



Norwegian
Meteorological Institute
met.no

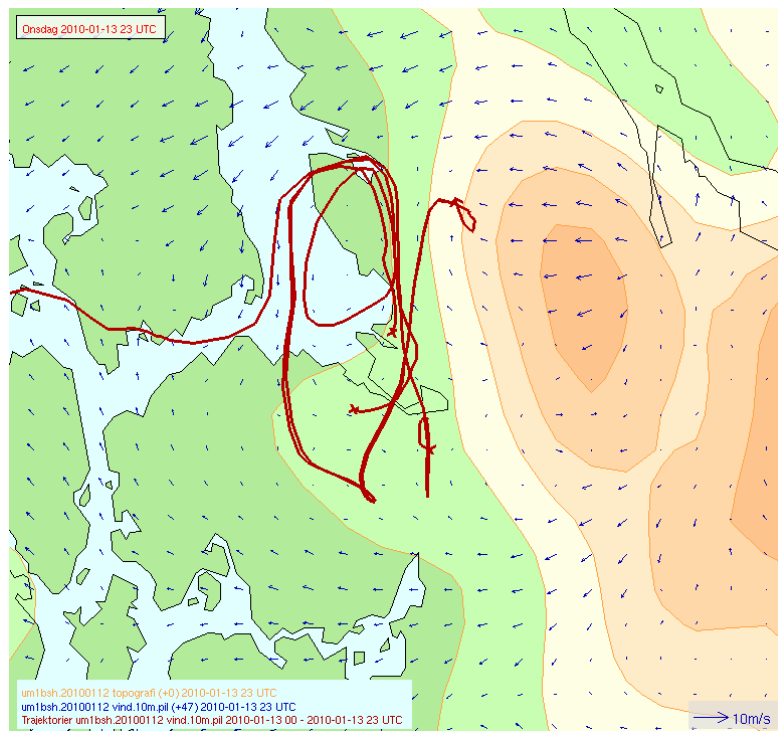
met.no report

no. 12/2010
meteorologi

Bedre byluft

Prognoser for meteorologi og luftkvalitet i norske byer vinteren 2009 - 2010



Viel Ødegaard ¹⁾, Leiv Håvard Slørdal ²⁾, Harald Abildsnes ¹⁾ og Thomas Olsen ¹⁾



1) Meteorologisk institutt 2) Norsk institutt for luftforskning



Tittel Bedre byluft - prognoser for meteorologi og luftkvalitet i norske byer vinteren 2009-2010	Dato 31. august 2010
Seksjon Seksjon meteorologi	Report nr. 12
Forfattere Viel Ødegaard, Leiv Håvard Slørdal ^{*)} , Harald Abildsnes og Thomas Olsen ^{*)} Norsk institutt for luftforskning	Klassifikasjon <input checked="" type="checkbox"/> Free <input type="checkbox"/> Restricted
	ISSN 1503-8025
	e-ISSN 1503-8025
Oppdragsgiver Statens Vegvesen	
Sammendrag Prosjektet Bedre byluft utføres av Meteorologisk institutt og Norsk institutt for luftforskning i samarbeid, og ledes av Meteorologisk institutt på oppdrag fra Statens Vegvesen. Endringer i oppsettet av meteorologimodellen i løpet av sesongen består i oppgradering av UM til versjon 7.3 for noen av områdene. Med denne modellen ble det oppnådd en god beskrivelse av inversjonsoppbyggingen og vindforholdene under forurensningsepisoden i Bergen i januar. AirQUIS har underestimert NO ₂ -nivået i episoder med høy konsentrasjon. Problemet antas å skyldes linjekildemodelleringen. Overestimering av de maksimale timeverdiene av PM _{2,5} er avhjulpet ved å redusere vedfyringsutslippet med 40 %. Sammensetningen av bilparken for 2010 og tidsvariasjonene for trafikkutslipp er oppdatert for å bedre prognosene for veistøvbidraget til PM ₁₀ . I tillegg ble veinettet i Grenland og Bergen oppdatert med data fra Nasjonal vegdatabank. Det opprettede varslingsystemet ble tatt operasjonelt i bruk i Oslo, Bergen, Trondheim, Stavanger og Grenland fra den 11. Februar 2010. Forurensningsepisodene i Bergen og Oslo er analysert med hensyn på meteorologiske prognoser, luftkvalitetsprognoser og publikumsvarsler. Anbefalinger for videre utvikling av Bedre byluft omfatter økt innsats på observasjoner som kan vise inversjonsforhold, økt satsing på høyere oppløsning i modellene, hyppigere oppdatering av meteorologiske data i AirQUIS, gjennomgang av starttilstanden i AirQUIS mhp vind og akkumulert forurensing, utvidelse av beregningsområdene for AirQUIS og mulighet for randdata fra MACC. En kvalitetssikring av evalueringsprosedyrene på luftkvalitet.info er også nødvendig.	
Nøkkelord varsling av lokal luftkvalitet, spredningsmodell for luftkvalitet, numerisk værvarsling, observasjoner, evaluering, forurensningsepisode i Bergen	

Disiplinary signature  _____	Responsible signature  _____
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

INNHALDSFORTEGNELSE

1	Innledning	2
2	Endringer i varslingsystemet i løpet av sesongen	3
2.1	Meteorologisk modell	3
2.2	AirQUIS	3
3	Forurensningsepisoden 4.-15. januar i Bergen og Oslo	7
3.1	Meteorologiske forhold	7
3.2	Rekjøring av forurensningsepisodene i Oslo og Bergen i januar 2010	18
4	Varslingskvalitet i luftkvalitetsvarslingen	29
4.1	Luftkvalitetsvarsling fra VV 2009-2010	29
4.2	Evaluering Bedre byluft Tromsø sesongen 2009-2010	37
5	Varslingskvalitet i meteorologimodellen	46
5.1	Vind fordelt på hastighet; antall tilfeller og bias	46
5.2	Forberedelse til oppgradering av UM til versjon 7.3	49
6	Anbefalinger	51
6.1	Observasjoner	51
6.2	Meteorologimodellen	51
6.3	Kobling mellom meteorologi og luftkvalitetsmodellen	51
6.4	Luftkvalitetsmodellen	51
6.5	Varsling for publikum	53
7	Oppsummering	54
	Referanser	56

Kapittel 2.2, 3.2 og 6.4 er skrevet av Leiv Håvard Slørdal (NILU), kapittel 4.1 er skrevet av Harald Abildsnes (met.no, VV) og kapittel 4.2 er skrevet av Thomas Olsen (met.no, VNN). Øvrig tekst og redigeringer av Viel Ødegaard (met.no, FoU)

1 INNLEDNING

I prosjektet Bedre byluft lages det daglige prognoser for luftkvaliteten i 10 norske byer. Prognosene distribueres til publikum gjennom lokale aviser og radiosendinger, internett og tekstmeldinger. Prognosene er utarbeidet subjektivt, men baserer seg på målinger av luftkvaliteten i byene, detaljerte værprognoser fra numeriske værvarslingsmodeller og, for halvparten av byene, spredningsberegninger på grunnlag av utslippsdata og værprognoser.

Varslene til publikum lages av Meteorologisk institutt (Værvarslingsavdelingen i Oslo: Sarpsborg/Fredrikstad, Grenland, Kristiansand og Lillehammer, Værvarslinga på Vestlandet: Stavanger/Sandnes, Bergen og Trondheim og Værvarslinga for Nord-Norge: Tromsø), avdeling for miljørettet helsevern i Drammen kommune og av Helse- og velferdsetaten i Oslo kommune.

Modellsystemet som beregner bakgrunnen for varslene er installert på Meteorologisk institutt. Der kjøres modellene hver natt i perioden 1. oktober til 30. april under overvåking av døgnooperativt IT-personell. Modellene som kjøres er UK Met Office Unified Model (UM) med 1 x 1 km gitteroppløsning for beregning av værprognoser, og AirQUIS med 1 x 1 km gitteroppløsning for beregning av luftkvalitet.

Prosjektet Bedre byluft utføres av Meteorologisk institutt og Norsk institutt for luftforskning i samarbeid, og ledes av Meteorologisk institutt på oppdrag fra Statens Vegvesen. Innenfor prosjektet defineres det også oppgaver for videreutvikling av varslingsystemet.

I løpet av 2009 har vi fått tilgang til en oppgradert versjon av UM. Denne er tatt i bruk for Bergen og Stavanger i løpet av sesongen, primært for å gi mer stabil drift.

Fjorårets evaluering av varslingsystemet som benyttes i Bedre byluft viste klare indikasjoner på at systemet hadde problemer med å varsle NO₂-episoder (Ødegaard mfl 2009), og arbeid ble derfor igangsatt for å finne årsaken til dette problemet og, om mulig, gjennomføre forbedringer for å øke prognosekvaliteten. Et forbedret varslingsystem ble tatt operasjonelt i bruk i Oslo, Bergen, Trondheim, Stavanger og Grenland fra den 11. Februar 2010. Endringene i varslingsystemet er beskrevet i kapittel 2.

Vinteren 2009 - 2010 i Sør-Norge var preget av en lang periode med dårlig luftkvalitet i Bergen og Oslo. Forurensningsforskriftens grenseverdier for NO₂ ble overskredet i lange perioder. I kapittel 3 undersøkes de meteorologiske prosessene som forårsaket denne utviklingen og i hvilken grad UM klarte å beskrive disse prosessene.

Siden det er gjennomført endringer i prognosesystemet i løpet av varslings sesongen, vil vi i denne evalueringsrapporten beskrive effekten som disse endringene har hatt for luftkvalitetsprognosene. Hovedmålet med varslingsystemet er å kunne varsle ekstrem situasjoner, og vi har derfor valgt å fokusere på varslene av de ekstreme forurensingssituasjonene som fant sted i Bergen og Oslo i første halvdel av januar 2010. Drøftingen av disse situasjonene er gitt i kapittel 3, og baseres på rekkjører som er gjennomført med det opprettede varslingsystemet.

I kapittel 4 beskrives varslingen som er utarbeidet for publikum fra Værvarslinga på Vestlandet. Episoden i Bergen beskrives spesielt, og det gis en oppsummering av varslingskvaliteten for Bergen, Stavanger, Trondheim og Tromsø. Kapittel 5 oppsummerer kvaliteten av vindprognosene fra UM gjennom vinteren. En sammenligning av prognosene fra UM v6.1 og v7.3 er også presentert. Både arbeidet med oppretting av varslingsystemet og spesialstudiet av de ekstreme forurensingssituasjonene har brakt fram forslag til forbedringer av prognosesystemet. Disse utviklingsmulighetene beskrives i kapittel 6. Kapittel 7 gir et sammendrag av hovedpunktene i rapporten.

2 ENDRINGER I VARSLINGSSYSTEMET I LØPET AV SESONGEN

2.1 Meteorologisk modell

Oppsettet av UM for AirQUIS, med unntakene under, følger fremdeles beskrivelsen i Ødegaard mfl (2007).

UM kjører som i forrige sesong for Oslo/Drammen, Grenland og Trondheim. Områdene for Bergen og Stavanger er slått sammen til et større område. 16. desember ble modellen for dette området også oppgradert til UM v7.3. Dette resulterte i mer stabil drift. Horisontal og vertikal oppløsning er den samme som før oppgradering.

Prognosene for Trondheims-området har også vært preget av ustabil drift denne sesongen, og oppgradering blir gjennomført før neste sesong.

I forrige varslings sesong hadde vi UM-prognoser i 1 x 1 km oppløsning på to store områder, Sør-Norge og Nord-Norge, for å gi detaljert informasjon om vind og stabilitet i Tromsø, Lillehammer, Fredrikstad og Kristiansand. Også disse modellene har hatt ustabil drift. Spesielt har Sør-Norge feilet ofte. Løsningen har vært å oppgradere modellene til v7.3 med 70 lag vertikalt. Det førte imidlertid til at beregningstiden økte mye, slik at med eksisterende beregningskapasitet måtte vi redusere prognosetiden til 24 timer for Sør-Norge fra 1. april 2010 og 36 timer for Nord-Norge fra 30. september 2009.

UM v7.3 representerer en stor teknisk forbedring i forhold til v6.1 fordi den er den første IBM-versjonen fra UK Met Office. Med denne versjonen har vi fått en modell som fra bunnen av er tilpasset maskinen der de daglige kjøringene går, derfor feiler modellkjøringene sjelden med denne versjonen.

UM v7.3 er laget for å kjøre med 70 lags vertikaloppløsning. Det er viktig å holde den lokale met.no versjonen av UM så nær opp til Met Office sin utgivelse som mulig, fordi videre forbedringer er basert på de nyeste versjonene av modellen. Dette medfører at UM for Bedre byluft må oppgraderes til 70 lag i forbindelse med innføring av v7.3 eller høyere, for alle byene. Med 70 lag får modellen høyere oppløsning nær bakken og i hele AirQUIS-området, derfor må også AirQUIS få endret vertikaloppløsning. Dette medfører igjen at utslipp må spesifiseres i forhold til de nye modellnivåene, noe som vil bli gjort samtidig med sensitivitetstester for økt vertikaloppløsning. UM med v7.3 og 70 lag har vært kjørt parallelt for Oslo-området, og vi har lagret data for testing siden begynnelsen av februar.

2.2 AirQUIS

2.2.1 Bakgrunn - oppsummering av erfaringer fra fjorårets varslings sesong (2008 - 09)

Analysen av luftkvalitetsvarslene for fjorårets sesong (Ødegaard m.fl., 2009) avdekket enkelte klare svakheter ved UM/AirQUIS-systemet. De viktigste av disse svakhetene var:

- i) Problemer med å varsle episoder med høye observerte NO₂ nivåer.
- ii) Vedvarende tendens til å overestimere de maksimale timeverdiene av PM_{2,5}.
- iii) Problemer med å gi en riktig prognose for veistøvbidraget til PM₁₀.

Underestimeringen av episodene med høye NO₂-nivåer (punkt 1) viste seg tydeligst i Oslo, men effekten var også merkbar i de øvrige byene. Imidlertid var fjorårssesongen ikke preget av mange slike episoder, og en detaljert analyse av årsakene til underestimeringen i prognosene var derfor vanskelig å gjennomføre. Likevel ble det konkludert med at problemet trolig var knyttet spesifikt til modelleringen av linjekildebidragene i svakvindsituasjoner.

Når det gjelder overestimeringen av de maksimale timeverdiene av PM_{2,5} (punkt 2) ble det konkludert med at dette trolig skyldes et for stort vedfyringsbidrag i modellberegningene. Denne konklusjonen var basert på erfaringer fra tidligere studier (Laupsa et al., 2008 og Slørdal og Sundvor 2010a).

Siden PM_{2,5} er inneholdt i PM₁₀-konsentrasjonene vil problemet knyttet til overestimering av partikkelutslippet fra vedfyring (punkt 2) også påvirke kvaliteten av PM₁₀-prognosene. Likeledes vil eventuelle feil i modelleringen av linjekildebidraget i svakvindssituasjoner (punkt 1) påvirke de veinære PM₁₀-konsentrasjonene på tilsvarende måte som for NO₂. For PM₁₀ er det imidlertid en ytterligere feilkilde knyttet til kildestyrken av oppvirvlet veistøv. Denne kildestyrken dempes sterkt dersom vegbanen er fuktig, og det er store modellmessige usikkerheter i estimatene av veibanens fuktighet. I utgangspunktet estimeres veibanefuktigheten ut fra meteorologiske prognosedata for nedbør, relativ fuktighet og temperatur. Imidlertid vil det være store lokale forskjeller som følge av smelting/frysing av snø og is i veikanten og som følge av iverksetting av støvdempende tiltak (for eksempel salting/vasking av veibanen). Dette er effekter som det ikke korrigeres for i dagens varslingsystem, og som følgelig fører til store usikkerheter i PM₁₀-prognosene.

Som beskrevet for PM₁₀ er det koblinger mellom systemsvakhetene oppsummert i punktene i - iii ovenfor. Eventuelle modellmessige justeringer for å redusere underestimeringen av NO₂-nivåene (punkt i) vil påvirke prognoseresultatene for PM_{2,5} og PM₁₀, og endringer av vedfyringsutslippene (punkt ii) vil i tillegg til å modifisere PM_{2,5}-nivåene, også påvirke PM₁₀-prognosene. Det er følgelig viktig at eventuelle modelljusteringer gjøres i den rekkefølge som nummereringen av punktene angir.

2.2.2 Endringer i varslingsperioden (2009 - 10)

Mens det i fjorårets varslingsperiode (2008-2009) var få forekomster av sterke forurensnings-episoder i Norge, ble årets vintersesong i Sør-Norge dominert av meteorologiske forhold som førte til gjentagende episoder med svært høye NO₂ nivåer, spesielt i Bergen, men også til en viss grad i Oslo. Ved vegstasjonen Danmarks plass ved E16 i Bergen ble det bl.a. målt totalt 156 timer med NO₂ konsentrasjoner over 200 µg/m³ i perioden 1. oktober 2009 - 1. mai 2010, og hele 108 av disse timene ble registrert i 10-dagers perioden 5. - 15. januar 2010. Alvorlighetsgraden av disse forurensningsnivåene framkommer tydelig når vi betrakter gjeldende forskrift for lokal luftkvalitet som kun tillater 18 timer med overskridelser av denne grenseverdien i løpet av et år. Luftkvalitetsforholdene i Oslo var ikke like dårlige, men også her ble det målt en rekke overskridelser av forurensningsforskriften ved flere stasjoner. Eksempelvis ble det på målestasjonen Hjortnes (gatestasjon ved E18) målt 61 overskridelser av grenseverdien for timesverdier av NO₂ (200 µg/m³) i perioden 4. - 13. januar 2010.

Som nevnt innledningsvis klarte varslingsystemet i liten grad å fange opp forurensningsepisodene etter hvert som de dukket opp utover i varslingsperioden. Mens observasjonene enkelte timer gikk opp i NO₂-konsentrasjoner på 100 - 200 µg/m³, holdt modellprognosene seg typisk i intervallet 80 - 100 µg/m³. Dette er illustrert i Figur 2.1 som viser observerte og beregnede NO₂ konsentrasjoner fra gatestasjonen Smestad på Ring 3 i Oslo for perioden 25. november - 19. desember 2009.

Siden det allerede forelå en hypotese om at dette problemet var knyttet til linjekildemodelleringen i AirQUIS, ble det i løpet av vinteren satt i gang arbeid med en detaljert gjennomgang av denne modellkoden. Som nevnt innledningsvis ledet dette arbeidet til funn av to delvis kompenserende feil i programkoden. En foreløpig versjon av det opprettede varslingsystemet ble tatt operasjonelt i bruk i Oslo og Bergen 29. januar 2010, mens en mer uttestet versjon ble tatt i bruk i byene Oslo, Bergen, Trondheim, Stavanger og

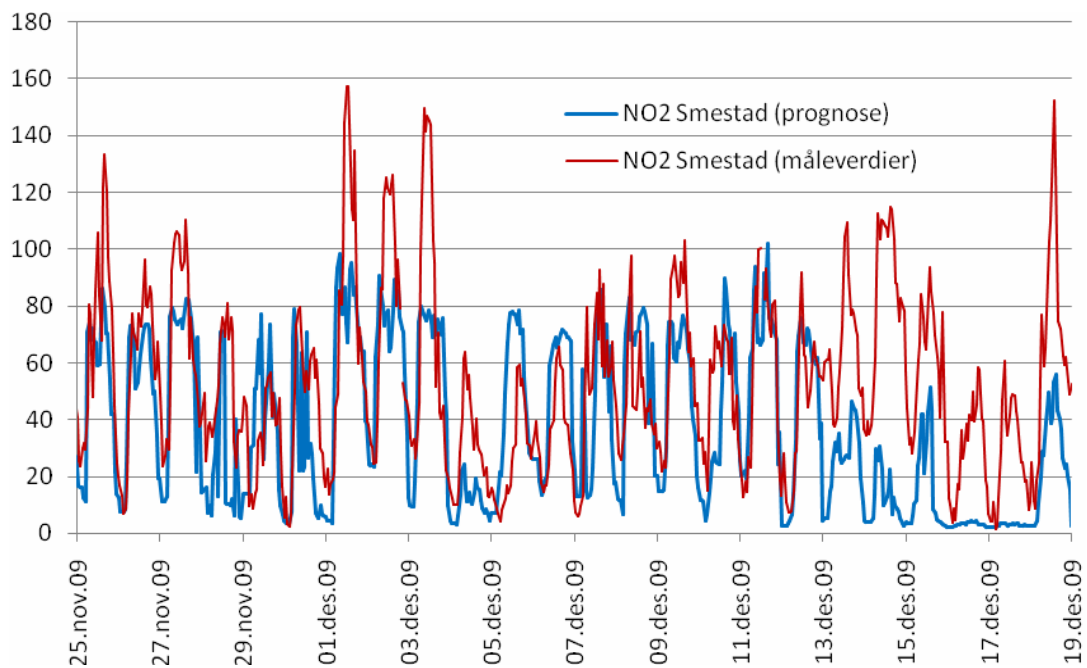
Grenland fra den 11. Februar 2010. I forbindelse med innføringen av den opprettede varslingsmodellen, ble det introdusert noen ytterligere systemoppdateringer i samtlige 5 byer. Disse endringene er oppsummert i listen nedenfor:

- i) Reduserer vedfyringsutslippet med 40 %. Denne endringen ble gjort som følge av evalueringen av resultatene fra fjorårets sesong (Ødegaard mfl 2009), samt av resultater fra tidligere studier (Laupsa et al., 2008; Slørdal og Sundvor 2010a)
- ii) Oppdaterer sammensetningen av bilparken, dvs. fordelingen av de ulike euroklassene (ECV-RVC), for 2010.
- iii) Oppdaterer tidsvariasjonene for trafikkutslippene. Dette er tidsvariasjoner som baseres på nyere tellinger i Oslo (Slørdal og Sundvor 2010b), og som også antas å være mer representative for de øvrige byene enn den tidligere benyttede tidsvariasjonen.

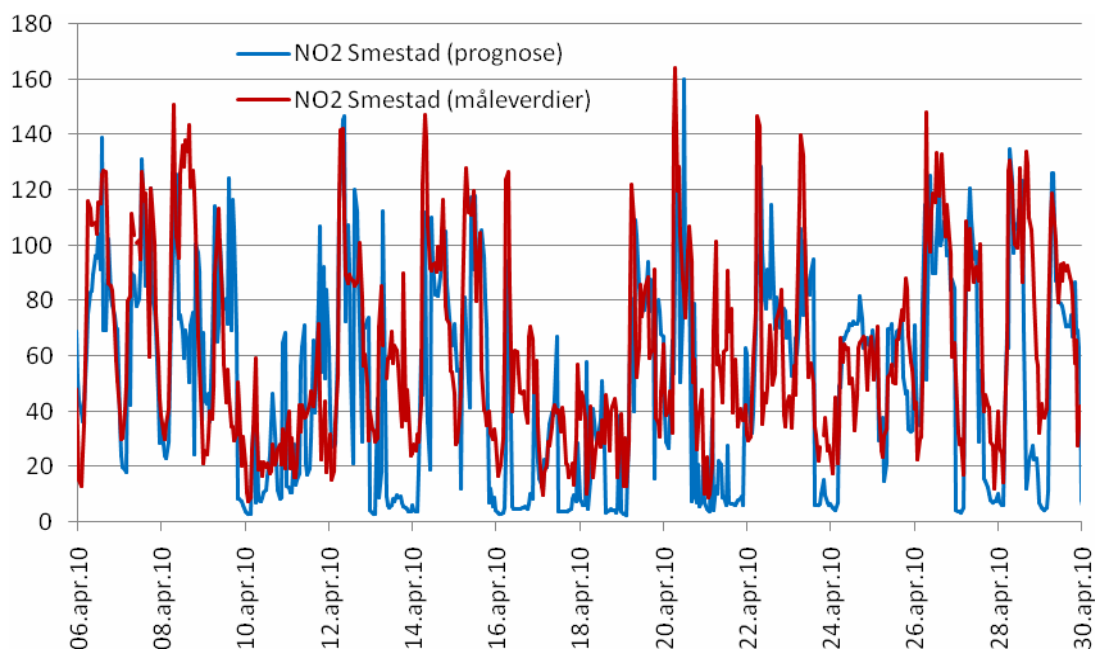
I tillegg til endringene i punktene ovenfor ble også veinettet i Grenland og Bergen oppdatert med data fra Nasjonal vegdatabank (NVDB). Tilsvarende oppdatering av veinettet ble gjennomført for Oslo og Bergen før fjorårssesongen. For Trondheim er ikke denne oppdateringen blitt gjennomført pga. mangelfulle data for det kommunale veinettet.

Rekjøringer, og dermed sammenlikninger av forskjellene mellom prognosene før og etter systemoppdateringene er bare gjennomført for de sterke forurensningsperiodene i første halvdel av januar 2010, og vil bli beskrevet i mer detalj i kapittel 3.3. For likevel å illustrere hvordan det opprettede prognosesystemet virker i mer ordinære situasjoner, vises i Figur 2.2 observerte og beregnede NO₂ verdier for gatestasjonen Smestad for perioden 6. - 30. april 2010. Sammenliknes kurvene i denne figuren med de tilsvarende kurvene i Figur 2.1 ser en nå tydelig at prognoseverdiene i sterkere grad gjensker de observerte konsentrasjonsnivåene. Når vi her har valgt å vise resultater for målestasjonen Smestad, skyldes dette til en viss grad at dette er en av målestasjonene der vi finner best samsvar mellom observasjon og luftkvalitetsprognose. Likevel bør det understrekes at feilrettingen i modellsystemet også har ført til en tilsvarende effekt, dvs. bedre evne til å gjenskape episoder med høye observerte nivåer, på de øvrige målestasjonene.

