



Miljøministeriet  
Miljøstyrelsen

# Boligopvarmning ved brændefyring

Energieffektivitet og indeklima

*Projekt under tilskudsordningen til miljøeffektiv  
brændefyringsteknologi*

Miljøprojekt nr. 1435, 2012

**Titel:**

Boligopvarmning ved brændefyring

**Redaktion:**

Ole Michael Jensen  
Alireza Afshari  
Niels Christian Bergsøe  
Ricardo Carvalho  
Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet.

**Udgiver:**

Miljøstyrelsen  
Strandgade 29  
1401 København K  
www.mst.dk

**År:**

2012

**ISBN nr.**

978-87-92903-34-1

**Ansvarsfraskrivelse:**

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse.

# Indhold

<b>FORORD</b>	<b>5</b>
<b>SAMMENFATNING OG KONKLUSION</b>	<b>7</b>
<b>SUMMARY AND CONCLUSIONS</b>	<b>11</b>
<b>BAGGRUND</b>	<b>15</b>
<b>1 UNDERSØGELSESDSIGN</b>	<b>17</b>
1.1 BESØGSVÆRTER	17
1.2 MÅLINGER	18
1.3 SPØRGESKEMA OG INTERVIEW	18
<b>2 ENERGIEFFEKTIVITET</b>	<b>19</b>
2.1 INTRODUKTION	19
2.1.1 <i>Skærpede krav til brændeovne</i>	20
2.1.2 <i>Skærpede krav til bygninger</i>	20
2.2 BRÆNDEOVNSUNDERSØGELSE	21
2.2.1 <i>Varmebalancer</i>	22
2.2.2 <i>Klimabelastning</i>	27
2.2.3 <i>Overophedning</i>	28
2.2.4 <i>Luftskifte og ventilationstab</i>	29
2.3 SAMMENFATNING	32
<b>3 PARTIKELUDSLIP OG INDEKLIMA</b>	<b>33</b>
3.1 INRODUKTION	33
3.1.1 <i>Måling af luftbårne partikler</i>	33
3.1.2 <i>Sundhedsmæssige effekter af små partikler</i>	35
3.1.3 <i>Partikler skabt inden døre</i>	36
3.1.4 <i>Partikelmåling ved brug af brændeovne</i>	37
3.2 BRÆNDEOVNSUNDERSØGELSE	38
3.2.1 <i>Partikelmålinger</i>	39
3.2.2 <i>Kildestyrker og henfaldstider</i>	40
3.3 SAMMENFATNING	44
<b>4 ANBEFALINGER</b>	<b>47</b>
4.1 PRODUCENTER	48
4.1.1 <i>Moderne brændeovne bør afgive mindre varme over længere tid</i>	48
4.1.2 <i>Mere intelligent samspil mellem brændeovn og hus savnes</i>	50
4.1.3 <i>Moderne brændeovne bør sikres mod afgivelse af partikler</i>	50
4.2 FORHANDLERE AF BRÆNDEOVNE	52
4.2.1 <i>Brændeovne kan ikke blive små nok</i>	52
4.2.2 <i>Brændeovne og gulvvarme spiller dårligt sammen</i>	52
4.2.3 <i>Brændeovne er svære at tænde i huse med mekanisk ventilation</i>	53
4.3 MYNDIGHEDER	53
4.3.1 <i>Brændeovne afgiver også partikler til indeluften</i>	53
4.3.2 <i>Ventilationstab uden betydning ved energiberegning</i>	54
<b>KILDER</b>	<b>57</b>
<b>BILAG</b>	<b>61</b>
BILAG A: BRÆNDEOVNSSTANDARDER	61
BILAG B: SPØRGESKEMA	61



# Forord

Denne rapport er resultatet af en undersøgelse af brændeovne opstillet i nye huse. Formålet med undersøgelsen har været at se nærmere på, hvordan nye brændeovne fungerer i nye huse. I et miljømæssigt perspektiv er brændeovne mest kendt som kilde til forurening med partikler. Men moderne brændeovne udnytter brændet bedre, afgiver færre partikler og fordeler varmen mere effektivt end gamle brændeovne. Samtidig har nye huse og med dem energioptimerede ældre huse et meget mindre opvarmningsbehov end huse, der er bare ti år gamle. Derfor vil nybyggeri og energirenovring af eksisterende huse alt andet lige føre til mindre udslip af partikler og til bedre udnyttelse af brænderessourcen. Spørgsmålet er imidlertid, om denne udvikling mod mere energieffektive huse og mere energieffektive brændeovne giver anledning til konflikter. Kan de to, hus og ovn, også fremover fungere sammen, uden at der i det enkelte hus sker overophedning, og uden at optænding og betjening af den enkelte ovn kommer i konflikt med det moderne ventilationsanlæg eller på anden måde giver anledning ulemper, fx udslip af partikler til indemiljøet.

Undersøgelsen er gennemført i felten, dvs. i en række nye huse med nye brændeovne – i to tilfælde med en masseovn, dvs. en muret stenovn. For at undersøge eventuelle konflikter blev der i første række set på, om brændeovne kan yde et relevant bidrag til opvarmningen, og i anden række på om brændeovne kan bringes til at fungere i moderne tætte huse uden at påvirke indeklimaet i negativ retning, det være sig ved overophedning eller udsendelse af partikler til opholdsrum.

Undersøgelsen er udført af Statens Byggeforskningsinstitut med bistand fra Dansk Standard. En række brændeovnsfabrikanter mv. har været inddraget i tilrettelæggelsen af undersøgelsen, lige som der har været nedsat en følgegruppe, bl.a. med en repræsentant fra Teknologisk Institut i Århus.



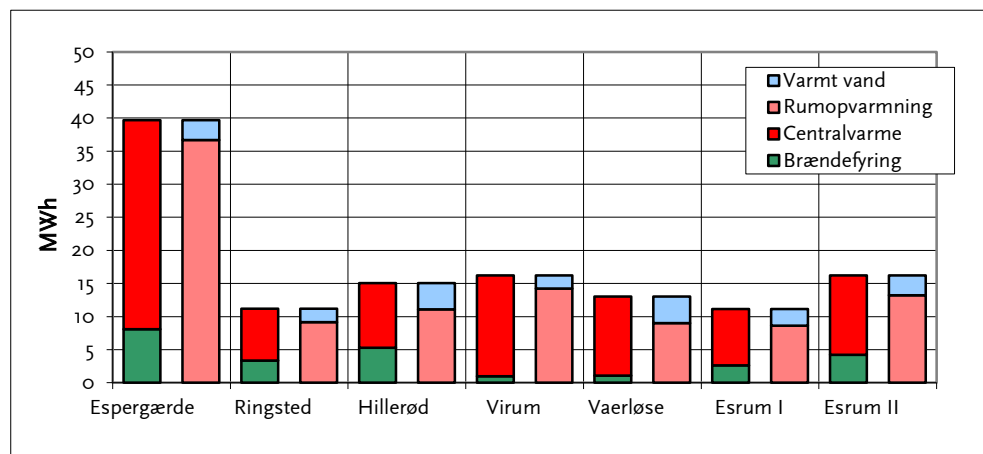
# Sammenfatning og konklusion

To spørgsmål presser sig på, når det gælder brug af brændeovne i moderne enfamiliehuse. Det første går på, om brændeovne også i fremtiden vil kunne fungere som en egentlig varmekilde i betragtning af, at nye huse, men også ældre huse, der er blevet efterisoleret, holder godt på varmen, og derfor skal tilføres en mindre energi til rumopvarmning. Det andet spørgsmål, går på, om det fortsat vil kunne lade sig gøre at benytte brændeovne i moderne huse, hvor luftskiftet kontrolleres via mekanisk ventilation og evt. varmegenvinding. Her er spørgsmålet især, om der kan tilvejebringes optændingsteknikker, som kan spille sammen med tætte huse, således at der ikke opstår fare for udslip af partikler i det opholdsrum, ovnen er placeret i.

Svar på disse spørgsmål kan få stor betydning for, hvordan den næste generation af brændeovne skal udformes, og for anvisningerne på, hvordan man tænder en moderne brændeovn op i et moderne lavenergihus eller hus, der gennem energirenovering har opnået et lavt energiforbrug. Endelig kan viden om den måde, moderne brændeovne fungerer på i praksis, have betydning for, hvordan de skal indgå i energiberegningen ved opførelse af nye huse, jf. det energiberegningsprogrammet Be10, der skal bruges, når man skal eftervise, at en bygning opfylder energikravene i henhold til bygningsreglement 2010 (BR10).

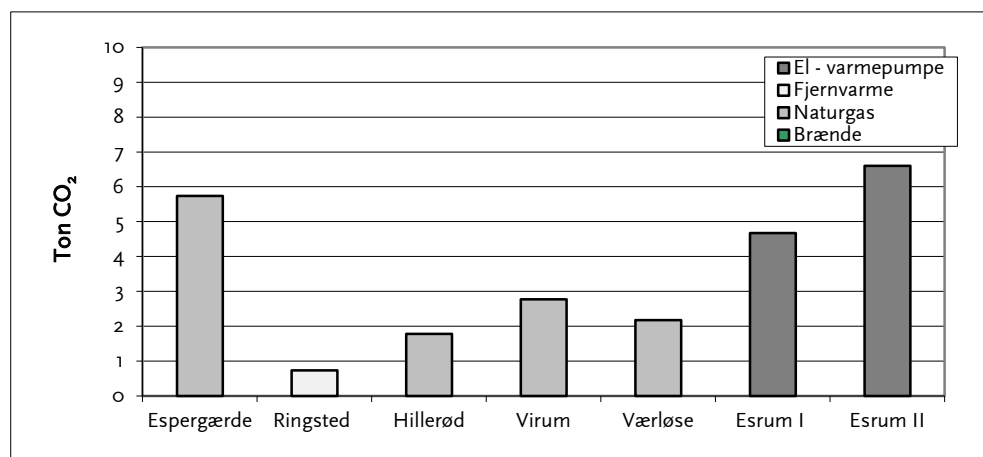
Til belysning af det første spørgsmål, blev der iværksat undersøgelser i mar-ken, hvor syv moderne brændeovne opstillet i seks nye og et ældre hus indgik. I hvert tilfælde blev der foretaget optænding og efterfølgende målt på varmeudvikling og partikeludslip. Som baggrund for denne del af undersøgelsen blev der for hvert hus lavet et energiregnskab i form af en varmebalance. I varmebalancen indgik på denne ene side den samlede mængde energi, der via brændsler bliver tilført huset i form af varme, fratrukket varme fra solindstråling samt ”gratisvarme”, dvs. varmeafgivelse fra beboere og el-apparater. På den anden side indgik den mængde varme, som det enkelte hus - afhængig af alder - generelt taber gennem klimaskærmen, dvs. gennem tag, ydervægge, vinduer, gulv osv. På samme side af varmebalancen indgår i regnestykket mængden af varme, der er anvendt til fremstilling af varmt vand.

Varmeafgivelse er kendt fra de energikrav, der gjaldt på tidspunktet for opførelsen af de enkelte huse. Et enkelt af de implicerede huse var af ældre dato, dvs. opført efter gældende bygningsreglement i 1977. Varmebalancerne illustrerer på trods af en vis usikkerhed, den opvarmningssituation, som det enkelte hus befinder sig i, se figur 1. Af de opstillede varmebalancer ser man tydeligt, hvordan det ældre hus skiller sig ud fra de nye, og på trods af et stort forbrug af brænde, kun opnår at brændefyring bidrager til en lille del af opvarmningen. Det største bidrag opnås i det nyere hus i Hillerød. Her opfylder brændefyring, at 35 % af varmebehovet. Til sammenligning når bidraget fra det ældre hus i Espergærde kun op på 20 % af behovet. Den anvendte brændemængde anvendt i Espergærde ligger på 2500 kg. mens den i Hillerød ligger på 1750 kg.



FIGUR 1. VARMEBALANCER, SOM FOR DET ENKELTE HUS ILLUSTRERER OMFANGET AF DEN VARME-PRODUKTION, DER FINDER STED - HER BRÆNDEFYRING OG CENTRALVARME - OVER FOR STØRRELSEN AF DET BEREKNEDNE FORBRUG, DVS. BIDRAGET TIL RUMOPVARMNING OG VARMT BRUGSVAND, JF. FIGUR 5 I RAPPORTEN.

Ser man på brug af brændefyring i en klima-kontekst, har brændefyring den fordel, at brænde som en vedvarende energikilde bliver tilskrevet et CO<sub>2</sub>-udslip på nul. Som resultat ser man, at forsøgsværter med et stort brændeforbrug opnår den største klimagevinst. Bemærkelsesværdigt er, som det ses hos forsøgsværten i Ringsted, at en kombination af brændeovn og fjernvarme giver det laveste CO<sub>2</sub>-udslip. Omvendt tynger det varmeregnskabets klimabelastning at bruge varmepumpe, jf. Esrum 1 og 2.



FIGUR 2. KLIMABELASTNING UDREGNET SOM ÅRLIGT CO<sub>2</sub>-UDSLIP. SAMMENLIGN MED FIGUR 1. DA BRÆNDE IKKE BIDRAGER TIL CO<sub>2</sub>-REGNSKABER, OPTRÆDER DER INGEN BRÆNDEOVNSBIDRAG (GRØN FARVE) I DETTE DIAGRAM. JF. FIGUR 7 I RAPPORTEN.

På den baggrund forsøger rapporten at give svar på spørgsmålet, om brændeovne kan fungere i nye huse og måske også i fremtidens huse kan fungere som kilde til opvarmning. Umiddelbart er der ikke noget, der taler for det. Moderne huse bliver stadig mere tætte og har kun behov for tilførsel af lidt varme. Senest har det Bygningsreglement, der trådte i kraft i 2010 (BR10) betydet, at der er skåret yderligere ned på behovet for tilførsel af energi, herunder tilførsel af energi til opvarmning. Imidlertid betyder de stadig skrappe krav til bygninger energieffektivitet, at fyringssæsonen bliver kortere. Ved en fyringssæson på blot et par måneder, bliver traditionelle centralvarmeanlæg mindre nødvendige og i fremtiden overflødiggjort. Dette betyder igen, at en brændeovn med den mængde brænde, som typisk produceres lokalt i haver og hegn, let vil kunne dække varmebehovet. Derfor er spørgsmålet i sidste instans, om det vil kunne lykkes at fremstille brændeovne, tilpasset den nye situation.



Konsekvensen af udviklingen bliver nødvendigvis, at nye modeller af brændeovne skal skaleres yderligere ned, for at matche de begrænsede behov for opvarmning. Samtidig skal de blive endnu bedre til at afgive varme over længere tid. Om en yderligere ”nedskallering” er mulig fx til nominelle ydelser på mellem 1 og 2 kW, er et åbent spørgsmål, som kun udviklerne af moderne brændeovne kan svare på. Med hensyn til at afgive varme over længere tid, viser brug af stenovne i praksis, at dette kan lade sig gøre. I undersøgelsen viste en stenovn, at den kunne fungere sammen med fjernvarme distribueret via et gulvvarmesystem. For støbe- og smedejernsovne er spørgsmålet, om de skal kobles til et varmelager, eller om gulvvarmen vil kunne benyttes som lager. Også brug af nye faseskiftende materialer kan vise sig at være en løsning.

Når det gælder udslip af partikler viser undersøgelsen, at partikler ikke kun er et spørgsmål om nabogener, men også om gener for brugerne selv. Således viser undersøgelsen, at brug af brændeovne let kan give anledning til udslip af partikler direkte til indemiljøet. Dette er påvist i en tidligere undersøgelse, hvor man har målt på partikler på op til 2,5µm i diameter (Gladius et al., 2007). Det nye i undersøgelsen her er, at der er målt på partikler, som er langt mindre, de såkaldte ultrafine partikler. Det er partikler, som har en diameter på mellem 0,01 og 0,1µm i diameter. Ved målingerne i marken, blev der i flere tilfælde målt store mængder partikler, især i forbindelse optænding. Der foreligger i dag dokumentation for, at partikler fra brændeovne er sundhedsskadelige (Danielsen et al., 2011a). Endvidere ved man, at ultrafine partikler bliver i lungerne ved indånding, hvorfra de kan finde veje direkte ud blodbanen. Af samme grund er der i dag stor opmærksomhed om tilstedeværelsen af høje koncentrationer af ultrafine partikler i miljøer, hvor mennesker opholder sig.

Målingerne, der blev udført kontinuerligt under brugen af de enkelte brændeovne, viste, at der med kort varsel kan ske pludselige udslip af store mængder partikler til rummet nær brændeovnen. Det kan ske ved optænding, og det kan ske ved påfyldning af brænde. Det kan imidlertid også ske ved berøring af luftskruer og ved pludselige vindkast, som påvirker skorstenstrækket. Undersøgelserne viste også, at partikeludslip oftere fandt sted i nye huse med mekanisk ventilation. En oplagt årsag hertil kan være det undertryk, et ventilationsanlæg typisk opretholder for at foretage kontinuerligt luftskifte. Problemet er, at et konstant undertryk konkurrerer med skorstenstrækket, og dermed øger chancen for, at partikler bevæger sig ud i stuen ved optænding og anden betjening brændeovnen.

Resultatet af målingerne tillod ikke en præcis bestemmelse af, hvad der forårsagede de pludseligt øgede partikelkoncentrationer. Dog kan det fastslås, at en lang række faktorer tilsammen gør udslaget, herunder måden, der tændes op på, måden, der tilføres luft på, og måden ventilationsanlægget fungerer på. Imidlertid er det værd at bemærke, at der også blev foretaget målinger under optænding og påfyldning af brænde, som ikke gav anledning til målelige udslip. Det gjaldt både i hus med en brændeovn og i et med en stenovn. Der er med andre ord lagt op en nærmere granskning af de faktorer, som kan være medvirkende til øge partikeludslippet, det være sig fejltrin ved optænding, forkert indstillet ventilationsanlæg, uheldige skorstenskonstruktioner eller kombinationer heraf.

På baggrund af de resultater, som undersøgelsen har frembragt, er der i rapportens slutkapitel givet anbefalinger til fabrikanter, forhandlere af brændeovne samt myndigheder til, hvad der kan gøres for at imødegå de problemer, der

måtte være forbundet med at bruge brændeovne i moderne huse. Det bedste råd til fabrikanter af brændeovne er, at der udvikles ovne med endnu mindre effekt end den, der kendes fra de ovne, der nu er på markedet - i det mindste, hvis ovnene skal kunne bruges i huse opført efter 2010, dvs. Bygningsreglement 2010 (BR10). Derudover anbefales det, at man på samme måde, som man forsøger at minimere afgivelsen af partikler til udemiljøet, forsøger at minimere afgivelsen af partikler til indemiljøet.

Ud over at gentage rådet om at anbefale mindst mulig effekt for ovne installeret i nye huse, lyder det bedste råd til forhandlerne, at de skal gøre brugerne opmærksom på det uheldige samspil, der kan opstå mellem brændeovn og ventilationsanlæg. Således kan der opstå uheldig konkurrence mellem skorstenstræk og ventilationsanlæg herunder brug af emhætte. Endvidere skal kommende ejere af brændeovne gøres opmærksom på, at moderne gulvvarmeanlæg modsat termostatstyrrede radiatorer reagerer langsomt ved pludselige temperaturstigninger og -fald forårsaget af brug af brændeovn. Ved rettidig op- og nedregulering af gulvvarmeanlæg kan denne ulempe dog imødegås

Rådet til myndighederne lyder, at lovgivning omkring brændeovne for så vidt angår afgivelse af partikler inde og ude ikke kan isoleres fra det hus, brændeovnen er installeret i. En brændeovn, der fungerer optimalt i et ældre hus, kan let vise sig at fungere dårligt i et nyt hus. Derfor anbefales det, at man forsøger at begrænse brugen af visse typer af brændeovne til visse typer af huse. Dette retter sig især mod tilstedeværelsen af gulvvarme og mekanisk (afbalanceret) ventilation. Størst opmærksomhed bør der rettes mod brændeovne, der opstilles i moderne huse med tæt klimaskærm og mekanisk ventilation, da der her sker en nøje afstemning mellem indblæsning og udsugning. Konsekvensen kan blive, at brændeovne i sådanne tilfælde må isoleres fra indeklimaet ved at være pålagt eget luftindtag og eget skorstensaftræk, eventuelt styret af automatik.

# Summary and conclusions

Two issues turn up concerning how to use wood-burning stoves in modern homes. The first is whether wood-burning stoves in future may still act as a genuine heat source, given that new and refurbished single-family houses retain the heat much better than older ones and therefore need less and less energy for space heating. The second issue is whether it will still be possible to use wood-burning stoves in modern houses where the air exchange is controlled by mechanical ventilation or possibly heat recovery. It is a question whether lightning techniques can be developed that will work in airtight houses with mechanical ventilation and negative pressure, so that harmful particle emissions can be avoided.

It is concluded that these issues may have consequences for how the next generation of wood-burning stoves should be designed, and for the manuals on how to light a modern wood-burning stove in a modern low-energy house or a house retrofitted to comply with new low-energy requirements. Finally, knowledge about how modern stoves work in practice affect how they figure in the energy calculation related to new houses.

To illustrate the first issue, a field study was designed to look carefully at seven modern wood-burning stoves that were set up in six new houses and one older house and investigated, both in terms of lighting and heat release. As a background for this part of the study, a heat balance calculation was made for each house. On one side of the heat balance, the total energy input of the fuels was made up, excluding solar radiation and energy generated by persons and electrical appliances. On the other side of the heat balance, the amount of heat loss - depending on the age of the house - through the building envelope was made up, together with energy for hot water consumption.

The maximum heat release is known from the energy requirements in force in the period of the construction of the individual house. One single-family house was erected earlier, i.e. built according to building regulations in force in 1977. The heat balances illustrate, despite the uncertainty, the heating situation of the individual house, see Figure 1. From the stated heat balances, one can clearly see how the old house stands out from the new ones; despite a large thermal input from wood, it still provides the smallest contribution to heating, relatively speaking. The largest contribution reached is in the house in Hilleroed, with a share of 35% from wood burning. By comparison, the contribution of wood in the older house in Espergaerde only reached 20% of the heat supply. The used amount of wood was estimated to be 2500 kg in Espergaerde, and 1750 kg in Hilleroed.

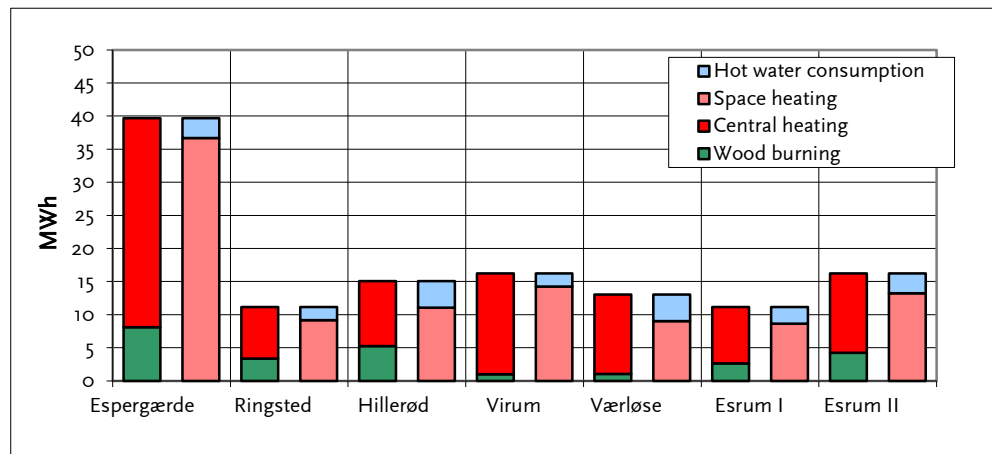


FIGURE 1. HEAT BALANCES, WHICH ILLUSTRATES THE SIZE OF HEAT PRODUCTION FOR EACH OF THE HOUSES IN THE FORM OF WOOD BURNING AND CENTRAL HEATING OPPOSED TO THE CONSUMPTION ESTIMATED IN THE FORM OF SPACE HEATING AND HOT WATER CONSUMPTION.

