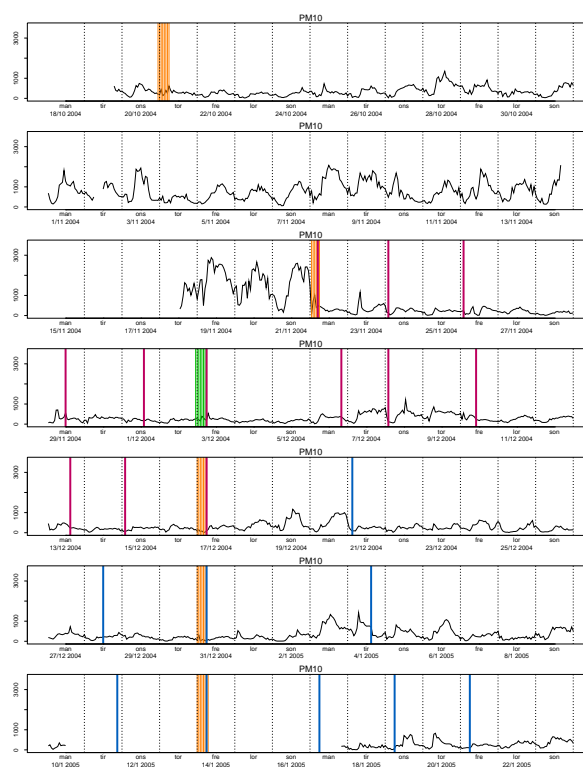


Effekt av vasking, feiing og salting i Strømsås-tunnelen vinteren 04/05



Notatnr
Forfatter

SAMBA/21/06
Magne Aldrin,

Dato

20. juni 2006

Forfatteren

Magne Aldrin er sjefsforsker ved Norsk Regnesentral. Han er sivilingeniør fra NTH og har en Dr.scient-grad i statistikk ved Universitetet i Oslo.

Oppdragsgiver

Statens vegvesen har vært oppdragsgiver for dette arbeidet. Statens vegvesen har selv stått for datafangst og gjennomføring av tiltakene i Strømsåstunnelen (Drammen). Fra Statens vegvesen har spesielt Hans Olav Lien, Gry Larsen, Sverre Myrekrok og Pål Rosland deltatt. Olaf Mathisen og Gunner Kråkenes har sittet i referansegruppe.

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 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 syns.

Tittel **Effekt av vasking, feiing og salting i Strømsås-tunnelen vinteren 04/05**

Forfatter **Magne Aldrin**, <magne.aldrin@nr.no>

Dato 20. juni 2006

Publikasjonsnummer SAMBA/21/06

Sammendrag

Det har blitt gjennomført tiltak mot svevestøv i Strømsåstunellen i en 26-ukers periode fra 18/10 2004 til 17/4 2005. Veien har blitt vasket to ganger og feid 11 ganger. Videre har en saltet med MgCl 43 ganger, hvorav 27 ganger med konsentrasjon $20g/m^2$ og 16 ganger med konsentrasjon $40g/m^2$.

I samme periode målte en konsentrasjon av PM_{10} og $PM_{2.5}$, trafikkvolum og en rekke meteorologiske variable i tunellen.

Hensikten med studien er å tallfeste effekten av de ulike tiltakene. Svevestøvnivået varierer kraftig over tid, og er sterkt påvirket av trafikkvolum og meteorologi, slik at det er vesentlig å korrigere for disse variablene. Konsentrasjonen av PM_{10} , $PM_{2.5}$ og grovfraksjonen $PM_{10} - PM_{2.5}$ blir modellert som en funksjon av trafikkvolum, meteorologi og tiltak. Til det brukes ikke-lineære regresjonsmodeller av klassen generaliserte additive modeller.

Effekten av vasking og feiing er uklar. Derimot er det en tydelig effekt av salting på konsentrasjonen av PM_{10} og $PM_{2.5}$. Effekten inntreffer umiddelbart og ser ut til å vare i 5-9 dager. I middel reduserer salting nivået av PM_{10} med omkring 45% og nivået av $PM_{10} - PM_{2.5}$ med omtrent 60% i forhold til en situasjon uten tiltak. Det er en tendens til at salting med $20g/m^2$ gir større effekt enn med den dobbelte konsentrasjon. Når det gjelder $PM_{2.5}$ er effekten av salting atskillig mindre, men det er en tendens til en reduksjon på mellom 0 og 20%.

Arbeidet er utført på oppdrag av Statens vegvesen.

Emneord

Målgruppe

Tilgjengelighet

Prosjekt

Prosjektnummer

Satsningsområde

Antall sider

71

© Copyright

Norsk Regnesentral

Innhold

1	Innledning	7
2	Data	7
3	Modeller uten tiltak	16
4	Modeller med tiltak	23
5	Konklusjon - Effekt av tiltak	26
A	Data - supplerende figurer	30
B	Modeller uten tiltak - supplerende figurer	53
C	Modeller med tiltak - supplerende figurer	65
D	Eventuelle samspill mellom effekt av salting og andre faktorer . .	70

1 Innledning

I perioden fra 18/10 2004 til 17/4 2005 blei det gjennomført tiltak mot svevestøv i Strømsåstunellen. Veien blei vasket to ganger og feid 11 ganger. Videre saltet en med MgCl 43 ganger, hvorav 27 ganger med konsentrasjon $20g/m^2$ og 16 ganger med konsentrasjon $40g/m^2$. I blant har en saltet kombinert med feing eller vasking.

I samme periode blei det målt konsentrasjon av PM_{10} og $PM_{2.5}$, samt trafikkvolum og en rekke meteorologiske variable i tunellen og utafør tunellen (Marienlyst).

Hensikten med studien er å tallfeste effekten av de ulike tiltakene. Svevestøvnivået varierer kraftig over tid, og er sterkt påvirket av trafikkvolum og meteorologi, slik at det er vesentlig å korrigere for disse variablene. Konsentrasjonen av PM_{10} , $PM_{2.5}$ og grovfraksjonen $PM_{10} - PM_{2.5}$ blir derfor modellert som en funksjon av trafikkvolum, meteorologi og tiltak.

Dette arbeidet er en oppfølging av en innledende analyse av liknende data fra mars 2004 (Aldrin, 2004). Dataene er denne gangen av atskilig bedre kvalitet og større omfang, slik at det er mulig å trekke konklusjoner vedrørende tiltakene.

Modellene som brukes er ikke-lineære regresjonsmodeller av klassen generaliserte additive modeller. Modellene er tilpasset luftforurensningdata og er beskrevet i Aldrin og Hobæk Haff (2005). Kapittel 2 gir en oversikt over dataene. Kapittel 3 gir en kort beskrivelse av modellene, og gir også resultater for modeller uten tiltak. Resultater for modeller med tiltak gis i kapittel 4. Kapittel 5 konkluderer angående effekter av de ulike tiltakene. Vedleggene A, B og C inneholder en rekke figurer som et supplement til kapitlene 2, 3 og 4.

Arbeidet er finansiert av Statens vegvesen (kontaktperson Hans Olav Lien), og utført i samarbeid med Statens vegvesen, Vegdirektoratet (kontaktperson Pål Rosland).

2 Data

Dataene består av timevise målinger av konsentrasjoner av PM_{10} og $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$), antall lette og tunge kjøretøy, meteorologiske målinger fra tunnelen (tabell 1), samt meteorologiske målinger utendørs på Marienlyst i Drammen. Konsentrasjon av grovfraksjon svevestøv beregnes ved å ta differansen mellom konsentrasjonene av PM_{10} og $PM_{2.5}$. Dataperioden er fra 18/10 2004 til 17/4 2005, det vil si til sammen 26 uker. Det viser seg at når en tar hensyn meteorologi i tunellen, gir meteorologien på Marienlyst ingen tilleggsinformasjon, og målingene fra Marienlyst er dermed ikke brukt videre.

Variabel	enhet
Temperatur	grader Celcius
Relativ fuktighet, RF	%
Vindretning	grader, 0=nord
Vindhastiget	m/s
Doggpunkt	
Lufttrykk	mm Hg

Tabell 1. Meteorologiske variable målt i tunnelen.

En svakhet med ved dataene er at ventilasjonsviftene ikke er logget. Jo mer eksos det er i tunnelen jo sterkere ventileres tunnelen fra øst til vest (ventilasjonslufta kommer ut i den vestlige enden av tunnelen) og jo mer luft utenfra tilføres tunnelen. Dette vil endre konsentrasjonen av svevestøv inne i tunnelen. Da det ikke foreligger data er det heller ikke mulig å modellere effekten av viftene for de ulike fraksjonene av svevestøv. Endringer i piggdekkandelen er heller ikke innarbeidet i modellen.

Figurene 1 og 2 viser PM_{10} -konsentrasjon ($\mu g/m^3$) time for time i de 26 ukene med data. Vi ser at det i perioder mangler målinger. Øvrig informasjon er markert med vertikale linjer. Vasking er utført to ganger, og er avmerket med grønne linjer som for hver gang dekker de timene arbeidet pågikk. Feiing er gjennomført 11 ganger, og er tilsvarende angitt ved gule linjer. Salting med $20g/m^2$ (27 ganger) er markert med lilla linjer mens salting med $40g/m^2$ er markert med blå linjer. De stiplede linjene markerer den siste timen i hvert døgn.

Figurene 3 og 4 viser tilsvarende antall lette kjøretøyer per time, mens figurene 5 og 6 viser relativ fuktighet. Øvrige data er vist i Vedlegg A.

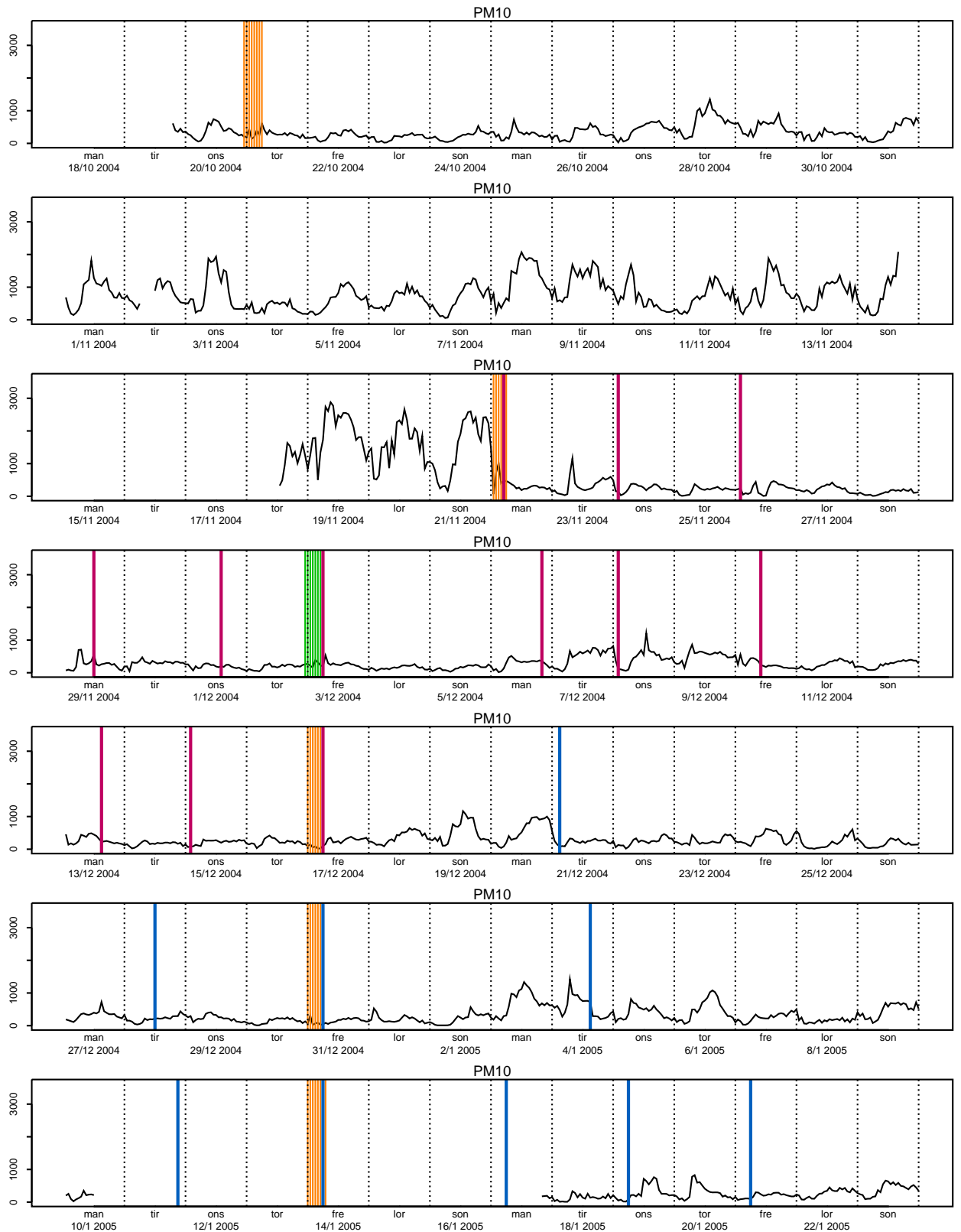
Den mest markerte endringa i nivået av PM_{10} skjer ved overgangen mellom 21/11 2004 og dagen etter (figur 1). Dette sammenfaller med feiing og salting, og kan isolert sett tyde på at slike tiltak har effekt. Men den brå nedgangen i nivået av PM_{10} kan også skyldes at trafikken er nær 0 mens feiing utføres (figur 3). Videre øker relativ fuktighet fra 40% til nærmere 80% i løpet av få timer (figur 5), noe som kan forklare at PM_{10} -nivået holder seg på et klart lavere nivå i perioden etter 21/11. Dette illustrerer betydningen av å kontrollere for trafikkvolum og meteorologi når effekten av tiltakene skal estimeres.

Generelt er dataene av god kvalitet, og de statistiske analysene viser at det er en klar sammenheng mellom luftforurensning og trafikkvolum så vel som meteorologi (kapittel 3). Det var likevel noen uregelmessigheter i dataene:

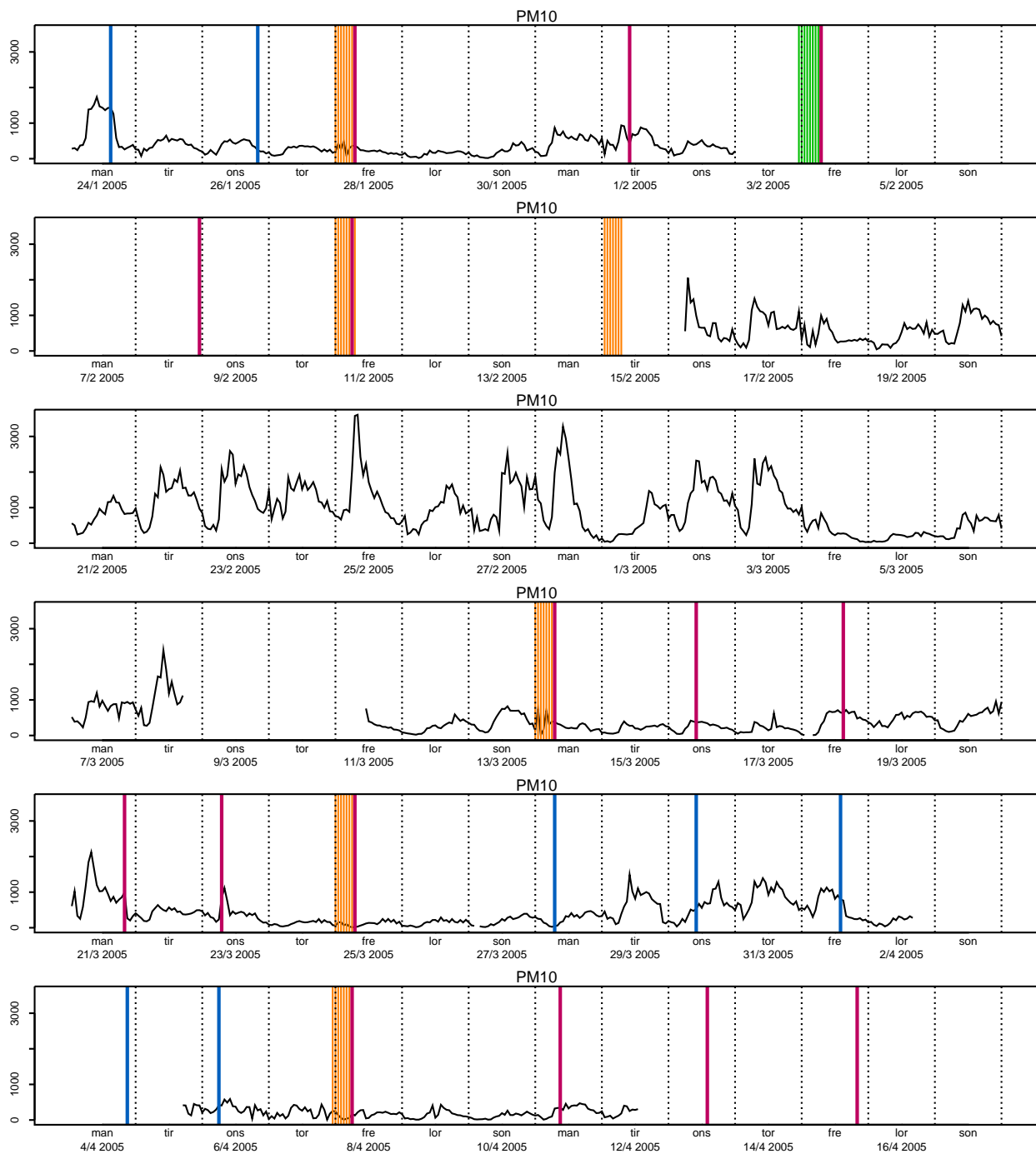
- Trafikkmålingene var feilaktig forskjøvet med en time ved overgang til vintertid 31/10 2004 fram til 11/11 2004. Disse dataene er korrigert.
- Målingene av PM_{10} -konsentrasjonen har opprinnelig fem minutters oppløs-

ning. For en periode på 65 minutter den 5/11 2004 var det dobbelt sett av PM_{10} -målinger. De 13 første av disse er beholdt, mens de siste 13 er fjerna.

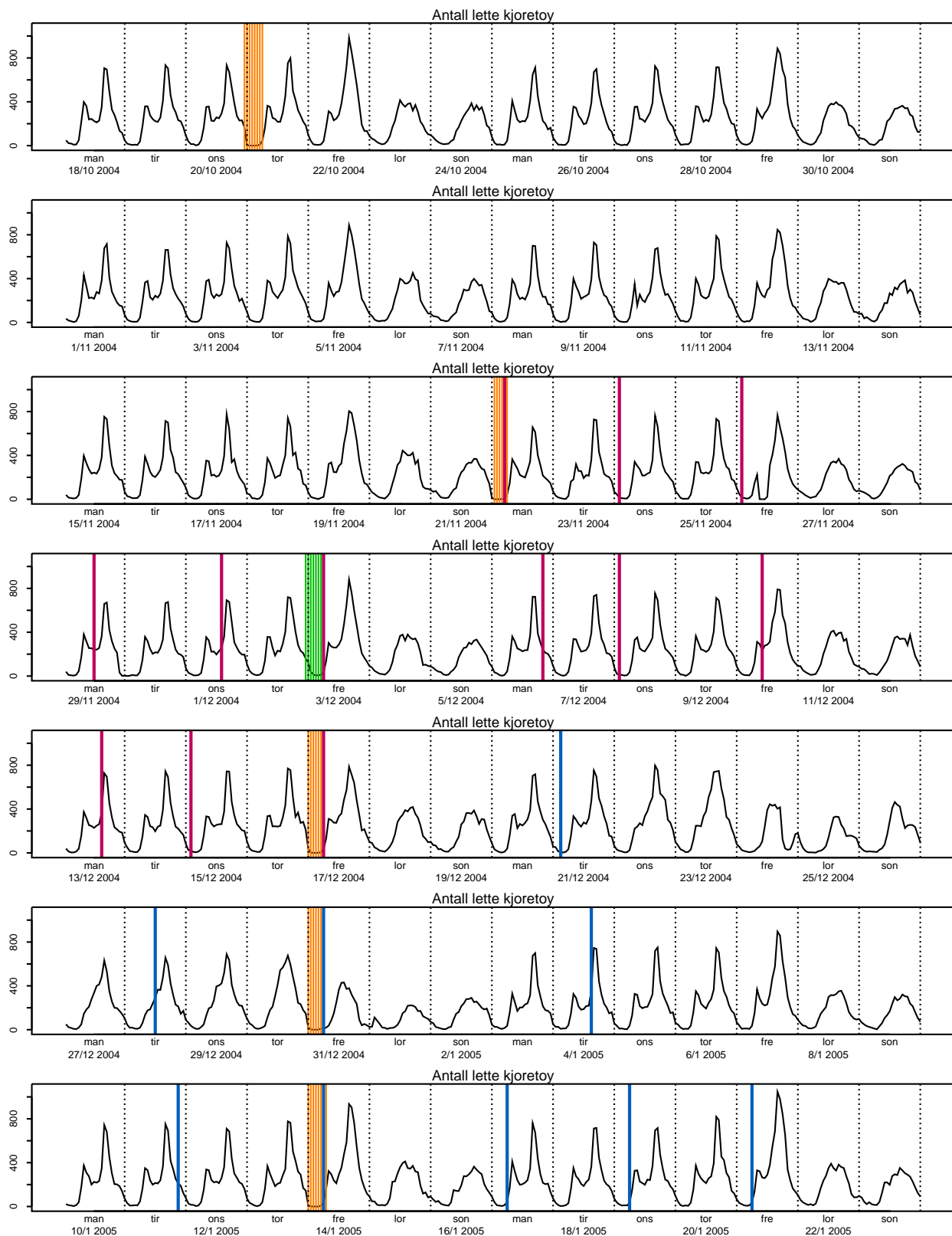
- Trafikkdata mangler i noen korte perioder på noen få timer, samt i en periode på nærmere fire døgn. Videre er det noen perioder da vindhastighet er registrert som 0, mens vindretning er ukjent. Disse dataene er fylt ut med gjennomomsnittet av tilsvarende data observert én uke før og én uke etter. Øvrige data med manglende observasjoner er det ikke gjort noe med.
- Noen av målingene av konsentrasjonene av PM_{10} , $PM_{2.5}$ og $PM_{10} - PM_{2.5}$ er negative, men små. Dette skyldes trolig målefeil. Negative verdier, og verdier svært nær null er satt til en lav, nedre grense, som er $10\mu g/m^3$ for PM_{10} og $5\mu g/m^3$ for $PM_{2.5}$ og $PM_{10} - PM_{2.5}$.



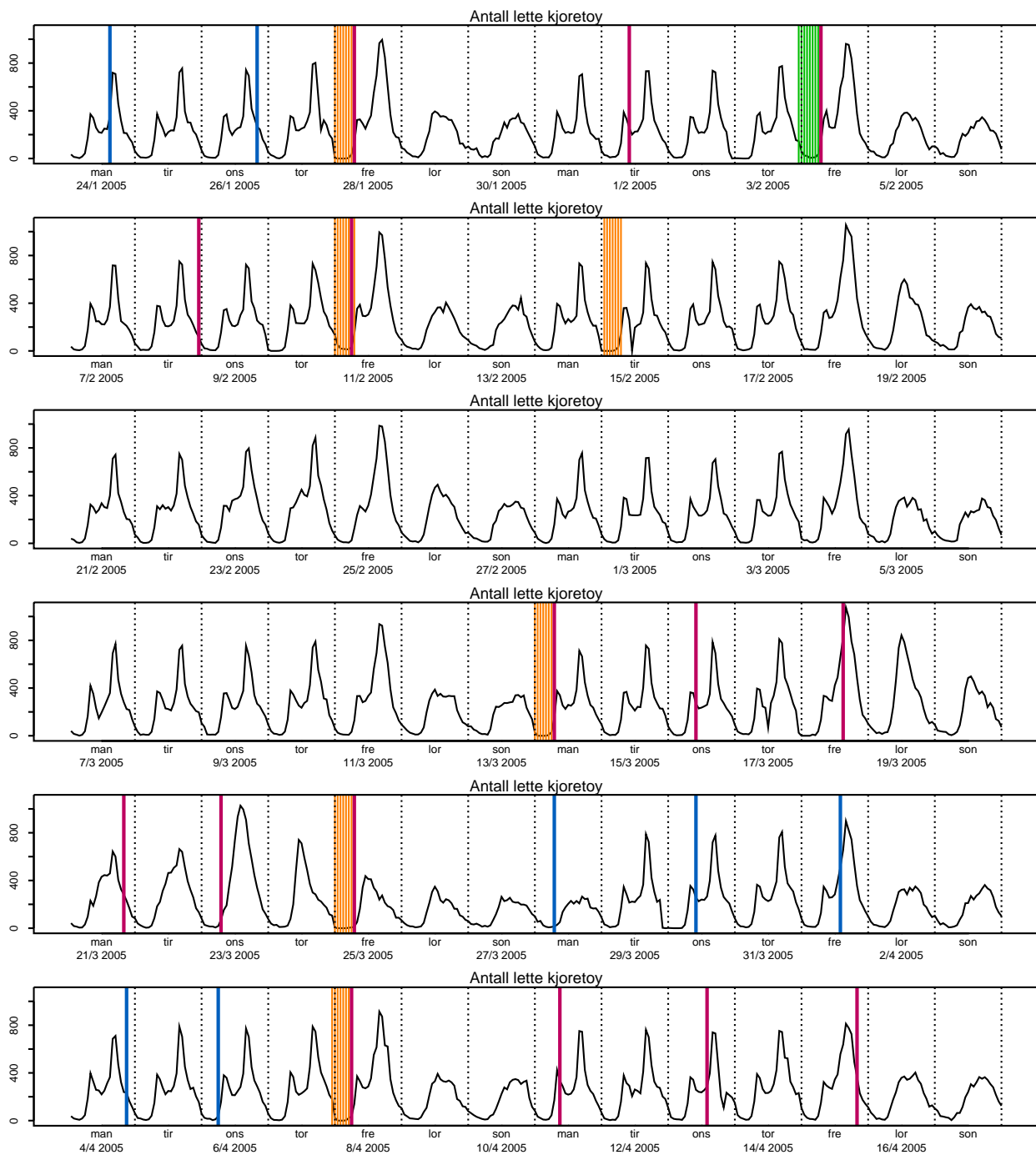
Figur 1. PM_{10} , Strømsås, uke 43 2004 - uke 3 2005. Grønn: Vasking. Gul: Feiing. Lilla: Salting med $20g/m^2$. Blå: Salting med $40g/m^2$.



