



Miljø- og
Fødevareministeriet
Miljøstyrelsen

Laboratoriemålinger af emissioner fra brændeovne ved forskellige fyringsteknikker

Miljøprojekt nr. 1969

November 2017

Redaktion: Miljøstyrelsen

Tekst:

Jes Sig Andersen (Teknologisk Institut),
René Lyngsø Hvidberg (Teknologisk Institut)

ISBN: 978-87-93614-42-0

Miljøstyrelsen offentliggør rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, som er finansieret af Miljøstyrelsen. 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

1.	Indledning	5
1.1	Energilaboratoriet - Teknologisk Institut	5
1.2	Anvendte forkortelser, termer og enheder	5
2.	Sammenfatning af hovedresultater	7
2.1	Sammenfatning	7
2.2	Hovedresultater	7
2.3	Øvrige resultater, mest for teknikere	8
2.4	Teknologi opdatering	10
2.5	Misuse conditions generelt	11
3.	Målekampagnen 2016 - Indhold og forudsætninger	13
3.1	Ovne benyttet til laboratoriemålinger	13
3.2	Anvendt fyringsmetode	14
3.3	Brændsel benyttet til målinger	15
3.4	Fravalg af måling af PM _{2,5} og NMVOC	16
3.5	Målinger grupperet i 6 pakker	17
3.6	DCE emissionsfaktorer	20
4.	Målekampagnen - Resultater	21
4.1	Fælles forklaring på figurer	21
4.2	Opsummeret Pakke 1 – Optændingsmetode, øget lufttilsætning og forbrugerfyring	21
4.3	Opsummeret Pakke 2 – betydning af brændets fugtindhold	26
4.4	Opsummering Pakke 3 - Effekten af at overfylde brændkammeret og reducere lufttilførslen	31
4.5	Opsummering Pakke 4 – Måling af dioxin og PAH	34
4.6	Opsummering Pakke 5 – Fyring med briketter	39
4.7	Opsummering Pakke 6 – Måling af BC (EC og OC)	41
5.	Diskussion	44
5.1	Forudsætninger generelt	44
5.2	Træsart og bark-påvirkning	44
5.3	Manualer/vejledninger for de valgte ovne	45
5.4	Sammenligning mellem typeprøver og indeværende målinger	45
5.5	Datagrundlag og emissionsfaktorer	48
5.6	Forbrugerfyring	49
5.7	Briketfyring	49
5.8	Dioxin og PAH	50
5.9	Black carbon målinger (EC og OC)	54
6.	Litteraturstudie	56
6.1	DMU arbejdsrapport nr. 212, 'Dioxin, PAH og partikler fra brændeovne'	56
6.2	DMU arbejdsrapport nr. 235, 'Partikler og organiske forbindelser fra træfyring – nye undersøgelser af udslip og koncentrationer'	60
6.3	Influence of Ignition and Operation type on Particle Emission from Residential Wood Combustion.	64

6.4	Black Carbon i brændeovnsrøg	67
6.5	Litteraturhenvisning	69
7.	Konklusion	70
7.1	Top-Down optænding er at fortrække som optændingsmetode,	70
7.2	Fugtigt træ belaster miljøet,	70
7.3	Briketter skal bruges med omhu	70
7.4	Overfyldning af brændkammer og reducere af lufttilførslen belaster miljøet	71
7.5	Emissionsfaktorerne trænger nok til at blive redefinerede	71
7.6	Målinger af dioxin og PAH udviser niveauer, der flugter ligeud med emissionsfaktoren for gamle og nye ovne,	71
7.7	Datagrundlag	71
8.	Bilagsoversigt	73
8.1	Bilag 1: Datatabeller over figurer i rapporten	74

1. Indledning

Indeværende rapport er udarbejdet efter Miljøstyrelsens ønske jf. udbudsbrev pr. 15. juni 2016: Laboratiemålinger af emissioner fra brændeovne ved forskellige fyringsteknikker.

Formålet med projektet er beskrevet i udbuddet som følgende:

"At udføre en række laboratiemålinger af emissioner fra brændeovne solgt på det danske marked. Resultaterne af målingerne skal bruges til at analysere, hvilken betydning fyringsteknik og valg af biobrændsel har for emissionerne".

Laboratiemålingernes sammenfatning og hovedresultater er fremhævet først i denne rapport, hvorefter forudsætninger, resultater, diskussion og et litteraturstudie over eksisterende viden på nogle af de undersøgte fyringsteknikker og tidligere projekter. Til sidst i rapporten findes konklusionen over målingerne.

1.1 Energilaboratoriet - Teknologisk Institut

Teknologisk Institut er Danmarks førende videnscenter og katalysator for udviklingen af brændeovne. Teknologisk Institut har testet brændeovne siden 1932. I dag tilbyder Teknologisk Institut akkrediterede typeprøvninger på brændeovne til alle gældende standarder i Europa. Derudover er Teknologisk Institut dybt involveret i nationale og internationale udviklingsprojekter af brændeovne og nye målemetoder til brændeovne.

1.2 Anvendte forkortelser, termer og enheder

Samlet overblik over anvendte forkortelser og termer, ude over gængse fagtermer.

- RUF briketter – Massebetegnelse for de hvide eller lyse briketter. Opkaldt efter den presser de fremstilles på.
- PINI KAY briketter – Ekstrahårdt pressede briketter med langsgående centerhul. Opkaldt efter opfinderen.
- Ovn 1 – Moderne mindre ovn beregnet til begrænset varmeafgivelse
- Ovn 2 – Moderne større ovn beregnet til væsentlig varmeafgivelse
- Ovn 3 – Moderne mellemstørrelse ovn uden primær luftforsyning
- Ovn 4 – Moderne tokammer ovn med omvendt forbrænding
- BU – forkortelse af Bottom-Up, altså den optændingsmetode, hvor bålet tændes fra bunden
- TD – forkortelse af Top-Down, altså den optændingsmetode, hvor bålet tændes fra toppen
- PM – Partikelmasse opsamlet fra laboratorieforsøgene, enhed mg/MJ
- OGC – Organic Gaseous Compounds, enhed mgC/MJ
- CO – Kulilte, enhed mg/MJ
- NO_x – Kvælstofoxider, enhed mg/MJ
- BC – Black carbon, den mest lysabsorberende del af partiklerne udledt fra brændeovnsrøg

- EC – Elemental carbon, faststof delen, hvilket er den analyserede værdi, der her side-stilles med black carbon fra de undersøgte laboratorieforsøg, enhed mg/MJ
- OC – Organic Carbon, den organiske del af de analyserede partikler, enhed mg/MJ
- POA – Primary Organic Aerosoles, den første (primære) partikeldannelse i den varme røggas – det, der måles på ved udtagning i prøveskorstenen i den varme røggas (OGC f.eks.)
- SOA – Secondary Organic Aerosoles, den efterfølgende partikeldannelse, når røgges-serne forlader skorstenen og kommer ud i miljøet, bliver afkølede, udkondenserer og opblandes med andre partikulære bestanddele og udsættes for UV-stråling. – det, der tilnærmet måles på ved udtagning fra fortyndingstunellen (PM)

2. Sammenfatning af hovedresultater

2.1 Sammenfatning

Miljøstyrelsen har ønsket at få opdateret og suppleret viden om moderne brændeovnes emissioner, ved laboratoriemålinger af emissioner fra brændeovne ved forskellige fyringsteknikker. Der er i fællesskab opstillet et måleprogram, der omfatter 4 forskellige brændeovne og som indeholder 6 emneopdelte pakker.

Der har været tale om et afgrænset måleprogram og resultaterne skal derfor ses som understøttende og i sammenhæng med andre måleprogrammer, og kan ikke anvendes som endelige konklusioner ift. de emner der er belyst

De fire ovne der er benyttet er udvalgt som repræsentative for et bredt udsnit af moderne brændeovne i Danmark. I modsætning til forsøg, hvor der kun benyttes en enkelt ovn, gives her indblik i ovnes forskellige tolerance overfor driftsforhold, der afviger fra den normale, hvilket er med til at nuancere årsags- og virkningssammenhænge.

Selvom forskellige typer af ovne reagerer forskelligt på fejlbetjening, kan man alligevel godt udstikke generelle anbefalinger, der i et større perspektiv gavner forbrændingskvaliteten og som sikrer fortsat reduktion af emissioner fra privat brændefyring.

2.2 Hovedresultater

2.2.1 For vådt brænde

Fyring med for vådt brændsel har vist sig at være den enkeltfaktor, der forøger emissionerne af CO og OGC mest. Den ovn der slår kraftigst ud pga. vådt brænde udviser ca. 30 gange så højt niveau af de uforbrændte organiske gasser OGC. Hvad angår partikelemission, er det imidlertid positivt, at samtlige 4 ovne har vist sig rimelige robuste overfor varierende brændefugtighed. Forøgelsen af partikelemissionen ved overgang fra normalt tørt træ til vådt træ er på maksimalt 30%. Årsagen til de forhøjede emissioner er at en stor del af energien i bålet medgår til afdampning af fugt, hvorved der går for lang tid, inden forbrændingstemperaturen er blevet tilstrækkelig høj til at flertallet af gasserne og partiklerne kan afbrændes.

Læs selv mere i *afsnit 4.3 - Opsummeret Pakke 2 – betydning af brændets fugtindhold*.

2.2.2 For tørt brænde

Som det tørre brænde blev benyttet brænde med ca. 10% fugtindhold. 3 ud af 4 ovne klarede at afbrænde det tørre træ uden væsentlige forøgelser af emissioner. Den ene ovn udviste dog 4-5 gange så høje emissioner af de uforbrændte organiske gasser. Se nærmere beskrivelse i *afsnit 2.4 - Teknologi opdatering*. Udenlandske forsøg har vist, at der først ses en markant forøgelse af emissionerne ved brug af ekstraordinært tørt træ, dvs. ovntørret træ, når fugtindholdet er under 5%. Det skyldes en hurtig og kraftig afgasning fra det meget tørre træ, som overstiger luftsystemets kapacitet. Der kan ganske enkelt ikke tilføres tilstrækkeligt forbrændingsluft, hvilket resulterer i øget udledning af uforbrændte gasser og sod. Med baggrund i de

her udførte målinger, kan intervallet for anbefalet brænde fugtindhold godt udvides til ca. 10-20%.

Læs mere i *afsnit 4.3.1 - Ekstra tørt brænde*.

2.2.3 Anbefalet valg af optændingsmetode

Vi har i Danmark hidtil anbefalet Top-Down optænding som den mindst miljøbelastende optændingsmetode. Årsagen til at optænding fra toppen anbefales, er den mere kontrollerede afgasning denne optændingsform medfører. Ilden arbejder sig stille og roligt ned igennem bålet og gasserne afbrændes i samme takt som de bliver frigivet. Modsætningsvis, når der tændes op fra bunden, befinder hovedparten af træet sig ovenover flammerne, og der er større risiko for at gasserne forlader brændkammeret uden at være blevet afbrændt. Anbefalingen understøttes af de opnåede måleresultater. De af ovnene der reagerer kraftigst på skift til optændingsmetode TD er Ovn2 som udviser et fald i OGC med ca. 75% og Ovn3 der udviser et fald i PM emission på ligeledes ca. 75%. Gennemsnittet af alle målinger udviser en reduktion i udledningen af både de uforbrændte organiske gasser og partikel udledning på ca. 23%. Det diskvalificerer i den sammenhæng ikke resultaterne, at en tidligere udenlandsk undersøgelse har vist en reduktion på op imod 80%. Denne høje reduktion blev målt på store indsatsovne (Kachelofens) og brændeovne med meget stort brændkammer, der ikke er tradition for at benytte i Danmark. For den ovn (Chimney stove benævnt), der bedst kan sammenlignes med de danske brændeovne, var reduktionen i partikelemission på godt 40%. Forklaringen er, at jo mindre træ der fyldes i ovnen ved optænding, des mere udlignes fordelene ved at tænde op fra toppen. I Danmark anbefales typisk 2-2,5 kg samlet til optænding, nemlig den gængse påfyrimængde på ca 1,5 kg og dertil andre 800-1000 gram i større og mindre pindebrænde.

Læs mere i *afsnit 4.2 - Opsummeret Pakke 1 – Optændingsmetode, øget lufttilsætning og forbrugerfyring* og *afsnit 6.3 - Litteraturstudiet af Nussbaumer studiet fra 2008*.

2.2.4 At overfylde brændkammeret og reducere lufttilførslen

I informationskampagner er forbrugere blevet frarådet at forsøge at fyre over i brændeovnen. Altså overfylde brændkammeret og efterfølgende skrue ned for forbrændingsluften for at opnå forlænget varmeafgivelse og glødelag at tænde op på senere. Anbefalingen understøttes af de opnåede måleresultater. Som man kunne vente, sker der en kraftig forøgelse af udledningen af de uforbrændte organiske gasser, hvorimod partikeludledning lidt overraskende er uforandret for den ene ovns vedkommende og 'kun' forøget med en faktor x3 for den anden ovns vedkommende.

Læs mere i *afsnit 4.4 - Opsummering Pakke 3 - Effekten af at overfylde brændkammeret og reducere lufttilførslen*.

2.2.5 Fyring med briketter

Der har generelt været en forbeholden holdning til fyring med briketter. Målingerne har vist at de almindelige lyse savsmuldsbriketter brænder bedre end forventet, på niveau med eller endda bedre end almindeligt brænde. Andre typer af briketter har omvendt vist forhøjet emissioner og specielt ved overfyldning af anbefalet brændselsmængde. Briketter frembyder altid den fordel frem for brænde, at de aldrig leveres med for højt fugtindhold. Rigtig anvendt kan briketter udgøre et udmærket brændsel, men der kræves en robust optænding med pindebrænde og brændestykker, inden briketterne kan påfyres.

Der er en måling, der viser forhøjet BC emission ved brug af briketter.

Læs mere i *afsnit 4.6 - Opsummering Pakke 5 – Fyring med briketter*.

2.3 Øvrige resultater, mest for teknikere

2.3.1 Emissioner af Black Carbon, målt som EC og OC

Niveauerne af EC er generelt pænt lavt for alle fire ovne, lige under og omkring 40 mg/MJ, selv når man tager optændingen med. For *Ovn 3*, der ikke benytter primær lufttilførsel, er EC emissionen endda særdeles lav med 5-7 mg/MJ. Til sammenligning er emissionsfaktoren for BC for svanemærkede ovne fra 2015 på 43 mg/MJ. Den eneste måling der skiller sig ud, er fyringen med briketter som soder meget og bringer EC emissionen op på 114 mg/MJ. Årsagen til den høje emission er med stor sandsynlighed kombinationen af meget tørt brændsel, stor overflade fra briketterne og begrænset lufttilførsel. Emissionen af OC er for de almindelige fyringer altid højere end emissionen af EC, som forventeligt.

Der ses en meget tydelig sammenhæng mellem brændets fugtindhold og emissionen af OC. OC er 50% højere for *Ovn 3*, når der benyttes fugtigt brændsel. Til styrkelse af lovmæssigheden tjener briketfyringen, hvor OC niveauer er det laveste blandet de tre almindelige ovne, og på omtrent samme niveau som ovnen med omvendt forbrænding. OC dannelsen ses at følge samme lovmæssighed som styrer dannelsen af OGC.

Læs selv mere i afsnit 4.7 -Opsummering Pakke 6 – Måling af BC (EC og OC)

2.3.2 Emissioner af PAH

I målekampagnen indgik en dags måling af PAH og dioxiner. Der blev benyttet en almindelig brændeovn, *Ovn 1* og ovnen med omvendt forbrænding, *Ovn4*. Formålet var primært at få konstateret niveau og sammensætning af PAH og for dioxiner primært at få påvist en eventuel sammenhæng mellem det anvendte brændsel og udledningen af dioxiner.

Opgjort i absolutte bestanddele udgør Naphthalen, Acenaphthylen og Benanthren de største enkeltbestanddele, men omregnet til TOX ækvivalenter udgør Benz(A) pyren den dominerende komponent, efterfulgt af Flouranthen, Benz(B/J) flouranthener, Indeno-123-cd-pyren og Dibenz-ah-antrazen.

For den almindelige ovn lå den samlede PAH udledning på lige under 0,5 mg/MJ omregnet til BaP ækvivalent. For ovnen med omvendt forbrænding var niveauet mere end en dekade lavere på 0,04 mg/MJ omregnet til BaP ækvivalent.

Det kan godt have forøget niveauet af PAH'er generelt, at målingen er kørt på *Ovn 1* og ved anvendelse af brænde på omkring 12,5% fugt. Som det er gennemgået herunder i afsnit 2.4 Teknologi opdatering, er *Ovn 1* meget sensibel overfor overfyldning med træ. For PAH har målingerne vist, at forbrændingsteknikken i den enkelte ovn godt kan reducere udledningen. Samtidig er der stor sammenhæng mellem de målte PAH og den målte OGC-emission.

Læs mere i afsnit 4.5 - Opsummering Pakke 4 – Måling af dioxin og PAH.

2.3.3 Emission af Dioxiner

Målingerne af dioxiner bekræftede først og fremmest at dioxin niveauet var afhængig af saltindholdet i det anvendte brændsel. Der sås omtrent proportional forøget dioxin udledning ved øget saltindhold. Dernæst blev det bekræftet at emissionen af dioxiner var af omtrent samme størrelsesorden som målt i tidligere miljøprojekter. Niveauet for de to dioxinmålinger med ubehandlet birkebrænde lå på ca. 700 ng I-TEQ/GJ. Det er lidt lavere end emissionsfaktoren for nye ovne på 800 ng I-TEQ/GJ, men højere end emissionsfaktoren for både de moderne ovne på 250 ng I-TEQ/GJ og de svanemærkede ovne på 100 ng I-TEQ. Man kan godt overveje om det er rimeligt funderet, at de helt nye ovne bevæger sig ned af en trappe af faldende emissionsfaktorer, hvis udledningen af dioxin alligevel er bestemt af brændslet, og der ikke samtidig er sket en væsentlig stigning i forbrændingstemperatur, der ellers kunne have sikret termisk nedbrydning af dioxinerne.

Der er mange faktorer, som i et samlet kompleks er bestemmende for emissionen af dioxin. Henset til det begrænsede måleprogram, skal resultaterne mest ses som en bekræftelse på tidligere målinger dokumenteret i AR-212 og AR-235, idet dioxin emissionen er af omtrent samme størrelsesorden.

Læs mere i afsnit 4.5 - Opsummering Pakke 4 – Måling af dioxin og PAH.

2.4 Teknologi opdatering

De seneste ca. 10 år er der sket en udvikling med de danske brændeovne, i retning af bedre isolerede brændkamre og mere sofistikerede luftsystemer, der til sammen gør at ovnene brænder godt, når de benyttes i overensstemmelse med fabrikantens vejledning. Der er blandt andet sket en tilpasning af ovnenes varmekapacitet til moderne huses begrænsede varmebehov. Som et synligt udslag på den udvikling er det i dag ret almindeligt, at moderne ovne ikke kan opnå alle fire belastningstrin i den Norske partikelprøve. Ofte kan en ovn kun opnå trin 2 når spjældet er 100% åbent. Det svarer til en varmeydelse på maksimalt 6,4 kW. Til gengæld har ovnene næsten uden undtagelse tilsætning af ekstra forbrændingsluft lige der, hvor uforbrændte gasser eller kunne have forladt brændkammeret, tertiær luftforsyning kaldet.

TABEL 1
DE I TABELLEN OPLYSTE YDELSER ER BEREGNET VED EN VIRKNINGSGRAD PÅ CA 75%

NS3058 prøve	Trin 1	Trin 2	Trin 3	Trin4
Afbrænding (kg/h)	< 1,25	1,25-1,90	1,91-2,80	>2,80
Varmeydelse (kW)	4,2	6,4	9,4	>9,4

En del af den seneste udvikling består i reduktion af luftsystemernes kapacitet, altså det samlede tværsnitsareal i spjældene. Begrænsningen i spjældareal ses oftest hos ovne, der ikke er beregnet til at yde et væsentligt bidrag til boligopvarmningen i gennemsnitligt isolerede huse. Ovn 1 er udvalgt som et typisk eksempel på sådan en ovn. Den har også et begrænset brændkammer volumen, og er ganske enkelt ikke beregnet til at brænde meget træ af i. Ved typeprøven til CE-mærke blev ovnen fyret med 1,30kg træ pr. påfyring og ydelsen blev bestemt til 5kW. Typeprøven repræsenterer de optimale driftsbetingelser, der hvor ovnen brænder bedst. Når man bevæger sig bort fra de optimale betingelser, f.eks. ved at der bruges væsentligt mere eller mindre træ, træ af afvigende fugtindhold eller væsentlig anderledes spjældindstillinger, vil nogle moderne ovne være tilbøjelig til at reagere kraftigere og udvise forhøjede emissioner, end en ældre ovn med større dynamikområde.

Det kom tydeligt til udtryk for emissioner af CO og OGC under Dioxin og PAH målingerne, hvor Ovn 1 indgik. Brændemængden var 1,60kg, men fugtindholdet var ret lavt, omkring 12,5%. Tilsammen bevirkede de to faktorer, moderat overfyldning og ekstra tørt brænde, at de gasformige emissioner var temmelig høje, med CO emissioner på 2-4 gange den typiske værdi og emissioner af OGC på 2-7 gange den typiske værdi.

TABEL 2
PARVISE DATASÆT AF CO OG OGC EMISSIONER FRA DIOXIN OG PAH MÅLINGERNE

Test #	1	2	3	4	5	6	7	8	Typisk
CO (%)	0,27	0,42	0,18	0,19	0,29	0,35	0,13	0,38	0,10
OGC (mgC/Nm3)	601	1070	442	346	348	660	295	730	150

De forhøjede emissioner tilskrives kombination af moderat overfyldning og træ, der er ret tørt. Det der sker, er at afgasningen bliver for kraftig og sker for pludseligt, til at luftsystemet kan levere den fornødne luftmængde til at sikre optimal afbrænding. Forholdet forværres af det forholdsvis begrænsede brændkammer volumen, hvorved der er større risiko for at gasser går uforbrændte ud af ovnen.

I tilfælde af væsentligt tørrere brænde, kunne effekten have været endnu kraftigere. Se beskrivelsen om meget tørt brænde i *afsnit 4.3.1 - Ekstra tørt brænde*. Til gengæld er *Ovn 1* den mest tolerante af de fire ovne overfor brug af vådt brænde. Det skyldes, den får en rimelig andel af primær luft tilført op gennem bundristen. *Figur 11* i *afsnit 4.3 - Opsummeret Pakke 2 – betydning af brændets fugtindhold* illustrerer, at *Ovn 1* udviser samme PM emission ved normalt tørt brænde og ved vådt brænde. Den har også den laveste emission af OGC blandt alle fire ovne, når brændet er vådt.

Til illustration af gennemgangen overfor, ses det på samme figur, at *Ovn 1* er den, der slår kraftigst ud på OGC emission, når brændet er tørt.

2.5 Misuse conditions generelt

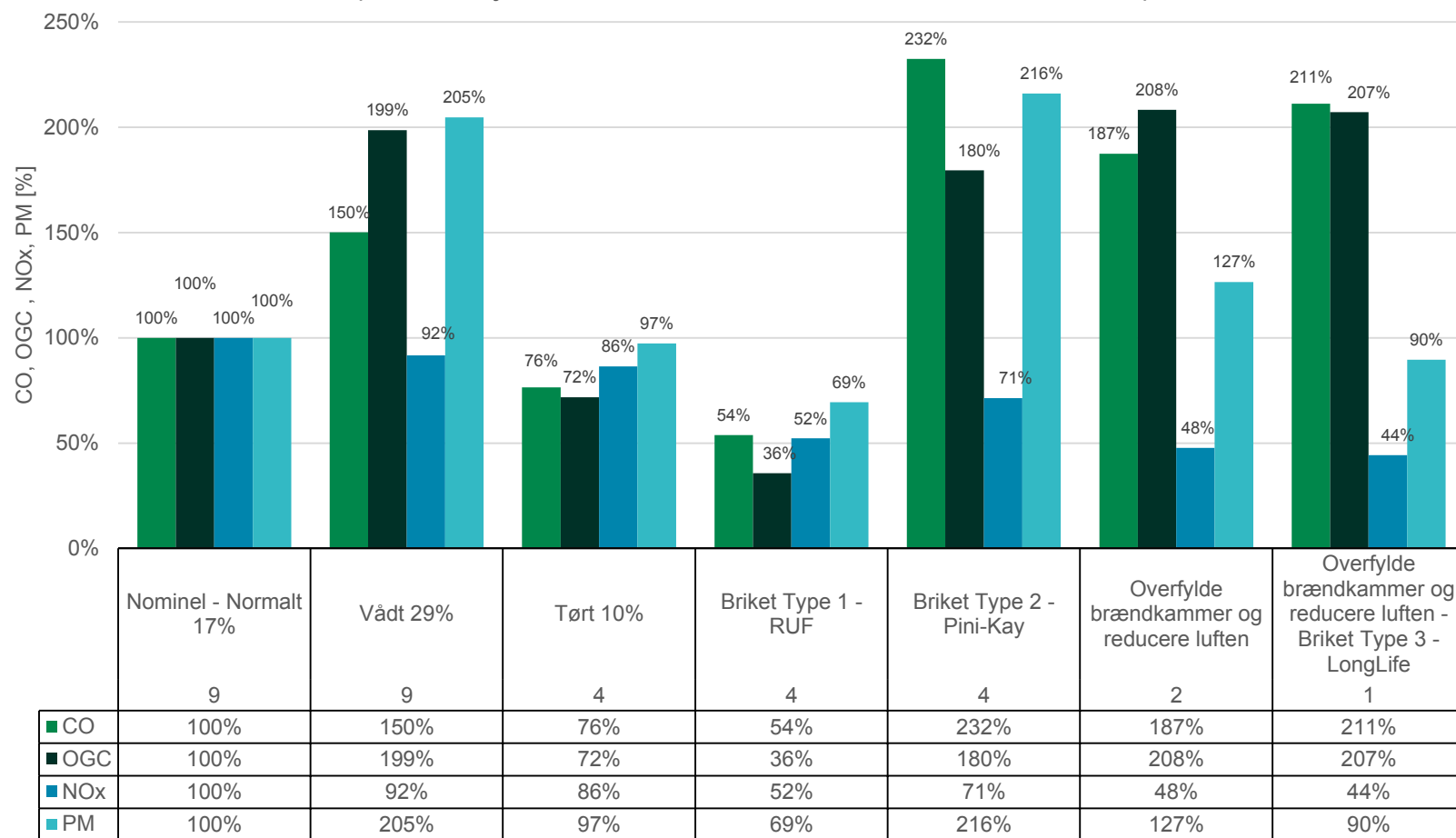
Det er ingen selvfølge, at brændeovne betjenes i overensstemmelse med fabrikantens vejledning. Mange årsager kan gøre sig gældende. Brugere kan have indgroede fyringsvaner baseret på brug af gamle ovne eller manglende kendskab til oparbejdning af brænde kan lede til at brændet bruges, inden det er tilstrækkeligt tørt. Der kan også være tale om tilsidesættelse af fyringsråd, som eksempel kan nævnes, at der kan forsøges at fyre over i ovnen, bare for at nævne nogle af de almindeligste uvaner, herunder under ét benævnt *misuse conditions* i mangel af en lignende rammende dansk betegnelse.

Den første *Figur 1* viser et hurtigt overblik over, hvilke af de undersøgte parametre i de 6 pakker, som enten klarer sig godt eller klarer sig skidt i forhold til den anbefalede træmængde og ønskede ydelse. Figuren er grafisk udtrykt som en indeksskala (procentskala) mere eller mindre forurenende i forhold til den nominelle fyring (indeks 100%) med en fugt på ca. 17%.

Overordnet set er CO, OGC og PM for fugtigt træ, fyring med briket *Type 2* og overfyldning af brændkammer og efterfølgende reducere af lufttilførslen op imod 232% højere, sammenlignet med den nominelle fyring med anbefalet træmængde. Omvendt performer både det tørre træ og briket *Type 1* tilsvarende eller bedre end det anbefalede træ – helt ned imod 36% af de emissioner, den tilnærmede nominelle fyring giver med anbefalet træ.

NOx-emissionen lader til at være lavest ved overfyldning af brændkammer og reducere af lufttilførslen, hvilket skyldes at NOx falder jo koldere røggassen er – og i og med at brændkammeret proppes og luften skrues ned vil røggassen gennemsnitligt ikke komme op på temperaturer som ved nominal afbrænding.

Misuse conditions op imod nominal fyring (nominel ydelse med normalt tørt træ = indeks 100%)



FIGUR 1

NOMINEL YDELSE MED NORMALT TØRT TRÆ SAMMENLIGNET MELLEM FØRSKELLIGE FYRINGSPRINCIPPER, FUGTIGHED OG BRÆNDELSTYPE PÅ EN INDEKSSKALA. TALLENE UNDER HVER FYRINGSSITUATION ER ET UDTRYK FOR, HVOR MANGE REPETITIONER AF FYRINGER SØJLERNE BYGGER PÅ.

3. Målekampagnen 2016 - Indhold og forudsætninger

3.1 Ovnene benyttet til laboratoriemålinger

Indeværende laboratoriemålinger omhandler emissioner fra moderne brændeovne på det danske marked undersøgt for forskellige fyringsteknikker. Måleprogrammet er aftalt mellem Miljøstyrelsen og Teknologisk Institut og gennemgås under *afsnit 3.5*. Der er i målingerne udvalgt fire ovne, som repræsenterer forskellige typer af moderne brændeovne, og som alle findes i de danske hjem. Ovnene benyttet har et bredt udsnit af forbrændingslufttilførsler og fyringsprincipper, som alle er beskrevet i de respektive manualer tilhørende de aktuelle ovne.

- **Ovn 1:**
En moderne ovn (fra 2014) med et forbrændingsluftsysteem, som er designet til en mindre mængde brændsel og dermed en mindre afgasning. Ovn 1 har et begrænset brændkammer volumen, der er optimeret mod begrænset varmeafgivelse, egnet til velisolerede huse, hvor ovnen overvejende benyttes til at skabe hygge og som lejlighedsvis supplerende varmekilde. Ovnen er forsynet med både primær-, sekundær- og tertiærlufttilførsel.
- **Ovn 2:**
En moderne ovn (fra 2010) med god kapacitet i luftsysteem og større brændkammer, der tillader højere varmeafgivelse, til brug i huse hvor brændeovnen yder et væsentligt bidrag til varmforsyningen. Ovnen er forsynet med både primær- (som opstartsanordning), sekundær- og tertiærlufttilførsel.
- **Ovn 3:**
En moderne ovn (fra 2012) med et mindre brændkammer. Lufttilførsel i ovnen er designet uden primærlufttilførsel, men med både sekundær- og tertiær lufttilførsel. Denne ovn skal primært indgå i fyringsforsøg med briketter, for at synliggøre spændvidden i emissioner afhængig af karakteren af ovnens luftsysteem.
- **Ovn 4:**
State-of-the-art brændeovn (fra 2012) med automatik og omvendt forbrænding repræsenteret som et ekstra forbrændingskammer under det primære forbrændingskammer. Denne ovn skal primært indgå ved målinger af dioxin og PAH, som supplement Ovn 1.

For at forstå de benyttede ovnes luftsystemer gives her en kort beskrivelse af de forskellige lufttilførsler:

- 1) Primær lufttilførsel betegnes som forbrændingsluft op igennem gløderne og dermed under brændslet.
 - Denne lufttilførsel kan enten tilføres som en fast del af forbrændingsluften eller tilføres som et supplement til opstarten fra kold ovn eller ved genfyring for at få gang i bålet, hvorefter der lukkes for lufttilførslen.
- 2) Sekundær lufttilførsel betegnes som forbrændingsluft, der tilføres som et rudeskyl ned langs frontruden.
 - Denne lufttilførsel er bålet primære forbrændingsluft og sikrer dermed den nødvendige ilt til bålet. Denne lufttilførsel holder samtidig frontglasset fri for sod, men kan nedjusteres, såfremt der ønskes en lavere ydelse.
- 3) Tertiær lufttilførsel betegnes som forbrændingsluft tilført via huller fra bagvæggen i ovnene.
 - Denne lufttilførsel har til formål at tilføre bålet ekstra ilt lige over brændslet for at sikre ekstra afbrænding af de udledte gasser fra træet.

