

Evaluering av tidsprofiler for vedfyring basert på airMont-data

Erik Askov Mousing, Eivind Grøtting Wærsted

Avdeling for klimamodellering og luftforurensning, Meteorologisk Institutt

2025-10-01

Innledning

Luftforurensning er et betydelig miljø- og helseproblem, spesielt i områder nær utslippskilder som veitrafikk og vedfyring. Vedfyring er en av de største enkeltkildene til partikkelutslipp (PM) i Norge, og forståelsen av dens innvirkning på lokal luftkvalitet er avgjørende for å utvikle effektive tiltak.

uEMEP-modellen brukes til å simulere spredning og konsentrasjon av forurensninger fra lokale kilder, basert på værdata og utslippsdata. Selv om modellen gir verdifull innsikt, har den tradisjonelt vært avhengig av indirekte data og antakelser om fyringsmønstre. Med utviklingen av sensorteknologi fra airMont AS, som gir direkte målinger av vedfyring, har vi nå muligheten til å evaluere modellens antakelser og potensielt forbedre nøyaktigheten. Denne rapporten fokuserer på evaluering av tidsprofiler for vedfyring i uEMEP, og hvordan direkte målinger kan bidra til en bedre modellering av luftforurensning.

Bakgrunn

Lokal luftforurensning, spesielt nær utslippskilder som veitrafikk og vedfyring, kan variere betydelig. For å modellere disse variasjonene benyttes uEMEP, som simulerer spredning av forurensning ved hjelp av en Gaussisk plume-modell (se Denby et al., 2020 og Mu et al., 2022). Modellen tar hensyn til værdata som vindhastighet og atmosfærisk stabilitet, og simulerer spredningen fra forskjellige kilder. Resultatene brukes til å beregne konsentrasjonen av forurensning nær bakken med høy oppløsning for partikler som svevestøv ($PM_{2.5}$ og PM_{10}) og gasser som nitrogensyd (NO_2).

For vedfyring, som regnes som den største enkeltkilden til PM-utslipp i Norge, benyttes utslippsdata med en oppløsning på 250 m, basert på MetVed-modellen (se Grythe et al. 2019, Grythe and Lopez-Aparicio, 2020). I uEMEP fordeles utslipp fra vedfyring over årets dager ved hjelp av døgnmiddeltemperaturen. Fyringen starter ved 11 °C og øker lineært med lavere temperaturer, basert på konseptet “graddager” (på engelsk “heating degree days” eller HDD). I tillegg fordeles utslippene gjennom døgnet ved hjelp av en døgnsyklus som tar hensyn til når folk er hjemme og fyrer, med 50 % høyere vedforbruk i helgene (basert på Aasestad, 2010, se Lopez-Aparicio et al., 2018).

Temperaturterskelen for fyring og døgnsyklusen har avgjørende innvirkning på fordelingen av PM-utslipp i uEMEP og dermed også på de beregnede konsentrasjonene. Verdiene er basert på indirekte informasjon om hvor og når folk fyrer, samt interne sensitivitetsstudier. Det har imidlertid ikke vært mulig å evaluere dette direkte, da målinger av fyringsmønstre ikke har vært tilgjengelige. Nylig har direkte målinger fra sensorer plassert i piper hos huseiere blitt tilgjengelige, takket være teknologi fra airMont AS. Disse sensorene måler temperatur i skorsteiner og er utviklet for å optimisere feierrutiner og gi huseiere innblikk i egen fyringspraksis. Disse dataene er verdifulle for å verifisere og potensielt forbedre modelleringen av vedfyringsutslipp siden de gir konkret informasjon om fyringsmønstre.

Formål

Formålet med denne rapporten er å evaluere tidsprofiler for vedfyring i uEMEP-modellen ved hjelp av direkte målinger fra airMont-sensorer. Modelleringen av utslipp fra vedfyring har hittil vært basert på indirekte data og antakelser. Med tilgjengeligheten av konkrete data fra sensorer kan vi nå verifisere og forbedre modellens nøyaktighet. Ved å sammenligne de målte fyringsmønstrene med eksisterende tidsprofiler, ønsker vi å identifisere potensielle avvik og justere modellparametrene for å oppnå mer presise estimater av luftforurensning forårsaket av vedfyring i Norge. I tillegg ønsker vi å evaluere parameteriseringen av temperaturterskelverdien for vedfyring i uEMEP-modellen ved å sammenligne de målte fyringsmønstrene med daglige gjennomsnittstemperaturer i området.

