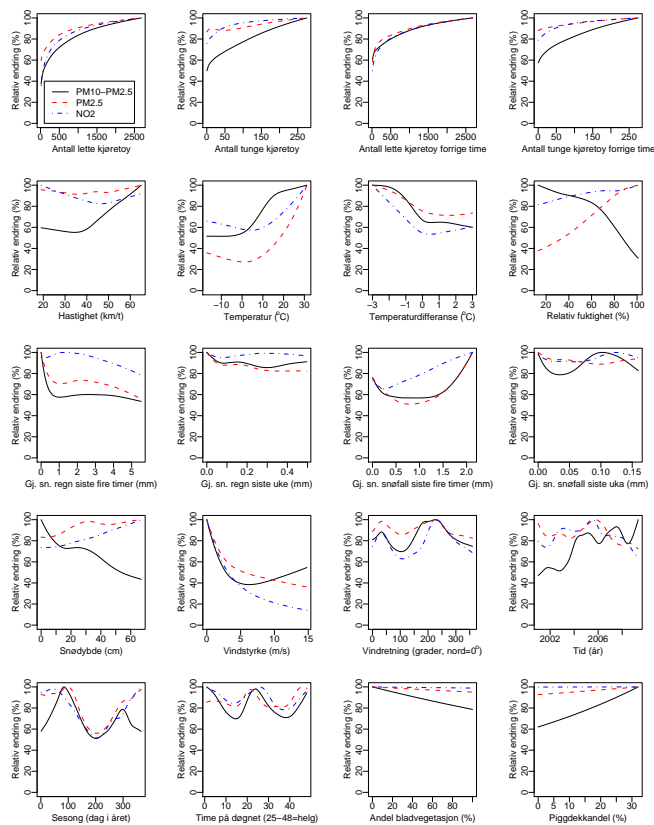


# Analyse av luftkvalitet og effekt av støvdemping basert på data fra 2001-2009



**Notatnr**  
**Forfattere**

**SAMBA/11/10**  
**Magne Aldrin**  
**Gunnhildur Högnadóttir Steinbakk**  
**Pål Rosland**

**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** **Analyse av luftkvalitet og effekt av støvdemping basert på data fra 2001-2009**

**Forfattere** **Magne Aldrin** <magne.aldrin@nr.no>  
**Gunnhildur Högnadóttir Steinbakk**  
<gunnhildur.steinbakk@nr.no>  
**Pål Rosland** <paal.rosland@vegvesen.no>

Dato 25. mars 2010

Publikasjonsnummer SAMBA/11/10

## Sammendrag

I denne rapporten presenterer vi statistiske modeller for hvordan de ulike luftforurensningskomponentene  $PM_{10}$  (svevestøv),  $PM_{2,5}$  (finstøv), differansen  $PM_{10} - PM_{2,5}$  (tilnærmet grovt svevestøv),  $NO_2$ ,  $NO_x$ , NO og CO varierer systematisk med trafikale og meteorologiske variable basert på timesdata fra Oslo i perioden 2001-2009. Det vil si sammenhengende dataserier på ca 70 000 timer hvor data for luftkvalitet måles ved Kirkeveien i Oslo. Tilhørende trafikkdata måles ved Ring 2, mens de meteorologiske variablene er fra målestasjoner på Valle Hovin og Blindern. Alle analysene baseres på en ikke-lineær regresjonsmodell av luftforurensningsmengden. Vi undersøker også effekten av å støvdempe kjørebanelen på Kirkeveien med magnesiumklorid på svevestøvkomponentene  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$  og  $PM_{10} - PM_{2,5}$  og varigheten av dempingeffekten. Vi finner en tydelig effekt på grovfraksjonen  $PM_{10} - PM_{2,5}$  hvor tiltaket reduserer konsentrasjonen med 27 % rett etter et tiltak, mens for  $PM_{10}$  reduserer tiltaket nivået med 14 %. Estimert effekt av magnesiumklorid på  $PM_{2,5}$  er derimot liten og ikke statistisk signifikant. Arbeidet er utført i samarbeid med Statens vegvesen, som også har levert dataene.

Emneord Luftforurensning, effekt av støvdemping, generaliserte additive modeller

Målgruppe Til den det måtte gjelde

Tilgjengelighet Åpen

Prosjekt STANDAM

Prosjektnummer 220433

Satsningsområde Miljø og marin

Antall sider

53

Copyright © 2010

Norsk Regnesentral

## English Summary

This report presents statistical models of how the various air pollutants components vary systematically with the traffic and meteorological variables. We investigate  $PM_{10}$  (particulate matter),  $PM_{2,5}$  (fine fraction), the difference  $PM_{10} - PM_{2,5}$  (course fraction),  $NO_2$ ,  $NO_x$ ,  $NO$  and  $CO$  measured hourly at the road Ring 2 (i.e. Kirkeveien) in Oslo. Corresponding traffic variables are measured at Ring 2 (i.e. Vøyen bru), and the meteorological variables at Valle Hovin and Blindern (located 5km and 1km from the air quality measurement station). It is a continuous data series of approximately 70 000 hours data from the period 2001-2009. The analysis is based on a non-linear regression model for describing the amount of air pollution.

As one would expect, traffic volume is an important predictor variable for the concentration of air pollution, so is also traffic speed. Further, temperature has a pronounced effect, although this effect needs to be seen together with other predictor variables related to season. Both wind direction and speed appear to have a large influence on the air pollution, where higher wind speed is associated with a lower concentration. However, for the course fraction particulate matter, the amount of air pollution tends to increase for wind speed above 5m/s, as particles are whirled up instead of being blown away. Rainfall decreases the amount of particulate matter, but seems to have no particular influence on the gaseous components. Additionally, we study the effect of other predictor variables, such as relative humidity, snow depth, proportion of studded tires, and vegetation.

Comparing the different air pollutions, we observe that the amount of course fraction varies in a different way than the other components. Further, the fine fraction has characteristics more resembling the gaseous components, such as  $NO_x$  and  $CO$ , than the other coarser airborne particulate matters.

Finally, we investigate the effect of road dust treatment with a magnesium chloride solution on the concentration of airborne components of  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$  and  $PM_{10} - PM_{2,5}$ , and the duration of the mitigating effect. We find a clear effect on the coarse fraction  $PM_{10} - PM_{2,5}$  in which the measure reduces the concentration by 27 % immediately after an intervention, and 14 % on the concentration of  $PM_{10}$ . The estimated effect of magnesium chloride on  $PM_{2,5}$  is, however, small and not statistically significant.

The work is conducted in cooperation with the Norwegian Public Roads Administration. The measured data are produced by Norwegian Public Roads Administration.



# Innhold

<b>1</b>	<b>Utvidet sammendrag</b>	<b>9</b>
1.1	PM <sub>2,5</sub> , PM <sub>10</sub> –PM <sub>2,5</sub> og NO <sub>2</sub> som funksjon av forklaringsvariabler som i hovedsak ikke er relatert til årstid	11
1.2	PM <sub>2,5</sub> , PM <sub>10</sub> –PM <sub>2,5</sub> og NO <sub>2</sub> som funksjon av forklaringsvariabler som er relatert til årstid	14
1.3	Oppsummering for alle luftkvalitetsvariabler	16
1.4	Luftkvalitet som funksjon av støvdemping	19
<b>2</b>	<b>Introduksjon</b>	<b>21</b>
<b>3</b>	<b>Data</b>	<b>23</b>
3.1	Tiltaksdata	23
3.2	Luftkvalitetsdata	24
3.3	Trafikkdata	25
3.4	Meteorologiske data	26
3.5	Vegetasjons- og piggdekkdata	26
<b>4</b>	<b>Modeller og metode</b>	<b>33</b>
4.1	Empiriske modeller for luftkvalitet	33
4.2	Modell for effekt av salting på svevestøv	34
4.3	Parameterusikkerhet	35
<b>5</b>	<b>Resultater</b>	<b>37</b>
5.1	Resultater fra empiriske modeller for luftkvalitet	37
5.2	Diskusjon av PM <sub>2,5</sub> , PM <sub>10</sub> –PM <sub>2,5</sub> og NO <sub>2</sub> som funksjon av årstidsrelaterte forklaringsvariable	47
5.3	Resultater for effekt av salting	51
	<b>Referanser</b>	<b>53</b>

Rapporten er skrevet av Norsk Regnesentral, med følgende unntak:

- Sammendrag på engelsk (English Summary), kapittel 1 og 3.5 er skrevet av Pål Rosland med bidrag fra Norsk Regnesentral.
- Kapittel 5.2 er skrevet av Pål Rosland.





# 1 Utvidet sammendrag

Kirkeveien er en del av Ring 2 i Oslo. Luftkvaliteten i Kirkeveien på Majorstua er målt siden midten på 1990-tallet. I denne studien har vi sett nærmere på perioden 1. januar 2001 til 1. mai 2009. Målestasjonen står 500 m nord for Majorstuakrysset. Her måles løpende timemiddel for svevestøv med ulik diameter ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$  og  $PM_{10} - PM_{2,5}$ ) og gassene  $NO$ ,  $NO_2$ ,  $NO_x$  og  $CO$ . På Ring 2, øst for Kirkeveien, på Vøyen bry måles trafikken. Tellepunktet måler antall lette og tunge biler pr time, samt gjennomsnittsfarten på disse. Meteorologiske variabler er målt som løpende timemiddel på Valle Hovin. Når aktuelle data ikke er blitt observert på Valle Hovin, brukes værobservasjonene på Blindern. Det er målt nedbør, vind, vindretning, relativ fuktighet, temperatur 2 m over bakken og hvor mye temperaturen er lavere 2 m over bakken enn 25 m over bakken. I tillegg er akkumulert snødybde målt som døgnverdi på Blindern. Den aktuelle perioden fra 2001 til 2009 tilsvarer en sammenhengende periode på over 70 000 timer.

I tillegg til nevnte målinger er andelen bladvegetasjon og piggekk beregnet, der bladvegetasjonen på løvtrærne er satt til 0 % om vinteren og piggekkandelen til 0 % om sommeren. Endring i bladvegetasjonen er beregnet ut fra når bjørk og ask blomstret hver vår basert på pollendata og når første frostnatt falt om høsten. Piggekkandelen bygger på offisielle tall fra Statens vegvesen. Tallene baserer seg på tellinger på ti til femten steder i Oslo i uke 6 hvert år. Vi har tatt utgangspunkt i at folk bruker tre uker fra slutten av oktober til midten av november før aktuell piggekkandel oppnås. Videre avsluttes piggekkesesongen søndag etter 1. påskedag, noe som skaper en variasjon i når piggekkandelen går ned igjen til null.

Variabler som sesong og tid på døgnet, vil påvirke luftkvaliteten. Videre forventer vi at det vil skje trendsmessig effekter i løpet av hele perioden, som påvirker luftkvaliteten. Disse variablene er lagt inn som aktuelt døgnnummer eller timeverdi.

En del variabler vil være delvis betinget av andre variable. Lufttemperatur er typisk delvis betinget av sesong. Det er varmere om sommeren enn om vinteren. Om vinteren brukes det piggekk, mens løvtrærne er uten blader.

Samtlige ovennevnte variabler er satt inn i en statistisk modell ved hjelp av programvare NR besitter. De statistiske sammenhengene er modulert ved hjelp av

generaliserte additive modeller (GAM). Tilsvarende analyser er utført tidligere av NR basert på liknende data. Konsentrasjonen av en forurensningskomponent er således modellert som en funksjon av målte trafikale forhold og værforhold, samt beregnede variabler som piggdekkandel, bladandel, time på døgnet, dag på året og dag i perioden.

Figur 1.1 viser estimerte endringer (eller effekter) for luftkvalitetsvariablene  $PM_{2,5}$  (fint svevestøv),  $PM_{10} - PM_{2,5}$  (tilsvarer grovt svevestøv) og  $NO_2$  (nitrogendioksid) som en funksjon av ulike forklaringsvariabler som kan ha betydning for luftkvaliteten. Disse forklaringsvariablene inkluderer trafikale og meteorologiske data, i tillegg til variabler som er knyttet til år, sesong og time på døgnet, samt bladvegetasjon og piggdekkandel. De estimerte endringene er relative på en skala fra 0-100 %, slik at de ulike effektene av forklaringsvariablene kan sammenlignes. Nivået på 100 % gjelder alltid for den verdi av forklaringsvariabelen som gir høyest nivå på luftkvalitetsvariabelen. Vi bruker begrepet prosentpoeng for å poengtere at vi snakker om endringer på denne skalaen. De variablene som skaper størst endringer i luftkvaliteten, er de variablene som har størst forklaringssevne. Estimert effekt av alle luftkvalitetsvariabler er i tillegg vist (på logaritmisk skala) i figurene 5.1 til 5.6.

Forklaringsvariablene varierer på følgende måte: Antall lette biler varierer mellom 100 biler pr time til 2700 biler, og for tunge biler mellom 10 og 260 biler. Størstedelen av trafikken er målt til hastigheter mellom 30 og 55 km/t. Temperaturen er varierer fra minus 15 grader celsius til pluss 30 grader. Temperaturdifferansen går fra minus tre grader kaldere ved bakken i forhold til 25 m over bakken og opp til pluss tre grader varmere. Relativ fuktighet går fra 20 % fuktighet og opp til 100 %. Vi betrakter gjennomsnittlig regn per time siste fire timer fra 0 til 5 mm per time, og gjennomsnittlig regn per time siste uke fra 0 til 0,5 mm per time. For snø er det tilsvarende: gjennomsnittlig snøfall siste fire timer varierer fra 0 til 2 mm per time, mens gjennomsnittlig snøfall siste uke varierer fra 0 til 0,15 mm per time. Snødybde på Blindern er målt opp til 60 cm, og maksimum vindstyrke er ca 15 m/s. Høyeste piggdekkandel er satt til 32 % (øvre halvdel av figur 3.4), mens nedre halvdel av figur 3.4 viser hvordan bladandelen varierer.

Resultatene som presenteres må fortolkes som effekten av en forklaringsvariabel når vi har justert for effekten av øvrige forklaringsvariable. Under sammenfatter vi først sammenhengene mellom konsentrasjonen av luftkvalitetsvariablene  $PM_{2,5}$ ,  $PM_{10} - PM_{2,5}$  og  $NO_2$  og forklaringsvariabler som i hovedsak ikke er relatert til årstid. Deretter beskriver vi effekten av forklaringsvariabler som er relatert til årstid, da disse forklaringsvariablene samvarierer over året og bør sees i sammenheng. Videre gir vi en oppsummering av resultatene for alle luftkvalitetsvariablene. Til slutt presenterer vi resultater angående effekten av å bruke

magnesiumklorid til å støvdempe.

## 1.1 $PM_{2,5}$ , $PM_{10} - PM_{2,5}$ og $NO_2$ som funksjon av forklaringsvariabler som i hovedsak ikke er relatert til årstid

### Trafikkrelaterte variabler

Ut fra figur 1.1, samt figurene 5.2, 5.3 og 5.5, ser vi at konsentrasjonen av forurensningskomponentene øker kraftig med antall biler per time, noe som er logisk, men økningen er avtakende med økende mengde biler, særlig lette biler. Vi ser også at mengde trafikk målt en time tidligere har stor effekt. Fra 100 til 2000 lette biler pr time øker grovfraksjonen og  $NO_2$  med 50 prosentpoeng. Fra 100 til 300 lette biler øker konsentrasjonen med 20 prosentpoeng, finfraksjonen noe mindre. Deretter er økningen avtakende. For tunge biler er økningen mer lineær, noe som trolig betyr at hver unike tung bil virvler opp en betydelig mengde grovt svevestøv. Konsentrasjonen av grovt svevestøv øker med 30 prosentpoeng fra 10 til 200 tunge biler, mens  $NO_2$  og fint svevestøv øker med ca 10 prosentpoeng. Det er logisk at trafikken en time tidligere har effekt på luftkvaliteten, siden det tar en stund før forurensningen ventileres bort. Tunge biler bidrar spesielt mye til å virvle opp veistøvet som primært består av grovt svevestøv og store støvkorn. Videre ser vi at mengden grovt svevestøv går ned med ca 20 prosentpoeng når hastigheten faller fra 55 km/t til 40 km/t. Fint svevestøv er ikke følsom for aktuelle endringer i hastighet. For  $NO_2$  er det en tendens til økt mengde  $NO_2$  når farten faller under 45 km/t. Når farten er 30 km/t, er nivået 15 prosentpoeng høyere enn ved 45 km/t.

