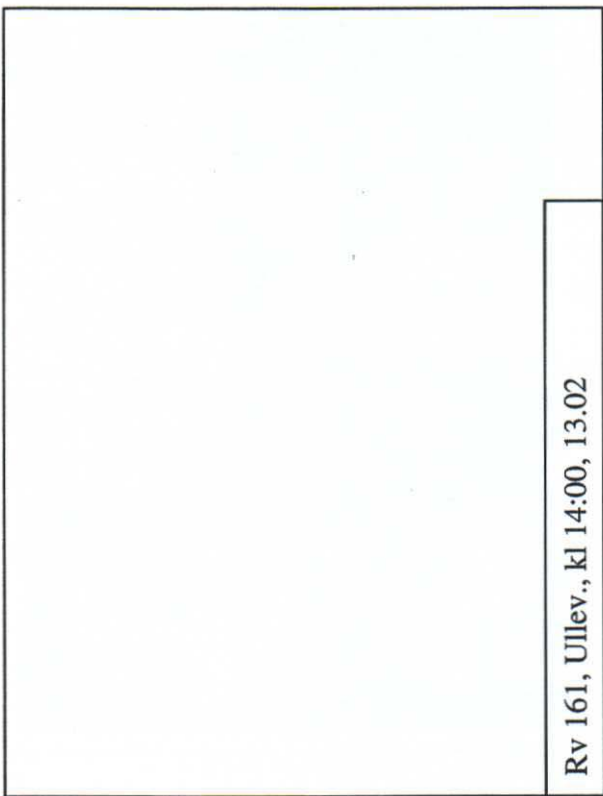
Rv 161, Sums gt, kl 10:00, 13.02



Rv 161, Sums gt, kl 14:00, 13.02



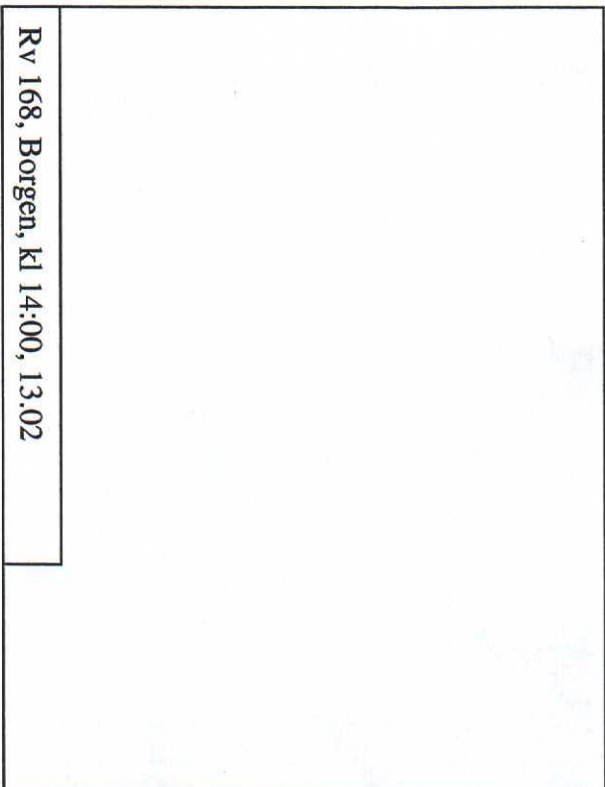
Rv 161, Ullev., kl 10:00, 13.02



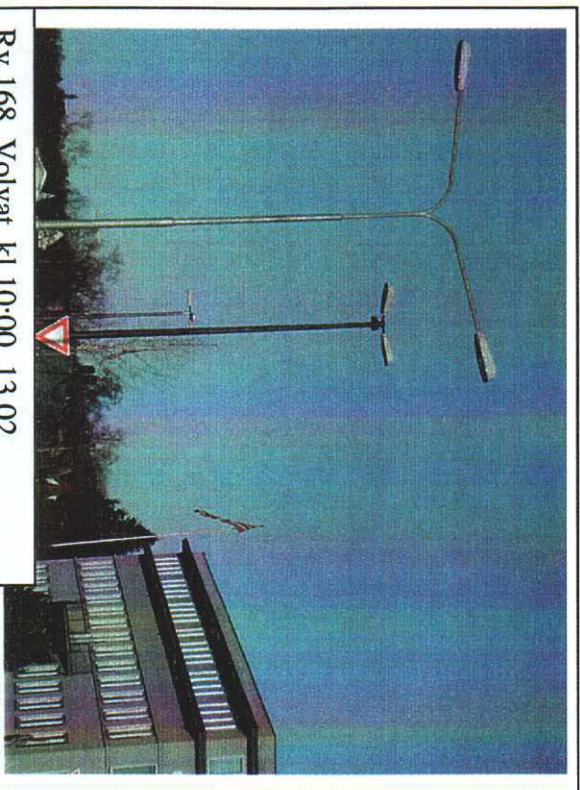
Rv 161, Ullev., kl 14:00, 13.02



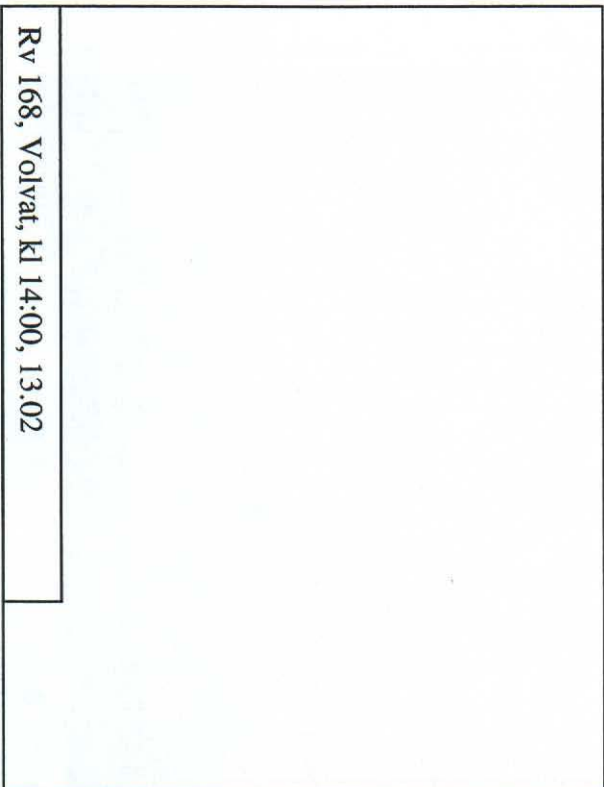
Rv 168, Borgen, kl 10:00, 13.02