Metodikk og data

Datasettet fra airMont dekker perioden 1 juni 2023 til 20 desember 2024, og omfatter 167.386 registrerte fyringer fra 1093 forskjellige ildsteder. For hvert ildsted har airMont delt data for starttidspunkt og sluttidspunkt av hver fyring. Av personvern hensyn ble posisjonen til hvert ildsted i datasettet kun angitt med postnummer og kommune. Målingene er hentet fra syv kommuner, med størstedelen av fyringene registrert i Lindesnes, Lyngdal, Kvinesdal og Halden. Dette innebærer at dataene hovedsakelig representerer Sørlandet og Sørøst-Norge, noe som kan påvirke generaliseringen til hele landet. Antallet sensorer øker i løpet av perioden, hovedsakelig grunnet en økning i antall sensorer i Halden kommune (Tabell 1). I analysene korrigeres det for endringer i det totale antallet sensorer der dette er relevant.

For å analysere tidsprofiler for vedfyring på ukentlig nivå ble antall aktive ildsteder beregnet for hver time i uken basert på målingene i datasettet. Hver registrering ble tilordnet en spesifikk time i uken ("hour_of_week") ved å kombinere ukedag og klokkeslett fra starttidspunktet. Registreringer med manglende eller ugyldige tidsdata ble fjernet, og total fyringstid for hver registrering ble beregnet som tidsintervallet mellom start- og sluttidspunkt. Denne tiden ble deretter fordelt på de aktuelle timene, slik at hver time innenfor intervallet ble kreditert én oppføring.

Kommune	2023	2024
Aaseral	15	17
Farsund	24	24
Haegebostad	15	15
Halden	474	803
Kvinesdal	32	34
Lindesnes	384	415
Lyngdal	88	101

Tabell 1: Maksimalt antall aktive sensorer per kommune per år.

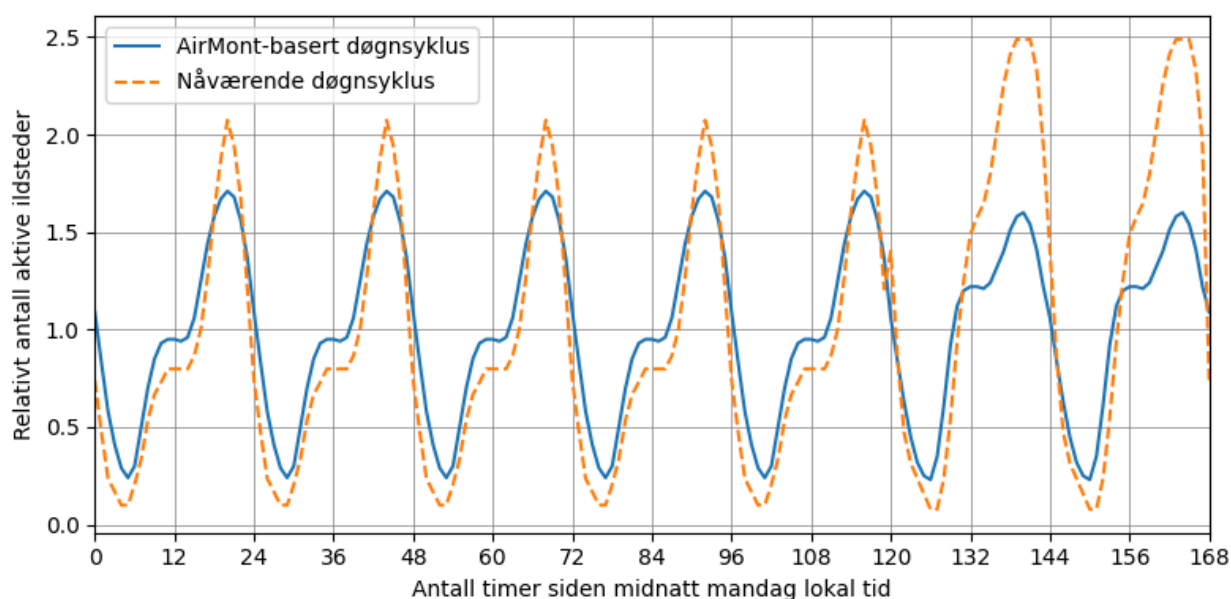
Resultatene ble først aggregert til en ukentlig tidsprofil som viste antall aktive ildsteder per time. Deretter ble gjennomsnittlige profiler for hverdager og helger beregnet ved å skille ut ukedager (mandag til fredag) og helgedager (lørdag og søndag). For hver gruppe ble gjennomsnittlig aktivitet per time på døgnet beregnet, og disse ble kombinert til en fullstendig ukentlig profil. Til slutt ble profilen normalisert slik at den totale bruken summerte til 168 timer, tilsvarende antall timer i en uke. Dette resulterte i en standardisert og sammenlignbar fremstilling av fyringsmønstrene gjennom hele uken.

