



Danmarks Miljøundersøgelser
Aarhus Universitet

Arbejdsrapport fra DMU nr. 235, 2007

Partikler og organiske forbindelser fra træfyring – nye undersøgelser af udslip og koncentrationer

[Blank page]



Danmarks Miljøundersøgelser
Aarhus Universitet

Arbejdsrapport fra DMU nr. 235, 2007

Partikler og organiske forbindelser fra træfyring – nye undersøgelser af udslip og koncentrationer

Marianne Glasius¹
Pia Konggaard
Jesper Stubkjær¹
Rossana Bossi¹
Ole Hertel¹
Matthias Ketzel¹
Peter Wåhlin¹
Ole Schleicher²
Finn Palmgren¹

¹ Danmarks Miljøundersøgelser

² Force Technology

Datablad

Serietitel og nummer:	Arbejdsrapport fra DMU nr. 235
Titel:	Partikler og organiske forbindelser fra træfyring – nye undersøgelser af udslip og koncentrationer
Forfattere:	Marianne Glasius, Pia Konggaard, Jesper Stubkjær, Rossana Bossi, Ole Hertel, Matthias Ketzel, Peter Wählin, Ole Schleicher og Finn Palmgren
Afdelinger:	Afdeling for Atmosfærisk Miljø & Force Technology
Udgiver:	Danmarks Miljøundersøgelser© Aarhus Universitet
URL:	http://www.dmu.dk
Udgivelsesår:	Marts 2007
Faglig kommentering:	Helge Rørdam Olesen
Finansiell støtte:	Miljøstyrelsen og Det Strategiske Forskningsråd
Bedes citeret:	Glasius, M., Konggaard, P., Stubkjær, J., Bossi, R., Hertel, O., Ketzel, M., Wählin, P., Schleicher, O. & Palmgren, F. Danmarks Miljøundersøgelser. 42s.- Arbejdsrapport fra DMU, nr. 235 http://www.dmu.dk/Pub/AR235.pdf
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
Sammenfatning:	Denne rapport omhandler nye undersøgelser af udslip, koncentrationer og spredning af partikler og organiske gasser fra træfyring. Målinger af udslip blev foretaget direkte på 19 private villaskorstene i Gundsømagle, og der blev analyseret for indhold af fine partikler, PAH og dioxin (PCDD/F). Udendørs luftforurening fra træfyring blev målt i et villakvarter i Vindinge. Her blev luften undersøgt for indhold af partikler og PAH samt brænderøgs-markører levoglucosan og mannosan. Målinger af dioxin i udeluften blev desuden foretaget gennem et år i Gundsømagle. Niveauet af partikelforurening i Vindinge og Gundsømagle blev beregnet med den gaussiske røgfanemodell OML-Multi, hvorefter modellens resultater kunne verificeres i forhold til de målte værdier. Endelig blev der foretaget inde-ude målinger af PM _{2,5} , levoglucosan og sod i to parcelhuse i Randers. Her blev sammenhængen mellem indendørs og udendørs niveauer undersøgt, og de indendørs niveauer blev sammenholdt med brug af brændeovn i det ene hus.
Emneord:	Brænderøg, partikler, PAH, dioxin, organiske forbindelser, OML Multi
Layout:	Majbritt Ulrich
ISSN (elektronisk):	1399-9346
Sideantal:	42
Internetversion:	Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) på DMU's hjemmeside http://www.dmu.dk/Pub/AR235.pdf
En udskrift kan købes hos:	Miljøministeriet Frontlinien Rentemestervej 8 2400 København NV Tlf.: 7012 0211 frontlinien@frontlinien.dk

Indhold

Sammenfatning 5

Summary 7

1 Introduktion 9

2 Emission af partikler, PAH og dioxin fra træfyring 11

- 2.1 Indledning 11
- 2.2 Metodebeskrivelser 12
- 2.3 Resultater 14
- 2.4 Konklusion 20

3 Koncentrationer af partikler og markører for brænderøg i et boligområde 22

- 3.1 Indledning 22
- 3.2 Beskrivelse af målested og metoder 23
- 3.3 Kortlægning af brændeovne og -fyr 24
- 3.4 Måleresultater 25
- 3.5 Modellering af forurening fra brændeovne 28
- 3.6 Konklusion 30

4 Indendørs niveauer af partikler fra træfyring 32

- 4.1 Indledning 32
- 4.2 Metoder 32
- 4.3 Resultater 33
- 4.4 Konklusion 38

5 Referencer 40

Sammenfatning

Danske såvel som udenlandske studier har vist, at fyring med træ kan føre til forhøjede niveauer af luftens indhold af partikler og forskellige organiske forbindelser i lokalområdet. Luftforureningen indebærer en sundhedsrisiko for lokalbefolkningen, men denne risiko er dårligt belyst. Endvidere er antallet af undersøgelser som belyser emissioner, koncentrationer og sundhedseffekter af luftforurening fra træfyring relativt begrænset. Denne rapport har til formål at sammenfatte en række studier som skal medvirke til en bedre forståelse af omfanget af luftforurening fra fyring med træ i brændeovne og -kedler. Undersøgelserne omfatter studier af udslip samt resulterende udendørs forureningsniveauer i to sjællandske landsbyer: Gundsømagle (december 2003 – februar 2004) og Vindinge (februar – april 2005). Endvidere er der foretaget undersøgelser af indendørsniveauer i to parcelhuse i Randers (januar-februar 2006).

Målinger af udslip blev foretaget direkte på 19 private skorstene i Gundsømagle. Fra disse skorstene blev i alt 39 røggasprøver indsamlet og efterfølgende analyseret for partikler, PAH og dioxin (PCDD/F). Resultaterne afslørede at udslippene varierer flere størrelsesordener mellem de forskellige fyringsanlæg. I gennemsnit fandt man et udslip af partikler på 6,2 g/kg træ afbrændt i fyringsanlægget, men resultaterne varierede fra 0,1 og op til 23,5 g/kg træ. For de laveste værdier kan målefejl ikke udelukkes, da analysemetoden er forbundet med en vis usikkerhed og to målinger skiller sig ud med udslip på hhv. 0,1 og 0,2 g/kg træ. Udslippet af PAH'er viste et gennemsnit på 57 mg/kg træ, men resultaterne udviste også i dette tilfælde store variationer med værdier på mellem 4 og 380 mg/kg træ; således en faktor 90 mellem laveste og højeste målte værdi. Udslippet af dioxiner er opgjort efter internationale toksicitetsækvivalenter I-TEQ og igen viste resultaterne store variationer i udslippene. I gennemsnit fandt man et udslip på 19 ng I-TEQ, men resultaterne varierede mellem 0,027 og 140 ng I-TEQ – dvs. en faktor 5000 mellem højeste og laveste udslip. Generelt viser resultaterne, at få enkeltkilder bidrager til hovedparten af udslippet. Således kan en betydelig begrænsning af udslippet opnås gennem en indsats rettet mod de mest forurenende kilder.

Målinger af den udendørs forurening med partikler i Vindinge viste en forhøjet koncentration i forhold til baggrundsniveauet af PM_{2.5} på 1,2 µg/m³ over døgnet og 2,6 µg/m³ i aftentimerne (i den 5-ugers måleperiode). Disse tal er som forventet lavere end resultater fra en tidligere målekampagne i Gundsømagle, idet der i Vindinge er indlagt kollektiv varmforsyning, hvilket giver lavere tæthed og mindre udbredt brug af brændeovne og -kedler. De forhøjede niveauer kan primært tilskrives udslip fra fyring med træ i lokalområdet. Trafikken i lokalområdet er begrænset, og i samme lokalområde er der ikke andre potentielle kilder som f.eks. kraft-varme produktion eller industri. PAH indholdet i partikler var forhøjet med 5,1 ng/m³, hvilket omtrent svarer til en fordobling i forhold til baggrundsniveauet. Tilsvarende gør sig gældende for indholdet af levoglucosan og mannosan, som begge er markører for røg fra fyring med træ. For disse stoffer var niveauerne i Vindinge i intervallet 313±237 ng/m³, mens der blev fundet 168±89 ng/m³ i baggrundluften; i

denne forbindelse udgør levoglucosan langt den største del af den målte masse. For både PAH og levoglucosan/mannosan blev der imidlertid set stor tidslig variation i koncentrationerne. Målinger af dioxiner blev foretaget over et år i Gundsømagle og viste forhøjede niveauer i forhold til baggrund over stort set hele måleperioden, specielt vintermånederne.

Niveauet af partikelforureningen fra fyring med træ i anlæg i Vindinge og Gundsømagle blev beregnet med den gaussiske røgfanemodel OML-Multi. For begge områder blev der forudsat, at anlæggene havde en gennemsnitlig daglig fyringsaktivitet på 4 timer med et konstant udslip. Der blev benyttet en emissionsfaktor svarende til den, som benyttes i de nationale emissionsopgørelser. Dette er forholdsvis høj værdi, sammenlignet med de her i undersøgelsen målte. For Gundsømagle er beregningsresultaterne i god overensstemmelse med målte niveauer, hvorimod beregningsresultaterne for Vindinge ligger ca. 75 % over de målte niveauer. Beregningsresultaterne er imidlertid stærkt afhængig af den valgte emissionsfaktor og fyringsaktivitet og overestimeringen i Vindinge skyldes sandsynligvis, at kombinationen af de to valgte værdier her er mindre repræsentativ end Gundsømagle. For Vindinge blev der foretaget en yderligere beregning, men denne gang baseret på oplysninger om fyringsaktivitet indsamlet via en spørgeskemaundersøgelse blandt de lokale beboere. Resultatet var imidlertid en endnu større overestimering, som formentlig hovedsagligt skyldes en grov tidsinddeling i den rapporterede aktivitet. Denne grove opdeling gav antageligt anledning til overvurdering af antallet af timer med fyringsaktivitet. Overordnet set viste beregningerne, at OML-Multi er egnet til estimering af koncentrationer relateret til brænderøg fra villaskorstene, men forudsætningen for gode resultater er en meget præcis kortlægning af kilderne.

Inde-ude målinger af PM_{2.5}, levoglucosan og sod blev gennemført i to parcelhuse i Randers (et med og et uden brændeovn). For huset med brændeovn forsøgte man endvidere at relatere de målte indendørs niveauer til brugen af egen brændeovn. For PM_{2.5} viste dette sig vanskeligt pga. andre kilder relateret til andre aktiviteter i huset. Målinger af levoglucosan viste, at huset med brændeovn havde forhøjede niveauer sammenlignet med udendørs niveau. Dette kan tilskrives brugen af brændeovn i huset. Umiddelbart efter optænding afgives imidlertid ikke levoglucosan, som således er en dårlig markør for denne situation. For sod viste målinger til gengæld forhøjede niveauer indendørs umiddelbart efter optænding i ovnen, og herefter faldt niveauet. Dette fald skyldes sandsynligvis, at aftrækket i ovnen medfører en øget luftudskiftning i huset, hvorved der tilføres renere udeluft. I huset uden brændeovn blev der ligeledes målt levoglucosan i indendørsluft, hvilket viser at partikler i udeluften transporteres ind i boligen.

Summary

Recent Danish as well as international studies have shown that wood burning may lead to increased levels air pollution levels of particles and different types of organic compounds in the vicinity of the sources. The air pollution constitutes a health risk for the local population but this risk is poorly quantified. Furthermore, the number of available studies is relatively limited with regard to pollutant emissions and concentrations related to wood burning. This report summarizes a number of studies which have the aim of contributing to the current understanding of the air pollution problem related to the use of wood stoves and boilers. The investigations include studies of emissions and resulting outdoor pollutant levels in two villages: Gundsømagle and Vindinge. Furthermore investigations of indoor-outdoor levels have been performed in two single-family detached houses in Randers.

Measurements of emissions were carried out for 19 private chimneys in Gundsømagle. From these chimneys flue gas was sampled and subsequently analysed for particles, PAH and dioxins. The results revealed that the emissions vary several orders of magnitude between different stoves. In average the results showed an emission of 6.2 g/kg burned wood, but the figures varied between 0.1 and up to 23.5 g/kg wood. Measurement errors cannot be excluded for the lowest values since the analysis method is encumbered with uncertainty. Two specific measurements are exceptional with very low values of 0.1 and 0.2 g/kg wood, respectively. The measurements of PAH showed in average an emission of 57 ng/kg wood, but also in this case large variations were found with values in the range of 4 to 380 ng/kg wood; this is equivalent to a factor 90 between lowest and highest value. The measurements of dioxins were made in international toxicity equivalents I-TEQ, and again the results revealed large variations in emissions. On average the results showed an emission of 19 ng/kg wood, but the results varied between 0.027 and 140 ng/kg wood – this means a factor 5000 between highest and lowest value. Generally the results show that few single sources contribute with the main part of the emission. A significant reduction in the emission could thus be obtained by a reduction in emissions from the most polluting sources.

In Vindinge measurements showed an increased concentration of the outdoor particle pollution compared to the background levels, where natural gas is installed in the single-family detached houses. For PM_{2.5} the diurnal mean concentrations were in average 1.2 µg/m³ above background level, and during evening hours the average concentrations were 2.6 µg/m³ above background level. The increased levels can primarily be attributed to emissions related to wood burning. The traffic in the local area is limited and no other local sources, e.g. other types of power and heat production or industry, are present. The PAH content in particles was increased by 5.1 ng/m³, to about twice the background level. The situation is similarly for the contents of levoglucosan and mannosan, which both are tracers for wood smoke. For these compounds the levels in Vindinge were in the range 313±237 ng/m³, while the background level was found to be 168±89 ng/m³; in this connection levoglucosan is

by far the largest contributor to the measured mass. However, large temporal variations in concentrations were observed for both PAH and levoglucosan/mannosan.

The particle pollution from wood stoves in Vindinge and Gundsømagle was calculated with the Gaussian plume model OML-Multi. For both areas it was assumed that the stoves had a four hour daily activity with a constant emission. The emission factor used corresponds to that used in national emission inventories. This is a relatively high value compared to the results of emission measurements within the current study. For Gundsømagle the model results are in good agreement with the observations, whereas the calculated levels for Vindinge are about 75 % higher than the measurements. However, the results depend very much on the emission factor and the assumed daily stove activity, and the overestimation in Vindinge probably occurs because the chosen combination of the two variables is less representative here. For Vindinge an additional calculation was performed, based on information about wood burning activity obtained from a questionnaire handed out to the local population. The result was, however, an even more pronounced overestimation, probably due to a crude classification of periods with wood burning activity. This crude classification has most likely led to an overestimation of the number of hours with wood burning. Generally the calculations showed that OML-Multi is suitable for estimation of concentrations related to wood burning from single-family detached houses, but in order to obtain good results a highly detailed mapping of the sources is necessary.