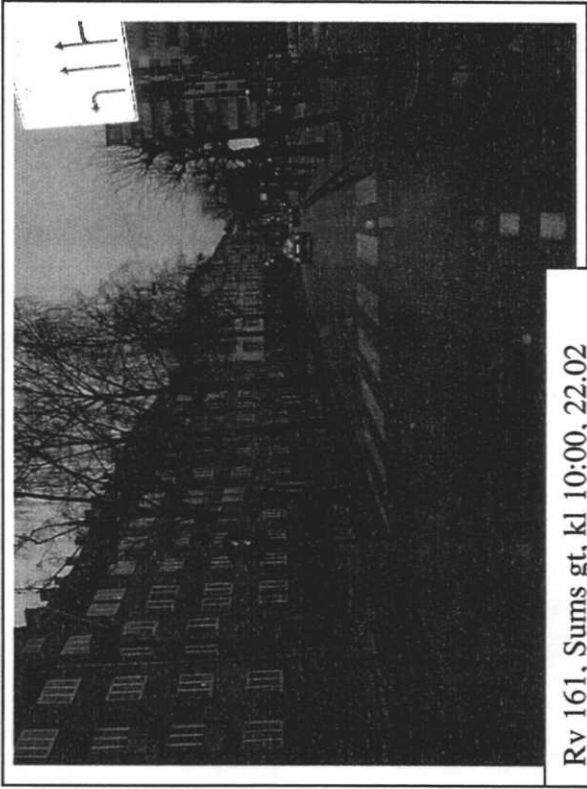
Rv 168, Borgen, kl 14:00, 13.02



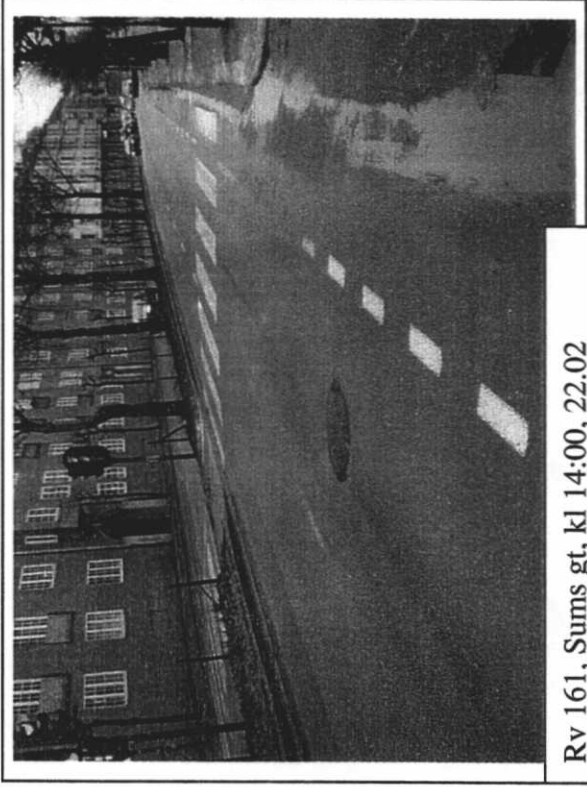
Rv 168, Volvat, kl 10:00, 13.02



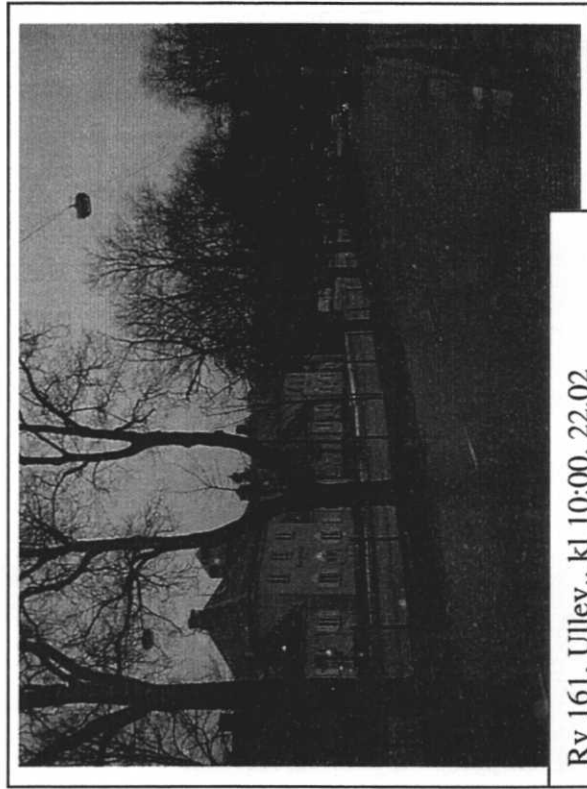
Rv 168, Volvat, kl 14:00, 13.02



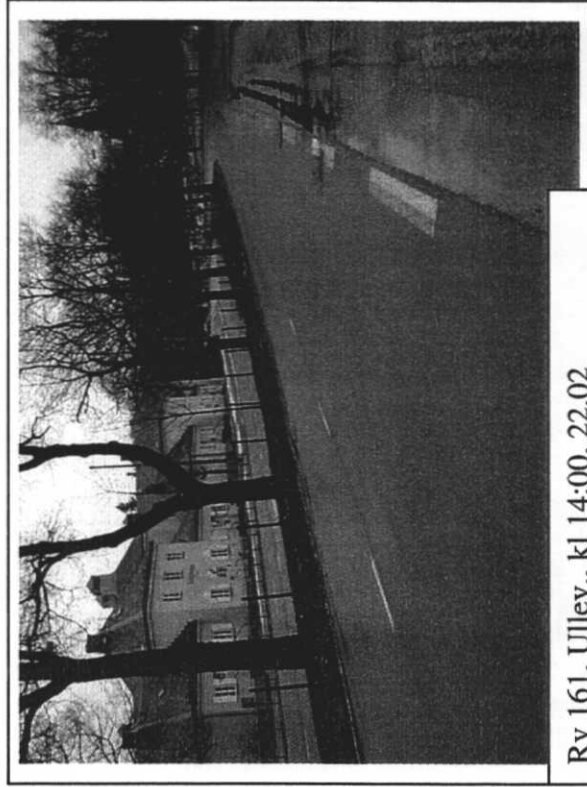
Rv 161, Sums gt, kl 10:00, 22.02



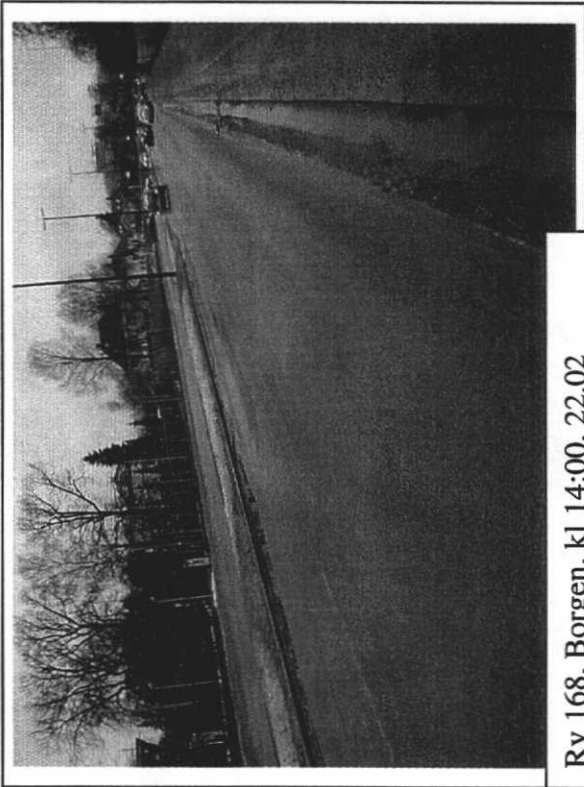
