

NILU: OR 37/2001  
REFERANSE: O-99012  
DATO: JUNI 2001  
ISBN: 82-425-1282-5

# **Vedfyring og svevestøv**

## **Beregninger i Oslo vinteren 1998/1999**

**Leiv Håvard Slørdal, Steinar Larsen**



# Innhold

	Side
<b>Innhold .....</b>	<b>1</b>
<b>Sammendrag .....</b>	<b>3</b>
<b>1 Innledning .....</b>	<b>9</b>
<b>2 Måleprogrammet.....</b>	<b>10</b>
<b>3 Metodebeskrivelse av spredningsberegningene.....</b>	<b>10</b>
3.1 Modellområde og beregningsperiode.....	10
3.2 Utslippsdata.....	11
3.3 Regionalt bakgrunnsbidrag .....	13
3.4 Meteorologiske inngangsdata og vindfeltmodell .....	13
3.5 Beskrivelse av spredningsmodellen (EPISODE) .....	14
3.6 Usikkerheter i beregningene .....	16
<b>4 Beregningsresultater .....</b>	<b>19</b>
4.1 Sammenlikning av observerte og beregnede PM <sub>10</sub> og PM <sub>2.5</sub> -verdier for perioden 29. januar – 20. februar 1999.....	20
4.1.1 Utvalgte døgn i perioden 29. januar - 20. februar 1999 .....	25
4.1.2 Beregnet romlig fordeling av døgnverdiene av PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub> og vedfyringsbidraget for døgnene 1. februar og 13. februar 1999 .....	34
4.2 Sammenlikning av observerte og beregnede PM <sub>10</sub> -verdier for perioden 7. desember – 23. desember 1998 .....	37
4.3 Bidrag fra vedfyring og andre kilder til PM-konsentrasjoner .....	40
<b>5 Generell vurdering av modellresultatene.....</b>	<b>43</b>
<b>6 Referanser .....</b>	<b>45</b>
<b>Vedlegg A .....</b>	<b>47</b>



## Sammendrag

På oppdrag fra Statens forurensningstilsyn (SFT) har Norsk institutt for luftforskning (NILU) tidligere utført luftkvalitetsberegninger av  $PM_{2.5}$  og  $PM_{10}$  (svevestøvpartikler med diameter mindre enn h.h.v.  $2.5 \mu m$  og  $10 \mu m$ ) i de største byene i Norge (Slørdal, 1998; Slørdal og Tønnesen, 1999). Disse beregningene har vært basert på utslippsoversikter fra Statistisk Sentralbyrå (SSB). Beregninger har vist at vedfyringen bidrar vesentlig til totalkonsentrasjonen av svevestøv i byene. Imidlertid er det store usikkerheter knyttet til SSB's estimater av både det totale vedforbruk innenfor byene og den geografiske og tidsmessige fordelingen av dette forbruket.

På denne bakgrunn fikk NILU i oppdrag av Miljøverndepartementet (MD) og SFT å gjennomføre målinger av  $PM_{10}$  og/eller  $PM_{2.5}$  vinteren 1998/1999, for å belyse hvor mye vedfyringen faktisk bidrar til de målte svevestøvkonsentrasjonene. I tillegg til den direkte tolkningen av målingene skulle NILU også benytte modellverktøyet AirQUIS for å *beregne* konsentrasjonene av  $PM_{10}$  og  $PM_{2.5}$  i måleperioden. Modellresultatene skulle da kunne brukes både som støtte for tolkningen av måledataene og til å belyse usikkerheter i modellverktøy og utslippsoversikter.

Modellberegninger med AirQUIS er svært ressurskrevende og siden målingene av svevestøv hovedsakelig viser forhøyede verdier i perioden f.o.m. 7. desember 1998 t.o.m. 18. februar 1999 ble beregninger bare utført for dette tidsrommet. Samtlige 7 døgn som er omtalt spesielt i rapporten som beskriver måleresultatene (Hagen, 2001) er innenfor dette tidsrommet.

NILU har tidligere gjennomført sprednings- og eksponeringsberegninger av svevestøvkompontene  $PM_{2.5}$  og  $PM_{10}$  for bl.a. Oslo. Disse beregningene dekket vinterperioden fra begynnelsen av oktober 1995 til utgangen av mars 1996 (Slørdal, 1998), og modellverktøyet som ble benyttet beregnet utelukkende gjennomsnittskonsentrasjoner i modellens  $1 \times 1 \text{ km}^2$ -rutenett (bybakgrunnsnivåer). De nye beregningene for vinteren 1998/1999 som omtales i den foreliggende rapporten er imidlertid gjennomført med et mer avansert modellverktøy som er i stand til å beregne konsentrasjonen i vilkårlige posisjoner innenfor modellområdet. Dette gjør det mulig å estimere konsentrasjonsnivået nær veier, der svevestøvkonsentrasjonene varierer sterkt over relativt små avstander, dvs. 10 – 100 m. Beregningsverdiene er av denne grunn ikke bare sammenliknbare med målinger som er foretatt i områder i god avstand fra hovedveier (bybakgrunnsstasjoner), men kan også sammenholdes med målinger som foretas veinært (gatestasjoner).

Vedfyringsbidraget er funnet ved å benytte SSB's forbrukstall for ved som kildegrunnlag i modellberegningene. Dette forbruket (angitt i tonn/år) er arealfordelt i modellens rutenett. Det estimerte forbruket av ved i rutene som de ulike målestasjonene ligger i er som følger:

Sofienbergparken: rute (12,12): 1139 tonn/år  
 Kirkeveien: rute (10,13): 512 tonn/år  
 Linderud: rute (16,14): 83 tonn/år  
 Nordahl Brunsgt: rute (11,11): 538 tonn/år

Modellrute (12,12) som Sofienbergparken ligger innenfor er forøvrig ruta med nest størst beregnet vedforbruk, og dette parkområdet skulle derfor være et velegnet sted å gjennomføre svevestøvmålinger når målet er å undersøke vedfyringens betydning. Bare rute (10,12) som dekker Fagerborg/Bislett-området har et større forbrukstall. I denne ruta er vedforbruket anslått til 1280 tonn/år.

På bakgrunn av beregningsmaterialet som er presentert i denne rapporten, er det generelle inntrykket at svevestøvnivåene i Sofienbergparken i stor grad er dominert av vedfyringen. For gatestasjonene er vedfyringens betydning noe ulik for de to betraktete stasjonene. I Kirkeveien er finfraksjonsnivået ( $PM_{2,5}$ ) i overraskende stor grad influert av vedfyringen i området, mens veistøvbidraget er den dominerende kilden i perioder med høyt beregnet nivå av  $PM_{10}$ . Forklaringen på at  $PM_{2,5}$ -nivået beregnes så høyt i Kirkeveien er at stasjonen ligger rett nord for  $km^2$ -ruten i Oslo som ifølge SSB har høyest vedforbruk, dvs. ruta som inneholder Fagerborg/Bislett-området. For stasjonen på Linderud utgjør vedfyringen under halvparten av  $PM_{2,5}$ -nivået og oppvirvlet veistøv er den totalt dominerende bidragsyteren til de maksimale  $PM_{10}$ -nivåene. For å belyse kildesammensetningen nærmere er beregnet vedfyringsbidrag i forhold til målt og beregnet gjennomsnittlig totalkonsentrasjon for perioden 29.1.-20.2., gjengitt i Tabell A. I Tabell B er dessuten prosentandelen av målt og beregnet finfraksjon (dvs.  $PM_{2,5}$ ), i svevestøvet angitt.

*Tabell A: Beregnet vedfyringsbidrag i forhold til hhv. beregnet og målt PM-konsentrasjon totalt, for  $PM_{2,5}$  og  $PM_{10}$  (gjennomsnittsverdier for perioden 29.01.-20.02).*

Målested	Beregnet bidrag (gjennomsnitt for 29.1.-20.2.) til PM-konsentrasjoner fra vedfyringen			
	I forhold til <u>beregnet</u> totalkonsentrasjon		I forhold til <u>målt</u> totalkonsentrasjon	
	$PM_{10}$	$PM_{2,5}$	$PM_{10}$	$PM_{2,5}$
<b>Bybakgrunn</b>				
Sofienbergparken	55%	70%	37%	50%
<b>Gater/veier</b>				
Kirkeveien	40%	58%	29%	58%
Linderud	19%	36%	14%	38%

Tabell B: Finfraksjonsandel (dvs.  $PM_{2,5}$ -andelen) av observert og beregnet  $PM_{10}$ -nivå (basert på gjennomsnittsverdier for perioden 29.01.-20.02).

Målested	Finfraksjonsandel av observert og beregnet $PM_{10}$ -nivå (basert på gjennomsnitt for 29.1.-20.2.)	
	<u>Observert <math>PM_{2,5}</math>-nivå i forhold til observert <math>PM_{10}</math>-konsentrasjon</u>	<u>Beregnet <math>PM_{2,5}</math>-nivå i forhold til beregnet <math>PM_{10}</math>-konsentrasjon</u>
<b>Bybakgrunn</b> Sofienbergparken	73.5 %	78.3 %
<b>Gater/veier</b> Kirkeveien	49.2 %	68.2 %
Linderud	47.3 %	51.2 %

For de ulike stasjonene viser tallene i Tabell A og Tabell B følgende:

*Sofienbergparken:* Beregningene antyder at vedfyringen gjennomsnittlig utgjør 70 % og 55 % av hhv.  $PM_{2,5}$ - og  $PM_{10}$ - nivåene. Samtidig er den beregnede og den målte finfraksjonsandelen hhv. 78.3 % og 73.5 %. Siden vedfyringen i hovedsak bidrar til finfraksjonen, betyr dette at en økning av det estimerte vedforbruket i dette området for å kompensere for underestimeringen av de observerte  $PM_{2,5}$  og  $PM_{10}$  nivåene, ville føre til en for høy beregnet verdi av forholdet mellom  $PM_{2,5}$  og  $PM_{10}$ . Derimot kan underestimeringen forklares ved for lave utslipp, dersom vi i modellberegningene samtidig med for lave vedfyringsutslipp også har underestimert veistøvets betydning i dette området. I tillegg kan en mulig forklaring også være at de meteorologiske spredningsforholdene i dette området i enkelte perioder har vært dårligere enn det modellen har beregnet.

*Kirkeveien:* For denne stasjonen viser beregningsresultatene at vedfyringen i gjennomsnitt utgjør 58 % og 40 % av hhv.  $PM_{2,5}$ - og  $PM_{10}$ - nivåene. Den beregnede og den målte finfraksjonsandelen er hhv. 68.2 % og 49.2 %. Ved å sammenholde disse verdiene med de målte konsentrasjonene ser en at modellen har underestimert veistøvbidraget. Dette innebærer at vedfyringen i gjennomsnitt trolig bidrar med betydelig mindre enn 40 % til  $PM_{10}$ -nivået og at andelen av beregnet  $PM_{2,5}$  i forhold til beregnet  $PM_{10}$  reduseres fra 68 % ned mot det observerte nivået på omlag 50 %.

*Linderud:* På målestasjonen ved Linderud (ca. 10 m sør for Trondheimsveien, mot Groruddalen-siden) viser beregningsresultatene at vedfyringen i gjennomsnitt utgjør 36 % og 19 % av hhv.  $PM_{2,5}$ - og  $PM_{10}$ - nivåene. Den beregnede og den målte finfraksjonsandelen er hhv. 51.2 % og 47.3 %. Sammenholdt med de observerte middelnivåene synes de beregnede verdiene å gi et riktig bilde av både totalnivåene og vedfyringsbidraget. Hovedkilden til svevestøvet på denne stasjonen er veitrafikken, dvs. eksospartikler sammen med noe veistøv for  $PM_{2,5}$ , og veistøv for  $PM_{10}$ .

Som vist i kapittel 4 er det tidvis tildels betydelige avvik mellom de observerte og beregnede timevise svevestøvverdiene. Det er imidlertid vanskelig ut fra sammenlikningsmaterialet å fastslå årsaksforholdene til disse avvikene, men sammenholding av ulike deler av datamaterialet sannsynliggjør årsaker. Det er som beskrevet i avsnitt 3.6 en lang rekke usikkerhetsfaktorer knyttet både til de benyttede utslippsestimatene og til selve modellberegningene, og disse bidrar i varierende grad som feilkilder. Det generelle inntrykk fra resultatene er at modellen har en tendens til å overestimere maksimumskonsentrasjonene i episoder (med varighet 1 – 3 timer), mens observasjonsmaterialet indikerer lenger episodevarighet med noe lavere maksimumsverdi. Slike episoder beregnes for alle målesteder, og som oftest samtidig for  $PM_{2,5}$  og  $PM_{10}$ . Dette fenomenet er trolig knyttet til selve spredningsmodellen og videre utviklingsarbeid er påkrevet for å forbedre modellen på dette punktet. Det at beregningene gir gjennomgående for lave nivåer av svevestøv utover kvelden og natten kan dels skyldes hvordan spredningen beregnes, dels estimatet av ulike utlipp på kvelds- og nattetid, samt at det regionale bakgrunnsbidraget kan være underestimert.

I Sofienbergparken, gjelder den generelle kommentaren om at modellen gjennomgående gir for lave verdier på kvelds- og nattetid, men overestimeringen av maksimumssituasjonene er mindre markert her enn på gatestasjonene. Dette fører til at de beregnede døgnmiddelverdiene overveiende blir for lave på denne stasjonen. Årsakene til denne underestimeringen er antakelig mange og sammensatte, men en sannsynlig forklaring er at det angitte vedforbruket i dette området er for lavt, og/eller at den benyttede utslippsfaktoren er for liten. Sammenlikningen mellom de observerte og beregnede svevestøvkonsentrasjonene i Sofienbergparken viser også at enkelte episoder med høye observerte nivåer ikke fanges opp av modellen. Vi tror dette i hovedsak skyldes to forhold. For det første at de meteorologiske inngangsdataene som er målt på Valle Hovin, ikke er representative for spredningsforholdene i det sentrale byområdet i disse situasjonene, og for det andre at de benyttede utslippsestimatene av forbrenningspartikler fra vedfyringen er spesielt lave i disse situasjonene, (f.eks. som følge av feil både i den tidsmessige fordelingen av vedforbruket og forbrukets temperaturkorreksjon, se avsnitt 3.6)

For gatestasjonene er det noen perioder der beregningene i sterk grad underestimerer  $PM_{10}$ -nivåene, mens  $PM_{2,5}$ -nivåene samsvarer bra med observasjonene. Dette forekommer typisk i episoder med svært høye observerte  $PM_{10}$ -nivåer. Dette gjelder eksempelvis for periodene 5. – 9. februar og 16. – 18. februar 1999. Siden oppvirvlet veistøv er den viktigste bidragsyteren til grovfraksjonen i svevestøvet må årsaken til denne underestimeringen være knyttet til at det beregnede veistøv-bidraget er for lavt i disse periodene. Trolig frigis stadig større støvmengder i perioder når veibane og veiskuldre gradvis tørker opp. I beregningene har vi ingen informasjon om disse opptørkingsprosessene og kun opplysninger om målt nedbør, luftfuktighet og temperatur benyttes for å anslå tørrheten av veiene. Mer detaljert informasjon om veibanens/veiskulderens tørrhet og støvmengde må fremskaffes for bedre å kunne beregne veistøvet bidrag til de totale  $PM_{10}$ -nivåene.



Den romlige konsentrasjonsfordelingen for de to døgnene da de høyeste svevestøvkonsentrasjonene beregnes viser størst vedbidrag i området Grünerløkka/Sofienbergparken og Fagerborg/Bislett. I beregningsmaterialet bidro vedfyringen maksimalt med et svevestøvbidrag på  $46.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Denne døgnverdien ble beregnet 1/2-99 i modellruta (10,12) som dekker Fagerborg/Bislett-området. Det totale  $\text{PM}_{2.5}$ -nivået ble dette døgnet beregnet til  $60.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  i denne modellruta, og vedfyringen utgjorde dermed hele 76.4 %.

Når det gjelder veistøv, samsvarer beregningsresultatene som er presentert i denne rapporten i stor grad med tidligere beregnings- og måleresultater, dvs. at veistøvet i hovedsak bidrar til veinære forurensningsproblemer, og ikke i tilsvarende grad til problemer i sentrumsområder av byer generelt (Larssen og Hagen 1997). På gatestasjonene gir bileksos et betydelig bidrag til  $\text{PM}_{2.5}$ , og veistøv i tillegg et vesentlig bidrag til  $\text{PM}_{10}$ . Veistøvet bidrar spesielt i episoder med de høyeste  $\text{PM}_{10}$ -verdiene.

Selv om evalueringen av modellresultatene viser betydelige avvik, er det likevel grunn til å framheve at samsvaret mellom observerte og beregnede nivåer i store deler av beregningsperioden er svært bra. Dette gjelder for begge svevestøvkomponentene, om enn i sterkere grad for  $\text{PM}_{2.5}$  enn for  $\text{PM}_{10}$ . Det er derfor forsvarlig å benytte beregningsmaterialet til å belyse vedfyringens bidrag til den totale svevestøvkonsentrasjonen. Det er imidlertid viktig å understreke at det modellerte vedfyringsbidraget i stor grad er styrt av det estimerte vedforbruket, utslippsfaktoren, og av den antatte romlige og tidsmessige fordelingen av det spesifiserte vedforbruket, og at de betydelige usikkerhetene i disse fordelingene gjenspeiles som usikkerheter i beregningene.



# Vedfyring og svevestøv

## Beregninger i Oslo vinteren 1998/1999

### 1 Innledning

På oppdrag fra Statens forurensningstilsyn (SFT) har Norsk institutt for luftforskning (NILU) tidligere utført luftkvalitetsberegninger av  $PM_{2.5}$  og  $PM_{10}$  (svevestøvpartikler med diameter mindre enn h.h.v.  $2.5 \mu m$  og  $10 \mu m$ ) i de største byene i Norge (Slørdal, 1998; Slørdal og Tønnesen, 1999). Disse beregningene har vært basert på utslippsoversikter fra Statistisk Sentralbyrå (SSB). Beregninger har vist at vedfyringen bidrar vesentlig til totalkonsentrasjonen av svevestøv i byene. Imidlertid er det store usikkerheter knyttet til SSB's estimater av både det totale vedforbruk innenfor byene og den geografiske og tidsmessige fordelingen av dette forbruket.

På denne bakgrunn fikk NILU i oppdrag av Miljøverndepartementet (MD) og SFT å gjennomføre målinger av  $PM_{10}$  og/eller  $PM_{2.5}$  vinteren 1998/1999, for å belyse hvor mye vedfyringen faktisk bidrar til de målte svevestøvkonsentrasjonene. I tillegg til den direkte tolkningen av målingene skulle NILU også benytte modellverktøyet AirQUIS for å beregne konsentrasjonene av  $PM_{10}$  og  $PM_{2.5}$  i måleperioden. Modellresultatene skulle da kunne brukes både som støtte for tolkningen av måledataene og til å belyse usikkerheter i modellverktøy og utslippsoversikter. Analysen av måleresultatene der de målte svevestøvkonsentrasjonene for noen utvalgte døgn sammenholdes med de meteorologiske spredningsforholdene, er gitt i en egen rapport (Hagen, 2001).

Modellberegninger med AirQUIS er svært ressurskrevende og siden målingene av svevestøv hovedsaklig viser forhøyede verdier i perioden f.o.m. 7. desember 1998 t.o.m. 18. februar 1999 ble beregninger bare utført for dette tidsrommet. Samtlige 7 døgn som er omtalt spesielt i rapporten som beskriver måleresultatene (Hagen, utkast 1999) er innenfor dette tidsrommet.