Indoor-outdoor measurements of $PM_{2.5}$, levoglucosan and soot were carried out in two single-family detached houses in Randers (one with and one without wood stove). For the house with wood stove it was investigated whether the indoor levels were related to use of own wood stove. For $PM_{2.5}$ other activities in the house made it difficult to establish such a relation. Measurements of levoglucosan showed that the house with wood stove had increased levels compared with outdoor levels. Increased levels may thus be associated with use of wood stove in the house. Just after upstart of the wood stove, levoglucosan is not released. Levoglucosan is thus a poor tracer in this situation. For soot, however, increased levels are observed immediately after upstart of the stove and subsequently the levels decrease. The decrease is believed to be associated with the exchange of air related to the stove, which drags cleaner air from outside into the house. Levoglucosan is also measured in the house without wood stove, which shows that particles from outdoor are transported into the house.

1 Introduktion

Denne rapport omhandler nye undersøgelser af emissioner (udslip), koncentrationer og spredning af partikler og organiske forbindelser fra træfyring. Den følger op på tidligere undersøgelser, der er beskrevet i Glasius et al. (2005). Undersøgelserne er hovedsageligt gennemført af Danmarks Miljøundersøgelser for Miljøstyrelsen. Emissionsmålingerne er udført i samarbejde med Force Technology.

Baggrund for undersøgelserne

Der er gennem de senere år kommet fokus på udslip af partikler og organiske gasser fra træfyring. Dette skyldes både nyere danske og udenlandske undersøgelser som har vist at træfyring kan føre til lokalt forhøjede niveauer af bl.a. fine partikler (PM_{2.5}) (Glasius et al., 2006, Yttri et al., 2005). Samtidig viser den danske emissionsopgørelse at træfyring er kilde til næsten halvdelen af den danske direkte emission af PM_{2.5} (Illerup and Nielsen, 2004; Palmgren et al., 2005).

Formålet med de nye undersøgelser som er beskrevet i denne rapport er at give ny viden om udslip af partikler, PAH og dioxin fra træfyring og om påvirkning af luftkvalitet indendørs og udendørs.

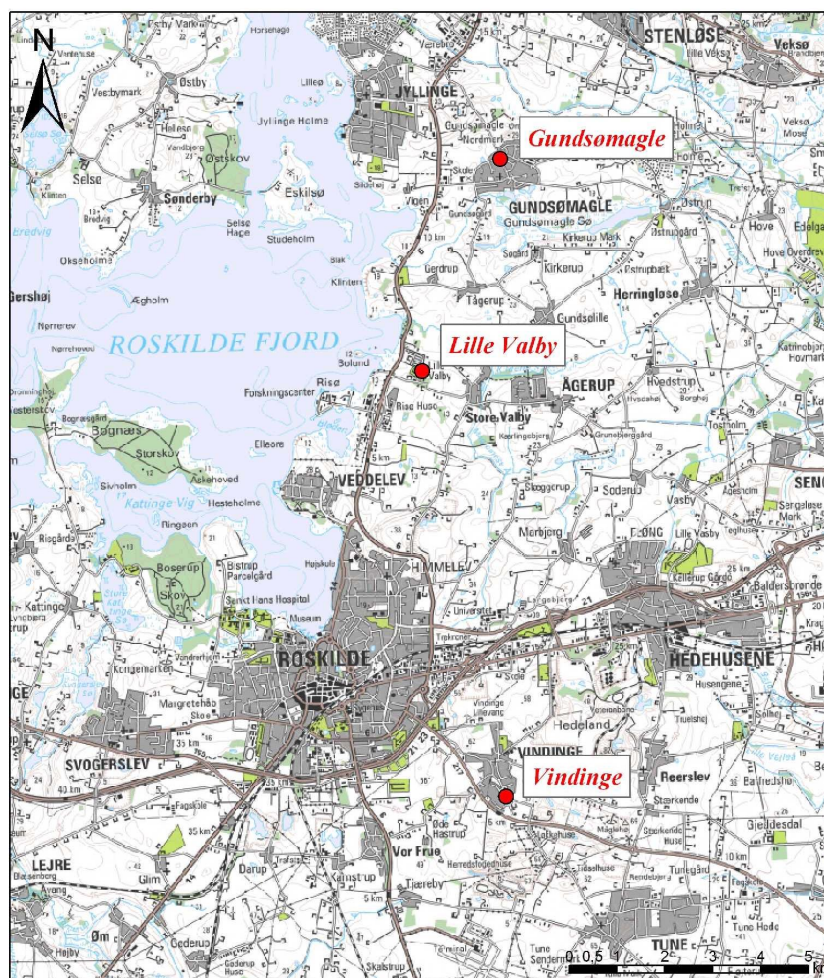
Tabel 1. Oversigt over måledata der afrapporteres for første gang i denne rapport

Sted	Måletype	Periode	Målinger
Gundsømagle	Emissionsmålinger	Januar - marts 2005	PAH, PCDD/F, PM
Vindinge	Luftkvalitetsmålinger	Februar - april 2005	PM _{2.5} , størrelsesfordeling af partikler (10-700 nm), NO _x , CO, sod, PAH, levoglucosan, temperaturprofil
Randers	Ude-indemålinger	December 2005 - februar 2006	PM _{2.5} , sod, levoglucosan

Forklaring: PAH- polycykliske aromatiske hydrocarboner, PCDD/F- polychlordibenzodioxiner og – furaner, PM- partikelmasse, NO_x – sum af nitrogenoxid og nitrogendioxid.

Forfatterne ønsker at takke Bjarne Jensen, Elsebeth Johansen, Jørgen Holst, Christel Christoffersen og Mary-Ann Chrillesen for teknisk hjælp i forbindelse med målingerne samt Jørgen Vikelsøe for opstart af projekt med emissionsmålinger. Ruwim Berkowicz og Helge Rørdam Olesen takkes for faglige diskussioner og kritisk gennemlæsning af rapporten. Endvidere takkes Miljøstyrelsen og det Strategiske Forskningsråd (gennem projekterne Airpolife og WOODUSE) for økonomisk støtte.

Figur 1.1 Kortet viser de tre målelokaliteter. Gundsømagle og Vindinge er boligområder, mens Lille Valby er en baggrundsstation.



2 Emission af partikler, PAH og dioxin fra træfyring

2.1 Indledning

Der er brug for bedre viden om og forståelse af omfanget af emissioner fra træfyring i Danmark. En del af vidensgrundlaget for denne forståelse er opdaterede emissionsmålinger på brændeovne og –kedler under dagligt brug i private hjem. Man ved at emissioner af partikler og organiske forbindelser, såsom polycykliske aromatiske hydrocarbone (PAH, tjærestoffer) og dioxin, fra træfyring afhænger af brændsel, ovn (lufttilførsel, skorstenstræk m.v.) og bruger.

For at få et dækkende billede af emissioner fra private træfyrianslæg er det derfor nødvendigt at foretage emissionsmålinger direkte på private skorstene under almindelig anvendelse af brændeovn eller –fyr. Til dette formål har Force Technology udviklet et prøvetagningssystem som i samarbejde med Danmarks Miljøundersøgelser, Afdeling for Atmosfærisk Miljø (ATMI), blev anvendt til måling af emissioner af partikler, dioxin og PAH fra træfyring i 6 hjem. Herved foregik undersøgelsen i den virkelige verden, hvorfor de fremsatte konklusioner var mere realistiske end det hidtil havde været muligt ud fra laboratorieforsøg. Resultaterne af dette første studie fra 2004 er tidligere offentliggjort (Glasius et al., 2005).

I 2005 blev der opsamlet yderligere 27 røggasprøver, dels fra de tidligere undersøgte huse og dels fra andre huse i Gundsømagle. Disse prøver er blevet analyseret af ATMI for PCDD/F (dioxin), PAH (polycykliske aromatiske hydrocarbone) og partikelmasse.

Tilsammen giver de to undersøgelser et bredt billede af emissioner fra danske brændeovne i private hjem.

Resultaterne for dioxinmålinger blev sendt til Folketingets Miljø- og Planlægningsudvalg i september 2006.

Dioxin

Dioxin er blandt de giftigste miljøfarlige stoffer, der kendes. Dioxin er ikke et enkelt stof, men udgør en hel familie af stoffer, som kemisk set består af polychlorerede dibenzo-p-dioxiner (PCDD) og polychlorerede dibenzofuraner (PCDF), samlet forkortelse PCDD/F. I modsætning til mange andre miljøfarlige stoffer, er dioxin aldrig fremstillet kommercielt, men det dannes utilsigtet ved forbrændingsprocesser, hvorfor det findes i røggas og aske fra affaldsforbrænding, kraftværker, opvarmning, transport, metalværker og brande. Det udsendes derfor hovedsagelig til atmosfæren. Desuden kan det dannes ved forskellige kemiske processer med klor og kan derfor findes som biprodukt i visse klorholdige kemikalier. Iflg. det Europæiske Dioxinkatalog sker mindst 95% af alle PCDD/F udslip til atmosfæren.

Dioxin nedbrydes meget langsomt i miljøet og er uopløseligt i vand, men opløseligt i fedtstoffer. Opløseligheden i fedt og dermed også fedtvæv gør, at dioxin opkoncentreres op igennem fødekæderne. PCDD/F kommer ind i fødekæden hovedsagelig via atmosfærisk nedfald over land- eller havområder. Mennesker eksponeres for dioxin hovedsagelig gennem kosten, mens kun en ringe del optages gennem åndedrættet eller huden. Dioxin er mistænkt for at være kræftfremkaldende og at have en hormonlignende virkning, der menes at kunne skade helbredet, specielt hos fostre.

Toksiske ækvivalenter

Til en miljømæssig vurdering anvendes de såkaldte toksiske ækvivalenter, der er et system som sætter giftigheden (toksiciteten) af hvert enkeltstof (congener) i forhold til det giftigste enkeltstof, 2,3,7,8-TCDD (Sevesodioxin). Ved at addere alle toksiske bidrag fra de 17 enkeltstoffer i en given prøve er det muligt at beskrive den samlede toksicitet i prøven i form af en toksicitetssum, hvorved der fås en forenkling og en mulighed for at sammenligne toksiciteten af forskellige prøver. I denne rapport er der anvendt Internationale Toksicitets ækvivalenter I-TEQ som er generelt brugt til abiotiske matricer. Til biotiske matricer anvender man WHO-TEQ, som i modsætning til I-TEQ også omfatter en række dioxinlignende PCB'er (PolyChlorerede Biphenyler).

2.2 Metodebeskrivelser

2.2.1 Prøveudtagning

Til udtagning af prøver har FORCE Technology fremstillet en fortyndingskanal, hvor røgen fra brændeovnen blandes med frisk luft til et konstant flow. På denne måde kan målingerne foretages, under konstante forhold, selvom røggasmængden fra brændeovnen varierer ganske meget under forbrændingsprocessen.

Fortyndingskanalen består af et rør der forbindes til skorstenen med et T-stykke, så røgen kan komme ud, eller luft kan komme ind, når en lille ventilator trækker røg og falsk luft gennem fortyndingskanalen, hvori måleudstyret er monteret.

Udformningen kan tilpasses de skorstene der måles på. Rør og luftmængde tilpasses således, at det ikke giver et ekstra sug i skorstenen, men svarer til det sug som en middelvindhastighed på nogle m/sek hen over skorstenspipen vil give.

Dioxinmålingen sker iht. Europæisk standard DS/EN 1948-1 ved brug af filter-kondensator metoden. Udstyret er helt i glas. Gennem en isokinetisk sonde der rager ind i fortyndingskanalen udtages en veldefineret delstrøm af den samlede fortyndede røggas strøm. Større partikler opsamles på kvartsuld, hvorefter flygtige organiske forbindelser opsamles på XAD-2, fulgt af et kvartsfiberfilter til opsamling af fine partikler.

Samtidig med prøvetagning foretages en logning af temperatur både i skorstenen, i fortyndingskanalen, efter kondenseringen i måleudstyret, samt temperaturen i det opvarmede filter. Desuden foretages målinger af O₂ og CO₂ i fortyndingskanalen. Mængden af anvendt brændsel i måle-

perioden vejes, og emissionen kan derved beregnes i forhold til denne mængde, og opgives pr. kg træ. Da forbrænding af et kg træ giver ca. 6,5 normal m³ røggas ved 10% O₂, kan emissionen nemt omregnes til en middeldkoncentration. Der blev udtaget to prøver fra hver skorsten, på to forskellige dage. Hver prøve er udtaget over en fyringscyklus, f.eks. fra om eftermiddagen og indtil brændet brænder ud og røggastemperaturen bliver lav i løbet af natten. Prøvetagningstiden er for en del prøver mere end de 8 timer som DS/EN 1948-1 foreskriver, men denne grænse er fjernet i den reviderede udgave af DS/EN 1948-1, så det er kun eventuelle problemer med genfindinger på prøvetagningsstandarden, der begrænser prøvetagningstiden. Husets beboere vejer og noterer hvad der brændes i måleperioden. Desuden interviewes beboerne kort om deres fyringsvaner.

2.2.2 Vejning af filtre

Den opsamlede partikelmasse blev bestemt ved vejning af holdere med kvartsuldsfiltre til opsamling af partikelprøver før og efter indsamling af røggasprøver. Kvartsfiber-planfiltre blev kun vejte efter eksponeringen, idet den gennemsnitlige vægt af ni ubrugte filtre blev anvendt ved beregningen.

Prøveholdere med filtre blev konditioneret før vejning ved 23°C og 52% RH i minimum 24 timer. Derefter blev de vejte på en analysevægt.

2.2.3 Analyse af dioxin

Røggasprøver ekstraheres med toluen. XAD og filtre ekstraheres ved soxhlet i 20 timer, og kondensatet/skyllevæske ved udrystning. Inden ekstraktion tilsættes en blanding af ¹³C-mærkede PCDD/F standarder (ekstraktions spikes) til XAD og filtre. Der udtages en delprøve af det samlede ekstrakt til PAH analyse. Resten af ekstrakten inddampes og oprenses på kiselgel/NaOH, kiselgel H₂SO₄ og Al₂O₃, og analyseres derefter for dioxiner og furaner (PCDD/F). Påvisning og kvantificering sker ved højtopløsende GC/MS vha. isotopfortyndings metode ud fra de tilsatte ekstraktions spikes. Analysemetoden er en lettere modificeret udgave af den europæiske standard for analyse af dioxin i røggas, DS/EN 1948 2-3. Modifikationen har ingen betydning for resultaterne, idet er altid bruges ¹³C-mærket stoffer som foreskrevet i standarden.

Oprensnings- og analysemetoden for dioxin er mere udførligt beskrevet i Vikelsøe et al., 2006.

Resultaterne angives i I-TEQ der er internationale toksicitets-ækvivalenter.

2.2.4 Analyse af PAH

Der tilsættes deuterium-mærket PAH til delprøven fra det samlede ekstrakt fra dioxin-analysen, som herefter oprenses på fast fase kolonner pakket med kiselgel. Kolonnerne elueres med hexan (fraktion 1) og dichlormethan (fraktion 2). Den sidste fraktion, som indeholder PAH, indampes og genopløses i toluen.