For å analysere sammenhengen mellom fyringsmønstre og temperatur ble meteorologiske data kombinert med geografisk informasjon for norske kommuner. For hver dag ble gjennomsnittlig lufttemperatur (2 meter over bakken) og vindhastighet (10 meter over bakken) beregnet for hver kommune i datasettet basert på Meteorologisk institutt sin landsdekkende væranalyse på 1 km oppløsning (Lussana et al., 2019). Følt temperatur ("wind chill temperature") ble også beregnet for å reflektere opplevd kulde (se Osczevski og Bluestein, 2005). Resultatene ble samlet i et datasett som kobler daglige gjennomsnittstemperaturer og vindforhold til hver kommune. Dette datasettet ble deretter brukt til å analysere hvordan temperatur og vind påvirker fyringsmønstre.

Resultater og diskusjon

Sammenligning av tidsprofiler

Døgnvariasjonen i vedfyring for hver ukedag, basert på airMont-data og den nåværende antatte syklusen, er presentert i Figur 1. Det er generelt mye likhet mellom de to tidsprofilene, med lite vedfyring om natten, en økning om morgenen, etterfulgt av et platå i løpet av dagen, og en ytterligere økning på ettermiddagen/kvelden, med maksimal vedfyring kl. 21 lokal tid. I tillegg er det felles for begge profilene at stigningen om morgenen i helgene er kraftigere, med et høyere platå i løpet av dagen.

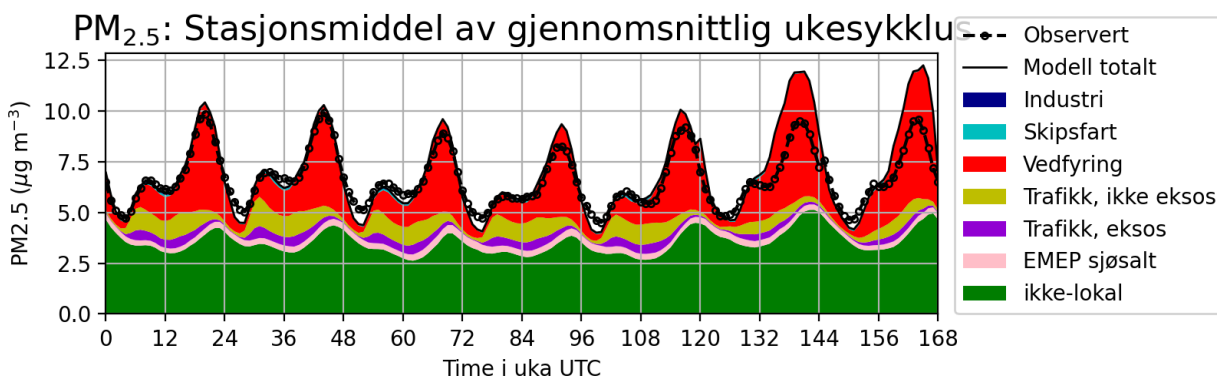


Figur 1: Uke- og døgnvariasjon i vedfyring basert på airMont-data (blå linje) og nåværende profil (oransje linje).