3.2 Anvendt fyringsmetode

Til indeværende emissionsmålingsprojekt har vi valgt at fyre ovnene i overensstemmelse med råd i fabrikanternes vejledninger. Der gælder eksempelvis anvendt brændemængde og anvendt spjældindstilling. Det har været den bedste måde til at opnå nogle gennemsnitlige forbrændingsvilkår, der ikke kunstigt påvirker emissionerne i retning af særligt lave eller særligt høje emissioner. Den dimension er til gengæld tilføjet ved kontrolleret at variere mellem optændingsmetoder, brændets fugtindhold, overfyldning af ovnen etc., som beskrevet nærmere under de enkelte pakker i *afsnit 3.5* senere i rapporten.

Hermed udgør fyringerne en forskel til ovnenes typeprøver efter den harmoniserede standard EN13240, hvor fabrikanten tilstræber at opnå ovnenes optimale resultater. Eksempelvis indeholder typeprøven ingen målinger fra kold ovn (optænding), og det er tilladt at basere beregningen på to udvalgte ud af i alt tre prøveperioder.

Ovnene i målekampagnen er prøvet på EN13240 skorstenen som ved typeprøven, dvs. en 1,80m isoleret stålskorsten, der udsættes for et fast røgtræk på 12Pa. Valget af EN13240 med fast træk var dikteret af ønsket om flest mulige fælles randbetingelse med typeprøven. Alternativet havde været at benytte en 3,3m lang skorsten med naturligt træk, der benyttes under den norske partikelprøve. Valget af EN13240 skorstenen udelukker imidlertid ikke udtagning af partikler i fortyndingstunnelen.

Påfyringstidspunktet efter optændingen er normalt defineret af fabrikanten. Ved disse målinger er påfyringen udført på et erfaringsmæssigt grundlag, når flammerne er gået ud, men stadig på et tilpas stort glødelag, der gør det muligt at antænde efterfølgende brændestykker. Ved målinger med flere gentagne påfyringer, er der benyttet samme arbejds punkt ved påfyring, defineret ved røgtemperatur og CO₂ indhold i røggassen.

Alle emissioner måles med over den fulde fyringscyklus, fra start til slut.

Til opsamling af partikler benyttes princippet med udtagning i den afkølede fortyndede røggas efter den norske standard ved hjælp af fortyndingstunnel (ref. NS3058). Til de målinger, hvor der samtidig bestemmes PM og BC, benyttes dobbelt sampling, idet PM substratet afsættes på et glasfiberfilter og BC substratet afsættes på et quartzfilter, af hensyn til efterfølgende termisk bestandighed under analysen efter NIOSH870 protokollen. Hvis man vil forsøge at sammenligne indeværende PM måleresultater, skal man sammenligne med partikelemissionen målt efter norsk metode, se evt. *afsnit 5.4*. Støvmålingen efter den tyske metode tilbageholder kun faststofformige partikler, men lader gasserne passere på dampform.

Indeværende målinger bygger på et begrænset antal repetitioner pr. grundlag, da der er ønsket stor variation og bredde i målingerne. Flere af parametrene undersøgt bygger kun på 1 eller 2 fyringer. Det højeste antal fyringer for samme situation og på samme ovn er 6. Hvor et resultat kun er baseret på en enkelt måling, bør man tage forbehold for den naturlige variation, der ellers ses ved gentagne målinger. Antallet af målingernes repetitioner er vist som et ciffer under hver kolonne i figurene under *afsnit 4 - Målekampagnen - Resultater*.

3.3 Brændsel benyttet til målinger

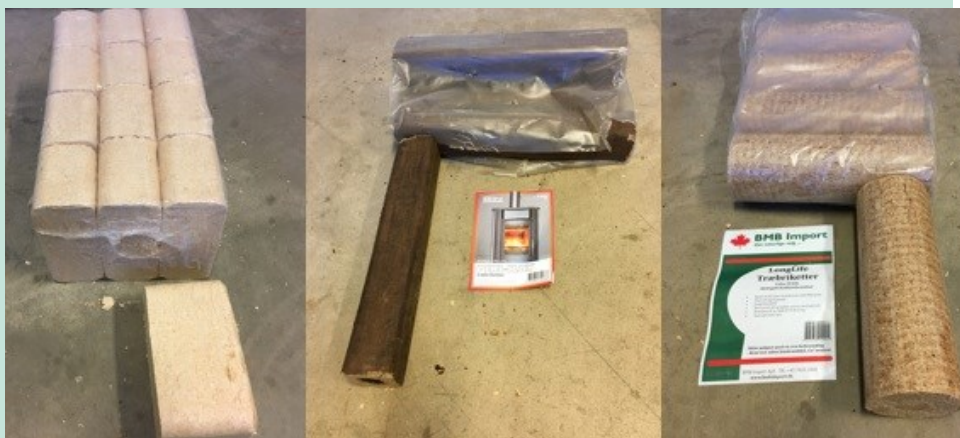
For alle fyringer med træ er der benyttet birketræ som brændsel. For fyringer med tørt træ (fugtighed mellem 6-12%) er der benyttet birketræ, som har været opbevaret indendørs og efterfølgende tørret med varmeblæser i en lang periode. For fyringer med normalt tørt træ (fugtighed mellem 12-22%) er der benyttet birketræ direkte fra brændetårn købt i Bilka til formålet for at simulere forbrugerens brændsel. For fyringer med vådt træ (fugtighed >22) er der benyttet nyfældet og nykløvet birketræ fra september 2016 (målinger foretaget i november og december 2016).



BILLEDE 2
BIRKETRÆ BENYTTET SOM BRÆNDELSE FOR MÅLINGER MED RENT TRÆ.

Til fyring med briketter er der benyttet tre slags briketter:

- *Type 1* er RUF savsmuldsbriketter, som typisk kan fås i indkøbscentre, supermarkeder, kiosker o.l. Denne briket er almen kendt og benyttet hos den almindelige forbruger og er særlig typisk for sommerhusområder. Denne type briket havde en fugtighed på 7%.
- *Type 2* er Pini-Kay træbriketter, som har en mørkere farve og er meget tunge. Desuden har de et hul hele vejen igennem briketten. Denne type briket havde en fugtighed på 2%.
- *Type 3* er Long-Life træbriketter, som er en solid, cylinderformet og større briket end de to øvrige briketter. Denne type briket havde en fugtighed på 8%.



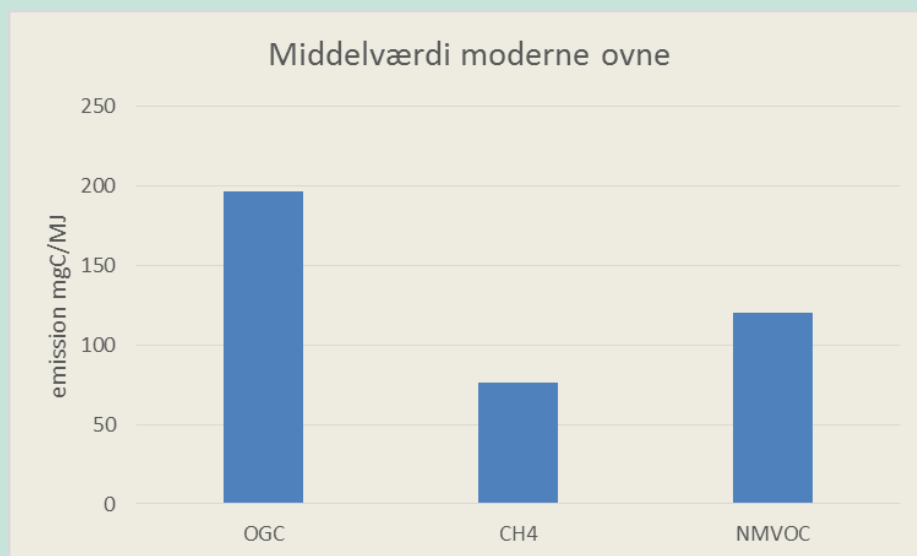
BILLEDE 3
DE TRE TYPER BRIKETTER (FRA VENSTRE TYPE 1, 2 OG 3) BENYTTET UNDER MÅLINGERNE, HVORAF TYPE 1 ER DEN MEST ALMINDELIGE KENDTE SAVSMULDSBRIKET.

3.4 Fravalg af måling af PM2,5 og NMVOC

Under opstartsmødet diskuterede følgegruppen ud fra TI's oplæg om det var nødvendigt, her særskilt at måle PM2,5 og NMVOC.

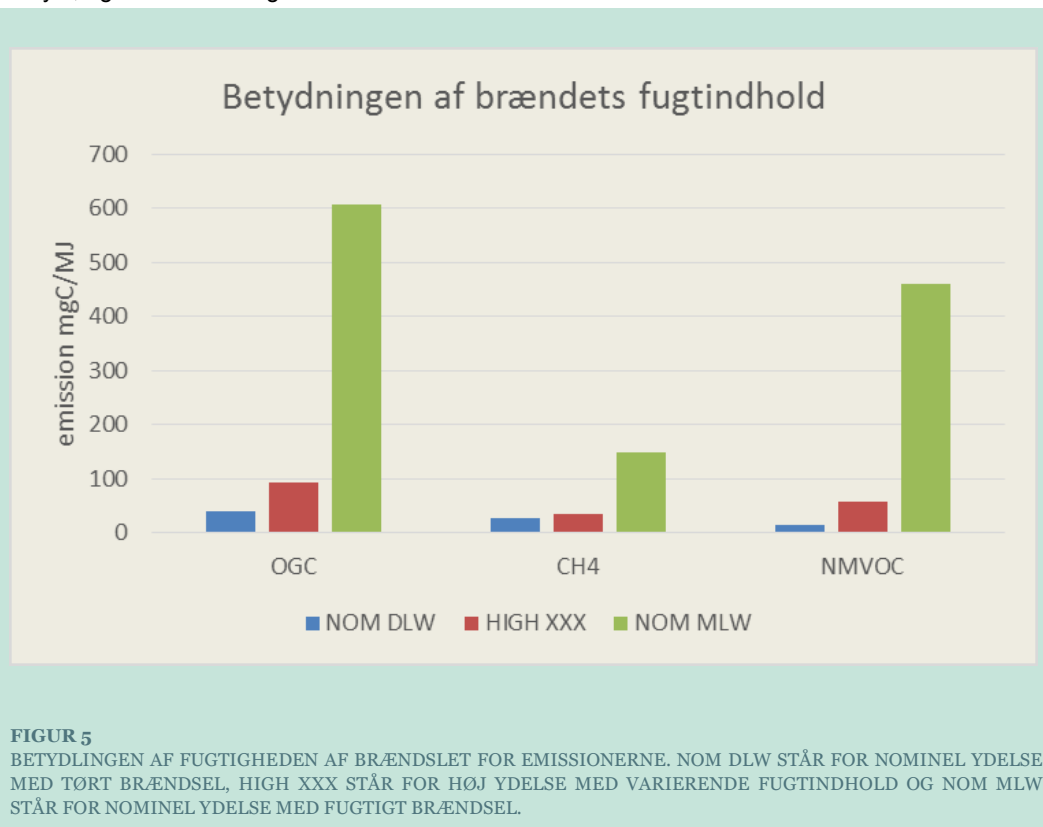
Det nyligt afsluttede Nordisk Ministerråds projekt (NMR) om brændeovnes og kedlers emissioner havde omfattet målinger af både PM2,5 og NMVOC. Partikler over PM2,5 blev i NMR-projektet udskilt ved hjælp af en cyklon indskudt foran filtret og NMVOC blev bestemt ved parallel måling af OGC, den ene linje forsynet med en metan cutter, se *Figur 4*.

Ud over sporadiske sorte korn, var der intet indhold i cyklonerne, der kunne godtgøre at partikler over PM2,5 udgjorde nogen betydningsfuld andel af partikelemissionen fra brændeovne. Nyere litteratur styrker samstemmende, at hovedparten af partikler fra nyere brændeovne falder i størrelsesfraktionen PM1. Styregruppen bakkede op om at særskilt måling af PM2,5 næppe ville bidrage med afgørende ny viden og derfor godt kunne udelades.



FIGUR 4
OPDELINGEN AF OGC MÅLT SOM CH₄ OG NMVOC.

Fra NMR emissionsmålingsprojektet vides det, for nyere ovne, der fyres med brænde med normalt fugtindhold, at andelen af NMVOC udgør ca. 60% af den målte emission af OGC, se Figur 5. Ved brug af ekstra tørt brænde faldt andelen af NMVOC til ca. 35% af OGC. Modsnævningsvis steg andelen af NMVOC til ca. 75% af OGC, når der blev benyttet vådt brænde, men på et niveau der er ca. 10x så højt som for normal tørt brænde. Styregruppen bakkede op om, at sammenhængen mellem NMVOC og total VOC (målt som OGC) var tilstrækkeligt godt belyst, og særskilt måling af NMVOC her kunne udelades.



3.5 Målinger grupperet i 6 pakker

Laboratoriemålingerne er opdelt i pakker, som Miljøstyrelsen har efterspurgt. Disse pakker rækker vidt og dækker blandt andet betydningen af: optændingsmetode, graden af lufttilførsel, brændslets fugtighed, overfyldning af brændkammer og efterfølgende nedregulering, fyring med briketter, samt måling af PAH, dioxin og Black Carbon (som EC). I de følgende afsnit kan der læses om forudsætninger opstillet for de enkelte målepakker.

3.5.1 Pakke 1: Optændingsmetode, graden af lufttilførsel og forbrugerfyring

Pakke 1 dækker optændingsmetoden, graden af lufttilførsel samt enkelte forbrugerfyringer. Miljøstyrelsen anbefaler¹ forbrugeren at tænde sin brændeovn op i toppen af brændslet, hvorefter ilden breder sig nedad. Undersøgelsen her omhandler, hvordan en optænding i toppen kontra optænding fra bunden adskiller sig på de udledte emissioner. Opbygningen af en optænding kan variere meget hos slutbrugeren. I disse målinger er der valgt at benytte en fastsat opbygning for alle de benyttede optændinger, så måleresultaterne viser det tætteste mulige sammenligningsgrundlag. Var der i stedet benyttet udelukkende store stykker træ til optændingen, ville der være en risiko for, at bålet ikke kom i gang og målingerne mislykkes. En optænding fra toppen betegnes i det efterfølgende som en Top-Down optænding (forkortet TD),

¹ <http://braendefyringsportalen.dk/borger/kampagner/rygestop-guide-for-braendeovne/>

mens en optænding fra bunden betegnes som en Bottom-Up optænding (forkortet BU). *Billede 6* illustrerer udformningen af de to optændingsmetoder.



BILLEDE 6

BILLEDE TV VISER TD OPTÆNDING MED SMÅ STYKKER TRÆ I TOPPEN, SOM VOKSER SIG STØRRE JO LÆNGERE NED MOD BUNDEN. TD OPTÆNDING ANTÆNDES MED SPÅNER I TOPPEN AF BUNKEN.

TH VISER BU OPTÆNDING MED SMÅ STYKKER TRÆ I BUNDEN, SOM VOKSER SIG STØRRE JO HØJERE OP. BU OPTÆNDINGEN ANTÆNDES MED SPÅNER I BUNDEN AF BUNKEN.

Til de målte optændinger er der hverken brugt optændingsbriketter eller sprittabletter til at få gang i bålet, men udelukkende småspåner af rent træ hugget med økse og tændt med lighter. Samtlige måledage er benyttet, hvorfor der er flere målinger end de fire nedenstående scenarier. Derudover er der målt optænding på alle fire ovne. De øvrige målinger i målepakke 1 er udelukkende målt på Ovn 1.

Miljøstyrelsen anbefaler ligeledes, at bålet hellere bliver tilsat rigeligt med luft snarere end at mangle luft. For denne undersøgelse vil der blive sammenlignet på en ovn med lufttilsætning svarende til nominel output kontra den samme træmængde med al tilgængelig luftmængde. For målinger med manglende luft kan henvises til målingerne i pakke 3.

Herunder er beskrivelsen af pakkens aftalte omfang:

- Top-Down optænding efterfulgt af tre målinger med normalt tørt brænde og med spjældet i en stilling der modsvarer nominel ydelse (erfaringsmæssigt (Ovn 1).
- Bottom-Up optænding efterfulgt af tre målinger med normalt tørt brænde og med spjældet 100% åben (Ovn 1).
- Top-Down optænding efterfulgt af én måling med normalt tørt brænde og med spjældet i en stilling der modsvarer nominel ydelse, udført af en person uden særlige forudsætninger.
- Bottom-Up optænding efterfulgt af én måling med normalt tørt brænde og med spjældet i en stilling der modsvarer nominel ydelse, udført af en person uden særlige forudsætninger.

3.5.2 Pakke 2: Brændslets fugtindhold

Pakke 2 dækker betydningen af brændslets fugtindhold for de udledte emissioner. For at undersøge betydningen opdeles brændslets fugtighedsinterval til i tre kategorier.

- 1- Tørt brænde, der er 6-12% tørt, svarende til længere tids opbevaring inden døre.
- 2- Normalt tørt brænde, der er 12-22% tørt, svarende til udendørs opbevaring under halvtag.
- 3- Vådt brænde, der har fugtindhold højere end 22%, svarende til brænde der er relativt frisk fældet og kun oplaget i kortere tid, eller brænde der har været opbevaret længe, svarende under ugunstige forhold. I det omfang det er muligt, går vi efter brænde der ligger i omegnen af 25-30% fugtindhold, som er noget af det vådeste man overhovedet kan få til at brænde.

Herunder er beskrivelsen af pakkens aftalte omfang:

- Top-Down optænding efterfulgt af tre målinger med brænde af stigende fugtighedsgrad, tørt, normalt tørt og vådt (Ovn 1).
- Top-Down optænding efterfulgt af tre målinger med brænde af stigende fugtighedsgrad, tørt, normalt tørt og vådt (Ovn 2).
- Top-Down optænding efterfulgt af tre målinger med brænde af stigende fugtighedsgrad, tørt, normalt tørt og vådt (Ovn 3).
- Bottom-Up optænding efterfulgt af tre målinger med vådt brænde (Ovn 2).

3.5.3 Pakke 3: Effekten af at overfylde brændkammeret og reducere lufttilførslen

Pakke 3 dækker endnu et råd, som Miljøstyrelsen anbefaler ikke at benytte som forbruger, nemlig at overfylde brændkammeret og reducere lufttilførslen, som er en variant af at anvende for lidt luft til forbrændingen. Situationen benyttes ofte om aftenen eller natten hos slutbrugeren for opnå, at ovnen afgiver varme til rummet i længere tid og måske endda kan indeholde varme gløder til næste morgen. Problemet med denne handling er, at brændkammeret og lufttilførslen ikke er designet til at kunne håndtere den store gas- og partikel-udledning herfra. Situationen er undersøgt på Ovn 2 og Ovn 3 med en træmængde svarende til to til tre gange den anbefalede træmængde, hvorefter lufttilførslen er nedjusteret til "lavlast". Der er målt på en periode på ca. tre timer med almindeligt træ. Desuden er der yderligere sammenlignet med én fyring med LongLife Briketter (briket Type 3), som dermed markedsføres til at have lang brændtid. Der er ved disse briketter målt på en periode på ca. fem timer.

Herunder er beskrivelsen af pakkens aftalte omfang:

- Top-Down optænding efterfulgt af én fyring med normalt tørt træ og med spjældet i stilling nominel ydelse. Derefter overfyldes brændkammeret og spjældet skrues ned til lavlast (Ovn 2).
- Bottom-Up optænding efterfulgt af én fyring med normalt tørt træ og med spjældet i stilling nominel ydelse. Derefter overfyldes brændkammeret og spjældet skrues ned til lavlast (Ovn 3).

3.5.4 Pakke 4: Måling af Dioxin og PAH

Pakke 4 indeholder målinger af PAH og dioxin på almindeligt træ op imod klorholdigt brændsel på den samme ovn (Ovn 1). Derudover er der målt PAH og dioxin på en state-of-the-art ovn (Ovn 4) med almindeligt træ for at påvise teknologiens evne til at brænde PAH og dioxin af. Der er på hver måling målt over en hel dag, som indeholder én optænding og tre efterfølgende fyringer. Udledningen er derfor et snit over hele dagen.

Herunder er beskrivelsen af pakkens aftalte omfang:

- Top-Down optænding efterfulgt af tre fyringer med normalt tørt træ (Ovn 1).
- Top-Down optænding efterfulgt af tre fyringer med normalt tørt træ, der er forurenede med klorholdige stoffer (Ovn 1).
- Top-Down optænding efterfulgt af tre fyringer med normalt tørt brænde (Ovn 4).

3.5.5 Pakke 5: Fyring med briketter

Pakke 5 indeholder briketternes betydning for emissionerne på to forskellige ovne (Ovn 1 og Ovn 3) og på tre forskellige typer briketter sammenlignet med almindeligt træ som brændsel.

Herunder er beskrivelsen af pakkens aftalte omfang:

- Top-Down optænding efterfulgt af én fyring med normalt tørt brænde og herefter to fyringer med briketter (Ovn 1).
- Bottom-Up optænding efterfulgt af én fyring med normalt tørt brænde og herefter to fyringer med anden type briketter (Ovn 1).

- Top-Down optænding efterfulgt af én fyring med normalt tørt brænde og herefter to fyringer med briketter (Ovn 3).
- Bottom-Up optænding efterfulgt af én fyring med normalt tørt brænde og herefter én fyring med dobbelt mængde briketter (Ovn3).

3.5.6 Pakke 6: Måling af Black Carbon (EC og OC)

Pakke 6 indeholder målinger af Black Carbon fra brændeovne – målt og afrapporteret som Elemental Carbon (EC). Den benyttede filteranalyse til at fremskaffe de ønskede EC-værdier (og OC-værdier) kræver måling af partikler afsat på quartz-filtre. Sideløbende af der målt PM afsat på glasfiber-filtre. De to benyttede analysemetoder bruges til at få overblik over ovnenes udledning af dels PM, EC og OC.

Herunder er beskrivelsen af pakkens aftalte omfang:

- Top-Down optænding efterfulgt af to fyringer med normalt tørt brænde og ved nominel ydelse (Ovn 1).
- Top-Down optænding efterfulgt af to fyringer med briketter og ved nominel ydelse (Ovn 2).
- Top-Down optænding efterfulgt af to fyringer med normalt tørt brænde og ved nominel ydelse (Ovn 3).
- Bottom-Up optænding efterfulgt af to fyringer med vådt brænde og spjældet 100% åbent (Ovn 3).
- Top-Down optænding efterfulgt af to fyringer med normalt tørt brænde og ved nominel ydelse (Ovn 4).

3.6 DCE emissionsfaktorer

De oplyste DCE emissionsfaktorer anno 2015 er som følger for de undersøgte parametre i Tabel 3. Ovnene benyttet til målingerne var alle fire ovne svanemærkede på tidspunktet for markedsintroduktion, men er alle på nuværende tidspunkt trådt ud af eller på vej ud af Svane-mærkeordningen.

Emissions-faktor	OGC (CH ₄ + NmVOC)	CO	NOx	TSP/ PM	BC	PCDD/F	Benzo (a)	Benzo (b)	Benzo (k)	Indeno
Enhed	g/GJ	g/GJ	g/GJ	g/GJ	g/GJ	ng I- TEQ/GJ	mg/GJ	mg/GJ	mg/GJ	mg/GJ
Eco label- led stove (-2015)	177	1117	95	222	58	100	10	16	5	4

Der benyttes for tiden i alt 8 grupper, som brændeovnene på landsplan inddeles i:

Old stove, New stove, Modern stove (2008-2015), Modern stove (2015-2017), Modern stove (2017-), Eco labelled stove (-2015), Eco labelled stove (2015-) og Other stove.

TABEL 3

OPLYSTE EMISSIONSFATORER FRA DCE FOR DEN BENYTTETE GRUPPE (2015 VÆRDIER). DE MÅLTE EMISSIONER FOR OGC, CO, NOX, PM OG BC AFRAPPORTERES I MG/MJ, HVILKET TILSVARER EMISSIONSFAKTOR-ENHEDEN G/GJ.

4. Målekampagnen - Resultater

Målingerne foretaget i denne kampagne dækker over de ønskede fyringsteknikker MST har efterspurgt i opgaven beskrevet tidligere i *afsnit 3.5*. Resultaterne er pakkevis beskrevet her under.

4.1 Fælles forklaring på figurer

Til hver målepakke er der afbilledet en række figurer. Figurene indeholder et udsnit af de målte data. På *Bilag 1* er der tabeller for hver af figurene med alle måledata samlet. For overblikkets skyld fremhæver figurene neden for kun de målte organic gaseous compounds, OGC [mgC/MJ] og partikelemissionen, PM [mg/MJ]. For øvrig data henvises til bilagene. Dataene er for de målte emissioner omregnet til [mg/MJ] for at kunne sammenligne direkte med emissionsfaktorerne i enheden [g/GJ]. Ved enkelte målepakker er alle emissionerne medtaget - både OGC, PM, NOx og CO på en samlet procentvis indeksskala [%].

Forudsætningerne for hver gruppe er oplyst under hver søjlegruppe og afbilledet som gruppens middelværdi ud fra det antal fyringer, det bygger på (det enkelte tal under hver gruppe søjle). Tallet under søjlerne giver dermed en indikation om, hvor stort fyringsgrundlaget (og dermed usikkerheden) er for middelværdien. Eksempler på grupperinger kan enten være fyringer fra den enkelte ovn (*Ovn 1-4*), træet fugtighed, type af brændsel mv.

4.2 Opsummeret Pakke 1 – Optændingsmetode, øget lufttilsætning og forbrugerfyring

Pakke 1 indeholder tre nedenstående grafer.

- 1) Effekten af optænding – *Figur 7*
- 2) Luftens betydning for forbrændingen – *Figur 8*
- 3) Forbrugerfyring – *Figur 9*

Optænding:

Figur 7 viser de to optændingsmetoder på tre forskellige ovne, hvor der er lavet begge typer optænding. Som det ses på søjlerne, er der ikke et klart mønster om den ene optændingsmetode er bedre end den anden på alle emissionsparametre. Her synes *Ovn 1* at have næsten identiske emissioner, hvad enten der er tale om BU eller TD. Anderledes ser det ud for *Ovn 2*, som reducerer PM emissionen med ca. 40%, OGC-emissionen med ca. 79% og CO-emissionen med ca. 55% ved at lave en TD optænding i stedet for en BU. *Ovn 3* leverer ligeledes lavere emissioner ved TD frem for BU. Her er tallene for PM-emissionen reduceret 75%, OGC-emissionen reduceret med 34% og næsten identisk CO-emission.

Midlet set over de målte ovne giver en TD kontra BU optænding en reduktion på PM-emissionen på ca. 23% (dog en spredning fra 0-75%), på CO emission 12%, på OGC-emission 31%. NOx-emissionen stiger til gengæld 14% ved TD-optænding.

Dermed kan man ikke nødvendigvis konkludere, at alle ovne performer bedst ved en TD optænding, da det er ovn-specifikt, og dermed kommer an på ovnens design og lufttilførsel. For to ud af de tre testede ovne, hvor begge optændingsmetoder er undersøgt er der dog en tendens til lavere emissioner ved TD optænding frem for BU optænding.

Luftens betydning:

Figur 8 viser, hvad den øgede luftmængde betyder for forbrændingen. Ovn 1 er både udstyret med primær-, sekundær- og tertiærlufttilførsel. Her er der ved alle målinger udført fyringer med den anbefalede træmængde. For de tre nominelle fyringer er lufttilførslen skruet ned efter påfyring svarende til tilnærmelsesvis nominel fyring, hvorimod der ved high output er tilført 100% luft – på både primær-, sekundær- og tertiærlufttilførsel for hele forbrændingscyklussen. For denne ovn stiger CO, OGC og PM hhv. 139%, 152% og 33%. NO_x-emissionen falder en anelse.

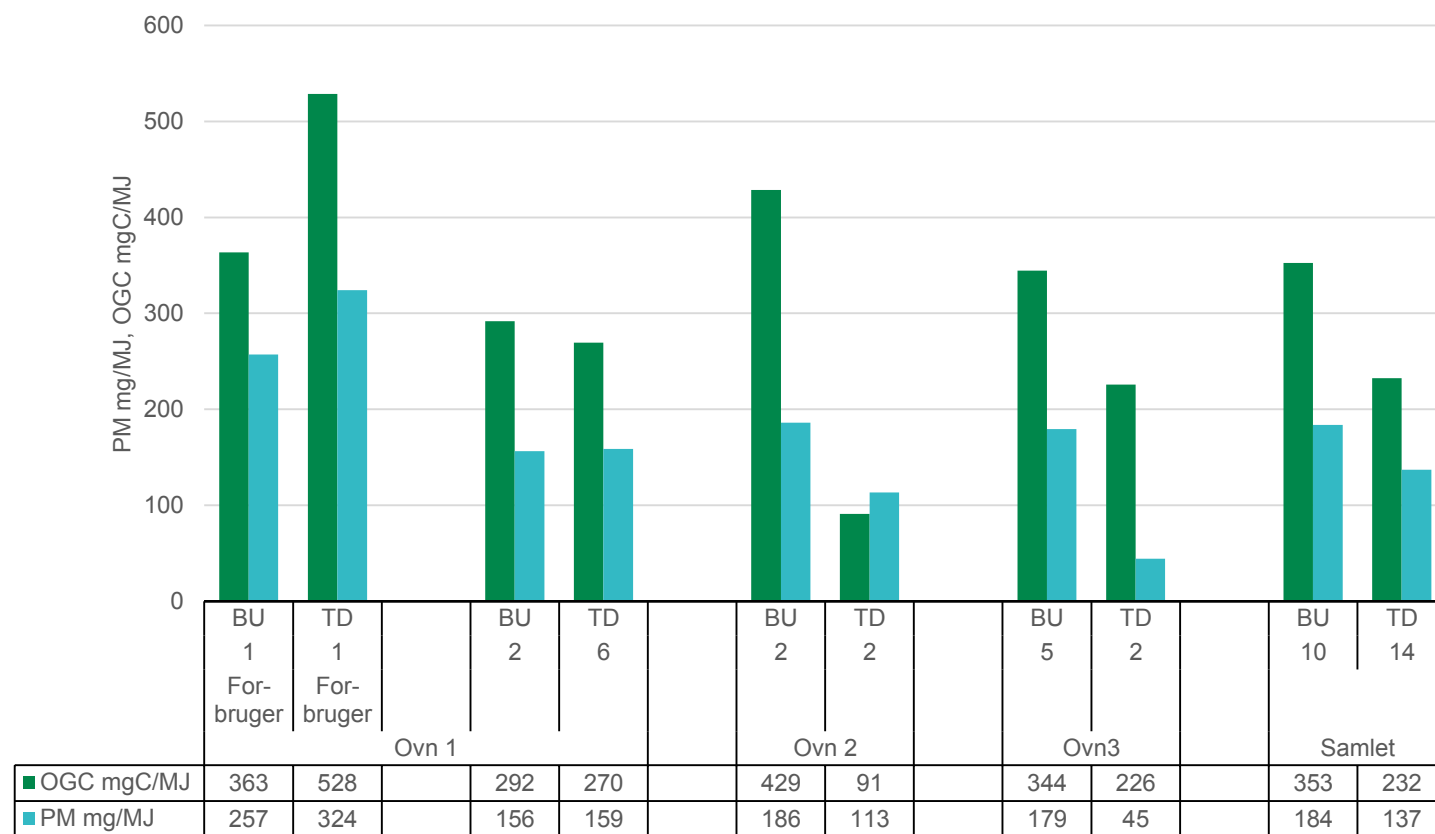
Dermed er det ikke altid en fordel at åbne helt op for luften – for ovne svarende til Ovn 1, da bålet også kan blive for varmt og afgangningen så voldsom, at bålet kommer til at mangle ilt. Dette ses typisk for ovne med primærlufttilsætning. Teknologisk Instituts generelle erfaring er dog, at andre ovne med et andet luftsystem (uden primær lufttilsætning) kan vise det stik modsatte resultat.

Forbrugerfyring:

Figur 9 viser forbrugerfyringen – dels i en optændingssituation, dels i en nominel "almindelig" fyringssituation. Forbrugerens forudsætninger for fyringen var, at han så ovnen og fik at vide, at han den ene dag skulle lave en optænding fra toppen og en efterfølgende påfyring. Næste dag skulle han tænde igen, men denne gang fra bunden og igen en efterfølgende fyring. Han fik en kort introduktion til, hvilke håndtag der hørte til hvilken lufttilførsel, men det var også de informationer han fik. Dermed skulle han selv bestemme en passende luft- og træmængde og påfyringstidspunkt (på en for ham ukendt ovn). Den pågældende forbruger har selv en ældre brændeovn derhjemme uden glaslåge.