Beregningene tar utgangspunkt i utslippsoversikter for 1995, men med justerte tall for trafikkutslippene slik at økningen i trafikkmengde fra 95/96 til 98/99 samt teknologiutviklingens virkning på trafikkutslippene i dette tidsrommet gjenspeiles i de benyttede trafikkutslippene.

NILU har tidligere gjennomført sprednings- og eksponeringsberegninger av svevestøvkomponentene  $PM_{2.5}$  og  $PM_{10}$  for bl.a. Oslo. Disse beregningene dekket vinterperioden fra begynnelsen av oktober 1995 til utgangen av mars 1996 (Slørdal, 1998), og modellverktøyet som ble benyttet beregnet utelukkende gjennomsnittskonsentrasjoner i modellens  $1 \times 1 \text{ km}^2$ -rutenett (bybakgrunnsnivåer). De nye beregningene for vinteren 1998/1999 som omtales i den foreliggende rapporten er imidlertid gjennomført med et mer avansert modellverktøy som er i stand til å beregne konsentrasjonen i vilkårlige posisjoner innenfor modellområdet. Dette gjør det mulig å estimere konsentrasjonsnivået nær veier, der svevestøvkonsentrasjonene varierer sterkt over relativt små avstander, dvs. 10 -100 m. Beregningsverdiene er av denne grunn ikke bare sammenliknbare med målinger som er foretatt i områder i god avstand fra hovedveier (bybakgrunn-

stasjoner), men kan også sammenholdes med målinger som foretas veinært (gatestasjoner).

## 2 Måleprogrammet

Som en del av det foreliggende prosjektet utførte NILU på oppdrag fra Miljøvern-departementet (MD) og Statens Forurensningstilsyn (SFT) nye målinger av PM<sub>10</sub> og PM<sub>2.5</sub> i Sofienbergparken denne vinteren. Dette var målinger som ble gjort i tillegg til øvrige målinger av svevestøv i Kirkeveien (gatestasjon), Linderud (gatestasjon) og Nordahl Brunsgt. (bybakgrunnstasjon). Disse måleresultatene er presentert og vurdert i lys av de meteorologiske spredningsforholdene i en egen rapport (Hagen, 2001). Det henvises til denne rapporten for en nærmere beskrivelse av måleprogrammet og av måleresultatene.

## 3 Metodebeskrivelse av spredningsberegningene

I det foreliggende arbeidet er modellsystemet **AirQUIS (Air Quality Information System)** blitt benyttet. Dette er et PC-basert modellverktøy som inneholder ulike moduler for grafisk presentasjon (GIS), utslippsberegninger, vindfeltberegninger, spredningsberegninger og eksponeringsberegninger. I det følgende er de modulene som er benyttet i dette prosjektet nærmere beskrevet.

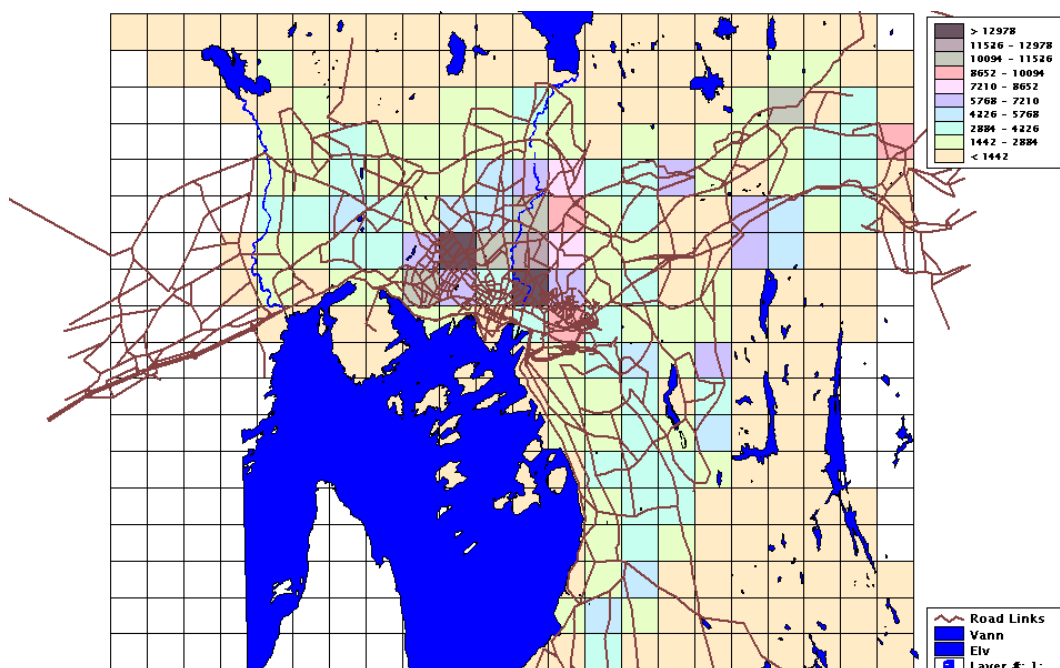
### 3.1 Modellområde og beregningsperiode

Posisjonen til modellområdets sørvestre hjørne (origo) og områdets utstrekning østover og nordover, er gitt i Tabell 1. I tillegg er beregningsperiodens start- og slutt-tidspunkt angitt i tabellen. Posisjonene er angitt i km i kartverkets UTM/WGS84 system. Kart som viser modellområdet er gjengitt i Figur 1.

*Tabell 1: Posisjon (UTM/WGS84 i km.) av modellområdets sørvestre hjørne og områdets østlige og nordlige utstrekning i km., samt start- og slutt-tidspunkt for simuleringen.*

	Øst pos. origo (km)	Nord pos. origo (km)	Østvest utstrek. (km)	Nordsør utstrekn. (km)	Start-tidspunkt for beregning	Slutt-tidspunkt for beregning
Oslo	587,000	6 633,000	22	18	7.12.98 kl 01	20.2.99 kl 24

Ut fra spredningsberegningene er det produsert timevise konsentrasjonsverdier for PM<sub>10</sub> og PM<sub>2.5</sub> i punktene hvor målinger er gjennomført, dvs. Sofienbergparken, Kirkeveien, Nordahl Brunsgt., og Linderud. I tillegg er det tatt ut beregnede rutemiddelverdier for hver 1 x 1 km<sup>2</sup> rute innenfor modellområdet. Siden eksisterende luftkvalitetskrav for svevestøv idag relateres til døgnverdier er det dessuten beregnet døgnmiddelverdier basert på timeverdiene. Disse døgnverdiene er ikke beregnet som glidende døgnmidler, men er regnet fra midnatt til midnatt.



Figur 1: Modellområdets ruteinndeling (1 km × 1 km rutenett) med skissemessig framstilling av kystkontur og hovedveinett. Fargeinndelingen angir hvorledes Oslo's befolkning er fordelt innenfor modellens rutenett.

### 3.2 Utslippsdata

Spredningsberegningene tar utgangspunkt i estimerte timevise utslippsdata for hver av komponentene PM<sub>2.5</sub> og PM<sub>10</sub>. Grunnlagsdataene for disse utslippene er skaffet til veie av Statistisk Sentralbyrå (SSB) i samarbeid med NILU. For bruk i spredningsmodellen deles utslippsdataene inn i følgende tre hovedkategorier:

- 1) Linjekilder (utslipp fra veitrafikk). I modellen er veinettet definert som et sett av veilenker. Hver veilenke inneholder informasjon om årstdøgnetrafikk (ÅDT; mål på trafikkmengde), kjøretøysammensetning, tidsvariasjon, geografisk posisjon, helning, osv. Ut fra denne informasjonen beregnes separate utslipp fra hver lenke. I Figur 1 vises modellområdet for Oslo med det benyttede veilenke-systemet angitt med rød farge. For å begrense beregningsmengden kan veilenker med ÅDT-verdien over et visst nivå skilles ut og beregnes v.h.a. linjekildemodellen, mens utslippene fra veiene med lavere ÅDT samles og gis som ruteutslipp, dvs. som arealfordelte utslipp.
- 2) Arealfordelte utslipp; innbefatter alle trafikkutslipp fra veilenker med så lav årstdøgnetrafikk at de ikke behandles som separate linjekilder, alle stasjonære utslipp som er for små til å klassifiseres som egne punktkilder, f.eks. generell husoppvarming, mindre fyrkjeler, utslipp fra småindustri, skipsutslipp osv. De arealfordelte utslippene angis i form av en middelværdi (i kg/time) for hver km<sup>2</sup>-rute innenfor modellområdet. Modellområdets rutenett for Oslo er vist i Figur 1. De arealfordelte trafikkutslippene spesifiseres som utslipp i bakkehøyde (1 meter over bakken) i spredningsberegningene, mens de øvrige stasjonære arealutslippene stort sett slippes ut over tak og derfor fordeles over

de to nederste lagene i spredningsmodellen, dvs. innenfor en avstand av 50 meter fra bakken.

- 3) Punktkilder; innbefatter større utslipp fra store bedrifter/prosessanlegg. Sammen med utslippsmengde gis tilleggsinformasjon om nøyaktig posisjon, pipehøyde, utslippshastighet osv.

Trafikkutslippene som er benyttet i de foreliggende beregningene tar utgangspunkt i anslag for trafikkmengde og utslippsfaktorer som antas gyldige for året 1995. Dette er det samme utslippsgrunnlaget som NILU for tiden benytter i eksponeringsberegninger for vinteren 1995/1996, og som også danner utgangspunktet for årets framskrivningsberegninger av luftkvaliteten i flere norske byer fram mot år 2010. Siden beregningene som omtales i denne rapporten skal gjenspeile forholdene vinteren 1998/1999 er den benyttede trafikkmengden og utslippsfaktorene justert slik at det tas hensyn til den observerte økningen i trafikkmengde fra 95/96 til 98/99 (basert på Oslo-tallene i Nasjonal Transportplan 2002-2011; Statens vegvesen, 1998) samt til teknologiutviklingens virkning på utslippsfaktorene i dette tidsrommet (basert på Nasjonal Utslippsmodell; "Utslipp fra vegtrafikk i Norge" SFT 99:04).

Metoden som er benyttet for estimeringen av trafikkutslippene av PM<sub>10</sub> og PM<sub>2,5</sub>, tar utgangspunkt i trafikkutslippene av eksospartikler. For å konvertere dette til partikkelutslipp tas det hensyn til trafikkens kjøretøysammensetning og trafikkhastigheten. Andelen av oppvirvlede veipartikler anslås deretter ut fra om det er piggdekk sesong (og i så fall andelen av piggdekk-brukere) og graden av fuktighet på veibanen. For å bestemme fuktighetsgraden av veibanen, benyttes innhentede meteorologiske data om nedbør, luftfuktighet og temperatur. I tillegg estimeres hvor stor del av veistøvet som er finfraksjon, dvs. PM<sub>2,5</sub>. Dette estimatet er basert på empiriske data.

Likningen nedenfor viser hvorledes støvutslippet pr. kjøretøy (angitt i kg/km) beregnes:

$$q = q_{ep} + F_p \cdot F_{vf} \cdot \{0.69 \cdot q_{ep} + 0.239 \cdot [(0.258 \cdot TT) + 1.436] \cdot (V_T / 75)^2\}$$

der  $q_{ep}$  er eksospartikkelutslippet,  $F_p$  er en funksjon av piggdekkandelen,  $F_{vf}$  er et uttrykk for fuktighetsgraden av veibanen,  $TT$  er tungtrafikkandelen angitt i prosent og  $V_T$  er skiltet trafikkhastighet angitt i km/time. Utslippsmodellen for svevestøv er laget på bakgrunn av inngangsdata fra en trafikksituasjon med 20 % piggfriandel og med tungtrafikkandeler mellom 4 % og 14 %. For økte piggfriandeler forutsetter modellen at nedgangen i veistøvgenerering er proporsjonal med økning i piggfriandelen slik at veistøvgenerering når alle biler er uten piggdekk er 2 % av veistøvgenereringen når alle biler har piggdekk.

De arealfordelte fyringsutslippene er basert på grunnkretsfordelte forbrukstall for året 1995. Det er de nyeste reviderte forbrukstallene for 1995 fra SSB som her er benyttet. Ut fra disse forbrukstallene, tilhørende utslippsfaktorer, angitt midlere døgnfordeling og spesifisert temperaturkorreksjon er det beregnet en romlig utslippsfordeling for hver time. Vedfyringspartiklene er i all hovedsak svært små partikler (med diameter mindre enn 2.5 µg/m<sup>3</sup>) og vedfyringsbidraget til PM<sub>10</sub>- og

PM<sub>2,5</sub>-nivåene blir derfor like store. Det presiseres her at fyringsutslippene i våre beregninger er blitt temperaturkorrigert for den aktuelle temperaturvariasjonen innenfor beregningsperioden, slik at utslippene er størst i de kaldeste periodene.

Beregninger gjennomført for Oslo har vist at punktkildene bare bidrar med omlag 1 % til de beregnede maksimumskonsentrasjonene i bakkenivå. Det er utslippene fra de arealfordelte kildene, d.v.s fra trafikk og fyring, som er bestemmende for maksimalverdiene i bakkekonsentrasjonen.

### 3.3 Regionalt bakgrunnsbidrag

I utslippsestimatene ovenfor er det bare tatt hensyn til kilder innenfor modellområdet. I tillegg til bidraget fra disse lokale kildene, inneholder luften også et regionalt bakgrunnsbidrag som i første rekke skyldes langtransport av forurensninger. Tidligere undersøkelser har vist at dette bidraget kan være av relativt stor betydning, spesielt for langtidsmiddelverdiene av PM<sub>10</sub> og PM<sub>2,5</sub>.

I spredningsberegningene som presenteres i denne rapporten er det regionale bakgrunnsbidraget tatt med ved å benytte målte døgnverdier av sulfat, nitrat og ammonium på to av de regionale bakgrunnstasjonene i Sør-Norge (Birkenes og Skreådalen). Dette er målinger som gjøres i områder hvor lokale utslipp er neglisjerbare. Ut fra sulfat, nitrat- og ammoniumkonsentrasjonene er så PM<sub>10</sub>- og PM<sub>2,5</sub>-konsentrasjonene beregnet ut fra empiriske relasjoner. Relasjonene som er benyttet er gitt ved:

$$[PM_{10}] = ([SO_4] + [NO_3] + [NH_4]) \cdot 2.5,$$

og forholdet mellom PM<sub>10</sub> og PM<sub>2,5</sub> i bakgrunnen er satt lik

$$[PM_{2,5}] = 0.68 \cdot [PM_{10}].$$

Timeverdier er funnet ved lineær interpolasjon mellom døgnverdiene, og disse timeverdiene er deretter lagt til de beregnede konsentrasjonsverdiene innenfor modellområdet. Tillegget av dette bakgrunnsbidraget er det beste estimatet vi i dag kan gi av tilførselen av PM<sub>10</sub> og PM<sub>2,5</sub> fra områder utenfor selve beregningsområdet.

### 3.4 Meteorologiske inngangsdata og vindfeltmodell

I Oslo er det bare utført meteorologiske observasjoner på Valle Hovin. Denne målestasjonen er forsøkt plassert slik at den gir et mest mulig representativt bilde av de meteorologiske forholdene i byen. Målingene er utført med kontinuerlig registrerende instrumenter hvor dataene midles til timeverdier. Den atmosfæriske stabiliteten som er av stor betydning i spredningsberegningene er estimert ut fra den observerte vertikale temperaturdifferensen mellom to ulike nivåer i målemasta. Siden vi bare benytter én meteorologisk stasjon, innebærer dette at stabiliteten antas horisontalt homogen i beregningsområdet.

Informasjon om topografien i modellområdene er fremskaffet av Statens kartverk. Ut fra kartverkets digitale terrengmodell, der topografien gis i et rutenett med en

punktavstand på omlag 100 x 100 meter, er det konstruert bakkematriser med punktavstand 500 x 500 meter for bruk i den numeriske vindfeltmodellen.

Spredningen av de fleste luftforurensninger er i hovedsak styrt av vindforholdene. Man er derfor helt avhengig av en detaljert kjennskap til vindfeltets variasjon, både i rom og tid, for å kunne beskrive spredningen av ulike forurensninger på en tilfredsstillende måte. Tradisjonelt har man vært henvist til å benytte (statistisk) interpolerte vindfelte, beregnet ut fra et begrenset antall vindobservasjoner, som inngangsdata til spredningsmodellene. På grunn av for få målepunkter har disse vindfeltene ofte vist seg lite egnet som inngangsdata til spredningsberegninger. Spesielt gjelder dette i områder med komplisert topografi. I løpet av de senere år har man derfor sett en utvikling der vindobservasjonene er blitt supplert med numeriske (datamaskinbaserte) vindfeltberegninger. Slike modeller har gitt mulighet for mer fysisk begrunnede antakelser om vindforholdene også i de deler av modellområdet hvor man ikke har observasjoner.

En modell av denne type (**MATHEW**) er blitt brukt for å skaffe til veie timevise vindfelte i dette prosjektet. Modellen som er benyttet er en såkalt diagnostisk modell som på bakgrunn av enkeltstående vindobservasjoner produserer et tredimensjonalt vindfelt i et på forhånd definert gittersystem (Sherman, 1978; Foster et. al., 1995). Beregningene er i vesentlig grad påvirket av vindobservasjonene, men i tillegg tas det hensyn til topografien og de atmosfæriske stabilitetsforholdene. Dessuten sørger modellen for at det beregnede vindfeltet er masse-konsistent, hvilket betyr at vindfeltet er beregnet på en slik måte at det til enhver tid frakter like store luftmengder inn og ut av gitterboksene.

Vindfeltet ble beregnet for et regulært gitter med horisontal punktavstand på 500 x 500 meter, samt med 40 m punktavstand i vertikalen. Antall punkter horisontalt ble valgt slik at vindfeltet dekket hele beregningsområdet. Vertikalt ble beregningene utført med 30 gitterpunkter. Dette ga en total modellhøyde i vindfeltberegningene på 1160 m som er litt mer enn det dobbelte av den maksimale topografihøyden i Nordmarka. Disse punktverdiene ble deretter interpolert til rutenettet som ble benyttet i spredningsberegningene, dvs. til et 1 km x 1 km-rutenett horisontalt og til tre faste nivåer over bakken.

### 3.5 Beskrivelse av spredningsmodellen (EPISODE)

Meteorologiske inngangsdata til EPISODE baserer seg generelt på ferdig preprosesserte timevise data for meteorologi i form av:

- vind (styrke og retning) fra MATHEW
- temperatur og termisk stabilitet (her antatt horisontalt homogent)
- horisontal og vertikal turbulens ( $\sigma_v$  og  $\sigma_w$ ) og blandingshøyde ( $h_{mix}$ )
- skydekke og nedbør (her antatt horisontalt homogent)

For beregningene i Oslo er horisontal og vertikal turbulens ( $\sigma_v$  og  $\sigma_w$ ) beregnet ved hjelp av NILUs meteorologiske preprossessor MEPDIM (Böhler og Guerreiro, 1996). Beregningene er basert på vindstyrke, termisk stabilitet og bakkens beskaffenhet (ruhet) i hver km<sup>2</sup> rute. Modellberegningene er utført uten å ta hensyn til eventuell tørr- eller våtavsetning.



EPISODE er en kombinert eulersk/lagrangesk spredningsmodell for beregning av forurensning fra ulike typer kilder (areal-, linje- og punktkilder). Sentralt i modellen står løsningen av massebevaringsligningen for de forurensende stoffene i et fast tredimensjonalt (eulersk) rutenett. Denne delen av EPISODE benevnes i det følgende som "rutemodellen" (Grønskei og Walker, 1993).