In a climate context, wood burning has the advantage that wood is considered a renewable energy source attributed zero carbon emission. As a result we observed that the experimental hosts with the largest wood consumption are attributed the greatest climate gains. It is notable that the combination of stove heating and district heating gives the lowest CO<sub>2</sub> emissions, as seen with the experimental host in Ringsted. However, this combination is rarely recommended, because wood burning like district heating is in itself a simple and low-priced form of heating. Conversely, in Esrum 1 and 2 the heat pumps used here burden the climate accounts considerably, although it is a solution usually recommended for use in new well-insulated houses.

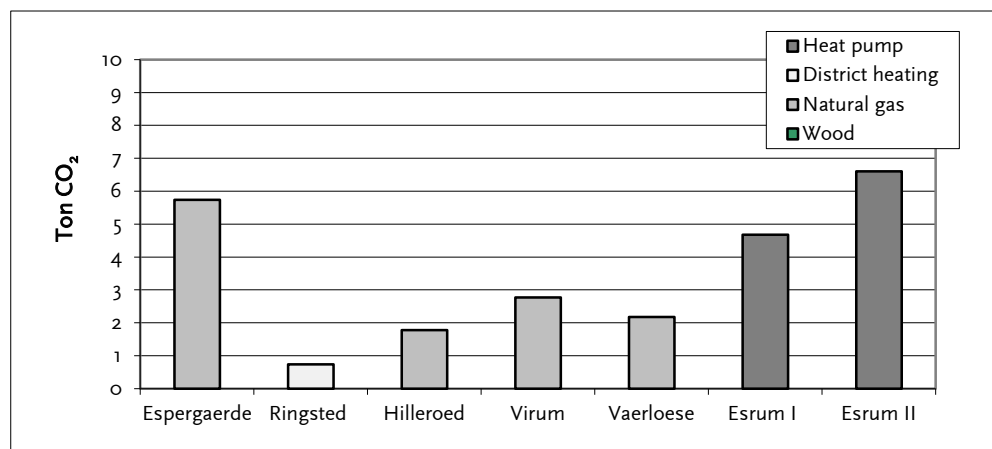


FIGURE 2. CLIMATE STRAIN IS CONSIDERED AS THE ANNUAL CARBON EMISSION. WOOD BEING A RENEWABLE RESOURCE (GREEN COLOUR), ITS CONTRIBUTION IS NOT VISIBLE IN THE DIAGRAM.

On this background the question is, whether wood-burning stoves will also in the future have a role to play as a heating source. Modern houses grow ever tighter and only need to be supplied with a small quantity of heat. The new Danish Buildings Requirement, 2010 has resulted in a further reduction of 25 % of the energy demand, including the energy supply for heating. However, the new requirements imply that the heating season eventually become so short that a traditional central heating installation becomes superfluous. This means that by using the small amounts of wood cut in gardens and hedgerows of the neighbourhood, a wood-burning stove will, in principle, cover the heating demand. Therefore, the question is rather whether a wood-burning stove is manufactured that can successfully be adapted to new houses.

As a consequence of this development, future stoves must be further scaled down in order to meet the heating demand of a modern low-energy house and the stoves must become even better at releasing heat slowly. Whether a further down-scaling is possible, for instance to a nominal performance between 1 and 2 kW, is an open question that only the developers of modern wood-burning stoves can answer. Regarding slow release of heat, the masonry stove definitely showed its strength. In the field study, a masonry stove demonstrated an excellent interplay with district heating distributed by means of a floor-heating system. For cast iron stoves, the question is whether they have to be connected to heat storage, possibly to the floor-heating system or whether new phase-changing materials may solve the problem.

With respect to emissions of particles, the study shows that particles are not only a matter of possible health nuisance for the neighbours, but also a matter of health nuisance for the users themselves. The study also shows that the use of wood-burning stoves can easily give rise to emission of particles to the indoor air. This has been shown in previous studies focusing on up to 2.5 microns in diameter (Glasius et al., 2006). The novelty of this study is that measuring has been performed on particles that can neither be seen nor weighed, the so-called ultrafine particles, i.e. particles between 0.01 and 0.1 microns in diameter. In the most glaring cases, billions of ultrafine particles were counted, especially when lighting the stove.

Today, there is medical evidence that these particles, including particles from wood burning, are harmful to health (Danielsen et al., 2011b). Moreover, it is known that ultrafine particles do not leave the lungs if inhaled, but stay there or take the direct route to the bloodstream. For that reason, attention centres on high concentrations of ultrafine particles in human surroundings.

Measurements showed that ultrafine particles can be released suddenly. This can occur when lighting the stove or when refilling with fuel. However, it can also occur by operating the air screws and by sudden gusts of wind affecting chimney draft. The studies also showed that the risk of particle release is increased in airtight houses with mechanical ventilation; probably due to the negative pressure that the ventilation system creates in these houses.

The results of the measurements did not allow exact determination of what caused the sudden increase in particle concentrations. However, it was determined that a large number of factors in combination may affect the matter, e.g. the way of lighting, the way of air supply and the way the ventilation system works. It is worth noting that measurements were actually carried out during the firing and re-filling with fuel, which did not lead to measurable emissions. This was true both in a case with a cast iron stove and in a case with masonry stove. In other words, the ground is prepared for further studies in the form of measurements, which clearly reveals the operating errors and possible unfortunate constructions, chimney solutions or combinations of stove, chimney and ventilation system that increase the risk of particle emissions to the indoor air.

Based on the results of the study, the report's final chapter proposes recommendations to manufacturers, retailers of wood-burning stoves and authorities to deal with possibly problems with the use of wood-burning stoves in modern houses. The best advice to manufacturers of wood-burning stoves is that they must develop wood-burning stoves with less wattage than those now on the

market, at least if they are to be applicable in new houses built after 2010. Additionally, it is recommended that manufacturers focus on ensuring that new wood-burning stoves do not particles to the indoor environment.

Besides repeating the recommendation of the lowest possible wattage for stoves intended for new houses, the best advice to the retailers is that they must make new owners of wood-burning stoves aware of the adverse interactions that can occur between stove and ventilation systems. Thus there may be unfortunate competition between the chimney and ventilation systems including the use of the kitchen hood. Moreover, potential owners must be informed about modern floor-heating systems that can respond slowly by suddenly increasing or decreasing temperatures caused by wood-burning stoves. However, by up and down regulation in due time, this drawback can be dealt with.

The recommendations to the authorities are that particles in the indoor and outdoor environment cannot be separated from the house in which the stoves are situated. A wood-burning stove that functions optimally in an older house can easily turn out to function uncomfortably in a new house. Therefore, legislation that solely addresses the emission from wood-burning stoves can fail. Consequently it can be necessary to limit the use of particular stoves in particular houses, not least if the house is equipped with mechanical (balanced) ventilation. Most attention should be paid to stoves, installed in modern houses with a tight building envelope and mechanical ventilation, because in these houses the air change between the air supply and the air exhaust is strictly controlled. A consequence of this may be regulation indicating that the stove in that situation must be isolated from the indoor environment by being assigned its own air intake and its own flue.

# Baggrund

Brændeovne er populære som alternativ energikilde og som stemningsskabende møbel i mange danske hjem. Det er baggrunden for, at der i Danmark har kunnet opbygges en produktion af brændeovne, en produktion som yderligere er vokset takket være en betydelig eksport. Ved udvikling af nye brændeovnsmodeller har der på skift været fokuseret på design, virkningsgrad og miljø. Danske brændeovne er med andre ord blevet kendt verden over for deres design, deres høje virkningsgrad og deres gode miljøspecifikationer. Satsningen på design har skabt efterspørgsel efter brændeovne over et bredt kundesegment, inklusiv ejere af nye huse med et lavt energiforbrug.

Den høje virkningsgrad har betydet, at brændeovne faktisk kan bidrage til opvarmningen, uden at en stor del af den udvundne varme går tabt via skorstenstræk og ventilationstab. Men én ting er virkningsgraden i brændkammeret, som på nye ovne ligger omkring 85 %; en anden ting er ovenns evne til at fordele varmen ud det hus, den er opstillet i. Her bygger alle nye ovne, modsat det klassiskes strålingsprincip, på konvektionsprincippet, dvs. evnen til via en dobbeltbeklædning at sende varm luft rundt i stuen, som det kendes fra radiatorpaneler. Alligevel leder brug brændeovne let til overophedning og til konflikt med husets primære varmekilde. Det kan skyldes, at de valgte brændeovne er overdimensioneret, at der fyres for kraftigt, og for nye huse at disse kræver tilførsel af meget lidt varme. Også den omstændighed at nye huse i reglen er udstyret med gulvvarme kan give problemer med overophedning, da gulvvarme reagerer langsomt på temperaturændringer, uanset om det skyldes skiftende solindstråling eller periodisk brug af brændeovn.

Satsningen på mindre miljøbelastning er gået hånd i hånd med en satsning på at opnå højere virkningsgrad. Dette hænger sammen med at en øget virkningsgrad opnås ved, at en større del af brændslet og en større del af de gasser og partikler, der frigives, indgår i en sekundær forbrænding og derved omsættes til varme. Dette betyder igen, at alle godkendte ovne på markedet let opfylder den europæiske CE-standard. Ydermere har moderne brændeovne let ved at leve op til de særlige danske lovkrav om en øvre grænse for partikeludslip og partikelemission på aftrækssiden.

Anderledes med indsugnings- og betjeningsiden, der ikke har været omgærdet af samme store interesse. Her viser det sig ikke desto mindre, at der meget let kan forekomme partikeludslip ved betjeningen af ovnen, typisk ved optænding og påfyldning af brænde. De fleste brændeovneejere, ikke mindst når det gælder brændeovne i nye huse, kender til problemet med røg i stuen. Dette kan ske ukyndig optænding, utætte ovnlåger og underdimensioneret skorsten. I nye huse kan røg i stuen også være forårsaget af tætte vinduer og døre samt konkurrence fra emhætte og ventilationsanlæg, idet en tæt klimaskærm og kraftigt udsug uvilkårligt giver det klassiske skorstenstræk hård konkurrence. Udslip af røgparkler til indeklimaet er kritisk og om muligt endnu mere kritisk end udslip gennem skorstenen, da det sker direkte til den indeluft, som husets beboere skal indånde og ikke i samme omfang blandes op med ren luft. Endvidere er det kritisk, fordi udslip af røg til stuen ikke blot rummer synlige røgparkler, men i endnu større mål usynlige fine og ultrafine partikler, som oven i købet mistænkes for at være mere skadelige end store partikler.

Det første spørgsmål, der rejser sig, er derfor, om det fortsat vil være muligt at benytte sig af brændeovne i nye og nyere huse, vel at mærke uden at det giver anledning til utilsigtet overophedning og udslip af farlige partikler. Og i forlængelse heraf er spørgsmålet, om der også ud i fremtiden vil være plads til brændeovne i nye huse, al den stund at varmebehovet er lille, eller om brændeovne netop vil kunne klare det begrænsede opvarmningsbehov, der opstår i perioder, hvor udetemperaturen er under 0°C eller deromkring.

Det næste spørgsmål, der rejser sig er, om det fortsat vil kunne lade sig gøre at benytte brændeovne i moderne huse med mekanisk ventilation og varmegenvinding, da disse anlæg typisk opererer med undertryk i huset. Her er spørgsmålet især, om der kan skabes optændingsteknikker, som kan spille sammen med undertryk, således at farer for partikeludslip ikke opstår.

Svar på disse spørgsmål kan få stor betydning for, hvordan den næste generation af brændeovne skal udformes, og for anvisningerne på, hvordan man tænder op i moderne lavenergihuse eller huse, der gennem energireovering har opnået et lavt energiforbrug. Endelig kan viden, om den måde, moderne brændeovne fungerer på i praksis, have betydning for, hvordan de skal indgå i energiberegningen ved opførelse af nye huse, jf. det officielle energiberegningsprogram Be10.

På den baggrund har formålet med nærværende undersøgelser af moderne brændeovne været at:

1. afdække, hvor effektivt moderne brænde- og masseovne fungerer i praksis, dvs. hvor godt de udnytter brændet og leverer varme til omgivelserne under iagttagelse af inde- og udetemperatur, luftskifte og brugeradfærd, mv.
2. måle på indeklimaet ved brug af brændeovne, hvad angår partikelforurening, farlige stoffer og termisk komfort.
3. afklare om der på baggrund af undersøgelserne er behov for anbefalinger, anvisninger mv. til producenter, sælgere og brugere af brændeovne.
4. undersøge om den nye viden på området giver anledning til ændringer i beregningen af det energibidrag, som moderne brændeovne yder.

Det har ikke været formålet med undersøgelsen at måle partikeludslip til omgivelserne, herunder vurdere gener for naboer. Dette hænger dels sammen med, at partikeludslippet fra moderne brændeovne, der optændes efter forskrifterne, ikke bidrager i tilnærmelsesvis samme omfang til luftforureningen, som brændeovne i almindelighed gør. Dels hænger det sammen med, at målinger af udslip af fine og ultrafine partikler, som i denne undersøgelse ses som kritiske for indeklimaet, ikke kan ses og lugtes, jf. de noget større partikler, man interesserer sig for og ser som kritiske ved undersøgelser af luftforurening og nabogener som følge af almindelig brug af brændeovne.

Rapporten består af to dele, en første del, som handler om den energieffektivitet (kapitel 2), der opnås ved brug af moderne brændeovne, og en anden del (kapitel 3), som handler om de partikelmissioner, som brug af brændeovne kan afstedkomme på indeklimaet. Derudover indeholder rapporten en redegørelse for undersøgelsesdesign (kapitel 1), lige som rapporten med udgangspunkt i de indhentede forsøgsresultater rummer et sæt anbefalinger (kapitel 4) henvendt til producenter, forhandlere og brugere af brændeovne.



# 1 Undersøgellesdesign

Undersøgelsen baserer sig på casestudier. Med det sigte er en række moderne enfamiliehuse med eksisterende brændeovne udvalgt som cases. Dette betyder, at en række familier, kaldet forsøgsværter, har måttet ”lægge hus” til de mål-inger, der er udført. Kravet til de implicerede huse har været, at de er opført inden for de seneste bygningsreglementsperioder, og at de har brænde- eller masseovn af nyere fabrikat. Derved har den energimæssige ydeevne for både hus (energimærke) og ovn (virkningsgrad) været kendt, lige som et brænde-ovncertifikat for hver ovn sikrer, at virkningsgraden for de implicerede ovne er kendt. Endelig er det sikret, at de implicerede ovne overholder krav til mak-simal partikel- og røggasudledning, jf. gældende standarder.

## 1.1 Besøgsværter

I alt syv familier bosat i enfamiliehuse har været vært for undersøgelserne. I alle tilfælde, bortset fra ét, har der været tale om parcelhuse. Her er der tale om et afsnit af et længehus, der er blevet totalrenoveret, idet det er en tidligere embedsbolig på den tidligere militære lufthavn i Værløse. Som sådan stille dette hus på lige fod med nyt hus. De pågældende huse er udvalgt ud fra det kriterium, at der skulle være tale om nye og nyere huse med nye brændeovne med høj virkningsgrad og lavt partikeludslip. I praksis indebærer dette at de pågældende overholder DS-, eller DS-Plus-standarder og/eller er Svane-mærket. I to tilfælde indgår masseovne også kaldet stenovne, i undersøgelsen. Da det imidlertid er vanskeligt at finde stenovne opsat i nye huse, er der i ét til-fælde gået på kompromis med husets alder, idet det ældste hus er opført i 1977. Forsøgsværterne blev fundet ved henvendelse til brændeovnsfabrikanter og forhandlere af brændeovne.

I tabel 1 ses alle forsøgsværter i en samlet oversigt. Heraf fremgår for husene: geografisk placering, boligtype, opførelsesår samt husets energiklasse, og for ovnene: ovntype, fabrikat og certifikat. Skalaen over mulige energiklasser går A1 til G. Huset med stenovn, der også er det ældste hus, har med energiklasse D det lavest rangerende energimærke.

TABEL 1. BESØGSVÆRTER MED ANGIVELSE AF BELIGGENHED BYGNINGSALDER, OVNTYPE MV.

Forsøgsværter	Boligtype	Byggeår	Energi-klasse	Ovntype	Fabrikat	Certifi-kat
1. Espergærde	enfamiliehus	1977	D	stenovn	Stenovn/Solbyg	Ikke mærket
2. Ringsted	enfamiliehus	2006	B	stenovn	Stenovn/Helbro	Ikke mærket
2. Hillerød	enfamiliehus	2001	C	brændeovn	Mørsø 8100	Svane-mærket
3. Virum	enfamiliehus	2007	B	brændeovn	Jupiter 470 + 550 pejseindsats	DS Plus
4. Værløse	rækkehus	2008	B	brændeovn	Heta Vision	Svane-mærket
5. Esrum I	enfamiliehus	2009	A2	brændeovn	Mørsø 7648	Svane-mærket
6. Esrum II	enfamiliehus	2009	A2	brændeovn	Hwam 3220	Svane-mærket

## 1.2 Målinger

Rækken af forsøgsværter fik aflagt besøg en eller to gange; de sidste, to på hinanden følgende gange, henholdsvis i vinteren 2009 og vinteren 2010. Husene i Ringsted og Virum deltog ikke med i første runde. Til gengæld deltog Esrum 2 ikke med i anden forsøgsrunde. I både første og anden runde blev der målt partikler, gasser, og luftskifte før under og efter optænding. I anden runde blev der derudover målt på temperaturudviklingen omkring ovnen. Alle partikelmålinger inde blev suppleret med partikelmålinger ude, således at baggrundsniveauet for partikelindholdet i luften var kendt. I første besøgsrunde var det i alle tilfælde forsøgsværten, dvs. husejeren selv, der stod for optændingen. I anden besøgsrunde blev en ekspert i optænding inddraget, som herefter forestod optændingen. Baggrunden for dette, var, at måleserien fra første forsøgsrunde, vinteren 2009, viste, at måden, der blev tændt op på, havde stor indflydelse på partikeludslippet. I hvert fald blev ovnene tændt op på forskellig vis, lige som partikelmålingerne afslørede store forskelle i partikeludslip. Derfor var der behov for i anden runde at elleminere de forskelle, der måtte skyldes forskellig betjening.

I forlængelse af temperatur- og partikelmålinger omkring optændingen blev der i alle huse opstillet små loggere ("tinytags"), som var indstillet til med jævne tidsintervaller at registrerede stuetemperatur og luftfugtighed. Der blev placeret tre loggere i hvert hus. Loggerne fik lov til at virke i mindst fire uger, inden de opsamlede data blev udnyttet i analysen af de enkelte brændeovne og huse.

## 1.3 Spørgeskema og interview

Hver af brændeovnsværterne blev interviewet, ligesom der blev uddelt spørgeskema til senere indsamling. Endelig blev alle forsøgsværter opfordret til at skrive ned, hvis der i fyringssæsonens forløb indtraf hændelser, som fik betydning for måden man tændte op på, samt for stuetemperatur og udluftningsvaner. Også hvis man havde særlige oplevelser omkring brugen af brændeovnen, blev man opfordret til at skrive ned.

Interviewet blev brugt til at afklare vanerne i huset omkring brug af brændeovn. Blev brændeovnen overvejende brugt til hygge- eller stemningsskabende formål, eller blev ovnen overvejende brugt til egentlig opvarmning, eller lå sandheden et sted der imellem? Også spørgsmål om familiens erfaringer med brug af brændeovnen, herunder fortrukne teknikker til optænding kom med i interviewet.

Spørgeskemaundersøgelsen var primært rettet mod tekniske spørgsmål, herunder forbrug af brænde, anden opvarmningsform, foretrukken stuetemperatur, badevaner osv. Endvidere blev der indsamlet oplysninger om klimaskærmen, om ændringer på klimaskærmen siden husets opførelse, herunder udskiftning af nye vinduer med bedre isoleringsevne. Sidstnævnte spørgsmål var primært henvendt på huset i Espergårde opført i 1977. Se spørgeskema, bilag B.

## 2 Energieffektivitet

Energieffektivitet er et centralt begreb, når det handler om energiforbrug. På engelsk taler man om "energy performance" for dermed at understrege, at det har med ydeevne at gøre, vel at mærke ydeevne opnået gennem avanceret teknologi og løbende produktudvikling. Kravet om øget energieffektivitet kommer bl.a. fra EU og retter sig mod el-apparater, biler og fremstillingsteknik. EU har imidlertid også interesseret sig for bygninger, hvilket har udmøntet sig i EU-direktiv om bygningers energimæssige ydeevne fra 2002, hvis afløser er et nyt EU-direktiv fra 2012) (EU, 2012). Her som for apparater og biler er kravet: "længst muligt litteren". Energifremstilling i sig selv har hele tiden været udsat for tilsvarende krav om energieffektivitet. Her taler man virkningsgrader, forstået som evnen til at udnytte mest muligt af den energi, der findes indlagret i det tilførte brændsel, således at mest muligt omsættes til brugbar el og varme. Af samme grund er virkningsgraden gennem årene øget for olie- og gaskedler til brug i enfamiliehuse og senest for brændeovne.

Når det gælder energieffektivitet for brændeovne, spiller flere faktorer ind. Helt grundlæggende er spørgsmålet om den mængde energi og dermed varme, man får ud af sit brænde ved at bruge brændeovn, kan stå mål med den energi, der typisk bliver tilført centralvarmeanlægget. Her spiller ovnens virkningsgrad ind, men også det hus, ovnen er placeret i, fx husets isoleringsgrad og dermed den overordnede energieffektivitet. For at undersøge disse forhold nærmere herunder samspillet mellem oven og hus, er der i brændeovnsundersøgelsen regnet på den samlede varmebalance mellem tilført energi og den nyttiggjorte energi i form af varme. I undersøgelsen er dette forhold synliggjort ved at den tilførte varme er stillet over for det samlede varmetab. Kendetegnende for brug af brændeovn er imidlertid, at den for at nære en forbrændingsproces trækker luft ud af de opholdsrum, den forsøger at varme op. Derfor er der regnet på omfanget denne luftmængde, ikke kun for at beregne energitabet, men også for at få klarlagt, om den ekstra luftmængde kan føre til konflikter med andre dele af husets klima- og ventilationsanlæg, typisk udsugning via emhætte og friskluftskanaler.

### 2.1 Introduktion

Brændeovne har ikke været omgærdet af krav om øget energieffektivitet som det gælder el-apparater og centralvarmekedler, og slet ikke på så tidligt et tidspunkt. Dette skyldes, at brændeovne ikke er blevet tillagt nogen stor rolle i energiforsyningen. En opgørelse over brændeforbruget i 2005 (Illerup et al., 2007), baseret på Ewald (2006) viser imidlertid, at brændeovne yder et langt større bidrag til boligopvarmningen end førhen antaget, ikke mindst når det gælder opvarmning af enfamiliehuse. I aktuelle tal svarer dette til, at 24 PJ eller godt 20 % af varmforsyningen i enfamiliehuse sker ved brændefyring (Energistyrelsen, 2011), hvor brændeovne igen skønnes at stå for 2/3, og brændeved for resten. Dette betyder at 14 % af opvarmningsbehovet i enfamiliehuse klares af brændeovne. Der er med andre ord god grund til at se nærmere på brændeovnes virkningsgrader, men også energieffektiviteten af de huse, som brændeovnene yder deres varmebidrag til. Dertil kommer naturligvis selve brugen af brændeovnen og det samspil, der opstår, når hus og brændeovn skal fungere sammen.

### 2.1.1 Skærpede krav til brændeovne

På trods af den mindre fokus på brændeovnes energieffektivitet er det alligevel lykkedes danske producenter af brændeovne at øge virkningsgraden gennem de seneste år. Således har de bedste ovne i dag en virkningsgrad på over 70 %, hvor de bedste for bare 10 år siden lå på omkring 50 %. At samme grund har Dansk Standard kunnet fastlægge en standard (DS) for godkendelse af brændeovne, som stiller krav om en virkningsgrad på ikke under 70 %. Dette står i skarp kontrast til den Europæiske standard CE, som fastholder en så lav virkningsgrad som blot 50 %. Svanemærket, som de fleste danske ovne lever op til, kræver en virkningsgrad på minimum 73 % (se bilag A).