Feilen som opprinnelig lå inne i systemet førte til en kraftig underestimering av vindstyrken som ble benyttet for å estimere konsentrasjonsverdiene i nærheten av hovedveinettet. Feilen var delvis maskert ved at det samtidig ble benyttet en relativt høy minimumsverdi (1 m/s) for vindstyrken i linjekildemodellen. Den kombinerte effekten av dette førte til en overestimering av konsentrasjonsverdiene nær hovedveinettet i situasjoner med vindstyrke over 1 m/s, mens modellen så å si nådde en maksimumsgrense når vindstyrken falt under 1 m/s. Dette førte til at prognosene i liten grad fanget opp de observerte konsentrasjonstoppene som typisk forekommer når vindstyrken faller mot null. Etter at feilen ble rettet opp ble minimumshastigheten redusert til 0.25 m/s. Som illustrert i Figur 2.2, ledet dette til at prognosemodellen nå reproduserer de høyere konsentrasjonsnivåene som observeres på gatestasjonene på en mer realistisk måte.



Figur 2.1 Bedre Byluft-prognose for NO₂ for gatestasjonen Smestad ved Ring 3 i Oslo. Tidsseriene viser observerte og beregnede timeverdier av NO₂ for perioden 25. november - 19. desember 2009. Beregningene er gjort med opprettet prognosesystem.



Figur 2.2 Bedre Byluft-prognose for NO₂ for gatestasjonen Smestad ved Ring 3 i Oslo. Tidsseriene viser observerte og beregnede timeverdier av NO₂ for perioden 6. □ 30. april 2010. Beregningene er gjort med opprettet prognosesystem.

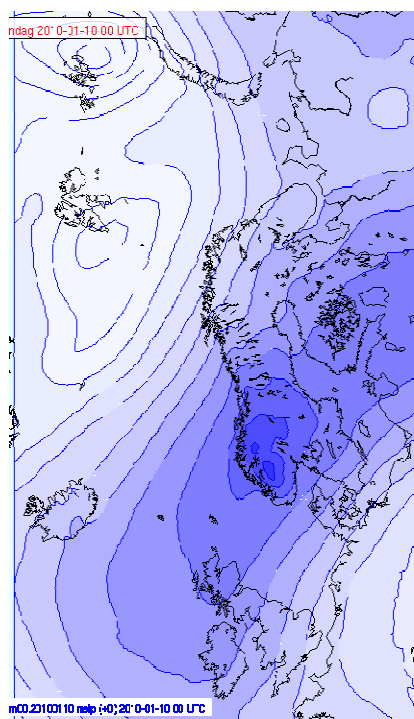
3 FORURENSNINGSEPIDODEN 4.-15. JANUAR I BERGEN OG OSLO

3.1 Meteorologiske forhold

Prosessene som gir høye forurensningskonsentrasjoner på nordlige breddegrader om vinteren følger av kraftig høytrykk med tilhørende svak vind. I slike situasjoner blir de fysiske prosessene som foregår mellom bakken og atmosfæren dominerende for utviklingen.

Forurensningsepisodene i januar i Bergen og Oslo skjedde i en meteorologisk situasjon med alle typiske kjennetegn knyttet til lokalt høy konsentrasjon av forurensning. I det følgende vil vi forsøke å beskrive de meteorologiske prosessene i situasjonen ved hjelp av tilgjengelige meteorologiske observasjoner. Disse må suppleres med modelldata, da antallet målepunkter i Bergen og Oslo er begrenset. Det finnes heller ikke målinger av temperatur og vind i fri atmosfære, såkalte radiosondedata. Likevel gir Universitetet i Bergen sine målinger på taket av Geofysikkbygningen og på Ulriken, Oslo kommunes målinger fra Valle Hovin og temperatursensoren i 10m høyde på Alna og temperaturmålingene på Tryvasshøgda viktige bidrag til beskrivelsen av den vertikale strukturen i atmosfæren.

Et høytrykk preget hele Sør-Norge i første halvdel av januar. Området med det høyeste trykket var i store deler av perioden over Vestlandet. De høyeste verdiene var mellom 9. januar kl 12 UTC og 10. januar kl 6 UTC, da trykket var over 1050 hPa (Figur 3.1). Den 15. januar kommer et lavtrykk inn sør for Island og setter opp en sørlig vind som avbryter inversjonen.



Figur 3.1 Bakketrykk ved havnivå i HIRLAM analyse for 10. januar 2010 00 UTC.

3.1.2 Temperaturinversjonen

Temperaturrendringen i bakkens overflate kan beskrives med en energibalanseligning:

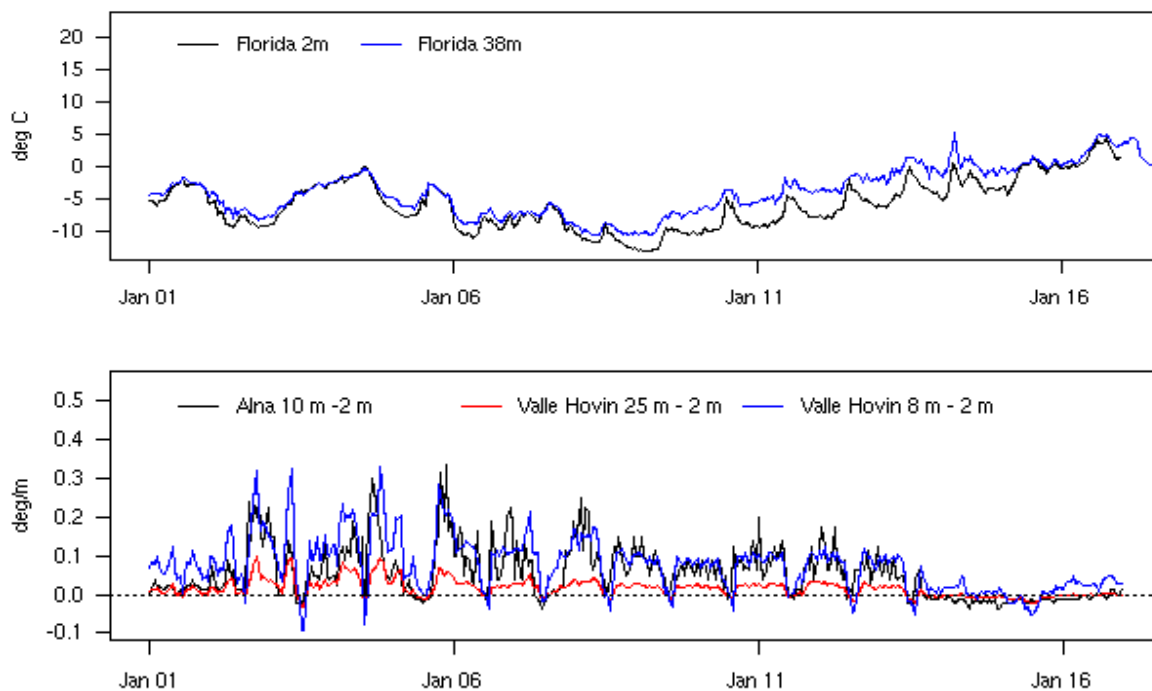
$$C \frac{dT}{dt} = R_N - H - LE - G_0 ,$$

der C er varmekapasiteten til overflaten, R_N er netto strålingsbidrag til overflaten, H og E er fluks av følbare varme og vanndamp mellom bakken og atmosfæren, L er latent varme ved fordampning og G_0 er varmefluksen fra overflaten til dypere jordlag. H og E overføres fra bakken til atmosfæren med den vertikale komponenten av de turbulente virvlene. Når bakken er dekket med snø, kommer det et tilleggsledd for snøsmelting, og L er da latent varme ved sublimasjon.

$$\text{Netto stråling } R_N = SW_{\downarrow} - SW_{\uparrow} + LW_{\downarrow} - LW_{\uparrow}$$

der SW står for kortbølget stråling og LW for langbølget stråling. Kortbølget nedoverrettet stråling er solinnstrålingen, kortbølget oppoverrettet stråling er jordoverflatens refleksjon (albedo). Langbølget oppoverrettet stråling er jordoverflatens varmeutstråling gitt som σT^4 der T er bakkens temperatur i Kelvin grader og σ en konstant. Langbølget nedoverrettet stråling er tilbakestråling fra atmosfæren og skyene.

Turbulente virvler som står for transport av følbare varme og vanndamp til atmosfæren undertrykkes ved svak vind. Varmefluks fra dypere jordlag begrenses av snødekket der det eksisterer, fordi snøen er isolerende. Det viktigste bidraget til temperaturendringen kommer derfor fra strålingen. Innkommende solstråling er på et minimum på den tiden av året, med korte dager og lav solvinkel. Oppoverrettet varmestråling fra jordoverflaten emitteres hele døgnet. Tilbakestråling fra atmosfære er svært liten når det ikke er skyer. I sum vil bakken tape varme på grunn av stråling.



Figur 3.2 Observert temperatur i Bergen (øverst) og i Oslo (nederst) første halvdel av januar 2010. Sammenligning av observasjoner i 2 m over bakken og høyere nivåer.

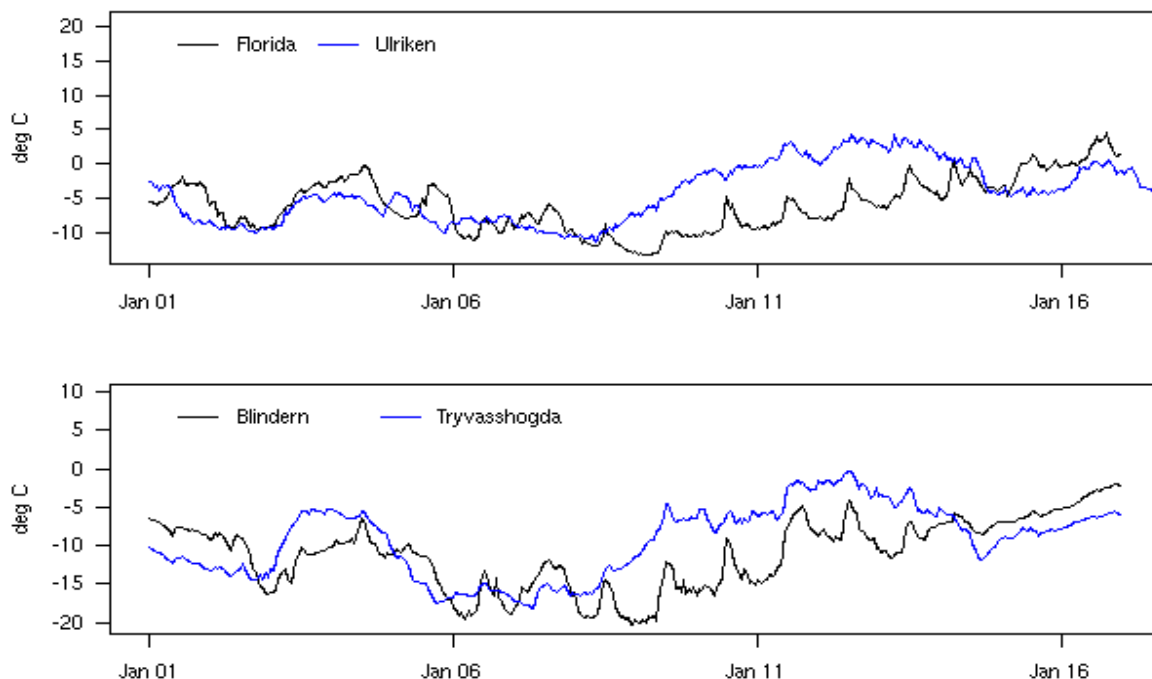
Lufta nærmest bakken avkjøles ved kontakt med bakken. Denne lufta vil være i bevegelse fordi den blir tyngre og dreneres til lavereliggende områder i terrenget. Bevegelsen bidrar til

danning av turbulente virvler som transporterer kald luft til den laveste delen av atmosfæren. I denne prosessen vil den kaldeste og tyngste lufta samles i de lavtliggende områdene i terrenget mens mindre kald luft ligger over den kalde lufta. Dette er en inversjon. I de lavereliggende områdene er luftbevegelsen svært liten og tilført forurensning slipper ikke ut, men akkumuleres. Tilførsel av rein luft fra omkringliggende høyder er liten i forhold til utslippene i store byer som Bergen og Oslo.

Når man sammenligner observert temperatur i 2 m på Florida i Bergen med målinger på taket av Geofysikkbygningen, 38 m over bakken (Figur 3.2 øverst), er avkjølingen av lufta nær bakken tydelig helt fra starten av perioden.

I Oslo ser man fra 4. januar en tilsvarende avkjøling av nederste luftlag på Alna og Valle Hovin (Figur 3.2 nederst). Forskjellen mellom temperaturen i 2 m og høyere opp er størst på natta. Fra Valle Hovin har vi også målinger i et tredje nivå, som viser den største forskjellen i temperaturen mellom 2 m og 8 m. Disse målingene definerer den bakkenære inversjonen til å være mest utviklet i området mellom bakken og 10 meter.

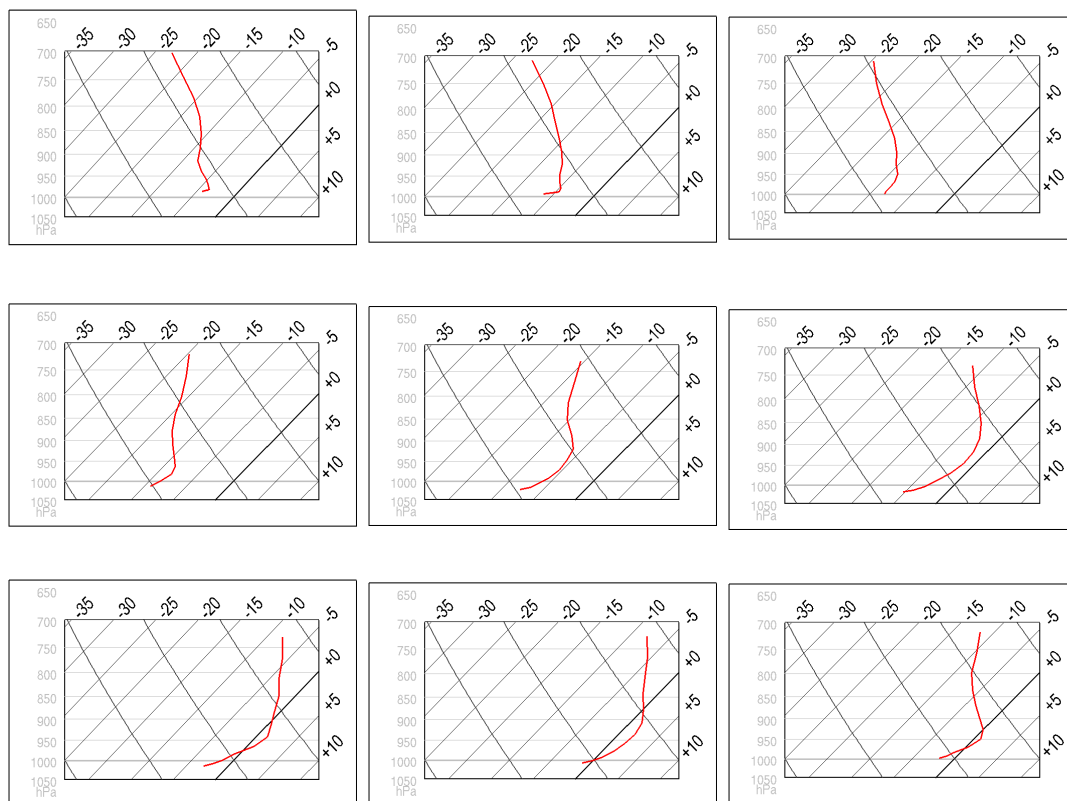
Temperaturmålinger fra Ulriken og Tryvasshøgda er fra 2 m over bakkenivå. Målingene er interessant sammenligning med hhv. Florida og Blindern fordi de ligger så nær hverandre samtidig som den topografiske høydeforskjellen er stor. Prosessen som antas å ha størst betydning her, er kaldluftsdrenasje. Lufta som avkjøles av bakken i disse høydenivåene vil renne til lavere områder i terrenget og erstattes av luft som ikke har vært i kontakt med bakken, enten fra siden eller ovenfra. Som vist i Figur 3.3 temperaturen på Ulriken og Tryvasshøgda opp til 10 grader høyere enn temperaturen ved Florida og Blindern 8. - 15. januar. Temperaturen på disse høyereliggende stedene ser derfor ut til i liten grad å være bestemt av den lokale, vertikale utvekslingen mellom bakke og atmosfære, men heller av forholdene i den fri atmosfæren ved tilsvarende høydenivå.



Figur 3.3 Observert temperatur i Bergen (øverst) og Oslo (nederst), sammenligning av temperatur fra målestasjoner med stor høydeforskjell. Florida ligger på 10 moh, Ulriken på 600 moh, Blindern på 94 moh og Tryvasshøgda på 500 moh.

Vi kan anta at temperaturen i den frie atmosfæren omkring 5-600 m over Bergen og Oslo er minst like høy som målingene ved Ulriken og Tryvasshøgda, siden det på stasjonene måles temperatur i luft som er nærmere til å avgi energi til bakken.

Seriene med vertikale temperaturprofiler for Florida (Figur 3.4) og Blindern (Figur 3.5) fra UM 1 km gjelder fra 5. til 15. januar 14 UTC som tilsvarer kl 16 lokal tid. Den 5. januar er det ved Florida ca en grad temperatursenkning i det nederste modellnivået. Neste dag er temperaturforskjellen økt til 2.5 grader. Videre utover de neste dagene blir et stadig tykkere kaldluftslag bygget opp i Bergen til det den 9. og 10. januar når opp i 925 hPa (7-800 m) der temperaturen igjen begynner å avta med høyden. Den 14. januar (13. januar ikke vist) begynner inversjonen igjen å presses nedover mot bakken.

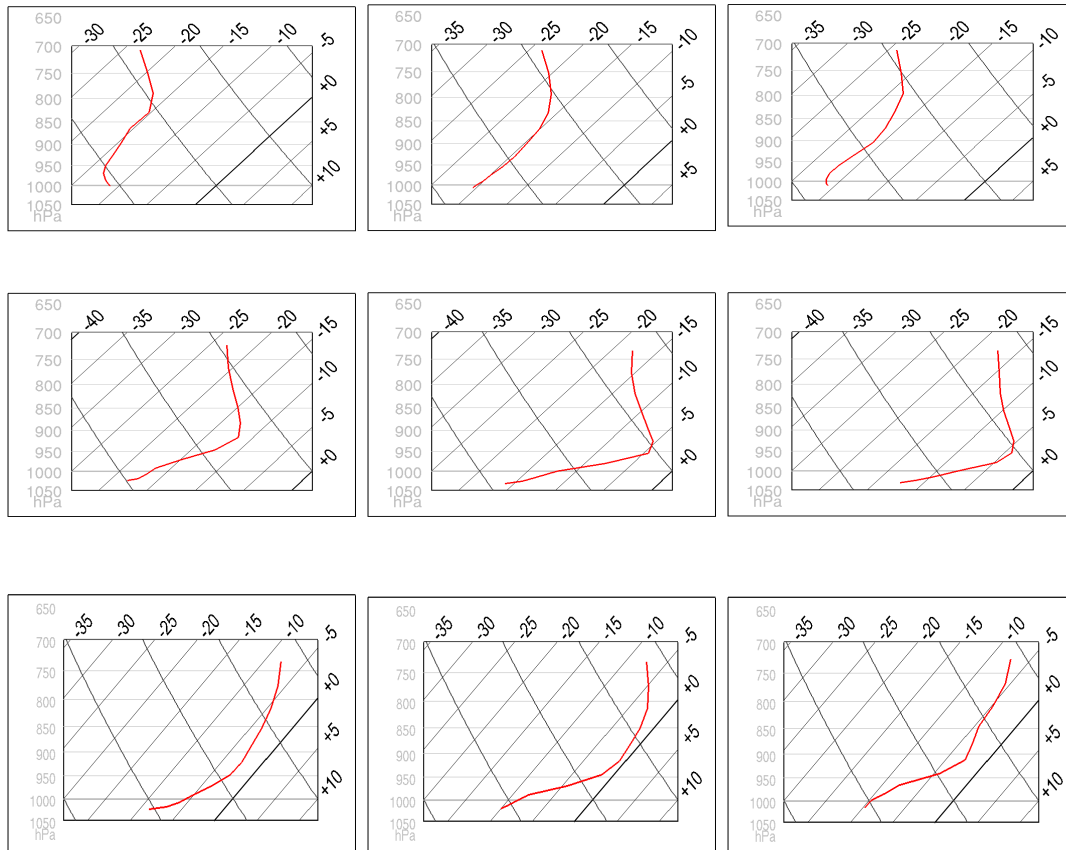


Figur 3.4 Temperaturprofiler fra Bergen i første halvdel av januar: 5.-12.1 og 14.1 sett fra øverst til venstre mot nederst til høyre. Alle profilene er fra kl 14 UTC. Linjer for konstant temperatur heller fra venstre mot høyre, linjer for konstant potensiell temperatur heller fra høyre mot venstre og horisontale linjer viser trykknivået.

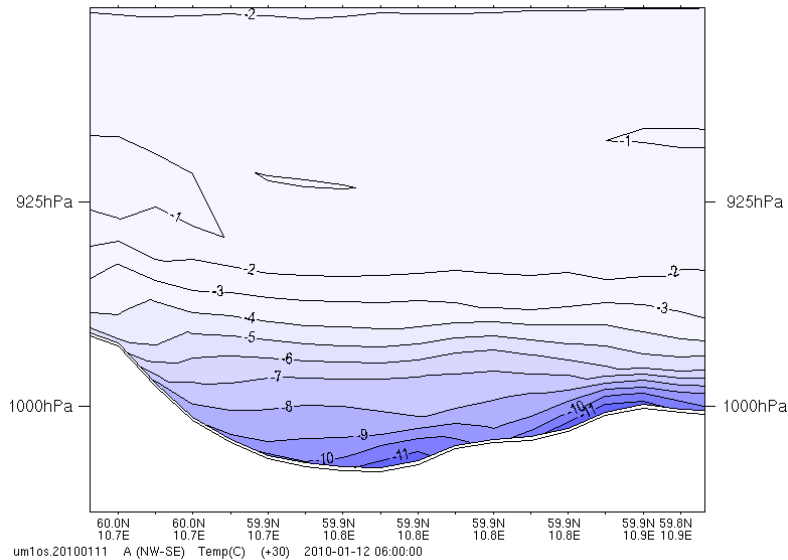
I Oslo er utviklingen av inversjonen i de laveste nivåene kraftigst i perioden 8. - 10. januar. Temperaturøkningen mellom 1030 hPa og 950 hPa er på over 20 grader. Inversjonslokket er markert og ligger på 950 hPa gjennom disse dagene. Rett under 950 hPa, som tilsvarer ca 500 m viser profilene en temperatur på -4 grader. Dette er innenfor en grads avvik fra temperaturen som observeres på Tryvasshøgda i 2 m til samme tid.

Imidlertid har vi ikke målinger til å identifisere inversjonslokket, altså nivået der temperaturen begynner å avta oppover. I Figur 3.6 presenteres et vertikalsnitt av temperaturen fra UM 1 km over Oslo den 11. januar. Figuren viser hvordan Oslo-"gryta" fylles med kald luft ved tilsig fra høyereliggende terreng. Den kalde lufta ligger inntil bakken oppover i terrenget, mens den delen av atmosfæren som er mer upåvirket av bakken ikke er like kald. Prosessen beskrives

eksplisitt i modellens gitter ved hjelp av adveksjonsligningen. Det innebærer at hele det nederste laget må avkjøles før dreneringen kommer i gang. I virkeligheten starter nok lufta å sige i terrenget med det samme et tynt sjikt nær bakken har blitt avkjølt.



Figur 3.5 Temperaturprofiler fra Oslo i første halvdel av januar: 5.-13.1 sett fra øverst til venstre mot nederst til høyre. Alle profilene er fra kl 14 UTC. Linjer for konstant temperatur heller fra venstre mot høyre, linjer for konstant potensiell temperatur heller fra høyre mot venstre og horisontale linjer viser trykknivået.



Figur 3.6 Vertikalsnitt av temperatur over Oslo. Tryvasshøgda til venstre, og Østmarka til høyre.

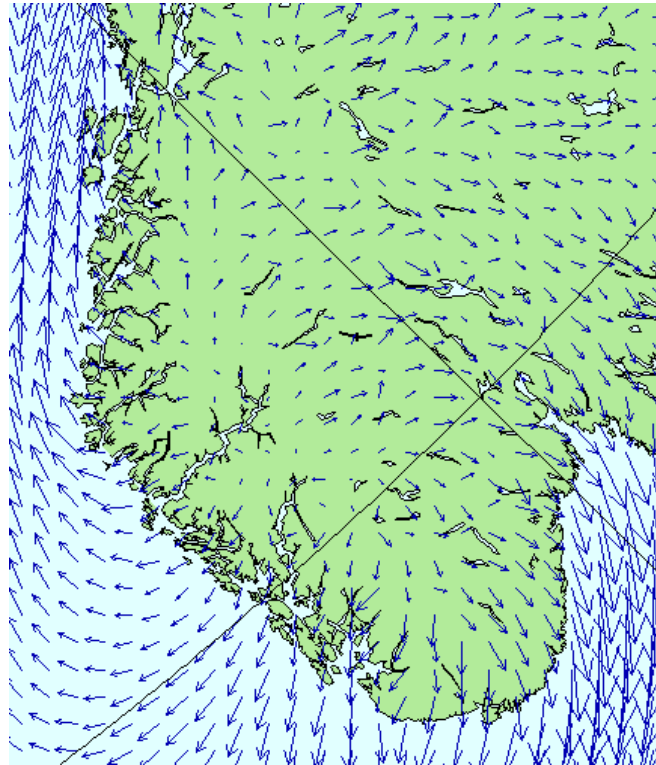
Målinger og modellsimuleringer bygger opp under en forklaring av at den dype inversjonen utvikles over flere dager og som resultat av prosesser både horisontalt og vertikalt, ved at negativ energibalanse ved bakken avkjøler luft over et areal som dreneres mot de laveste områdene i terrenget. På denne måten bidrar topografien til oppbygging av den dype inversjonen, men stabiliseringen av høytrykket spiller også en viktig rolle.