Prøverne analyseres med GC/MS. PAH kvantificeres ud fra kalibreringsstandarder. Genfindning i de enkelte prøver beregnes ud fra de tilsvarende deuterium-mærkede PAH.

Resultatet opgives i koncentration for hver enkelt PAH, og for summen af alle de analyserede PAH.

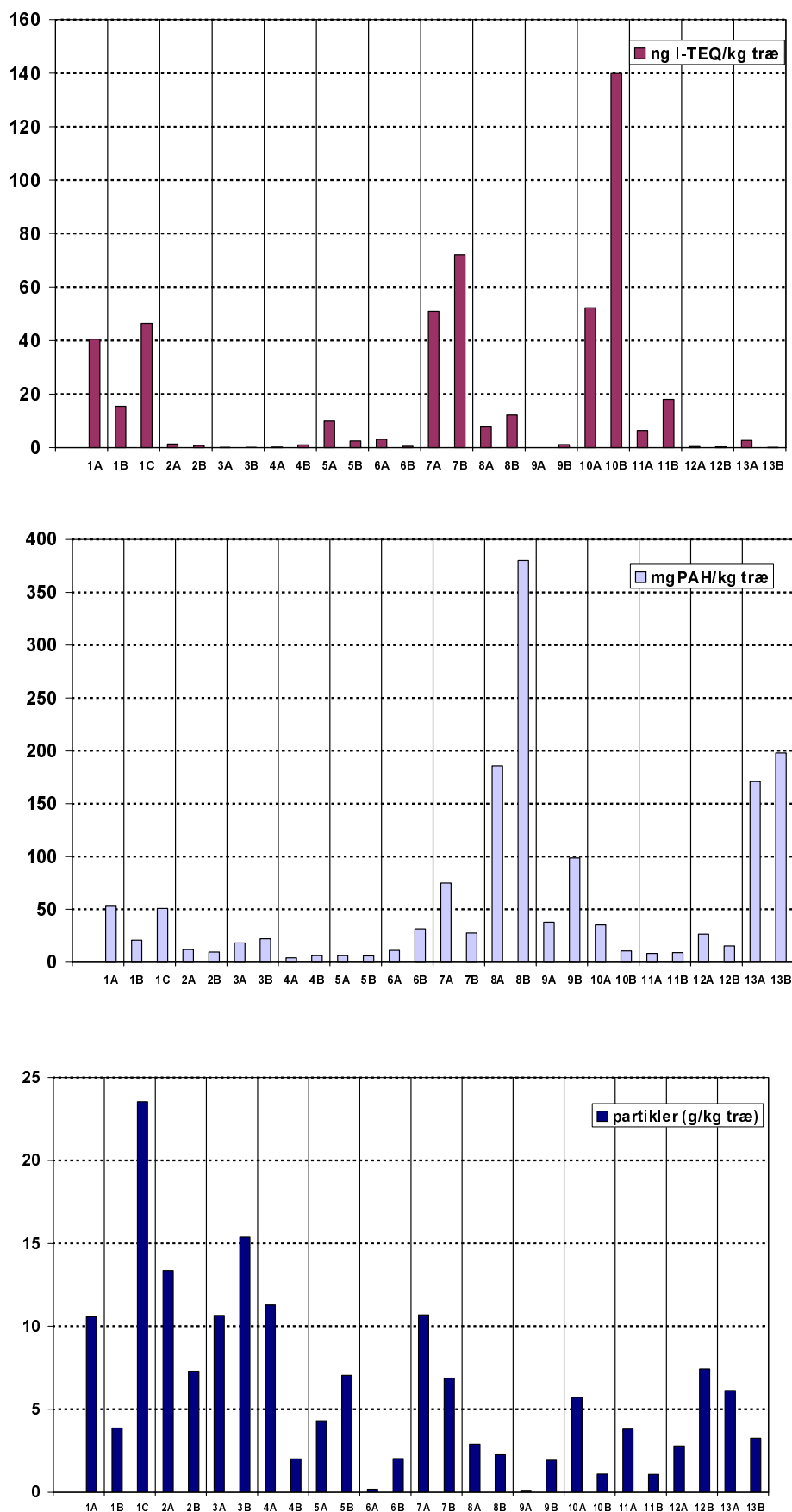
2.3 Resultater

Måleresultater og usikkerhed

Beregninger af forbrugt mængde træ er foretaget på baggrund af de enkelte brugeres egne vejninger, og der er ikke foretaget normering til tørt træ. Lufttørret og overdækket brænde har normalt en fugtighed på omkring 20 %.

Alle målinger er behæftet med en vis usikkerhed. I denne undersøgelse er målemetoder for PCDD/F og PAH helt specifikke, idet der benyttes isotopmærkede standarder og massespektrometrisk bestemmelse. Måling af partikelemissioner er som beskrevet ovenfor baseret på vejning. Der kan ske et lille tab af partikler til gasopsamlingsdelen (med XAD) under selve opsamlingen. Størrelsen af dette tab kan ikke bestemmes. Der er derfor en usikkerhed knyttet til bestemmelse af partikelemission, og de anførte målinger skal betragtes som minimumsværdier.

Figur 2.1 Emission af dioxin, PAH og partikler pr kg. træ. Forsøgene er udført to gange på samme hus forskellige dage (A og B), bortset for hus nr. 1, hvor der er foretaget 3 forsøg (forsøg 1B er med energikoks). I forsøg 10B er der fyret med brædder.



PCDD/F

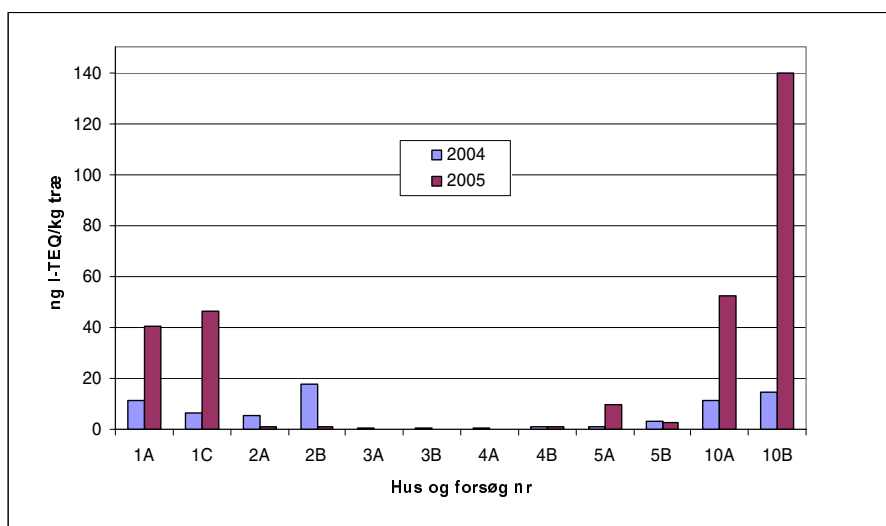
Figur 2.1 viser målte emissioner af PCDD/F, PAH og partikler fra brændeovne og –fyr i undersøgelsen. For PCDD/F er emissionen mellem 0,027 og 140 ng I-TEQ/kg træ (middelværdi 19 og median 3 ng I-TEQ/kg træ). Brændeovnen med den højeste emission, udsender således ca. 5000 gange mere PCDD/F pr. kg træ end brændeovnen med den laveste emission. Der er således observeret stor forskel mellem de forskellige huse, men variationen mellem de to forsøg i hvert hus er ikke så stor som observeret i den tidligere forsøgsserie fra 2004.

Resultaterne viser en god overensstemmelse med de tidligere laboratorieforsøg. Således fandt Vikelsøe et al. (1994) et gennemsnit på 1,9 N-TEQ (Nordic Toxicity Equivalent) pr kg træ, mens Schleicher et al. (2001) senere fandt 0,6-5,3 ng/kg I-TEQ¹. Gennemsnitsniveauet er altså af samme størrelsesorden i laboratorie- og feltforsøgene. Man kan derfor ikke sige, at brændeovne i almindelige huse fyres generelt "dårligere" end i kontrollerede laboratorieforsøg.

Som det fremgår af figur 2.1 er det tre brændeovne (hus 1, 7 og 10) der skiller sig ud fra gennemsnittet på grund af en betydelig højere emission af dioxiner. Hvis alle anlæg i undersøgelsen brænder den samme mængde træ vil disse tre huse stå for 85% af udledningen af PCDD/F. For hus nr. 1 og 7 er brændeovnene forholdsvis nye (mellem 2 og 6 år gamle) og for hus nr. 10 er alderen af brændeovnen ukendt. Emissioner fra hus 1 og 10 er også målt i 2004 (Figur 2.2). Hus nr. 10 er i begge forsøg et af husene med den højeste emission af PCDD/F. Der skal bemærkes at der er fyret med brædder i det andet forsøg i hus nr. 10.

Det vil være et vigtigt skridt i nedbringelse af det aktuelle udslip af PCDD/F fra træfyring, hvis man kan identificere huse med brændeovne og –kedler med høj emission og nedsætte dioxinudslippet.

Figur 2.2 Sammenligning mellem det første forsøg (2004) og det andet forsøg (2005) for de samme huse (PCDD/F) I forsøg 10B er der fyret med brædder.



¹ N-TEQ og I-TEQ er stort set ens bortset fra at 12378-PCDF indgår med 0,05 i I-TEQ og 0,01 i N-TEQ. Hvilket er ubetydeligt i denne sammenhæng.

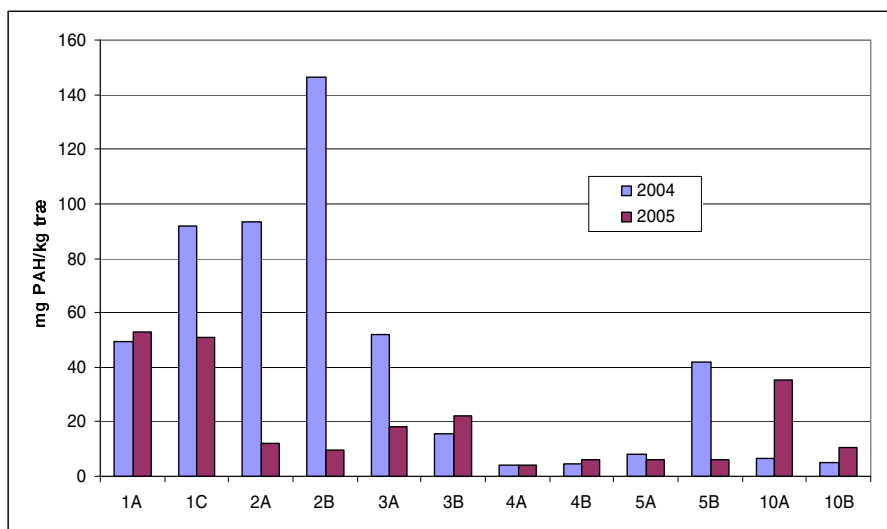
PAH

De målte emissioner af PAH (figur 2.1) er på mellem 4 og 380 mg/kg træ (middelværdi 57 og median 22 mg/kg træ). Der er således en faktor 90 til forskel på den laveste og højeste emission.

Også for PAH er der få brændeovne som har en høj emission. Hvis alle anlæg i undersøgelsen brænder den samme mængde træ vil to af dem (hus 8 og 13) stå for 61% af emissionen af PAH. Som for PCDD/F vil det kunne nedbringe den aktuelle emission af PAH hvis blot emissionen fra disse to anlæg blev reduceret.

I figur 2.3 er målinger for første og anden undersøgelse sammenlignet. Det ses at anlæg 1 i begge undersøgelser giver nogle af de højeste emissioner, mens anlæg 2 giver betydeligt lavere emission i den seneste undersøgelse. For de øvrige anlæg er der rimelig overensstemmelse mellem de to undersøgelser i betragtning af der kan være forskelle i f.eks. fugtindhold i brændet mellem de to målinger.

Figur 2.3 Sammenligning mellem det første forsøg (2004) og det andet forsøg (2005) for de samme huse (PAH). I forsøg 10B er der fyret med brædder.



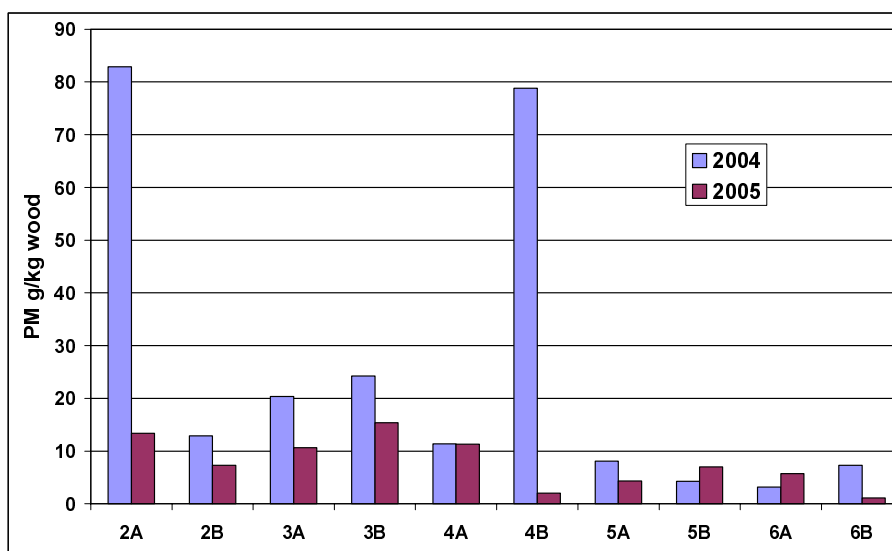
Partikler

De målte emissioner for partikler er på mellem 0,1 og 23,5 g/kg træ (middelværdi 6,2 og median 43 g/kg træ). De to laveste målinger på hhv. 0,1 og 0,2 g/kg træ er påfaldende lave i forhold til de øvrige målinger samt andre undersøgelser, og det kan ikke udelukkes, at der er en målefejl forbundet med disse to resultater. Som tidligere nævnt er målemetoden for partikler forbundet med en usikkerhed.

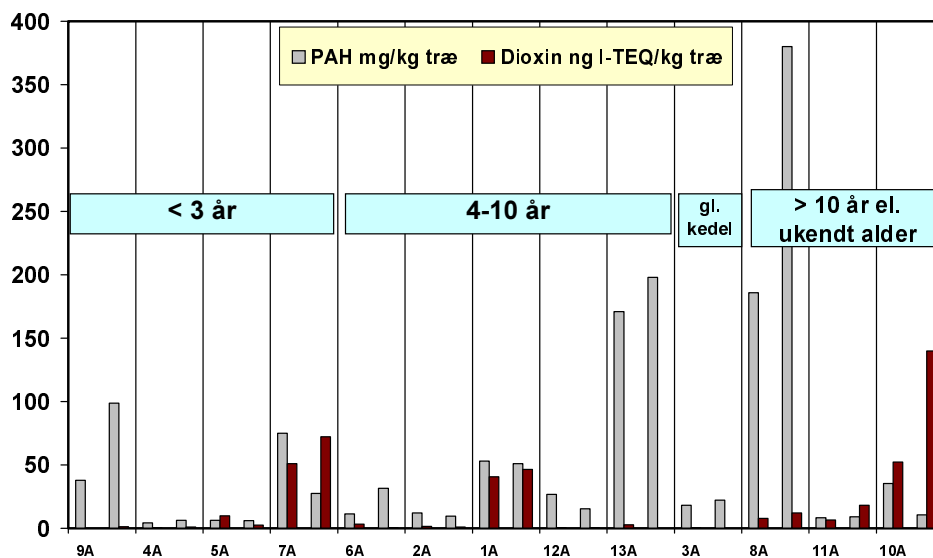
De målte emissioner er lavere end måleresultater fra den første undersøgelse, hvor målingerne viste mellem 3 og 83 g/kg, og gennemsnitsemissionen var 21 g/kg.