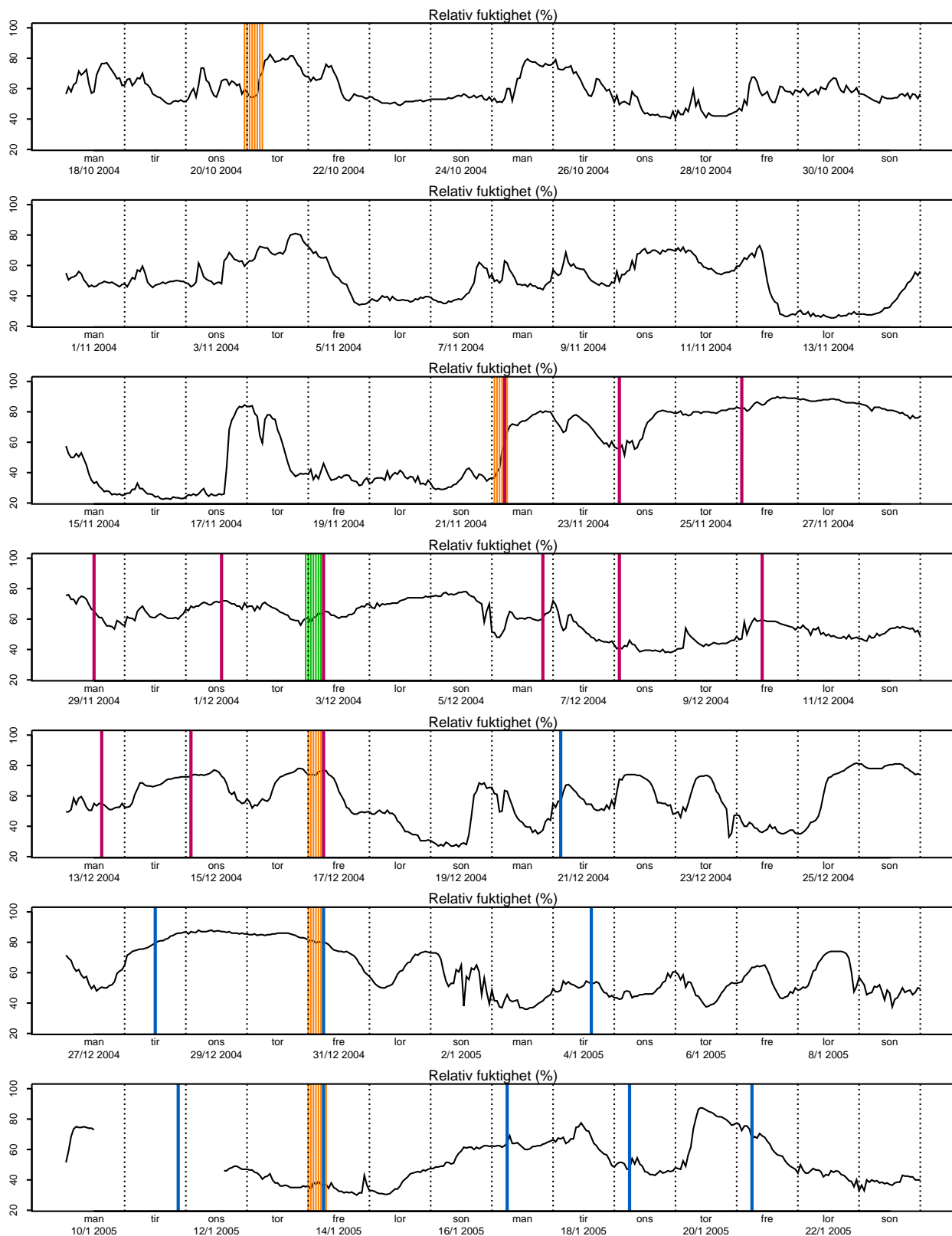
Figur 2. PM_{10} , Strømsås, uke 4 2005 - uke 15 2005.



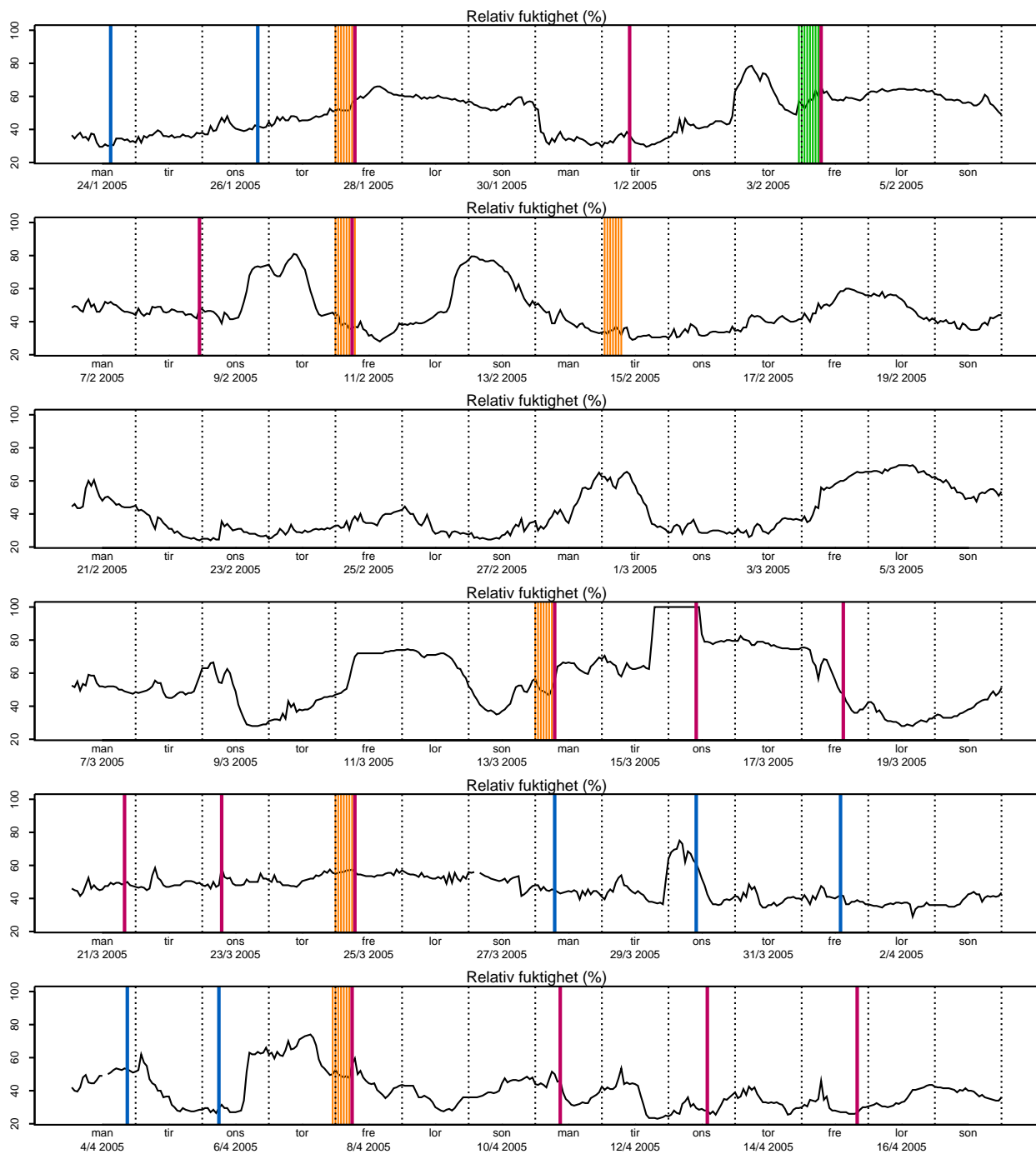
Figur 3. Antall lette kjøretøy, Strømsås, uke 43 2004 - uke 3 2005.



Figur 4. Antall lette kjøretøy, Strømsås, uke 4 2005 - uke 15 2005.



Figur 5. Relativ fuktighet, Strømsås, uke 43 2004 - uke 3 2005.



Figur 6. Relativ fuktighet, Strømsås, uke 4 2005 - uke 15 2005.

3 Modeller uten tiltak

Sammenhengen mellom forurensningskomponentene (PM_{10} , $PM_{2.5}$ og $PM_{10} - PM_{2.5}$) og trafikk- og meteorologivariablene er modellert ved hjelp av generaliserte additive modeller (GAM), slik som i Aldrin og Hobæk Haff (2005). På originalskala er modellen for hver enkelt forurensningskomponent på formen

$$y = S_1(x_1) \cdot S_2(x_2) \cdots S_p(x_p) \cdot E, \quad (1)$$

der y er timevise verdier av konsentrasjonen av enten PM_{10} , $PM_{2.5}$ eller $PM_{10} - PM_{2.5}$, og x -ene er korresponderende forklaringsvariable (trafikk, meteorologi eller tiltak). Videre er S -ene glatte funksjoner bestemt av dataene.

Ved å ta den (naturlige) logaritmen på hver side av likhetstegnet blir modellen additiv og kan skrives som

$$\log(y) = s_1(x_1) + s_2(x_2) + \cdots + s_p(x_p) + \varepsilon, \quad (2)$$

hvor $s_i(\cdot) = \log(S_i(\cdot))$ og $\varepsilon = \log(E)$. Modellen tilpasses data på denne skalaen ved hjelp av minste kvadraters metode. Forskjellen fra lineær regresjon er at s -funksjonene kan ha krumninger. Grad av ikke-linearitet i s -funksjonene bestemmes av dataene, samt av en styringsparameter for hver funksjon, som angir antall frihetsgrader. Om ikke annet er oppgitt, har hver funksjon 4 frihetsgrader for hver funksjon. Noen av funksjonene har flere frihetsgrader, noe som tillater større grad av ikke-linearitet.

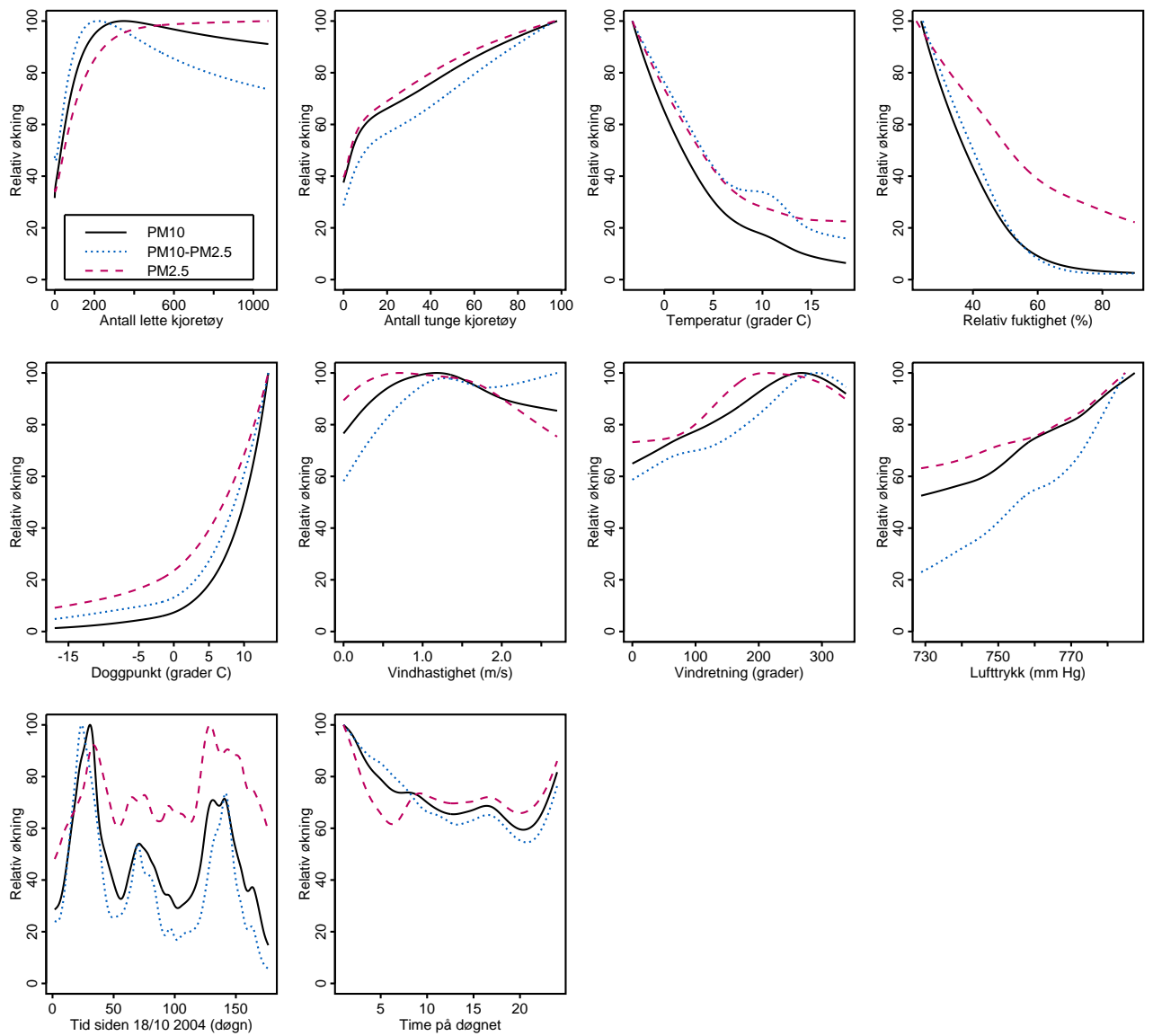
Først estimeres modellen uten å ta hensyn til tiltak. Forklaringsvariablene som inngår er antall lette og tunge kjøretøy og alle meteorologiske variable fra tabell 1. For å ta høyde for endringer over tid som resten av modellen ikke fanger opp, har jeg også tatt med tid (antall timer) siden time 1 18/10 2004 som en variabel. For denne tid-variabelen har s -funksjonen 20 frihetsgrader. Til sist er time på døgnet inkludert som forklaringsvariabel, med en s -funksjon med 10 frihetsgrader. Denne variabelen skal korrigere for systematisk variasjon over døgnet som ikke er allerede er fanget opp via trafikkvolum og de meteorologiske variable.

Figur 7 viser de estimerte S -funksjonene (på original skala som i (1)) for de tre forurensningskomponentene. Hver funksjon er normert slik at den har en maksimalverdi på 100. Figuren fortolkes slik: En økning i antall lette kjøretøy opp til 200 gir omtrent en tredobling av konsentrasjonen av hver av de tre PM -komponentene, mens økning av lette kjøretøy utover 200 har liten betydning. Økende antall tunge kjøretøy gir økning i PM -konsentrasjonen; særlig kraftig er effekten ved en økning fra 0 til 10 kjøretøy. Økende temperatur og relativ fuktighet gir lavere PM -konsentrasjon, mens økende doggpunkt har motsatt effekt. Vindhastighet, vindretning og lufttrykk har også en viss betydning for PM -nivået, men effekten av disse variablene er mindre. Det sees ved at funksjonene

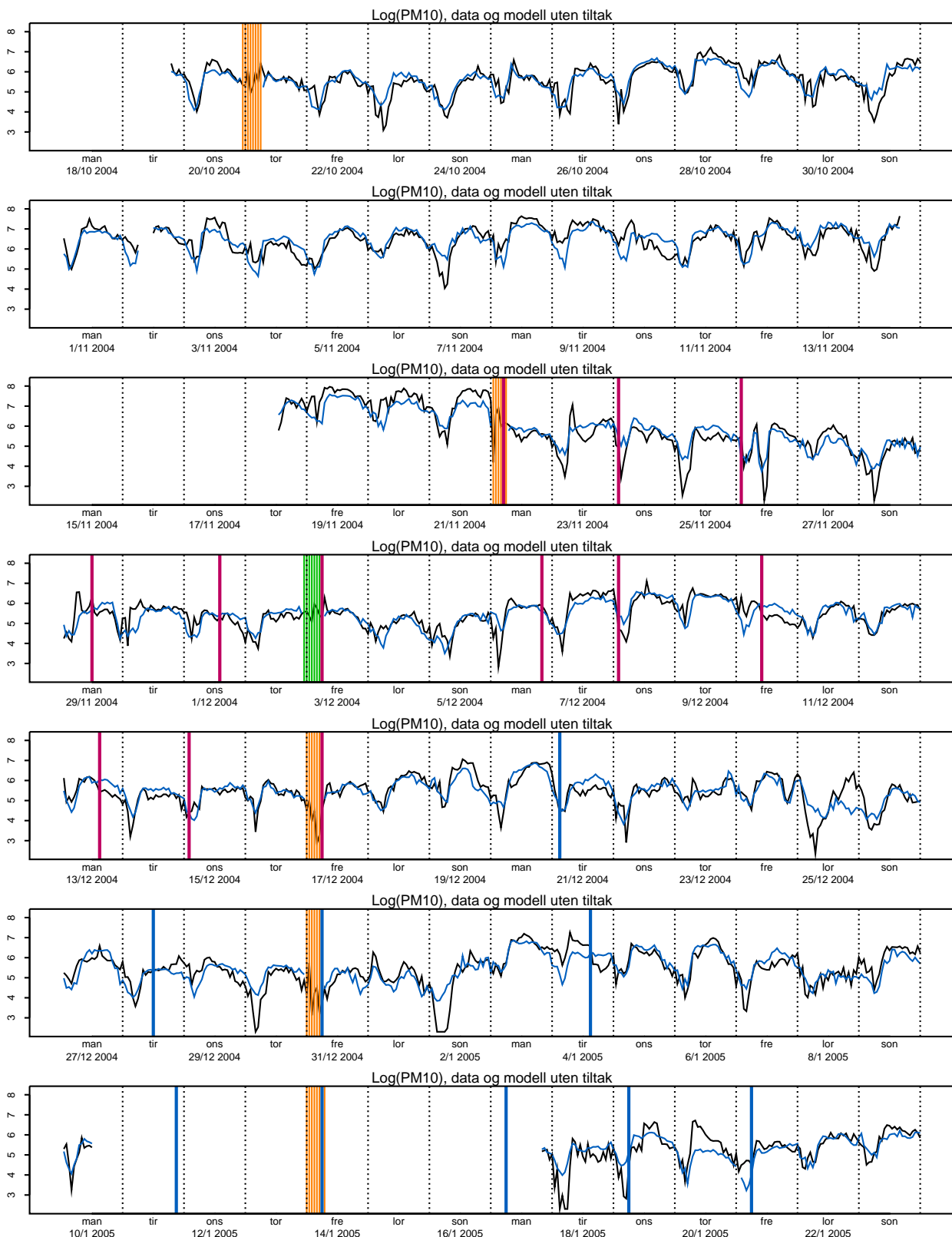
dekker en mindre del av y-aksen enn de foregående variablene. Funksjonene av tid viser at det også er en betydelig variasjon over 26-ukersperioden som ikke fanges opp av den øvrige del av modellen. Til sist viser funksjonene av time på døgnet at det er lavere konsentrasjon av alle tre PM -komponenter ved 20-tida enn hva den øvrige deler av modellene tilsier. I Vedlegg B finnes tilsvarende figurer for s -funksjonene på logaritmisk skala hvor også usikkerheten til de estimerte funksjonene er gjengitt.

Figurene 8 og 9 viser målt PM_{10} -konsentrasjon på log-skala sammen med de tilpassede verdiene fra modellen. Vi ser at modellen har fanget opp mye av variasjonen i dataene, selv om det fortsatt er en betydelig uforklart variasjon. Figurene 10 og 11 viser residualene (ε) fra modellen, det vil si data minus tilpassede verdier. Disse figurene kan antyde om tiltakene har hatt effekt. For eksempel ser det ut som salting 10/12 har gitt lavere PM_{10} -nivå, siden kurven i figur 8 ligger lavere etter tiltaket enn den gjorde før. Slik kan man gå gjennom hvert enkelt tiltak. I blant ser det ut til å være en effekt, mens andre ganger er det vanskeligere å se. I neste kapittel vil derfor tiltakene inkluderes i modellen.

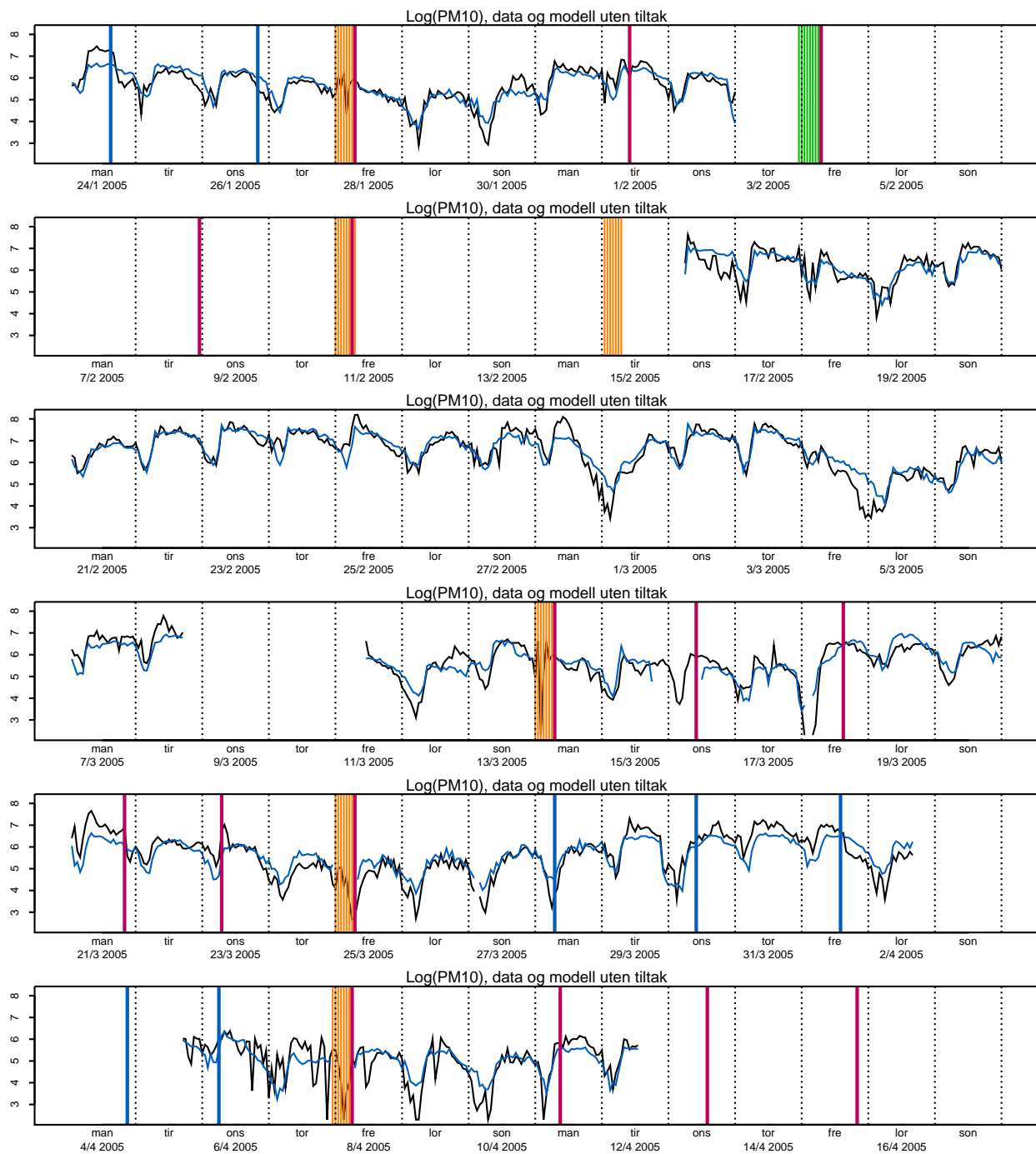
I Vedlegg B finnes figurer for $PM_{2.5}$ og $PM_{10} - PM_{2.5}$ som tilsvarer figurene 8 til 11.



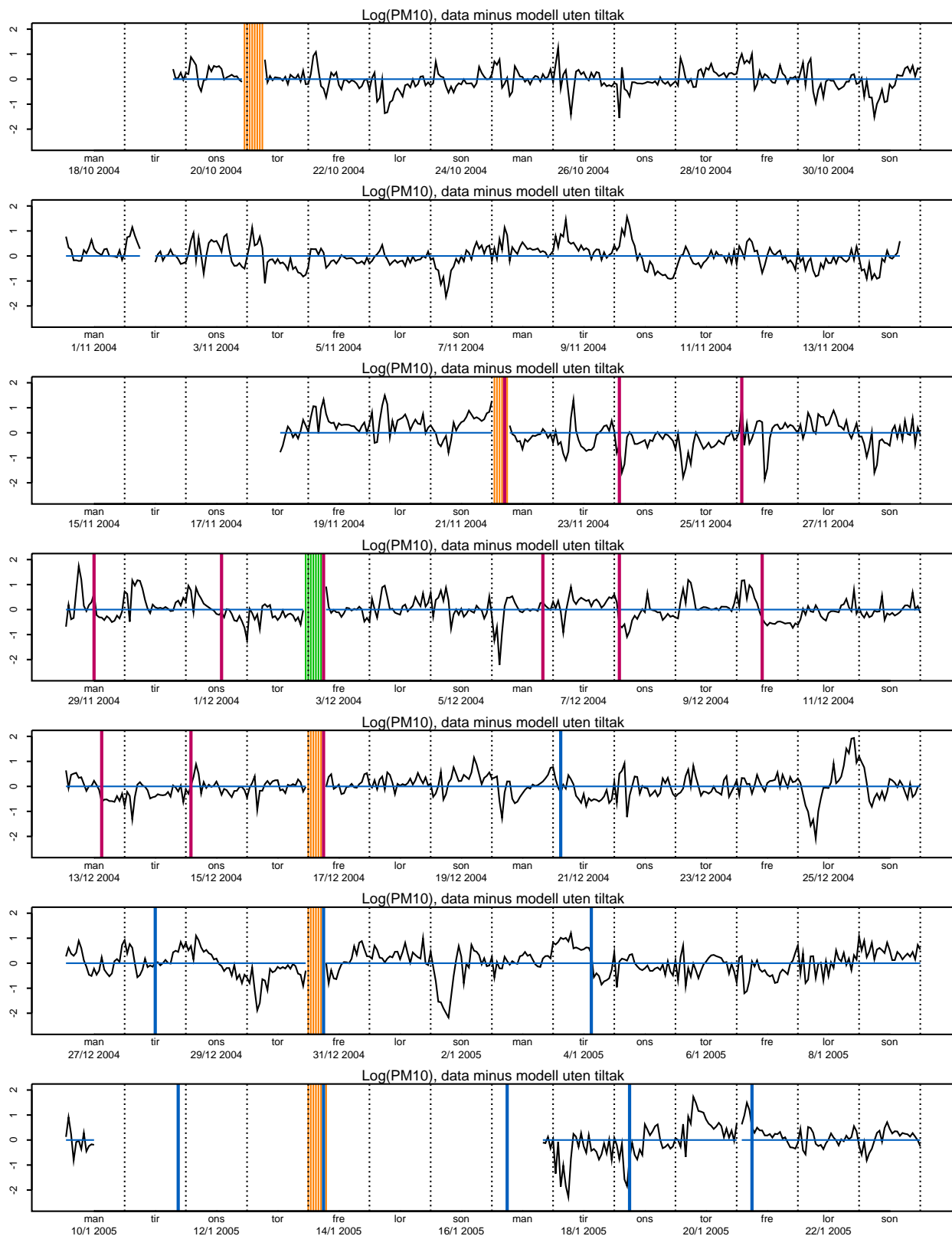
Figur 7. Estimerte S -funksjoner for hver de tre forurensningskomponentene, basert på modeller uten tiltak.