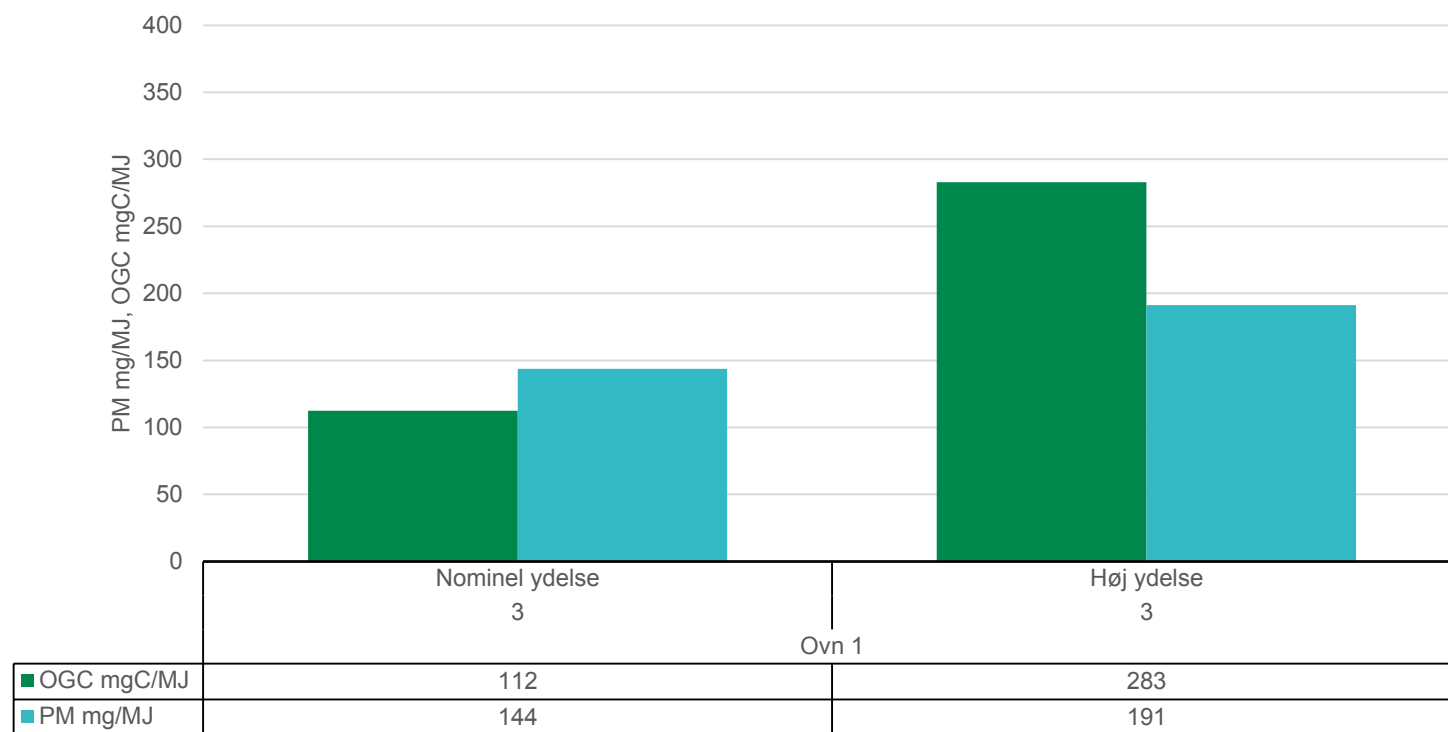
De to optændinger viser, at BU er bedre end hans egen TD, men afleverer højere værdier end ved optænding efter vejledningen. Grunden til at forbrugerens BU er bedre end hans TD kan hænge sammen med, at TD optændingen var den første optænding, hvilket kan have givet ham et mindre erfaringsgrundlag til den næste BU-optænding. Betragtes de to efterfølgende "nominelle" fyringer kontra de tre fyringer efter vejledningen, da ligger PM-emissionen ikke langt fra hinanden. Dog ligger OGC og CO-emissionen et godt stykke fra hinanden.

PAKKE 1: TopDown vs. BottomUp optændingsmetode



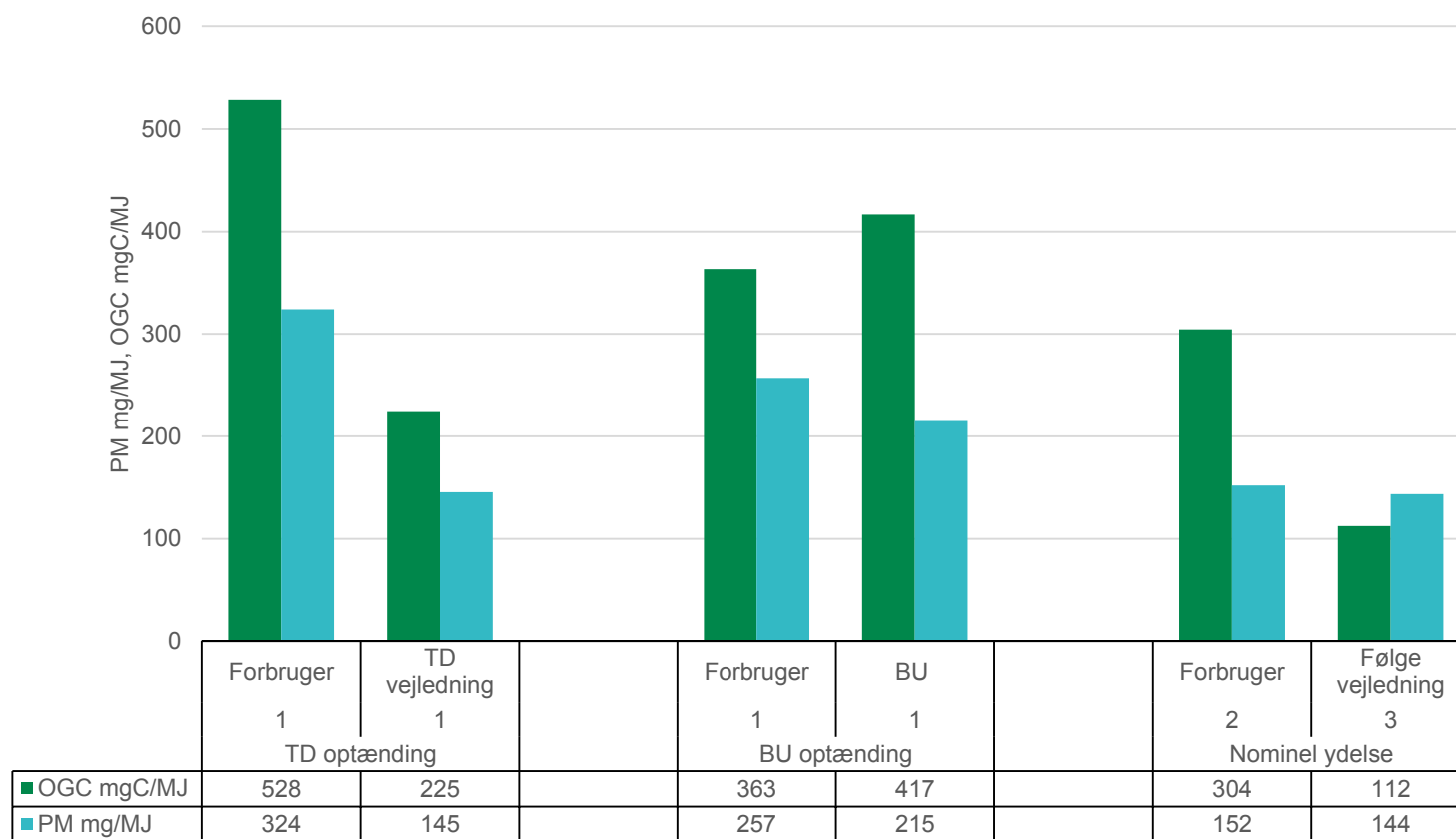
FIGUR 7
OPTÆNDINGSMETODERNE TOPDOWN (TD) VS. BOTTOM-UP (BU) PÅ TRE OVNENE. DESUDEN ER DER LAVET ET SAMLET OVERBLIK FOR ALLE OVNENE UNDERSØGT FOR DE TO OPTÆNDINGSMETODER. I DE SAMLEDE DATA INDGÅR OGSÅ 3 TD OPTÆNDINGER FRA OVN 4.

PAKKE 1: Luftens betydning for forbrændingen (nominel output vs. high output)



FIGUR 8
LUFTENS BETYDNING PÅ OVN 1 FRA NOMINEL LUFTINDSTILLING KONTRA 100% LUFT MED SAMME BRÆNDELSMÆNGDE.

PAKKE 1: Forbrugerindflydelse /-sammenligning på Ovn 1



FIGUR 9
FORBRUGERFYRINGER VED FORSKELLIGE SITUATIONER – ALLE FYRINGER ER FORETAGET PÅ OVN 1.

4.3 Opsummeret Pakke 2 – betydning af brændets fugtindhold

Pakke 2 indeholder tre nedenstående grafer.

- 1) Betydning af brændets fugtighed delt op i kategorier – *Figur 11*
- 2) Betydningen af brændslets stigende fugtighed for den enkelte ovn – *Figur 12*
- 3) Brændslets fugtighed på indeks-skala – *Figur 13*

Der er på hver ovn kørt en optænding og derefter tre fyringer med stigende fugtighed i brændslet. Derudover har Ovn 2 kørt tre fyringer med rent vådt træ, hvorfor der er flere fyringer på denne ovn. *Figur 11* og *Figur 12* viser de samme tal, men delt op forskelligt. På *Figur 11* deles fugten op i de tre fugtkategorier. På *Figur 12* vises den enkelte ovns evne til at håndtere den stigende fugt på dagen.

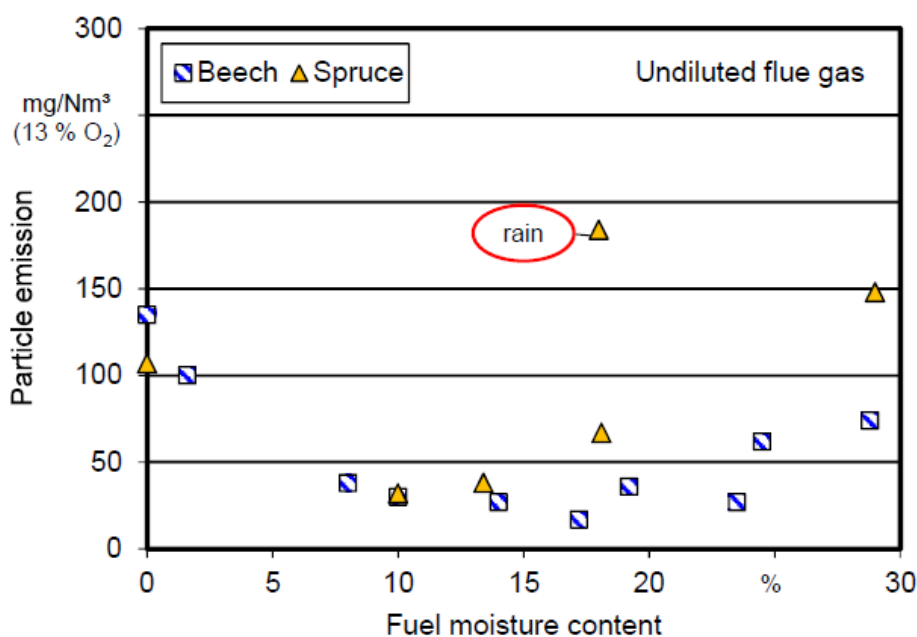
Generelt set viser målingerne, at nogle ovne håndterer fugtigheden bedre end andre. Ovn 1 og Ovn 2 performer på nogenlunde samme niveau – dog bedst ved normalt tørt træ. Ovn 3 og Ovn 4 performer markant dårligere på gasserne OGC og CO med det våde træ. Samtidig viser figurerne også, at målinger med normalt tørt træ for Ovn 3 er temmelig høj for denne ene firing og kan give et misvisende billede af Ovn 3's forbrændingsegenskaber ved normalt tørt træ.

Ovnenes gennemsnit opsummeres på *Figur 13*, hvor tallene er sat op i forhold til normalt tørt træ, som er et udtryk for indeks 100%. Der afleveres igen lidt blandede tal, da CO og OGC-emissionerne begge er højere ved både tørt og vådt træ, mens PM og NOx-emissionerne begge er lavere. Specielt på PM slår den enkelte firing ud på Ovn 3, hvorfor snittet på normalt tørt træ er højere end ved vådt træ. Uden denne firing er snittet 185mg/MJ, hvilket ændrer forholdet i figuren. Dog er målingen ikke fravalgt, da alle fyringer er medtaget, hvilket også er et bevis for, at en ovn kan præstere forskellige fra dag til dag afhængig af forudsætninger den enkelte firing har. Spredningen er fra 75-798mg/MJ for PM for hhv. tørt og vådt træ, hvilket svarer til en faktor x10.

4.3.1 Ekstra tørt brænde

Indeværende målekampagne indeholder ikke målinger på ekstraordinært tørt brænde (under 5%). Hvis træ til industriformål er ovntørret tilstrækkeligt længe, kan man godt komme ned på under 5% fugtindhold. Hvis sådan noget træ afbrændes i en brændeovn eller en kedel, bliver forbrændingskvaliteten erfaringsmæssigt dårlig, bl.a. dannes en del sod. Emnet har været belyst i flere udenlandske undersøgelser, blandt andet i en rapport fra Technologie und Förderzentrum i Tyskland, TFZ Report no. 36 (Hartmann & Schön), hvorfra følgende illustration, *Figur 10*, er lånt. Figuren viser partikelemission som funktion af brændets fugtindhold fra 0-30%, for henholdsvis bøg og gran.

Det ses tydeligt, at som fugtigindholdet bevæger sig under 5%, så stiger PM emissionen til niveauer på 3-4 gange det typiske ved normalt tørt træ. I den modsatte ende af skalaen ses ligeledes forhøjede PM emissioner, når fugtigindholdet bevæger sig over 25%, og understøtter hermed tendensen i de resultater der er fundet i indeværende undersøgelse. Det er værd at bemærke sig at undersøgelsen er udført på én enkelt ovn, en stor robust 8 kW brændeovn.



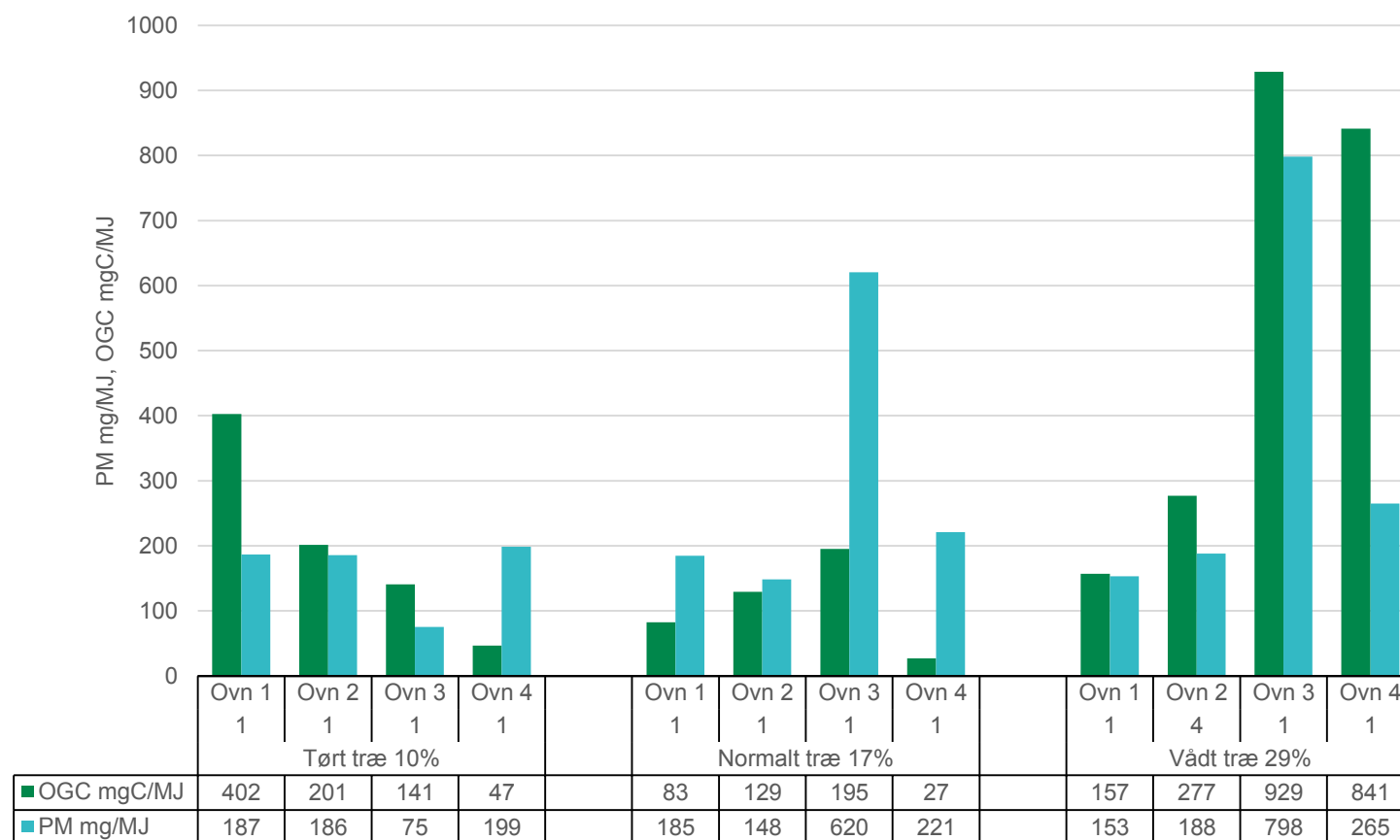
FIGUR 10

FIGUREN ER FRA RAPPORTEN "TEKNOLOGIE UND FÖRDERZENTRUM", TFZ REPORT NO 36 (HARTMANN & SCHÖN) OG VISER PARTIKELEMISSIONEN OG BRÆNDSLETS FUGTIGHED PÅ DEN SAMME OVN FOR TO TRÆSORTER.

Tidligere var det ret almindeligt at ansatte på træindustrivirksomheder kunne få leveret udskæringer, der var kasseret pga. knaster eller anden kvalitetsbrist. Der kunne godt være tale om betydelige mængder fra eksempelvis møbelfabrikker, vinduesfabrikker og fabrikation af gulvbrædder. Træet, der i vekslende omfang kunne være forurenet med lim, lak eller imprægneringsmiddel og altid ovntørret, endte gerne i private brændefyr. Men de seneste 10-15 år, efter at træpilleproduktion er blevet en indbringende forretning, er fabrikkerne holdt med at forære affaldstræet væk. Der kan også være indført miljøstyring eller koncernpolitikker, der udelukker udlevering af behandlet træ.

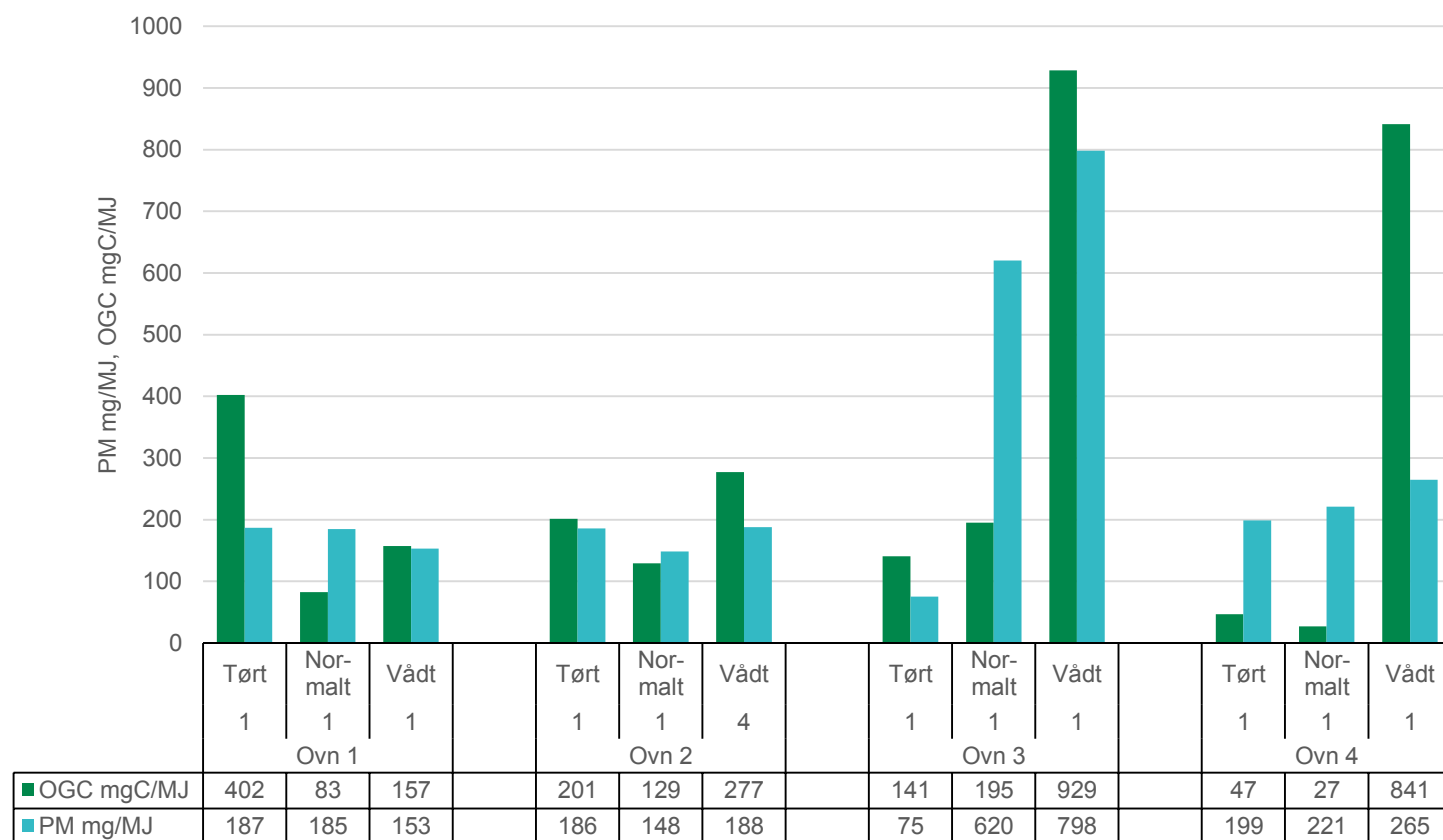
Ved oparbejdning af skovtræ og selv ved køb af brændetårne, der ellers anpriseres som værende ovntørrede, er der ingen risiko for at fugtindholdet kommer så langt ned, at det bliver kritisk. Man skal naturligvis være bevidst om problematikken med det ekstra tørre træ, der afbrændes i private brænde kedler eller brændeovne, men problemet vurderes ikke at være særligt udbredt. Der er langt større risiko for at forbrugerne forsøger at afbrænde for vådt brænde.

PAKKE 2: Betydning af brændslets fugtighed delt op i tre fugtigheder



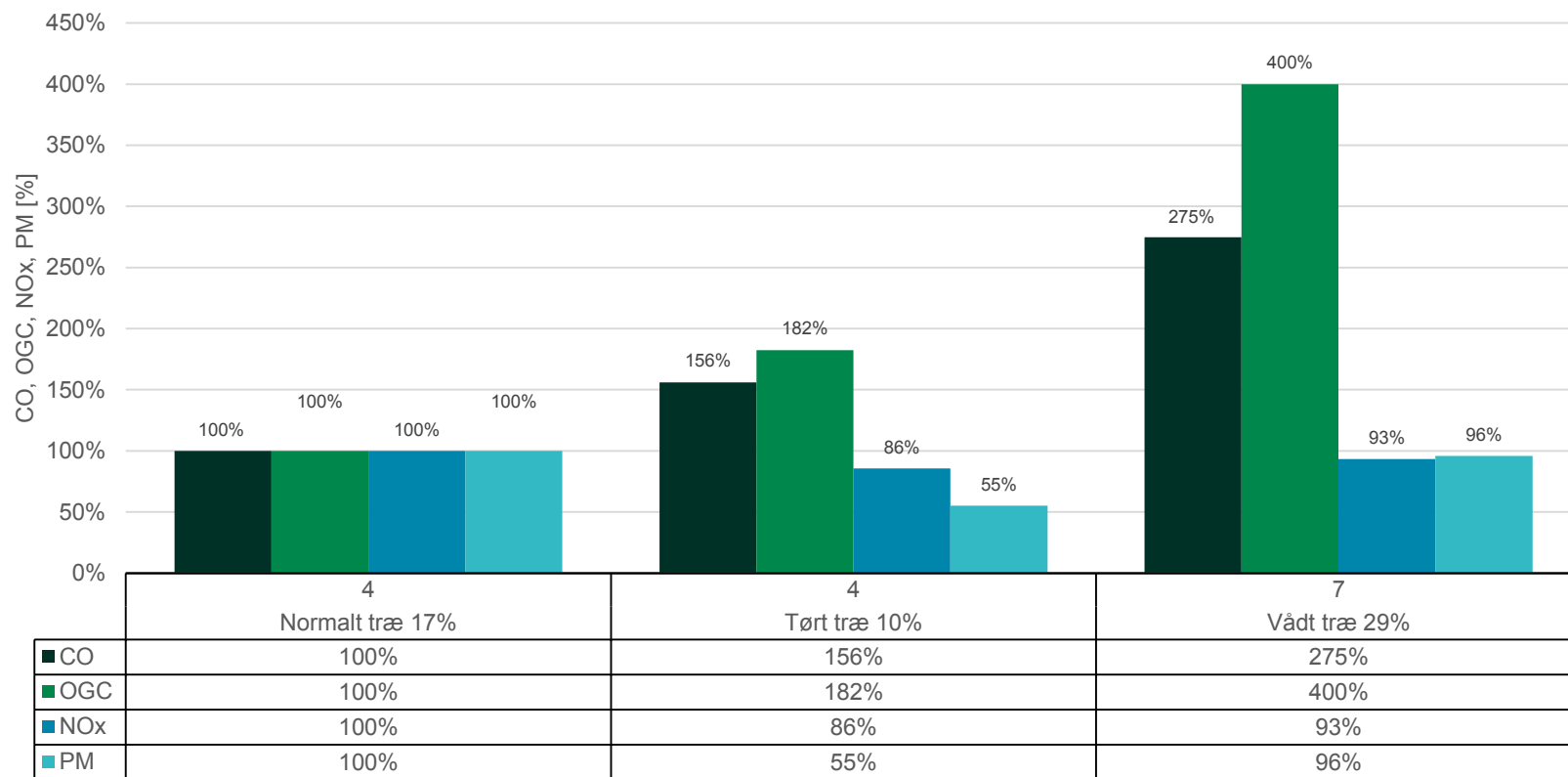
FIGUR 11
RESULTATER AF DE FIRE OVNES EVNE TIL AT HÅNDTERE BRÆNDSLETS FUGTIGHED DELT OP I DE TRE KATEGORIER

PAKKE 2: Betydning af brændslets stigende fugtighed på 4 ovne (tørt, normalt og fugtigt brændsel)



FIGUR 12
OVNENES EVNE TIL AT HÅNDTERE EN STIGENDE FUGTIGHEDSGRAD I LØBET AF DAGEN.

PAKKE 2: Betydning af brændslets fugtighed i forhold til normalt tørt træ (Normalt tørt træ = indeks 100%)



FIGUR 13

BRÆNDSLETS FUGTIGHED SAMMENLIGNET OP IMOD NORMALT TØRT TRÆ = INDEKS 100% FOR DE FIRE EMISSIONER CO, OGC, NOX OG PM. DATA INDEHOLDER FYRINGER FRA ALLE FIRE OVNE

4.4 Opsummering Pakke 3 - Effekten af at overfylde brændkammeret og reducere lufttilførslen

Pakke 3 indeholder 2 nedenstående grafer.

- 1) Effekten af overfylde brændkammeret og reducere lufttilførsel - ovnspecifikt – *Figur 14*
- 2) Den samme effekt sammenlignet med den anbefalede træmængde på en indeksskala – *Figur 15*

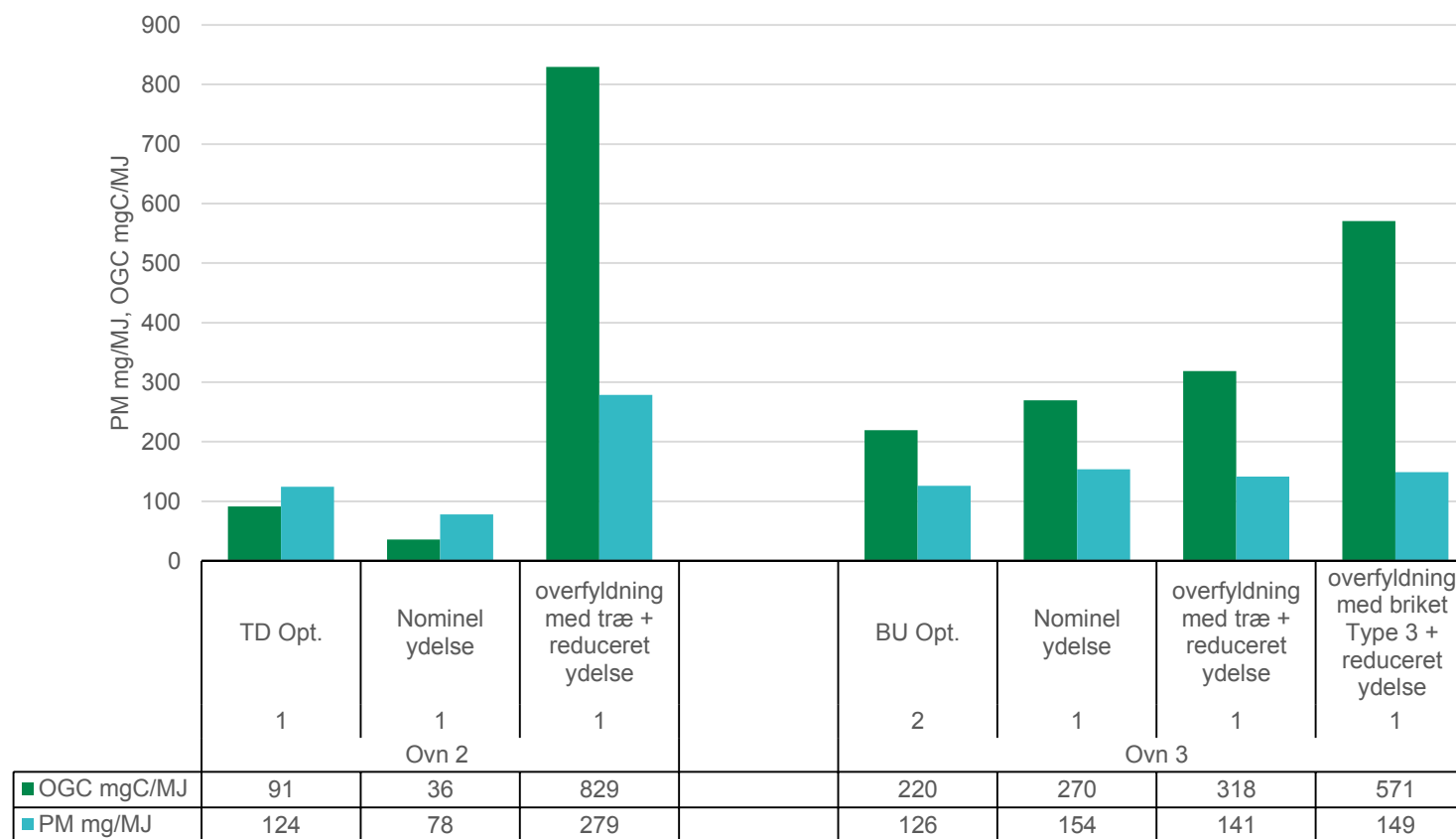
På *Figur 14* er effekten ved at overfylde brændkammeret og reducere lufttilførslen undersøgt på *Ovn 2* og *3*. Der er startet med en optænding, dernæst en almindelig nominel fyring med anbefalet træmængde, og til slut en fyring med to til tre gange den anbefalede træmængde med reduceret lufttilførsel (luftmængde skruet ned til mellem 16-25% åben på sekundærluften, primær 0% åben).