Med selv ved brug af de bedste og mest energieffektive brændeovne gælder, at den reelle energieffektivitet falder drastisk, hvis ovnen er for stor til det hus og det rum, den er opsat i. Er dette tilfældet, giver det uvilkårligt anledning til unødigt overophedning med et energispild til følge. Det samme sker ved forkert betjening af ovnen, idet forkert betjening giver dårlig forbrænding og dermed lav udnyttelse af brændets brændværdi. Dertil kommer det store energitab, der finder sted, hvis spjæld til skorstenen, som det tit er tilfældet, holdes åbne i perioder, hvor der ikke fyres i brændeovnen.

Rettes der opmærksomhed ved alle former for energispild, inklusiv behovet for at udskifte alle gamle ovne, vil de 24 PJ varme, som på nuværende tidspunkt udvindes af brænde, kunne øges med mindst 25 % og derved tilføre yderligere 6 PJ til opvarmningen. For at forstå størrelsesordenen af dette, svarer det til en tredjedel af den besparelse på energiforbruget, som en gennemgribende isolering af den samme bygningsmasse ville afstedkomme (Wittchen, 2009, p.20). En gratis gevinst en sådan modernisering af brændefyringen i enfamiliehuse ville være udslip af tilsvarende færre partikler, hvortil kommer et tilsvarende mindre CO<sub>2</sub>-udslip til atmosfæren. En bedre udnyttelse af brænderessourcen tæller således dobbelt, når det gælder klimabelastning, da en bedre udnyttelse af ressourcen ikke blot strækker ressourcen, men også fortrænger fossile brændsler med et højt CO<sub>2</sub>-udslip.

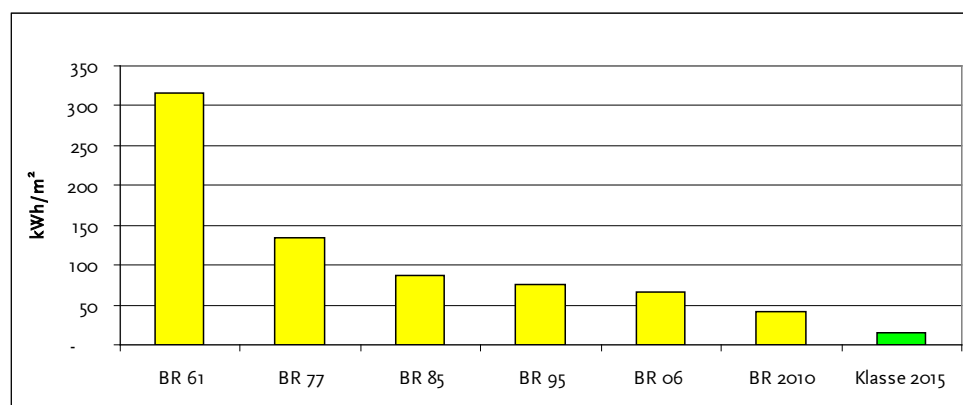
### 2.1.2 Skærpede krav til bygninger

Udviklingen af nye brændeovne har fundet sted i periode, hvor kravene til nye huses energieffektivitet er øget betragteligt. Moderne huse er langt bedre isoleret end gamle huse, de er blevet tættere og har i mange tilfælde fået installeret automatisk ventilationsanlæg. Kravene, som de har udmøntet sig i energibestemmelserne i Bygningsreglementet, har været formuleret forskelligt gennem tiden. Oprindeligt opererede man med krav til U-værdier. Fra Bygningsreglement 1977 (BR77), blev der indført en varmetabsramme, dvs. en ramme for det maksimale varmetab. I 1985 blev det ændret til en netto-energitabsramme og endelig i 2006 til en brutto-energitabsramme. Det sidste indebærer, at man kan få hjælp fra vedvarende energikilder til at overholde energitabsrammen. Bygningsreglementets energibestemmelser er med andre ord ændret fra primært detailkrav til primært funktionskrav.

Bygningsreglementet blev strammet så sent som i 2010, og vil yderligere blive strammet i 2015 og 2020. Bag strammingerne ligger krav fra EU, som de udmønter sig det europæiske energidirektiv: Energy Performance of Building Directive (EPDB), som siger, at de danske myndigheder lige som de øvrige myndigheder i Europa skal foretage løbende stramminger i de respektive landes bygningsreglementer, således at den mængde energi, der anvendes til rumopvarmning i nye huse til stadighed reduceres (EU, 2012). Stramminger-

ne betyder, at hvor et hus opført i 1995 og frem skulle have tilført 75 kWh pr. kvadratmeter årligt til rumopvarmning, skal et hus opført efter 2010 kun have tilført 40 kWh, mens et fremtidigt hus, der opføres i 2015 og frem, kun skal have tilført 15 kWh. I praksis betyder dette, at en stue på 70 m<sup>2</sup>, der i et hus opført 1995 kunne klare sig med brændeovn på 4 kW, i huse opført i 2010 og 2015 kan nøjes med ovne, der yder henholdsvis 3kW og 2,5 kW i timen.

Resultatet af denne udvikling er, at der er behov for at få tilført stadig mindre energi til opvarmning af et enfamiliehus, for at opretholde en komforttemperatur på fx 22 °C. Sammenligner man over tid bestemmelserne ud fra et hus på 150 m<sup>2</sup>, tegner der sig en udvikling som vist i figur 3. Og som diagrammet viser, fortsætter udviklingen, idet der allerede nu opereres med en lavenergi-klasse 2015.



FIGUR 3. DIAGRAM SOM VISER, HVORDAN NETTOENERGIBEHOVET ER BLEVET REDUCERET LØBENDE I HENHOLD TIL GÆLDENDE BYGNINGSREGLEMENT, DVS. NÅR DER SES BORT FRA ENERGI TIL FREMSTILLING AF VARMT BRUGSVAND OG DRIFT AF PUMPER OG VENTILATIONSANLÆG.

Når en så kraftig reduktion af behovet for tilført energi har kunnet finde sted skyldes det i første omgang, at der er lykkedes at udføre en mere effektiv isolering i nybyggeriet. Dernæst er udviklingen hjulpet på vej af et stort teknologisk fremskridt på vinduesområdet, ikke mindst som følge af effektive belægninger. På den måde er vinduer ikke som tidligere kilde til energitab i fyringssæsonen, men snarere omvendt. Endelig er udviklingen hjulpet på vej af krav om, nye huse skal være tætte, og udstyres med mekanisk ventilation, således at energien i ventilationsluften genbruges.

## 2.2 Brændeovnsundersøgelse

Energieffektivitet ved brug af brændeovne kan anskues på to planer. Isoleret set har en brændeovn en energieffektivitet kaldet virkningsgrad, dvs. dens evne til at omsætte en given mængde brænde til varme. Denne kan under ideelle omstændigheder beregnes via test i laboratorier og bruges til certificering af brændeovne. Set i sammenhæng med det hus, som en given brændeovn fungerer i, handler energieffektivitet imidlertid om mere end det, idet det nu må tages med i betragtning, at en brændeovn kan give anledning til unødvendig overophedning, og at en brændeovn ikke altid fyres optimalt, hverken hvad angår ilttilførsel, eller tilførsel af brænde. Derudover kan fugtigt brænde, åbne spjæld og uisolerede skorstene, uheldig skorstensføring og et for brændeovnen uheldigt ventilationssystem alt sammen føre til, at ”systemet” til slut opnår en energieffektivitet, der er endog meget lavere end det, der burde afspejle sig af ovnens virkningsgrad.

På den baggrund er der i nærværende undersøgelse af brændeovne valgt et forsøgsdesign, hvor bygningen, brugerne og brændeovnen ses under et. Det afgørende for den energieffektivitet, der kan opnås, er med andres ord det samspil, der opnås mellem bygning, ventilationssystem, brændeovn og opvarmningssystem, set i lyset af den fyringsteknik og den brugeradfærd, der omgiver ovnen.

For at kunne undersøge brændeovnes energieffektivitet er der foretaget en energibalanceberegning for hvert af de huse, dvs. brændeovnsystemer, som indgår i undersøgelsen. Her stilles den mængde energi, der tilføres udefra over for den mængde energi, huset afgiver over året som følge af husets isoleringsevne, dvs. evne til at holde på varmen, hvortil kommer energi til fremstilling af varmt brugsvand. Dernæst er der set på hvilke konsekvenser, de forskellige varmebalancer har for klimabelastningen, set ud fra det CO<sub>2</sub>-udslip, der knytter sig til de enkelte brændeovns- og opvarmningssystemer. Dernæst er der set på konkrete tilfælde af overophedning. Endelig er der foretaget en analyse af de luftskiftemålinger, der er udført, for at se i hvor høj grad brug af brændeovn fører til et ekstra luftskifte.

### **2.2.1 Varmebalancer**

For hvert af de implicerede huse er der opstillet en varmebalance. På den måde får man overblik over, hvor energien til opvarmning kommer fra, og hvad den bruges til. I princippet opstilles en sådan energibalance ved på inputsiden at omregne alle tilførsler af brændsler, varme og el sammen til et nettoenergiforbrug for så at se, hvor meget de enkelte bidrag yder i det samlede regnskab, herunder hvor meget bidraget fra brændeovnen fylder. For at kunne kvantificere tabssiden ses der bygningens tekniske specifikationer, hvorefter der kan foretages en beregning af det samlede energitab over året. Beregnings-teknikken, der anvendes her svarer til den, der anvendes ved projektering og godkendelse af nye huse, og som anvendes ved udfærdigelse af energimærker for gamle huse. Ved beregning af energiforbruget regnes der med et nettoenergiforbrug, hvilket er den nyttiggjorte energi, uden hensyntagen til kedel- og skorstenstab. Ved beregning af energiforbruget regnes der tilsvarende med et nettoenergitab, hvilket er den mængde energi, der passerer ud gennem klimaskærmen modregnet varme fra solindfald, og modregnet intern belastning, dvs. varme fra personer og el-apparater. Et tilnærmet mål for en bygningens nettoenergitab fås ved at se på den energitabsramme, som var gældende ved opførelsen af det enkelte hus, jf. de energibestemmelser, som gjaldt i henhold til bygningsreglementet, da huset blev opført.

#### *2.2.1.1 Varmetilførsel*

Sammen med brug af brændeovn klares varmetilførslen i de enkelte huse ved tilførsel af fjernvarme, brug af naturgaskedler og i to tilfælde brug af varmepumper. For at komme fra energitilførsel til varmetilførsel skal energitabet forbundet med at omsætte brændsel til varme trækkes fra, så den energimængde, der står tilbage svarer til den, der rent faktisk udnyttes, også kaldet den nyttiggjorte energi, her til varme, se nedenfor. I tabel 2 vises resultatet af alle energibidrag fra brændsler efter omregning til ren varmetilførsel.

TABEL 2. DET SAMLEDE TILFØRSEL AF VARME TIL OPVARMNING SOM ET RESULTAT AF ALLE ENERGI-BIDRAG LAGT SAMMEN EFTER OMRÆGNING TIL REN VARMETILFØRSEL, DVS. DEN NYTTIGGJORTE ENERGI.

Forsøgsvært	Brænde kg	Fjernvarme MWh	Naturgas M <sub>3</sub>	Varmepumpe kWh	Varmetilførsel MWh
1. Espergærde	2520		2900		39,8
2. Ringsted	980	7,81			11,2
3. Hillerød	1750		900		15,2
4. Virum	350		1400		16,3
5. Værløse	350		1100		13,1
6. Esrum I	875			8.500	11,2
7. Esrum II	1400			12.000	16,3

Udregning af brændeovnenes bidrag til varmetilførslen rummer flere led. (se tabel 3). For det første skal mængden af brænde gøres op. Her er det helt afgørende at kende den måde, den enkelte brændeovnsbruger har gjort sit forbrug op på. I første omgang gælder det om at finde brændevægten, altså det antal kg, der er anvendt. For at nå dertil skal den type ”rummeter”, løs eller stablet, der er anvendt være kendt. Når der er omregnet til antal rummeter stablet brænde, ganges der med fastmassetallet og derpå med rumvægten for at nå den egentlige brændevægt.

I opgørelsen refererer de angivne brændemængder direkte til de opgivelser, som brændeovnsværterne har leveret efter at have været udspurgt om de enkelte detaljer. For Espergærde og Ringsted er der regnet med en rumvægt på 400 kg pr. m<sup>3</sup>, da der her er opgivet brænde af blandet herkomst. Resten er sat til 500 kg pr. m<sup>3</sup>, da der her er anvendt bøg, eller tilsvarende ”tungt” brænde.

TABEL 3. OMRÆGNING FRA RUMMETER BRÆNDE TIL KG BRÆNDE.

Forsøgsvært	Brændetårne	Rummeter brænde	Fastmassetal	Rumvægt	Brændevægt
	antal	m <sup>3</sup> stablet		kg/m <sup>3</sup>	kg
1. Espergærde		9	0,7	400	2520
2. Ringsted		3,5	0,7	400	980
3. Hillerød		5	0,7	500	1750
4. Virum		1	0,7	500	350
5. Værløse		1	0,7	500	350
6. Esrum I		2,5	0,7	500	875
7. Esrum II	2	4	0,7	500	1400

Brændeovnenes bidrag til den nyttiggjorte energi, varmetilførslen, fremkommer ved at gange brændemængden (kg) med energiindholdet (kWh/kg) og derpå indregne den enkelte ovns virkningsgrad samt det tab af energi, som det ekstra luftskifte ved brændefyring afstedkommer. Brændeværdien for tørt brænde ligger uanset træsort på 4,1 kWh/kg. Virkningsgraden for de to stenovne er sat til henholdsvis 80 og 85 % og for brændeovnene til henholdsvis 70 og 75 %. For alle ovne, bortset fra stenovnen i Espergærde, foreligger der dokumentation for virkningsgrad. Ovnene i Ringsted er bygget af anerkendt ovnsætter, hvis ovne er testet af Teknologisk Institut. Denne test viser, at en stenovn fra denne ovnsætter i en optimal testsituation kan nå en virkningsgrad på 87 (Helbro, 1996). Nogle af de svanemærkede ovne er ved prøvning tillagt tilsvarende høje brændeværdier. Spørgsmålet er imidlertid, om ovnene i praksis kan opnå de virkningsgrader, som er påvist i laboratoriet. I en erfaringsmodel, udviklet af Teknologisk Institut opnås der altid lavere brændeværdier i praksis. I Tabel 4 er vist de virkningsgrader, der typisk opnås af ovne på forskellige udviklingstrin. Værdierne i tabellen er anvendt til beregning af brændeovnenes energibidrag til opvarmningen.

TABEL 4. ERFARINGSTABEL MED VIRKNINGSGRADER FOR FORSKELLIGE TYPER AF BRÆNDEOVNE VED BRUG I PRAKSIS (TEKNOLOGISK INSTITUT)

Ovntype	Virkningsgrad
Gamle ovne uden glaslåge	60 %
Gamle ovne med glaslåge (før DS mærkning i 1990)	60 %
DS mærkede brændeovne (ca. 1990 – ca. 2005)	70 %
Nyere ovne med tertiære lufthuller og evt. svanemærke (efter 2005)	75 %

Til slut skal energitabet ved øget luftskifte indregnes. Det øgede luftskiftekan beregnes ud fra den mængde brænde, der er anvendt, idet luftmængden kan sættes til 22 m<sup>3</sup> pr. kg brænde, jf. målinger af skorstenstræk udført af Teknologisk Institut. Da varm skorstensluft fylder det dobbelte af luft ved stuetemperatur svarer de 22 m<sup>3</sup> luft, der passerer op gennem skorstenen til 11 m<sup>3</sup> luft trukket ind i stuen gennem ventilationskanaler eller lignende. Dette giver et varmetab på 1,4 % af den indfyrede energimængde (se afsnit om luftskifte og ventilationstab nedenfor). Der er ikke regnet med energitab ved luftudtag som følge af åben låge og åbne luftspjæld på ovnen uden for ovnens brugstid. En samlet beregning af netto varmetilførslen ved brug af brændeovn, hvor brændeovnes virkningsgrad og energitabet ved ekstra ventilation er indregnet, ses af tabel 5.

TABEL 5. OMREGNING AF INDFYRET BRÆNDEMÆNGDE (KG) TIL REN VARMETILFØRSEL, OVNENS VIRKNINGSGRAD OG VENTILATIONSTABET TAGET I BETRAGTNING.

Forsøgsværter	Brænde kg	Brændværdi kWh/kg	Virkningsgrad %	Ventilationstab MWh	Varmetilførsel MWh
1. Espergærde	2520	4,1	80	0,16	8,1
2. Ringsted	980	4,1	85	0,06	3,4
3. Hillerød	1750	4,1	75	0,11	5,5
4. Virum	350	4,1	70	0,02	1,1
5. Værløse	350	4,1	75	0,02	1,1
6. Esrum I	875	4,1	75	0,06	2,7
7. Esrum II	1400	4,1	75	0,09	4,4

Ved at sammenholde brændeovnenes bidrag med de øvrige bidrag til opvarmningen ses, at ovnene i gennemsnit bidrager med godt 20 % af opvarmningsbehovet. Det højeste bidrag kommer fra brændeovnen i Hillerød. Derpå følger stenovnen i Ringsted og de to nye huse med nye brændeovne i Esrum. Det er altså ikke mængde af indfyret brænde, der afgør, hvor stor en andel af opvarmningen, der kan opnås, men snarere husets alder, som igen hænger sammen med isoleringsgrad og tæthed, se tabel 6.

TABEL 6. BIDRAG FRA DE FORSKELLIGE VARMEKILDER, MED BRÆNDEANDELEN I %.

Forsøgsvært	Brænde MWh	Fjernvarme MWh	Naturgas MWh	Varmpepumppe MWh	Varmeforbrug MWh	Brændeandel %
1. Espergærde	8,1		31,7		39,8	20,3
2. Ringsted	3,4	7,8			11,2	29,9
3. Hillerød	5,5		9,9		15,2	34,7
4. Virum	1,1		15,3		16,3	6,0
5. Værløse	1,1		12,0		13,1	8,1
6. Esrum I	2,7			8,5	11,2	23,5
7. Esrum II	4,4			12,0	16,3	25,9
Gennemsnit						21,2



### 2.2.1.2 Varmetab

Kravene i bygningsreglementets energibestemmelser lægger loft over den mængde energi, en bygning må forbruge, dvs. opstiller krav til hvor god klimaskærm m.v. skal være for at bestemmelserne overholdes. Den mængde energi, der skal tilføres et moderne hus for at modsvare tab gennem klimaskærmen er langt mindre, end den mængde energi, der skal tilføres et ældre hus. En oversigt over kravene i energibestemmelserne, som de løbende har været udmøntet i Bygningsreglementet viser udviklingen, og viser, hvordan den mængde af energi, der maksimal må tilføres for at modsvare tabet går mod nul. Se figur 3 ovenfor. I standardenergiforbruget er der taget højde for "gratisenergi" fra solindstråling samt varmebidraget fra el-apparater og personer.

De huse, som indgår i den aktuelle undersøgelse er opført i henhold til energibestemmelserne i tre Bygningsreglementer: BR77, BR95 og BR06. Da undersøgelsen især fokuserer på nye og nyere huse, er de fleste huse, som indgår, opført efter 2006 og dvs. i henhold til BR06.

Overføres det maksimale standardenergiforbrug pr. m<sup>2</sup> til de implicerede huse fremkommer et første bud på et varmetaf forbrug (se Tabel 7). For at kunne modsvare varmetilførslen, skal varmetafbruget tillægges energi for fremstilling af varmt brugsvand samt (med fortegn) tillægges den energi, som det kræver, at holde en komforttemperatur over standardberegningstemperaturen på 20 °C, som alle energiberegninger refererer til. Tillægget for varmt brugsvand beregnes ved at lægge 1 MWh pr. person i husholdningen til regnskabet. Tillægget for højere stuetemperatur udgør 7- 10 % ekstra for hver grad gennemsnitstemperaturen ligger over 20 °C. 7 %-reglen gælder for ældre huse, mens 10 %-reglen gælder for nye huse. (se tabel 8).

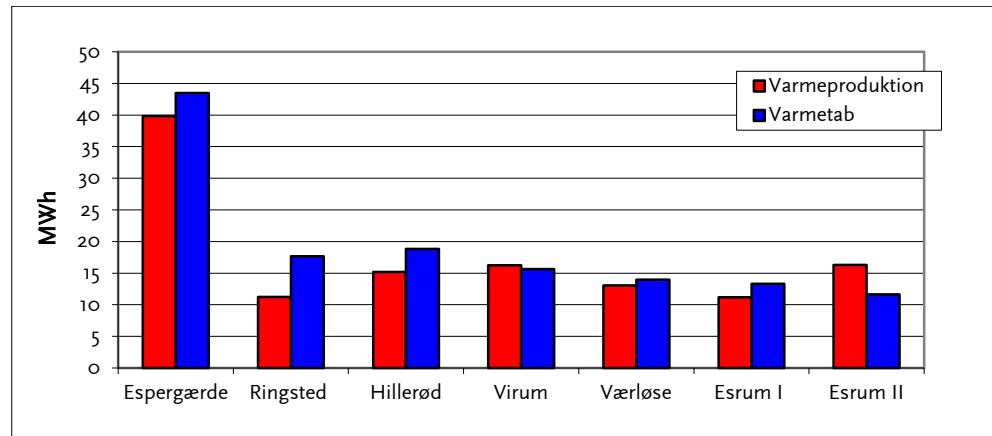
TABEL 7. TABELLEN VISER, HVOR STOR DET FORVENTEDE NETTOENERGITAB ER FOR DE IMPLICEREDE HUSE, JF. DE BYGNINGSREGLEMENTER, DE ER OPFØRT I HENHOLD TIL. TILLÆG FOR VARMT VAND OG EVT. ANDEN KOMFORTTEMPERATUR FØRER TIL ET NETTOENERGITAB "REGULERET (SE TABEL 8)

Forsøgsvært	Energimærke	Bygningsreglement	Netto-BR-krav kWh/ m <sup>2</sup>	Boligareal M <sup>2</sup>	Varmetab "standard" MWh
1. Espergærde		BR77	134	226	30,3
2. Ringsted		BR95	75	170	12,8
3. Hillerød		BR95	75	188	14,1
4. Virum		BR06	65	175	11,4
5. Værløse		BR06	65	126	8,2
6. Esum I		BR06	65	132	8,6
7. Esum II		BR06	65	120	7,8

TABEL 8. TILLÆG FOR VARMT VAND OG HØJERE KOMFORTTEMPERATUR (STUETEMPERATUR) END STANDARDBEREGNINGSTEMPERATUREN PÅ 20° C.

Forsøgsvært	Beboertal	Energi til Varmt vand MWh	Stuetemperatur	Tillæg for høj temperatur MWh	Varmetab "med tillæg" MWh
1. Espergærde	3,0	3,0	24,8	10,2	43,5
2. Ringsted	4,0	4,0	20,9	0,9	17,7
3. Hillerød	2,0	2,0	22,4	2,7	18,8
4. Virum	2,0	2,0	22,0	2,3	15,7
5. Værløse	4,0	4,0	22,2	1,8	14,0
6. Esum I	2,5	2,5	22,6	2,2	13,3
7. Esum II	3,0	3,0	21,1	0,9	11,7

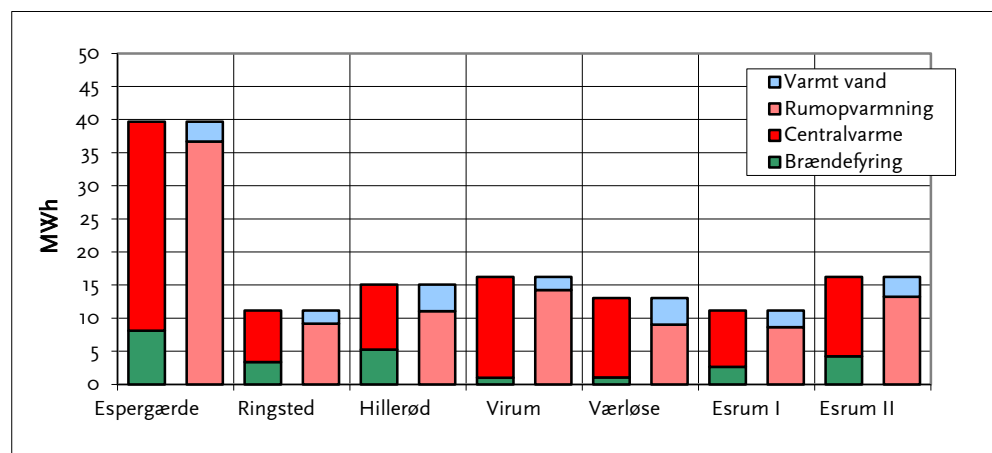
Nu kan varmetilførsel og varmetaf, dvs. den mængde energi, der er tilført, og det forbrug med tillæg for varmt vand og forhøjet stuetemperatur, der er medgået ved varmetabet, stilles op over for hinanden i et varmebalanceregnskab, se figur 4.