Figur 2.4 viser en sammenligning af målinger fra 2004 og de nye målinger fra 2005. Der ses en rimelig overensstemmelse for de fleste prøver bortset fra den ene prøve fra anlæg 2 og prøven med afbrænding af affaldstræ i anlæg 4.

Figur 2.4 Sammenligning mellem det første forsøg (2004) og det andet forsøg (2005) for de samme huse (partikler). Der blev fyret med affaldstræ i 4B i 2004.



Figur 2.5 Sammenligning af emissionsmålinger af PAH og PCDD/F. Brændeovne og brændekegel er her opdelt efter alder.



Sammenligning PAH, PCDD/F og partikler

Figur 2.5 viser en sammenligning af emissionsmålingerne af PAH og PCDD/F opdelt efter alder på brændeovn eller -kedel. Ligesom det tidligere er påvist i andre undersøgelser (f.eks. Glasius et al., 2005) ses der ikke umiddelbart en sammenhæng mellem høje emissioner af dioxin og PAH. Husene 13 og 8 hvor der er målt de højeste PAH-emissioner har lave dioxinemissioner. For husene 7, 1 og 10 er der målt højeste emissioner af dioxin, mens de samtidige PAH-emissioner er på mellemniveau eller lave.

Den manglende sammenhæng mellem emission af PAH og dioxin skyldes at disse to grupper af stoffer dannes ved forskellige processer. Dioxin dannes ved en kemisk reaktion i brændkammeret mellem chlor og organiske forbindelser, og dannelsesraten afhænger af koncentration af udgangsstofferne i røggassen, temperatur samt tilstedeværelse af eventuelle katalyserende forbindelser såsom kobber (Stieglitz et al., 1991). PAH kan derimod dannes enten ved pyrolyse af store molekyler, såsom cellulose og lignin i træ, eller ved pyrosyntese ud fra mindre hydrocarboner under forhold med iltunderskud. Dannelsen af PAH afhænger

især af forbrændingsforholdene - temperatur og ilttilførsel - og kan desuden påvirkes af mængden af kaliumsalte i træet.

Partikler dannes ved kondensation (under afkøling af røggassen) af uforbrændte organiske forbindelser, herunder PAH. En bedre forbrænding med mere luft giver en højere temperatur, og derved en mindre mængde PAH (og partikler), men det kan måske samtidig give mere dioxin end ved lav forbrændingstemperatur, fordi chlor ikke kommer på dampform ved en lav forbrændingstemperatur. Dette indikeres også af resultater fra et tidligere miljøprojekt (Schleicher et al., 2001). Forbrændingstemperaturen i en brændeovn bliver sjældent så høj (>950°C), at dioxin nedbrydes.

Emission og anlægstype

Målingerne er i tabel 2.1 opdelt på de forskellige anlægstyper. Inddelingen i alder er sket med udgangspunkt i datamaterialet og ikke fordi der forventes en specifik forskel i emission fra brændeovne med en alder på 3 eller mindre sammenlignet med 4-10 år. Det skal blot ses som en opdeling i nyere og ældre brændeovnstyper. Fyring med energikoks er ikke taget med i oversigten.

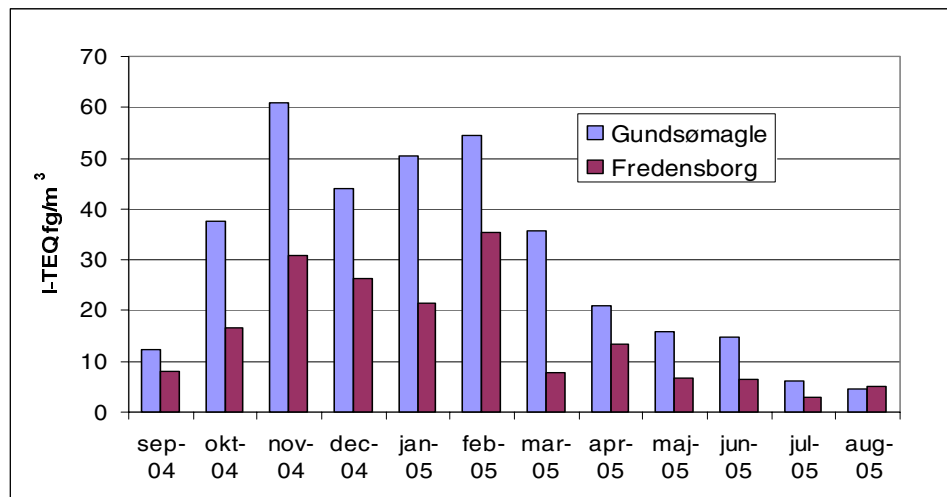
Tabel 2.1 Opsummering af måleresultater opdelt på type af fyringsanlæg og alder. Bemærk at der kun er to enkeltmålinger på en ældre brændeovn og et ældre brændefyr, så disse kategorier ikke kan bruges til en statistisk analyse. Resultaterne er angivet pr. kg. træ med den aktuelle fugtighed og ikke pr. kg. tørt træ.

Type og alder	Dioxin		PAH		Partikler		
	(ng I-TEQ/kg træ)		(mg/kg træ)		(g/kg træ)		
	gnsnit.	std.afv.	gnsnit.	std.afv.	gnsnit.	std.afv.	
3 år eller mindre	19.7*	29.4*	32.7	36.1	5.5	4.2	n=8 enkeltmålinger
4-10 år	9.6	17.9	57.9	68.8	7.7	6.9	n=10 enkeltmålinger
ældre	12.2	8.2	8.7	0.5	2.4	1.9	n=2 enkeltmålinger
brændefyr	0.06	0.02	20.1	2.8	13.0	3.3	n=2 enkeltmålinger

*n=7 enkeltmålinger

2.3.1 Måling af PCDD/F i luft

Figur 2.6 Koncentrationer af PCDD/F i luften i Gundsømagle og Fredensborg som månedsgennemsnit.



I det samme område hvor der er foretaget emissionsmålinger (Gundsømagle) er der foretaget luftmålinger af PCDD/F over 1 år. Hver prøve er opsamlet over en måned i et rækkehuskvarter med stor tæthed af brændeovne.

Figur 2.6 viser resultaterne for PCDD/F luftkoncentrationer i Gundsømagle og Fredensborg (baggrundstation).

Luftkoncentrationerne er højere i Gundsømagle hele året, bortset fra august. Forskellen kan umiddelbart skyldes bidrag fra brændeovne, hvor det også er sandsynligt, at der fyres i maj-juni, hvis der kommer en kold periode.

Årligt udslip af PCDD/F på landsplan

En opdateret opgørelse af dioxinemission til luft viser at i 2004 var Danmarks samlede emission 22.0 g I-TEQ, og de vigtigste kilder hertil var træfyring (40%) og brande (28%) (Henriksen et al., 2006).

Der er ingen grænseværdi for PCDD/F i røg fra brændeovne. Med hensyn til risikoen ved at indånde luft med de fundne PCDD/F koncentrationer, kan det beregnes, at en normal person i løbet af et døgn kun ville indånde en PCDD/F mængde, der er forsvindende i forhold til den tolerable daglige dosis (TDI) som er fastsat af WHO. Til gengæld bidrager det indirekte til optagelsen via fødevarer, fordi det spredes i miljøet, og noget af det optages derfra i fødekæden.

2.4 Konklusion

Den foreliggende undersøgelse har udvidet datamaterialet om emissioner fra brændeovne i Danmark. Målinger af partikler, PAH og dioxin ligger generelt i forlængelse af tidligere undersøgelser. Der er dog en del usikkerhed ved målinger af partikler med den anvendte metode.

Som tidligere er der påvist store forskelle i emissioner fra de enkelte træfyringsanlæg (hovedsageligt brændeovne) på op til flere størrelsesordener. Det vil være gavnligt for miljøet (og naboerne), hvis anlæggene med

størst emission kan identificeres og årsagen til den høje emission findes og elimineres.

Den store variation i emissionen betyder også, at uanset hvilken emissionsfaktor man lægger til grund ved emissionsopgørelser, vil man kunne stille spørgsmålstejn ved den. Med den store variation in mente skal det endvidere bemærkes, at den emissionsfaktor for PM_{2,5}, der benyttes i DMU's nationale emissionsopgørelser (19 g/kg for ovne fra før 2002, 11 g/kg for nyere ovne; Palmgren et al., 2005) ligger højt i forhold til målingernes gennemsnit på 6,2 g/kg.

Der er ikke sammenhæng mellem høj emission af dioxin og høj emission af PAH, hvilket skyldes at de to grupper stoffer dannes ved forskellige processer.

Måling af PCDD/F (dioxin) i luft viste forhøjede niveauer i vinterperioden i et rækkehuskvarter med udbredt træfyring sammenlignet med et baggrundsområde.

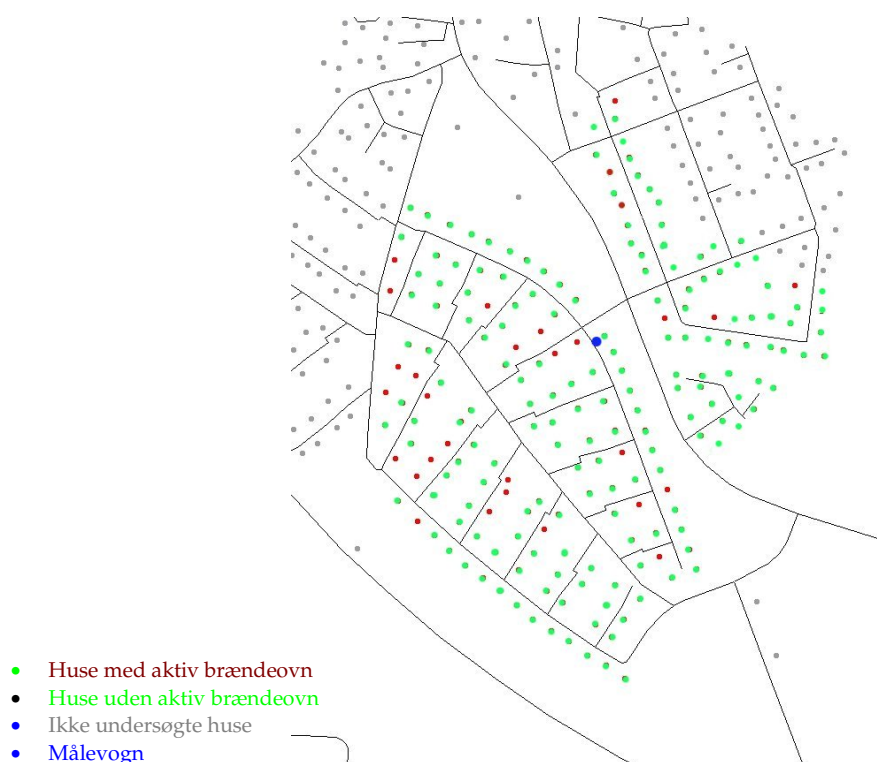
3 Koncentrationer af partikler og markører for brænderøg i et boligområde

3.1 Indledning

DMU har tidligere gennemført målinger af luftkvalitet i et rækkehuskvarter i Gundsømagle med udbredt træfyring. Disse målinger påviste at lokal træfyring bidrog til $PM_{2.5}$ med ca. 4,4 mikrogram/ m^3 som gennemsnit over 6 vinteruger (Glasius et al., 2006 og Palmgren et al., 2005). De tidligere målinger blev foretaget i et rækkehusområde med forholdsvis stor tæthed af brændeovne og -fyr. Andelen af træfyringsanlæg for hele Gundsømagle by svarer dog til landsgennemsnittet.

For at undersøge partikelbidraget fra træfyring i et område med tilslutning til naturgasforsyningsnettet blev der i februar – april 2005 gennemført en ny målekampagne i Vindinge ved Roskilde. Her forventes det at tilslutningen til kollektiv varmforsyning betyder lavere tæthed af brændeovne og -kedler samt mindre udbredt anvendelse. Der blev målt gasser fra forbrænding (nitrogenoxider og carbonmonoxid), masse af fine partikler ($PM_{2.5}$), koncentration af sod i luften (optisk absorptionskoefficient) og antal af partikler (10-700 nm). Desuden blev der opsamlet prøver af partikler til analyse for PAH og organiske tracere for afbrænding af biomasse, levoglucosan og mannosan. Levoglucosan og mannosan dannes ved pyrolyse af cellulose og da der ikke kendes andre kilder til disse forbindelser er de specifikke markører for afbrænding af træ og produkter af træ f.eks. papir.

Figur 3.1 Kort over forekomst og anvendelse af brændeovne i måleområdet i Vindinge (Stubkjær, 2006).



3.2 Beskrivelse af målested og metoder

Målingerne i Vindinge blev foretaget i et villakvarter, hvor husene er placeret på individuelle grunde med en gennemsnitsstørrelse på ca. 850m². Alle husene er i et eller 1½ plan, og der er mindre end 3 meter terrænforskel indenfor området. Målingerne er foretaget på en lukket vej, så der er begrænset trafik i lokalområdet.

Måleperioden var fra 24. februar til 8. april 2005. Måleudstyret var placeret i en mobil målestation og samtidige målinger blev foretaget på en baggrundsmålestation i Lille Valby ca. 10 km nord for Vindinge.

PM_{2.5} blev målt med TEOM (Rupprecht and Patashnick, NY, USA). Målingerne blev foretaget ved 50°C for at tørre partiklerne let. Den forhøjede temperatur medfører et tab af flygtige forbindelser såsom ammoniumnitrat og delvist flygtige organiske forbindelser, og PM_{2.5} målt med TEOM er som følge heraf generelt lavere end målinger med gravimetrisk bestemmelse eller beta-attenuation.

Størrelsesfordeling af partikler (10-700 nm) blev målt med Differential Mobility Particle Sizer (DMPS) (se f.eks. Palmgren et al., 2003 for beskrivelse af metoden).