3.1.3 Vind

I høytrykk er det ofte svake vinder og svakt nedsynkende luft. Senteret av høytrykket lå mye av perioden over Vestlandet. I Bergen var også målte vindhastigheter svært lave. Tilgjengelige målinger gir ikke grunnlag for å beskrive variasjon i vinden innenfor byområdet i Bergen, siden vi bare har måling fra en lokalitet.

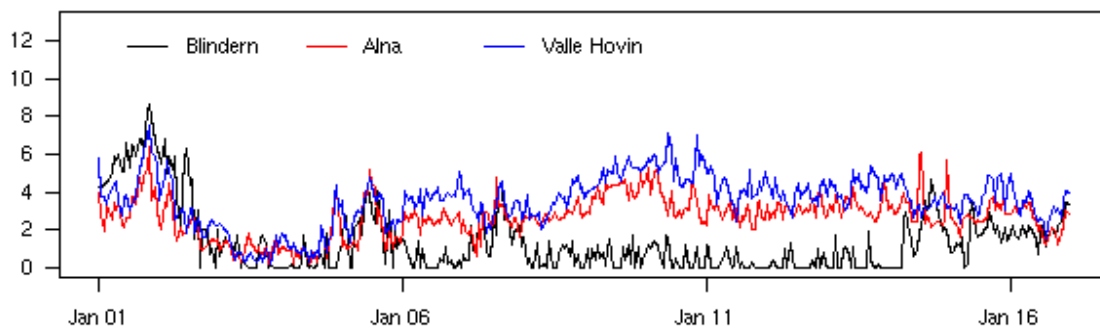
Østlandet, som lå litt øst for sentrum av høytrykket, hadde gjennom perioden en storskala svak nordlig vind (Figur 3.7). Denne hindret forurensningsepisoder i Drammen, som er godt drenert i nord / sør-retningen. I Oslo gir høyt terreng i nord en le-effekt i områder av byen, og en kanalisering gjennom Groruddalen.

Vindmålinger viser sterkere vind og en østlig dreining gjennom Groruddalen (Alna og Valle Hovin), mens vinden på Blindern er svakere og nordlig (Figur 3.8). Forurensningsmålingene bekrefter en le-effekt i mye av Oslo vest og sentrum. Her er den største konsentrasjonen av NO₂ fra 5. til 13. januar, og spesielt måles det høye konsentrasjoner på Hjortneskaia, ved E18 Frognerkilen.

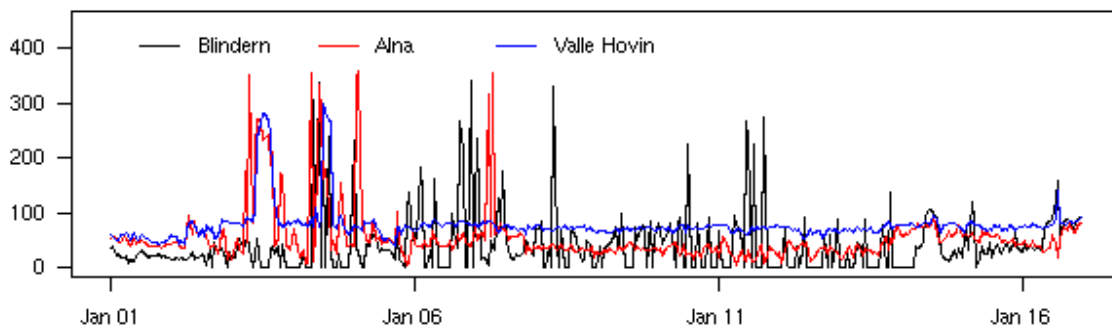


Figur 3.7 Storskala vindfelt over Sør-Norge fra HIRLAM analyse 10. januar 2010 00 UTC.

FF 10m



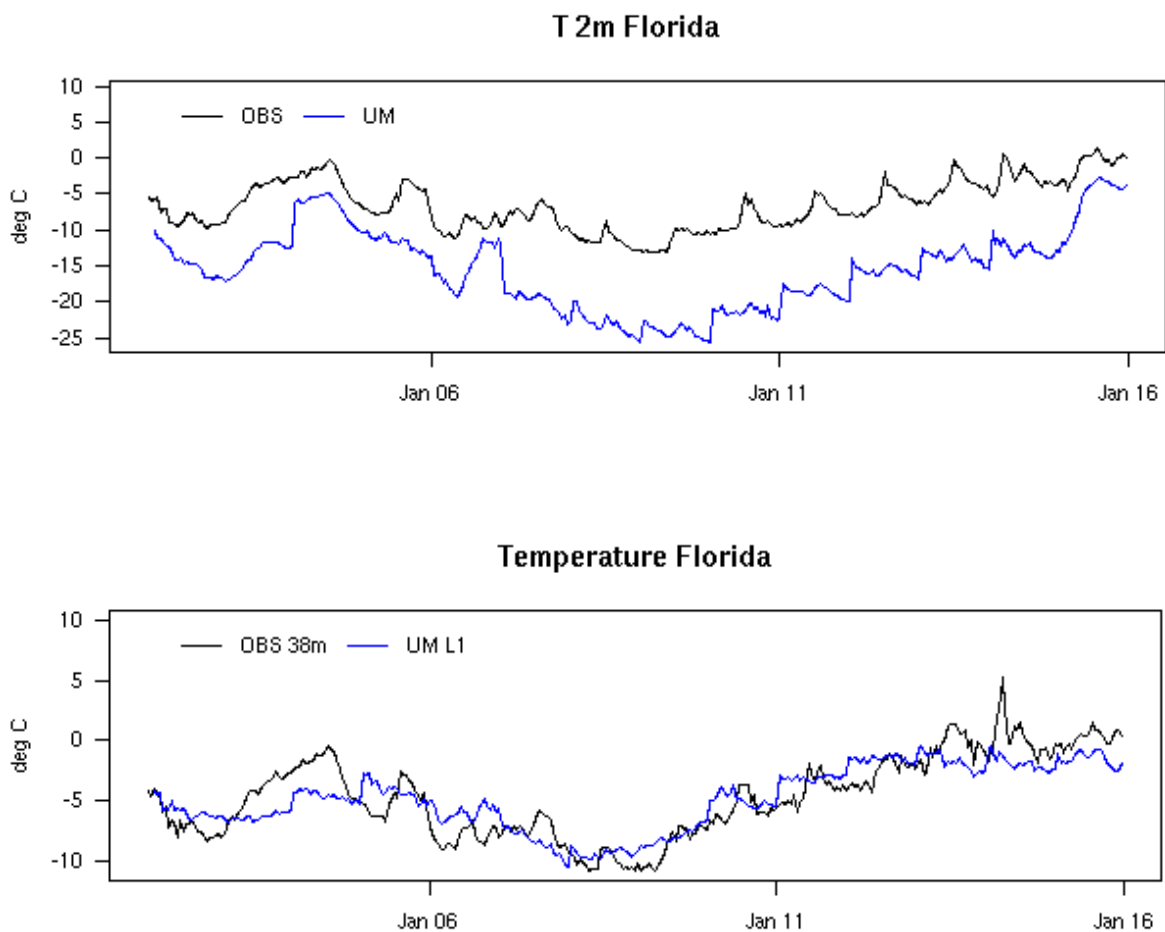
DD 10m



Figur 3.8 Observert vindhastighet (øverst) og vindretning (nederst) i Oslo første halvdel av januar.

3.1.4 UM 1 km og målinger

Meteorologiske målinger fra Bergen og Oslo viser en svært bakkenær inversjon, sannsynlig lavere enn 10 m, og oppbygging av et kaldluftsbasseng opp mot 500 m høyde i byene. De viser også svak vind i Bergen og lokal variasjon i vinden i Oslo-området. Med UM 1 km simuleres temperatur på bakken, i 2 m og i 38 modellag i atmosfæren, der de nederste høydene (som inngår i AirQUIS-beregningene) er 20, 80, 180, 320, 500, 720, 980, 1280, 1620 og 2000 m over bakken. Vindberegningene gjøres for nivåene 10, 50, 130, 150, 410, 610, 850, 1130, 1450 og 1810 m over bakken. Verdier må betraktes som gjennomsnittsverdier for et lag der denne høyden ligger midt i laget, slik at vind i 50 m representerer vinden mellom 20 og 80 m, og temperatur i 20 m representerer temperaturen fra 10 til 50 m.



Figur 3.9 Observert og beregnet temperatur for Bergen i første halvdel av januar. Øverst vises temperatur i 2 m høyde, nederst temperatur i nivå for taket på Geofysikkbygningen.

Sammenligning av temperatur 2 m observert og modell, viser for Bergen at UM har altfor lav temperatur i 2 m nivå. Den døgnlige variasjonen i temperaturen har forskjøvet maksimum med 12 timer. Det skyldes at modellen starter på nye data fra UM 4 km ved midnatt, og i denne modellen er bakketemperatur i Bergen høyere. Temperaturen faller fra prognosens start til slutt i UM 1 km, med en svak økning, mindre enn observert, midt på dagen. Derfor får vi et tilsynelatende maksimum ved midnatt når tidsserien tar inn data fra neste prognose.

Temperaturen i nivå 1 over bakken (10-50 m) samsvarer imidlertid godt med målingene i 38 m over bakken (Figur 3.9).

Tilsvarende resultater gir UM 1 km i Oslo-området (figurer ikke vist). Det er stor negativ bias i UM i 2 m høyde, mens modellen samsvarer bedre med målinger i høyere nivåer. Negativ bias i temperatur i 2 m høyde i forbindelse med høytrykk og kuldeperioder vinterstid er også en generell svakhet som vi har sett i all rutineverifikasjon av UM, f.eks Ødegaard mfl (2009).

I modellens beregninger for temperatur i 2 m inngår temperaturen i nederste modellag og temperaturen i bakkens overflate (0 m). Den siste endrer seg, som beskrevet i energibalanseligningen, som respons på tilført energi fra sola og tilført og avgitt varme til atmosfæren og til dypere jordlag.

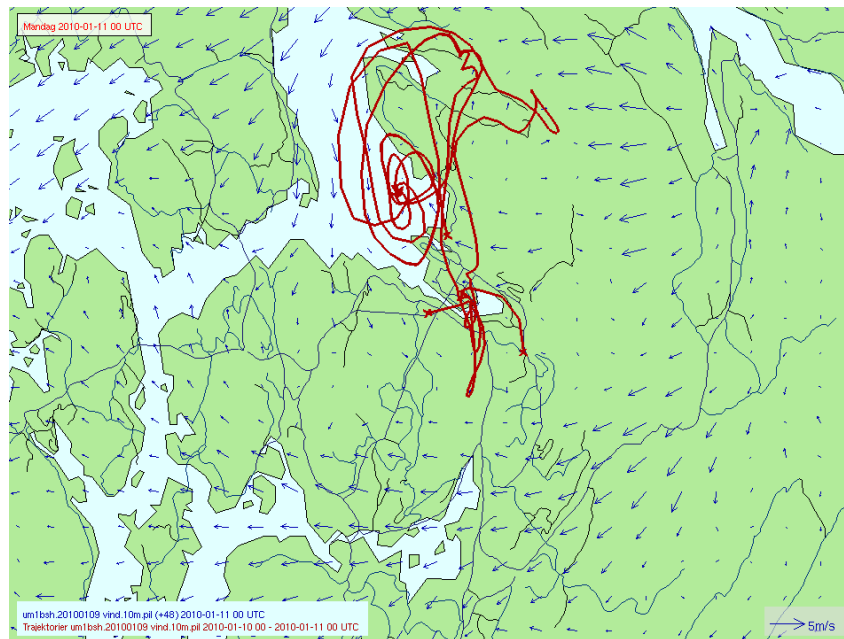
Leddene R_N og G_0 i energibalanseligningen avhenger av bakkens og jordas fysiske egenskaper, f.eks albedo, konduktivitet, varmekapasitet og lagret is- eller vannmengde. Nøyaktige data for dette er ikke tilgjengelig, derfor må det gjøres antakelser. Leddene H og LE avhenger av turbulensens intensitet og utstrekning av de turbulente virvlene. I situasjoner med stor negativ energibalanse for bakken, vet vi ikke hvordan energitapet skal balanseres mellom varmetap fra jorda og avkjøling av atmosfæren (Derbyshire, 1998). Gjeldende turbulensteori, som også ligger til grunn for modellene, gir ikke svar på hvor effektivt energien fra atmosfæren kan erstatte energitapet i overflaten. Energitransport fra dype jordlag til overflaten er også vanskelig å estimere, bl.a fordi jordtyper, is- og vanninnhold varierer både horisontalt og vertikalt. I tillegg spiller friksjonen en viktig rolle, noe som igjen stiller krav til detaljerte data som beskriver tetthet og høyde av vegetasjon og bygningsmasse. Sist men ikke minst, er bakketemperatur en størrelse som bare observeres indirekte via temperaturen i 2 m høyde, og denne inngår i beregning av utgående langbølget stråling i tillegg til at den er starttilstanden i energibalanseligningen.

Disse begrensningene gjør beregning av 2 m temperatur usikker, og forteller at feilen i beregning av 2 m temperatur ikke en god indikator på kvaliteten av modellens temperaturberegninger. Til tross for den store negative biasen i 2m temperatur, tyder en vesentlig mindre feil i verifikasjon mot målinger i høyere nivåer på at den totale energifluksen fra modellens nederste nivå er riktigere. Men feilkildene også gjør seg gjeldende i temperaturberegningene for 20 m og høyere. Vi ser f.eks en negativ bias i temperaturprognosene for Valle Hovin i både 8 og 25 m, men mindre enn i 2 m. Temperaturobservasjoner i flere nivåer er verdifulle som bidrag til å forstå bakkenære prosesser i atmosfæren. I denne situasjonen har vi definert en bakkenær inversjon med en dybde på mindre enn 8 - 10 m. Det bør derfor legges ressurser i å gjøre slike målinger tilgjengelige.

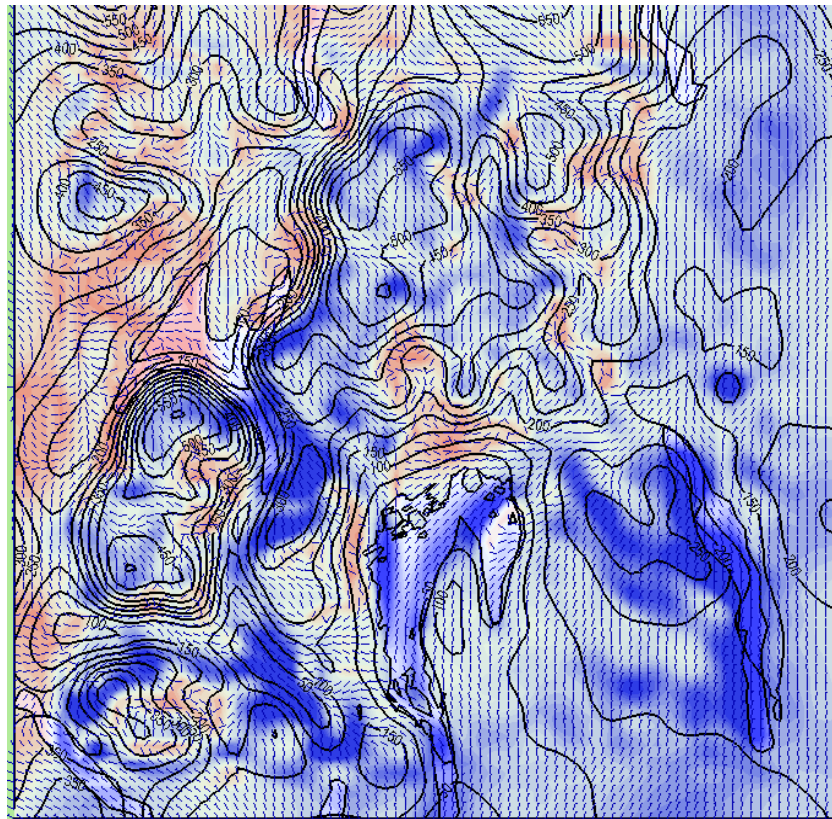
Vindprognosene fra UM 1 km for Bergen viser god overensstemmelse med målingene på den ene målestasjonen som finnes i byen (ikke vist). Beregning av trajektorier i 10 m høyde med vinddata fra modellen hver time viser resirkulering av luften innenfor et lite område. Figur 3.10 viser trajektorier for 10. januar 00 UTC til 11. januar 00 UTC, prognoselengde 24 til 48 timer. Resultatet er representativt for hele perioden 4. - 15. januar.

Vindprognoser fra UM 1 km varierer på liten skala innenfor Oslo-området. Den lokale ruheten for momentum i modellen er gitt fra overflatetypen. Den settes til $h/20$ for trær med høyde h , og $h/10$ for busker og gress med høyde h . Typisk h for trær er 20 m, busker er 2 m og gress er 0.5 m. For urbane områder er ruheten for momentum 1.5 m. Blindern og Valle Hovin har begge 100 % urban overflate. Alna ligger i en gitterrute der modellen har ca 75 % urban overflate og 25 % barskog. Dermed er den lokale ruheten ved Blindern og Valle Hovin på 1.5 m mens den er ca 1.375m på Alna. Denne ser derfor ikke ut til å kunne forklare hvorfor modellen har mer vind på Alna og Valle Hovin enn på Blindern, og justering av denne kan

heller ikke bidra til å redusere vinden på Blindern tilstrekkelig, og samtidig øke vinden på Alna og Valle Hovin.



Figur 3.10 Trajektorieberegning med UM 1 km (prognose for dag 2) for Bergen 11. januar.



Figur 3.11 Vindberegning med UM 1 km (prognose for dag 2) for Oslo-området for 11. januar, da høyeste konsentrasjon av NO_2 ble observert i Oslo. Røde områder har vindhastighet mindre enn 2 m/s.

Når man ser på horisontale plott av vinden i Oslo-området, ser vi at topografien bidrar mye til fordelingen av høye og lave hastigheter i modellen. Vindhastigheten er høyest oppstrøms og over toppene, og ut fjorden (Figur 3.11). Den laveste hastigheten finner vi nedstrøms for de høyeste områdene. Der vindretningen tillater kanalisering av strømmen i dalene finner vi også høye hastigheter (f.eks Sylling, Lier; Drammensfjorden).

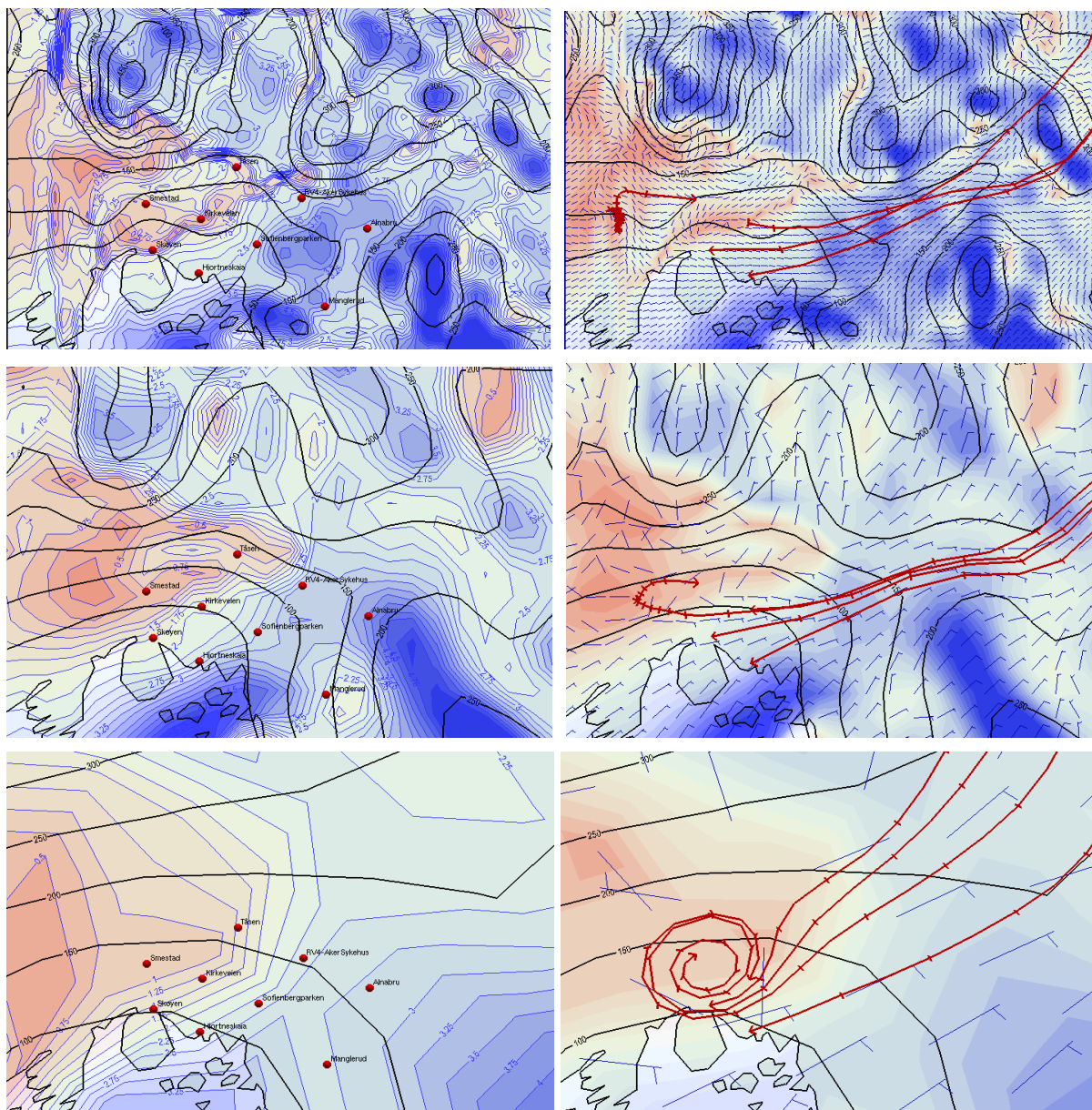
Vindobservasjoner fra Alna, Blindern og Valle Hovin er sammenlignet med UM i 4 km, 1 km og 0.33 km oppløsning (figurer ikke vist). På prognosene for disse stedene er det ikke mulig å se forbedring med hensyn til lokale effekter av å øke oppløsningen i modellen. For Oslo-området som helhet ser vi at de lokale effektene på vindhastigheten endrer seg mye med økt oppløsning. Maksimum vindhastighet øker over toppene, og områdene med de aller laveste hastighetene (< 0.25 m/s) er større når oppløsningen øker.

Mulighetene for å beregne høye forurensningskonsentrasjoner med AirQUIS forutsetter at vi har en meteorologisk prognose som resirkulerer lufta innenfor områdene der utslippene er store. I denne situasjonen ble de høyeste konsentrasjonene av NO_2 målt vest i Oslo. Trajektorieberegninger som viser historien til lufta på fire steder der det er målestasjoner for forurensning (Smestad, Kirkeveien, Skøyen og Hjortnes) er også utført med UM i 4 km, 1 km og 0.33 km. I alle modellberegningene kommer luftpartiklene fra områder utenfor byen og har bare oppholdt seg i byen noen få timer, maksimalt 14. Unntaket er Smestad stasjon og UM 0.33 km. Her har vi en partikkelbane innenfor et begrenset område i hele det siste døgnet før de høyeste konsentrasjonene ble målt (Figur 3.12).

Områdene med liten hastighet har bare noen få kilometer i utstrekning. Data fra UM til AirQUIS overføres med 1 times tidsoppløsning, og i løpet av en time vil vind med hastighet 1 m/s vil flytte en partikkel 3.6 km. For at AirQUIS skal kunne modellere luftkvalitet korrekt når lufta resirkulerer, må områdene med lav vindhastighet i UM være så store at partiklene ikke transporteres ut i områder med høyere hastighet og derfra videre ut av modellområdet. Gitteroppløsningen må være høy nok til at partiklene kan skifte retning innenfor området med lav hastighet. I modellen med 4 km oppløsning ser vi stort sett bare noen få gitterpunkter i Oslo-området med hastighet så lav som 0.5 m/s. Med 1 km oppløsning blir ikke områdene med lite vind større, men minimumshastigheten kommer ned i 0.2 m/s en del steder. Når oppløsningen økes til 0.33 km blir minste vindhastighet 0.1 m/s og det blir sterkere gradienter og flere detaljer i vindfeltet, og dermed større muligheter for resirkulering av luft i modellen.

I UM gjøres det beregninger for hvert 40. sekund. En direkte kobling der spredningsmodellen kan få data for hvert tidsskritt, vil derfor øke mulighetene for at spredningsmodellen "ser" variasjoner i vindretningen og kan ta opp i seg resirkuleringen.

Lokal ruhet som bl.a avhenger av bygningstetthet kan bidra til å redusere vindhastigheten i byområdet, men også retningen på store ferdssårer vil spille en rolle. Bygningstetthet varierer mye fra indre by til ytre områder av Oslo, og dette gjenspeiles ikke i UM-modellen, som opererer med én ruhetsverdi for urbane gitterpunkt (Best 2005).



