

Artikel

## **Indendørs luftforurening fra brændeovne: Hvordan partikler fylder husene ved fyringen**

Rohit Chakraborty 1,\* James Heydon 2, Martin Mayfield 1 and Lyudmila Mihaylova 3

1 Department of Civil and Structural Engineering, The University of Sheffield, Sheffield S1 3JD, UK; martin.mayfield@sheffield.ac.uk

2 School of Sociology and Social Policy, The University of Nottingham, Nottingham NG7 2RD, UK; james.heydon@nottingham.ac.uk

3 Department of Automatic Control and Systems Engineering, The University of Sheffield, Sheffield S1 3JD, UK; l.s.mihaylova@sheffield.ac.uk

\* Correspondence: rohit.chakraborty@sheffield.ac.uk

**Sammenfatning:** Formålet med studiet var at undersøge niveauet af partikelmasse (PM<sub>2.5</sub> og PM<sub>1</sub>), der udledes indendørs fra brændeovne ved brug ude i hjemmene. De anvendte ovne var certificeret af UK's Ministerium for Miljø, Fødevarer og Landbrug (DEFRA). Der blev anbragt partikeltællere i nærheden af 20 forskellige ovne i fire uger, og der blev registreret 260 gange brug. Deltagerne førte forskningsdagbog med information om tidspunkt for optænding, mængde og type anvendt brændsel, varighed af brug m.m. Der blev anvendt multivariate statistiske værktøjer til analyse af indendørs PM-koncentrationer, middelværdier, intensiteter og disses forhold til aspekter ved betjening af ovnene. Undersøgelsens fire hovedresultater er følgende: 1. Døgnmiddelværdien for indendørs PM<sub>2.5</sub>-koncentration ved brug af brændeovn var 66.24% højere end i kontrolgruppen uden brug af brændeovn og 69.49% højere for PM<sub>1</sub>. 2. Timemiddelværdierne for peak-koncentrationer er 55.34% højere for PM<sub>2.5</sub> og 57.09% højere for PM<sub>1</sub> end døgnmiddelværdierne, hvilket viser, at PM fylder boligen indendørs ved normal brug. 3. De toppe, der opstår ved disse udledninger, hænger sammen med, hvor mange stykker brændsel der indfyres, samt fyringsperiodens varighed. Dette peger på, at åbning af ovndøren er en primær mekanisme til at sende partikler ud i hjemmet. 4. Endelig fremgår det, at den indendørs luftforurening, der konstateres, ikke kommer fra kilder uden for hjemmet. Samlet viser undersøgelsen, at folk i hjem med

brændeovn har risiko for at blive udsat for høje koncentrationer af PM2.5 og PM1 i en kort periode under normal brug. Det anbefales, at der ved testning og regulering af brændeovne tages højde for denne risiko.

Nøgleord: Luftforurening, brændeovne, partikelmasse, partikelantalskoncentration, indendørs luftkvalitet, prisbillige partikeltællere, internet of things.