EPISODE regner spredning av forurensning i rutesystemet som en kombinasjon av forflytning (adveksjon) og turbulent utveksling (diffusjon) av de ulike stoffene. Disse prosessene defineres både horisontalt og vertikalt (dvs. i tre dimensjoner).

Horisontal adveksjon regnes numerisk ved å bruke Botts fjerde ordens positive definte skjema i kombinasjon med Marchuk timesplitting (Bott, 1989). Bott-skjemaet er kjent for å ha gode numeriske regneegenskaper (lav kunstig numerisk diffusjon). Horisontal diffusjon regnes numerisk ved hjelp av et enkelt todimensjonalt eksplisitt skjema (Smith, 1985). Vertikalt regner modellen turbulent utveksling mellom lagene ved bruk av såkalt K-teori, med parameteriserte verdier av diffusivitetskoeffisientene (Shir, 1973; Businger et al. 1974). Adveksjonen vertikalt regnes på grunnlag av den vertikale komponenten av vinden slik at modellen totalt sett blir masse-konsistent (divergensfritt vindfelt).

I tillegg inneholder EPISODE subgridskala lagrangeske modeller for beregninger med bedre oppløsning i enkelte delområder (i nærheten av kildene). Subgridskala areal- og linjekildemodellene baserer seg på standard integrerte Gaussiske modeller (Grønskei et al., 1996). Punktkildemodellen baserer seg på en segmentert Gaussisk plume-trajektorie-modell (Walker og Grønskei, 1992). Denne kan også ta hensyn til topografien i nærheten av punktkildene. Massen fra de individuelle plume-segmentene overføres til rutenettet når plumene blir omtrent av samme størrelse som rutene i rutenettet, og transporteres deretter som en del av rutemodellen.

I modellberegningene som presenteres her, anvendes EPISODE hovedsakelig som en kombinert linjekilde- og rutemodell. Alle veilenker med en årsdøgntrafikk over 3000 kjøretøy (ÅDT over 3000) er blitt behandlet som linjekilder, mens utslippene fra lenker med lavere trafikkmengde er lagt inn som ruteutslipp. De modellerte konsentrasjonsverdiene i de ulike punktene (reseptorpunkter) innenfor modellområdet, f.eks. i Sofienbergparken eller i Kirkeveien, er derved funnet ved først å beregne bidraget fra omkringliggende veilenker med ÅDT over 3000 som ligger innenfor en influensradius av maksimalt 500 m. Etter at direktebidragene fra disse veiene er beregnet adderes de øvrige konsentrasjonsbidragene fra rutemodellen. Den maksimale influensradien på 500 m benyttes for veilenkene med størst ÅDT og for nærområdet rundt tunnelmunninger. Influensradien reduseres gradvis med avtakende årsdøgntrafikk. I tillegg til de beregnede bakkekonsentrasjonene i de spesifiserte reseptorpunktene i modellområdet, beregnes også timevise middelkonsentrasjoner i bakkenivå for hver 1 km x 1 km gitterrute i modellen. Disse ruteverdiene er beregnet som en middelvei av 25 reseptorpunktverdier, dvs. 5 x 5 punkter jevnt fordelt innenfor ruta, med en innbyrdes avstand på 200 m.

EPISODE har tidligere vært anvendt en rekke steder, bl.a. i Oslo, Grenland i Nedre Telemark og i Teplice i Tsjekia. Modellen ble også brukt i forbindelse med ENSIS-overvåkingssystemet under OL på Lillehammer. For tiden inngår EPISODE i overvåkingssystemene i Oslo, Drammen (AirQUIS) og Grenland. Modellen har vært evaluert mot målinger i Oslo (Larssen et al., 1994; Grønseki et al., 1997, Walker et al., 1999) og i Bergen, Trondheim og Drammen (Slørdal og Walker, 1997). EPISODE er tidligere også blitt benyttet i eksponeringsberegninger (Slørdal, 1998) og i framskrivnings- og tiltaksberegninger (Slørdal og Tønnesen, 1999).

### 3.6 Usikkerheter i beregningene

Det hersker betydelig usikkerhet omkring en rekke av deelementene som inngår i beregningsresultatene som er presentert ovenfor. Dette gjelder spesielt for utslippsestimatene, men også modellene introduserer egne usikkerheter. Nedenfor er det gitt en kortfattet oversikt over de ulike usikkerhetsfaktorene som har spesiell betydning for beregningene av  $PM_{10}$  og  $PM_{2.5}$ .

#### *Usikkerheter knyttet til utslippsestimatene for vedfyringen*

Størrelsen på det totale vedforbruket i Oslo er usikkert. I tillegg er det usikkerheter knyttet til den geografiske fordelingen innenfor byen av dette forbruket. SSB har beregnet totalforbruket og deretter fordelt dette på Oslos grunnkretser. AirQUIS er deretter benyttet for å fordele vedforbruket i modellens  $km^2$ -rutenett. Det resulterende rutfordelte vedforbruket (angitt i tonn/år) er vist i Figur 2. SSB har selv understreket usikkerhetene, og er igang med arbeid for å forbedre dette datagrunnlaget.

I utslippsberegningene benyttes én utslippsfaktor (10.58 g partikler/kg ved), som knytter sammenhengen mellom vedforbruket og partikkelutslippet. Denne utslippsfaktoren angir derfor et midlere utslipp fra ulike typer vedovner/peiser og fra diverse vedtyper. Usikkerheten i denne utslippsfaktoren er stor, og det er grunn til å anta at ulike utslippsfaktorer burde vært benyttet for fyringsutslipp fra åpne peiser og fra moderne vedovner.

I beregningene er det stor usikkerhet knyttet til tidsvariasjonen av vedforbruket. Tidsvariasjonen er framkommet ved at det først er benyttet en gjennomsnittlig døgnvariasjon, som er forskjellig for virkedager og helgedager. Videre er det benyttet en temperatur-korrigerings slik at forbruket er høyere på kalde dager enn på varme. Følgende lineære temperatur-korreksjons-funksjon er benyttet:

$$k_n^i = \frac{13 - T_n^i}{13 - T_{avg}^i}$$

Her angir øvre indeks  $i$  hvilke av døgnetts 24 timer som betraktes,  $T_{avg}^i$  angir midlere temperaturverdi for den  $i$ 'te timen i døgnet midlet over hele den betraktede vintersesongen (oktober – mars) som utslippsdataene gjelder for, og  $T_n^i$  angir temperaturen for den aktuelle timen som beregningen gjennomføres for. Dersom temperaturen er høyere eller lik  $13^\circ C$  ansees utslippet som neglisjerbart. Nå er det sannsynlig at vindstyrken også virker inn på vedforbruket, og det er dessuten trolig at sammenhengen mellom vedforbruk og temperatur ikke er

lineær. Ytterligere undersøkelser bør derfor gjøres med sikte på å forbedre metodikken for temperaturkorreksjon av fyringsutslippene.

#### *Usikkerheter knyttet til utslippsestimatene for veitrafikken*

Utslippene fra veitrafikken er i beregningene estimert ut fra informasjon om trafikkmengde, kjøretøysammensetning, veitype osv. på veilenkesystemet som er vist i Figur 1. Småveinettet er ikke inkludert i dette lenkesystemet og utslippene fra disse veiene er følgelig ikke tatt med i beregningene. Anslag gjennomført tidligere (Gram og Grønskei, 1989) tyder på at det totale utslippet fra småveinettet utgjør omlag 15% av det totale trafikkutslippet. Utelatelsen av disse utslippene representerer en systematisk feilkilde som bidrar til en underestimert i beregningene. I det videre arbeid med utslippsgrunnlaget bør derfor oversikter over utslipp fra småveier utarbeides, slik at dette bidraget kan tas med i form av et arealfordelt trafikkutslipp.

Det hefter også noe usikkerhet ved utslippsfaktorene som er benyttet for å beregne utslippet av eksospartikler. Likevel er det grunn til å påpeke at denne usikkerheten er vesentlig mindre enn usikkerheten i faktorene som er benyttet til å beregne partikkelutslippet fra vedfyringen.

I beregningene av trafikkutslippet er det benyttet én tidsvariasjon for helgedager (lørdag og søndag) og en annen for virkedagene. Disse to tidsvariasjonene er benyttet for alle veitypene. Dette er opplagt en forenkling som bidrar til feil i beregningene. En mer detaljert beskrivelse av den døgnlige tidsvariasjonen på de ulike veitypene er derfor ønskelig.

Trafikk-oppvirvlet veistøv er ved siden av vedfyringspartiklene en viktig bidragsyter til svevestøvkonsentrasjonene. Estimerer av dette bidraget er imidlertid beheftet med betydelig usikkerhet. Årsaken til dette er i første rekke at kjennskapen til veibanens våthet, som er en bestemmende faktor for mulig oppvirvling av veistøv, er mangelfull. Direkte målinger av veibanefuktigheten foreligger ikke, og i dette prosjektet er derfor våthetsgraden estimert fra målte verdier av nedbør, relativ fuktighet og temperatur på den meteorologiske målestasjonen på Valle Hovin. Disse estimatene forutsetter følgelig homogene nedbørs- og opptørkingsforhold over hele beregningsområdet. Metoden klarer derfor ikke å fange opp våthet som skyldes avsmelting fra is/snø på veiskulderen eller økt oppvirvling som følge av frigivelse av lokale støv-depoter på veiskuldrene i opptørkingsperioder. Mengden av veistøv som virvles opp avhenger dessuten av trafikkmengde, trafikkammensetning, piggdekkbruk og kjørehastighet, dvs. parametre som i seg selv inneholder usikkerheter.

#### *Usikkerheter i øvrige tilførsler/kilder*

Det regionale bakgrunnsbidraget, dvs. estimatet av svevestøv-konsentrasjonen i luften som transporteres inn over modellområdet, er som tidligere nevnt basert på målte døgnverdier av sulfat, nitrat og ammonium på to av de regionale bakgrunnstasjonene i Sør-Norge (Birkenes og Skreådalen). Bruken av data fra bakgrunnstasjoner som ligger så langt fra modellområdet forutsetter at bakgrunnsnivåene varierer i liten grad både i rom og tid. I perioder med raske endringer i konsentrasjonsnivåene på bakgrunnsstasjonene er det grunn til å anta at de

benyttede verdiene er relativt misvisende. Dessuten er det grunn til å anta at luften som transporteres inn i modellen inneholder noe større mengder svevestøv enn det som måles på bakgrunnstasjonene, siden det i modellområdet umiddelbare nærhet finnes betydelige svevestøv-kilder (hovedveinett, boligområder etc.). For å kvantifisere disse kildenes bidrag, må man enten ha direkte målinger i randsonene, eller koble sammen regional-skala spredningsmodeller med byskala-modeller som AirQUIS.

I beregningsresultatene som er presentert her er det ikke tatt hensyn til vinderodert svevestøv. Målinger tyder imidlertid på at slik oppvirvling krever ganske sterk vind (7-8 m/s) og under slike forhold vil den mekaniske turbulensen og derved gjennomblandingen av luften nær bakken være så kraftig at høye konsentrasjoner ikke vil oppstå. Likevel burde denne kilden til svevestøv inkluderes i modellen, siden den opplagt gir et bidrag til langtidsmiddelkonsentrasjonene.

#### *Usikkerheter knyttet til meteorologiske spredningsforhold og vindfeltberegningen*

Siden det bare finnes informasjon om den vertikale temperaturfordelingen fra én målestasjon (Valle Hovin), er beregningene utført med antakelse om romlig homogene termiske stabilitetsforhold. Tidligere målinger i Oslo har vist at det vinterstid ofte oppstår en "varmeøy" i sentrumsområdet. Dette leder til at spredningsforholdene er bedre (dvs. mindre stabile) i dette området enn de meteorologiske forholdene på Valle Hovin skulle tilsi. Denne feilkilden kan bare reduseres med innføring av flere meteorologiske målestasjoner, og/eller med bruk av finskala meteorologiske værvarslingsmodeller.

Det er også usikkerheter knyttet til den modellerte vindstyrken og vindretningen, siden beregningene med vindfeltmodellen er gjennomført med bare en meteorologisk målestasjon. Dette får særlig betydning for de veinære beregningene, siden en liten feil i beregnet vindretning kan føre til at feil side av veien får belastningen.

#### *Usikkerheter knyttet til spredningsberegningene*

Rent metodemessig er spredningsberegningene i Oslo vinterstid mest følsomme, og dermed mest usikre, i situasjoner med utvikling av stabile bakkenære temperatur-inversjoner og med svake vindstyrker. Under slike forhold vil små endringer i vindstyrke og temperaturfordeling kunne lede til kraftige endringer i de beregnede svevestøv-konsentrasjonene. I sterkvinds-situasjoner med nøytrale eller endog ustabile spredningsforhold derimot, er spredningsberegningene langt mer robuste for endringer i de meteorologiske spredningsparametrene.

## 4 Beregningsresultater

I rapporten som omtaler svevestøvmålingene som ble gjennomført vinteren 1998-1999 (Hagen, 2001), er 7 døgn spesielt omtalt. Disse døgnene er 7. og 8. desember 1998, 29. januar, 1. februar, 8. februar, 12. februar og 18. februar 1999. Målingene av PM<sub>2.5</sub> kom ikke igang før siste halvdel av januar 1999, slik at målingene i de to døgnene i desember 1998 bare gjelder PM<sub>10</sub>. Modellberegningene av PM<sub>10</sub> og PM<sub>2.5</sub> dekker perioden 7. desember 1998 – 20. februar 1998. Beregningene avviker i stor grad fra observasjonene i døgnene 7. og 8. desember 1998. De målte PM<sub>10</sub> verdiene er 4 til 5 ganger høyere enn de beregnede, og verdien av å benytte beregningsmaterialet for disse døgnene til å si noe om vedfyringens bidrag til de totale svevestøvsnivåene er derfor relativt liten. I det følgende har vi derfor lagt mest vekt på perioden 29. januar – 20. februar 1999. Resultatene for perioden 7. desember – 23. desember 1998 er også vist i det følgende, men på en mer summarisk måte. Den øvrige perioden, 24. desember 1998 – 28. januar 1999 er ikke spesielt omtalt her av to grunner. For det første er utslippsforholdene i romjuls-perioden beheftet med ekstra usikkerheter, og dernest var både de målte og beregnede svevestøvsnivåene gjennomgående lave i januar 1999.

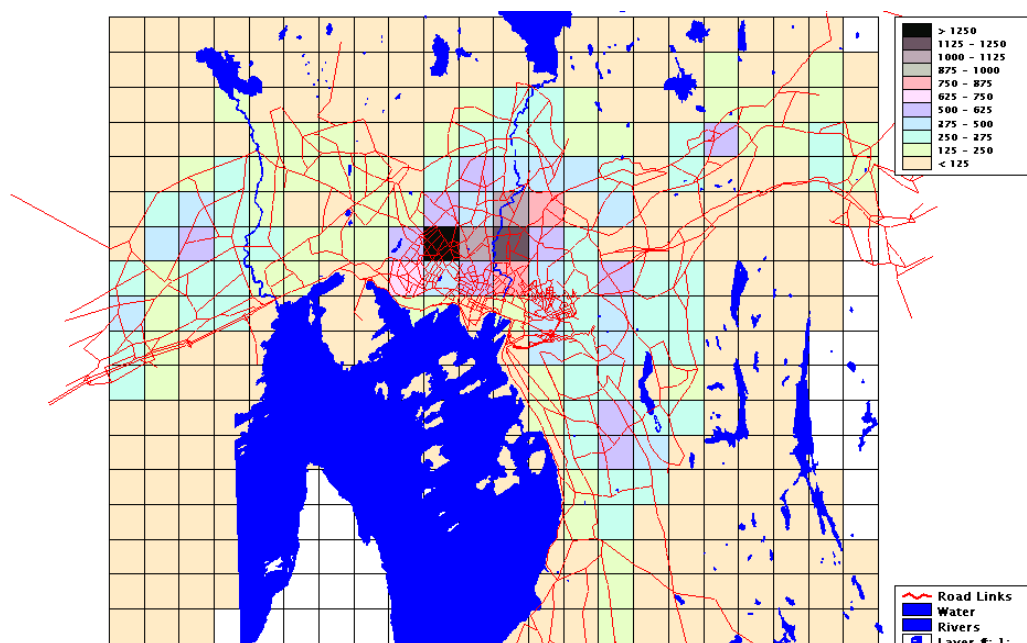
Vedfyringsbidraget er beregnet ved å benytte SSB's forbrukstall for ved som kildegrunnlag i modellberegningene. Dette forbruket (angitt i tonn/år) er fordelt i modellens rutenett som vist i Figur 2. Forbruket av ved i rutene som de ulike målestasjonene ligger i er angitt nedenfor:

Sofienbergparken: rute (12,12): 1139 tonn/år

Kirkeveien: rute (10,13): 512 tonn/år

Linderud: rute (16,14): 83 tonn/år

Nordahl Brunsgt: rute (11,11): 538 tonn/år



Figur 2: Årlig forbruk av ved fordelt i modellens rutenett. Verdiene er angitt i tonn/år.

Modellrute (12,12) som Sofienbergparken ligger innenfor er forøvrig ruta med nest størst vedforbruk, og dette parkområdet skulle derfor være et velegnet sted å gjennomføre svevestøvmålinger når målet er å undersøke vedfyringens betydning. Bare rute (10,12) som dekker Fagerborg/Bislett-området har et større forbrukstall. I denne ruta er forbruksestimatet på 1280 tonn/år. Det er grunn til å bemerke at maksimumsruta (10,12) er nabo-ruta rett sør for modellruta som inneholder målestasjonen på Kirkeveien.

#### 4.1 Sammenlikning av observerte og beregnede PM<sub>10</sub> og PM<sub>2,5</sub>-verdier for perioden 29. januar – 20. februar 1999

Observerte og beregnede timevise PM<sub>10</sub>-verdier, samt beregnet vedfyringsbidrag i Sofienbergparken (bybakgrunnsstasjon), Kirkeveien (gatestasjon) og Linderud (gatestasjon) for perioden 29.1.1999 – 20.2.1999 er vist i Figur 3. Statistiske måltall for overensstemmelsen mellom de observerte og beregnede timeverdiene av PM<sub>10</sub> i Figur 3 er gjengitt i Tabell 2. I Tabell 2 er i tillegg statistiske evalueringsparametre for bybakgrunnsstasjonen i Nordahl Brunsgt. tatt med. Definisjoner og forklaringer av de ulike statistiske parametrene er gitt i vedlegg A. I tabellen betegner bokstaven O observerte verdier, mens B angir beregnede verdier.

Tabell 2: Modellevalueringsparametre beregnet på grunnlag av observerte og beregnede timeverdier av PM<sub>10</sub> for perioden 29.1.1999-20.2.1999.