Figur 3.12 Vindprognoser og trajektorier fra UM 0.33 km (øverst), UM 1 km (midten) og UM 4 km (nederst).

3.2 Rekjøring av forurensningsepisodene i Oslo og Bergen i januar 2010

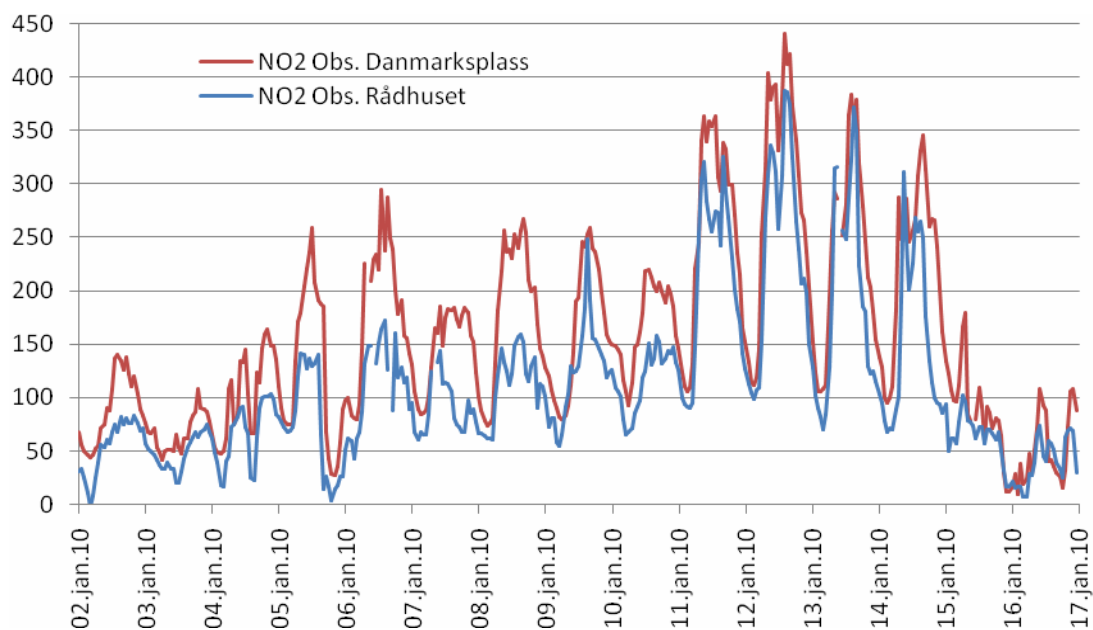
De meteorologiske forholdene beskrevet ovenfor, førte til ekstremt dårlig luftkvalitet i Bergen og Oslo i lange perioder i første halvdel av januar. Problemene knyttet seg i hovedsak til svært høye NO_2 -nivåer, men også konsentrasjonene av finfraksjonspartikler ($\text{PM}_{2,5}$), var svært høye. Disse ekstremnivåene ble i liten grad fanget opp i luftkvalitetsprognosene, noe som til en viss grad skyldes de tidligere beskrevne feilene i modellsystemet. For å belyse dette nærmere har vi valgt å rekjøre perioden f.o.m. 2. januar t.o.m. 16. januar 2010 for både Bergen og Oslo, med det oppdaterte modellsystemet. I tillegg til å dokumentere forbedringene av luftkvalitetsprognosene har resultatene fra disse rekjøringene også gitt verdifull informasjon om ytterligere modellmessige utviklingsmuligheter.

3.2.2 Analyse av luftkvaliteten i Bergen i perioden 2. – 16. januar 2010

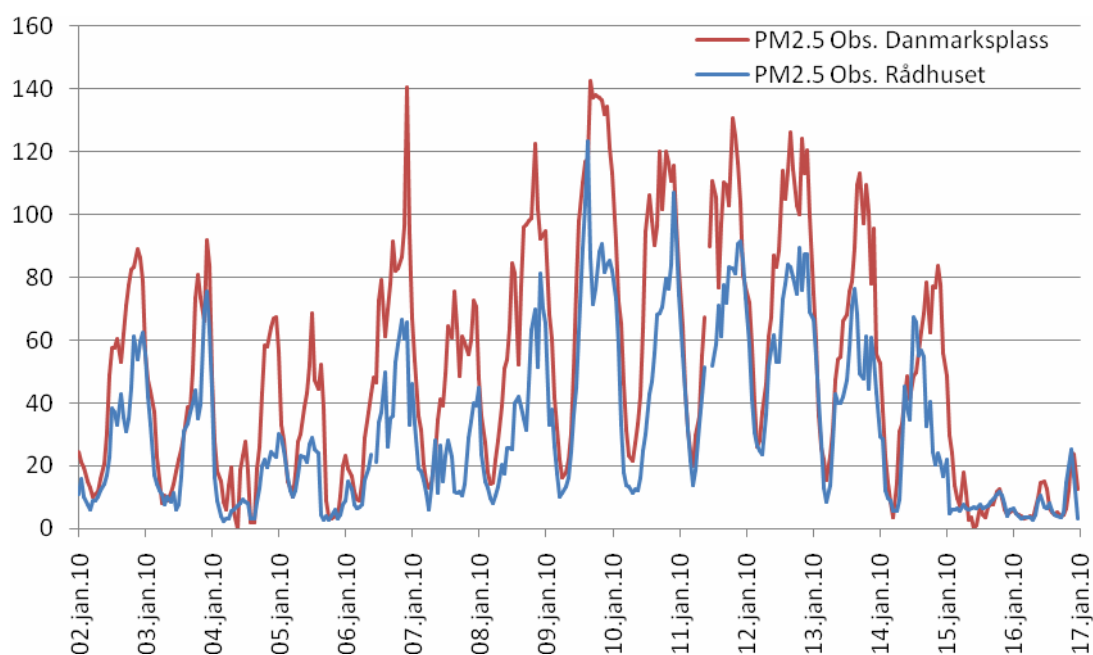
Figur 3.3 viser observerte timekonsentrasjoner av NO₂ målt på gatestasjonen Danmarks plass og på bybakgrunnsstasjonen Rådhuset, mens de tilsvarende måleverdiene for PM_{2,5} er vist i Figur 3.4. Som det framgår av tidsseriene i Figur 3.3 observeres ekstremt høye NO₂ nivåer på begge stasjoner i første halvdel av januar. I ti-døgnperioden fra den 5. til den 15. januar måles hele 108 timer med NO₂-verdier over forurensningsforskriftens grenseverdi på 200 µg/m³ ved Danmarks plass. I samme periode måles 47 overskridelser av denne grenseverdien ved bybakgrunnsstasjonen Rådhuset, og majoriteten av overskridelsene ved Rådhuset inntreffer i løpet de siste fire døgnene av forurensningsperioden. I dette tidsrommet er det dessuten svært liten forskjell på måleverdiene ved de to stasjonene, noe som klart indikerer at store deler av sentrumsområdet i Bergen var eksponert for ekstremverdiene i denne 4-døgnperioden. Også PM_{2,5} nivåene vist i Figur 3.4 er svært høye. Eksempelvis leder verdiene ved Danmarks plass til hele 7 døgnverdier av PM_{2,5} over 50 µg/m³ i perioden mellom den 6. og den 14. januar.

Måleverdiene i Figur 3.13 demonstrerer også tydelig at luftmassene i sentrumsområdet ikke luftes ut i løpet av natten i denne perioden. Dette sees ved at minimumsnivåene for NO₂ holder seg over 50 µg/m³ i hele perioden fra den 6. til den 15. januar og i flere netter endog kommer over 100 µg/m³ på Danmarks plass. Dette indikerer at luften ikke skiftes ut i løpet av natten, men isteden stagnerer eller sirkulerer inne i byområdet. Til en viss grad observeres også relativt høye nattverdier av PM_{2,5} (Figur 3.14), men effekten er mindre markert enn for NO₂. Denne forskjellen skyldes trolig at stagnasjonen i luftmassene er sterkest nærmest bakken, og at hovedkildene til NO₂ (dvs. veitrafikk) og PM_{2,5} (vedfyring) emitterer i ulike høyder.

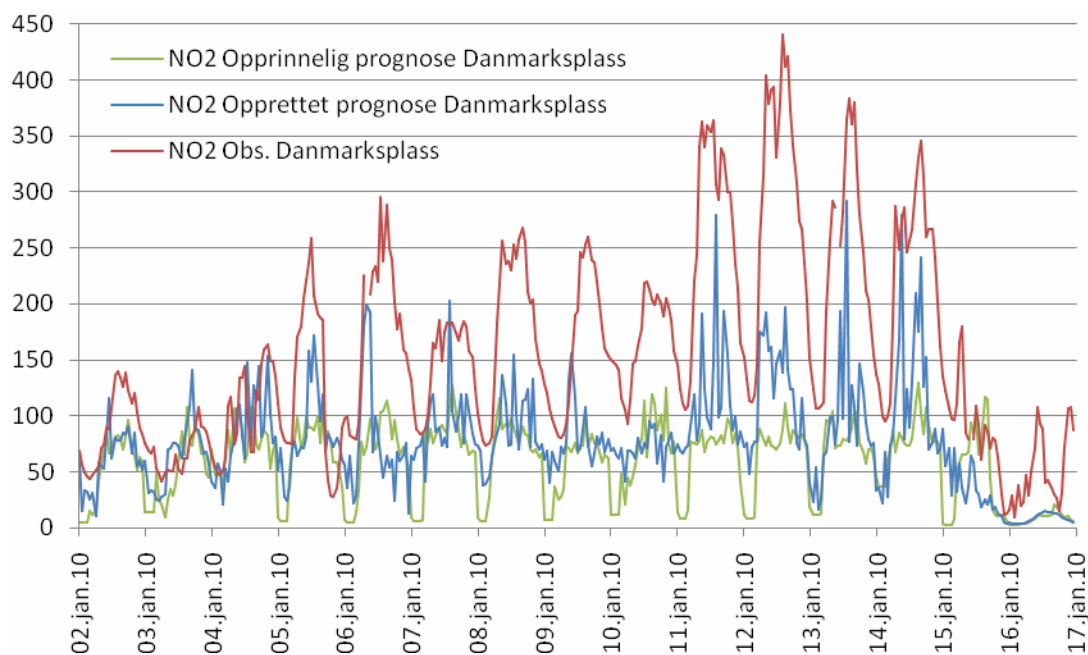
I Figur 3.15 vises de beregnede prognoseverdiene sammen med observasjonene av NO₂ for Danmarks plass for perioden 2. - 17. januar 2010. I denne figuren vises både beregningsverdiene fra det opprinnelige Bedre Byluft systemet og fra rekjøringen med den opprettede versjonen. Selv om resultatet fra den opprettede versjonen viser en klar forbedring sammenliknet med de opprinnelige prognoseverdiene, klarer systemet ikke å gjenskape observasjonsnivåene i denne forurensningsperioden. I hovedsak skyldes dette at systemet ikke klarer å beskrive de høye bybakgrunnsnivåene. Dette kommer tydelig fram når vi betrakter resultatene fra Rådhuset som er vist i Figur 3.16. Denne figuren demonstrerer at prognosesystemet har problemer både med å varsle de ekstreme maksimumsverdiene på dagtid, og å gjenskape de relativt høye minimumsnivåene som observeres om natten.



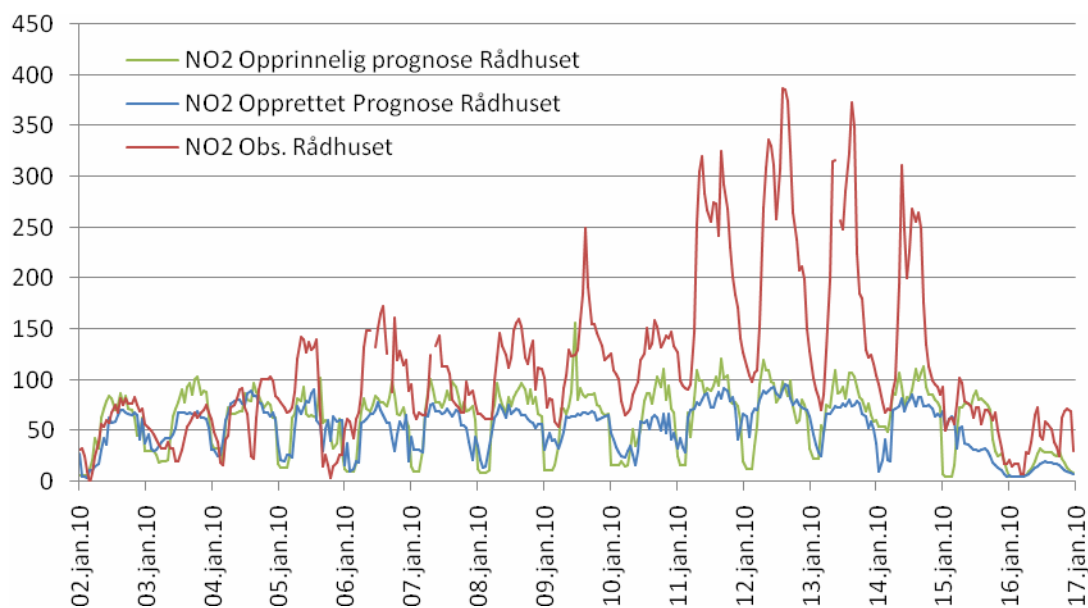
Figur 3.13 Observerte konsentrasjonsverdier av NO₂ (µg/m³) på gatestasjonen Danmarks plass og bybakgrunnsstasjonen Rådhuset i Bergen. Tidsseriene viser de observerte timemiddelverdiene i perioden 2. - 17. januar 2010.



Figur 3.14 Observerte konsentrasjonsverdier av PM_{2,5} (µg/m³) på gatestasjonen Danmarks plass og bybakgrunnsstasjonen Rådhuset i Bergen. Tidsseriene viser de observerte timemiddelverdiene i perioden 2. - 17. januar 2010.



Figur 3.15 Bedre Byluft prognoser (opprinnelig og opprettet) for NO₂ for gatestasjonen Danmarks plass ved E16 i Bergen.

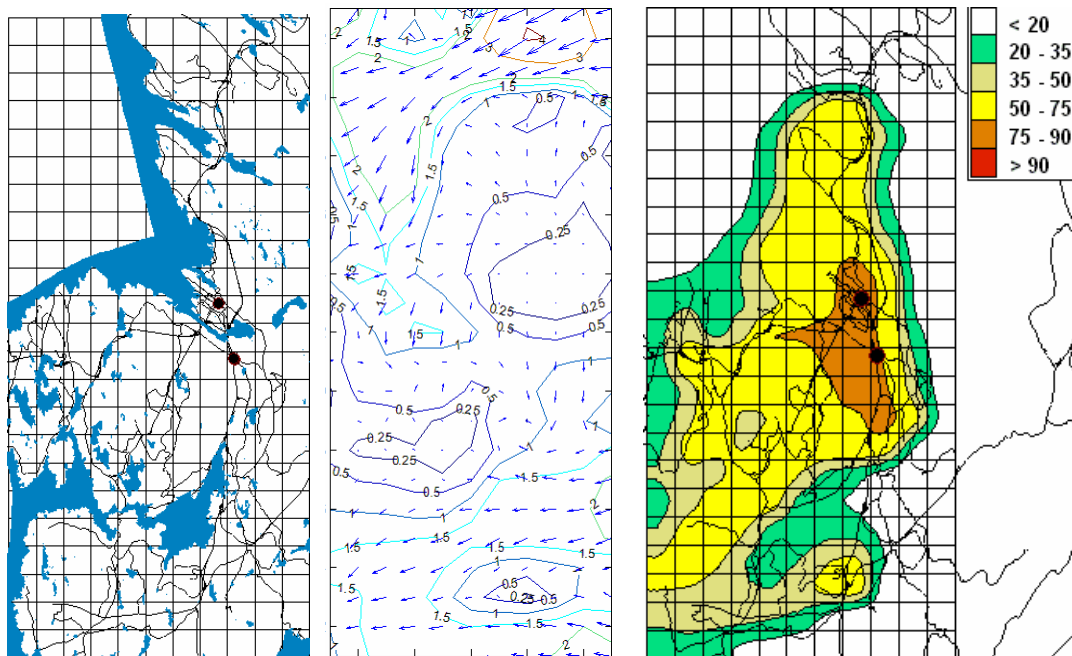


Figur 3.16 Bedre Byluft prognoser (opprinnelig og opprettet) for NO₂ for bybakgrunnsstasjonen Rådhuset i Bergen.

Et eksempel på beregnet vindfelt med tilhørende konsentrasjonsfordeling av NO₂ er vist i Figur 3.17. Denne figuren viser forholdene kl. 14 den 12. januar 2010, dvs. for tidspunktet da de høyeste NO₂ nivåene observeres i Bergen. Vindfeltet viser klart at UM-modellen fanger opp stagnasjonsforholdene over sentrumsområdet, med vindhastigheter under 1 m/s over store områder og med hastigheter under 0.25 m/s i sentrumsområdet. Konsentrasjonsfordelingen demonstrerer også at de høyeste NO₂-nivåene estimeres i dette svakvindsområdet, men

nivåene er for lave sammenliknet med de målte verdiene. Til en viss grad skyldes dette antakelig en kombinasjon av at modellområdet er for lite (nåværende utstrekning: 11 km i øst/vest og 23 km i nord/sør), og at vi foreløpig bare benytter relativt lave klimatologiske konsentrasjonsverdier på modellområdets render. Med et større modellområde ville vindfeltet i større grad ha mulighet til å gjenskape eventuell resirkulering av forurensningene, og de klimatologiske randbetingelsene fører trolig til at luften som transporteres inn i modellområdet er for ren i denne forurensningsperioden.

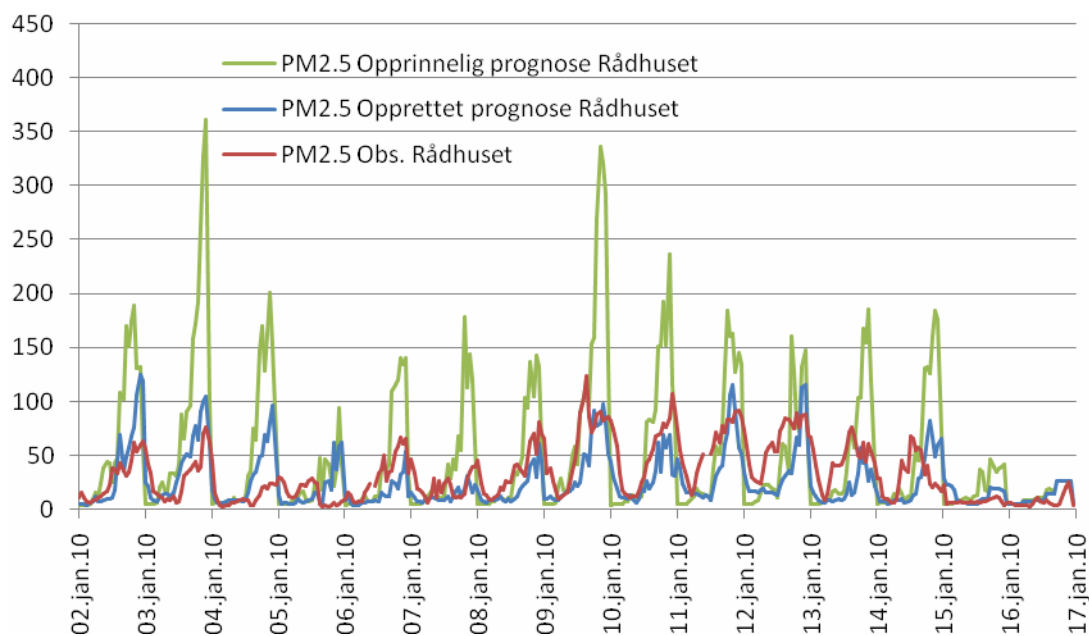
I tillegg til svakhetene knyttet til modellområdets størrelse og behandlingen av randverdiene er det også en iboende svakhet ved startbetingelsene (d.v.s. initialbetingelsene) i dagens prognosesystem. Prognosene startes hver morgen med de klimatologiske bakgrunnsnivåene i hele modellområdet, og under sterke vedvarende forurensningsperioder, som i den betraktede januaerepisoden i Bergen, der de forurensede luftmassene ikke luftes ut i løpet av natten, bidrar oppstarten med bakgrunnsnivåene til en systematisk underestimering. Denne effekten vil til en viss grad kunne kompenseres ved å benytte 24 timers prognosen fra den foregående dagens varsel, som oppstartsfelt.



Figur 3.17 Beregnet bakkenært vindfelt (m/s) i midten, og konsentrasjonsfelt for NO₂ (µg/m³) til høyre, for Bergen. Figuren til venstre viser modellområdet (med kystlinje og veinett) som er benyttet for luftkvalitetsberegningene. Posisjonene av målepunktene Rådhuset og Danmarks plass er vist med sorte punkter i denne figuren. Vind- og konsentrasjonsfeltet viser forholdene kl. 14:00 den 12. januar 2010.

I forbindelse med opprettingen av varslingsystemet ble også vedfyringsutslippene redusert med 40 %. Dette ble bl.a. gjort på bakgrunn av analysen av fjorårets luftkvalitetsprognoser for Bergen, der det gjennomgående ble beregnet alt for høye timekonsentrasjoner av PM_{2,5} på ettermiddag og kveldstid. I Figur 3.18 presenteres de beregnede prognoseverdiene (både for opprinnelig og opprettet system) sammen med observasjonene av PM_{2,5} for Rådhuset for perioden 2. □ 17. januar 2010. Effekten av det reduserte vedfyringsutslippet illustreres klart i denne figuren og den opprettede prognosen viser et betydelig bedre samsvar med de

observerte timeverdiene. Resultatet vist i Figur 3.18 kan også tyde på at UM-prognosen gir en bedre beskrivelse av sirkulasjonsmønsteret og spredningsforholdene i luftmassen over hustakene (dvs. i utslippsområdet for vedfyringspartiklene) enn nede i gateplanet. Dette er også å forvente siden detaljsirkulasjonen mellom bygningene ikke beskrives i UM-modellen.



Figur 3.18 Bedre Byluft prognoser (opprinnelig og opprettet) for PM_{2,5} for målestasjonen bybakgrunnsstasjonen Rådhuset i Bergen.

3.2.3 Analyse av luftkvaliteten i Oslo i perioden 2. - 16. januar 2010

Figur 3.9 viser observerte timekonsentrasjoner av NO₂ målt på gatestasjonene Hjortnes (ved E18), Smestad (ved Ring 3) og Alnabru (ved gamle Trondheimsvei) i tidsrommet 2. - 16. Januar 2010. De tilsvarende måleverdiene for PM_{2,5} er vist i Figur 3.10. Som vist i disse figurene ble det også i Oslo målt svært høye forurensningsnivåer i denne perioden. Måleverdiene i Oslo viste imidlertid store forskjeller i luftkvaliteten i ulike deler av byen.

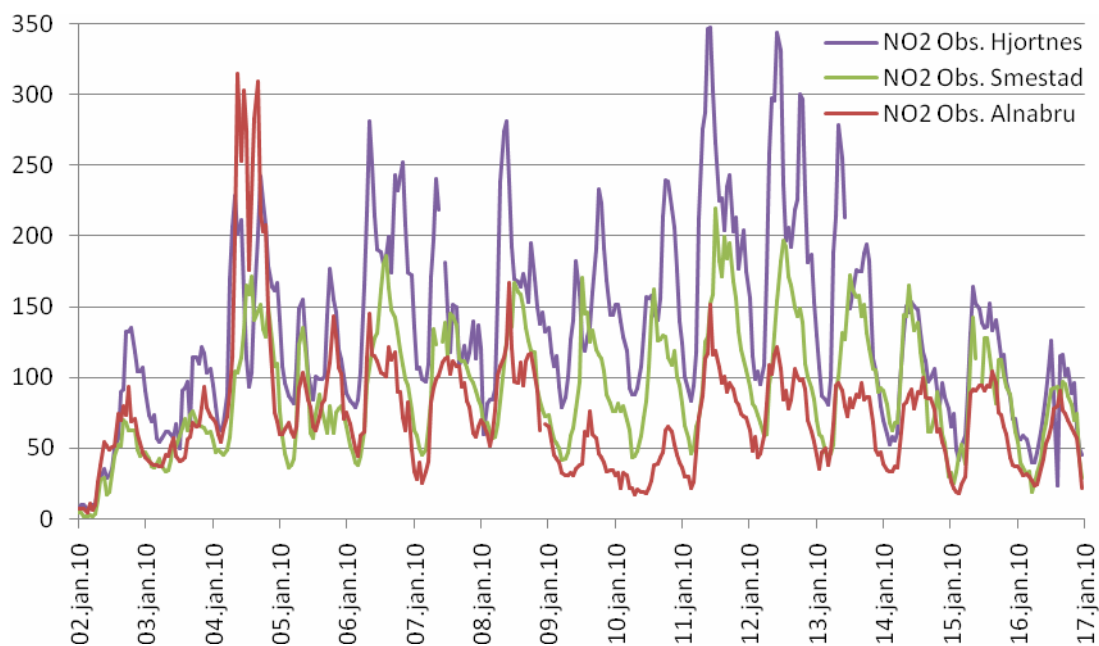
De høyeste NO₂-nivåene måles ved E18 nær Hjortneskaia. Med unntak av den 5. januar ble det daglig observert NO₂-verdier i intervallet 200 - 350 µg/m³ ved denne stasjonen i tidsrommet 4. - 13. januar. Ved målestasjonen Smestad er konsentrasjonsnivåene betydelig lavere, men den tidsmessige utviklingen i måleseriene på disse to stasjonene viser likevel mange likhetstrekk. På tilsvarende måte som i Bergen viser NO₂ målingene på Hjortnes en betydelig grad av oppbygging av konsentrasjonsverdiene gjennom forurensningsperioden, med minimumsverdier om nettene tett oppunder 100 µg/m³. Målingene fra det nordøstlige Alnabru-området viser imidlertid en helt annen tidsutvikling. Ved denne stasjonen registreres svært høye NO₂ nivåer den 4. januar, mens relativt ordinære konsentrasjonsnivåer observeres de etterfølgende døgnene.

