

NILU: OR 28/2006
REFERANSE: O-105110
DATO: FEBRUARY 2007
ISBN: 978-82-425-1750-0 (trykt)
978-82-425-1844-6 (elektronisk)

**Spredningsberegninger av
PM_{2,5} for Oslo vinteren
2003-2004
Effekt av temperaturkorreksjon av
vedfyringsutslippet**

**Steinar Larssen, Herdis Laupsa, Leiv Håvard Slørdal,
Dag Tønnesen og Leif Otto Hagen**

Innhold

	Side
Sammendrag	3
1 Innledning	5
2 Målsetting og omfang.....	5
3 Inngangsdata.....	6
3.1 Meteorologiske data	6
3.2 Forbruk av ulike brenseltyper	6
3.3 Utslipp fra vedfyring	6
3.3.1 PM størrelsesfordeling i utslipp fra vedfyring	6
3.4 Trafikkdata	7
3.5 Bakgrunnskonsentrasjoner	7
3.6 Måledata for PM-konsentrasjoner i luft	7
4 Valg av temperaturkorreksjon	8
4.1 Bakgrunn	8
4.2 Prosedyre for temperaturkorrigering av vedfyringsintensiteten.....	9
4.3 Meteorologiske forhold i beregningsperioden	10
5 Effekten av å temperaturkorrigere vedfyringsintensiteten.....	11
5.1 Utslipp av PM _{2,5} for ulike temperaturkorreksjonskurver	11
5.2 Spredningsberegninger av vedfyringsbidraget til PM _{2,5} og effekten av temperaturkorreksjon.....	14
6 Spredningsberegninger av PM_{2,5} for alle kilder og effekten av temperaturkorreksjon	18
7 Detaljert analyse av spredningsmodellen.....	21
8 Usikkerheter i beregningene	24
8.1 Usikkerheter knyttet til utslippsestimatene fra forbruk av brensel	24
8.2 Usikkerheter knyttet til utslippsestimatene for veitrafikken	25
8.3 Usikkerheter i øvrige tilførsler/kilder.....	25
8.4 Usikkerheter knyttet til meteorologiske spredningsforhold og vindfeltberegningen.....	26
8.5 Usikkerheter knyttet til spredningsberegningene	26
9 Konklusjon.....	26
10 Referanser	28
Vedlegg A Prosedyre for beregning av bakgrunnsverdier	31

Sammendrag

NILU har på oppdrag fra Statens forurensningstilsyn (SFT) gjennomført spredningsberegninger for å analysere bidraget fra vedfyring til partikkelforurensningen i Oslolufta. Hovedmålet har vært å vurdere effekten av å innføre en temperaturkorrigering av utslippet fra vedfyring. Tidligere har utslippene fra vedfyring blitt fordelt på uke over året, slik at maksimalt utslipp har forekommet midtvinters, med en jevn reduksjon i ukene før og etter. Temperaturkorreksjonene som er blitt benyttet i dette prosjektet har modifisert denne tidligere metodikken slik at utslippene også påvirkes av variasjonene i temperaturen fra dag til dag. På denne måten ønsker man å få fram effekten av den forventede sammenhengen mellom vedfyringsintensiteten og utendørstemperaturen.

NILU har beregnet luftkonsentrasjonene av PM_{2.5} for perioden f.o.m. november 2003 t.o.m. mars 2004. Beregningene er evaluert mot målinger av PM_{2.5}. I tillegg er det gjennomført separate konsentrasjonsberegninger for å anslå bidraget fra vedfyring til PM_{2.5} nivåene. Resultatene fra disse beregningene er sammenlignet med sporstoffmålinger for vedfyring (levoglucosan) i samme periode. Levoglucosan er en organisk forbindelse som kan benyttes som sporstoff for forbrenningspartikler fra vedfyring (Yttri et al., 2005).

Vedfyringsutslippet er fordelt på uke, dag og time. Uketidsvariasjonen har en fordeling over året basert på temperaturnormalen for 1961-1990. Tidsvariasjonen på dag og time bygger på folks fyringsvaner. Tidsvariasjonen, slik den opprinnelig foreligger, tar ikke hensyn til den aktuelle temperaturen for en gitt dag, men er kun knyttet til temperaturnormalen. NILU har derfor testet to ulike temperaturkorreksjonsfunksjoner basert på anbefalinger fra SSB (Finstad et al., 2004) for å vurdere effekten av å korrigere utslippet for den aktuelle døgn-temperaturen. Statistiske analyser mellom målinger og modellberegninger har vært grunnlaget for vurderingen av hvilken effekt disse temperaturkorrigeringene har på resultatene. Analysene er utført for målestasjonene Kirkeveien, Rv4, Løren og Sofienbergparken.

Analysen viser generelt at temperaturkorrigering har stor betydning for totalutslippet av partikler fra ved. Utslippet ble redusert med henholdsvis 20 % og 30 % for de to testede funksjonene i forhold til ikke å temperaturkorrigere utslippet.

Spredningsberegninger med kun bidrag fra ved er sammenlignet med sporstoffmålinger for vedfyring (levoglucosan) i Kirkeveien, Rv4 og Sofienbergparken for både dag- og nattprøver. PM_{2.5} er estimert ved å anta at levoglucosanfraksjonen i PM_{2.5} fra vedfyring er 2.6 % (Larssen og Hagen, 2006). Disse analysene viser godt statistisk samsvar. Med korreksjonsfunksjon nr. 2 varierer korrelasjonen mellom 0.7 - 0.8 i Kirkeveien og på Rv4. Spredningsberegningene ga størst vedfyringsbidrag i Kirkeveien, henholdsvis 35 % og 69 % av den totale PM_{2.5} konsentrasjonen for dag- (06-18) og nattprøver (18-06). Ved Rv4 ble vedfyringsbidraget beregnet til 33 % av den totale PM_{2.5} konsentrasjonen for dagprøvene (10-22). Analyser av beregninger med temperaturkorreksjon viser en

svak statistisk forbedring, spesielt p.g.a bedre samsvar i middelveidien, selv om korrelasjonskoeffisienten blir noe svakere.

Spredningsberegninger og målinger ga nesten samme vedfyringsbidrag for Kirkeveien-dagtid og for Sofienbergparken – både dag- og nattetid. For Kirkeveien-nattetid og Rv4 ga spredningsberegningene vesentlig høyere vedfyringsbidrag enn målingene ga.

Den statistiske analysen mellom beregninger av $PM_{2.5}$ og målinger, når alle kilder er med, viser generelt en svak resultatforbedring på Kirkeveien, Løren og Rv4 som følge av temperaturkorrigeringen. Resultatene viser også at temperaturkorreksjon nr. 2 er den som gir best estimat. Når denne korreksjonsfunksjonen benyttes ligger korrelasjonen mellom observasjoner og modellresultat i området 0,43 – 0,52. I middel underestimeres nivåene av $PM_{2.5}$, men dette skyldes trolig i hovedsak at utslippet fra veitrafikken er underestimert i beregningene. Når korreksjonsfunksjon 2 benyttes, beregnes middelveidier som utgjør 61 – 82 % av de observerte verdiene på de ulike målestasjonene.

Beregningene viser at modellen gir et noe høyt vedfyringsbidrag, samtidig som de beregnende nivåene av den totale $PM_{2.5}$ -konsentrasjon underestimeres. Dette indikerer at bidraget fra øvrige kilder er noe underestimert i modellen. En nærmere analyse av dette viser at det trolig er bidraget fra veitrafikken som er underestimert.

Resultatene viser at modellen har en tendens til å gi for høye verdier i svakvind-situasjoner. For å se nærmere på dette har spredningsmodellen blitt justert ved å sette en nedre grense for vindhastigheten i modellen på 1 m/s, istedenfor 0,4 m/s. Denne justeringen fører til et generelt bedre samsvar mellom målte og beregnede verdier. Disse resultatene viser at ytterligere modellutvikling er nødvendig for å bedre spredningsbeskrivelsen i modellen, spesielt i svakvindssituasjoner, slik at overestimatene i disse periodene unngås.

Selv om forbedringene er marginale, er det på bakgrunn av resultatene ovenfor grunnlag for å anbefale en temperaturkorrigering av utslippene fra vedfyringen. Av de to testede funksjonene anbefales temperaturkorreksjonsfunksjon nr. 2. Imidlertid bør det presiseres at denne anbefalingen bygger på resultater fra en relativ varm vinter (vinteren 2003-2004). Det er derfor ønskelig at en tilsvarende studie også gjennomføres for en kaldere vinter før sikrere konklusjoner trekkes.

Spredningsberegninger av PM_{2,5}B for Oslo vinteren 2003-2004

Effekt av temperaturkorreksjon av vedfyringsutslippet

1 Innledning

NILU har gjennomført spredningsberegninger for å analysere bidraget fra vedfyring til partikkelforurensningen i Oslolufta. Beregningene er utført som en del av Fase 2 av forskningsprosjektet "Studie av bidrag fra vedfyring og andre kilder til forurensningen av PM i luft", finansiert av Statens forurensningstilsyn (SFT) og NILU.

Hovedmålet har vært å vurdere effekten av å innføre en temperaturkorrigering av utslippet fra vedfyring. Tidligere har utslippene fra vedfyringen blitt fordelt på ukene over vinterhalvåret, slik at maksimalt utslipp har forekommet midtvinters, med en jevn reduksjon i ukene før og etter. Temperaturkorreksjonene som er blitt analysert i dette prosjektet har modifisert denne tidligere metodikken slik at utslippene også påvirkes av variasjonene i temperaturen fra dag til dag. På denne måten ønsker man å simulere den forventede sammenhengen mellom vedfyringsintensiteten og utendørstemperaturen.

2 Målsetting og omfang

Målsettingen med arbeidet var å studere effekten av å ta med temperaturens antatte innflytelse på vedfyringsintensiteten, ved å bruke temperaturkorreksjonsfunksjoner for vedforbruk utarbeidet av Statistisk sentralbyrå (SSB).

Dette er blitt gjort ved å:

- sammenligne beregnet PM i luft, totalt og bare fra vedfyring, uten og med temperaturkorreksjon.
- sammenligne beregnet PM i luft med målte verdier av både PM og Levoglucosan. Levoglucosan benyttes i denne sammenheng som sporstoff for vedfyring.

Det beregnede vedfyringsbidraget til PM-konsentrasjonen er også blitt sammenlignet med estimater av vedfyringsbidraget som er basert kun på målinger (Larssen og Hagen, 2006).

Beregningene er begrenset til PM_{2,5}, som er den størrelsesfraksjonen som utgjør det alt vesentlige av PM-massen i vedfyringsutslippet.

NILU har beregnet luftkonsentrasjonene av PM_{2,5} for perioden november 2003 - mars 2004. Beregningene er evaluert mot samtidige målinger av PM_{2,5} på tre målestasjoner. Separate konsentrasjonsberegninger for bidraget fra vedfyring til

PM_{2.5}-konsentrasjonen er gjennomført for perioden januar - mars 2004, og resultatene er sammenlignet med sporstoffmålinger for vedfyring (levoglucosan) i samme periode. Levoglucosan er en organisk forbindelse som kan benyttes som sporstoff for forbrenningspartikler fra vedfyring (Yttri et al., 2005).

Beregningene er utført med modellsystemet AirQUIS 2003 (AirQUIS, 2005; Slørdal et al., 2003).

3 Inngangsdata

Inngangsdataene for beregningsperioden består av trafikkdata, forbruk av ulike brenseltyper fra punktkilder og arealkilder, meteorologiske data samt av regionale bakgrunnsverdier av PM_{2.5}.

3.1 Meteorologiske data

I beregningene benyttes den diagnostiske vindfeltmodellen Mathew (Sherman, 1978; Foster et al., 1995). Meteorologiske data for beregningsperioden er hentet fra målestasjonen på Valle Hovin. Meteorologiske inngangsdata er timemidlede verdier av vindretning og vindstyrke i 25 m, temperaturdifferanse mellom 25 og 8 m høyde, temperatur, relativ fuktighet og nedbør.