Parameter	Sofienbergparken	Kirkeveien	Linderud	Nord.Brunsgt
<b>O gj.snitt</b>	38.1 µg/m <sup>3</sup>	42.1 µg/m <sup>3</sup>	34.7 µg/m <sup>3</sup>	27.9 µg/m <sup>3</sup>
<b>B gj.snitt</b>	25.8 µg/m <sup>3</sup>	30.8 µg/m <sup>3</sup>	34.0 µg/m <sup>3</sup>	21.1 µg/m <sup>3</sup>
<b>σ<sub>O</sub></b>	28.7 µg/m <sup>3</sup>	35.3 µg/m <sup>3</sup>	29.4 µg/m <sup>3</sup>	20.3 µg/m <sup>3</sup>
<b>σ<sub>B</sub></b>	30.5 µg/m <sup>3</sup>	34.8 µg/m <sup>3</sup>	38.5 µg/m <sup>3</sup>	25.3 µg/m <sup>3</sup>
<b>O<sub>max</sub></b>	199.4 µg/m <sup>3</sup>	248.0 µg/m <sup>3</sup>	155.1 µg/m <sup>3</sup>	165.2 µg/m <sup>3</sup>
<b>B<sub>max</sub></b>	222.1 µg/m <sup>3</sup>	205.4 µg/m <sup>3</sup>	232.6 µg/m <sup>3</sup>	186.8 µg/m <sup>3</sup>
<b>b (Helning)</b>	0.59	0.37	0.41	0.67
<b>a (Nullpunkt)</b>	2.5 µg/m <sup>3</sup>	14.2 µg/m <sup>3</sup>	19.9 µg/m <sup>3</sup>	2.0 µg/m <sup>3</sup>
<b>Bias</b>	0.32	0.27	0.02	0.245
<b>Korrelasjon</b>	0.57	0.39	0.32	0.54
<b>RMSE</b>	21.4 µg/m <sup>3</sup>	27.8 µg/m <sup>3</sup>	25.8 µg/m <sup>3</sup>	16.3 µg/m <sup>3</sup>

Eventuelle hull i de observerte verdiene som er vist i Figur 3 skyldes manglende data p.g.a. tekniske problemer med måleinstrumentet. Hull i de beregnede verdiene skyldes manglende meteorologiske inngangsdata.

Som det fremgår av kurvene i Figur 3 er det tildels betydelige avvik mellom de observerte og beregnede PM<sub>10</sub>-verdiene. Dette kommer også tydelig fram i de statistiske parametrene som er gjengitt i Tabell 2. Det er bør imidlertid å påpekes at de beregnede verdiene i lange perioder også stemmer bra overens med observasjonene.

Kurvene i Figur 3 og de statistiske evalueringsparametrene i Tabell 2 viser, med unntak av gatestasjonen på Linderud, at det beregnede gjennomsnittlige PM<sub>10</sub>-

nivået for denne perioden er for lavt. Dette skyldes imidlertid ingen systematisk underestimering på timebasis, men snarere at enkelte observerte episoder ikke fanges opp av modellen, samt at forhøyede observerte nivåer synes å vedvare lenger utover natten enn de modellerte nivåene. Dette framkommer klart i resultatene fra Sofienbergparken der disse to effektene leder til at den beregnede langtidsmiddelverdien blir en god del for lav.

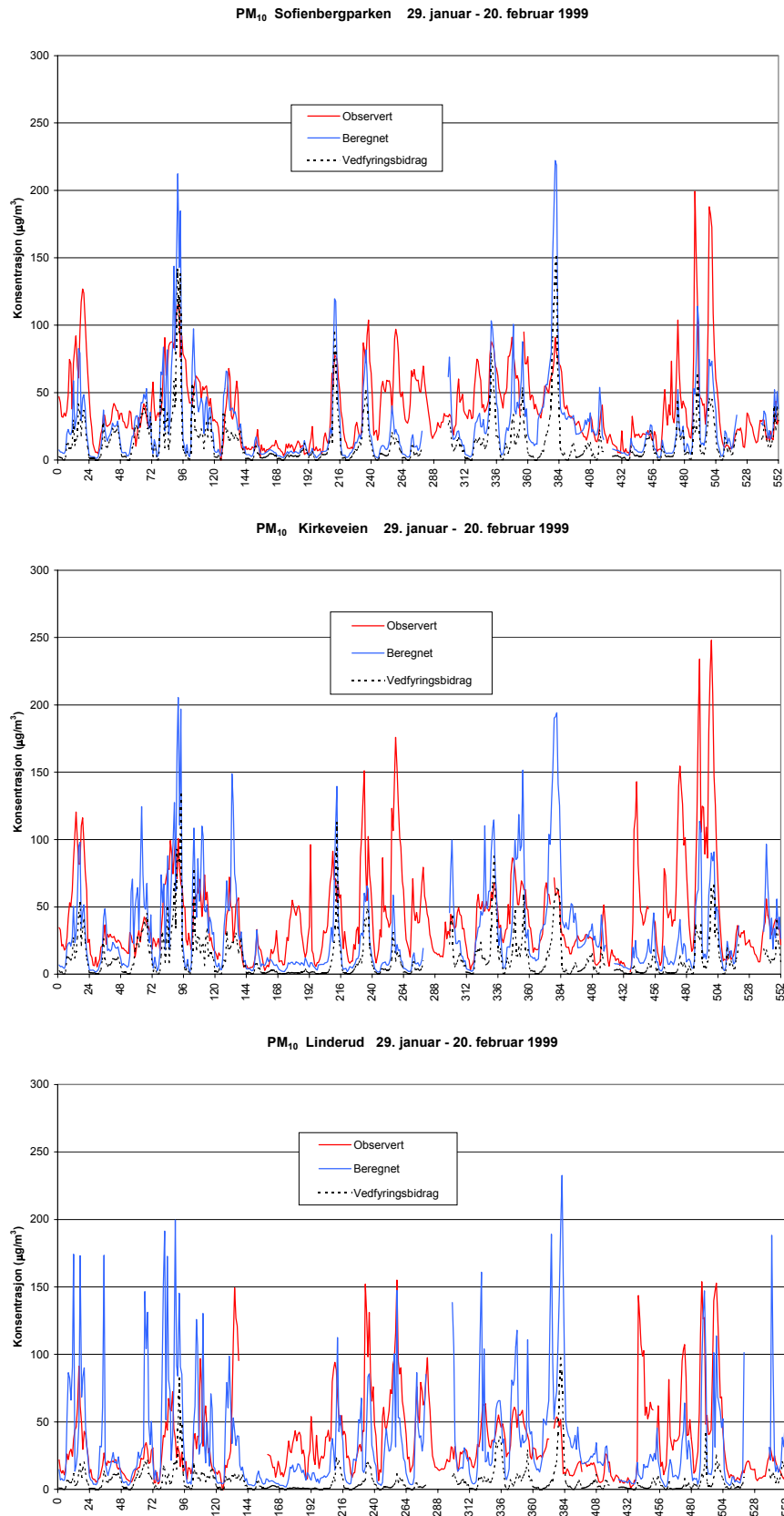
Kurvene i Figur 3 viser også at modellen i en del episoder har en tendens til å overestimere maksimumskonsentrasjonene, ikke minst på gatestasjonene, da modellen gir skarpe, oftest kortvarige topper som ikke gjenspeiles i målingene.

Observerte og beregnede timevise  $PM_{2.5}$ -verdier, samt beregnet vedfyringsbidrag i Sofienbergparken, Kirkeveien og Linderud for perioden 29.1.1999 – 20.2.1999 er vist i Figur 4. Statistiske parametre for de timevise  $PM_{2.5}$ -verdiene i Figur 4 er gjengitt i Tabell 3. Det foreligger ikke observasjoner av  $PM_{2.5}$  i Nordahl Brungst., slik tilfellet var for  $PM_{10}$ .

Samsvaret mellom de observerte og beregnede  $PM_{2.5}$ -verdiene er generelt sett bedre enn tilfellet var for  $PM_{10}$ . Spesielt er det grunn til å fremheve verdiene av de statistiske evalueringsparametrene for Kirkeveien. Bortsett fra en overestimering av maksimumsverdien, finner man for denne gatestasjonen bemerkelsesverdige gode verdier for middelnivået, helningen og nullpunktet for regresjonslinjen, bias og korrelasjonskoeffisienten. Også verdien for middelfeilen (RMSE, "Root Mean Square Error") er relativt lav for Kirkeveien i denne perioden.

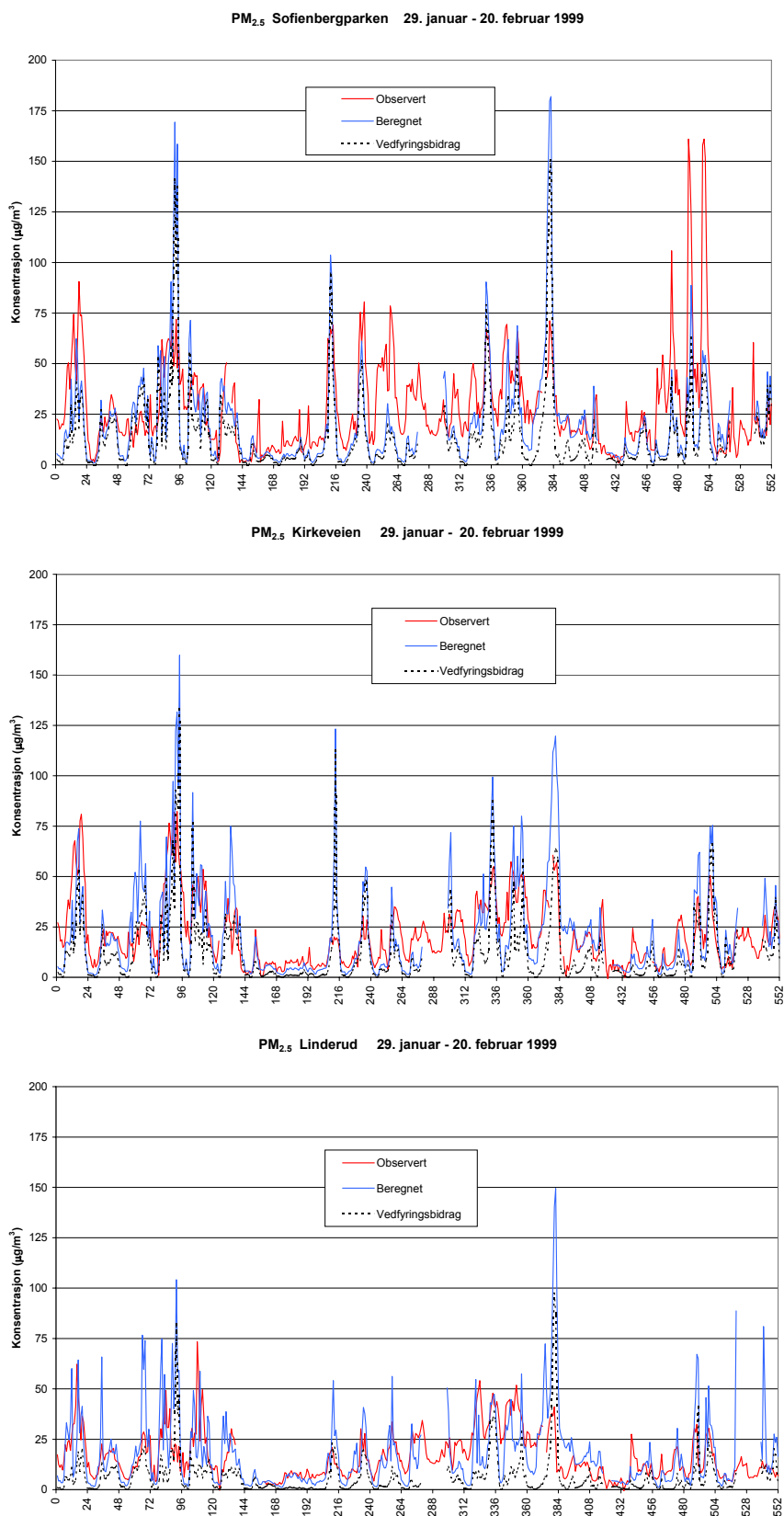
Beregnete gjennomsnittsverdier av partikler fra vedfyringen alene er for denne perioden  $14.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  i Sofienbergparken,  $12.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  i Kirkeveien og  $6.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  på Linderud. Sammenholdes disse verdiene med gjennomsnittsverdiene gjengitt i Tabell 2 og Tabell 3, utgjør dette beregnede vedbidraget hhv. 70%, 58% og 36% av de beregnede gjennomsnittlige  $PM_{2.5}$ -nivåene på de tre stasjonene. I forhold til de beregnede middelverdiene av  $PM_{10}$  utgjør vedbidraget 55% i Sofienbergparken, 40% i Kirkeveien og 19% på Linderud.

Tidsseriekurvene i Figur 3 og Figur 4 og de statistiske parametrene i Tabell 2 og Tabell 3 viser at det er mange fellestrekk mellom beregningsresultatene for  $PM_{2.5}$  og  $PM_{10}$ . Eksempelvis synes det som også de beregnede maksimale timeverdiene av  $PM_{2.5}$  gjennomgående er for høye. Betraktes resultatene fra Sofienbergparken ser en også at de beregnede  $PM_{2.5}$ -nivåene har en tendens til å bli for lave om nettene, noe som leder til gjennomgående for lave døgnverdier og som bidrar til et for lavt gjennomsnittsnivå. Mens  $PM_{10}$  resultatene (Figur 3) avdekket at modellen i noen situasjoner klart underestimerte høye observerte nivåer både i Sofienbergparken og i Kirkeveien, viser  $PM_{2.5}$ -resultatene (Figur 4) tilsvarende avvik kun i Sofienbergparken.



*Figur 3: Observerte og beregnede timevise PM<sub>10</sub>-verdier, samt beregnet vedfyringsbidrag i: Sofienbergparken (bybakgrunnstasjon), Kirkeveien (gatestasjon) og Linderud (gatestasjon) for perioden 29.1.99 - 20.2.99.*





Figur 4: Observerte og beregnede timevise PM<sub>2.5</sub>-verdier, samt beregnet vedfyringsbidrag i Sofienbergparken (bybakgrunnstasjon), Kirkeveien (gatestasjon) og Linderud (gatestasjon) for perioden 29.1.99 - 20.2.99.

Tabell 3. Modellevalueringparametre beregnet på grunnlag av observerte og beregnede timeverdier av  $PM_{2.5}$  for perioden 29.1.1999 - 20.2.1999.

Parameter	Sofienbergparken	Kirkeveien	Linderud
<b>O gj.snitt</b>	28.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	20.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	16.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
<b>B gj.snitt</b>	20.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	21.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	17.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
$\sigma_O$	22.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	15.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	11.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
$\sigma_B$	23.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	23.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	18.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
<b>O<sub>max</sub></b>	161.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	82.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	73.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
<b>B<sub>max</sub></b>	182.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	159.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	149.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
<b>b (Helning)</b>	0.53	0.98	0.76
<b>a (Nullpunkt)</b>	4.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	5.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
<b>Bias</b>	0.28	-0.02	-0.06
<b>Korrelasjon</b>	0.52	0.67	0.47
<b>RMSE</b>	16.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	11.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	10.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

En bredere diskusjon av vedfyringsbidrag og bidrag fra andre kilder er gitt i kapittel 4.3. Episodene med høye observerte verdier som ikke gjenspeiles i beregningene kan både skyldes at de meteorologiske inngangsdataene, som er målt på Valle Hovin, ikke er representative for spredningsforholdene i det sentrale byområdet i disse situasjonene, og at utlippene er estimert for lavt i disse periodene. Episodene forekommer typisk i svakvindsituasjoner når vindmålingene på Valle Hovin kan påvirkes av lokal kaldluft-drenasje ned Groruddalen, noe som trolig gir bedre spredningsforhold på Valle Hovin enn i sentrumsområdet. Tilgang på måledata fra meteorologiske målestasjoner i nærheten av luftkvalitetsstasjonene ville i stor grad eliminert denne feilkilden. Når det gjelder utlippsestimatene som er benyttet i beregningene, er det som nevnt i ansnitt 3.6 knyttet betydelige usikkerheter til utlippsmengden fra vedfyringen (samt dens romlige og tidsmessige fordeling), og til bidraget fra oppvirket veistøv. Resultatene i Figur 3 og Figur 4 viser at modellen klart underestimerer nivåene både av  $PM_{2.5}$  og  $PM_{10}$  i Sofienbergparken i enkelte episoder [eksempelvis timene 220-290 (~7. - 9. februar) og 460 - 510 (~17. - 18. februar)]. En sannsynlig forklaring på denne underestimeringen kan være at det angitte vedforbruket i dette området er for lavt, og/eller at den benyttede utlippsfaktoren (10 g/kg) er for liten. Dette fordi vedfyringen nesten utelukkende bidrar til finfraksjonen ( $PM_{2.5}$ ), mens oppvirket veistøv i hovedsak gir bidrag til grovfraksjonen, dvs. differansen mellom  $PM_{10}$  og  $PM_{2.5}$ . Grove anslag som vi har gjort viser at en økning av vedfyringsutslippet med en faktor på 1.5 ville gitt bra samsvar mellom målt og beregnet middelnivå av  $PM_{2.5}$  på denne stasjonen. For de to ovenfor nevnte periodene viser resultatene for Kirkeveien en klar modellmessig underestimering av  $PM_{10}$ , mens det modellerte  $PM_{2.5}$ -nivået samsvarer bra med observasjonene. Utfra samme kildebidrags-argumentasjon som ovenfor tyder dette på at veistøvbidraget er underestimert i disse periodene i beregningsresultatet. Årsaken til dette er sannsynligvis at veien i virkeligheten er tørrere enn beregningen tilsier. En mer detaljert diskusjon av resultatene fra enkeltdøgn innenfor beregningsperioden i Figur 3 og Figur 4, er gitt i avsnitt 4.1.1.

Episodene med for høyt beregnet nivå framstår oftest som kortvarige topper, der beregnet maksimumsverdi blir for høy. Dette gjelder for begge komponenter og både i Sofienbergparken og på gatestasjonene. Årsakene til dette fenomenet er

ikke kjent, og videre modellmessig utviklingsarbeid er derfor nødvendig for å forbedre spredningsmodellen på dette området.

#### **4.1.1 Utvalgte døgn i perioden 29. januar - 20. februar 1999**

Siden eksisterende luftkvalitetskrav for  $PM_{10}$  og  $PM_{2.5}$  er gitt for døgnmidler, er det blitt beregnet døgnverdier basert på de observerte og beregnede timeverdiene. Disse verdiene er vist som stolpediagram i Figur 5 for  $PM_{10}$  og i Figur 6 for  $PM_{2.5}$ . Det at modellen synes å beregne for kortvarige episoder leder til at de beregnede døgnverdiene har en tendens til å bli for lave.

De døgnene som er spesielt beskrevet i målerapporten (Hagen, 2001) er 29. januar, (timene 0-24 i Figur 3 og Figur 4), 1. februar (timene 72-96), 8. februar (timene 240-264), 12. februar (timene 336-360) og 18. februar (timene 480-504). Resultatene fra hvert av disse døgnene er spesielt omtalt nedenfor, der en også vurderer kildebidragene fra vedfyring og veistøv. Med unntak av 1. februar beregner modellen for lave svevestøvnivåer i Sofienbergparken disse døgnene. For å vise et eksempel-døgn der modellen faktisk beregner for høye konsentrasjoner i Sofienbergparken, er også 13. februar (timene 360-384) omtalt nedenfor.