## 1. Indledning

Partikler med en aerodynamisk diameter på op til 2.5  $\mu\text{m}$  (PM2.5) er en komponent af luftforurening og har længe været forbundet med skadelige helbredseffekter. De er skyld i syv millioner dødsfald årligt [1]. De medfører helbredseffekter i form af betændelse og oxidativt stress, som nedsætter lungernes immunforsvar og øger risikoen for infektion [2]. Da partiklerne kan vandre ind i alle kroppens organer, kan de relateres til sygdomme som lungekræft, bronkitis og andre lunge- og kredsløbssygdomme samt slagtilfælde, demens og Parkinsons sygdom [3]. Den slags effekter findes mest udtalt hos børn, gravide og ældre [4]. Mens en stor del af forskningen fokuserer på partikelemissioner fra industri og trafik, er den primære kilde til PM2.5 i Det Forenede Kongerige (UK) husholdningernes afbrænding af træ og kul til opvarmning [5]. Ifølge regeringens skøn bruger en ud af tolv husholdninger i UK brændeovne og andre små fyringsanlæg [6] og er dermed kilde til 38% af landets PM2.5 emissioner [5]. Ovnenes popularitet er stigende. Data fra UK's industri viser, at der sælges mellem 150,000 og 200,000 stykker årligt, og salget lå på over en million mellem 2010 og 2015 [7]. Der er forskellige forklaringer på stigningen, herunder en varetagelse af lavere brændselsudgifter, når træ eller biomasse kan skaffes lokalt, især når det gælder lavindkomstgrupper, som har det svært at klare brændselsudgifter. Eller også fordi brændeovne bliver en livsstil for dem, der har en anden primær varmekilde i boligen [8]. Eller fordi brændeovne opfattes som mindre klimaskadelige, da de kan bruge fornybare brændsler [9]. Meget af den eksisterende litteratur om brændeovne fokuserer på effektivitet [10,11] og udendørs emissioner [12–14], og mange anvender måleudstyr for at finde ud af indendørs PM-emissioner ved brug. I deres tidlige arbejder målte Traynor et al. [15] indendørs emissioner fra fire brændeovne og fandt, at alle ovnene på et tidspunkt under brugen udledte partikler indendørs. Canha et al. [16] fandt, at opvarmning med træ af et skolelokale på landet i Portugal bidrog til høje niveauer af PM2.5 i indemiljøet. Semmens et al. [17] undersøgte 98 ovne i 48 timer og fandt, at de gennemsnitlige indendørs PM2.5-koncentrationer overskred WHO's retningslinjer for luftkvalitet og nærmede sig USA's miljøbeskyttelsesagenturs (EPA) tilsvarende standard for 24 timer. Piccardo et al. [18] testede indendørs emissioner fra ni ovne og fandt, at indendørs luftforurening hang sammen med fejl i gør-det-selv-installation og

betjening. Wang et al. [19] testede en ovn under laboratorieforhold og fire ovne ved brug i virkeligheden. Det er uklart, hvor mange tests og hvor mange målinger ved brug i hjemmene der blev udført, men studiet konkluderer, at der sker forskellige emissioner ved de forskellige tidspunkter i forbrændingens cyklus. Vicente et al. [20] testede en åben pejs og en brændeovn under laboratorieforhold og fandt, at PM10 niveauerne under prøvningen blev 12-doblet ved førstnævnte og fordoblet ved sidstnævnte. Allen et al. [21] opgraderede ovnene i 15 huse for at finde ud af, i hvilket omfang ovndesign kan forbedre den indendørs luftkvalitet, og fandt, at det ikke gav nogen systematisk forbedring. Denne litteratur er opsummeret i tabel 1. Ovennævnte studier giver et bedre kendskab til indendørs emissioner fra brændeovne, men har også en del begrænsninger.

For det første bedømmer de eksisterende studier indendørs emissioner fra brændeovne i forhold til officielle retningslinjer for gennemsnitlig eksponering [22]. Det er en dominerende fremgangsmåde i luftkvalitetsforskning, men det medfører at toppe i emissionerne forsvinder, da de udjævnes i middelværdier. Når for eksempel Semmens et al. [17] fandt, at ”det rapporterede antal gange, brændeovne blev åbnet, ikke hang sammen med PM2.5 eller en hvilken som helst partikelstørrelses-fraktion”, blev det konkluderet på grundlag af en 48 timers middelværdi. Det er problematisk, fordi epidemiologer i stigende grad erkender, at udsættelse for høje intensiteter af PM i meget kortere perioder - timer snarere end dage - er forbundet med en række helbredseffekter [23–26]. Således fandt Lin et al. [27] en signifikant sammenhæng mellem topkoncentrationer af PM2.5 på timebasis og mortalitetsrater i seks kinesiske byer. Tilsvarende fandt et systematisk review af 196 artikler en positiv relation mellem korttidsudsættelse for PM og dødelighed som følge af hjertekar-, åndedræts- og hjernesygdomme [28]. Flere studier rapporterer om top-emissioner indendørs fra brændeovne, men de bygger enten på observation under kontrollerede forhold [15,20,29,30] eller har kun data fra få brugere eller anvendelser fra den virkelige verden [19,21,22].