3.2 Forbruk av ulike brenseltyper

Forbruk- og utslippsdata fra forskjellige brenseltyper er levert av Statistisk Sentralbyrå (SSB). Alle data bortsett fra vedfyring er for 1998. Vedfyringsdata for Oslo er gitt for 2001/2002 (f.o.m. oktober 2001 t.o.m. september 2002) (Finstad et al., 2004). Forbruksdata for Bærum er gitt for 1999, mens utslippsfaktoren for ved som er brukt for Bærum er den samme som for Oslo i 2001/2002.

3.3 Utslipp fra vedfyring

SSB har levert utslippstall for vedfyringsutslipp i form av utslipp pr. grunnkrets i Oslo. Utslippene er beregnet ved at vedforbruket er multiplisert med utslippsfaktorer fastlagt av SSB (Haakonsen og Kvingedal, 2001). Utslippene er gitt som PM₁₀. For vedfyring er utslippet av PM_{2.5} i beregningene satt lik PM₁₀-utslippet.

3.3.1 PM størrelsesfordeling i utslipp fra vedfyring

I samband med målingene i Oslo vinteren 2003-2004 ble det også utført målinger av PM i utslipp fra vedovner. Hovedresultatet fra disse målingene var at massen i grovfraksjonen av PM₁₀ (dvs. PM₁₀ – PM_{2.5}) i utslippet i gjennomsnitt var anslagsvis 7% av PM₁₀-massen. Målingene av PM og levoglucosan i luft ga også et estimat av denne andelen, med ca. 12% i grovfraksjonen (Larssen og Hagen, 2006).

Måling av størrelsesfordelingen av PM i luft i Elverum (basert kun på én prøve) under forhold der vedfyring er den helt dominerende PM-kilden, og analyse av sporstoffet levoglucosan i disse prøvene, ga grunnlag for et anslag på at ca. 7% av

PM-massen fra vedfyring er i grovfraksjonen (Yttri, et al., 2005). Basert på disse ulike resultatene kan det anslås at ca. 10% (7-12%) av PM-massen i utslipp fra vedfyring er i grovfraksjon (2,5-10 μm). Disse endringene er nå tatt hensyn til i sammenligningene mellom beregnet og målt $\text{PM}_{2,5}$ fra vedfyring.

3.4 Trafikkdata

Vei- og trafikkdata 2003/2004

For utslipp fra veitrafikk er det benyttet samme vei- og trafikkdata (trafikkmengde, kjøretøysammensetning, veitype, hastighet, osv.) som for prosjektet Rikets Miljøtilstand 2001 (Laupsa, 2002). Imidlertid er trafikkmengden og tungtrafikkandelen oppdatert rundt målestasjonene i Oslo. Dataene som er benyttet er basert på tellinger fra Statens vegvesen Oslo.

Tidsvariasjon for trafikk

I beregningen brukes tidsvariasjon for trafikk til å fordele årlig døgn-trafikk (ÅDT) til timefordelt trafikk og utslipp. Tidsvariasjonen over døgnet er basert på tellinger på E18 i Drammen. Den er benyttet i beregningen for all trafikk i Oslo. Data er levert av Buskerud vegkontor.

Utslippsfaktorer for trafikk.

Utslippsfaktorene fra veitrafikk er hentet fra "Utslipp fra veitrafikk i Norge" (Bang et al., 1999), Avgassregelverk (Statens vegvesen Vegdirektoratet, 2002) og Copert III (Ntziachristos and Samaras, 2000, Kouridis et al., 2000). Utslippsfaktorene er beregnet for vinteren 2003/2004.

3.5 Bakgrunnskonsentrasjoner

I beregningene benyttes målte bakgrunnsdata av $\text{PM}_{2,5}$ fra Birkenes for beregningsperioden (f.o.m. november 2003 t.o.m. mars 2004). Se for øvrig detaljert beskrivelse i Vedlegg A.

3.6 Måledata for PM-konsentrasjoner i luft

Målinger av PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ og innholdet av levoglucosan i PM (sporstoff for vedfyring) ble utført vinteren 2003-2004 på tre stasjoner i Oslo (Kirkeveien, Sofienbergparken og RV4 ved Aker Sykehus) (Larsen og Hagen, 2006). Resultatene fra spredningsberegningene blir i denne rapporten sammenlignet mot disse måledataene.

PM-massen er på samtlige stasjoner målt med to ulike metoder:

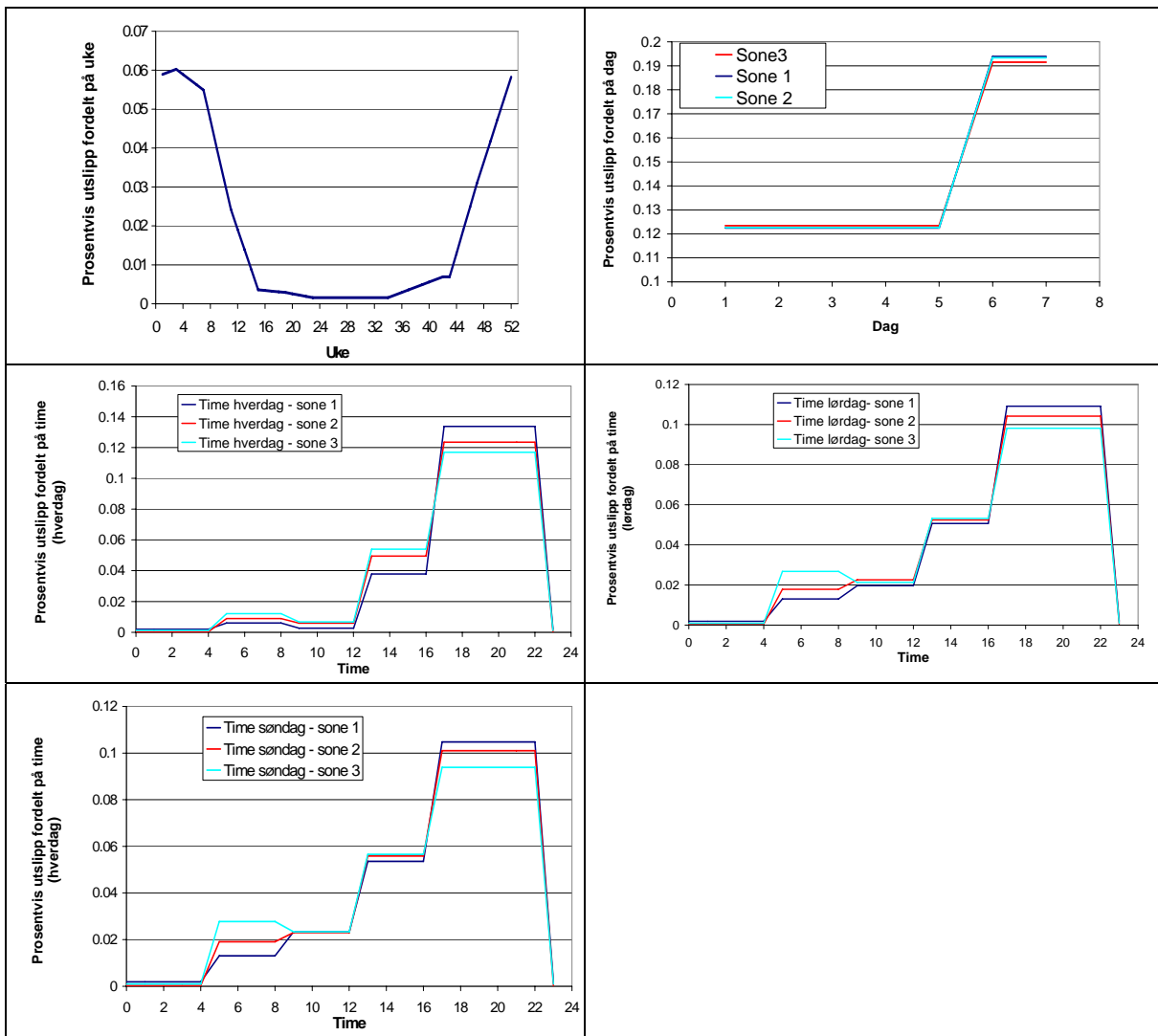
- kontinuerlig registrerende metode (type TEOM),
- prøvetaking på filter, 12-timers prøver. Prøvetakere: KleinfILTERgerät (KFG) eller Partisol (to-trinns prøvetaking, fin + grovfraksjon).

Det var betydelig avvik i resultatene mellom TEOM på den ene siden og filterprøvetakerne på den andre. Betydningen av dette for sammenligninger med beregningsresultatene kommenteres senere i rapporten.

4 Valg av temperaturkorreksjon

4.1 Bakgrunn

Utslipp fra vedfyring til luft er en av hovedkildene til $PM_{2.5}$ -konsentrasjoner i Oslo (Larssen og Hagen, 2006). Utslippenes geografiske og tidsmessige fordeling baserer seg på resultater fra "Vedforbruk, fyringsvaner og svevestøv. Resultater fra Folke- og boligtellingsen 2001" (Finstad et al., 2004). Utslippene er fordelt på uke, dag og time. Uketidsvariasjonen har en fordeling over året basert på temperaturnormalen for 1961-1990. Tidsvariasjonen på dag og time bygger på folks levevaner. For Oslo er det tre tidsvariasjoner som benyttes i ulike soner av Oslo (Figur 1).

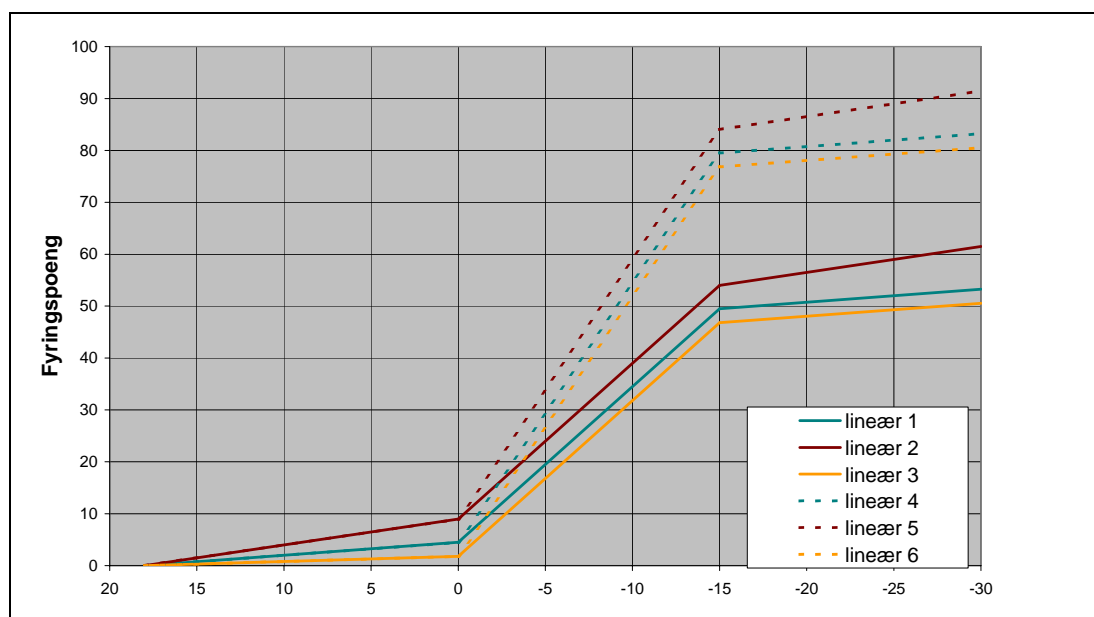


Figur 1: Tidsvariasjon for vedfyring i Oslo fordelt på (a) uke, (b) dag, og på time [(c) hverdager, (d) lørdag og (e) søndag].

