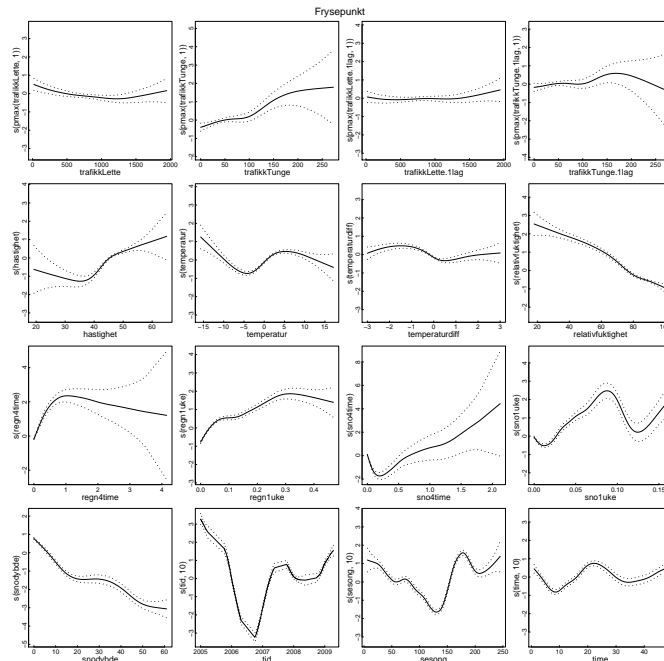


Effekt av salting på frysepunkt i veibanen basert på data fra 2005-2009



Notatnr
Forfattere

SAMBA/12/10
Magne Aldrin
Gunnhildur Högnadóttir Steinbakk

Dato

25. mars 2010

Norsk Regnesentral

Norsk Regnesentral (NR) er en privat, uavhengig stiftelse som utfører oppdragsforskning for bedrifter og det offentlige i det norske og internasjonale markedet. NR ble etablert i 1952 og har kontorer i Informatikkbygningen ved Universitetet i Oslo. NR er et av Europas største miljøer innen anvendt statistikk. Det jobbes med svært mange forskjellige problemstillinger slik som estimering av torskebestanden, finansiell risiko, beskrivelse av geologien i petroleumsreservoarer og overvåking av klimaendringer. NR er også ledende i Norge innen utvalgte deler av informasjons- og kommunikasjonsteknologi. Problemstillinger kan være å overvåke inntrengning i datasystemer, e-læring i skole og næringsliv, bruk av datateknologi i markedsanalyser samt anvendelser av multimedia på forskjellige plattformer. NRs visjon er forskningsresultater som brukes og synes.

Tittel	Effekt av salting på frysepunkt i veibanen basert på data fra 2005-2009
Forfattere	Magne Aldrin <magne.aldrin@nr.no> Gunnhildur Högnadóttir Steinbakk <gunnhildur.steinbakk@nr.no>
Dato	25. mars 2010
Publikasjonsnummer	SAMBA/12/10

Sammendrag

I denne rapporten presenterer vi statistiske modeller for effekten av salting på frysepunktet i veibanen basert på data fra vintrene 2005-2009. For å finne effekten av salting må vi korrigere for andre forhold som trafikkvolum og meteorologiske variable. Analysen baseres på en ikke-lineær regresjonsmodell av frysepunktstemperaturene som en funksjon av trafikkdata og diverse meteorologiske data. Arbeidet er utført på oppdrag fra Statens vegvesen.

Ved preventive tiltak og tiltak ved snø har de ulike typer salting følgende effekt på frysepunktstemperaturen:

- Salting med tørt salt senker frysepunktet betydelig.
- Om tørt salt befuktes med $MgCl_2$ -løsning, gir dette ingen ytterligere senkning av frysepunktstemperaturen. Det er heller en tendens til det motsatte. Årsaken kan være at befukting med løsning reellt sett ikke har betydning, men det kan også være at befukting brukes ved spesielle værforhold.
- Bruk av kun $MgCl_2$ -løsning har ingen klar effekt.
- Bruk av $NaCl$ -løsning som befukting i stedet for $MgCl_2$ -løsning har muligens en negativ effekt, men dette er svært usikkert.

Videre, ved støvdemping er det slik at:

- Tørt salt befuktet med $MgCl_2$ -løsning gir en klar nedgang i frysepunktet.
- Bruk av kun $MgCl_2$ -løsning gir en noe mindre nedgang i frysepunktet.

Til slutt har vi undersøkt om forbruket av salt blir mindre dersom en bruker saltløsning med $MgCl_2$ istedenfor $NaCl$. Vi fant ikke grunnlag for å påstå det basert på vår relativt enkle analyse av disse dataene.

Emneord	Ledningsevne, effekt av salting, generaliserte additive modeller
Målgruppe	Til den det måtte gjelde
Tilgjengelighet	Åpen
Prosjekt	STANDAM
Prosjektnummer	220433
Satsningsområde	Miljø og marin
Antall sider	37
© Copyright	Norsk Regnesentral

Innhold

1	Introduksjon	7
2	Data	8
2.1	Frysepunktsmålinger	8
2.2	Trafikkdata	8
2.3	Meteorologiske data	9
2.4	Tiltaksdata	9
3	Modeller for frysepunksdata.	14
3.1	Forklaringsvariablene knyttet til salting	14
3.2	Modell med salting som ikke-lineære effekter	16
3.3	Modell med lineære salteffekter	17
3.3.1	Parameterusikkerhet	18
3.4	Alternativ parameterisering av salteffekt	18
4	Resultater	20
4.1	Effekt av trafikk og meteorologi.	20
4.2	Effekt av salting fra ikke-lineær modell fra kapittel 3.2	21
4.3	Effekt av salting fra lineær modell fra kapittel 3.3	25
4.4	Effekt av salting fra alternativ modell fra kapittel 3.4	30
5	Studie av sammenheng mellom salttetthet og type løsning.	33
6	Oppsummering	36
	Referanser	37

1 Introduksjon

Statens vegvesen gjennomfører driftstiltak med salting av veibanen. Etter et tiltak vil det kunne ligge igjen saltrester på veibanen som har evnen til å hindre at snø og rim fryser fast i veien. Frysepunktet, som er en avledet størrelse fra ledningsevnen, kan være en indikasjon på restsaltet. Denne rapporten presenterer en statistisk analyse av effekt av salting på frysepunktet i veibanen. Hensikten med rapporten er å studere effekten av ulike salte-tiltak. Modellene som brukes er empiriske og ikke-lineære regresjonsmodeller hvor frysepunktet er en funksjon av trafikkdata og meteorologiske data, samt salting på veien. Arbeidet er en del av et større prosjekt "Statistisk multivariabel analyse av data fra Ring 2 i Oslo 2001-2009 (STANDAM)", finansiert av Statens Vegvesen.

Tiltakene vil påvirke frysepunktet. De kan gjennomføres ved snøfall, ved snø/is i veibanen, som preventive tiltak eller som støvdemping (se kapittel 2.4). Statens vegvesen bruker også ulike saltblandinger, som består av bare tørt veisalt (NaCl), tørt salt befuktet med løsning av enten natriumklorid (NaCl) eller magnesiumklorid (MgCl_2), eller kun saltløsning (vann med 30% NaCl eller MgCl_2). Hvilket salt som brukes, avhenger delvis av hensikten med tiltaket (for eksempel preventivt eller støvdemping). I perioden som vår analyse baseres på, varieres salttypene også som en del av et forsøksopplegg. En hypotese er at MgCl_2 øker saltets vedheftsevne og dermed blir liggende lengre på veien (det vil si lengre varighet). MgCl_2 har også evnen til å binde veistøv og brukes derfor ved støvbindingstiltak.

Til slutt i denne rapporten (kapittel 5) gjennomfører vi en liten analyse av drift-data, for å undersøke vi om vi kan finne en sammenheng mellom saltforbruk og type saltløsning (med NaCl eller MgCl_2).

2 Data

Dataene er består av frysepunktsmålinger fra klimastasjoner i Kirkeveien og Sørkedalsveien med tilhørende målinger av trafikkvolum og trafikkhastighet ved Vøyen bru, meteorologiske data fra Valle Hovin og Blindern, samt opplysninger om ulike driftstiltak med salting. Dataene er enten opprinnelig oppgitt på timesnivå, eller med en finere tidsoppløsning, som vi deretter har aggregert til timesoppløsning. Frysepunkt-, trafikk- og meteorologiske data er vist i figurene 1, 2 og 3.

2.1 Frysepunktsmålinger

Frysepunktet er en avledet størrelse av ledningsevnen som måles av sensorer på to punkter i veibanen på hver klimastasjon. Ledningsevnen er dårlig når veien er tørr, mens fuktig veibane gir god ledningsevne og fuktig veisalt vil gi enda bedre ledningsevne.

For Kirkeveien har vi frysepunktsmålinger fra vinteren 2005/2006 til og med vinteren 2008/2009. For den første vintersesongen har vi data fra 10. januar til april 2006, men for de øvrige sesongene har vi data fra september/oktober til april. For Sørkedalsveien har vi i hovedsak målinger fra de samme periodene, bortsett fra at dataene ikke inneholder målinger fra 2008/2009-sesongen. Dataene er aggregert fra 10 minutters intervall til timesoppløsning, som tilsvarer oppløsningen for trafikkdataene og meteorologiske data. Videre bruker vi gjennomsnittet av de to målingspunktene i veibanen. Vi har også fjernet observasjoner hvis det er registrert mer enn 24 nuller etterhverandre i tid (på vinterstid).

2.2 Trafikkdata

Trafikkdataene er målt fra automatiske målestasjoner ved Vøyenbru på Kirkeveien og er delt opp i antall lette og tunge kjøretøy per time, og gjennomsnittshastighet per time for totaltrafikken. Trafikkvolum er summen over fire felt (det vil si to kjøreretninger). Tilsvarende er hastigheten gjennomsnittet over fire felt. Dataene viser tydelig at det er forskjeller i gjennomsnittshastigheten for disse to kjøreretningene med jevnere fart i en retning ved rundt 50km/time (fartsgrensen) og større kødannelse i den andre retning.

Endringer gjort for å kvalitetssikre trafikkdataene er som følgende:

- Tidspunkt for trafikkmålingene er ofte feilregistrert med en time som skyldes overgang mellom sommertid og vintertid. Tidspunktene er korrigert etter beste skjønn ut i fra studie av døgnmønstrene i dataene.
- Noen urimelige verdier er fjernet fra datasettet.

- Ved manglende data har vi fylt ut med beregnede verdier, så langt det lar seg gjøre, basert på basiskurvemetoden (Haug og Aldrin, 2006).

2.3 Meteorologiske data

De meteorologiske dataene består av temperatur 2 meter over bakken, relativ fuktighet, nedbør, temperaturdifferansen (beregnet som differansen mellom 2 og 25 meter over bakken) og snødybde. Vi har brukt data fra målestasjoner på Valle Hovin, bortsett fra snødybde som er registrert på Blindern. I tillegg har vi komplementert med data fra Blindern og kalibrert for riktig nivå for å fylle inn for manglende observasjoner på Valle Hovin der det har vært mulig. For variablene nedbør og temperaturdifferansen var det perioder med manglende observasjoner på begge målestasjonene og for disse periodene har vi ikke kunnet fylt inn for manglende data. Alle meteorologiske data er i vintertid og er derfor justert til klokkeid

2.4 Tiltaksdata

Driftsdata fra ISS foreligger fra 2001, men i sammenheng med frysepunkt brukes kun data fra 2005 og senere, fordi frysepunktsdata ikke finnes før dette. Vi studerer tiltaksdata fra to veistrekninger. Den første, som heretter blir omtalt som Kirkeveien, går langs riksvei 161 og defineres fra Uelands gate til Majorstua Den andre veistrekningen betegnes heretter som Sørkedalsveien og går fra Majorstua til Smestad på riksvei 168.