Rv 161, Sums gt, kl 14:00, 22.02



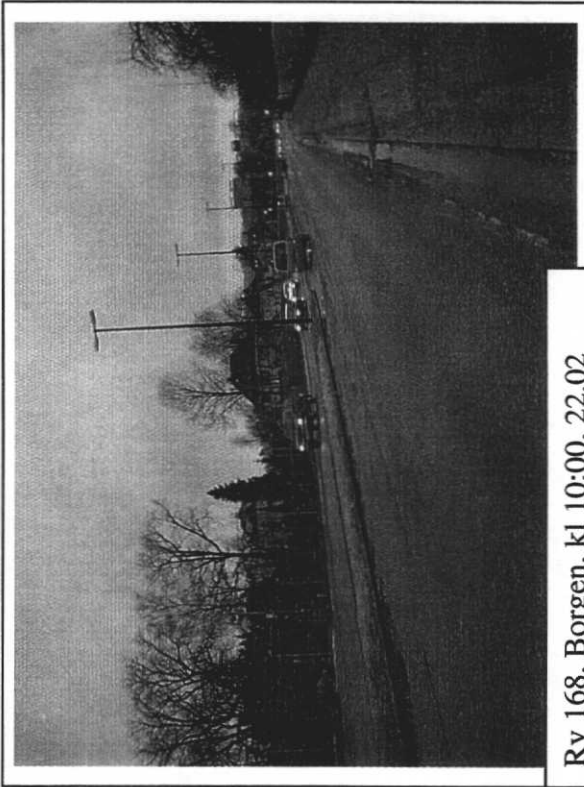
Rv 161, Ullev., kl 10:00, 22.02



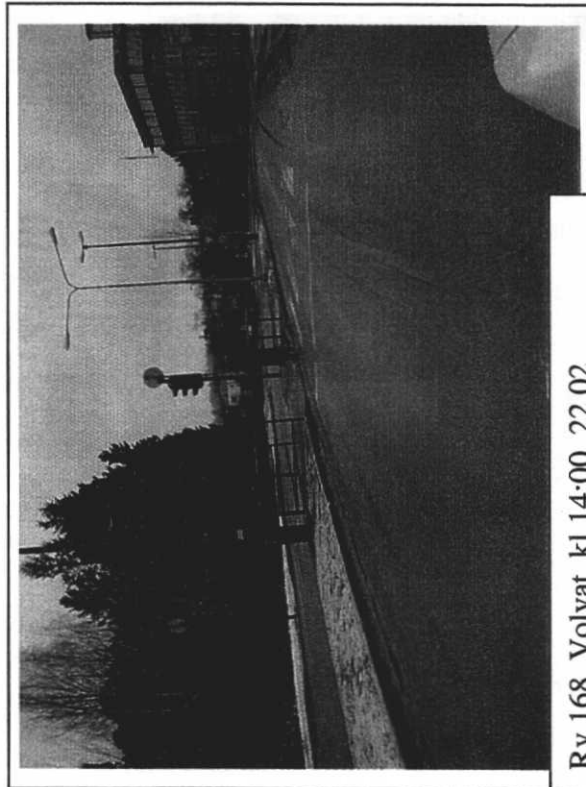
Rv 161, Ullev., kl 14:00, 22.02



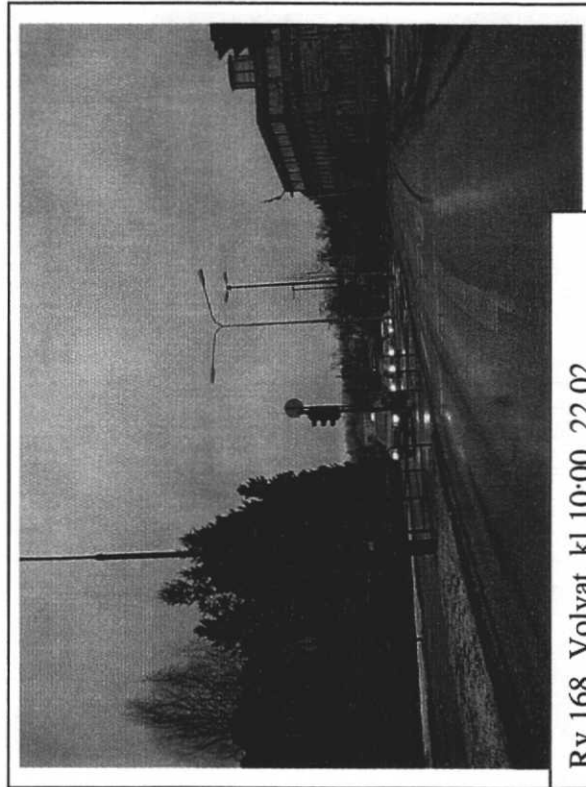
Rv 168, Borgen, kl 14:00, 22.02



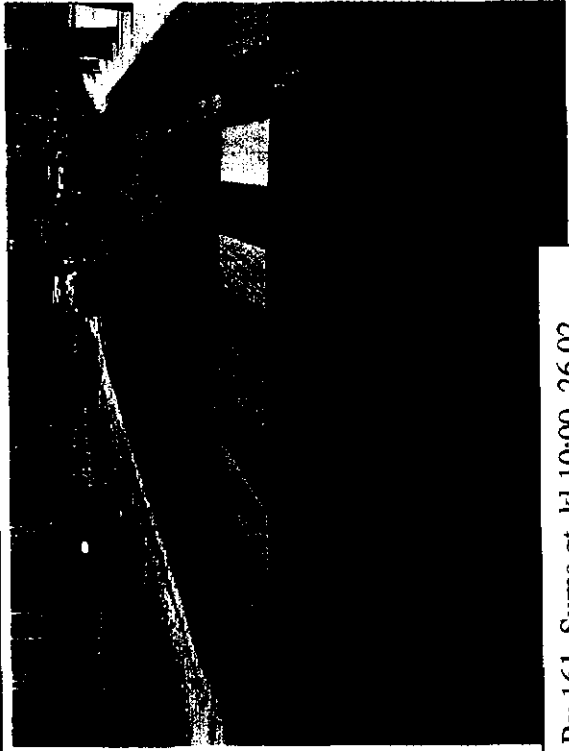