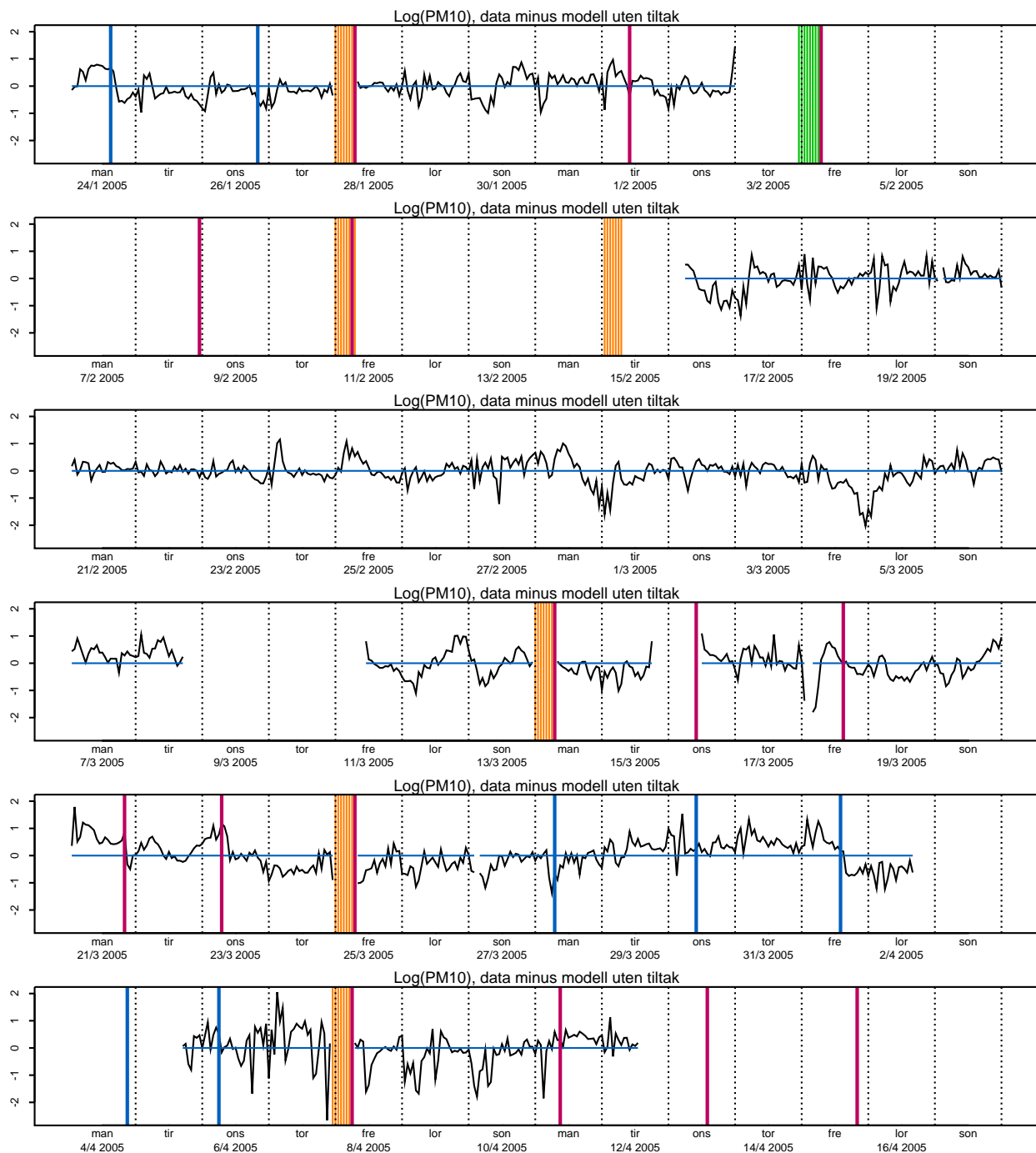
Figur 8. Målt (svart) og estimert (blått) $\log(PM_{10})$, Strømsås, uke 43 2004 - uke 3 2005.



Figur 9. Målt (svart) og estimert (blått) $\log(PM_{10})$, Strømsås, uke 4 2005 - uke 15 2005.



Figur 10. Målt - estimert $\log(PM_{10})$, Strømsås, uke 43 2004 - uke 3 2005.



Figur 11. Målt - estimert $\log(PM_{10})$, Strømsås, uke 4 2005 - uke 15 2005.

4 Modeller med tiltak

Jeg vil nå inkludere tiltak i modellen (2). Vi betrakter vasking, feiing, salting med $20g/m^2$ og salting med $40g/m^2$ som fire ulike tiltak med separate effekter. Jeg prøver ikke å tallfeste effekten av kombinasjoner av disse (for eksempel feiing og vasking), da dataene ikke gir tilstrekkelig informasjon om eventuelle samspills-effekter.

Feiing kodes som en forklaringsvariabel som angir tid siden siste feiing, opp til en maksimal tid θ^{feiing} hvor effekten antas å være forsvunnet. Effekten av nest siste feiing antas å være neglisjerbar etter at ny feiing er gjennomført. Vasking behandles på samme måte. Dette kan skrives

$$Feiing = \min(\text{tid siden sist feiing}, \theta^{feiing})$$
$$Vasking = \min(\text{tid siden sist vasking}, \theta^{vasking})$$

Salting behandles omtrent som feiing og vasking, men salting med de to ulike konsentrasjoner sees i sammenheng: Når en salting med en gitt konsentrasjon gjennomføres, antas effekten av tidligere salting med begge konsentrasjoner å være 0. Dette kan skrives

$$Salting_{20} = \begin{cases} \min(\text{tid siden sist salting}, \theta^{salting}) & \text{hvis siste salting var med } 20g/m^2 \\ \theta^{salting} & \text{hvis siste salting var med } 40g/m^2 \end{cases}$$
$$Salting_{40} = \begin{cases} \min(\text{tid siden sist salting}, \theta^{salting}) & \text{hvis siste salting var med } 40g/m^2 \\ \theta^{salting} & \text{hvis siste salting var med } 20g/m^2 \end{cases}$$

For feiing og vasking settes maksimal effektvarighet θ til 6 uker (1008 timer), mens for salting settes den i første omgang til 20 døgn (480 timer).

Figur 12 viser de estimerte S -funksjonene. De opprinnelige forklaringsvariablene har omtrent samme effekt som tidligere. Vi starter med å betrakte effekten av salting med $20g/m^2$, da denne er enklest å fortolke.

De venstre endene av kurvene, som angir effekt umiddelbart etter salting, ligger langt lavere enn de høyre endene av kurvene, hvor salting ansees å ha mistet sin effekt. Dermed gir salting med $20g/m^2$ en betydelig reduksjon av konsentrasjonen av PM_{10} og $PM_{10} - PM_{2.5}$, og en noe mindre reduksjon av $PM_{2.5}$ -nivået. Effekten ser ut til å flate ut noe omkring 10 døgn (240 timer) etter salting. Tilsvarende kurver for salting med $40g/m^2$ viser et mer uklart forløp, men fortsatt med en klart gunstig effekt for konsentrasjonen av PM_{10} og $PM_{10} - PM_{2.5}$. En bør ikke legge for stor vekt på de merkelige kurveformene, da det ikke finnes data for varighet mellom 8 og 20 døgn for salting med $40g/m^2$. Tilsvarende kurver for feiing er vanskeligere å fortolke. At effekten inntreffer for fullt 20-30 døgn etter tiltaket, slik kurvene antyder, er vanskelig å tenke seg. Når det gjelder vasking,

antyder figuren at vasking har liten effekt. Jeg fortolker dette som at datane ikke tyder på noen klar effekt av feing og vasking. Disse variablene beholdes likevel i modellene for å korrigere for eventuelle effekter. Salting har en tydelig gunstig effekt på nivået av PM_{10} og $PM_{10} - PM_{2.5}$, med en antydning til utflating etter omtrent 10 dager. Salting har en noe svakere effekt på konsentrasjonen av $PM_{2.5}$. Tilsvarende figurer for s -funksjonene (på logaritmisk skala) med usikkerhet er gjengitt i Vedlegg C.

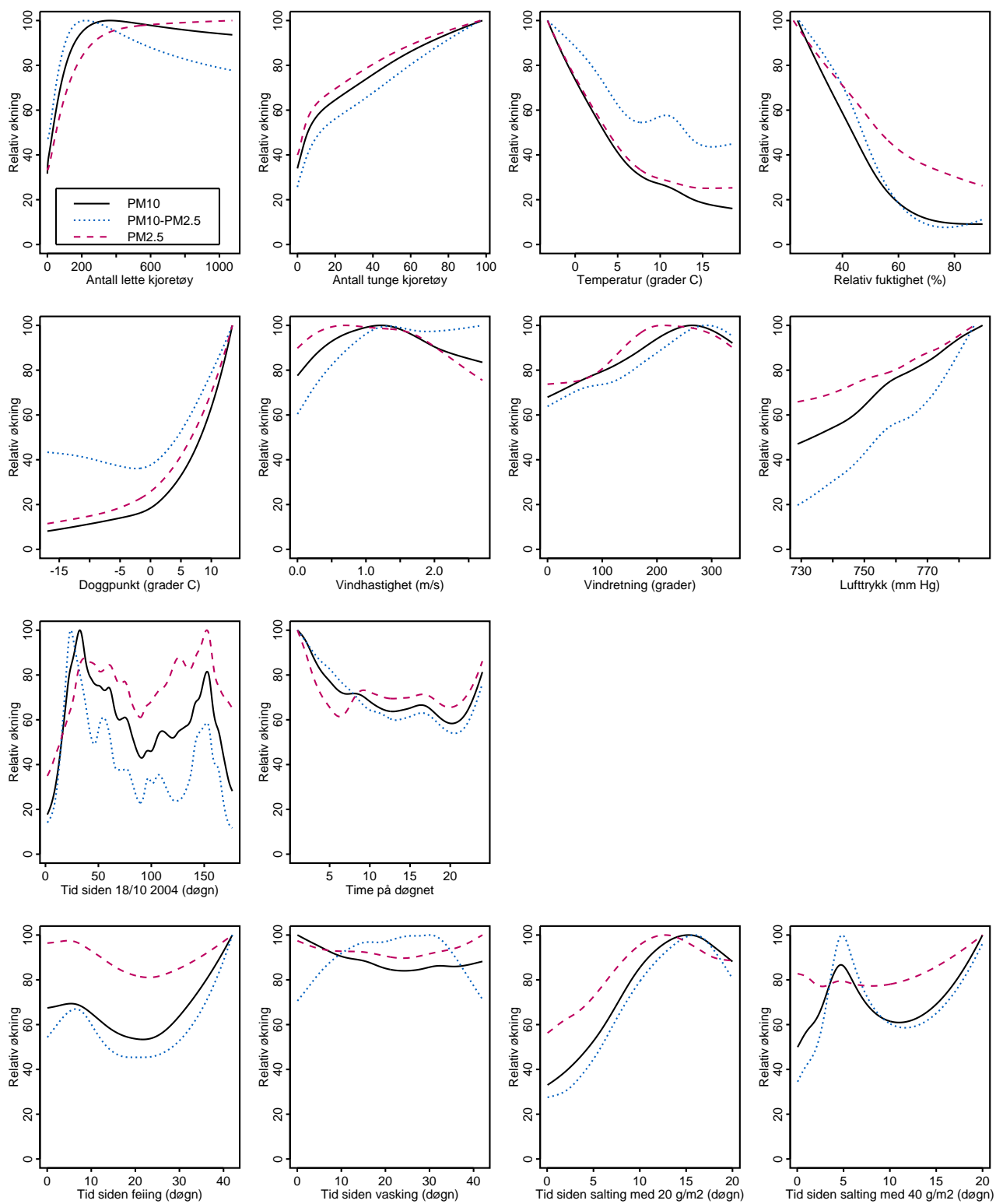
I det følgende vil jeg forenkle modellen for salting, for å beregne en effekt som er lett å fortolke og formidle til brukere. Jeg antar at salting med begge konsentrasjoner har umiddelbar effekt, som minker lineært (på log-skala) fram til maksimal effektvarighet $\theta^{salting}$. Modellen kan skrives som

$$\log(y) = s_1(x_1) + s_2(x_2) + \dots + s_p(x_p) + \beta_{20}Salting20 + \beta_{40}Salting40 + \varepsilon, \quad (3)$$

hvor x -ene er de øvrige forklaringsvariablene, inkludert feing og vasking. Koeffisientene β_{20} og β_{40} estimeres simultant med s -funksjonene, for en gitt verdi av $\theta^{salting}$ (Husk at kodinga av variablene Salting20 og Salting40 avhenger av $\theta^{salting}$).

$\theta^{salting}$ betraktes nå som ukjent, og estimeres fra dataene ved å beregne modellen for ulike $\theta^{salting}$ mellom 1 døgn og 20 døgn, for å finne den verdi som gir best tilpasning til dataene. Dette gjøres for de tre luftforurensningskomponentene separat. I tillegg til modeller med en separat effekt for hver av de to konsentrasjonene av salting, beregnes alternativt en felles effekt, med en koeffisient β som er lik for salting med begge konsentrasjoner. Figurer som viser dette er gjengitt i Vedlegg C. Konklusjonen er at varighet av effekten er ganske usikker, men at 5-9 døgn gir best tilpasning til dataene.

Deretter settes lengden av effekten av salting, $\theta^{salting}$, fast til enten 5 døgn eller 9 døgn. Koeffisientene β_{20} og β_{40} estimeres, og som et alternativ beregnes en felles koeffisient β . Effekten av salting må ses i forhold til hva forurensningsnivået er når effekten er forsvunnet. Dermed angir $\beta_{20}(Salting20 - \theta^{salting})$ effekten av salting med $20g/m^2$ på log-skala, som går mot 0 etter som tid siden salting øker. Dette kan regnes om til prosentvis effekt på original skala som $100(1 - e^{\beta_{20}(Salting20 - \theta^{salting})})$. Umiddelbart (en time) etter salting er den prosentvise effekten $100(1 - e^{\beta_{20}(1 - \theta^{salting})})$. Effekten av salting med $40g/m^2$, eller en felles effekt av salting med begge konsentrasjoner, beregnes tilsvarende. Disse resultatene gjengis i kapittel 5.



Figur 12. Estimerte S -funksjoner for hver de tre forurensningskomponentene, basert på modeller med tiltak.

5 Konklusjon - Effekt av tiltak

Vasking og feiing har ingen tydelig effekt. Salting har derimot en klart gunstig effekt. Den er størst rett etter salting, og minker deretter. Det er usikkert hvor lang tid etter salting effekten varer, men analysen tyder på den varer 5-9 døgn. Tabell 2 angir de estimerte effektene av salting umiddelbart etter salting, relativt til en situasjon uten tiltak. Figur 13 viser i tillegg hvordan effekten av salting avtar fra saltetidspunktet fram til all effekt er borte. Den estimerte effekten av salting avhenger av om maksimal effektvarighet $\theta^{salting}$ antas å være 5 eller 9 døgn, men usikkerheten knytta til estimering av $\theta^{salting}$ er ikke tatt hensyn til her.

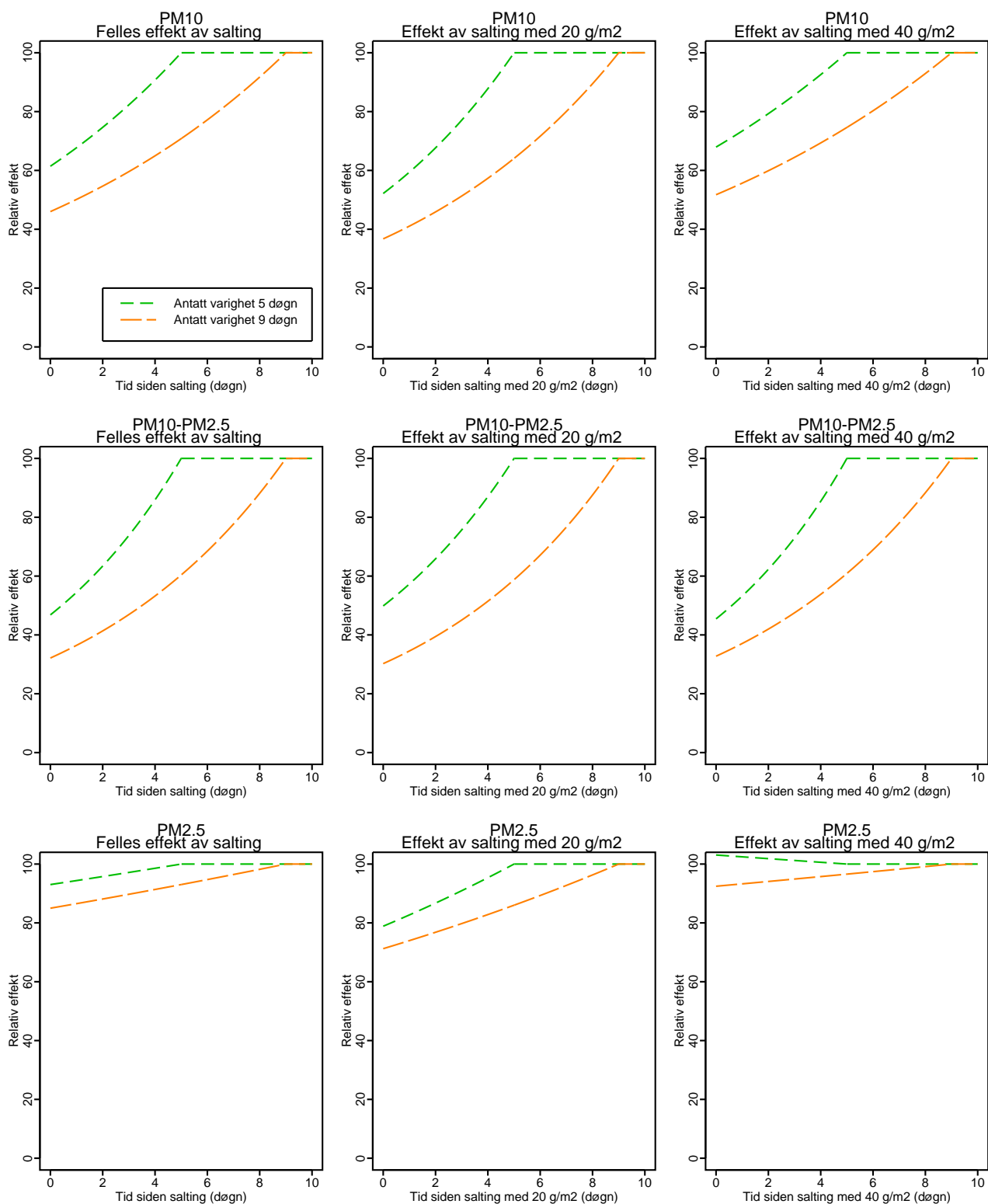
Det er en tendens til at effekten av salting med $20g/m^2$ har større effekt enn med den dobbelte konsentrasjonen, og forskjellen er signifikant (ikke vist her). Det er kanskje overraskende, og man skal være forsiktig med å trekke den konklusjon at for mye salt gir mindre effekt, men det virker i alle fall som om en konsentrasjon på $20g/m^2$ er tilstrekkelig. Det synes dermed å være rimelig å anta at effekten er den samme for begge konsentrasjoner, og å fokusere på den estimerte felles effekten.

Effekten av salting er størst for konsentrasjonen av grovfraksjonen PM_{10} – $PM_{2.5}$, med estimert effekt på omkring 60% (54% eller 68% avhengig av antakelse om varighet av effekten). Effekten er noe mindre for konsentrasjon av PM_{10} , omkring 45% (38% eller 53% avhengig av antakelse om varighet av effekten). Når det gjelder $PM_{2.5}$ -nivået er effekten atskillig mindre, omkring 10%, og bare på grensa til å være statistisk signifikant.

Om man studerer dataene for hver av de 43 tiltakene med salting, ser det ut som om salting noen ganger kan ha stor effekt og noen ganger mindre. I Vedlegg D er det undersøkt om andre faktorer, slik som nivå på PM -komponentene eller de meteorologiske variablene, kan forklare hvorfor effekten av salting varierer fra gang til gang. Resultatene er imidlertid ikke klare eller entydige nok til å til å kunne trekke noen sterke konklusjoner om dette.

Forurensningskomponent	Antatt varighet av effekt	Felles effekt $20g/m^2$ og $40g/m^2$		Effekt $20g/m^2$		Effekt $40g/m^2$	
		estimat	95% konf.int.	estimat	95% konf.int.	estimat	95% konf.int.
PM_{10}	5	38	(35 , 41)	48	(45 , 50)	32	(27 , 36)
$PM_{2.5}$	5	7	(2 , 11)	21	(17 , 25)	-3	(-9 , 3)
$PM_{10} - PM_{2.5}$	5	53	(49 , 57)	50	(45 , 55)	54	(49 , 59)
PM_{10}	9	54	(52 , 56)	63	(61 , 65)	48	(45 , 51)
$PM_{2.5}$	9	15	(11 , 19)	29	(25 , 32)	8	(2 , 12)
$PM_{10} - PM_{2.5}$	9	68	(65 , 70)	70	(67 , 72)	67	(64 , 70)

Tabell 2. Estimert effekt i av salting for antatt varighet 5 og 9 døgn, oppgitt som effekt i % med 95%-konfidensintervall i parentes.



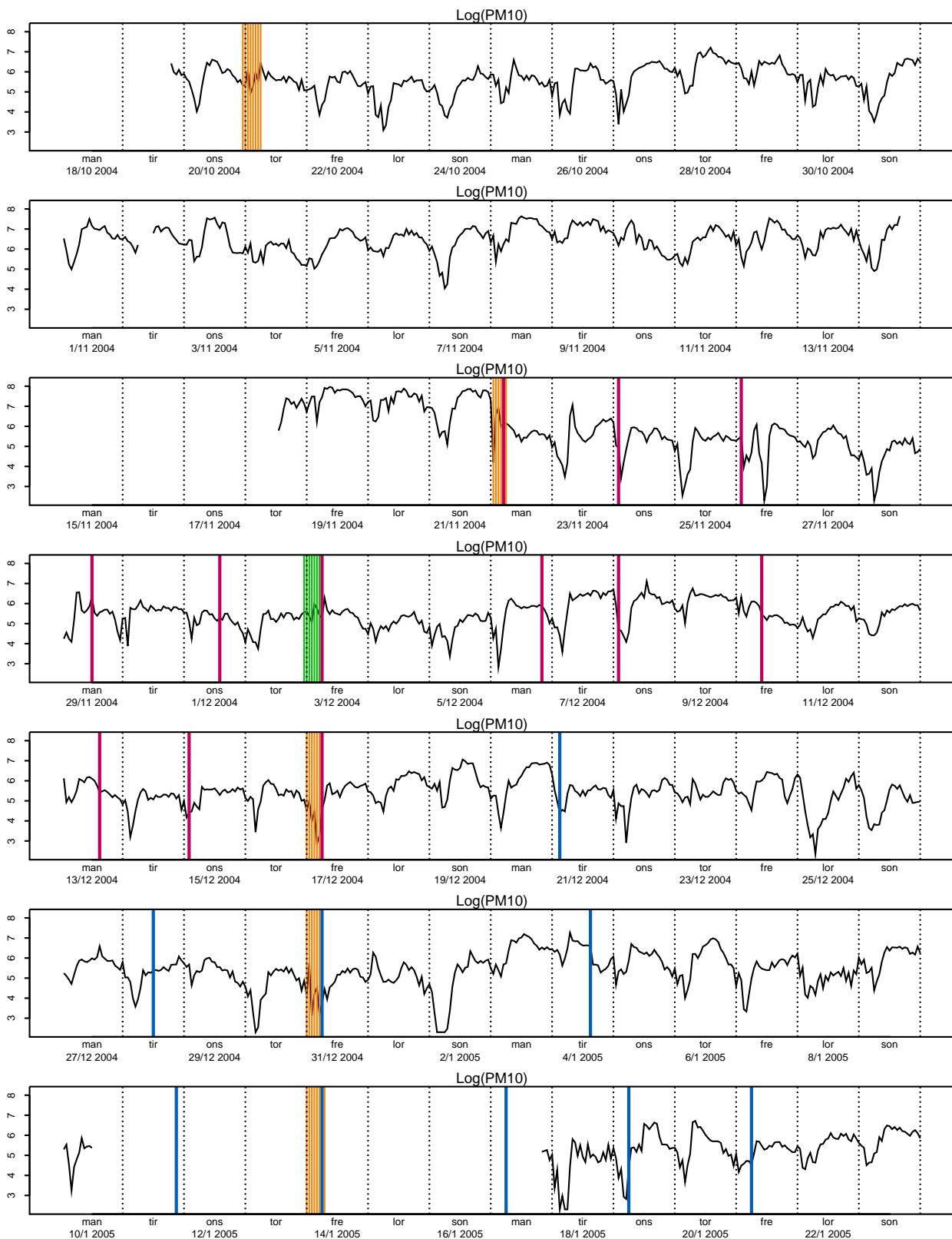
Figur 13. Estimert felles effekt av salting med antatt 5 eller 9 dagers varighet av effekten.

Referanser

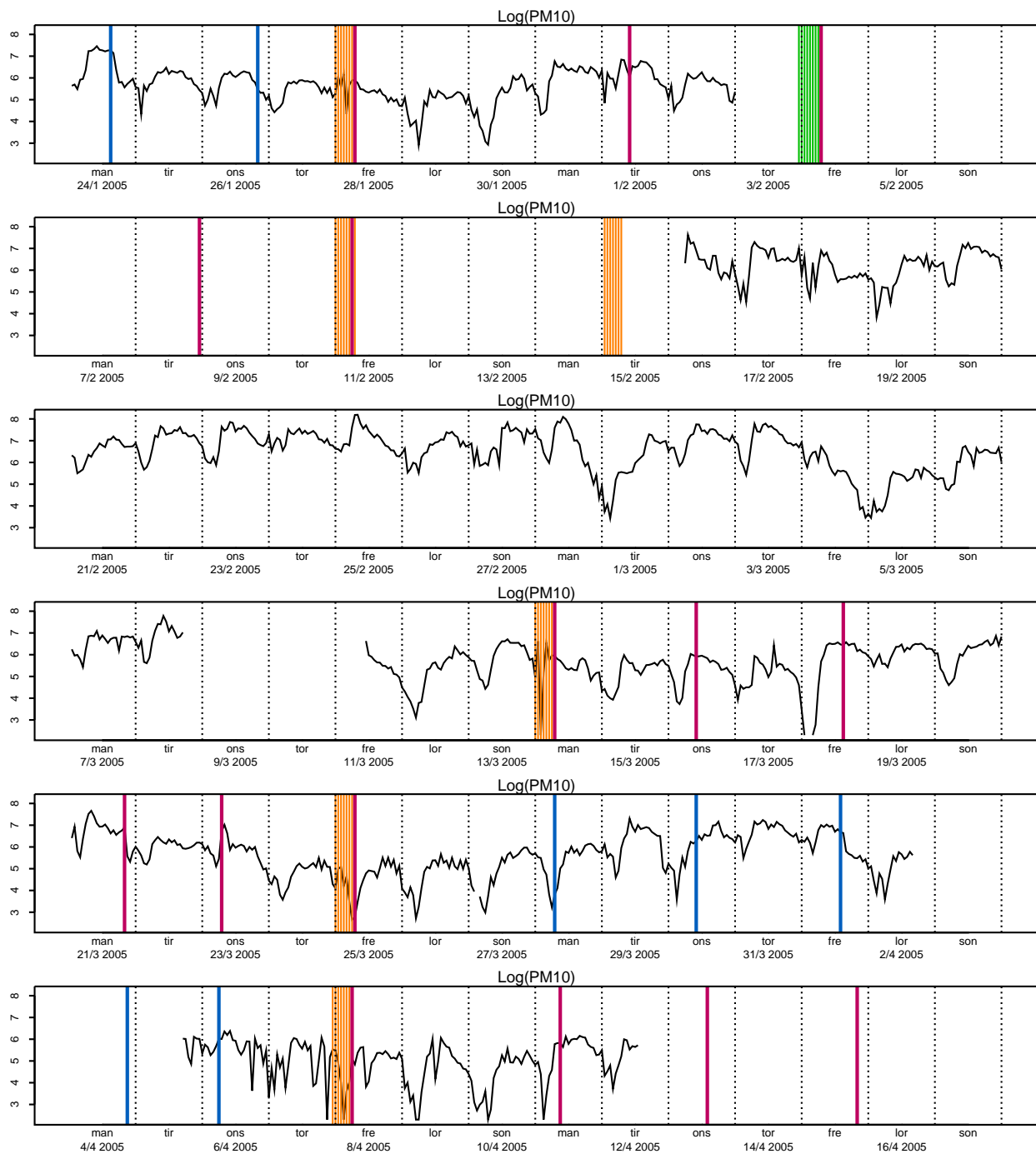
Aldrin, M. (2004). Feiing og salting i Strømsås-tunnelen mars 2004 - innledende analyse. NR-note SAMBA/27/04, Norsk Regnesentral.

Aldrin, M. and Hobæk Haff, I. (2005). Generalised additive modelling of air pollution, traffic volume at meteorology. *Atmospheric Environment*, Vol. 29, pp. 2145-2155.