Partiklernes indhold af sod blev bestemt med en optisk metode (particle soot absorption photometer - PSAP), hvor partiklernes evne til at absorbere lys bestemt kontinuert (se f.eks. Bond et al., 1999, Ketzel et al., 2005, og Andersen, 2006 for beskrivelse af metoden). Tidsopløsningen var 15 minutter. Sod er en indikator for ufuldstændig forbrænding i f.eks. en brændeovn eller en dieselmotor.

Endvidere blev CO, NO og NO_x målt med API monitorer. Kampagne-målingerne blev suppleret med data fra det Landsdækkende luftmåleprogram (Kemp et al., 2005; Palmgren et al., 2003).

Partikler og flygtige forbindelser blev opsamlet på kvartsfiberfiltre (type QM-A, 102 mm diameter, Whatman) efterfulgt af to runde stykker polyurethan skum (PUF) (6 cm diameter og 5 cm lange med en densitet på 0,02 g/cm³). Flowhastigheden var 130 l min⁻¹. Der blev opsamlet prøver om eftermiddagen og natten (1500-0300) over to dage. Efter opsamling blev PUF og kvartsfiltre opbevaret ved -18° C indtil analyse.

PAH blev analyseret i den ene halvdel af hvert kvartsfiltre og PUF hver for sig. Den anden halvdel af kvartsfiltrene blev igen delt i to og analyseret for levoglucosan og mannosan.

Filtrene til PAH analyse tilsættes deuterium-mærkede PAH før ekstraktion for at kunne beregne genfinding af stofferne. PUF ekstraheres med toluen ved 150°C i 12 timer og filtrene ekstraheres med dichlormethan i ultralydbad. Toluen eller dichlormethan indampes og solvent skiftes til hexan. Ekstraktet oprenses på fast-fase kolonner pakket med kiselgel. Kolonnerne elueres med hexan (fraktion 1) og dichlormethan (fraktion 2). Den sidste fraktion, som indeholder PAH, indampes og genopløses i toluen. Prøverne analyseres med GC-MS. PAH kvantificeres udfra kalibreringsstandarder. Genfinding i de enkelte prøver beregnes udfra de tilsvarende deuterium-mærkede PAH.

Analyse af levoglucosan og mannosan udføres ifølge metoden beskrevet af Zdrahal et al. (2002). Filtrene ekstraheres med dichlormethan tilsat 2% eddikesyre. Ekstraktet indampes til 25 ml volumen og der udtages 50 µl som derivatiseres med N-methyl-N-(trimethylsilyl trifluoroacetamide) (MSTFA) og trimethylchlorosilane (TMCS). Stofferne analyseres med GC-MS ved SIM (selected ionization mode) for de specifikke ioner m/z 204 og 217.

Meteorologiske data er fra Lille Valby (målinger foretages af Forskningscenter Risø). Data for skydække og snedække er dog indhentet fra DMI's målestation ved Kastrup Lufthavn, og radiosonderinger er foretaget af DMI ved Jægersborg. Endelig er den vertikale temperaturprofil nær jorden bestemt ved temperaturmåling i to højder lokalt i Vindinge.

3.3 Kortlægning af brændeovne og -fyr

Emission af PM_{2.5} om vinteren i villakvartererne skyldes som nævnt overvejende træfyring i private hjem. Ved kortlægning af kildernes placering kan der anvendes to eksisterende registre, nemlig Bygnings- og Boligregisteret (BBR) samt den lokale skorstensfejers register (SFR). I BBR findes der en optegnelse over varmekilder i alle danske hjem, mens der i SFR er oplysninger om, hvor skorstensfejeren kommer og renser skorsten.

Desværre viste det sig at både BBR og SFR indeholdt fejlagtige oplysninger om tilstedeværelse af brændeovne i kvarteret (Tabel 3.1). BBR indeholdt oplysninger om for få brændeovne, mens SFR indeholdt oplysninger om flere brændeovne end der blev konstateret ved spørgeskema.

Tabel 3.1 Oplysninger fra eksisterende brændeovnsregistre (BBR – Bygnings og boligregisteret samt SFR – Skorstensfejer-registeret) samt resultater af spørgeskemaundersøgelse i et kvarter i Vindinge. Der var ingen brændekedler i området. Stubkjær, 2006.

	Antal
Adresser med brændeovn ifl. BBR	23
Adresser med aktiv brændeovn ifl. SFR	103
Adspurgte husstande	79
Regelmæssigt aktive brændeovne	30
Brændeovne kun lejlighedsvis eller ikke i brug	22
Adresser uden brændeovn, der er anført som havende aktiv brændeovn ifl. SFR	27

I Vindinge blev der desuden uddelt et afkrydsningsskema til de beboere i undersøgelsesområdet, som ifølge SFR burde have en brændeovn. Beboerne blev bedt om at registrere, i hvilke perioder af døgnet der var fyrringsaktivitet i deres brændeovn, og registreringen skulle foretages for hver enkelt dag i målekampagnen.

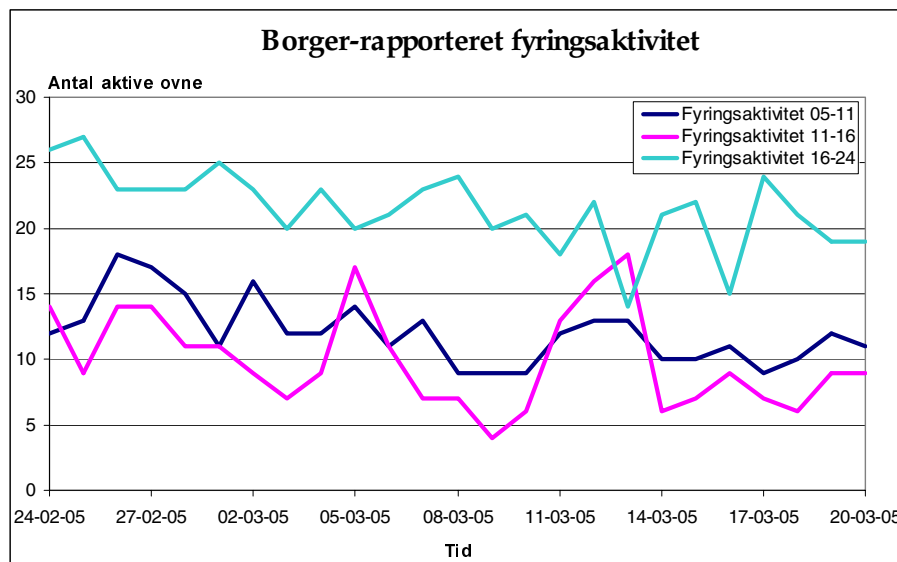
Tabel 3.2 angiver de gennemsnitlige antal af aktive brændeovne i Vindinge over hele måleperioden. Værdien for "alle timer" er det gennemsnitlige antal aktive ovne i området over hele perioden (eksklusiv natte-timerne 24-05).

Tabel 3.2 Gennemsnitstal for fyringsaktivitet under målekampagnen (Stubkjær, 2006).

		Antal aktive brændeovne
Morgentimer	05-11	12
Dagstimer	11-16	10
Aftentimer	16-24	21
Alle timer	05-24	15

Figur 3.2 viser fyringsaktiviteten i Vindinge under målekampagnen. Aktiviteten over døgnet er inddelt i tre perioder, der dækker henholdsvis morgen (05-11), dag (11-16) og aften (16-24). Det ses på figuren, at aktiviteten er størst om aftenen, næststørst om morgenen og mindst midt på dagen. Der ses markante toppe, specielt på dagsgrafen men også på morgengrafen, i weekenddagene 26-27/2, 5-6/3 og 12-13/3. Alle tre kurver har en svagt faldende tendens fra periodens start til slutning.

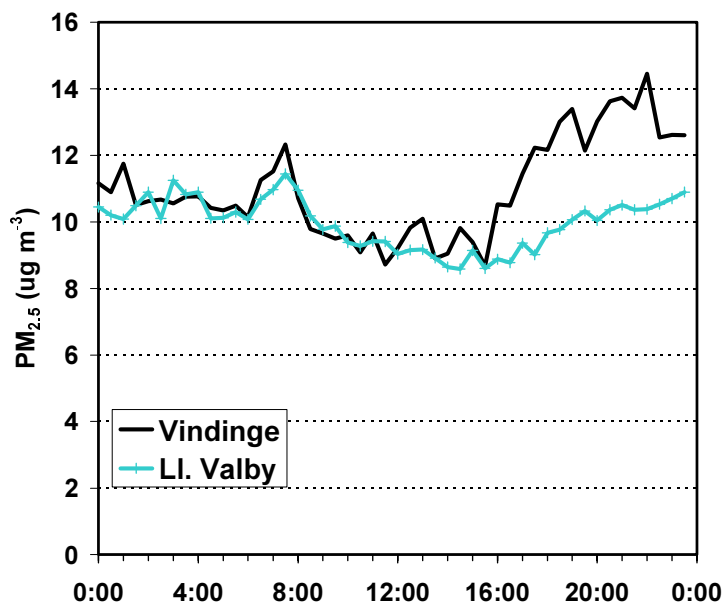
Figur 3.2 Fyringsaktivitet i Vindinge, baseret på oplysninger i afkrydsningsskemaer returneret fra borgerne. Aktiviteten over døgnet er inddelt i tre perioder og angiver antallet af aktive brændeovne (Stubkjær, 2006). Weekender er 26-27/2, 6-7/3, 13-14/3 og 20-21/3.



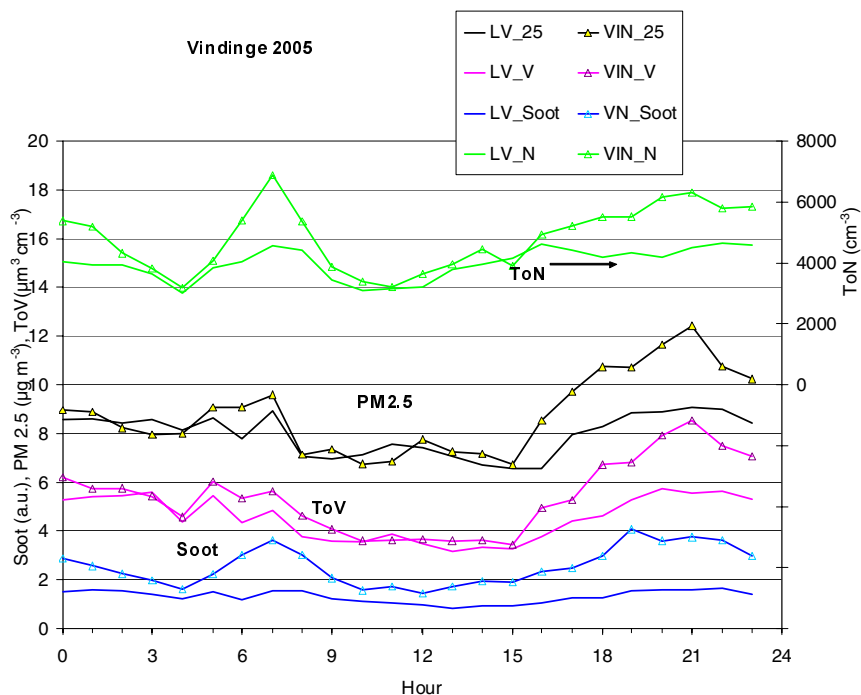
3.4 Måleresultater

I figur 3.3 er vist halvtimesgennemsnit af $PM_{2.5}$ målt med TEOM i boligområdet og på baggrundsstationen. Data er gennemsnit af målinger over ca. 4 uger. Kurverne viser nogenlunde overensstemmelse mellem niveauer i begge områder indtil sidst på eftermiddagen, hvor koncentrationen i Vindinge øges i forhold til baggrundsmålingerne. Der er et lokalt bidrag i Vindinge til $PM_{2.5}$ på $1,2 \mu g m^{-3}$ over hele døgnet og $2,6 \mu g m^{-3}$ i aftentimerne. Som ventet viste målingerne et mindre lokalt bidrag til $PM_{2.5}$ i Vindinge end målingerne i Gundsømagle. Årsagen er at der er mindre udbredt anvendelse af træfyring i Vindinge pga. tilslutning til naturgas i nærområdet i modsætning til nærområdet i Gundsømagle. Her er der individuel opvarmning af husene, hovedsageligt med dyr el-varme. Desuden ligger træfyringsanlægene med større afstand i Vindinge end i Gundsømagle grundet forskelle i bebyggelserne (parcelhuse i modsætning til rækkehuse).

Figur 3.3 Koncentration af $PM_{2.5}$ (målt med TEOM) som time-gennemsnit for perioden 21. februar – 24. marts 2005. Resultaterne fra målinger med TEOM kan ikke umiddelbart sammenlignes. $PM_{2.5}$ målt med andre teknikker, fordi prøven varmes op til 20°C hvorved der sker tab af masse.



Figur 3.4 Gennemsnitskoncentrationer af partikelantal (ToN), $PM_{2.5}$, partikelvolumen (ToV) og sod i Lille Valby (streger) og Vindinge (trekanter). Data er gennemsnit over 9 dage i måleperioden. Sodmålinger er angivet uden enhed, da metoden ikke er endeligt kalibreret, men den relative forskel på målingerne kan ses af figuren.