### Nedbørsrelaterte variabler

Mengden svevestøv enten det gjelder finfraksjonen eller grovfraksjonen er følsom for regn, et forhold som gjelder særlig for grovfraksjonen. I vår modell har vi sett på mengde nedbør snittet over siste 4 timer, da vi ser at dempingeffekten av nedbør har varighet utover én time. Vi finner at fra oppholdsvær til 1 mm regn i gjennomsnitt siste 4 timer så faller konsentrasjonen av grovfraksjonen ( $PM_{10} - PM_{2,5}$ ) med 40 og  $PM_{2,5}$  med 30 prosentpoeng. Ytterligere regn ut over 1 mm betyr lite. Modellen viser imidlertid at gjennomsnittelig regn sist uke gir en aning økt støvdemping med økende nedbør. Sist ukes snøfall har liten eller ingen betydning for mengden fint svevestøv, mens mengde grovt svevestøv faller med økende snømengde, for deretter å øke med økende snøfall uten at årsaken til dette er kjent. Gjennomsnittelig snøfall siste 4 timer bidrar også til støvdemping, og effekten er like stor både på den grove og fine fraksjonen. Effekten tilsvarer 20 prosentpoengs reduksjon fra oppholdsvær til 0,5 mm snø. Når effekten av disse snøvariablene fortolkes, må en ta i betraktning at den statistiske usikkerheten (ikke

vist i figur 1.1) er spesielt stor for disse variablene. Gassen  $\text{NO}_2$  er ikke påvirket av regn, men gjennomsnittelig snøfall siste 4 timer snøfall synes å dempe konsentrasjonen med 10 prosentpoeng fra ingen snø til 0,2 mm snø som snitt av siste 4 timer.

At det faller nedbør kontra ikke nedbør er av betydning for forekomsten av svevestøv i lufta, særlig for grovt svevestøv. At asfalten er blitt fuktig pga regn, har langt større betydning enn at det kommer mye nedbør. Det er en sammenheng mellom antall nedbørsperioder i løpet av en uke og mengde nedbør per uke, noe som kan forklare at mengde støv går ned med økende regnmengde per uke.

Det er en klar trend til at mengden grovt svevestøv går ned med økende snødybde. Fra snøfri bakke til 20 cm snø faller mengden med 25 prosentpoeng, og fra snøfri bakke til 50 cm snø faller konsentrasjonen med 50 prosentpoeng. Det er logisk at et lag med snø vil pakke inn veistøv og annet grovt svevestøv. Modellen viser at jo mer snø på bakken, jo mer demping oppnås. For  $\text{NO}_2$  og finstøv forholder det seg motsatt. Når snødybden øker fra bar bakke til 50 cm, øker konsentrasjonen med ca 20 prosentpoeng uten at årsaken er kjent.

### Vindvariabler

Vind bidrar til utlufting og fortykning av luftforurensningen, hvor sterkere vind gir sterkere utlufting. I så måte fremstår  $\text{NO}_x$  som en trasergass, se figur 5.6. Den suverent største kilden til  $\text{NO}_x$  er eksos fra dieselmotorer. Forekomsten av  $\text{NO}_2$  er påvirket av hvor mye  $\text{NO}$  som oksideres til  $\text{NO}_2$ , utover det fremstår også  $\text{NO}_2$  som en trasergass. I figur 1.1 ser vi at konsentrasjonen av  $\text{NO}_2$  faller avtakende eksponentielt med 80 prosentpoeng fra vindstille til 10 m/s vind. Med ytterligere økende vind faller konsentrasjonen av  $\text{NO}_2$  ned mot bakgrunnsnivået for  $\text{NO}_2$ . Tilsvarende effekt ser vi for finstøv. Her er reduksjonen omkring 50 prosentpoeng. Finstøv har altså gassaktige egenskaper som  $\text{NO}_2$ . Når det gjelder grovt svevestøv, faller nivået med 60 prosentpoeng fra vindstille til 5 m/s vind, hvoretter nivået er stabilt eller økende igjen med økende vindstyrke. Det økte støvnivået skyldes trolig oppvirvling av svevestøv som har lagt seg på bakken.

Vindretning har stor betydning for hvor mye luftforurensning som blir målt. Der som målingen skjer i le av forurensningskilden er nivået høyere enn om det måles i lo. Ved målestasjonen for luftkvalitet går Kirkeveien fra nord-øst (45 grader) mot sør-vest (225 grader). Målestasjonen ligger sørøst for veien (135 grader). Fra figur 1.1, og enda tydeligere for trasergassen  $\text{NO}_x$  i figur 5.6, ser vi at forurensningen er høyest når vinden blåser parallelt med Kirkeveien, enten fra nord-øst (45 grader) eller fra sør-vest (225 grader). I begge vindretningene vil stasjonen ligge i le av den sterkeste lokale kilden som er Kirkeveien. Lavest nivå oppstår når vinden kommer fra sør-øst (135 grader). Det er  $\text{NO}_2$  som sammenfaller best med mønstret til  $\text{NO}_x$ , mens finstøv avviker mest. Kilden til finstøv er både eksos og

vedfyring. Vedfyring forekommer i hele boligområdet omkring Kirkeveien slik at vindretning betyr signifikant mindre for konsentrasjonen av finstøv. Kilden til grovt svevestøv er primært veistøv generert av biltrafikken. Piggdekk lager mye veistøv. Konsentrasjonen til grovt svevestøv sammenfaller i stor grad med NO<sub>2</sub>. Som funksjon av vindretning er den estimerte variasjonen for NO<sub>2</sub> 40 prosentpoeng, for grovt svevestøv 30 prosentpoeng og for finstøv litt over 10 prosentpoeng.

#### Temperaturdifferanse

Kald luft er tung luft. Når lufta nær bakken er kaldere enn lufta høyere opp, har vi inversjon. Det betyr at den kalde lufta blir liggende ved bakken i stedet for å stige opp. Om vinteren når sola står lavt, er det vanlig at bakken blir kraftig nedkjølt, noe som skaper bakkenær inversjon og dårlige forhold for spredning av luftforurensningen. Figur 1.1 viser at når temperaturdifferansen på Valle Hovin er minus tre grader, altså tre grader kaldere ved bakken, er NO<sub>2</sub> nivået 40 prosentpoeng høyere og PM<sub>2,5</sub> nivået 20 prosentpoeng høyere enn når temperaturforskjellen er utjevnet. For grovt svevestøv øker konsentrasjonen med 20 prosentpoeng fra lik temperatur til 1,5 grader kaldere ved bakken. Ytterligere temperaturdifferanse øker ikke konsentrasjonen. Sterk inversjon er knyttet til sterk kulde. Under slike forhold vil veistøv som utgjør hovedmengden av grovfraksjonen, vanligvis være frosset fast. Om temperaturdifferansen øker ytterligere, øker ikke grovfraksjonen, fordi støvet er fastfrost.

#### Tid og time

Variabelen tid representerer tidsaksen. Samtlige forurensningskomponenter varierer som funksjon av denne tidsaksen, og de varierer noe fra år til år uten at årsaken til dette er kjent. Trenden til PM<sub>2,5</sub> er svakt fallende. På den annen side er trenden for grovt svevestøv klart økende. Fra 2001 til 2009 har nivået økt med 50 prosentpoeng. For NO er trenden fallende. For NO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> er trenden skiftende, men for CO er trenden stabil uten endring i perioden. Husk at disse trendene, som for alle andre effekter vi diskuterer, er den effekten som gjenstår når vi har korrigert for andre forklaringsvariable.

Det er logisk at NO faller siden dieselbilene får stadig lavere NO-utslipp, et fenomen vi ennå ikke ser for NO<sub>2</sub>. Et svakt fall for PM<sub>2,5</sub> kan skyldes redusert utslipp fra vedfyring. Grovt svevestøv er nært knyttet til veistøv. Økt mengde veistøv i perioden kan i liten grad være knyttet til de variabler som alt danner funksjoner i modellen, bortsett fra piggdekkandelen. En årsak kan være endret vinterdrift som skaper mer bar asfalt som gir et potensial for mer veistøv.

Forurensningsnivået varierer gjennom døgnet. I figur 1.1 vises døgnvariasjonen som gjenstår når det er korrigert for øvrige forklaringsvariable, deriblant trafikkvolum. Mønstrer er omtrent likt enten det er virkedag eller helg. Døgnvariasjonskurven for grovfraksjonen ligger 30 prosentpoeng høyere om natta enn på dagtid

og for  $\text{NO}_2$  og  $\text{PM}_{2,5}$  omkring 20 prosentpoeng. Det vil si at kurven kompenserer noe for at den øvrige delen av modellen predikerer betydelig lavere nivå om natta på grunn av lavere trafikkvolum da. Effekten kan videre henge sammen med dårligere luftsirkulasjon om natta fordi bakken blir kald.

## 1.2 $\text{PM}_{2,5}$ , $\text{PM}_{10}-\text{PM}_{2,5}$ og $\text{NO}_2$ som funksjon av forklaringsvariabler som er relatert til årstid

En del forklaringsvariabler varierer systematisk med tid på året, for eksempel at forekomsten av bladvegetasjon er knyttet til sommerhalvåret, at høy temperatur er et sommerfenomen, at lav fuktighet oppstår om våren, at lav temperatur, piggdekk og snø er typiske vinterfenomen. Resultatene for snø er presentert tidligere, mens resultatene for de øvrige av disse forklaringsvariablene presenteres i det følgende. For at effekten av hver enkelt forklaringsvariabel skal kunne fortolkes mest mulig kausalt er det viktig at det også korrigeres for generell sesongeffekt, slik at f. eks. effekten av temperatur ikke blir en sommer/vintereffekt, men mer en effekt av forskjellen mellom to dager med ulik temperatur, men for øvrig like forhold. Bladvegetasjon og piggdekkandel varierer spesielt systematisk med sesong, siden disse ikke varierer fra dag til dag slik som de øvrige forklaringsvariablene. Effekten av disse er derfor spesielt vanskelig å skille ut fra et generelt sesongmønster.

### Sesongvariasjon

I figur 1.1 varierer forurensningsnivåene som funksjon av sesong. Husk at sesongkurven er den sesongvariasjon som gjenstår når det er korrigert for øvrige forklaringsvariabler som også varierer med sesong, hvor særlig temperatur er viktig. Sesongkurven må derfor sees i sammenheng med de andre sesongvarierende forklaringsvariablene og vice versa. Kurven for grovfraksjonen er nesten hele 50 prosentpoeng lavere i juli og ved vintersolverv enn ved vårjevndøgn. I oktober før vinteren setter inn er støvnivået om lag 25 prosentpoeng høyere enn i juli. Vinter og sommer har åpenbart stor dempingseffekt på det grove svevestøvet. Finstøv og  $\text{NO}_2$  er nesten hele 50 prosentpoeng lavere i juli enn vinterperioden mellom vintersolverv og vårjevndøgn. Egenskapen sommer har stor dempingseffekt på  $\text{NO}_2$  og  $\text{PM}_{2,5}$  nivået, noe vinter ikke har.

### Temperatur

Når vi betrakter  $\text{PM}_{2,5}$  som funksjon av varierende temperatur i figur 1.1, øker mengden finstøv med 10 prosentpoeng når temperaturen endres fra null grader celsius til minus 15 grader. Dette skyldes trolig vedfyring som øker med fallende temperatur. Fra 5 varmegrader til 30 varmegrader øker nivået av  $\text{PM}_{2,5}$  med 70 prosentpoeng.



Når vi ser på grovfraksjonen i figur 1.1, ser vi at  $PM_{10} - PM_{2,5}$  ikke endrer seg når temperaturen faller fra null grader til minus 15. Det tyder på grovfraksjonen som i stor grad er veistøv, fryser fast under null grader. Fra pluss fem til 15 varmegrader øker støvkonsentrasjonen med 30 prosentpoeng. Vi vet at kjøring med piggdekk på tørr og relativ varm asfalt skaper store mengder veistøv. Dette er trolig en av flere årsaker til at støvkonsentrasjonen går opp når også temperaturen går opp fra +5 til +15. Når temperaturen øker ytterligere til 30 grader, øker mengden støv bare 10 prosentpoeng.

Når vi ser på  $NO_2$  i figur 1.1, ser vi at nivået er lavest ved 5 varmegrader. Nivået øker med 10 prosentpoeng når temperaturen faller fra fem varmegrader til 15 kuldegrader. Fra pluss fem til 30 varmegrader øker nivået med 40 prosentpoeng.

Husk at effekten av temperatur også må sees i forhold til sesongeffekten. Høyest temperatur gir isolert sett høyest nivå på luftforurensningen, men samtidig er sesongeffekten lavest om sommeren. Det vil si at på to sommerdager med 10 og 30 varmegrader vil det være en tendens til dårligere luftkvalitet på den varmeste av disse to dagene, men ikke nødvendigvis dårligere enn på en vinterdag i mars med 10 varmegrader.

#### Luftfuktighet

Høy luftfuktighet binder grovfraksjonen. I figur 1.1 ser vi at når fuktigheten øker fra 60 % til 100 % faller støvmengden med 50 prosentpoeng. Når lufta blir tørrere, øker støvmengden. Grovfraksjonen øker med 20 prosentpoeng når fuktigheten faller fra 60 % til 20 %. Tørr luft er et vårfenomen.

Mengden finstøv øker jevnt og kraftig med økende luftfuktighet. Fra 20 % til 100 % relativ fuktighet øker støvmengden med 60 prosentpoeng i figur 1.1. En sannsynlig årsak til at finstøvet øker med økt fuktighet er at det er økt mengde fine vannpartikler i lufta med økende luftfuktighet. Dette er bekreftet av leverandør av måleinstrumentet. Fine vannpartikler kan bli målt som finstøv. For å unngå dette må instrumentet settes opp med en fordampningsmodul.

For  $NO_2$  i figur 1.1 øker konsentrasjonen med 20 prosentpoeng når relativ fuktighet går fra 20 % til 100 %.

#### Blader og piggdekk

I figur 1.1 ser vi at endring i bladvegetasjonen fra null % til 100 % demper grovfraksjonen med 20 prosentpoeng. Endring i bladvegetasjonen endrer ikke forekomsten av  $NO_2$  eller  $PM_{2,5}$ . Piggdekkandelen påvirker ikke mengden  $NO_2$  og bare i liten grad  $PM_{2,5}$ . Grovfraksjon øker med 40 prosentpoeng når piggdekkandelen går fra ingen pigger til 30 % piggdekkandel. Både bladvegetasjon og piggdekkandelen varierer såpass systematisk med årstid at effekten av dem kan være vanskelig å skille fra generell sesongvariasjon, men resultatene her med at økt bladvege-

tasjon og lavere piggdekkandel begge har en dempende effekt på grovfraksjonen, virker rimelig.

### 1.3 Oppsummering for alle luftkvalitetsvariabler

Vi har nå primært sett på fint og grovt svevestøv og nitrogendioksid. Her vil vi oppsummere resultatene for alle forurensningskomponentene.

Summen av fint og grovt svevestøv er  $PM_{10}$ . Det er innført grenseverdier for tillatt mengde  $PM_{10}$ . I figur 5.1 ser vi at svevestøvet varierer som funksjon av variablene på en måte som speiler responsen både til finfraksjonen og grovfraksjonen på en tilforlateglig måte.

Vi ser at  $PM_{2,5}$ , NO,  $NO_2$ ,  $NO_x$  og CO varierer relativt likt som funksjon av flere av forklaringsvariablene. Fysisk oppfører fine partikler i nanostørrelse seg på samme måte som gassmolekyler. Vi ser at biltrafikken i stor grad bidrar til å skape disse stoffene. Vi ser at de oppfører seg likt i forhold til vindstyrke og temperaturdifferanse. Begge disse variablene er direkte knyttet til fortykning, spredning og innestenging av luftforurensningen. Solhøyde og dermed varierende oppvarming av bakken gir en sesongvariasjon knyttet til svak eller god luftsirkulasjon. Om sommeren sirkulerer lufta mer pga mer labile luftlag. Således oppfører stoffene seg omtrent likt i forhold til variabelen sesong. Piggdekkandelen påvirker ikke de gassaktige komponentene, men vi ser at grovt svevestøv er betydelig påvirket.

$NO_x$  og CO oppfører seg tilsynelatende nesten helt likt i forhold til forklaringsvariablene. Økt mengde snø gjennom sist uke fører imidlertid til større demping for CO enn for  $NO_x$ .