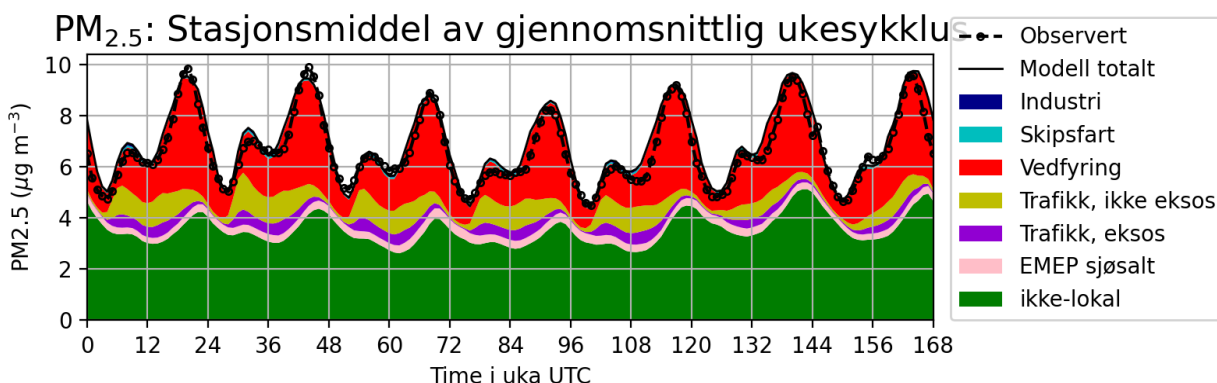
Til tross for disse likhetene finnes det betydelige forskjeller mellom profilene. Generelt gir airMont-dataene mer vedfyring om natten sammenlignet med den nåværende profilen. I ukedagene er platået gjennom dagen høyere, mens den maksimale aktiviteten på kvelden er lavere enn i den nåværende profilen. I helgene er både utslippene i løpet av dagen og de maksimale utslippene på kvelden betydelig lavere enn i den nåværende profilen. Sensordata fra airMont tyder på at det kun er ca. 3 % mer vedfyring i helgene enn på hverdager og støtter derfor ikke den nåværende døgnsyklusen med 50 % økt vedfyring i helgene. Selv om diskrepansen i ukedagene er mindre, indikerer analysen at døgnsyklusen for både ukedager og helger med fordel kan justeres.

For å teste effekten av den anvendte døgnsyklusen, ble det utført to eksperimenter med uEMEP-modellen: én kjøring med den nåværende døgnsyklusen, og én kjøring med døgnsyklus basert på airMont-datasettet. $PM_{2,5}$ -konsentrasjonen ble modellert på alle

målestasjoner i Norge for hver time i året 2023 med tilgjengelige måledata¹. Gjennomsnittskonsentrasjonen over alle uker og målestasjoner er presentert for de to eksperimentene i Figur 2 og 3. Dessverre ligger ingen av målestasjonene for PM_{2.5} i kommunene som har sensordata, så vi har ikke kunnet se spesifikt på resultater for disse kommunene.



Figur 2: Modellerte og observerte PM_{2.5}-konsentrasjoner for gjennomsnitt av alle uker og alle målestasjoner i Norge for år 2023, for den originale rekjøringen av år 2023, der nåværende døgnsyklus for vedfyring er brukt. Fargene representerer bidraget fra forskjellige sektorer.



Figur 3: Som figur 2, men for kjøringen som bruker tidsprofilen for vedfyring basert på airMont-datasettet.