#### **29. januar 1999:**

##### **Spredningsforhold: basert på måledata fra Valle Hovin**

**Vindstyrke:** Ca. 2 m/s, lavere fram til kl. 16, men økende utover kvelden.

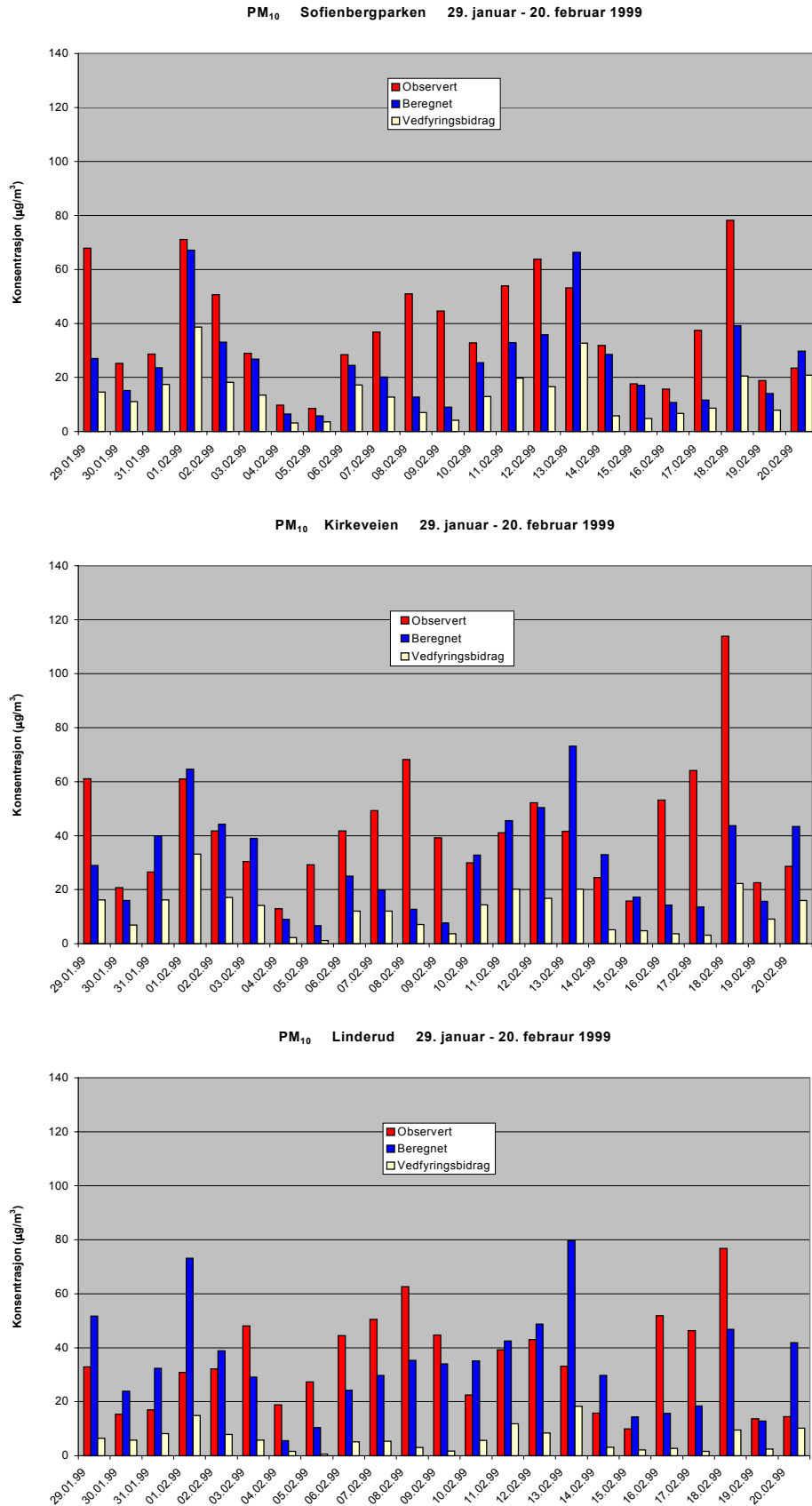
**Vindretning:** Fra nord/øst

**Stabilitet:** Nøytral til lett stabil.

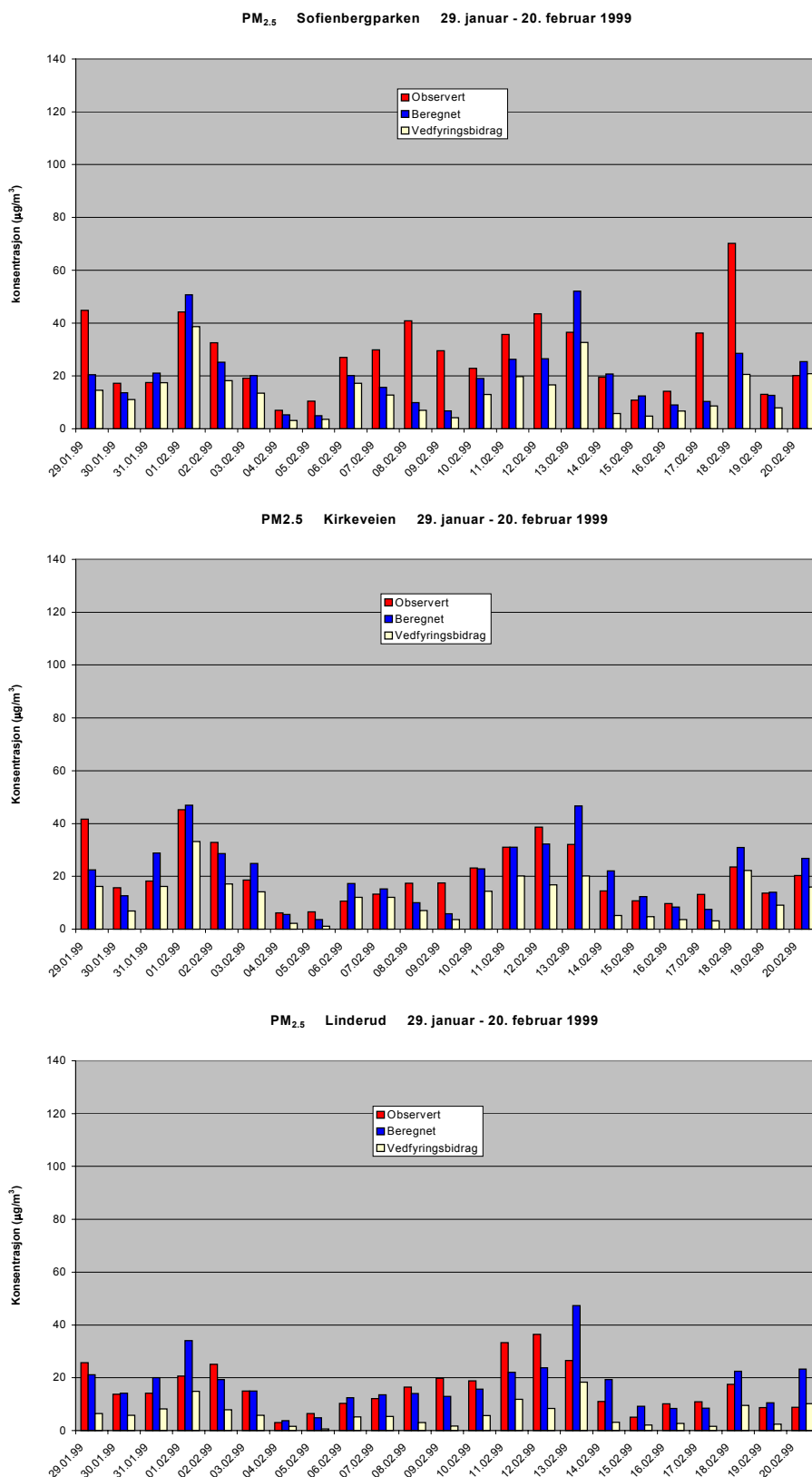
**Temperatur:**  $-12^{\circ}$  til  $-13^{\circ}\text{C}$  om morgenen. Soloppvarming utover dagen.  
Døgnet før:  $-17.8^{\circ}\text{C}$  vinterens laveste.

**Spr.forhold:** Ikke spesielt dårlige.

**Kommentar hentet fra målerapporten (Hagen, 2001):** På grunn av litt nedbør (snø) dagene før var trolig veiene fuktige (p.g.a. salting) eller snødekte. Bidraget fra oppvirket veistøv antas derfor å være lite. Spredningsforholdene var ikke spesielt dårlige. Temperaturen var lav om morgenen ( $-12$  til  $-13^{\circ}\text{C}$ ), men soloppvarmingen var betydelig utover dagen. Sofienbergparken hadde denne dagen vinterens 5. høyeste verdi av  $PM_{10}$  og vinterens nest høyeste  $PM_{2.5}$ -verdi. De høyeste  $PM_{10}$ - og  $PM_{2.5}$ -verdiene ble målt utover kvelden. Det var liten forskjell på de målte  $PM_{2.5}$ -nivåene i Sofienbergparken og Kirkeveien. Eksosutslipp var trolig hovedkilden til  $PM_{2.5}$  i Kirkeveien, mens vedfyring trolig var av størst betydning i Sofienbergparken.



Figur 5: Observerte og beregnede døgnverdier av PM<sub>10</sub>, samt beregnet vedfyrringsbidrag i Sofienbergparken (bybakgrunnstasjon), Kirkeveien (gatestasjon) og Linderud (gatestasjon) for perioden 29.1.99 - 20.2.99.



*Figur 6: Observerte og beregnede døgnerverdier av PM<sub>2,5</sub>, samt beregnet vedfyrringsbidrag for: Sofienbergparken (bybakgrunnstasjon), Kirkeveien (gatestasjon) og Linderud (gatestasjon) for perioden 29.1.99 - 20.2.99.*

**Observerte og beregnede døgnverdier** (angitt i  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Vedbidraget er angitt som prosentvis andel av den beregnede verdien):

	<i>Sofienbergparken</i>		<i>Kirkeveien</i>		<i>Linderud</i>	
	Obs/Ber	% vedbidr.	Obs/Ber*	% vedbidr.	Obs/Ber*	% vedbidr.
<b>PM<sub>10</sub></b>	67.8/27.0	54.1	61.0/28.9 /(62.5)	56.0	32.9/51.7 /(48.7)	12.5
<b>PM<sub>2.5</sub></b>	44.8/20.4	71.5	41.7/22.5 /(35.6)	72.1	25.7/21.1 /(21.4)	30.6

\* Verdien angitt i parentes viser beregnet døgnverdi på motsatt side av veien.

**Generell kommentar:** Underestimatet i beregnet døgnverdi for PM<sub>2.5</sub> i Kirkeveien skyldes i stor grad at modellen underestimerer i løpet av natten mellom 28. og 29. januar. Videre beregnes en langt høyere døgnkonsentrasjon på den andre siden av veien i forhold til målestasjonens plassering ( $62.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), noe som kan tyde på at den beregnede vindretningen i Kirkeveien ikke er riktig, slik at hovedbelastningen fra Kirkeveien er blitt beregnet på feil side av veien. Det beregnede bidraget fra vedfyringen i Kirkeveien er overraskende stort. Vi beregner omtrent like stort prosentvist vedbidrag i Kirkeveien som i Sofienbergparken. Som nevnt beregnes hovedbelastningen dette døgnet på motsatt side av veien. Siden vedfyringens bidrag beregnes på rutenivå er dette bidraget det samme på begge sider av veien dersom de to sidene er innenfor samme km<sup>2</sup>-rute. I forhold til beregnet totalkonsentrasjon på motsatt side av veien utgjør vedfyringen bare 25.9 % av PM<sub>10</sub>- og 45.6 % av PM<sub>2.5</sub>-nivået. I henhold til beregningene bidrar derfor vedfyringen minst like mye som eksosutslippet til PM<sub>2.5</sub>-nivået i Kirkeveien. For gatestasjonen på Linderud er vedbidraget som forventet betydelig lavere.

### ***1. februar 1999:***

#### **Spredningsforhold: basert på måledata fra Valle Hovin**

- Vindstyrke:** Svak vind. 0.4 til 2 m/s, i middel omkring 1 m/s.  
**Vindretning:** Hovedsakelig nord/øst, skiftende på ettermiddag/kveld.  
**Stabilitet:** Lett stabilt og stabilt hele døgnet, mest stabilt om ettermiddagen og kvelden.  
**Temperatur:** Ikke spesielt kaldt. -5°C på det kaldeste, +3°C på det varmeste. En kaldere dag kunne gitt vesentlig sterkere vedbidrag.  
**Spr.forhold:** Dårlige spredningsforhold.

**Kommentar hentet fra målerapporten (Hagen, 2001):** Det kom mye snø 30. og 31. januar. Veiene var derfor fuktige eller snødekte 1. februar, og oppvirvlet veistøv kan neppe ha gitt særlig bidrag denne dagen. Vinterens høyeste NO<sub>x</sub>/NO<sub>2</sub>-nivåer, både på døgn- og timemiddel-verdi, ble målt denne dagen på nesten alle målestasjonene i Oslo. Dette viser at forbrenningsutslippene (særlig eksos og oljefyring) var helt dominerende, siden oppvirvlet veistøv sannsynligvis ikke hadde særlig betydning denne dagen. De høye konsentrasjonene skyldes i første rekke spredningsforholdene, idet det var lett stabilt eller stabilt sammen med lav vindstyrke så å si hele døgnet. Temperaturen var ikke spesielt lav (-5°C på det

kaldeste, +3°C på det varmeste). En betydelig kaldere dag med samme eller eventuelt enda dårligere spredningsforhold kunne derfor sannsynligvis gitt en god del høyere konsentrasjoner. Målt PM<sub>10</sub> og PM<sub>2.5</sub> i Sofienbergparken viste tredje høyeste sesongverdi denne dagen. Det var liten forskjell i målt PM<sub>2.5</sub> mellom Kirkeveien og Sofienbergparken. Målt verdi av PM<sub>2.5</sub> utgjorde 62 % av målt PM<sub>10</sub> i Sofienbergparken. Eksosutslippet var trolig hovedkilden til PM<sub>2.5</sub> i Kirkeveien, mens vedfyringen antakelig betydde mest i Sofienbergparken.

**Observerte og beregnede døgnerverdier** (angitt i µg/m<sup>3</sup>. Vedbidraget er angitt som prosentvis andel av den beregnede verdien):

	<i>Sofienbergparken</i>		<i>Kirkeveien</i>		<i>Linderud</i>	
	Obs/Ber	% vedbidr.	Obs/Ber*	% vedbidr.	Obs/Ber*	% vedbidr.
<b>PM<sub>10</sub></b>	71.1/67.1	57.6	61.0/64.7 /(87.6)	51.3	30.8/73.1 /(72.6)	20.3
<b>PM<sub>2.5</sub></b>	44.2/50.7	76.3	45.2/47.0 /(56.1)	70.6	20.7/34.1 /(34.3)	43.6

\* Verdien angitt i parentes viser beregnet døgnerverdi på motsatt side av veien.

**Generell kommentar:** Dette døgnet er det rimelig godt samsvar mellom beregnede og observerte PM<sub>10</sub>- og PM<sub>2.5</sub>-nivåer i både Sofienbergparken og i Kirkeveien. På Linderud er det en betydelig overestimering, spesielt for PM<sub>10</sub>. Det generelle trekket i beregningene med for lave timeverdier på nettene og overestimering av maksimumsverdiene på dagtid kommer også tydelig fram i resultatene for dette døgnet, som vist i Figur 3 og Figur 4. I beregningsmaterialet for Sofienbergparken er det dette døgnet som har størst vedfyringsandel. Vedfyringsutslippet bidrar med 57.6 % av det beregnede PM<sub>10</sub>-nivået på 67.1 µg/m<sup>3</sup> og med hele 76.3 % av PM<sub>2.5</sub>-verdien på 50.7 µg/m<sup>3</sup>. Igjen ser vi at det beregnede vedbidraget i Kirkeveien er overraskende høyt, med bare noen få prosentpoengs lavere andel enn i Sofienbergparken. Også ved gatestasjonen på Linderud er det beregnede vedbidraget relativt stort denne dagen (43.6 % av beregnet PM<sub>2.5</sub>-nivå).

### **8. februar 1999:**

#### **Spredningsforhold: basert på måledata fra Valle Hovin**

**Vindstyrke:** 1 – 4 m/s, lavest kl. 15 og 16, men økende til over 2 m/s senere

**Vindretning:** Vind fra nord/øst (60 grader)

**Stabilitet:** Nøytralt (Δ T-verdi rundt 0°)

**Temperatur:** Kaldt, -10 grader store deler av døgnet

**Spr.forhold:** Ikke spesielt dårlige spredningsforhold

**Kommentar hentet fra målerapporten (Hagen, 2001):** Observerte PM<sub>10</sub> i Sofienbergparken var ikke spesielt høy denne dagen, men PM<sub>2.5</sub> utgjorde vel 80 % av PM<sub>10</sub> og PM<sub>2.5</sub> oppnådde 5. høyeste verdi denne vinteren. Forbrenningspartikler synes derfor å ha vært dominerende. Pga. kulden er det sannsynlig at vedfyringen har gitt et viktig bidrag. I Kirkeveien var PM<sub>2.5</sub> lavere enn i Sofienbergparken, mens PM<sub>10</sub> var klart høyere enn PM<sub>2.5</sub> i perioder særlig om

ettermiddagen og kvelden, og klart høyere enn PM<sub>10</sub> i Sofienbergparken. Dette skyldes trolig oppvirket veistøv, siden lite nedbør og ganske sterk vind dagene før sannsynligvis hadde ført til tørre veier. At ikke forurensningen ble enda høyere skyldes relativt gode spredningsforhold p.g.a. noe vind og stort sett nøytral stabilitet.

**Observerte og beregnede døgnverdier** (angitt i µg/m<sup>3</sup>. Vedbidraget er angitt som prosentvis andel av den beregnede verdien):

	<i>Sofienbergparken</i>		<i>Kirkeveien</i>		<i>Linderud</i>	
	Obs/Ber	% vedbidr.	Obs/Ber*	% vedbidr.	Obs/Ber*	% vedbidr.
<b>PM<sub>10</sub></b>	51.0/12.8	54.2	68.2/12.9 /(30.9)	55.1	62.6/35.3 /(22.9)	8.7
<b>PM<sub>2.5</sub></b>	40.9/9.9	70.0	17.4/10.0 /(17.1)	70.2	16.4/14.1 /(9.8)	21.8

\* Verdien angitt i parentes viser beregnet døgnverdi på motsatt side av veien.

**Generell kommentar:** Av de utvalgte døgnene som er spesielt omtalt her, er dette det eneste da modellen underestimerer døgnverdiene på samtlige stasjoner for begge svevestøvkomponeentene. Modellen beregner altfor lave verdier både av PM<sub>10</sub> og PM<sub>2.5</sub> i Sofienbergparken. For gatestasjonene, dvs. Kirkeveien og Linderud, er underestimeringen mest markert for PM<sub>10</sub>. Sannsynligvis skyldes dette at vi har benyttet altfor sterk vind i beregningene. Vinden som er observert på Valle Hovin er antakelig betydelig påvirket av en relativt sterk drenasjevind som strømmer ned Groruddalen, dvs. fra nord/øst. Denne drenasjevinden er sannsynligvis bare lokalisert til dalbunnen og er ikke representativ for vindforholdene i sentrumsområdet der vindstyrken antakelig er lavere. Vindfeltmodellen som er benyttet i disse beregningene forutsetter at vind-observasjonene er representative for større deler av modellområdet, og i vær-situasjoner der observasjonene er sterkt påvirket av f.eks. lokal drenasjevind vil det modellerte vindfeltet kunne avvike betydelig fra de faktiske vindforholdene i områder som ikke er direkte påvirket av drenasjevinden.

Når vi dette døgnet har en mye sterkere underestimering av PM<sub>10</sub> enn PM<sub>2.5</sub> på gatestasjonene, er det sannsynlig at vi i beregningene også har underestimert bidraget fra oppvirket veistøv. Trolig har større deler av veiskulderen gradvis tørket opp i løpet av de foregående dagene og mer støv har blitt tilgjengelig for oppvirkning. Siden de beregnede PM<sub>10</sub> verdiene antakelig ikke tar tilstrekkelig hensyn til veistøvbidraget dette døgnet, er det beregnede prosentvise vedbidraget i tabellen ovenfor også for høyt.