De gassaktige komponentene varierer seg i mellom, særlig i hvordan de avhenger av temperatur, fuktighet, nedbør, vindretning og bladvegetasjon. Vi er kjent med at mengde  $PM_{2,5}$  øker sterkt med økende temperatur, og motsatt for NO. Vi vet at om sommeren er det mye organiske partikler i lufta. Dersom mengden  $PM_{2,5}$  henger sammen med biologiske prosesser i naturen, er det naturlig at høy temperatur har stor betydning. Bensinbilenes katalysator har meget høy virkningsgrad med hensyn til å redusere utslippet av  $NO_x$  når katalysatoren har oppnådd høy nok arbeidstemperatur. NO utgjør ca 90 % av  $NO_x$ -en som kommer fra bensinbilenes eksos. Jo kaldere det er, jo lengre tid tar det før denne temperaturen oppnås.  $NO_2$  har fått økt konsentrasjon når vi får høy lufttemperatur. Dette kan henge sammen med at NO lettere oksideres til  $NO_2$  når temperaturen øker.

Mengde  $PM_{2,5}$  øker når lufta blir fuktigere. Dette henger sannsynligvis sammen med at instrumentet måler økt mengde med fine vanndråper. Uten at vi kjenner årsaken til det, øker konsentrasjonen av NO når lufta blir tørr. Nedbør demper konsentrasjonen av de gassaktige stoffene, men  $PM_{2,5}$  har langt høyere respons



på nedbør enn de rene gasskomponentene.

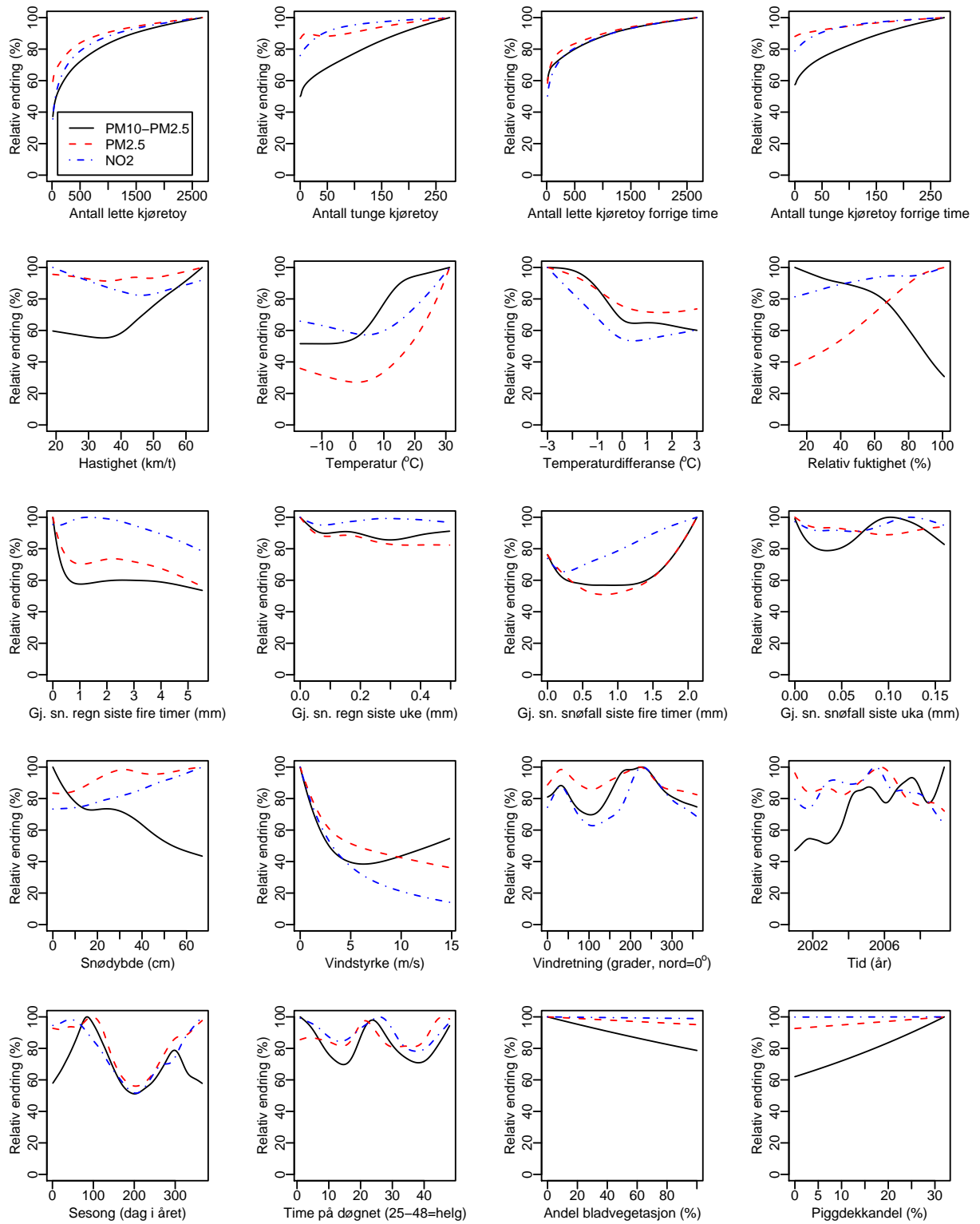
Vindretning avspeiler hvor kilden til luftforurensningen er lokalisert. For gasskomponentene er det veitrafikken som er primærkilden. Det tilsier at forurensningen kommer fra den himmelretningen hovedtrafikken går; noe vi klart kan se. For PM<sub>2,5</sub> er vedfyringskilden trolig større enn eksoskilden som også inneholder fine forbrenningspartikler, da vi observerer at vindens himmelretning spiller lite inn på mengde PM<sub>2,5</sub>.

Det er bare grovt svevestøv og NO som gir respons på bladvegetasjon. Økt mengde blader på løvtrærne reduserer mengde grovt støv. Blader har stor overflate og vil derfor evne og virke som støvfelle. Men for NO øker nivået med økt bladmengde uten at vi vet hvilken årsak dette har, og kanskje effekten kan begrunnes biologisk. Vi kjenner heller ikke årsaken til at de gassaktige stoffene øker når snødybden øker på Blindern, mens den egentlige årsaken er trolig noe annet.

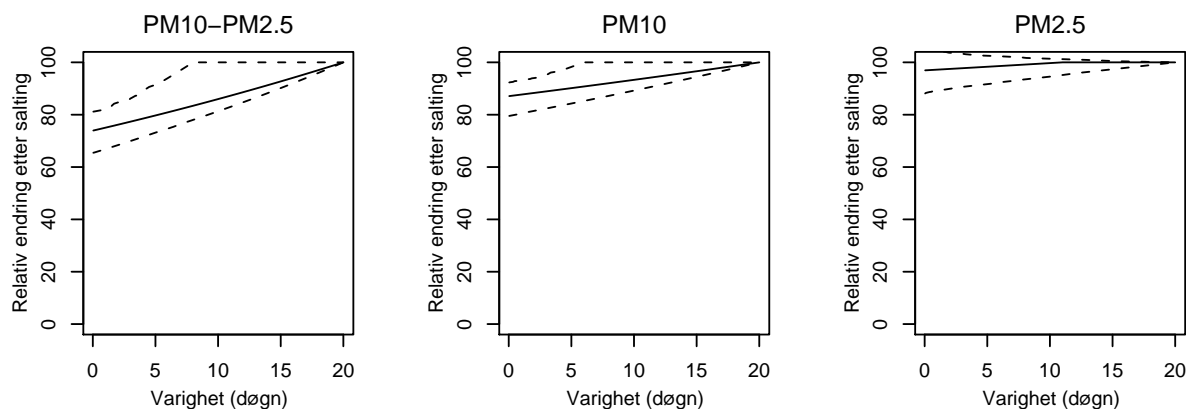
Tabell 1.1 viser de variablene som har størst forklaringssevne på de ulike forurensningskomponentene. Styrken i forklaringssevne er angitt med antall +. 0 er ingen forklaringssevne.

	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>10</sub> – PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>10</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO
Antall lette biler	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
Antall tunge biler (> 5,5 m)	+	+++	++	+++	++	++	++
Kjørehastighet (35-60 km/t)	0	+++	++	+	+	+	+
Temperatur	+++	+++	+++	+++	+++	+	0
Temperaturdifferanse (25 m)	++	+++	++	+++	+++	+++	+++
Vindstyrke	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
Lokal vindretning	+	++	++	+++	+++	+++	+++
Relativ fuktighet	+++	+++	++	++	+	+	+
Regn	++	+++	++	+	0	+	+
Snøfall	++	+	+	+	+	+	+
Snødybde på Blindern	+	+++	+	++	+	+	++
Sesong og årsvariasjon	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
Kløykeslett på døgnet	++	++	++	+	++	+	+
Tid i perioden (år)	+	+++	+	+++	+	++	+
Blader på løvtrær (%)	0	++	+	++	0	0	0
Piggdekkandel under 30 %	+	+++	++	0	0	0	0
Støvdemping (MgCl <sub>2</sub> )	0	+++	+				

Tabell 1.1. Anskueliggjøring av hvilke variabler som bidrar mest til å forklare variasjoner i forurensningsnivået for de enkelte luftkomponentene: +++ = sterk påvirkning, ++ = påvirkning, + = liten påvirkning og 0 = ikke påvirkning.



Figur 1.1. Estimert relativ endring for  $PM_{10} - PM_{2,5}$ ,  $PM_{2,5}$  og  $NO_2$  for data fra Kirkeveien i Oslo.



Figur 1.2. Endring i effekt av støvdemping på svevestøvkomponentene.

## 1.4 Luftkvalitet som funksjon av støvdemping

Fra 2001 til 2009 har det blitt mer og mer vanlig å bruke magnesiumklorid i løsning til å støvdempe. Stoffet legges ut når det er ventet mye veistøv. Tiltaket følges opp rutinemessig med renhold der rennesteinen feies med feiebil et par ganger i måneden. Figur 1.2 viser den relative endringen på svevestøvkonsentrasjonen som en funksjon av antall døgn etter et tiltak, med tilhørende konfidensintervall. Denne figuren illustrerer hvordan effekten av støvdempingen avtar med tid etter et tiltak.

Vi ser at magnesiumklorid signifikant demper mengden grovt svevestøv, men ikke finfraksjonen. Samlet virker tiltaket på  $PM_{10}$  da denne komponenten er summen av finfraksjonen og grovfraksjonen. Dempningseffekten på grovfraksjonen er 27 % samme dag som tiltaket gjennomføres. Effekten på  $PM_{10}$  er 14 %. Vi ser at effekten har varighet over flere dager i modellen. Magnesiumsalt er hygroskopisk og toverdig. Saltet sørger for at veien holder seg fuktig, noe som demper støvmengden. Videre vil magnesium kunne binde seg til partiklene og skitte dem sammen.



## 2 Introduksjon

Denne rapporten presenterer en statistisk analyse av luftkvalitetsdata fra Kirkeveien i Oslo i perioden 2001-2009. Luftkvalitetsdataene inneholder svevestøvskomponentene  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$ ,  $PM_{10} - PM_{2,5}$  og gassene  $NO$ ,  $NO_2$ ,  $NO_x$  og  $CO$ . Modellene som brukes er empiriske og ikke-lineære regresjonsmodeller hvor de ulike luftforurensningskomponentene er en funksjon av trafikkdata, meteorologiske data og andre forhold som piggdekkandel og bladvegetasjon. Vi bruker også tilsvarende empiriske modeller til å se på effekten av salting på veien som et tiltak for å redusere svevestøvmengden. 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, og bygger videre på modellene som ble etablert i tilsvarende prosjekter (Aldrin et. al., 2008; Hobæk Haff og Aldrin, 2005; Kåresen og Aldrin, 2001; Steinbakk og Aldrin, 2003).

Rapporten er skrevet av Norsk Regnesentral, med unntak av kapittel 5.2 som er skrevet av Statens Vegvesen ved Pål Rosland. I tillegg er det utvidede sammendraget i kapittel 1 og kapittel 3.5 skrevet av Pål Rosland med bidrag fra Norsk Regnesentral.



## 3 Data

Dataene er på timesoppløsning i perioden 2001-2009 og består av luftkvalitetsdata fra Kirkeveien i Oslo med tilhørende trafikkmengdemålinger og meteorologiske data. I tillegg har vi fått oppgitt piggdekkandelen og bladvegetasjonsdekning i Oslo, begge gitt som daglige observasjoner. Videre har vi tiltak med salting av magnesiumklorid (som eventuelt er blandet med tørt natriumklorid) på ulike strekninger på Ring 2 for å dempe svevestøvs konsentrasjonen. Tilsammen ble det gjennomført 63 tiltak over perioden november 2005 til april 2009.

Trafikkdataene er vist i figur 3.1, mens luftforurensningsmålingene og de meteorologiske dataene er plottet i henholdsvis figur 3.2 og figur 3.3. Tabell 3.1 angir en liste over hvilke data som måles samt hvilken enhet som brukes. En mer fullstendig framstilling av dataene finnes i Aldrin og Steinbakk (2010) og viser tidsplott av alle målingene knyttet til denne analysen.

### 3.1 Tiltaksdata

Driftsdata er logget av bil som kjører de ulike veistrekningene. Data logges flere ganger per tur. Følgende variabler registreres:

- tidspunkt med minutttoppløsning,
- kjørelengde,
- lengde strødd,
- saltmengde,
- løsningsmengde,
- salttype,
- veibanetemperatur og
- friksjon.

Vi har 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 en første observasjonen på turen. Dataene aggregeres slik at følgende variabler summeres: kjørelengde, lengde

strødd, saltmengde og løsningsmengde. For salttype angis den mest benyttede i forhold til kjørelengde og andelen i forhold til den totale kjørelengden. Når det gjelder veibanetemperatur og friksjon, angis disse variablene med gjennomsnittet per kjørt strekning, mens salttetthet og løsningsstetthet angis med forholdet mellom mengde og arealet av den veistrekning som er kjørt. Her er arealet satt til å være kjørelengde multiplisert med en veibredde på seks meter.

## 3.2 Luftkvalitetsdata

Luftforurensningen observeres som fysiske svevestøvskomponenter  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$  og  $PM_{10} - PM_{2,5}$  og gassene  $NO$ ,  $NO_x$ ,  $NO_2$  og  $CO$ . Følgende modifikasjoner er gjort med luftforurensningsobservasjonene:

- Luftforurensningsdataene er i vintertid og er derfor justert til klokketid
- Rådataene inneholder verdier for grovfraksjonen  $PM_{10} - PM_{2,5}$  i tillegg til verdier for  $PM_{2,5}$  og  $PM_{10}$ . Men disse oppgitte verdiene for grovfraksjonen er ikke lik differansen mellom  $PM_{2,5}$  og  $PM_{10}$ , og vi har derfor valgt å definere grovfraksjonen som differansen mellom  $PM_{2,5}$  og  $PM_{10}$  og sett bort fra den oppgitte grovfraksjonen  $PM_{10} - PM_{2,5}$  i rådatene. Da  $PM_{10}$  inkluderer  $PM_{2,5}$ , skal konsentrasjonen av den første være større enn den andre. Dette er midlertidig ikke alltid tilfelle i rådatene, som viser at  $PM_{2,5}$  i perioder er betydelig større enn  $PM_{10}$ . Svevestøvkomponentene måles med to forskjellige apparater, og på grunn av målefeil kan målt  $PM_{2,5}$  være større enn  $PM_{10}$ . Vi har derfor godtatt observasjoner der differansen  $PM_{10} - PM_{2,5}$  er større enn  $-5\mu\text{g}/\text{m}^3$  og fjernet observasjoner der  $PM_{10} - PM_{2,5}$  er lavere. Se videre under hvordan vi behandler observasjoner i nærheten av null.
- Rådataene inneholder verdier for  $NO$ ,  $NO_2$  og  $NO_x$ . Komponentene  $NO_x$  skal per definisjon være minst like stor som summen av  $NO$  og  $NO_2$ . Da dette ikke alltid er tilfelle har vi valgt å beregne  $NO_x$  som  $NO+NO_2$ , istedenfor å bruke de oppgitte målingene av  $NO_x$ .
- Omkring midnatt nyttårsaften er det svært store konsentrasjoner av svevestøv som skyldes oppskytning av raketter. Verdiene for  $PM_{10}$  i første timen på nyåret varierer fra  $200\mu\text{g}/\text{m}^3$  til  $825\mu\text{g}/\text{m}^3$  i perioden 2001 til 2009, som er betydelig høyere enn det vi observerer om natten ellers i året. Til sammenligning er  $460\mu\text{g}/\text{m}^3$  den høyeste (og realistiske) registrerte målingen av  $PM_{10}$  utenom timene rundt nyttårsaften. Nyttårsrakkettene har relativt sett større effekt på  $PM_{2,5}$ , som har verdier mellom  $150$  og  $650\mu\text{g}/\text{m}^3$  den første timen på nyåret i hele dataperioden for denne analysen. Her er ellers den høyeste (realistiske) målingen på  $220\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Siden disse høye konsentrasjonene ikke er relatert til det vi skal modellere her, har vi konsekvent fjernet alle obser-



vasjoner av  $PM_{2,5}$ ,  $PM_{10}$  og  $PM_{10} - PM_{2,5}$  fire timer før og tjue timer etter midnatt nyttårsaften.