Rv 168, Borgen, kl 10:00, 22.02



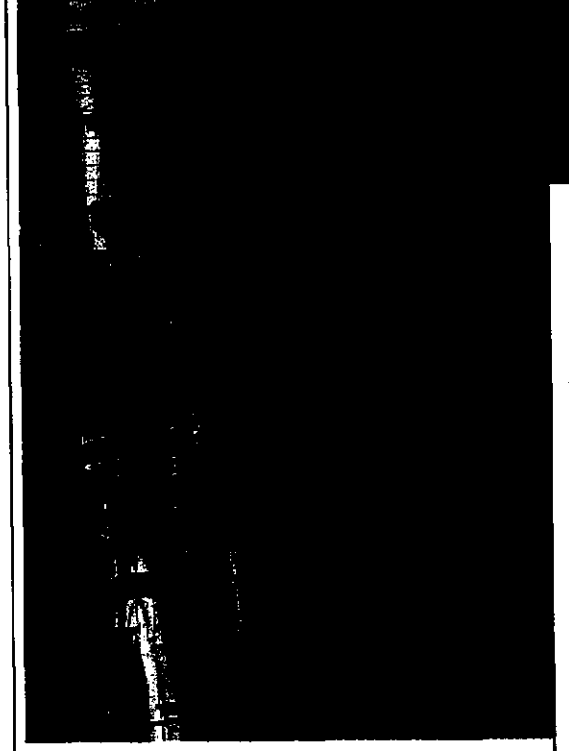
Rv 168, Volvat, kl 14:00, 22.02



Rv 168, Volvat, kl 10:00, 22.02



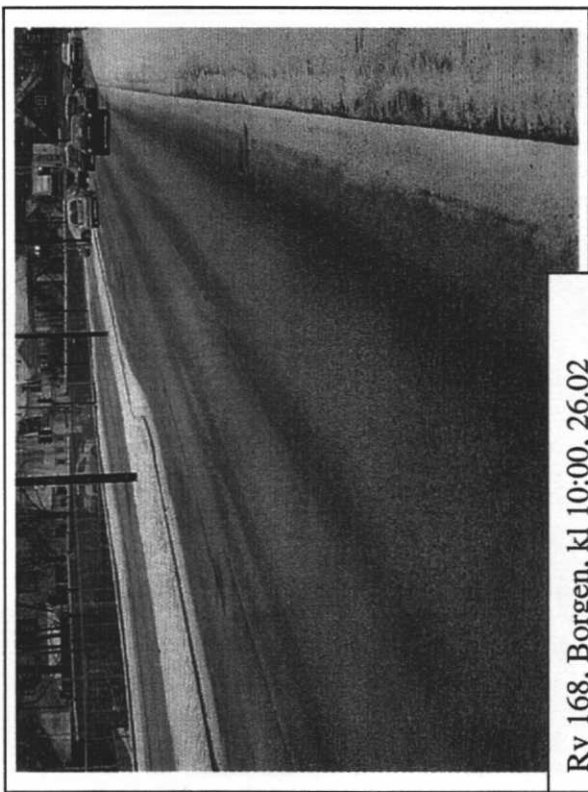
Rv 161, Sums gt, kl 10:00, 26.02



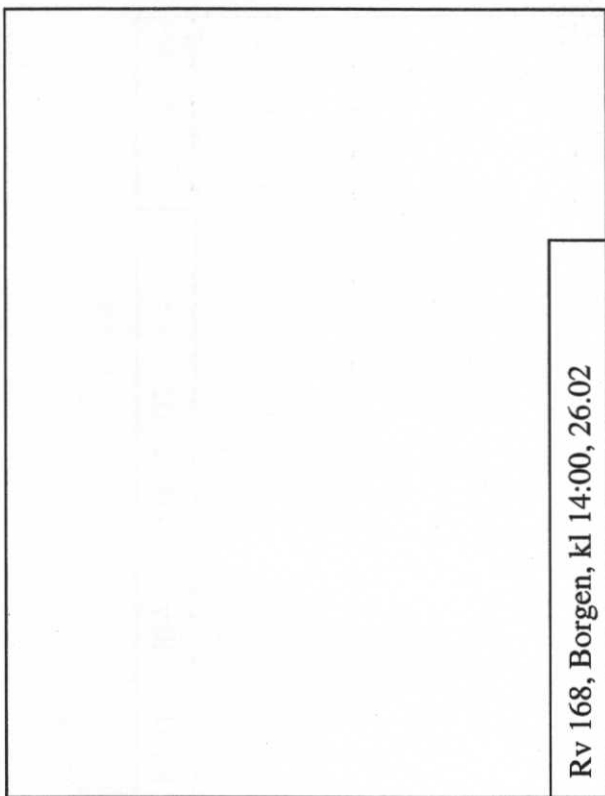
Rv 161, Ullev., kl 10:00, 26.02

Rv 161, Sums gt, kl 14:00, 26.02