Opprinnelig er driftsdatatene delt inn kortere delstrekninger som kan variere fra noen få meter til flere kilometer. I de opprinnelig tiltaksdataene fra ISS er det vi har definert som Kirkeveien registrert som delstrekningene Kirkeveien, Griffenfeldtsgate/Kirkeveien og Griffenfeldtsgate. For Sørkedalsveien utgjør de opprinnelige tiltaksdata fra ISS Sørkedalsveien øvre, Sørkedalsveien nedre og Sørkedalsveien.

Driftsdataene er logget av en bil som kjører de ulike veistrekningene, og data logges flere ganger per tur. Vi bruker følgende av de registrerte variablene:

- strekning kjørt (basert på radiosignal, ikke alltid nøyaktig)
- hensikt med tiltak
- tidspunkt med minutt oppløsning,
- kjørelengde,
- lengde strødd,
- saltmengde,

- løsningsmengde og
- salttype.

For hver av de to hovedstrekningene Kirkeveien og Sørkedalsveien har vi aggregert dataene slik at vi har et sett med observasjoner per tur. En tur regnes som ett tiltak. Vi har antatt at to observasjoner er fra samme tur dersom de er observert innenfor et tidsintervall på 60 minutter. Tidsangivelsen på tiltaket angis med timesoppløsning og med samme tid som den første observasjonen på turen. Dataene aggregeres slik at følgende variabler summeres: kjørelengde, lengde strødd, mengde tørt salt (NaCl) og mengde salt i løsning (med 30% NaCl eller MgCl₂). Deretter beregnes salttetthet og løsningstetthet ved å dele sum mengde på arealet av veistrekningen (vekt per kvadratmeter), hvor arealet er beregnet som kjørelengde multiplisert med en antatt veibredde på seks meter.

Som framkommer av listen over, inneholder driftsdataene opplysninger om hvilken salttype som er brukt. I følge øvrige opplysninger fra ISS er denne imidlertid feil. Vi har fått opplyst at det i den aktuelle dataperioden kun er brukt saltløsning med MgCl₂, bortsett fra vinteren 2004/2005 i Kirkeveien, hvor det er brukt saltløsning med NaCl.

Hensikten med salte-tiltakene er registrert og kategorisert til en av følgende kategorier: preventivt/rim, preventivt/våt vei, preventivt/tørr vei, snøfall, snø/is og støvdemping. Saltblandingene som Statens vegvesen bruker i sine driftstiltak er

- tørt salt som består av kun tørt NaCl,
- saltløsning som er vann bestående av 30% NaCl eller 30% MgCl₂,
- befuktet salt som er tørt salt befuktet med saltløsning med NaCl eller MgCl₂.

Dette gir fem ulike blandinger av salt, avhengig av om en bruker løsning med NaCl eller MgCl₂. I befuktet salt, som er en blanding av tørt NaCl og saltløsning, dominerer det tørre saltet, siden det brukes omtrent fem ganger så mye tørt salt som saltløsning.

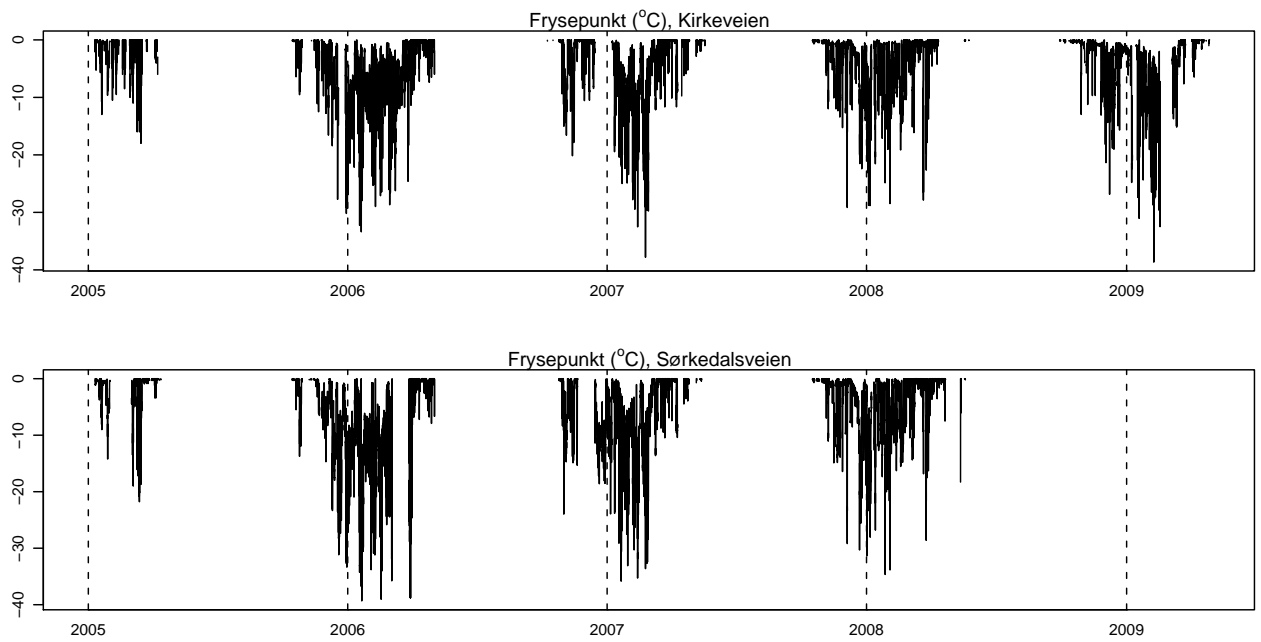
Antall saltetiltak av hver type sammen med hensiktene til tiltakene er angitt i tabell 1 og 2, ut fra slik det er oppgitt i driftsdataene. Ifølge øvrige opplysninger fra ISS brukes imidlertid tørt salt alene aldri ved preventiv/tørr vei og preventivt/rim slik tabellene viser. Derfor skal tiltakene det brukes kun tørt salt når hensikten er preventiv/tørr vei og preventivt/rim rekategoriseres til å ha hensikt preventivt/våt vei. Denne rekategoriseringen har allikevel ingen praktiske konsekvenser for våre analyser, fordi vi slår alle preventive-tiltak sammen til en kategori. Imidlertid gir dette en pekepinn om at feilkategorisering kan forekomme i et visst omfang (15-20%).

Hensikt tiltak	Tørt salt	Befuktet salt		Saltløsning		Alle salttyper
	alene	MgCl ₂	NaCl	MgCl ₂	NaCl	
Preventivt/rim	15	35	0	1	0	36
Preventivt/tørr vei	7	43	13	4	0	60
Preventivt/våt vei	101	124	12	4	0	263
Snø/is	22	7	0	2	0	31
Snøfall	197	41	10	0	0	248
Støvdemping	0	22	0	41	0	63
Tilsammen	342	272	35	52	0	701

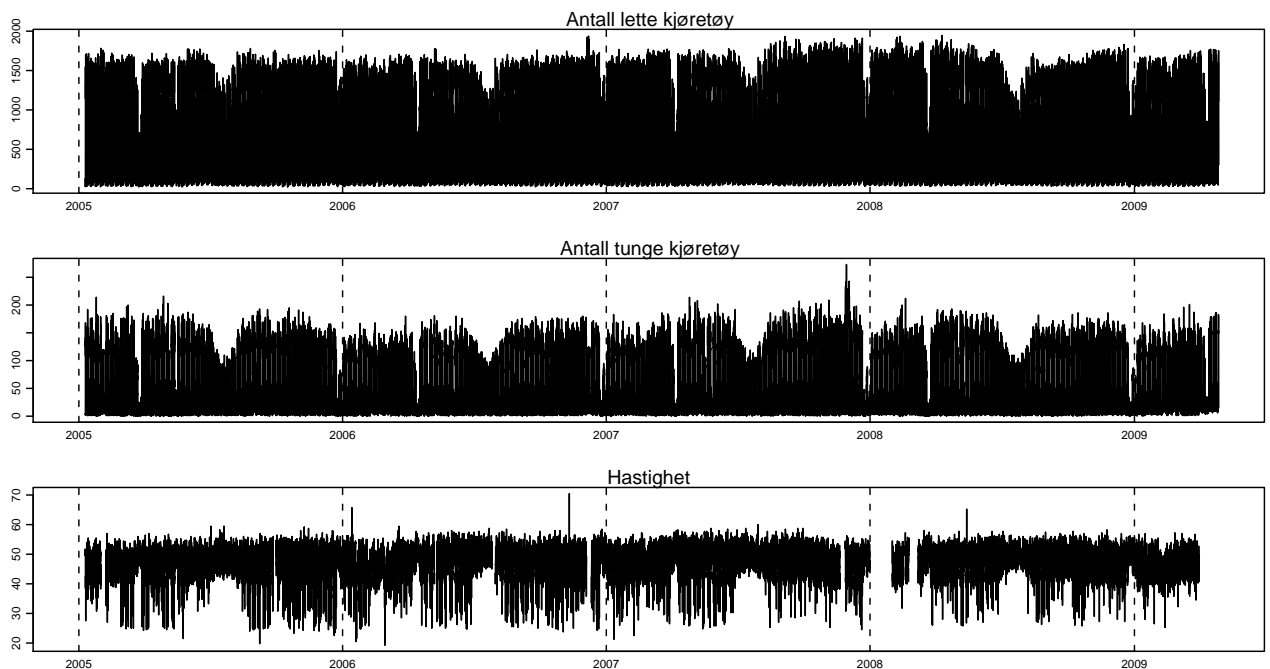
Tabell 1. Oversikt over tiltak ved Kirkeveien i perioden nyttår 2005 til våren 2009.

Hensikt tiltak	Tørt salt	Befuktet salt		Saltløsning		Alle salttyper
	alene	MgCl ₂	NaCl	MgCl ₂	NaCl	
Preventivt/rim	9	28	0	3	0	31
Preventivt/tørr vei	4	44	0	6	0	50
Preventivt/våt vei	67	117	0	4	0	201
Snø/is	4	2	0	2	0	8
Snøfall	106	42	0	0	0	148
Støvdemping	0	14	0	46	0	60
Tilsammen	190	247	0	61	0	498