- Mange av luftforurensningskomponentene har observasjoner lik verdien null. På grunn av målefeil kan de registrerte målingene ligge i et lite intervall rundt null, men vi finner det lite troverdig at mange av observasjonene skal ha verdien nøyaktig lik null etter hverandre. Avhengig av størrelsen på de luftforurensningskomponentene har vi fjernet nullene slik:
  - For  $PM_{10}$  er alle null-observasjoner fjernet fordi reelle null-verdier er urimelige.
  - For  $PM_{2,5}$  er alle par av observasjoner som har verdien null rett etter hverandre i tid fjernet.
  - For NO og  $NO_2$  er alle observasjoner som har registrert tre nuller etter hverandre i tid fjernet.
  - For CO er alle observasjoner som har registrert 24 nuller etter hverandre i tid fjernet. Vi tillater her flere nuller etter hverandre enn for de øvrige luftforurensningskomponentene, fordi null er en rimelig verdi, i alle fall om natta.

I tillegg har vi tatt bort observasjoner som er mindre enn henholdsvis  $1\mu g/m^3$  og  $2\mu g/m^3$  for NO og  $NO_2$  i mer enn 16 timer, fordi lave verdier er mulig i kortere perioder, særlig om natta.

- Tidspunkt med mye lavere verdi enn timen før og etter (drop-verdier) er fjernet for NO og  $NO_2$  (lavere enn  $1\mu g/m^3$  for NO og høyere enn  $10\mu g/m^3$  i tidspunktene før og etter, men vi har brukt  $2\mu g/m^3$  og  $20\mu g/m^3$  for  $NO_2$ )
- Grunnet måleapparatets sikkerhetsmargin på  $5\mu g/m^3$  kan de registrerte luftforurensningsdataene være negative. For at dette ikke skal skape problemer for analysen senere, er målinger av  $PM_{10}$ ,  $PM_{10} - PM_{2,5}$ ,  $NO_2$  og  $NO_x$  mellom  $-5\mu g/m^3$  og  $2\mu g/m^3$  satt lik  $2\mu g/m^3$ , mens målinger av  $PM_{2,5}$  og NO mellom  $-5\mu g/m^3$  og  $1\mu g/m^3$  satt lik  $1\mu g/m^3$  og målinger av CO mellom  $-0.5$  og  $0.1mg/m^3$  satt til  $0.1mg/m^3$ . Målinger som er enda lavere er fjernet. Videre er ekstremt høye (det vil si urealistiske målinger) tatt bort.
- Vi har fjernet data hvor målingene har hengt seg opp i en verdi over en lengre periode (mer enn 24 timer).

### 3.3 Trafikkdata

Trafikkdataene er målt fra automatiske målestasjoner ved Vøyenbru på Kirkeveien og er delt opp i antall lette og tunge kjøretøy, samt gjennomsnittshastigheten (per

time) for totaltrafikken. Trafikkvolum er summen over fire felt (det vil si to kjøretninger). Tilsvarende er hastigheten gjennomsnittet av fire felt. Dataene viser tydelig at det er forskjeller i gjennomsnittshastigheten for disse to kjøretningene med jevnere fart i en retning rundt 50km/t (fartsgrensen) og større kødannelser 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 trafikkvolum har vi fylt ut med beregnede verdier, så langt det lar seg gjøre, basert på basiskurvemetoden (Haug og Aldrin, 2006). Dette er ikke gjort for hastighet.

### 3.4 Meteorologiske data

De meteorologiske dataene består av temperatur 2 meter over bakken, vindstyrke, vindretning, relativ fuktighet, nedbør, temperaturdifferansen (beregnet som differansen mellom temperatur 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 klokketid.

### 3.5 Vegetasjons- og piggdekkdata

Piggdekkandelen er beregnet på bakgrunn av offisielle piggdekkteellinger i Oslo. Piggdekkandelen har variert gjennom perioden (se figur 3.4). Om sommeren er piggdekkandelen satt til null prosent. Vår regneregul sier at én uke før piggdekk-sesongen begynner folk å bytte til piggdekk. Når vi er kommet til medio november, forutsetter vi at piggdekkandelen for aktuell sesong er oppnådd. Vi vet imidlertid at piggdekkandelen kan variere en del fra dag til dag, men vi har ikke tellinger på dette. I påsken reiser en del på fjellet. Vi antar at de som bruker piggdekk i større grad drar heller til fjells enn til Oslo, slik at piggdekkandelen i Oslo går noe ned i påsken. Søndagen etter påske avsluttes piggdekk-sesongen. Vi antar derfor at mange skifter til sommer dekk i denne perioden. To uker etter påske er

Variabel		Enhet
Respons	PM <sub>10</sub> – PM <sub>2,5</sub>	µg/m <sup>3</sup>
	PM <sub>10</sub>	µg/m <sup>3</sup>
	PM <sub>2,5</sub>	µg/m <sup>3</sup>
	NO	µg/m <sup>3</sup>
	NO <sub>2</sub>	µg/m <sup>3</sup>
	NO <sub>x</sub>	µg/m <sup>3</sup>
	CO	mg/m <sup>3</sup>
Meteorologiske data	Vindretning	grader
	Vindstyrke	m/s
	Relativ fuktighet	%
	Temperatur 2m over bakken	°C
	Temperatur 2m-25m over bakken	°C
	Nedbør	mm/time
	Snødybde	cm
Trafikkdata	Antall tunge og lette kjøretøy	
	Gjennomsnittshastighet	km/time
Andre data	Piggdekkandel	%
	Bladvegetasjon	%

Tabell 3.1. Liste over alle data som inngår som respons- og forklaringsvariabler.

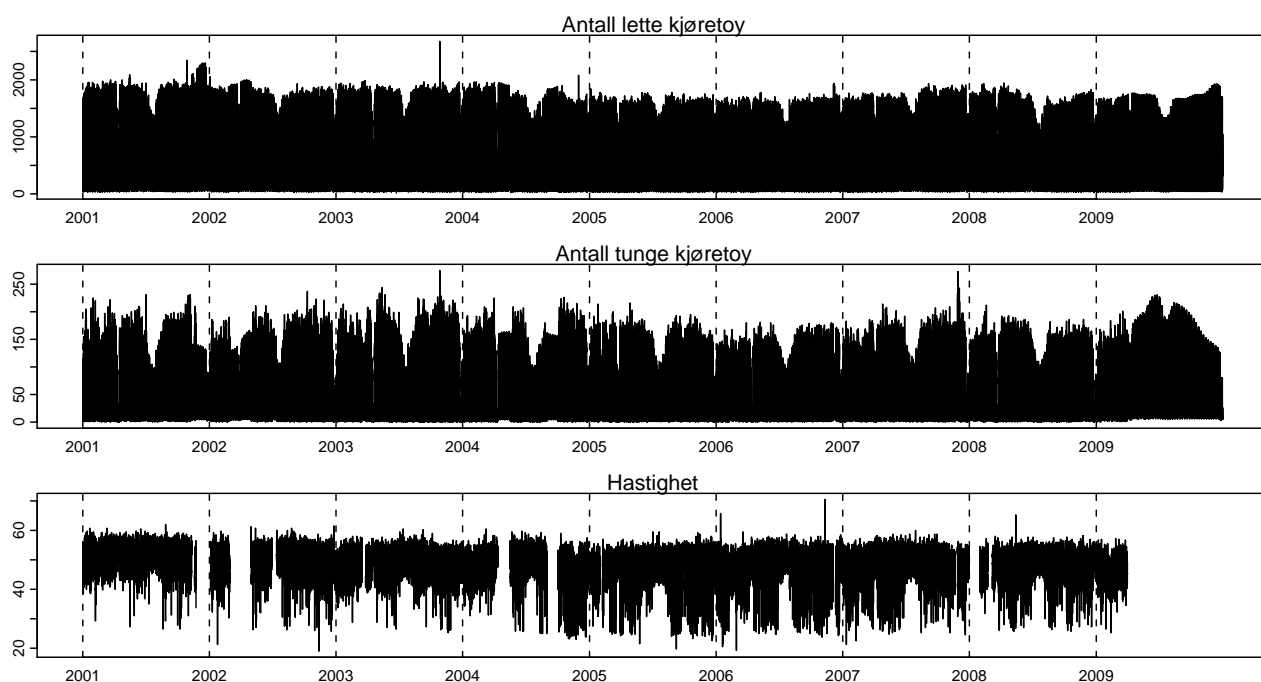
det trolig få som bruker piggdekk. Ved tidlig påske antar vi at det tar tre uker etter påske før de aller fleste har pigget av.

Andelen blader på løvtrærne er satt til null prosent om vinteren. Vi har tatt utgangspunkt i at løvtrærne begynner å skyte når bjørka blomstrer, som blomstrer når temperaturen blir laglig. Mesteparten av bladveksten er gjennomført når asken blomstrer. Asken er mer varmekjært og blomstrer først når temperaturen blir mer sommerlig. Vår regneregulering er at når bjørka blomstrer, har vi fått 10 % bladdekningen. Når aska blomstrer, har vi 70 til 80 % bladdekning. Blomstringstidspunktene er fastsatt uti fra pollendata i tabell 3.2.

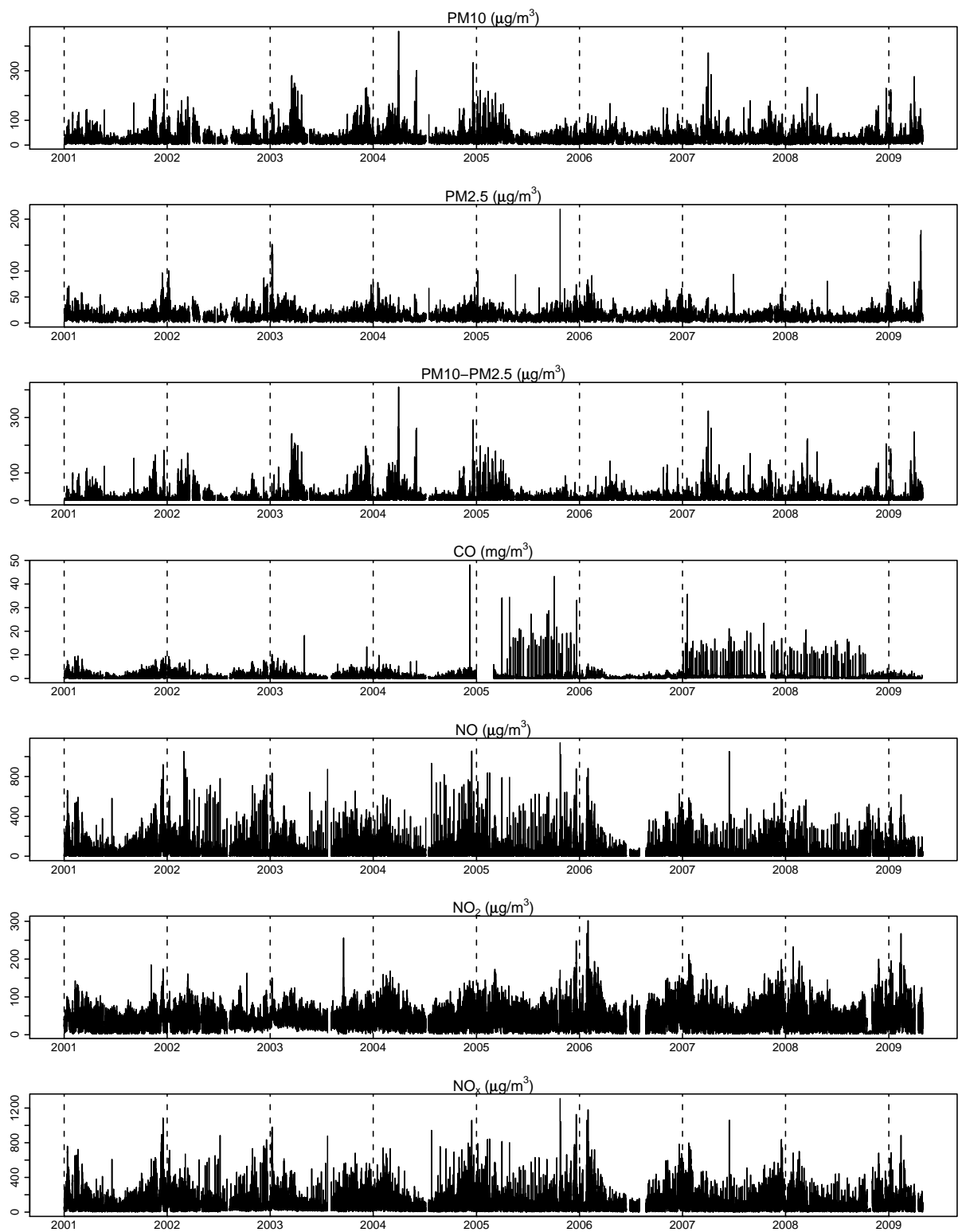
Bladvegetasjon er antatt å være 100 % fram til 1. oktober. Fra da faller prosenten til null medio november. Fra 1. oktober og fram til første frostnatt faller bladprosenten til 50-60 %, deretter faller den raskere. Nedre halvdel av figur 3.4 viser beregnet bladandel.

Sesong	Startdato bjørkepollen	Startdato askepollen
2001	9/5	10/5
2002	24/4	2/5
2003	29/4	30/4
2004	16/4	3/5
2005	25/4	1/5
2006	30/4	8/5
2007	15/4	30/4
2008	25/4	29/4
2009	18/4	-

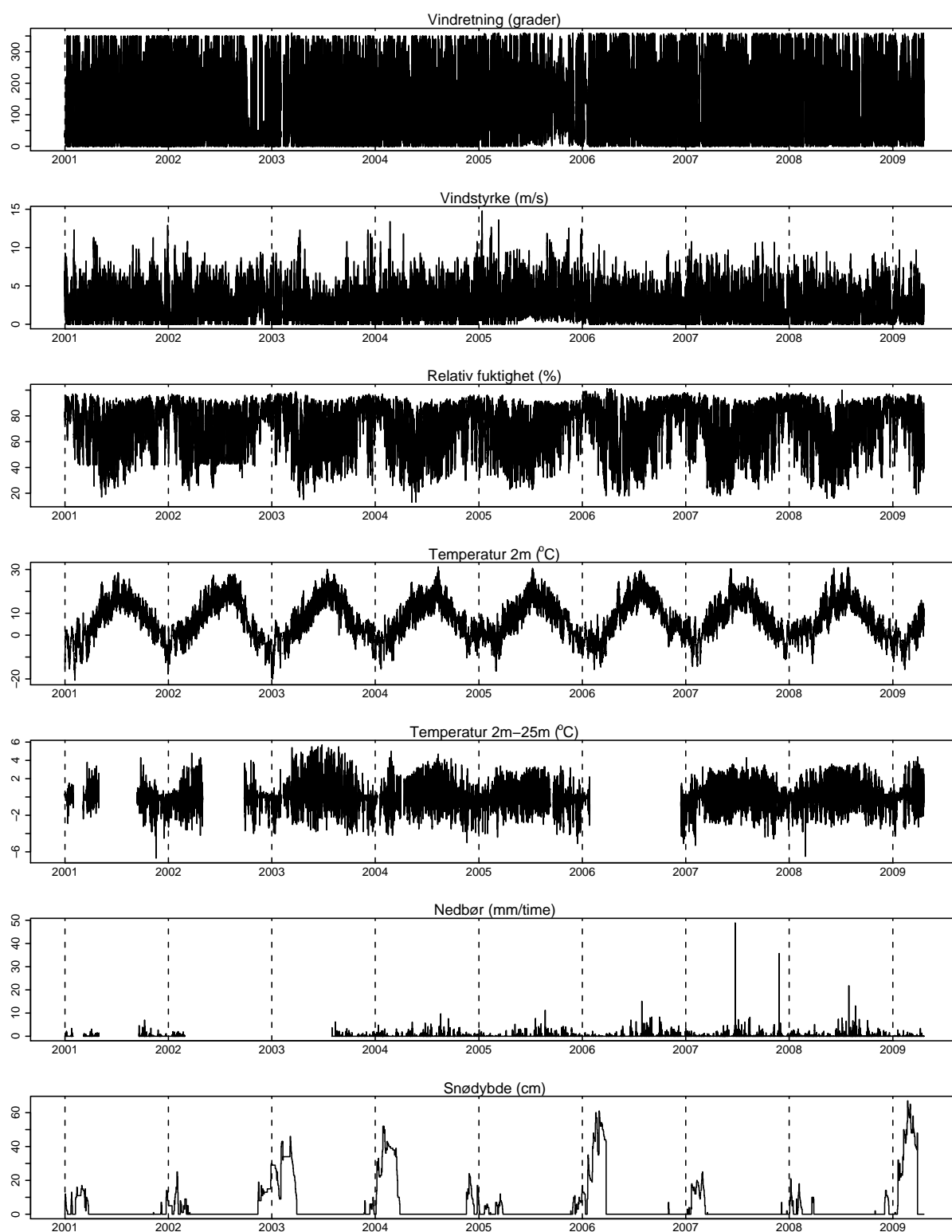
Tabell 3.2. Startdato for bjørkepollen og askepollen. Kilde: NTNU.