**12. februar 1999:****Spredningsforhold: basert på måledata fra Valle Hovin**

- Vindstyrke:** Varierende mellom 0.2 og ca. 2 m/s.  
**Vindretning:** Fra nord/øst, men sør/østlig i tidsrommet f.o.m. kl.14 tom. kl.18.  
**Stabilitet:** Nøytralt ( $\Delta T=0$ ), men stabilt kl.12 og lett stabilt kl. 20 – kl.23.  
**Temperatur:** -5 til -10  
**Spr.forhold:** Litt dårligere spredningsforhold enn 8. februar, men ikke veldig dårlige.

**Kommentar hentet fra målerapporten (Hagen, 2001):** Denne dagen var ganske lik 8.2.99. Det var fortsatt kaldt, men litt lavere vindstyrke, samt litt mer stabil temperatursjiktning i perioder. Veiene var antakelig fortsatt bare, men høy luftfuktighet kan ha medført rim/is på veiene. Sofienbergparken hadde vinterens 6. høyeste PM<sub>10</sub>-verdi og den 4. høyeste PM<sub>2,5</sub>-verdien. PM<sub>10</sub> viste ikke spesielt høye verdier på de øvrige målestasjonene, noe som tyder på at oppvirket veistøv ikke har gitt særlig bidrag. De forhøyede nivåene i Sofienbergparken tyder derfor på at vedfyringen er hovedkilden denne dagen for denne stasjonen.

**Observerte og beregnede døgnverdier** (angitt i  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Vedbidraget er angitt som prosentvis andel av den beregnede verdien):

	<i>Sofienbergparken</i>		<i>Kirkeveien</i>		<i>Linderud</i>	
	Obs/Ber	% vedbidr.	Obs/Ber*	% vedbidr.	Obs/Ber*	% vedbidr.
<b>PM<sub>10</sub></b>	63.9/35.8	46.5	52.2/50.4 /(53.2)	33.4	42.9/48.7 /(63.7)	17.2
<b>PM<sub>2,5</sub></b>	43.5/26.5	62.7	38.6/32.2 /(33.4)	52.2	36.4/23.8 /(29.6)	35.1

\* Verdien angitt i parentes viser beregnet døgnverdi på motsatt side av veien.

**Generell kommentar:** Sammenlikning av timeverdiene viser at de beregnede maksimumskonsentrasjonene er på samme nivå eller endog høyere enn de observerte verdiene dette døgnet. I motsetning til de beregnede konsentrasjonene holder imidlertid observasjonsnivået seg høyt gjennom natten, noe som leder til at de beregnede døgnverdiene gjennomgående blir for lave. De høye observerte konsentrasjonsnivåene nattetid kan tyde på at det regionale bakgrunnsbidraget er høyere i denne perioden enn våre estimerer tilsier.

I modellberegningene er veiene blitt behandlet som tørre dette døgnet. Det fremkommer klart av det lave beregnede vedbidraget denne dagen. Spesielt er dette tydelig i Kirkeveien, men også i Sofienbergparken beregnes et lavt vedbidrag.

**13. februar 1999:**

Denne dagen er ikke spesielt omtalt i målerapporten, men siden modellen beregner dette som en typisk forurensningsepisode og de målte svevestøv-nivåene i Sofienbergparken er blant de 10 høyeste denne vinteren, har vi valgt å presentere resultatene for denne dagen.

**Spredningsforhold: basert på måledata fra Valle Hovin**

- Vindstyrke:** Vinden stilner av på ettermiddagen og kvelden. Vindstyrke på omlag 1m/s eller mindre fra kl 13 og utover.
- Vindretning:** Fra nord/øst tidlig på dagen, men skifter til øst/sørøst når vinden spakner på ettermiddagen.
- Stabilitet:** Nøytralt ( $\Delta T=0$ ) tidlig på dagen, men lett stabilt utover kvelden.
- Temperatur:**  $-3^{\circ}$  til  $-10^{\circ}\text{C}$  (Omtrent som dagen før men litt mildere).
- Spr.forhold:** Relativt dårlige spredningsforhold på ettermiddag/kveld.

Veiene var antakelig fortsatt bare, men høy luftfuktighet kan ha medført rim/is på veiene.

**Observerte og beregnede døgnverdier** (angitt i  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Vedbidraget er angitt som prosentvis andel av den beregnede verdien):

	<i>Sofienbergparken</i>		<i>Kirkeveien</i>		<i>Linderud</i>	
	Obs/Ber	% vedbidr.	Obs/Ber*	% vedbidr.	Obs/Ber*	% vedbidr.
<b>PM<sub>10</sub></b>	53.2/66.3	49.3	41.6/73.1 /(62.3)	27.5	33.1/79.7 /(72.5)	23.0
<b>PM<sub>2,5</sub></b>	36.5/52.0	62.8	32.1/46.7 /(42.6)	43.1	26.5/47.3 /(44.9)	38.7

\* Verdien angitt i parentes viser beregnet døgnverdi på motsatt side av veien.

**Generell kommentar:**

Observasjonsnivåene den 13. februar er svært like nivåene døgnet før, dvs. den 12. februar, med relativt høye verdier om natten, men uten noen ekstreme nivåer utover kvelden. I modellen beregnes imidlertid en typisk kveldsepisode med maksimale verdier i tidsrommet fra kl. 17 til kl.22.

På tilsvarende vis som for døgnet før, 12. februar, er det beregnede vedbidraget relativt lavt. Det er grunn til å bemerke at selv om de beregnede verdiene er langt høyere den 13. enn den 12. så er beregnet vedbidrag i prosent så å si uendret. For gatestasjonene er trolig oppvirvlet veistøv en viktig kilde til de høye beregnede verdiene av PM<sub>10</sub> dette døgnet. En viktig årsak til vår overestimeringen på disse stasjonene er antakelig at kondens/rimdannelse gjorde veiene mindre tørre enn det som er antatt i beregningene.

**18. februar 1999:****Spredningsforhold: basert på måledata fra Valle Hovin**

- Vindstyrke:** 1 – 2 m/s hele dagen
- Vindretning:** Skiftende hele dagen, men fra nord/øst i maks-timene kl. 8 og 9 og fra kl. 19 til kl. 23.
- Stabilitet:** Lett stabilt og stabilt fram til kl. 11 og fra kl.19 og utover kvelden. Nøytralt midt på dagen.
- Temperatur:**  $-5^{\circ}$  morgen og kveld,  $+3^{\circ}$  midt på dagen.
- Spr.forhold:** Relativt dårlige spredningsforhold.

**Kommentar hentet fra målerapporten (Hagen, 2001):** Den mest interessante dagen denne vinteren. Sofienbergparken hadde den klart høyeste PM<sub>2.5</sub>-verdien denne dagen, og den nest høyeste PM<sub>10</sub>-verdien. PM<sub>2.5</sub> utgjorde 90% av PM<sub>10</sub> nivået. De høyeste PM<sub>2.5</sub>- og PM<sub>10</sub>-verdiene ble målt om morgenen/formiddagen og om ettermiddagen/kvelden i perioder med lav vindstyrke (1–2m/s) og stabil temperatursjiktning. Det var ubetydelig nedbør uka tidligere, og relativt lav luftfuktighet, slik at veiene sannsynligvis var bare og tørre. Lave PM<sub>2.5</sub>-verdier ved Kirkeveien og Linderud viser at PM<sub>10</sub>-verdiene ved disse stasjonene domineres av oppvirvlet veistøv. Mye høyere PM<sub>2.5</sub>-verdier i Sofienbergparken enn i Kirkeveien tyder på at partikler fra vedfyring er helt dominerende denne dagen, også til PM<sub>10</sub>, siden PM<sub>10</sub> bare er litt høyere enn PM<sub>2.5</sub>.

**Observerte og beregnede døgnverdier** (angitt i µg/m<sup>3</sup>. Vedbidraget er angitt som prosentvis andel av den beregnede verdien):

	Sofienbergparken		Kirkeveien		Linderud	
	Obs/Ber	% vedbidr.	Obs/Ber*	% vedbidr.	Obs/Ber*	% vedbidr.
<b>PM<sub>10</sub></b>	78.2/39.2	52.5	113.9/43.7 /(57.8)	50.9	76.8/46.8 /(44.7)	20.2
<b>PM<sub>2.5</sub></b>	70.2/28.5	72.1	23.6/31.0 /(36.5)	71.8	17.5/22.5 /(22.1)	42.1

\* Verdien angitt i parentes viser beregnet døgnverdi på motsatt side av veien.

**Generell kommentar:** Igjen ser vi en betydelig underestimering i modellberegningene. Modellen beregner altfor lave verdier både av PM<sub>10</sub> og PM<sub>2.5</sub> i Sofienbergparken. For gatestasjonene, dvs. Kirkeveien og Linderud, er det kun PM<sub>10</sub> som underestimeres, mens det faktisk er en svak overestimering av PM<sub>2.5</sub>. Observasjonene av PM<sub>10</sub> på gatestasjonene viser denne dagen høye verdier både under rushtrafikken om morgenen og om ettermiddagen/kvelden. Sammen med relativt lave observerte PM<sub>2.5</sub>-verdier i Kirkeveien og på Linderud tyder dette på at bidraget fra oppvirvlet veistøv er viktig denne dagen, og at avvikene mellom de beregnede og observerte PM<sub>10</sub>-verdiene i hovedsak skyldes en underestimering av dette bidraget.

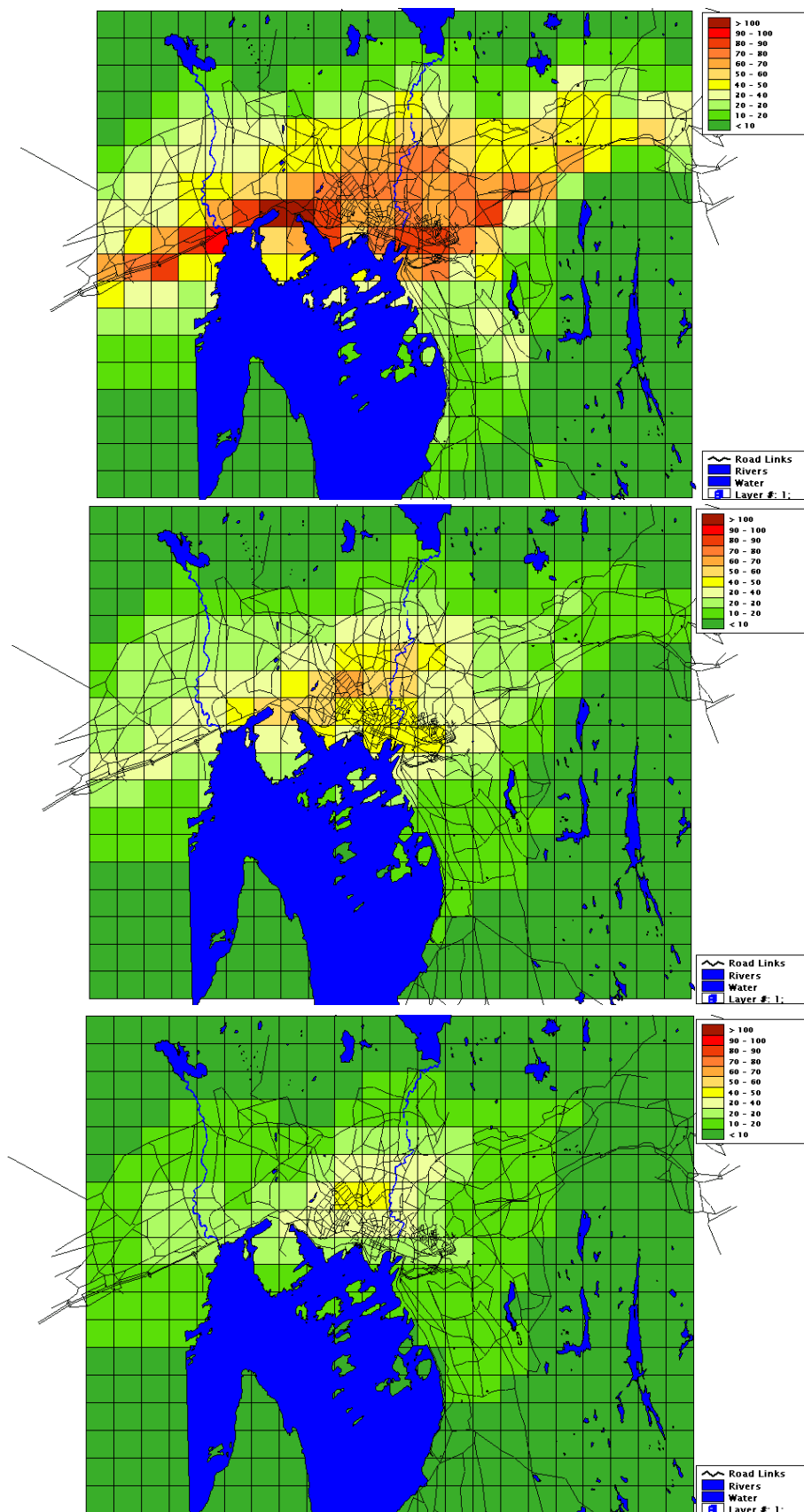
Siden PM<sub>2.5</sub>-andelen i de observerte PM<sub>10</sub>-verdiene i Sofienbergparken er så høye dette døgnet, er sannsynligvis vedfyringen den dominerende kilden. Årsaken til at vi beregner for lave verdier for begge komponenter på denne stasjonen, må da enten skyldes at vi benytter for lave utslipp eller at vi i modellen har beregnet gale spredningsforhold (dvs. for sterk vindstyrke og/eller for liten grad av termisk stabilitet) i dette området.

#### **4.1.2 Beregnet romlig fordeling av døgnverdiene av $PM_{10}$ , $PM_{2.5}$ og vedfyringsbidraget for døgnene 1. februar og 13. februar 1999**

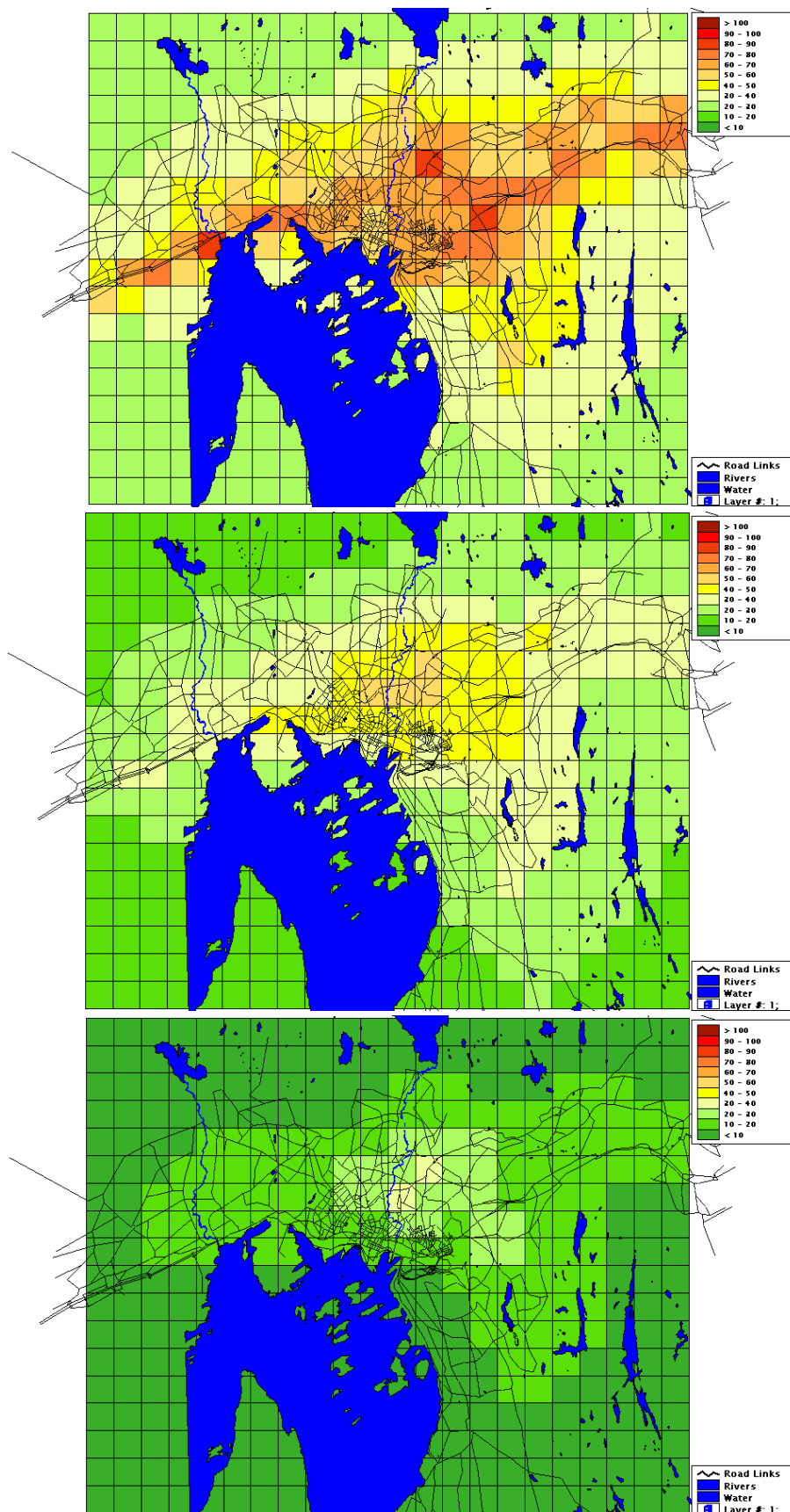
Den romlige konsentrasjonsfordeling, basert på beregnede rutemiddelverdier, for døgnverdier av  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  og vedfyringsbidraget for døgnene 1. februar og 13. februar, er vist i Figur 7 og Figur 8. Disse to døgnene er valgt ut siden de er døgnene med de høyeste beregnede svevestøv-nivåene. Dessuten er vindretningen ulik for disse to døgnene, noe som bidrar til forskjeller i geografisk fordeling av maksimumsområdene. Vindretningen er hovedsaklig fra nord/øst 1. februar, mens den svinger mellom nord/øst og øst/sørøstlig den 13. Dette forklarer hvorfor maksimumsnivåene er konsentrert mer om de sørlige sentrumsområdene 1. februar, mens forhøyede nivåer er spredt over større områder av byen den 13. februar. Vedfyringsbidraget er i sin helhet beregnet som finfraksjon, dvs som  $PM_{2.5}$ , og bidrar derfor med samme konsentrasjonsverdi til både  $PM_{10}$  og  $PM_{2.5}$ .

Beregningsresultatene for 1. februar (Figur 7) viser at den høyeste  $PM_{10}$ -verdien er på  $100.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  og beregnes i rute [8,11], (området omkring Bygdøylokket). Den maksimale  $PM_{2.5}$ -verdien denne dagen er beregnet til  $60.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  i rute [10,12], (området Fagerborg/Bislett). Vedfyringen alene gir denne dagen et maksimalt svevestøvsbidrag på  $46.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  også i rute [10,12].

De tilsvarende beregningene for den 13. januar (Figur 8) viser en maksimal  $PM_{10}$ -verdi på  $86.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  i rute [15,11], (området omkring skjæringen mellom ring 3 og E6 ved Valle Hovin). Den maksimale  $PM_{2.5}$ -verdien er beregnet til  $55.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  i rute [13,13], (ruta som inneholder Sinsen-krysset). Vedfyringen bidrar denne dagen mest i rute [12,12], (området Grunerløkka/Sofienbergparken), med en andel på  $32.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .



Figur 7: Beregnet romlig fordeling av døgnverdier av  $PM_{10}$  (øverst),  $PM_{2.5}$  (midten) og svevestøvbidraget fra vedfyring (nederst) for den 1. februar 1999. Denne fordelingen er basert på beregnede rutemiddelverdier.



Figur 8: Beregnet romlig fordeling av døgnverdier av  $PM_{10}$  (øverst),  $PM_{2,5}$  (midten) og svevestøvbidraget fra vedfyring (nederst) for den 13. februar 1999. Denne fordelingen er basert på beregnede rutemiddelverdier.

#### 4.2 Sammenlikning av observerte og beregnede PM<sub>10</sub>-verdier for perioden 7. desember – 23. desember 1998

Observerte og beregnede timevise PM<sub>10</sub>-verdier, samt beregnet vedfyrbidrag i Sofienbergparken (bybakgrunnstasjon), Kirkeveien (gatestasjon) og Linderud (gatestasjon) for perioden 7.12.1998 – 23.12.1998 er vist i Figur 9. Diverse statistiske parametre for de timevise PM<sub>10</sub>-verdiene i Figur 9 er gjengitt i Tabell 4. Definisjoner og forklaringer av de ulike statistiske parametrene er gitt i vedlegg A. I tabellen betegner bokstaven O observerte verdier, mens B angir modellberegnete verdier.

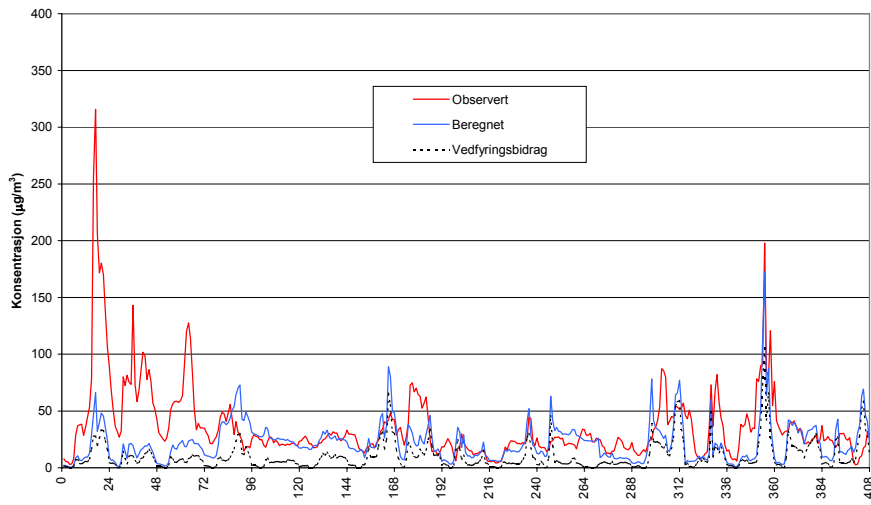
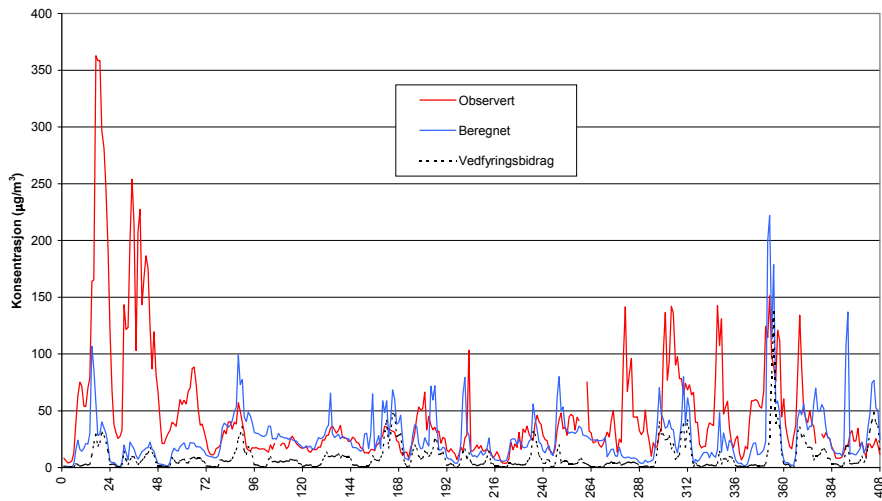
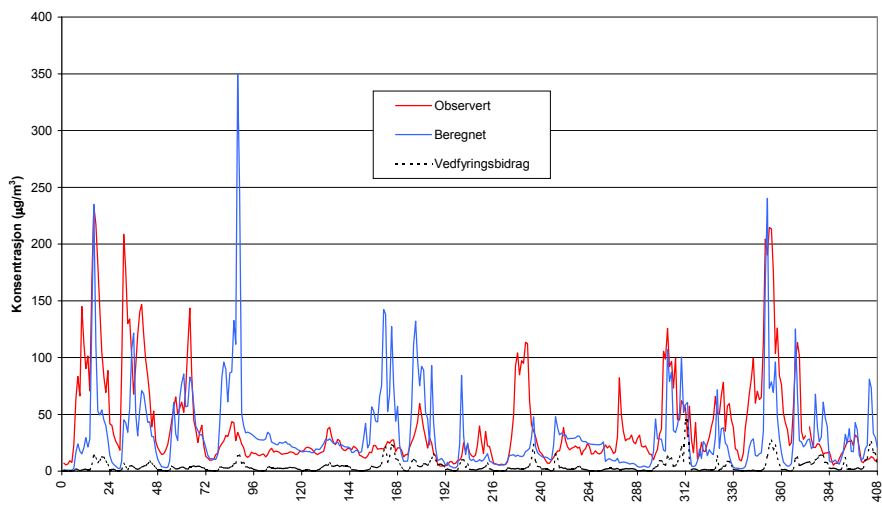
Tabell 4: Modellevalueringsparametre beregnet på grunnlag av observerte og beregnede timeverdier av PM<sub>10</sub> for perioden 7.12.1998 - 23.12.1998.

Parameter	Sofienbergparken	Kirkeveien	Linderud	Nord.Brunsgt
<b>O gj.snitt</b>	36.1 µg/m <sup>3</sup>	46.2 µg/m <sup>3</sup>	39.0 µg/m <sup>3</sup>	29.8 µg/m <sup>3</sup>
<b>B gj.snitt</b>	22.1 µg/m <sup>3</sup>	26.0 µg/m <sup>3</sup>	32.6 µg/m <sup>3</sup>	19.1 µg/m <sup>3</sup>
<b>σ<sub>O</sub></b>	33.5 µg/m <sup>3</sup>	52.0 µg/m <sup>3</sup>	40.4 µg/m <sup>3</sup>	28.3 µg/m <sup>3</sup>
<b>σ<sub>B</sub></b>	18.0 µg/m <sup>3</sup>	24.8 µg/m <sup>3</sup>	36.9 µg/m <sup>3</sup>	16.7 µg/m <sup>3</sup>
<b>O<sub>max</sub></b>	315.9 µg/m <sup>3</sup>	362.8 µg/m <sup>3</sup>	233.8 µg/m <sup>3</sup>	252.3 µg/m <sup>3</sup>
<b>B<sub>max</sub></b>	172.6 µg/m <sup>3</sup>	221.9 µg/m <sup>3</sup>	350.1 µg/m <sup>3</sup>	176.0 µg/m <sup>3</sup>
<b>b (Helning)</b>	0.20	0.08	0.38	0.18
<b>a (Nullpunkt)</b>	14.9 µg/m <sup>3</sup>	21.9 µg/m <sup>3</sup>	17.9 µg/m <sup>3</sup>	13.8 µg/m <sup>3</sup>
<b>Bias</b>	0.388	0.437	0.162	0.36
<b>Korrelasjon</b>	0.37	0.18	0.41	0.29
<b>RMSE</b>	20.5 µg/m <sup>3</sup>	31.6 µg/m <sup>3</sup>	25.9 µg/m <sup>3</sup>	17.6 µg/m <sup>3</sup>

Resultatene i Figur 9 viser en sterk underestimering i beregningene for samtlige stasjoner for døgnene 7. og 8. desember. Maksimumsverdien (362.8 µg/m<sup>3</sup>) som ble målt i Kirkeveien den 7. desember er forøvrig den høyeste målte PM<sub>10</sub>-verdien i Oslo denne vinteren. De viktigste årsakene til at modellen ikke klarer å gjenskape de høye målte verdiene disse to døgnene er trolig at det er tørrere på veiene og mer veistøv tilgjengelig for oppvirvling enn det som estimeres i modellen, og at spredningsforholdene er dårligere i sentrumsområdet enn det de meteorologiske målingene på Valle Hovin tilsier.

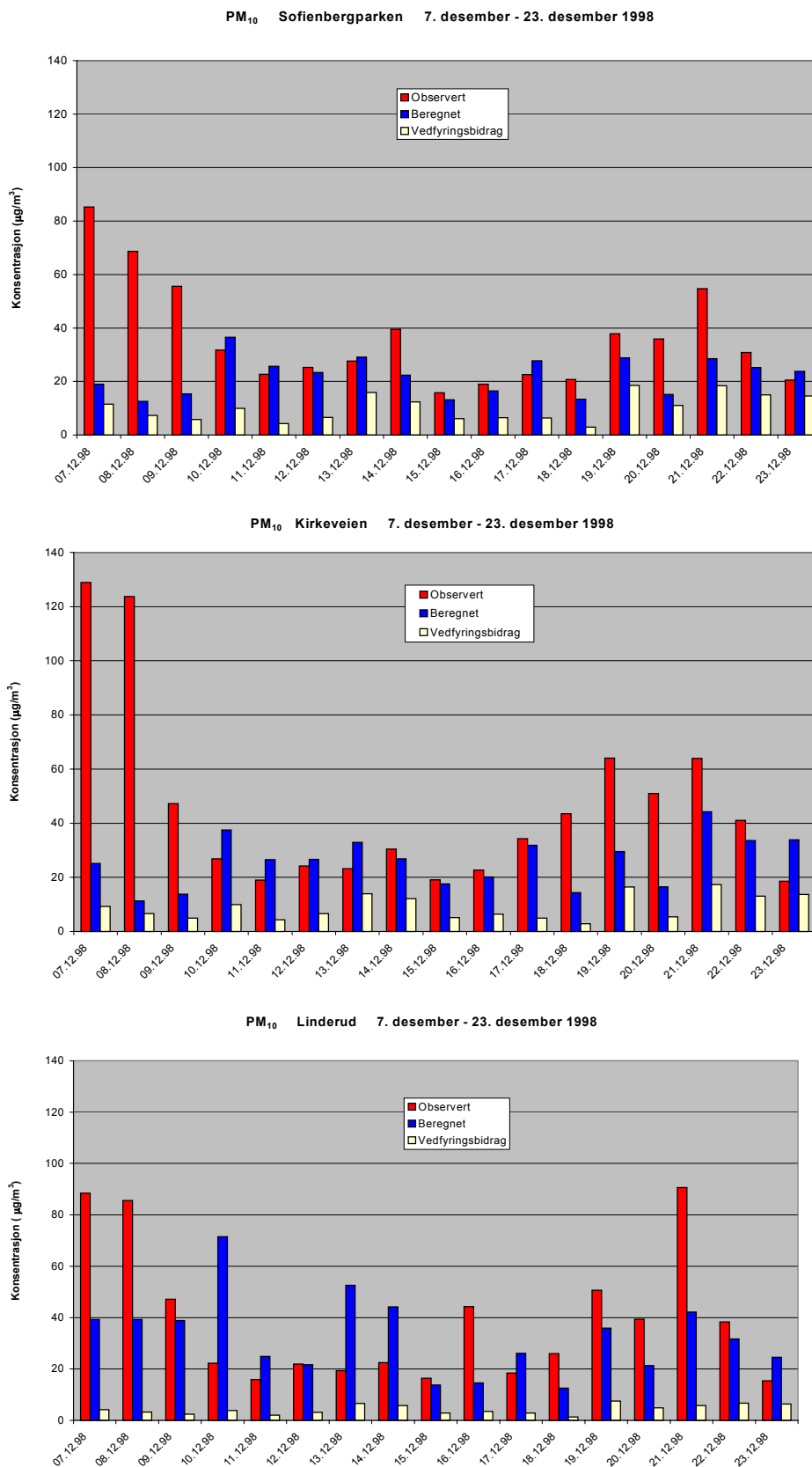
Den klare underestimeringen i beregnet gjennomsnittsverdi for Sofienbergparken og Kirkeveien som framkommer i Tabell 4 skyldes i vesentlig grad de lave beregnede verdiene for de 3 første døgnene i beregningsperioden. Dersom vi ser bort fra disse dagene bedres de statistiske parametrene betraktelig. Som tilfellet var for modellresultatene i perioden 29/1 – 20/2, viser kurvene i Figur 9 at vedfyringen bidrar i betydelig grad til de beregnede PM<sub>10</sub> konsentrasjonene. Igjen viser dette seg tydeligst i resultatene for Sofienbergparken, men også nivåene i Kirkeveien har periodevis betydelige bidrag fra vedfyringen.

Døgnverdier av PM<sub>10</sub> basert på de observerte og beregnede timeverdiene er vist som stolpediagram i Figur 10.

PM<sub>10</sub> Sofienbergparken 7 desember - 23. desember 1998PM<sub>10</sub> Kirkeveien 7. desember - 23. desember 1998PM<sub>10</sub> Linderud 7. desember - 23. desember 1998

Figur 9: Observerte og beregnede timevise PM<sub>10</sub>-verdier, samt beregnet vedfyringsbidrag i: Sofienbergparken (bybakgrunnstasjon), Kirkeveien (gatestasjon) og Linderud (gatestasjon) for perioden 7.12.1998 - 23.12.1998.





Figur 10: Observerte og beregnede døgnverdier av PM<sub>10</sub>, samt beregnet vedfyringsbidrag i: Sofienbergparken (bybakgrunnstasjon), Kirkeveien (gatestasjon) og Linderud (gatestasjon) for perioden 7.12.1998 - 23.12.1998.

### 4.3 Bidrag fra vedfyring og andre kilder til PM-konsentrasjoner

På bakgrunn av beregningsmaterialet som er presentert i det foregående, er det generelle inntrykket at svevestøvnivåene i Sofienbergparken i stor grad er dominert av vedfyringen. For gatestasjonene er vedfyringens betydning noe ulik for de to betraktete stasjonene. I Kirkeveien er finfraksjonsnivået ( $PM_{2,5}$ ) i overraskende stor grad influert av vedfyringen i området, mens veistøvbidraget er den dominerende kilden i perioder med høyt beregnet nivå av  $PM_{10}$ . Forklaringen på at  $PM_{2,5}$ -nivået beregnes så høyt i Kirkeveien er at stasjonen ligger rett nord for  $km^2$ -ruten i Oslo som ifølge SSB har høyest vedforbruk: Fagerborg/Bislett med et forbruk på anslagsvis 1280 tonn ved pr. år. For stasjonen på Linderud utgjør vedfyringen under halvparten av  $PM_{2,5}$ -nivået og oppvirket veistøv er den totalt dominerende bidragsyteren til de maksimale  $PM_{10}$ -nivåene. For å belyse kildesammensetningen nærmere er beregnet vedfyringsbidrag i forhold til målt og beregnet gjennomsnittlig totalkonsentrasjon for perioden 29.1.-20.2., gjengitt i Tabell 5. I Tabell 6 er dessuten prosentandelen av målt og beregnet finfraksjon i svevestøvet angitt.

Tabell 5: Beregnet vedfyringsbidrag i forhold til hhv. beregnet og målt PM-konsentrasjon totalt, for  $PM_{2,5}$  og  $PM_{10}$  (gjennomsnittsverdier for perioden 29.01.-20.02).

Målested	Beregnet bidrag (gjennomsnitt for 29.1.-20.2.) til PM-konsentrasjoner fra vedfyringen			
	I forhold til <u>beregnet</u> totalkonsentrasjon		I forhold til <u>målt</u> totalkonsentrasjon	
	$PM_{10}$	$PM_{2,5}$	$PM_{10}$	$PM_{2,5}$
<b>Bybakgrunn</b>				
Sofienbergparken	55%	70%	37%	50%
<b>Gater/veier</b>				
Kirkeveien	40%	58%	29%	58%
Linderud	19%	36%	14%	38%

Tabell 6: Finfraksjonsandel av observert og beregnet  $PM_{10}$ -nivå (basert på gjennomsnittsverdier for perioden 29.01.-20.02).

Målested	Finfraksjonsandel av observert og beregnet $PM_{10}$ -nivå (basert på gjennomsnitt for 29.1.-20.2.)	
	<u>Observed</u> $PM_{2,5}$ -nivå i forhold til <u>observed</u> $PM_{10}$ -konsentrasjon	<u>Beregnet</u> $PM_{2,5}$ -nivå i forhold til <u>beregnet</u> $PM_{10}$ -konsentrasjon
<b>Bybakgrunn</b>		
Sofienbergparken	73.5 %	78.3 %
<b>Gater/veier</b>		
Kirkeveien	49.2 %	68.2 %
Linderud	47.3 %	51.2 %

For de ulike stasjonene viser tallene i Tabell 5 og Tabell 6 følgende:

#### *Sofienbergparken*

Beregningene antyder at vedfyringen gjennomsnittlig utgjør 70 % og 55 % av hhv. PM<sub>2,5</sub>- og PM<sub>10</sub>- nivåene. Samtidig er den beregnede og den målte finfraksjonsandelen hhv. 78.3 % og 73.5 %. Siden vedfyringen i hovedsak bidrar til finfraksjonen, betyr dette at en økning av det estimerte vedforbruket i dette området for å kompensere for underestimeringen av de observerte PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub> nivåene, ville føre til en for høy beregnet verdi av forholdet mellom PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub>. Derimot kan underestimeringen forklares ved for lave utslipp, dersom vi i modellberegningene samtidig med for lave vedfyringsutslipp også har underestimert veistøvet betydning i dette området. I tillegg kan en mulig forklaring også være at de meteorologiske spredningsforholdene i dette området i enkelte perioder har vært dårligere enn det modellen har beregnet.

#### *Kirkeveien*

For denne stasjonen viser beregningsresultatene at vedfyringen i gjennomsnitt utgjør 58 % og 40 % av hhv. PM<sub>2,5</sub>- og PM<sub>10</sub>- nivåene. Den beregnede og den målte finfraksjonsandelen er hhv. 68.2 % og 49.2 %. Ved å sammenholde disse verdiene med de målte konsentrasjonene ser en at modellen har underestimert veistøvbidraget. Dette innebærer at vedfyringen i gjennomsnitt trolig bidrar med betydelig mindre enn 40 % til PM<sub>10</sub>-nivået og at andelen av beregnet PM<sub>2,5</sub> i forhold til beregnet PM<sub>10</sub> reduseres fra 68 % ned mot det observerte nivået på omlag 50 %.

#### *Linderud*

På målestasjonen ved på Linderud (ca. 10 m sør for Trondheimsveien, mot Groruddalen-siden) viser beregningsresultatene at vedfyringen i gjennomsnitt utgjør 36 % og 19 % av hhv. PM<sub>2,5</sub>- og PM<sub>10</sub>- nivåene. Den beregnede og den målte finfraksjonsandelen er hhv. 51.2 % og 47.3 %. Sammenholdt med de observerte middelnivåene synes de beregnede verdiene å gi et riktig bilde av både totalnivåene og vedfyringsbidraget. Hovedkilden til svevestøvet på denne stasjonen er veitrafikken, dvs. eksospartikler sammen med noe veistøv for PM<sub>2,5</sub>, og veistøv for PM<sub>10</sub>.