FIGUR 4. VARMEBALANCEN I DE IMPLICEREDE HUSE: PÅ DEN ENE SIDE TILFØRSEL AF VARME TIL HUSET OG PÅ DEN ANDEN SIDE VARMETAB DVS. DVS. VARMETABET Gennem KLIMASKÆRMEN TILLAGT FORBRUGET AF VARMT VAND SAMT TEMPERATUR OVER 20 °C.

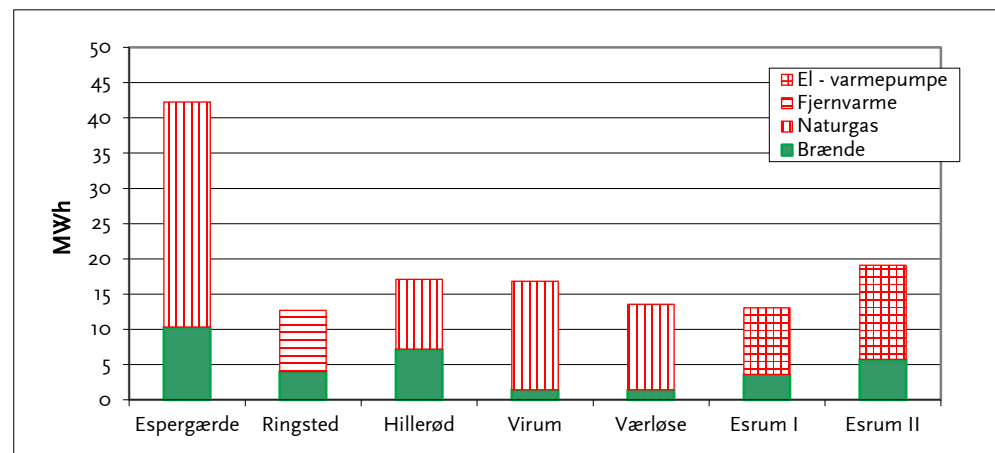
Varmebalanceregnskabet viser, at nettoenergiforbruget, dvs. den del af energitilførslen, der fraregnet tab ved konvertering som forventet svarer til det forbrug, der kalkuleres med i huse opført i de respektive bygningsreglementsperioder, tillagt forbrug af varmt vand og ekstra komfort i form af højere stuetemperatur. Kun i tilfældet Ringsted når den tilførte mængde varme ikke på niveau med det forventede forbrug, dvs. samlet tab. Dette kan skyldes, at brændemængden er sat for lavt, eller at huse opført i 2006 er bedre isoleret end det krav, beregningerne baserer sig på, dvs. kravene i bygningsreglement 1995. Således ville regnskabet stemme bedre, hvis tabet var beregnet ud fra de nye skærpede krav, som træder i kraft i 2006. Omvendt har Esrum 2 et større forbrug end forventet. Her retter mistanken sig mod en varmepumpe, der ikke har præsteret det, der er lovet, og altså ikke er nået op på en årlig nyttevirkning på tre gange den tilførte el, dvs. en COP-værdi over 3.

Med dette i mente, kan det på grundlag af varmebalanceregnestykket konkluderes, som vist i figur 4 tegner et godt billede af situationen, herunder et troværdigt billede af den mængde energi, der løbende tilføres de pågældende huse. Benytter vi målet for varmeforbrug til at illustrere, hvor stor en andel der kommer fra brændefyring, og hvor stor en andel der kommer fra anden opvarmning, i alle tilfælde et centralvarmeanlæg, ser billedet ud som i figur 5. I højre søjle er samtidig vist, hvor stor en andel af den tilførte energi, der går til rumvarme, og hvor stor en andel, der går til fremstilling af varmt vand.



FIGUR 5. VARMETILFØRSELN, SOM FOR DET ENKELTE HUS ILLUSTRERER OMFANGET AF DEN VARME-TILFØRSEL, DER FINDER STED, HER BRÆNDEFYRING OG CENTRALVARME, STILLET OP OVER FOR DET FORBRUG, DER ER ESTIMERET, HER FORDELT PÅ RUMOPVARMNING OG VARMT BRUGSVAND

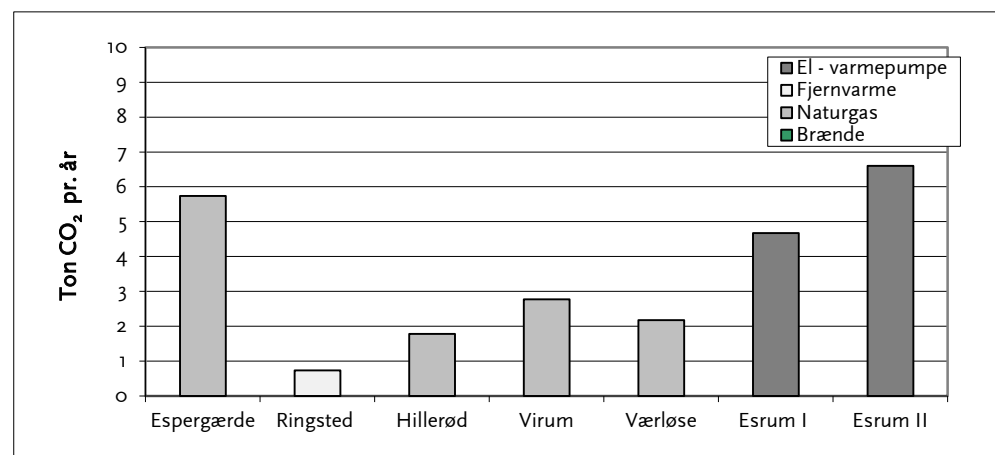
Regnet om til primære energikilder dvs. energiforbrug medregnet tab ved konvertering af brændsel til varme, bliver forbruget større, især for brændefyringens vedkommende. Se figur 6 og sammenlign med figur 5. Det større forbrug skyldes, at brændeovne sammenlignet med fjernvarmekedler har en lavere virkningsgrad, hvorfor mere energi går til spilde ved selve omdannelsen af brændsel til varme. En væsentlig årsag hertil er, at brændeovne, som de i dag er konstrueret, ikke kan udnytte energien i røggassen. Konverteringstab ved brug af el til varmepumper og varme fra fjernvarmeanlæg er vanskeligere at bestemme, men generelt er virkningsgraden på de store værker høj takket være samproduktion af el og varme. På den baggrund er virkningsgraden på fremstilling af el og fjernvarme sat til 90 %. Energi til skovning og transport af træ til brænde, tørring osv. er ligesom energi til fremføring af el og fjernvarme udeladt i dette regnskab.



FIGUR 6. HER VISES OMFANGET AT TILFØRT ENERGI OMREGNET TIL PRIMÆRE ENERGIKILDER, INKL. KONVERTERINGSTAB, MEN EKSKLUSIV UDVINDING OG TRANSPORT.

### 2.2.2 Klimabelastning

Omregnet til CO<sub>2</sub>-udslip sker der igen noget, ikke mindst fordi brænde har et CO<sub>2</sub>-udslip på 0 og fjernvarme har et relativt lavt CO<sub>2</sub>-emissionsfaktor sammenlignet med naturgas. Se figur 7.



FIGUR 7. HER VISES RESULTATET AF DET BEREGNEDE ÅRLIGE CO<sub>2</sub>-UDSLIP FRA DE ENKELTE FORSØGSVÆRTER. BRÆNDE HAR SOM VEDVARENDE ENERGIKILDE ET CO<sub>2</sub>-UDSLIP PÅ 0.

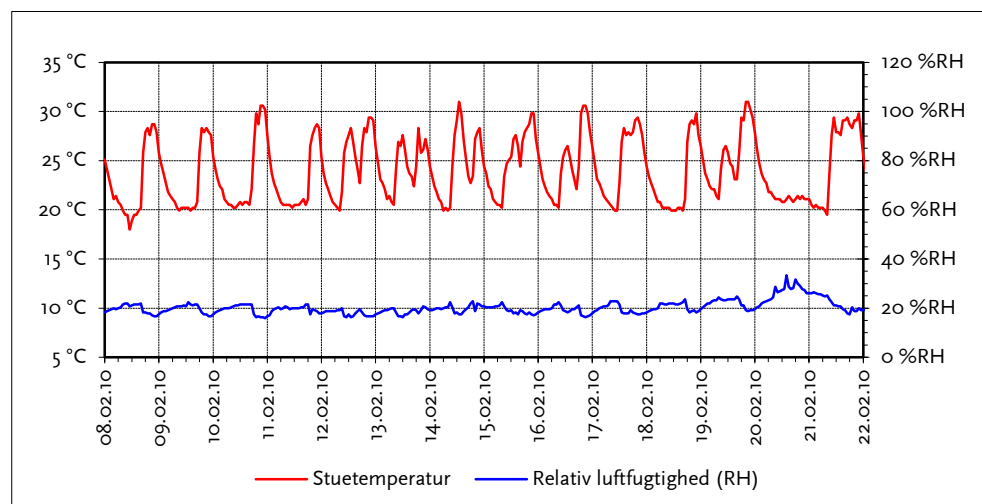
I et klimaperspektiv er det hos forsøgsværten i Ringsted, hvor en stenovn bliver kombineret med fjernvarme, at der finder det mindste CO<sub>2</sub>-udslip sted og dermed den laveste klimabelastning. Under et ton CO<sub>2</sub> i årligt udslip er resul-

tatet af den her valgte løsning. Det er under det halve af det udslip, som forsøgsværten i Hillerød står til ansvar for, selvom der her er brugt mere brænde, og der er opnået en større "CO<sub>2</sub>-rabat". Størst er CO<sub>2</sub>-udslippet i de to helt nye huse i Esrum. Dette skyldes, at der her benyttes varmepumper. Varmepumperne kører på el, hvilket igen betyder, at der for hver forbrugt kWh el, sker et udslip på 500 g CO<sub>2</sub>. På den måde når de to forsøgsværter i Esrum op på et CO<sub>2</sub>-udslip på henholdsvis 5 og 7 ton om året.

### 2.2.3 Overophedning

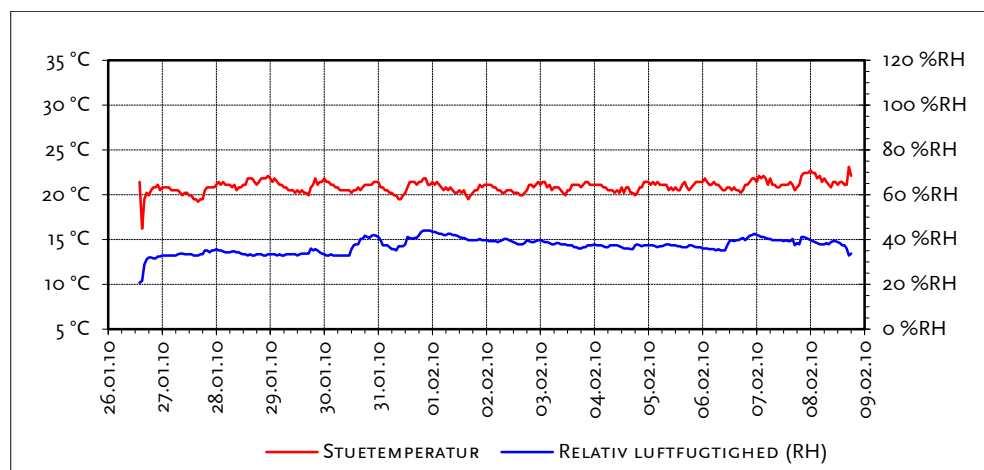
Ved beregning af bruttovarmetabet i afsnittet om energibalancer, blev der lavet et tillæg for at kompensere for en eventuel indendørs temperatur forskellig 20° C. Dette skyldes, at der stort set i alle huse er målt gennemsnitlige temperaturer i opholdsrummene på over 20° C, dvs. temperaturer, der i perioder nåede op på mellem 23 og 26 grader. I de omtalte energibalancer var det derfor nødvendig at lægge mellem 1 og 9 MWh (se tabel 7 og tabel 8) til standardvarmetabet af den simple grund, at varmetabet gennem klimaskærmen øges med 7- 10 % afhængig af husets alder, når forskellen mellem ude- og indetemperaturen øges med en grad.

Spørgsmålet er naturligvis, om det er bevidst valg, at temperaturen ligger så meget over 20° C, eller de høje stuetemperatur blot er en konsekvens af de overtemperaturer, der i perioder blev målt i opholdsrummene med brændeovn. Ud fra de gennemførte målinger over tid af stuetemperatur, viser resultaterne, at der i flere huse forekommer temperaturer helt op på mellem 30 og 35° C, vel at mærke i perioder af nogle timers varighed, typisk en eller to gange i døgnet, svarende til de perioder, hvor der er benyttet brændeovn til supplerende af opvarmningen. Dette gjaldt fortrinsvis de helt nye huse opført i 2008 og 2009. Se diagram over målinger udført i hus opført 2009, figur 8.



FIGUR 8. STUETEMPERATUR OG RELATIV LUFTFUGTIGHED OVER 14 DAGE I FEBRUAR 2010, MÅLT I RUM MED BRÆNDEOVN I HUS OPFØRT I 2009. DIAGRAMMET VISER EN TEMPERATURUDVIKLING, DER SVINGER OP TIL 10 GRADER I DØGNET. DEN RELATIVE LUFTFUGTIGHED LIGGER TIL GENGÆLD LAVT.

I ingen af husene med stenovn, blev der på tilsvarende vis registreret svingende temperaturer, heller ikke det det i nye hus opført i 2006. Her var der tværtimod en meget stabil stuetemperatur døgnet rundt. Hos forsøgsværten med det ældre huse i Espergårde, lå gennemsnitsdøgntemperaturen på 24,8 og hos forsøgsværten i Ringsted på 20,9. Se målinger udført i hus fra 2006, figur 9.



FIGUR 9. INDETEMPERATUR OG RELATIV LUFTFUGTIGHED MÅLT I NYT HUS MED STENOVN. DIAGRAMMET VISER EN TEMPERATURUDVIKLING I PERIODEN, SOM KUN SVINGER 1 Å 2 GRADER OVER DØGNET.

For begge de viste eksempler gælder, at den målte relative luftfugtighed er lav. Dette stemmer overens med, at vejrliget for de to måleperioder, der overlapper hinanden, var kendetegnet ved relativt stabil kulde på mellem  $-5$  og  $0$  °C. Til det skal bemærkes, at der i gennemsnit er målt en luftfugtighed, der ligger ca. 10 % lavere i huse med brændeovne, altså i huse, hvor stuetemperaturen svinger meget over døgnet, hvilket stemmer overens med, at der jævnligt er en høj temperatur i rummet.

Temperaturmålingerne bekræfter, at tunge ovne, som de aktuelle stenovne, afføder en relativt stabil stuetemperatur, og således formår at levere varme fra brændefyring uden gener som følge af overophedning.

#### 2.2.4 Luftsifte og ventilationstab

Ved optænding og brug af brændeovne øges luftsiftet i det enkelte hus svarende til den mængde luft, der skal tilføres forbrændingen, for at den kan forløbe optimalt. Et øget luftsifte i fyringsperioder betyder, at en større andel af den opvarmede luft skiftes ud med kold luft, og sker et ventilationstab, dvs. tab af varme, forudsat der er ikke anvendes mekanisk ventilation med varmegenvinding. Når der er interessant at se på det ekstra luftsifte, hænger det sammen med at et øget luftsifte dels kan komme i konflikt med anden ventilation og dels give anledning til et energitab.

Ingen af de implicerede huse har mekanisk ventilation med varmeveksler. Dog har et hus, Esrum 1, genvinding af energien på ventilationsanlæggets udsugningsside. Til gengæld har dette hus sammen med Esrum 2 installeret brændeovne med ekstern lufttilførsel, dvs. luftindtag direkte gennem en kanal forbundet med udeluften. Ulempen ved denne løsning er, at luften, der trækkes ind i brændeovnen, ikke er forvarmet, hvilket kan reducere temperaturen i brændkammeret og dermed reducere ovens virkningsgrad. Omvendt kan indtag udefra gøre det lettere at tænde en brændeovn i et moderne hus med mekanisk ventilation, idet et sådant ventilationsanlæg typisk opererer med undertryk. Alle huse bortset fra Esrum 1 og 2 har internt luftindtag, dvs. luftindtag fra rummet, der omgiver brændeovnen.

For at finde frem til luftsiftet med og uden brændeovn tændt, og for at beregne energitabet, blev der både udført en generel luftsiftemåling i de impli-

cerede huse, og foretaget en beregning af det ekstra luftskifte, som brug af brændeovn i det enkelte tilfælde har genereret. Målingen af det generelle luftskifte blev for de enkelte huse udført over en uge i dagene efter optændingsforsøget. Til målingen blev der anvendt passiv sporgasteknik (Per Fluorocarbon Tracer). I praksis sker det på den måde at der opstilles en sporgaskilde, som afgiver en gasart jævnt over tid, og samtidig opstilles en sporgasopsamler, som ”tæller” antallet af molekyler, der opfanges af den pågældende luftart. Rigtigt placeret giver denne opstilling et præcist mål for, hvor stor luftskiftet i gennemsnit har været i perioden, opgjort som m<sup>3</sup> pr. time (Bergsøe, 1992).

For at gennemføre en beregning af den ekstra luftmængde, der skal til, for at nære forbrændingen, er der taget udgangspunkt i det forhold, at den ekstra luftmængde står i direkte mål med den mængde brænde, der omsættes til varme. Mængden af brænde, der omsættes, har med effekt at gøre og dermed den forbrændingskapacitet. Her ved man fra forsøgsopstillinger i laboratorier, at der kræves 11 m<sup>3</sup> luft pr. tilført kg tørt brænde ved optimal forbrændings-temperatur. Denne luftmængde ved stuetemperatur udvider sig ved passage gennem ovnen til det dobbelte, altså til en mængde svarende til, at der trækkes 22m<sup>3</sup> opvarmet luft op gennem skorstenen. Med brændeovnenes (nominelle) effekt og dermed deres forbrændingskapacitet lagt til grund, kan det ekstra luftindtag udregnes som vist i tabel 9. Det krævede luftindtag ved drift er for hver ovn vist i kolonne 3. Denne luftmængde er herefter sammenholdt med det almindelige luftskifte i hvert af husene, jf. de målinger, der er udført over en periode, se kolonne 4. I sidste kolonne ses hvor meget luftskiftet øges i procent i hvert af de observerede huse, når brændeovnen er i brug. Som det fremgår af tabellen, kan øges luftskiftet med op til 40 % i perioder med fuld forbrænding i brændeovnen. De højeste værdier er fundet for de to stenovne, der ved indfyring har et stort luftbehov.

TABEL 9. BEREGNING AF DET EKSTRA LUFTSKIFTE. DET EKSTRA LUFTINDTAG OG DERMED LUFTSKIFTE VED DRIFT ER SAT I FORHOLD TIL DET ALMINDELIGE LUFTSKIFTE, SOM FOR HVERT HUS ER MÅLT OVER EN PERIODE. ESRUM I OG II HAR DIREKTE LUFTINDTAG OG AFFØDER DERFOR IKKE NOGET EKSTRA LUFTSKIFTE I BOLIGEN, JF. PARENTESER.

Brændeovn	Nominal effekt for brændeovn kW	Forbrændingskapacitet kg/time	Luftindtag ved drift m <sup>3</sup> pr. time	Målt almindeligt Luftskifte m <sup>3</sup> pr. time	Andel af luftskifte under drift
1. Espergærde	2,5	10,0	110,0	288	38 %
2. Ringsted	3,0	8,0	88,0	227	39 %
3. Hillerød	5,5	1,8	19,9	238	8 %
4. Virum	8,0	2,6	28,9	225	13 %
5. Værløse	5,5	1,8	19,9	114	17 %
6. Esrum I	5,5	1,8	19,9	118	(17 %)
7. Esrum II	5,5	1,8	19,9	207	(10 %)

I praksis skal det ekstra luftindtag omkring brændeovnen modsvares af en tilsvarende ekstra tilførsel af luft til det eller de rum, som ovnen befinder sig i, hvis forbrændingen skal ske optimalt. Dette betyder igen, at nye og dermed tætte huse ved brug af brændeovn skal have mulighed for ekstra tilførsel af luft fx gennem friskluftventiler. Jo tættere huse og jo kraftigere forbrænding, desto større er behovet for ekstra luftindtag. Blicher der ikke i tilstrækkelig grad kompenseret med friskluftsindtag, vil brændeovnens behov for luft let kunne føre til konflikt med udsugningsanlæg så som emhætter og udsugning fra opholdsrum og badeværelser, vel at mærke, når brændeovnen er tændt. I disse tilfælde kan der være fare for, at røgpartikler pludselig strømmer ud i rummet. En

undtagelse er brændeovne med direkte luftindtag via udeluftventiler, som det er tilfældet for Esrum 1 og 2.

Set over hele fyringssæsonen fylder det ekstra luftskifte ved brug af brændeovnen fylder imidlertid kun lidt. I tabel 10 er vist hvor meget det samlede ekstra luftbehov fylder i forhold til det samlede luftskifte i fyringssæsonen. Her fylder det ekstra luftskifte kun mellem 1 og 3 %. I denne beregning er det målte luftskifte lagt til grund. Alternativt kan man lægge det lovpligtige luftskifte til grund, svarende til at halvdelen af husets volumen skal udskiftes en gang i timen. Af tabel 10, kolonne 3 ses imidlertid, at brug af det lovpligtige luftskifte, på trods af at det typisk er lidt lavere ikke vil ændre på det forhold, at det ekstra bidrag til luftskiftet ved brug af brændeovn vil være forsvindende.

TABEL 10. BEREGNING AF BIDRAGET FRA DET EKSTRA LUFTSKIFTE VED BRUG AF BRÆNDEOVN SAT I FORHOLD TIL DET TOTALE LUFTSKIFTE I FYRRINGSSÆSONEN.

Brændeovn	Indfyret brændemængde	Samlet luftbehov	Målt/lovpligtigt luftskifte	Samlet Luftskifte	Andel af totalt luftskifte
	kg	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> pr. time	m <sup>3</sup>	
1. Espergærde	2520	27.720	288/260	829.440	3,3 %
2. Ringsted	980	10.780	227/196	653.760	1,6 %
3. Hillerød	1750	19.250	238/216	685.440	2,8 %
4. Virum	350	3.850	225/201	648.000	0,6 %
5. Værløse	350	3.850	114/145	328.320	1,2 %
6. Esrum I	875	9.625	118/152	339.840	2,8 %
7. Esrum II	1400	15.400	207/138	596.160	2,6 %

Men en ting er luftmængden, noget andet er energitabet. Spørgsmålet er derfor, og det ekstra luftskifte giver anledning til energitab, som vil forringe gevinsten ved at brug brændeovn. For at besvare dette spørgsmål, er der foretaget en beregning af det årlige energitab ved brug af brændeovne hos hver de implicerede brændeovnsværter. Beregningen bygger igen på det forhold, at der for hvert kg brænde, der anvendes til opvarmning i en brændeovn eller masseovn kræves et ekstra luftskifte på 11 m<sup>3</sup>. Dette betyder i praksis, at der for hvert kg brænde skal tilføres 11 m<sup>3</sup> kold luft udefra. Denne mængde luft skal hæves til stuetemperatur, bl.a. takket være brændeovnen. Energimængden, der således tabes, kan nu beregnes ud fra den ekstra luftmængde, der er behov for samt massefylden og varmfylden for luft. Hvis det samtidig forudsættes, at denne luft i gennemsnit skal opvarmes fra 4 til 22 °C, idet 4 °C er den gennemsnitlige udetemperatur i fyringssæsonen kan tabet udregnes af formlen for energitab i en luftstrøm (DS 418, formel 4.1):

$$\Phi_v = pcq(\theta_i - \theta_e), \text{ hvor}$$

$\Phi_v$  er ventilationstab i W

P er luftens massefylde i kg/m<sup>3</sup>

c er luftens varmfylde i J/kgK

q er volumenstrømmen af udeluft tilført rumet i m<sup>3</sup>/s

$\theta_i$  er den gennemsnitlige rumtemperatur i °C

$\theta_e$  er den gennemsnitlige udetemperatur i fyringssæsonen °C,

Sættes værdierne for p og c til henholdsvis 1,205 kg/m<sup>3</sup> (tør luft) og 1005 J/kg (20 °C og 1013 mbar) og regnes der med en luftstrøm på 11 m<sup>3</sup> pr kg brænde, bliver resultatet at energitabet pr. indfyret kg brænde, beløber sig til 0,67 kW.