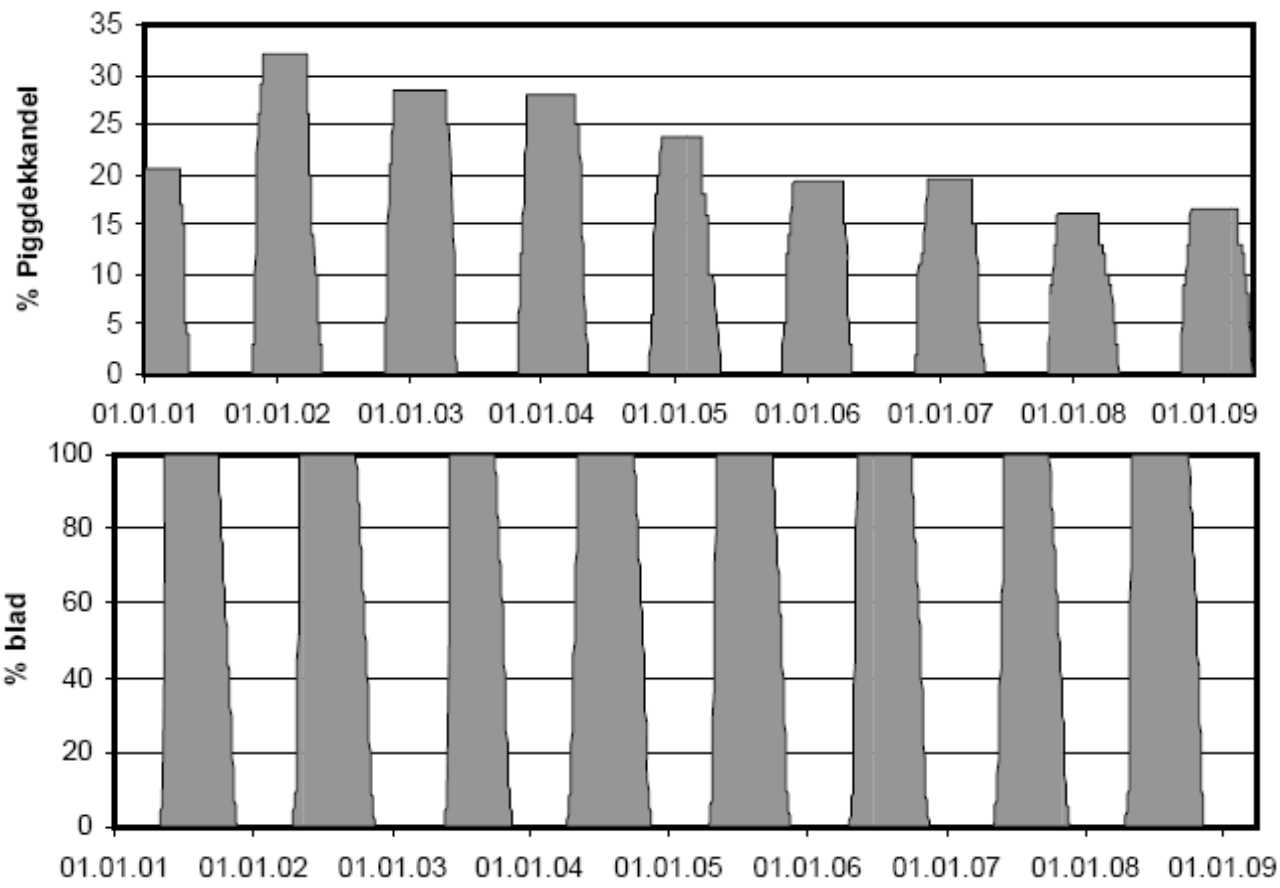
Figur 3.1. Trafikkdata.



Figur 3.2. Luftforureningsdata.



Figur 3.3. Meteorologiske data.



Figur 3.4. Beregnet piggdekkandel (over) og bladandelen (under).





# 4 Modeller og metode

## 4.1 Empiriske modeller for luftkvalitet

Sammenhengen mellom luftforurensningsvariablene ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$ ,  $PM_{10} - PM_{2,5}$ ,  $NO_x$ ,  $NO_2$ ,  $NO$  og  $CO$ ) og trafikk- og meteorologivariablene modellerer vi hjelp av generaliserte additive modeller (GAM), se tidligere arbeid Hobæk Haff og Aldrin (2005) og Aldrin et. al. (2008). Vi vil i tillegg inkludere komponentene bladvegetasjon og piggdekk som antas å ha en lineær sammenheng med luftforurensningskomponentene. Modellen for en forurensningskomponent, for eksempel  $PM_{10}$ , er på timesoppløsning gitt som

$$\begin{aligned} \log(PM_{10}) = & s_1(\log(\text{trafikkLette})) + s_2(\log(\text{trafikkTunge})) + s_3(\text{hastighet}) \quad (4.1) \\ & + s_4(\log(\text{trafikkLette time før})) + s_5(\log(\text{trafikkTunge time før})) \\ & + s_6(\text{temperatur}) + s_7(\text{temperaturdiff}) + s_8(\text{relativfuktighet}) \\ & + s_9(\text{regn4time}) + s_{10}(\text{regn1uke}) + s_{11}(\text{sno4time}) + s_{12}(\text{sno1uke}) \\ & + s_{13}(\text{snodybde}) + s_{14}(\text{vindstyrke}) + s_{15}(\text{vindretning}) \\ & + s_{16}(\text{tid}) + s_{17}(\text{sesong}) + s_{18}(\text{time}) \\ & + \beta_{19} \cdot \text{bladVegetasjon} + \beta_{20} \cdot \text{piggdekk} + \epsilon, \end{aligned}$$

der funksjonene  $s_i()$  er ukjente, glatte ikke-parametriske funksjoner som estimeres ut fra dataene. Likeledes bruker vi dataene til å estimere de ukjente parametrene  $\beta_{19}$  og  $\beta_{20}$ . Støyleddet  $\epsilon$  er den delen av variasjonen i  $\log(PM_{10})$  som ikke kan forklares ved hjelp av modellen.

I tillegg til antall lette og tunge kjøretøyer i inneværende time, har vi inkludert antall forklaringsvariablene «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 beskrives 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 2003 kodet som 2003+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. Vedfyring kan være en kilde til luftforurensning, særlig som utslipp av  $PM_{2,5}$ , og en kan for eksempel tenke seg at det fyres mer med ved når mange folk har fri i helgene.

Den additive modellen på log-skala kan transformeres tilbake til en modell med multiplikative effekter på orginalskala,

$$\begin{aligned}
 PM_{10} = & S_1(\log(\text{trafikkLette})) \cdot S_2(\log(\text{trafikkTunge})) \cdot S_3(\text{hastighet}) \\
 & \cdot S_4(\log(\text{trafikkLette time før})) \cdot S_5(\log(\text{trafikkTunge time før})) \\
 & \cdot S_6(\text{temperatur}) \cdot S_7(\text{temperaturdiff}) \cdot S_8(\text{relativfuktighet}) \\
 & \cdot S_9(\text{regn4time}) \cdot S_{10}(\text{regn1uke}) \cdot S_{11}(\text{sno4time}) \cdot S_{12}(\text{sno1uke}) \\
 & \cdot S_{13}(\text{snodybde}) \cdot S_{14}(\text{vindstyrke}) \cdot S_{15}(\text{vindretning}) \\
 & \cdot S_{16}(\text{tid}) \cdot S_{17}(\text{sesong}) \cdot S_{18}(\text{time}) \\
 & \cdot \exp(\beta_{19} \cdot \text{bladVegetasjon}) \cdot \exp(\beta_{20} \cdot \text{piggdekk}) \cdot E
 \end{aligned}$$

for  $S_i(\cdot) = \exp(s_i(\cdot))$  og  $E = \exp(\epsilon)$ . Modellene for de andre luftforurensningskomponentene modelleres på samme form som (4.1) for  $PM_{10}$ .

Forklaringsvariablene kan mangle data i lengre og kortere perioder (se for eksempel nedbør i figur 3.3). For en forklaringsvariabel med manglende data har vi definert en tilhørende 0-1 variabel som har verdien én når det mangler en observasjon og null ellers. Disse 0-1 variablene inkluderes som lineære effekter i GAM-modellene, og på denne måten kan vi estimere endringer i tidspunkter hvor vi ikke har observert forklaringsvariablene. For å forenkle framstillingen av analysen har vi valgt å utelate 0-1 variablene i denne rapporten.

## 4.2 Modell for effekt av salting på svevestøv

Salting gjennomføres som et tiltak for å dempe konsentrasjonen av svevestøv. For komponentene  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$  og  $PM_{10} - PM_{2,5}$  utvider vi nå modellen (4.1) ved å inkludere tid siden siste salting som en lineær effekt. Denne forklaringsvariabelen

kan skrives som

$$\text{salting} = \min(\text{antall dager siden siste salting}, \theta),$$

hvor  $\theta$  er varighet av et saltetiltak, og antas å være mellom 2 og 20 døgn. For  $\text{PM}_{10}$ , og tilsvarende for  $\text{PM}_{2,5}$  og  $\text{PM}_{10} - \text{PM}_{2,5}$ , bruker vi dermed følgende modell,

$$\begin{aligned} \log(\text{PM}_{10}) = & s_1(\log(\text{trafikkLette})) + s_2(\log(\text{trafikkTunge})) + s_3(\text{hastighet}) \quad (4.2) \\ & + s_4(\log(\text{trafikkLette time før})) + s_5(\log(\text{trafikkTunge time før})) \\ & + s_6(\text{temperatur}) + s_7(\text{temperaturdiff}) + s_8(\text{relativfuktighet}) \\ & + s_9(\text{regn4time}) + s_{10}(\text{regn1uke}) + s_{11}(\text{sno4time}) + s_{12}(\text{sno1uke}) \\ & + s_{13}(\text{snodybde}) + s_{14}(\text{vindstyrke}) + s_{15}(\text{vindretning}) \\ & + s_{16}(\text{tid}) + s_{17}(\text{sesong}) + s_{18}(\text{time}) \\ & + \beta_{19} \cdot \text{bladVegetasjon} + \beta_{20} \cdot \text{piggdekk} + \beta_s \cdot \text{salting} + \epsilon. \end{aligned}$$

I denne modellen vil også de ukjente funksjonene ( $s_i$ 'ene) og de ukjente parametrene ( $\beta$ 'ene) bestemmes ut i fra dataene. Dersom salting har en effekt, vil estimatet av  $\beta_s$  være positiv, og vi antar da at salting har en umiddelbar effekt som minker lineært (på log-skala) fram til maksimal effektvarighet  $\theta$ . Vi estimerer varigheten  $\theta$ , effekten av salting og resten av modellen ved maksimum likelihood.

Istedenfor å anta en lineær sammenheng for salting i (4.2), kunne vi har modellert denne variabelen med en glatt, ikke-parametrisk kurve  $s_i$ . Fordelen med å bruke en lineær sammenheng, er at effekten av salting blir lett å fortolke og formidle til brukere. Effekten av salting må sees i forhold til hva forurensningsnivået er når effekten er forsvunnet. Generelt vil effekten av salting på log-skala være  $\beta_s(\text{salting} - \theta)$  mens den umiddelbare effekten av salting etter en time er  $\beta_s(1 - \theta)$ . Den umiddelbare prosentvise effekten av salting (altså en time etter tiltaket) på originalskala kan skrives som

$$100(1 - e^{\beta_s(1-\theta)}). \quad (4.3)$$

### 4.3 Parameterusikkerhet

Det er viktig å kvantifiseres usikkerheten til  $\beta_s$  for å kunne si noe om at salting har effekt. Til nå har vi antatt at residualene  $\epsilon$  i (4.1) og (4.2) er ukorrelerte i tid, og dermed ikke tatt hensyn til at usikkerheten til de ukjente komponentene i modellen er mye større. (Estimatene av  $\beta$ 'ene er forventningsrette, men usikkerheten underestimeres kraftig. Dessuten tar ikke standard programvare hensyn til at varighetseffekten  $\theta$  egentlig er ukjent).

Usikkerheten i parameteren  $\beta_s$  beregnes ved en variant av semi-parametrisk bootstrapping på samme måte som Aldrin et. al. (2008). Bootstrapping er en metode

for å kvantifisere usikkerheten i ukjente parametere som vi har estimert med bakgrunn i data.

I vårt tilfelle er det viktig at det replikerte datasettet bevarer avhengighetstrukturen i datasettet. Dette gjøres ved å trekke sekvenser av datablokker (med tilbakelegging) istedenfor en enkel observasjon med følgende oppskrift:

1. Estimerer ukjente komponenter i modellen fra data og beregner empiriske residualer (differansen mellom data og estimert modell)
3. Nye residualer (bootstrap-residualer) trekkes fra de empiriske residualene ved å bruke stasjonær blokk-bootstrap (Lahiri, 2003; Politis og Romano, 1994).
4. Modellen reestimeres for hvert bootstrap-datasett slik at vi får mange replikasjoner av de ukjente parametere som vi er interessert i
5. Konfidensintervall beregnes fra bootstrap-parameterestimaterne

Lengden på datablokkene som brukes i denne analysen er uniformt fordelt mellom 10 og 20 dager, altså en gjennomsnittlig lengde på 15 dager.

# 5 Resultater

## 5.1 Resultater fra empiriske modeller for luftkvalitet

Vi estimerer modell (4.2) for svevestøvskomponentene og modell (4.1) for konsentrasjonen av gassene med tilgjengelig data presentert i avsnitt 3. Figur 5.1-5.7 viser de estimerte  $s_i$  funksjonene på log-skala for de seks luftforurensningsmålingene. Enhetene til alle forklaringsvariablene på x-aksen er i tillegg listet opp i tabell 5.1. Tilsvarende analyser er gjort for alle komponentene, bortsett fra for CO og NO (se for eksempel Hobæk Haff og Aldrin (2005)), dog i denne analysen har vi adskillig lengre tidsperiode.

For CO har vi valgt å gjøre analysen kun for perioden 2001 til og med 2004 siden mange høye enkeltmålinger fra året 2005 virker lite troverdige, se plott av CO i figur 3.2. (Denne effekten sees enda tydeligere i Aldrin og Steinbakk (2010) hvor luftforurensningskomponentene er plottet på en atskillig finere tidsoppløsning.)

Vi har brukt 4 frihetsgrader på alle forklaringsvariablene, unntagen for «vindretning», «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.

Av figurene kan vi oppsummere følgende resultater.

- Trafikkvolum: Generelt ser vi, som forventet, at økt trafikkvolum samsvarer med økt luftforurensning. For antall lette kjøretøyer er effekten kraftig ved økning fra ingen til noen få biler. Effekten av antall lette kjøretøyer i timen før er også betydelig, men noe mindre enn den inneværende timen. Effekten ved antall tunge kjøretøyer er sterkest for  $PM_{10} - PM_{2,5}$  og NO og liten for  $PM_{2,5}$  og CO.
- Hastighet: Blant svevestøvskomponentene har hastighet mest betydning for  $PM_{10} - PM_{2,5}$  hvor større hastighet gir høyere konsentrasjon, men er ubetydelig for  $PM_{2,5}$ . For gassene er det en tendens til at kurven har et minimum i underkant av 50 km/timen.
- Temperatur: For svevestøvkonsentrasjonene er det overraskende at varmt vær (altså varmegrader) gir høyest luftforurensning. Denne forklaringsvariabe-

len er sesongavhengig og må sees i sammenheng med forklaringsvariabelen «sesong», og dermed skal vi være litt forsiktig med å fortolke denne variabelen. Samtlige luftforurensningskomponenter har et minimum ved 0°C, bortsett fra NO som tydelig er negativt korrelert med en økende konsentrasjon.