Analysen av de meteorologiske forholdene viser at høytrykksutviklingen førte til svært lave vindhastigheter og utvikling av inversjonsforhold over hele byområdet den 4. januar, noe som førte til svært dårlig luftkvalitet med høye NO₂- og PM_{2,5}-nivåer på samtlige målestasjoner i Oslo. Imidlertid fører det svake synoptiske pådraget til utviklingen av en vedvarende og relativt sterk nordøstlig drenasjevind ned Groruddalen fra den 5. januar og ut hele den betraktede høytrykksperioden. Denne vinden, som observeres på den meteorologiske

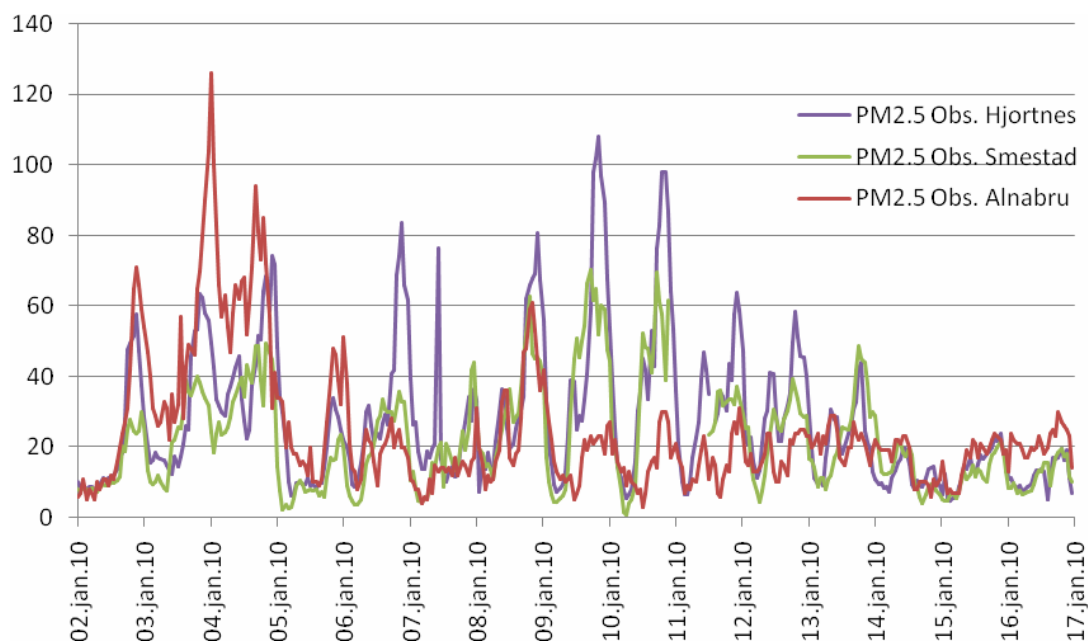
målestasjonen på Hovin, forklarer hvorfor forurensningsnivåene på Alnabru er så lave i denne perioden. På Blindern, som ligger lenger vest i byen, observeres derimot svært lave vindstyrker i periodene da de høyeste forurensningsverdiene observeres på de vestre målestasjonene (Hjortnes og Smestad). Dette tyder på at store deler av det vestlige byområdet i denne perioden ble liggende i et vindmessig stagnasjonsområde, noe som i kombinasjon med stabile inversjonsforhold resulterte i de høye forurensningsnivåene som ble målt i dette området. Fra Figurene 3.19 og 3.20 framgår det også at maksimumsverdiene for NO₂ og PM_{2,5} oppstår på ulike dager. Eksempelvis observeres de høyeste PM_{2,5} verdiene på Hjortnes 9. og 10. januar, mens de høyeste NO₂ nivåene på denne stasjonen måles 11. og 12.

Observasjonene og prognoseverdiene av NO₂, både fra det opprinnelige Bedre Byluft systemet og fra rekjøringen med den opprettede versjonen, for perioden 2. - 17. januar 2010 er presentert i Figur 3.21 for målepunkt Smestad. Som det framgår av denne figuren fører opprettingene i varslingsystemet til en klar kvalitetsmessig forbedring av prognosene. Spesielt fanges de høye konsentrasjonsnivåene i de siste dagene av perioden opp på en bra måte. Den kraftige underestimeringen den 10. og 11. januar skyldes til en viss grad at vi har feil i vindretningen, slik at belastningen fra ringveien beregnes på feil side av veien. På tilsvarende måte som i Bergen, gjensker imidlertid prognosemodellen heller ikke her de relativt høye NO₂-nivåene (~50 µg/m³) som observeres om natten. Som nevnt ovenfor i forbindelse med diskusjonen av prognoseresultatene i Bergen, skyldes dette i noe grad de relativt lave klimatologiske konsentrasjonsnivåer som benyttes som startfelt og på modellområdets åpne render.

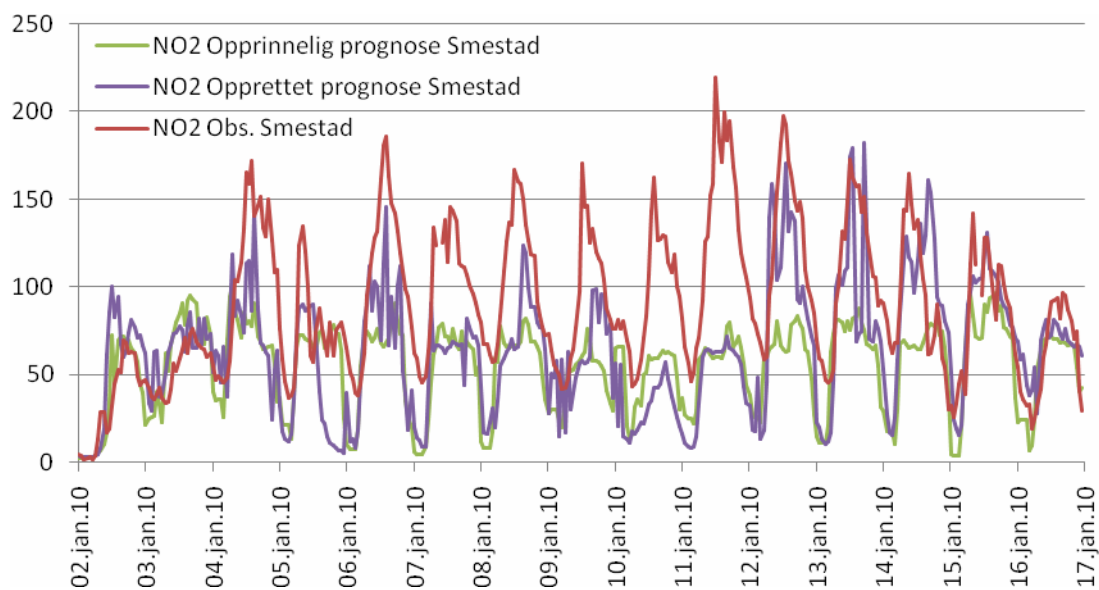
Mens det opprettede AirQUIS systemet beskriver situasjonen ved Smestad på en relativt bra måte, er situasjonen ikke den samme når prognosene for Hjortnes sammenholdes med observasjonene fra denne gatestasjonen, Figur 3.22. På denne stasjonen er det svært liten forskjell mellom prognosene fra det opprettede og det opprinnelige varslingsystemet. Siden vesentlige forskjeller mellom disse to systemene bare finner sted i svakvindsituasjoner (vindstyrker lavere enn 1 m/s) betyr dette at prognosene gir betydelige sterkere vind ved Hjortnes enn ved Smestad i store deler av den betraktede perioden i januar. Bare den 4. januar varsles lave vinder i dette området, noe som fører til at den opprettede prognosen til en viss grad fanger opp de høye NO₂ verdiene som observeres denne dagen.



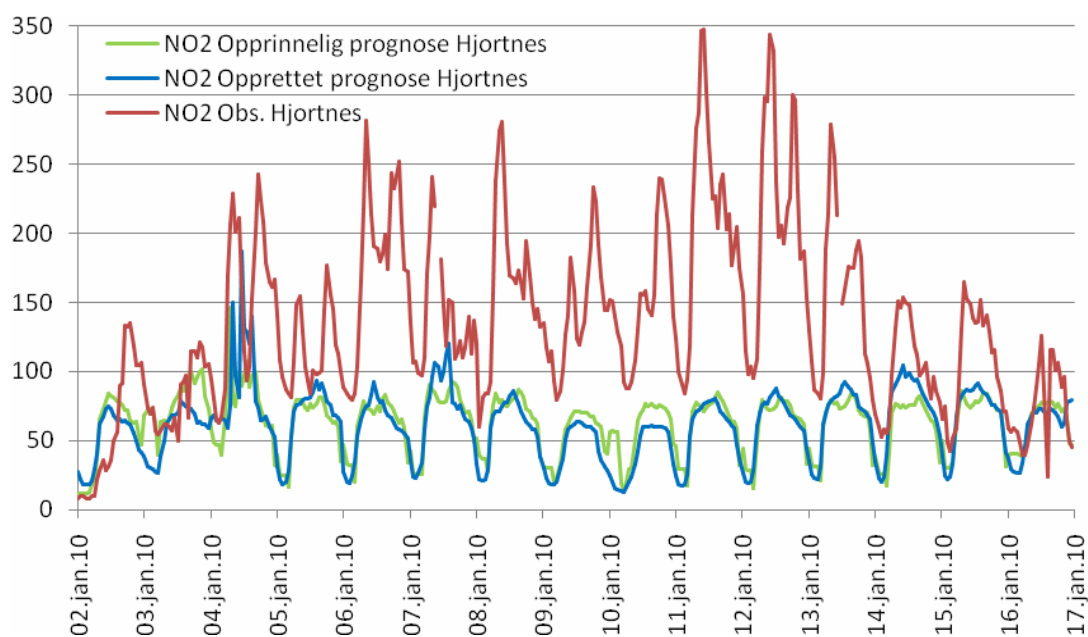
Figur 3.19 Observerte konsentrasjonsverdier av NO₂ (µg/m³) på gatestasjonene Hjortnes, Smestad og Alnabru i Oslo. Tidsseriene viser de observerte timemiddelverdiene i perioden 2. - 17. januar 2010.



Figur 3.20 Observerte konsentrasjonsverdier av PM_{2,5} (µg/m³) på gatestasjonene Hjortnes, Smestad og Alnabru i Oslo. Tidsseriene viser de observerte timemiddelverdiene i perioden 2. - 17. januar 2010.



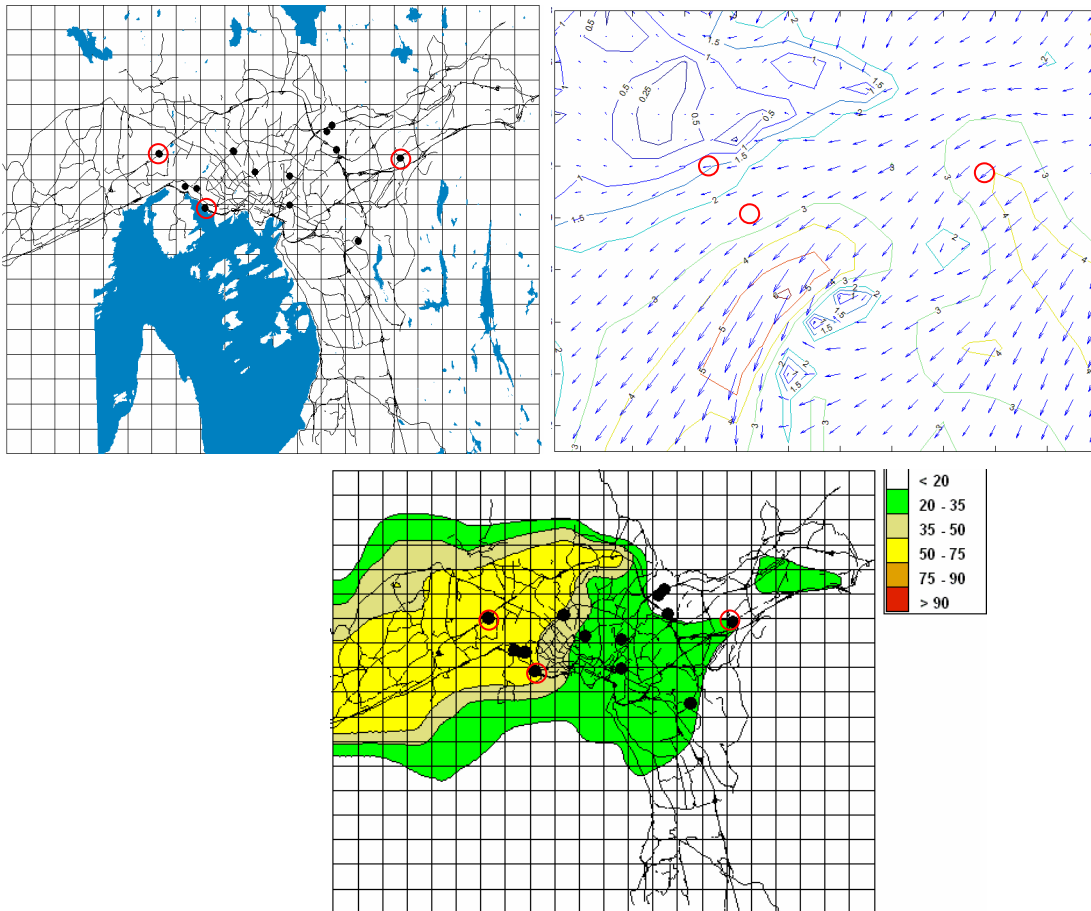
Figur 3.21 Bedre Byluft-prognoser (opprinnelig og opprettet) for NO₂ for målestasjonen Smestad ved Ring 3 i Oslo.



Figur 3.22 Bedre Byluft-prognoser (opprinnelig og opprettet) for NO₂ for målestasjonen Hjortnes ved E18 i Oslo.

For å belyse resultatene som er presentert i Figurene 3.19 - 3.22 må vi se nærmere på de meteorologiske forholdene som ble varslet i denne perioden. Som nevnt ovenfor ble det målt høye NO₂ og PM_{2,5} konsentrasjoner over hele byen den 4. januar. Dette ble også fanget opp av vindfeltprognosen, og demonstreres ved at (den opprettede versjonen av) AirQUIS varsler relativt høye NO₂ verdier over hele byen i denne perioden. I de etterfølgende dagene er det imidlertid bare ved den vestligste målestasjonen Smestad hvor prognosen i enkelte perioder fanger opp de høye observerte NO₂ nivåene. På formiddagen den 11. januar da de høyeste NO₂ konsentrasjonene forekommer på Hjortnes og Smestad, underestimeres konsentrasjonene på begge stasjonene klart. I Figur 3.23 vises det varslede vind- og konsentrasjonsfeltet kl. 10

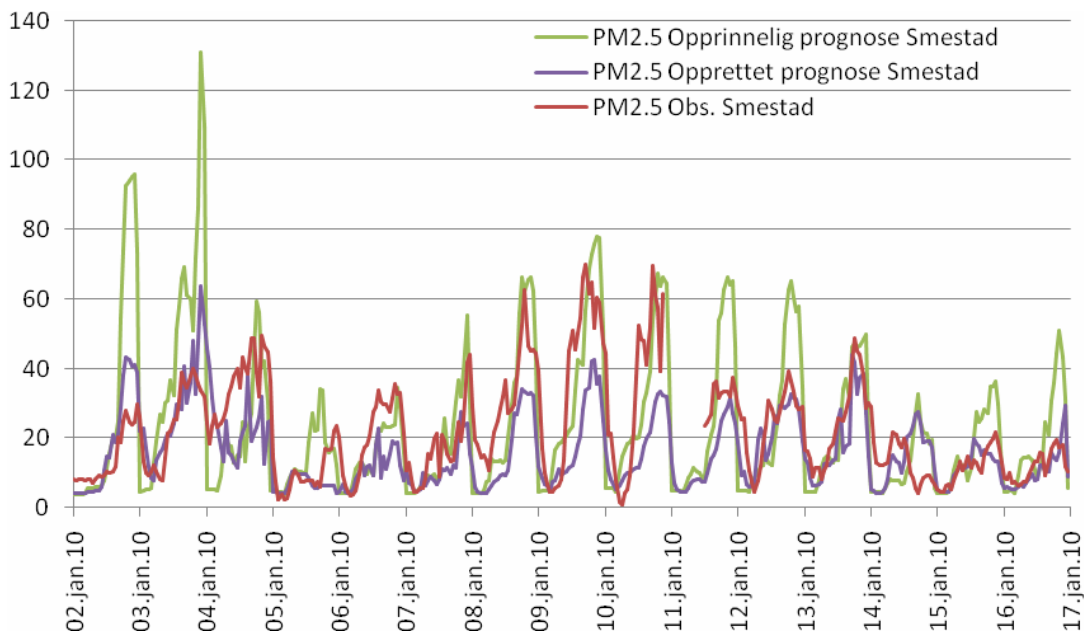
den 11. januar 2010, d.v.s. tidspunktet da den maksimale NO₂-verdien (347 µg/m³) observeres på Hjortnes. Gjennomgang av alle vindfeltene disse dagene viser at vindmønsteret i Figur 3.23 er ganske representativt for vindprognosene i hele forurensningsperioden 5. - 14. januar. Modellen beskriver en vedvarende nordøstlig vind over store deler av modellområdet, med vindstyrker i 10 m høyde på 2 - 3 m/s. Bare i et lite område i det nordvestlige modellområdet, i le av Nordmarksplatået, beregnes et stagnasjonsområde med vindstyrker under 1 m/s. I tråd med dette vindfeltet varsles også de høyeste konsentrasjonsnivåene i de vestre delene av byområdet.



Figur 3.23 Beregnet bakkenært vindfelt (m/s) øverst til høyre, og konsentrasjonsfelt for NO₂ (µg/m³) under, for Oslo. Figuren til venstre viser modellområdet (med kystlinje og veinett) som er benyttet for luftkvalitetsberegningene. Posisjonene til målestasjonene som er omtalt i teksten er markert med røde ringer; Hjortnes (nederst), Smestad (venstre) og Alnabru (høyre). Vind- og konsentrasjonsfeltet viser forholdene kl. 10 den 11. januar 2010, d.v.s. for tidspunktet da den høyeste NO₂-verdien (347 µg/m³) observeres på målestasjonen Hjortnes.

Når prognoseverdiene i denne perioden likevel ikke fanger opp de ekstremt høye verdiene på Hjortnes (posisjonen til denne stasjonen er markert med den sydligste røde ringen i Figur 3.23) indikerer dette at stagnasjonsområdet i virkeligheten dekket et større område av byen. Vindfeltet i Figur 3.23 viser at modellen ga en vindhastighet på over 2 m/s for området omkring Hjortnes for den betraktede timen, noe som forklarer hvorfor det ble beregnet relativt lave konsentrasjoner på denne stasjonen i denne situasjonen.

I den opprettede AirQUIS versjonen er som tidligere nevnt vedfyringsutslippene redusert med 40 %. I Figur 3.24 presenteres de beregnede prognoseverdiene (både for opprinnelig og opprettet system) sammen med observasjonene av PM_{2,5} for Smestad for perioden 2. - 17. januar 2010. På tilsvarende måte som i Bergen (Figur 3.18) fører det reduserte vedfyringsutslippet til markert lavere prognoseverdier for PM_{2,5}. Ser vi isolert på dagene da de høyeste målte partikkelkonsentrasjonene forekommer, kan det fra Figur 3.24 se ut som det opprinnelige utslippet gir rimelig bra samsvar med de observerte nivåene. Dette er imidlertid bare en effekt av at modellen egentlig underestimerer noe i denne perioden. Uten reduksjonen i vedfyringsutslippet ser vi gjennomgående en kraftig overestimering i PM_{2,5}-prognosene, noe som også illustreres i Figur 3.24 ved de ekstremt høye verdiene som modelleres den 2. og 3. januar med det opprinnelige AirQUIS systemet.



Figur 3.24 Bedre Byluft prognoser (opprinnelig og opprettet) for PM_{2,5} for gatestasjonen Smestad ved Ring 3 i Oslo.

4 VARSLINGSKVALITET I LUFTKVALITETSVARSLINGEN

4.1 Luftkvalitetsvarsling fra VV 2009-2010

Meteorologisk institutt i Bergen har ansvaret for varslingen av luftkvaliteten i vinterhalvåret for Trondheim, Bergen og Stavanger/Sandes.

Til å utarbeide disse varslene brukes de ulike meteorologiske modellene som er tilgjengelig samt de ordinære værvarslene. I tillegg legges det stor vekt på de observasjonene som gjøres. Resultatene fra forurensingsmodellen AirQUIS brukes til en viss grad, men har ofte store avvik fra det som måles. En svakhet har i vinter vært at AirQUIS modellen nullstiller forurensingsnivået ved oppstart av ny kjøring.

Når varslene utarbeides lages det en varslingskurve for hvert enkelt element, PM₁₀, PM_{2,5} og NO₂. Varslene som legges ut på <http://luftkvalitet.info> er en samlekurve der høyeste verdi legges ut. De som varslar tar derfor først og fremst hensyn til den kurven og ikke hvert enkelt element.

På <http://admin.luftkvalitet.info/index.cfm> er det hentet "Treff for døgnvarsler" og "Treff for varslingsgraf" for de ulike byene.

4.1.2 Treff for døgnvarsler

Døgnindeksen gir antall overskridelser av døgnverdiene. Når man utarbeider varslene brukes timesverdier, det er derfor knyttet en viss usikkerhet på hvordan det slår ut verifikasjonen.

Trondheim

Når varslene utarbeides er det forventet luftkvalitet ved Torvet og Bakke kirke som skal varsles. Målingene ved Torvet er ikke tilgjengelig under "Treff for døgnvarsler". Her er derfor kun resultatet for Bakke kirke.

Målestasjon: Bakke kirke			
Tidsperiode: 01.11.09 - 30.04.10			
Komponent: PM10			
Døgnindeks		Målt	Varslet
Lite		128	71
Noe		19	83
Mye		23	13
Svært mye		2	5

Målestasjon: Bakke kirke		
Tidsperiode: 01.11.09 - 30.04.10		
Komponent: PM2,5		
Døgnindeks	Målt	Varslet
Lite	152	101
Noe	13	60
Mye	2	5
Svært mye	0	1

Målestasjon: Bakke kirke		
Tidsperiode: 01.11.09 - 30.04.10		
Komponent: NO2		
Døgnindeks	Målt	Varslet
Lite	153	136
Noe	26	43
Mye	0	0
Svært mye	0	0

Som diagrammene viser er det først og fremst PM₁₀ som er hovedårsaken til nedsatt luftkvalitet i Trondheim. Resultatet viser at avviket mellom målt og varslet forurensingsnivå er størst på nivåene LITE og NOE. I Trondheim blir det kostet og saltet med MgCl for å fjerne/binde støvet. Det har ikke lyktes å få til en tilbakemelding til de som varsler når det har vært utført slik kosting/salting. Da kan måleverdiene fra dagen før være villedende for den som skal utarbeide varselet.

Stavanger/Sandes

Våland er en bybakgrunnsstasjon og varslene skal først og fremst utarbeides med tanke på forventet luftkvalitet der.

Målestasjon: Våland		
Tidsperiode: 01.11.09 - 30.04.10		
Komponent: PM10		
Døgnindeks	Målt	Varslet
Lite	170	156
Noe	4	17
Mye	4	5
Svært mye	0	0

Målestasjon: Våland		
Tidsperiode: 01.11.09 - 30.04.10		
Komponent: PM2,5		
Døgnindeks	Målt	Varslet
Lite	163	160
Noe	11	14
Mye	2	2
Svært mye	0	0

Målestasjon: Våland		
Tidsperiode: 01.11.09 - 30.04.10		
Komponent: NO2		
Døgnindeks	Målt	Varslet
Lite	170	166
Noe	8	10
Mye	0	1
Svært mye	0	1

Som det går frem av diagrammene er det generelt lite forurenset luft ved Våland i Stavanger og antall målte døgn og varslede døgn med de ulike forureningsnivåene stemmer rimelig godt overrens.

Bergen

I Bergen er det stasjonen ved Rådhuset som er bybakgrunnsstasjon. Det er forureningsnivået der vi skal fokusere mest på når varslene utarbeides.