Da energitabet er direkte proportionalt med mængden af brænde, der indfyres, kan tabet beregnes til 1,5 % af energiindholdet af den indfyrede brændemængde. Tager vi i betragtning, at ikke alle brændeovne udnytter brændet lige effektivt, vil tabet ligge på mellem 1,9 og 2,2 %, se tabel 11. Konklusionen bliver under alle omstændigheder, at energitabet som følge af det ekstra luftskifte er ubetydelige set i forhold til energien i den varme, der udvindes af tilførte mængde brænde.

TABEL 11. BEREGNING AF ENERGITABET SAT I FORHOLD TIL ENERGIINDHOLDET I DEN TILFØRTE MÆNGDE BRÆNDE OG SAT I FORHOLD TIL DEN FAKTISKE VARMETILFØRSEL.

Brændeovn	Brænde- for- brug	Energiind- hold i brænde	Varmetil- førsel	Energitab	Energitab i forhold til energitilførs- len	Energitab i forhold til varmetilførslen
	kg	MWh	MWh	MWh		
1. Espergærde	2520	10,3	8,3	0,17	1,5 %	2,0 %
2. Ringsted	980	4,0	3,4	0,07	1,5 %	1,9 %
3. Hillerød	1750	7,2	5,4	0,12	1,5 %	2,2 %
4. Virum	350	1,4	1,0	0,02	1,5 %	2,3 %
5. Værløse	350	1,4	1,1	0,02	1,5 %	2,2 %
6. Esrum I	875	3,6	2,7	0,06	1,5 %	2,2 %
7. Esrum II	700	5,7	4,3	0,05	1,5 %	2,2 %

### 2.3 Sammenfatning

Når det gælder energieffektivitet lød det overordnede spørgsmål, om den mængde energi og dermed varme, man får ud af sit brænde ved at bruge brændeovn, kan stå mål med den energi, der typisk bliver tilført centralvarmeanlægget. Her er svaret, at bidraget fra brændeovne kan være endog betydeligt. Lidt overraskende var bidraget størst i de nyeste og mest energieffektive huse. Omvendt viste brugen af brændeovn i undersøgelsens ældste og dårligst isolerede hus, at selv store mængder brænde ikke kan hamle op med tabet gennem en dårligt isoleret klimaskærm. I det lys er der altså ikke noget, der taler imod brug af brændeovne i nye huse.

Et andet spørgsmål var, om det ekstra energitab, der opstår, når man etablerer en forbrændingsproces med luftindtag fra de rum, der forsøges opvarmet, kræver så meget ekstra luft tilført, at tabet af energi ikke står mål med energien i den indfyrede mængde brænde. Her viser undersøgelsen, at dette tab er minimalt. Rent faktisk beløber det sig til 1,5 % af den indfyrede mængde energi. Afhængig af energieffektiviteten, dvs. virkningsgraden af den anvendte brændeovn, svinger tabet for de undersøgte brændeovne mellem 1,9 og 2,3 %, men for moderne ovne er det ikke højere end 2,5 %. Dermed bliver svaret på det rejste spørgsmål, at moderne brændeovne ikke giver anledning til nævneværdigt energitab som følge af ekstra ventilationstab. Dette betyder igen, at man ved en energiberegninger af nye huse med brændeovne, fx i forbindelse med energimærkning, kan se bort fra energitabet som følge af den ekstra ventilation, der opstår.



## 3 Partikeludslip og indeklima

Der er øget opmærksomhed omkring partikler. Dette skyldes mistanke om de sundhedsskadelige effekter, de kan have ved indånding. Mistanken er opstået i kølvandet på de skader, som rygning har forvoldt, men sættes også i forbindelse med de skader, som luftforurening i byerne kan give, især som følge af dieselos. Sidst er der blevet rettet opmærksomhed mod partikelforurening fra brændeovne.

I denne undersøgelse bliver der set nærmere på den partikelforurening af indeklimaet, som finder sted i forbindelse med brug af brændeovne. Dette hænger sammen med, at der er mistanke om, at brændeovne især i nye huse kan give anledning til forurening af indeklimaet med fine og ultrafine partikler, som kan være sundhedsskadelige. I undersøgelsen bliver der målt på luftens indhold af ultrafine partikler, dvs. partikler mindre end  $0,1\mu\text{m}$  svarende til en ti-tusindedel millimeter. Målingerne, der er baseret på tællinger, er gennemført direkte i forbindelse med optænding og brug af brændeovne.

### 3.1 Introduktion

Der er forsket i og målt meget på brændeovnes partikelemissioner. Ved test og typegodkendelse af brændeovne har det været vigtigt at fastslå det samlede partikeludslip og sætte en øvre grænse for dette. Samtidig har den almindelige interesse for luftforureningen i vore byer sat fokus på det bidrag, som brændeovne bidrager med.

Et overset emne i forhold til brændeovne og partikler er, at brændeovne ved brug afgiver partikler til indeluften, således at også indeklimaet kan blive belastet af partikler. Hvor store emissioner, der er tale om afhænger af ovn, skorstenstræk, ventilationsforhold, optændingsteknik mv. Hvor skadelige de partikler er, der udledes ved optænding og brug af brændeovne ved man kun lidt om. Men mistanken er, at især de ultrafine partikler kan være skadelige for helbredet, hvorfor denne undersøgelse især har sat sig for at se på, hvor store udslip af ultrafine partikler, der kan opstå ved optænding og brug af brændeovne. Ud over udslip af partikler har de udførte målinger også omfattet af udslip af forskellige gasarter.

For at sætte undersøgelsen af partikeludslip til indemiljøet i perspektiv, indledes der med en gennemgang af en række forhold, som gælder for partikler. Derefter følger en gennemgang af de partikel- og gasmålinger, der er udført ved forsøgsværterne, og endelig gives der en samlet vurdering og konklusion.

#### 3.1.1 Måling af luftbårne partikler

Luftbårne partikler forekommer både i fast og flydende form. Dertil kommer, at gasmolekyler også kan slå sig sammen for at overgå til fast eller flydende form. Partiklernes størrelse kan variere fra nogle få nanometer (milliontedel millimeter) til et par tiendedele millimeter. Partiklerne kan endvidere have meget forskellig kemisk sammensætning. Partikler kan opdeles på forskellig vis. I dette arbejde inddeles partiklerne efter størrelse: grove, fine og ultrafine partikler. De grove partikler har en diameter på mellem 1 og  $100\mu\text{m}$ , hvor en

$\mu\text{m}$  (mikrometer) er lig en tusindedel af en millimeter eller  $10^{-6}$  m. De fine partikler har en diameter på mellem 1 og 0,1  $\mu\text{m}$ , mens de ultrafine partikler har en diameter, på mellem 0,1 og 0,01  $\mu\text{m}$ , dvs. ned til  $10^{-8}$  m. Hvor man ved filterteknik kan udskille de grove og fine partikler og veje mængden, og gøre den op som gram partikler per kubikmeter luft, er det kun muligt at identificere og opgøre mængden af ultrafine partikler ved at tælle dem.

Når det gælder partikler i udemiljøet er kilderne mange. Eksempler på sådanne kilder er partikler opstået som slid mellem bildæk og asfalt, partikler spredt via udstødningsgasser fra bilmotorer (især dieselmotorer), partikler fra mekaniske og kemiske processer op partikler af biologisk oprindelse så som pollen. Den samlede vægtmængde af partikler kan være et vigtigt vidnesbyrd om mængden og karakteren af de aktiviteter, der finder sted i et givet område. Se for hvert af de implicerede huse er der opstillet en varmebalance. på den måde får man overblik over, hvor energien til opvarmning kommer fra, og hvad den bruges til. i princippet opstilles en sådan energibalace ved på inputsiden at omregne alle tilførsler af brændsler, varme og el sammen til et netto-energiforbrug for så at se, hvor meget de enkelte bidrag yder i det samlede regnskab, herunder hvor meget bidraget fra brændeovnen fylder. for at kunne kvantificere tabssiden ses der bygningens tekniske specifikationer, hvorefter der kan foretages en beregning af det samlede energitab over året. beregnings-teknikken, der anvendes her svarer til den, der anvendes ved projektering og godkendelse af nye huse, og som anvendes ved udfærdigelse af energimærker for gamle huse. ved beregning af energiforbruget regnes der med et netto-energiforbrug, hvilket er den nyttiggjorte energi, uden hensyntagen til kedel- og skorstenstab. ved beregning af energiforbruget regnes der tilsvarende med et netto-energitab, hvilket er den mængde energi, der passerer ud gennem klimaskærmen modregnet varme fra solindfald, og modregnet intern belastning, dvs. varme fra personer og el-apparater. et tilnærmet mål for en bygningens nettoenergitab fås ved at se på den energitabsramme, som var gældende ved opførelsen af det enkelte hus, jf. de energibestemmelser, som gjaldt i henhold til bygningsreglementet, da huset blev opført.

TABEL 12. TYPISKE VÆRDIER FOR MÆNGDEN AF PARTIKLER (EFTER VÆGT) I EN KUBIKMETER LUFT I FORSKELLIGE UDEMILJØER.

Områdetype	Partikler ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )
Industriområde	0,1-10
Industriby	0,2-5
Storby	0,03-0,3
Provinsby	0,02-0,1
Landsby	0,01-0,1

Når man ser nærmere på luftbårne partikler, er det vigtigt at være opmærksom på, at den vægt af de partikler der kan filtreres ud af en kubikmeter luft sjældent korresponderer med antallet af partikler. Tabel 13 viser et typisk eksempel på, hvordan partiklerne fordeler sig i udendørs luft. Den største partikelmængde, efter vægt, befinder sig i intervallet 10-5 $\mu\text{m}$ , mens den største partikelmængde, efter antal, befinder sig i intervallet mindre end 0,5 $\mu\text{m}$ .

TABEL 13. EKSEMPEL PÅ FORDELING AF LUFTBÅRNE PARTIKLER I UDENDØRS LUFT (PERSSON, 2001).

Partikelstørrelse, interval ( $\mu\text{m}$ )	Partiklernes relative fordeling efter vægt	Partikelfordeling Antal / $\text{m}^3$
30 - 10	28 %	1000
10 - 5	52 %	35 000
5 - 3	11 %	50 000
3 - 1	6 %	210 000
1 - 0,5	2 %	1 350 000
< 0,5	1 %	18 300 000

Traditionelt set måler man partikelindholdet i luften ved at lægge vægten af alle partikler sammen. Dette angives fx ved  $PM_{10}$ , dvs. koncentrationen af partikler mindre end  $10\mu\text{m}$  i diameter), hvor koncentrationen af partikler opgøres som massen af partikler per volumenhed. Måling af  $PM_{10}$  er enkel, men metoden er upræcis, da vægten af de mange fine og lette partikler lægges sammen med de relativt få grove og tunge partikler. Mere præcist bliver det, hvis man går ned i partikelstørrelse og fx måler koncentrationen af  $PM_{2,5}$ , dvs. koncentrationen af partikler mindre end  $2,5\mu\text{m}$  i diameter. Her tages der til en vis grad højde for de mindre partikler, selvom vægten af de store partikler fortsat tynger opgørelsen. Under tiden forsøger man gå ned til  $PM_{0,1}$  dvs. måling af partikelkoncentrationen af partikler mindre end  $0,1\mu\text{m}$ . Dermed er man nede i området med ultrafine partikler. Koncentrationen af ultrafine partikler er imidlertid svær bestemme ved vejning, både fordi det kræver et meget fint filter, og fordi det i sidste instans er svært at veje så lille en masse. Derfor vælger man i de fleste tilfælde at måle koncentrationen af  $PM_{0,1}$  ved at tælle antallet partikler og gøre det op som et antal partikler pr. kubikcentimeter luft.

### 3.1.2 Sundhedsmæssige effekter af små partikler

Flere studier har indikeret at eksponering for luftbårne partikler kan forårsage skade på det menneskelige helbred. Hidtil har sådanne studier taget udgangspunkt i målinger af partikelkoncentrationer foretaget i udemiljøet.

Dette skyldes, at luftbårne partikler typisk stammer fra kilder i udemiljøet, såsom biltrafik specielt fra køretøjer med dieselmotor. Partikler fra udemiljøet optræder dog også inden døre, hovedsagelig fordi de tilføres via ventilationsluften. Ud over partikler udefra, frembringer menneskelige aktiviteter inden døre såvel som mennesket selv en masse af partikler. Mennesker afgiver især store partikler, som regel større en nogle mikrometer ( $\mu\text{m}$ ) mens madlavning og rengøring som oftest genererer meget mindre partikler, såkaldt fine og ultrafine partikler, dvs. partikler mindre end 1 mikrometer eller mindre end  $0,1$  mikrometer. Kendskab til eksponeringens omfang fra indendørs aktiviteter, er stadig begrænset.

Menneskers udsættelse for partikler kan have både kort- og langsigtede sundhedsmæssige virkninger. En svensk undersøgelse har vist, at mellem 80 og 750 årlige dødsfald alene i Sverige kan være relateret til luftforurening (Bomann, 2003). I København, der har 1,2 millioner indbyggere er det anslået, at det årlige antal dødsfald kan reduceres med ca. 675 personer, hvis koncentrationen af ultrafine partikler er reduceret med 60 % (Loft et al., 2003). Det mest berømte studier af forholdet mellem partikelbelastning og dødelighed er udført i to store amerikanske undersøgelser, blev offentliggjort i midten af 90'erne. Resultaterne af disse undersøgelser blev bekræftet igen i 2002 efter studier foretaget på samme population. I disse undersøgelser forelå der en meget sikker statistisk sammenhæng mellem dødelighed og koncentrationen af partikler mindre end 2,5 mikrometer, dvs. mindre end  $PM_{2,5}$  (Pope et al., 2002).

Nogle undersøgelser har efterfølgende vist, at sammenhængen mellem partikelkoncentration og sundhedsmæssig effekt vokser med aftagende partikeldiameter. Partikler med en diameter på 10 mikrometer deponeres hovedsageligt i de øvre luftveje (næse og hals), mens partikler under 10 mikrometer deponeres længere ned i bronkier og alveoler. Jo mindre partiklerne, jo længere trænger de ned i lungerne. Ultrafine partikler, hvis diameter er mindre end  $0,1$  mikrometer, har en stor overflade pr. vægtenhed. De kan trænge gennem lun-

gevæv og altså via lungevævet føres ud i blodbanerne videre ud i hele kroppen. En vigtig led i den efterfølgende sygdomsproces synes at være fremprovokering af en inflammation, som i sig selv fører til en række sygdomsfremkaldende effekter. Det er derfor specielt vigtigt at undersøge tilstedeværelsen af omfanget af meget små partikler, og i den forbindelse bestemme koncentrationen af antallet af partikler i en række størrelsesintervaller for at vurdere eksponeringen i forhold til de sundhedsmæssige risici (Afshari et al., 2010).

Først så sent om i 2011 blev der imidlertid offentliggjort forskningsresultater, som direkte kunne sige noget om ultrafine partiklers giftighed. Disse undersøgelser tager oven i købet direkte udgangspunkt i måling af giftighed af partikler fra brændeovnsrøg (Danielsen et al, 2011). Resultaterne herfra, indikerer, at små partikler fra brændeovne har høj koncentration af polyaromatiske hydrocarboner (PAH) og stor koncentration af såkaldte frie radikaler. Videre bliver det påvist, at den slags partikler fører til oxidativt stress i kroppen på samme måde som partikler fra dieslbiler. Dette betyder genetisk set, at DNA-strengene kan brække over og derved let giver anledning til mutationer. I undersøgelserne tillægges dieselpartikler og brændeovns-partikler samme effekt, selv om det på anden vis er påvist at dieselpartikler er de farligste, fordi de toksikologiske effekter er større per gram dieselpartikler end per gram brændeovns-partikler. Det sidste kan dog skyldes, at der er flere store partikler, som vejer noget i en prøve med brændeovns-partikler end i en prøve med brændeovns-partikler.

### 3.1.3 Partikler skabt inden døre

Partikler som genereres inden døre hidrører blandt andet fra opvarmning, komfurer og madlavning, stearinlys, blødgørere mv.

Når det gælder komfurer og madlavning, har et studie udført i Skotland vist, at gaskomfurer kan afgive ultrafine partikler i området 15–40 nm. (0,014–0,040  $\mu\text{m}$ ). Samtidig blev der målt forøgede koncentrationer af ultrafine partikler på mellem 25.000 og 150.000 partikler pr.  $\text{cm}^3$  i forhold til de tidspunkter, hvor komfuret ikke var i brug. Ved anvendelse af gasovn og bagning af brød med sukker på toppen, kunne der måles stigninger i partikkelkoncentrationen på 100.000 partikler/ $\text{cm}^3$  jævnfør med en elektrisk ovn, hvor der genereres 30.000 partikler/ $\text{cm}^3$ . Et andet studie har vist, at der ved brug af elkomfur med tomme plader blev skabt 100.000 partikler/ $\text{cm}^3$ .

I laboratoriestudier udført i testkammer på Statens Byggeforskningsinstitut (SBI) har man målt emissioner fra 13 forskellige indendørs kilder, deriblandt cigaretrøg, støvsuger, strygejern med og uden vanddamp og stegning af kødfars (Afshari et al., 2005), se tabel 14.

TABEL 14. TAL FRA MÅLINGER AF PARTIKLEMISSIONER FRA DIVERSE INDENDØRS AKTIVITETER. C<sub>MAX</sub> ANGIVER DET HØJESTE ANTAL PARTIKLER, DER ER MÅLT.

	C <sub>max</sub> (p/cm <sup>3</sup> )
Strygejern uden damp	550
Strygejern med damp	7 200
Duftspray	29 900
Duftlys	69 600
Stearinlys	241 500
Elektrisk varmeplade	111 500
Radiator	218 400
Støvsuger med pose	21 400
Støvsugermotor	38 300
Cigaret	213 300
Stegning af kødfars	150 900

### 3.1.4 Partikelmåling ved brug af brændeovne

Rettes blikket mod de partikler, som generes ved brug af brændeovne, er der tale om et bredt spektrum af partikler, herunder ultrafine partikler (Afshari et al, 2010). Undersøgelser har vist, at hovedparten af de partikler, som opstår ved brændefyring, er mindre end  $2,5\mu\text{m}$  i diameter (Wieser og Gaegauf, 2005). Når det gælder partikelfordelingen, har en svensk undersøgelse vist, at i udstødning fra trafik topper antallet af partikler ved partikelstørrelsen  $0,020\mu\text{m}$ , mens det ved brændefyring topper ved en størrelse på mellem  $0,020$  og  $0,3\mu\text{m}$  (Hedberg et al., 2002).

Mange forskere har set på brændeovnes indflydelse på den almindelige luftforurening. Således har en undersøgelse vist, at 64 % af det samlede danske udslip af partikler til luften, som er mindre end  $2,5\mu\text{m}$ , kommer fra forbrænding af træ, dvs. at brændeovne og mindre træbrændselskedler anvendt i husholdninger. (Illerup et al. 2007). Dette kan dog ikke tages som udtryk for, at 64 % af partikelindholdet,  $\text{PM}_{2,5}$  (massen af partikler mindre end  $2,5\mu\text{m}$ ) hidrører fra brændeovne. Mange partikler går hurtigt til grunde, og mange partikler er født som gasarter, ligesom der findes partikler i luften fra såkaldte naturlige kilder. Derfor kan mindre end 10 % af de partikler, man kan samle op ved partikelmålinger, tilskrives brændefyring, jf. Wåhlin et al. (2006), som citeret af Olesen (2010).

I en nyligt udført undersøgelse i et enfamiliehusområde på Sjælland er der taget prøve af udeluften. Her blev der målt gennemsnitlige partikelkoncentrationer ( $\text{PM}_{2,5}$ ) i udeluften på  $2\mu\text{g}/\text{m}^3$  på årsbasis. Målingerne herfra bliver herefter sammenlignet med målinger udført i en tidligere undersøgelse i to områder nær Roskilde (Glasius et al., 2006). Her viser det sig, at et af områderne netop ligger på  $2\mu\text{g}/\text{m}^3$  på årsbasis, mens det andet område ligger på  $0,5\mu\text{g}/\text{m}^3$  på årsbasis. Hvor de første lokaliteter bliver karakteriseret som områder med høj brændefyringsaktivitet, bliver det sidste karakteriseret som et område med moderat brændefyringsaktivitet. Til sammen tegner disse undersøgelser et billede af situationen, som den skønnes at se ud i mange danske enfamiliehusområder med moderat til høj brændefyringsaktivitet (Olesen et al., 2010).

Går man tættere på forureningskilden, er der i en tidligere undersøgelse udført omfattende målinger direkte på 19 skorstenene i tre enfamiliehuskvarter på Sjælland. Her blev der målt både partikelmængder og PAH (tjærestoffer) samt dioxin. Interessant i denne sammenhæng er, at resultaterne kunne afsløre meget store forskelle i størrelsesordenen af udslippenes afhængig af fyringsanlæg. I gennemsnit fandt man et udslip ved skorstensafrækket på  $6,2\text{ g/kg}$  træ afbrændt i fyringsanlægget, idet den mindste værdi lå på  $0,1$  og største værdi på  $23,5\text{ g/kg}$  træ (Glasius et al., 2006). Da målingerne foregik direkte ved kilden er partikelmængden naturligvis langt større ved disse målinger end ved gennemsnitsmålinger af luftforurening.

I modsætning til de mange udendørs målinger af partikelforurening fra brændeovne, foreligger der kun få målinger af partikelforureningen inden døre. Konklusionen fra disse undersøgelser sige, at der i huse med brændeovn kan konstateres et mærkbart bidrag til sodforureningen inde i huset, men også at denne forurening primært opstår, når der tændes op i brændeovnen. Dårligt træk betyder ydermere at forureningen lettere spredes ind i stuen i stedet for at blive ført op gennem skorstenen (Clasius 2007; Olesen, 2010).

På den baggrund, har formålet partikelmålingerne i denne undersøgelse været at foretage målinger direkte af partikeludslippet under optænding, løbende forbrænding og genopfyldning med brænde. På den måde er der set nærmere på den partikelforurening, der rammer beboerne i huset direkte, herunder omfanget af denne set i lyset af den almindelige baggrundsforurening. Særlig interesse har der knyttet sig til ovnens konstruktion og den måde, den bliver håndteret på, for at se på nogle af de forhold, der øger eller sænker faren for partikeludslip i stuen, hvor ovnen er placeret.

### 3.2 Brændeovnsundersøgelse

Der blev gennemført partikelmålinger hos samtlige de forsøgsværter, som indgår i undersøgelsen. Målingerne blev gennemført i to serier, vinteren 2009 og vinteren 2010. I alle tilfælde blev de gennemført på tidspunkter, hvor der ikke skete andre aktiviteter i huset så som støvsugning og madlavning. De enkelte huses opførelsesår, ovntype samt luftskifte og temperaturforhold under målingerne fremgår af tabel 15.

TABEL 15. BESØGSVÆRTER MED ANGIVELSE AF HUSETS OPFØRELSESÅR, INDE- OG UDETEMPERATUR, OVNTYPE OG LUFTSKIFTE. 1. PERIODE: OPTÆNDING VED EJER. 2. PERIODE: OPTÆNDING VED OPTÆNDINGSEKSPERT.