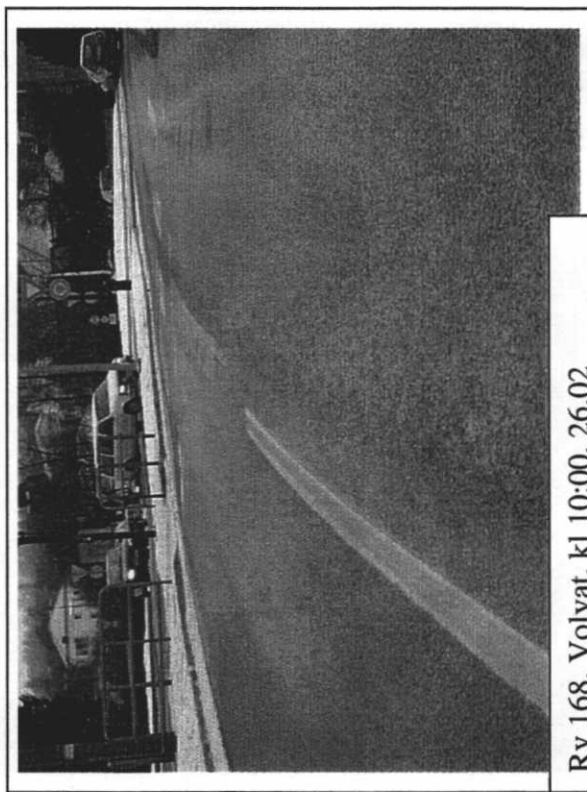
Rv 161, Ullev., kl 14:00, 26.02



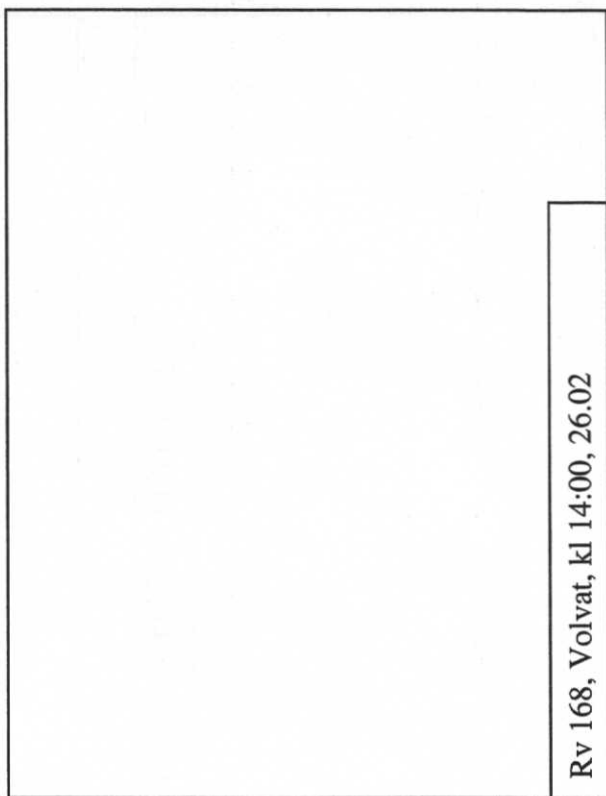
Rv 168, Borgen, kl 10:00, 26.02



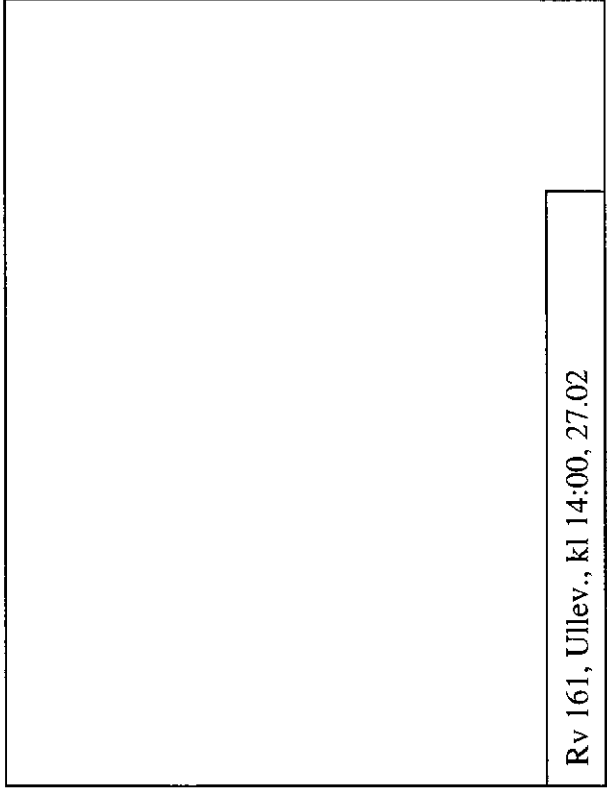
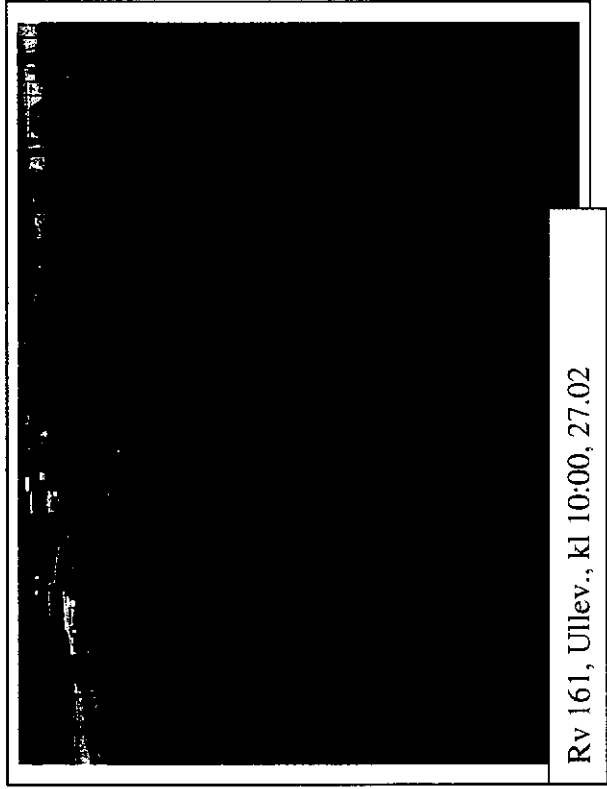
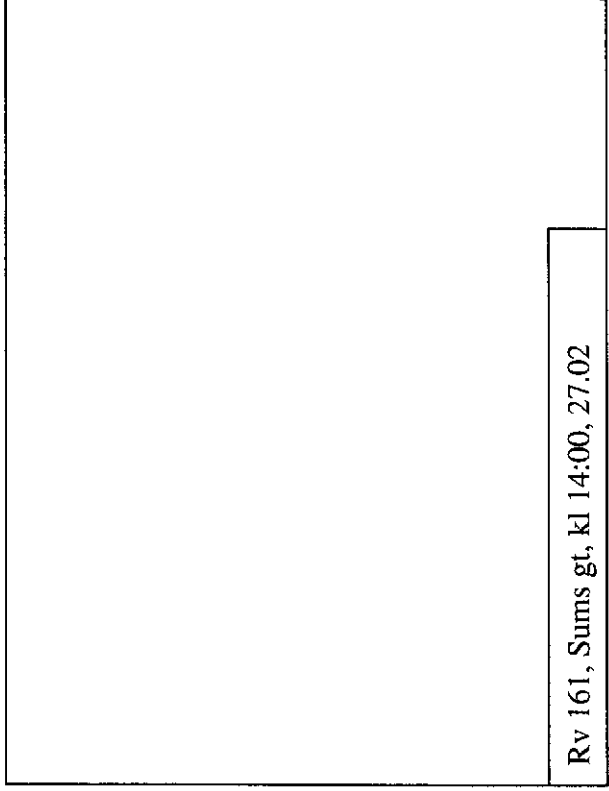
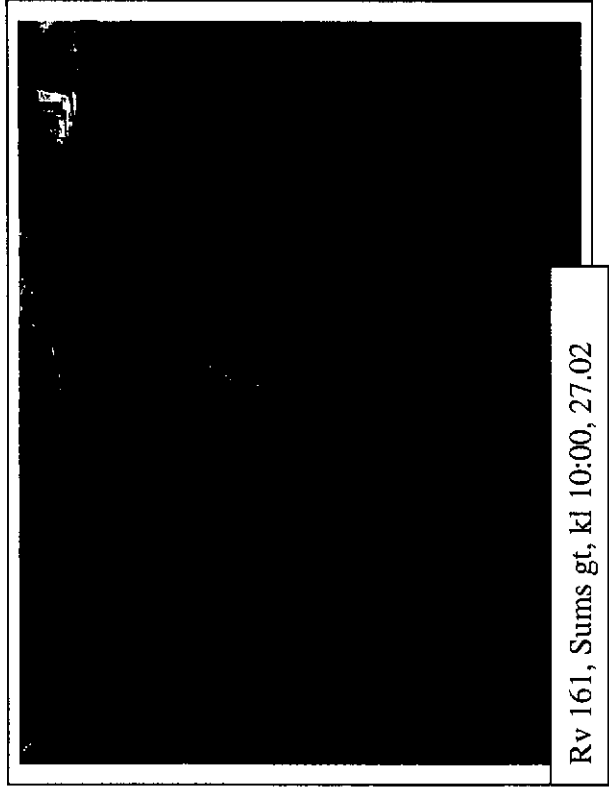
Rv 168, Borgen, kl 14:00, 26.02