Målestasjon: Rådhuset		
Tidsperiode: 01.11.09 - 30.04.10		
Komponent: PM10		
Døgnindeks	Målt	Varslet
Lite	155	102
Noe	12	62
Mye	8	13
Svært mye	4	2

Målestasjon: Rådhuset		
Tidsperiode: 01.11.09 - 30.04.10		
Komponent: PM _{2,5}		
Døgnindeks	Målt	Varslet
Lite	155	104
Noe	18	56
Mye	5	16
Svært mye	1	3

Målestasjon: Rådhuset		
Tidsperiode: 01.11.09 - 30.04.10		
Komponent: NO ₂		
Døgnindeks	Målt	Varslet
Lite	124	117
Noe	37	51
Mye	11	8
Svært mye	8	4

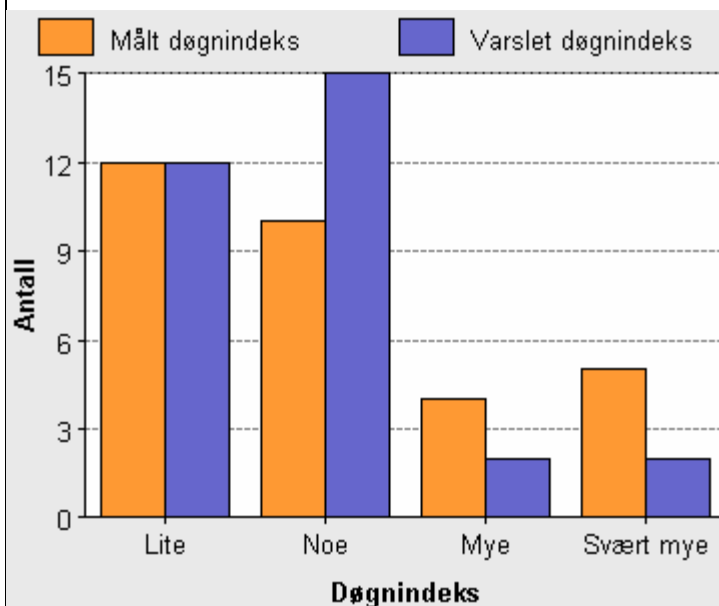
Som diagrammene viser har Bergen både et støv og et NO₂ problem, med NO₂ som det mest alvorlige med hyppigst overskridelser. Av resultatene ser vi at det er en overvarsling av særlig NOE forurenset luft, spesielt PM₁₀ og PM_{2,5}, på bekostning av LITE.

4.1.3 Svært mye forurenset luft i Bergen 2. - 15. januar 2010

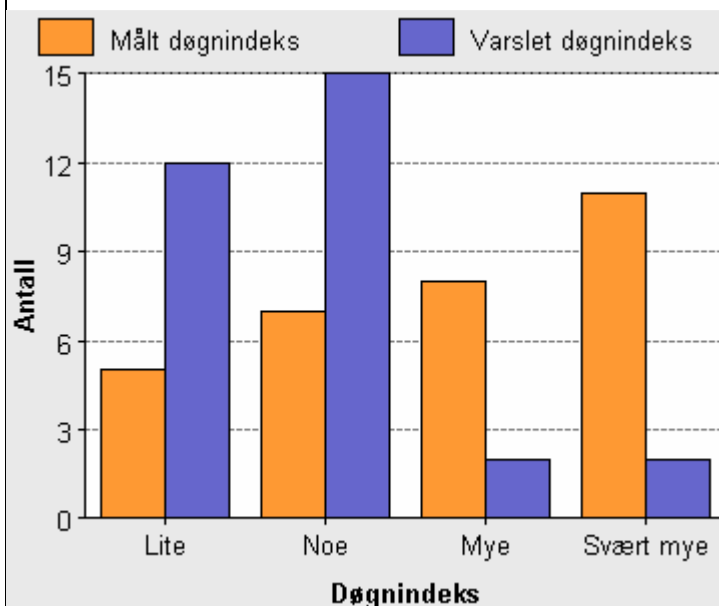
I perioden 2. - 15. januar ble det i Bergen målt mer luftforurensing enn noen gang tidligere siden målingene startet høsten 1994. Det var spesielt høye NO₂ verdier. Dette førte til at kommunen satte opp ekspressbusser fra bydelssentrene inn til sentrum samt en kort periode innførte datokjøring for privatbiler.

Det ble derfor i januar tatt ut en del diagrammer som viste "Treff for varslingsgraf" for å sammenligne de målte verdiene for de ulike parameterne med det som var varslet, samlekurven (høyeste varslede verdi uavhengig av element).

Treff for døgnvarsler NO2 januar 2010- Rådhuset



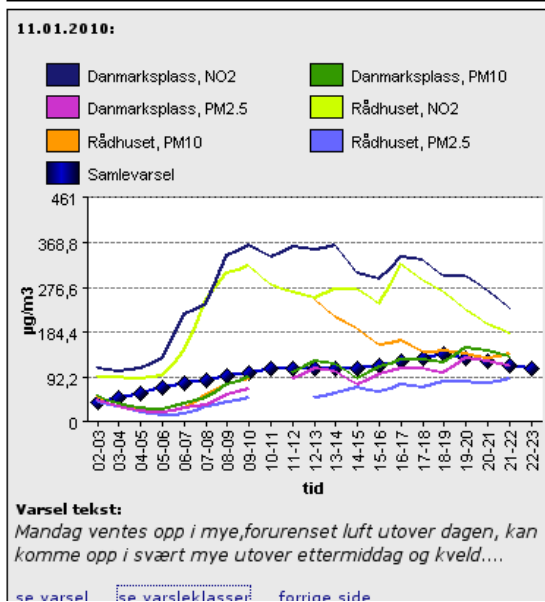
Treff for døgnvarsler NO2 januar 2010- Danmarks plass



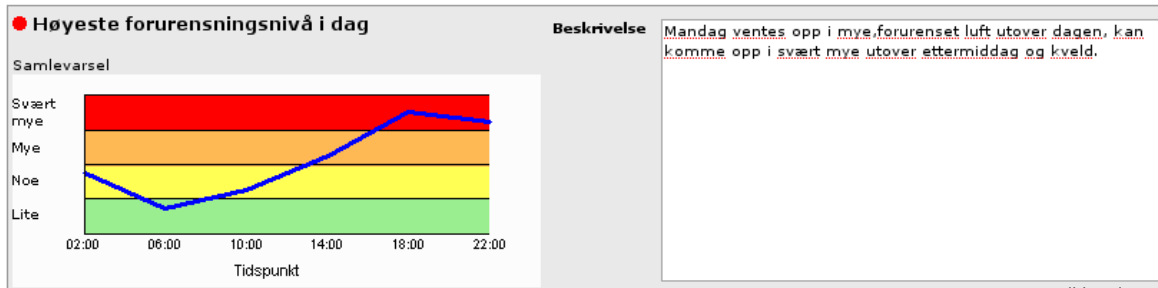
Det ble i følge månedrapporten fra Helsevernetaten i Bergen i januar målt 63 timer med svært mye forurenset luft ved Rådhuset og 132 timer på Danmarks plass. Det var også 73 timer med mye forurenset luft ved Rådhuset og 122 timer på Danmarks plass.

I følge diagrammene var det en undervarsling av både MYE og SVÆRT MYE.

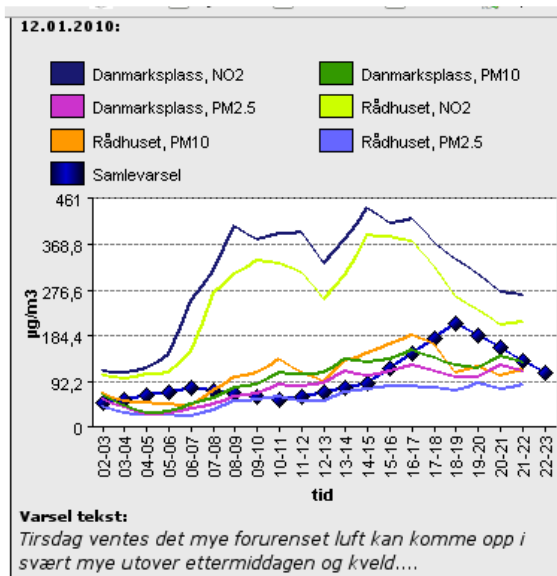
Kurver "Treff for varslingsgraf" 11. januar 2010.



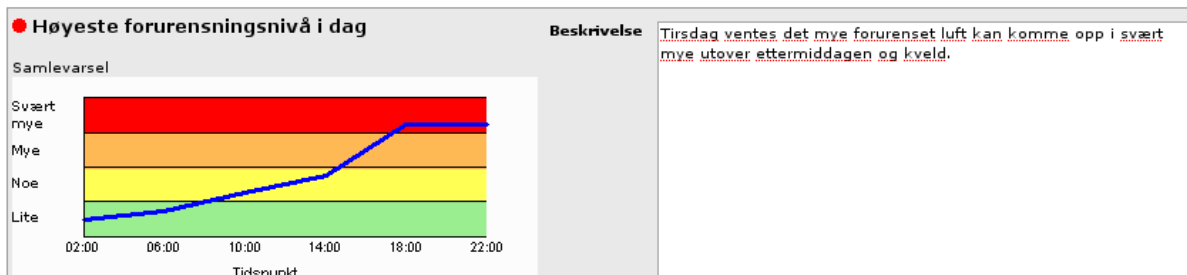
Varsel for: 11.01.2010



Kurver "Treff for varslingsgraf" 12. januar 2010.



Varsel for: 12.01.2010



I figurene er blå kurve med firkanter samlevarselkurven som kommer frem ved å gå inn på <http://admin.luftkvalitet.info/index.cfm> og hente ut "Treff for varslingsgraf".

I det andre vinduet med de ulike forurensingsnivå er den blå kurven samlevarselkurven laget av den som utarbeidet varselet. Disse kurvene skulle vært like, men ut fra formen på kurvene ser vi at de ikke er det.

Dette gjelder for også for andre dager enn disse to. Noen ganger er kurvene like, andre ganger er de forskjellige. Dette har gjort at vi er i tvil om hva måledataene er verifisert mot og om vi kan stole på de resultatene som fremkommer ved å hente ut verifikasjonsdata fra <http://admin.luftkvalitet.info/index.cfm>.

Ved siden av grafen lages det hver dag innen kl 12 et tekstvarsel for neste dag. I den forbindelse skrives det også inn høyeste målte forurensingsnivå, uavhengig av parameter, ved Rådhuset dagen før. I tabellen på neste side er en oversikt over disse tekstvarslene og målte verdier for perioden 2. - 15. januar.

Oversikt tekstvarsel/observert verdi 2.-15. jan 2010, Rådhuset, Bergen.

Dato	Tekstvarsel	Målt verdi ved Rådhuset
02.01	Lørdag ventes opp i mye forurenset luft utover ettermiddagen og kvelden.	Lite
03.01	Søndag ventes opp i mye forurenset luft utover ettermiddag og kveld.	Mye
04.01	Mandag ventes det opp i noe og til dels mye forurenset luft utover ettermiddagen og kvelden.	Observert noe ved Rådhuset. mye på Danmarks plass
05.01	Tirsdag ventes opp i mye forurenset luft.	Mye
06.01	Onsdag ventes opp i mye forurenset luft utover ettermiddagen og kvelden.	Mye
07.01	Torsdag venteste det mye forurenset luft.	Mye
08.01	Fredag venteste et mye forurenset luft utover ettermiddagen og kvelden i sterkt trafikkerte strøk kan forurensningsnivået være høyere.	Mye
09.01	Lørdag ventes det økende forurensning utover dagen med mye - og lokalt svært mye forurenset luft.	Svært mye
10.01	Søndag ventes stigende luftforurensning utover dagen. Med mye , kanskje lokalt svært mye utover ettermiddag og kveld.	Svært mye
11.01	Mandag ventes opp i mye forurenset luft utover dagen, kan komme opp i svært mye utover ettermiddag og kveld.	Svært mye
12.01	Tirsdag ventes det mye forurenset luft, kan komme opp i svært mye utover ettermiddagen og kveld.	Svært mye
13.01	Onsdag ventes det svært mye forurenset luft.	Svært mye
14.01	Torsdag kan det i perioder komme opp i svært mye forurenset luft i Bergen sentrum.	Svært mye
15.01	I morgen ventes det noe forurenset luft i Bergen sentrum på formiddagen, senere lite .	Lite

For denne perioden stemmer tekstvarslene godt overrens med målte verdier. Det er varslet svært mye forurenset luft 7 ganger, ved Rådhuset er det observert 6 ganger.

4.1.4 Konklusjon

Verifikasjonsverktøyet på <http://admin.luftkvalitet.info/index.cfm> er mangelfullt og gjør det er vanskelig å sette en konkret verdi på hvor gode varslene våre er. Det må blant annet være mulig å velge valgfrie perioder i de siste 12 måneder for Treff for varlingsgraf, og samlekurven må stemme med det som ble varslet. Nå er det bare mulig å hente ut "Treff for varlingsgraf" 28 dager tilbake i tid.

En sjekk av tekstvarslene og observasjon for Bergen, Rådhuset, 2. - 15. januar viser langt bedre overensstemmelse mellom varslet og observert forurensningsnivå enn det som fremkommer ved bruk av <http://admin.luftkvalitet.info/index.cfm>.

4.2 Evaluering Bedre byluft Tromsø sesongen 2009-2010

Sesongens første varsel ble utstedt for 26.10.09, mens sesongen ble avsluttet med et varsel for 16.05.10. Årsaken til oppstartsdato var værrelatert. Vi startet varsling når været medførte at folk måtte skifte til vinterdekk. Avslutning ble satt av historiske årsaker, frem til 17. mai er det tidligere observert høye verdier, aldri etter 17. mai. Årsaken til dette kan ligge i den grundige opprydningsprosessen i gatene før 17. mai-feiringen.

Tidligere år har vi om formiddagen varslet for dagen etter. Denne sesongen har vi av hensyn til total arbeidsmengde flyttet varslingen til ettermiddagen og da varslet for to dager senere, samt oppdatert varselet for dagen etter.

Tromsø dekkes ikke av AirQUIS-modellen. Vi må derfor gjøre en subjektiv vurdering av hvilke luftkvalitetsnivåer vi vil få dagen etter, basert på værvarselet generelt, samt at vi må bruke tilgjengelige værmodeller for å se på Tromsø spesielt. Dette medfører en litt mer omfattende varslingsprosess enn for steder hvor AirQUIS opererer. På bakgrunn av dette har vi de to første sesongene vi varslet, registret en del parametere som vi har brukt for å beregne luftkvaliteten. Tilsvarende har vi registret de samme parametrene i etterkant, slik at vi har kunnet evaluere varslene. Dette gjelder meteorologiske parametere, som temperatur, fuktighet, vind og nedbør, så vel som ikke-meteorologiske parametere som om det er utstrakt bruk av piggdekk og om det er mye trafikk i tidsrommet. På bakgrunn av disse dataene har vi bygd opp en erfaringsdatabase, som vi før denne sesongen systematiserte, for å gi oss en mulighet til å vurdere hvilke forurensningsnivåer vi kan forvente de påfølgende dagene ved å kun basere oss på de faktorer som virkelig har betydning for luftkvalitetsnivået. Vi har også denne sesongen registrert noen parametere, men på grunn av varierende arbeidsmengde er ikke disse dataene komplette. Dataene i denne rapporten er derfor basert på times- og døgnerverdier på luftkvalitet.info.

4.2.2 Målestasjoner



Figur 4.1 Målestasjonen i Hansjordnesbukta, er lokalisert i et svært trafikkert område sentralt i Tromsø. Verdiene fra denne stasjonen er antatt å representere maksimalverdier for Tromsø.

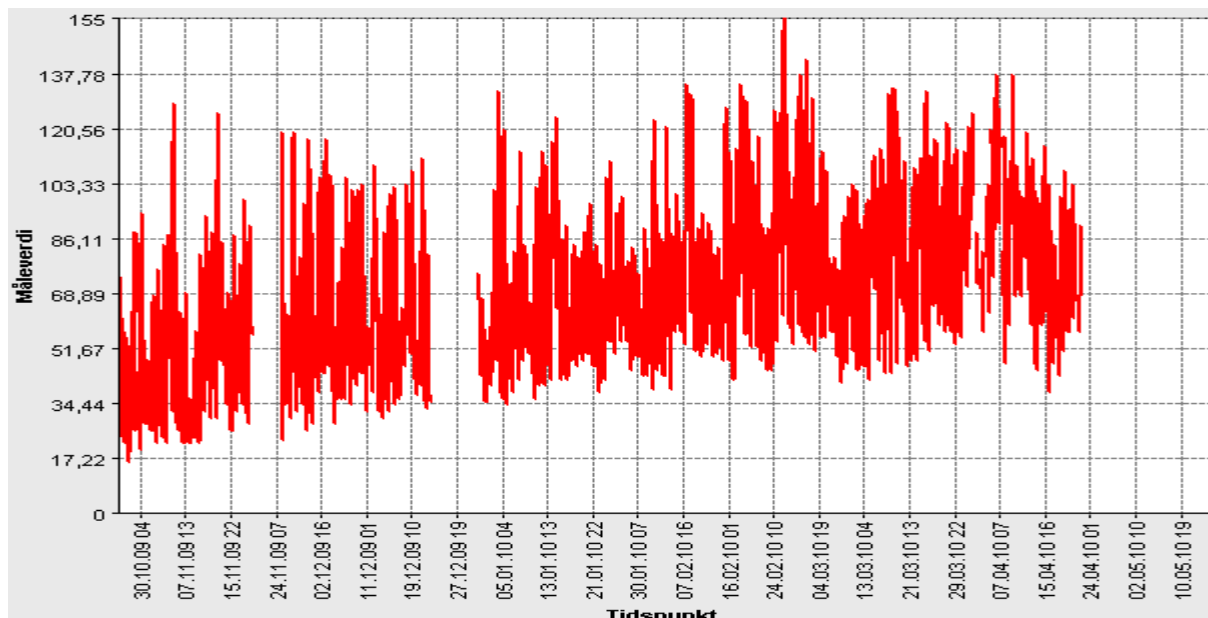
I Tromsø er det to målestasjoner, Hansjordnesbukta måler NO_2 , PM_{10} og $\text{PM}_{2,5}$, mens Tverrforbindelsen kun måler PM_{10} . Denne vinteren har NO_2 i perioder vært ute av drift (fig. 4.3). I tillegg har PM_{10} i Hansjordnesbukta vært ute en periode (fig 4.5). Dette har begrenset våre evalueringsmuligheter noe. Det er PM_{10} som er det største samfunnsproblemet i Tromsø, og stasjonen i Hansjordnesbukta (fig. 4.1) er den stasjonen som historisk har de fleste høye målinger av PM_{10} -nivå. Denne rapporten tar derfor kun for seg varsling og evaluering av PM_{10} -nivået i Tromsø.



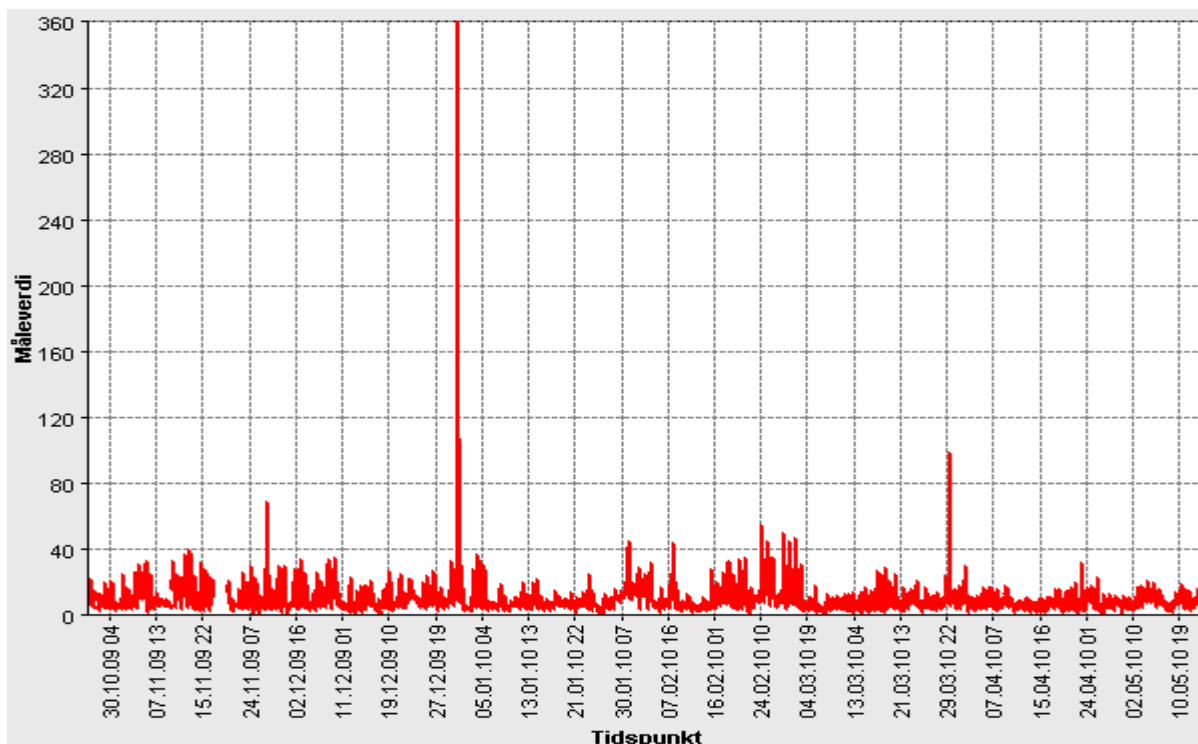
Figur 4.2 Målestasjonen ved Tverrforbindelsen er plassert mellom en trafikkert vei og et boligområde.

4.2.3 Resultater

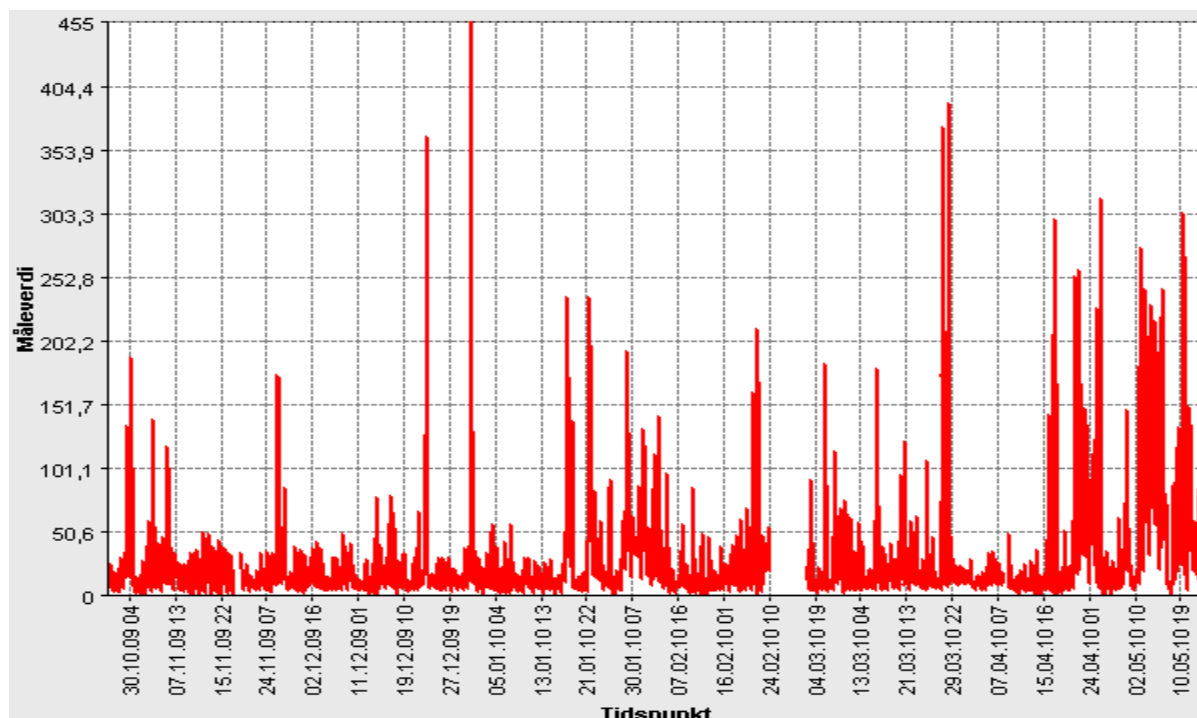
Varslingsperioden besto av i alt 203 dager, hver dag med 6 varslingstidspunkt. Totalt for sesongen er det da varslet 1218 nivåer for hver av de tre parametrene, PM₁₀, PM_{2,5} og NO₂.



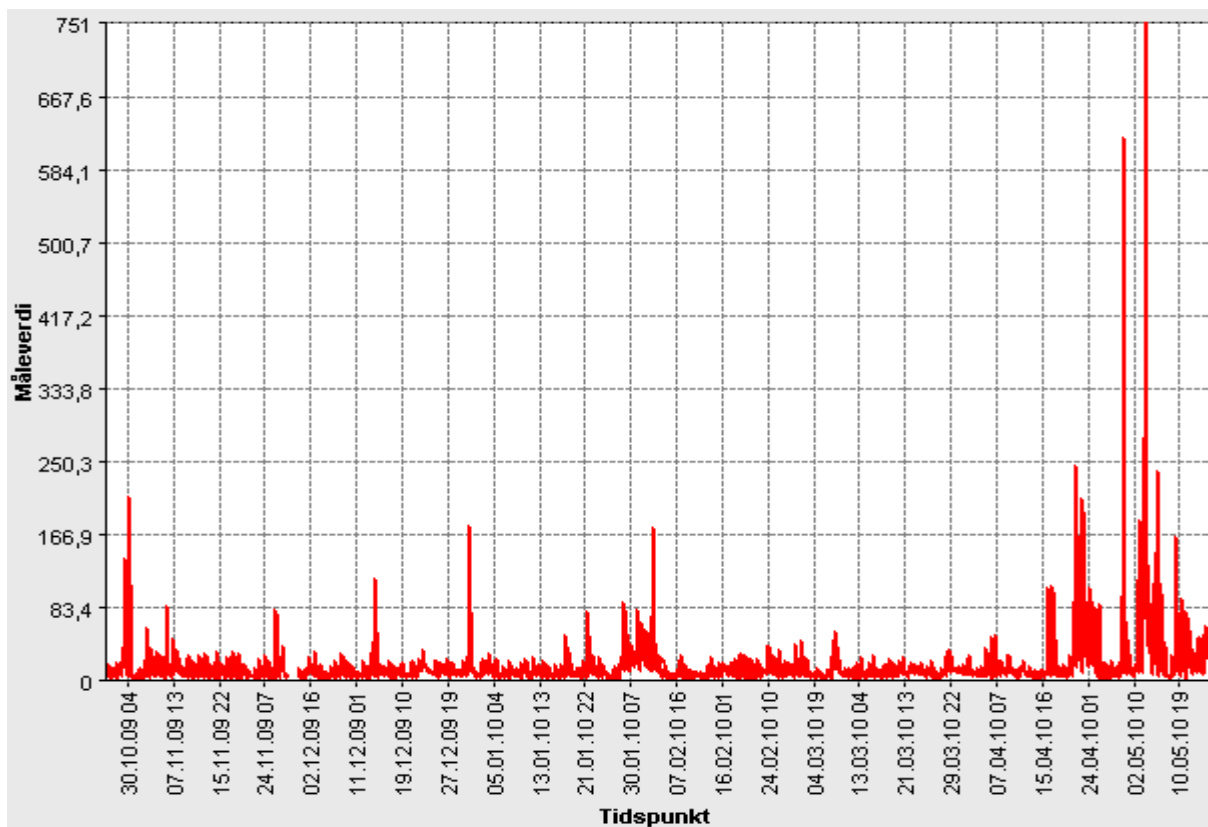
Figur 4.3 NO₂-målinger (timesverdier) i Hansjordnesbukta sesongen 2009-2010.