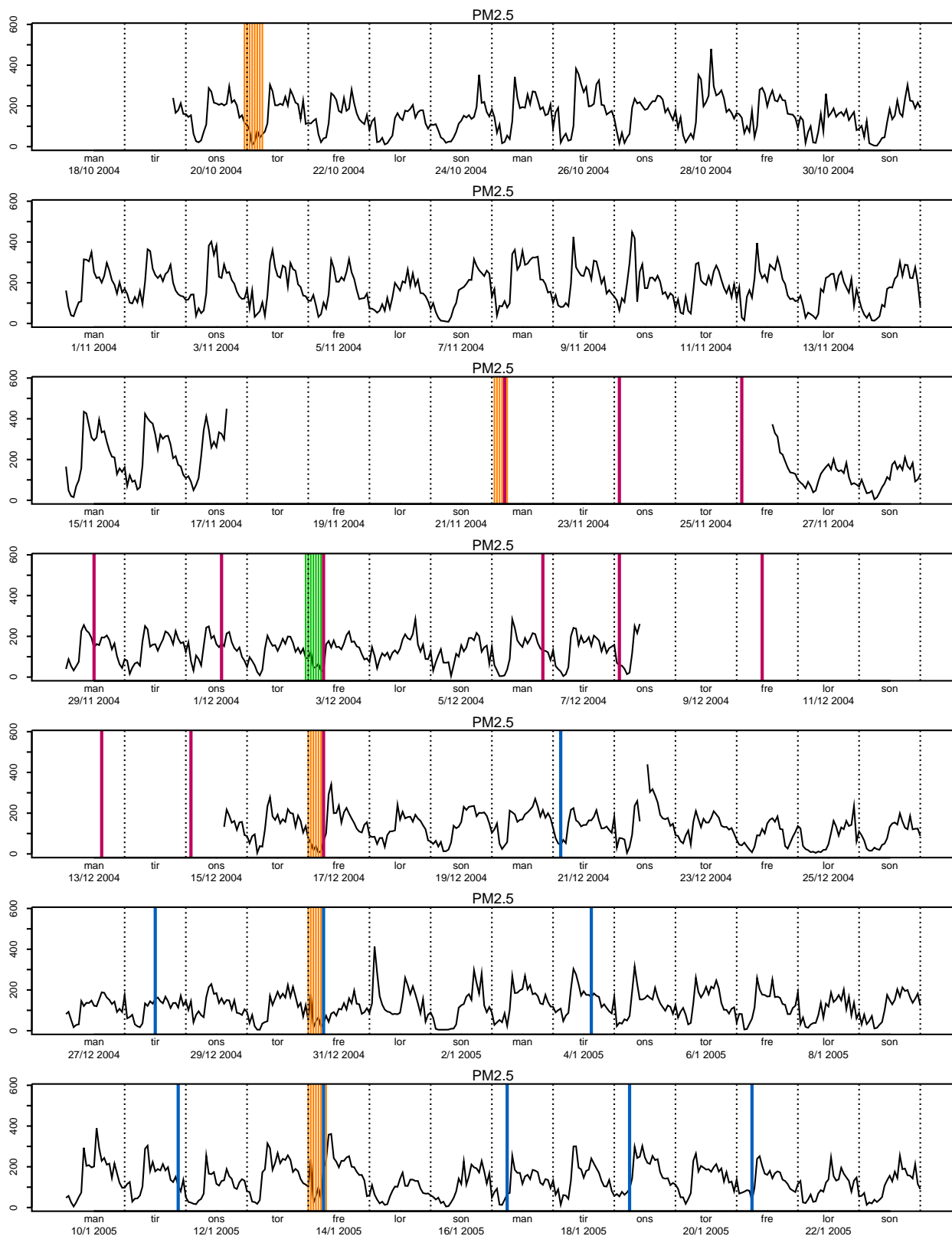
A Data - supplerende figurer



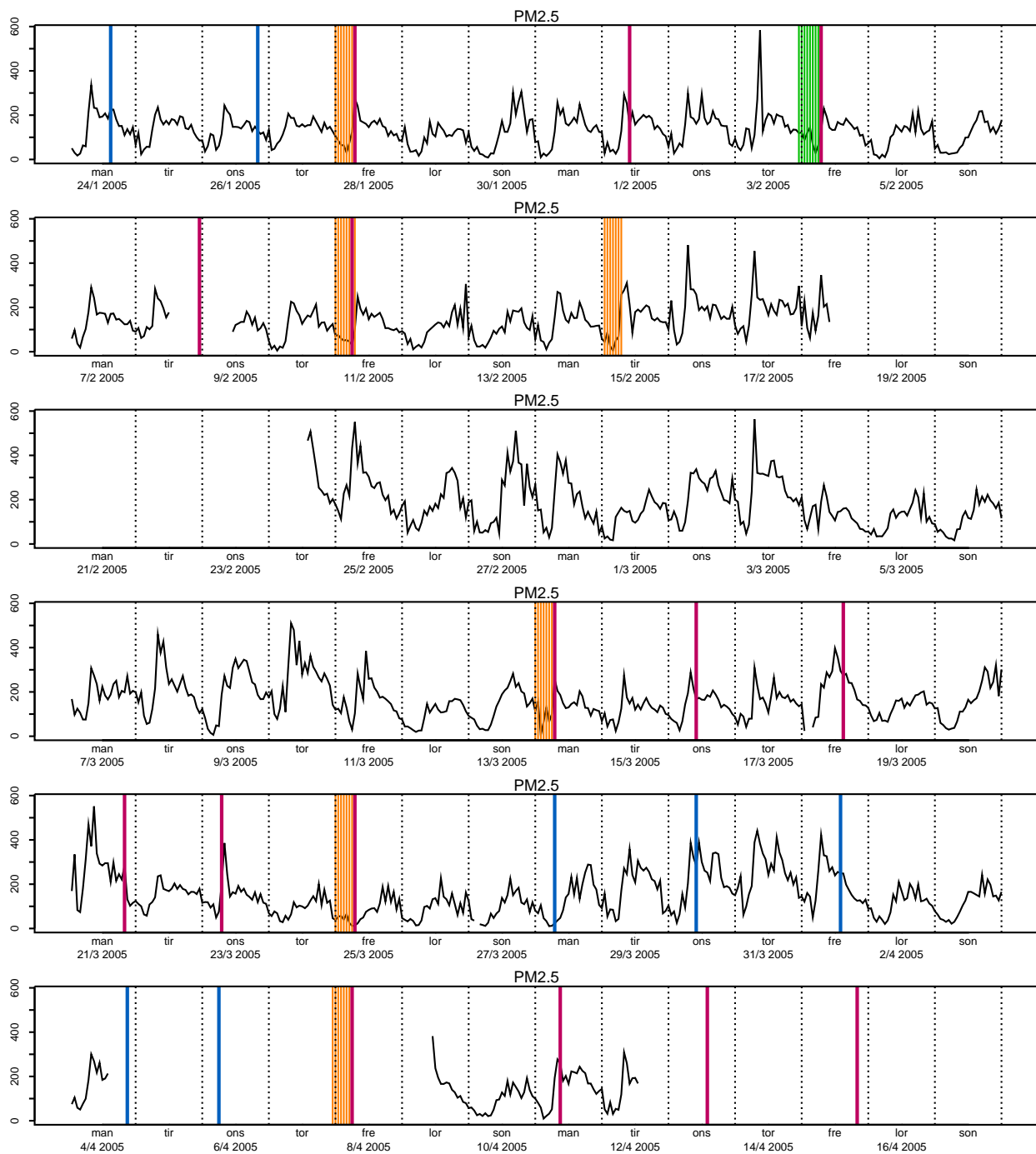
Figur A.1. $\log(PM_{10})$, Strømsås, uke 43 2004 - uke 3 2005.



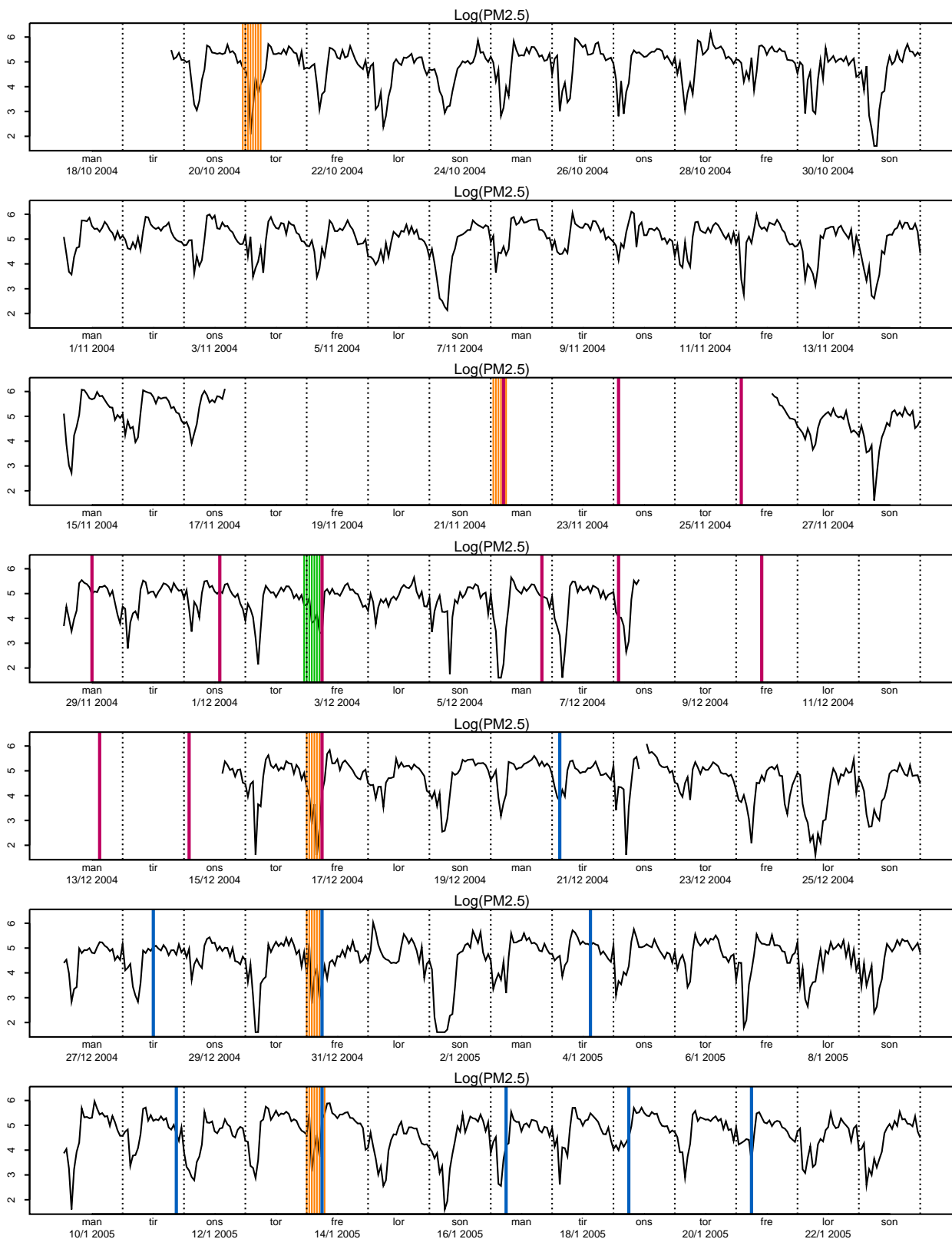
Figur A.2. $\log(PM_{10})$, Strømsås, uke 4 2005 - uke 15 2005.



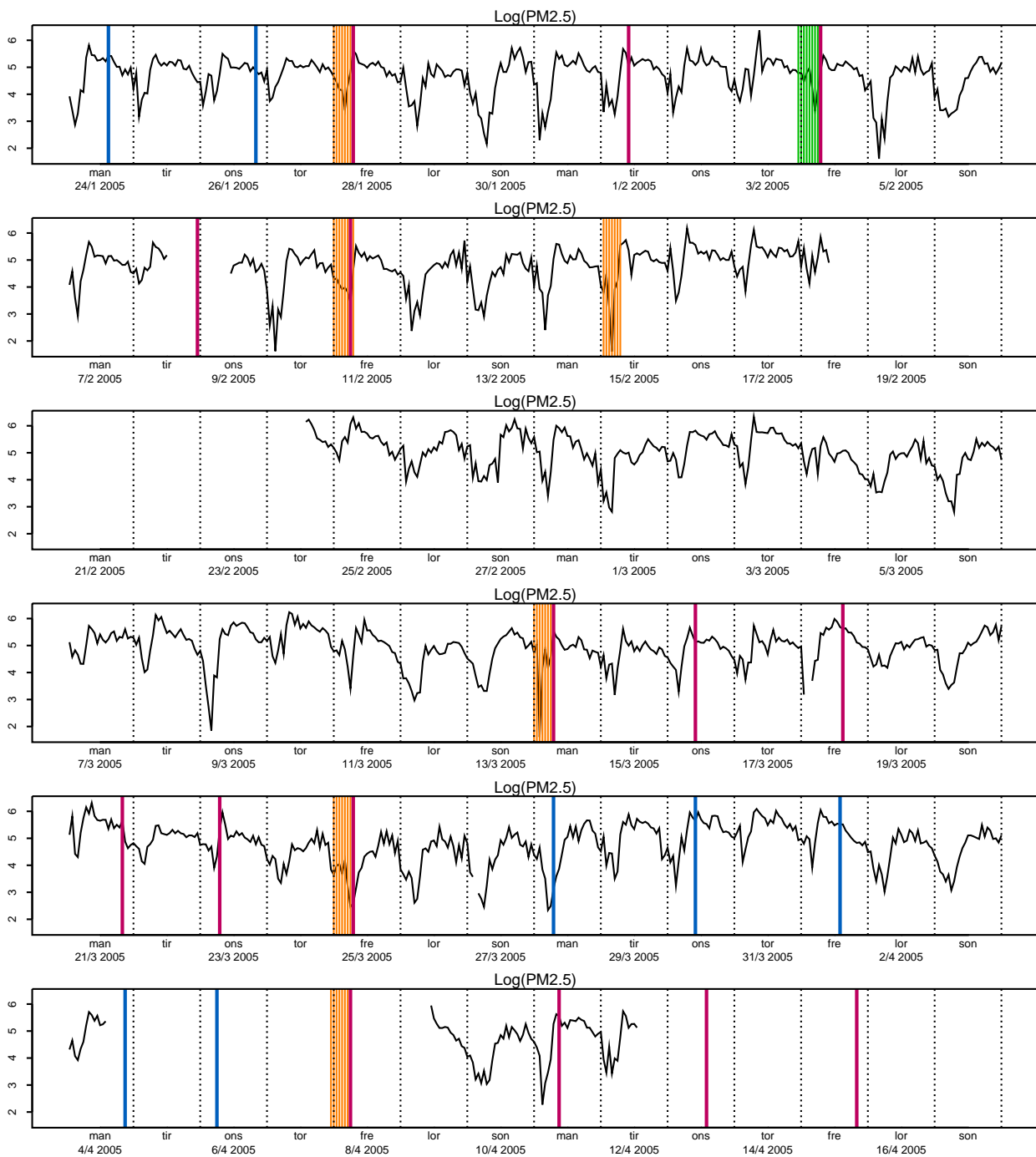
Figur A.3. $PM_{2.5}$, Strømsås, uke 43 2004 - uke 3 2005.



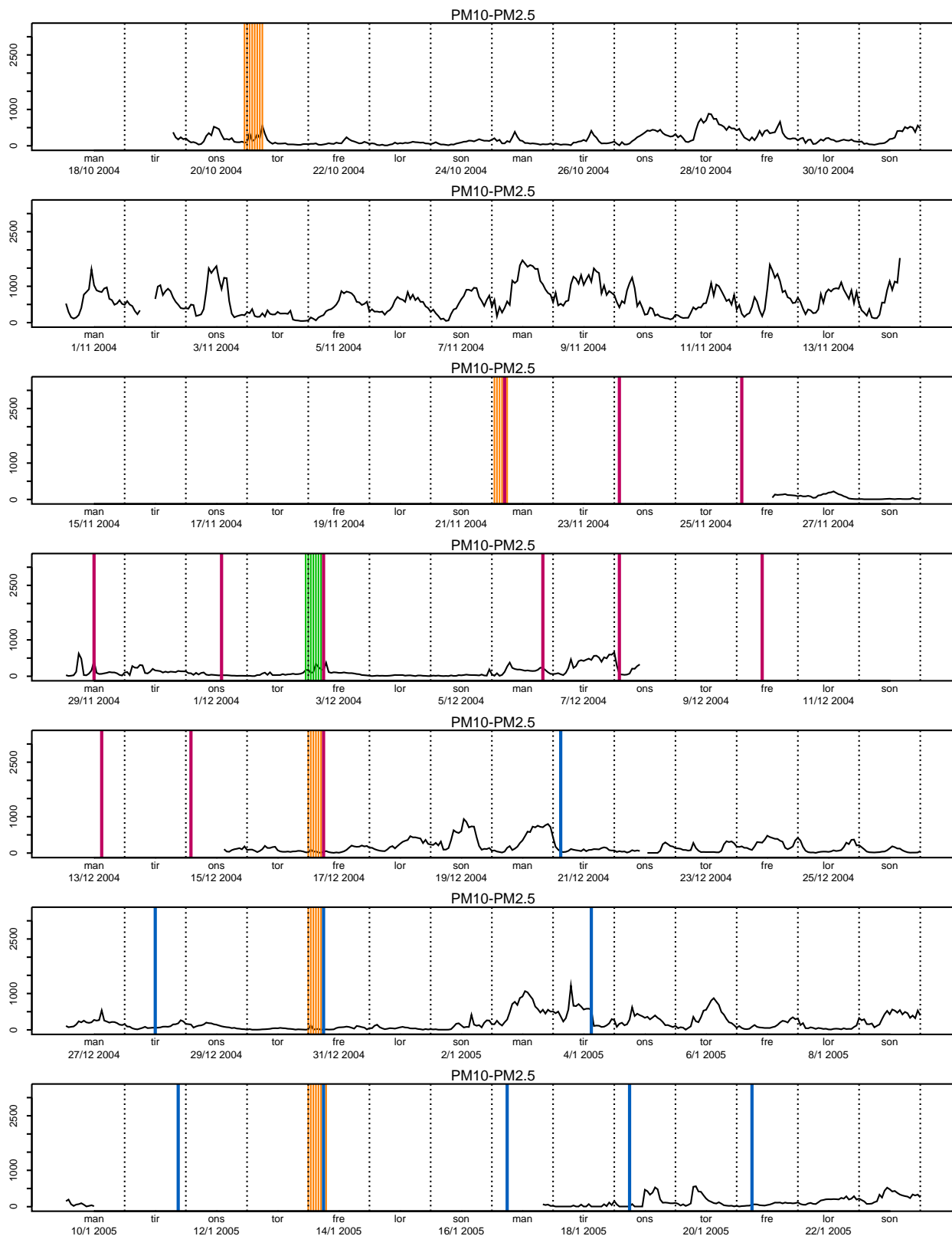
Figur A.4. $PM_{2.5}$, Strømsås, uke 4 2005 - uke 15 2005.



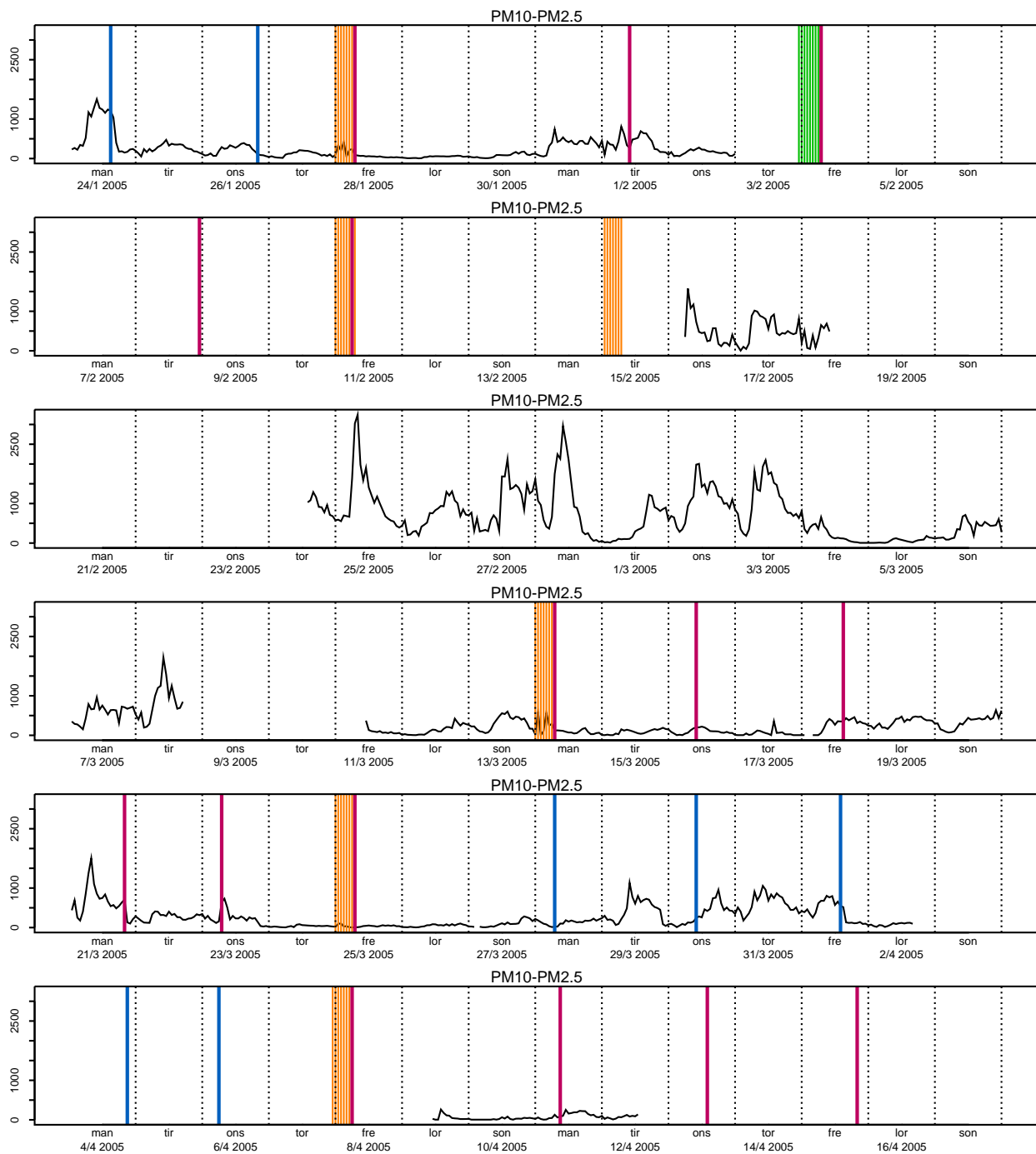
Figur A.5. $\log(PM_{2.5})$, Strømsås, uke 43 2004 - uke 3 2005.



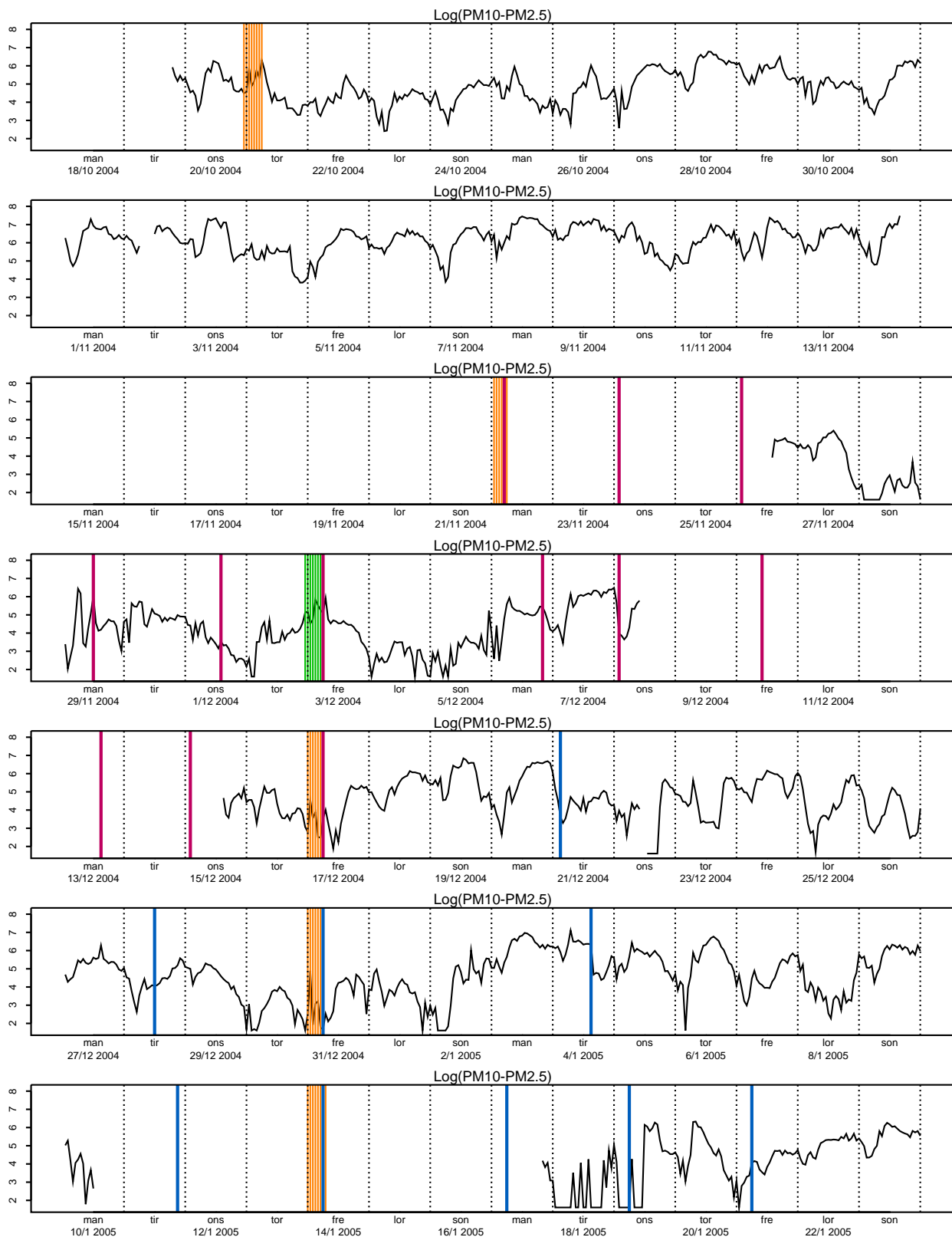
Figur A.6. $\log(PM_{2.5})$, Strømsås, uke 4 2005 - uke 15 2005.