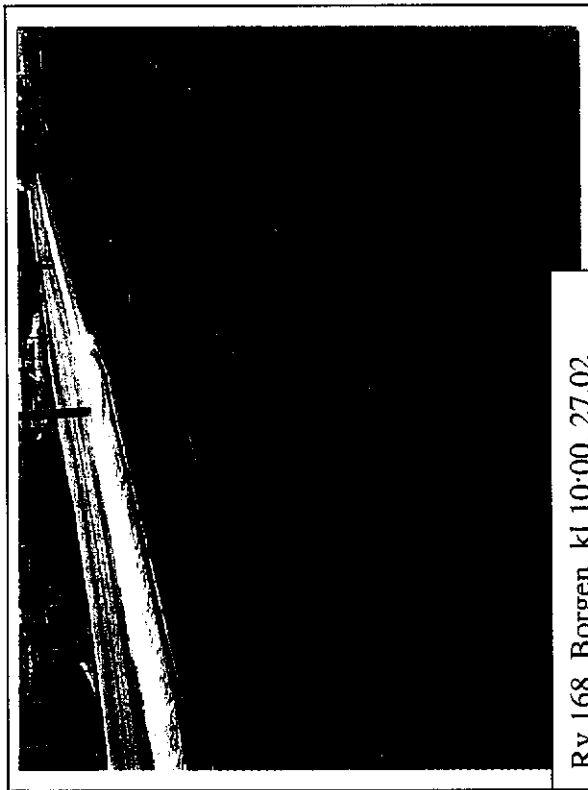


Rv 168, Volvat, kl 10:00, 26.02

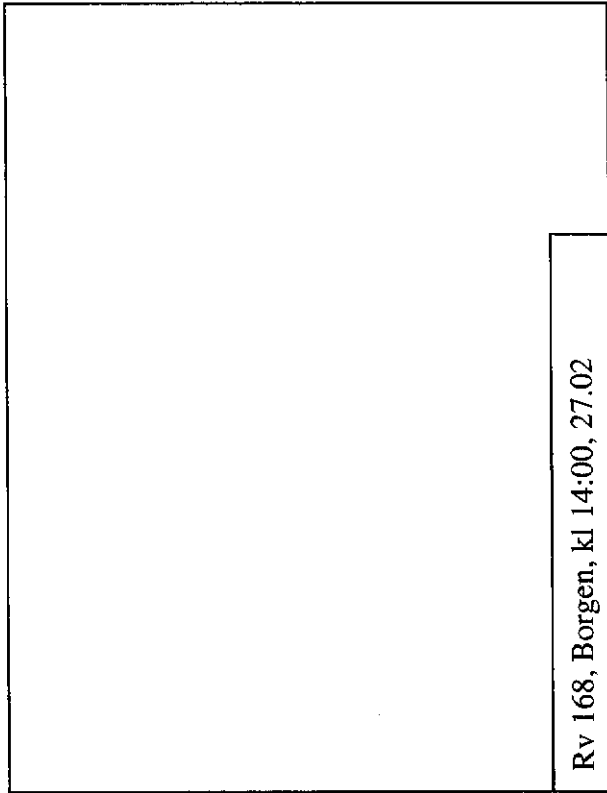


Rv 168, Volvat, kl 14:00, 26.02





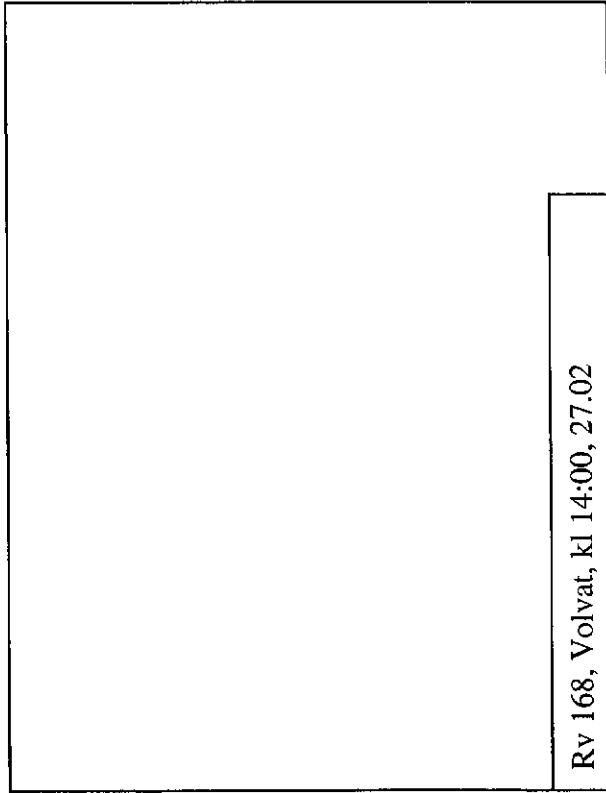
Rv 168, Borgen, kl 10:00, 27.02



Rv 168, Borgen, kl 14:00, 27.02



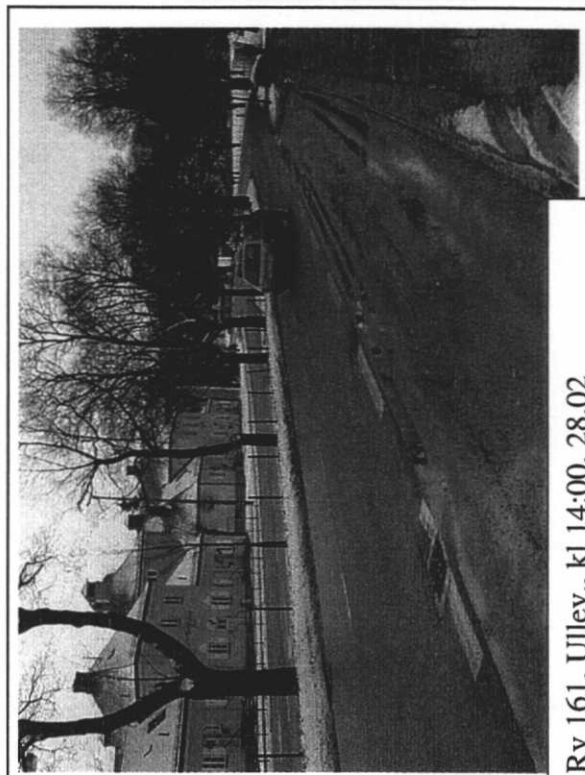