Ovn 2 performer utrolig godt på den nominelle fyring, hvor både CO, OGC og PM er et godt stykke under både emissionsfaktorer og de danske krav. Ved overfyldningen og nedjusteringen performer den et godt stykke over emissionsfaktoren for OGC, og en faktor x23 højere end ved nominel fyring. For PM er der en faktor x3,5 større udledning end ved den nominelle fyringssituation. NO_x er noget lavere i målingerne, fordi røggastemperaturen gennemsnitligt er meget lav over hele fyringen pga. den store træmængde og manglende luft til bålet. For *Ovn 3* er forskellen ikke så markant som for *Ovn 2*. Der tegner sig samme billede for CO og OGC-emissionerne, at disse er højere end ved fyring med den anbefalede træmængde. Dog viser PM-emissionen for *Ovn 3* sig overraskende nok at være tilnærmelsesvis ens ved de to situationer.

Ydermere er samme situation også forsøgt illustreret med briket *Type 3 – LongLife* på *Ovn 3*. Briket *Type 3* er markedsført til at have ekstra lang brændtid. Denne fyring er foretaget over næsten fem timer, hvor PM-udledningen over hele perioden igen leverer tilnærmelsesvis samme niveau. Dog er både CO og OGC højere end fyringen med træ.

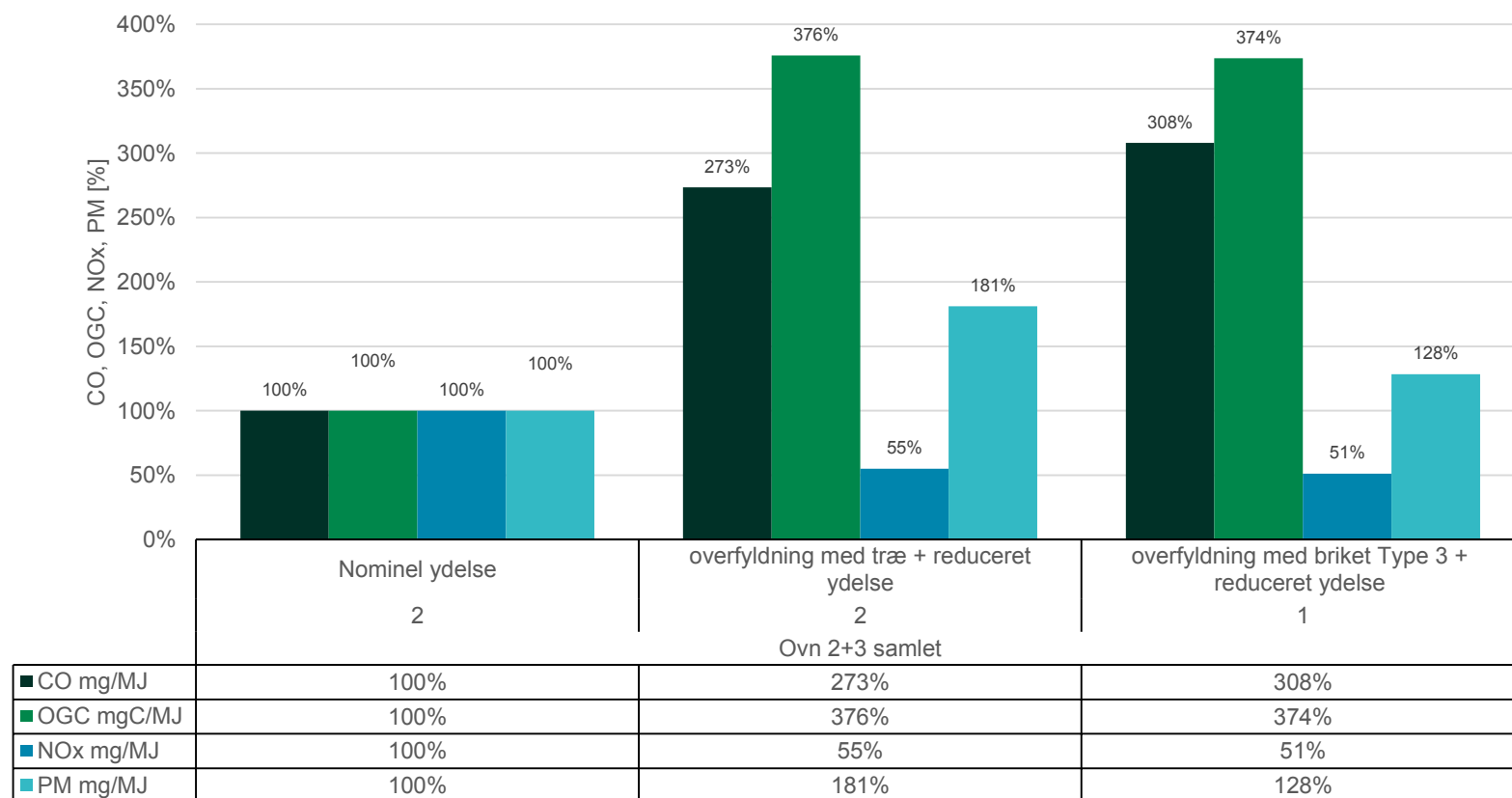
På *Figur 15* er data fra *Ovn 2* og *3* samlet, og der er sammenlignet ud fra den anbefalede træmængde. Til sammen viser det, at ovnene forurener betydeligt mere ved overfyldning og reduceret lufttilførsel, hvad enten der fyres med træ eller briketter af *Type 3*. For begge situationer viser målingerne at udledningen er størst på gasserne CO og OGC.

PAKKE 3: Effekten ved at overfylde brændkammeret og nedjustere lufttilførslen (Ovn 2 og Ovn 3 hver for sig)



FIGUR 14
EFFEKTEN AF OVERFYLDE BRÆNDKAMMERET OG NEDJUSTERE LUFTEN PÅ TO FORSKELLIGE OVNE MED TRÆ OG BRIKET TYPE 3.

PAKKE 3: Effekten ved at overfylde brændkammeret og reducere lufttilførslen i
fht. den anbefalede træmængde = indeks 100%



FIGUR 15

EFFEKTEN VED AT OVERFYLDE BRÆNDKAMMERET OG NEDJUSTERE LUFTEN SAMMENLIGNET MED DEN ANBEFALEDE TRÆMÆNGDE = INDEKS 100% FOR OVN 2 OG 3 SAMLET.

4.5 Opsummering Pakke 4 – Måling af dioxin og PAH

Pakke 4 indeholder tre nedenstående grafer.

- 1) Udledning af 16 PAH grupper for to ovne med forskellige brændsel *Figur 16*
- 2) Udledning af fire udvalgte PAH grupper for to ovne med forskellige brændsel – *Figur 17*
- 3) Samlet PAH- og dioxinudledning for to ovne med forskellige brændsel – *Figur 18*

Måleprogrammet var sammensat for at forsøge at identificere, om ovnen eller det anvendte brændsel havde størst indflydelse på emissionsniveauerne. Der blev i alt udført tre dioxin og PAH målinger. De er blevet udført tre på hinanden følgende dage, med samlet sampling over optænding og tre efterfølgende påfyringer. *Ovn 1* og *Ovn 4* var udvalgt for at efterprøve, om forbrændingsprincippet havde nogen indflydelse på emissionen af specielt dioxin. *Ovn 1* er en traditionel brændeovn med opadgående forbrænding. *Ovn 4* har omvendt forbrænding og er kendt for at opnå højere temperatur i forbrændingszonen.

Til målingerne på *Ovn 1* blev der ene dag benyttet normalt tørt birkebrænde med bark, og den anden dag samme type træ blot podet med en saltopløsning (NaCl) på ca. 1,5 gram pr stykke brænde á 600-650 gram. Det svarer til ca. x15 det normale klorindhold i birk på 60 mgCl/kg tørt træ (ref. Miljøprojekt nr. 249 *Emission af dioxiner fra pejse og brændeovne*). Saltpodningen tjente alene som parameter ved dioxinmålingerne, men har som forventet inden indflydelse på niveauerne af PAH emission (PAH og dioxin måles i parallel med samme type måleudstyr).

Til målingen på *Ovn 4* blev der benyttet normalt tørt birkebrænde med bark.

PAH-målinger:

PAH resultaterne vises i alle tre figurer nedenfor opdelt forskelligt. Først opsplittet i alle 16 PAH-grupper i *Figur 16*. *Figur 17* viser de fire bestanddele, der har tilknyttet emissionsfaktorer, og til sidst i *Figur 18* er alle grupperne aggregeret til samlet PAH. Der findes ikke én samlet PAH emissionsfaktor. I *Figur 18* ses betydelige forskelle i niveauerne af PAH emission for *Ovn 1* og *Ovn 4*. En del af niveauforskellen er forventelig, idet *Ovn 4* med omvendt forbrænding opnår næsten fuldstændig forbrænding. Polariseringen er ekstra iøjnefaldende på grund af driftsbetingelserne for *Ovn 1* under PAH målingen. Ingen af resultaterne kan siges at være repræsentative for moderne brændeovne, der betjenes i overensstemmelse med fabrikantens anvisninger. Der mangler så at sige nogle "middle of the road" målinger.

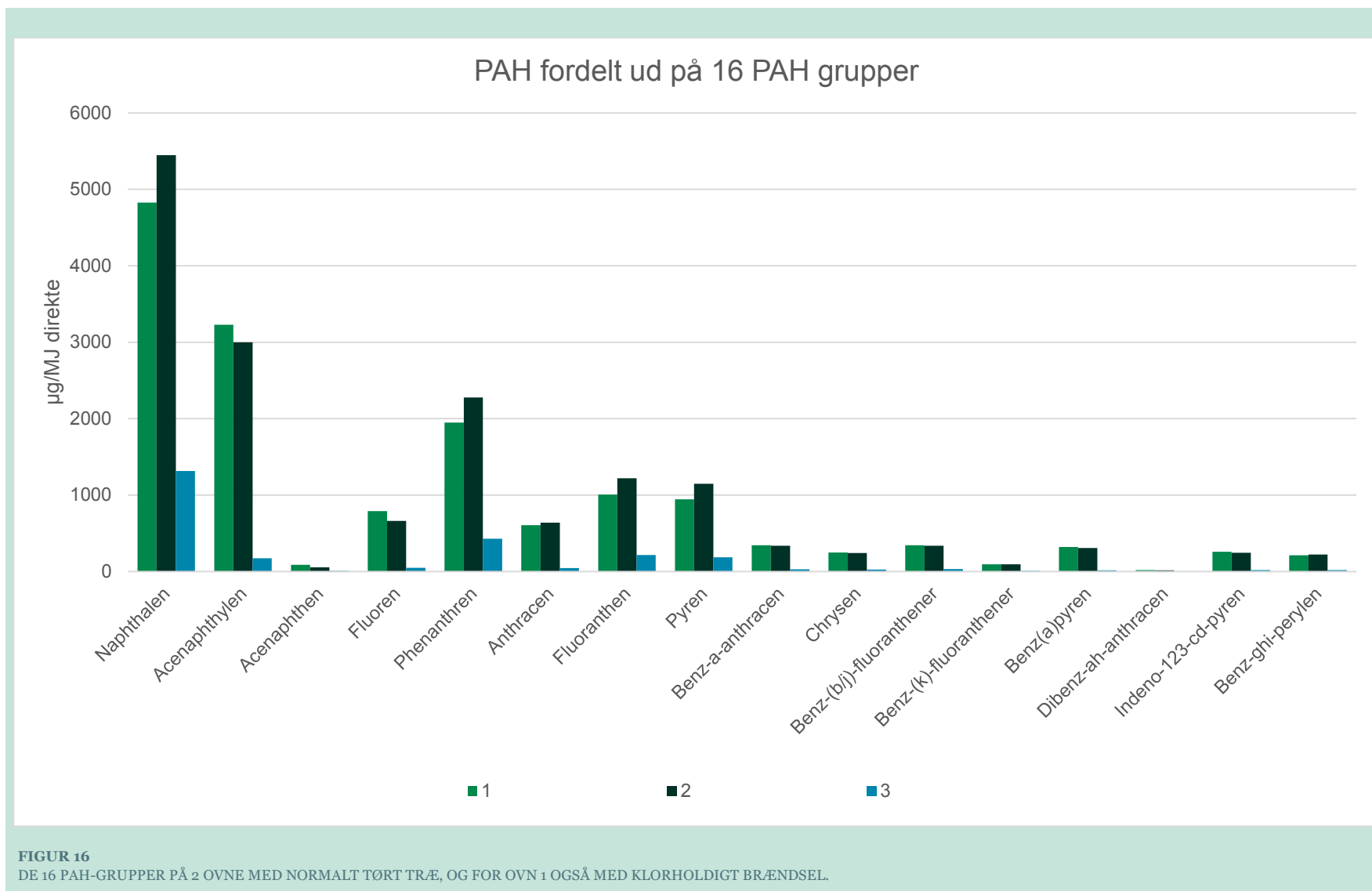
Når PAH opløses i de 4 bestanddele med tilknyttede grænseværdier, vist i *Figur 17*, ses der ingen forskel på, om brændet har været alm. birk eller saltpodet birk (som forventeligt – saltpodningen tjente alene som parameter ved dioxinmåling, men PAH og dioxin måles i parallel med samme glas-måleudstyr).

Ovn 4 udviser niveauer af PAH emissioner, der er indeholdt indenfor emissionsfaktorerne for de svanemærkede ovne. *Ovn 1* overholder delvis emissionsfaktorerne for de svanemærkede ovne, dog med overskridelse af *Benz (B)* og betydelig overskridelsen for *Benz (A)*.

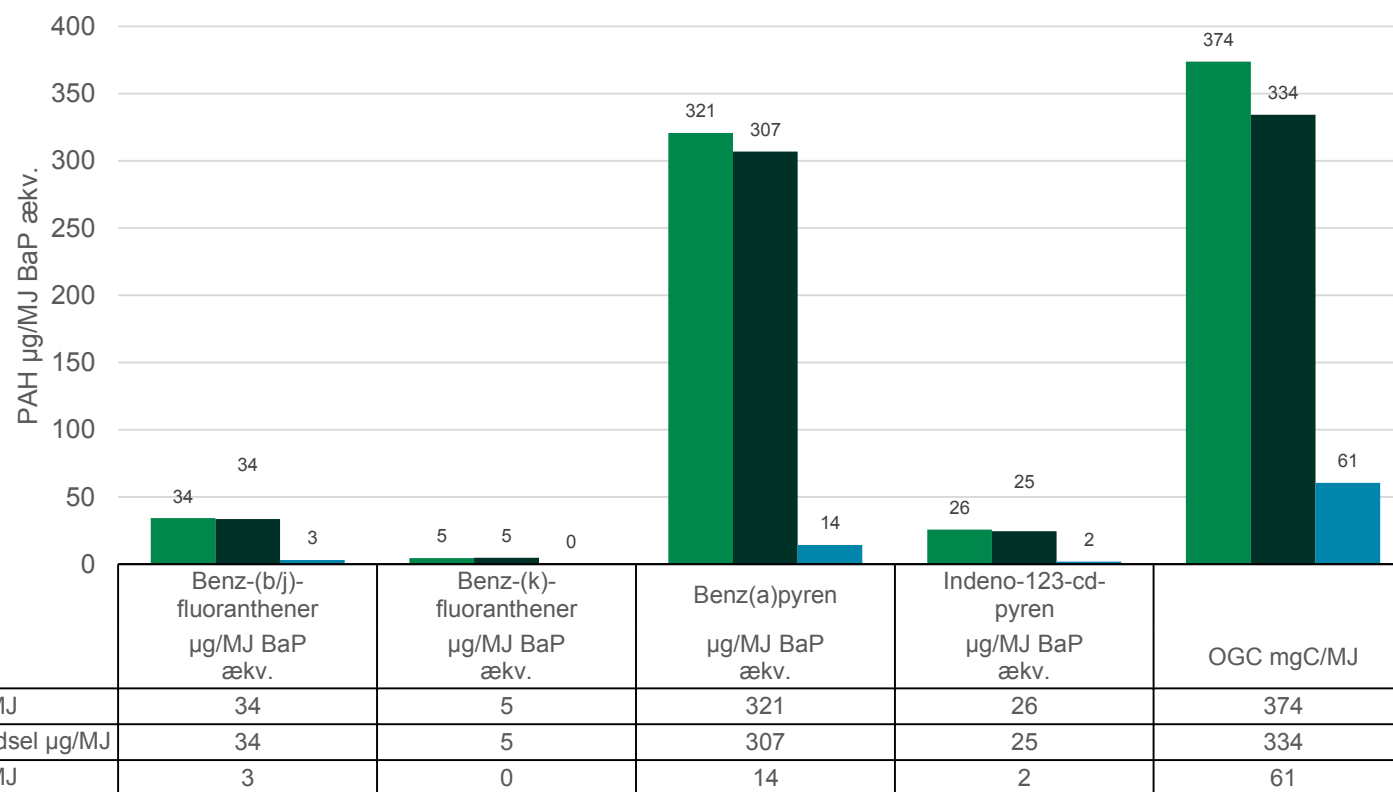
Dioxin målinger:

Som det fremgår af *Figur 18*, blev der målt omtrent ens niveauer af dioxinudledning for alm birkebrænde, hhv. 660 ng I-TEQ/GJ for *Ovn 1* og 730 ng I-TEQ/GJ for *Ovn 4*, hvilket for begge ovnes vedkommende er et godt stykke over de nyeste svanemærkede ovnes emissionsfaktor på 100 henholdsvis 250 ng I-TEQ/GJ, men på niveau med den nok mere realistiske emissionsfaktor for moderne ovne på 800 ng I-TEQ/GJ. For det saltpodede brændsel er dioxin-udledningen til gengæld markant større end for det ikke-podede brændsel. Se nærmere herom i *afsnit 5.8* og *7.6*.

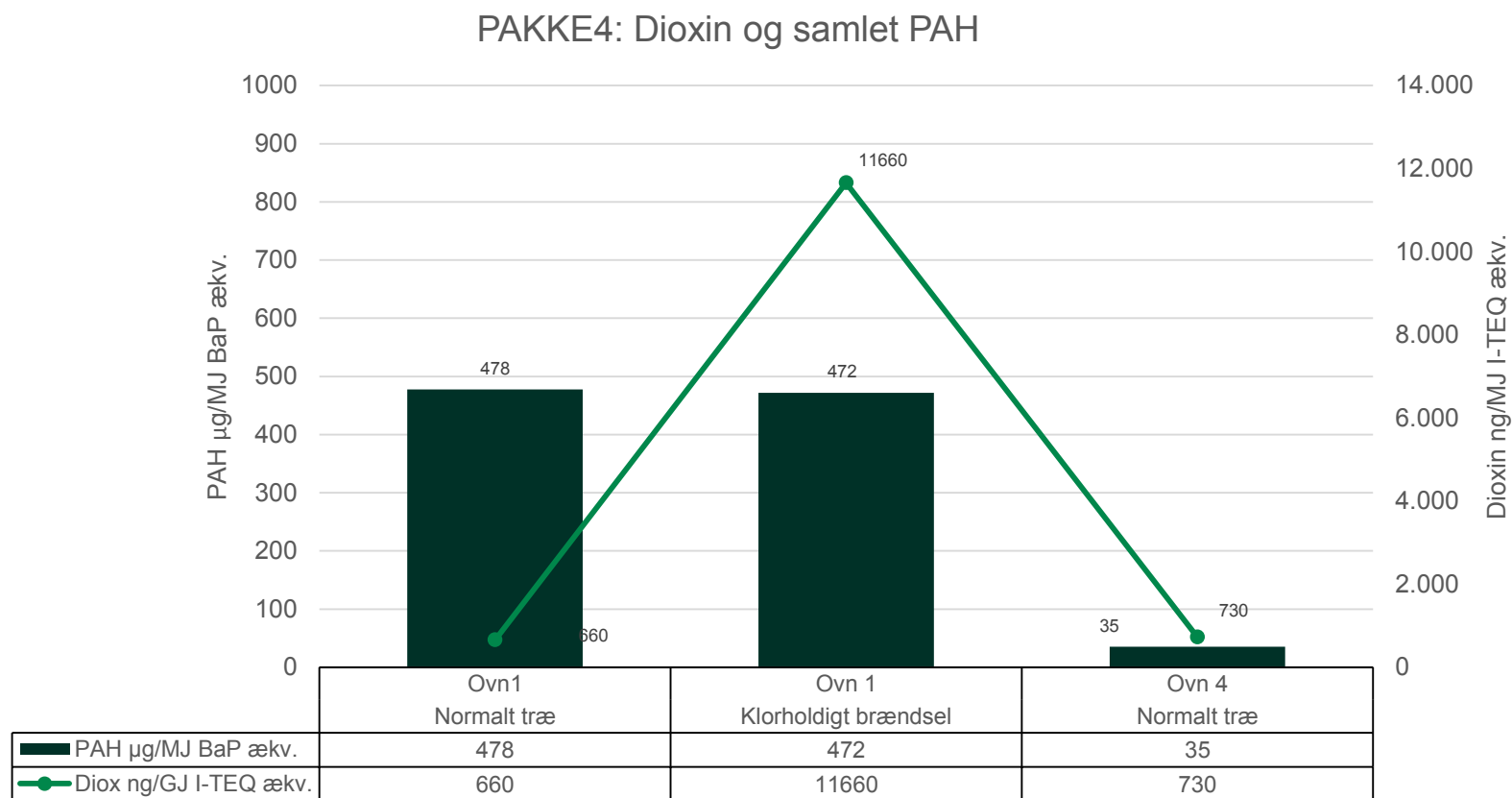
Summeret sammen antyder målingerne derfor, at brændslet afgør dioxin-niveauet, og ny teknologi ikke reducerer eller øger niveauet (i hvert fald ikke med de målte forbrændingstemperaturer). Derimod har brændslet ikke indflydelse på PAH, men til gengæld reducerer den nye teknologi PAH-niveauet markant hele vejen rundt.



PAKKE 4: Udvalgte PAH-grupper



FIGUR 17
DE FIRE UDVALGTE PAH-GRUPPER MED FASTSATTE EMISSIONSFAKTORER PÅ 2 OVNE MED FORSKELLIGE BRÆNDELSE.



FIGUR 18
DE SAMLEDE PAH'ER SAMT DIOXINMÅLINGER FOR 2 OVNE OG FORSKELLIGT BRÆNDESEL.

4.6 Opsummering Pakke 5 – Fyring med briketter

Pakke 5 indeholder én samlet graf.

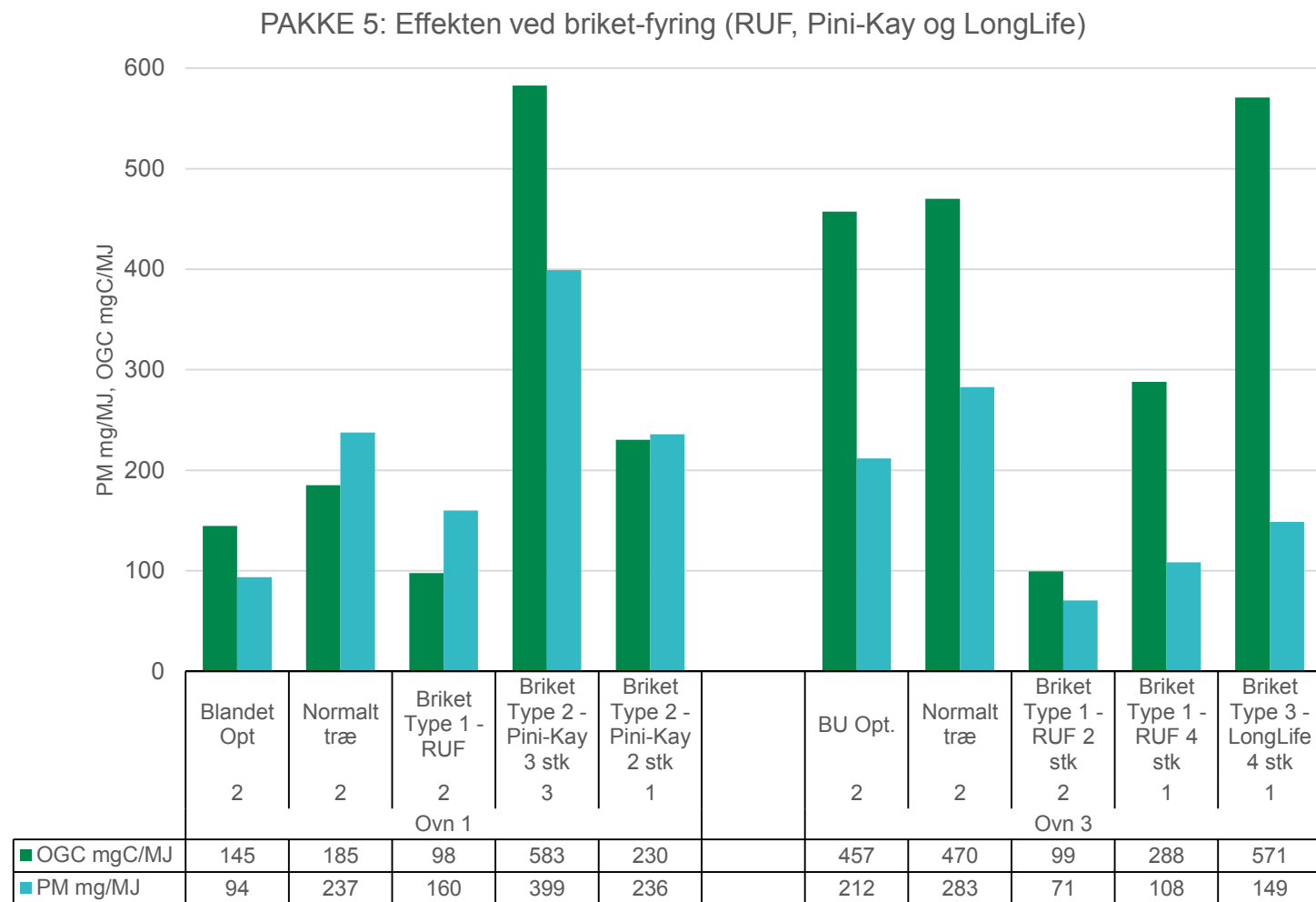
- 1) Effekten af briketfyring sammenlignet med normalt tørt træ – *Figur 19*

For fyring med briketter er der valgt at udføre fyringer på to ovne. Se evt. *afsnit 3.3* for billede af de tre typer. Den store forskel på de to ovne er, at *Ovn 1* har primær lufttilførsel op igennem gløderne, mens *Ovn 3* ikke har primærlufttilførsel og dermed kun sekundær- (rudeskyl) og tertiærlufttilførsel (huller i bagpladen).

Der er for overblikkets skyld medtaget to optændinger fra hver ovn. Efterfølgende er der fyret med normalt tørt brænde, efterfulgt af en briketfyring. Begge ovne håndterer briket *Type 1 – RUF* ganske fint. Briket *Type 1* leverer resultater langt under både emissionsfaktorer og de danske krav, hvis der fyres med to briketter af gangen. Der er udført en måling på *Ovn 3* med fire briketter af gangen med samme luftindstilling. Her ligger CO og OGC-emissionerne noget højere end ved to briketter. PM-emissionen ved de fire briketter er fortsat et godt stykke under de danske krav.

Omvendt ser det ud for briket *Type 2 – Pini-Kay*. Denne type briket er kun forsøgt fyret i *Ovn 1*. Der er udført tre fyringer med den tilnærmelsesvis anbefalede træmængde, som giver markant højere emissioner hele vejen rundt. Der er foretaget én fyring med kun to briketter af samme type, hvilket er en mindre træmængde end anbefalet, men udleder mere tilsvarende fyringen med normalt træ.

Derudover er der som tidligere afbilledet under *Figur 14* foretaget en fyring med en tredje type briket – *Type 3 – LongLife*, hvor der er fyret med en stor mængde briketter og skruet ned for luften. Til trods for at der med denne type briket er fyret med al for stor mængde i forhold til anbefalet og tilmed skruet ned for lufttilførslen, da er disse værdier lavere på alle fire emissioner end for *Type 2 – Pini-Kay*. Dette sætter tingene lidt i perspektiv, at der i denne måleserie er stor forskel på de tilgængelige briketter på markedet. *Type 1 – RUF* leverer bedre resultater end for almindeligt træ, mens *Type 2 – Pini-Kay* leverer op imod 5 gange så mange emissioner som almindeligt træ. *Type 3 – LongLife* kan ikke helt sammenlignes på samme niveau, da der ikke er udført en nominel fyring på denne type, men ud fra de udførte data leverer denne type briket formentlig et sted midt imellem de to øvrige typer briketter.



FIGUR 19
EFFEKTEN AF BRIKETFYRING PÅ 2 OVNE SAMMENLIGNET MED ALMINDELIGT TRÆ.

4.7 Opsummering Pakke 6 – Måling af BC (EC og OC)

Pakke 6 indeholder én samlet graf.

- 1) Måling af Black Carbon (udtrykt som EC og OC) sammenlignet med PM – *Figur 21*

Som tidligere nævnt er der på black carbon målingerne foretaget to PM udtag på hver af de enkelte fyringer, se *Billede 20*. Det ene udtag er på glasfiber-filter brugt til PM beregning, og det andet udtag på quartz-filter til bestemmelse af black carbon (BC) udtrykt som elemental carbon (EC). Samme billede illustrerer, hvor ens de



BILLEDE 20
2XPM UDTRÆK PÅ SAMME TID I FORTYNDINGSKANAL. ØVERSTE RÆKKE PÅ GLASFIBER-FILTRE, NEDERSTE RÆKKE PÅ QUARTZ-FILTRE.

to udtag er visuelt. Quartz-filtrene er analyseret i Holland (Sunset Laboratory, NIOSH870 protokol) for bestemmelse af filtrenes indhold af elemental carbon (EC) og organisk carbon (OC), mens glasfiber-filtrene er vejede efter den normale vejemetode (ref. NS3058/59). Black carbon udledningen kommer til udtryk som den analyserede elemental carbon, da analysemetoden udnytter den kemiske lighed mellem black carbon og elemental carbon. Herunder er EC angivet som BC.

Da der er benyttet to forskellige målemetoder til at bestemme filtrenes indhold, kan disse ikke direkte sammenlignes. Analysemetoden i Holland leverer ikke resultater for de inorganiske komponenter, der måtte være på filtrene. Disse tages til gengæld med ved den rå vejning for PM. Dermed stemmer den samlede værdi for EC+OC ikke overens med den samlede PM værdi. Derudover kan der være mindre variationer i forhold til den udsugede mængde på filtrene, da de to filterholdere er koblet på to forskellige pumper, dog med tilstræbt samme flow.

Målingerne er foretaget på alle fire ovne. *Figur 21* viser kun tal for PM, BC og OC. For øvrige resultater henvises til bilaget. Der er målt på både optændingen, i en normal situation, på briket *Type 1* samt på vådt træ. Optændingen viser generelt et lavt PM niveau for alle ovnene, hvor BC udgør imellem 3-46% af den udledte PM (forsigtig sammenligning).

For *Ovn 1*, *Ovn 3* og *Ovn 4* er der målt på to til tre nominelle fyringer hver. Her ligger PM-emissionen midlet set lidt højere end de udførte optændinger, hvilket måske er lidt utraditionelt. Dog er BC niveauet på samme lave niveau som for optændingen, hvorfor den øgede PM-emission ligger i en forøget OC-emission for den nominelle fyring.

På *Ovn 2* er der udført målinger med briket *Type 1 – RUF*. Her performer briketterne på tilsvarende PM niveau som for en optænding med normalt tørt træ. For BC- og OC-emissionen giver briketterne en faktor 3 højere BC end normalt tørt træ – og er samtidig den højeste BC-emission målt.