Tidsvariasjonen, slik den er brukt i beregninger tidligere, tar ikke hensyn til den aktuelle temperaturen for en gitt time/dag. Temperaturavhengigheten ble da utelukkende knyttet til den klimatologiske ukevariasjonen vist i Figur 1. Utslippet for en gitt time bygges opp ved å kombinere tidsvariasjonene for time, ukedag og uke som gitt i Figur 1

4.2 Prosedyre for temperaturkorrigering av vedfyringsintensiteten

For å vurdere effekten av å ta hensyn til temperaturen, er det valgt å teste to ulike funksjoner basert på anbefalinger fra SSB (Finstad et al., 2004). Utvalget av funksjoner er vist i Figur 2. Avhengig av døgnmiddeltemperaturen beregner disse funksjonene ”fyringspoeng” som deretter benyttes til å korrigere vedfyringsutslippet etter en nærmere spesifisert prosedyre. I dette prosjektet er effekten av å benytte kurvene ”lineær 2” og ”lineær 6” (se Figur 2) vurdert i forhold til å ikke temperaturkorrigere utslippet.



Figur 2: Seks alternative forslag til temperaturavhengige fyringsfunksjoner (Finstad et al., 2004).

Den døgnvise temperaturen i perioden utslippsdataene er gyldige (2001/2002) er sammenholdt med de tilsvarende normale døgnmiddeltemperaturene (1961-1990) for å korrigere utslippstallene i 2001/2002 til en fyringssesong med en ”normal” døgnmiddeltemperatur. Dette er gjort ved å beregne sum av døgnvise fyringspoeng gjennom vintersesongen etter temperaturfunksjon 2 og temperaturfunksjon 6 for døgnenes normaltemperatur og døgnenes aktuelle temperatur i 2001/2002. Korreksjon til normaltemperatur for de to funksjonene er beregnet som forholdet mellom summen av fyringspoeng for normaltemperatur og målt temperatur. De to temperaturfunksjonene gir ulike sesong-korreksjonsfaktorer for vedforbruket. For temperaturfunksjon 2 er den 0,931 og for 6 er den 0,822. Denne justeringen av vedutslippet til normalen utgjør trinn 1 i den totale korreksjonsprosedyren beskrevet under.

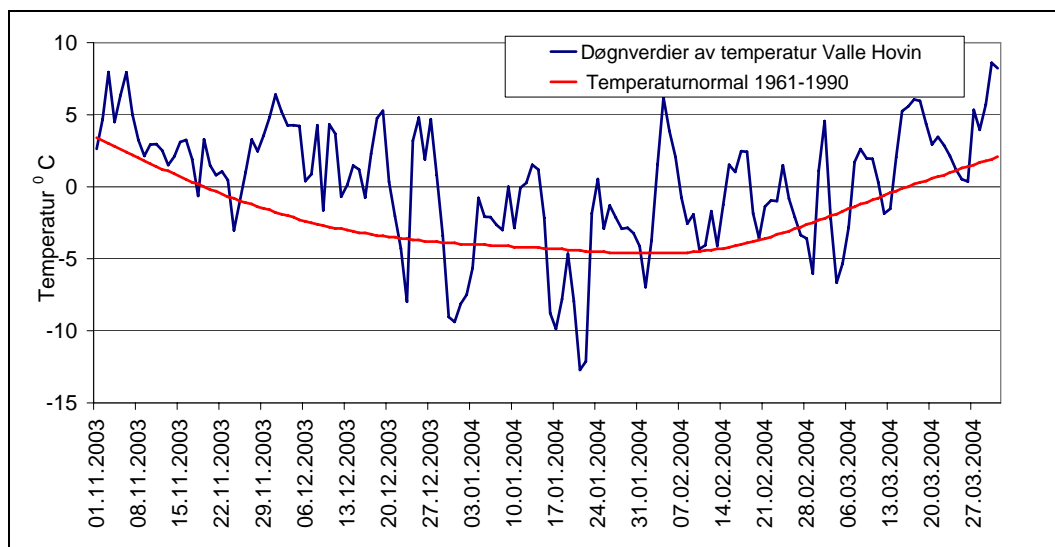
Anbefalingen fra SSB (Finstad et al., 2004) er at 25 % av utslippet fra vedfyring fordeles som ”fast kosefyring” etter de eksisterende tidsvariasjonene (bestemt ved uke, dag og time) og følger tidsvariasjonene vist i Figur 1. De resterende 75 % fordeles på uke og dag, også ifølge Figur 1. Deretter temperaturkorrigeres dette døgnforbruket i henhold til følgende prosedyre:

1. Forbruket for hvert døgn korrigeres med en sesong-korreksjonsfaktor som beskrevet ovenfor for å justere 2001/2002-utslippet til normalvinteren.
2. Døgnforbruket fordeles på timer etter gjeldende tidsvariasjon for ukedag og sone.
3. Fyringspoeng beregnes for målt aktuell middeltemperatur i døgnet i beregningsperioden (her 2003/2004).
4. Fyringspoeng beregnes for normal middeltemperatur i døgnet.
5. Timeforbruket multipliseres med forholdet mellom fyringspoengene beregnet fra punktene 3) og 4) ovenfor.

Forskjellen på de to testede korreksjonsfunksjonene kan beskrives ved at kurve 2 har en sterkere økning i fyringsmengde med fallende temperatur ned mot nullpunktet enn kurve 6, og deretter en svakere økning av fyringsutslippet mot "utflatingpunktet" på kurven ved -15 grader. Kurve 2 vil gi et større utslipp enn kurve 6 i døgn der det er varmere enn -4 grader, mens kurve 6 gir et vesentlig større utslipp når det er kaldere enn -15 grader.

4.3 Meteorologiske forhold i beregningsperioden

Korrigeringen av utslippet baserer seg på temperaturen for innsamlingsåret for vedforbruksdata (her benyttet 2001), temperaturnormalen og temperaturen for beregningsperioden. Beregningsperioden november 2003 til og med mars 2004 var betydelig varmere enn normalen; i gjennomsnitt ca. 2°C (Figur 3 og Tabell 1).



Figur 3: Døgnmiddeltemperatur målt på Valle Hovin f.o.m. november 2003 t.o.m. mars 2004 sammenlignet med temperaturnormalen fra 1961 til 1990.

Tabell 1: Døgnmiddeltemperatur f.o.m. november 2003 t.o.m. mars 2004, sammenlignet med døgntemperaturen for samme måneder i normalperioden 1961 til 1990.

	Døgnmiddel	Temperaturnormal
--	------------	------------------

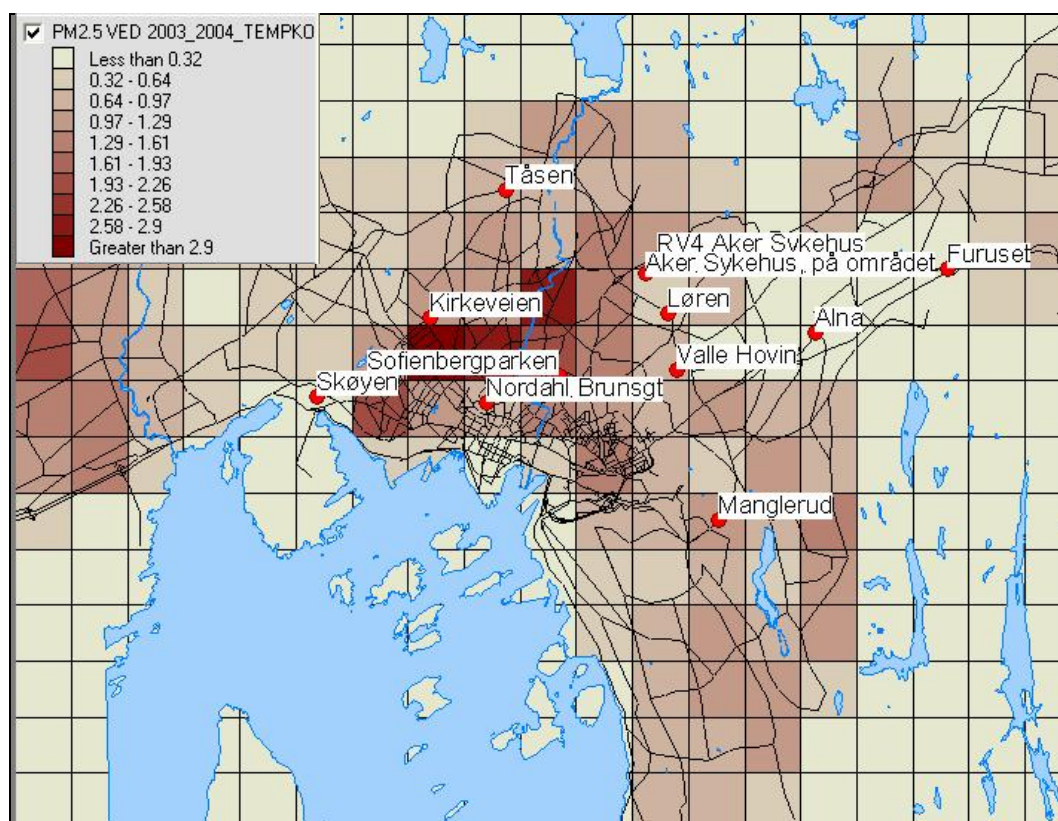
	TT25- Valle Hovin (°C)	1961 til 1990 (°C)
Maksimumsverdi	8.60	3.40
Minimumsverdi	-12.72	-4.60
Middelverdi	0.19	-2.14

Sesong-korreksjonen av vedutslippet er som tidligere nevnt basert på døgn-temperaturene for utslippsåret (2001) og temperaturnormalen (1961-1990). Middelttemperaturen for vintersesongen i 2001 var omtrent som normalen for 1961 til 1990 (-2.11 °C).

5 Effekten av å temperaturkorrigere vedfyringsintensiteten

5.1 Utslipp av PM_{2.5} for ulike temperaturkorreksjonskurver

Vedfyring er en av de største kildene til PM_{2.5}-forurensing i Oslo. Den romlige fordelingen viser at de største utslippene er i områdene Frogner, Majorstua og Sagene/Torshov (Figur 4). Både målinger og utslippsoversikten viser at Kirkeveien er den målestasjonen som er mest påvirket av vedfyring (Figur 4; og Larssen og Hagen, 2006).



Figur 4: Utslipp av vedfyring (g/s) fordelt i gridruter den 06.02.2004 kl. 1700-1800 uten temperaturkorrigering.

Som eksempel er vedfyringsutslippet for ulike temperaturkorreksjonsfunksjoner beregnet for gridruta hvor stasjonen i Kirkeveien er lokalisert; rute (10,13). Temperaturkorreksjon gir en gjennomsnittlig reduksjon av utslippet i perioden på

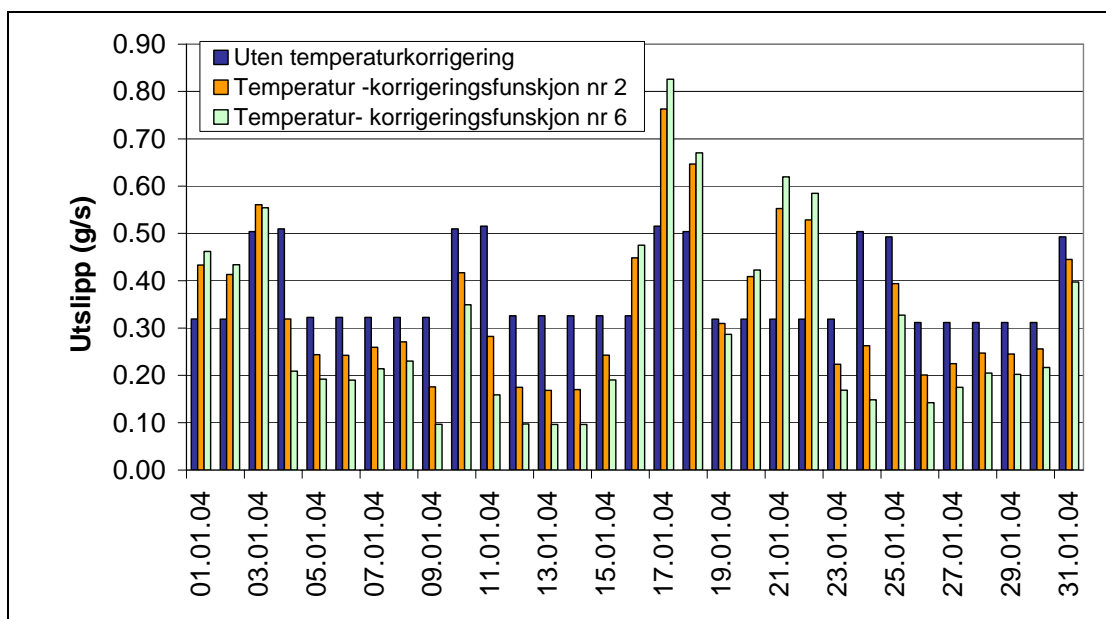
ca. 20 % for temperaturkorreksjon 2 og ca. 32 % for temperaturkorreksjon 6 i forhold til om man ikke temperaturkorrigerer utslippet (Tabell 2).