Forsøgsværter	Byggeår	Ovntype	luftskifte		Ude-temperatur		Inde-temperatur	
			1.	2.	1.	2.	1.	2.
			serie	serie	serie	serie	serie	serie
1. Espergærde	1977	masseovn	1,1	0,61	13,2	-	23,4	-
2. Ringsted	2006	masseovn	-	0,58	-	0- (-5)	-	20,9
3. Hillerød	2001	Støbejern	0,89	0,59	12,7	-1,1	23,5	22,3
4. Virum	2007	Støbejern	-	0,55	-	0- (-5)	-	21,5
5. Værløse	1912/2008	Støbejern	0,4	0,4	13,3	0- (-5)	22,4	22,3
6. Esrum I	2009	Støbejern	0,33	1,1	14,9	-1,7	22,9	24,1
7. Esrum II	2009	Støbejern	0,58	-	12,3	-	22	-

Husene 1, 2, 6 og 7 er udstyret med mekanisk udsugning, men husene 3, 4 og 5 er udstyret med mekaniske ventilationsanlæg. Luftindtaget til brændeovnen i huse 6 og 7 var forbundet med luftkanal forbundet med udeluften. Brændeovnene i de resterende bygninger havde luftindtag fra det omgivende rum.

På baggrund af de erfaringer, der blev gjort under den første måleserie, blev der i to henseender ændret på ”forsøgsopstillingen” i den anden måleserie. Således blev de kun under den første serie af målinger anvendt HEPA-filer til at rense luften for baggrundspartikler. Omvendt blev der kun under den anden serie af målinger anvendt optændingseksperter til at foretage optænding og kontrol af forbrændingsprocessen. Det sidste skete for at eliminere forskelle i optændingsmåden.

I første forsøgsperiode, vinteren 2009, blev optændingsteknikken overladt til forsøgsværten, i enkelte tilfælde, hvor denne ikke kunne være til stede, til en af de personer, der stod for målingerne. I alle tilfælde blev optændingen udført, som man traditionelt gør, ved først at stille små pinde til rette i teltform over en tændbriket. Der blev i ingen tilfælde anvendt aviser til optændingen. Øverst blev der lagt større brændestykker på i alt 2-3 kg. Ovnens blev tændt, idet ovenlågen blev holdt åben for at give ekstra luft. Når så de små pinde var ved

at brænde ned og de store brændestykker antændt, blev ovnlågen lukket, og lufttilførslen klaret via ventilerne i ovnen.

I anden forsøgsperiode, vinteren 2010, blev optændingen udført af en ekspert i brændeovnsoptænding. Her blev små pinde stablet som et tændstikhus i ca. 20 cm's højde, hvorefter en såkaldt tændpose blev lagt til rette i toppen og derpå antændt. I denne fase blev ovnlågen holdt en smule åben. Tændposen blev valgt, fordi den hurtigere opnår en højere temperatur. Straks når tændpose og pindebrænde havde varmet ovn og skorsten op, blev der tilført et antal større stykker tørt lagret brænde, svarende til i alt 2,5 kg. I det øjeblik det tilførte brænde var antændt, blev ovnen lukket, og kun luftspjæld holdt åbent. I et tilfælde, nemlig ved optænding af masseovnen i hus nr. 2, valgte man på anbefaling fra værten at tilføre brænde, i alt 8 kg, straks fra start og lade dette indgå i optændingen. Årsagen var, at ovnkammeret i masseovnen var en del større end normalt og dermed indrettet til denne form for optænding.

### 3.2.1 Partikelmålinger

Under den første serie af målinger, blev målingen af partikeludslip hver gang indledt med en rensning af luften i stuen, hvor brændeovnen var placeret. Til dette formål blev der opstillet to såkaldte HEPA-filtre. Disse var tilsluttet i ca. 30 minutter for derved at fjerne alle indendørs partikler. Herefter blev HEPA-filteret slukket, således infiltrationen af partikler fra udeluften igen kunne finde sted. Efter endnu et tidsrum, indstillede den indendørs partikelkoncentration sig på et stabilt niveau. Registrering af tidsforløbet for den løbende partikelkoncentration både indendørs og udendørs gav input til beregning af den egentlige afsætning af partikler indendørs. Først når der var opnået vished for en stabil partikelkoncentration i indeluften, blev brændeovnen tændt. Ovnene fik herefter lov til at virke i 3 timer.

Under den anden serie af målinger, vinteren efter, blev målingerne af partikeludslip ikke indledt med en luftrensning. Her valgte man i stedet at registrere baggrundskoncentrationen af partikler over en periode for på den måde at sikre, at udgangspunktet for måling af evt. udslip fra brændeovnen var retvisende. Derpå blev brændeovnen tændt, og i modsætning til den første serie af målinger, blev optændingen denne udført en kyndig på området. Som i første periode, blev ovnene holdt i gang i ca. 3 timer.

Koncentrationen af ultrafine partikler (UFP) blev overvåget ved hjælp af to kondens-partikeltællere, henholdsvis en TSI model P-Trak 8025 og TSI-model CPC 3007. Den ene blev placeret i stuen tæt på ovnen, mens den anden blev brugt til registrering af den udendørs partikelkoncentration.

P-Trak 8025-instrumentet registrerede løbende tid og partikelkoncentration i indeluften og kunne derved fremskaffe et datasæt med sammenhørende værdier for tid og partikelkoncentration. Instrumentets måleinterval var sat til registrering af partikler mellem 0,02 og 1,0  $\mu\text{m}$ . CPC 3007-instrumentet svarer i princippet til P-Trak 8025-instrumentet, dog med dataregistrering af partikler med en diameter på mellem 0,01 og 1  $\mu\text{m}$  (Matson et al., 2004).

For endelig at klarlægge behovet for ekstra lufttilførsel til ovnen, blev der foretaget sporgasmåling ( $\text{N}_2\text{O}$ ) før og efter optænding af brændeovnen. Dette skete kun i den anden serie af målinger. Disse sporgasmålinger blev foretaget i henhold til den såkaldte henfaldsmetode og blev udført ved hjælp af et instrument (INNOCA type1312) beregnet på foto-akustisk spektroskopi (PAS). Varigheden af disse luftskiftemålinger blev i hver bolig udført i ca. 20 minut-

ter. Til sammenligning blev det gennemsnitlige luftskifte i de enkelte huse efterfølgende målt over en 14 dages periode. Dette skete ved hjælp af passiv sporgasteknik, se ovenfor under luftskifte og ventilationstab, afsnit 2.2.4.

### 3.2.2 Kildestyrker og henfaldstider

En massebalance-model, der tidligere er anvendt til analyse af gasholdige partikelkoncentrationer blev anvendt til at beregne de løbende partikelkoncentrationer (Ekberg, 2007). Den grundlæggende antagelse i modellen er, at partiklerne er fuldstændig opblandet med luften i det rum, der måles, hvilket betyder, at koncentrationen af ultrafine partikler antages at være ens i hele rummet. Ifølge modellen kan koncentrationen af ultrafine partikler (UFP) i rummet herefter beregnes ved følgende formel (1):

$$c_{r(t)} = \frac{c_s \dot{V}}{\dot{V} + rV} + \frac{\dot{M}}{\dot{V} + rV} - \frac{\dot{V}}{\dot{V} + rV} \left[ c_s + \frac{\dot{M}}{\dot{V}} - \frac{\dot{V} + rV}{\dot{V}} c_{r(0)} \right] e^{-\left[ \frac{\dot{V}}{\dot{V} + rV} \right] t} \quad (1)$$

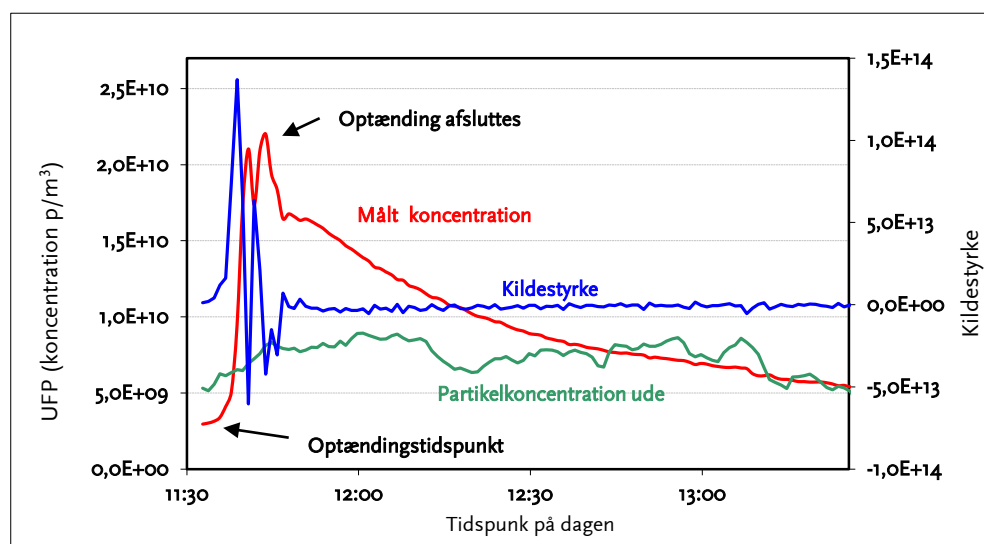
hvor  $\dot{V}$  = luftstrømmen ( $\text{m}^3/\text{h}$ ),  $\dot{M}$  = indblæsningskoncentrationen af UFP til rummet ( $\text{p}/\text{h}$ ),  $c_s$  = indblæsningskoncentrationen UFP ( $\text{p}/\text{m}^3$ ),  $c_r$  = indendørs-koncentrationen af UFP ( $\text{p}/\text{m}^3$ ),  $V$  = bygningsvolumen ( $\text{m}^3$ ) og  $r$  = henfaldstiden, dvs. den hastighed hvormed partiklerne fjernes fra rummet ( $1/\text{h}$ ).

Med modellen kan man beregne styrken af de indendørs partikelkilder dynamisk, vel at mærke hvis de andre variable er kendt. Tidsteppene (ca. 1 minut) blev bestemt af stikprøveintervallet. Luftstrømmen, indblæsningskoncentrationen, koncentrationen i indeluften og bygningsvolumenet er eksperimentelt bestemte. Henfaldsmålinger fra indendørs UFP-koncentrationer er bestemt ud fra regression og bliver brugt til at vurdere partikelhenfaldstiden  $T_{PD}$ . Ventilationens tidskonstant,  $T_{VENT}$  blev fastlagt ved en sporgas henfaldsmåling. En sammenligning af de to tidskonstanter gjorde det muligt at fastlægge den hastighed, hvormed partiklerne bliver fjernet  $r$ , (partikel-henfaldsprocent) i henhold til ligning (2).

$$e^{-t/T_{PD}} = e^{-t(1/T_{VENT} + r)} \quad (2)$$

I figur 10 vises et eksempel på målte partikelkoncentrationer sammenholdt med de beregnede koncentrationer af ultrafine partikler (UFP). Figuren refererer til målinger udført ved forsøgsvært 5. Værløse, 1. serie af målinger, se også tabel 16.





FIGUR 10. FIGUREN VISER ET EKSEMPEL PÅ UDVIKLINGEN I DEN MÅLTE KONCENTRATION AF ULTRAFINE PARTIKLER (UFP), DELS DEN BEREGNEDE KILDESTYRKE, DELS DEN LØBENDE PARTIKELKONCENTRATION UDE. EKSEMPELET ER HENTET FRA MÅLINGER UDFØRT I BYGNING NR. 5, VÆRLØSE.

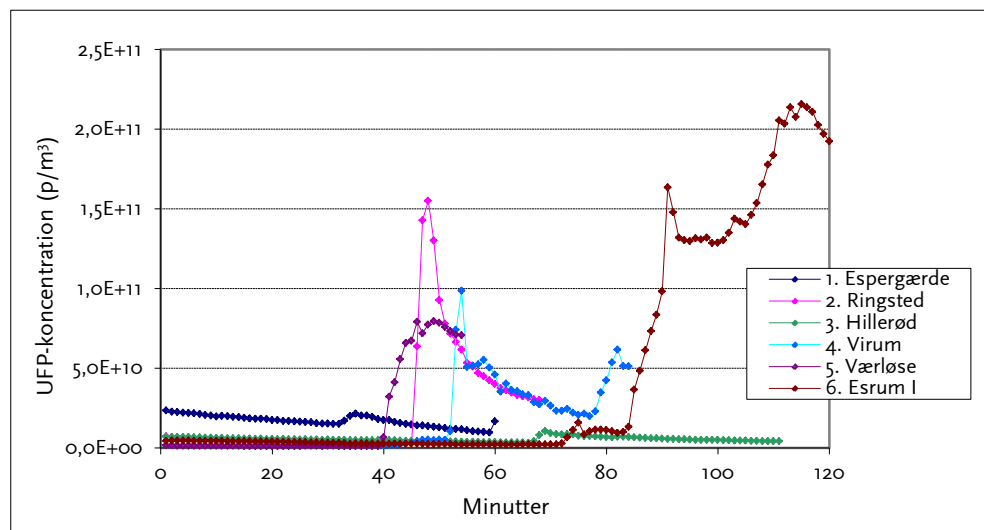
De maksimale kildestyrker og de hastigheder, hvormed partikler igen diffunderer ud af rummet, er for alle brændeovne i både 1. og 2. måleserie beregnet ud fra målte størrelser. (Se tabel 16). Resultaterne viser, at koncentration og kildestyrke nåede forskellige højder hos de forskellige værter, men også forskelle mellem samme ovn i de to perioder.

TABEL 16. MAKSIMALE PARTIKELKONCENTRATIONER (MÅLT) OG MAKSIMALE KILDESTYRKER (BEREGNET) I DE TO SERIER AF MÅLINGER UDFØRT I HENHOLDSVIS MÅLEPERIODE 1 OG 2. DEN FULDE MÅLESERIE 1 FOR FORSØGSVÆRT 5, VÆRLØSE, ER VIST I FIGUR 10.

Forsøgsværter	$C_{\max}$ ( $p/m^3$ )		$\dot{M}_{\max}$ ( $p/h$ )	
	1. serie	2. serie	1. serie	2. serie
1. Espergærde	$0,03 \cdot 10^{11}$	$0,24 \cdot 10^{11}$	-	$0,20 \cdot 10^{15}$
2. Ringsted	-	$1,55 \cdot 10^{11}$	-	$1,96 \cdot 10^{15}$
3. Hillerød	$0,05 \cdot 10^{11}$	$0,11 \cdot 10^{11}$	0,00	$9,19 \cdot 10^7$
4. Virum	-	$0,99 \cdot 10^{11}$	-	$1,60 \cdot 10^{15}$
<b>5. Værløse</b>	<b><math>0,22 \cdot 10^{11}</math></b>	$0,80 \cdot 10^{11}$	<b><math>0,14 \cdot 10^{15}</math></b>	$0,44 \cdot 10^{15}$
6. Esrum I	$2,23 \cdot 10^{11}$	$2,16 \cdot 10^{11}$	$2,14 \cdot 10^{15}$	$1,46 \cdot 10^{15}$
7. Esrum II	$2,36 \cdot 10^{11}$	-	$0,03 \cdot 10^{15}$	-

Det skal bemærkes, at de registrerede måledata for nogle af parametrene i Bygning 2 gik tabt, hvorfor den maksimale kildestyrke og partikelfjernelsehastighed for ikke kunne beregnes.

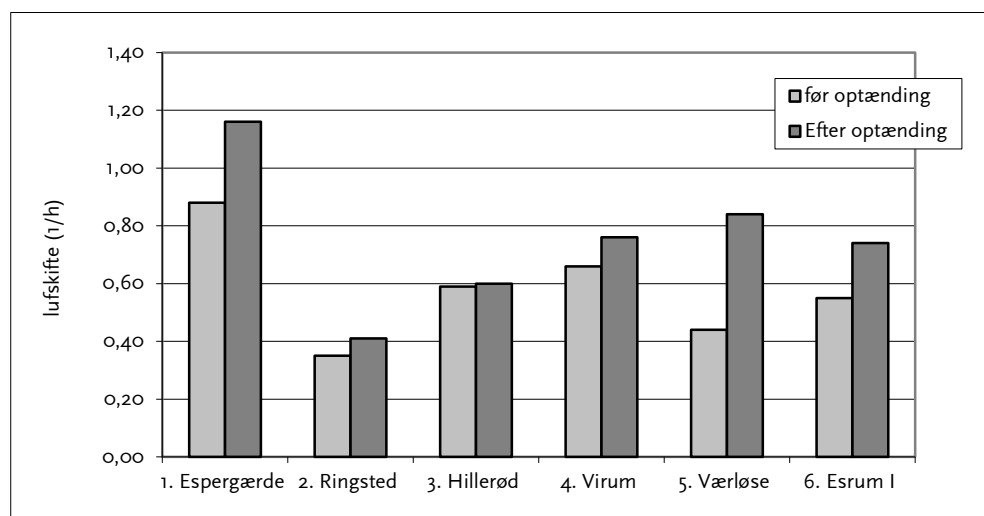
Selve forløbet af partikeludviklingen i de enkelte huse er vist figur 11. Her ses hvor i udviklingsforløbet de store udslip fandt sted i den 2. serie af målinger, dvs. i vinteren 2010. Af diagrammet ses, hvor høje partikelkoncentrationer, der indfandt sig. Her som af tabel 16 fremgår, at der i fire tilfælde indtraf partikeludslip ( $C_{\max}$ ) på over  $0,5 \cdot 10^{10}$ , dvs. 5 mia. partikler pr. kubikmeter. Det højeste niveau i serie 2 blev nået i hus nr. 6 med  $2,16 \cdot 10^{11}$  (216 mia.) partikler pr. kubikmeter. Dette tal blev kun overgået af målinger udført i 1. serie af målinger, henholdsvis i hus nr. 6 og 7 i Esrum. Her nåede den maksimale partikelkoncentration op på 223 mia. og 236 mia. partikler pr. kubikmeter luft.



FIGUR 11. FIGUREN VISER UDVIKLINGSFORLØBET FOR PARTIKELMISSIONEN FRA DE RESPEKTIVE OVNE MÅLT I 2. MÅLESERIE. DE STOR PARTIKELUDSLIP OPSTÅR TYPISK VED OPTÆNDING OG PÅFYLDNING AF OVNE, DVS. NÅR OVNLÅGEN HOLDES ÅBEN.

Måleresultaterne viser, at de koncentrationer og kildestyrker, der blev registreret lå på forskellige niveauer. Måleresultaterne fra hus nr.1 blev uheldigvis tabt i måleserie 1. Hus nr. 2 og 4 indgik ikke i måleserie 1.

For at forstå, betydningen af lufttilførslen fra rummet til drift af ovnene, blev der anvendt sporgasmetode til bestemmelse af det aktuelle luftskiftet (henfaldsmetode) før og efter optændingsøjeblikket. Som det fremgår af figur 12, blev der i udgangspunktet, dvs. før optændingstidspunktet målt det største luftskifte i hus nr. 1 og det mindste i hus nr. 2, henholdsvis Espergærde og Ringsted. Dette kan forklares ved, at hus nr. 1, det ældste i forsøgsrækken (1977), har den mest utætte klimaskærm, og hus nr. 2, et af de nyeste huse (2006), har en af de tætteste klimaskærme. Hus nr. 1 var da også det hus, som reagerede ved det største ekstra luftskifte ved optænding. Her ændrede luftskiftet sig under optændingen med hele 32 %, hvor ændringen i luftskiftet for i hus nr. 2 kun ændrede sig med 17 %, dvs. nær det halve. Både i hus 1 og 2 er der tale om masseovne.



FIGUR 12. LUFTSKIFTET FØR OG EFTER OPTÆNDING AF OVN. I ALLE TILFÆLDE BORTSET HAR HUS NR. 3 SER MAN, AT OPTÆNDING SOM FORVENTET FØRER TIL ET ØGET LUFTSKIFTE.

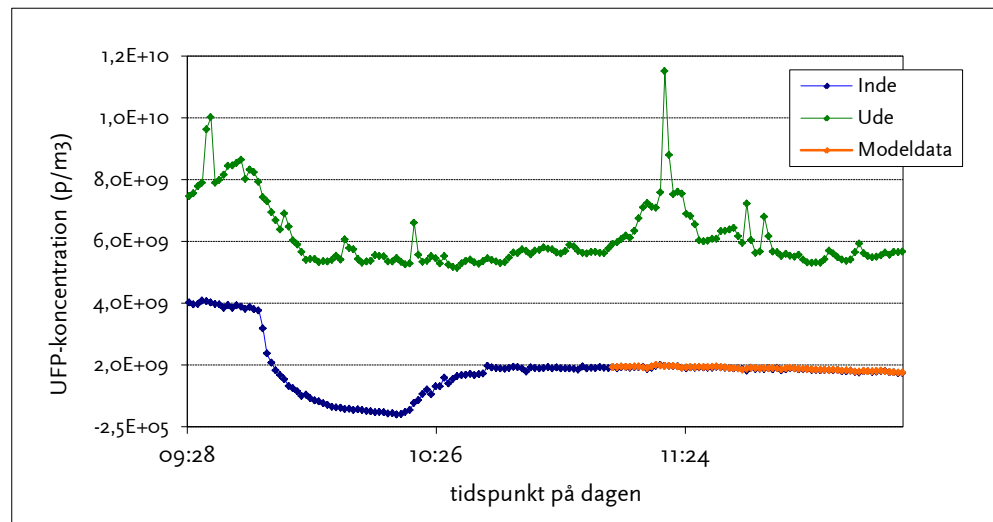
De største ændringer i luftskiftet, som fandt sted ved optænding indtraf i hus nr. 5 og 6, begge nyopførte huse i Espergårde og dermed med relativt tætte klimaskærme. Husene har henholdsvis mekanisk ventilation og mekanisk aftræk. Husene viste sig ved optændingsforsøg at være så tætte, at det var nødvendigt at åbne en terrassedør, for at skabe det nødvendige skorstenstræk og dermed få ovnene til at brænde. Dette i sig selv kan forklare det stærkt øgede luftskifte, der fandt sted under optændingen, henholdsvis stigninger på 91 og 35 %. For hus nr. 3, dvs. i huset i Hillerød, hvor der ikke blev registreret nogen nævneværdig ændring i luftskiftet, kan dette på sin side forklares ved husets alder (2001), men også ved, at stue og 1. sal i dette hus er forbundet.

For nærmere at forstå betydningen af værternes måde at tænde op på og fyre i brændeovnen på, blev disse i 1. målerunde, vinteren 2009, anmodet om selv at tænde op i brændeovnen. Omvendt blev det overladt til en optændingssekspert at løse optændingsopgave, da forsøgene blev gentaget i 2. målerunde, vinteren 2010. Forventningen var, at partikel-udledningen da ville blive væsentligt reduceret. Men resultaterne fra målingerne i 2. måleperiode viste, at selv den omstændighed, at brændeovnene blev tændt af en kyndig, ikke betød, at selv store udslip af ultrafine partikler kunne undgås.

Ser vi nærmere på de konkrete tilfælde, erfarede vi med hus nr. 1, at koncentrationen af ultrafine partikler først steg til sit maksimale niveau (24 mia. partikler/m<sup>3</sup>), da ovnlågen blev åbnet for påfyldning af mere brænde. Kildestyrken var da kortvarigt oppe på  $0,2 \cdot 10^{15}$  partikler pr. time, der sammenlignet med de andre udslip i forsøgsrækken, hører dette til de mindre.

I hus 2 nåede den maksimale koncentration af ultrafine partikler op på 155 mia. partikler/m<sup>3</sup>. Se violet kurve i figur 11. Kildestyrken blev da udregnet til  $1,96 \cdot 10^{15}$  partikler pr. time. Grunden til stigningen i partikelemissionen i dette tilfælde tilskrives berøring af luftskruen. Tidspunktet for partikelproduktionen tyder med andre ord på, at der enten slap partikler ud gennem luftskruen, eller mere sandsynligt, at partiklerne blev skabt ved afbrænding af tekstilmateriale på den klud, der blev brugt til at regulere luftskruen. Det skal til den denne måling bemærkes, at ovnen, i dette tilfælde er en masseovn, kun blev påfyldt brænde i begyndelsen. Der var derfor ikke i måleperioden behov for at åbne lågen for ekstra ilægning af brænde.