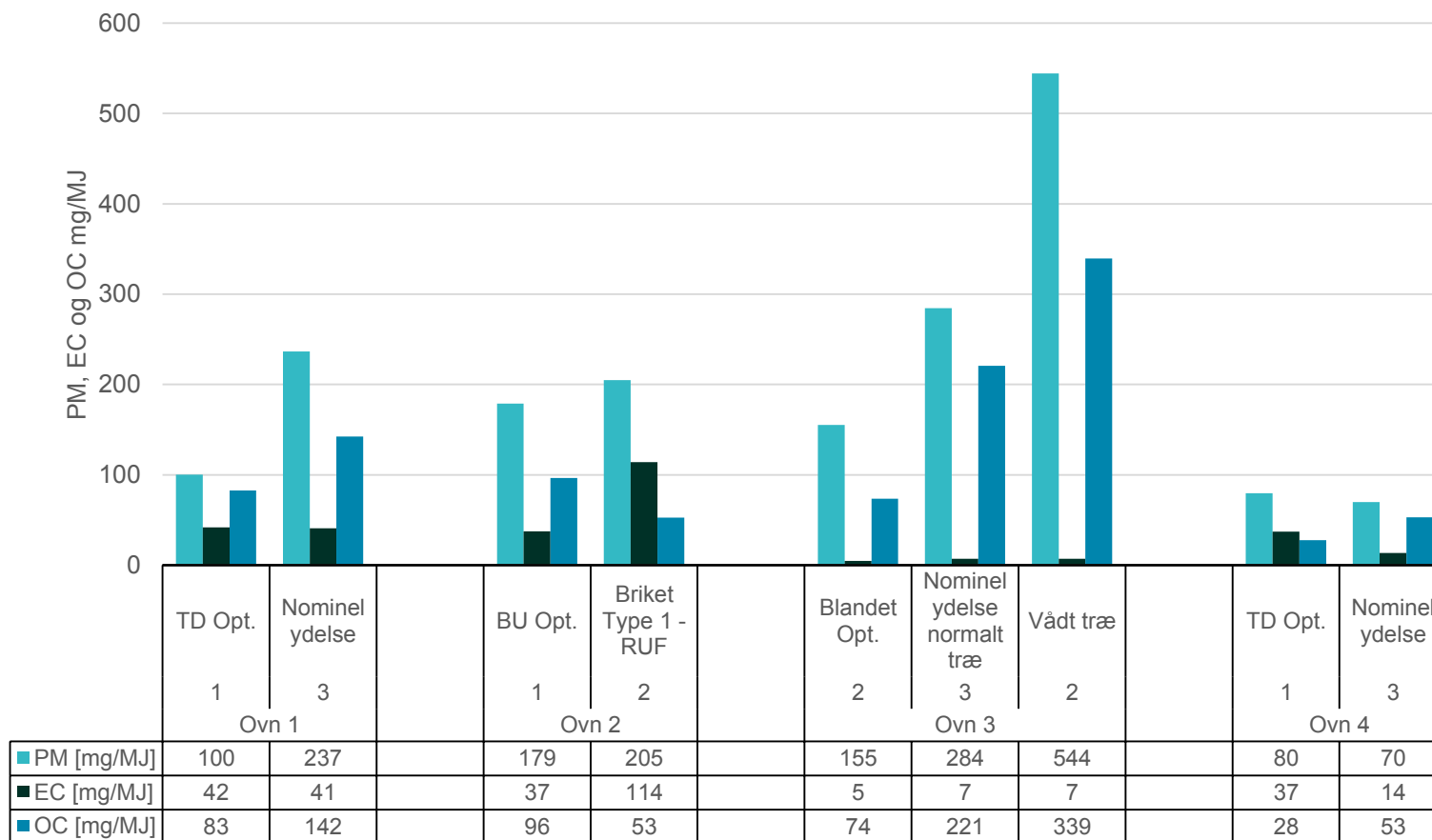
Ovn 3 er udover fyret med normalt tørt træ også fyret med fugtigt træ. Generelt set for *Ovn 3* leverer denne ovn en meget lav BC-emission, sammenlignet med de tre øvrige ovne. Dette kan tyde på, at ovns design skiller sig ud fra de tre øvrige. Fyringen med fugtigt træ giver en tydelig forøget PM-emission, men samme meget lave niveau for BC-emissionen, som for nor-

mal tørt træ. Den forhøjede PM-emission ligger derfor i den organiske fraktion (OC), som tydeligt kan ses også er forhøjet.

Ovn 4 med omvendt forbrænding udmærker sig både i optændingen og ved nominel fyring med de laveste PM-emissioner, samt laveste OC-emissioner. Til trods for den opdaterede fyringsteknik, kommer resultaterne af BC-emissionerne ikke ned på samme lave niveau som for Ovn 3.

Summeret sammen viser målingerne, at det ikke nødvendigvis er BC-fraktionen, der stiger ved en høj PM-emission, men ligeså vel kan skyldes de organiske eller inorganiske fraktioner.

PAKKE 6: Måling af black carbon (udtrykt som analyserede EC- og OC-emissioner) op imod sideløbende PM måling



FIGUR 21
DEN MÅLTE PM-, EC- OG OC-EMISSION FOR DE FIRE OVNE I FORSKELLIGE FYRINGSSITUATIONER. EC=BC.

5. Diskussion

Dette afsnit har til hensigt at belyse hvilke faktorer og usikkerheder, der kan påvirke resultaterne.

5.1 Forudsætninger generelt

Der oplistes herunder en overordnet række påvirkninger, som har indflydelse på de enkelte resultater.

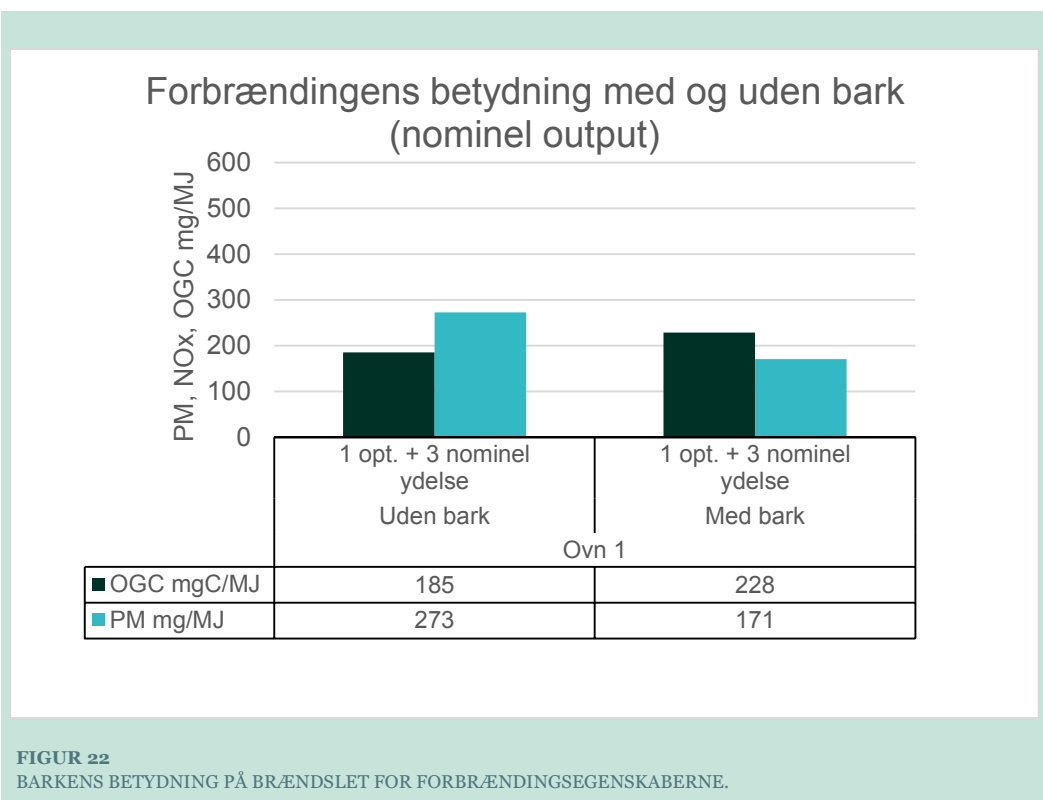
- Som tidligere nævnt er der fyret efter vejledningerne for de enkelte ovne, hvorfor resultaterne bør betragtes, som hvis en forbruger ville have fyret derhjemme. For at mindske usikkerheder knyttet til fyringsteknikken, er samtlige fyringer, undtagen de to optændinger med en alm forbruger, foretaget af den samme person.
- TD vs. BU-optænding afleverer ikke samme type glødelag til den efterfølgende fyring. Glødelaget ved BU optænding bliver varmere, fordi de store stykker træ ligger i toppen, hvilket har indflydelse på starten af den efterfølgende fyring. Et varmere glødelag kan hjælpe på en hurtigere start. Til gengæld kan det samtidig bevirke en hurtigere afgasning, som ovnens luftsystem skal kunne håndtere for ikke at komme hurtigere i luftunderskud.
- Normalt vil man i typeprøvningssammenhæng have en forfyring imellem en optænding og en prøveperiode man måler på for at sikre, at der er opbygget et stabilt glødelag og en stabil varme i ovnens brændkammer. Denne forfyring er i disse målinger udeladt, fordi formålet ikke har været at producere optimale resultater, som ved typeprøven.
- De fire brændeovne blev udvalgt for så vidt muligt at repræsentere de fremherskende moderne ovne og forskelligheder i deres luftsystemer. *Ovn 1* skiller sig ud fra *Ovn 2* og *Ovn 3* ved at have et forholdsvis begrænset brændkammervolumen. Det øger risikoen for at røggasser kan forlade ovnen i uforbrændt tilstand, hvis ovnen overfyldes med brænde.

5.2 Træsart og bark-påvirkning

Birketræ er benyttet som træsort for fyringerne med træ, da det vurderes at være en gennemsnitlig træsort blandt forbrugerne i Danmark. Egenskaberne for birk er, at det er en middelhård træsort, som tænder forholdsvis nemt, men ikke brænder så længe som fx bøg eller eg. Bøg har fx en tendens til at starter mere trægt, men til gengæld levere lave emissioner i længere tid i den gode forbrændingsfase.

Både birk og bøg tillades som brændsel til typeprøve-godkendelsen for brændeovne (ref. EN13240).

Der er ved alle fyringer med bark tilstræbt at minimum én side (25-33%) af træstykkerne er med bark, fordi det formodes, at det er mest almindeligt hos den private forbruger at fyre brænde med bark. De udførte målinger har vist, at bark bidrager til moderat forhøjede CO, OGC og NOx-emissioner sammenlignet med tilsvarende fyring uden bark på træet. Omvendt viser målingerne med bark reduceret PM-emission. Betydningen af bark kontra homogent stykke træ uden bark er afbilledet på *Figur 22*.



5.3 Manualer/vejledninger for de valgte ovne

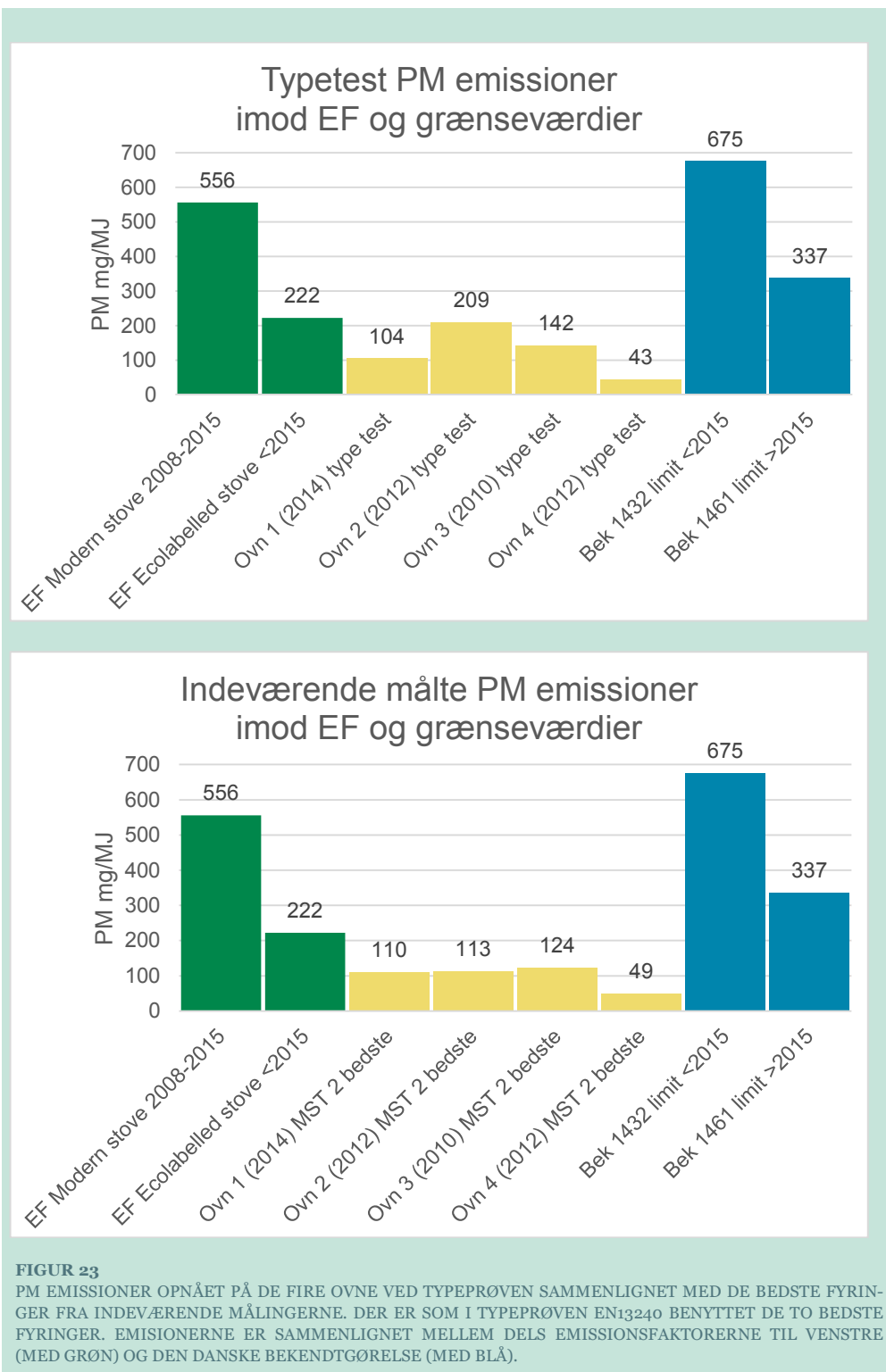
Det er tilstræbt, at der fyres som fabrikanten anbefaler i deres fyringsvejledninger. I de fire manualer over ovnene kan man godt savne en bedre beskrivelse for (evt. visuelt opstillet), hvordan ovnen fyres optimalt. Altså informationer til forbrugeren om, hvordan resultater til typeprøvegodkendelsen er opnået – både hvad angår brændselsart, -størrelse, -opstilling og den benyttede luftindstilling. Hvis ikke disse oplysninger er tilstrækkeligt belyst i vejledningerne er det ikke givet, at forbrugeren kan opnå samme resultater. Herudover kommer påvirkningen fra skorstenen oveni.

5.4 Sammenligning mellem typeprøver og indeværende målinger

En brændeovn bliver CE-mærket ved at gennemgå en typeprøve efter den under byggevareforordningen harmoniserede standard EN13240. Ved denne test konstateres der energieffektivitet, emission af CO og afstand til brandbart materiale. Foruden disse krav er der nationale krav i flere lande eksempelvis krav til støv, OGC og NO_x (kvælstofsiderne NO og NO₂ giver summen NO_x) samt om afprøvning ved flere laster. Alle disse emissioner måles direkte i den varme røggas og udtrykkes normalt i enheden mg/Nm³ ved referencetilstand 13% O₂ eller udtrykt som emissionsfaktor i mg/MJ.

Typeprøven skal gøre det muligt for myndigheder og forbrugere at sammenligne forskellige brændeovnes egenskaber. Resultaterne repræsenterer det bedste ovnen kan præstere, men som også kan genskabes ude hos en forbruger, der har indsigt i og interesse for brændefyring. For at eliminere flest mulige variable, udføres typeprøven når ovnen er gennemvarm og har stabiliseret sig. Der måles over tre prøveperioder á hver ca. 45 minutter. Af disse tre prøveperioder beregnes prøvningsresultater som et gennemsnit af to udvalgte prøveperioder. Middelværdien af de to valgte prøveperioder deklarerer af fabrikanten i ydeevneerklæringen og på CE-mærkepladen.

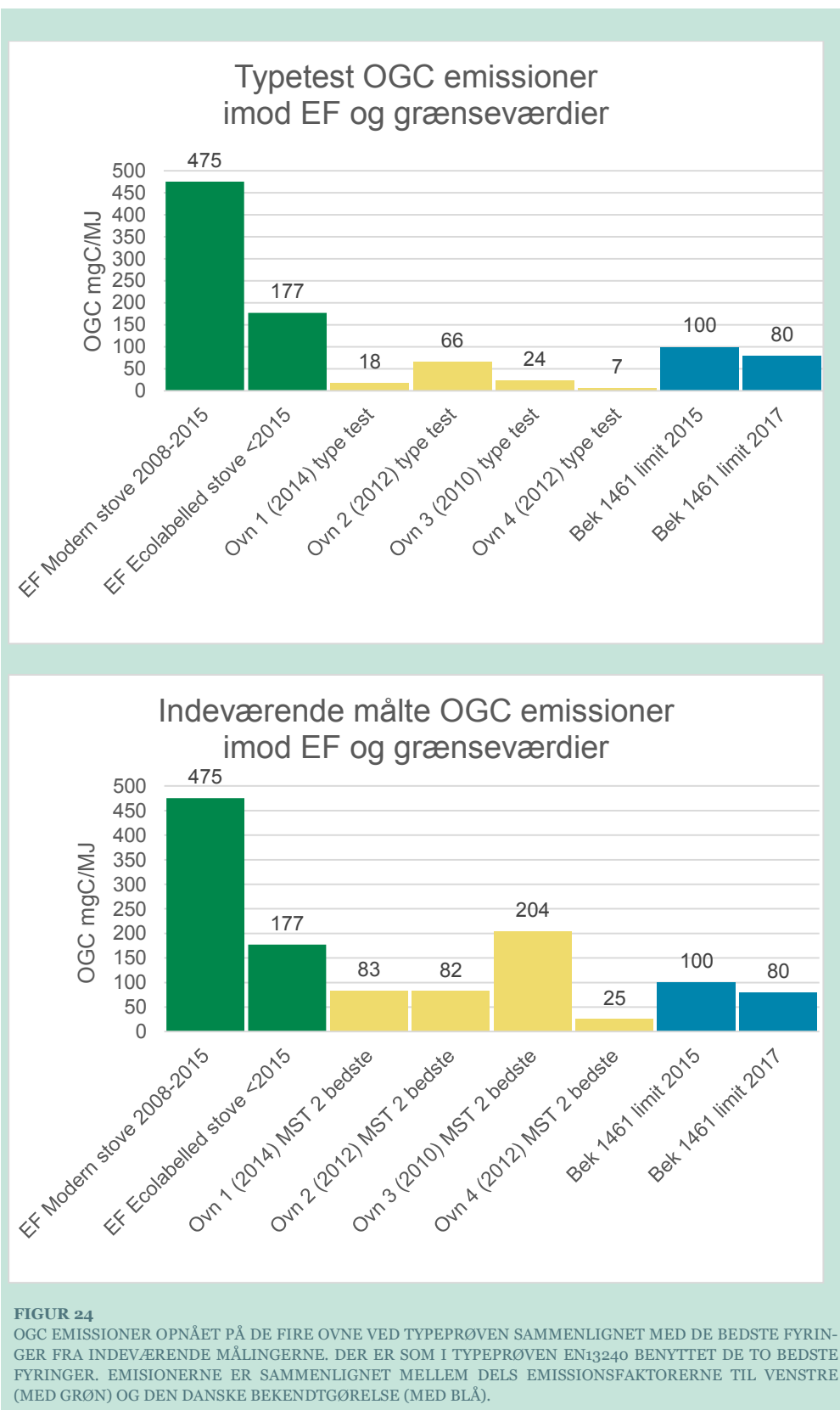
Nogle lande har derudover øvrige nationale krav til yderligere prøver, som ovnen skal igennem. Her kan fx nævnes Norge og England, som har deres egen nationale standard og krav til antal



målinger ved forskellige laster.

De fire ovne benyttet til målingerne er derfor sammenlignet med typeprøvemålingerne (resultater fra den norske partikeltest, ref. NS3058/59, hvilket er det tætteste sammenligningsgrundlag med det forbehold, at indeværende målinger er fyret med birkebrænde og ikke gran som den norske partikeltest, og der er benyttet en anden skorstenstype) for at illustrere forskellene mellem den optimale PM emission og den gennemsnitlige fyring, som det er tilstræbt ved disse målinger. Resultaterne for PM emissionerne i Figur 23 for de indeværende MST målinger er

sammenlignet dels med resultaterne fra typeprøven, emissionsfaktorer og med den danske bekendtgørelses grænseværdier. På figuren ses det, at de to bedste indeværende prøveperioder for de fire ovne ligger meget tæt på de faktisk opnåede resultater til typeprøven. For Ovn 2 ligger de indeværende målinger endda et pænt stykke under det opnåede resultat til type-



prøven.

Resultaterne for OGC emissionerne i *Figur 24* for de indeværende målinger er ligeledes baseret på de to bedste prøveperioder for hver ovn sammenlignet mellem dels de opnåede resultater til typeprøven (ref. EN13240), emissionsfaktorer og den danske bekendtgørelses grænseværdier. For OGC er de indeværende resultater en anelse højere end de faktiske målte til typeprøven, men resultaterne for *Ovn 1, 2 og 4* er lavere end emissionsfaktoren. For *Ovn 3* ligger OGC emissionen et stykke fra de optimale resultater.

Samlet set illustrerer disse data, at det for PM er muligt at genskabe de opnåede resultater til typeprøven. For OGC er det lidt mere vanskeligt at opnå helt identiske resultater, da gasserne hurtigere reagerer som følge af driftsbetingelser eller brændsel, der fraviger fra den optimale fyringssituation – som nævnt ovenfor er indeværende målinger eksempelvis foretaget med bark på ca. 1/3 af overfladen. Derudover skal man huske, at der til indeværende målinger er blevet benyttet birkebrænde. Til den Norske partikelprøve (her omtalt som typeprøven) benyttes savskåret grantræ med større overflade. Derfor er sammenligningen ikke helt reel, idet samme masse birkebrænde alt andet lige bør give lavere emissioner end savskåret gran.

Som *afsnit 5.5* herunder belyser, er der i indeværende målinger foretaget mange målinger, som alle har til hensigt at belyse ovnenes evne til at håndtere emissionerne ved andre fyringsteknikker end ved en optimal fyringssituation.

5.5 Datagrundlag og emissionsfaktorer

Der er i dette projekt målt på i alt 93 forskellige fyringer. Til trods for det lyder som et stort datagrundlag, dækker målingerne over mange ønskede fyringsteknikker, hvorfor nogle teknikker er mere veldokumenteret end andre. Der er i alt undersøgt en del misuse situationer, altså situationer man som slutbruger bør undlade at fyre som. Disse trækker gennemsnittet af emissioner-

Parameter og enhed	Total antal fyringer	Middelværdi	Mindste målte værdi	Højest målte værdi	EF – Ecolabelled stove <2015
Mængde [kg]	93	2,2	1,0	8,0	-
Fugt [%]		15,8	2	33	-
Middel Røggastemp. [°C]		247	137	330	-
Ydelse [kW]		6,3	2,3	11,3	-
Virkningsgrad [%]		78	62	87	-
CO [mg/MJ]		1979	559	6439	1117
OGC [mgC/MJ]		296	19	1064	177
NOx [mg/MJ]		75	28	105	95
PM [mg/MJ]		203	36	798	222
BC [mg/MJ]	18	31	3	125	58

ne på de udførte 93 fyringer op.

TABEL 4

TABELDATA OVER HELE MÅLEKAMPAGNENS SAMLEDE SNIT (UNDTAGEN DATA FOR PAH OG DIOXIN) OP IMOD EMISSIONFAKTORERNE FOR BRÆNDEOVNENE I DEN RELEVANTE GRUPPE BENYTTET FOR TIDEN.

Til trods for disse misuse situationer viser *Tabel 4*, at middelværdierne for alle 93 indeværende målinger for både PM og NOx er hhv. 9% og 21% lavere end for de fastsatte emissionsfaktorer, som de fire ovne repræsenterer. På 18 ud af de 93 fyringer er der målt BC, hvor middelværdien er 46% lavere end den fastsatte emissionsfaktor. For gasserne CO og OGC ligger middelvær-

dier hhv. 67% og 77% over emissionsfaktorerne. Dette kan skyldes, som tidligere nævnt, at gasserne hurtigere slår ud på målingerne, hvis driftbetingelserne fraviger fra en optimal fyringssituation. Dette kan tydeligt ses i *Figur 1*, hvor gasserne slår mere ud på situationerne med de overfyldte brændkamre og reduceret lufttilførsel, end det gør sig gældende for PM emissionen.

For PAH- og dioxinmålingerne henvises til *afsnit 4.5* med tilhørende figurer.

5.6 Forbrugerfyring

Som nævnt under *Afsnit 4.2* havde forbrugeren til dette projekt ikke nogen særlige forudsætninger forud for målingerne. Dog viste målingerne, at allerede ved påfyringen efter optændingen formåede han blot ved at kigge på flammerne og justere på luften uden vejledning, at få ovnen til at levere markant bedre forbrændingsmæssige resultater – endda med en PM-emission langt under den danske grænseværdi for brændeovne.

5.7 Briketfyring

MST har ønsket at undersøge effekten af fyring med briketter. Det har tidligere været en forholdsvis udbredt opfattelse, at briketter var mindre egnede til brug i brændeovne, idet fyring med briketter generelt er blevet tilskrevet højere emissioner. Emnet har senest være belyst i Arbejdsrapport nr. 4 fra Miljøstyrelsen 2013, udarbejdet af FORCE Technology. Rapporten var primært et litteraturstudium, bl.a. baseret på ret omfattende fyrforsøg, med mange typer af briketter hos TFZ i Tyskland. Der var stor spændvidde i resultaterne, fra barkbriketter der havde stærkt forhøjede partikelemissioner i kombination med meget lav virkningsgrad, til de almindelige træbriketter, der havde virkningsgrad på niveau med brænde, samme niveau af CO emission, og samme eller lavere emissioner af OGC og partikler.

Ved tilrettelæggelsen af indeværende projekt, viste det sig umuligt at opdrive barkbriketter i Danmark. Flere forhandlere havde tidligere forsøgt at markedsføre barkbriketter, men var ophørt med det, da salget aldrig rigtig var slået an. Se *afsnit 3.3* for beskrivelse af de typer briketter der her har været anvendt, samt de tilhørende måleresultater i *Figur 19*.

Målingerne viste at den mest almindelige briket, *Type 1*, brændte overraskende pænt, sammenlignet med normalt tørt træ. Til gengæld har briket *Type 2* og *3* vist sig at forurene en del mere end normalt tørt træ. *Type 2* briketten var meget tør (2%), hvad i sig selv medfører forhøjede emissioner, i øvrigt i lighed med træ, hvis det havde været tilsvarende tørt. Fugtigheden i brændslet kan have en stabiliserende effekt på afgasningen, når det hverken er alt for vådt eller tørt. Dertil har *Type 2* briketten et langsgående centerhul, så godstykkelsen ingen steder er særlig stor. Dette vil bevirke ekstra hurtig frigivelse af de brændbare gasser, sammenlignet med almindelige briketter og brænde, hvor der er længere ind til midten. Det er således ikke helt reelt at sammenligne resultaterne fra briketfyring med resultaterne for normalt tørt brænde, idet brænde der var tilsvarende tørt, 2-6% fugtindhold formodentlig også ville have givet anledning til forhøjede emissioner jf. *Figur 10*.

Ved vurdering af resultater fra fyring med briketter skal man huske, at briketter af natur er mere tørre end brænde. Det udelukker i det mindste dårlig forbrænding pga. for høj fugtighed. Til gengæld kan der, som observeret ved briketter af *Type 2* måles forhøjede emissioner. Idet de almindelige hvide briketter er langt de mest udbredte i handlen og i brug, er det nærliggende samlet at betragte briketters tørhed som værende enten neutral eller en lille fordel. Briketter har noget højere densitet end brænde, så der er større risiko for at overfylde ovnen, i forhold til den af fabrikanten anbefalede indfyringsmængde. Det gør det særlig påkrævet at sørge for rigelig lufttilførsel, når der fyres med briketter.

Formålet med at dele briketfyringerne over *Ovn 1* og *Ovn 3* var at undersøge luftsystemets betydning. *Ovn 3* har ikke noget bundluft (primærlufttilsætning), og der var på forhånd en formodning om, at det ville komme til udtryk i form af dårligere forbrænding og forhøjede emissioner. Det viste sig ikke at være tilfældet.

Når man sammenholder måleresultaterne her med konklusionerne i Arbejdsrapport nr. 4 fra 2013, er der ingen grund til generelt at tillægge de almindelige briketter dårlige forbrændingsegenskaber og høje emissioner. Vi har ikke foretaget en egentlig markedsundersøgelse, men både *Type 2* og *Type 3* briketter er noget dyrere pr kg, og det man ser rundt omkring på tankstationer, i byggemarkeder og i supermarkeder er langt overvejende de almindelige hvide fir-kantede briketter af *Type 1*. Briketter er altid tørre, og med den rette dosering af mængde og lufttilførsel samt en robust optændingsmetode tyder disse målinger på, at briketter kan udgøre er udmærket brændsel i brændeovne.

5.8 Dioxin og PAH

Det er ikke så ofte, der er lejlighed til at måle udledning af dioxin og PAH fra brændeovne, da det er omkostningstungt og teknisk krævende at måle disse stoffer. Indeværende målinger havde særligt til formål at klarlægge om udledningen af dioxin kunne kædes samme med det anvendte brændsel. De udførte målinger lægger sig i forlængelse af tidligere målinger udført af DMU og Force Technology, m.fl. (se litteraturgennemgang under *afsnit 6*) i '90-erne og '00-erne og der var forventninger om, at emissionsniveauerne var af samme størrelsesorden, og herunder om det anvendte brændsel havde afgørende indflydelse på emissionen af dioxin. Tidligere målinger, f.eks. Miljøprojekt 149 fra 1990 og Miljøprojekt 249 fra 1994 fokuserede meget på sammenligning af emissioner af dioxin, når det blev fyret med rent træ hhv. affaldstræ og herunder navnlig PCP imprægneret træ.

Pentachlorphenol blev benyttet som træimprægneringsmiddel i Danmark indtil 1977, men andre lande har benyttet PCP op igennem 80'erne. Dioxin emissionerne fra Miljøprojekt nr. 149 er ikke inddraget i denne rapport, da de var meget høje, ca faktor 100 gange højere end det der efterfølgende blev målt i Miljøprojekt nr. 249. I eftertiden er dioxin resultaterne i Miljøprojekt nr. 149 blevet tilsidesat som en sandsynlig måle- eller analysefejl af en art.

I Miljøprojekt nr. 940 fra 2004 oplyses det at PCP potentielt udgjorde en væsentlig kilde til dioxin forurening i Danmark. Den årlige udledning i årene 2000-2003 blev anslået til 0,5-26 g I-TEQ. Siden 1996 har det i EU generelt været forbudt at omsætte træ som indeholdt mere end 0,1% PCP. Dog udtaget landene på Atlanterhavskysten; Frankrig, Spanien, Portugal og England hvor PCP fortsat måtte bruges til imprægnering af engangspaller imod angreb af blåsplint. En stikprøveundersøgelse i 2004 viste at 6 ud af 10 engangspaller stadig indeholdt PCP, ligesom rapporten fastslog at engangspaller udgjorde den største kilde til importeret PCP i Danmark.

Danmark har siden reguleret anvendelsen af PCP ved bekendtgørelse nr. 854 af 5/9/2009 'Forbud mod import, salg, anvendelse og eksport af varer der indeholder pentachlorphenol'. Miljøstyrelsen gennemfører tilbagevendende informationskampagner om udelukkende at fyre med rent træ, så eventuel fortsat fyring med affaldstræ ikke længere sker på et uoplyst grundlag. I relation til dioxinudledning fra privat brændefyring, formodes det derfor at kilden i dag langt overvejende er rent brændetræ.

Træer optager under væksten store mængder makronæringsstoffer som Kvælstof, Fosfor og Kalium (gødning). Mikronæringsstoffer optages i langt mindre omfang. De er i prioriteret rækkefølge; Jern, Mangan, Zinc, Kobber, Molybdæn, Bor, **Klor** og Silicium. Analyser af træ udviser så godt som intet indhold af bundet klor.