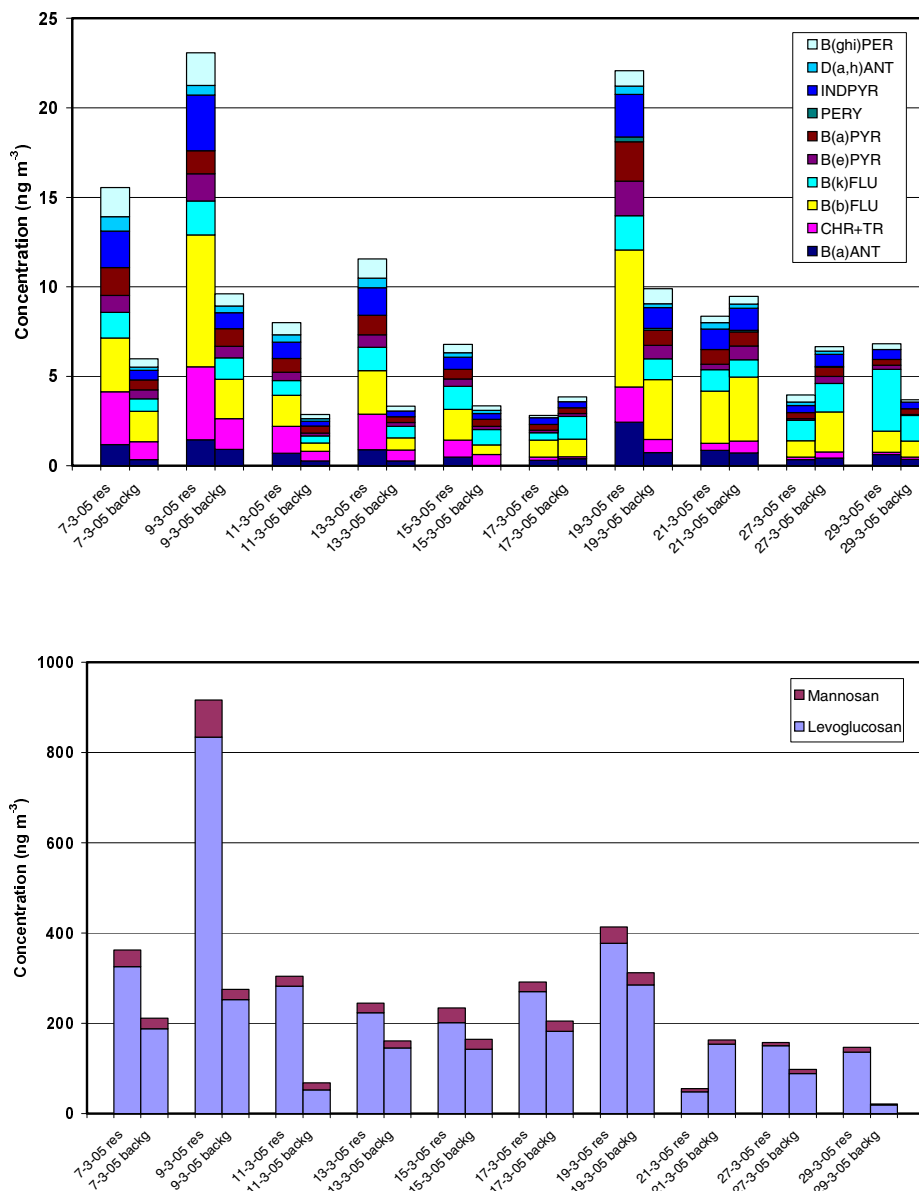
Figur 3.4 viser gennemsnitskoncentrationer for samme periode for øvrige partikelmålinger. Partikelantal viser højere koncentrationer i Vindinge sammenlignet med baggrundsområdet i morgentimerne 06-08 og i aftentimerne 17-01. Trafik er en stor kilde til partikelantal, hvilket kan give et bidrag fra trafik i nærområdet, specielt i morgentimerne, hvor de meteorologiske forhold typisk bevirker dårlig opblanding af emissionerne. Det lokale bidrag i aftentimerne skyldes sandsynligvis træfyring.

Der er god overensstemmelse mellem målingerne af partikelvolumen og $PM_{2.5}$, hvilket er i overensstemmelse med de tidligere undersøgelser. Disse viste at partikler fra træfyring hovedsageligt har en diameter på 4-500 nm, og de indgår derfor både i $PM_{2.5}$ og partikelvolumen (hvor partikler op til ca. 700 nm måles).

Sodmålinger viser et gennemsnitsdøgnforløb der ligner både partikelan-

tal (specielt i morgentimerne) og partikelvolumen (specielt i aftentimerne). Dette kan indikere, at det lokale bidrag til sod skyldes både trafik og træfyring i området.

Figur 3.5 Koncentration af partikulære PAH (øverst), levoglucosan og mannosan (nederst) i boligområde (res) og baggrundsområde (backg). Hver prøve er opsamlet fra 15-03 over to dage (startdato er angivet).



PAH

Partiklernes indhold af PAH og tracere for forbrænding af cellulose (levoglucosan og mannosan) blev undersøgt i filterprøver. Resultaterne er vist i figur 3.5. Den gennemsnitlige koncentration af partikulære PAH i beboelsesområdet er $10,9 \text{ ng m}^{-3}$, mens den gennemsnitlige koncentration i baggrundsområdet er $5,8 \text{ ng m}^{-3}$. Som det fremgår af figuren er der dog stor forskel mellem perioderne. F.eks. viser målingerne et stort lokalt bidrag om aftenen den 9. og 10. marts, mens niveauerne er sammenlignelige om aftenen den 21. og 22. marts. Disse forskelle kan til dels skyldes meteorologiske forhold (der var betydelig inversion med dårlig opblanding af lokale emissioner den 9. og specielt den 10. marts om aftenen) og til dels forskelle i emissioner (fyringsaktivitet i specielt de nærmeste huse).

Levoglucosan og mannosan

Partikelprøverne har et betydeligt indhold af specielt levoglucosan, men også mannosan, sammenlignet med f.eks. indholdet af PAH. Den højeste koncentration er på knap 1 mikrogram m^{-3} . Den gennemsnitlige koncentration af levoglucosan og mannosan er 313 ± 237 ng m^{-3} i Vindinge og 168 ± 89 ng m^{-3} i Lille Valby i måleperioden. Koncentrationerne er således generelt højere i Vindinge, men som for PAH er der store variationer mellem aftenerne.

3.5 Modellering af forurening fra brændeovne

Indledning

Modellering af emission og spredning af partikler fra træfyring kan bidrage til at give overblik over omfanget af denne type luftforurening. Dette forudsætter gode oplysninger om kildernes placering, emissionsfaktorer og varighed, samt meteorologiske parametre. Med en såkaldt røgfanemodel, OML-Multi, kan spredningen fra de enkelte kilder beregnes. Denne model er udviklet af DMU (Olesen et al., 1992) og har været anvendt til estimering af luftforurening fra multiple kilder, oftest trafik, industri og kraftværker (Hertel et al., 2004 & Hertel et al., 2004).

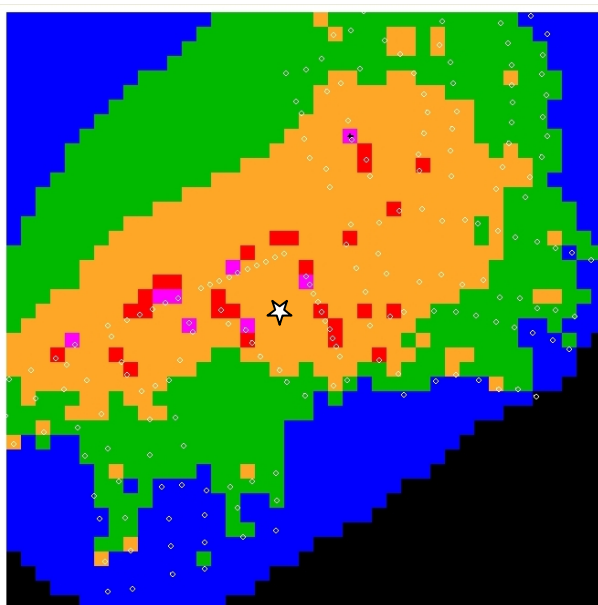
Metode

Der er blev foretaget modelberegninger med OML-Multi til sammenligning med de ovenfor beskrevne målinger i Vindinge og til sammenligning med tidligere resultater fra Gundsømagle (Glasius et al., 2006). Selve modelleringen er beskrevet detaljeret af Stubkjær, 2006. ved modelberegningerne er benyttet en emissionsfaktor for partikler på 17 g/kg træ. Denne værdi er valgt på baggrund af de tal, der hidtil har været benyttet ved nationale emissionsopgørelser. Som det fremgår af resultaterne i kapitel 2 er der stor usikkerhed omkring emissionsfaktoren og en repræsentativ værdi kan meget vel være betydeligt lavere end de 17 g/kg træ (de 20 målinger giver et gennemsnit på 6.2 g/kg træ, men enkeltmålingerne varierer med mere end en faktor 100).

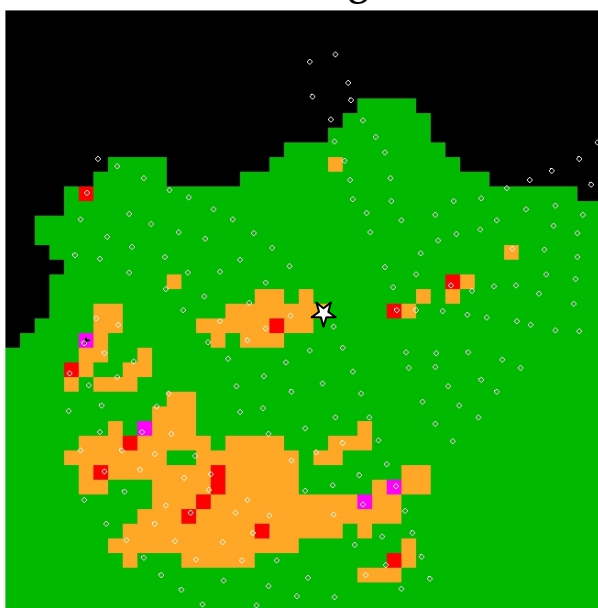
Resultater af modellering over de to måleperioder er vist i figur 3.6.

Figur 3.6 Resultater af beregninger af $PM_{2.5}$ med OML-Multi for Gundsømagle og Vindinge i de to måleperioder. Der er beregnet for 4 timers daglig fyringsaktivitet i aktive brændeovne. Stjerner angiver placering af målevogn, og de små lyse prikker angiver adresser der er undersøgt ved kortlægning af kilder. Stubkjær, 2006.

Gundsømagle



Vindinge



Tabel 3.3 Målinger og modellering af lokalt bidrag til PM_{2.5} (µg m⁻³) i de respektive måleperioder. Der er foretaget tre modelberegninger med forskelle i inputparametre for fyringsaktivitet og skorstenshøjde.

Lokalt bidrag til PM _{2.5} (µg/m ³)	Gundsømagle	Vindinge
Måleresultater	4,4	1,2
Model - kendt fyringsaktivitet	-	4,8
Model - 4 timers fyringsaktivitet	4,7	2,1
Model - 4 timers fyring, 9m. emissionshøjde	2,2	0,9

Tabel 3.3 opsummerer måleresultater og modelberegninger for de to undersøgte områder. Beregningerne er foretaget for punktet hvor målingerne blev udført. Modelresultater for Gundsømagle viser god overensstemmelse med målinger under antagelse af, at der fyres 4 timer hver dag i alle brændeovne i området (97). Hvis det antages at skorstenshøjden øges fra 6 til 9 m beregner modellen omtrent en halvering af koncentrationen ved målevognen.

For Vindinge beregner modellen lavere koncentrationer end i Gundsømagle ved antagelse af 4 timers fyringsaktivitet, men koncentrationen overestimeres med ca. 75%. Dette kan skyldes, at emissionsfaktoren som beskrevet ovenfor kan være for høj i forhold til de faktiske emissioner. Hvis emissionsfaktoren sættes til en lavere værdi, vil beregningsresultatet passe bedre i Vindinge, men vil til gengæld passe dårligere i Gundsømagle. I Gundsømagle er det imidlertid sandsynligt, at fyringsaktiviteten er sat for lavt, idet der i dette område uden kollektiv varmforsyning kan forventes at være større brug af brændeovne end i Vindinge, hvor der er indlagt naturgas. Fyringsaktiviteten i Gundsømagle skulle ud fra denne betragtning sættes til et højere antal timer end 4, hvilket sandsynligvis ville udligne resultatet af den lavere emissionsfaktor. Det er således sandsynligt, at der kunne have været opnået mere konsistente resultater af modelleringen, hvis de nævnte ændringer af inputparametrene var blevet foretaget.

For Vindinge er også lavet modelberegninger ud fra resultater af uddelte spørgeskemaer om fyringsaktivitet, hvor beboerne under målekampagnen noterede fyringsaktivitet indenfor tre tidsperioder. Resultatet af disse beregninger overestimerer den målte koncentration endnu mere end ved antagelse af 4 timers fyringsaktivitet. Hovedårsagen er sandsynligvis, at spørgeskemaet havde en for grov opdeling af døgnet, og således ikke afspejlede fyringsmønsteret korrekt. Den grove opdeling blev valgt for at sikre en høj svarprocent. Overestimeringen kan derudover som nævnt ovenfor hænge sammen med emissionsfaktoren.

3.6 Konklusion

Målinger af partikler i et parcelhusområde med opvarmning med naturgas viste et lavere bidrag til PM_{2.5} fra træfyring end tidligere målinger i et rækkehusområde med individuel opvarmning af husene og udbredt træfyring. Desuden kunne der påvises forhøjede niveauer af sod, antal partikler, PAH og levoglucosan i parcelhuskvarteret sammenlignet med et baggrundsområde.

Der blev foretaget modellering med OML Multi af PM_{2.5} i begge de undersøgte områder. Modelresultaterne viste god overensstemmelse med måleresultater for Gundsømagle, mens modellen overestimerede med 75% for Vindinge. Sådanne resultater er ikke overraskende, når usikkerheden omkring emissionen tages i betragtning.

Undersøgelserne har givet vigtige resultater for det videre arbejde med kortlægning af eksponering for partikler og organiske forbindelser fra træfyring.

4 Indendørs niveauer af partikler fra træfyring

4.1 Indledning

Tidligere undersøgelser

Der er så vidt vides ikke tidligere lavet danske undersøgelser af indendørs luftkvalitet i huse med brændeovn, og der er kun lavet ganske få internationale undersøgelser. Nogle af de nyeste undersøgelser af luftkvalitet i private hjem med brændeovne er udført i Sverige. Disse undersøgelser påviste en vis sammenhæng mellem brændeovn og sod samt enkelte grundstoffer som kalium, der er en indikator for afbrænding af biomasse (Molnar et al., 2006).

Denne undersøgelse

I dette studie har vi undersøgt indendørs og udendørs koncentrationer af partikler i et hjem med brændeovn og et hjem uden brændeovn. Formålet var at undersøge påvirkningen af indendørs partikelniveauer fra fyring i egen brændeovn, samt om der i et hjem uden brændeovn kunne påvises en påvirkning fra naboernes træfyring.

4.2 Metoder

Område

Målingerne blev gennemført i to fritliggende parcelhuse i et villakvarter i Randers (ca. 65.000 indbyggere) over 18 dage i januar og februar 2006. Husene er beliggende i et villakvarter ca. 500 m fra en motorvej (E45). I det ene hus var der en ca. 8 år gammel konvektions-brændeovn med en nominel effekt på 5 kW. I det andet hus var der ikke brændeovn, men der var træfyring i flere nabohuse. Omfanget af naboernes fyring blev kortlagt med et spørgeskema til de nærmeste naboer. Der blev desuden ført dagbog over mulige indendørskilder til partikler i de undersøgte huse.

Målemetoder

Grove partikler og PM_{2.5} blev opsamlet indendørs og udendørs på nucleopore filtre ved hjælp af en DSFU (dichotomous stacked filter unit) og en pumpe (tidligere beskrevet af Wählin et al., 2006). Flow for hver enkelt pumpe blev så vidt muligt bestemt dagligt. Der blev opsamlet ved hvert hus i tidsrummet kl. 13 – 01. Partikelmassen blev bestemt ved vejning af filtre før og efter opsamling.

Levoglucosan, en organisk markør for afbrænding af cellulose, blev analyseret i PM_{2.5}. Prøverne blev i starten ekstraheret med dichlormethan med henblik på at analysere dem med GC-MS metoden (se kapitel 3.2). GC-MS metoden kræver derivatisering af stofferne, hvilket er tidskrævende, og har desuden vist sig at være behæftet med stor usikkerhed. Der blev derfor udviklet en analysemetode hvor levoglucosan og man-

nosan analyseres med HPLC-MS. Levoglucosan og mannosan kunne adskilles på en HPLC kolonne, der er udviklet til analyse af sukkerforbindelser. HPLC eluent tilsættes natriumacetat, som danner natriumaddukter med de 2 stoffer. Disse ioner detekteres og kvantificeres direkte med MS uden derivatisering.