Rv 168, Volvat, kl 10:00, 27.02



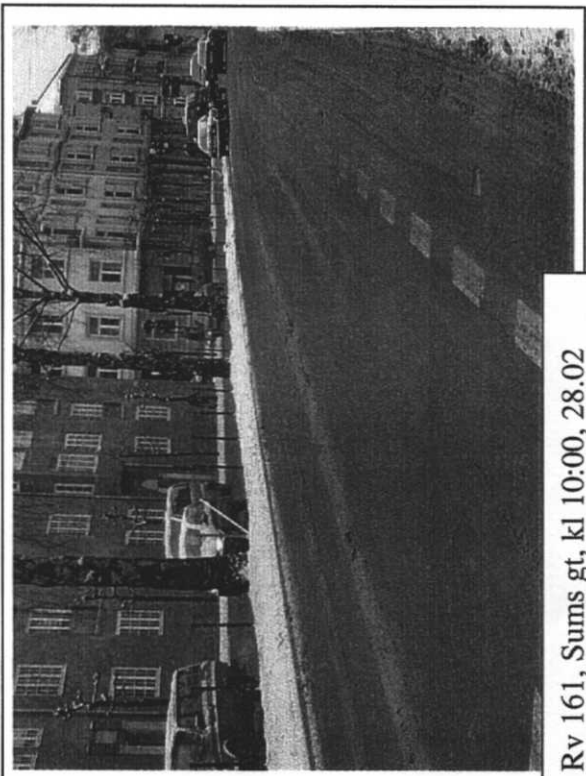
Rv 168, Volvat, kl 14:00, 27.02



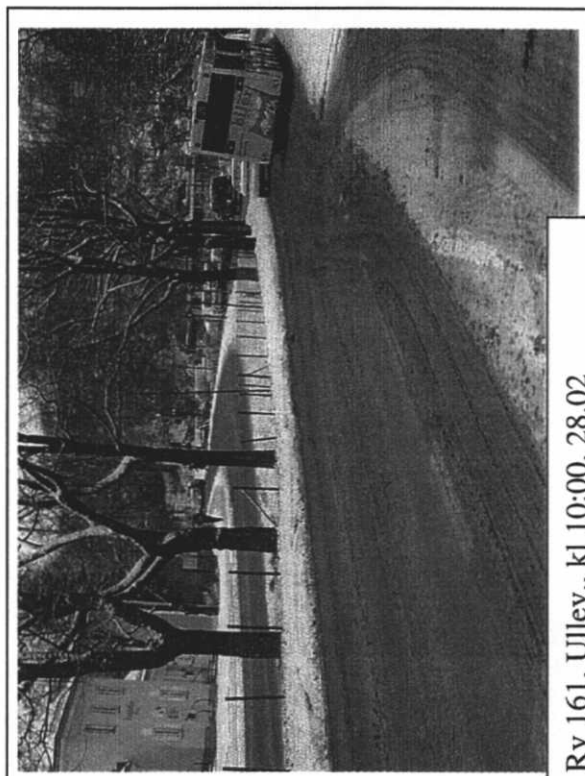
Rv 161, Sums gt, kl 14:00, 28.02



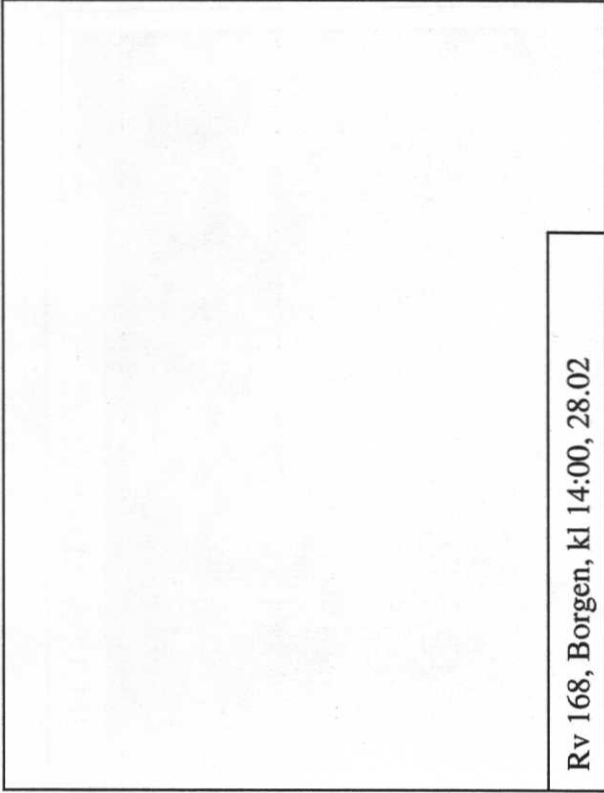
Rv 161, Ullev., kl 14:00, 28.02



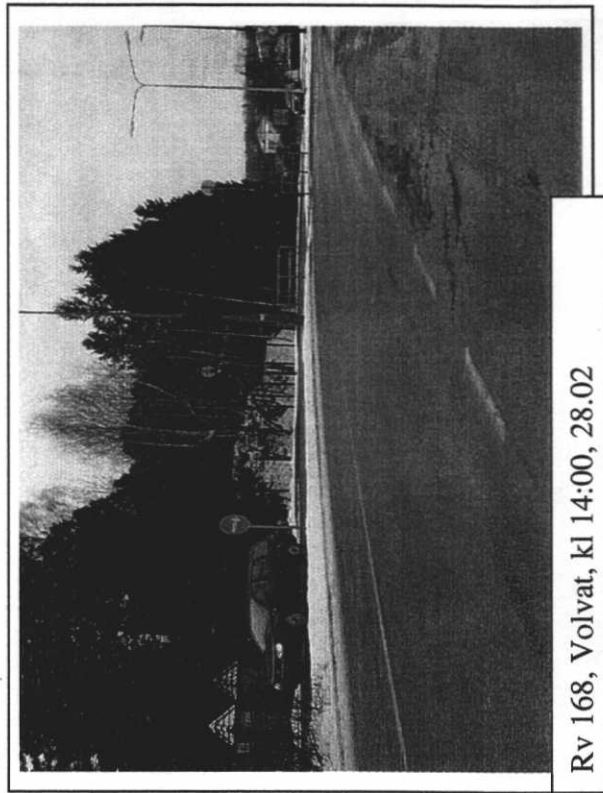