I hus nr. 3 steg koncentrationen af ultrafine partikler i anden måleserie til 11 mia. partikler/m<sup>3</sup>. Denne stigning blev skabt ved en kortvarig tilførsel af partikler med en kildestyrke på  $9,19 \cdot 10^7$  partikler pr. time. Årsagen til den kortvarige stigning i ultrafine partikler var dog næppe i dette tilfælde forårsaget af udslip fra brændkammeret, men forårsaget af skjulte partikler bag ovnens konvektionskappe, idet stigningen netop indtraf, da en af ovnens sideplader blev afmonteret for at demonstrere dens konstruktion. Det må med andre ord formodes, at det var brændt snavs og støv på indersiden af sidepladerne, der ved den lejlighed blev hvirvlet ud i luften. I første måleserie, blev der ikke konstateret nogen stigning i partikeludslippet omkring denne ovn. Faktisk lå partikelkoncentrationen under hele måleforløbet under  $0,02 \cdot 10^{11}$  partikler/m<sup>3</sup>, og i hele forløbet under partikelkoncentrationen i udeluften. Se figur 13.



FIGUR 13. PARTIKELMÅLING UDFØRT I HUS NR. 3, HILLERØD, 1. MÅLESERIE. HER BLEV DER IKKE MÅLT STIGNINGER I PARTIKELINDHOLDET I INDELUFTEEN, HVERKEN UNDER OPTÆNDING ELLER PÅFYLDNING AF EKSTRA BRÆNDE.

I husene 4, 5 og 6 steg den maksimale koncentration af ultrafine partikler i rummet til henholdsvis 99, 80 og 216 mia. partikler/m<sup>3</sup>. Kildestyrkerne blev efterfølgende beregnet til at ligge på henholdsvis 1,60, 0,44 og 1,46 · 10<sup>15</sup> partikler pr. time. Se oversigt tabel 16. Årsagen til stigningerne i koncentrationen af ultrafine partikler tilskrives i alle disse tilfælde åbning af ovlågen i tidsrummet for påfyldning af nyt brænde. For hus 4 og 6 indtraf der to på hinanden følgende stigninger i koncentrationen. Se dobbelte toppe i grafbilledet i figur 11. For hus 4 indtraf den første ”peak” tilfældigt. Mistanken er her, at en kraftig kasevind forårsagede denne stigning, enten ved at skorstenstrækket aftog så meget, at ventilationsanlægget i huset kunne konkurrere med dette og derved trække partikler ind i stuen, eller ved at ventilationsanlæggets indtag direkte modtog skorstensrøg uden for huset og sugede partikler ind i huset. Tilsvarende opstod der en tidlig ”peak” under målingen i hus nr. 6. Her er mistanken tilsvarende at ventilationsanlægget i kort tidsrum var i stand til at konkurrere med skorstenstrækket og derved trække partikler ind i stuen. Til målingen i hus 5, skal det bemærkes, at den stigning i partikeludledningen, der fandt sted indtraf samtidig med, at yerdøren til huset blev åbnet, idet en person i husstanden kom hjem. I dette tilfælde blæste det kraftigt, og mistanken er i dette tilfælde er, at partikler kastet ned fra skorstenspipen blev trukket med ind i stuen.

### 3.3 Sammenfatning

Ideelt set forbrænder og omsætter en brændeovn træ til varme uden at skabe røg og partikler. Fuldstændig forbrænding af træ udleder kun kuldioxid og vanddamp. Men der er mange faktorer, så som optændingsteknik, lav forbrændingstemperatur, utilstrækkelig forsyning med ilt, kold skorsten og utæt låge, der kan bidrage til, at en brændeovn ikke kan leve op til ideel forbrænding. Hertil kommer bygningens lufttæthed og i forlængelse heraf et indendørs undertryk som følge af udsug fra ventilationssystemer, der alt sammen kan bidrage til, at partikler slipper ud af forbrændingskammeret og ud i det omgivende rum.

Der knytter sig stor opmærksomhed til den ydre luftforurening fra brændeovne, især i områder med mange brændeovne. Mindre opmærksomhed er der knyttet til den indre luftforurening, dvs. den luftforurening, som brændeovne forvolder i de opholdsrum, de befinder sig i. Godt nok er der ikke tale om en

konstant luftforurening, men om en luftforurening, der kommer og går. Ikke desto mindre er der tale om en forurening i lukkede rum, hvor der opholder sig mennesker.

Ovnlåger og luftsruer, der åbnes og lukkes, døre, der åbnes, pludselige vindkast, ventilationsanlæg og emhætter, der tænder og slukker, friskluftventiler, der drejes på osv., er alt sammen forhold, der kan give anledning pludseligt forhøjede partikkelkoncentrationer. På den måde kan selv den reneste og mest energieffektive ovn ikke se sig fri for at generere partikler til rummet, den befinder sig i. Den ekstra følsomhed kendetegner især nye og tætte huse med mekaniske ventilationsanlæg. Samtidig gælder, at små brændeovne med lille effekt øger følsomheden i forhold til store masseovne med stor forbrændings-effekt, simpelthen fordi, den kraftige forbrænding, der her finder sted over kortere tid skaber et større skorstenstræk.

De data, som ligger til grund for analysen er blevet indhentet gennem en flere timer lang overvågning af koncentrationen af såkaldte ultrafine partikler i nye huse. Resultaterne viser, at de maksimale partikkelkoncentrationer, der blev målt, lå på mellem  $0,03 \cdot 10^{11}$  p/m<sup>3</sup> (tæt på baggrundsniveauet) i hus 1 og  $2,2-2,4 \cdot 10^{11}$  p/m<sup>3</sup> i hus nr. 6 og 7, se tabel 16, første måleserie. Anderledes udtrykt er der en faktor 80 mellem den koncentration svarende til 3 mia. partikler pr. kubikmeter, der blev målt i det ældre hus med masseovn og de 240 mia. partikler, der blev målt i det nye hus med moderne brændeovn.

Den højeste koncentration af partikler (hus nr. 7) blev målt, under optænding af ny brændeovn installeret i helt nyopført hus. Mulige forklaringer på det høje niveau for partikeludslip kan som sagt være undertryk inden i forhold til ude skabt af suget i det mekaniske ventilationssystem. At det forholder sig sådan underbygges af, at der her var tale om et nyt hus med tæt klimaskærm. Vanskelighederne med optændingen her kan endvidere hænge sammen med, at det pågældende hus er udrustet med en meget høj skorsten. En høj skorsten er en fordel for tilførsel af luft og dermed en god forbrænding. I optændingsøjeblikket kan en høj skorsten i kombination med et effektivt ventilationssystem imidlertid gøre det ekstra kompliceret at foretage en optænding, da ventilationssystemet på forhånd kan have etableret en modsat rettet luftstrøm gennem skorstenen, og derved ophævet det naturlige skorstenstræk.

De laveste koncentrationer af partikler blev målt i hus nr. 3. Her blev der i ingen af måleserierne målt nævneværdigt forhøjede koncentrationer af ultrafine partikler. Under første måling kunne der ikke registreres nogen stigning, i anden måling blot en lille stigning, da man tog sidebeklædningen af ovnen for at demonstrere ovnens konvektionsprincip. Den lille stigning tilskrives partikler, der blev frigjort bag kappen snarere end udslip fra ovnens brændkammer. I øvrigt skal det til hus 3 bemærkes, at ovnen i dette hus som det eneste optændingsforsøg i første måleserie blev udført af den optændingsekspert, der fik ansvaret for optændingen i anden måleserie.



## 4 anbefalinger

SBI-forskere har i to måleserier gennemført i to på hinanden følgende vintre set på, hvordan en række brændeovne fungerer i praksis, særligt med hensyn til energieffektivitet og partikelafgivelse til indeklimaet. Med fokus på energieffektivitet har der især været set på, hvordan moderne brændeovne afgiver varme til huset og overordnet set udnytter den anvendte brænderessource. Med fokus på partikelafgivelse har der særligt været set på afgivelse af ultrafinc partikler til indemiljøet under drift af brændeovne, herunder optænding og påfyldning af nyt brænde. Undersøgelserne er udført på nye ovne installeret i nye huse dvs. huse, der med en enkelt undtagelse er opført i perioden 2001-2008. Undtagelsen er et renoveret hus fra 1977. To af ovnene er masseovne, bygget på stedet. Den ene opsat i et hus fra 1977, den anden i et hus fra 2006.

Det er almindelig kendt, at brændeovne kan yde et betragteligt bidrag til opvarmningen i ældre huse. Endvidere er det almindeligt kendt at brændeovne, selv for ældre modeller er nemme at betjene og sjældent giver røg i stuen, når de tændes op. Anderledes med nye huse. De er velisolerede, hvorfor opgaven for en brændeovn bliver langt mindre. Samtidig har vi med tætte huse at gøre, hvorfor det ikke er givet, at der tilføres luft nok i optændingsøjeblikket. Endelig gælder, at nye huse typisk er udrustet med mekanisk udsugning eller mekanisk ventilationsanlæg, der typisk skaber et konstant undertryk, hvilket yderligere kan vanskeliggøre optændingen af brændeovnen.

Grundlæggende gælder, at vi i Danmark har at en bestand af brændeovne, som hele tiden fornyes, og som løbende installeres i både helårshuse og sommerhuse. Disse brændeovne udnytter til sammen en reserve af brænde, der ellers ikke ville være blevet udnyttet og som samtidig regnes for CO<sub>2</sub>-neutral, og dermed ikke er en belastning for det globale klima. Populært sagt, sikrer landets bestand af brændeovne, at det overskud af ved, der løbende produceres i landets parcelhushaver, på fælles friarealer og ved udtynding i parker, hegn og skove bliver udnyttet. I dag bidrager denne reserve til 18 % af opvarmningsbehovet i landets enfamiliehuse, hvilket dækker 60 % af den mængde vedvarende energi, der omsættes i denne kategori af bygninger.

Den procentdel, der kommer fra brænde, vil antagelig vokse fremover i takt med, at ældre huse efterisoleres, samtidig med at nye huse fortsat vil få installeret brændeovn. Man kan stille sig det spørgsmål, om det overhovedet er meningsfyldt at installere brændeovne i nye huse. Imidlertid lyder svaret fra fabrikanter og forhandlere af brændeovne, at ejere af både nye og gamle huse ønsker sig en brændeovn, både for hyggens skyld og for at opfylde en del af det opvarmningsbehov, der trods alt er. Men det sidste er ikke helt nemt, som også undersøgelsen viser. Brug af brændeovn i et hus med et lille opvarmningsbehov giver let anledning til overophedning, lige som brug af brændeovn i et hus med moderne ventilationsanlæg let giver anledning til vanskeligheder med optændingen og med at få ovnen til at brænde optimalt. Samtidig øges som risikoen for uheldige partikeludslip til nærmeste opholdsrum. Alt sammen er det emner, undersøgelsen har taget op.

På denne baggrund udmøntes resultaterne af brændeovnsundersøgelserne i dette kapitel i en række anbefalinger, henvendt til henholdsvis fabrikanter af

brændeovne, forhandlere af brændeovne og myndigheder med ansvar for miljø og certificering omkring brændeovne.

#### 4.1 Producenter

Producenter af brændeovne har i lang tid været opmærksomme på, at brændeovne kan gøres mere effektive og mere miljøvenlige, lige som man har været opmærksom på behovet for at udvikle mindre brændeovne med lavere ydelser især til nye huse. Alligevel er der grund til at pege på en række forhold, som brændeovnsfabrikanterne skal være opmærksomme på ved den fortsatte udvikling af brændeovne.

##### 4.1.1 Moderne brændeovne bør afgive mindre varme over længere tid

Med udbredelsen af konvektionsprincippet er moderne brændeovne i dag, modsat det klassiske strålingsprincip, i stand til at fordele den varme, de producerer lagt bedre, hvorved ovnene er blevet i stand til at afsætte mere varme til omgivelserne.

Men i moderne huse, hvor netto-opvarmningsbehovet på årsbasis er nået ned under 50 kWh pr. m<sup>2</sup>, vil selv en lille ovn med en effekt på 3 kW let kunne klare opvarmningen, også i kolde perioder. Sagt anderledes skal et moderne hus på 150 m<sup>2</sup> opført efter det nugældende bygningsreglement blot have tilført 4-5 kW pr. time ved en forskel mellem ude- og indetemperaturen på ca. 20° C.

Tabel 17 viser, hvor mange kW i timen, der maksimalt kræves tilført opholdsrummene (70 m<sup>2</sup>) på et enfamiliehus opført i henhold til de sidste tre gældende bygningsreglementer, samt det antal kW, der maksimalt kræves tilført i henhold til et kommende nyt bygningsreglement (BR2015). Der er regnet på behovet i fem kuldesituationer, hvor forskellen mellem ude- og indetemperaturen stiger i spring på 5 °C. Det faktiske behov vil i reglen være mindre afhængig af andre varmekilder, så som tilstedeværelsen af personer, antal tændte apparater osv. Endvidere vil behovet falde i takt med, at rummet, som ovnen kan afgive varmen til, bliver mindre - omvendt i takt med at det bliver større. En halvering af rummets volumen vil således reducere behovet til det halve eller mindre. Det skitserede behov skal ses i lyset af, at en moderne brændeovn yder mellem 3 og 8 kW, og at moderne ovne kan ”trække” mellem 4-6 kWh ud at 1 kg tørt brænde. Til forudsætningerne hører også, at 2-3 personer, lys og et tændt fjernsyn og andre el-apparater yder deres bidrag til opvarmningen – til sammen ½ kW.

TABEL 17. TABELLEN VISER DEN MÆNGDE VARME, DER MAKSIMALT SKAL TILFØRES ET KØKKEN-ALRUM ELLER EN STUE PÅ 70 M<sup>2</sup> I HUSE OPFØRT INDEN FOR RAMMERNE AF FORSKELLIGE BYGNINGSREGLEMENTER, INKLUSIV DET KOMMENDE BR 2015. FEM KULDESITUATIONER ER VIST.

Kuldesituationer:	BR 1995 kW	BR 2006 kW	BR 2010 kW	BR 2015 kW
10 °C mellem ude og inde	1,6	1,4	1,2	1,1
15 °C mellem ude og inde	2,4	2,1	1,8	1,6
20 °C mellem ude og inde	3,2	2,8	2,4	2,1
25 °C mellem ude og inde	4,0	3,6	3,0	2,5
30 °C mellem ude og inde	4,7	4,3	3,7	3,2



Tabellen illustrerer den hårfine balance, der er mellem på den ene side, at have en brændeovn, der leverer varme, hygge og komfort og på den anden side en ovn, der fører til ubehagelig overtemperatur. Denne grænse er især hårfin, når vi ser på moderne huse, for ikke at nævne den slags huse, der forventes opført fra 2015 og frem. Skal denne grænse flyttes, så flere brændeovne kan få deres berettigelse ved mindre temperaturdifferens mellem ude og inde i huse, der er godt isoleret, skal moderne brændeovne skaleres ned, så de nominelt yder så lidt som 1,5 til 2 kW. Om dette kan lade sig gøre, uden at der gives køb på de høje virkningsgrader, der er opnået ved udviklingen af moderne brændeovne, er et åbent spørgsmål. Men givet er det, at de høje virkningsgrader er opnået ved højere temperatur i brændkammeret samt sekundær tilførsel af luft. Skal disse landvindinger fastholdes i endnu mindre ovne, kan det kræve bedre isolering af brændkammeret og måske aktiv tilførsel af luft.

Alternativt skal ovnene sættes i stand til at afgive den akkumulerede varme over længere tid. Målingerne omkring en masseovn opstillet i nyt hus (Ringsted, 2006), viste, at der kan indfyres endog en stor mængde brænde, uden at det giver anledning til forhøjet stuetemperatur. Her er der tale om en stenovn, hvor den energi, der under afbrændingen akkumuleres i stenmassen, afgives over 12-24 timer. Der findes allerede i dag brændeovnsmodeller, med indbygget stenmateriale, stenkappe osv. Denne løsning kunne udvikles yderligere, således at der opstod hybrider mellem støbejerns- og stenovne. Brug af fase-skiftende materialer kan, når de rigtige materialer er udviklet, vise sig at give tilsvarende langsom varmeafgivelse og dermed hindre overophedning.

En klassisk løsning er tilkobling af vandreservoir. Fra gamle brændeovne er princippet med en vandbeholder kendt, det være sig indbygget i selve ovnen eller via rørføring til en højere liggende beholder, beregnet på fremstilling af varmt brugsvand, rumvarme eller begge dele. Om denne løsning kan gennemgå en renæssance er uvist, men en moderne udgave af denne løsning kunne bestå i at koble brændeovnen til husets gulvvarmeanlæg.

De fleste nye huse er udrustet med gulvvarme. Men som forsøgsværter med gulvvarme og brændeovn har bemærket, opstår der let det problem, at gulvvarmeanlægget reagerer for ”langsomt”. Anlægget afbrydes ikke tids nok, hvilket betyder, at gulvvarmen sammen brændeovnen let giver anledning til overophedning. Og hvad mere er, så betyder gulvvarmeanlæggets træghed, at rummet efterfølgende afkøles unødigt, da gulvvarmen er langt tid om at komme op på den ønskede effekt, efter at være slukket.

Gulvvarme repræsenterer i sig selv en stor masse med en stor varmekapacitet, og kan som sådan sammenlignes med en stor stenovn. Så det spørgsmål, som presser sig på for nye huse, er naturligvis, om det umage par gulvvarme og brændeovn kan bringes til at arbejde sammen. Det kunne ske ved, at gulvvarmen i god tid, inden brændeovne blev tændt, blev slået fra manuelt. En mere avanceret løsning kunne bestå i, at brændeovnen leverede varme til husets gulvvarmesystem, og dermed fik et varmelager tilknyttet. Fordelen ved en sådan løsning kunne være, at en større dele af huset kunne forsynes med brændeovnsvarme, således at andre opvarmningsformer kunne skaleres ned eller helt undværes. En mellemløsning kunne bestå, i at brændeovnen blev bragt til at fungere i samspil med et flis- eller pillefyr, for på den måde at tilvejebringe en løsning, hvor der konsekvent blev brugt biobrændsel.

#### 4.1.2 Mere intelligent samspil mellem brændeovn og hus savnes

Spørgsmålet om indbygning af automatik i brændeovne bør overvejes. For det først ville en automatik, der sikrede, at skorstensspjældet stod åbent ved brug, og sikrede, at det var hermetisk lukket ved kold ovn, utvivlsomt føre til en langt mere effektiv udnyttelse af brænderessourcen. Dette hænger sammen med, at mange brændeovne forlades, mens der fortsat er gløder tilbage, hvilket fører til at ovnspjæld, skorstensspjæld tit holdes i åben tilstand i unødigt lang tid. Konsekvensen er, at ovnen, efter at den er gået ud og ikke længere leverer varme til rummet, fortsat trækker varm luft ud af rummet i flere timer eller døgn til ovnen igen bliver taget i brug. Der er forbud mod hermetisk lukkede spjæld, men kan en automatik, som det kendes for gaskomfurer, lukke ovnspjæld eller skorstensspjæld eller begge dele via en temperaturredifferens eller en CO<sub>2</sub>-føler, kunne problemet med varmespild løses ad denne vej.

Der bør også overvejes at knytte en automatik til skift mellem stråle- og konvektionsvarme. Strålevarme er mere behagelig og kan ved kortvarig brug eller i en startindstilling være en fordel, således at området nærmest ovnen bliver opvarmet først. En sådan automatik ville i givet fald være enkel at indføre, idet der blot skal sikre, at der blokeres for luftbevægelsen mellem kappe og brændkammer. Automatikken kunne udbygges, så den som en anden opgave kunne sikre til- og fratilkobling af varmeoverførsel til varmelager (se ovenfor). Som en tredje opgave kunne en automatik sørge for tilkobling af automatisk blæseanordning for tilførsel af ekstra luft. Dette kunne være løsningen, der gjorde det muligt at opnå høje forbrændingsgrader i små brændkammer for ovne med lille nominel effekt. Automatikken kunne styres af CO<sub>2</sub>-indholdet i skorstensaftrækket, eller tilsvarende. Endelig, når det gælder samspillet med gulvvarme, bør det overvejes, om ikke en automatik kunne sikre tidlig fra- og tilkobling af gulvvarmeanlæg i forbindelse med aktivering af brændeovn.

En mere avanceret automatik kunne sikre, at ovnes effekt kunne op- og nedgraderes på en mere intelligent måde end ved at forøge og formindske lufttilførslen. En sådan løsning ville kunne øge anvendelsen af brændeovne betragteligt, idet en given brændeovn så kunne benyttes over en større del af fyringssæsonen uden de uheldige konsekvenser, som overophedning og iltfattig forbrænding har. Videre ville en sådan automatik sikre, at en given brændeovn kunne benyttes i lavenergihuse med et lille varmebehov. Løsningen ville i givet fald skulle bestå i, at brændkammer og lufttilførsel blev reduceret, eller omvendt, at et underdimensioneret brændkammer fik tilført ekstra luft via en automatisk styret luftindtag, således at den nominelle effekt kunne øges eller formindskes i takt med et stigende eller faldende behov. En sådan automatik kunne indstilles manuelt eller være styret af en termostat koblet på elektriske følere i forskellig afstand til ovnen.

#### 4.1.3 Moderne brændeovne bør sikres mod afgivelse af partikler

Der er en kendt sag, at brændeovne kan afgive partikler til det omgivende miljø, og på den måde giver anledning til partikelforurening af de nære omgivelser. Således er det påvist, at udbredt brug af brændeovne i et boligkvarter kan belaste området med partikelforurening ud over de accepterede grænseværdier (Miljøministeriet, 2008). Nye målinger tyder dog på, at forureningen er mindre end tidligere antaget. Ifølge målinger udleder brændeovnene i gennemsnit 440 gram partikler pr. produceret GJ, hvilket er omkring halvdelen af, hvad man regnede med i 2005 (Olesen et al., 2010). De færre partikler tilskrives det forhold, at gamle ovne løbende udskiftes med nye med mindre partikeludslip, og at kampagner mv. har ført til, at ejere af brændeovne er blevet

bedre informeret om brug af det rette brændsel og brug af den rette optændingsteknik.

Men fortsat er spørgsmålet, om luftforureningen kan reduceres yderligere ved indførelse af skrappe krav om partikeludslip fra brændeovne og krav om brug af partikelfiltre? Se dog Miljøprojekt 1393 fra Miljøstyrelsen (Schleicher et al., 2011), hvor en række filterteknikker er testet, og hvor konklusionen er, at ingen af de kendte filterteknikker anvendt på ældre modeller af brændeovne, lever op til forventningerne, og slet ikke står mål med den effekt på reduktion af partikler, som nye, fx Svanemærkede brændeovne, kan præstere i forhold til gamle ovne.

Den aktuelle undersøgelse har påvist, at der ud over en forurening til det omgivende miljø også sker en forurening fra brændeovne direkte til det indendørs miljø. Undersøgelsen er ikke den første, der siger dette. Således viser målinger af sodkoncentrationer ude og inde, at sodforureningen stiger i de perioder, hvor der anvendes brændeovn. Ifølge Olesen et al. (2010 p.60ff) opstår forureningen især, når der tændes op, dvs. når ovnen endnu er kold. Undersøgelserne, der her refereres til, vedrører målinger af partikelforurening bestemt ved vejning af partikler mindre end  $2,5\mu\text{m}$ , også betegnet  $\text{PM}_{2,5}$ . Et korrelat hertil kan tilvejebringes ved såkaldt reduceret lysabsorption. Dette sker ved brug af et såkaldt PSAP-instrument. På den måde kan man måle eller beregne omfanget af sodpartikler i vægt- og volumen-enheder på store partikler, dvs. op til  $2,5\mu\text{m}$  i diameter.

Det, SBI-undersøgelsen imidlertid viser, er, at forekomsten af ultrafine partikler i indeluften, dvs. partikler op til  $0,1\mu\text{m}$  i diameter også kaldet  $\text{PM}_{0,1}$  kan være betragtelig. Teknikken, der blev anvendt er en anden, da man hverken kan se eller veje ultrafine partikler. De må nødvendigvis tælles. Dette er sket ved brug af en såkaldt kondens-partikeltæller. Målingerne har fundet sted under optænding og påfyldning af brænde, for at afdække hvornår og i hvilke situationer, der især sker udslip af partikler til indeluften.