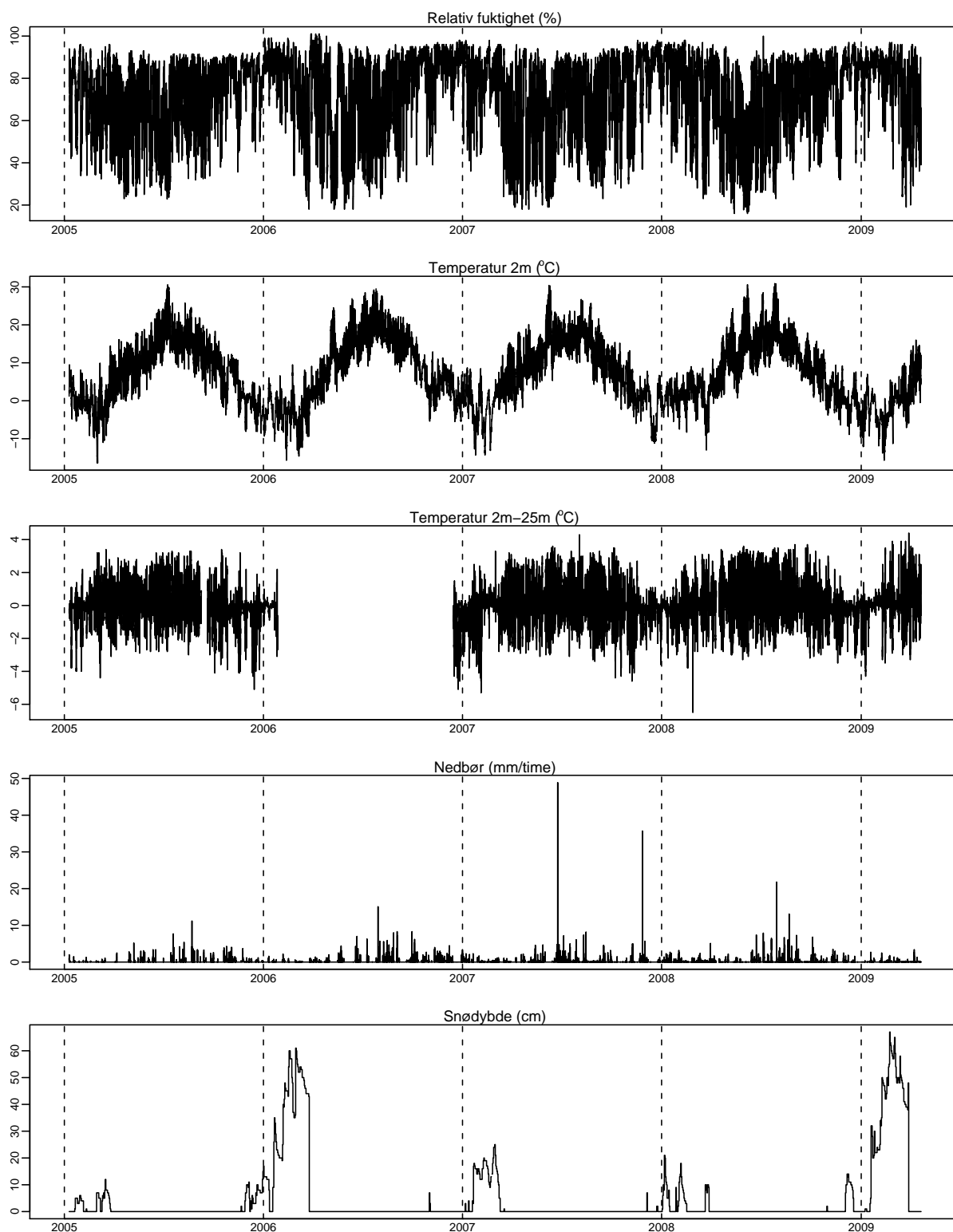
Tabell 2. Oversikt over tiltak ved Sørkedalsveien i perioden høsten 2005 til våren 2008.



Figur 1. Frysepunktdata fra målestasjoner på Kirkeveien (over) og Sørkedalsveien.



Figur 2. Trafikkdata.



Figur 3. Meteorologiske data.

3 Modeller for frysepunktsdata

Vi modellerer frysepunktet som funksjon av salting, trafikk- og meteorologivariable ved hjelp av generaliserte additive modeller (GAM). Effekten av de ulike forklaringsvariablene inngår hovedsakelig ikke-lineært i disse modellene. Effekten av salting på frysepunktet modelleres på tre ulike måter for å belyse effekten av salting. I kapittel 3.2 modelleres effekten av salting ikke-lineært. I kapittel 3.3 forenkles modellen ved at effekten av salt inngår lineært, for lettere å kunne estimere hvor lenge salting har effekt og samt kunne estimere usikkerheten til estimatene av salteffekten. Til slutt i kapittel 3.4 presenterer vi en alternativ modell med en annen parameterisering av salteffekten.

3.1 Forklaringsvariablene knyttet til salting

Som nevnt i datakapittelet, er årsaken til salting av veibanene opprinnelig kodet i seks kategorier. I vår analyse har vi slått disse sammen til tre kategorier: preventivt (rim, tørr vei eller våt vei), snø (snøfall eller snø/is) i veibanen og støvdemping. Det er brukt fem ulike salte-kombinasjoner i tiltakene: tørt veisalt med NaCl, befuktet veisalt med NaCl-løsning, befuktet veisalt med MgCl₂-løsning, NaCl-løsning eller MgCl₂-løsning (se også tabellene 1 og 2).

Inndelt etter årsak til tiltak og type salt, vil effekten av salting på frysepunktet modelleres først som ni mulige effekter hvor salting representeres som tid siden siste salting. Vi deler først saltingen inn etter type salt,

$$\begin{aligned} \text{salting.tort} &= \min(\text{tid siden siste salting med tørt salt}, \theta), \\ \text{tillegg.mgcl} &= \min(\text{tid siden siste salting med befuktet salt}, \theta), \\ \text{tillegg.nacl} &= \min(\text{tid siden siste salting med befukting med NaCl}, \theta), \end{aligned} \quad (1)$$

hvor min betyr minimum og θ er maksimal varighet av saltingen, her satt til 120 timer (5 døgn). Når en av disse variablene er satt til verdien θ er den tilhørende effekten lik 0.

Forklaringsvariabelen «salting.tort» inneholder alle tiltak det er brukt tørt salt, enten alene eller sammen med løsning (befukting). Hvis tørt salt er brukt alene, representerer denne variabelen effekten av et slik tiltak. Hvis tørt salt er brukt sammen med løsning (befukting), representerer denne variabelen den delen av effekten som kan tilskrives det tørre saltet.

Variabelen «tillegg.mgcl» representerer effekten av å bruke en MgCl₂-løsning. Hvis tørt salt også er brukt, representerer den tilleggseffekten av å bruke MgCl₂-løsning, hvis ikke representerer den effekten av å bruke MgCl₂-løsning alene.

Variabelen «tillegg.nacl» representerer tilleggseffekten av å bruke en løsning med

NaCl i stedet for en løsning med MgCl₂. Derfor er disse to variablene kodet usymmetrisk i (1). Dette er gjort fordi vi er spesielt interessert i en eventuell forskjellig effekt av saltløsningene.

For å oppsummere, kan effekten av saltevariabelen i (1) være som følgende:

- Hvis det er brukt kun tørt salt, representerer den første variabelen den effekten.
- Hvis det er brukt tørt salt befuktet med MgCl₂-løsning, er totaleffekten gitt som summen av effektene av de to første variablene.
- Hvis det er brukt tørt salt befuktet med NaCl-løsning, er totaleffekten gitt som summen av effektene av alle tre variablene.
- Hvis det er brukt kun MgCl₂-løsning, er totaleffekten representert ved den andre variabelen.
- Hvis det er brukt kun NaCl-løsning er totaleffekten gitt som summen av effektene for de to siste variablene.

I tillegg til å dele saltevariablene i (1) inn etter type salt, vil vi ytterligere splitte hver av disse saltevariablene inn i tre kategorier etter årsaken til tiltaket (preventivt, snø eller støvdemping). For preventivt gir det

$$\begin{aligned} \text{salting.tort.prev} &= \begin{cases} \text{salting.tort} & \text{hvis salting.tort ved preventivt tiltak,} \\ \theta & \text{ellers,} \end{cases} \\ \text{salting.tort.sno} &= \begin{cases} \text{salting.tort} & \text{hvis salting.tort ved snøfall eller snø/is,} \\ \theta & \text{ellers,} \end{cases} \\ \text{salting.tort.stov} &= \begin{cases} \text{salting.tort} & \text{hvis salting.tort ved støvdemping,} \\ \theta & \text{ellers,} \end{cases} \end{aligned}$$

hvor θ er den samme maksimale varigheten som i (1). Tilsvarende defineres forklaringsvariable hvis årsaken er snø eller støvdemping: «tillegg.mgcl.prev», «tillegg.mgcl.sno», «tillegg.mgcl.stov», «tillegg.nacl.prev», «tillegg.nacl.sno» og «tillegg.nacl.stov».

Vi antar her at effekten av salting med salt forsvinner (det vil si at tilhørende forklaringsvariabel blir satt lik maksimal varighet θ) hvis et nytt tiltak gjennomføres og det nye tiltaket er forskjellig fra det gamle.

3.2 Modell med salting som ikke-lineære effekter

Modellen for frysepunktsvariabelen kan skrives som, med tidsenhet på en time,

$$\begin{aligned} \text{frysepunkt} = & s_1(\log(\text{trafikkLette})) + s_2(\log(\text{trafikkTunge})) + s_3(\text{hastighet}) \\ & + s_4(\log(\text{trafikkLette time før})) + s_5(\log(\text{trafikkTunge time før})) \\ & + s_6(\text{temperatur}) + s_7(\text{temperaturdiff}) + s_8(\text{relativfuktighet}) \\ & + s_9(\text{regn4time}) + s_{10}(\text{regn1uke}) \\ & + s_{11}(\text{sno4time}) + s_{12}(\text{sno1uke}) + s_{13}(\text{snodybde}) \\ & + s_{14}(\text{tid}) + s_{15}(\text{sesong}) + s_{16}(\text{time}) \\ & + s_{17}(\text{salting.tort.prev}) + s_{18}(\text{salting.tort.sno}) + s_{19}(\text{salting.tort.stov}) \\ & + s_{20}(\text{tillegg.mgcl.prev}) + s_{21}(\text{tillegg.mgcl.sno}) + s_{22}(\text{tillegg.mgcl.stov}) \\ & + s_{23}(\text{tillegg.nacl.prev}) + s_{24}(\text{tillegg.nacl.sno}) + s_{25}(\text{tillegg.nacl.stov}) \\ & + \epsilon, \end{aligned} \tag{2}$$

der funksjonene $s_i()$ er ukjente, glatte ikke-parametriske funksjoner som estimeres ut fra dataene. Støyleddet ϵ er den delen av variasjonen i frysepunkt som ikke kan forklares ved hjelp av modellen.

Alle forklaringsvariable gjelder for samme time som frysepunktsmålingen, bortsett fra «trafikkLette time før» og «trafikkTunge time før» som er antall kjøretøyer i timen før.

Variabelen «temperatur» er temperaturen 2 meter over bakken, mens «temperaturdiff» er differansen mellom 2 og 25 meter over bakken. Nedbør kategoriseres som regn hvis temperaturen er over null grader og som snø ved kuldegrader, og deles inn i fire forklaringsvariabler «regn4time», «regn1uke», «sno4time» og «sno1uke». Variabelen «regn4time» betyr gjennomsnittlig regn de siste 4 timene, mens «regn1uke» er gjennomsnittlig regn den foregående uken. Tilsvarende inndeling gjelder for snø. Vi har inkludert «snodybde» som angir mengden snø som blir liggende på bakken.

Variabelen «tid» angir år, kodet som desimal år hvor hver dag teller 1/365 del. For eksempel er datoen 20. januar 2006 kodet som 2006+20/365. Denne tidsvariabelen er ment å fange opp en saktevarierende trend som ikke fanges opp av de andre forklaringsvariablene. Vi har også inkludert en «sesong» variabel som er antall dager i året nummerert fra 1 til 365 (366 ved skuddår), og skal forklare andre sesongvariasjoner som ikke fanges opp av modellen. Videre er forklaringsvariabelen «time» timen i døgnet, nummerert fra 1 til 24 for ukedager og fra 25 til 48 for helgedager (lørdag og søndag), og skal ta høyde for eventuelle døgnvariasjoner som ikke beskrives av andre deler av modellen. Time 1 og 25 tilsvarer timen 00:00 til 01:00, hvor den førstnevnte gjelder for ukedager, mens

den sistnevnte i helgene. Hensikten med å modellere helgedagene for seg er at en ønsker å fange opp eventuelle ulike mønstre i helgene og ukedagene.

Forklaringsvariablene kan mangle data i lengre og kortere perioder (se for eksempel nedbør i figur 3). Vi inkluderer derfor indikator variable i modellen slik at vi slipper å måtte utelate en rekke observasjoner hvor vi mangler målinger av en eller noen få forklaringsvariable. Dette vil si at for en forklaringsvariabel med manglende data har vi definert en tilhørende 0-1 variabel som har verdien 1 når det mangler en observasjon og 0 ellers. Disse 0-1 variablene inkluderes som lineære effekter i GAM-modellene. For å forenkle framstillingen av analysen har vi valgt å utelate de estimerte effektene av 0-1 variablene i denne rapporten.

Modellene estimeres ved minste kvadraters metode eller maksimum likelihood ved hjelp av den ordinære GAM-funksjonen i statistikkpakken R. Det tas da ikke hensyn til at residualene ϵ er korrelert i tid. Det gjør at usikkerheten blir underestimert. Alle usikkerheter som vises i plott i kapittel 4 er derfor et minimumsanslag på usikkerheten.