Tabell 2: Gjennomsnittlig temperaturkorrigert utslipp (g/s) fra vedfyring for gridrute (10,13) i perioden november 2003 - mars 2004, i forhold til ukorrigert utslipp i 2001.

	Uten temperatur-korrigerering (2001)	Ved bruk av temp. korrigeringsfunksjon nr. 2 (2003)	Ved bruk av temp.-korrigeringsfunksjon nr. 6 (2003)
Gjennomsnitt (g/s)	0.262	0.211	0.179
% endring		-19.5	-31.8

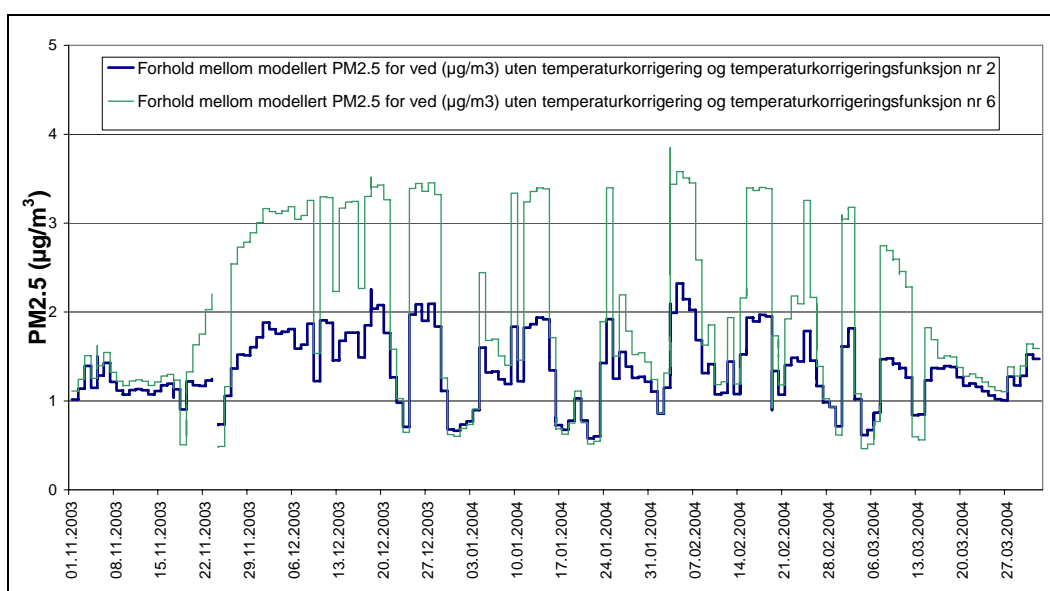
Beregningene gir altså en betydelig endring i utslippet avhengig om man temperaturkorrigerer og hvilken temperaturkorreksjonsfunksjon man velger. En reduksjon i utslippet på 7% og 18 %, for henholdsvis temperaturkorreksjon 2 og temperaturkorreksjon 6, skyldes at antall fyringspoeng i 2001 var høyere enn antall fyringspoeng beregnet i henhold til normaltemperaturen (1961 til 1990). Middelttemperaturen for perioden november og desember, samt januar til og med mars 2001 var omtrent som for normalen, men antall fyringspoeng for 2001 sesongen var større enn for temperaturnormalen (1961 til 1990). Det er forskjellene i de faktiske temperatur-variasjoner innenfor periodene som gir dette resultatet. Dette gir derfor et mindre utslipp i normalåret. Den øvrige reduksjonen i utslippet på ca 13% og 14% for korreksjon 2 og 6 skyldes gjennomgående høyere temperatur (og dermed færre fyringspoeng) i beregningsperioden (november 2003 - mars 2004) enn for temperaturnormalen, Figur 3.

Utslippet fra vedfyring blir korrigert dag for dag med en beregnet prosent i henhold til prosedyren beskrevet ovenfor (kapittel 4.2). Figur 5 viser gjennomsnittlig døgnutslipp fra vedfyring med og uten temperaturkorrigerering for gridrute (10,13) for januar 2004. Figuren viser at man får en mye større variasjon i utslippet fra dag til dag når temperaturkorrigereringene benyttes. Kurve 6 gir den største variasjonen.



Figur 5: Døgnlig vedfyringsutslipp (g/s) i grid rute 10,13 i januar 2004 uten temperaturkorrigering og med temperaturkorrigering nr. 2 og nr. 6.

Forholdet mellom modellerte konsentrasjonsbidrag til $PM_{2.5}$ fra ved, med og uten temperaturkorrigering, er vist i Figur 6, også for rute 10,13. Funksjon nr. 6 gir størst forskjell i beregnet konsentrasjon med temperaturkorrigering i forhold til uten korrigering. Korreksjonsfunksjon nr. 6 reduserer utslippet mer enn korreksjon nr. 2 når det er mildere enn normalen og øker i noen grad utslippet mer når det er kaldere enn normalen. Det er avhengig av temperaturregimet hvilken funksjon som gir størst effekt (kapittel 4).



Figur 6: Forholdet mellom modellert konsentrasjon av $PM_{2.5}$ fra ved i Kirkeveien (rute 10,13) for perioden november 2003-.mars 2004 uten temperaturkorrigering og med temperaturkorregeringsfunksjon nr. 2 og nr. 6.

Oppsummering

Temperaturkorreksjonen har stor betydning for totalutslippet av PM fra vedfyring og variasjonen i dette fra dag til dag.

De valgte temperaturkorreksjonsfunksjonene 2 og 6 gir, for beregningsperioden vinteren 2003-2004, hhv. 19% og 32% reduksjon i totalutslippet i forhold til ukorrigerede utslippsdata for vinteren 2001.

Temperaturkorreksjonsfunksjonene gir vesentlig økt utslipp når det er kaldt og vesentlig redusert utslipp når det er mildt, sammenlignet med den variasjonen som ikke er temperaturkorrigert.

5.2 Spredningsberegninger av vedfyringsbidraget til PM_{2,5} og effekten av temperaturkorreksjon

Spredningsberegninger med kun bidrag fra vedfyring er sammenlignet med måleresultater basert på sporstoffmålinger for ved (levoglucosan) i Kirkeveien, Rv4 og i Sofienbergparken i perioden januar - mars 2004. PM_{2,5} fra ved er estimert ved å anta at levoglucosan utgjør 2,6 % av den totale partikkelmassen av PM_{2,5} fra ved (Larssen og Hagen, 2006). "Målt" vedbidrag til PM_{2,5} konsentrasjonene estimeres derved ved formelen:

$$(\text{PM}_{2,5}\text{-konsentrasjon})_{\text{fra vedfyring}} = \text{Levoglucosan-konsentrasjon} \cdot (100/2,6)$$

Ved bruk av denne metoden er 12 timers middelerverdi (kl 10 - kl 22) av modellert PM_{2,5} fra vedfyring på Rv 4 sammenlignet med det estimerte vedfyringsbidraget til PM_{2,5} i samme tidsrom (basert på 32 levoglucosan-prøver). I Sofienbergparken og i Kirkeveien er modellerte 12 timers middelerverdier av PM_{2,5} fra vedfyring sammenlignet på tilsvarende måte med levoglucosamålinger for dag- (06-18) og nattperioder (18-06). I Sofienbergparken baseres dette på ialt 32 prøver, mens 41 prøver er gjort i Kirkeveien.

Resultatene viser generelt godt statistisk samsvar (høy korrelasjon) mellom målt og beregnet vedfyringsbidrag. Analysene viser en svak forbedring i de statistiske resultatene (mer like middelerverdier) med temperaturkorrigering, men korrelasjonen blir generelt noe lavere.

Beregnet PM_{2,5} fra ved på dagtid i Kirkeveien viser godt statistisk samsvar med estimatet av PM_{2,5} fra målingene av levoglucosan (Tabell 3). Temperaturkorrigering 2 gir best samsvar med målt middelerverdi. Maksimumsverdien overestimeres i relativt stor grad (ca. 40 %). Både modellen og målingene viser at ca. 36 % (dvs. beregnet: 30 % – 42 %; levoprøve: 37 %) av PM_{2,5}-konsentrasjonen på dagtid skyldes vedfyring. Dette stemmer meget godt med estimatet fra måleprosjektet (Larssen og Hagen, 2006).

Tabell 3: Statistisk samsvar mellom modellerte konsentrasjoner av $PM_{2,5}$ fra vedfyring og $PM_{2,5}$ -konsentrasjoner i 12 timers dagprøver (06-18) beregnet fra målt levoglucosan, Kirkeveien januar 2004 - mars 2004 (21 prøver).

	PM _{2,5} obs. Kirkeveien (µg/m ³)	PM _{2,5} fra ved. Uten temp.-korr. Kirkeveien (µg/m ³)	PM _{2,5} fra ved. Temp-korr. 2. Kirkeveien (µg/m ³)	PM _{2,5} fra ved. Temp-korr. 6. Kirkeveien (µg/m ³)	PM _{2,5} fra levoglucosan-prøver. Dag (06-18) Kirkeveien (µg/m ³)
Maksimum døgnverdi	51,1	36,6	36,3	37,6	26,7
Middelverdi	26,8	11,2	9,4	8,1	10,0
Korrelasjonskoeffisient		0,80	0,77	0,67	

Analysen av kveld/nattprøvene i Kirkeveien viser at modellen der gir et betydelig overestimat av vedfyringsbidraget om natten (Tabell 4). Årsaken til dette kan være knyttet til usikkerheter i flere av modell-elementene; d.v.s. utslipps-estimatene, vindfeltmodellen og spredningsmodellen. Den benyttede tidsvariasjonen i utslippet (Figur 1) gir at utslippsintensiteten øker med en faktor 2-4 fra klokka 1600 til kl 1700. Nattprøvene vil derfor inneholde timene med antatt størst utslippsintensitet. Temperaturkorreksjon nr. 2 gir bedre korrelasjonskoeffisient enn temperaturkorreksjon nr. 6, men den klart beste korrelasjonen oppnås uten temperaturkorrigering (Tabell 4). Målingene gir et vedfyringsbidrag på 48 %, mens beregningene (med temp.korr.) gir 62-69 %.

Tabell 4: Statistisk sammenligning mellom modellerte konsentrasjoner av $PM_{2,5}$ fra vedfyring og $PM_{2,5}$ konsentrasjoner i 12 timers nattprøver (18-06) beregnet fra målt levoglucosan, Kirkeveien. januar 2004- mars 2004 (20 prøver).

	PM _{2,5} obs. Kirkeveien (µg/m ³)	PM _{2,5} fra ved. Uten temp.-korr. Kirkeveien (µg/m ³)	PM _{2,5} fra ved. Temp-korr. 2. Kirkeveien (µg/m ³)	PM _{2,5} fra ved. Temp-korr. 6. Kirkeveien (µg/m ³)	PM _{2,5} fra levoglucosan-prøver. Natt (18-06) Kirkeveien (µg/m ³)
Maksimum døgnverdi	72,8	70,2	57,6	59,7	31,9
Middelverdi	26,2	20,6	18,1	16,2	12,5
Korrelasjonskoeffisient		0,81	0,69	0,53	

For dagprøvene på Rv4 er det, i likhet med Kirkeveiens dagprøver, godt statistisk samsvar (høy korrelasjon) mellom modellerte $PM_{2,5}$ -konsentrasjoner fra vedfyring og estimerte konsentrasjoner av $PM_{2,5}$ fra levoglucosan analyser (Tabell 5). Også på Rv4 overestimerer modellen en del, relativt sett omtrent like mye som for nattprøvene i Kirkeveien. Av de to korrigeringsfunksjonene gir nr. 2 best

korrelasjon, mens nr. 6 gir lavest grad av overestimering (Tabell 5). Målingene gir et vedfyringsbidrag på 22%, mens modellen, med temp. korrigering, gir 29-33%. Uten temperaturkorrigering gir modellen et vedfyringsbidrag på hele 42 %.