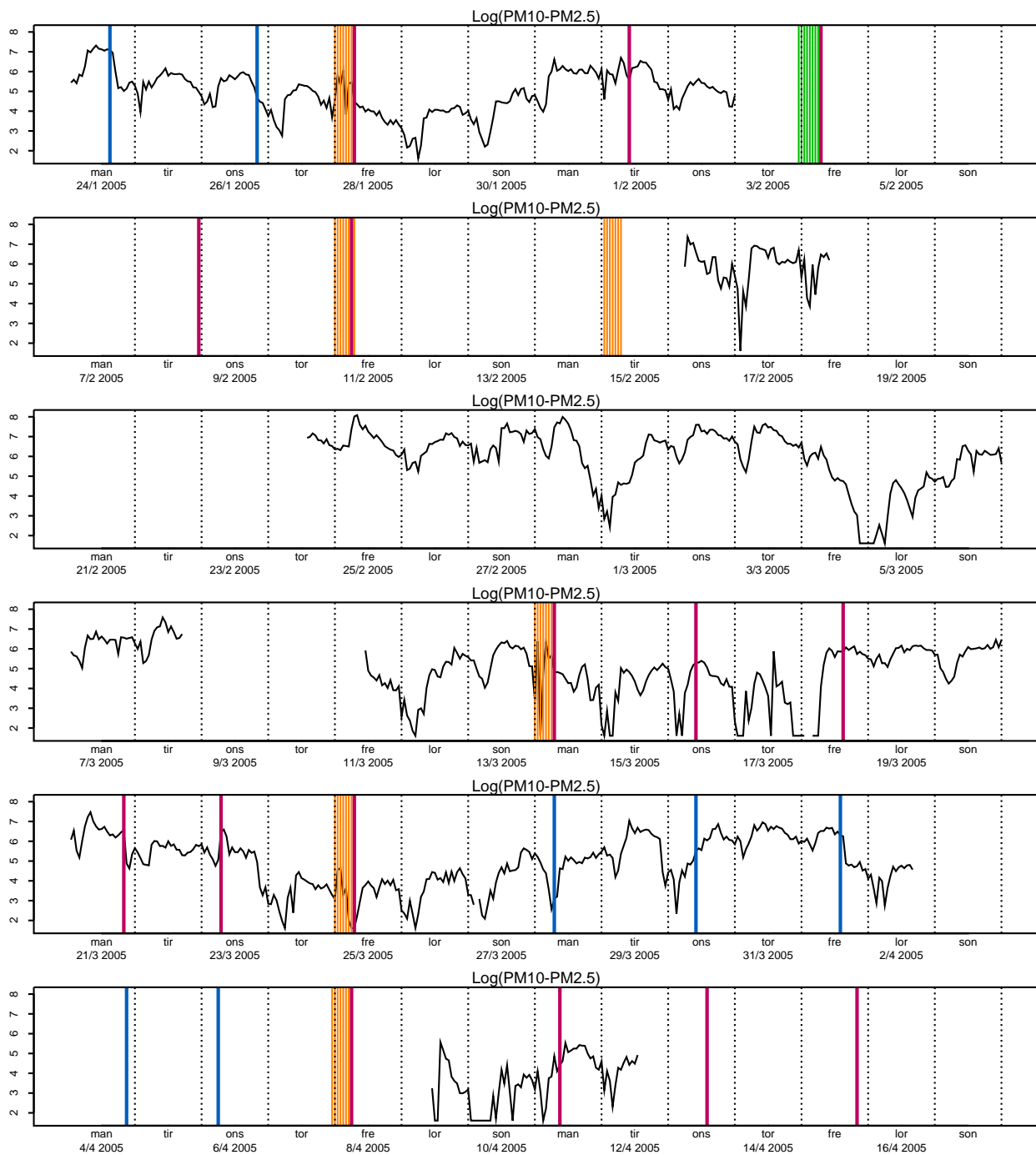
Figur A.7. $PM_{10} - PM_{2.5}$, Strømsås, uke 43 2004 - uke 3 2005.



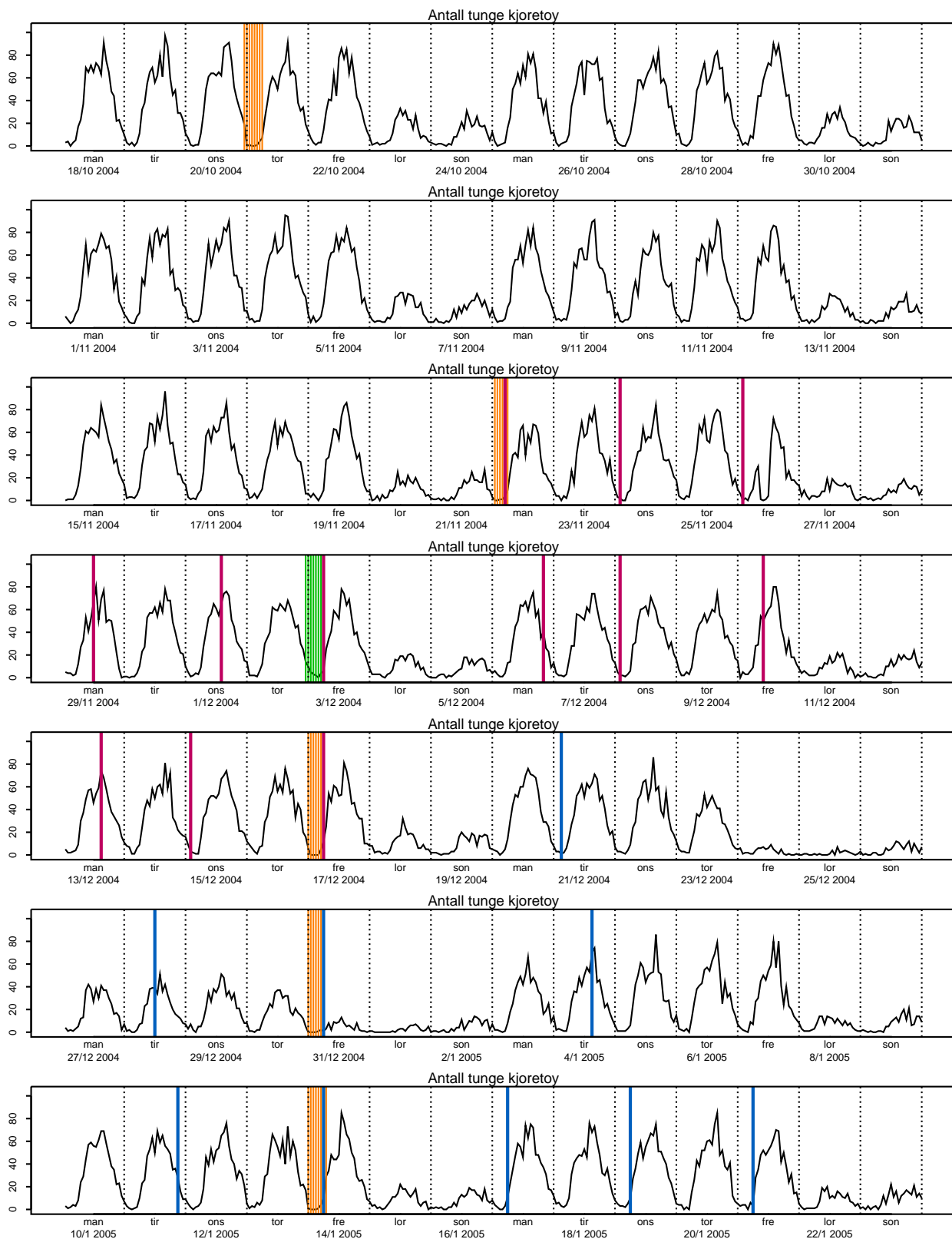
Figur A.8. $PM_{10} - PM_{2.5}$, Strømsås, uke 4 2005 - uke 15 2005.



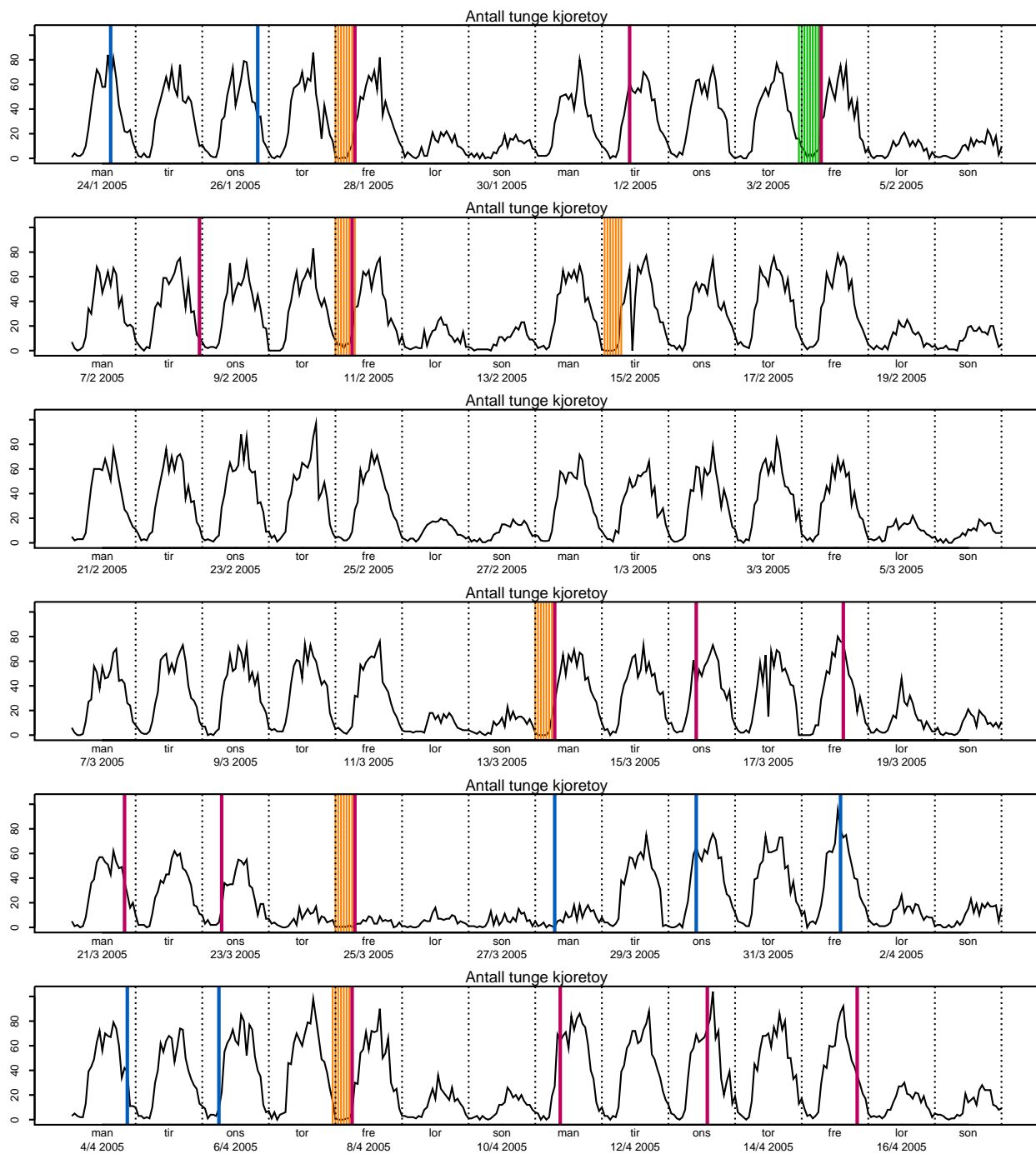
Figur A.9. $\log(PM_{10} - PM_{2.5})$, Strømsås, uke 43 2004 - uke 3 2005.



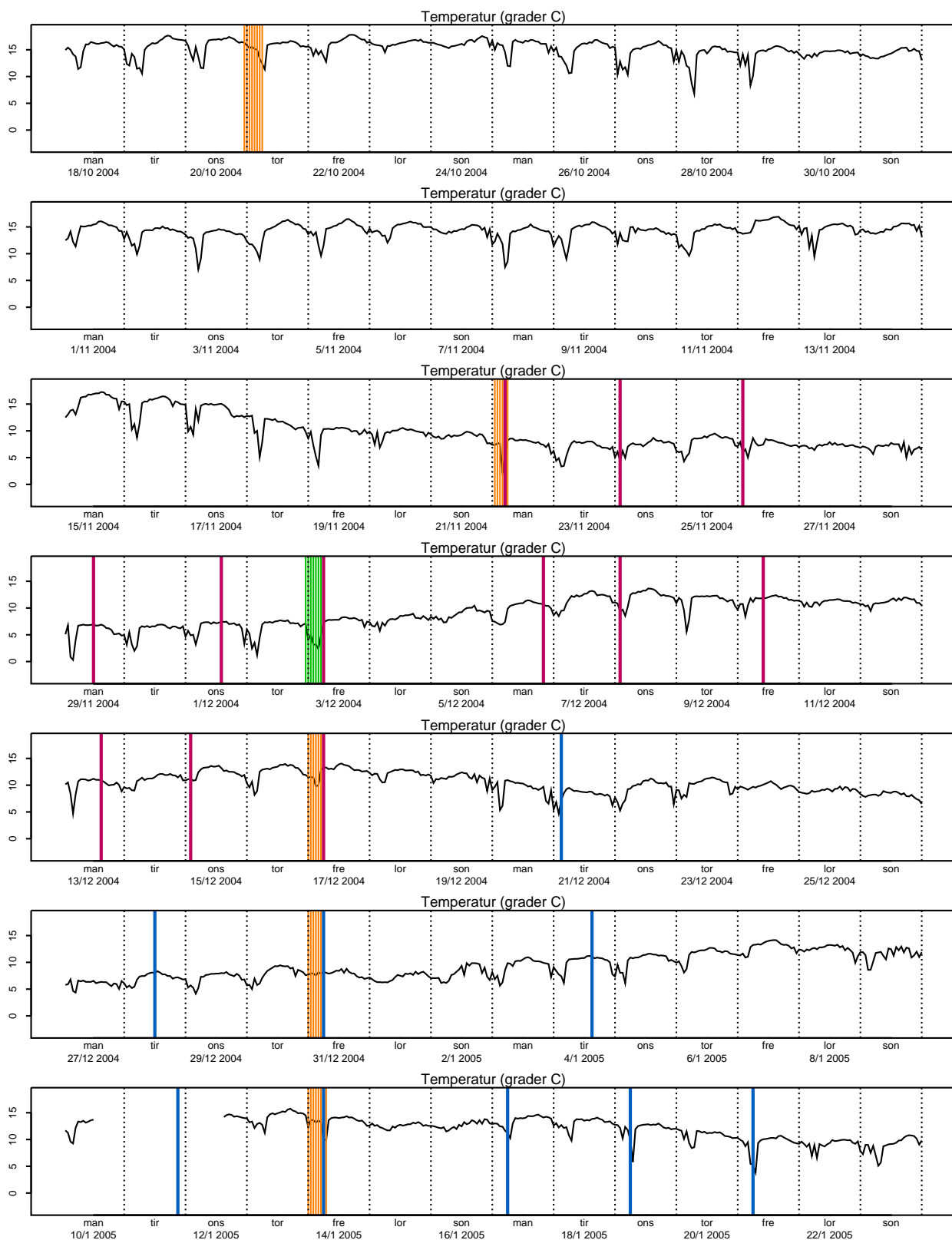
Figur A.10. $\log(PM_{10} - PM_{2.5})$, Strømsås, uke 4 2005 - uke 15 2005.



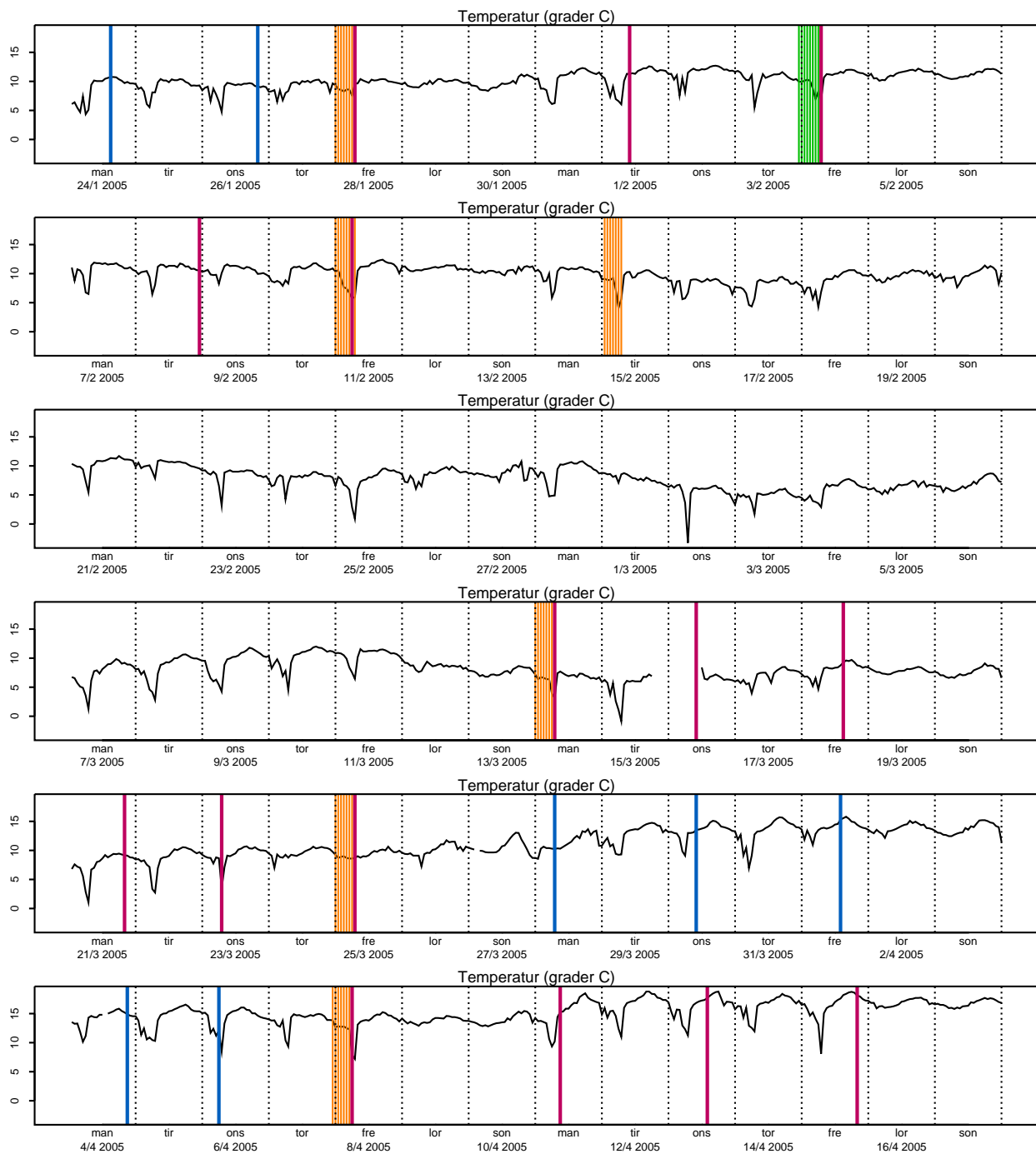
Figur A.11. Antall tunge kjøretøy, Strømsås, uke 43 2004 - uke 3 2005.



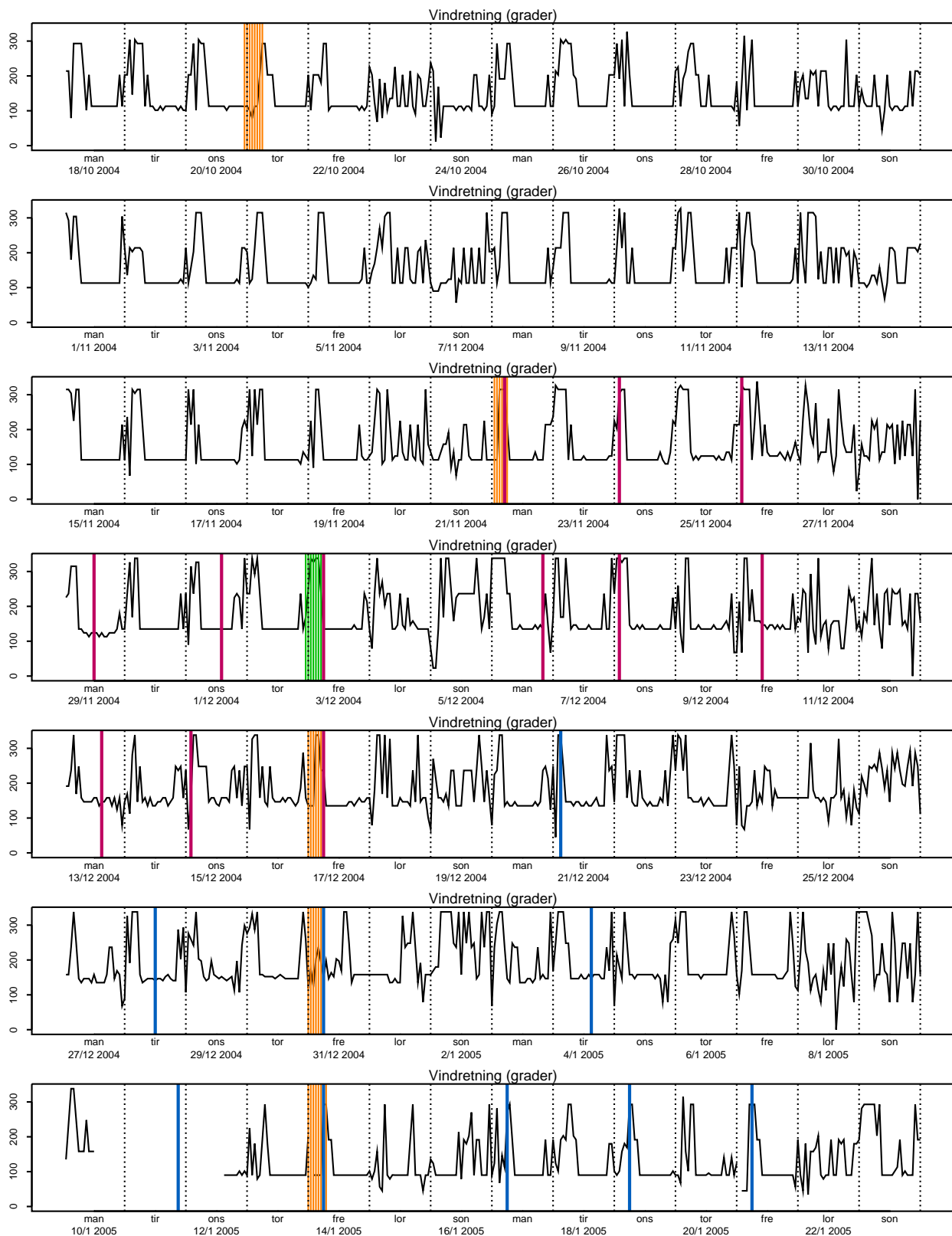
Figur A.12. Antall tunge kjøretøy, Strømsås, uke 4 2005 - uke 15 2005.



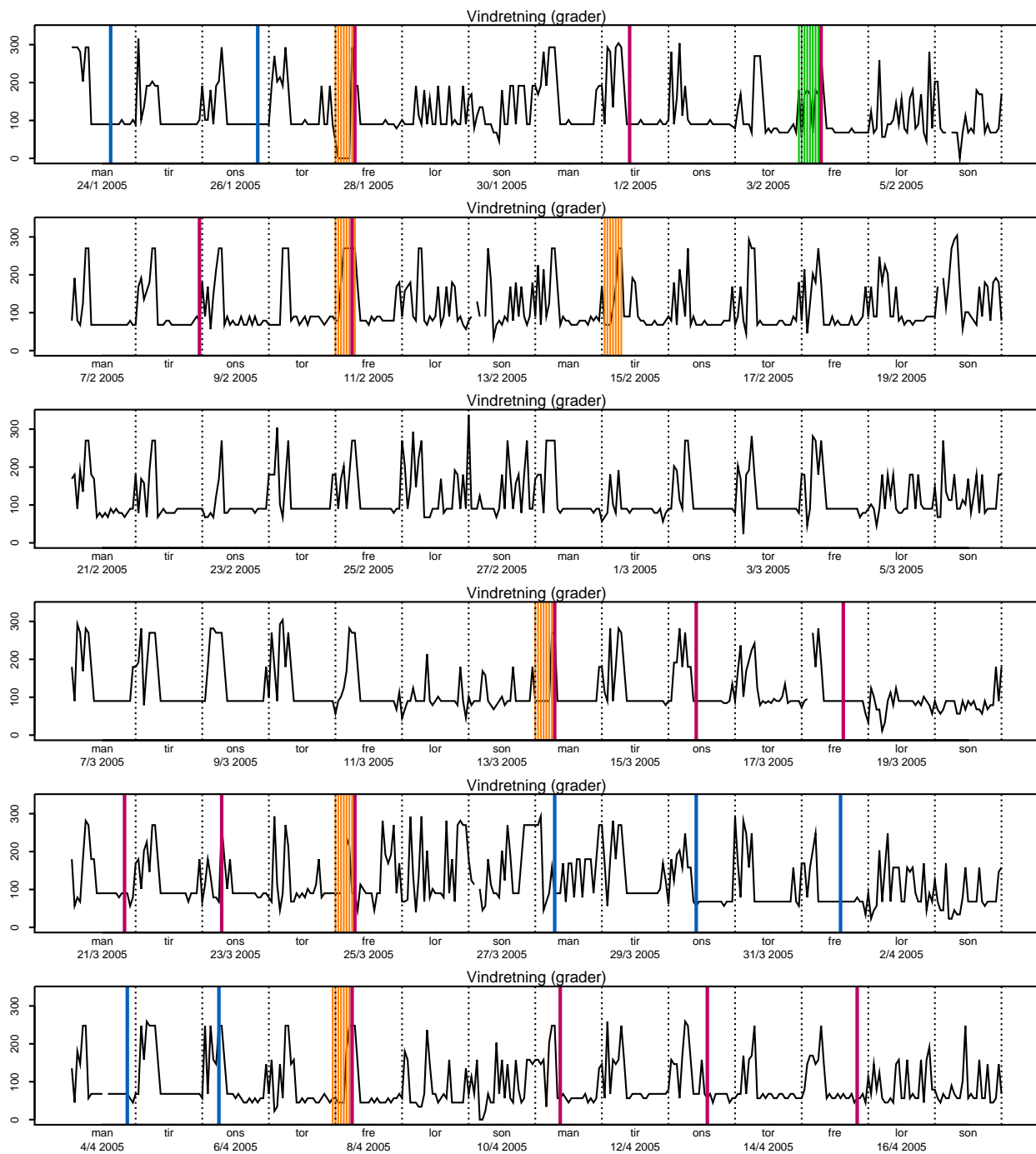
Figur A.13. Temperatur, Strømsås, uke 43 2004 - uke 3 2005.



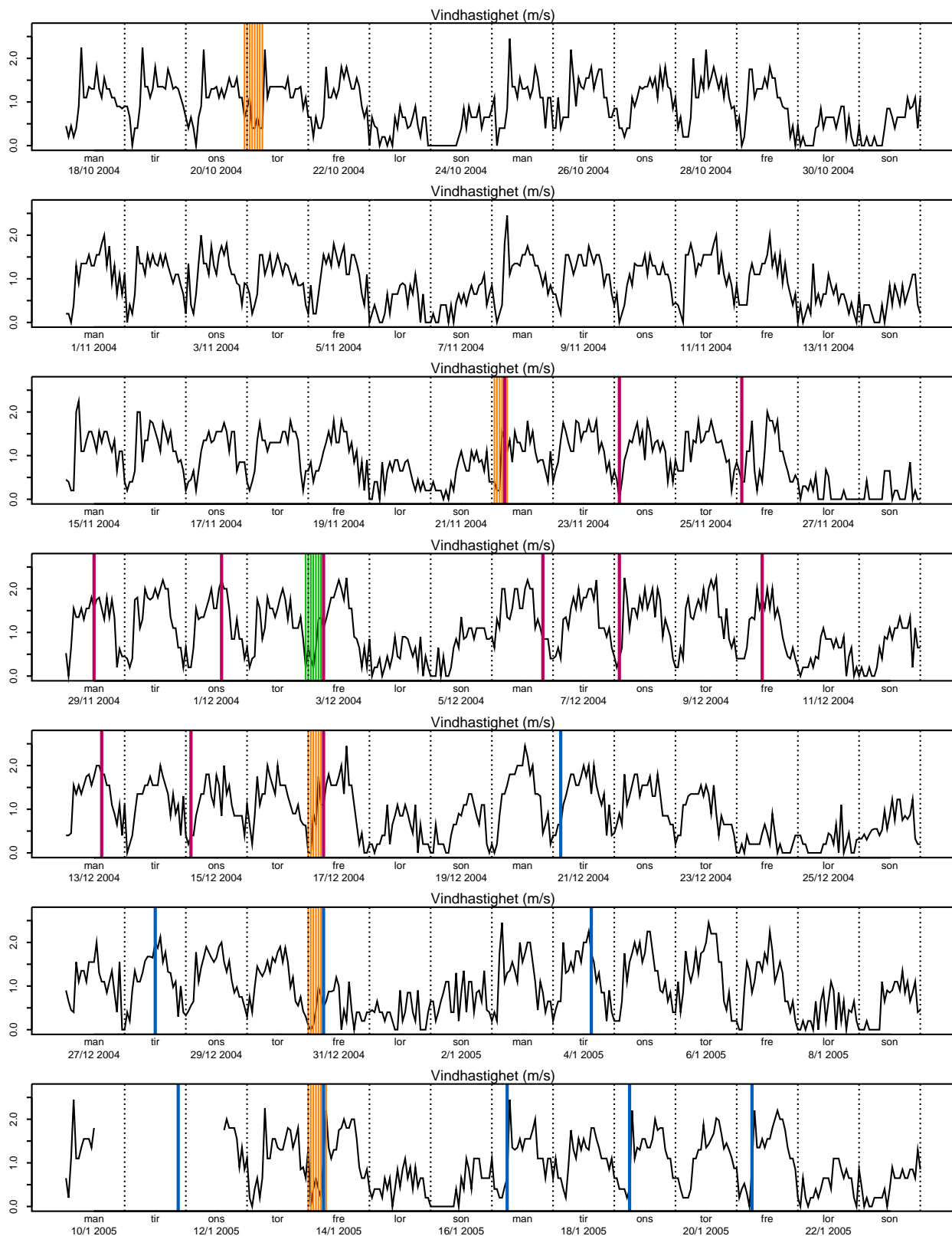
Figur A.14. Temperatur, Strømsås, uke 4 2005 - uke 15 2005.