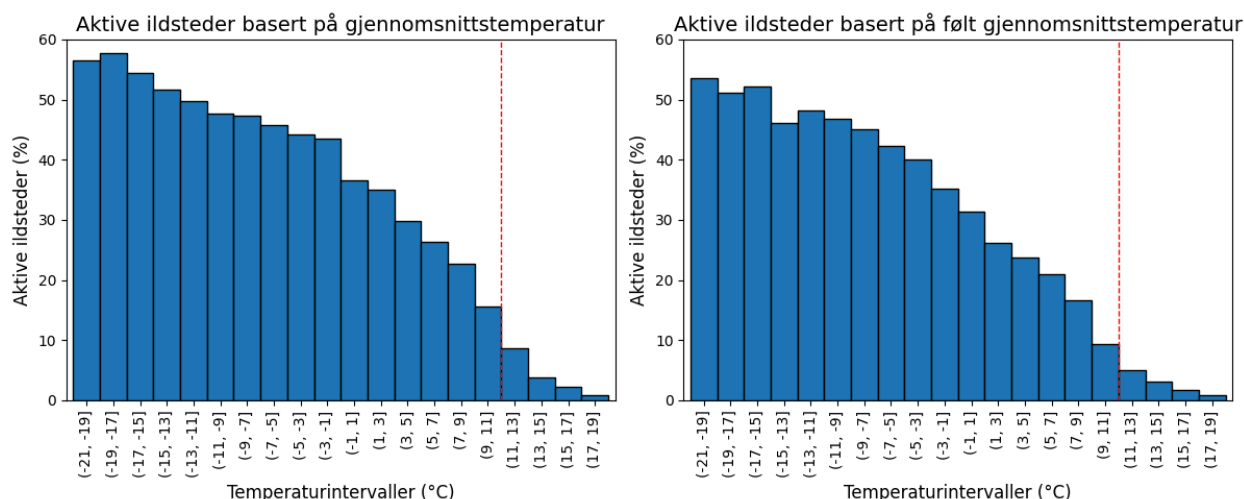
Resultatene viser en klar effekt av å endre tidsprofilen fra den nåværende profilen til en profil basert på airMont-data, som også samsvarer med forskjellene i profilene vist i Figur 1. I figurene fremgår bidragene fra forskjellige utslippssektorer. Disse er like for alle sektorer unntatt vedfyring (angitt som rødt bidrag i figurene). Endringer i de modellerte konsentrasjonene tolkes dermed direkte som en effekt av endringer i utslippsprofilen for vedfyring.

¹ Kjøringene tok utgangspunkt i rekjøringen av år 2023 som ble laget for tjenesten Luftkvalitet i Norge: Verktøy og data. Kun de lokale spredningsberegningene ble gjentatt, dvs. utslipp fra innenfor et 10x10 km område rundt målestasjonene ble beregnet på nytt, mens bakgrunnskonsentrasjonene beregnet med EMEP-modellen er uendret.

Ved bruk av den nåværende profilen er det relativt godt samsvar mellom modell og observasjoner i ukedagene, men det oppstår samtidig overestimering av de maksimale konsentrasjonene på kvelden og underestimering av konsentrasjonene om natten. I helgene viser modellen tydelig overestimering av konsentrasjonene på dag- og kveldstid. Når man bytter til utslippsprofilen basert på airMont-data, observeres en klar forbedring i ukemønsteret for konsentrasjoner. Dette inkluderer en bedre representasjon av både de maksimale konsentrasjonene på kvelden og konsentrasjonene om natten, og redusert bias i konsentrasjonene i helgene. Denne justeringen må anses som en signifikant forbedring av modellen når det gjelder utslipp fra vedfyring og beregningene for konsentrasjonen av PM_{2.5}.

Temperaturterskelverdi for vedfyring

Som beskrevet i innledningen benytter uEMEP-modellen "graddager" med en terskelverdi på 11 °C for å kontrollere når oppvarming ved bruk av vedfyring starter. Graddager er en variabel som beregnes basert på forskjellen mellom en gitt terskelverdi og den daglige gjennomsnittstemperaturen. Når temperaturen faller under 11 °C, anses det som nødvendig med oppvarming for å opprettholde komfortable innendørstemperaturer. Denne tilnærmingen er sentral i modelleringen av utslipp fra vedfyring i uEMEP og styrer hvordan værforhold påvirker oppvarmingsbehovet.



Figur 4: Relativt antall aktive ildsteder mot temperaturintervaller for alle målinger basert på daglig gjennomsnittstemperatur (venstre) eller følt gjennomsnittstemperatur (høyre). Den røde linja ved 11°C representerer den nåværende terskelverdi for vedfyring i uEMEP-modellen.

I Figur 4 vises det relative antall aktive ildsteder mot intervaller av gjennomsnittstemperatur for alle registreringer av fyringer. Grafen presenterer resultater for temperatur (venstre) og følt temperatur (høyre), som inkluderer effekten av vindforhold ("wind chill temperature"). Den røde linja representerer den nåværende terskelverdien på 11 °C. Det generelle mønsteret er det samme for begge temperaturestimer, med en økning i vedfyring ved fallende temperaturer. Det fremgår også at vedfyring foregår i hele temperaturspennet, og at økningen flater ut ved svært lave temperaturer.