Tabell 5: Statistisk sammenligning mellom modellerte konsentrasjoner av $PM_{2,5}$ fra vedfyring og $PM_{2,5}$ -konsentrasjoner i 12 timers prøver (10-22) beregnet fra målt levoglucosan, RV4 januar 2004 - mars 2004 (32 prøver).

	PM _{2,5} obs. RV4 (µg/m ³)	PM _{2,5} fra ved. Uten temp.-korr. RV4 (µg/m ³)	PM _{2,5} fra ved. Temp-korr. 2. RV4 (µg/m ³)	PM _{2,5} fra ved. Temp-korr. 6. RV4 (µg/m ³)	PM _{2,5} fra levoglucosan- prøver. Dag (10-22) RV4 (µg/m ³)
Maksimum døgnerverdi	41,8	55,3	29,2	26,4	19,0
Middelverdi	24,0	10,1	8,0	7,0	5,4
Korrelasjonskoeffisient		0,83	0,81	0,71	

For Sofienbergparken gir modellen en middelverdi som stemmer meget godt med målingene, både for dag- (Tabell 6) og nattprøvene (Tabell 7). Temperaturkorreksjonen gir bare liten effekt på middelverdien. Maks.verdien overestimeres i stor grad av modellen for dagprøvene, men i svært liten grad for nattprøvene når vedutslippet temperaturkorrigeres. Korrelasjonskoeffisienten er imidlertid svært lav, noe bedre for nattprøvene enn for dagprøvene. Temperaturkorrigeringen gir dårligere korrelasjon for dagprøvene, og liten forskjell for nattprøvene. Vedfyringsbidraget er ca. 35% på dagtid og ca. 50% på nattid, i samsvar med beregnet bidrag bare basert på målinger (Larssen og Hagen, 2006).

Tabell 6: Statistisk sammenligning mellom modellerte konsentrasjoner av $PM_{2,5}$ fra vedfyring og $PM_{2,5}$ -konsentrasjoner i 12 timers dagprøver (06-18) beregnet fra målt levoglucosan, Sofienbergparken januar 2004 - mars 2004 (15 prøver).

	PM _{2,5} obs. Sofienbergp (µg/m ³)	PM _{2,5} fra ved. Uten temp.- korr. Sofienbergp. (µg/m ³)	PM _{2,5} fra ved. Temp-korr. 2. Sofienbergp. (µg/m ³)	PM _{2,5} fra ved. Temp-korr. 6. Sofienbergp. (µg/m ³)	PM _{2,5} fra levoglucosan-prøver. Dag (06-18) Sofienbergparken (µg/m ³)
Maksimum døgnerverdi	37,1	36,8	42,9	42,7	12,7
Middelverdi	18,4	6,7	6,6	6,7	6,3
Korrelasjonskoeffisient		0,29	0,18	0,14	

Tabell 7: Statistisk sammenligning mellom modellerte konsentrasjoner av $PM_{2,5}$ fra vedfyring og $PM_{2,5}$ -konsentrasjoner i 12 timers nattprøver (18-06) beregnet fra målt levoglucosan i Sofienbergparken, januar 2004 - mars 2004 (17 prøver).

	PM _{2,5} obs. Sofienbergp. (µg/m ³)	PM _{2,5} fra ved. Uten temp.-korr. Sofienbergp. (µg/m ³)	PM _{2,5} fra ved. Temp-korr. 2. Sofienbergp. (µg/m ³)	PM _{2,5} fra ved. Temp-korr. 6. Sofienbergp. (µg/m ³)	PM _{2,5} fra levoglucosan-prøver. Natt (18-06) Sofienbergparken (µg/m ³)
Maksimum døgnverdi	42,9	52,1	27,2	36,2	27,6
Middelverdi	20,6	12,5	11,0	10,4	11,0
Korrelasjons- koeffisient		0,37	0,40	0,26	

Oppsummering

Beregnet vedfyringsbidrag stemmer godt overens med målt bidrag (basert på levoglucosan-målinger), når det gjelder middelverdi over et relativt lite antall prøver, for følgende serier:

- Kirkeveien, dagprøver (21 prøver)
- Sofienbergparken, dagprøver (15 prøver)
- Sofienbergparken, nattprøver (17 prøver)

For disse seriene er det temp. korreksjonsfunksjon nr. 2 som gir middelverdier av $PM_{2,5}$ som stemmer best med estimatene basert levoglucosanprøvene. Korrelasjon mellom målte og beregnede verdier var høy for Kirkeveien, dag (0,77 for temp.korr. 2), og lav for Sofienbergparken, spesielt for dagprøvene.

For seriene Kirkeveien-nattprøver og Rv4-dagprøver, ga beregningene betydelig for høye middelverdier. Beregningene uten temperaturkorreksjon ga størst grad av overestimering. Korrelasjonen var høy for disse seriene, og var høyest når vedutslippet ikke ble temperaturkorrigeret. Temperaturkorreksjon nr. 2 ga høyere korrelasjon enn funksjon nr. 6.

Beregnete maksimalverdier var gjennomgående alt for høye, bortsett fra nattverdiene i Sofienbergparken, der de temperaturkorrigerede verdiene var mer i overenstemmelse med estimatet fra levoglucosanprøvene.

Generelt var samsvaret mellom målte og beregnede middelverdier bedre med temperaturkorreksjon enn uten, men korreksjonen ga oftest noe dårligere korrelasjon.

Basert på det ovenstående er det overaskende lite forbedring i beregningsresultatet som følge av å temperaturkorrigerer vedutslippet. En positiv effekt av korreksjonsfunksjonene er at middelverdiene justeres noe ned. Imidlertid er de temperaturkorrigerede resultatene gjennomgående dårligere korrelert med estimatene fra levoglucosanprøvene. Som vi skal se i kapittel 6 nedenfor endres imidlertid dette

bildet noe når vi gjennomfører beregninger med alle kilder og sammenlikner mot timevise PM_{2,5} målinger gjennom hele vintersesongen 2003/2004.

6 Spredningsberegninger av PM_{2,5} for alle kilder og effekten av temperaturkorreksjon

Beregninger av PM_{2,5} samlet for alle kilder er sammenlignet med målinger av PM_{2,5} på målestasjonene i Kirkeveien, Løren og Rv4, for perioden november 2003-mars 2004.

Målingene av timesverdier for PM_{2,5} er utført med kontinuerlig registrerende instrument av type TEOM (produsent (Rupprecht og Patashnick). Sammenlignet med filterprøvetakere av referansetype (partikler samles på filter for etterfølgende veing og analyse) gir TEOM resultater som i gjennomsnitt over mange prøver ligger ca. 20% lavere enn filterprøvene. En korreksjon for dette er gjennomført her ved at de målte middelverdiene gitt i Tabell 8 - Tabell 10 er blitt multiplisert med 1,25, mens de målte maksimumsverdiene er blitt multiplisert med faktoren 1,5.

I tillegg er PM_{2,5}-utslippet fra vedfyringen ca 10% lavere enn det som ligger i modellen fordi det ikke er tatt hensyn til at ca. 10% av PM₁₀-utslippet er i grovfraksjonen. Dette er også korrigert i Tabell 8 – Tabell 10 ved at de beregnede middel- og maksimums-verdiene er oppgitt innenfor et 10% intervall, for å antyde at den ”riktige” verdien er å finne i dette intervallet, og at den laveste verdien er mest riktig i områder der vedfyringen er den totalt dominerende. Merk at de angitte korrelasjonskoeffisientene er basert på de originale TEOM-målingene og modellresultatene, og derfor ikke er korrigert på noen måte.

De statistiske resultatene viser nå noe bedre samsvar mellom modellerte og målte timevise konsentrasjoner av PM_{2,5} med temperaturkorrigering enn uten, (dvs. gjennomgående litt høyere korrelasjon i Tabell 8, Tabell 9, Tabell 10). Korrelasjonskoeffisientene er imidlertid relativt lave (ca. 0,5). Resultatene viser også at de maksimale timeverdiene overestimeres ytterligere i Kirkeveien og på Løren når man benytter temperaturkorrigering. Best statistisk samsvar var det i Kirkeveien (Tabell 8). Denne stasjonen har størst vedfyringsbidrag av de stasjonene som er analysert (Figur 4, og Larssen og Hagen, 2006). Middelverdiene underestimeres på samtlige målestasjoner, og underestimeringen er naturlig nok mest utpreget når man temperaturkorrigerer siden det totale vedutslippet justeres ned. Den statistiske sammenligningen på Rv4 er kun utført for perioden 07.01.2004 -31.03.2004 fordi stasjonen ikke kom i drift før i januar 2004 (Tabell 10). Dette fører til at analysen baserer seg på et annet temperatur-regime enn for de to andre stasjonene. Analysen antyder at korrigeringsfunksjon nr. 2 er noe bedre enn funksjon nr. 6.

Beregnet middelverdi av PM_{2,5} for temperaturkorreksjon nr. 2 ligger i intervallet 61 - 82 % av de observerte verdiene for alle målestedene. Hovedårsaken til dette avviket er trolig at modellen underestimerer bidraget til PM_{2,5} fra trafikken. Dette underbygges av beregninger utført for NO_x, der trafikkutslippet er den helt dominerende kilden. Beregningene ga en midlere NO_x-konsentrasjon på ca. 65%

av målte konsentrasjoner, for perioden januar-mars 2004, på målestasjonene Kirkeveien, Manglerud og Løren.

Tabell 8: Statistisk sammenligning mellom modellerte og målte timeverdier av PM_{2.5} i Kirkeveien fra 1. november 2003 til og med 31. mars 2004.

	PM _{2.5} obs. Kirkeveien (µg/m ³)	PM _{2.5} alle kilder. Uten temp.-korr. Kirkeveien (µg/m ³)	PM _{2.5} alle kilder Temp-korr. 2. Kirkeveien (µg/m ³)	PM _{2.5} alle kilder. Temp-korr. 6. Kirkeveien (µg/m ³)
Maksimum timeverdi	117,0	[(195,6) 217,3]	[(210,0) 233,3]	[(217,3) 241,4]
Middelverdi	17,5	[(13,4) 14,9]	[(11,8) 13,1]	[(10,8) 12,0]
Korrelasjons- koeffisient		0,49	0,52	0,51

NB: Observerte og målte verdier for nyttårsaften (kl 0900 den 31.12 til kl 1000 01.01) er ikke tatt med i analysen. I denne tabellen, og i de påfølgende tabellene nedenfor, der alle kilder er benyttet i beregningene er det ikke riktig å redusere de beregnede verdiene med faktoren 0,9, siden dette bare er reduksjonen for vedfyringsutslippet. Reduksjonsfaktoren skal derfor ligge mellom 0,9 og 1,0 avhengig av om verdien er fullstendig ved-dominert (0,9) eller utelukkende bestemt av andre utslipp (1,0 = ingen reduksjon). For å vise dette er de beregnede middelverdiene satt inn i klamreparenteser, med den 0,9-reduserte verdien i parentes.

Tabell 9: Statistisk sammenligning mellom modellerte og målte timeverdier av PM_{2.5} på Løren fra 1. november 2003 til og med 31. mars 2004.