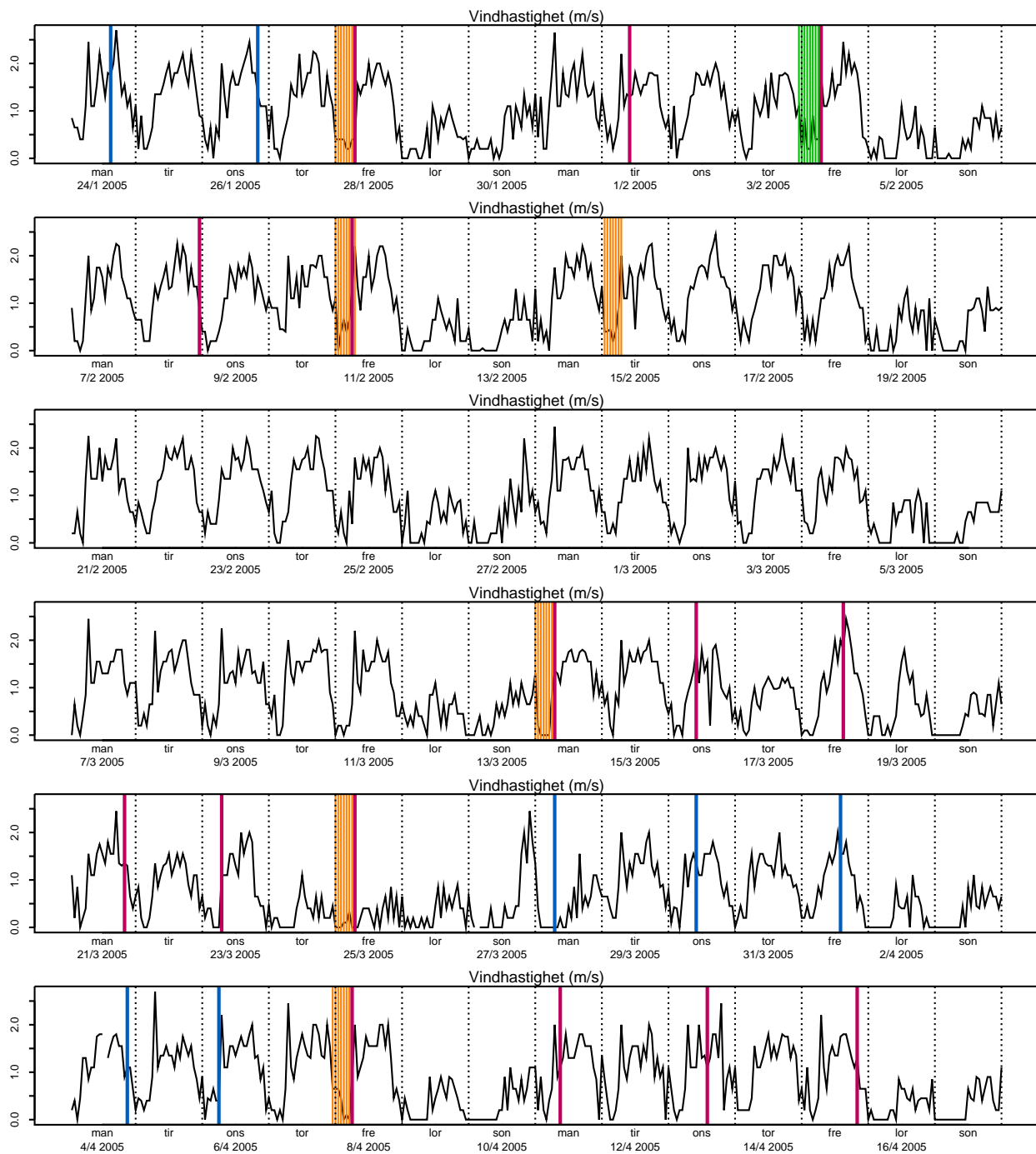
Figur A.15. Vindretning, Strømsås, uke 43 2004 - uke 3 2005.



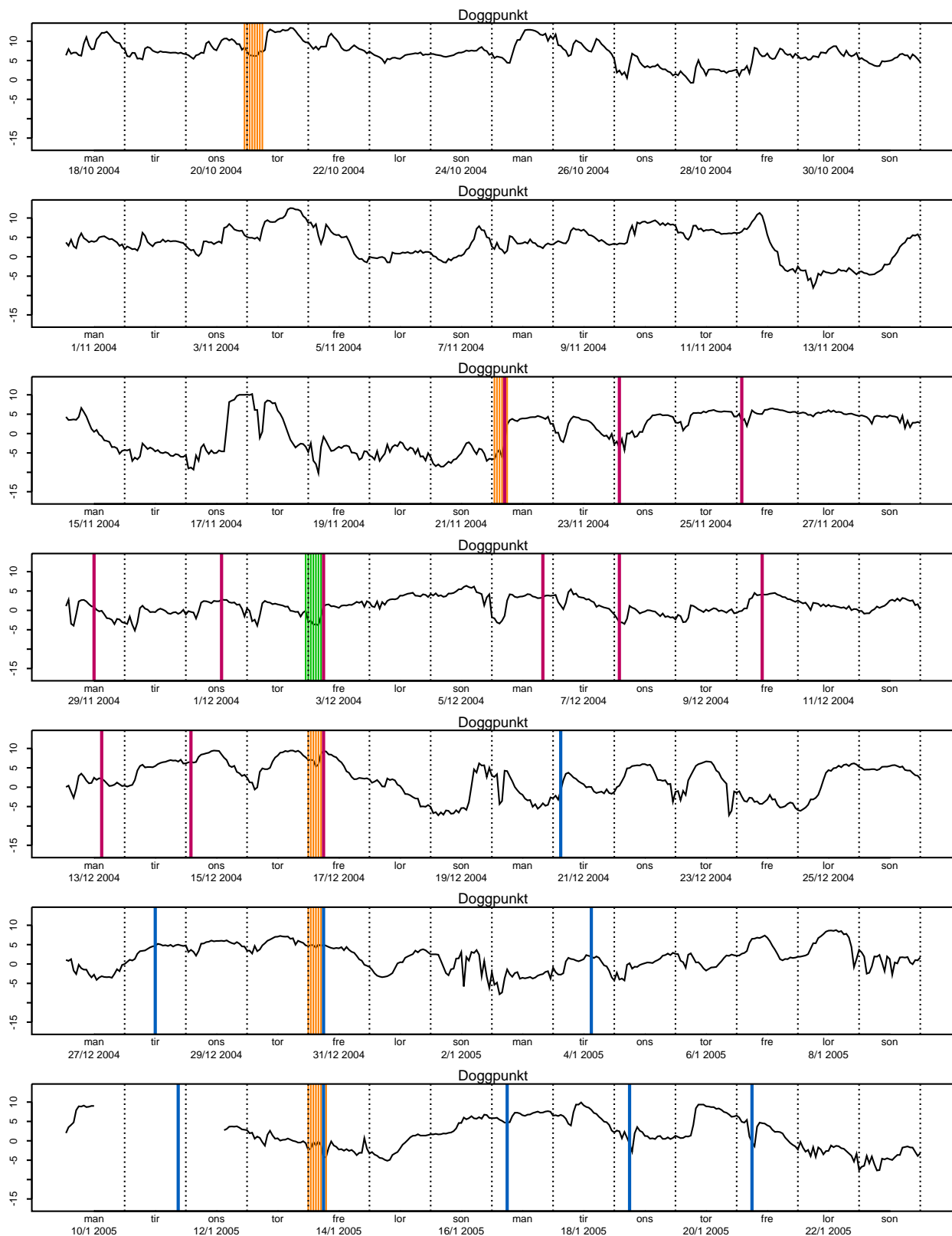
Figur A.16. Vindretning, Strømsås, uke 4 2005 - uke 15 2005.



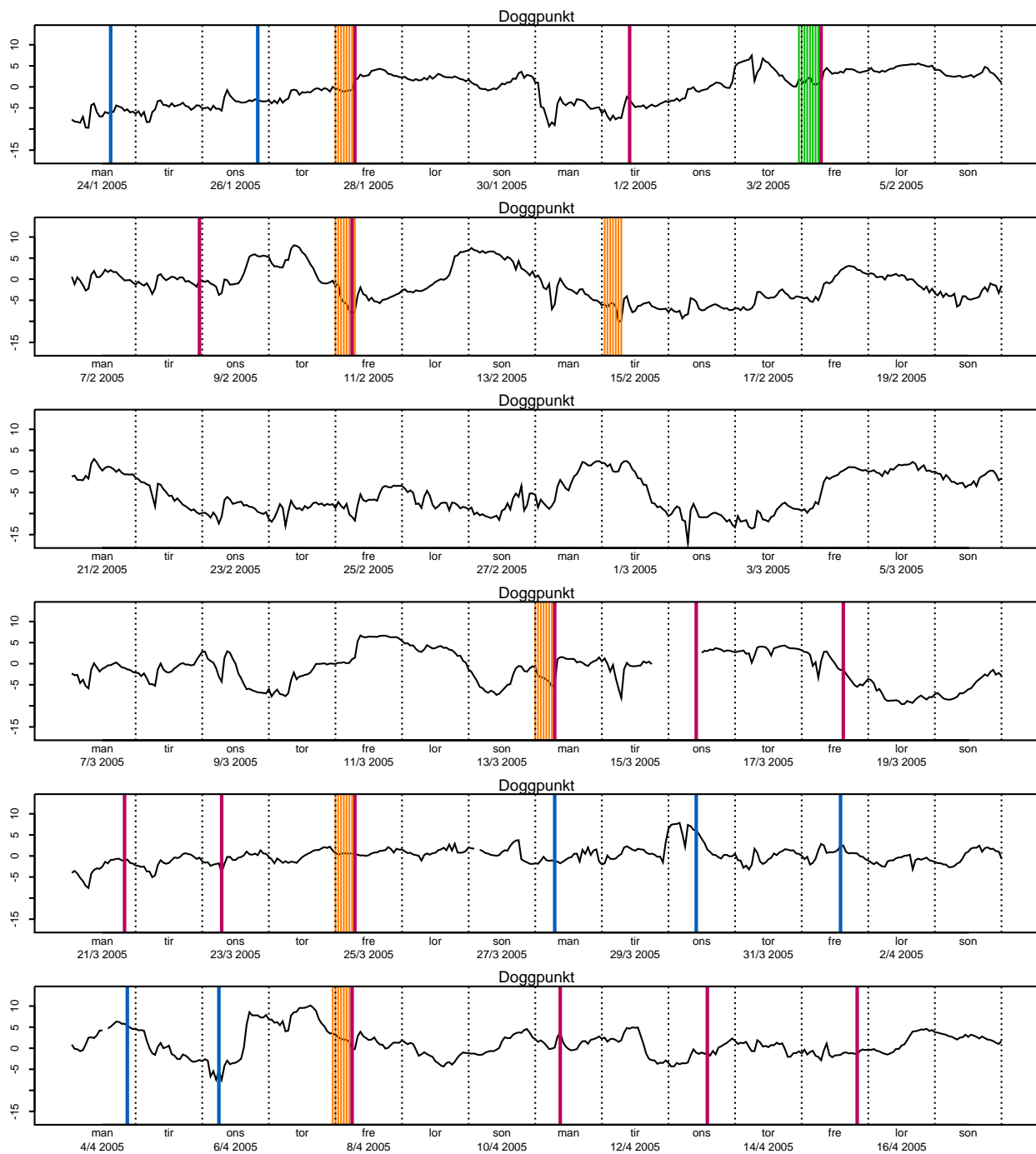
Figur A.17. Vindhastighet, Strømsås, uke 43 2004 - uke 3 2005.



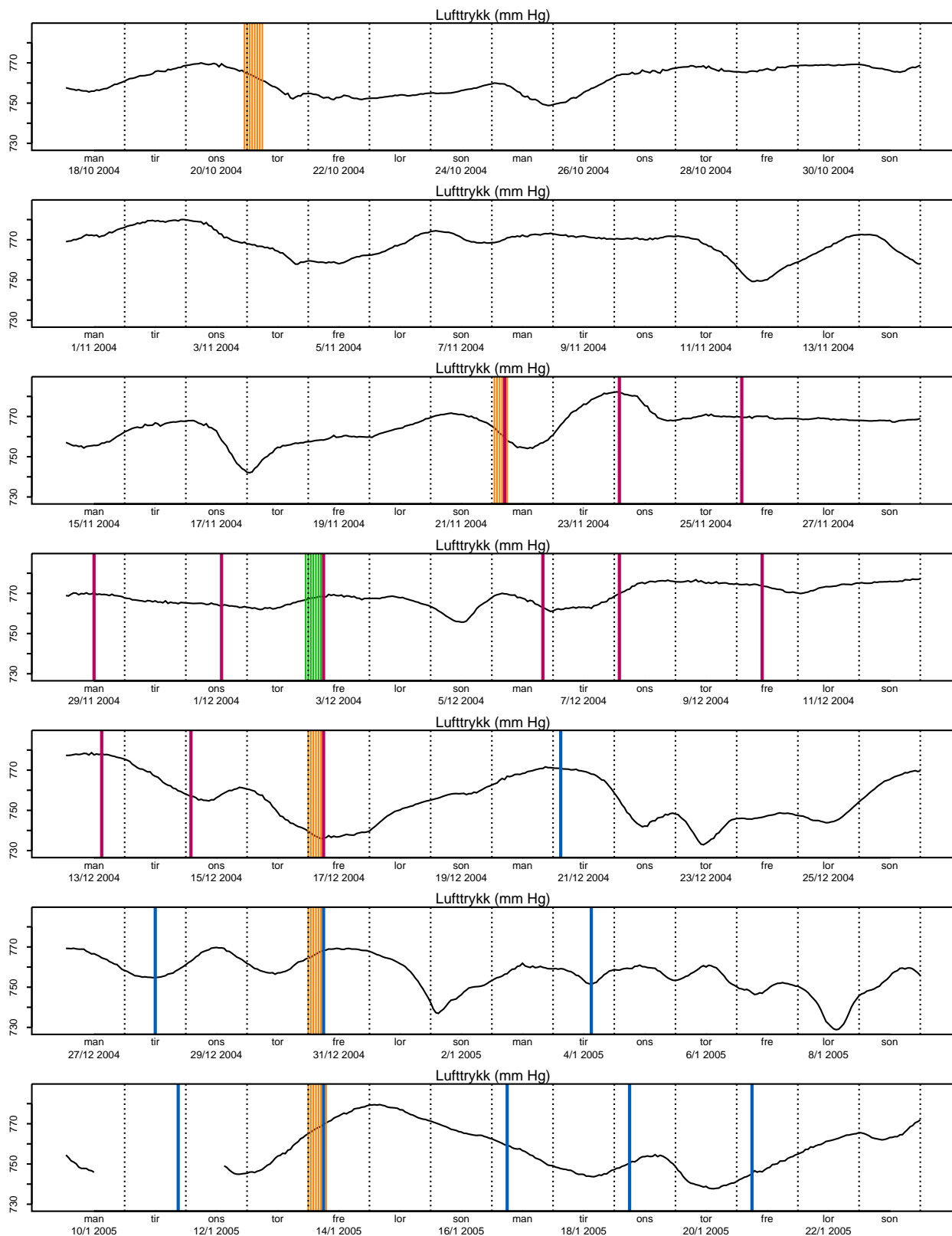
Figur A.18. Vindhastighet, Strømsås, uke 4 2005 - uke 15 2005.



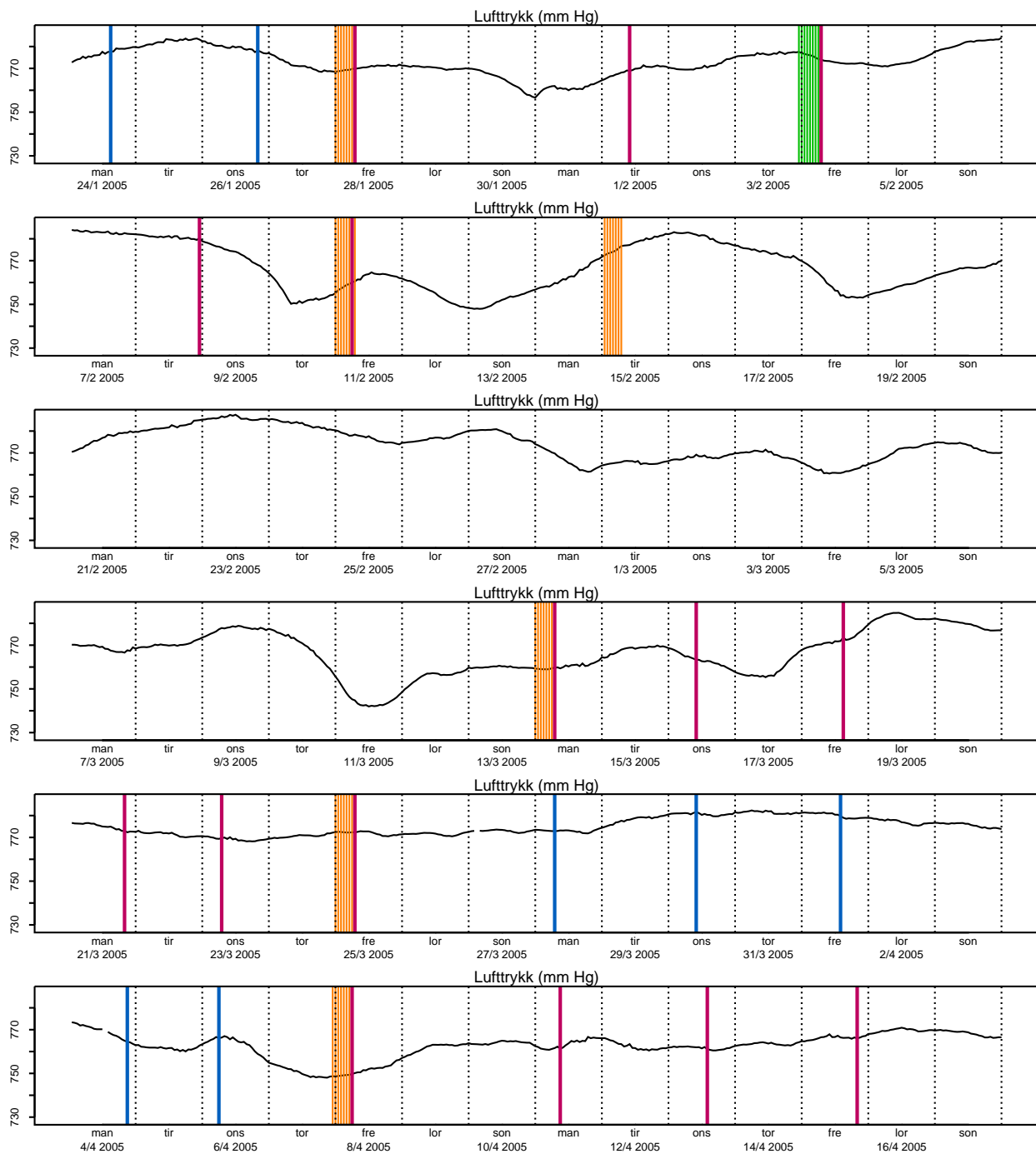
Figur A.19. Doggpunkt, Strømsås, uke 43 2004 - uke 3 2005.



Figur A.20. Doggpunkt, Strømsås, uke 4 2005 - uke 15 2005.

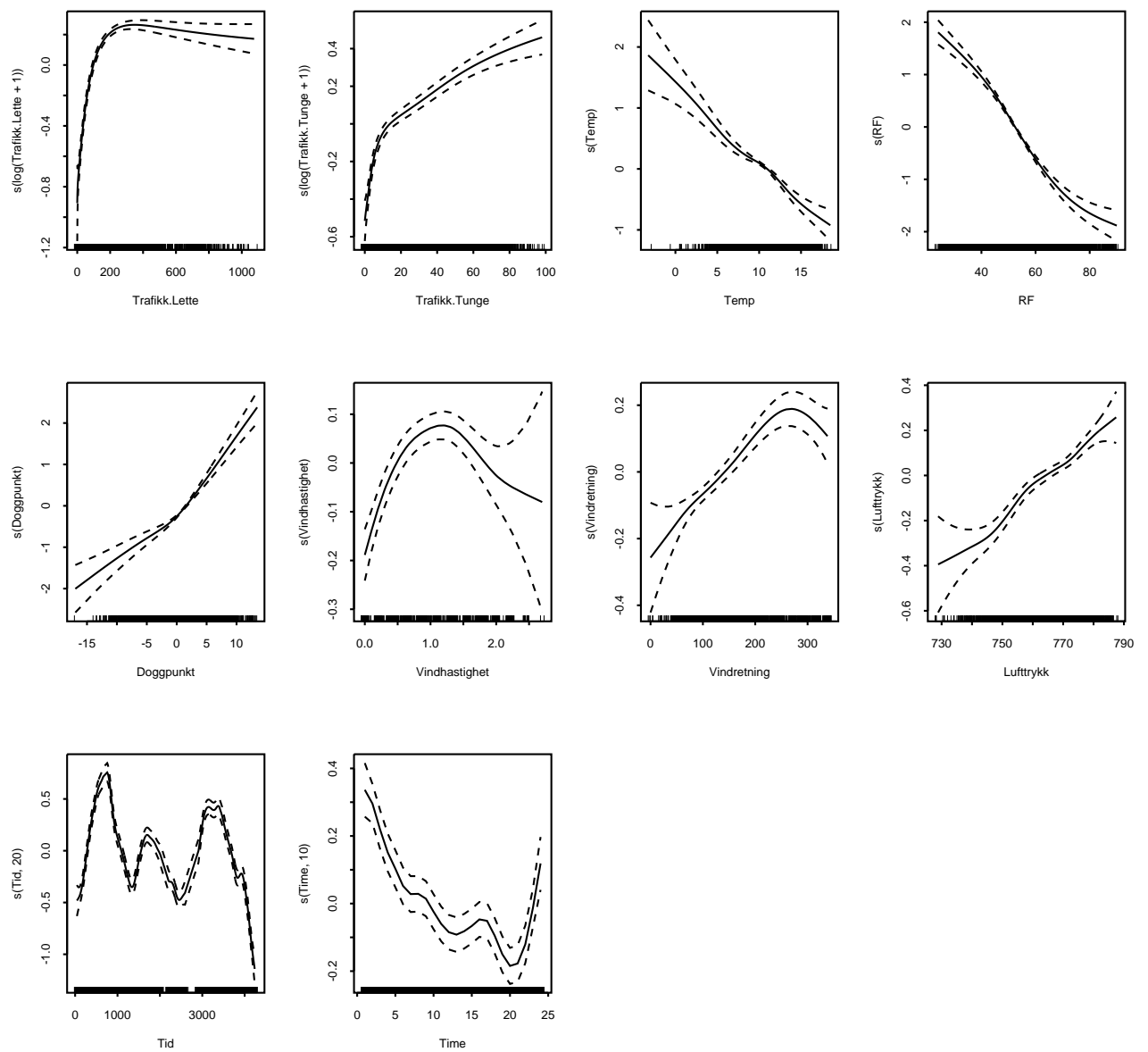


Figur A.21. Luftrykk, Strømsås, uke 43 2004 - uke 3 2005.

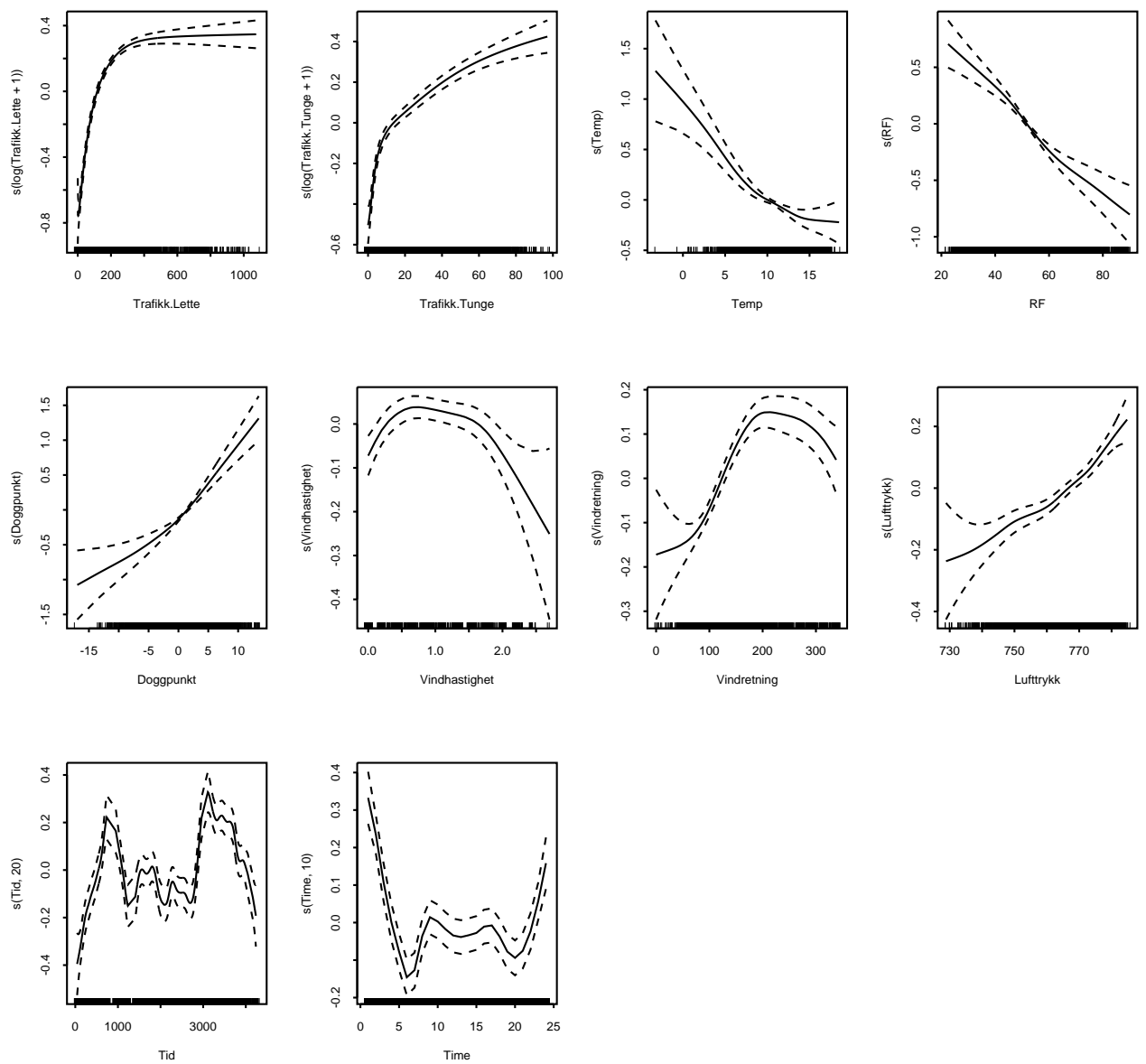


Figur A.22. Luftrykk, Strømsås, uke 4 2005 - uke 15 2005.