En anden kilde til tilstedeværelsen af klor i brænde er salt, NaCl, der hæfter sig på barken. Saltet kan i kystegne været luftbåret, eller hvis træet har groet i nærheden af veje der saltes, enten opløst i vand eller mekanisk påført barken ved spredning. Vejtræer skades ofte af for meget salt i jorden. I løbet af en vinter spredes der op mod 2,5 kg salt pr kvadratmeter, hvilket bevirker at saltopløsningen i jorden omkring træet rødder kan blive så høj, at ion balancen forrykkes afgørende og træet hæmmes eller helt forhindres i at optage de nødvendige mikronæringsstoffer. Men det er ikke tale om at træet uhæmmet opsuger salt fra jorden, bare fordi koncentrationen omkring rødderne er høj.

Det er endvidere kendt at dannelse af dioxin ved afbrænding af klorholdigt træ befordres kraftigt af tilstedeværelsen af kobber som er en katalyt. Det vil sige, når man alene betragter brændsel, at mængden af dioxin, der dannes, forventes at afhænge dels af mængden af klor dels mængden af kobber der er til stede. Heri findes måske forklaringen på de meget varierende emissionsniveauer, der er set under DMU's feltmålinger i Gundsømagle (Rapporterne AR-2012 og AR-235). Det er måske ikke alene det forhold, at træ er imprægneret og malet der er udslagsgivende, men også hvilken farve, idet farven blå normalt indikerer indhold af kobber.

Rapporten Miljøprojekt nr. 249 fra 1994 oplyses målt saltindhold i bøg, birk og gran, alt sammen fældet i en kystnær skov (Marselisborg skoven ved Århus) Alle tre arter er blevet af-

	Dioxin emission [ng/Nm ³]			Middel, ovn type
	Bøg	Birk	Gran	
Ovn 1	8,4	5,4	29,4	42,2
Ovn 2	16,8	13,3	62	
Ovn 3	41,2	84,3	119,3	
Ovn 4	5,5	7,45	5,6	6,2
Middel, træart	18,0	27,6	54,1	-

brændt i 4 forskellige ovne. Resultaterne ses i *Tabel 5*.

TABEL 5
SALTINDHOLD I 3 TRÆSORTER PÅ 4 FORSKELLIGE OVNE FRA MILJØPROJEKT NR. 249 FRA 1994.

Tabel 5 viser, at der i Miljøprojekt nr. 249 fra 1994 blev benyttet 4 forskellige ovne efter datidens standard, hvor ovn 4 skilte sig ud fra de øvrige ved at være en ovn med omvendt forbrænding, hvis fyringsprincip har været benyttet i enkelte ovne siden 1990'erne. Middelemmissionerne af dioxin for hhv. bøg, birk og gran var; 18,0; 27,6; og 54,1 ng/Nm³. Selvom sammenhængen mellem brændslets saltindhold og den målte emission ikke er helt lineær, ses det alligevel tydeligt at gran, hvis bark er meget mere ru og dermed kan tilbageholde mere salt, giver 2-3 gange så høje emissioner som bøg og birk.

Middelemmissionen af dioxin fra de tre sammenlignelige ovne (Ovn 1, 2 og 3) var 42,2 ng/Nm³ Middelemmissionen af dioxin fra ovnen med omvendt forbrænding (Ovn 4) var 6,2 ng/Nm³

Man ser altså at ovnen med omvendt forbrænding udviser emission af dioxin på ca. 15% af de tre almindelige brændeovne. Idet samme batch af brænde blev benyttet, er det nærliggende at tilskrive forskellen med at ovnen med omvendt forbrænding opnår højere forbrændingstempe-

ratur, muligvis også bedre opblanding og længere opholdstid end de almindelige ovne, og der derfor sker en begyndende termisk nedbrydning af dioxinen.

DMU rapport nr. AR 212 Dioxin, 'PAH og partikler fra brændeovne' indeholder resultater af feltmålinger fra Gundsømagle i 2002/2003. Der blev her målt emissioner ved feltmåling på 6 adresser, to gange hvert sted. Af fyringsanlæg indgik der 1 brændekegel og 5 brændeovne af varierende alder. Kedlen, der selvom den blev karakteriseret som et gammelt brændefyr, udviste de laveste emissioner af dioxin på 0,3 og 0,6 ng ITEQ/kg træ. Brændeovnene udviste emissioner af dioxin fra 0,3-17,7 ng I-TEQ/kg træ.

DMU rapport nr. AR 235 'Partikler og organiske forbindelser fra træfyring – nye undersøgelser af udslip og koncentrationer' indeholdende resultater fra feltmålinger i Gundsømagle 2003/04 og i Vindinge 2005. Der blev målt dioxin på de samme adresser i Gundsømagle, som indgik i den tidligere undersøgelse (AR-212), hvortil kommer yderligere tre adresser. For de gennemgående adresser blev middelemmissionen af dioxin 19 ng I-TEQ/kg træ. Den gamle brændekegel på adresse 3 udviste igen de laveste emissioner af dioxin.

I *Figur 25* er resultatet af indeværende laboratoriemåling (rød kolonne) sat i forhold til forskellige historiske målinger dels fra 1994 dels fra 2003. Resultaterne er konverteret til ng I-TEQ/GJ af hensyn til sammenligning med de gældende emissionsfaktorer. Resultaterne af de indeværende målinger ses at ligge mellem de tidligere målinger i Gundsømagle (AR-212 og AR-235), og af ca. samme størrelsesorden som emissionsfaktoren for nye og gamle ovne.

Som det fremgår af *Figur 18* udleder det saltpodede birkebrænde godt 16 gange så meget dioxin som det almindelige birkebrænde, så hypotesen om brændslet som en udslagsgivende faktor er blevet bekræftet.

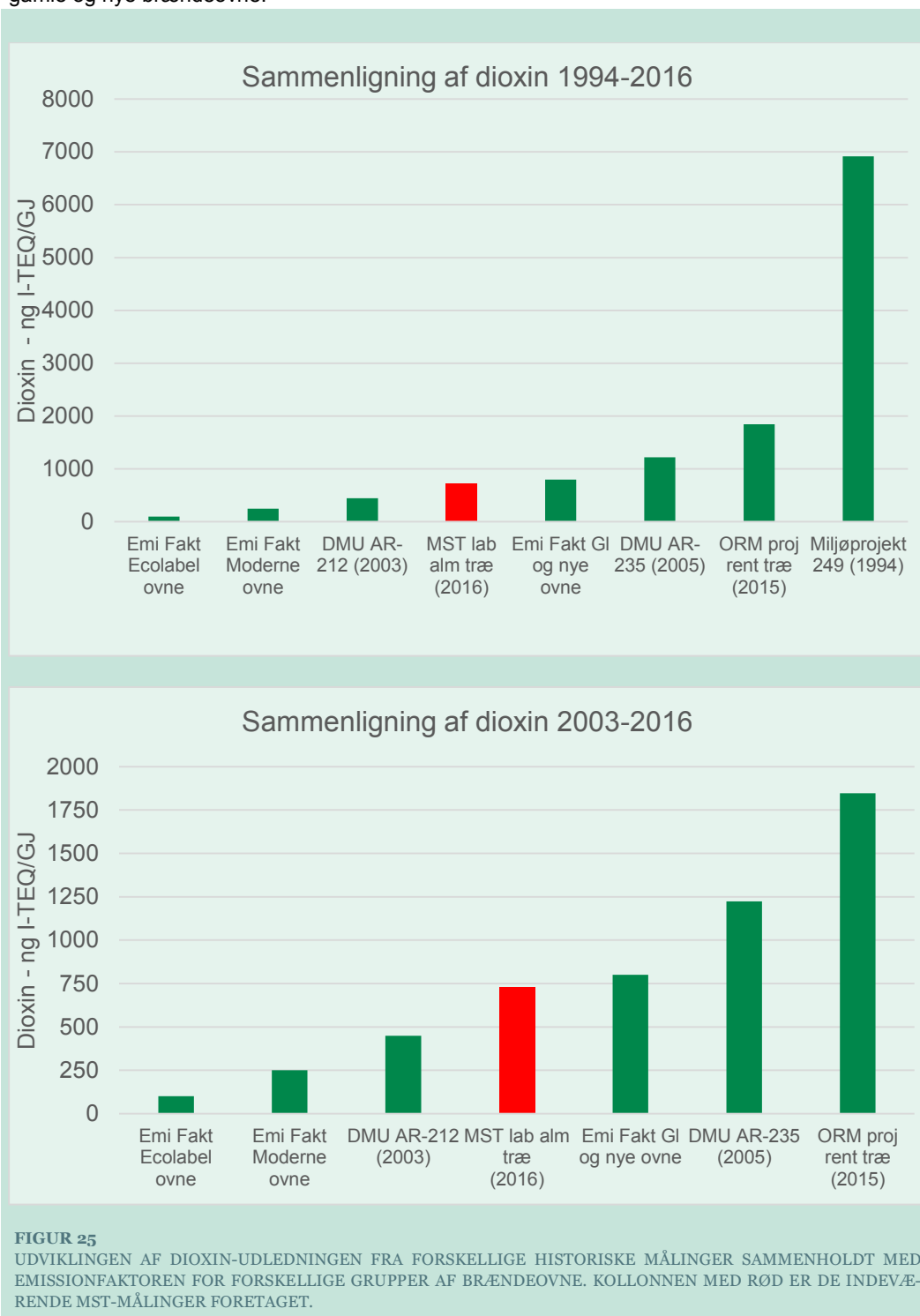
Podningen med 1,5 g salt pr brændestykke svarer til ca. 1,4 g klor pr kg træ, hvilket er ca. 23 gange højere end det naturlige indhold, som middelværdi (Birk fra Marselisborg, ref. Miljøprojekt nr. 149). Dermed er der tilnærmelsesvis proportionalitet mellem saltindholdet og dioxin emissionen. Forholdet understøttes af en observation i tidligere Miljøprojekt nr. 117, hvor det hedder at 'der er signifikant sammenhæng mellem HCl i røggassen og dioxin emissionen'.

I Miljøprojekt nr. 249 var dioxinudledningen fra ovnene med omvendt forbrænding ca. en dekade lavere end gennemsnittet af de tre almindelige ovne (se evt. *Tabel 5*). Det var derfor overraskende at ovnen med omvendt forbrænding i indeværende målinger havde dioxin emissioner af samme størrelsesorden som den almindelige brændeovn. Idet den nuværende ovn med omvendt forbrænding har så høj forbrændingstemperatur, at den danner et bidrag af termisk NO_x, kunne man godt have ventet at se et reduceret dioxin niveau pga. termisk nedbrydning af dioxin.

I litteraturen om dioxindannelse i kraftværker, påpeges det, at det er yderst vigtigt, hurtigt at få røggassen afkølet til under 200 grader C. En kilde fra RICARDO Engineering i England påpeger at flankestejlheden ved især aftagende temperatur, kan have stor betydning for dannelse af dioxin. De to udtalelser støtter hinanden, og kunne tænkes at tjene som forklaring på, hvorfor ovnen med omvendt forbrænding i begyndelsen af 90'erne havde en dekade lavere emission af dioxin, end den moderne ovn med omvendt forbrænding i 2016. I start 90'erne var der, os bekendt, ikke andre ovne med omvendt forbrænding end Bioovnen, der jo er forsynet med vand-side, og derfor køler røggassen mere effektiv end en moderne konvektionsovn gør, og som yderligere har en længere røgevej, hvor partikler kan afsættes, inden røggasserne forlader ovnen.

Samlet, tyder det på, at ikke bare det anvendte brændsels indhold af salt eller miljøfremmede stoffer fra imprægnering eller overfladebehandling påvirker mængden af dioxin der dannes,

men også typen af forbrænding (intermitterende eller kontinuert), den maksimale brændkam-
mertemperatur og sikkert også strømningsmæssige forhold i brændkammeret kan have indfly-
delse på mængden af dioxin der dannes. Som det fremgår af figurerne herunder er dioxin
emissionerne målt i indeværende projekt af omtrent samme størrelsesorden som det der blev
målt under de to DMU projekter AR-212 og AR-235 og på niveau med emissionsfaktoren for
gamle og nye brændeovne.

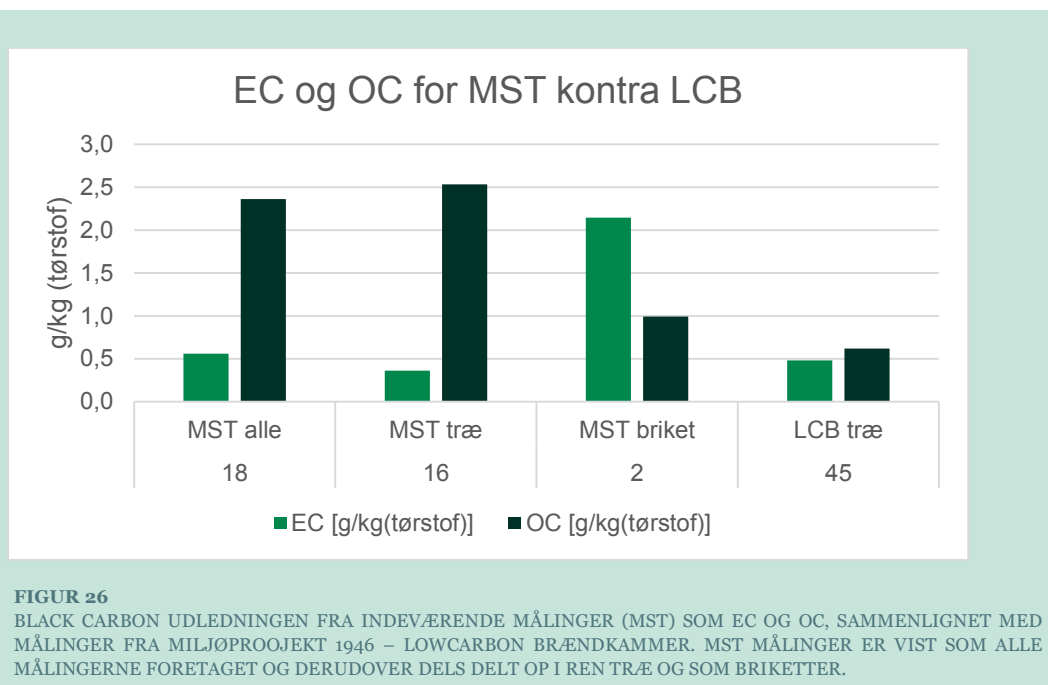


5.9 Black carbon målinger (EC og OC)

For BC er alle indeværende målinger lave med undtagelse af de to målinger på briketter. Det er glædeligt, at ovnene formår at udlede lave BC-emissioner ved brændefyring, hvad enten der er tale om en nominel fyringssituation eller fra kold ovn i en optændingssituation. Ovn 3 viser særdeles lave BC-emissioner, også selvom brændslet er vådt. Derimod øges PM og OC markant ved det våde brændsel.

Samlet set giver de 18 indeværende BC målinger vist på *Figur 21* en middelemmission på ca. 31mg/MJ eller 0,56g/kg(tørstof). Ud af de 18 målinger, er der foretaget fem målinger på optænding fra kold ovn, ni målinger ved en nominel fyringssituation, to målinger på briketter af *Type 1* samt to målinger på vådt træ. Alle målingerne er fordelt på de fire repræsenterede ovne.

BC datagrundlaget er tidligere ikke særlig veldokumenteret for brændeovnsrøg generelt. Det tætteste sammenligningsgrundlag er det nyligt afsluttede *Miljøprojekt nr. 1946 - LowCarbon Brændkammer*, (efterfølgende omtalt LCB projekt, se også *afsnit 6.4 - Black Carbon i brændeovnsrøg*). En omfattende målekampagne i dette projekt indeholdt 45 BC målinger (fra ni ovne med varierende indfyringsmængde og lufttilsætning), hvor den gennemsnitlige BC-emission var



FIGUR 26
BLACK CARBON UDLEDNINGEN FRA INDEVÆRENDE MÅLINGER (MST) SOM EC OG OC, SAMMENLIGNET MED MÅLINGER FRA MILJØPROJEKT 1946 – LOWCARBON BRÆNDKAMMER. MST MÅLINGER ER VIST SOM ALLE MÅLINGERNE FORETAGET OG DERUDOVER DELS DELT OP I REN TRÆ OG SOM BRIKETTER.

0,48g/kg(tørstof). *Figur 26* illustrerer de samlede indeværende BC målingerne sammenlignet med de tilsvarende BC målinger fra LCB projektet - for dels ren træ og de to fyringer med briket *Type 1*.

Briketfyringen viser en BC-udledning ca. fire gange højere end for ren træ for både de indeværende målinger og for LCB målingerne. Den store forskel mellem de to målestudier ligger i den organiske carbon fraktion (OC), hvor indeværende målingerne er ca. fire gange højere end i LCB projektet. Alle målingerne i LCB projektet blev udført af erfaren prøvningspersonale for at skabe hurtig flammeudvikling og deraf hurtig afbrænding af de frigivne gasser og partikler. Den målte OC fraktion har i indeværende målinger vist sig, at have en tilnærmelsesvis sammenhæng med den målte OGC ($R^2=0,91$).

I teorien antages det, at EC/OC forholdet forsigtigt kan afsløre udledningskildens tendens til at have negative klimapåvirkninger ved et forhold over 1. De indeværende målinger viser et EC/OC forhold på 0,49 – altså faktor 2 højere OC end EC. Målingerne på rent træ giver et for-

hold på 0,27, mens det for de to briketfyringer var 2,26. LCB målingerne viste derimod meget lavere værdier af OC, hvorfor forholdet var nærmere 1,0. Altså siger EC/OC forholdet ikke noget om, hvorvidt brændeovne som en bred udledningskilde påvirker klimaet, da forbrugeren selv kan påvirke dette resultat kva fyringsteknikken. Dannes der hurtigt flammer (som i LCB projektet) i en forbrændingscyklus, er der grobund for af cyklussen afleverer lave emissioner – hvor både EC, OC og de øvrige gasser CO og OGC brændes af, hvis ellers temperaturen og ilten er korrekt tilstede. Dannes der til gengæld ikke hurtigt flammer og brændslet blot ligger og afgasser og udvikler røg (specielt i starten efter påfyring), da dannes stor OC-fraktion (ses tydeligt i indeværende målinger med vådt træ i *Figur 21*). Dermed leveres et lille EC/OC forhold.

Det bør derfor være mere korrekt at kigge på selve udledningen af BC (målt EC) og ikke dette EC/OC forhold for brændeovnes vedkommende, da der er mange faktorer, som kan spille ind på det resultat.

Det omtalte Miljøprojekt 1946 har blandt andet fundet ud af, at lufttilsætningen til bålet har stor betydning for den BC-emission, den enkelte ovn udleder. Specielt primærlufttilsætning har vist sig at give højere BC-emissioner end ovne uden primærlufttilsætning. De meget lave BC-emissioner for specielt Ovn 3 i indeværende målinger viser de samme tendenser, hvorfor de indeværende målinger kan bekræfte denne opdagelse, da denne ovn udelukkende har sekundær- og tertiærlufttilsætning. End ikke Ovn 4 har så lave BC emissioner, til trods for dens markant anderledes fyringsprincip.

Ydermere indikerer indeværende målingerne, at forbrugerindflydelsen har tendens til større PM end en optimal situation. Men den forøgede fraktion i PM massen ligger i den organiske del, og ikke i BC-fraktionen. Det viser *Figur 26*, da BC-emissionen er tilnærmelsesvis ens for de to projektet, mens der er en faktor fire til forskel på OC-emissionen.

Fyringen med briketter og firdoblingen af BC-emissionerne i forhold til almindeligt træ kan også indikere, at brændselstype og lavt fugtindhold kan have stor indflydelse på BC-emissionen for brændeovne generelt. Dette skal dog tages med forbehold, da grundlaget kun bygger på to fyringer på én enkelt ovn. Ud fra det spinkle grundlag er det ikke til at sige, om de to fyringers høje EC-emission specifikt skyldes selve ovnens designparametre mht. lufttilførsel og geometri, typen af brændsel eller om det skyldes at brændslet havde en fugt på 7% kontra de 17% træet havde.

6. Litteraturstudie

Her gennemgås og opsummeres de relevante og væsentlige resultater af gennemgangen af de tre kilder MST har fremhævet i udbudsmaterialet, nemlig DMU rapport nr. 212 (*Gundsømagle*), DMU rapport nr. 235 (*Vindinge*) og *Nussbaumer et al 2008*, Influence of ignition, samt et kort black carbon studie fra Miljøprojekt 1946 - *LowCarbon Brændkammer*.

Det er almindeligt anerkendt at danske brændeovne de seneste ca. 10 år har gennemgået en teknologisk udvikling, der gør, at ovnene generelt har lavere emissioner til luft og samtidig er mere immune overfor fejlbetjening. Samtidig har Miljøstyrelsens gentagne oplysningskampagner som 'Fyr Fornuftigt' m.fl. bevirket et højere niveau af oplysning om gode fyringsvaner. Det formodes, at den samlede effekt af den teknologiske udvikling og oplysningskampagnerne er, at flertallet af brugere af brændeovne har fået meget bedre forudsætninger for at nærme sig optimal udnyttelse af deres brændeovne, både hvad angår energiudnyttelse og begrænsning af emissioner.

De målinger, der ligger til grund for de gennemgåede kilder, ligger ca. 10-15 år tilbage i tiden og er udført på ovne der godt kan være ældre endnu.

Kilderne gennemgås enkeltvis herunder.

6.1 DMU arbejdsrapport nr. 212, 'Dioxin, PAH og partikler fra brændeovne'

('Dioxin, PAH og partikler fra brændeovne' udgivet 2005, Marianne Glacius et al)

Fra rapportens sammenfatning:

"I dette projekt er der udtaget 12 røggasprøver direkte i afkastet fra private brændeovne eller –fyr i Gundsømagle. Disse prøver er blevet analyseret for PCDD/F (dioxin), PAH (polycykliske aromatiske hydrocarboner) og partikelmasse. Desuden er der gennemført luftmålinger hver måned siden august 2003 af PCDD/F i det samme område.

Rapporten omhandler resultater fra projekterne "Dioxin fra brændeovne" og "PAH-emissioner fra brændeovne". Projekterne er udført i samarbejde mellem Danmarks Miljøundersøgelser, Afdeling for Atmosfærisk Miljø (ATMI) og FORCE Technology for Miljøstyrelsen. Formålet har bl.a. været at undersøge udslippet af dioxin, PAH og partikler fra brændeovne ved feltmålinger under realistiske forhold.

Ud fra resultaterne kan det beregnes at der på landsplan emitteres 3,6 g I-TEQ/år fra brændeovne.

I undersøgelsen er det største udslip af dioxin 59 gange højere (pr. kg. træ) end det laveste. For partikler er forskellen 26 gange og for PAH 18 gange. Der er en tendens til at nyere brændeovne har et lavere udslip af dioxin og PAH end ældre ovne, mens billedet er mere uklart for partikler. Disse forhold bliver nu undersøgt nærmere i en ny undersøgelse med målinger på flere brændeovne og modellering af resultaterne.

De tidligere undersøgelser viser, at emissionen af dioxin er meget større når der fyres med imprægneret træ i forhold til fyring med rent træ. Dette er en alvorlig kilde til usikkerhed pga. manglende viden omkring ulovlig brug af imprægneret træ som brændsel. Især afbrænding af træ imprægneret med pentachlorphenol vil give meget store dioxinudslip. Selvom dette middel har været forbudt længe i Danmark, anvendes det stadig i visse lande og kan findes i

importerede produkter, ligesom det findes i gamle trækonstruktioner. Man kan ikke se på træ om det er imprægneret med pentachlorphenol, da det er farveløst.”

6.1.1 Supplerende bemærkninger

Der er blevet målt emissioner på 6 forskellige adresser i 2002/3. Brugeren har registreret fyringstidspunkter og påfyret masse. Brændeoplag er blevet inspiceret med henblik på bestemmelse af art. Målingerne er blevet udført ved hjælp af en fortyndingstunnel, hvorved de fleste gasformige komponenter vil kunne opsamles på et filter. Dioxin og PAH er blevet målt med glasudstyr i henhold til DS/EN 1948-1. Der er udtaget to prøver fra hver skorsten, på to forskellige dage. Hver prøve er udtaget over en fyringssekvens, fra optænding sidst på eftermiddagen indtil den får lov til at gå ud hen på natten.

6.1.2 Kildens måleresultater

TABEL 6
KILDENS MÅLERESULTATER AF DIOXIN, PM OG PAH.

Enhed	ng TEQ/kg	I- g/kg	mg/kg
n	Dioxin	PM	PAH
1a	11,3		28,4
1b	6,3		47,4
2a	5,1	82,90	48,9
2b	7,7	12,90	81,2
3a	0,6	20,30	23,7
3b	0,3	24,20	15,4
4a	1,3	8,10	4,4
4b	3,0	4,30	4,6
5a	0,3	11,40	7,8
5b	1,1	78,80	41,2
6a	11,4	3,20	6,7
6b	14,4	7,30	5,5

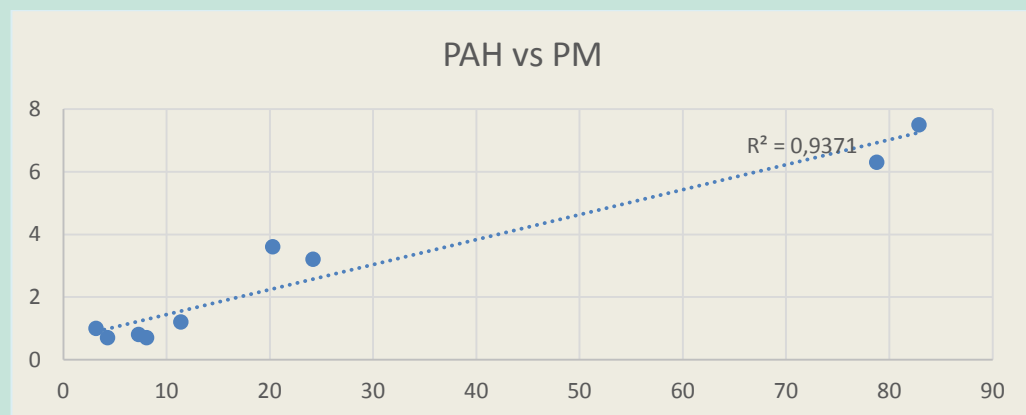
Resultaterne af de 2 sæt målinger pr adresse fremgår af *Tabel 6*. De to sæt af målinger er foretaget indenfor samme afgrænsede periode, antagelig med samme fyrbøder, og antageligt med træ fra samme brændestak pr. adresse.

Det ses at repeterbarheden for PM som forventeligt, er ret dårlig. På adresserne 2 og 5 er der X7 mellem værdien af PM, på de to målinger. Størrelsesordenen af PM emissionen afhænger både af det anvendte brændes fugtindhold, hvor hurtigt ovnen er kommet i gang med at brænde efter påfyring, og endelig spiller luftmængden en stor rolle. Observationen stiller spørgsmålstegn ved den måde vi deklarerer brændeovnes PM emissioner på. Det havde været mere retvisende med et interval, frem for bare én enkelt værdi. Se endvidere betragtninger i *afsnit 5.4* om typetest vs. indeværende målinger.

Det gælder øjensynligt ikke den tilsvarende mekanisme for emissionerne af dioxin og PAH. Illustreret ved eksempelvis adresse 2, ses det at dioxin er lav når PM er høj og vice versa. Samme mønster ses tydeligt for adresse 4 og i nogen grad adresse 3, hvorimod det omvendt er tilfældet for adresserne 5 og 6. Man må heraf kunne udlede af målingerne i 2005, at dannelse af dioxin styres af nogle andre mekanismer, end dannelse af PM. Rapportens forfattere foreslår at dannelse af dioxin skulle hænge sammen med det anvendte brændsels beskaffenhed. Det kunne godt give mening, idet parrene af dioxinmålinger stort set ligger indenfor sam-

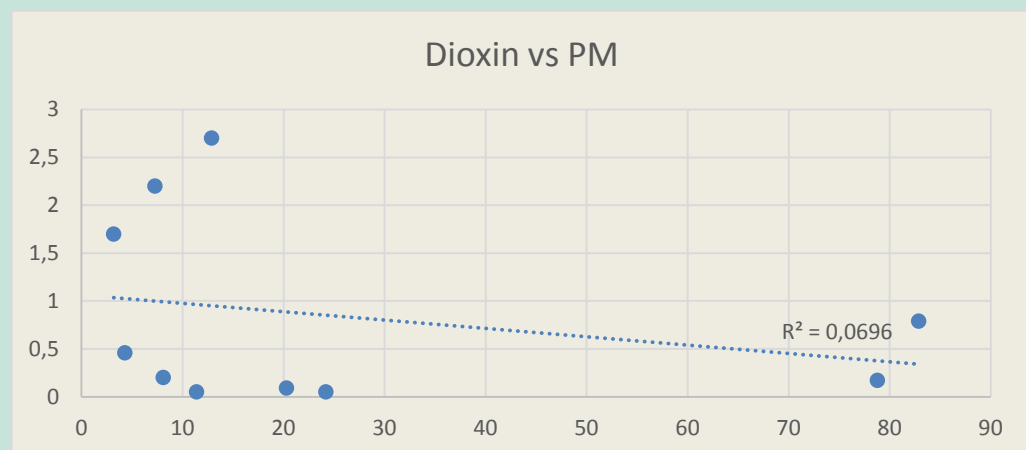
me størrelsesorden fra hus til hus. Højeste dioxin måling er på 60x den laveste måling. For PM er forholdet mellem højeste og laveste på kun x26.

Hvad angår relationen mellem dioxin og PAH, ser der heller ikke ud til at gælde en entydig relation. *Figur 27*, *Figur 28* og *Figur 29* herunder forsøger at finde korrelationer mellem målt PM, dioxin og PAH.



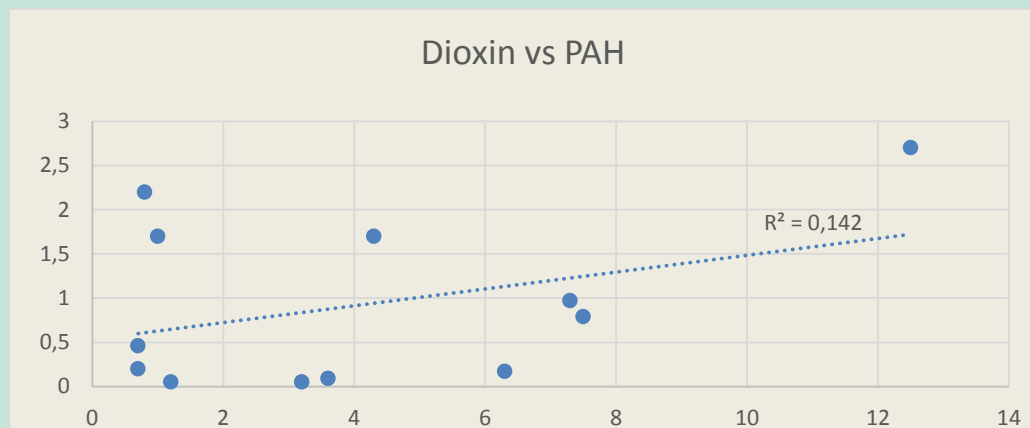
FIGUR 27
KORRELATION MELLEM PAH OG PM.

Når man fjerner et outlying datasæt, så viser *Figur 27* en tydelig relation mellem PAH og PM.



FIGUR 28
KORRELATION MELLEM DIOXIN OG PM.

Det ses tydeligt på *Figur 28*, at der ikke er en relation mellem dioxin og PM.



FIGUR 29
KORRELATION MELLEM PAH OG DIOXIN.

Figur 29 viser heller ikke nogen relation mellem PAH og dioxin.

Herunder samme data med tilføjelse af oplysninger om fyringsanlæggets alder og brændets beskaffenhed.

TABEL 7
DATASÆT INKLUSIV OPLYSNINGER OM FYRINGSANLÆGGETS ALDER OG BRÆNDETS BESKAFFENHED.