	PM _{2.5} obs. Løren (µg/m ³)	PM _{2.5} alle kilder. Uten temp.-korr. Løren (µg/m ³)	PM _{2.5} alle kilder Temp-korr. 2. Løren (µg/m ³)	PM _{2.5} alle kilder. Temp-korr. 6. Løren (µg/m ³)
Maksimum timeverdi	116,4	[(176,5) 196,2]	[(205,5) 228,4]	[(224,0) 248,9]
Middelverdi	19,4	[(13,1) 14,6]	[(11,8) 13,1]	[(11,0) 12,2]
Korrelasjons- koeffisient		0,42	0,44	0,43

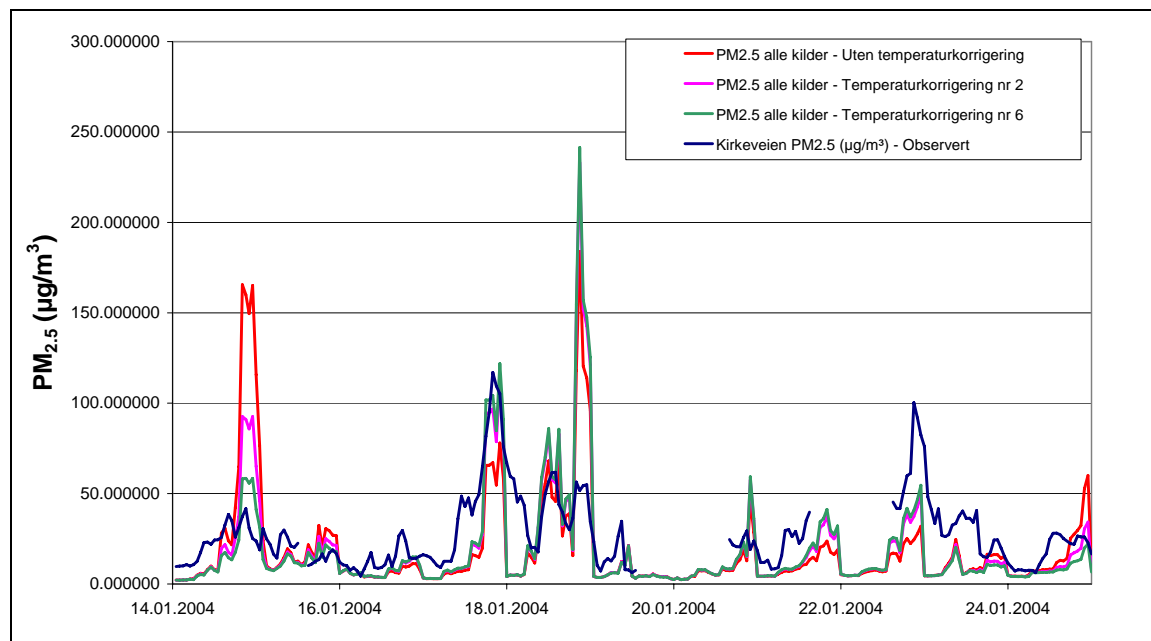
NB: Observerte og målte verdier for nyttårsaften (kl 0900 den 31.12 til kl 1000 01.01) er ikke tatt med i analysen.

Tabell 10: Statistisk sammenligning mellom modellerte og målte timeverdier av PM_{2.5} på Rv4 fra 7. januar 2004 til og med 31. mars 2004.

	PM _{2.5} obs. RV4 Aker Sykehus (µg/m ³)	PM _{2.5} alle kilder. Uten temp.-korr. RV4 Aker Sykehus (µg/m ³)	PM _{2.5} alle kilder Temp-korr. 2. RV4 Aker Sykehus (µg/m ³)	PM _{2.5} alle kilder. Temp-korr. 6. RV4 Aker Sykehus (µg/m ³)
Maksimum timeverdi	89,4	[(182,5) 202,7]	[(172,2) 191,3]	[(178,0) 197,8]
Middelverdi	16,4	[(13,6) 15,1]	[(12,1) 13,5]	[(11,3) 12,5]
Korrelasjons- koeffisient		0,36	0,43	0,46

NB: Observerte og målte verdier for nyttårsaften (kl 0900 den 31.12 til kl 1000 01.01) er ikke tatt med i analysen.

Et eksempel på effekten av temperaturkorrigeringen er vist for Kirkeveien i Figur 7. Temperaturkorrigeringen fører i enkelte tilfeller til bedre samsvar med observasjonene (f.eks. 14 januar), mens den i andre tilfeller leder til noe dårligere samsvar (f.eks. 17. og 18. januar).



Figur 7: Modellert og målt konsentrasjon av $PM_{2,5}$ for perioden 14. januar til 25. januar 2004. Merk at observasjonene her er multiplisert med faktoren 1,5 for å justere for avviket mellom TEOM målingene og filterprøvene (referansemotoden).

Oppsummering

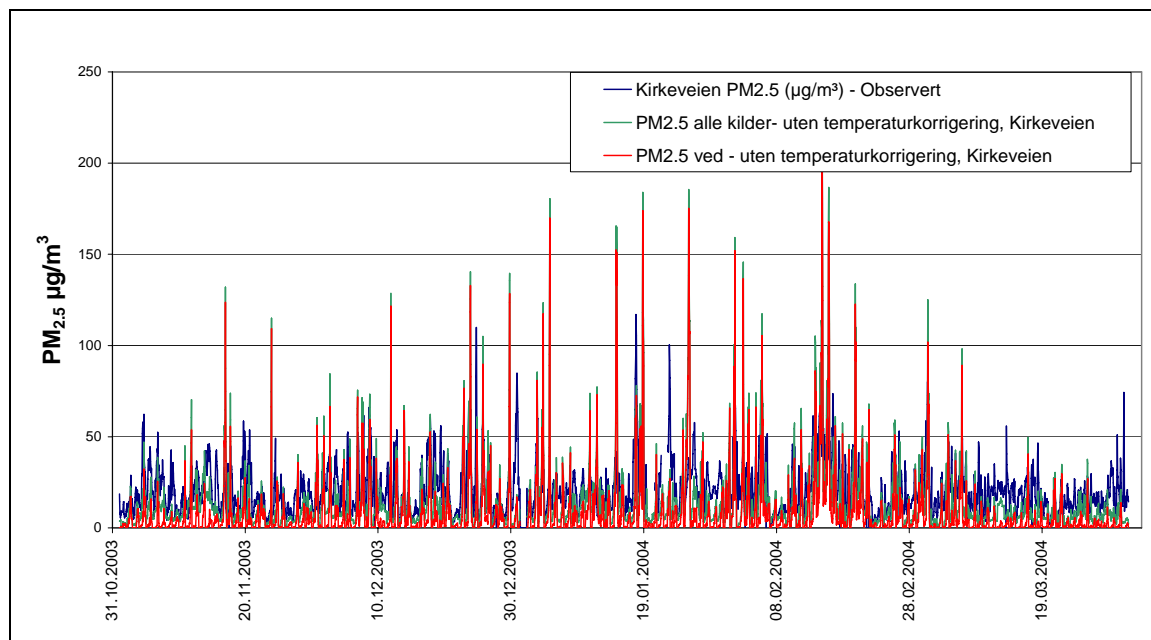
Alt i alt har temperaturkorreksjon av vedfyringsintensiteten en betydning for beregning av $PM_{2,5}$ fra alle kilder i Oslo. Temperaturkorreksjonene reduserer konsentrasjonene i den betraktede perioden med 10 - 20 % i gjennomsnitt, og som forventet gir korreksjonsfunksjon nr. 6 størst reduksjon. Beregnet $PM_{2,5}$ ligger 20-40% lavere enn observert. Hovedårsaken til denne underestimeringen er trolig at modellen underestimerer bidraget til $PM_{2,5}$ fra vei-trafikken.

Temp. korreksjon 2, som gir mindre variasjon av utslippet med temperaturen enn funksjon 6, gir det beste statistiske samsvaret med målingene. Det bør her understrekes at selv om korrelasjonskoeffisienten er relativt lav, er den gjennomgående høyere når vedutslippet temperaturkorrigeres.

Denne konklusjonen gjelder temperatur-regimet vinteren 2003-2004, som var relativt mild i gjennomsnitt.

7 Detaljert analyse av spredningsmodellen

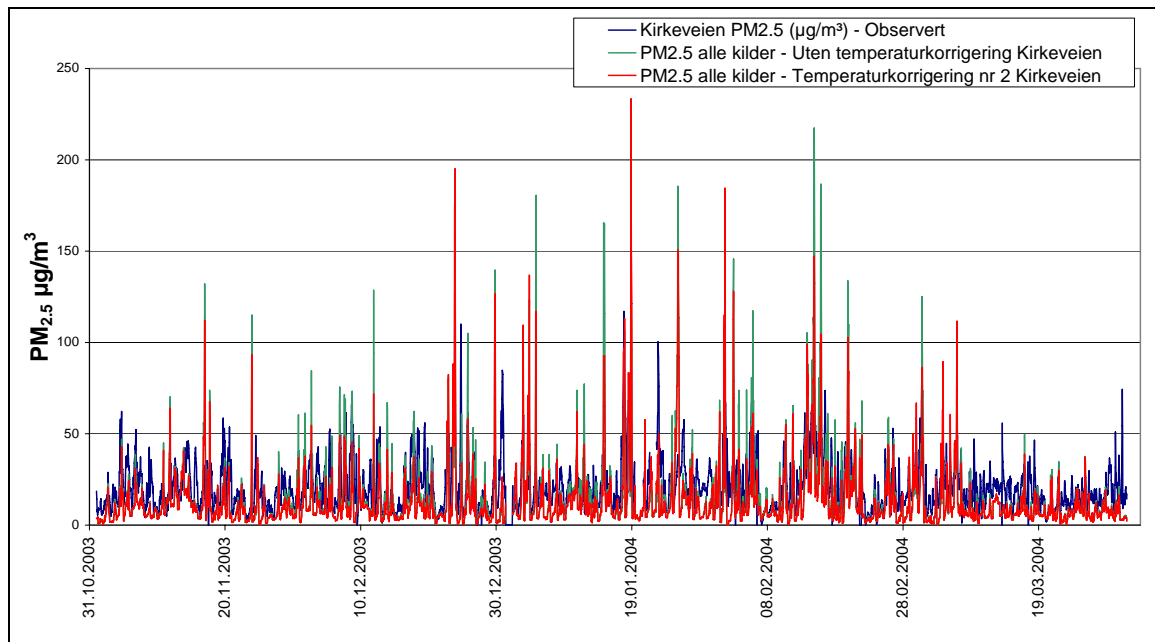
Sammenlikning av observerte og beregnede $PM_{2.5}$ verdier viser at modellen overestimerer betydelig i enkelte perioder (Tabell 8, Tabell 9, Tabell 10 og Figur 8). En mer detaljert analyse antyder at denne overestimeringen er knyttet til spredningsforholdene som estimeres i modellen (se Figur 8).



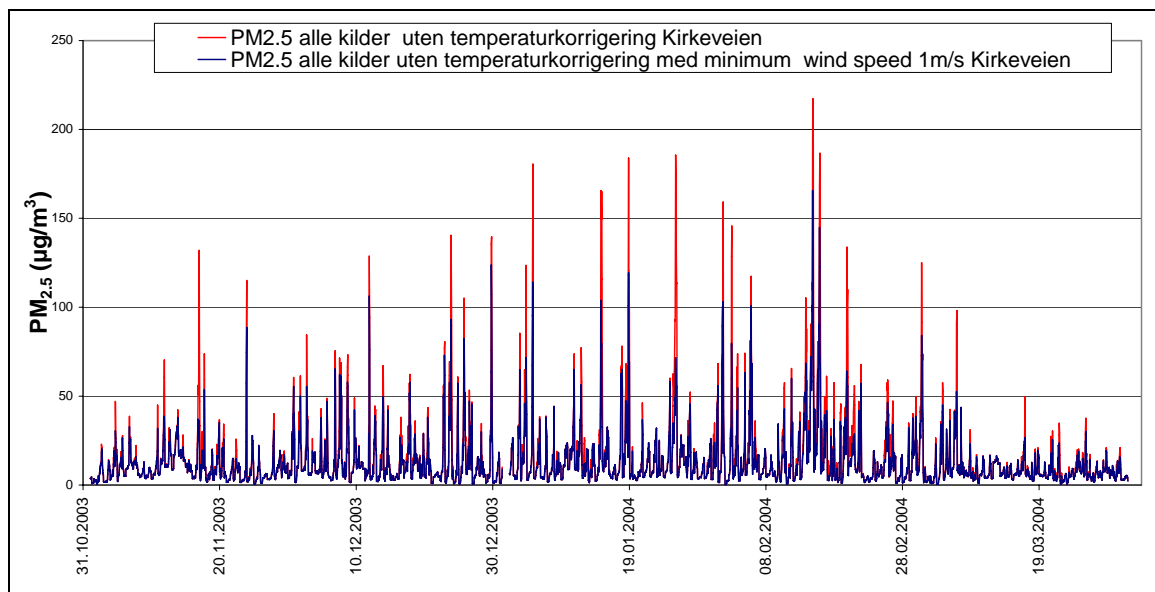
Figur 8: Modellert $PM_{2.5}$ fra alle kilder, modellert $PM_{2.5}$ fra ved og observert $PM_{2.5}$ i Kirkeveien, uten temperaturkorrigering. Merk at observasjonene her er multiplisert med faktoren 1,5 for å justere for avviket mellom TEOM målingene og filterprøvene (referansemetoden).