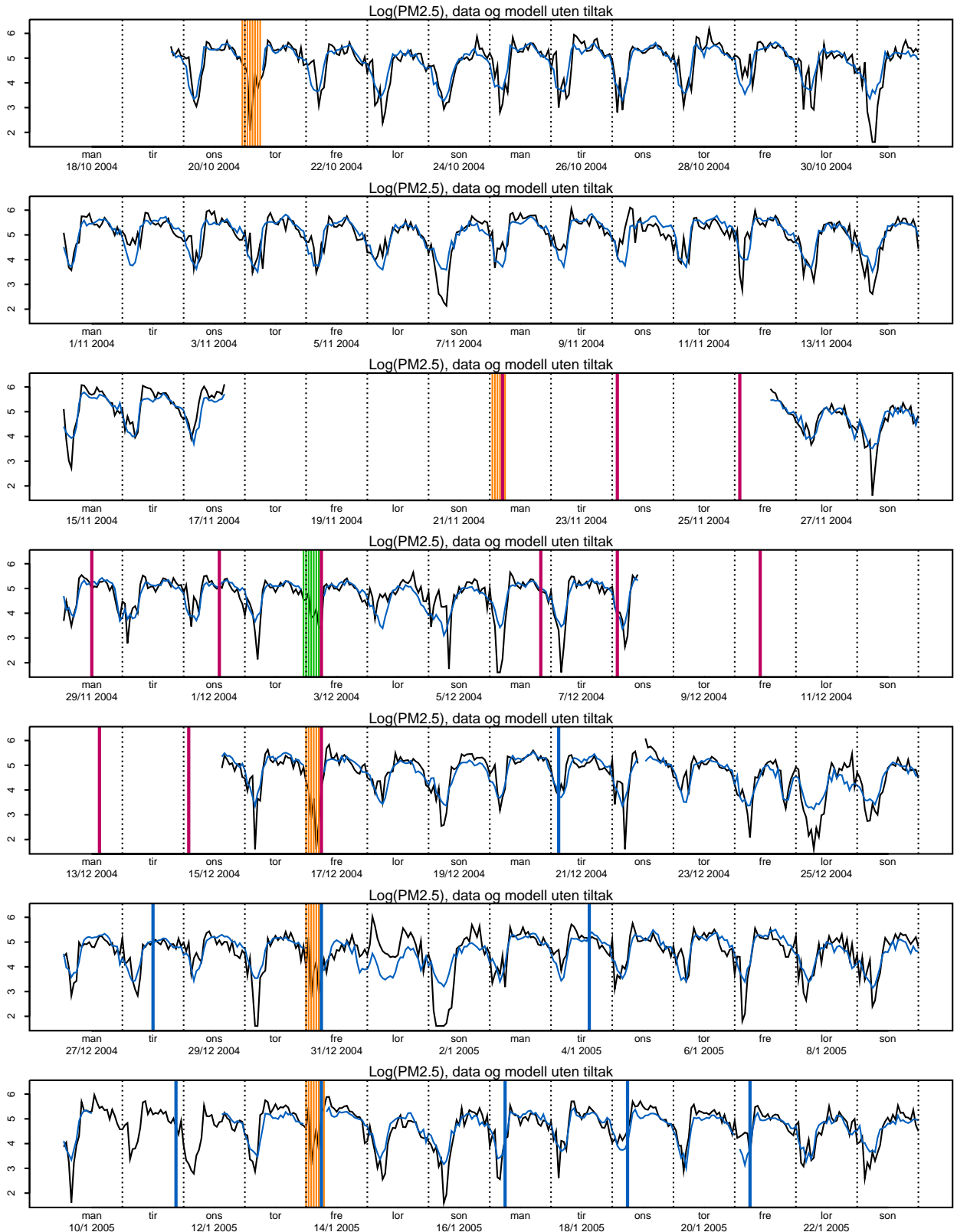
B Modeller uten tiltak - supplerende figurer



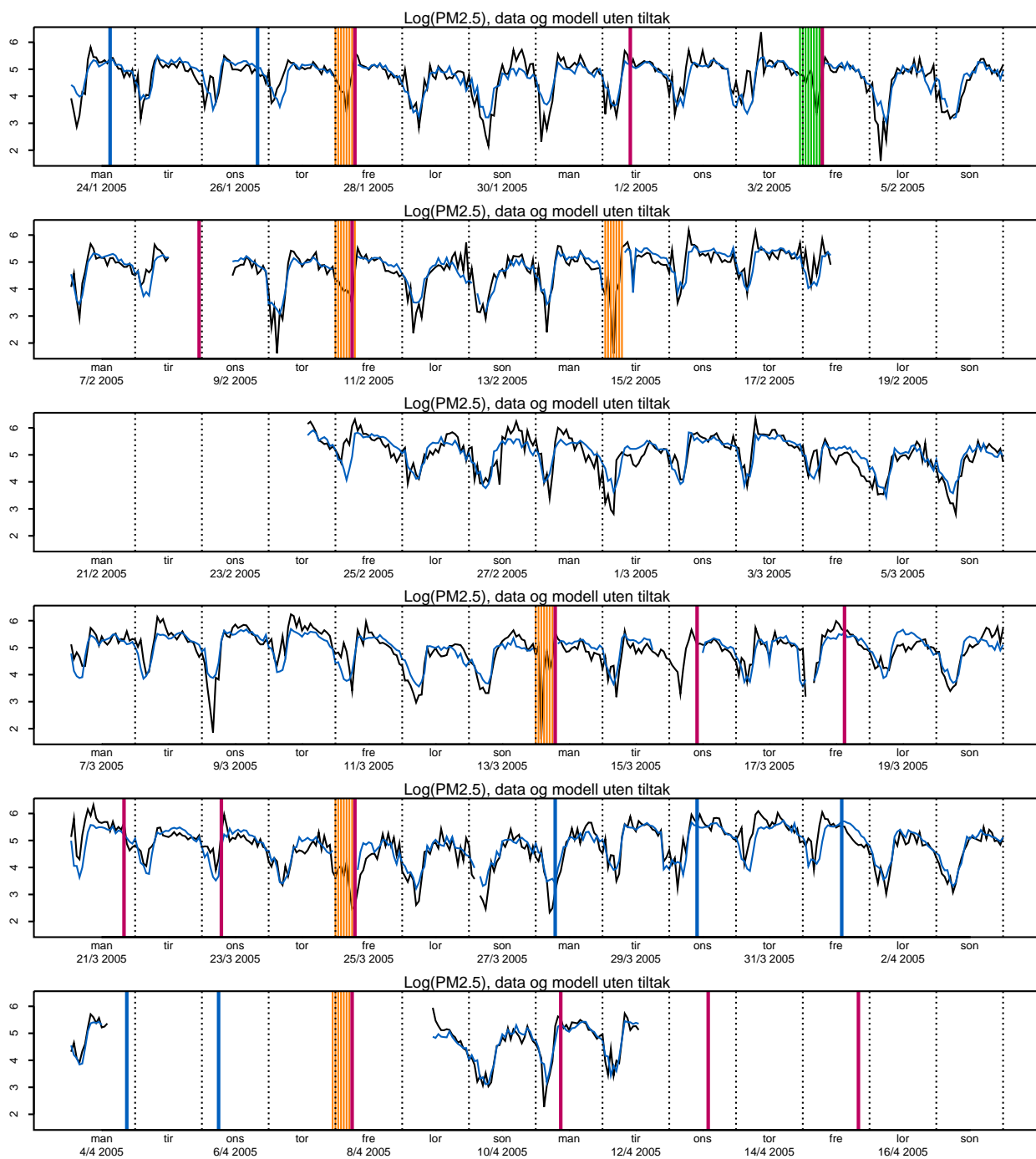
Figur B.23. Estimerte s -funksjoner for $\log(PM_{10})$ med 95%-konfidensintervall.



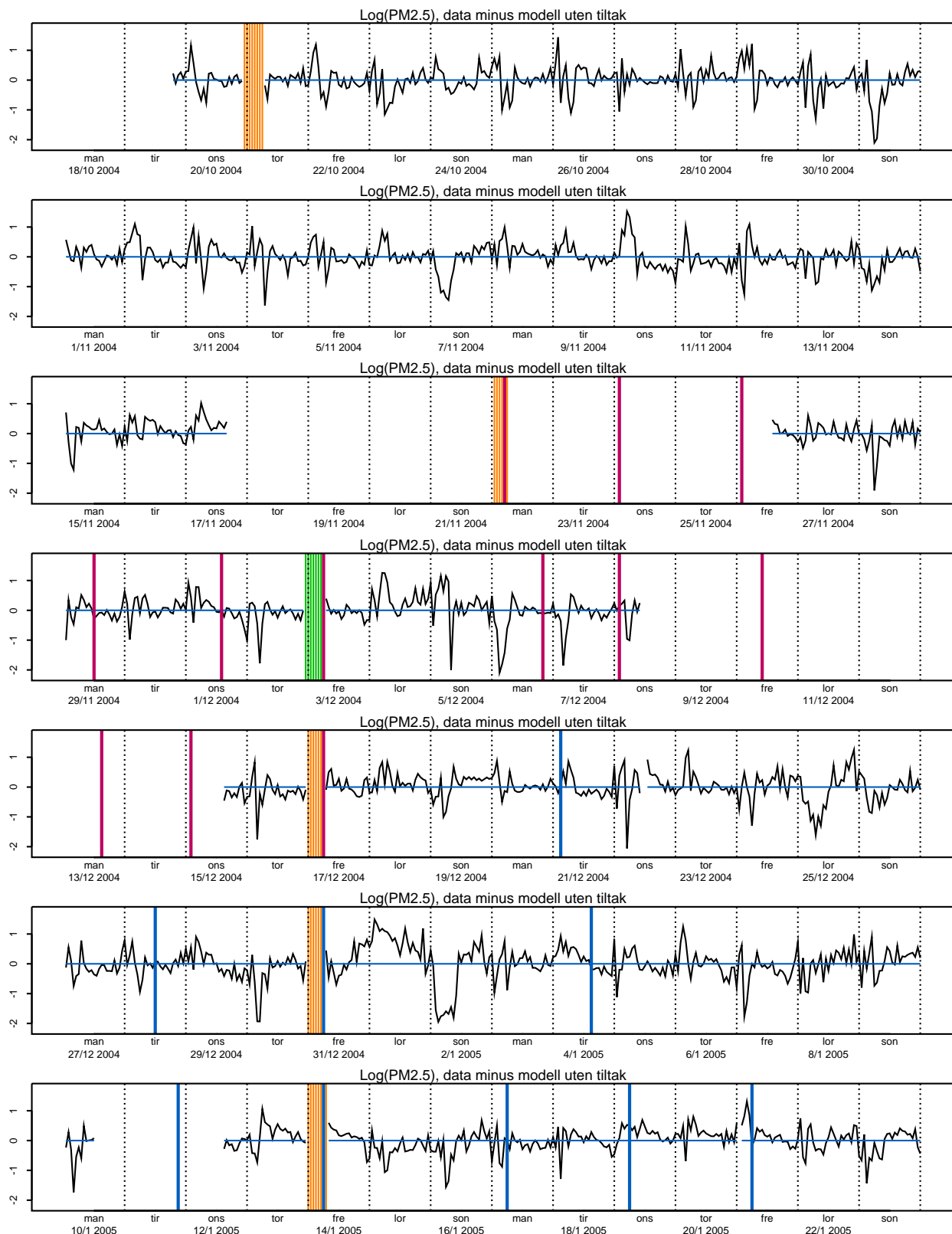
Figur B.24. Estimerte s -funksjoner for $\log(PM_{2.5})$ med 95%-konfidensintervall.



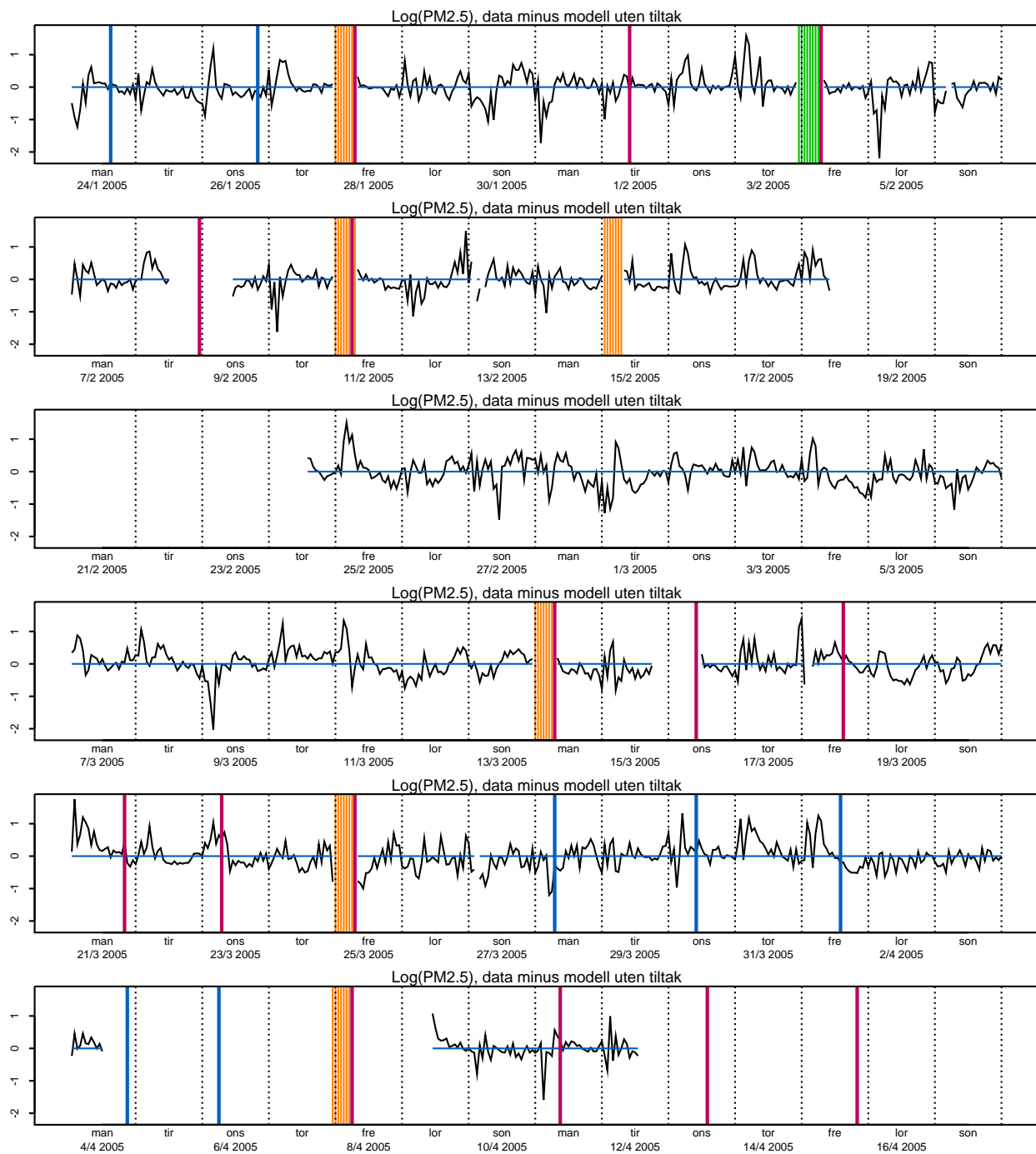
Figur B.25. Målt (svart) og estimert (blått) $\log(PM_{2.5})$, Strømsås, uke 43 2004 - uke 3 2005.



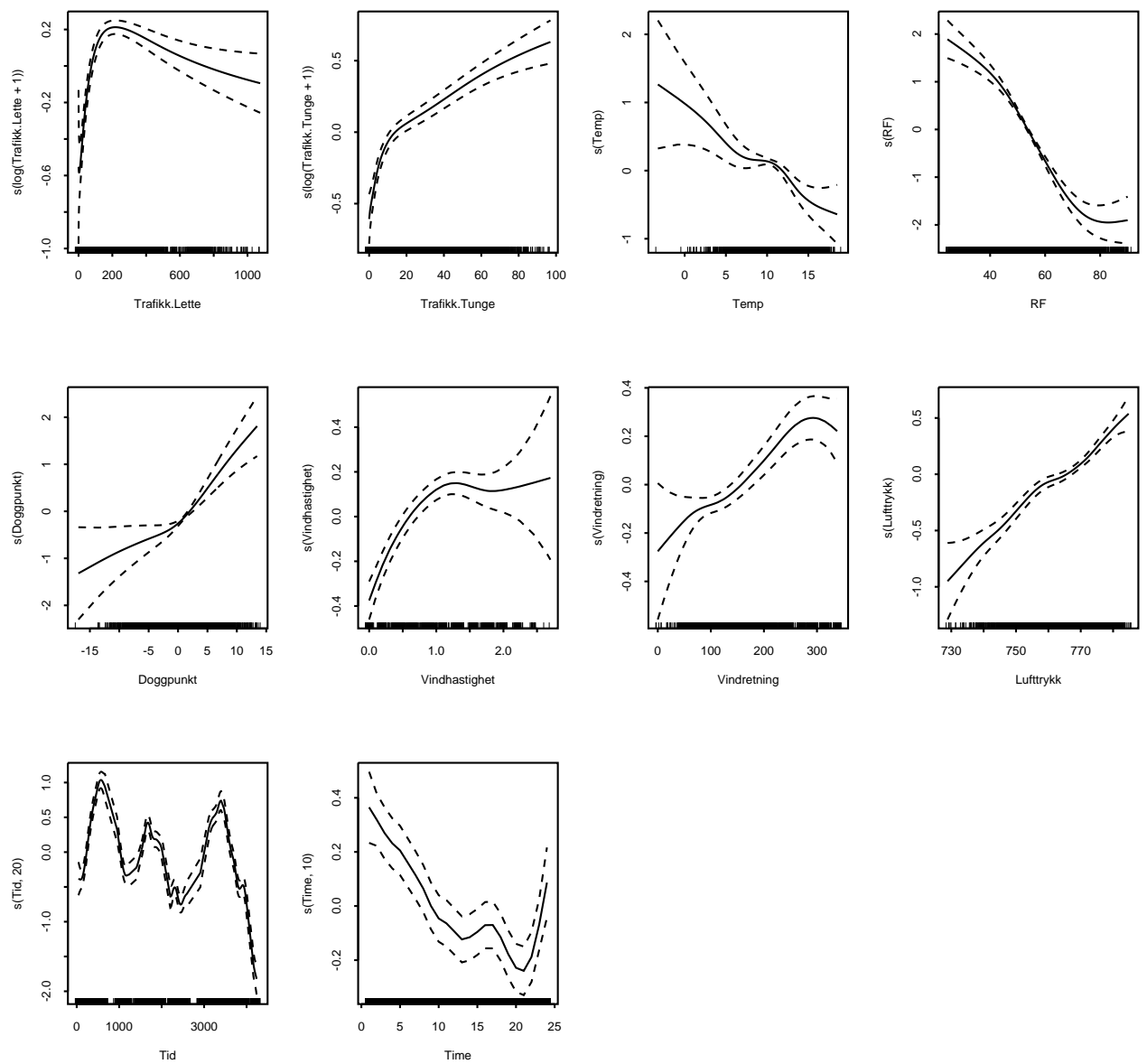
Figur B.26. Målt (svart) og estimert (blått) $\log(PM_{2.5})$, Strømsås, uke 4 2005 - uke 15 2005.



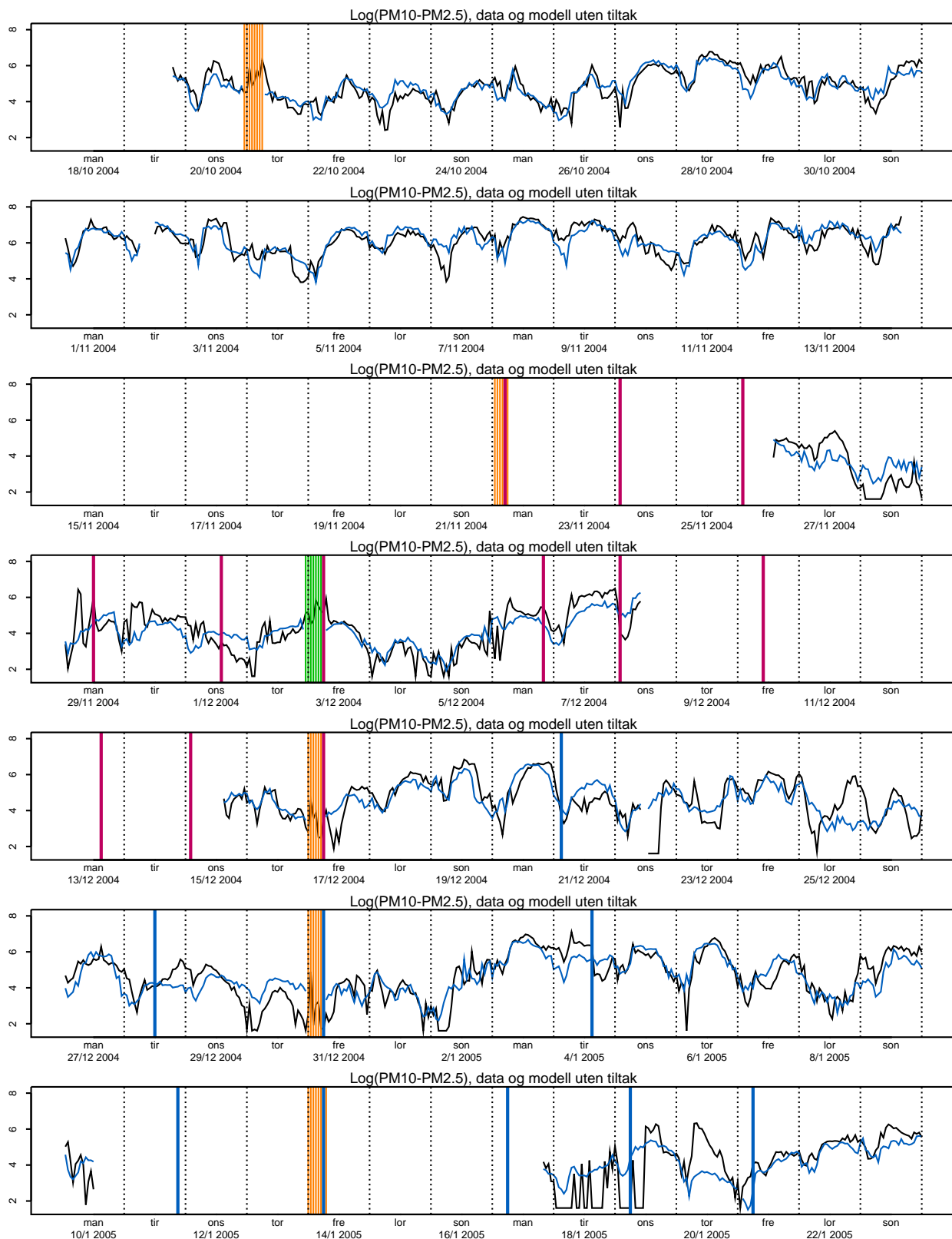
Figur B.27. Målt - estimert $\log(PM_{2.5})$, Strømsås, uke 43 2004 - uke 3 2005.



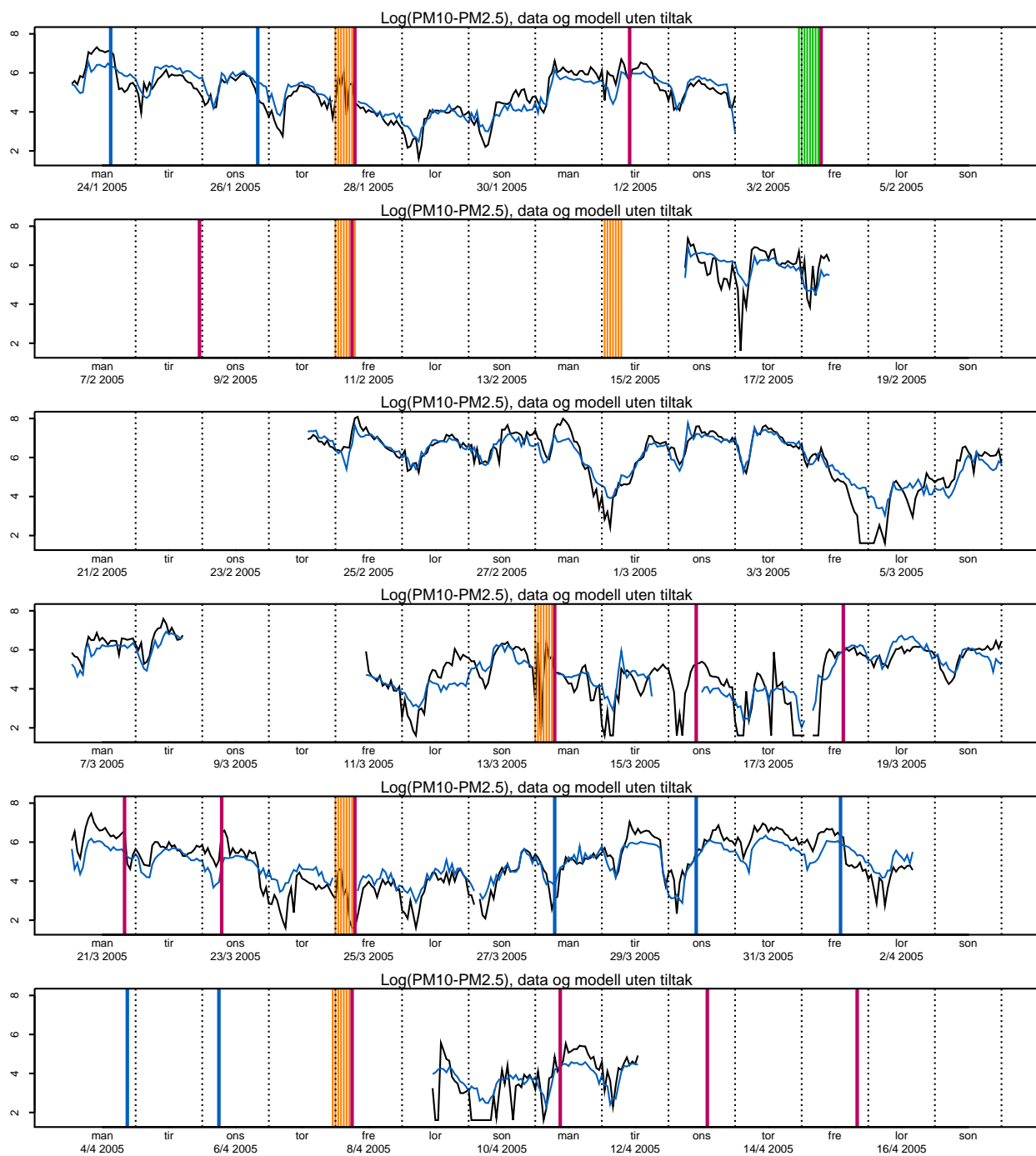
Figur B.28. Målt - estimert $\log(PM_{2.5})$, Strømsås, uke 4 2005 - uke 15 2005.