3.3 Modell med lineære salteffekter

Vi vil nå forenkle modellen (2) ved å linearisere salting effekten slik at det blir enklere å fortolke og formidle effekten av de ulike salting tiltakene. Den nye modellen er

$$\begin{aligned}
 \text{frysepunkt} = & s_1(\log(\text{trafikkLette})) + s_2(\log(\text{trafikkTunge})) + s_3(\text{hastighet}) \\
 & + s_4(\log(\text{trafikkLette time før})) + s_5(\log(\text{trafikkTunge time før})) \\
 & + s_6(\text{temperatur}) + s_7(\text{temperaturdiff}) + s_8(\text{relativfuktighet}) \\
 & + s_9(\text{regn4time}) + s_{10}(\text{regn1uke}) \\
 & + s_{11}(\text{sno4time}) + s_{12}(\text{sno1uke}) + s_{13}(\text{snodybde}) \\
 & + s_{14}(\text{tid}) + s_{15}(\text{sesong}) + s_{16}(\text{time}) \\
 & + \beta_1 \text{salting.tort.prev} + \beta_2 \text{salting.tort.sno} + \beta_3 \text{salting.tort.stov} \\
 & + \alpha_1 \text{tillegg.mgcl.prev} + \alpha_2 \text{tillegg.mgcl.sno} + \alpha_3 \text{tillegg.mgcl.stov} \\
 & + \gamma_1 \text{tillegg.nacl.prev} + \gamma_2 \text{tillegg.nacl.sno} + \gamma_3 \text{tillegg.nacl.stov} \\
 & + \epsilon.
 \end{aligned} \tag{3}$$

Her kan varigheten θ tolkes som den virkelige varigheten av saltingen og ikke maksimalt mulig effekt av saltingen slik som i (2).

Bortsett fra at saltevariablene inngår lineært, er modellen lik modell (2). Som i kapittel 3.2 bestemmes de ukjente funksjonene (s_i 'ene) og de ukjente parametrene (β 'ene, α 'ene og γ 'ene) ut i fra dataene. I tillegg estimeres nå varigheten θ fra dataene (ved minste kvadraters metode eller maksimum likelihood), og fortolkes som den virkelige varigheten av saltingen og ikke maksimalt mulig effekt

av saltingen slik som i (2). Dersom for eksempel salting med tørt salt ved et preventivt tiltak har en effekt, vil estimatet av β_1 være positivt, og vi antar da at salting har en umiddelbar effekt som minker lineært fram til effektvarighet θ .

Videre antar vi at varigheten av ett saltetiltak er lik for alle typer tiltak og for de tre årsakene til tiltak. Denne forenklingen er nødvendig fordi varigheten er vanskelig å tallfeste. For å bedømme forskjell på tiltak ser vi i stedet på forskjellen i effekter.

Fordelen med å bruke en lineær sammenheng for saltingvariablene, er at effekten av salting blir lett å fortolke og formidle til brukere. Effekten av salting må sees i forhold til hva frysepunktsnivået er når effekten er forsvunnet. Generelt vil effekten av salting med tørt salt ved et preventivt tiltak være $\beta_1(\text{salting.tort.prev} - \theta)$ mens den umiddelbare effekten av salting etter en time er

$$\beta_1(1 - \theta).$$

Tilsvarende kan vi beregne effekten av de andre forklaringsvariablene i (3) knyttet til salting.

3.3.1 Parameterusikkerhet

Som nevnt tidligere tar ikke GAM-funksjonen som brukes hensyn til at residualene er korrelert i tid. Den tar heller ikke hensyn til at varigheten θ også blir estimert ut fra dataene. Det gjør at estimatene av parametrene knyttet til de lineære effektene er forventningsrette, men usikkerheten underestimeres kraftig. Dessuten tar ikke standard programvare hensyn til at varighetseffekten θ egentlig er ukjent.

Usikkerheten i de sentrale salte-parametrene beregnes derfor ved en variant av semi-parametrisk bootstrapping på samme måte som Aldrin et. al. (2008). Bootstrapping er en metode for kvantifisere usikkerheten i ukjente parametre som vi har estimert med bakgrunn i data.

3.4 Alternativ parameterisering av salteeffekt

Istedenfor å fokusere på tilleggseffekten av å bruke befukting eller saltløsning i forhold til tørt salt som i (1), eller å bruke NaCl-løsning i stedet for MgCl₂-løsning, kan vi oppfatte saltetiltakene som separate forsøk. Saltevariablene vil da få en annen fortolkning enn i modellene (2) og (3).

Hvis vi deler tiltakene inne i disjunkte mengder, kan vi definere følgende forklar-

ingsvariable:

$$\begin{aligned} \text{salting.tort} &= \min(\text{tid siden siste salting med bare tørt salt}, \theta), & (4) \\ \text{salting.mgcl.bef} &= \min(\text{tid siden siste salting med befuktet salt med MgCl}_2, \theta), \\ \text{salting.nacl.bef} &= \min(\text{tid siden siste salting med befuktet salt med NaCl}, \theta), \\ \text{salting.mgcl.losn} &= \min(\text{tid siden siste salting med MgCl}_2\text{-løsning}, \theta), \end{aligned}$$

hvor θ igjen er maksimal varighet av saltingen som i kapittel 3.2. Denne inndelingen av saltetiltakene samsvarer med tabell 1 og 2. Effektene av disse variablene kan oppfattes som absolutte effekter, og ikke tilleggseffekter. Variabelen «salting.mgcl.bef» er for eksempel ment å si noe om effekten av det å bruke befuktet salt med MgCl_2 -løsning. Til forskjell fra (1) inneholder «salting.tort» her tiltakene det bare er saltet med tørt salt og ingen befukting. I perioden er det er aldri gjennomført tiltak med bare NaCl -løsning, derfor har vi ikke definert en slik variabel.

Tilsvarende som i 3.1 kan vi ytterligere dele opp saltekomponentene etter hvilket type tiltak som gjennomføres, slik at vi får 12 mulige effekter av saltetiltakene:

- salt.tort.prev, salt.tort.sno, salt.tort.stov,
- salt.mgcl.bef.prev, salt.mgcl.bef.sno, salt.mgcl.bef.stov,
- salt.nacl.bef.prev, salt.nacl.bef.sno, salt.nacl.bef.stov,
- salt.mgcl.prev, salt.mgcl.sno og salt.mgcl.stov.

Den nye modellen blir som (2) hvor salting tillates å ha en ikke-lineær sammenheng med frysepunktet, bortsett fra at alle saltevariablene blir erstattet med andre ikke-parametriske s_i -funksjoner med de 12 saltevariablene liste opp over.

4 Resultater

Vi presenterer først effektene av de øvrige forklaringsvariabler, når vi samtidig korrigerer for effekt av salting. Deretter presenterer vi effektene av salting for de tre ulike variantene av modellene vi beskrev i forrige kapittel.

4.1 Effekt av trafikk og meteorologi

Figur 4 og 5 viser de estimerte s_i funksjonene for frysepunktsmålingene i Kirkeveien og Sørkedalsveien for alle forklaringsvariablene i modell (2), unntatt effektene som er knyttet til salting som driftstiltak. Enhetene til alle forklaringsvariablene på x-aksen er i tillegg listet opp i tabell 3. Effektene av salting for de ulike modellene diskuteres separat i kapitlene 4.2, 4.3. og 4.4.

Alle kurver er sentrert rundt 0 i y-retning. Det betyr at tallverdrdien på y-aksen ikke er viktig i seg selv, men at differansen mellom to punkter på kurven er det. Som et eksempel viser panelet for relativ fuktighet at frysepunktet i gjennomsnitt er omkring 4 grader kaldere ved 100 % luftfuktighet enn ved 20 % luftfuktighet når det er korrigert for øvrige forklaringsvariable. Det framkommer som differansen mellom (litt mindre enn) 3 (høyeste punkt på kurven) og (litt mindre enn) -1 (laveste punkt på kurven). Vi har brukt 4 frihetsgrader på alle forklaringsvariablene, unntatt for «tid», «sesong» og «time» hvor antall frihetsgrader var 10 for å kunne tillate mer fleksibilitet og krumninger i kurvene. Konfidensintervallene (på 95%) som automatisk følger med programvarepakken R, tar ikke hensyn til autokorrelasjonen i residualene, noe som fører til at usikkerheten i virkeligheten er større enn det figurene viser.

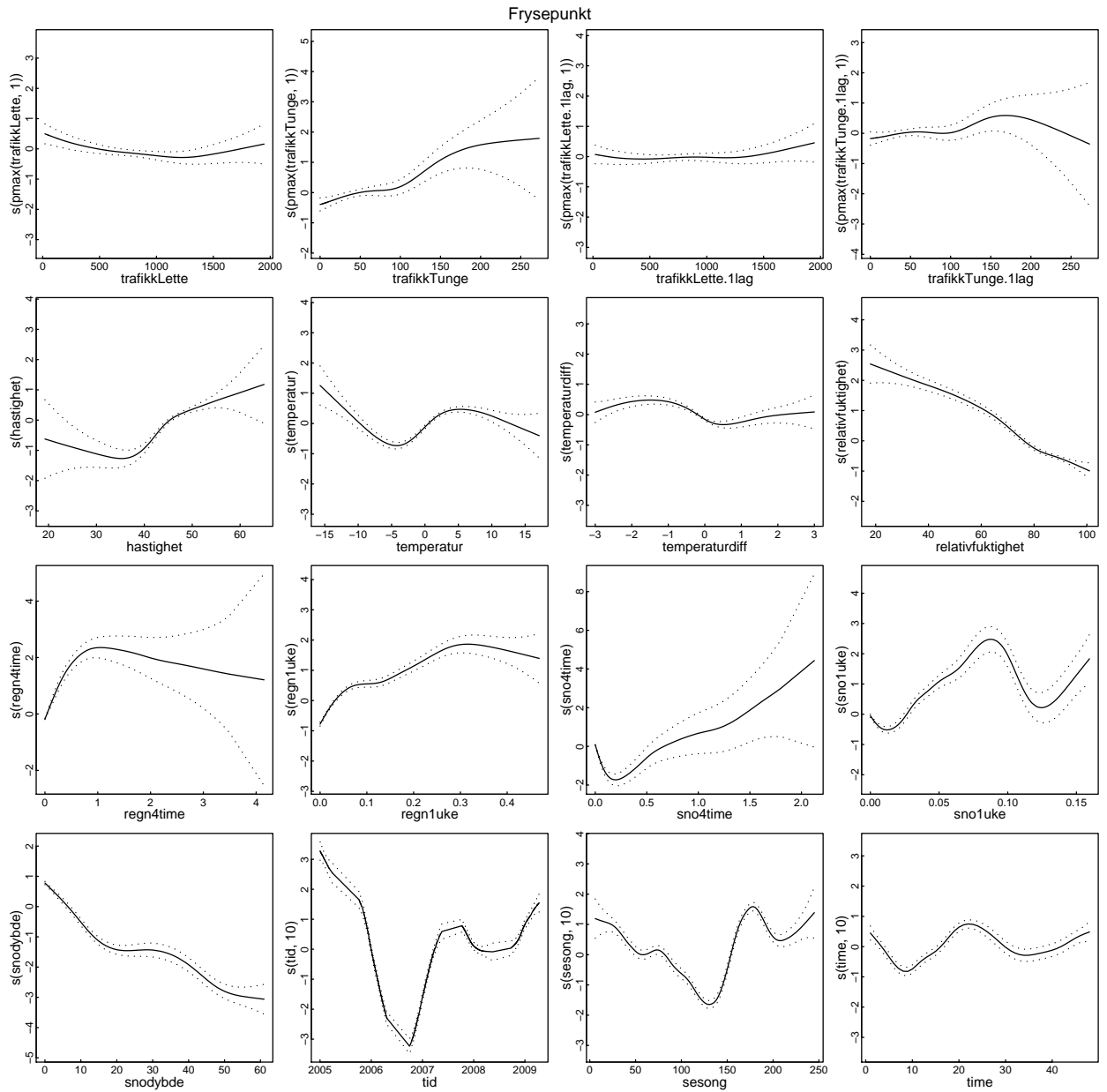
Resultatene fra Kirkeveien og Sørkedalsveien viser de samme tendensene, dog noen forskjeller finner vi. Av figurene kan vi oppsummere følgende:

- Trafikkvolum: Antall kjøretøy har ingen betydelig effekt på frysepunktet, men det er en tendens til at flere biler, særlig de tunge, gir høyere frysepunkt. Effekten av antall kjøretøyer i timen før er mindre enn den inneværende timen.
- Hastighet: Høyere hastighet ser ut til øke frysepunktet.
- Temperatur: Effekten av temperatur 2 meter over bakken har et minimumspunkt i 0° og kuldegrader gir høyere frysepunktet.
- Temperaturdifferanse: Differanse mellom 2 meter og 25 meter over bakken har liten effekt.
- Relativ fuktighet: Økt luftfuktighet gir klart lavere frysepunkttemperatur.