For det andet er der stor variation i det antal ovnanvendelser, der konkluderes ud fra (se tabel 1). Det har mindre betydning ved test i laboratorium, hvor forholdene ved brug kan kontrolleres nøje. Men ved studier af emissioner ude i hjemmene er lave hyppigheder af brug en udfordring, fordi en måde at bruge ovnen på behøver ikke at være den samme som en anden måde. Hertil kommer, at deltagerne også aktivt kan ændre adfærd, når de ved, de bliver observeret. Forskere kan fremkalde den slags ‘deltager-reaktivitet’ gennem tydelig og gentagen intervention i en social situation. For at minimere denne indflydelse og få en mere præcis vurdering af indendørs

emissioner ved normal brug kræves undersøgelse af et større antal ovne i en længere periode og uden tydelig indblanding af forskerne.

For det tredje mangler der i de eksisterende studier klarhed over de testede oves standard. Det fremgår, hvilket brændsel der almindeligt bruges, og ovnen beskrives, omend usystematisk (se Tabel 1), men hvis det overhovedet nævnes, hvilken standard ovnene følger, mangler der detaljer. Det gør det vanskeligt at generalisere resultater for kategorier af ovne, som er fælles om grundlæggende sider af designet. De standarder, der beskrives, er fortrinsvis godkendt af myndigheder udenfor UK. For eksempel har studier [17,21,22,31] fokuseret på ovne, der er godkendt af miljømyndigheder, men kun fra USA og Canada. Der er således brug for forskning i forholdet mellem indendørs emissioner og UK-specifikke forskrifter for ovndesign og prøvning.

For det fjerde er der kun få studier af ultrafine partikler (UFP), defineret som partikler med en diameter på under 100 nm, eller af partikelantalskoncentration (PNC), defineret som totalt antal partikler pr. cm<sup>3</sup> i en prøve. Det er vigtigt at måle PNC ud over den gængse måling af massekoncentration af PM<sub>2.5</sub>, da PNC og PM<sub>2.5</sub> ikke følges ad [32]. Pearsons korrelationskoefficient er på 0.09–0.64 og høje niveauer af PM<sub>2.5</sub> giver ikke nødvendigvis høje niveauer af PNC og omvendt. Der kan derfor være brug for forskellige tiltag til reduktion eller regulering af PM<sub>2.5</sub> på den ene side og til at tackle problemet med stigende forekomst af PNC på den anden. Penttinen et al. [33] fandt således hos børn med astma en stærkere negativ sammenhæng mellem lungefunktion (peak expiratory flow) og PNC end PM<sub>2.5</sub>. UFP kan således være forbundet med en væsentlig helbredsrisiko, da eksponering for PNC stiger markant i de mindste størrelsesfraktioner.

Set i forhold til disse begrænsninger har vores undersøgelse fire formål. For det første at bestemme den reelle indendørseksponering for PM fra brug af brændeovne ude i hjemmene i 30 dage. Denne periode er valgt for at få et større antal anvendelser som datagrundlag uden at instruere deltagerne i brug af ovnene og med minimale forstyrrelser af forsøgsopsætningen og således få et mere præcist billede af brug i den virkelige verden. For det andet at opdage og fastslå eksistensen af indendørs topværdier i PM<sub>2.5</sub> og PM<sub>1</sub>-niveauer som resultat af ovnanvendelsen. For det tredje at klarlægge om niveauet af indendørs luftforurening stammer fra indendørs eller udendørs kilder. Endelig at søge at bestemme i hvilket omfang emissionerne kommer fra en specifik kategori af ovne, nemlig dem, der er certificeret som 'Smoke Exempt Appliance' af UK's Ministerium for Miljø, Fødevarer og Landbrug (DEFRA). Til forskel fra ældre ovne, Semmens et al. fokuserede på [17], er disse ovne modificeret for at begrænse lufttilførsel og røgudvikling ved forbrænding. Ovne, der består den

officielle prøvningsproces [34], bliver certificeret til fritagelse fra de forskrifter om røgkontrol (Smoke Control Area regulations), som gælder for de fleste byer i UK.