Figur 4.4 PM_{2,5}-målinger (timesverdier) i Hansjordnesbukta sesongen 2009-2010.



Figur 4.5 PM₁₀-målinger (timesverdier) i Hansjordnesbukta sesongen 2009-2010.



Figur 4.6 PM₁₀-målinger (timesverdier) på Tverrforbindelsen sesongen 2009-2010.

Denne sesongen var det kun en NO₂-måling som lå over NOE (fig 4.3, tabell 1). Bortsett fra nyttårsaftnen, var det denne sesongen kun 2 timesverdier av PM_{2,5} som lå over NOE (fig 4.4, tabell 2). For PM₁₀ er det flere målinger med høye verdier, både i Hansjordnesbukta (fig 4.5, tabell 3) og på Tverrforbindelsen (fig 4.6, tabell 4).

		←----- Det er målt høyere nivå enn varslet			
Målt nivå	Svært mye	0	0	0	0
	Mye	0	1	0	0
	Noe	29	52	1	0
	Lite	69	46	1	1
		Lite	Noe	Mye	Svært mye
		Varslet nivå			

Det er målt lavere nivå enn varslet
 ↓

Tabell 1: Varslet NO₂-nivå (døgnverdi) målt mot NO₂-nivå observert i Hansjordnesbukta (n=200).

		←----- Det er målt høyere nivå enn varslet			
Målt nivå	Svært mye	0	0	0	0
	Mye	0	0	0	0
	Noe	6	2	1	1
	Lite	152	36	0	0
		Lite	Noe	Mye	Svært mye
		Varslet nivå			

Det er målt lavere nivå enn varslet
 ↓

Tabell 2: Varslet PM_{2,5}-nivå (døgnverdi) målt mot PM_{2,5}-nivå observert i Hansjordnesbukta (n=198).

Kun et døgn ble det målt NO₂-døgnverdi MYE, resten av målingene var lavere. 60,5 % av dagene ble varslet korrekt, mens 99,0 % ble varslet innenfor et nivå av målt verdi (tab.1).

Ingen PM_{2,5}-døgnverdier var høyere enn NOE. 77,78 % av dagene ble varslet helt korrekt, mens 99,49 % av dagene ble varslet innen for et nivå av målt verdi (tab.2).

<----- Det er målt høyere nivå enn varslet

Målt nivå	Svært mye	3	0	1	3	Det er målt lavere nivå enn varslet ↓
	Mye	5	8	1	2	
	Noe	8	5	4	1	
	Lite	113	24	9	0	
		Lite	Noe	Mye	Svært mye	
		Varslet nivå				

Tabell 3: Varslet PM₁₀-nivå (døgnverdi) målt mot PM₁₀-nivå observert i Hansjordnesbukta (n=187).

<----- Det er målt høyere nivå enn varslet

Målt nivå	Svært mye	1	0	0	0	Det er målt lavere nivå enn varslet ↓
	Mye	4	2	2	3	
	Noe	2	3	1	2	
	Lite	129	37	12	1	
		Lite	Noe	Mye	Svært mye	
		Varslet nivå				

Tabell 4: Varslet PM₁₀-nivå (døgnverdi) målt mot PM₁₀-nivå observert på Tverrforbindelsen (n=199).

I sesongen 2009-2010 ble det i Hansjordnesbukta målt 7 døgn med PM₁₀-døgnverdi på SVÆRT MYE, 3 av disse ble varslet helt korrekt, mens ved 3 tilfeller ble det varslet LITE (tab.3). Ytterligere 16 døgn ble det målt MYE. 11 av disse ble varslet innenfor et nivå, mens ved 5 tilfeller ble det varslet LITE (tab.4). Totalt for PM₁₀ i Hansjordnesbukta ble det varslet

helt korrekt 65,24 % av dagene, mens 90,37 % prosent var innenfor et varslingsnivå. Av totalt 23 døgn med målinger på MYE eller mer i Hansjordnesbukta ble 4 (17,39 %) varslet helt korrekt, mens 15 (65,22 %) ble varslet innenfor et nivå.

På Tverrforbindelsen var det kun ett døgn hvor det ble målt SVÆRT MYE, mens det ytterligere 11 døgn ble målt MYE PM₁₀ (Tabell 3). Totalt for PM₁₀ på Tverrforbindelsen ble det varslet helt korrekt 67,34 % av dagene, mens 89,95 % prosent var innenfor et varslingsnivå. Av totalt 12 døgn med måling på MYE eller mer på Tverrforbindelsen ble 2 (16,67 %) varslet helt korrekt, mens 7 (58,33 %) ble varslet innenfor et nivå.

4.2.4 Diskusjon

Resultatene for NO₂ og PM₁₀ viser at varslingen av NO₂ og PM_{2,5} har fungert godt denne sesongen, samtidig som disse verdiene ikke har skapt et luftforurensningsproblem denne sesongen. Resten av diskusjonen vil derfor dreie seg om PM₁₀-varslingen.

Målestasjonen i Hansjordnesbukta er plassert der den står for å fange opp verdier i et svært trafikkert område, mens Tverrforbindelsen er plassert litt unna veien mot et boligfelt. Det viser seg også at målestasjonen i Hansjordnesbukta har flere tilfeller med høye verdier. I våre varsler ønsker vi å varsle de høyeste verdiene. Målestasjonen i Hansjordnesbukta er derfor mest relevant å verifisere mot.

De aller fleste dager er PM₁₀-nivået i Tromsø lavt, disse dagene er også varslingen god. Nivået på varslingen faller en del når PM₁₀-målingene stiger. Det er forøvrig disse dagene det er viktigst å ha gode varsel, slik at myndighetene kan sette inn tiltak for å senke nivåene, samtidig som ulike risikogrupper kan ta sine forhåndsregler. I alt ble det varslet MYE eller SVÆRT MYE PM₁₀ i Tromsø 21 dager. Av disse ble det observert MYE eller SVÆRT MYE PM₁₀ 7 dager i Hansjordnesbukta og 5 dager på Tverrforbindelsen. Tromsø kommune har til denne sesongen fått sin nye miljøkoster feiebil i drift, og en årsak til feilvarsling kan være at kommunen har satt inn tiltak for å begrense mengden PM₁₀ på bakgrunn av varsel om høye verdier. I så fall har samarbeidet med varsling og bruk av kostebilen fungert etter hensikten. Dette kan imidlertid ikke bekreftes da vi ikke har tilgang på kjørerutene til kostebilen. Selv om vi ønsker å varsle så godt som mulig hver dag, er ikke dager med høyt PM₁₀-varsel og lave målinger det største problemet.

Verre er dagene med lavt PM₁₀-varsel og høye målinger. I alt 23 dager i Hansjordnesbukta og 12 dager på Tverrforbindelsen ble det observert MYE eller SVÆRT MYE PM₁₀. Henholdsvis 7 og 5 av disse ble det varslet MYE eller SVÆRT MYE PM₁₀. I perioden 18. januar til 3. februar ble det målt døgnverdi på MYE. Av disse ble 1 varslet helt korrekt, mens det de 5 andre dagene ble varslet NOE, det vil si 1 nivå under observert verdi. Dette er en periode hvor det tidligere år alltid har vært lave målinger, men lite snø, tørt vær og 10-20 knops vind fra sør, har ført til tørre veier, samt at vinden trolig har transportert PM₁₀ fra sentrum til Hansjordnesbukta nord for sentrum. På Tverrforbindelsen var det kun lave målinger disse dagene. Med tanke på at dette er en periode hvor det statistisk skal være lave PM₁₀-verdier, er varselkvaliteten i denne perioden godkjent.

Normalt har det ikke vært målt høye PM₁₀-verdier i Tromsø før sola kommer så høyt på himmelen at den om dagen klarer å tørke opp veiene. Dette inntreffer i siste halvdel av mars. Fra denne perioden og frem til 17. mai er det normalt sett mange dager med høye PM₁₀-døgnverdier. I 2010 ble høye PM₁₀-døgnverdier målt 15 dager i denne perioden. Frem til 4. mai var det 8 tilfeller i Hansjordnesbukta og 7 tilfeller på Tverrforbindelsen, hvor ingen ble varslet korrekt. Etter 4. mai var det 7 tilfeller i Hansjordnesbukta og 4 tilfeller på Tverrforbindelsen hvor varselet var bra. Perioden fra slutten av mars til 4. mai var vi kjent med at det kunne være mange tilfeller med høye PM₁₀-verdier, slik at vi burde varslet bedre i denne perioden. Det er litt vanskelig å omstille seg fra lave verdier i flere måneder til plutselig

å varsle høye verdier, særlig når en ikke har noen modellverdier å støtte seg til. Vi vil uansett jobbe med å takle denne overgangsfasen bedre i sesongene fremover.

Bortsett fra denne siste perioden, har varslingen vært bra, særlig med tanke på at vi ikke har AirQUIS i Tromsø. Vi har heller ikke værobservasjoner eller utsyn til de mest utsatte stedene, hvilket gjør det vanskelig å vite hvordan forholdene vil være disse stedene.

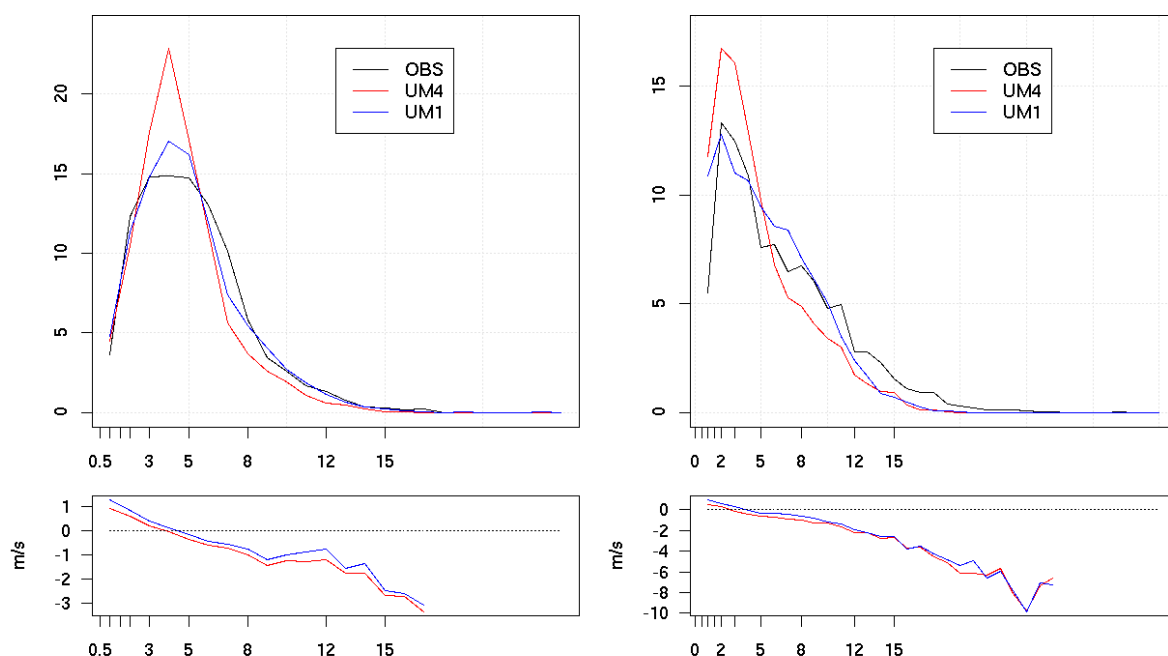
5 VARSLINGSKVALITET I METEOROLOGIMODELLEN

5.1 Vind fordelt på hastighet; antall tilfeller og bias

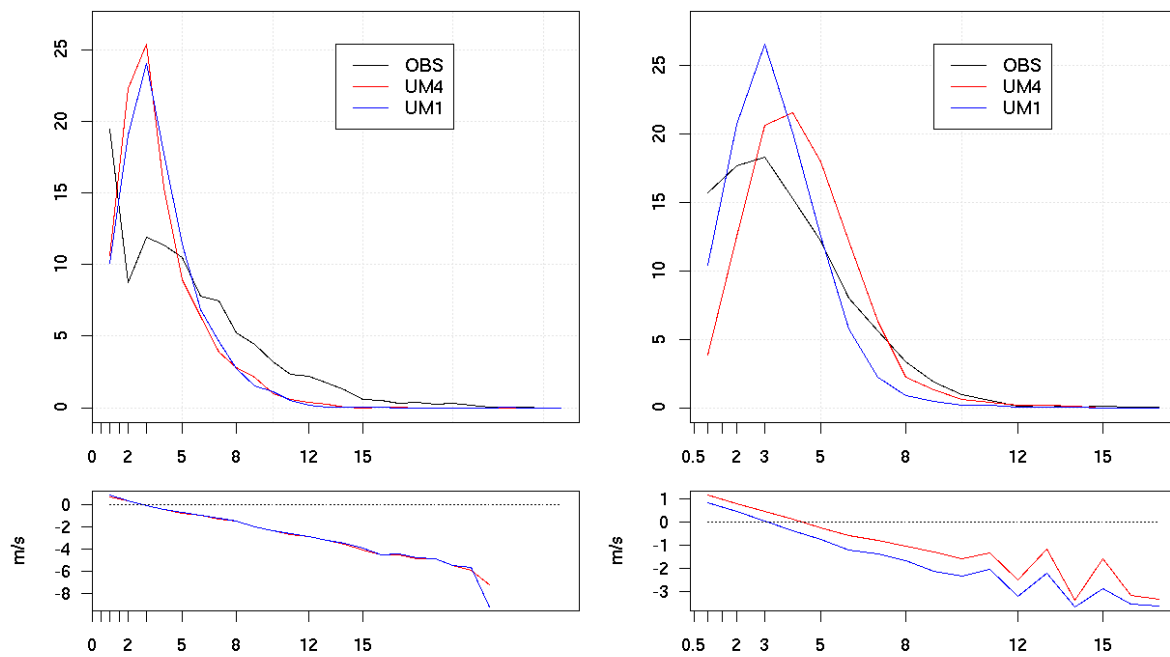
Vindprognosene fra UM slik de fordeler seg på tilfeller av observert vind sortert etter vindhastighet er framstilt i figur 5.1 til 5.5. Vi har begrenset evalueringen til observasjoner fra byområdene. I det øverste panelet sammenligner vi totalt antall prognoser av vind i hvert hastighetsintervall med totalt antall observasjoner av vind i samme intervall. Med hensyn på varsling av luftkvalitet er det mest interessant å se modellens evne til å reprodusere riktig antall tilfeller av vind med lav hastighet. I figurene er også tilsvarende prognoser fra UM 4km tatt med. I det nederste panelet vises gjennomsnittsfeilen i prognosene for alle tilfeller av observert vind i hvert hastighetsintervall. Her får vi et mål på hvor stor gjennomsnittsfeil modellen har for de for de forskjellige hastighetsintervallene.

fordelingskurven for observerte vindtilfeller er typisk med en topp omkring 2 - 3 m/s, men på Skien og Trondheim er toppen nærmere 5 m/s. På Blindern er det flest tilfeller med 0.5 til 1 m/s, og på Valle Hovin har vi to topper, en rundt 2 - 3 m/s og en rundt 7 - 8 m/s.

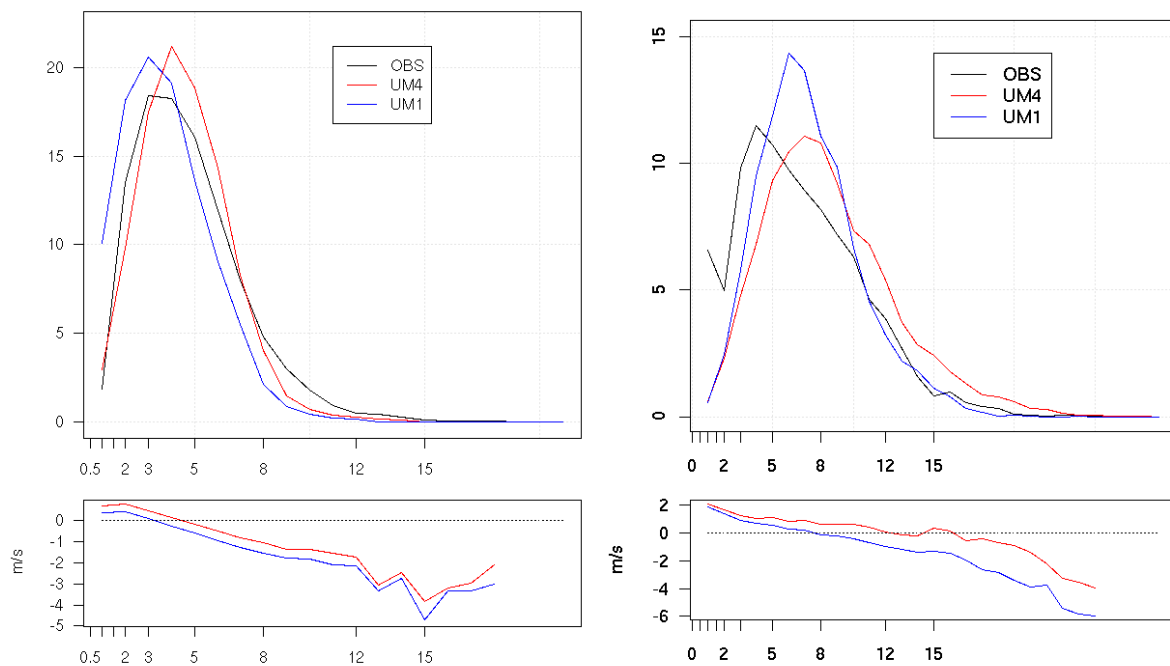
UM 1 km ser ut til å følge fordelingskurven for observasjonene bedre for de fleste stasjonene. På Drammen Berskog, Gulskogen, Trondheim og Kiellandsmyra er toppen av kurven forskjøvet til høyre i UM 4 km. På Alna og Bergen er toppen for stor i UM 4 km, og på Skien er toppen forskjøvet til venstre mot mindre vind. Antallet tilfeller med svak vind er ikke så forskjellig i de to modellene. På Berskog og Gulskogen er det størst forskjell, og UM 1 er nærmere observasjonene på Berskog, men lenger fra på Gulskogen, som har langt færre tilfeller med svak vind. Gjennomsnittsfeilen er positiv for lave vindhastigheter og negativ for store hastigheter på alle målestasjoner.



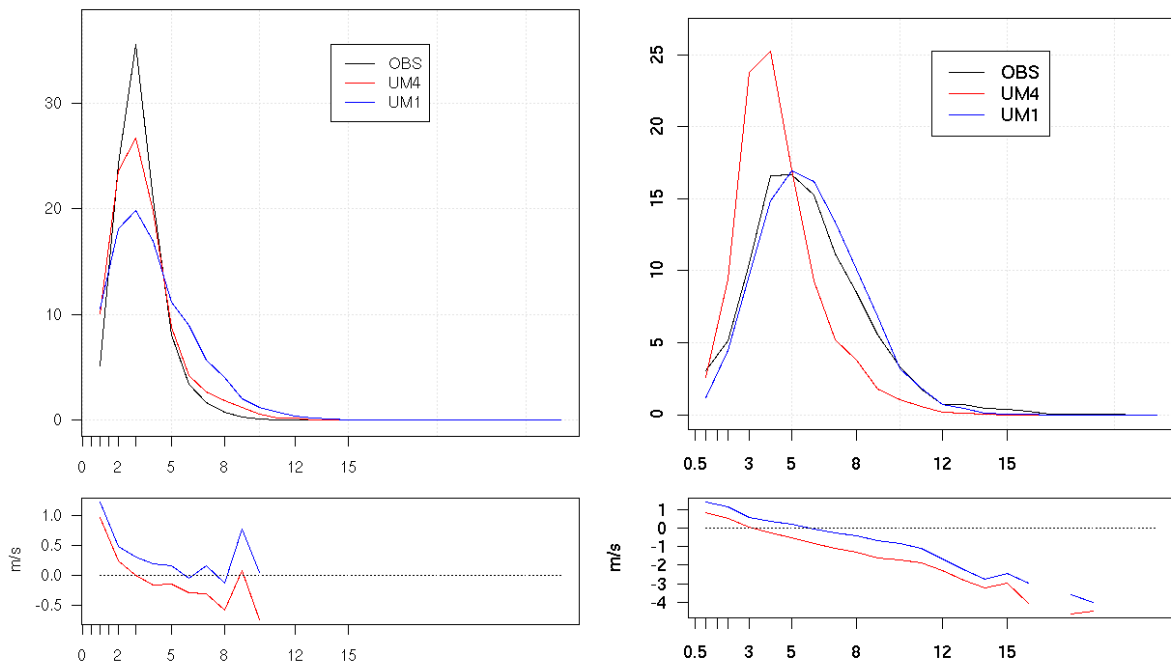
Figur 5.1 Vindstatistikk for Alna (venstre) og Bergen (høyre)



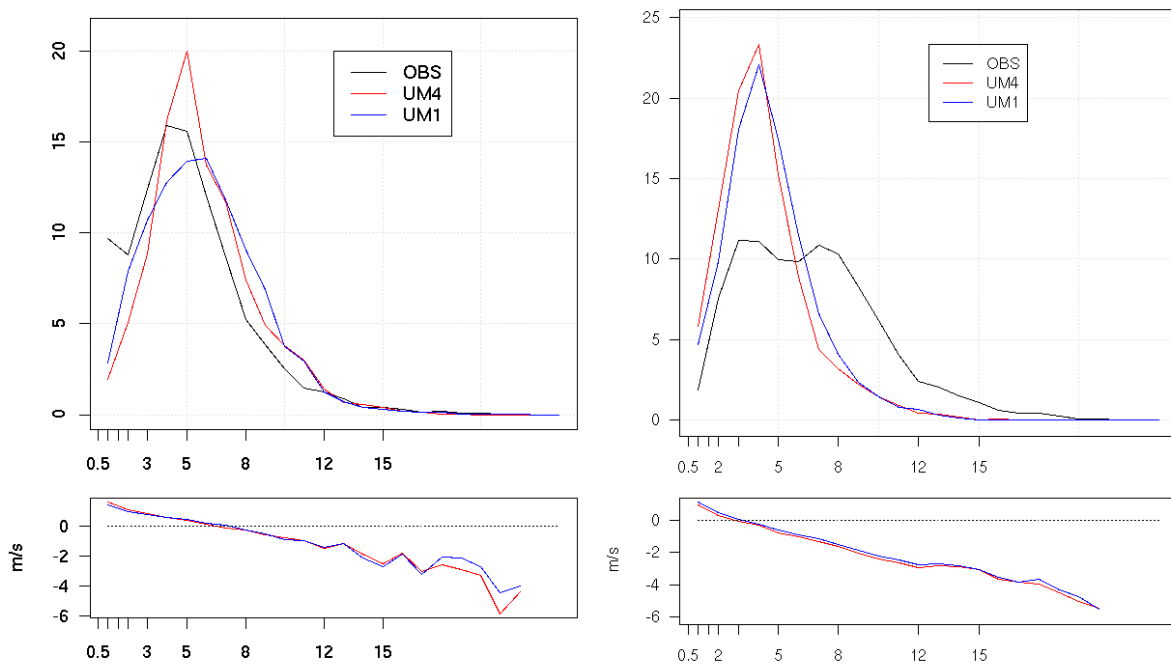
Figur 5.2 Vindstatistikk for Blindern (venstre) og Drammen (høyre)



Figur 5.3 Vindstatistikk for Gulslogen (venstre) og Kiellandsmyra (høyre)



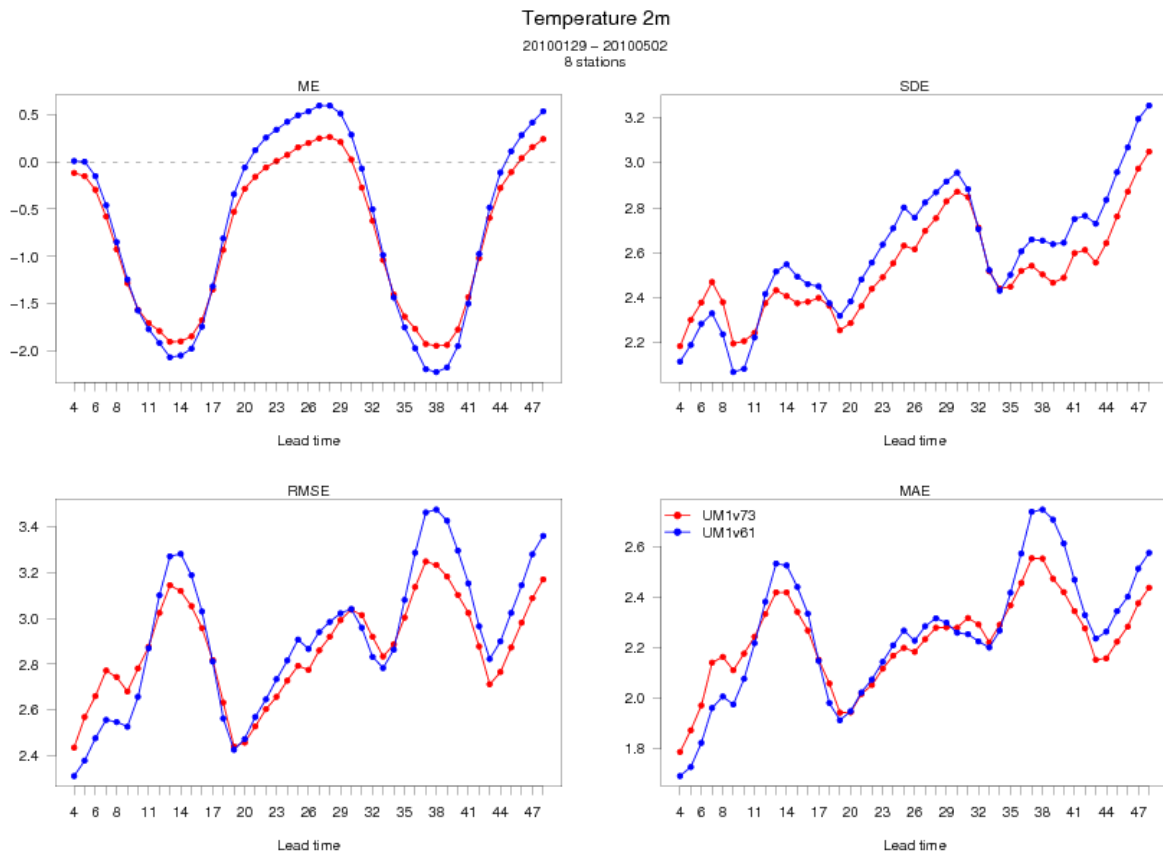
Figur 5.4 Vindstatistikk for Marienlyst (venstre) og Skien (høyre)



Figur 5.5 Vindstatistikk for Trondheim (venstre) og Valle Hovin (høyre)

5.2 Forberedelse til oppgradering av UM til versjon 7.3

UM i versjon 7.3 med 70 lag vertikaloppløsning er kjørt i test på Oslo-området fra 1. februar. Sammenligning med versjon 6.1 og 38 lag for alle tilgjengelige synopstasjoner innenfor området viser en forbedring i prognosene for 10m vind og 2m temperatur. Den nye versjonen har lavere *standardavvik av feilen (sde)*, mindre *bias* og mindre døgnlign amplitude i *bias*, og mindre *root mean square error (rmse)* og *mean absolute error (mae)* i 2m temperatur.