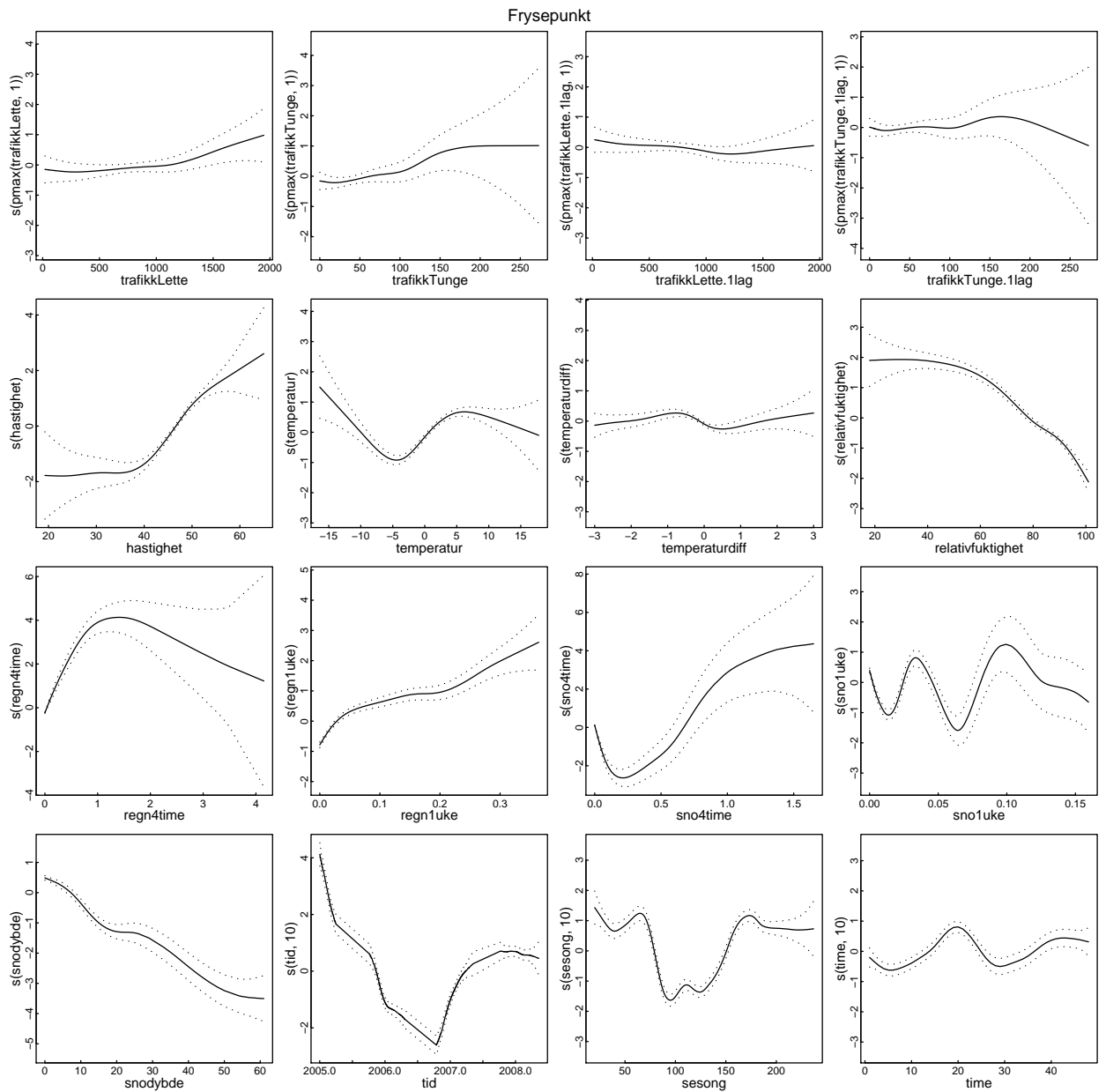
- Regn: Mer regn øker frysepunktet. Når det gjelder regn siste fire timer flater effekten ut ved 1 mm/time, mens for regn siste uke stiger effekten saktere, men jevnt.
- Snø: Mer snø siste fire timer gir først lavere frysepunkt, for deretter å stige, uten at vi har noen rimelig forklaring på hvorfor. For snø siste uke er effekten uklar, med svingninger som mer sannsynlig skyldes noe annet.
- Snødybde: Denne variabelen angir hvor mye snø som blir liggende på bakken på Blindern. Vi ser at økende snødybde gir lavere frysepunkt.
- Tid: Forklaringsvariabelen knyttet til «tid» viser at det er betydelige variasjoner som ikke fanges opp av den øvrige modellen. De rette strekene med større usikkerhetsbånd er perioder på sommeren hvor det ikke finnes frysepunktsdata.
- Sesong: Forklaringsvariabelen knyttet til tid viser at det er betydelige variasjoner som ikke fanges opp av den øvrige modellen. De rette strekene med større usikkerhets bånd i plottet med «tid» er perioder på sommeren hvor det ikke finnes frysepunktsdata. Variabelen «sesong» angir vintersesongen og er antall dager fra 26. september. Vi ser at den estimerte sesongeffekten er tydelig etter at modellen allerede har tatt høyde for andre variable som varierer systematisk med sesong, slik som temperatur, snø/regn og snødybde. Det laveste punktet på kurven er rundt 1. februar.
- Time: Estimaten viser en systematisk variasjon over døgnet, særlig på hverdage, etter at det er korrigert for øvrige variable.

4.2 Effekt av salting fra ikke-lineær modell fra kapittel 3.2

Figurene 6 og 7 viser effekten av de ulike saltetiltak fra henholdsvis Kirkeveien og Sørkedalsveien slik de er formulert i modellen i kapittel 3.2. Øverste rad gjelder preventive tiltak, midterste gjelder tiltak ved snø og nederste gjelder støvdemping. Venstre kolonne viser effekten av å salte med tørt salt alene, eller den effekt som kan tilskrives tørt salt hvis det befuktes. Midterste kolonne viser tilleggseffekten eller mereffekten av å bruke $MgCl_2$ -løsning i tillegg til tørt salt (befukting) eller effekten av å kun bruke $MgCl_2$ -løsning hvis det ikke er brukt tørt salt. Kolonnen til høyre viser tilleggseffekten ved å bruke $NaCl$ -løsning istedet for $MgCl_2$ -løsning. Som et eksempel, er totaleffekten av å bruke tørt salt befuktet med $MgCl_2$ -løsning som preventivt tiltak, summen av effektene i venstre og midterste panel i øvre rad («salting.tort.prev» og «tillegg.mgcl.prev»). Høyre kolonne i figur 7 er ikke med, siden det aldri har vært brukt $NaCl$ -løsning i Sørkedalsveien i den perioden vi undersøker. Tilsvarende er det aldri gjennomført støvdempende tiltak med $NaCl$ -løsning på Kirkeveien.



Figur 4. Estimerte s -funksjoner (unntatt for salting) for frysepunktsmålingene i Kirkeveien. Enheten på y-aksene er $^{\circ}\text{C}$. Enhetene på x-aksene er gitt i tabell 3.



Figur 5. Estimerte s -funksjoner (unntatt for salting) for frysepunktmålingene i Sørkedalsveien. Enheten på y-aksene er °C. Enhetene på x-aksene er gitt i tabell 3.

Forklaringsvariabler	Enhet	Kommentar
trafikkLette	Antall	
trafikkTunge	Antall	
trafikkLette.1lag	Antall	Antall lette kjøretøy i timen før
trafikkTunge.1lag	Antall	Antall tunge kjøretøy i timen før
hastighet	km/time	Gjennomsnittshastighet
temperatur	°C	Temperatur 2 meter over bakken
temperaturdiff	°C	Temperatur 2-25m meter over bakken
relativefuktighet	%	
regn4time	mm	Regn siste 4 timene
regn1uke	mm	Regn siste uka
sno4time	mm	Snø siste 4 timene
sno1uke	mm	Snø siste uka
snodybde	cm	
tid	år	
sesong	dager i året	
time	time på døgnet	Time 1-24 er ukedag, mens 25-48 er helgedag

Tabell 3. Forklaringsvariablene med tilhørende enhet som inngår i x-aksen i figurene 4 og 5

For hvert panel er det slik at høyre punkt (120 timer) på kurven er referansenivå hvor det ikke lenger er effekt av et tiltak, mens venstre punkt på kurven angir effekten rett etter tiltak, målt som vertikal avstand til høyre punkt. Om kurvene øker mot høyre betyr det at tiltaket har senket frysepunktet. Husk at alle kurver er sentrert om 0, så verdien på y-aksen er ikke viktig i seg selv. I figur 6 ser vi at «salting.tort.prev» øker fra -4 til omtrent 1, som betyr at frysepunktet senkes med 5°C ved bruk av tørt salt som et preventivt tiltak rett etter tiltaket.

Salting med tørt salt ved preventive tiltak («salting.tort.prev»). har tydelig effekt på frysepunktet for begge veiene. Kurven til forklaringsvariabelen «tillegg.mgcl.prev» er relativt flat, noe som betyr at tilleggseffekten av å befukte med $MgCl_2$ ved preventive tiltak tilsynelatende er ubetydelig. Dette kan skyldes at det rett og slett har liten hensikt å bruke løsning til å befukte tørt salt eller å bruke kun løsning alene. En annen årsak kan være at løsning brukes ved bestemte værforhold som er mindre gunstige med hensyn på frysepunkt, og at løsning kompenserer for det. For at dette skal kunne undersøkes nærmere, må det gjennomføres randomiserte forsøk, hvor valget mellom bruk av tørt eller befuktet salt er tilfeldig.

Kurven for effekten av å bruke $NaCl$ -løsning i stedet for $MgCl_2$ -løsning ved preventive tiltak er vist øverst i venstre kolonne av figur 6. Kurven minker mot høyre, som antyder at det er mindre gunstig å bruke $NaCl$ -løsning istedenfor

MgCl₂-løsning. Kanskje det til og med har negativ effekt, siden effekten av å bruke MgCl₂-løsning muligens er minimal. Det er viktig å merke seg at usikkerheten for NaCl-effekten er betydelig siden utvalget her er lite, og i tillegg kun baserer seg på den ene vinteren det er brukt NaCl-løsning i Kirkeveien fra januar til april (se også tabell 1).

Resultatene for snø er i hovedsak det samme som ved preventive tiltak. Effekten av tørt salt er dog enda tydeligere enn ved preventive tiltak for både Kirkeveien og Sørkedalsveien mens MgCl₂-løsning (som befukting eller alene) gir dårligere effekt på Kirkeveien enn å bruke tørt salt alene.