Målingene ble vurdert opp mot modellresultatene både med og uten temperaturkorrigering for å vurdere om temperaturkorrigeringen vil redusere overestimaten (Figur 9). I en god del tilfeller ble overestimaten redusert, mens de i andre perioder økte.

Analysen viser videre at overestimaten fortrinnsvis forekommer i perioder med svak vind om ettermiddagen og kvelden, dvs. samtidig med at utslippsintensiteten fra både trafikken og vedfyringen er på det sterkeste. For å vurdere hvilken effekt spredningsforholdene har på resultatene ble modellberegningene kjørt om igjen med minimum tillatt vindhastighet på 1 m/s i gridmodellen (mot 0.4 m/s som standard). Resultatene viste at omtrent samtlige overestimat ble redusert, og i en del tilfeller ganske betydelig (Figur 10). Om årsaken til dette ligger i spredningsmodellen eller i vindmodellen er foreløpig uklart og må studeres nærmere.



Figur 9: Observert $PM_{2.5}$ og modellert $PM_{2.5}$ uten og med temperaturkorrigering nr. 2 i Kirkeveien. Merk at observasjonene her er multiplisert med faktoren 1,5 for å justere for avviket mellom TEOM målingene og filterprøvene (referansemotoden).



Figur 10: Modellert og observert $PM_{2.5}$ i Kirkeveien der minimum vindhastighet i gridmodellen er satt til 1 m/s.

Den statistiske analysen viser at overestimatene av maksimumsverdiene reduseres og korrelasjonen øker når minimum vindhastighet settes til 1 m/s i gridmodellen. (Tabell 11 sammenlignet med Tabell 8). Analyser av de øvrige stasjonene viser tilsvarende effekt av endret minimumsvind som i Kirkeveien. Reduksjonen i overestimatet i disse enkelttimene fører imidlertid til en ytterligere underestimert av middelveiden.

Tabell 11: Statistisk sammenligning mellom modellerte (alle kilder) og målte konsentrasjoner (timeverdier) av PM_{2,5} i Kirkeveien i perioden januar – mars 2004 (minimum vindhastighet i modellen er satt til 1 m/s).

	PM _{2,5} obs. Kirkeveien (µg/m ³)	PM _{2,5} alle kilder. Uten temp.-korr. Kirkeveien (µg/m ³)	PM _{2,5} alle kilder Temp-korr. 2. Kirkeveien (µg/m ³)	PM _{2,5} alle kilder. Temp-korr. 6. Kirkeveien (µg/m ³)
Maksimum timeverdi	117,0	[(149,0) 165,5]	[(135,8) 150,8]	[(140,4) 156,0]
Middelverdi	17,5	[(11,3) 12,6]	[(10,0) 11,2]	[(9,3) 10,3]
Korrelasjonskoeffisient		0,52	0,55	0,54

NB: Observerte og målte verdier for nyttårsaften (kl 0900 den 31.12 til kl 1000 01.01) er ikke tatt med i analysen.

Analyse av modellert PM_{2,5} fra kun vedfyring, med 1 m/s som minimum vindhastighet i gridmodellen, er også utført for Kirkeveien (Tabell 12 og Tabell 13; sammenlignes med hhv. Tabell 3 og Tabell 4). Tilsvarende som for beregningene med alle kilder, viser resultatene nå betydelig lavere maksimalverdier og noe reduserte middelverdier. Generelt er dette i bedre overensstemmelse med PM_{2,5}-målingene fra analysene av levoglucosan. Endringen som følge av at 1 m/s er brukt som minimum vindhastighet gir at det nå er nattverdiene som stemmer godt overens, mens dagverdiene nå underestimeres noe i middel.

Tabell 12: Statistisk sammenligning mellom modellerte og målte konsentrasjoner av PM_{2,5} fra ved (dag, 06-18) i Kirkeveien i perioden januar 2004 til og med 31. mars 2004 (minimum vindhastighet i modellen er satt til 1 m/s)

	PM _{2,5} obs. Kirkeveien (µg/m ³)	PM _{2,5} fra ved. Uten temp.-korr. Kirkeveien (µg/m ³)	PM _{2,5} fra ved. Temp-korr. 2. Kirkeveien (µg/m ³)	PM _{2,5} fra ved. Temp-korr. 6. Kirkeveien (µg/m ³)	PM _{2,5} fra levoglucosanprøver. Dag (06-18) Kirkeveien (µg/m ³)
Maksimum døgnverdi	51,1	30,1	26,4	27,3	26,7
Middelverdi	26,8	9,1	7,7	6,7	10,0
Korrelasjonskoeffisient		0,81	0,79	0,68	

Tabell 13: Statistisk sammenligning mellom modellerte og målte konsentrasjoner av PM_{2,5} fra ved (natt) i Kirkeveien i perioden januar 2004 til og med 31. mars 2004 (minimum vindhastighet i modellen er satt til 1 m/s)

	PM _{2,5} obs. Kirkeveien (µg/m ³)	PM _{2,5} fra ved. Uten temp.-korr. Kirkeveien (µg/m ³)	PM _{2,5} fra ved. Temp-korr. 2. Kirkeveien (µg/m ³)	PM _{2,5} fra ved. Temp-korr. 6. Kirkeveien (µg/m ³)	PM _{2,5} fra levoglucosanprøver. Natt (18-06) Kirkeveien (µg/m ³)
Maksimum døgnverdi	72,8	43,6	39,5	41,0	31,9
Middelverdi	26,2	13,9	12,6	11,5	12,5
Korrelasjonskoeffisient		0,83	0,66	0,48	

Tilsvarende analyser som for Kirkeveien er gjort for Rv4 og Sofienbergparken. På Rv4 er det som for Kirkeveien enda bedre samsvar med observasjonene ved bruk av 1 m/s som minimumsvind. For Sofienberg ser man samme effekt som for de to andre stasjonene på maksimumsverdi og middelvei, men de andre statistiske parametrene blir ikke noe bedre. Generelt er det dårlig samvariasjon i Sofienbergparken.

Oppsummering

Justering av spredningsmodellen (ved å sette en nedre grense for vindhastighet i modellen på 1 m/s) gir generelt bedre samsvar mellom målte og beregnede verdier. Hovedeffekten er at maksimalverdiene reduseres, men også middelveiene reduseres noe. I Kirkeveien fører dette til at den opprinnelige overestimeringen på kveld/natt elimineres, mens endringen leder til en moderat underestimering på dagtid. Modellendringen virker også gunstig inn på resultatene på Rv4. Disse resultatene viser at ytterligere modellutvikling er nødvendig for å bedre spredningsbeskrivelsen i modellen, spesielt i svakvindssituasjoner, slik at de kraftige overestimatene i disse periodene unngås.

8 Usikkerheter i beregningene

Det er usikkerheter knyttet til alle delementene som inngår i beregningsresultatene. 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 $PM_{2.5}$.

8.1 Usikkerheter knyttet til utslippsestimatene fra forbruk av brensel

Usikkerheten i inngangsdata fra SSB ligger både i de totale utslippsnivåene for et enkelt år, framskrivningen av disse til beregningsår, geografisk fordeling innen byen, fordelingen på timer over året og hvordan utslippene varierer med temperatur og utslippenes høyde over bakken.

En ekstra usikkerhet i beregningene er at det ikke er innhentet oppdaterte SSB-data for andre kilder enn for vedfyring. Vedforbruk og ildstedsbestand er basert på 2001/2002-data for Oslo. Data for andre brenselskilder enn vedfyring (f.eks. oljefyring) gjelder for 1998. Denne usikkerheten er liten. Nyere data for disse kildene har ikke vært tilgjengelig for NILU. Siden 1998 har SSB/SFTs nasjonale utslippsmodell blitt vesentlig bedret, særlig når det gjelder utslipp av $PM_{10}/PM_{2.5}$. Dette er altså ikke tatt hensyn til i beregningene. Prosessutslipp var heller ikke med i utslippsoversikten som er lagt til grunn her.

En annen usikkerhet er at utslipp fra biobrenselbruk utenom husholdningene ikke er lagt inn i utslippsdatabasen i AirQUIS. Dette gjelder et lite vedforbruk i diverse næringer i tillegg til forbrenning av treavfall i industrien. Vedforbruket i disse andre næringene er så lite at utslippet i denne sammenhengen kan anses som ubetydelig. Det er heller ikke noen utbredt forbrenning av treavfall i industrien, men det vil være en liten underestimering av utslippene rundt de aktuelle bedriftene.

8.2 Usikkerheter knyttet til utslippsestimatene for veitrafikken

Utslippene fra veitrafikken er i beregningene estimert ut fra informasjon om trafikkmengde, kjøretøysammensetning, veitype osv. på veilenkesystemet. I databasen for 2003 er ikke småveinettet inkludert i lenkesystemet og utslippene fra disse veiene er derfor ikke tatt med i beregningene.

Det er også noe usikkerhet knyttet til utslippsfaktorene som er benyttet for å beregne utslippet av eksospartikler, både når det gjelder kjøretøysammensetning og utslipp fra hver enkelt kjøretøyklasse.

Trafikk-oppvirvlet veistøv er ved siden av vedfyringspartiklene en viktig bidragsyter til svevestøvkonsentrasjonene, først og fremst til grov-fraksjonen (d.v.s. til partikler med diameter mellom 2.5 og 10 μm), men også i noen grad til finfraksjonen (d.v.s. $\text{PM}_{2.5}$). Estimer 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 ikke å fange opp våthet som skyldes avsmelting fra is/snø på veiskulderen fordi denne effekten ikke er beskrevet tilstrekkelig i inngangsdataene. Økt oppvirvling som følge av frigivelse av lokale støvdepoter på veiskuldrene i opptørkingsperioder, spesielt om våren, delvis om høsten, er lagt inn i modellen på bakgrunn av svevestøvdata fra veinære målestasjoner. I tillegg til forhold med tørr/fuktig veibane og veiskulder er mengden av veistøv som virvles opp avhengig av trafikkmengde, trafikk-sammensetning, piggdekkbruk og kjørehastighet, dvs. parametre som i seg selv inneholder usikkerheter. Disse usikkerhetene gjelder mest grovfraksjonen, og mindre finfraksjonen.

8.3 Usikkerheter i øvrige tilførsler/kilder

Det regionale bakgrunnsbidraget, dvs. estimatet av svevestøv-konsentrasjonen i luften som transporteres inn over modellområdet render er basert på målte døgnverdier på en regional bakgrunnsstasjon i Sør-Norge (Birkenes). Bruken av data fra bakgrunnsstasjoner 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 misvisende. Dessuten er det grunn til å anta at luften som transporteres inn gjennom modellens ytre begrensingsflater inneholder noe større mengder svevestøv enn det som måles på bakgrunnsstasjonene, siden det i modellområdet umiddelbare nærhet finnes betydelige svevestøv-kilder, d.v.s. hovedveinett, boligområder etc.

8.4 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.

Det er også usikkerheter knyttet til den modellerte vindstyrken og vindretningen, siden beregningene med vindfeltmodellen også er gjennomført med bruk av bare én vindobservasjon. 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. Vindfeltmodellenes resultater vil være best i nærheten av målestasjonen.

8.5 Usikkerheter knyttet til spredningsberegningene

Rent metodemessig er spredningsberegningene i Oslo vinterstid mest følsomme, og dermed mest usikre, i situasjoner med utvikling av stabile bakkenære temperaturinversjoner 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 ustabile spredningsforhold derimot, er spredningsberegningene langt mer robuste for endringer i de meteorologiske spredningsparametrene.