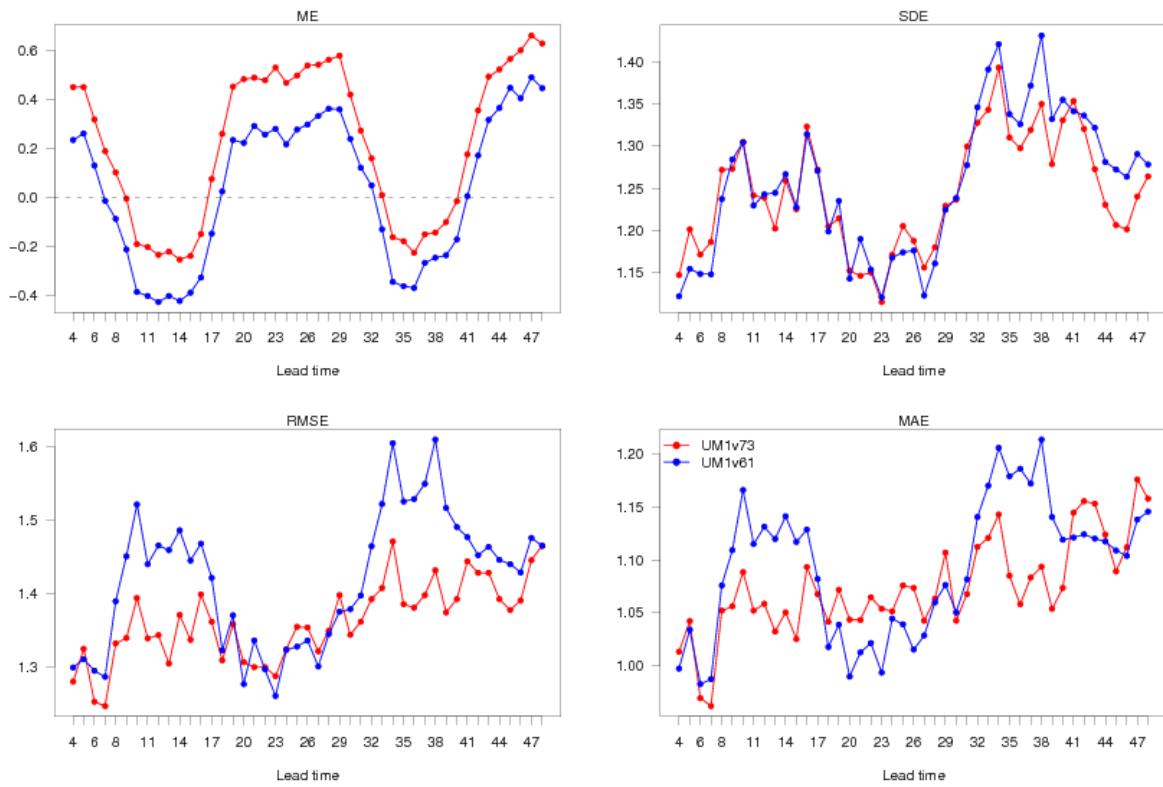


Figur 5.6 Feilstatistikk for 2 m temperatur Oslo-området

Den nye versjonen har også mindre feil i 10 m vind, spesielt på dagtid. Imidlertid er den positive biasen noe større om natta, og der er det ingen reduksjon i *rmse*, *stde* og *mae*.

Wind speed 10m

20100129 – 20100502
7 stations



Figur 5.7 Feilstatistikk for 10 m vind Oslo-området

6 ANBEFALINGER

På bakgrunn av analyse av vinterens varsling gir vi følgende anbefalinger for videreutvikling av varslingssystemet. Anbefalingene gjelder både observasjoner, meteorologimodellen, spredningsmodellen og det operasjonelle systemet.

6.1 Observasjoner

Vi har siden innføringen av UM i Bedre byluft sett stor negativ bias i temperaturprognosene, spesielt i høytrykksituasjoner om vinteren. Denne analysen viser at temperaturprognosene og inversjonsmodelleringen er kvalitativt god, og at verifikasjon mot observasjoner av 2 m temperatur ikke er en god indikator på kvaliteten av modellens temperaturberegninger. Temperaturobservasjoner i flere nivåer har stor nytteverdi, derfor bør det legges ressurser i å gjøre eksisterende observasjoner tilgjengelig og utvide nettet.

6.2 Meteorologimodellen

Analyse av vindprognosene fra meteorologiske modeller med ulik oppløsning, viser at arbeid med høyere oppløsning enn 1 km bør fortsette. Med 1 km oppløsning blir ikke områdene med lite vind større, men minimumshastigheten kommer ned i 0.2 m/s en del steder. Når oppløsningen økes til 0.33 km blir minste vindhastighet 0.1 m/s og det blir sterkere gradienter og flere detaljer i vindfeltet. Dette øker muligheten for resirkulering av luft og dermed modellering av akkumulert forurensning.

6.3 Kobling mellom meteorologi og luftkvalitetsmodellen

Områdene med liten hastighet har bare noen få kilometer i utstrekning. Data fra UM til AirQUIS overføres med 1 times tidsoppløsning, og i løpet av en time vil vind med hastighet 1 m/s flytte en partikkel 3.6 km. For at AirQUIS skal få data som viser resirkulering av lufta, vil en direkte kobling der spredningsmodellen kan få data for hvert tidsskritt (40 sekunder), øke mulighetene for at spredningsmodellen "ser" variasjoner i vindretningen og kan ta opp i seg resirkuleringen.

UM v7.3 er laget for å kjøre med 70 lags vertikaloppløsning. Det er viktig å holde den lokale met.no versjonen av UM så nær opp til Met Office sin utgivelse som mulig, fordi videre forbedringer er basert på denne versjonen. Det bør prioriteres å ha kontinuerlig oppdatering av den meteorologiske modellen og gjøre de nødvendige tilpasninger i AirQUIS.

6.3.1 Oppstart av AirQUIS-prognosen med vind fra UM som er tilpasset topografien i 1 km

En forutsetning for at konsentrasjonene fra forrige prognose skal bevares innenfor modellområdet, er at vindfeltet fra første tidsskritt har utviklet småskala strukturer med områder med lite vind. Det innebærer at data til AirQUIS fra UM for starttidspunktet bør utelates. Dette er UM 4 km data interpolert til et 1 km gitter, som ikke er dynamisk tilpasset topografien i 1 km-området. UM 1 km gjør denne tilpasningen i løpet av beregningen for den neste timen.

6.4 Luftkvalitetsmodellen

6.4.1 Utvidelse av beregningsområdet for luftkvalitetsvarslene

Som vist i Figur 3.7 og Figur 3.13 i diskusjonen av varslingsresultatene for hhv. Bergen og Oslo, benyttes et relativt lite modellområde for luftkvalitetsprognosene. Som det fremgår av

vindfeltene i disse figurene er stagnasjonsområdene i vindfeltet ikke fullstendig inneholdt i modellområdet. Dette fører til at luftforurensninger som i realiteten sirkulerer lokalt innenfor stagnasjonsområdene, i luftkvalitetsmodellen vil kunne transporteres ut over modellområdets rand. Modellranden fungerer da som et kunstig sluk og bidrar til den generelle underestimeringen av forurensningsnivåene som vi typisk ser i luftkvalitetsprognosene i disse situasjonene. Dette problemet kan reduseres ved å utvide modellområdet i AirQUIS. En negativ konsekvens av en slik utvidelse er imidlertid at beregningstiden øker og en eventuell endring av modellområdets størrelse må derfor avpasses slik at luftkvalitetsprognosene fortsatt kan produseres innenfor de gitte tidsrammene som gjelder for Bedre byluft-varslene.

6.4.2 Oppstart av AirQUIS-prognosen med foregående dags 24 timers prognose

I dagens Bedre Byluft system kjøres prognosemodellene hver natt (med prognosestart fra midnatt) og beregningene gjøres 48 timer fram i tid. Ved starten av luftkvalitetsberegningen antas det at konsentrasjonene er konstante overalt innfor modellområdet og at nivåene er lik de gjennomsnittlige bakgrunnskonsentrasjonene, d.v.s. relativt lave verdier som gjenspeiler situasjonen i områdene med lavt utslipp i de betraktede byene. Siden modellområdene for luftkvalitetsberegningene er relativt små (størrelsesorden 20 km x 20 km) vil hele luftmassen innenfor modellområdet typisk skiftes ut i løpet av natten. Dette betyr at de beregnede konsentrasjonsnivåene på morgenen er lite avhengige av forurensningsnivåene som eksisterte i modellområdet ved midnatt da beregningene startet. I ekstreme svakvindsituasjoner, for eksempel av den type som er diskutert i kapittel 3.4, eller i en situasjon der modellområdenes størrelse økes, vil imidlertid konsentrasjonsforholdene ved prognosens starttidspunkt kunne ha større betydning.

Samtidig med at modellområdet utvides, bør derfor modelloppsettet endres slik at luftkvalitetsprognosene startes med konsentrasjonsnivåene fra foregående døgn 24-timers prognose istedenfor fra bakgrunnsverdiene. Med et utvidet modellområde, som i større grad gir mulighet til å beholde forurensningene innenfor byområdene i resirkulerings- og stagnasjonssituasjoner, vil dette kunne gjøre det mulig å modellere oppbyggingen av forurensningsnivåene som observeres både i Bergen og de vestlige områdene i Oslo i forurensningsperioden i januar 2010.

6.4.3 Benytte randbetingelser fra regionale luftkvalitetsprognoser (MACC)

Som nevnt ovenfor benyttes gjennomsnittlige (d.v.s. klimatologiske) bakgrunnsverdier på de åpne modellrendene i dagens luftkvalitetsprognoser. Dette gjør at vi i dagens system ikke fanger opp episoder hvor den lokale luftkvaliteten i byene påvirkes av langtransporterte forurensningskomponenter. Dette vil for eksempel være situasjoner med tilførsel av høye ozonverdier, som lokalt i byområdene vil forårsake forhøyede nivåer av NO₂, og episoder med tilførsel av høye partikkelkonsentrasjoner som kan virke forsterkende på allerede eksisterende svevestøvproblemer i byene.

I forbindelse med europeiske forskningsprosjekter og miljøinitiativ utvikles for tiden regionale luftkvalitetsprognoser for Europa. Blant annet eksisterer allerede en preoperasjonell versjon av en slik prognosetjeneste i prosjektet MACC (**M**onitoring **A**tmospheric **C**omposition and **C**limate) som ligger under det Europeiske GMES (**G**lobal **M**onitoring for **E**nvironment and **S**ecurity) programmet. Muligheten av å benytte resultater fra slike regionale luftkvalitetsprognoser som randbetingelser i AirQUIS vil åpenbart representere en kvalitetsmessig forbedring av Bedre Byluft varslene, og det nødvendige utviklingsarbeidet som dette medfører bør innføres sammen med de øvrige utviklingsoppgavene skissert ovenfor.

6.5 Varsling for publikum

Verifikasjonsverktøyet på <http://admin.luftkvalitet.info/index.cfm> er mangelfullt og gjør det er vanskelig å sette en konkret verdi på hvor gode varslene våre er. Vi bør blant annet kunne velge valgfrie perioder innen siste 12 mnd for Treff for varlingsgraf, og samlekurven må stemme med det som ble varslet. Det kommer også fram at aggregering av varsler for flere komponenter og flere målepunkter til ett luftkvalitetsvarsel for byen, gir forskjellig resultat om man henter det ut fra varselproduksjonen eller fra evalueringen på de samme nettsidene.

7 OPPSUMMERING

I prosjektet Bedre byluft laget i sesongen 2009-10 Meteorologisk institutt, avdeling for miljørettet helsevern i Drammen kommune og av Helse- og velferdsetaten i Oslo kommune, daglige prognoser for luftkvaliteten i 10 norske byer. Prognosene baserer seg på målinger av luftkvaliteten i byene, detaljerte værprognoser fra Meteorologisk institutt sine numeriske værvarslingsmodeller og, for halvparten av byene, spredningsberegninger fra NILU sitt informasjonssystem for luftkvalitet, AirQUIS.

Modellsystemet som beregner bakgrunnen for varslene er installert på Meteorologisk institutt. Der kjøres modellene hver natt i perioden 1. oktober til 30. april under overvåking av døgnooperativt IT-personell. Modellene som kjøres er UK Met Office Unified Model (UM) med 1 x 1 km gitteroppløsning for beregning av værprognoser, og AirQUIS med 1 x 1 km gitteroppløsning for utslippsdata og beregning av luftkvalitet.

I løpet av sesongen har det vært noen endringer i modelloppsettet. Værvarslingsmodellen med 1 km oppløsning som dekker byene som ikke har AirQUIS-prognoser, er blitt oppgradert til en nyere versjon (7.3) for å unngå tekniske problemer. UM v7.3 er laget for å kjøre med 70 lags vertikaloppløsning. Økningen i vertikaloppløsning gir også økt beregningstid. Dette har vi kompensert ved å redusere prognoselengden. Vi ønsker å holde den lokale met.no versjonen av UM så nær opp til Met Office sin utgivelse som mulig, fordi videre forbedringer er basert på denne versjonen. UM med v7.3 og 70 lag er testet for Oslo-området. Sammenligning med versjon 6.1 og 38 lag viser en forbedring i prognosene for 10 m vind og 2 m temperatur.

Med AirQUIS har det vært registrert svakheter som i) problemer med å varsle episoder med høye observerte NO₂ nivåer, ii) vedvarende tendens til å overestimere de maksimale timeverdiene av PM_{2,5} og iii) problemer med å gi en riktig prognose for veistøvbidraget til PM₁₀. Linjekildemodelleringen i AirQUIS ble i løpet av vinteren gjennomgått i detalj, med resultat at det ble funnet to delvis kompensierende feil i programkoden. En foreløpig versjon av det opprettede varslingsystemet ble tatt operasjonelt i bruk i Oslo og Bergen 29. Januar 2010, mens en mer uttestet versjon ble tatt i bruk i byene Oslo, Bergen, Trondheim, Stavanger og Grenland fra den 11. Februar 2010. I tillegg til feilrettingen, ble også følgende oppdateringer innført: i) reduksjon av vedfyringsutslippet med 40 %, ii) oppdatering av sammensetningen av bilparken for 2010 og iii) oppdatering av tidsvariasjonene for trafikkutslippene. I tillegg ble veinettet i Grenland og Bergen oppdatert med data fra Nasjonal vegdatabank.

I januar opplevde Bergen en periode med svært høy forurensningskonsentrasjon over lang tid. De meteorologiske forholdene omkring oppbygging av inversjonen er analysert ved hjelp av målinger og modelldata. Disse bygger opp under en forklaring av at den dype inversjonen utvikles over flere dager og som resultat av prosesser både horisontalt og vertikalt, ved at negativ energibalanse ved bakken avkjøler luft over et areal som dreneres mot de laveste områdene i terrenget. I den samme perioden ble det registrert lokalt høy forurensningskonsentrasjon i Oslo. Vindmålinger viser sterkere vind og en østlig dreining gjennom Groruddalen, mens vinden vest i Oslo er svakere og nordlig.

UM 1 km har stor negativ bias i 2m temperatur, men synes å ha gode beregninger av den totale energifluksen. Verifikasjon av modellprognoser mot observasjoner i 2 m gir et ufullstendig bilde av modellkvaliteten, derfor er det av stor verdi å ha observasjoner i flere nivåer. Vind fra UM 1 km er sammenlignet med vind fra UM 4 km og 0.33 km. Minimumshastigheten blir lavere jo høyere oppløsning det er i modellen, og kommer ned i 0.1 m/s når oppløsningen økes til 0.33 km. En direkte kobling der spredningsmodellen kan få data

for hvert tidsskritt, vil derfor øke mulighetene for at spredningsmodellen "ser" variasjoner i vindretningen og kan ta opp i seg resirkulering av lufta. Sammenligning av vindprognoser fra UM 4 km og UM 1 km for hele vinteren viser samme tendens til bedre resultater med 1 km.

I Bergen observeres fra den 5. til den 15. januar hele 108 timer med NO₂-verdier over forurensningsforskriftens grenseverdi på 200 µg/m³ ved Danmarks plass og 47 overskridelser ved bybakgrunnsstasjonen Rådhuset. I løpet de siste fire døgnene av forurensningsperioden var store deler av sentrumsområdet i Bergen eksponert for ekstremverdier, også PM_{2,5} nivåene er svært høye. Luftmassene i sentrumsområdet luftes ikke ut i løpet av natten, og derfor er NO₂-konsentrasjonen, og til en viss grad også konsentrasjonen av PM_{2,5}, forhøyet også om natten. Den opprettede versjonen AirQUIS gir fremdeles for lave NO₂-konsentrasjoner, men konsentrasjonen av PM_{2,5} samsvarer bedre med målinger. Dette kan skyldes at PM_{2,5} har sin hovedkilde over tak, og at luftsirkulasjonen i UM er mer representativ for forholdene over tak enn på gatenivå. Selv om resultatet fra den opprettede versjonen av AirQUIS viser en klar forbedring sammenliknet med de opprinnelige prognoseverdiene, klarer systemet ikke å gjenskape observasjonsnivåene i denne forurensningsperioden.

I forbindelse med opprettingen av varslingsystemet ble også vedfyringsutslippene redusert. Effekten av dette er et betydelig bedre samsvar med observerte timeverdier. Det tyder på at UM gir en bedre beskrivelse av sirkulasjonsmønsteret og spredningsforholdene i luftmassen over hustakene (dvs. i utslippsområdet for vedfyringspartiklene) enn nede i gateplanet, som forventet, siden detaljsirkulasjonen mellom bygningene ikke beskrives i UM.

Måleverdiene i Oslo viste store forskjeller i luftkvaliteten i ulike deler av byen. De høyeste NO₂-nivåene måles ved E18 nær Hjortneskaia. Her er det også høye minimumsverdier om nettene. Målingene fra det nordøstlige Alnabru-området viser svært høye NO₂-nivåer kun den 4. januar. Opprettingene i varslingsystemet fører til at de høye konsentrasjonsnivåene i de siste dagene av perioden fanges opp, men den kraftige underestimeringen den 10. og 11. januar skyldes også at UM har for sterk vind i området. Problemet med å gjenskape de relativt høye NO₂-nivåene som observeres om natten, må delvis forklares med de relativt lave klimatologiske konsentrasjonsnivåer som benyttes som startfelt og på modellområdets åpne render.

Varslene for luftkvaliteten fra VV (Bergen) og VNN (Tromsø) er evaluert. I Trondheim er det først og fremst PM₁₀ som er hovedårsaken til nedsatt luftkvalitet. Det blir kostet og saltet med MgCl for å fjerne/binde støvet. Manglende tilbakemelding til de som varsler når det har vært utført kosting/salting, kan være grunnen til avviket mellom målt og varslet forurensningsnivå er størst på nivåene LITE og NOE. Det er generelt lite forurenset luft ved Våland i Stavanger og antall målte døgn og varslede døgn med de ulike forurensningsnivåene stemmer rimelig godt overrens. I Bergen er både støv og NO₂ et problem, med NO₂ som det mest alvorlige med hyppigst overskridelser. Det er en overvarsling av NOE forurenset luft, spesielt PM₁₀ og PM_{2,5}, på bekostning av LITE. Episoden i Bergen ble på tross av modellsvakheter godt varslet for publikum. Det er varslet SVÆRT MYE forurenset luft 7 ganger, ved Rådhuset er det observert 6 ganger.

I Tromsø er varslingen flyttet til ettermiddagen og gjort gjeldende for to dager senere, samt oppdatert varselet for neste dag. I mangel av AirQUIS har det vært behov for å registrere en del parametere som har betydning for luftkvaliteten, som temperatur, fuktighet, vind og nedbør, så vel som ikke-meteorologiske parametere som om det er utstrakt bruk av piggdekk og om det er mye trafikk i tidsrommet. På bakgrunn av disse dataene har vi bygd opp en erfaringsdatabase, som ble systematisert før denne sesongen.

I sesongen 2009-2010 ble det i Hansjordnesbukta målt 7 døgn med PM₁₀-døgnverdi på SVÆRT MYE, og ytterligere 16 døgn ble det målt MYE. På Tverrforbindelsen var det kun ett

døgn hvor det ble målt SVÆRT MYE, mens det ytterligere 11 døgn ble målt MYE PM₁₀. Varsler for PM₁₀ var helt korrekt 65-68 % av dagene, mens 90-91 % prosent var innenfor et varslingsnivå. Normalt har det ikke vært målt høye PM₁₀-verdier i Tromsø før siste halvdel av mars, når sola kommer så høyt på himmelen at den om dagen klarer å tørke opp veiene. Fra slutten av mars til 17. mai ble det i 2010 ble målt høye PM₁₀-døgnverdier 15 dager som kunne vært varslet bedre. Omstilling fra lave verdier i flere måneder til plutselig høye verdier er vanskelig å takle, uten modellverdier å støtte seg til, men det jobbes med å takle denne overgangsfasen bedre i sesongene fremover.

Referanser

Best, M. J. (2005) Representing urban areas within operational numerical weather prediction models. *Boundary Layer Meteorology* **114** pp 91-109

Derbyshire, S. H. (1999) Boundary-Layer Decoupling over Cold Surfaces as a Physical Boundary-Instability. *Boundary Layer Meteorology* **90** pp 297-327

Laupsa, H., Denby, B., Larssen, S. and Schaug, J. (2008) Source apportionment of particulate matter (PM_{2,5}) in urban areas using dispersion, receptor and inverse modelling. *Atmospheric Environment Vol* **43/31**, 4733-4744.

Slørdal, L. H. og Sundvor, I. (2010a) Tiltaksberegninger for PM_{2,5}/PM₁₀ i Oslo og PM₁₀ i Trondheim for 2020 (NILU OR 1/2010)

Slørdal, L. H. og Sundvor, I. (2010b) Oppdatering av trafikkutslippets tidsvariasjon i AirQUIS (NILU OR 4/2010)

Ødegaard, V., K. I. Gjerstad og N. Bjergene (2007) Bedre byluft Evaluering av prognosemodell for meteorologi og luftkvalitet vinteren 2006/2007. met.no report 08/2007, Meteorologisk institutt.

(http://met.no/Forskning/Publikasjoner/Publikasjoner_2007/filestore/report08_2007.pdf).

Ødegaard, V., L. H. Slørdal og Thomas Olsen (2009) Bedre byluft. Prognoser for meteorologi og luftkvalitet i norske byer. met.no report 12/2009, Meteorologisk institutt.

(http://met.no/Forskning/Publikasjoner/Publikasjoner_2009/filestore/report12_2009.pdf)