Når det gjelder støvdemping, har bruk av MgCl₂-løsning en senkende effekt på frysepunktet på begge veiene, (se midterste kolonne i nederste rad, variabelen «tillegg.mgcl.stov»). Denne forsterkes betraktelig ved at tørt salt brukes sammen med løsning (summen av de to kurvene i nederste rad).

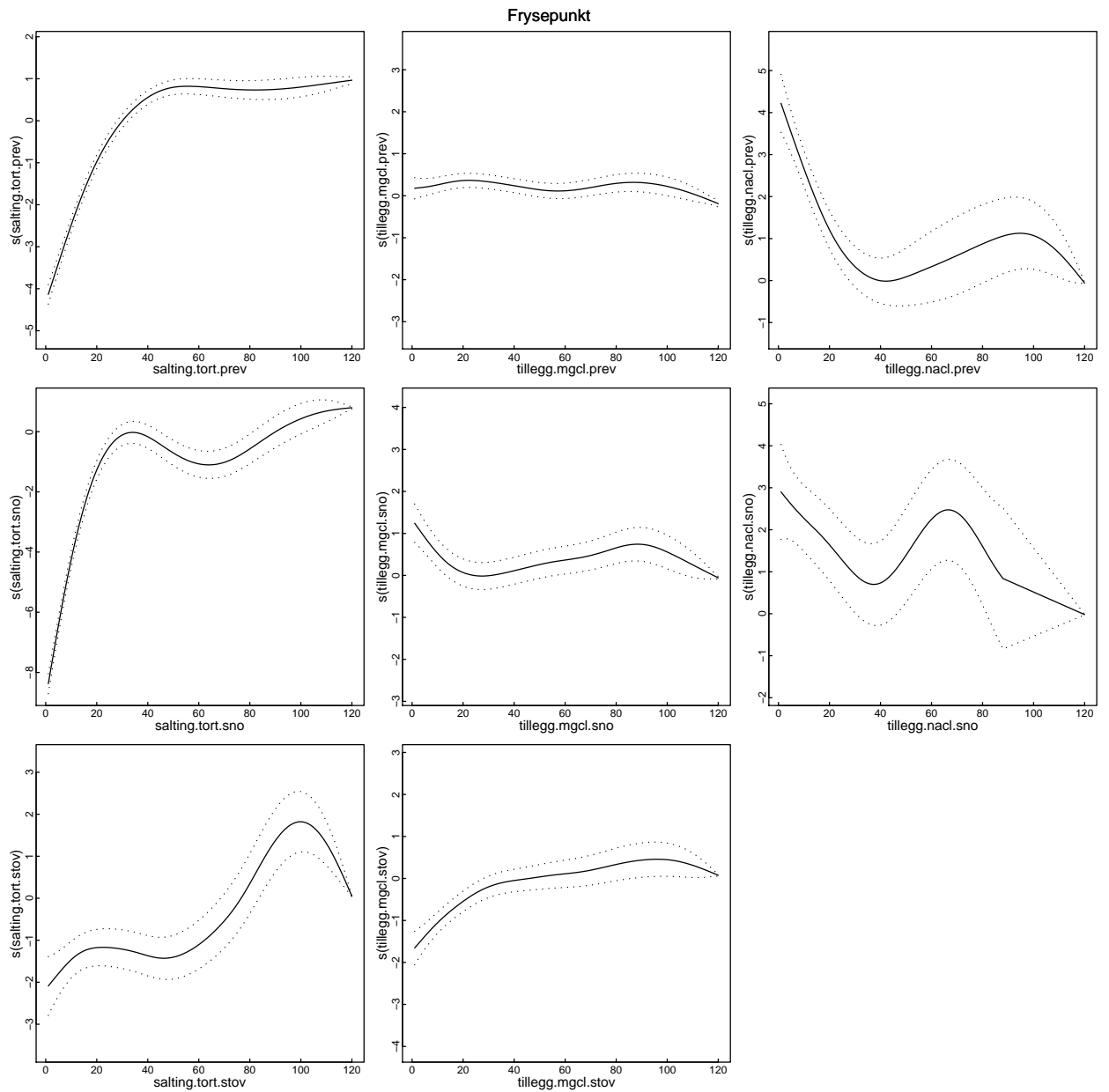
4.3 Effekt av salting fra lineær modell fra kapittel 3.3

Salteeffektene fra forrige kapittel er linearisert for lettere å kunne beskrive effektene, beregne usikkerheten og samtidig kunne estimere varighet av tiltakene. Det er antatt at varigheten er like lenge for alle typer tiltak.

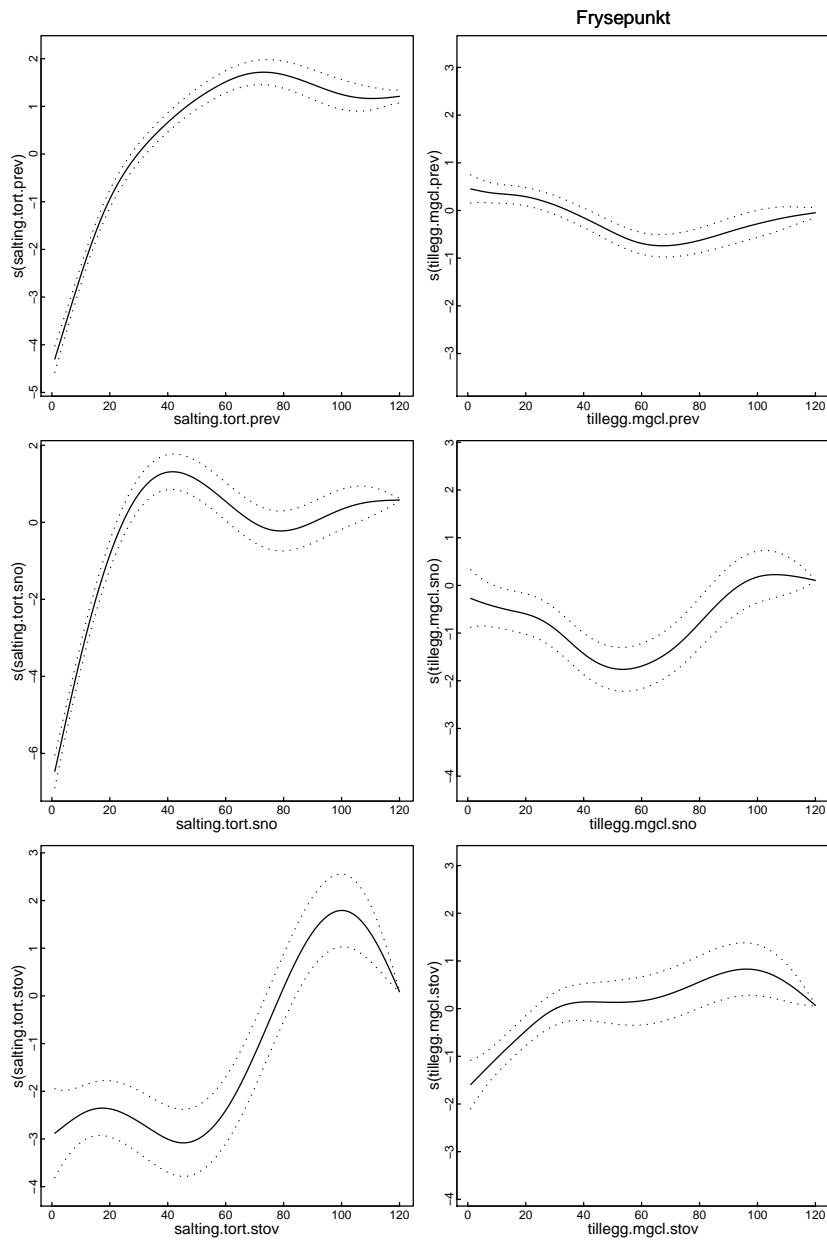
Tabell 4 viser estimert effekt av de ulike salttiltakene umiddelbart etter tiltak, samt estimatet av varigheten. Estimaten for effekten viser endring i frysepunktet i °C, slik at negative verdier betyr en senkning av frysepunktet. Tallene i parentes er 95%-konfidensintervall beregnet med metoden beskrevet i kapittel 3.3.1, som kvantifiserer usikkerheten til parameterestimatene knyttet til salting, og er basert på 300 bootstrap repetisjoner. For effekten betyr det at dersom konfidensintervallene ikke inneholder verdien 0, kan vi si at effekten av saltingen er statistisk signifikant.

Varigheten θ av tiltakene er estimerte til å være 19 timer for Kirkeveien og 23 timer for Sørkedalsveien. Det er noe kortere enn en får inntrykk av fra figurene 6 og 7 basert på ikke-lineære salteffekter, særlig for støvdemping. Vi estimerer θ ved å beregne likelihoodfunksjonen for ulike verdier av θ og velge den verdien som gir høyest likelihood. Figur 8 viser likelihoodfunksjonen som en funksjon av varigheten θ for verdier mellom 1 time og 5 dager.

Bruk av tørt veisalt ved preventive tiltak har en klar og statistisk signifikant effekt på frysepunktet i Kirkeveien og Sørkedalsveien. For Kirkeveien har vi estimert at bruk av tørt salt alene senker frysepunktet med 5.2 grader rett etter tiltaket. Om det i tillegg brukes MgCl₂-løsning vil effekten være 0.4 grader mindre (men ikke signifikant forskjellig fra 0), slik at totaleffekten av befukting med MgCl₂-løsning senker frysepunktet med 4.8 grader. I Sørkedalsveien estimeres faktisk



Figur 6. Estimerte s -funksjoner for effekten av salting for frysepunktsmålingene i Kirkeveien. Enheten på y-aksene er $^{\circ}\text{C}$ og på x-aksene timer siden salting.



Figur 7. Estimerte s -funksjoner for effekten av salting for frysepunktsmålingene i Sørkedalsveien. Enheten på y-aksene er $^{\circ}\text{C}$ og på x-aksene timer siden salting

en signifikant ugunstig effekt når en bruker $MgCl_2$ -løsning med en økning i temperaturen på 1.3 grader. Som nevnt i forrige kapittel kan dette skyldes at det rett og slett har liten hensikt å bruke løsning til å befukte tørt salt eller å bruke kun løsning alene, men en annen årsak kan være at løsning brukes ved bestemte værforhold som er mindre gunstige med hensyn på frysepunkt. Om en bruker NaCl-løsning i stedet for $MgCl_2$ -løsning blir den ugunstige virkningen av løsning enda tydeligere, og bruk av NaCl-løsning er signifikant dårligere enn bruk av $MgCl_2$ -løsning. Det må tas forbehold om at disse resultatene er basert på bruk av NaCl-løsning i en periode på få måneder.