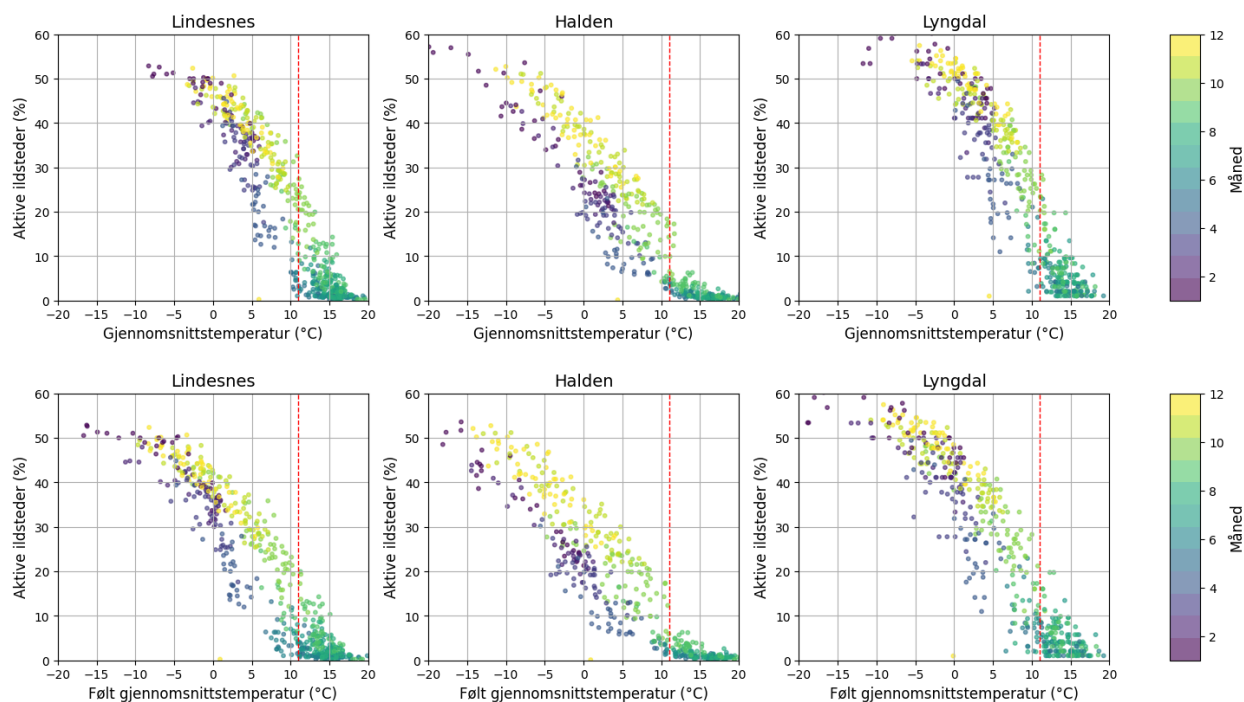
Når det gjelder terskelverdien for vedfyring, indikerer analysen at det ikke finnes en skarp overgang ved 11 °C. Overgangen fra å ikke fyre til å fyre er glidende, og ikke en abrupt endring. Likevel kan en terskelverdi være en praktisk tilnærming, ettersom det relative antallet aktive ildsteder er lavt ved høyere temperaturer. En terskelverdi skal representere et punkt hvor antallet aktive ildsteder er minimalt ved temperaturer over denne verdien, samtidig som bruken øker kraftig ved temperaturer under denne verdien. Basert på resultatene i Figur 4 (venstre), synes 11 °C å være en rimelig representasjon av terskelverdien. Videre viser Figur 4 (høyre) at antallet aktive ildsteder over 11 °C reduseres ytterligere når vindforhold tas med i beregningen av følt temperatur.