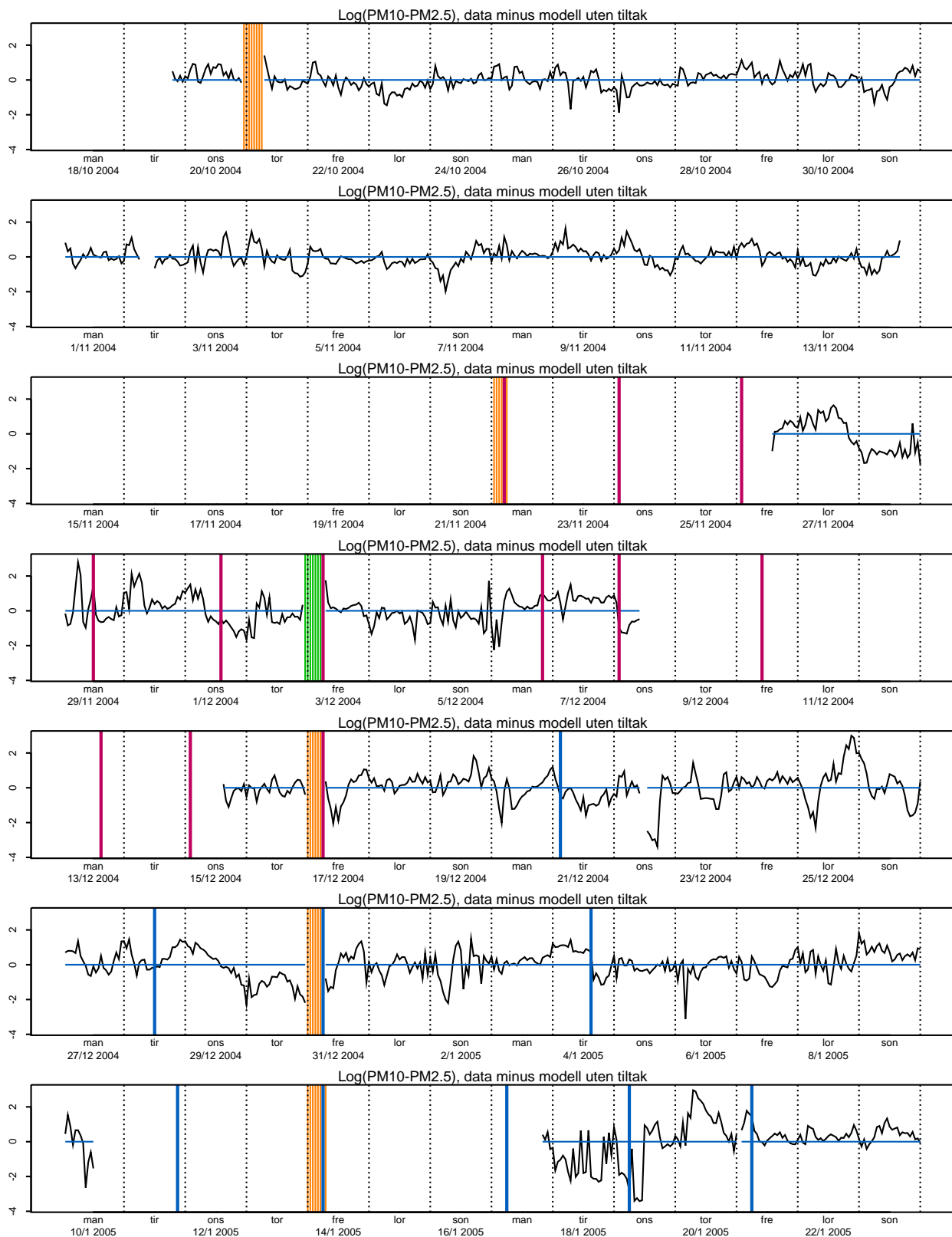
Figur B.29. Estimerte s -funksjoner for $\log(PM_{10} - PM_{2.5})$ med 95%-konfidensintervall.



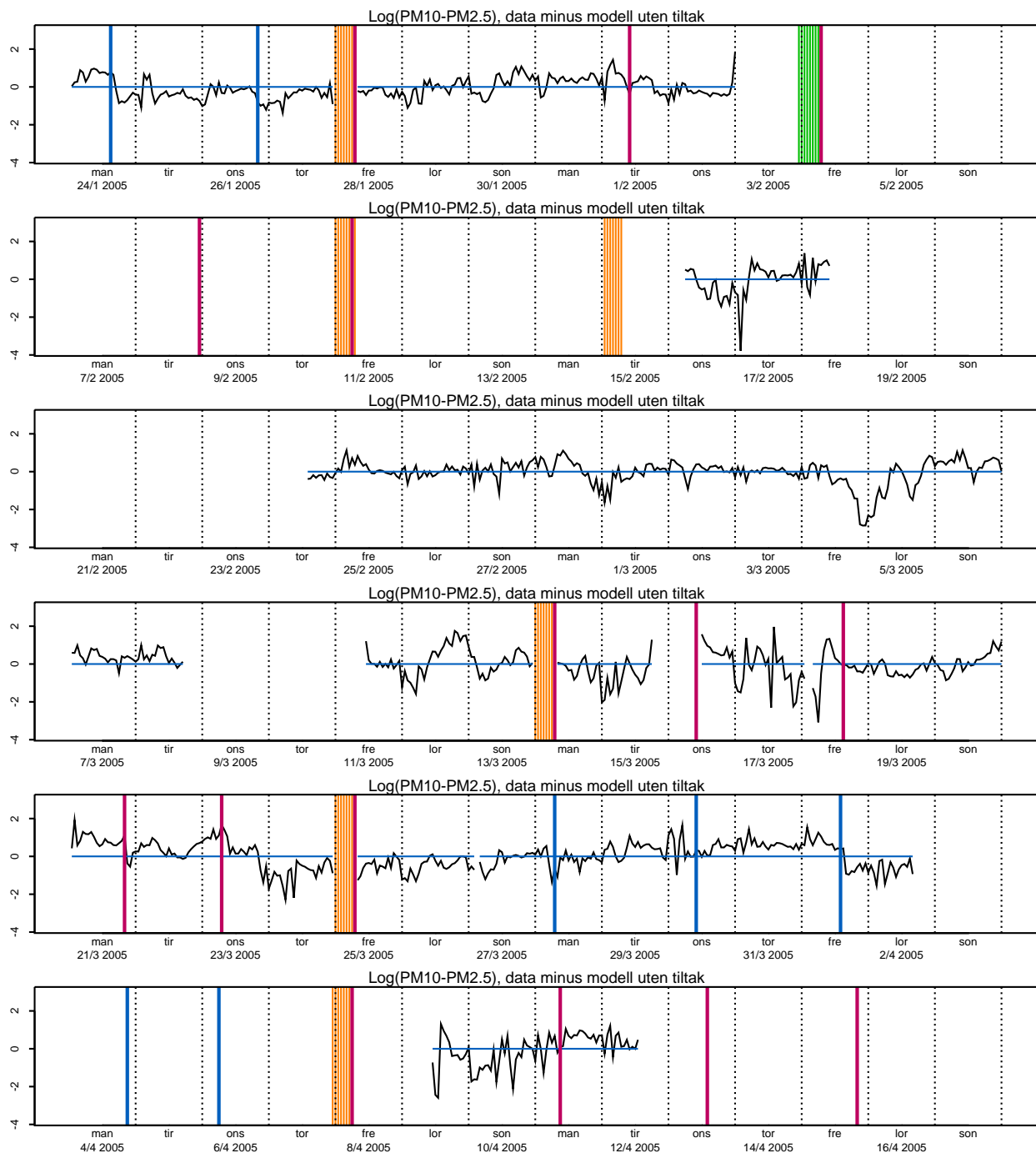
Figur B.30. Målt (svart) og estimert (blått) $\log(PM_{10} - PM_{2.5})$, Strømsås, uke 43 2004 - uke 3 2005.



Figur B.31. Målt (svart) og estimert (blått) $\log(PM_{10} - PM_{2.5})$, Strømsås, uke 4 2005 - uke 15 2005.

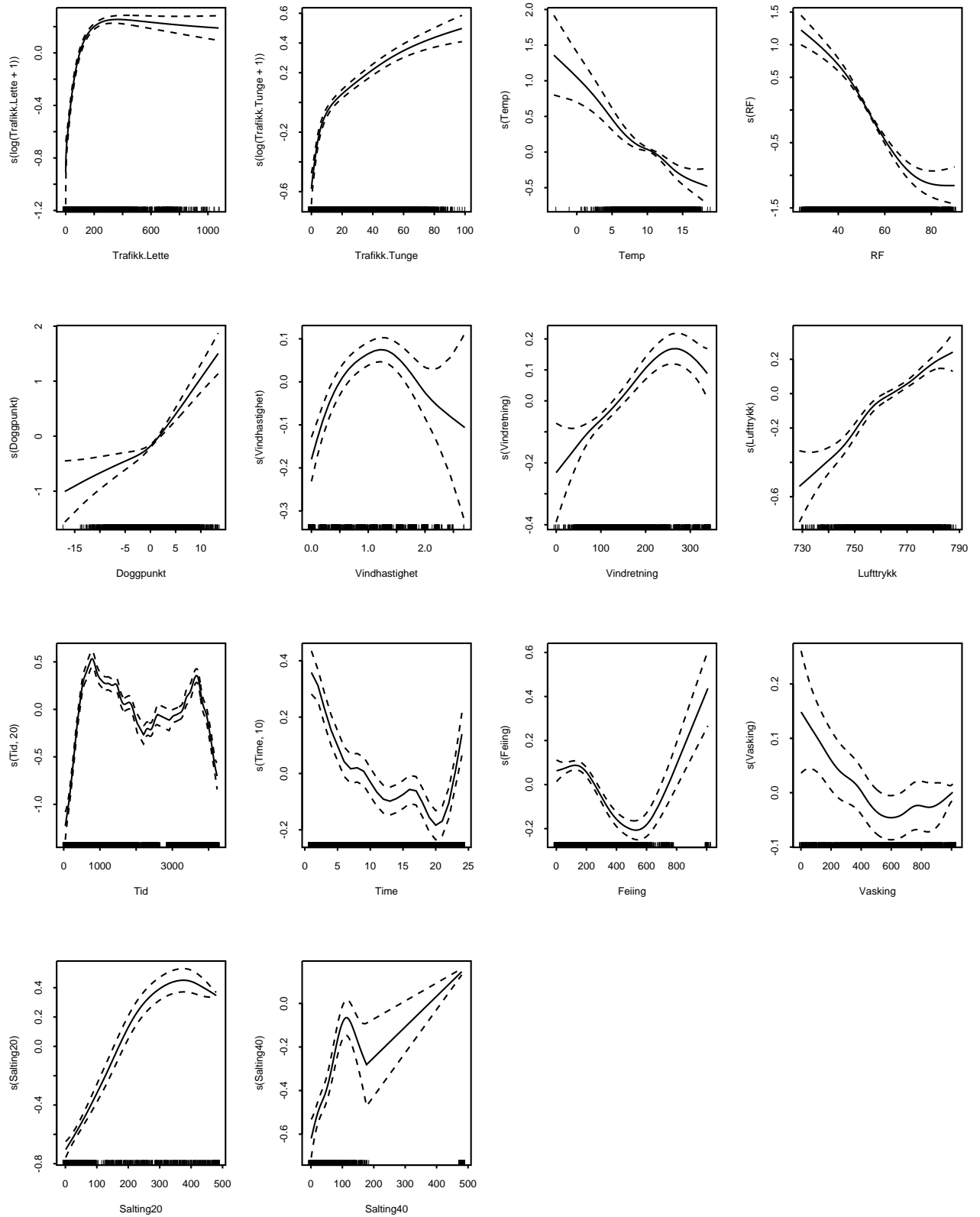


Figur B.32. Målt - estimert $\log(PM_{10} - PM_{2.5})$, Strømsås, uke 43 2004 - uke 3 2005.

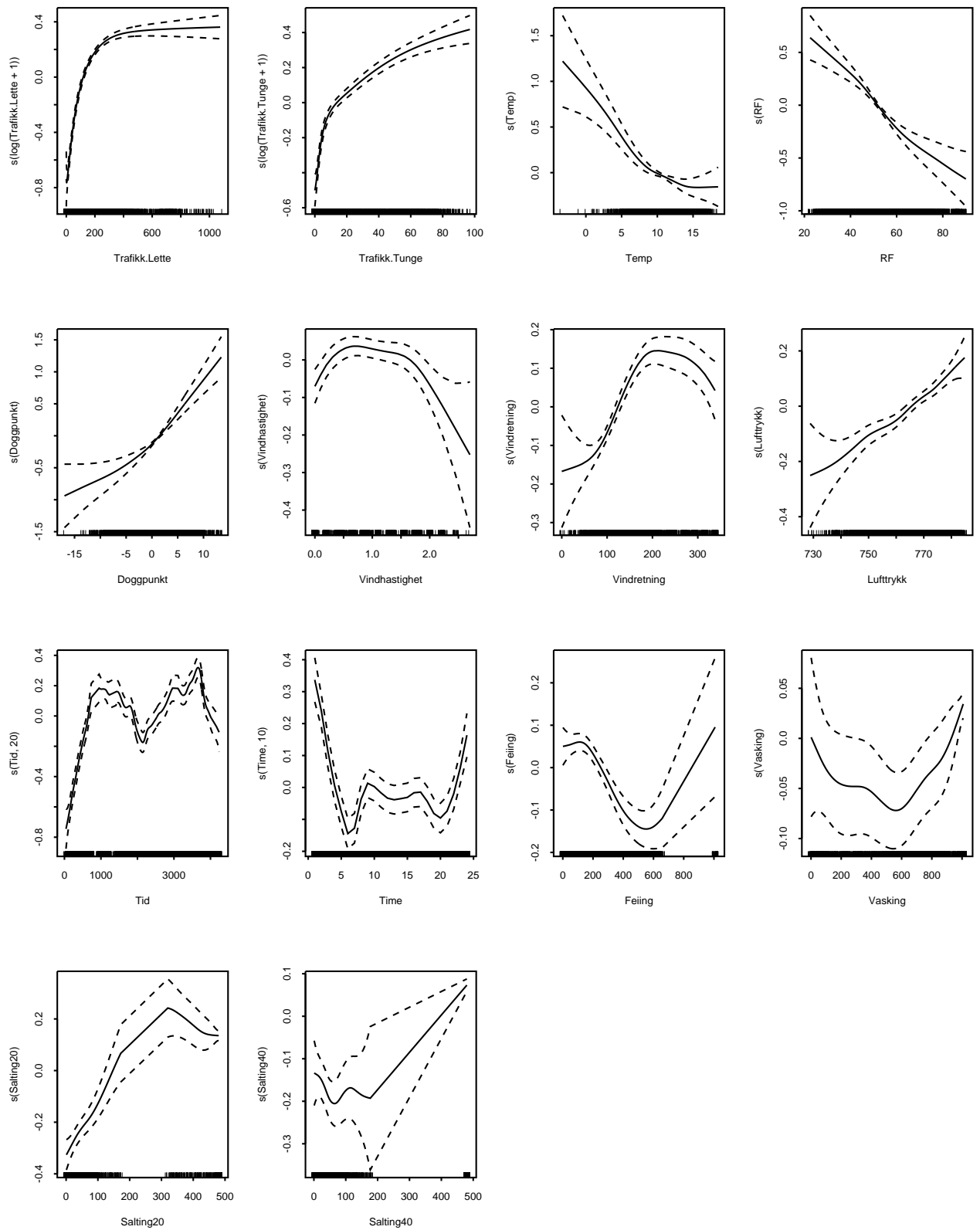


Figur B.33. Målt - estimert $\log(PM_{10} - PM_{2.5})$, Strømsås, uke 4 2005 - uke 15 2005.

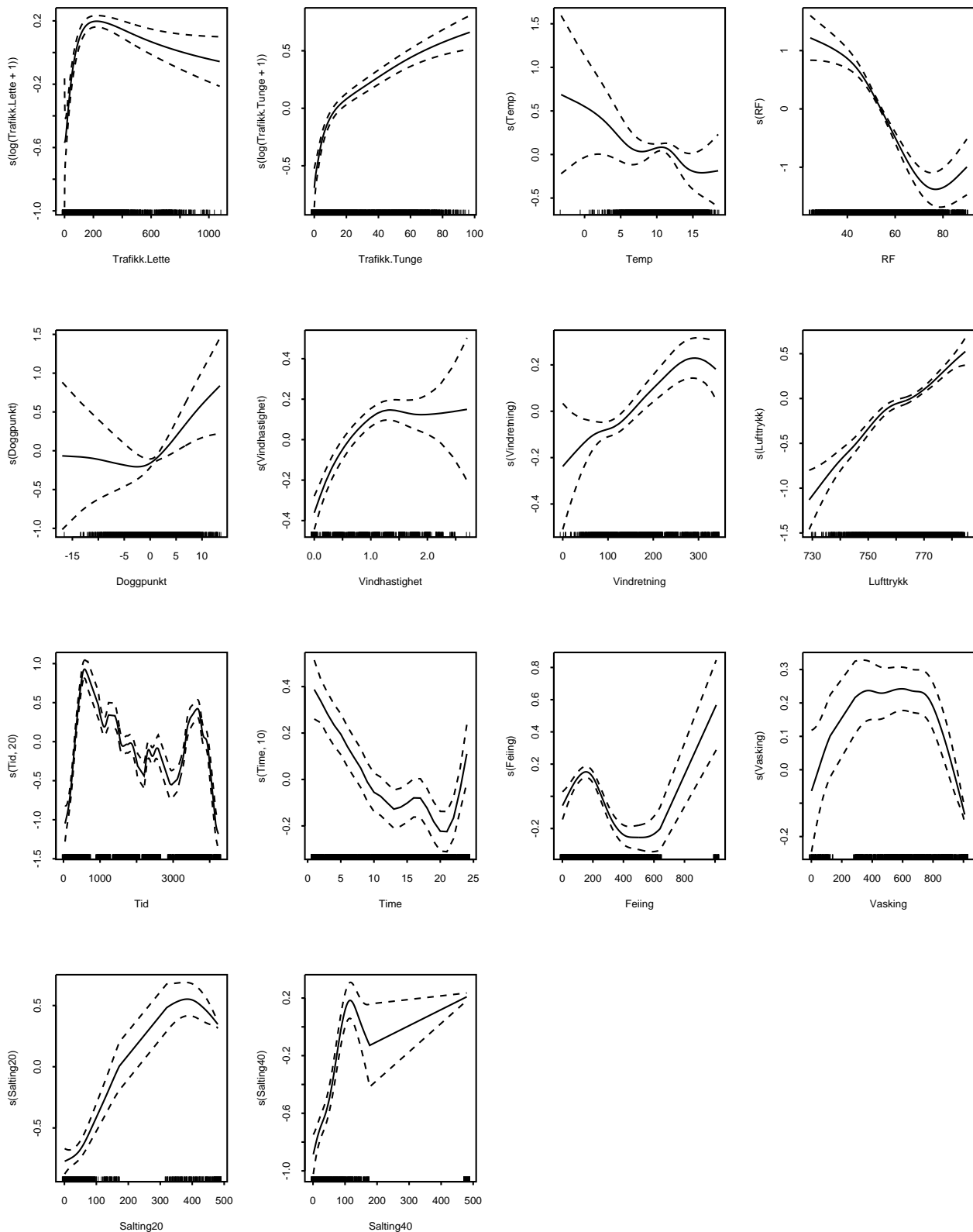
C Modeller med tiltak - supplerende figurer



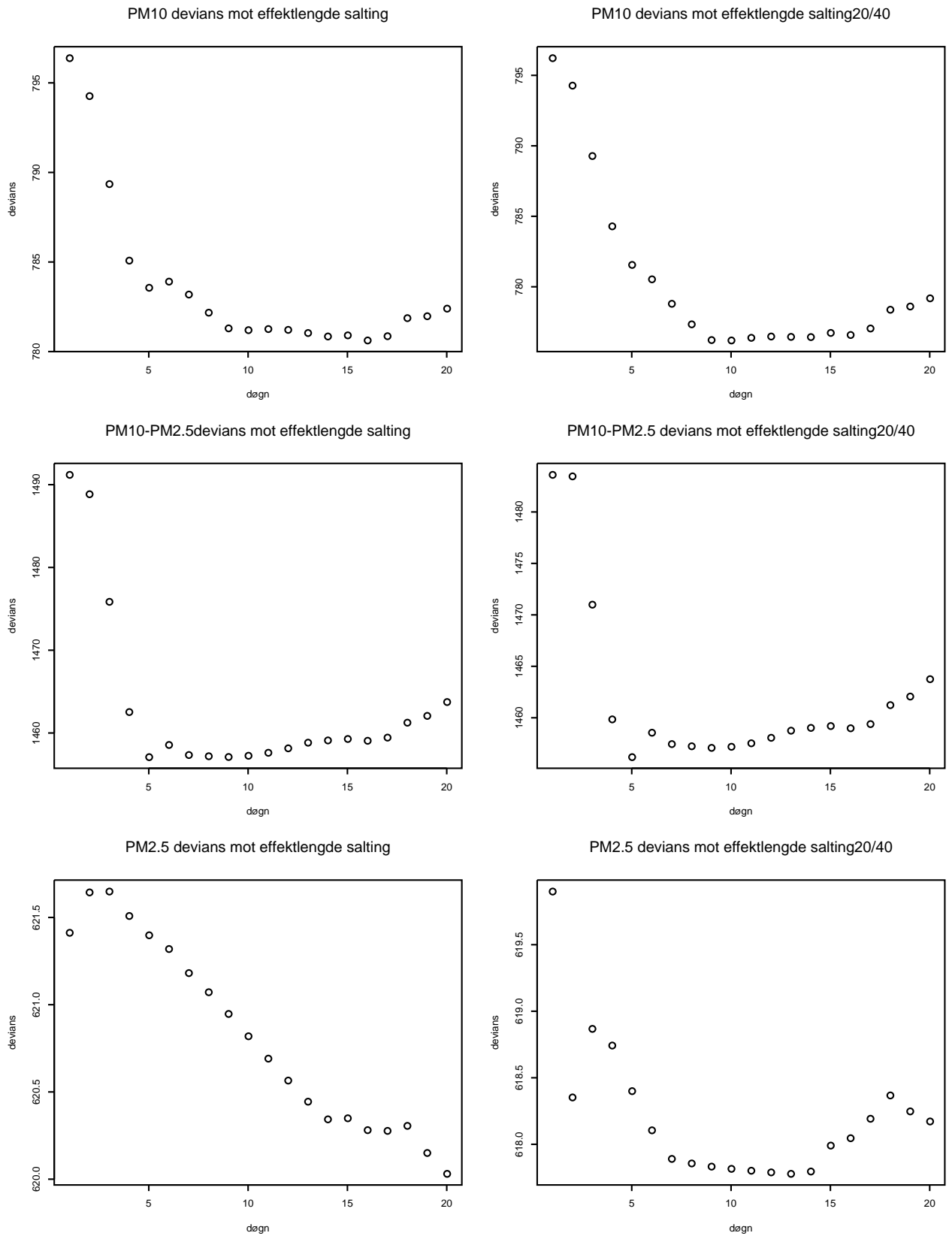
Figur C.34. Estimerte s -funksjoner for $\log(PM_{10})$ med 95%-konfidensintervall, for modell med tiltak.



Figur C.35. Estimerte s -funksjoner for $\log(PM_{2.5})$ med 95%-konfidensintervall, for modell med tiltak.



Figur C.36. Estimerte s -funksjoner for $\log(PM_{10} - PM_{2.5})$ med 95%-konfidensintervall, for modell med tiltak.



Figur C.37. Devians for ulike verdier av $\theta^{salting}$. Lavest devians betyr best tilpasning til data.

D Eventuelle samspill mellom effekt av salting og andre faktorer

Salting har vært gjennomført 43 ganger. Om en går gjennom hvert tilfelle, virker det som det som salting i blant har stor effekt og andre ganger mindre effekt. Jeg har undersøkt om det er noen systematikk i dette. Først er den felles effekt av salting estimert separat for hver av de 43 tilfellene, under antakelsen at effekten varer i 9 døgn. På grunn av manglende observasjoner er det færre enn 43 av de separate effektene som kan estimeres. Når det gjelder PM_{10} er alle (36 stykker) separate effekter positive og varierer fra 15% til 83%. Når det gjelder $PM_{10} - PM_{2.5}$ er det 26 positive og 4 negative effekter, varierende fra -213% til 98%. Når det gjelder $PM_{2.5}$ er det 24 positive og 10 negative effekter, varierende fra -54% til 64%.

Er det mulig å finne et mønster i når effekten av salting er stor og når den er liten? For å besvare dette har jeg beregnet korrelasjonskoeffisientene mellom de separate salteffektene og andre faktor. Faktorene som er undersøkt er a) gjennomsnittsnivået av de tre forurensningskomponentene det siste døgnet før salting, b) konsentrasjon av salt og om det er utført feiing eller vasking samtidig, c) gjennomsnittlig antall lette og tunge kjøretøy siste døgn og d) gjennomsnittet av de meteorologiske variable siste døgn. Resultatene er vist i tabell D.1. Korrelasjoner nær -1 eller 1 angir sterke sammenhenger, mens p-verdier nær 0 angir at disse sammenhengene er statistisk signifikante. Ofte betraktes p-verdier mindre enn 0.05 å være signifikante, men siden det her gjøres svært mange sammenlikninger kan vi forvente at flere p-verdier er lavere enn dette bare ved en tilfeldighet. Jeg kommenterer derfor først og fremst sammenhenger hvor p-verdien er 0.01 eller lavere for minst en av PM -komponentene.

Det ser ut til å være liten sammenheng mellom nivået på luftforurensninga og effekten av salting. Nivået på PM_{10} før salting har tilsynelatende en negativ sammenheng med hvilken effekt salting har på $PM_{2.5}$ -nivået. Det er vanskelig å finne noen rimelig forklaring på dette, så dette kan skyldes tilfeldigheter.

Konsentrasjon av salt har liten sammenheng med effekten av salting. Dette er noe motstridende med resultatene av hovedanalysen gjengitt i kapittel 5. Videre virker det som om det er av liten betydning om feiing eller vasking utføres samtidig.

Antall lette og tunge kjøretøy i døgnet før salting er negativt korrelert med effekten på konsentrasjonen av PM_{10} . Om dette er reellt vil det bety at effekten av salting er noe mindre etter perioder med stor trafikk. Det er imidlertid ikke tegn til tilsvarende sammenhenger når det gjelder effekten på konsentrasjon av $PM_{10} - PM_{2.5}$ eller $PM_{2.5}$.

Relativ fuktighet er negativt korrelert med effekt av salting på konsentrasjonen av alle PM -komponenter. Det kan fortolkes som at salting har lavere effekt når luftfuktigheten allerede er høy, noe som virker rimelig. Vindretning er negativt korrelert med effekt på konsentrasjon av alle tre PM -komponenter. Når vindretninga er vestlig (200-300 grader) arbeider sannsynligvis ventilasjonsvifte- ne fordi luften i tunnelen er forurenset av eksos fra bilene. Tar en dette som utgangspunkt kan en tolke effekten av vindretning slik at jo mer ventilering, jo mindre effekt har salting på $PM_{2,5}$ som selvstendig tiltak. Lufttrykk er positivt korrelert med effekten av salting på $PM_{2,5}$.

Ingen av sammenhengene som antydes i disse resultatene er så klare at det kan trekkes sterke konklusjoner, og gir heller ikke grunnlag for å modifisere modellene.

Faktor	PM_{10}		$PM_{10} - PM_{2,5}$		$PM_{2,5}$	
	korr.	p-verdi	korr.	p-verdi	korr.	p-verdi
PM_{10}	0.02	0.92	0.31	0.10	-0.51	0.00
$PM_{10} - PM_{2,5}$	0.01	0.96	0.20	0.29	0.06	0.74
$PM_{2,5}$	-0.13	0.44	0.03	0.89	0.08	0.67
Konsentrasjon salt	-0.13	0.44	0.03	0.89	0.08	0.67
Feiing	-0.01	0.97	0.17	0.38	0.14	0.46
Vasking	-0.30	0.13	-0.13	0.53	0.18	0.35
Antall lette kjøretøy	-0.57	0.00	-0.08	0.66	0.01	0.96
Antall tunge kjøretøy	-0.31	0.06	-0.08	0.69	-0.06	0.74
Temperatur	-0.08	0.65	0.42	0.02	0.02	0.92
Relativ fuktighet	-0.26	0.13	-0.47	0.01	-0.25	0.16
Doggpunkt	-0.28	0.11	-0.19	0.32	-0.24	0.18
Vindhastighet	-0.29	0.09	-0.03	0.89	-0.31	0.07
Vindretning	-0.19	0.31	-0.35	0.07	-0.48	0.01
Lufttrykk	0.13	0.47	-0.14	0.45	0.43	0.01

Tabell D.1. Korrelasjon (med p-verdi) mellom separate effekter av salting (antatt 9 dagers varighet av effekt) og andre faktorer