I Tabell 7 nedenfor er de prosentvise vedfyringsbidragene til de beregnete svevestøvkonsentrasjonene listet opp for de seks døgnene som er spesielt omtalt i denne rapporten. Resultatene her understøtter gjennomsnittstallene i Tabell 5, og viser variasjoner som kan opptre for ulike døgn.

Tabell 7: Beregnet vedfyringsbidrag (prosent) til den beregnede døgnkonsentrasjonen av svevestøv for seks utvalgte døgn.

Dato	Sofienbergparken		Kirkeveien		Linderud	
	PM <sub>10</sub> (%)	PM <sub>2.5</sub> (%)	PM <sub>10</sub> (%)	PM <sub>2.5</sub> (%)	PM <sub>10</sub> (%)	PM <sub>2.5</sub> (%)
29/1-99	54.1	71.5	56.0	72.1	12.5	30.6
1/2-99	57.6	76.3	51.3	70.6	20.3	43.6
8/2-99	54.2	70.0	55.1	70.2	8.7	21.8
12/2-99	46.5	62.7	33.4	52.2	17.2	35.1
13/2-99	49.3	62.8	27.5	43.1	23.0	38.7
18/2-99	52.5	72.1	50.9	71.8	20.2	42.1

Beregningsmaterialet i Tabell 7 viser liten variasjon i vedfyringsbidraget i Sofienbergparken. For de seks døgnene som er angitt i tabellen varierer det prosentvise vedbidraget bare mellom 46.5 % og 57.6 % i beregnet PM<sub>10</sub>-nivå og mellom 62.7 % og 76.3 % i PM<sub>2.5</sub>-nivået. For gatestasjonene, dvs. Kirkeveien og Linderud, varierer naturlig nok det beregnede vedfyringsbidraget langt mer. Samtidig er bidraget fra vedfyringen relativt høyt for en del av døgnene. Dette gjelder i særlig grad for målestasjonen Kirkeveien der bidraget fra vedfyringen i fire av de seks døgnene i Tabell 7 er over 50 % for PM<sub>10</sub> og over 70 % for PM<sub>2.5</sub>. Selv om vedfyringens betydning er langt mindre for gatestasjonen på Linderud, er det grunn til å bemerke at fire av de seks døgnene har vedfyringsandeler som ligger i området 35 % til 44 % av de beregnede døgnverdiene av PM<sub>2.5</sub>. Det bør imidlertid understrekes at veistøvbidraget til PM<sub>10</sub>-konsentrasjonene sannsynligvis er underestimert i noen av de betraktede døgnene, spesielt 8/2 og 18/2, og for disse døgnene er derfor vedfyringens prosentvise bidrag overvurdert i beregningene.

## 5 Generell vurdering av modellresultatene

Som vist i kapittel 4 er det tidvis tildels betydelige avvik mellom de observerte og beregnede timevise svevestøvverdiene. Det er imidlertid vanskelig ut fra sammenlikningsmaterialet å fastslå årsaksforholdene til disse avvikene, men sammenholding av ulike deler av datamaterialet sannsynliggjør årsaker. Det er som beskrevet i avsnitt 3.6 en lang rekke usikkerhetsfaktorer knyttet både til de benyttede utslippsestimatene og til selve modellberegningene, og disse bidrar i varierende grad som feilkilder. Det generelle inntrykk fra resultatene er at modellen har en tendens til å overestimere maksimumskonsentrasjonene i episoder (med varighet 1 – 3 timer), mens observasjonsmaterialet indikerer lenger episodevarighet med noe lavere maksimumsverdi. Slike episoder beregnes for alle målesteder, og som oftest samtidig for  $PM_{2,5}$  og  $PM_{10}$ . Dette fenomenet er trolig knyttet til selve spredningsmodellen og videre utviklingsarbeid er påkrevet for å forbedre modellen på dette punktet. Det at beregningene gir gjennomgående for lave nivåer av svevestøv utover kvelden og natten kan dels skyldes hvordan spredningen beregnes, dels estimatet av ulike utslipp på kvelds- og nattetid, samt at det regionale bakgrunnsbidraget kan være underestimert.

I Sofienbergparken, gjelder den generelle kommentaren om at modellen gjennomgående gir for lave verdier på kvelds- og nattetid, men overestimeringen av maksimumssituasjonene er mindre markert her enn på gatestasjonene. Dette fører til at de beregnede døgnmiddelverdiene overveiende blir for lave på denne stasjonen. Årsakene til denne underestimeringen er antakelig mange og sammensatte, men en sannsynlig forklaring er at det angitte vedforbruket i dette området er for lavt, og/eller at den benyttede utslippsfaktoren er for liten. Sammenlikningen mellom de observerte og beregnede svevestøvkonsentrasjonene i Sofienbergparken viser også at enkelte episoder med høye observerte nivåer ikke fanges opp av modellen. Vi tror dette i hovedsak skyldes to forhold. For det første at de meteorologiske inngangsdataene som er målt på Valle Hovin, ikke er representative for spredningsforholdene i det sentrale byområdet i disse situasjonene, og for det andre at de benyttede utslippsestimatene av forbrenningspartikler fra vedfyringen er spesielt lave i disse situasjonene, (f.eks. som følge av feil både i den tidsmessige fordelingen av vedforbruket og forbrukets temperaturkorreksjon, se avsnitt 3.6)

For gatestasjonene er det noen perioder der beregningene i sterk grad underestimerer  $PM_{10}$ -nivåene, mens  $PM_{2,5}$ -nivåene samsvarer bra med observasjonene. Dette forekommer typisk i episoder med svært høye observerte  $PM_{10}$ -nivåer. Dette gjelder eksempelvis for periodene 5. – 9. februar og 16. – 18. februar 1999. Siden oppvirvlet veistøv er den viktigste bidragsyteren til grovfraksjonen i svevestøvet må årsaken til denne underestimeringen være knyttet til at det beregnede veistøv-bidraget er for lavt i disse periodene. Trolig frigis stadig større støvmengder i perioder når veibane og veiskuldre gradvis tørker opp. I beregningene har vi ingen informasjon om disse opptørkingsprosessene og det er bare opplysninger om målt nedbør, luftfuktighet og temperatur som benyttes for å anslå tørrheten av veiene. Mer detaljert informasjon om veibanens/veiskulderens tørrhet og støvmengde må fremskaffes for bedre å kunne beregne veistøvet bidrag til de totale  $PM_{10}$ -nivåene.

Den romlige konsentrasjonsfordelingen for de to døgnene da de høyeste svevestøvkonsentrasjonene beregnes viser størst vedbidrag i området Grünerløkka/Sofienbergparken og Fagerborg/Bislett. I beregningsmaterialet bidro vedfyringen maksimalt med et svevestøvbidrag på  $46.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Denne døgnverdien ble beregnet 1/2-99 i modellruta (10,12) som dekker Fagerborg/Bislett-området. Det totale  $\text{PM}_{2.5}$ -nivået ble dette døgnet beregnet til  $60.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  i denne modellruta, og vedfyringen utgjorde dermed hele 76.4 %.

Når det gjelder veistøv, samsvarer beregningsresultatene som er presentert i denne rapporten i stor grad med tidligere beregnings- og måleresultater, dvs. at veistøvet i hovedsak bidrar til veinære forurensningsproblemer, og ikke i tilsvarende grad til problemer i sentrumsområder av byer generelt (Larssen og Hagen, 1997). På gatestasjonene gir bileksos et betydelig bidrag til  $\text{PM}_{2.5}$ , og veistøv i tillegg et vesentlig bidrag til  $\text{PM}_{10}$ . Veistøvet bidrar spesielt i episoder med de høyeste  $\text{PM}_{10}$ -verdiene.

Selv om evalueringen av modellresultatene viser betydelige avvik, er det likevel grunn til å framheve at samsvaret mellom observerte og beregnede nivåer i store deler av beregningsperioden er svært bra. Dette gjelder for begge svevestøvkomponentene, om enn i sterkere grad for  $\text{PM}_{2.5}$  enn for  $\text{PM}_{10}$ . Det er derfor forsvarlig å benytte beregningsmaterialet til å belyse vedfyringens bidrag til den totale svevestøvkonsentrasjonen. Det er imidlertid viktig å understreke at det modellerte vedfyringsbidraget i stor grad er styrt av det estimerte vedforbruket, utslippsfaktoren, og av den antatte romlige og tidsmessige fordelingen av det spesifiserte vedforbruket, og at de betydelige usikkerhetene i disse fordelingene gjenspeiles som usikkerheter i beregningene.

## 6 Referanser

- Bott, A. (1989) A positive definite advection scheme obtained by nonlinear renormalization of the advective fluxes. *Mon. Weather Rev.*, 117, 1006-1015.
- Businger, J.A., og Arya, S.P.S. (1974): Height of the mixed layer in the Stably Stratified Planetary Boundary Layer. *Adv. Geophys.*, 18A, 73-92.
- Bøhler, T. og Guerreiro, C. B. (1996) Verification of the meteorological preprocessor MEPDIM. Kjeller (NILU F 10/96).
- EPA (1984) Interim procedures for evaluating air quality models (revised). Research Triangle Park, NC, Office of Air Quality Planning and Standards, U.S. Environmental Protection Agency. ( EPA-450/4-84-023).
- Foster, F., Walker, H., Duckworth, G., Taylor, A. og Sugiyama, G. (1995) User's guide to the CG-Mathew/Adpic models, Version 3.0. Lawrence Livermore National Laboratory (Report UCRL-MA-103581 Rev.3).
- Gram, F. og Grønskei, K.E. (1989) Tiltaksanalyse i Oslo. Utslipp av luftforurensninger i Oslo-området 1985 og 2000. NILU: Upublisert notat.
- Grønskei, K.E. og Walker, S.E. (1993) Evaluation of a model for hourly spatial concentrations distributions. *Atmos. Environ.*, 27B, 105-120.
- Grønskei, K.E., Bartonova, A., Brechler, J., Walker, S.E., Riise, A. og Larssen, S. (1996) Source oriented model for exposure calculations in Teplice area. Kjeller (NILU OR 30/97).
- Grønskei, K.E., Larssen, S. og Walker, S.E. (1997) Nitrogenoksider og oksidanter i byområder. Spredningsberegninger og NO<sub>2</sub> -modell. Kjeller (NILU OR under arbeid).
- Hagen, L. O. (2001) Vedfyring og svevestøv. Målinger i Sofienbergparken i Oslo vinteren 1998/1999. Kjeller (NILU OR 36/2001).
- Larssen, S., Grønskei, K.E., Gram, F., Hagen, L.O. og Walker, S.E. (1994) Verification of urban scale time dependent dispersion model with subgrid elements in Oslo, Norway. I: *Air Pollution Modelling and Its Application X*. Red.: Gryning, S.-E. and Millan, M.M. New York, Plenum Press, s. 91-99.
- Larssen, S. og Hagen, L.O. (1997) Partikkelforurensning fra piggdekk (NILU OR 16/97).
- SFT (1999) Utslipp fra vegtrafikk i Norge. Oslo, Statens forurensningstilsyn (SFT rapport 99:04).
- Sherman, C.A. (1978) A mass consistent model for wind fields over complex terrain. *J. Appl. Meteorol.*, 17, 312-319.

- Shir, C.C. (1973) A Preliminary Numerical Study of Atmospheric Turbulent Flows in the Idealized Planetary Boundary Layer. *J Atmos. Sci.*, 30, 1327-1339.
- Slørdal, L. H. og Walker, S. E. (1997) Spredningsberegning av NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub> og PM<sub>10</sub> for Oslo, Drammen, Bergen og Trondheim. Verifikasjon av modell mot målinger. Kjeller (NILU OR 68/97).
- Slørdal, L. H. (1998) Eksponering til luftforurensning i Oslo, Drammen, Bergen og Trondheim. Beregning av NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> og PM<sub>2,5</sub> for vinteren 1995-1996. Kjeller (NILU OR 38/98).
- Slørdal, L. H. og Tønnesen, D. A. (1999) Framskrivningsberegninger av NO<sub>2</sub> og PM<sub>10</sub> for Oslo for 2005 og 2010. Kjeller (NILU OR 56/99).
- Smith, G.D. (1985) Numerical solution of partial differential equations: finite difference methods. Oxford, Oxford University Press.
- Statens vegvesen (1998) Nasjonal Transportplan 2002-2011. Trafikkprognoser for bruk i planarbeidet. Oslo, Statens vegvesen, Vegdirektoratet.
- Walker, S.E. og Grønskei, K.E. (1992) Spredningsberegninger for on-line overvåking i Grenland. Programbeskrivelse og brukerveiledning. Lillestrøm (NILU OR 55/92).
- Walker, S.E., Slørdal, L.H., Guerreiro, C, Gram F. og Grønskei K.E. (1999) Air pollution exposure monitoring and estimation. Part II. Model evaluation and population exposure. *J. Environ. Monit.*, 1, 321-326.
- Wilmott, C.J. (1982) Some comments on the evaluation of model performance. *Am. Meteorol. Soc. Bull.*, 63, 1309-1313.



## **Vedlegg A**



## VEDLEGG A

Amerikanske miljømyndigheter (US EPA) har utgitt retningslinjer med hensyn til prosedyrer man bør følge ved evaluering av luftkvalitetsmodeller, samt en liste av anbefalte modellevalueringsparametre (EPA, 1984). Vi har her valgt parametre i henhold til disse anbefalingene. Anbefalinger gitt i (Willmott, 1982) er også blitt lagt vekt på i denne sammenheng.

### Beskrivelse av modellevalueringsparametre

La  $T$  betegne antall dataverdier (f.eks. timeverdier eller døgnverdier), og la  $O_t$  og  $B_t$  betegne observerte (målte) og modellberegnete verdier for tidspunkt  $t$ ,  $t=1, \dots, T$ . Følgende modellevalueringsparametre kan da defineres:

$\bar{O}$	: Middelverdi observert;
$\bar{B}$	: Middelverdi beregnet;
$O_{max}$	: Maksimalverdi observert;
$B_{max}$	: Maksimalverdi beregnet;
$\sigma_O$	: Standardavvik observert;
$\sigma_B$	: Standardavvik beregnet;
$BIAS$	: Normalisert middel-differanse (Eng. bias);
$RMSE$	: Midlere kvadratisk avvik (Eng. root mean square error);
$a, b$	: Nullpunkt og helning av regresjonslinje;
$Corr$	: Korrelasjonskoeffisient;

Parameterne blir definert ved følgende sett av ligninger:

#### Middelverdier

$$\bar{O} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T O_t \quad (1)$$

$$\bar{B} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T B_t \quad (2)$$

Disse betegner vanlig aritmetisk gjennomsnitt av tidsseriene  $O_t$  og  $B_t$ .

#### Maksimalverdier

$$O_{max} = \max O_t \quad \text{for } t = 1, \dots, T \quad (3)$$

$$B_{max} = \max B_t \quad \text{for } t = 1, \dots, T \quad (4)$$

Disse betegner maksimalverdier av tidsseriene  $O_t$  og  $B_t$ .

**Standardavvik**

$$\sigma_O = \left( \frac{1}{T-1} \sum_{t=1}^T (O_t - \bar{O})^2 \right)^{0.5} \quad (5)$$

$$\sigma_B = \left( \frac{1}{T-1} \sum_{t=1}^T (B_t - \bar{B})^2 \right)^{0.5} \quad (6)$$

Disse betegner vanlige standardavvik av tidsseriene  $O_t$  og  $B_t$ .

**Bias**

$$BIAS = (\bar{O} - \bar{B}) / \bar{O} \quad (7)$$

Denne parameteren er et mål på avviket mellom gjennomsnittet av tidsseriene  $O_t$  og  $B_t$  og er en dimensjonsløs størrelse siden differansen i aritmetisk gjennomsnitt er normalisert med middelverdien observert. Ideelt sett burde denne verdien være 0 eller nær 0.

**Midlere kvadratisk avvik (Eng. root mean square error)**

$$RMSE = \left( \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (O_t - B_t)^2 \right)^{0.5} \quad (8)$$

Dette er et mål på avvik mellom tidsseriene  $O_t$  og  $B_t$  som er mye brukt.

**Helning (b) og nullpunkt (a) av den lineære regresjonslinjen**

Den lineære regresjonslinjen er definert ved nullpunktet, a, og helningen, a, ved følgende uttrykk.:

$$a = \bar{B} - b\bar{O} \quad (9)$$

$$b = \left[ \sum_{t=1}^T (O_t - \bar{O})(B_t - \bar{B}) \right] / \left[ \sum_{t=1}^T (O_t - \bar{O})^2 \right] \quad (10)$$

**Korrelasjonskoeffisient**

$$Corr = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (O_t - \bar{O})(B_t - \bar{B}) / (\sigma_O \cdot \sigma_B) \quad (11)$$

Dette betegner den vanlige Neyman-Pearson produkt-moment korrelasjons koeffisienten.



## Norsk institutt for luftforskning (NILU)

Postboks 100, N-2027 Kjeller

RAPPORTTYPE Oppdragsrapport	RAPPORT NR. OR 37/2001	ISBN 82-425-1282-5 ISSN 0807-7207	
DATO	ANSV. SIGN.	ANT. SIDER 50	PRIS NOK 105,-
TITTEL Vedfyring og svevestøv Beregninger i Oslo vinteren 1998/1999		PROSJEKTLEDER Leiv Håvard Slørdal	
		NILU PROSJEKT NR. O-99012	
FORFATTER(E) Leiv Håvard Slørdal, Steinar Larssen		TILGJENGELIGHET * A	
		OPPDRAKSGIVERS REF. Erland Røsten	
OPPDRAKSGIVER Statens forurensningstilsyn Postboks 8100 Dep. 0032 OSLO			
STIKKORD Svevestøvberegninger	Modellevaluering	Oslo	
REFERAT NILU har utført beregninger av svevestøv-konsentrasjoner i Oslo for deler av vinteren 1998-1999. Beregningene er utført for partikkelfraksjonene PM <sub>10</sub> og PM <sub>2.5</sub> . Målsetningen med beregningsarbeidet har vært å undersøke vedfyringens bidrag til svevestøvnivåene i Oslo vinterstid. Beregningene antyder at vedfyringen i episoder med høye svevestøvkonsentrasjoner er en betydelig bidragsyter, mest for PM <sub>2.5</sub> (opptil 76 %), men også betydelig for PM <sub>10</sub> (opptil 58 %). Sammenlikning mellom beregnede og observerte verdier i Sofienbergparken (bybakgrunnstasjon), Kirkeveien og Linderud (gatestasjoner) viser tidvis bra og tidvis dårlig samsvar. Årsaker til avvikene diskuteres i rapporten og forskjellige usikkerhetsfaktorer både i modellen og ikke minst i inngangsdataene beskrives.			
TITLE Indoor wood burning and airborne particles. Model calculations for Oslo for the winter of 1998-1999.			
ABSTRACT NILU has performed model calculations of particle concentrations in Oslo for parts of the winter 1998-1999. Calculations for both PM <sub>10</sub> and PM <sub>2.5</sub> have been performed. The objective has been to reveal the contribution from indoor wood burning on the outdoor particle concentrations. The calculations indicate that the use of wood contributes significantly in high concentration episodes, most for PM <sub>2.5</sub> (up to 76 %) but also considerably for PM <sub>10</sub> (up to 58 %). Comparison between observed and calculated concentrations in some few locations show that the model results reproduce the observed values in some periods while larger deviations are found in others. The reasons for these deviations are discussed in the report and the uncertainties both within the model and not least in the model input are described.			

\* Kategorier: A Åpen - kan bestilles fra NILU

B Begrenset distribusjon

C Kan ikke utleveres

**Statens forurensningstilsyn**  
**TA-1816/2001**  
**ISBN 82-7655-423-7**