Partiklernes indhold af sod blev bestemt med en optisk metode (particle soot absorption photometer, PSAP), hvor partiklernes evne til at absorbere lys bestemmes kontinuert. Tidsopløsningen var 15 minutter. Sod er en indikator for ufuldstændig forbrænding i f.eks. en brændeovn eller en dieselmotor.

4.3 Resultater

Der er blevet gennemført 2 målekampanjer, 2.-13. januar og 19.-27. Februar 2006.

4.3.1 Første målekampagne

Der er ikke resultater for PM_{2.5} og levoglucosan for alle dage. Dette skyldes til dels at enkelte filtre gik i stykker under opsamlingen, og til dels at der blev skiftet fra en analyse metode (GC-MS) til en anden (LC-MS). De prøver der var forberedt til GC-MS analyse, var ekstraheret i dichlormethan og eddikesyre, men indholdet af eddikesyre umuliggjorde desværre LC-MS analysen.

Resultater for PM_{2.5}, levoglucosan og sod er vist i figur 4.1. I måleperioden var huset med brændeovn beboet af tre voksne, mens huset uden brændeovn var beboet af to voksne og en mindre hund.

Fine partikler

PM_{2.5} kan stamme fra både udendørs kilder (hovedsageligt langtransporteret luftforurening, trafik og træfyring, Palmgren et al., 2005) og fra indendørs kilder f.eks. madlavning, rygning, stearinlys og brændeovne. PM_{2.5} er en således en uspecifik parameter, der kan have mange forskellige kilder.

Resultaterne fra første målekampagne viser at de højeste partikelniveauer måles udendørs den 2. og 8. januar. Hvis man ser på de enkelte dage findes de relativt højeste koncentrationer hhv. udendørs (8/1), i huset uden brændeovn (fire gange) og i huset med brændeovn (fire gange). Det er overraskende at huset uden brændeovn flere gange viser sig at have de højeste niveauer af PM_{2.5}, men det kan måske skyldes tilstedeværelsen af en hund, som giver forøget ophvirvling af støv indendøre.

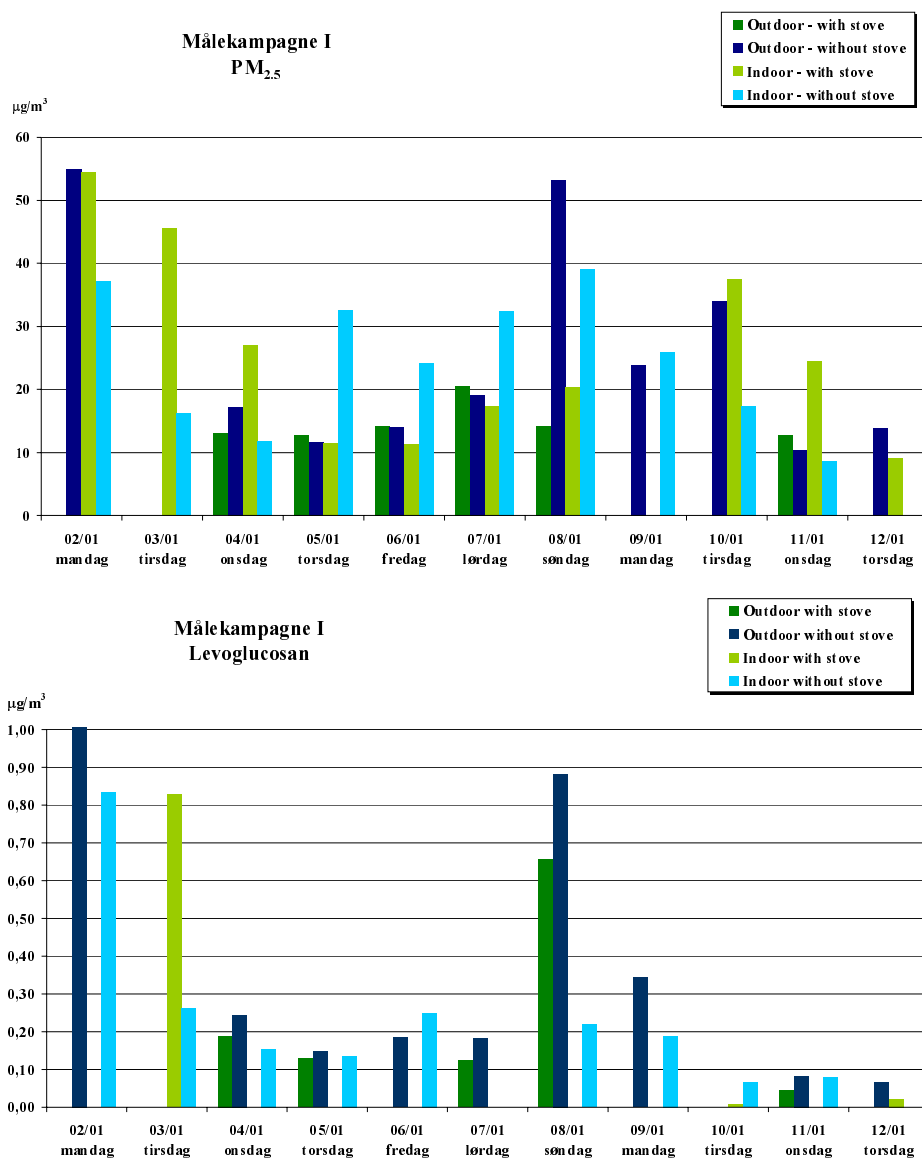
Levoglucosan

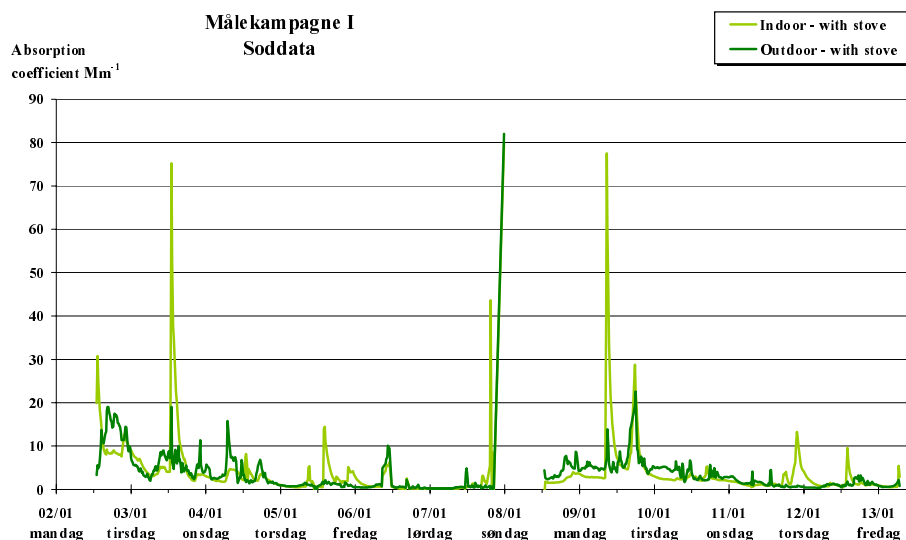
Levoglucosan er i modsætning til PM_{2.5} en specifik markør for afbrænding af cellulose. Desværre var der som nævnt en del filtre som ikke kunne analyseres, og resultaterne er derfor lidt sporadiske for denne måleperiode. Der ses en vis sammenhæng mellem høje koncentrationer af levoglucosan og høje koncentrationer af PM_{2.5}.

Sod

Målinger af sod blev foretaget indenfor og udenfor huset med brændeovn. Resultaterne er karakteriseret ved en række høje toppe i indendørs koncentration af kortere varighed. Størstedelen af disse toppe kan forklares ved optænding i husets brændeovn. Faldet i koncentration skyldes fortynding med ventilationsluft udefra og fra andre lokaler i huset. Ved nogle episoder genfindes toppen også i den udendørs måling, dvs. røgen fra skorstenen har påvirket sodmængden i den udendørs luft. I de tilfælde hvor sodmængden udendørs øges pga. lokale kilder (brændeovne og trafik) eller langtransport ses også en øgning i det indendørs niveau, men ofte ikke til så højt niveau som det udendørs. Dette skyldes indholdet af sod i ventilationsluft, men en del af partiklerne trænger ikke gennem sprækker ind i huset og niveauet bliver derfor lavere indendørs.

Figur 4.1 Måleresultater fra første målekampagne (Kongsgaard, 2006). Begge huse var beboede i måleperioden, og i huset uden brændeovn var der desuden en hund.





4.3.2 Anden målekampagne

Resultaterne fra anden målekampagne er vist i figur 4.2. I denne periode var huset med brændeovn beboet, mens huset uden brændeovn var ubeboet. Målinger fra dette hus giver derfor information om indtrængning af partikler uden særlig forstyrrelse fra mennesker og dyr, men niveauerne i de to huse kan således ikke sammenlignes direkte.

Fine partikler

I denne periode er der på 5 ud af 7 aftener betydeligt højere niveauer af $\text{PM}_{2.5}$ inde i huset med brændeovn end udendørs. Da huset uden brændeovn ikke er beboet i perioden og der således ikke er indendørs kilder til partikler, er $\text{PM}_{2.5}$ lavest her. De to udendørs målesteder viser generelt god overensstemmelse mellem målingerne, selvom disse forventeligt er påvirket af forskelle i nære lokale kilder (trafik og træfyring).

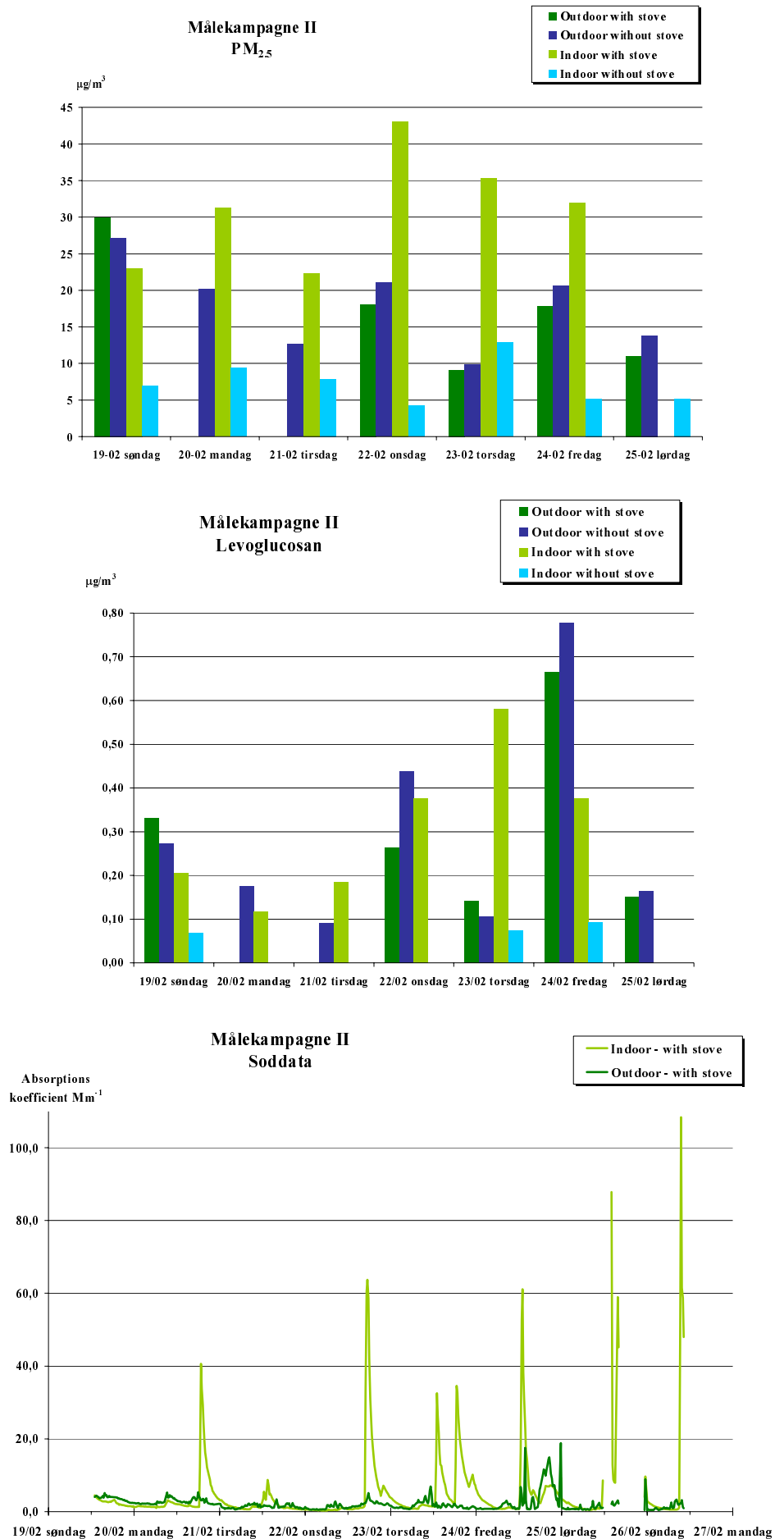
Levoglucosan

Målinger af levoglucosan viser den højeste koncentration udendørs den 24. februar, men $\text{PM}_{2.5}$ er ikke forhøjet på denne dato i forhold til de øvrige dage. Den højeste koncentration indendørs måles i huset med brændeovn den 23. februar, hvor koncentrationen er næsten 6 gange højere end de udendørs målinger. I huset uden brændeovn viser de tre målinger lave og relativt ens koncentrationer af levoglucosan.

Sod

Målinger i 2. kampagne viser ligesom i første kampagne episodiske, meget høje koncentrationer af sod indendørs. Disse toppe kan forklares ved optænding i brændeovn undtagen toppen den 23. februar om aftenen, hvor der ikke er en forklaring ud fra dagbogen. Den 24. ved middagstid ses et eksempel på at optænding i egen brændeovn påvirker udendørs-måling af sod, men dog i mindre grad. Om aftenen samme dag ses et eksempel på at forhøjet udendørsniveau af sod transporteres ind i huset og giver anledning til en mindre top her.

Figur 4.2 Måleresultater fra anden målekampagne (Konggaard, 2006). Huset med brændeovn var beboet i måleperioden, mens huset uden brændeovn stod tomt.



4.3.3 Diskussion

Fine partikler

De målte koncentrationer af PM_{2.5} er på mellem 5 og 55 µg/m³. De laveste niveauer måles indendørs i et ubeboet hus, og de højeste måles udendørs samt i et beboet hus med brændeovn. De udendørs målinger er i gennemsnit 20,8 µg/m³ i den første måleperiode og 17,6 µg/m³ i den anden måleperiode. Disse målinger af PM_{2.5} er af samme størrelse som tidligere målinger i København med samme metode (Wåhlin et al., 2006).