Som resultaterne viser, kan der i flere situationer optræde endog store udslip af ultrafine partikler, i enkelte tilfælde med op til en faktor 100 set i forhold til baggrundsbelastningen. Målingerne viste, at partikeludslip kan finde sted i flere situationer fra det tidspunkt, hvor brændeovnen bliver tændt til det tidspunkt, hvor den igen er slukket. Optændingssituationen er kritisk, og det samme er situationen ved genpåfyldning med brænde. Særlig kritisk kan situationen være ved optænding og påfyldning i nye huse med mekanisk ventilation eller blot mekanisk aftræk. Omvendt viste målingerne, at det rent faktisk kan lade sig gøre at bruge en brændeovn, uden at der slipper partikler ud i stuen. Det lod sig endda gøre i et hus med mekanisk ventilation. Men tilsyneladende lod dette sig kun gøre takket være kyndig optænding.

Dette peger på, at korrekt håndtering af en brændeovn er overordentlig vigtig. Og når dette er sagt, at korrekt håndtering formodentlig afhænger særdeles meget af, hvordan tingene er indrettet på stedet og i særdeleshed, hvordan brændeovn og hus spiller sammen.

Derfor anbefales det, at nye brændeovne ved laboratorietest undersøges ved forskellige tryk- og luftskifteforhold, jf. den udvikling som nye huse har gennemlevet afhængig af hvilke energikrav i hvilke bygningsreglementer, husets tekniske specifikationer refererer til. Det kan videre betyde, at brændeovne, der skal kunne anvendes i nye huse, skal være anderledes indrettet end ovne

fremstillet til brug i ældre. Om en løsning på partikkelproblemet kunne være direkte luftindtag gennem en udeluftkanal, støtte fra trykfølsom ventilator med spjæld i skorstenen, særligt indrettede ovnlåger og spjæld eller løsninger af en helt anden karakter, må undersøges nærmere. Om en løsningskal være direkte koblet på brændeovnen, eller der kan udvikles et tilbehør til brændeovne, som kan afværge partikelemission, må ligeledes undersøges nærmere.

Løsningerne kan være mange, men sikkert er det, at fortsat afsætning af brændeovne til nye huse kan blive vanskeliggjort, hvis ikke problemet med ultrafine partikler løses. En klar mærkning, der fortæller hvilke typer huse, som en bestemt type ovn i givet fald kan fungere i, kunne være en begyndelse.

I forlængelse af forslagene om indbygning af automatik, kan en anden løsning på problemet være, at brændeovnen selv ”sladrer” om partikeludslip. Da udslippet ikke mindst har noget med betjeningen at gøre, vil en sådan ”sladre-hank” oven i købet kunne få en opdragende effekt på brugerens måde at betjene ovnen på. Når teknologien er til stede, skal en sådan anordning naturligvis også kunne sladre om partikelomfanget i brændeovnens afgangsrør, eller måske bedre i skorstenspipen, således at der samtidig kan ske sikring mod unødigt partikeludslip til det omkring liggende miljø.

## **4.2 Forhandlere af brændeovne**

Forhandlere af brændeovne har længe været opmærksomme på, at en brændeovn skal være dimensioneret efter størrelsen af det rum, den skal opvarme. Mindre opmærksomhed har der været rettet mod det forhold, at nye huse har et langt mindre behov for tilførsel af varme end gamle huse. Et afgørende skift skete med det nye bygningsreglement i 2006, hvor varmebehovet blev skåret ned med 25 %. Det samme skete i 2010 og vil ske igen i 2015.

### **4.2.1 Brændeovne kan ikke blive små nok**

I nye huse, der opføres efter det nugældende bygningsreglement kan brændeovne næsten ikke blive små nok. Umiddelbar vil en ovn med en nominal ydelse på 2 kWh være tilstrækkelig. Se tabel 17, hvor det er vist, hvor meget et køkken-alrum eller en stue på 70 m<sup>2</sup> opført i forskellige bygningsreglementsperioder kan nøjes i vintervej med forskellig udetemperatur. På Miljøstyrelsens hjemmeside kan man via et program få beregnet den optimale ydelse. Dette program kan imidlertid ikke levere et bud på, hvor stor en brændeovn skal være i huset opført efter 2006. (Miljøstyrelsen, 2010). Men som tommelfingerregel kan man sige at det resultat, man kommer frem til i det nævnte program skal reduceres med 20 %, hvis ovnen skal installeres i et hus opført efter 2006 og med 30 %, i et hus opført efter 2010.

Med andre ord anbefales det, at bestemmelsen af en brændeovns størrelse (drifteffekt) ved salg til kunden ikke blot fastlægges ud fra størrelse af det rum, der skal opvarmes, men også ud fra opførelsestidspunktet for det hus, brændeovne skal placeres i. Således gælder, at energikravene i bygningsreglementet er blevet skærpet, hver gang der er kommet et nyt bygningsreglement til siden 1961, hvortil kommer, at gamle huse er særlig utætte og særlig dårligt isoleret.

### **4.2.2 Brændeovne og gulvvarme spiller dårligt sammen**

Et moderne hus med gulvvarme spiller en brændeovn ikke umiddelbart sammen med gulvvarme. Dette hænger sammen med, at et gulvvarmeanlæg, som

følge af den vandmasse og den beton, det typisk er indstøbt i, repræsenterer en så stor varmekapacitet, at det holder længe på varmen. Derfor er et gulvvarmeanlæg kun i stand til at køle langsomt ned, fra det øjeblik, hvor termostaten har fortalt anlægget, at der nu er varmt nok i stuen. Dette indebærer, at faren for overophedning i huse med gulvvarmeanlæg øges. Med andre ord er en radiatorløsning bedre i huse med brændeovn. Alternativt skal gulvvarmen være en let konstruktion med et lille vandindhold, placeret lige under gulvbeklægningen. Da et sådant anlæg i sig selv har en lille effekt vil det kun kunne fungere tilfredsstillende i nye velisolerede huse, hvor varmebehovet er lille.

Alternativt kan brugere af brændeovne i huse med gulvvarme vælge at slukke for gulvvarmen samtidig med eller gerne før brændeovnen tændes. En sådan løsning kunne være betjent af et ur eller en termostat, således at der blev slukket for gulvvarmen i samme øjeblik, brændeovnen blev tændt.

#### **4.2.3 Brændeovne er svære at tænde i huse med mekanisk ventilation**

Moderne huse har typisk mekanisk ventilation med varmegenvinding, enten ved at varmen fra udsugningen via en varmeveksler ledes over i varmeanlægget, evt. blot til varmtvandsbeholderen, eller ved et balanceret aftræk, hvor energien genbruges via krydsvarmeveksler. I sådanne huse vil der være et konstant undertryk i huset og dermed også stuen, hvor en eventuel brændeovn er opstillet. Dette kan let give problemer ved optænding af en brændeovn.

Derfor skal forbrugere med sådanne anlæg ved køb af brændeovn informeres om problemet og have det råd med på vejen, at det undertryk som et ventilationsanlæg yder, om nødvendigt skal udlignes eller nulstilles, når der tændes op i brændeovnen. I de undersøgelser, som SBI har foretaget, viste det sig, at flere brændeovne kun kunne tændes, hvis der blev åbnet for en dør eller en ventil til det fri i det rum, hvor ovnen befandt sig. Alene på den måde kunne eventuelle undertryk udlignes.

Det kan også hjælpe at slukke for ventilationsanlægget i optændingsøjeblikket, evt. til der var skabt det nødvendige træk i skorstenen. En løsning, som fandtes hos en forsøgsvært, var en trækkanal mellem brændeovn og det fri. På den måde skulle optændingen kunne ske uafhængigt af indtag fra luftventiler mod rummet. Praksis viste imidlertid, at det ikke gjorde nogen forskel, om der var en sådan luftkanal til det fri, sandsynligvis fordi det kræver tilførsel en del varm luft med indbygget opdrift at sætte gang i skorstenstrækket, hvad netip kold udeluft ikke formår. En løsning med trækkanal til det fri må derfor være at denne kombineres med en ventilator i skorstenen, evt. med automatisk spjæld og indkobling.

### **4.3 Myndigheder**

#### **4.3.1 Brændeovne afgiver også partikler til indeluften**

Det er meget svært at sikre sig mod, at brændeovne afgiver partikler til det rum, de er opstillet i. Det har altid været kendt, at brændeovne afgiver partikler via skorstenen til udeluften, men mindre kendt, at der også afgives partikler direkte til indeluften. Det sker under optænding og brændepåfyldning. Målinger viser, at det er svært helt at undgå, at fine og ultrafine partikler undslipper brændekammeret og strømmer ud i stuen.

Meget kan imidlertid undgås ved korrekt optænding og ved at brugeren har den fornødne viden om undertryk og luftbehov ved optænding og genpåfyld-

ning. Således viste SBI's målinger, at risikoen for udslip af fine og ultrafine partikler forstærkes, når der er undertryk i huset, typisk skabt ved brug af emhætte og ved eller fast indretning med mekaniske ventilation og varmegenvinding, som efterhånden er blevet obligatorisk for nye huse.

Det er svært at lovgive eller opstille standarder til afbødning af problemet, fordi problemet ikke isolerer sig til brændeovns konstruktion. Husets konstruktion og brugeren af brændeovnen kan lige så vel være årsag til uheldige partikeludslip. Til syvende og sidst handler det i nye huse om at etablere det bedste mulige samspil mellem brændeovn og bruger og mellem brændeovn og ventilationsanlæg.

Alligevel bør det overvejes, om brændeovne skal påføres et advarselmærke, der fortæller, at ovne, hvis de opstillet i bestemte huse eller anvendes forkert, kan give anledning til partikeludslip i stuen, evt. med en forklaring på, hvordan optænding og påfyldning skal ske afhængig af, om der er tale om gamle utætte huse eller moderne mere eller mindre tætte huse - med eller uden mekaniske ventilationsanlæg. Mest kritisk er situationen ved brug af brændeovne, når brændeovnen er opstillet i et moderne hus med tæt klimaskærm og mekanisk ventilation med balanceret aftræk. Dette hænger sammen med, at den type ventilationsanlæg nøje afstemmer indblæsning og udsugning med hinanden. En konsekvens af dette kan blive, at brændeovne tilsvarende må udrustes med eget luftindtag forbundet med eget skorstensafræk, evt. et mekanisk støttet skorstenstræk.

#### **4.3.2 Ventilationstab uden betydning ved energiberegning**

Moderne brændeovne bruger maksimalt 11 m<sup>3</sup> luft ved stuetemperatur til forbrænding af 1 kg brænde. Da en moderne brændeovn forbrænder 2-2,5 kg brænde i timen, vil en tændt brændeovn give anledning til et ekstra luftskifte på 22-28 m<sup>3</sup> pr. time. Dette skal sammenholdes med, at det lovpligtige luftskifte er en halv gang i timen, dvs. et omfang svarende til halvdelen af husets volumen en gang pr. time. For en hus på 175 m<sup>2</sup> svarer dette luftskifte til et volumen på 220 m<sup>3</sup> pr. time. På den baggrund øger en moderne brændeovn det samlede luftskifte med ca. 10 % i den tid, ovnen er tændt. I den aktuelle forsøgsrække, udgjorde det ekstra energitab som følge af det ekstra luftskifte ca. 2 % af den tilførte mængde energi, indeholdt i en anvendte mængde brænde.

Energitalet ved luftskifte indgår ved beregning af en bygningers energimæssige ydeevne. Dette sker i praksis ved brug af energiberegningsprogrammet Be10 (tidligere Be06). Programmet anvendes i forbindelse med projektering af nye huse for i den forbindelse at undersøge, om de holder sig inden for energirammen og dermed overholder kravet i bygningsreglementet. I programmet er det muligt at indregne et ekstra luftskifte som følge af installation af brændeovn. For nye brændeovne, der øger luftskiftet med ca. 10 % i brændeovnens brugsperiode, er energitabet som følge af dette luftskifte begrænset. Det bliver yderligere begrænset af, at brændeovne i nye huse kun kan anvendes en begrænset del opvarmningssæsonen. Samlet set indebærer dette, at det ekstra luftskifte ved brug af nye brændeovne i nye huse næppe vil løbe op i mere end et par promille af det samlede energitab. På den baggrund kan det fastslås, at det ikke nødvendigt at regne med energitab ved installation af nye brændeovne i nye huse. Ved nye brændeovne forstås her brændeovne, der er Svanemærkede eller tilsvarende har en virkningsgrad på minimum 73 %.

Ved sten- og masseovne, hvor virkningsgraden generelt er endnu højere, og forbrændingen sker over meget korte tidsrum, typisk af en halv til en hel times varighed, svarer optænding i stenovne, hvad luftskifte angår, til en traditionel udluftning. Konklusionen er, at moderne brændeovne samt masseovne med høje virkningsgrader ikke giver anledning til et energitab af en størrelsesorden, som gør det nødvendigt at medtage disse størrelser i energiberegningen.





# Kilder

Afshari, A., Matson, U. & Ekberg, L. E. (2005): Characterization of indoor sources of fine and ultrafine particles. A study conducted in a full-scale chamber. I: *Indoor Air*. 15, 2, s. 141-150.

Afshari, A, Jensen, OM, Bergsøe, NC, and Tales de Carvalho, RL. (2010): The impact of using different wood-burning stoves including ignition on indoor particle concentrations, 10th REHVA World Congress, Sustainable Energy Use in Buildings, Clima 2010, Antalya, Turkey.

Bergsøe, N. C. 1992. SBI-rapport 227 (1992): Passiv sporgasmetode til ventilationsundersøgelser. Beskrivelse og analyse af PFT-metoden. Statens Byggeforskningsinstitut, Hørsholm.

Boman, B. C., Forsberg, A. B., Järholm, B.G. (2003): Adverse health effects from ambient air pollution in relation to residential wood combustion in modern society. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health* 29, pp. 251 – 260.

Danielsen, P.H., Møller, P. og Loft, S. (2011a): Helbredseffekter af danske brænderøgspartikler belyst eksperimentelt, Miljøstyrelsen, Miljøprojekt Nr. 1357, 2011

Danielsen, P.H., Møller, P., Jensen, K.A., Sharma, A.K., Wallin, H., Bossi, R., Autrup, H., Mølhave, L., Ravanat, J.L., Briedé, J.J., Martinus de Kok, T., Loft, S. (2011b): Oxidative Stress, DNA Damage, and Inflammation Induced by Ambient Air and Wood Smoke Particulate Matter in Human A549 and THP-1 Cell Lines. *Chemical Research Toxicology*, 2011, 24, pp.168–184.

DS Certificering, DS-mærkede brændeovne. (<http://www.dscert.dk/da-DK/Ydelser/Produktcertificering/Sider/Braendeovne.aspx>)

Ekberg, L.E.: Indoor Climate Modelling. In: Per Erik Nilsson (ed.) (2007): *Achieving the desired indoor climate: Energy efficiency aspects of system design*. Pp. 91-112. Studentlitteratur, Lund, Sweden.

Energistyrelsen (2011): *Energistatistik 2010*. København.

Evald, A. (2006): *Brændeforbrug I Danmark*. Energistyrelsen, København.

EU (The European parliament and the council of the European Union) (2012): *DIRECTIVE 2010/31/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (EPDB)*, (Erstatter “Directive 2002/91/EC”).

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

Glasius, M., Konggaard, P., Stubkjær, J., Bossi, R., Hertel, O., Ketzl, M.,

Hedberg, E, Kristensson, A, Ohlsson, M, Johansson, C, Johansson, PA, Swietlicki, E, Vesely, V, Wideqvist, U Westerholm, R. (2002): Chemical and physical characterization of emissions from brick wood combustion in a wood stove, *Atmos. Environ.* 36, 4823-4837.

Helbro, L. (1996): Afprøvning af stenovne. Udført af Peder Andresen, Teknologisk Institut, med støtte fra Energistyrelsen.

Illerup, J.B, Henriksen, T.C., Lundhede, T., van Breugel C., Zøllner Jensen, N. (2007): Brændeovne og små kedler - partikelemissioner og reduktionstiltag. Miljøprojekt Nr. 1164, Miljøstyrelsen.

Keiding, L., Gunnarsen, L., Machon, N.R.M., Møller, R., et al. (2003): Environmental factors of everyday life in Denmark – with special focus on housing environment. Edited by Lis Keiding. (In Danish with summary in English). National institute of Public Health. Copenhagen.

Loft S., Raaschou-Nielsen O., Hertel O. og Palmgren F. (2003): Sundhedsmæssige effekter af partikulær luftforurening. miljø og sundhed supplement nr. 2: Helbredseffekter af luftforurening. ISMF (Indenrigs- og Sundhedsministeriets Miljø-medicinske Forskningscenter). s. 13-19.

Matson, U., Ekberg, L.E., Afshari, A. (2004): Measurement of ultrafine particles: A Comparison of two handheld condensation particle counters. *Journal of Aerosol Science and Technology*, 38:487-495.

Miljøministeriet (2008): Ren luft til alle - indsats over for luftforurening (Regeringens strategi over for luftforurening.

Miljøstyrelsen (2010): Program til dimensionering af brændeovne. [http://www2.mst.dk/WebApps/aspnetApps/\\_ex/Braendeovne/Default.aspx](http://www2.mst.dk/WebApps/aspnetApps/_ex/Braendeovne/Default.aspx),

Olesen, H.R., Wåhlin, P., og Illerup, J.B. (2010): Brændefyringsbidrag til luftforurening. Nogle resultater fra projektet WOODUSE. Faglig rapport fra DMU nr. 779.

Persson, M. (2001): Dimensionerande luftflöde. Metodik för bestämning av dimensionerande luftflöde vid projektering av anläggningar för luft, Svensk Byggtjänst.

SP Swedish National Testing and Research Institute: Emissions of small particles from Biomass Combustion. <http://www.sp.se/sv/units/energy/Documents/ETf/Emissionsofsmallparticlesfrombiomasscombustion.pdf>

Pope, C.A. III, Burnett, R.T., Thun M.J., Calle E.E., Krewski D. Ito K, Thurston G.D. (2002): Lung cancer, cardiopulmonary mortality and long-term exposure to fine particulate air pollution”, *JAMA*, 2002; 287: 1132:41.

Schleicher, O., Fuglsang, K., Wåhlin, P., Olesen, H.R., Nøjgaard, J.K. (2011): Test of technologies for flue gas cleaning and combustion improvement for existing residential wood burning appliances. Environmental Project No. 1393 2011. The Danish Environmental Protection Agency.

Wieser, U, Gaegauf, CK. (2005): Nanoparticle emissions of wood combustion processes, 1th World Conference and Exhibition on Biomass for Energy and Industry.

Wåhlin, P., Schleicher, O. & Palmgren, F. (2007): Partikler og organiske forbindelser fra træfyring – nye undersøgelser af udslip og koncentrationer. Arbejdsrapport fra DMU nr. 235, Danmarks Miljøundersøgelser.



# Bilag

## Bilag A: Brændeovnsstandarder


Fabrikanter af brændeovne kan vælge at tilslutte sig en eller flere mærkningsordninger, som strammer kravene i forhold til den Europæiske CE-standard, hvad angår en række miljøparametre. For det første er der en godkendelse i forhold til Dansk Standard, som indebærer, at virkningsgraden for brændeovne, der skal bære DS-mærket, skal være over 70 og have en maksimal CO-emission på 0,3%. En DS Plus godkendelse sætter derudover en øvre grænse for partikeludslip ved lav ydelse. Endelig kan brændeovnsfabrikanter, når det gælder miljøet tilslutte sig Svanemærkningsordningen. Denne sætter de skrappeste krav til virkningsgrad og CO-emission mv. Se

TABEL 18. MÆRKNINGSORDNINGER OG STANDARDER FOR BRÆNDEOVNE

	Mini- mumvirk- nings- grad	Maksimalt CO-udslip	Maksimalt partikeludsl. gns. ydelse	Maksimalt partikeludsl. lav ydelse	Maksimal støvemis- sion	Maksimal TOC
	%	%	g/kg	g/kg	mg/Nm <sup>3</sup>	mg/Nm <sup>3</sup>
CE-mærkning	50	1,0				
DK-lovkrav	-	-	10		75	
DS	70	0,3	-		-	
DS Plus	70	0,3	-	20	-	
Svanemærket	73	0,2	5	10	-	150


## Bilag B: Spørgeskema

Spørgeskema henvendt til forsøgsværter



**Spørgsmål vedrørende brug af brændeovn**

- Hvor gammel er brændeovnen (stenovnen)? Fra år: \_\_\_\_\_
- Hvilket fabrikat (håndværker) (+ evt. fabrikationsnummer)? \_\_\_\_\_
- Hvor stor er brændeovnen - dvs. hvilken ydelse har den? \_\_\_\_\_ kW
- Har ovnen en godkendelsesmærke (DSI, Svanemærket, e.l.)? \_\_\_\_\_
- Hvor stort er huset? \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup>
- Hvornår er huset opført? Årstal: \_\_\_\_\_
- Er huset senere blevet efterisoleret? Årstal: \_\_\_\_\_
- Har huset et energimærke? \_\_\_\_\_, Hvis ja, hvilket bogstav? \_\_\_\_\_
- Hvor stor er stuen, som brændeovnen er placeret i?  
antal kvadratmeter: \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup>  
højde til loft/kip: \_\_\_\_\_ m  
evt. samlet volumen: \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>
- Hvilken rolle spiller brændeovnen for husets opvarmning? (sæt x)  
 den eneste/vigtigste varmekilde  
 bruges forår og efterår som eneste varmekilde  
 godt supplement om vinteren  
 supplement om vinteren  
 kun for hyggenes skyld  
 andet: \_\_\_\_\_
- Hvordan varmes huset (og varmt vand) ellers op? (sæt gerne flere x-er):  
 oliefyrt \_\_\_\_\_ årligt forbrug \_\_\_\_\_ liter  
 gasfyrt \_\_\_\_\_ årligt forbrug \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>  
 fjernvarme \_\_\_\_\_ årligt forbrug \_\_\_\_\_ kWh  
 elvarme \_\_\_\_\_ årligt forbrug \_\_\_\_\_ kWh  
 varmepumpe... årligt elforbrug \_\_\_\_\_ kWh  
 solfanger \_\_\_\_\_ årligt varmebidrag (skønnet): \_\_\_\_\_ kWh  
 andet: \_\_\_\_\_
- Hvor mange kubikmeter (stakket) brænde bruges der om året ca.? \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>



- Hvilken type brænde bruges der mest? (sæt x)  
 eg, bøg, elm og/eller birk  
 Lærk, fyr, gran, lind, poppel, og/eller el  
 Andet: \_\_\_\_\_
- Hvor længe ligger brændet til tørre, inden der fyres med det? (sæt x)  
 1 år  
 2 år  
 3 år eller mere
- Hvor stor er stuen, som brændeovnen er placeret i? \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup>
- Hvor tit er brændeovnen i brug i vinterhalvåret (oktober-april)? (sæt x):  
 en gang om dagen  
 2-3 gange gang om ugen  
 ca. en gang om ugen  
 sjældnere  
 aldrig
- Hvor tit er brændeovnen i brug i sommerhalvåret (maj-september)? (sæt x):  
 en gang om dagen  
 2-3 gange gang om ugen  
 ca. en gang om ugen  
 sjældnere  
 aldrig
- Hvor let er det at tænde brændeovnen? (sæt x)  
 meget let  
 rimeligt let  
 lidt besværlig  
 meget besværlig  
 forklar evt. nærmere: \_\_\_\_\_
- Er der gener ved brug af brændeovnen? (sæt x)  
 lugt i stuen  
 røg i stuen  
 i perioder bliver det for varmt  
 tør luft  
 iltmangel (man får åndenød)  
 Forklar evt. nærmere: \_\_\_\_\_

## Resumé

Rapporten belyser de problemer, der er forbundet med at benytte brændeovn i et moderne hus. Et problem er overophedning. Et andet er partikler i stuen. En moderne brændeovn brænder effektivt ned til en effekt på 3kW, men i et nyt og velisoleret hus skal effekten længere ned, hvis ovnen skal kunne anvendes ud over de allerkoldeste perioder. Alternativt skal den være koblet på varmelagring (masseovn, gulvvarmeanlæg eller vandbeholder). Moderne brændeovne kan tændes op uden afgivelse af partikler til indemiljøet. Men det er svært at undgå partikeludslip i stuen ved tætte huse med mekanisk ventilation. Svaret er stop for ventilationen, direkte luftindtag udefra eller mekanisk sug i skorsten.



Miljøministeriet  
Miljøstyrelsen

Strandgade 29  
DK - 1401 København K  
Tlf.: (+45) 72 54 40 00

[www.mst.dk](http://www.mst.dk)