Rv 161, Sums gt, kl 10:00, 28.02



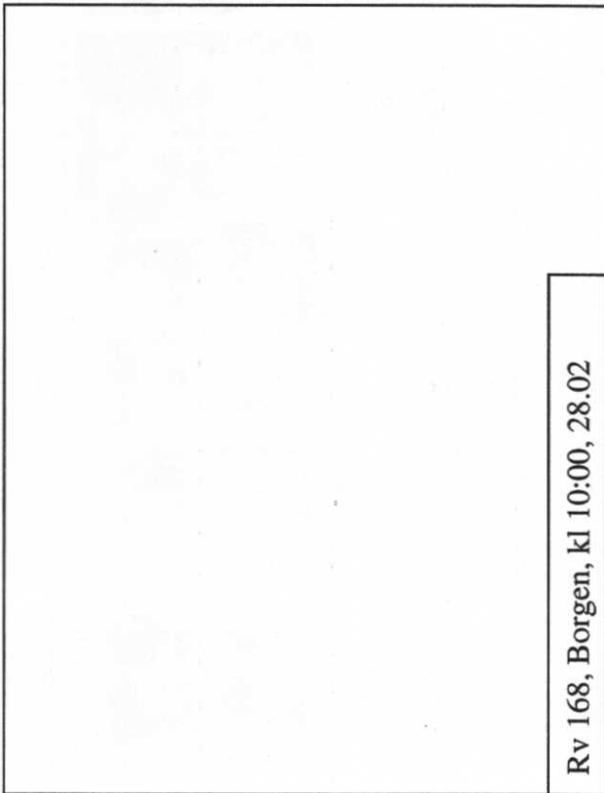
Rv 161, Ullev., kl 10:00, 28.02



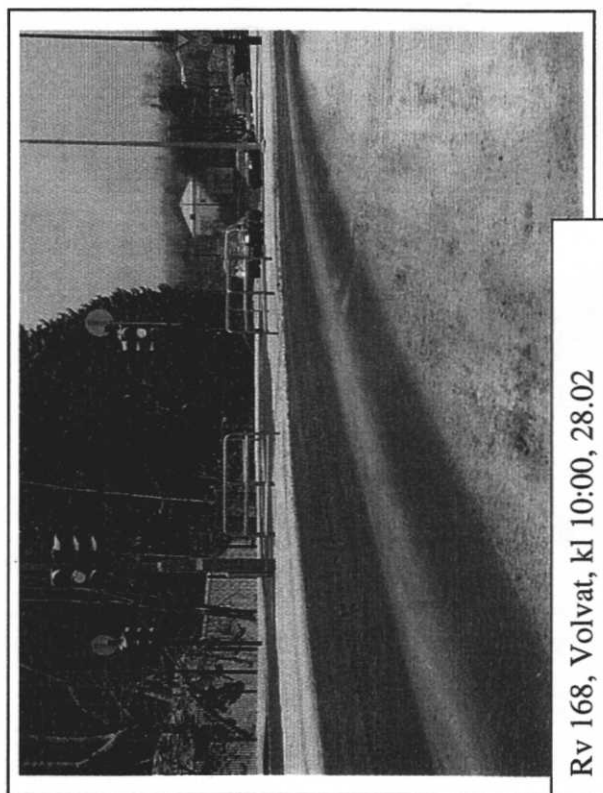
Rv 168, Borgen, kl 14:00, 28.02



Rv 168, Volvat, kl 14:00, 28.02



Rv 168, Borgen, kl 10:00, 28.02



Rv 168, Volvat, kl 10:00, 28.02