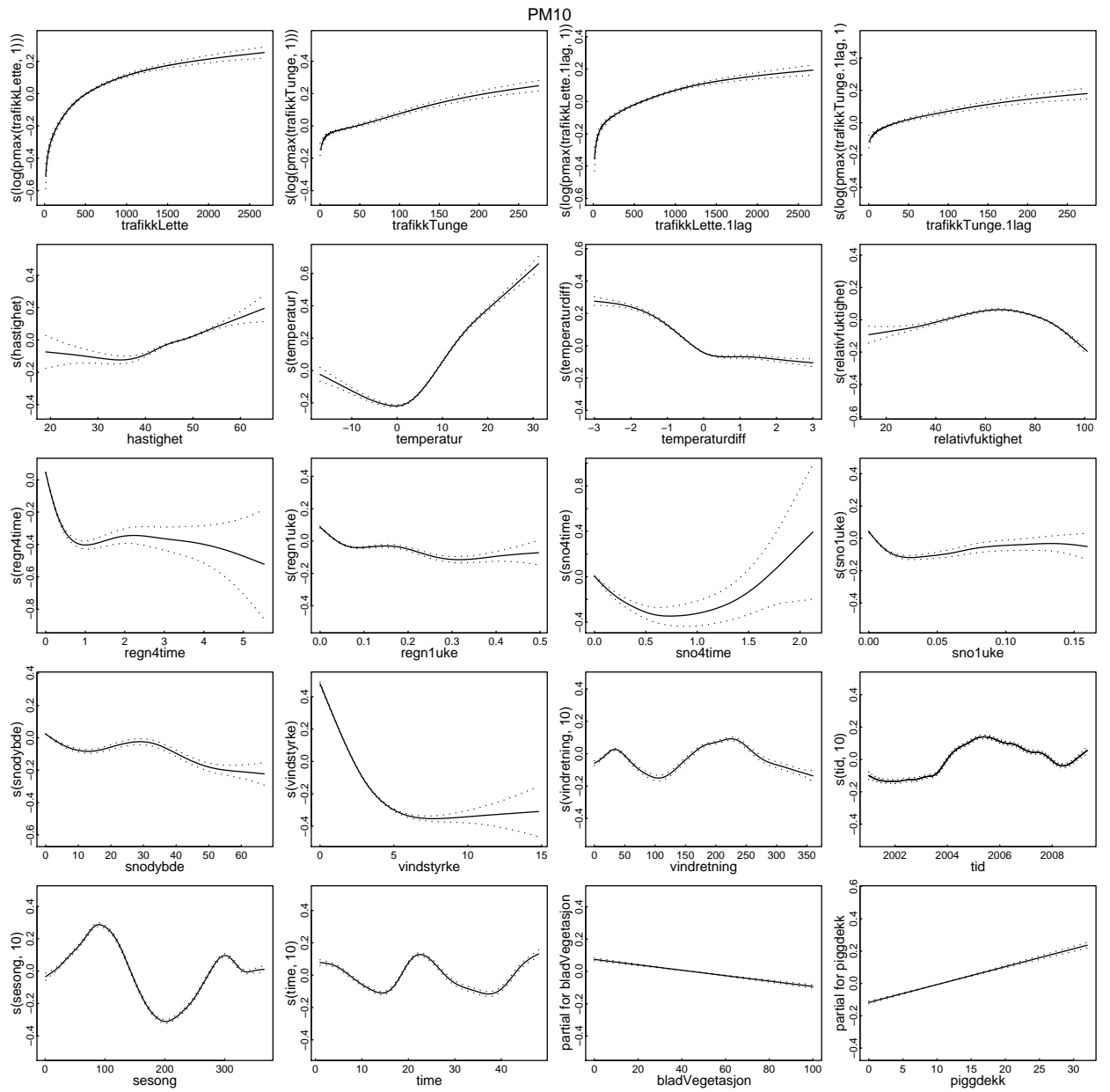
- Temperaturdifferanse: Resultatene viser entydig at kaldere være høyt oppe (negativ temperaturdifferanse) gir mer luftforurensning, med tydeligst effekt for gassene. Vi ser også at luftforurensningen forårsaket gassene er lavest ved 0°C og øker igjen når temperaturdifferansen øker (det vil si varmere ved 2m enn ved 25 meter).
- Relativ fuktighet: Økt luftfuktighet gir mer forurensning av PM<sub>2,5</sub>. Siden effekten av relativ fuktighet er negativ for PM<sub>10</sub> (det vil si motsatt av PM<sub>2,5</sub>), er effekten på PM<sub>10</sub> ubetydelig. Forurensning i form av gasser øker ved høyere luftfuktighet, unntatt for NO som har lavest konsentrasjon ved moderat fuktighet.
- Regn: Den umiddelbare effekten av regn er tydelig på de fysiske partikkelkomponentene, se effekten av «regn4time» for PM<sub>10</sub> og PM<sub>10</sub> – PM<sub>2,5</sub>. Også «regn1uke» som en vaskende effekt er positive samsvarende med PM-komponentene (det vil si, regn gir mindre svevestøv). Effekten av regn på gassene er derimot mindre.
- Snøfall: Snøfall er nedbør i form av snø, gitt som «sno4time» og «sno1uke», og har ingen tydelig effekt slik som regn.
- Snødybde: I tillegg til snøfall, har vi tatt med forklaringsvariabel knyttet til snødybde, som da angir hvor mye snø som blir liggende på bakken. Generelt vil større mengder snø føre til mindre luftforurensning, og som forventet ser vi at økende snømengde gir betydelige mindre konsentrasjon av PM<sub>10</sub> – PM<sub>2,5</sub>. Hvorfor snømengden har en tydelig minkende effekt på CO er derimot uklart.
- Vind: Økende vindstyrker samsvarer stort sett med mindre forurensning, bortsett fra for PM<sub>10</sub> – PM<sub>2,5</sub>, hvor mye vind kan føre til mer forurensning. Det sistnevnte kan trolig skyldes støvoppvirvling. Vi kan tydelig se at det to vindretninger som er viktige, noe som har med plassering av måleapparatet for luftforurensning.
- Bladvegetasjon: Mer bladvegetasjon gir mindre forurensning i form av svevestøv siden vegetasjonen vil binde opp støvpartikkelene, men har liten eller ingen betydning for gassene bortsett fra for NO. Effekten av bladvegetasjon er knyttet til sesong, slik at disse to variablene må sees i sammenheng.
- Piggdekk: Piggdekkandelen er som forventet positivt korrelert med svevestøvskon-

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	
vindstyrke	m/s	
vindretning	grader	Nord er 0°
tid	år	
sesong	dager i året	
time	time på døgnet	Time 1-24 er ukedag, mens 25-48 er helgedag
bladVegetasjon	%	
piggdekk	%	

Tabell 5.1. Forklaringsvariablene med tilhørende enhet som inngår i x-aksen i figurene 5.1-5.7

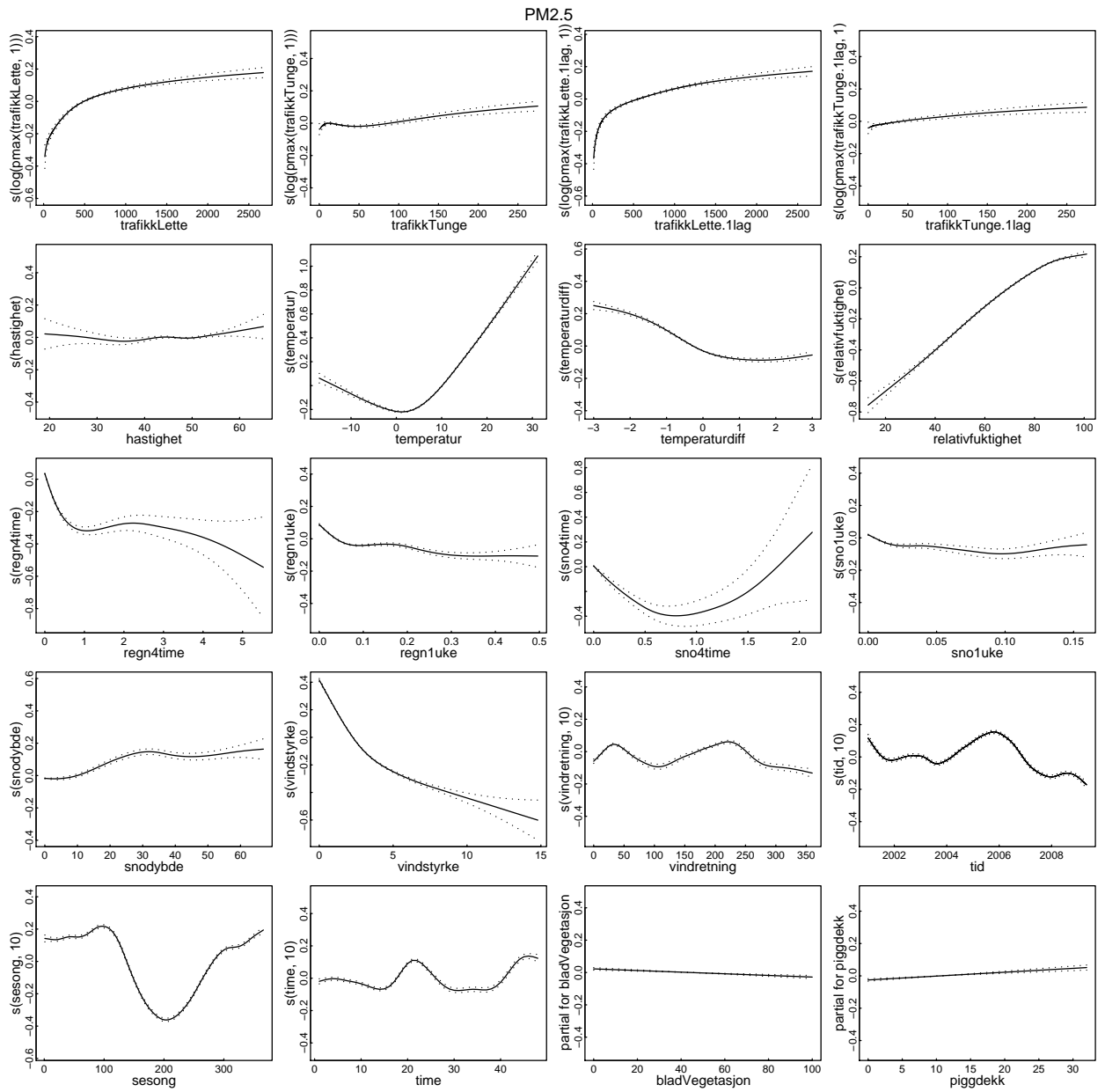
sentrasjonen og har størst betydning for grovfraksjonen  $PM_{10} - PM_{2,5}$ .

- Tid, time og sesong: Forklaringsvariabelen knyttet til tid viser at det er betydelige variasjoner som ikke fanges opp av den øvrige modellen. Alle luftforurensningsmodellene estimerer tydelige sesongeffekter etter at modellen allerede har tatt høyde for andre variabler som varierer systematisk med sesong, slik som temperatur, snø/regn, snødybde, bladvegetasjon og piggdekk. Estimaten viser, spesielt for gassene, forskjeller på effekten av forurensning i helgedagene og ukedagene.

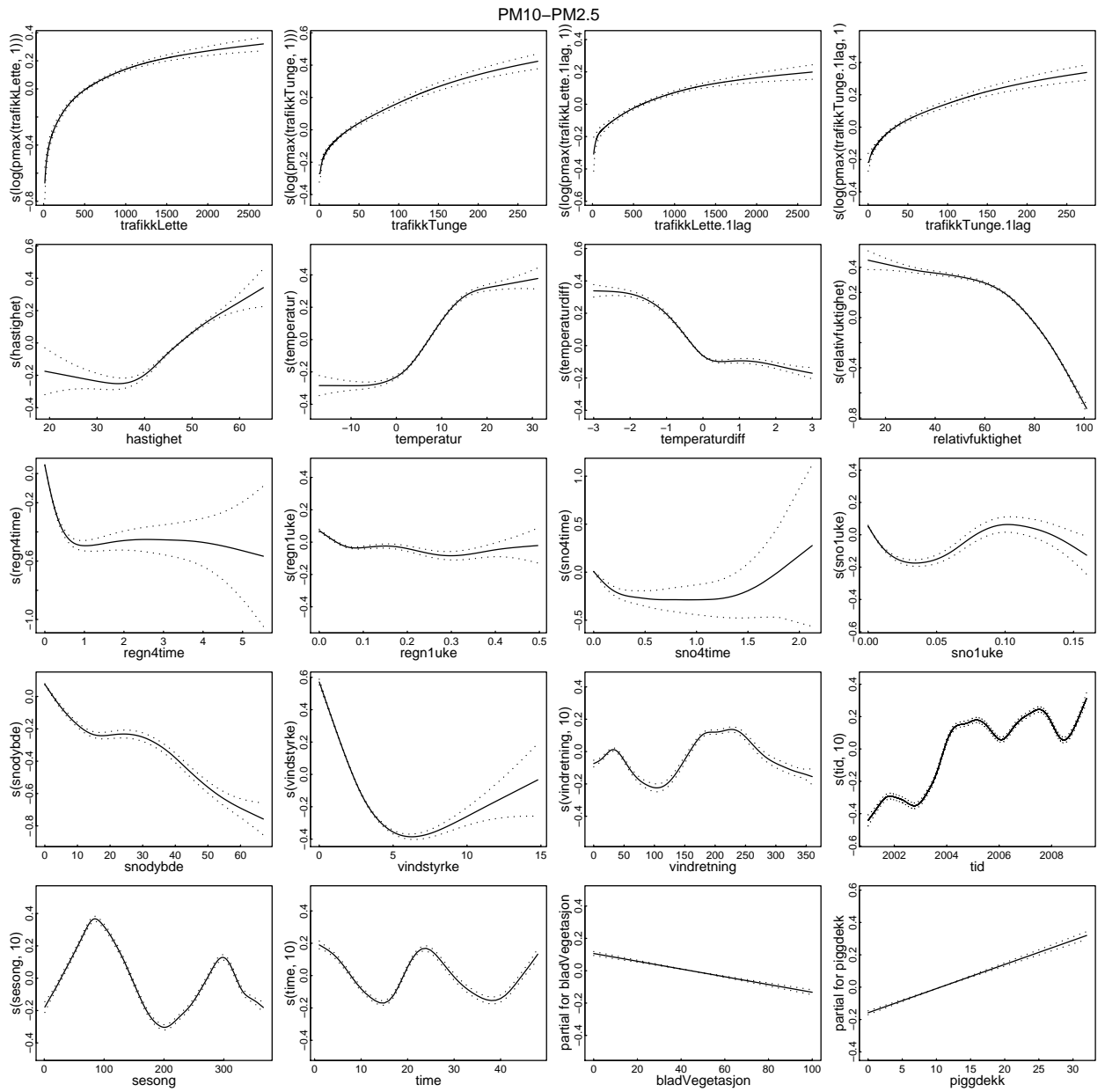


Figur 5.1. Estimerte  $s$ -funksjoner for PM<sub>10</sub>.