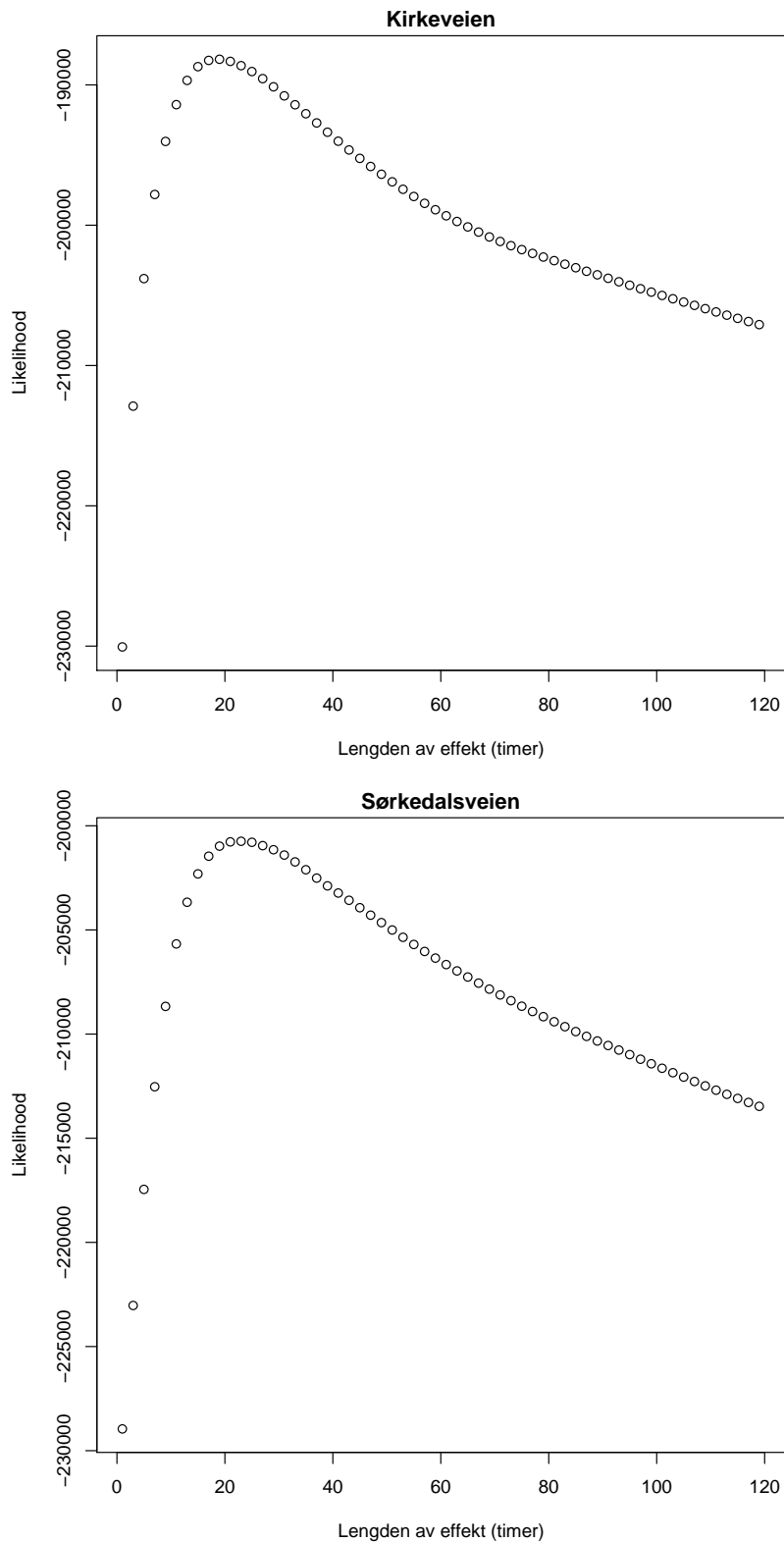
Ved snø er resultatene i hovedsak de samme. Effekten av tørt salt er sterkere (senkning med 8.8 grader i Kirkeveien). I Kirkeveien er det en signifikant ugunstig effekt å bruke $MgCl_2$ -løsning i tillegg til tørt salt eller alene. Bruk av NaCl-løsning estimeres igjen til å være mer ugunstig enn $MgCl_2$ -løsning, men ikke signifikant, og nok en gang med forbehold om at resultatene er basert på en kort dataperiode.

Når det gjelder støvdemping, ser vi en tydelig og signifikant effekt av både tørt salt og $MgCl_2$ -løsning. Bruk av $MgCl_2$ -løsning alene senker frysepunktet med 1.9 grader, men om dette brukes til befukning av tørt salt øker effekten med 2.1 grader, slik at totaleffekten av befuktet salt er 4 graders senkning av frysepunktet. Tørt salt brukes aldri alene ved støvdemping.

Funnene over samsvarer med resultatene for modellen (2) hvor saltekomponentene var ikke-lineære effekter.

Hensikt med tiltak	Tiltak eller del av tiltak	Variabelnavn	Kirkeveien		Sørkdalsveien	
			Estimert endring	Konf. int. (øvre, nedre)	Estimert endring	Konf. int. (øvre, nedre)
Preventivt	Tørt salt	salting.tort.prev	-5.2	(-6.2,-4.3)	-5.9	(-7.0,-4.8)
	$MgCl_2$ -løsn.	tillegg.mgcl.prev	0.4	(-0.6,1.5)	1.3	(0.2,2.6)
	NaCl-løsn.	tillegg.nacl.prev	4.2	(1.8,6.3)	-	-
Snø	Tørt salt	salting.tort.sno	-8.8	(-9.9,-7.9)	-6.9	(-8.1,-5.6)
	$MgCl_2$ -løsn.	tillegg.mgcl.prev	1.3	(0.1,2.7)	0.0	(-1.7,1.8)
	NaCl-løsn.	tillegg.nacl.prev	2.3	(-1.5,5.3)	-	-
Støvdemping	Tørt salt	salting.tort.stov	-2.1	(-4.7,-0.2)	-3.1	(-6.1,-0.8)
	$MgCl_2$ -løsn.	tillegg.mgcl.prev	2.3	(-1.5,5.3)	-	-
Estimert varighet			19	(17,21)	23	(20,27)

Tabell 4. Estimert endring ($^{\circ}C$) og varighet (timer) av salting på frysepunktet umiddelbart etter tiltak for de ulike forklaringsvariablene knyttet til salting for Kirkeveien og Sørkdalsveien. Tallene i parentes viser et usikkerhetsanslag for parameterestimaten gitt som et 95%-konfidensintervall.



Figur 8. Likelihood som en funksjon av varigheten θ av salting effektene med frysepunktdata fra Kirkeveien (over) og fra Sørkedalsveien (under) basert på modell (3).

4.4 Effekt av salting fra alternativ modell fra kapittel 3.4

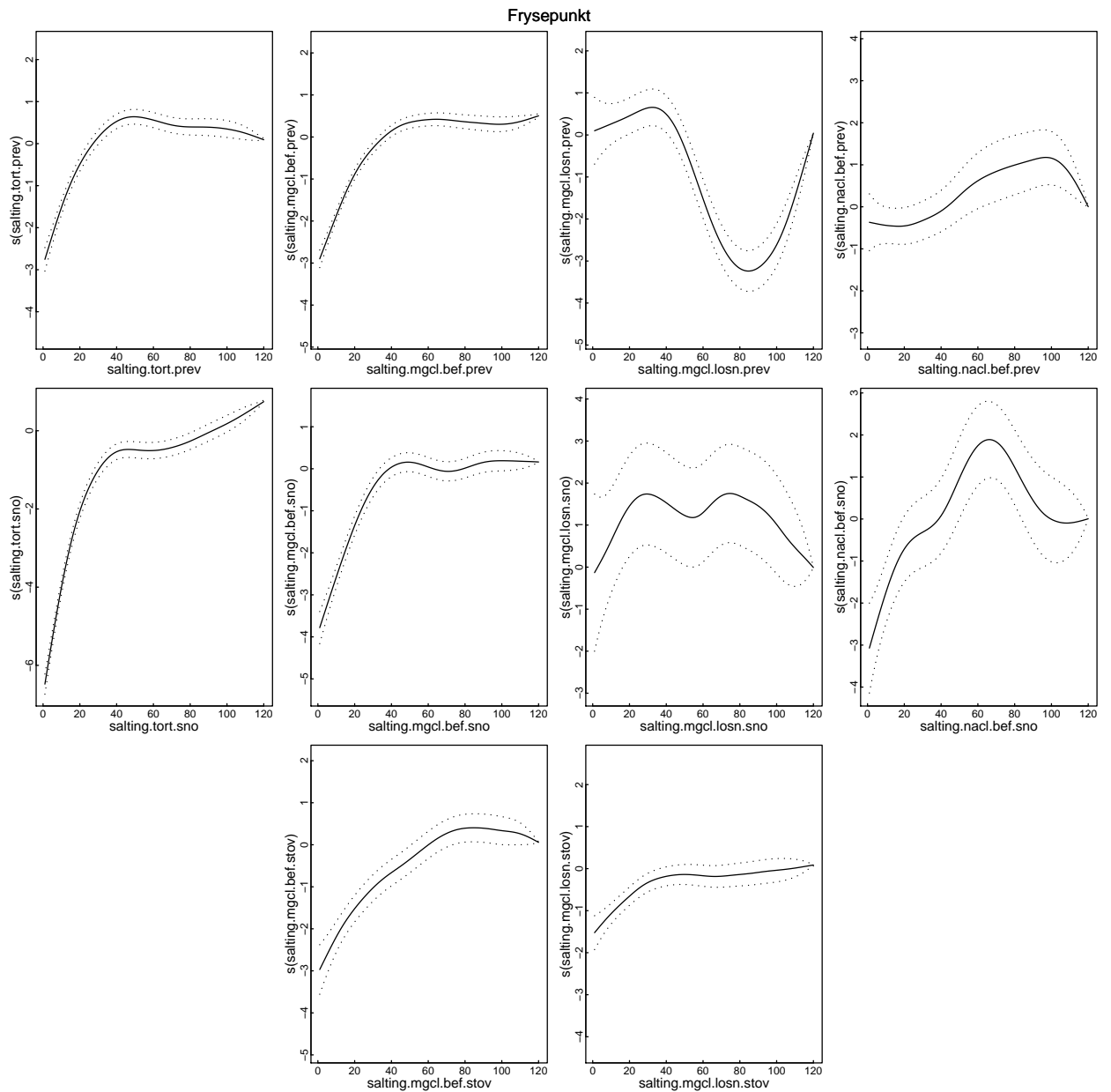
I de to foregående kapitlene har effekten av salting vært splittet opp i enkeltkomponenter, og totaleffekten har framkommet som summen av disse. Videre antok vi at effekten av et tiltak med løsning var den samme om det kom i tillegg til tørt salt eller om løsning var brukt alene. Istedenfor å fokusere på tilleggseffekter, vil vi nå studere totaleffekten direkte for hver kombinasjon av årsak til tiltak og type salt basert på den alternative modellen som ble beskrevet i kapittel 3.4. Figurene 9 og 10 viser de estimerte effektene av hver kombinasjon.

Når det gjelder preventive tiltak, så har bruk av tørt salt alene omtrent samme effekt som tørt salt befuktet med $MgCl_2$ -løsning, med en senkning av frysepunktet på omkring 3 grader, som er noe mindre enn estimatene fra foregående kapitler. Bruk av $MgCl_2$ -løsning alene har ingen klar effekt. Den nedadgående kurven omtrent 30 timer etter tiltaket (for begge veistrekninger) er et tegn på stor usikkerhet og har ingen reell sammenheng med tiltaket. Bruk av tørt salt befuktet med $NaCl$ -løsning har tilsynelatende heller ingen effekt, noe som samsvarer med den estimerte negative effekten av $NaCl$ -løsning i de foregående kapitlene.