De indendørs målinger af PM_{2.5} er vanskelige at tolke i forhold til kilder, da partikelmassen ikke er specifik for f.eks. brændeovne og andre aktiviteter også kan give forhøjede niveauer af PM_{2.5} indendørs. Det er således vanskeligt at identificere hvor meget af PM_{2.5} indendørs der skyldes brug af brændeovn og hvor meget der hidrører fra andre aktiviteter.

Tabel 4.1 Oversigt over målinger af levoglucosan. Der er vist gennemsnit, standardafvigelse, minimum og maksimum samt antal prøver.

Levoglucosan (µg/m ³)	Gennemsnit	Standard afvigelse	Minimum	Maksimum	Antal prøver
1. kampagne					
Udendørs m. brændeovn	0.23	0.24	0.04	0.66	5
Udendørs uden	0.48	0.69	0.07	2.20	9
Indendørs m. brændeovn	0.29	0.47	0.01	0.83	3
Indendørs uden	0.24	0.23	0.07	0.83	9
2. kampagne					
Udendørs m. brændeovn	0.31	0.21	0.14	0.67	5
Udendørs uden	0.29	0.25	0.09	0.78	7
Indendørs m. brændeovn	0.31	0.17	0.12	0.58	6
Indendørs uden	0.08	0.01	0.07	0.09	3

Levoglucosan

Målinger af levoglucosan viser, at partikler fra træfyring findes udenendørs, og da levoglucosan er specifik for partikler fra træfyring er bidraget tydeligt. Målinger fra to andre områder (beskrevet i kapitel 3) viste 0,02-0,83 µg/m³, og gennemsnitligt 0,31 µg/m³ i boligområde og 0,17 µg/m³ i baggrundsområde, og niveauerne er således sammenlignelige med resultaterne i tabel 4.1.

Partikler transporteres med ventilationsluft ind i boliger, og derfor kan der genfindes partikler fra træfyring i et ubeboet hus. I huset med brændeovn svarer koncentrationen af levoglucosan til udendørsmålinger, men pga. afsætning af partikler under indtrængning gennem ventilation og sprækker, forventes det at finde et lavere niveau indendørs end udendørs.

Sod

Tabel 4.2 viser en oversigt over sodmålinger med PSAP i denne undersøgelse og i tidligere undersøgelser beskrevet i Andersen, 2006. Det er vigtigt at bemærke at målingerne ikke er foretaget samtidigt. Det fremgår, at målinger fra Randers i gennemsnit er på samme niveau som tidligere målinger i bybaggrund og baggrundsområde nær København.

Tabel 4.2 Oversigt over sodmålinger. Der er sammenlignet med tidligere målinger (Andersen, 2006) foretaget forår og sommer 2005 i Københavnsområdet. Der er angivet gennemsnit samt minimum- og maksimumværdier (for den tidligere undersøgelse dog for en gennemsnitsuge i måleperioden). Værdier i tabellen er lysabsorptionskoefficienter som er et mål for sodkoncentrationen i luften. Enheden er $(10^6\text{m})^{-1}$ eller $(\text{Mm})^{-1}$.

	Udendørs (Mm^{-1})	Indendørs (Mm^{-1})
Målekampagne 1	3,3 (0,1-82)	3,7 (0,02-80)
Målekampagne 2	2,2 (0,4-19)	5,1 (0,3-108)
Tidligere undersøgelse:		
Gade (H.C. Andersens Boulevard)	16 (5-37)	
Bybaggrund (H.C. Ørsted institut)	6 (2-11)	
Baggrund (Lille Valby)	4 (2-7)	

Levoglucosan og sod som markør

I huset med brændeovn ses ikke altid en tydelig sammenhæng mellem høje niveauer af $\text{PM}_{2.5}$ og levoglucosan. I 2. kampagne er $\text{PM}_{2.5}$ højest på dette målested sammenlignet med de øvrige, men dette gør sig i mindre grad gældende for målinger af levoglucosan. Dette kan tyde på at der kan dannes partikler fra træfyring uden der nødvendigvis dannes tilsvarende mængder levoglucosan. Levoglucosan dannes ved pyrolyse af cellulose ved temperaturer over 300°C (Simoneit et al., 1999). Tidligt i forbrændingsprocessen kan der frigives halvflygtige organiske forbindelser eller sod, som ikke bliver brændt af, fordi temperaturen i ovnen endnu er forholdsvis lav, og disse forbindelser kan give partikeldannelse.

Levoglucosan er derfor ikke en optimal markør for partikler fra sodende forbrænding ved lav temperatur, hvilket man typisk har ved optænding. Sod ser ud til at være en bedre markør for denne type forbrænding. Koncentrationen af sod indendørs falder hurtigt efter optænding, hvilket tyder på at forbrændingen efter kort tid bliver mindre sodende og mere fuldstændig, samtidigt med at der kommer mere træk i skorstenen, og røgen transporteres effektivt op gennem skorstenen. Det øgede skorstenstræk forventes at medføre en øget ventilation af stuen med frisk luft udefra, og koncentrationen af sodpartikler fortyndes og mindskes.

4.4 Konklusion

Målingerne viser at det er vanskeligt kun ud fra målinger af partikelmasse ($\text{PM}_{2.5}$) at identificere kilder til forhøjede niveauer, specielt i indendørs miljø, hvor der er mange kilder af varierende styrke.

I stedet kan der anvendes målinger af mere specifikke markører som sod og levoglucosan. Målinger af sod med høj tidsopløsning viste, at i et hus med brændeovn var der en betydelig forøgelse af luftens sodindhold indendørs ved optænding i brændeovnen. Koncentrationen faldt derefter

som følge af ventilation. Målinger af levoglucosan viste at partikler som stammer fra træfyring kan findes i indendørs luft, både i et hus med brændeovn og i et ubeboet hus.

5 Referencer

Andersen, P. (2006): Measurement of particulate carbon in relation to traffic and validation of a Particulate Soot Absorption Photometer (PSAP). MSc thesis. University of Southern Denmark and National Environmental Research Institute, Roskilde, Denmark.

Bond, Tami C., Theodore L. Anderson and Dave Cambell (1999): Calibration and Intercomparison of Filter-Based Measurements of Visible Light Absorption by Aerosols. *Aerosol Science and Technology* 30, 582-600.

Glasius, M., Vikelsøe, J., Bossi, R., Andersen, H.V., Holst, J., Johansen, E. & Schleicher, O. (2005): Dioxin, PAH og partikler fra Brændeovne. Danmarks Miljøundersøgelser. - Arbejdsrapport fra DMU 212: 27 s. (elektronisk).

Glasius, M., Ketzel, M., Wåhlin, P., Jensen, B., Mønster, J., Berkowicz, R. & Palmgren, F. (2006): Impact of wood combustion on particle levels in a residential area in Denmark. *Atmospheric Environment*, vol. 40, pp. 7115-7124.

Henriksen, T.C., Illerup, J.B. & Nielsen, O.-K. (2006): Dioxin Air Emission Inventory 1990-2004. Faglig rapport fra DMU nr. 602. 90 pp.

Hetel, O., Løfstrøm, P. & Jensen, S.S. (2002): Partikelforureningen fra industri og trafik i Esbjerg. Danmarks Miljøundersøgelser 45s. - Arbejdsrapport fra DMU nr. 160.

Hetel, O., Løfstrøm, P., Jensen, S.S., Brocas, M., Hvidberg, M., Fryden-dall, J., Ambelas Skjøth, C., Palmgren, F. (2004): Luftforurening fra trafik, industri og landbrug i Frederiksborg Amt. Danmarks Miljøundersøgelser 90s. - Faglig rapport fra DMU nr. 503.

Kemp, K., Ellermann, T., Palmgren, F. & Wåhlin, P. (2006): The Danish Air Quality Monitoring Programme. Annual Summary for 2005. National Environmental Research Institute. - NERI Technical Report No. 584: 42 pp. (electronic).

Ketzel, M., Glasius, M., Wåhlin, P., Jensen, B., Andersen, P., Ström, J., Hansson, H.C. & Palmgren, F. (2005): A simple optical soot sensor - laboratory tests and first field data on wood stove emissions. Presentation at the Annual Symposium of the Nordic Society for Aerosol Research (NOSA), Göteborg, Sweden, 3-4 November 2005.

Konggaard P. (2006): Indendørs luftforurening fra brændeovne. Specialrapport, Kemisk institut, Syddansk Universitet, under udarbejdelse.

Molnar P., Johanneson, S., Boman, J., Barregård, L. & Sällsten G. (2006): Personal exposures and indoor, residential outdoor, and urban background levels of fine particle trace elements in the general population. *Journal of Environmental Monitoring*, 8, 543-551.

Olesen, H.R., Løfstrøm, P., Berkowicz, R. & Jensen, A.B. (1992): An improved dispersion model for regulatory use – The OML model: Plenum Press, New York.

Palmgren, F., Wåhlin, P., Berkowicz, R., Ketzel, M., Illerup, J. B., Nielsen, M., Winther, M., Glasius, M., Jensen, B., 2003: Aerosols in Danish Air (AIDA). Midterm report 2000-2002. National Environmental Research Institute, Roskilde, Denmark. 94 pp. – NERI Technical Report No. 460 <http://technical-reports.dmu.dk>

Palmgren, F., Glasius, M., Wåhlin, P., Ketzel, M., Berkowicz, R., Jensen, S.S., Winther, M., Illerup, J.B., Andersen, M.S., Hertel, O., Vinzents, P.S., Møller, P., Sørensen, M., Knudsen, L.E., Schibye, B., Andersen, Z.J., Hermansen, M., Scheike, T., Stage, M., Bisgaard, H., Loft, S., Lohse, C., Jensen, K.A., Kofoed-Sørensen, V. & Clausen, P.A. (2005): Luftforurening med partikler i Danmark. Miljøstyrelsen. - Miljøprojekt 1021: 84 s. (elektronisk).

Schleicher, O., Jensen, A. A., Blinksbjerg, P. 2001: Måling af dioxinemissionen fra udvalgte sekundære kilder. Miljøprojekt nr. 649,

Simoneit, B.R.T., Schauer, J.J., Nolte, C.G., Oros, D.R., Elias, V.O., Fraser, M.P., Rogge, W.F. & Cass, G.R. (1999): Levoglucosan, a tracer for cellulose in biomass burning and atmospheric particles. *Atmospheric Environment*, 33, 173-182.

Stieglitz, L., Vogg, H., Zwick, G., Beck, J. & Bautz, H. (1991): On formation conditions of organohalogen compounds from particulate carbon of fly ash. *Chemosphere*, vol. 23, pp. 1255-1264.

Stubbjær J. (2006): Luftforurening med partikler fra brændeovne – måling og modellering af PM_{2.5}-bidrag i to danske villakvarterer om vinteren. Specialrapport, Geografisk Institut, Københavns Universitet. http://www.dmu.dk/Pub/SP_jest.pdf

Vikelsø, J., Madsen H. & Hansen, K. 1994: Emission of dioxins from Danish wood-stoves. *Chemosphere* **29**, 2019-2027.

Vikelsø, J., Hovmand, M.F., Andersen, H.V., Bossi, R., Johansen, E. & Chrillsen, M. (2006): Dioxin in the Atmosphere of Denmark. A Field Study at Selected Locations. The Danish Dioxin Monitoring Programme II. National Environmental Research Institute. - NERI Technical Report 565: 83 pp. (electronic).

Wåhlin, P., Berkowicz, R. & Palmgren, F. (2006): Characterisation of traffic-generated particulate matter in Copenhagen. - *Atmospheric Environment* 40(12): 2151-2159.

Yttri, K.E., Dye, C., Slørdal, L.H. & Braathen, O-A. (2005): Quantification of monosaccharide anhydrides by liquid chromatography combined with mass spectrometry: Application to aerosol samples from an urban and a suburban site influenced by small-scale wood burning. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 55, 1169-1177.

Zdrahal, Z., Oliveira, J., Vermeylen, R., Claeys, M., & Maenhaut, W. (2002): Improved method for quantifying levoglucosan and related mono-

saccharide anhydrides in atmospheric aerosols and application to samples from urban and tropical locations. *Environmental Science and Technology*, 36, 747-753.

DMU Danmarks Miljøundersøgelser

Danmarks Miljøundersøgelser er en del af Aarhus Universitet.	På DMU's hjemmeside www.dmu.dk finder du beskrivelser af DMU's aktuelle forsknings- og udviklingsprojekter.
DMU's opgaver omfatter forskning, overvågning og faglig rådgivning inden for natur og miljø.	Her kan du også finde en database over alle publikationer som DMU's medarbejdere har publiceret, dvs. videnskabelige artikler, rapporter, conferencebidrag og populærfaglige artikler.

Yderligere information: www.dmu.dk

Danmarks Miljøundersøgelser Frederiksborgvej 399 Postboks 358 4000 Roskilde Tlf.: 4630 1200 Fax: 4630 1114	Direktion Personale- og Økonomisekretariat Forsknings-, Overvågnings- og Rådgivningssekretariat Afdeling for Systemanalyse Afdeling for Atmosfærisk Miljø Afdeling for Marin Økologi Afdeling for Miljøkemi og Mikrobiologi Afdeling for Arktisk Miljø
Danmarks Miljøundersøgelser Vejlsovej 25 Postboks 314 8600 Silkeborg Tlf.: 8920 1400 Fax: 8920 1414	Forsknings-, Overvågnings- og Rådgivningssekretariat Afdeling for Marin Økologi Afdeling for Terrestrisk Økologi Afdeling for Ferskvandsøkologi
Danmarks Miljøundersøgelser Grenåvej 14, Kalø 8410 Rønde Tlf.: 8920 1700 Fax: 8920 1514	Afdeling for Vildtbiologi og Biodiversitet

Denne rapport omhandler nye undersøgelser af udslip, koncentrationer og spredning af partikler og organiske gasser fra træfyring. Målinger af udslip blev foretaget direkte på 19 private villa-skorstene i Gundsømagle, og der blev analyseret for indhold af fine partikler, PAH og dioxin (PCDD/F). Udendørs luftforurening fra træfyring blev målt i et villakvarter i Vindinge. Her blev luften undersøgt for indhold af partikler og PAH samt brænderøgs-markører levoglucosan og mannosan. Målinger af dioxin i udeluften blev desuden foretaget gennem et år i Gundsømagle. Niveauet af partikelforurening i Vindinge og Gundsømagle blev beregnet med den gaussiske røgfanemodel OML-Multi, hvorefter modellens resultater kunne verificeres i forhold til de målte værdier. Endelig blev der foretaget inde-ude målinger af PM_{2.5}, levoglucosan og sod i to parcelhuse i Randers. Her blev sammenhængen mellem indendørs og udendørs niveauer undersøgt, og de indendørs niveauer blev sammenholdt med brug af brændeovn i det ene hus.