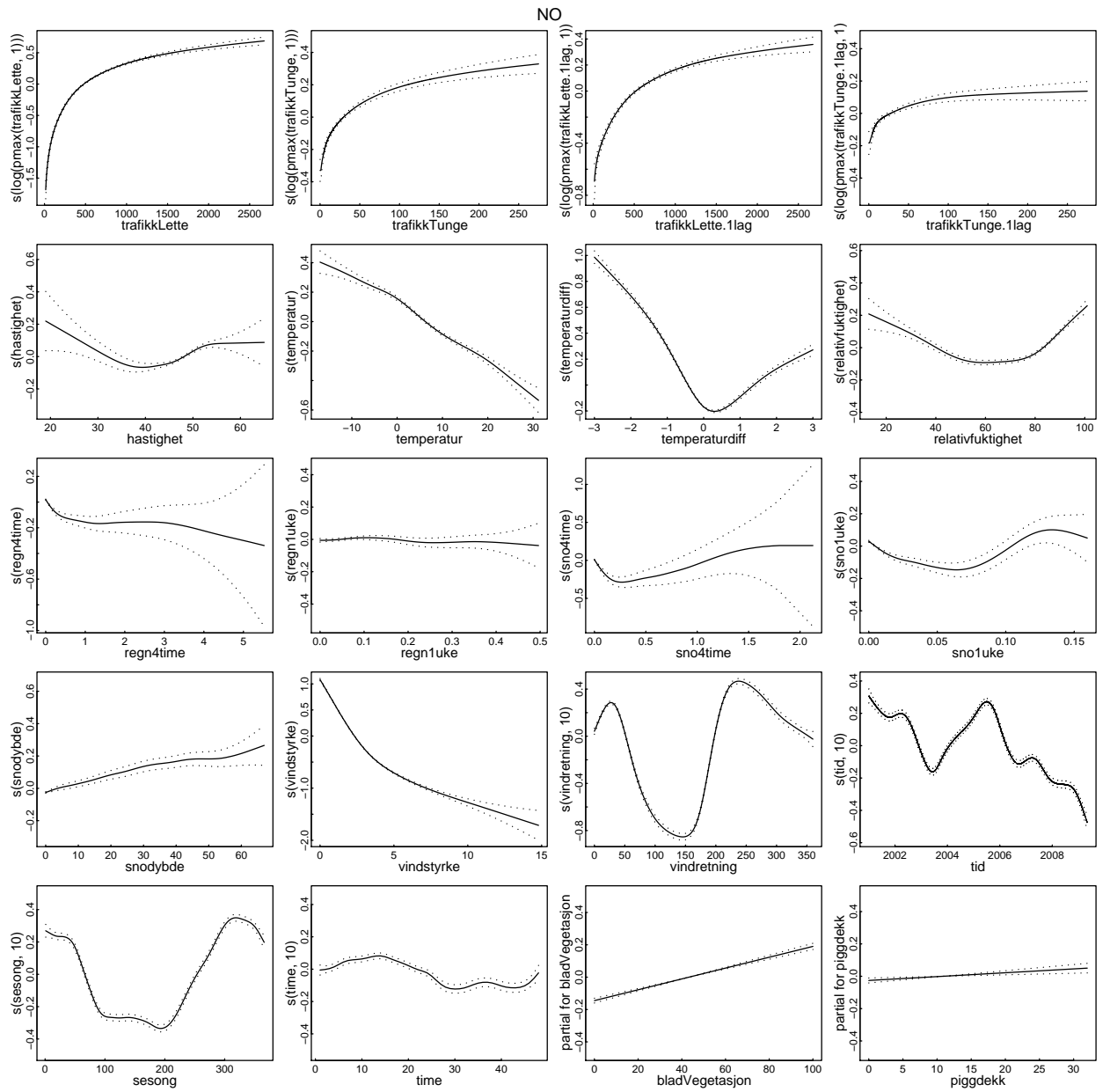




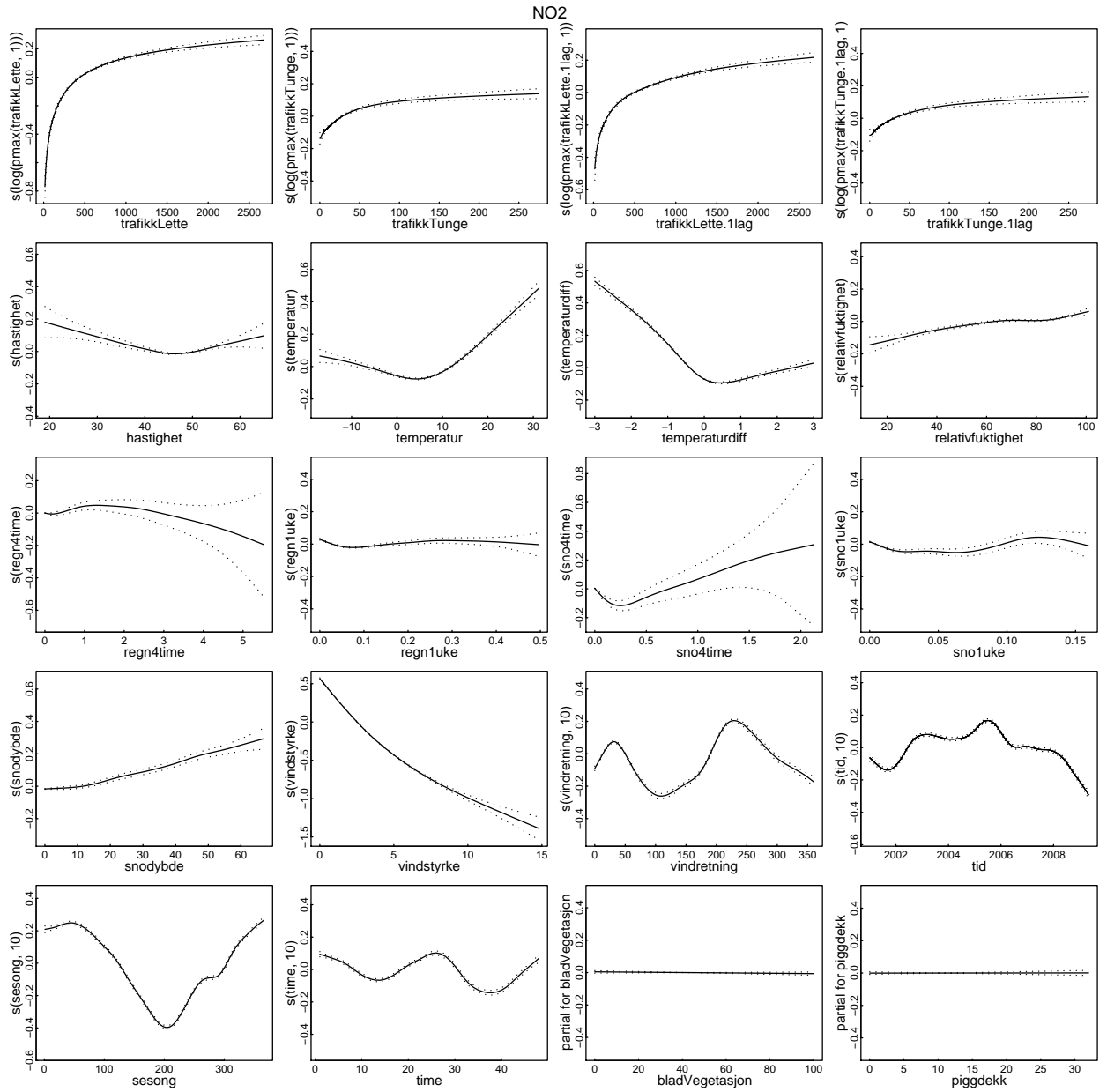
Figur 5.2. Estimerte  $s$ -funksjoner for  $PM_{2,5}$ .



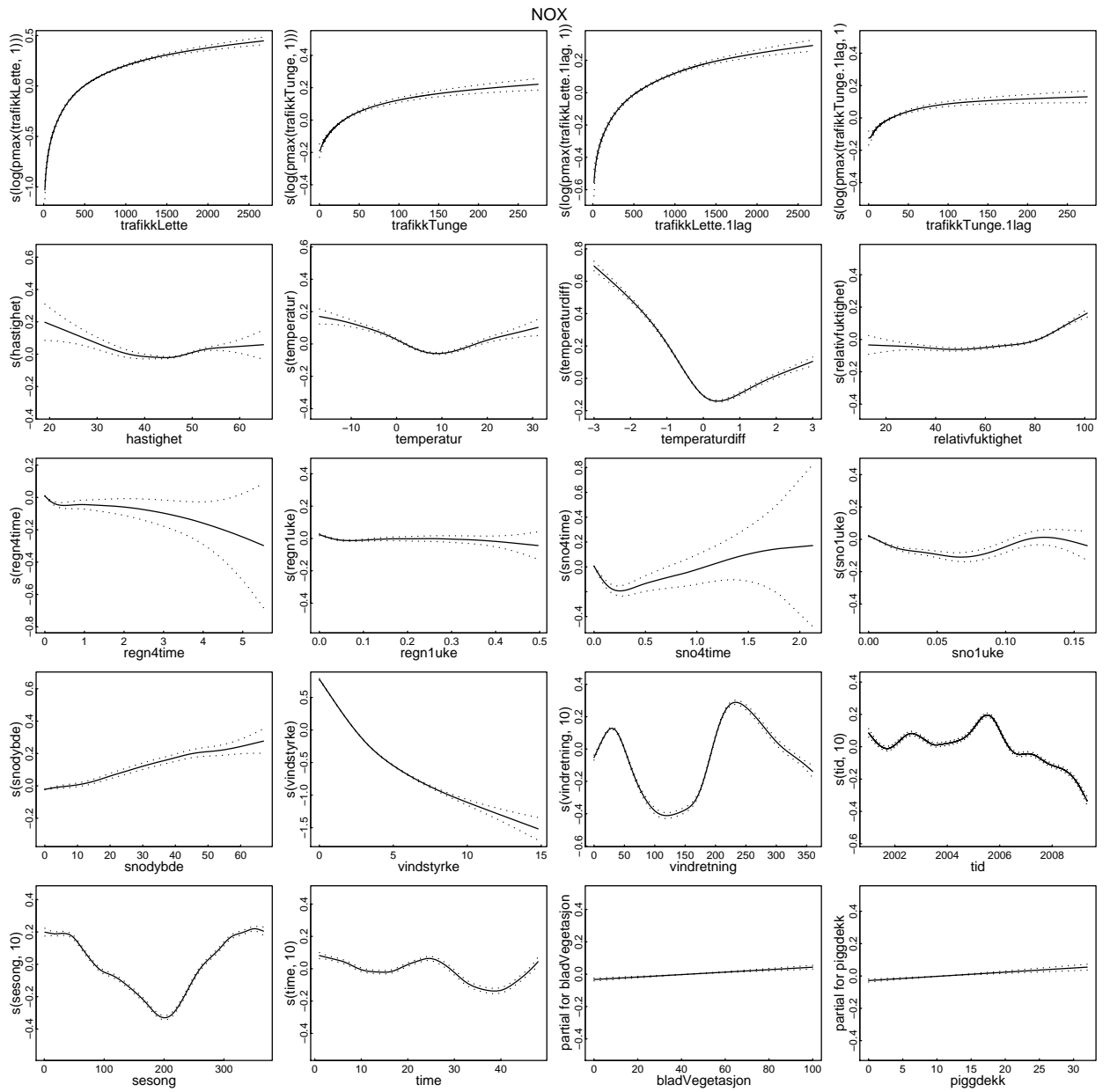
Figur 5.3. Estimerte  $s$ -funksjoner for  $\text{PM}_{10} - \text{PM}_{2,5}$ .



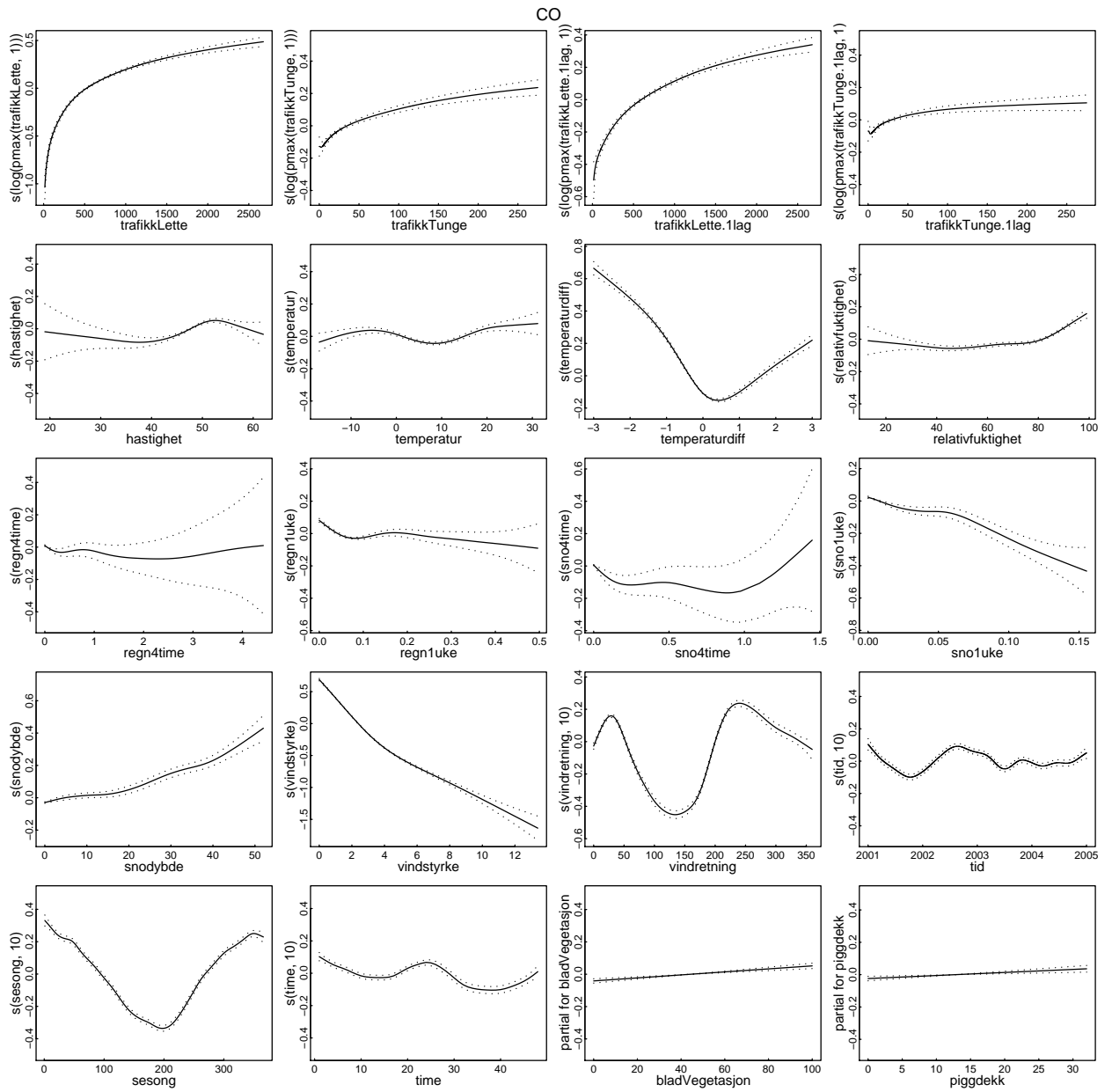
Figur 5.4. Estimerte  $s$ -funksjoner for NO.



Figur 5.5. Estimerte  $s$ -funksjoner for NO<sub>2</sub>.



Figur 5.6. Estimerte  $s$ -funksjoner for  $\text{NO}_x$ .



Figur 5.7. Estimerte  $s$ -funksjoner for CO.

## 5.2 Diskusjon av $PM_{2,5}$ , $PM_{10} - PM_{2,5}$ og $NO_2$ som funksjon av årstidsrelaterte forklaringsvariable

En del forklaringsvariabler varierer systematisk med tid på året, for eksempel at forekomsten av bladvegetasjon er knyttet til sommerhalvåret, at høy temperatur er et sommerfenomen, at lav fuktighet oppstår om våren, at lav temperatur, piggdekk og snø er typiske vinterfenomen. Datamaterialet er testet for dette. I figur 1.1 er sesong tatt med i modellene. Men hva skjer når variablene sesong og bladvegetasjon tas ut av modellene, eller variablene temperatur, bladvegetasjon og piggdekk tas ut som forklaringsvariabler? Jo, modellene vil nå være forklart av færre variabler. Vi observerer at de sesongbetingede variablene som ikke tas ut gis en annen forklaringsevne. Videre observerer vi at variablene beskrevet i kapittel 1.1 (altså variabler relatert til nedbør, trafikk og vind samt temperaturdifferanse, tid og time) ikke lar seg endre av å fjerne sesongbetingede variabler. Det betyr at disse ikke er styrt nevneverdig av sesongmessige forhold.

### Test 1:

Variablene sesong og bladvegetasjon er fjernet. Det er særlig temperaturvariablenes forklaringsevne som endrer seg når variabelen sesong og bladvegetasjon tas ut av modellene. Resultatet er utlagt i figur 5.8. Resultatet bør primært sammenlignes med figurene 5.2, 5.3 og 5.5 da de har samme skalaer på figurene.

I figur 1.1 varierer forurensningsnivåene som funksjon av sesong. Grovfraksjonen er nesten hele 50 prosentpoeng lavere i juli og ved vintersolverv enn ved vårjevndøgn. I oktober før vinteren setter inn er støvnivået om lag 25 prosentpoeng høyere enn i juli. Vinter og sommer har åpenbart stor dempingseffekt på det grove svevestøvet. Finstøv og  $NO_2$  er nesten hele 50 prosentpoeng lavere i juli enn vinterperioden mellom vintersolverv og vårjevndøgn. Egenskapen sommer har stor dempingseffekt på  $NO_2$  og  $PM_{2,5}$  nivået; noe vinter ikke har.

Når vi betrakter  $PM_{2,5}$  som funksjon av varierende temperatur i figur 1.1, øker mengden finstøv med 10 prosentpoeng når temperaturen endres fra null grader celsius til minus 15 grader. Dette skyldes trolig vedfyring som øker med fallende temperatur. Fra 5 varmegrader til 30 varmegrader øker nivået av  $PM_{2,5}$  med 70 prosentpoeng. Når vi tar bort bidraget som variablene sesong og bladvegetasjon skaper, ser vi av figur 5.8 at  $PM_{2,5}$  nivået øker nå mindre når temperaturen går mot 30 varmegrader.