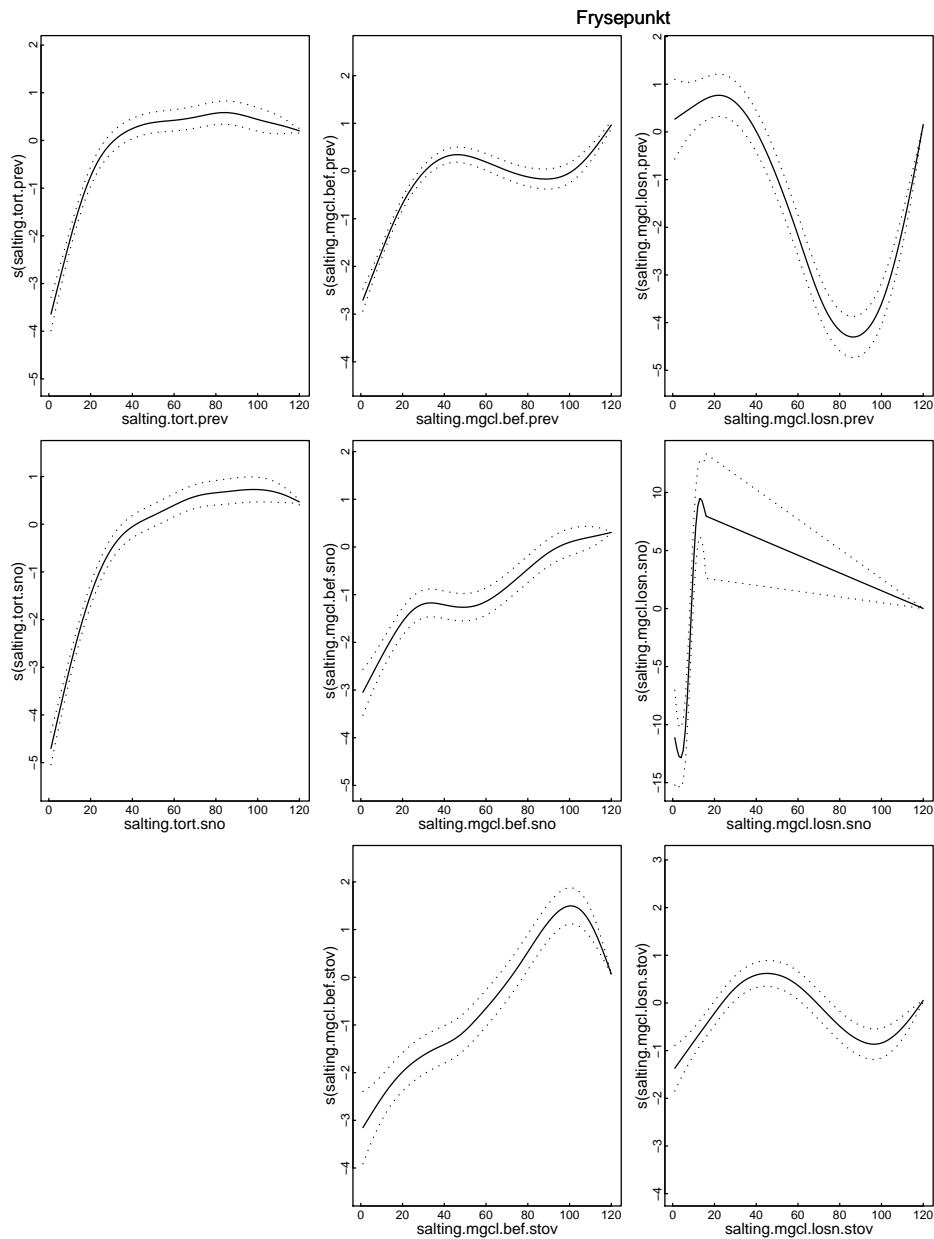
Når det gjelder tiltak ved snø, har bruk av tørt salt en klar senkende effekt på temperaturen. Tørt salt befuktet med $MgCl_2$ -løsning har også en klar senkende effekt, men tydelig mindre enn ved bruk av tørt salt alene. Å bruke $MgCl_2$ -løsning alene har tilsynelatende ingen effekt. Befuktet tørt salt med $NaCl$ -løsning har en gunstig effekt omtrent som befukning med $MgCl_2$ -løsning, men denne effekten er svært usikker.

Ved støvdemping er effekten på frysepunktet størst ved bruk av tørt salt befuktet med $MgCl_2$ -løsning, mens bruk av $MgCl_2$ -løsning alene kun gir en moderat senkning av frysepunktet.

Resultatene over samsvarer i hovedsak med funnene fra de to foregående kapitlene, hvor modellen hadde fokus på tilleggseffekten av å bruke saltløsning.



Figur 9. Estimerte s -funksjoner for den alternative parameterisering av salteffekten for frysepunktmålingene i Kirkeveien. Enheten på y-aksene er $^{\circ}\text{C}$ og på x-aksene timer siden salting.



Figur 10. Estimerte s -funksjoner for den alternative parameterisering av salteffekten frysepunktmålingene i Sørkedalsveien. Enheten på y-aksene er $^{\circ}\text{C}$ og på x-aksene timer siden salting.

5 Studie av sammenheng mellom salttetthet og type løsning

Vi ønsker å undersøke om det generelt brukes mindre salt med $MgCl_2$ -løsning (til befukting eller alene) enn når det brukes $NaCl$ -løsning, for tiltak utenom støvdemping (hvor det alltid brukes $MgCl_2$ -løsning).

For å få en indikasjon om total saltforbruk på hver veistrekning har vi summert total salttetthet per tiltak (beregnet som beskrevet i kapittel 2.4) over alle preventive tiltak eller tiltak ved snø i løpet av en vintersesong. Total salttetthet er summen av tørt salt og saltmengden i løsning (som består av 30% salt og 70% vann) for strekningene Kirkeveien, Sørkedalsveien og Marcus Thranesgate. Veistrekningene Kirkeveien og Sørkedalsveien er definert i 2.4, mens med Marcus Thranesgate mener vi veistrekningen på riksvei 161 fra Ulandsgate til Fagerheimgata (det vil si strekningen registrert som Griffenfeldts gate/Marcus Thranesgate i driftsdata fra ISS). For hver strekning gir det oss en aggregert salttetthet per vintersesong. Salt brukt til støvdemping er ikke tatt med.

$MgCl_2$ er brukt som løsning for alle vintre i Griffenfeldts gate, for alle vintre bortsett fra 2004/2005 i Kirkeveien og for alle vintre bortsett fra 2002/2003 og 2003/2004 i Sørkedalsveien.

I tabell 5 sammenlignes den aggregert totaltettheten av salt per vinter for hver av de tre strekningene med hverandre parvis for to og to strekninger. Vinteren 2001/2002 brukte en både $MgCl_2$ og $NaCl$ i Sørkedalsveien, så data for denne vinteren er utelatt for denne strekningen.

Av ulike årsaker kan det være at den ene veien generelt bruker mer salt enn den andre veien uavhengig om det er brukt $MgCl_2$ eller $NaCl$. For eksempel viser øverste deltabell at det alltid brukes mer salt i Kirkeveien enn i Sørkedalsveien, i og med at differansen alltid er positiv. Denne forskjellen må vi korrigere for hvis vi skal sammenligne forbruket av salt mellom to veistrekninger. Vi har derfor beregnet en normaldifferanse mellom to veistrekninger som gjennomsnittet av differansen av alle årene det er brukt $MgCl_2$ -løsning på begge strekninger. Deretter har vi beregnet avstanden fra normaldifferansen som forskjellen på to veistrekninger minus normaldifferansen separat for hvert par av veistrekninger. Denne er dermed korrigert for eventuelle systematiske forskjeller mellom veiene og varierer rundt null.

Hvis det er slik at en bruker mindre salt ved bruk av $MgCl_2$ -løsning enn ved $NaCl$ -løsning, vil det være slik at avstand fra normaldifferansen er negativ når det er brukt $MgCl_2$ ved første strekning (til venstre i tabellen) og $NaCl$ ved andre

strekning, og positiv når det er brukt NaCl ved første strekning og MgCl₂ ved andre. Dette er oppfylt bare i tre av de fem tilfellene i tabell 5 hvor det er brukt ulike typer løsninger på et par av strekninger. Ut fra dette kan vi ikke trekke noen konklusjoner om at den ene løsningen gir lavere totalforbruk enn den andre.

Vinter	Kirkeveien		Sørkedalsveien		Differanse	Avst. fra normaldiff.
	Tetthet	Type	Tetthet	Type		
01/02	0.892	MgCl ₂	0.925			
02/03	1.758	MgCl ₂	1.412	NaCl	0.347	-0.436
03/04	2.702	MgCl ₂	2.080	NaCl	0.622	-0.161
04/05	1.851	NaCl	1.838	MgCl ₂	0.013	-0.770
05/06	4.144	MgCl ₂	3.082	MgCl ₂	1.062	0.280
06/07	2.206	MgCl ₂	1.859	MgCl ₂	0.347	-0.436
07/08	2.823	MgCl ₂	1.792	MgCl ₂	1.031	0.248
08/09	3.384	MgCl ₂	2.694	MgCl ₂	0.690	-0.092

Vinter	Marcus Thranesgt.		Sørkedalsveien		Differanse	Avst. fra normaldiff.
	Tetthet	Type	Tetthet	Type		
01/02	0.929	MgCl ₂				
02/03	1.809	MgCl ₂	1.412	NaCl	0.398	-0.389
03/04	2.744	MgCl ₂	2.080	MgCl ₂	0.663	-0.123
04/05	2.037	MgCl ₂	1.838	MgCl ₂	0.199	-0.588
05/06	4.304	MgCl ₂	3.082	MgCl ₂	1.223	0.436
06/07	2.541	MgCl ₂	1.859	MgCl ₂	0.682	-0.104
07/08	2.512	MgCl ₂	1.792	MgCl ₂	0.720	-0.067
08/09	3.804	MgCl ₂	2.694	MgCl ₂	1.110	0.323

Vinter	Marcus Thranesgt.		Kirkeveien		Differanse	Avst. fra normaldiff.
	Tetthet	Type	Tetthet	Type		
01/02	0.929	MgCl ₂	0.892	MgCl ₂	0.037	-0.068
02/03	1.809	MgCl ₂	1.758	MgCl ₂	0.051	-0.054
03/04	2.744	MgCl ₂	2.702	MgCl ₂	0.042	-0.063
04/05	2.037	MgCl ₂	1.851	NaCl	0.186	0.081
05/06	4.304	MgCl ₂	4.144	MgCl ₂	0.161	0.056
06/07	2.541	MgCl ₂	2.206	MgCl ₂	0.335	0.230
07/08	2.512	MgCl ₂	2.823	MgCl ₂	-0.311	-0.416
08/09	3.804	MgCl ₂	3.384	MgCl ₂	0.420	0.315

Tabell 5. Forskjellen mellom aggregert salttetthet brukt hver vinter på ulike veistrekninger: Kirkeveien-Sørkedalsveien (øverst), Marcus Thranesgate-Sørkedalsveien (midten) og Sørkedalsveien-Kirkeveien (nederst). Type angir om det er brukt MgCl₂ eller NaCl i løsning. Tettheten og differanse har enhet g/m². Kolonnen helt til høyre viser differansen mellom salttettheten for to veistrekninger minus normaldifferansen, hvor normaldifferansen er gjennomsnittlig differansen over alle år det befulkes med MgCl₂ på begge veiene.

6 Oppsummering

For å oppsummere effekten av salting på frysepunktet for preventive tiltak og for tiltak ved snø kan vi si at:

- Salting med tørt salt senker frysepunktet betydelig.
- Om tørt salt befuktes med MgCl_2 -løsning, gir dette ingen ytterligere senkning av frysepunktstemperaturen. Det er heller en tendens til det motsatte. Årsaken kan være at befukting med løsning reelt sett ikke har betydning, men det kan også være at befukting brukes ved spesielle værforhold.
- Bruk av kun MgCl_2 -løsning har ingen klar effekt.
- Bruk av NaCl -løsning som befukting i stedet for MgCl_2 -løsning har muligens en negativ effekt, men dette er basert på kun en liten periode med bruk av NaCl -løsning (fra 1. januar 2005 til våren 2005).

Videre, ved støvdemping er det slik at:

- Tørt salt befuktet med MgCl_2 -løsning gir en klar nedgang i frysepunktet.
- Bruk av kun MgCl_2 -løsning gir en noe mindre nedgang i frysepunktet.

Til slutt i denne rapporten (kapittel 5) undersøkte vi om forbruket av salt blir mindre dersom en bruker saltløsning med MgCl_2 istedenfor NaCl . Vi fant ikke grunnlag denne påstanden basert på vår relativt enkle analyse av disse dataene.

Referanser

Aldrin, M., Hobæk Haff, I. og Rosland, P. (2008). The effect of salting with magnesium chloride on the concentration of particular matter in a road tunnel. *Atmospheric Environment*, **42** 1762–1776.

Haug, O. og Aldrin, M. (2006). Programvare for trafikkberegninger basert på basiskurvemetoden. Versjon pr. 16 november 2006. Teknisk rapport, Norsk Regnesentral.