Prøvningen er imidlertid begrænset til måling af udendørs luftforurening via røggasudledning fra skorstenen samt varmeoutput. Ingen af de gældende standarder, som DEFRA kræver overholdt, gælder indendørs PM-emissioner fra ovne (see PD 6434: 1969; BS 3841: Part 1: 1994; BS 3841: Part 2: 1994). Selv de nyeste 'EcoDesign' standarder som påberåber sig EN 16510:2018 omfatter ikke prøvning for indendørs emissioner. Samlet set er DEFRA's prøvningsordning baseret på den grundlæggende antagelse, at brændeovne ikke forurener indendørs eller kun gør det, når der er noget galt. Resultaterne af dette studie tester validiteten af denne grundlæggende antagelse. Kort sagt, kommer dette arbejde med tre kernebidrag:

i Det fremlægger en ramme til bestemmelse af reel indendørs PM-eksponering fra brug af brændeovne ude i hjemmene.

ii Det kan opdage og fastslå eksistensen af indendørs topniveauer af PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>1</sub> og PNC som resultat af ovnanvendelsen.

iii Det analyserer resultaterne i relation til DEFRA-forskrifterne og bestemmer omfanget af emissionerne fra en specifik ovnkategori, nemlig ovne certificeret af DEFRA som 'Smoke Exempt Appliance'.

Gennem disse bidrag søger studiet at fastslå, om der er helbredsrisici under normale driftsforhold og om DEFRA's prøvningsstandarder som følge af disse oplysninger bør ændres.

Resten af dette papir er inddelt som følger: Sektion 2 beskriver den eksperimentelle ramme, herunder i Sektion 2.2 kalibrering af partikelmåler og evaluering. Sektion 3 præsenterer resultater og analysen, fulgt af konklusionen i Sektion 4.

[...]

#### 4. Konklusion

Formålet med dette studie var at undersøge, i hvilket omfang der udledes PM indendørs ude i folks hjem ved brug af DEFRA-certificerede ovne. Resultaterne peger på, at PM-eksponeringen indendørs fra disse ovne ude i hjemmene er højere, når de er tændt, end når de ikke er i brug. Sammenlignet med perioder, hvor ovnen ikke bruges, var de samlede middelkoncentrationer 66.24% højere for PM<sub>2.5</sub> og 69.49% højere for PM<sub>1</sub>. Topkoncentrationer af PM på timebasis lå ofte 250–400% højere, når deltagerne ved en enkelt ibrugtagning havde fyldt brænde på flere gange. Resultaterne belyser også PNC med en gennemsnitlig time-topudledning på 9978

partikler/0.1 l ved en enkelt ibrugtagning. Disse topudledninger faldt tidsmæssigt sammen med åbning af ovndøren, hvilket viser at de forekom, når der blev fyldt mere brændsel på. Data fra udendørs partikelmålere viste, at kilden ikke var udendørs. På grundlag af disse resultater anbefales det, at DEFRA's forskrifter og prøvningsstandarder ændres, så de tager højde for disse retningsgivende helbredsrisici. De partikler, der udledes i hjemmet, skyldes ikke afvigelser fra normal brug, men er et direkte resultat heraf. I den virkelige verden kan en ovn nemlig ikke betjenes uden at åbne ovndøren. Det er muligt, at ansproging gennem myndighederne kan tilskynde til at forbedre ovndesignet, så topudledningerne begrænses. I mellemtiden, eller hvis det ikke er muligt at foretage en sådan ændring, anbefales det, at nye brændeovne sælges med en helbredsadvarsel på salgsstedet, så brugerne bliver gjort opmærksomme på de retningsgivende sundhedsrisici, de udsættes for.