Når vi ser på grovfraksjonen i figur 1.1, ser vi at  $PM_{10} - PM_{2,5}$  ikke endrer seg når temperaturen faller fra null grader til minus 15. Det tyder på grovfraksjonen som i stor grad er veistøv, fryser fast under null grader. Fra pluss fem til 15 varmegrader øker støvkonsentrasjonen med 30 prosentpoeng. Vi vet at kjøring med piggdekk på tørr og relativ varm asfalt skaper store mengder veistøv. Dette er trolig en av

flere årsaker til at støvkonsentrasjonen går opp når også temperaturen går opp fra +5 til +15 grader. Når temperaturen øker ytterligere til 30 grader øker mengden støv bare 10 prosentpoeng. Dette bildet endrer seg kraftig når variablene sesong og bladvegetasjon fjernes. Som funksjon av temperatur har da grovfraksjonen sitt høyest nivå omkring 10 varmegrader, konsentrasjonen går nå ned når temperaturen går videre opp. Når temperaturen faller under null grader synker støvkonsentrasjonen svakt og knapt signifikant. Egenskapen med å være uforandret med synkende kuldegrader synes å være robust. Mengde grovt svevestøv er lite påvirket av temperaturendringer under frysepunktet.

Når vi ser på  $\text{NO}_2$  i figur 1.1, ser vi at nivået er lavest ved 5 varmegrader. Nivået øker med 10 prosentpoeng når temperaturen faller fra fem varmegrader til 15 kuldegrader. Fra pluss fem til 30 varmegrader øker nivået med 40 prosentpoeng. Tar vi også her bort variablene sesong og bladvegetasjon, får vi et annet bilde. Nå er laveste nivå ved 15 varmegrader. Når temperaturen øker fra 15 grader øker  $\text{NO}_2$  nivået bare svakt. Derimot øker nivået langt mer når temperaturen faller. Det ser ut til at vinterfenomenet med høyt  $\text{NO}_2$  nivå overføres til temperaturvariabelen ved å forsterke effekten av lave temperaturer.

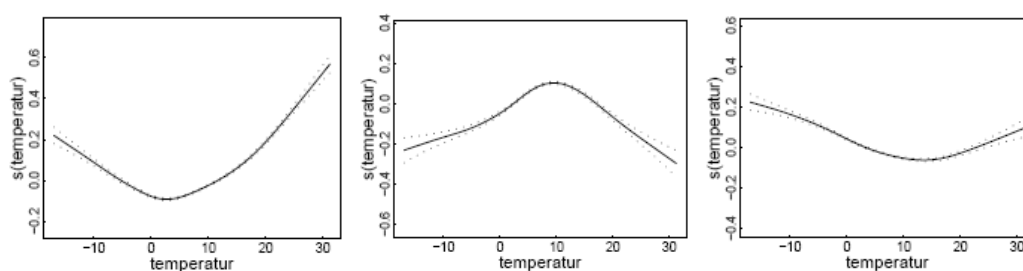
Høy luftfuktighet binder grovfraksjonen. I figur 1.1 ser vi at når fuktigheten øker fra 60 % til 100 % faller støvmengden med 50 prosentpoeng. Når lufta blir tørrere øker støvmengden. Grovfraksjonen øker med 20 prosentpoeng når fuktigheten faller fra 60 % til 20 %. Tørr luft er et vårphenomen. Testen viser at støvmengden øker mer når luftfuktigheten faller fra 60 % til 20 % når variablene sesong og bladvegetasjon fjernes. Det har trolig med at støvmengden som funksjon av sesong er høyest ved vårjevndøgn. Vårjevndøgn faller sammen med vårtørka. Når bidraget fra sesong tas ut flyttes dette sesongfenomenet til variabelen luftfuktighet.

Mengden finstøv øker jevnt og kraftig med økende luftfuktighet. Fra 20 % RF til 100 % RF øker støvmengden med 60 prosentpoeng i figur 1.1. En sannsynlig årsak til at finstøvet øker med økt fuktighet er at det er økt mengde fine vannpartikler i lufta med økende luftfuktighet. Dette er bekreftet av leverandør av måleinstrumentet. Fine vannpartikler kan bli målt som finstøv. For å unngå dette må instrumentet settes opp med en fordampningsmodul. Når sesong og bladvegetasjon fjernes som variabler, faller ikke finfraksjonen så mye ved lave luftfuktighetsnivåer. For  $\text{NO}_2$  i figur 1.1 øker konsentrasjonen med 20 prosentpoeng når relativ fuktighet går fra 20 % til 100 %. Når sesong og bladvegetasjon fjernes, faller relativ fuktighet bort som forklaring på  $\text{NO}_2$  nivået. Også her synes lav fuktighet å falle ut når vårtørka som sesongfenomen tas ut, fordi lav fuktighet går i motfase med dette sesongfenomenet. Sesong har altså en sterkere forklaringsevne enn fuktighet på  $\text{NO}_2$ .

Vi ser altså at sommer i seg selv demper forurensningsnivået kraftig i modellene.



Når vi fjerner bidraget til denne variabelen ser vi at høy lufttemperatur demper forurensningsnivået i stedet for det motsatte når alle variablene er med i modellen. Egenskapen høy temperatur som er knyttet til sommer og lave forurensningsnivåer blir nå den forklaringsvariabelen som best beskriver sommerbidraget. I denne aktuelle testen er heller ikke piggdekkandelen uberørt. Det er altså en variabel som er betinget av sesong. Test 1 viser at mengde  $\text{NO}_2$  øker med økende piggdekkandel, noe det ikke er antydning til i figur 1.1. Det ikke noen logisk årsak til at mengde  $\text{NO}_2$  skal øke med økende piggdekkandel. Videre har piggdekkandelen langt større effekt på grovfraksjonen når sesong er tatt ut. Piggdekkandelens sesongegenskap påvirker altså variabelens forklaringsegenskaper.



Figur 5.8. Estimerte s-funksjoner for  $\text{PM}_{2,5}$ ,  $\text{PM}_{10} - \text{PM}_{2,5}$  og  $\text{NO}_2$  som funksjon av temperatur når variablene sesong og bladvegetasjon er trukket ut av modellen.

#### Test 2:

Variablene temperatur, bladvegetasjon og piggdekkandel er fjernet. Vi har også som test fjernet variablene temperatur, bladvegetasjon og piggdekkandel fra modellene. I denne andre testen er det primært sesong som bærer sesongegenskapene: det at det er varmere om sommeren og kaldere om vinteren. Sett i forhold til alternativet der alle variabler er med, er det bare variablene luftfuktighet og sesong som påvirkes av testen, og da særlig sesong. Når alle variablene er med, øker  $\text{NO}_2$  nivået svakt med økende luftfuktighet. Når nevnte variabler fjernes, evner ikke luftfuktighet å gi noen forklaring til modellen. Tilsvarende er det med finstøv, finstøv øker betydelig med økt fuktighet, men når aktuelle variabler fjernes reduseres økningen til under det som ble funnet i test 1. Når det gjelder grovfraksjonen sammenfaller test 1 og 2.

I test 2 er det i forhold til finstøv at sesongvariabelen endrer sine forklaringsevner mest; variabelen får sterkt svekket forklaringsevne. I testen er det bare en antydning til at  $\text{PM}_{2,5}$  nivået er lavest i sommerhalvåret, mot at  $\text{PM}_{2,5}$  nivået er vesentlig lavere om sommeren når alle variablene er med er. Motsatt er det for grovfraksjonen. Når alle variablene er med er støvnivået nesten 50 prosentpoeng lavere ved høysommer enn ved vårjevndøgn, men i test 2 blir forskjellen langt større. I test 2 følger  $\text{NO}_2$  samme mønster som i modellen der alle variablene er med, men forklaringsevnen er noe dempet.

### Blader og piggdekk

I figur 1.1 ser vi at endring i bladvegetasjonen fra null % til 100 % demper grovfraksjonen med 20 prosentpoeng. Endring i bladvegetasjonen endrer ikke forekomsten av  $\text{NO}_2$  eller  $\text{PM}_{2,5}$ . Piggdekkandelen påvirker ikke mengden  $\text{NO}_2$  og bare i liten grad  $\text{PM}_{2,5}$ . Grovfraksjon øker med 40 prosentpoeng når piggdekkandelen går fra ingen pigger til 30 % piggdekkandel. Piggdekkandelen er sesongbetinget. Vi kan derfor se i test 1 når sesongvariabelen tas ut, at piggfritt får økt forklaringssevne. Det gjelder alle tre komponentene.

### Vurdering av variablene betinget av sesong

I begge testene ser vi at luftfuktighet svekkes som forklaring med hensyn til mengde finstøv og  $\text{NO}_2$ , noe som i langt mindre grad gjelder for grovfraksjonen. Det tyder på at det er langt sterkere sammenheng mellom luftfuktighet og grovt svevestøv enn for de andre variablene.

Når vi fjerner variablene temperatur, bladvegetasjon og piggdekkandel fra modellen makter sesongvariabelen i liten grad å forklare  $\text{PM}_{2,5}$  nivået. Det betyr at  $\text{PM}_{2,5}$  fenomenet primært henger sammen med temperatur. Vi ser i test 1 at høy temperatur forklarer økt  $\text{PM}_{2,5}$  nivået, dog noe svakere enn når alle variablene er med. Vi ser at høy temperatur og sommersesong går i motfase.

Slik er det ikke med grovfraksjonen når sesong tas ut i test 1, der går faktisk  $\text{PM}_{10} - \text{PM}_{2,5}$  nivået ned når det blir varmt. Sett i forhold til når alle variablene er med, blir variabelen temperatur kastet helt om når sesong tas ut, og motsatt ser vi når temperatur tas ut at sesong får tydelig økt forklaringsstyrke. Sesong slår ut temperaturvariabelen når de går i motfase. Sesong har altså meget stor forklaringssevne knyttet til grovt svevestøv.

Det er flere variabler som gir høy forklaringssevne til mengden  $\text{NO}_2$  i modellen der alle variablene er med. Men i testene får de sesongbetingede variablene svekket forklaringssevne. Det kan bety at temperatur og sesongvariasjoner har jevnbyrdig forklaringsstyrke. Ser vi på figurene 5.4 og 5.5 er både NO og  $\text{NO}_2$  påvirket av temperatur og sesongvariasjoner. Vi ser at NO er sterkt påvirket av temperatur. Med fallende temperatur øker mengden NO. Det kan skyldes at katalysatoren på bensinbilene virker dårligere jo kaldere det blir. Katalysatoren krever varme for å virke, når det er kaldt i lufta må bilen kjøre lengre før den blir tilstrekkelig oppvarmet av eksosen. Også for  $\text{NO}_2$  ser vi at med fallende temperatur under fem varmegrader øker mengden. Men når det blir varmt øker mengden  $\text{NO}_2$ . Gassen  $\text{NO}_2$  dannes primært ved oksidasjon av NO. Det er en kjemisk reaksjon som lar seg påvirke av økende temperatur. Ser vi på figur 5.6 ser vi at  $\text{NO}_x$  i mindre grad er en funksjon av temperatur, men vi ser at økt kulde og økt varme gir et bidrag til økt mengde  $\text{NO}_x$ , der lavpunktet ligger omkring 10 varmegrader.

Gjennom vinteren og fram til vårjevndøgn er  $\text{NO}_2$  nivået høyt, mens  $\text{NO}$  har gått mot et lavt nivå omkring vårjevndøgn. Vi ser at relativ fuktighet har langt større forklaringssevne på  $\text{NO}$  enn på  $\text{NO}_2$ . Når det blir meget tørt og meget fuktig øker mengden  $\text{NO}$ . Dette er et fenomen vi ikke kjenner årsaken til.

Tar en utgangspunkt i at  $\text{NO}_x$  fungerer som en trasergass, en gassblanding som varierer som funksjon av sesongvariabelen, ser vi i figur 5.6 at nivået faller fra februar til juli for så å øke fram mot november. Mellom november og februar ligger nivået høyt. Dette faller godt sammen med den sinusbevegelsen solhøyde danner i løpet av en sesong. Om vinteren er solhøyde lav og vi har vinterinversjon, om sommeren står sola høyt og vi har god vertikal utlufting. For de gassaktige komponentene synes betydningen av sesong primært å være knyttet til dårlig luftsirkulasjon om vinteren og god sirkulasjon om sommeren. Dette kan også ha betydning for grovfraksjonen, men vi ser at vinterfenomenet har like stor betydning som sommerfenomenet.

At vinter bidrar til å dempe mengden grovt svevestøv i modellen skyldes trolig i liten grad temperatur, snøfall, snømengde, løvfall eller piggdekk da dette er variabler som alt inngår i modellen. Modellen viser at hovedkilden til grovt støv er veitrafikken, på samme måte som for  $\text{NO}_x$ . Vi kan derfor påstå at veistøv utgjør brorparten av grovt svevestøv. Forekomsten av veistøv er derfor et nøkkelord. Hva er det som binder veistøvet om vinteren og frigjør det om våren? Snø og is på veien og i veikanten er nærliggende å tenke på. Snø absorberer støv viser modellen, jo dypere snø jo mer demping. Videre ser vi at fuktighet demper effektivt. En mulig årsak er derfor at snø i veikanten binder opp veistøvet og tilfører fuktighet. Når våren kommer smelter snøen, veien tørker opp og støvet frigjøres.

### 5.3 Resultater for effekt av salting

Tabell 5.2 viser estimert effekt av salting umiddelbart etter tiltak på originalskala beregnet ved (4.3), samt estimatet av varigheten. Tallene i parentes er 95%-konfidensintervall beregnet med 300 replikasjoner med metoden beskrevet i kapittel 4.3, som kvantifiserer usikkerheten til parameterestimatene knyttet til salting.

Effekten av salting er størst for konsentrasjonen av grovfraksjonen  $\text{PM}_{10} - \text{PM}_{2,5}$ , med en estimert (umiddelbar) effekt på 27% og varighet på 20 døgn. Effekten er mindre for konsentrasjonen av  $\text{PM}_{10}$ , omkring 14%, og fortsatt signifikant. Når det gjelder  $\text{PM}_{2,5}$ , er estimert effekt ikke statistisk signifikant. Effekten av støvdempingstiltakene er også diskutert i et utvidet sammendrag i kapittel 1, med figur 1.2 som viser den relative endringen av effekten etter et tiltak som en funksjon av antall døgn.

Vi har valgt 20 dager som maksimal effekt av salting. For  $\text{PM}_{10}$  og  $\text{PM}_{10} - \text{PM}_{2,5}$  ville

maksimum likelihood estimatet vært større enn 20 døgn hvis vi hadde tillatt  $\theta > 20$ , men vi mener dette virker urimelig og kan skyldes effekter på slutten av hver vinter. Det er kun da det blir så lenge siden siste støvdempingstiltak.

Forurensningskomponent	Varighet	Effekt
PM <sub>10</sub> – PM <sub>2,5</sub>	20 (8,20)	26.9 (18.8,34.6)
PM <sub>10</sub>	20 (6,20)	14.2 (7.69,20.5)
PM <sub>2,5</sub>	11 (2,20)	4.70 (-6.30,11.9)

Tabell 5.2. Estimert varighet (døgn) og effekt (%) av salting umiddelbart etter tiltak for de ulike svevestøvskomponentene basert på modell (4.2) med tilhørende 95%-konfidensintervall i parentes.

# Referanser

Aldrin, M. og Steinbakk, G. H. (2010). Tidsplokk av luftforurensnings-, meteorologiske og trafikkdata brukt i STANDAM. Teknisk rapport, Norsk Regnesentral.

Aldrin, M., Hobæk Haff, I. og Rosland, A. (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 basiskurve-metoden. Versjon pr. 16 november 2006. Teknisk rapport, Norsk Regnesentral.

Hobæk Haff, I. og Aldrin, M. (2005). Generalised additive modelling of air pollution, traffic volume and meteorology. *Atmospheric Environment*, 39:2145–2155.

Kåresen, K. og Aldrin, M. (2001). Effekt av salting på trafikkgenerert svevestøv; foreløpig statistisk analyse. Teknisk rapport, Norsk Regnesentral.

Lahiri (2003). *Resampling Methods for Dependent Data*. Springer, New York.

Politis, D. N. og Romano, J. P. (1994). The stationary bootstrap. *Journal of the American statistical Association*, 89:1303–1313.

Steinbakk, G. H. og Aldrin, M. (2003). Effekt av salting på svevestøv. En analyse basert på data fra vintrene 2001/2002 og 2002/2003. Teknisk rapport, Norsk Regnesentral.