Enhed	ng TEQ/kg	l- g/kg	mg/kg		
n	Dioxin	PM	PAH	Årgang fyringsan- læg	Art af brændsel
1a	11,3	-	28,4	Brændeovn 1998	ca Alm lufttørret blandet kløvet løvtræ
1b	6,3	-	47,4		
2a	5,1	82,90	48,9	Brændeovn ukendt alder	Kløvet birk fra brændetårn
2b	7,7	12,90	81,2		
3a	0,6	20,30	23,7	Brændekedel, gammel	Blandet kløvet brænde
3b	0,3	24,20	15,4		
4a	1,3	8,10	4,4	Brændeovn 2001	ca Kløvet birk, lagret i to år
4b	3,0	4,30	4,6		
5a	0,3	11,40	7,8	Brændeovn 2003	ca Kløvet birk, lagret 1 år
5b	1,1	78,80	41,2		Malede brædder + af- faldstræ
6a	11,4	3,20	6,7	Brændeovn 1993	ca Bøg og frugttræ, lagret 1-5 år
6b	14,4	7,3	5,5		

Fejl! Henvisningskilde ikke fundet. ovenfor viser sammenhængen mellem de to sæt af emissioner pr adresse og det pågældende fyringsanlæg og beskaffenheden af det anvendte brændsel.

6.1.3 Betragtninger om PM emission

Set fra nutiden, spiller det ingen stor rolle om ovnene er fra 1998, 2001 eller 2003. De betegnes alle i dag som ældre ovne, med omtrent samme forbrændingsegenskaber. De kan godt have glaslåge, har højst sandsynlig både primær og sekundær luftforsyning (rudeskyl), men det er ikke givet de alle har haft tertier luftskinne. Tertiær luftforsyning begyndte at blive mere udbredt i begyndelsen af 2000-tallet. Udviklingen var ikke mindst drevet af at den Norske standard NS3058 blev lovpligtig, fra i begyndelsen at have været frivillig.

De anlæg, der skiller sig ud, er på adresse 2, som har en gammel eller meget gammel brænde-ovn (havde den været nyere, havde det jo været muligt at tidsfæste den) og adresse 3 der har en gammel brændekedel. Kedler, der decideret er bygget til afbrænding af brænde, er af nyere dato. I tidens løb er mange af de gamle kul- og koks-kedler af Salamander blevet benyttet til brændefyring. Kedlerne er af støbetyper og er omtrent uforgængelige, modsat nyere kedler af pladejern.

Den gamle ovn på adresse 2 i kombination med brænde, der godt kunne have forhøjet fugtindhold, kommer til udtryk ved de højeste emissioner for alle tre parametres vedkommende.

Brændekedlen på adresse 3 skiller sig ud ved at have de laveste emissioner af dioxin blandt alle 6 apparater. Emission af PM ligger som forventet i den øverste tredjedel, og emissionen af PAH ligger på middel niveau.

Brændeovnen på adresse 5 er interessant, fordi den under de to måledage fyres med henholdsvis rent brænde og med affaldstræ. Ovnens har ret lave emissioner af dioxin, uanset hvilket brændsel der benyttes, hvorimod den udleder 5-6x så høje emissioner af PM og PAH, når der fyres med affaldstræ og malet træ, i forhold til rent brænde. Og det til trods for at ovnen er den nyeste blandt de 6 apparater.

Samlet set er det ikke muligt at karakterisere emissionerne alene ud fra ovnenes alder og det anvendte brændsels beskaffenhed. Den mest udslagsgivende faktor, nemlig brugerens forståelse og interesse for brændefyring, mangler i ligningen.

6.2 DMU arbejdsrapport nr. 235, 'Partikler og organiske forbindelser fra træfyring – nye undersøgelser af udslip og koncentrationer'

('Partikler og organiske forbindelser fra træfyring – nye undersøgelser af udslip og koncentrationer' udgivet 2007, Marianne Glacius et al)

Rapporten er inddelt i 3 hovedkapitler, hvoraf kapitel 2, emissioner af partikler, PAH og dioxin, har størst relevans for de forestående laboratoriemålinger. Kapitel 3 omhandlende udendørs partikkelkoncentrationer og kapitel 4 omhandlende indendørs niveauer af partikler, inddrages ikke i indeværende litteraturstudium.

Målingerne ligger i forlængelse af den første målerunde i Gundsømagle i 2002/3. Der er målt Dioxin, PAH og partikler på de samme 6 huse og yderligere 7 huse.

Uddrag af rapportens sammenfatning:

"Målinger af udslip blev foretaget direkte på 19 private skorstene i Gundsømagle. Fra disse skorstene blev i alt 39 røggasprøver indsamlet og efterfølgende analyseret for partikler, PAH og dioxin (PCDD/F).

Resultaterne afslørede at udslippene varierer flere størrelsesordener mellem de forskellige fyringsanlæg. I gennemsnit fandt man et udslip af partikler på 6,2 g/kg træ afbrændt i fyringsanlægget, men resultaterne varierede fra 0,1 og op til 23,5 g/kg træ. For de laveste værdier kan målefejl ikke udelukkes, da analyse-metoden er forbundet med en vis usikkerhed og to målinger skiller sig ud med udslip på hhv. 0,1 og 0,2 g/kg træ. (disse to målinger er i eftertiden afskrevet som outlying måleresultater)

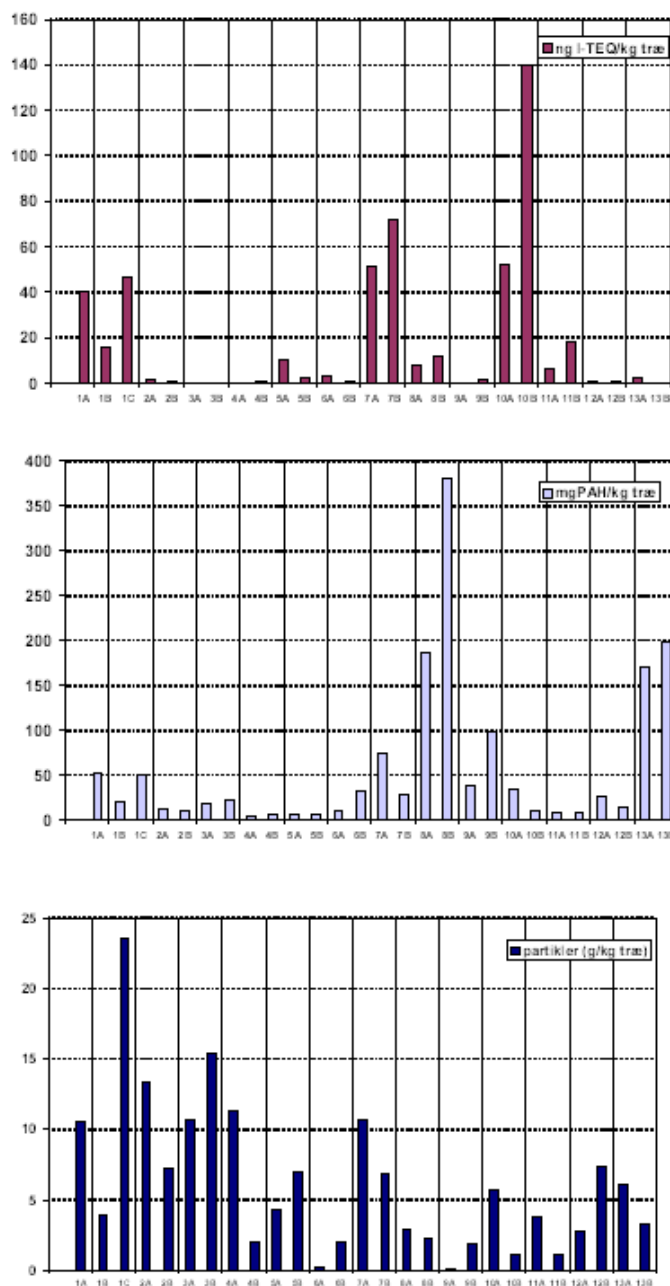
Udslippet af PAH'er viste et gennemsnit på 57 mg/kg træ, men resultaterne udviste også i dette tilfælde store variationer med værdier på mellem 4 og 380 mg/kg træ; således en faktor 90 mellem laveste og højeste målte værdi.

Udslippet af dioxiner er opgjort efter internationale toksicitetsækvivalenter I-TEQ og igen viste resultaterne store variationer i udslippene. I gennemsnit fandt man et udslip på 19 ng I-TEQ, men resultaterne varierede mellem 0,027 og 140 ng I-TEQ – dvs. en faktor 5000 mellem højeste og laveste udslip.

Generelt viser resultaterne, at få enkeltkilder bidrager til hovedparten af udslippet. Således kan en betydelig begrænsning af udslippet opnås gennem en indsats rettet mod de mest forurenende kilder."

Rapportens Figur 2.1 –vist som Figur 30 herunder - viser fordelingen af emissioner af Dioxin, PAH og partikler. For dioxin ses det, at husene 2-4, 6, 9, 12 og 13 har ingen eller næsten ingen udledning af dioxin (hvad er detektionsgrænsen?), hvorimod husene 1, 7 og 10 har betydelige udledninger af dioxin. De tre huse til sammen tegner sig for hele 85% af den samlede målte dioxinudledning. Med baggrund i rapportens resultater kan man ikke entydigt relatere emissionsniveauet til ovnenes alder. Der er både nye ovne der har relativ høj emission af dioxin, og gamle ovne der har relativ lav udledning af dioxin.

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



FIGUR 30

VISER FIGUR 2.1 FRA KILDEN 'PARTIKLER OG ORGANISKE FORBINDELSER FRA TRÆFYRING – NYE UNDERSØGELSER AF UDSLIP OG KONCENTRATIONER' UDGIVET 2007, MARIANNE GLACIUS ET AL

Uddrag fra rapportens afsnit om Dioxin PCDD/F, side 16 midt:

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

Sammen med observationerne ovenfor tyder dette på, at det er ret komplekse mekanismer der betinger dannelse af dioxin. Det er ikke tilstrækkeligt at ville forklare dioxindannelsen ved at der afbrændes træ, eller ud fra ovnens alder.

På side 19 øverst findes en interessant oplysning, der ud fra forbrændingstemperatur udstikker grænser for dannelse af dioxin. Det oplyses, at klor ikke kommer på dampform ved lav forbrændingstemperatur (tripplepunktstemperatur er 172 grader), og i den modsatte ende, at dioxin nedbrydes ved forbrændingstemperatur på 950 grader eller derover.

Rapporten oplyser endvidere, at ud over tilstedeværelse af klor virker kobber som en kraftig katalysator for dannelse af dioxin.

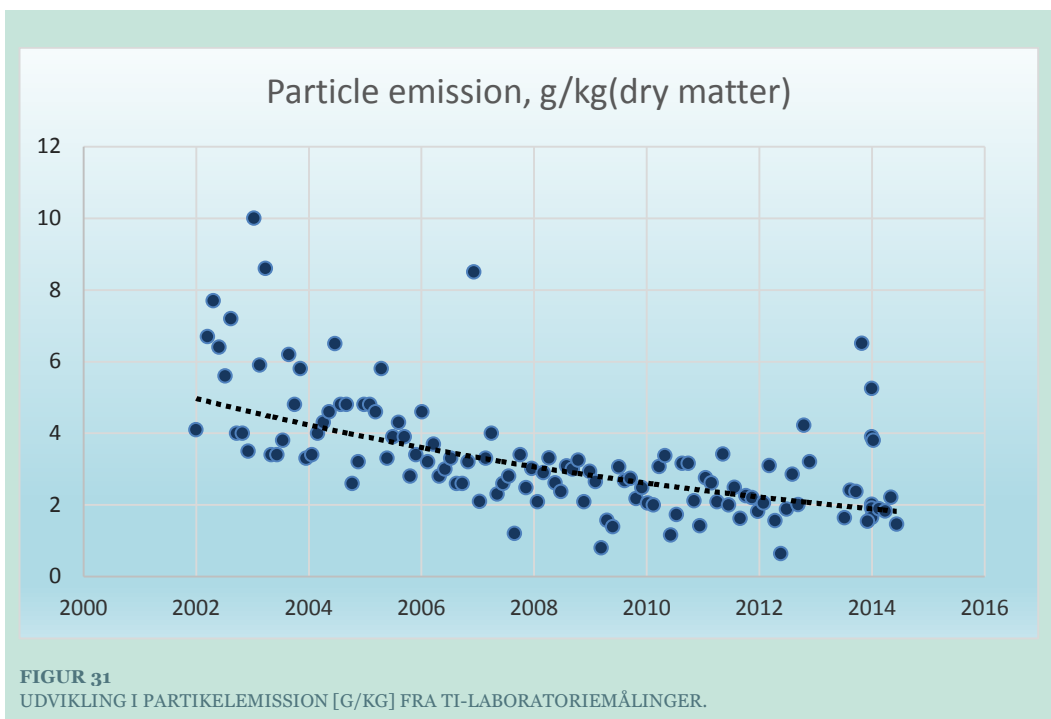
6.2.1 PAH

Udledningen af PAH varierer fra 4-380 mg/kg træ, og som for dioxin fremgår det, at to huse (nr. 8 og 13) tegner sig for hele 61% af den samlede målte PAH udledning. Hus nr. 2 gør sig bemærket ved i 2005 kun at have PAH emissioner på 5-10% af det målte i 2004. Idet rapporten ikke nævner at der skulle være skiftet ovn i hus nr. 2 fra 2004 til 2005, tjener observationen som vidnesbyrd om at niveauet af PAH udledningen ikke kan henføres til ovnen alene, men må afhænge af andre faktorer, såsom brændets kvalitet og ejerens forståelse for brændefyring.

Partikler

Udledningen af partikler i 2005 varierer fra ca 1 – 23,5 g/kg med middelværdi på 6,5 g/kg. (idet der ses bort fra de to laveste målinger på hhv 0,1 og 0,2 g/kg) Gennemsnitsværdien er faktisk under grænseværdien for godkendelse af brændeovne, der i 2007 var på 10 g/kg. Kun 4 ud af i alt 23 målinger udviste en partikelemission der lå tydeligt over datidens grænseværdi på 10 g/kg. I forhold til Teknologisk Instituts opgørelse over de målte emissioner under typeprøverne efter NS3058 (nedenfor i Figur 31), ses det, at middelværdien på 6,2 g/kg kun ligger marginalt over det niveau, der blev målt i 2005. DCE's emissionsfaktor for TSP for en ovn fra 2008 er 556 mg/MJ. Middelværdien på 6,2 g/kg svarer omtrent til 280 mg/MJ, forudsat der i forsøget afbrændes ca 1,4 kg træ pr time.

Feltmålingerne i 2005 viste således at selvom der benyttes træ af vekslende kvalitet og selvom ovnene ikke forudsættes betjent så optimalt som til typeprøven, så lykkes det alligevel at opnå partikelemissioner der i almindelighed er bedre end samtidens grænseværdi og endvidere har en komfortabel sikkerhedsmargin op til DCE's samtidige emissionsfaktor.



Ved en samlet bedømmelse af alle tre målte emissionsparametre, er det kun hus nr. 5, der ligger rigtig lavt på dem alle. Det havde været interessant at have analyseret, hvad der lykkes så godt, siden den adresse leverer så lave emissioner af både dioxin, PAH og partikler.

6.3 Influence of Ignition and Operation type on Particle Emission from Residential Wood Combustion.

(Nussbaumer et al, as presented on the European Biomass Conference 2008)

Rapporten er udarbejdet på baggrund af studier udført af fire forskningsinstitutioner fra Schweiz i første halvdel af 2000-tallet. Formålet har været at kvalificere typeprøvningsmetoderne ved at identificere og undersøge betydningen af forskellige driftsforhold, der betegnes som værende 'real-life conditions'. Dette tema har i øvrigt dannet grundlag for mange forskningsprojekter blandt videnskabelige institutioner i Østrig, Schweiz og Tyskland de seneste 10 år, senest i form af EU FP7 projektet BeReal, der netop er afsluttet. Disse undersøgelser har dog endnu ikke givet anledning til at ændre væsentligt på typeprøvnings-metoderne.)

Undersøgelsen havde fire del-mål;

- 1) Identificere og undersøge betydningen af betjening, samt forskelle mellem typeprøven og 'real-life conditions', herunder betydningen af opstartsfasen, optændingsmetoden, forskellen mellem kold start og varm start samt betydningen af anvendt brændemængde, dets fugtindhold og størrelsen af brændeknuderne.
- 2) At vurdere PM emissionen til omgivelserne, såvel faste partikler som gasformige forbindelser, der tilsammen indgår i dannelse af de sekundære aerosoler, SOA.
- 3) At give anbefalinger for optimal optændingsmetode samt praktisk brug af ovnen.
- 4) At give anbefalinger til forbedring af typeprøvningsmetoderne og at fremme design principper, der kan være med til at forebygge fejlbetjening.

Forsøgsrækken blev udført dels som laboratoriemålinger, dels som feltmålinger. I laboratoriet er der udelukkende målt på almindelige brændeovne, medens der i feltmålingerne også er målt på en række ovne, der er almindeligt udbredte i Schweiz;

- Tiled stove (indsats med stort volumen beregnet til indbygning)
- Chimney stove (stor, gerne rektangulær ovn/indsats, der kan illudere et åbent ildsted)
- Wood stove with two stage combustion (ovn af samme princip som Rais BionicFire eller Bioovnene med tokammer forbrænding)
- Wood stove (almindelig brændeovn, dog formodentlig af noget højere ydelse end de der typisk benyttes i Danmark)

De tre første typer af disse ovne er kendetegnede ved at have store brændkamre der kan rumme store brændemængder beregnet til kontinuert afbrænding over 6-8 timer. Til sammenligning er brændeovne i Danmark udelukkende af typen intermitterende brændende ovne, som er beregnet til genpåfyldning med begrænset brændemængde, ca. hver 3 kvarter til en time. Det er derfor langt fra alle resultaterne, der lader sig direkte overføre til danske forhold.

Ved feltmålingerne har de benyttet et Wöhler SM96 instrument til måling af støv. Instrumentet opvarmer filterhuset til 70 °C og arbejder i 30 minutter hvorunder der udsuges et fast røggasvolumen på 270 liter.

Til laboratoriemålingerne er der benyttet et instrument der opfylder VDI2066 normen for støvmåling. I dette instrument opvarmes filterhuset til 160 grader, der benyttes isokinetisk udsugning, og det er ikke oplyst hvor lang tid måleperioden har været.

I det efterfølgende er der fokuseret på faktorerne, der indgår i punkt 1 herover.

6.3.1 Indflydelse af opstartsfasen

Der er målt partikelemission og beregnet kumulativ partikelemission over én forbrændingscyklus på godt 6 timer. Det fremgår ikke specifik i hvilken ovn, men eftersom der må være blevet påfyret 9-10 kg brænde på en gang, kan man udelukke den almindelige brændeovn.

Forbrændingscyklussen er inddelt i tre delperioder; Optænding (ca. et kvarter), stabil forbrænding (ca. 3 timer) og udbrænding (godt 2½ time)

Ud fra kurven over den kumulerede PM emission i Fig. 4 (i litteraturen) ses det, at ca. 45% af PM emissionen opstår under optænding, ca. 30% under stabil forbrænding og de resterende ca. 25% under udbrændingen.

Det er ikke overraskende - den store brændemængde taget i betragtning - at der er en kraftig emission under opstarten. Målingen er udført på tokammer ovnen, men det fremgår ikke om bypass spjældet har stået åben under optændingen, eller været lukket, så ovnen var henvist til at slæbe sig i gang fra stående start. Det gængse princip for disse ovne er, at man åbner et bypass spjæld under optænding, hvorunder røggasserne ledes direkte ud i skorstenen. Når ilden så har fået godt ved, lukkes bypass spjældet hvorved forbrændingen skifter retning og ledes igennem det sekundære forbrændingskammer. Det indebærer betydelig renere forbrænding, idet røggasserne bliver omtrent fuldstændigt afbrændt.

Både fordi betjeningen under optænding ikke er oplyst, og fordi brændemængden med stor sandsynlighed har været flere gange højere, end det der benyttes i danske ovne, kan man ikke direkte overføre de 45% PM emission under optænding til danske forhold. Men det er indiskutabelt, at de første minutter efter påfyring under alle omstændigheder er kritiske, indtil temperaturen i brændkammeret er blevet så høj, at fuldstændig forbrænding kan finde sted. Og det er også indiskutabelt, at der er en forholdsmæssig højere emission i de første minutter under opstarten.

6.3.2 Betydning af optændingsmetoden

Der er målt PM emission ved tænding både fra toppen og bunden, på tre forskellige ovne: Tiled stove, Chimney stove og Heavy wood stove. Resultatet heraf kan ses på *Figur 33*.



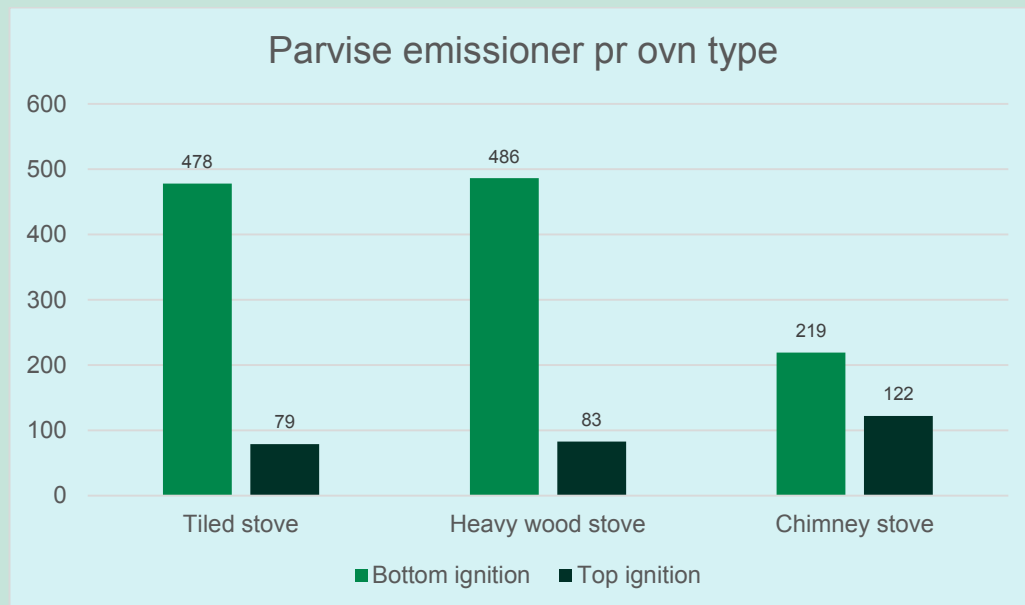
BILLEDE 32
BILLEDE FRA RAPPORTEN ILLUSTRERER OPSTILLINGEN AF TRÆET VED OPTÆNDING I TOPPEN.

Ved tænding i toppen benyttes det såkaldte *tændingsmodul*, der består af 4 stykker pindebrænde af gran og noget voksimpregneret træuld, placeret ovenpå den ordinære brændemængde som vist på *Billede 32*.

De 6 nederste brændestykker er af bøg og deres samlede vægt anslås at udgøre ca. 7-8 kg

Resultaterne, afbilledet på *Figur 33*, viste for Tiled Stove og for Heavy wood stove, at reduktionen i partikelemission ved skift fra optænding i bunden til optænding i toppen udgør ca 80%. For Chimney stove udgør den tilsvarende reduktion ca 45%. Af de nævnte ovn typer er det Chimney stove der kommer tættest på de danske ovne. Den

minder en del om en stor pejseindsats, men stadig med betydeligt større brændekammer end en



FIGUR 33
DATA FRA RAPPORT ANG. EFFEKTEN AF OPTÆNDING I TOPPEN KONTRA OPTÆNDING I BUNDEN.

gennemsnitlig brændeovn. På den baggrund bør man ikke forvente mere end maksimalt 40-50% reduktion partikelemissionen ved brug af optænding i toppen på danske brændeovne.

6.4 Black Carbon i brændeovnsrøg

Delvist sideløbende med indeværende målinger, har Teknologisk Institut, sammenslutningen af de danske brændeovnsfabrikanter DAPO og Skamol A/S sammen med støtte fra MUDP-fonden gennemført det nyligt afsluttede Miljøprojekt nr. 1946 - LowCarbon Brændkammer, (06/2017 - omtalt LCB). Dette projekt haft til hensigt at identificere mulige black carbon (BC) årsagsvirkningssammenhænge ud fra de forskellige brændkammer geometrier og øvrige fysiske egenskaber – og på baggrund af disse studier, at udvikle og demonstrere et modelbrændkammer, samt opstille retningslinjer for fabrikanter fremtidige design af brændkamre med særligt lave emissioner af BC. Herunder findes en kort gennemgang af projektets opsamlede viden fra et indlagt litteraturstudie, samt resultaterne af BC målingerne.

Grunden til at BC er mere omdiskuteret emne er, at BC betragtes som en væsentlig klimaparameter og at partiklerne samtidig tilskrives at være en helbreds faktor. BC er en delfraktion af partikler udledt fra både fossilt brændsel, biobrændsel og afbrænding af biomasse, hvorfor udledningskilderne både lokalt og globalt er mange. Dog er datagrundlaget for brændeovns BC-emission fortsat begrænset i den tilgængelige litteratur, idet åben fladeafbrænding af rester fra landbrugsafgrøder og natur- og skovbrande anses som de største bidragsydere til BC i atmosfæren, inden for kategorien biomasse.

Forskere bekræfter samstemmende at partikelfractionen BC bliver dannet i flammerne ved ufuldstændig forbrænding pga. lokalt luftunderskud. Selve definitionen (herunder frit oversat) er senest formuleret af Professor Tammy Bond fra University of Illinois i Bond et al. (2013)

"Black carbon dannes under forbrænding af kulstofbaseret brændstof, når der ikke er nok ilt tilstede for fuldstændig forbrænding. Dannelsen kan ske til trods for tilstrækkelig tilført ilt. Hvis ikke ilten bliver mixet korrekt ind i flammerne, kan forbrænding lokalt mangle ilt i forbrændingsprocessen. Hvis forbrændingstemperaturen ellers forbliver høj, og ilten tilføres og mixes korrekt ind i flammerne kan disse kulstofpartikler elimineres ved iltning inden de forlader forbrændingskammeret. Hvis ikke - dannes partiklerne".

Der er ligeledes i en rapport fra 2013 opsummeret, hvilke unikke fysiske egenskaber, der skal være til stede, for at der er tale om black carbon (Bond et al., 2013):

- 1) Stærk absorber af det visuelle lys (MAC^2 på mindst $5m^2g^{-1}$ ved bølglængde på $\lambda=550nm$. Ingen anden substans i atmosfæren har så høj en lysabsorption pr. enhed masse i så store mængder.)
- 2) Ildfast med en fordampning/kogepunkt nær 4000K
- 3) Eksisterer som en enhed af små klynger i størrelsen 10-50nm i diameter
- 4) Uopløselig i vand og andre velkendte organiske opløsningsmidler som fx acetone.

Derudover har Petzold et al. (2013) opstillet en 5. egenskab, som også gør sig gældende:

- 5) Grafit-lignende struktur indeholdende en stor fraktion af sp^2 -bundede carbon atomer.

BC er et meget kompleks emne, hvorfor der ikke findes standardiserede målemetoder eller instrumenter, som kan måle alle 5 fysiske egenskaber på samme tid. Der er foretaget mange målestudier af BC på forskellige universiteter, hvilket har ført til forskellige målemetoder og tilhørende repræsentationer af BC. Man skal være opmærksom på, at målestudier med forskellige benyttede målemetoder og protokoller derfor ikke er sammenlignelige.

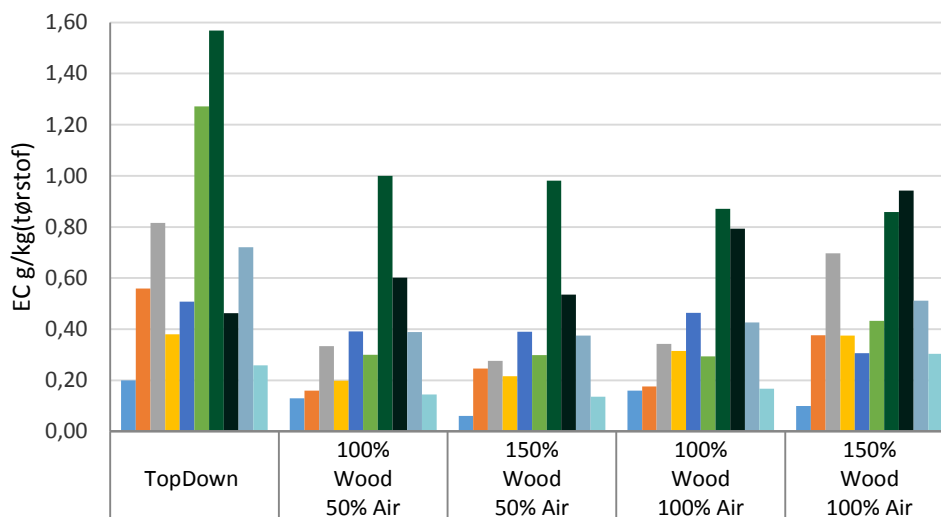
² MAC - Mass-specific absorption cross section

Til brændeovnsfyring er der forskellige muligheder for måling af BC, men flere af instrumenterne er så fintfølede, at instrumenterne forholdsvis hurtigt går i mætning, fordi instrumenterne mere er beregnet til måling af BC i atmosfærisk luft og ikke direkte i en skorsten. I andre projektsammenhænge har TI benyttet opsamlet partikelmasse på quartz-filtre, hvorefter filtrene er sendt til termisk/optisk analyse ved benyttelse af NIOSH870 protokollen.

Både Miljøprojekt 1946 og indeværende projekt har benyttet den samme BC målemetode. Resultatet heraf er dels en elementær kulstof fraktion (EC), og dels en organisk kulstof fraktion (OC). EC har en del fysiske egenskaber til fælles med BC, selvom forskellige metoder placerer skillelinjen mellem EC og OC og herunder også Brown Carbon (BrC) forskellige steder. Brug af EC/OC repræsentationen efter NIOSH870 protokollen støtter op om sammenlignelighed med nylige danske og nordiske målinger, herunder ikke mindst Nordisk Ministerråds store målekampagne til brug for opdaterede emissionsfaktorer fra 2015/16.

I målekampagnen under Miljøprojekt nr. 1946 har der været benyttet samme type brændsel med omtrent samme fugtighed, hvorfor brændselskvalitetens indvirkning på BC emissionen i projektet ikke er undersøgt. Ligeledes har operatørens indflydelse ej heller været undersøgt

Miljøprojekt 1946: EC g/kg ved de forskellige fyringssituationer



FIGUR 34

BC MÅLINGER FRA MILJØPROJEKT 1946 PÅ 8 DANSKE BRÆNDEOVNE (INKL. EN MIDDELVÆRDI FOR DISSE) OG EN NYUDVIKLET PROJEKTOVN, OVN T (AFRAPPORTERET I EC I G/KG(TØRSTOF)). TC 4-8 STÅR FOR TEST CHARGE 4-8, SOM REPRÆSENTERER 5 FØRSKELLIGE FYRINGSSITUATIONER ANGIVET UNDER SØJLERNE.

som en parameter, idet alle målinger er foretaget af fagpersoner med kendskab til ovnene og deres egenskaber. Derimod var projektet mere været rettet i mod, hvilke fysiske egenskaber ved ovnene, som kan forårsage udledningen af BC-lignende partikler (som målt EC-udledning).

Der blev i målekampagnen målt BC på otte moderne danske brændeovne, samt på en nyudviklet projektovn (Ovn T). Ovnene blev målt efter en nyudviklet måleprocedure med forskellige indfyringsprincipper. Disse indeholdt både en optændingssituation, en tilnærmelsesvis nominel fyringssituation og andre fyringssituationer med både mere luft og mere brændsel end en mere optimal situation (omtalt i figuren som TC4-8, test charge 4-8). I alt blev der foretaget 45 BC målinger med en stor variation mellem ovnene, men også i forhold til de forskellige fyringssituationer, se *Figur 34*. Middelmålinger fra målekampagnen afslørede, at det er en optændingssituation, som giver den største BC-emission med en spredning fra 0,20-1,57 g/kg. Den laveste BC-emission viste sig at være i fyringssituationen med 150% af den anbefalede indfyrmængde (anbefalet mængde fra fabrikanten var sat til 100%) og forbrændingsluften nedjusteret til 50% af den fysiske vandring på spjældhåndtaget (sekundærluften). Variationen heriblandt var 0,06-0,98g/kg(tørstof). Til trods for, at der i TC6 benyttes 50% mere brændsel end ved TC5, er disse to fyringer overraskende nok meget identiske. De efterfølgende målinger viste, at BC-emissionerne steg en anelse med en øget forbrændingsluft (100% af den tilgængelige forbrændingsluft), men med samme indfyrmængder. Nærmere undersøgelse af dette blev tilskrevet øget hastighed på rudeskyllet, som i stedet for at tilføre flammerne ekstra luft tilførte gløderne under brændslet ekstra luft, og dermed agerede primærlufttilsætning til ugunst for BC-emissionerne.