Regionale forskjeller i vedfyring

Når analysen brytes ned per kommune (Figur 5), fremkommer det lignende mønstre som i den generelle analysen, med en økning i antall aktive ildsteder ved fallende temperaturer. Likevel varierer det hvor godt dataene støtter terskelverdien på 11 °C mellom kommunene. For Halden kommune er det nærmest et perfekt samsvar mellom terskelverdien på 11 °C og økningen i antallet aktive ildsteder. I Lindesnes og Lyngdal er sammenhengen mindre klar, og overgangen fra å ikke fyre til å fyre er mer glidende. Likevel viser dataene en tendens til økt vedfyring når temperaturen faller under terskelverdien. Basert på disse analysene er det derfor ingen grunn til å endre den nåværende terskelverdien på 11 °C. Samtidig fremgår det regionale forskjeller som kan være interessante å analysere videre.

Kommunene Lindesnes og Lyngdal ligger begge på Sørlandet, med de største byene Mandal og Lyngdal plassert langs kysten. Halden kommune, derimot, ligger i Sørøst-Norge, nær Sveriges vestkyst, og er mer skjermet for vind sammenlignet med de to andre kommunene. I denne sammenhengen er det relevant å analysere effekten av vind, som både påvirker følt temperatur og varmetap fra bygninger.

Resultatene i Figur 6 viser at for Halden kommune har vind ingen merkbar effekt på antallet aktive ildsteder. For Lindesnes og Lyngdal derimot, reduseres antallet aktive ildsteder ved temperaturer over 11 °C når vindforhold inkluderes i beregningen av følt temperatur. Dette tyder på at vindforholdene har større betydning i kystnære områder, hvor eksponering for vær og vind er høyere. Samtidig er det også flere registreringer med lavt antall aktive ildsteder akkurat under terskelverdien i disse kommunene sammenlignet med resultatene for temperatur alene (Figur 5). Det er dermed ikke klart om vindjustert temperatur bedre vil kunne representere regionale forskjeller i vedfyringsutslipp i modellen sammenlignet med å bruke temperatur alene.



Figur 5: Prosentvis antall aktive ildsteder mot gjennomsnittstemperatur (øverste rekke) og følt gjennomsnittstemperatur (nederste rekke) for kommunene Lindesnes, Halden og Lyngdal. Fargene representerer måneder (1=januar, 12=desember), og den røde linja ved 11°C angir den nåværende terskelverdien for vedfyring i uEMEP-modellen.

Sesongvariasjoner i vedfyring

Uavhengig av hvordan temperaturen beregnes, viser analysene, ikke overraskende, at høye temperaturer og lavt antall aktive ildsteder samsvarer med sommermånedene. For vintermånedene er det imidlertid en tendens til at relativt flere ildsteder er aktive i høst- og tidlig vintermånedene (oktober til desember) sammenlignet med slutten av vinteren og tidlig vår (januar til april) ved samme temperatur. Dette mønsteret er tydeligst for kommunene Lindesnes og Halden, men er også til stede i Lyngdal kommune.

Det er uklart hva som forårsaker dette mønsteret, men det kan skyldes forskjeller i værforhold som ikke er inkludert i analysene, eller at kulde oppleves forskjellig i starten av vinteren sammenlignet med senere på sesongen. En annen mulig forklaring kan være endringer i fyringspraksis gjennom vinteren, som eksempelvis endringer i brenselstilgang eller økonomiske hensyn.

Konklusjon

Denne rapporten har evaluert tidsprofiler for vedfyring i uEMEP-modellen ved hjelp av direkte målinger fra airMont-sensorer. Resultatene viser at den nåværende døgnsyklusen i uEMEP-modellen kan forbedres. Sensordataene indikerer at vedfyring skjer oftere om natten og mindre intensivt i helgene enn det som tidligere har vært antatt. Ved å justere døgnsyklus i modellen basert på disse dataene, oppnås en bedre representasjon av observerte konsentrasjonsnivåer av PM_{2.5}.

Når det gjelder temperaturskelverdien for vedfyring, viser analysene at 11°C fremdeles er en rimelig tilnærming, selv om det er regionale forskjeller som kan være interessante å analysere videre. Ut fra sammenligningen mellom de tre kommunene, kan det se ut som en terskel basert på følt temperatur kan være en bedre indikasjon på vedfyring enn temperatur alene, men ytterligere analyser er nødvendige for å belyse effekten av regionale forskjeller og meteorologiske forhold og generalisere til hele landet.