9 Konklusjon

- Beregningene av PM_{2,5} i Oslo for vinteren 2003-2004, fra vedfyring og fra alle kilder samlet, ble utført med AirQUIS-systemet, med en oppdatert database.
- Det ble utført beregninger der vedfyringsintensiteten ble temperaturkorrigert, med to av de 6 temperaturkorreksjonsfunksjonene som er foreslått av SSB, for å teste betydningen av ulike temperaturkorreksjoner. Beregninger ble også utført for utslipp som ikke var temperaturkorrigert.
- Analysen viser generelt at temperaturkorrigering har stor betydning for totalutslippet av partikler fra ved og dets variasjon fra dag til dag. Utslippet ble redusert med henholdsvis 20 % og 32 % for de to testede temperaturkorreksjonsfunksjonene i forhold til ikke å korrigere utslippet. Årsaken til dette er forskjeller i temperatur mellom utslippsåret og beregningsåret, samt forskjeller i forhold til normaltemperaturen som er grunnlaget for tidsvariasjonen. Vinteren 2003/2004 var relativt mild i forhold til normalen. Døgnmiddeltemperaturen ligger i hovedsak mellom -5 og +5°C. Dette medfører at sammenligningen mellom temperaturfunksjonene hovedsakelig er gjort i dette relativt smale temperaturregimet, og at resultatet kunne vært annerledes dersom temperaturene hadde vært vesentlig lavere i beregningsperioden.
- Temperaturkorreksjonsfunksjonene gir vesentlig økt utslipp når det er kaldt og vesentlig redusert utslipp når det er mildt, sammenlignet med den ukorrigerede utslippsfordelingen.

- Fra beregningene av vedfyringsbidraget til $PM_{2,5}$ kan en trekke følgende konklusjoner:
 - Beregnet vedfyringsbidrag stemmer godt overens med målt bidrag (basert på levoglucosan-målinger), når det gjelder middelværdi over et relativt lite antall prøver, for følgende serier:
 - Kirkeveien, dagprøver (21 prøver)
 - Sofienbergparken, dagprøver (15 prøver)
 - Sofienbergparken, nattprøver (17 prøver)
 For disse seriene er det temp. korreksjonsfunksjon nr. 2 som gir middelværdier av $PM_{2,5}$ som stemmer best med estimatene basert på levoglucosanprøvene. Korrelasjon mellom målte og beregnede verdier var høy for Kirkeveien, dag (0,77 for temp.korr. 2), og lav for Sofienbergparken, spesielt for dagprøvene.
 - For seriene Kirkeveien-nattprøver og Rv4-dagprøver, ga beregningene betydelig for høye middelværdier. Beregningene uten temperaturkorreksjon ga størst overestimering. Korrelasjonen var høy for disse seriene, og høyeste når vedutslippet ikke ble temperaturkorrigert. Temperaturkorreksjonsfunksjon nr. 2 ga høyere korrelasjon enn funksjon nr. 6.
 - Beregnede maksimalverdier var gjennomgående alt for høye, bortsett fra natt-verdiene i Sofienbergparken, der de temperaturkorrigerte verdiene var mer i overenstemmelse med estimatet fra levoglucosanprøvene.
 - Generelt var samsvaret mellom målte og beregnede middelværdier bedre med temperaturkorreksjon enn uten, men korreksjonen ga oftest noe dårligere korrelasjon.
 - Basert på det ovenstående er det overaskende lite forbedring i beregningsresultatet som følge av å temperaturkorrigere vedutslippet. En positiv effekt av korreksjonsfunksjonene er at middelværdiene justeres noe ned. Imidlertid er de temperaturkorrigerte resultatene gjennomgående dårligere korrelert med estimatene fra levoglucosanprøvene. Dette bildet endres imidlertid noe når vi gjennomfører beregninger med alle kilder og sammenlikner mot timevise $PM_{2,5}$ målinger gjennom hele vintersesongen 2003/2004.
- Fra beregningene av $PM_{2,5}$ fra alle kilder samlet, trekkes følgende konklusjoner:
 - Beregningene underestimerer $PM_{2,5}$ på veinære målestasjoner (Kirkeveien, Løren, Manglerud) vesentlig. Beregnet middelværdi av $PM_{2,5}$ for temperaturkorreksjon nr. 2 ligger i intervallet 61 - 82 % av de observerte verdiene for alle målestedene. Hovedårsaken til dette avviket er trolig at modellen underestimerer bidraget til $PM_{2,5}$ fra trafikken. Dette underbygges av beregninger utført for NO_x , der trafikkutslippet er den helt dominerende kilden. Beregningene ga en midlere NO_x -konsentrasjon på ca. 65% av målte konsentrasjoner, for perioden januar-mars 2004, på målestasjonene Kirkeveien, Manglerud og Løren.

- De statistiske resultatene viser gjennomgående litt høyere korrelasjon mellom modellerte og målte timevise konsentrasjoner av PM_{2.5} med temperaturkorrigering enn uten. Korrelasjonskoeffisientene er imidlertid relativt lave (ca. 0,5). Best statistisk samsvar var det i Kirkeveien.
- Analysen antyder at temperaturkorreksjonsfunksjon nr. 2 er noe bedre enn funksjon nr. 6.
- Justering av spredningsmodellen (ved å sette en nedre grense for vindhastighet i modellen på 1 m/s) gir generelt bedre samsvar mellom målte og beregnede verdier. Hovedeffekten er at maksimalverdiene reduseres, og derved at også middelverdiene reduseres noe. I Kirkeveien fører dette til at den opprinnelige overestimeringen på kveld/natt elimineres, mens endringen leder til en moderat underestimering på dagtid. Modellendringen virker også gunstig inn på resultatene på Rv4. Disse resultatene viser at ytterligere modellutvikling er nødvendig for å bedre spredningsbeskrivelsen i modellen, spesielt i svakvindssituasjoner, slik at overestimatene i disse periodene unngås.
- Selv om forbedringene er marginale, er det på bakgrunn av resultatene ovenfor grunnlag for å anbefale en temperaturkorrigering av utslippene fra vedfyringen. Av de to testede funksjonene anbefales temperaturkorreksjonsfunksjon nr. 2. Imidlertid bør det presiseres at denne anbefalingen bygger på resultater fra en relativ varm vinter (vinteren 2003-2004). Det er derfor ønskelig at en tilsvarende studie også gjennomføres for en kaldere vinter før sikrere konklusjoner trekkes.

10 Referanser

AirQUIS (2004) AirQUIS 2003. URL: www.airquis.com

Bang, J., Flugsrud, K., Holtskog, S., Haakonsen, G., Larssen, S., Maldum, K.O., Rypdal, K. og Skedsmo, A. (1999) Utslipp fra veitrafikk i Norge – Dokumentasjon av beregningsmetode, data og resultater. Oppdatering av SFT-rapport 93:12. Oslo, Statens forurensningstilsyn (SFT-rapport 99:04).

Finstad, A., Flugsrud, K., Haakonsen, G. og Aasestad, K. (2004) Vedforbruk, fyringsvaner og svevestøv. Resultater fra Folke- og boligtellingsundersøkelsen 2001. Levekårsundersøkelsen 2002 og undersøkelse om vedforbruk og fyringsvaner i Oslo 2002. Oslo-Kongsvinger, Statistisk sentralbyrå (SSB-rapport 2004/5).

Foster, F., Walker, H., Duckworth, G., Taylor, A. and 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).

Haakonsen, G. og Kvingedal, E. (2001) Utslipp til luft fra vedfyring i Norge. Utslippsfaktorer, ildstedsbestand og fyringsvaner. Kongsvinger (SSB rapport 2001/36).

Kouridis, C., Ntziachristos, L. and Samaras, Z. (2000) COPERT III- Computer programme to calculate emissions from road transport. User manual (Version

2.1). Copenhagen, European Environment Agency (EEA Technical report No 50).

Larssen, S. og Hagen, L.O. (2006) Studie av bidrag fra vedfyring og andre kilder til forurensningen av partikler i luft i Oslo. Fase 1: Estimert av vedfyringsbidrag til PM basert på sporstoffmålinger i luft. Kjeller (NILU OR 97/2006).

Laupsa, H. (2002) Rikets miljøtilstand 2001. Kjeller, NILU (Notat. HEL/BKa/O-102022/B. 2. august 2002).

Ntziachristos, L. and Samaras, Z. (2000) COPERT III- Computer programme to calculate emissions from road transport. Methodology and emission factors (Version 2.1). Copenhagen, European Environment Agency (EEA Technical report No 49).

Oslo kommune/Statens vegvesen, Region Øst (2004) Luftkvalitet i Oslo. Tiltaksutredning med forslag til handlingspakker.

URL: <http://www.luftkvalitet.info/index.cfm?fa=city.showreports&cityID=2&reportType=2>

Sherman, C.A. (1978) A mass consistent model for wind fields over complex terrain. *J. Appl. Meteorol.*, 17, 312-319.

Slørdal, L.H., Walker, S.E. and Solberg, S., (2003) The urban air dispersion model EPISODE applied in AirQUIS₂₀₀₃. Technical description. Kjeller (NILU TR 12/2003).

Statens vegvesen Vegdirektoratet (2002) Avgassregelverk (m/drivstoffer). Oslo (Forskrift av 11. oktober 2002).

Yttri, K.E., Dye, C., Slørdal, L.H. and Braathen, O.A. (2005) Quantification of monosaccharide anhydrides by negative electrospray HPLC/HRMS-TOF – Application to aerosol samples from an urban and a suburban site influenced by small scale wood burning. *J. Air & Waste Manage. Assoc.* 55, 1169-1177.

Vedlegg A

Prosedyre for beregning av bakgrunnsverdier

Prosedyre for beregning av bakgrunnsverdier

Som bakgrunnskonsentrasjoner for beregningene brukes målinger av PM_{2.5} fra Birkenes stasjon for 2003/2004.

Manglende verdier kompletteres ikke ved innlegging i basen. Middelveien for beregningsperioden beregnes og legges inn i kjøreoppsettet for bruk ved manglende verdi.

Negative verdier betyr at konsentrasjonen er under deteksjonsgrensen. Verdien som brukes er da absoluttverdien av den oppgitte konsentrasjonen delt på 2.

Døgnverdiene gjøres om til timeverdier ved at måleverdien brukes for alle timene den er gyldig for, dvs fra og med kl 06 samme dag til og med kl 06 neste dag.



Norsk institutt for luftforskning (NILU)

Postboks 100, N-2027 Kjeller

RAPPORTTYPE OPPDRAGSRAPPORT	RAPPORT NR. OR 28/2006	ISBN 978-82-425-1750-0 (trykt) 978-82-425-1844-6 (elektronisk) ISSN 0807-7207	
DATO	ANSV. SIGN.	ANT. SIDER 33	PRIS NOK 150,-
TITTEL Spredningsberegninger av PM _{2,5} B for Oslo vinteren 2003-2004 Effekt av temperaturkorreksjon av vedfyingsutslippet		PROSJEKTLEDER Herdis Laupsa	
		NILU PROSJEKT NR. O-105110	
FORFATTER(E) Steinar Larssen, Herdis Laupsa, Leiv Håvard Slørdal, Dag Tønnesen og Leif Otto Hagen		TILGJENGELIGHET * A	
		OPPDRAGSGIVERS REF. Roar Gammelsæter	
OPPDRAGSGIVER Statens forurensningstilsyn Pb. 8100 Dep 0032 OSLO			
STIKKORD Temperaturkorreksjon	Spredningsberegninger	Partikler	
REFERAT Norsk Institutt for luftforskning (NILU) har på oppdrag fra Statens forurensningstilsyn (SFT) gjennomført spredningsberegninger for evaluering og analyse av bidrag fra vedfyring til partikkelforurensning (PM _{2,5}). Hovedmålet har vært å vurdere effekten av å innføre temperaturkorrigering for beregning av utslipp fra vedfyring.			
TITLE Calculaton of PM _{2,5} from woodburning			
ABSTRACT			

* Kategorier: A Åpen - kan bestilles fra NILU
 B Begrenset distribusjon
 C Kan ikke utleveres