Tilsammen gav hele målekampagnen en BC-emission på 0,48g/kg(tørstof) ud fra den udviklede måleprocedure. En nærmere undersøgelse i projektet ud fra resultaterne viste at både lufttilførsel og opbygning af brændkamre har betydning for BC-udledningen fra den enkelte ovn.

Resultatet af dette projekt blev et sæt retningslinjer til fremtidige brændkammeropbygninger med reduceret BC-udledning, samt en LCB-modelovn, Ovn T, med en gennemsnitlig reduktion af både EC, OC og øvrige målte emissioner CO og OGC på ca. 60%.

For resultaterne af indeværende målinger henvises til *afsnit 4.7* og *5.9*.

6.5 Litteraturhenvisning

- Nordisk ministerråd har i 2015-2017 udført et omfattende studium over emissioner fra brændeovne og fastbrændselskedler. Interesserede henvises til rapporten; Kindbom, K., Mawdsley, I., Nielsen, O.-K., Saarinen, K., Jónsson, K., Aasestad, K. (2017). Emission factors for SLCP emissions from residential wood combustion in the Nordic countries – Improved emission inventories of Short-Lived Climate Pollutants. TN2017:570.
- DMU arbejdsrapport nr. 212, 'Dioxin, PAH og partikler fra brændeovne'
- DMU arbejdsrapport nr. 235, 'Partikler og organiske forbindelser fra træfyring – nye undersøgelser af udslip og koncentrationer'.
- Nussbaumer et al, as presented on the European Biomass Conference 2008. Influence of Ignition and Operation type on Particle Emission from Residential Wood Combustion.
- Miljøprojekt nr. 1946, 'LowCarbon Brændkammer', 2017.

7. Konklusion

Når ovenstående tages i betragtning, kan der derfor forsigtig summeres, at;

7.1 Top-Down optænding er at fortrække som optændingsmetode,

De tidligere schweiziske TD målinger med en PM reduktion på 80% kan kun bekræftes for en enkelt fyring (PM reduktion på 75%). Effekten er ret forskellig fra ovn til ovn og varierer fra 0-75% reduktion. Den gennemsnitlige reduktion ved TD optænding frem for BU på de fire typer ovne er 23%, med en spredning fra 0-75%. Målingerne har vist, at der er stor forskel fra ovn til ovn, om en BU eller en TD håndteres mest hensigtsmæssigt. For ovne med vel-designet primærlufttilsætning (*Ovn 1*) kan disse håndtere de to optændingssituationer tilnærmelsesvis lige godt. For de øvrige ovne var forskellen mere markant med TD, som den mest fordelagtige optændingsmetode.

Med reference til de schweiziske målinger, forekommer det rimeligt at antage, at besparelsen ved at skifte fra BU til TD optænding er proportional med, hvor meget træ brændkammeret kan indeholde.

7.2 Fugtigt træ belaster miljøet,

Fugtigt brænde bevirker at ovnen tager længere tid om at opnå tilstrækkelig høj forbrændingstemperatur. Det skyldes at en del af energien medgår til udtørring af brændet. I den tid der går indtil forbrændingstemperaturen bliver tilstrækkelig høj undslipper gasserne uforbrændte sammen med vanddampen, hvilket afstedkommer en CO og en OGC peak i målingens begyndelse. Jo fugtigere brænde, det større peak. *Ovn 3* og *Ovn 4* har vist sig meget følsomme over for vådt træ kontra tørt træ, men på hver sin emissionsparameter. For *Ovn 3* måles op til en faktor 10 højere PM emissioner for vådt træ kontra normalt tørt træ. For *Ovn 4* er der en faktor 30 på OGC-emissionen for igen vådt træ kontra normalt tørt træ. Dog viser målingerne også, at *Ovn 1* og *Ovn 2* (begge tilført primær luft ved vådt træ) godt kan håndtere, at fugtigheden er høj i brændslet. Midlet set, viser målingerne på de fire ovne, at det mere er på gasserne, det våde brændsel giver forhøjet emissioner frem for partikeludledningen.

Det benyttede fugtige brændsel havde en fugtighed mellem 25-30%. Niveauet er fastlagt ud fra, at træ med højere fugt end 30% har meget svært ved at brænde. Hvis der var benytte helt nyfældet træ med en fugtprocent nærmere 50% ville udledningen fra alle emissioner målt formentlig have været en del højere, for så vidt man overhovedet kunne få træet til at brænde.

7.3 Briketter skal bruges med omhu

Pini Kay briketten viser tydelige tegn på kraftig afgasning i alle målinger og deraf følgende forhøjede emissioner. Målinger foretaget med RUF briketter leverer pænere resultaterne end forventet og bedre end eller på niveau med almindeligt brænde. Rigtig anvendt kan denne type briketter udgøre et udmærket alternativ til brænde.

7.4 Overfyldning af brændkammer og reducere af lufttilførslen belaster miljøet

Målingerne har vist at emissionerne stiger med en faktor på x2-x3, når ovnen fyldes med træ eller briketter, og at det her er særlig vigtigt at efterleve fyringsrådet om rigelig lufttilførsel. Der er stadig grund til at fraråde forsøg på at tvinge ovnen til at fyre over om natten, ved at fylde den med træ og skrue ned for spjældet.

7.5 Emissionsfaktorerne trænger nok til at blive redefinerede

Fra en begyndelse, hvor emissionsfaktorerne afspejlede ovnenes forbrændingsegenskaber ud fra ovnens alder, er der de senere år opstået nye faktorer, der også tager højde for de svanemærkede ovne og som er inddelt i kortere åremål end tidligere. Det har på det seneste vist sig problematisk at benytte svanemærkning som kriterium, idet en del af de større fabrikker af, har fravalgt det frivillige svanemærke, i øvrigt uden at de af den grund er begyndt at bygge ovne med dårligere forbrændingsegenskaber. For eksempel var alle fire ovne anvendt til målingerne svanemærkede, da de blev introducerede på markedet, men nu er der ingen af dem der længere er i ordningen. Det rejser spørgsmålet om hvilken emissionsfaktor disse ovne nu skal afregnes efter.

Hvor det kan være rimeligt nok at fremskrive stadigt lavere emissioner af PM og OGC i takt med at ovnene bliver nyere og bedre, forekommer det ubegrundet at overføre samme mekanisme til emissionsfaktoren for Dioxin. Det har således ikke været muligt at eftervise de lave emissionsfaktorer på 100 henholdsvis 250 ng I-TEQ/GJ for de to kategorier af svanemærkede ovne.

7.6 Målinger af dioxin og PAH udviser niveauer, der flugter ligeud med emissionsfaktoren for gamle og nye ovne,

Dioxin-niveauet er ca. en faktor 2-3 gange højere end den nyeste emissionsfaktor for den type ovne. Dog er de lavere end de tidligere DMU AR 235 og ORM projekt målinger (Miljøprojekt nr 1870, 2016 Kontrol med Afbrænding af Affald), der målte på værdier fra affaldstræ. Samtidig viser og bekræfter målingerne, at niveauet mere har sammenhæng med brændslets egenskaber frem for ovnenes evne til at brænde dioxinen af – selv for ovnen med omvendt forbrændingsteknik med høj røggastemperatur.

Der er mange faktorer, som i et samlet kompleks er udslagsgivende for emissionen af dioxin. Henset til det begrænsede måleprogram, skal resultaterne mest ses som en bekræftelse på tidligere målinger dokumenteret i AR-212 og AR-235, idet dioxin emissionen er af omtrent samme størrelsesorden.

For PAH har målingerne vist, at forbrændingsteknikken i den enkelte ovn godt kan reducere udledningen. Samtidig er der stor sammenhæng mellem de målte PAH og den målte OGC-emission.

7.7 Datagrundlag

Måleprogrammet bag indeværende projekt blev tilrettelagt med henblik på at få belyst flest mulige facetter af de moderne brændeovnes emissionsegenskaber. Og som det første danske laboratoriemålingsprojekt, er der tilføjet en ekstra dimension ved at fordele målingerne på fire forskellige brændeovne, i erkendelse af at brændeovne i dag er mindre homogent konstruerede end for bare 10 siden.

Måleprogrammet er tilsigtet fordelt uens, og det får som konsekvens at ikke alle målinger er repeteret lige mange gange (antal repetitioner er oplyst direkte i figurerne). Flere af parametrene undersøgt bygger kun på 1 eller 2 fyringer. Det højest antal fyringer for samme situation og på samme ovn er 6.

Læsere bør derfor skele til antal repetitioner, inden der uddrages alt for håndfaste konklusioner om en ovns egenskaber på en given parameter. For eksempel viste det sig at *Ovn 1* var ret følsom overfor overfylding med tørt træ, og derfor afgav forholdsmeæssigt flere uforbrændte gasser end de øvrige ovne, og også flere, end hvis ovnen var blevet betjent i overensstemmelse med fabrikantens vejledning.

Brug af flere forskellige ovne har den ulempe at resultaterne er sværere at overskue, men omvendt er det med til at underbygge at brændeovne er ret forskellige konstrueret og reagerer forskelligt, når de provokeres ud over deres tilsigtede anvendelse. Man kan på den baggrund diskutere om det giver mening at oplyse en ovns emissioner som én bestemt værdi. Det ville nok være mere retvisende at oplyse et interval pr emissionsparameter.

8. Bilagsoversigt

Bilag 1: Datatabeller over figurer i rapporten

8.1 Bilag 1: Datatabeller over figurer i rapporten

Figur 1 - Misuse situationer

Stove name	Output	Fuel mass kg	Moist %	Flue gas temp. °C	Heat output kW	Virknings-grad %	CO % v 13% O2	CO mg/MJ	CO2 % v 13% O2	OGC mgC/m³n v 13% O2	OGC mgC/MJ	NOx mg/m³n v 13% O2	NOx mg/MJ	PM mg/MJ	PM g/kg (indfyret)
Ovn 1	Nom	1,61	16,5	283	8,4	81	0,09	740	11,5	196	130	145	96	111	1,66
Ovn 1	Nom	1,61	16,5	310	7,4	79	0,13	1103	11,9	259	171	125	83	210	3,13
Ovn 1	Nom	1,60	16,5	294	4,9	76	0,09	753	9,4	54	36	134	89	110	1,64
Ovn 3	Nom	1,72	16,5	208	4,4	78	0,31	2565	7,3	755	500	114	76	348	5,19
Ovn 3	Nom	1,72	16,5	221	4,8	77	0,34	2801	7,4	911	604	111	74	405	6,04
Ovn 3	Nom	1,75	16,5	207	4,8	80	0,29	2379	7,8	751	497	114	76	101	1,50
Ovn 4	Nom	0,99	16,5	137	3,5	79	0,29	2424	4,4	450	298	122	80	36	0,54
Ovn 4	Nom	0,97	16,5	155	3,3	82	0,26	2112	6,3	204	135	159	105	127	1,90
Ovn 4	Nom	1,04	16,5	161	3,6	80	0,21	1739	5,6	165	109	144	95	45	0,68
Ovn 1	Nom	1,61	25,4	306	5,5	76	0,13	1061	10,6	233	157	121	82	153	2,00
Ovn 2	Nom	1,76	32,5	297	3,9	62	0,23	1987	6,1	229	158	128	89	140	1,62
Ovn 2	Nom	1,83	32,5	282	4,7	65	0,21	1823	6,3	339	234	120	82	189	2,19
Ovn 2	Nom	1,74	32,5	266	4,1	63	0,32	2714	5,5	718	494	121	84	267	3,09
Ovn 2	Mix	1,84	32,5	275	4,2	71	0,22	1930	7,6	323	222	113	78	157	1,82
Ovn 3	Nom	1,76	32,5	209	2,9	72	0,39	3375	5,9	1348	929	105	72	798	9,26
Ovn4	Nom	1,06	25,0	154	2,3	73	0,53	4510	4,2	1247	841	118	80	265	3,48
Ovn 3	High	1,76	25,0	218	3,7	71	0,44	3672	5,7	1223	825	106	71	505	6,64
Ovn 3	High	1,76	25,0	206	3,6	69	0,46	3868	5,0	1577	1064	106	71	584	7,67
Ovn 1	Nom	1,61	11,3	315	9,3	80	0,28	2290	13,0	613	402	111	73	187	2,99
Ovn 2	Mix	1,86	9,7	314	9,9	79	0,15	1254	11,5	308	201	75	49	186	3,04
Ovn 3	Nom	1,73	9,7	233	6,6	82	0,16	1320	10,1	215	141	108	71	75	1,23
Ovn4	Nom	1,05	8,0	164	5,2	86	0,10	783	8,0	72	47	160	105	199	3,32
Ovn 3	Low	3,47	16,5	200	4,1	81	0,40	3329	9,0	481	318	82	54	141	2,11
Ovn 2	Low	4,82	16,5	178	6,0	85	0,43	3592	11,4	1252	829	42	28	279	4,16
Ovn 3	Low	8,03	8,8	211	6,5	83	0,49	3897	10,2	903	571	60	38	149	2,55
Ovn 1	Nom	2,02	1,9	317	10,1	74	0,81	6439	10,9	1032	657	88	56	376	6,80
Ovn 1	Nom	2,00	1,9	294	6,6	76	0,63	5040	10,3	791	504	85	54	406	7,35

Ovn 1	High	2,01	1,9	275	7,3	78	0,42	3323	9,6	921	587	96	61	416	7,54
Ovn 1	High	1,33	1,9	269	4,8	77	0,30	2358	8,8	362	230	116	74	236	4,27
Ovn 1	Nom	1,77	7,9	308	6,6	78	0,14	1121	10,4	201	128	74	47	174	3,00
Ovn 1	Nom	1,77	7,9	284	5,8	78	0,09	699	9,1	107	68	80	50	146	2,53
Ovn 3	Nom	1,80	7,9	247	6,4	83	0,17	1309	10,8	207	130	65	41	72	1,25
Ovn 3	Nom	1,80	7,9	244	6,7	83	0,11	846	10,4	109	69	65	41	69	1,19

Pakke 1 – Optændingsmetode - Figur 7

Stove name	Out-put	Fuel mass kg	Moist %	Flue gas temp. °C	Heat output kW	Virknings-grad %	CO % v 13% O2	CO mg/MJ	CO2 % v 13% O2	OGC mgC/m³n v 13% O2	OGC mgC/MJ	NOx mg/m³n v 13% O2	NOx mg/MJ	PM mg/MJ	PM g/kg (indfyret)
Ovn 1	High	1,6	16,5	212	7,9	81	0,22	1824	8,7	549	363	125	83	257	3,84
Ovn 1	High	2,0	16,5	249	8,7	80	0,25	2097	10,1	629	417	123	81	215	3,21
Ovn 1	High	2,0	16,5	223	8,1	81	0,17	1383	8,9	252	167	144	96	98	1,46
Ovn 1	High	1,8	16,5	191	5,4	77	0,21	1774	5,8	798	528	116	77	324	4,84
Ovn 1	High	1,9	16,5	204	4,7	75	0,23	1874	5,9	339	225	117	77	145	2,17
Ovn 1	High	1,9	16,5	277	7,9	72	0,17	1447	7,3	269	178	130	86	175	2,61
Ovn 1	High	1,9	12,5	199	5,4	71	0,27	2222	4,7	552	363	151	100	238	3,75
Ovn 1	High	2,0	16,5	250	6,9	78	0,33	2771	9,0	660	437	108	72	204	3,05
Ovn 1	High	2,0	16,5	206	6,0	79	0,16	1290	7,2	184	122	111	74	89	1,33
Ovn 1	High	1,9	16,5	163	3,7	77	0,28	2347	4,9	442	293	132	87	100	1,49
Ovn 2	High	3,4	16,5	257	11,3	79	0,28	2318	9,9	606	401	92	61	193	2,89
Ovn 2	High	3,5	16,5	261	10,1	78	0,13	1107	9,1	138	91	121	80	124	1,86
Ovn 2	High	3,7	16,5	255	11,1	80	0,14	1141	9,7	137	91	125	83	102	1,53
Ovn 2	High	3,6	16,5	246	11,1	79	0,32	2631	9,7	688	456	100	66	179	2,67
Ovn 3	High	2,1	16,5	235	7,7	81	0,19	1592	9,5	240	159	102	68	90	1,35
Ovn 3	High	2,1	16,5	214	8,4	83	0,21	1751	10,2	423	280	101	67	161	2,41
Ovn 3	High	2,1	16,5	201	8,5	83	0,37	3027	9,7	752	498	79	52	155	2,31
Ovn 3	High	2,0	16,5	182	7,6	83	0,23	1889	8,0	629	416	100	66	268	4,00
Ovn 3	High	2,1	16,5	172	5,9	83	0,27	2197	7,8	556	368	98	65	221	3,30
Ovn 3	High	2,0	16,5	195	5,6	80	0,22	1830	7,1	314	208	117	77	0	0,01
Ovn 3	High	2,0	16,5	191	5,6	81	0,28	2342	7,7	368	244	100	66	89	1,32
Ovn 4	High	2,2	16,5	214	5,7	76	0,22	1802	6,3	201	133	138	92	115	1,71
Ovn 4	High	2,0	16,5	224	9,1	80	0,24	2010	8,5	271	180	126	83	131	1,95
Ovn 4	High	2,2	16,5	196	4,8	74	0,21	1708	5,4	243	161	116	77	80	1,19

Pakke 1 - Nom vs. high - Figur 8

Stove name	Out-put	Fuel mass kg	Moist %	Flue gas temp. °C	Heat output kW	Virknings-grad %	CO % v 13% O2	CO mg/MJ	CO2 % v 13% O2	OGC mgC/m³n v 13% O2	OGC mgC/MJ	NOx mg/m³n v 13% O2	NOx mg/MJ	PM mg/MJ	PM g/kg (indfyret)
Ovn 1	Nom	1,6	16,5	283	8,4	81	0,09	740	11,48	196	130	145	96	111	1,66
Ovn 1	Nom	1,6	16,5	310	7,4	79	0,13	1103	11,86	259	171	125	83	210	3,13
Ovn 1	Nom	1,6	16,5	294	4,9	76	0,09	753	9,43	54	36	134	89	110	1,64
Ovn 1	High	1,6	16,5	315	7,0	77	0,16	1315	10,75	325	215	129	86	170	2,54
Ovn 1	High	1,6	16,5	324	7,3	76	0,15	1201	10,87	306	203	130	86	160	2,39
Ovn 1	High	1,6	16,5	330	6,8	74	0,45	3700	10,93	650	431	115	76	243	3,62
Stove name	Out-put	Fuel mass kg	Moist %	Flue gas temp. °C	Heat output kW	Virknings-grad %	CO % v 13% O2	CO mg/MJ	CO2 % v 13% O2	OGC mgC/m³n v 13% O2	OGC mgC/MJ	NOx mg/m³n v 13% O2	NOx mg/MJ	PM mg/MJ	PM g/kg (indfyret)
Ovn 1	High	1,6	16,5	212	7,94	81	0,22	1824	8,66	549	363	125	83	257	3,84
Ovn 1	Mix	2,1	16,5	291	5,61	74	0,19	1579	8,32	310	205	118	78	114	1,70
Ovn 1	High	2,0	16,5	249	8,69	80	0,25	2097	10,11	629	417	123	81	215	3,21
Ovn 1	Mix	2,0	16,5	301	6,36	74	0,34	2813	9,19	609	403	102	68	190	2,83
Ovn 1	Nom	1,6	16,5	283	8,38	81	0,09	740	11,48	196	130	145	96	111	1,66
Ovn 1	Nom	1,6	16,5	310	7,44	79	0,13	1103	11,86	259	171	125	83	210	3,13
Ovn 1	Nom	1,6	16,5	294	4,85	76	0,09	753	9,43	54	36	134	89	110	1,64
Ovn 1	High	1,8	16,5	191	5,43	77	0,21	1774	5,77	798	528	116	77	324	4,84
Ovn 1	High	1,9	16,5	204	4,72	75	0,23	1874	5,87	339	225	117	77	145	2,17

Pakke 1 – Forbrugerfyring - Figur 9

Pakke 2 – Brændslets fugtighed - Figur 11 - Figur 13

Stove name	Out-put	Fuel mass kg	Moist %	Flue gas temp. °C	Heat output kW	Virknings-grad %	CO % v 13% O2	CO mg/MJ	CO2 % v 13% O2	OGC mgC/m³n v 13% O2	OGC mgC/MJ	NOx mg/m³n v 13% O2	NOx mg/MJ	PM mg/MJ	PM g/kg (indfyret)
Ovn 1	Nom	1,61	11,3	315	9,3	80	0,28	2290	13,0	613	402	111	73	187	2,99
Ovn 1	Nom	1,60	16,5	316	6,6	78	0,07	559	11,3	125	83	143	95	185	2,75
Ovn 1	Nom	1,61	25,4	306	5,5	76	0,13	1061	10,6	233	157	121	82	153	2,00
Ovn4	Nom	1,05	8,0	164	5,2	86	0,10	783	8,0	72	47	160	105	199	3,32
Ovn 4	Nom	1,06	16,5	171	4,7	84	0,13	1047	7,5	41	27	151	100	221	3,30
Ovn4	Nom	1,06	25,0	154	2,3	73	0,53	4510	4,2	1247	841	118	80	265	3,48
Ovn 3	Nom	1,73	9,7	233	6,6	82	0,16	1320	10,1	215	141	108	71	75	1,23
Ovn 3	Nom	1,80	16,5	240	5,5	80	0,13	1065	9,3	295	195	126	83	620	9,26
Ovn 3	Nom	1,76	32,5	209	2,9	72	0,39	3375	5,9	1348	929	105	72	798	9,26
Ovn 2	Nom	1,76	32,5	297	3,9	62	0,23	1987	6,1	229	158	128	89	140	1,62
Ovn 2	Nom	1,83	32,5	282	4,7	65	0,21	1823	6,3	339	234	120	82	189	2,19
Ovn 2	Nom	1,74	32,5	266	4,1	63	0,32	2714	5,5	718	494	121	84	267	3,09
Ovn 2	Mix	1,86	9,7	314	9,9	79	0,15	1254	11,5	308	201	75	49	186	3,04
Ovn 2	Mix	1,84	16,5	305	7,8	76	0,11	948	9,8	195	129	104	69	148	2,21
Ovn 2	Mix	1,84	32,5	275	4,2	71	0,22	1930	7,6	323	222	113	78	157	1,82

Pakke 3 – Overfylde brændkammer og reducere lufttilførslen - Figur 14 og Figur 15

Stove name	Out-put	Fuel mass kg	Moist %	Flue gas temp. °C	Heat output kW	Virknings-grad %	CO % v 13% O2	CO mg/MJ	CO2 % v 13% O2	OGC mgC/m³n v 13% O2	OGC mgC/MJ	NOx mg/m³n v 13% O2	NOx mg/MJ	PM mg/MJ	PM g/kg (indfyret)	
Ovn 3	Low	3,47	16,5	200	4,1	81	0,40	3329	9,0	481	318	82	54	141	2,11	
Ovn 3	Nom	1,76	16,5	222	5,2	80	0,27	2205	9,0	493	327	106	70	184	2,74	
Ovn 3	Low	8,03	8,8	211	6,5	83	0,49	3897	10,2	903	571	60	38	149	2,55	
Ovn 2	Nom	1,77	16,5	277	6,7	77	0,07	579	9,0	54	36	124	82	78	1,16	
Ovn 2	Low	4,82	16,5	178	6,0	85	0,43	3592	11,4	1252	829	42	28	279	4,16	
Ovn 2	High	3,46	16,5	261	10,1	78	0,13	1107	9,1	138	91	121	80	124	1,86	
Ovn 3	High	2,06	16,5	235	7,7	81	0,19	1592	9,5	240	159	102	68	90	1,35	
Ovn 3	High	2,07	16,5	214	8,4	83	0,21	1751	10,2	423	280	101	67	161	2,41	
Stove name	Fuel mass kg	Moist %	Flue gas temp. °C	Heat output kW	Virknings-grad %	CO % v 13% O2	CO mg/MJ	CO2 % v 13% O2	OGC mgC/m³n v 13% O2	OGC mgC/MJ	NOx mg/m³n v 13% O2	NOx mg/MJ	PM mg/MJ	PM g/kg (indfyret)	PAH mg/MJ BaP ækv.	Diox ng/GJ I-TEQ ækv.
Ovn1	6,22	12,5	274	6,5	78	0,25	2019	9,6	569	374	120	79	232	3,65	0,48	660
Ovn 1	6,73	16,5	293	6,5	78	0,28	2328	10,7	505	334	105	70	232	3,46	0,47	11660
Ovn 4	5,09	16,5	190	5,9	84	0,12	1002	9,1	91	61	137	91	68	1,01	0,04	730

Pakke 4 – PAH og DIXIN - Figur 16 -Figur 18

Pakke 5 – Briketter - Figur 19

Stove name	Brændsel	Out-put	Fuel mass kg	Moist %	Flue gas temp. °C	Heat output kW	Virknings-grad %	CO % v 13% O2	CO mg/MJ	CO2 % v 13% O2	OGC mgC/m³n v 13% O2	OGC mgC/MJ	NOx mg/m³n v 13% O2	NOx mg/MJ	PM mg/MJ	PM g/kg (indfyret)
Ovn 1	SLW	High	1,96	16,5	223	8,1	81	0,17	1383	8,9	252	167	144	96	98	1,46
Ovn 1	SLW	High	1,97	16,5	206	6,0	79	0,16	1290	7,2	184	122	111	74	89	1,33
Ovn 1	SLW	Nom	1,57	16,5	290	7,3	79	0,12	1003	11,1	272	180	103	68	162	2,41
Ovn 1	RUF	Nom	1,77	7,9	308	6,6	78	0,14	1121	10,4	201	128	74	47	174	3,00
Ovn 1	RUF	Nom	1,77	7,9	284	5,8	78	0,09	699	9,1	107	68	80	50	146	2,53
Ovn 1	SLW	Nom	1,61	16,5	297	7,9	79	0,11	902	11,1	291	190	149	97	313	4,71
Ovn 1	Pini kay	Nom	2,02	1,9	317	10,1	74	0,81	6439	10,9	1032	657	88	56	376	6,80
Ovn 1	Pini kay	Nom	2,00	1,9	294	6,6	76	0,63	5040	10,3	791	504	85	54	406	7,35
Ovn 1	Pini kay	High	2,01	1,9	275	7,3	78	0,42	3323	9,6	921	587	96	61	416	7,54
Ovn 1	Pini kay	High	1,33	1,9	269	4,8	77	0,30	2358	8,8	362	230	116	74	236	4,27
Ovn 3	SLW	Nom	1,73	16,5	231	5,4	80	0,27	2264	9,2	553	367	110	73	218	3,25
Ovn 3	RUF	Nom	1,80	7,9	247	6,4	83	0,17	1309	10,8	207	130	65	41	72	1,25
Ovn 3	RUF	Nom	1,80	7,9	244	6,7	83	0,11	846	10,4	109	69	65	41	69	1,19
Ovn 3	SLW	Nom	1,75	16,5	218	4,8	80	0,36	3012	8,5	866	573	107	71	347	5,18
Ovn 3	RUF	Nom	3,38	7,9	239	5,9	83	0,33	2577	10,8	456	288	53	33	108	1,88
Ovn 3	SLW	High	2,06	16,5	201	8,5	83	0,37	3027	9,7	752	498	79	52	155	2,31
Ovn 3	SLW	High	2,04	16,5	182	7,6	83	0,23	1889	8,0	629	416	100	66	268	4,00
Ovn 3	Rund	Low	8,03	8,8	211	6,5	83	0,49	3897	10,2	903	571	60	38	149	2,55

Pakke 6– PM,BC, OC - Figur 21

Stove name	Out-put	Fuel mass kg	Moist %	Flue gas temp. °C	Heat output kW	Virknings-grad %	CO % v 13% O2	CO mg/MJ	CO2 % v 13% O2	OGC mgC/m³n v 13% O2	OGC mgC/MJ	NOx mg/m³n v 13% O2	NOx mg/MJ	PM mg/MJ	Just. Part. PM g/kg (indf.)	BC (EC) mg/MJ	Just. Part. BC(EC) g/kg (indf.)	OC mg/MJ	Just. Part. OC g/kg (indf.)
Ovn 1	Nom	1,94	16,5	163	3,7	77	0,28	2347	4,9	442	293	132	87	100	1,49	42	0,63	83	1,23
Ovn 1	Nom	1,62	16,5	266	6,3	78	0,19	1582	9,5	426	282	144	95	311	4,65	33	0,50	104	1,55
Ovn 1	Nom	1,61	16,5	298	6,4	78	0,19	1544	10,6	434	287	128	85	135	2,01	43	0,64	213	3,18
Ovn 1	Nom	1,60	16,5	305	6,6	78	0,18	1488	11,3	335	222	133	88	264	3,93	46	0,68	110	1,64
Ovn 2	High	3,57	16,5	246	11,1	79	0,32	2631	9,7	688	456	100	66	179	2,67	37	0,56	96	1,44
Ovn 2	Nom	1,63	7,9	300	7,2	78	0,12	946	10,0	142	90	72	46	226	3,92	125	2,17	67	1,15
Ovn 2	Nom	1,63	7,9	282	6,3	76	0,13	996	8,4	143	90	69	44	183	3,17	103	1,78	39	0,67
Ovn 3	High	2,06	16,5	172	5,9	83	0,27	2197	7,8	556	368	98	65	221	3,30	5	0,08	121	1,80
Ovn 3	High	2,04	16,5	191	5,6	81	0,28	2342	7,7	368	244	100	66	89	6,64	3	0,04	309	4,06
Ovn 3	High	1,76	25	218	3,7	71	0,44	3672	5,7	1223	825	106	71	505	7,67	11	0,14	370	4,87
Ovn 3	High	1,76	25	206	3,6	69	0,46	3868	5,0	1577	1064	106	71	584	1,32	4	0,06	27	0,40
Ovn 3	Nom	1,72	16,5	208	4,4	78	0,31	2565	7,3	755	500	114	76	348	5,19	9	0,13	213	3,19
Ovn 3	Nom	1,72	16,5	221	4,8	77	0,34	2801	7,4	911	604	111	74	405	6,04	7	0,11	249	3,71
Ovn 3	Nom	1,75	16,5	207	4,8	80	0,29	2379	7,8	751	497	114	76	101	1,50	5	0,08	200	2,98
Ovn 4	Nom	0,99	16,5	137	3,5	79	0,29	2424	4,4	450	298	122	80	36	1,19	37	0,55	28	0,42
Ovn 4	Nom	0,97	16,5	155	3,3	82	0,26	2112	6,3	204	135	159	105	127	0,54	5	0,08	64	0,95
Ovn 4	Nom	1,04	16,5	161	3,6	80	0,21	1739	5,6	165	109	144	95	45	1,90	28	0,42	63	0,94
Ovn 4	High	2,15	16,5	196	4,8	74	0,21	1708	5,4	243	161	116	77	80	0,68	7	0,11	32	0,48

Laboratoriemålinger af emissioner fra brændeovne ved forskellige fyringsteknikker

I projektet er udført en række laboratoriemålinger af emissioner fra brændeovne. Resultaterne af målingerne skal bruges til at analysere, hvilken betydning fyringsteknik og valg af biobrændsel har for emissionerne. Målingerne har omfattet 4 forskellige brændeovne og indeholder 6 emneopdelte pakker, for at belyse effekten af at fyre med tørt brænde, vådt brænde, optændingsmetode, overfyldt brændkammer, reduceret lufttilførsel, fyring med briketter m.m. Ved at benytte fire 4 forskellige brændeovne er der tilføjet en ekstra dimension af viden, idet kapaciteten af ovnenes luftsystemer har vist sig at udgøre en begrænsning for hvor meget brænde en ovn optimalt kan håndtere. Hermed understreges betydningen af valget af den rigtige ovn i forhold til det varmebehov en brændeovn skal opfylde. Undersøgelsen har vist at resultater fra europæiske projekter ikke altid kan overføres direkte til danske forhold, på grund af forskellige fyringsteknikker, varmebehov og bygningsstandarder.



Miljøstyrelsen
Haraldsgade 53
2300 København Ø

www.mst.dk