Sesongvariasjoner i vedfyring, der flere ildsteder ser ut til å være aktive i høst- og tidlig vintermånedene sammenlignet med senere på vinteren, gir også grunn til videre undersøkelser. Dette har også potensial til å øke forståelsen av hvordan ulike faktorer, som værforhold, opplevd kulde, samt kulturelle og økonomiske hensyn påvirker oppvarmingsbehovet gjennom året.

Direkte målinger av vedfyring fra airMont-sensorer representerer et viktig fremskritt for modelleringen av luftforurensning i Norge og har allerede gitt oss mulighet til å forbedre ukesyklusen for vedfyring i modellen. Analysen i denne rapporten brukte kun data om tidspunkt for fyringene. AirMont har vist at de underliggende temperatur-dataene fra sensorene også kan brukes til å estimere utslipp fra hver fyring, ved at tidsserien av temperatur kan predikere kvaliteten og intensiteten på fyringen når det kobles med kjente metadata om ildsted og skorstein. En mer sofistikert analyse som tok hensyn til disse faktorene kunne gi bedre innsikt i årsaker til avvik mellom modellerte og målte konsentrasjoner av PM_{2.5} om vinteren, særlig dersom sensorer etter hvert blir installert i kommuner som har målestasjoner for PM_{2.5}. Dersom sensor blir installert i flere deler av landet, vil også en analyse av regionale forskjeller i fyringsmønstre kunne gjøres.

Forbedringer i utslippene for vedfyring som går inn i uEMEP-modellen vil være viktige for å kunne oppnå mer nøyaktige estimater av PM_{2.5}-konsentrasjoner. En mer presis modellering vil gi bedre grunnlag for å utvikle effektive tiltak for å redusere luftforurensning og beskytte folkehelsen.

Anerkjennelser

Vi takker airMont AS for å ha delt anonymiserte data om tidspunkt for vedfyring i hvert enkelt ildsted med oss.

Referanser

Aasestad, K., 2010. Vedforbruk, fyringsvaner og svevestøv. Dokumentasjon og resultater fra undersøkelse i Drammen 2006/2007 (Notater, 7/2010). Oslo-Kongsvinger: Statistics Norway.

Denby, B.R., Gauss, M., Wind, P., Mu, Q., Grøtting Wærsted, E., Fagerli, H., Valdebenito, A., Klein, H., 2020. Description of the uEMEP_v5 downscaling approach for the EMEP MSC-W chemistry transport model. *Geosci. Model Dev.* 13, 6303–6323.
<https://doi.org/10.5194/gmd-13-6303-2020>

Grythe, H., Lopez-Aparicio, S., Vogt, M., Vo Thanh, D., Hak, C., Halse, A.K., Hamer, P., Sousa Santos, G., 2019. The MetVed model: development and evaluation of emissions from residential wood combustion at high spatio-temporal resolution in Norway. *Atmos. Chem. Phys.* 19, 10217–10237. <https://doi.org/10.5194/acp-19-10217-2019>

Grythe, H., H., Lopez-Aparicio, S. (2020). MetVed v.2.0. Improvement and update of the MetVed emission model for residential wood combustion. NILU rapport 19/2020. <https://nilu.no/publikasjon/1853518/>

Lopez-Aparicio, S., Grythe, H., Vogt, M., 2018. Model development for high-resolution emissions from residential wood combustion. NILU report 32/2018.
<http://hdl.handle.net/11250/2584182>

Lussana, C., Seierstad, I.A., Nipen, T.N., Cantarello, L. (2019). Spatial interpolation of two-metre temperature over Norway based on the combination of numerical weather prediction ensembles and in situ observations. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 145, 3626–3643. <https://doi.org/10.1002/qj.3646>

Mu, Q., Denby, B.R., Wærsted, E.G., Fagerli, H., 2022. Downscaling of air pollutants in Europe using uEMEP_v6. *Geosci. Model Dev.* 15, 449–465. <https://doi.org/10.5194/gmd-15-449-2022>

Osczevski, R., Bluestein, M., 2005. The new wind chill equivalent temperature chart. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 86, 1453–1458. <https://doi.org/10.1175/BAMS-86-10-1453>