

Sammenligning af emissioner fra to typer levende lys

Rapport 923812



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**

Sammenligning af emissioner fra to typer levende lys

Rapport 923812

Udarbejdet for:

ASP Holmblad
Hammervej 7
2970 Hørsholm

Udarbejdet af:

Teknologisk Institut
Kongsvang Allé 29
8000 Aarhus C
Bio- og Miljøteknologi

Maj 2020

Forfatter:

Stig Koust Hansen, konsulent, Ph.d., stko@teknologisk.dk, tlf. 7220 1151

Kvalitetssikring:

Morten Køcks, faglig leder, cand.scient., mly@teknologisk.dk, tlf. 7220 2380



Indholdsfortegnelse

1. Opgaven	4
2. Konklusion.....	4
3. Analysemetoder og fremgangsmåde	5
4. Resultater	7
4.1. Temperatur, luftfugtighed og burn rate.....	7
4.2. Partikelantalskoncentration.....	7
4.3. Partikelmassekoncentration.....	8
4.4. Black Carbon	8
5. Bilag	9



1. Opgaven

Opgavens formål er at sammenligne udledningen af partikler ved afbrænding af et nyudviklet levende lys af animalsk stearin (herefter benævnt "nyt lys") med et traditionelt lys på markedet, også af animalsk stearin ("eksisterende lys"). Begge lys er bloklys med samme fysiske dimensioner (se billeder i bilag).

Som en indikator for sodmængden måles partikelmasse- og *black carbon*-emissioner, og herudover måles også partikelantalskoncentration, alt sammen ved blafrende afbrændingsbetingelser (*flickering burn conditions*). Disse simuleres ved, at flammen periodisk påvirkes af en roterende ventilator svarende til at en person går forbi lyset.

Undersøgelsen gennemføres i et lukket testkammer på 20 m³ med kontrolleret luftskifte på 10 m³ i timen. Ved hvert forsøg placeres to ens lys i kammeret og partikelemissioner måles kontinuerligt som en rumkoncentration i en afstand på ca. 1½ meter fra lysene og som gennemsnit over en periode på 6 timer. Der gennemføres to forsøg for hver af de to lystyper.

2. Konklusion

De gennemsnitlige partikelkoncentrationer, for de to lys, er angivet i Tabel 1. De givne forsøgsbetingelser og anvendte måleinstrumenter er beskrevet i afsnit 3.

For de målte partikelmasse- og *black carbon*-koncentrationen, ses en reduktion på hhv. 98% og 97% for "Nyt Lys" sammenlignet med "Eksisterende Lys". For partikelantalsmålingerne er de målte koncentrationer sammenlignelige for de to lys.

Tabel 1: Overblik over resultater. De angivne værdier er udregnet som gennemsnittet over to forsøg for hver lystype.

	Black Carbon (µg/m ³)	Partikelmasse (µg/m ³)	Partikelantal (#/cm ³)	Burn rate (g/time)	Temp. (°C)	Rel. Luftfugt. (%RH)
Nyt lys	2,6 (±1,3)	2,6 (±1,2)	1,2 x10 ⁶ (±3,6 x10 ⁴)	4,8 (±0,3)	23,1 (±0,1)	22,6 (±2,0)
Eksisterende lys	97,5 (±3,7)	135 (±4)	1,0 x10 ⁶ (±6,4 x10 ⁴)	7,3 (±0,1)	23,7 (±0,1)	24,9 (±0,2)



3. Analysemetoder og fremgangsmåde

Målingerne blev udført i et 20 m³ testkammer med et luftskifte på 10m³ per time. Forsøgsopstillingen ses på Figur 1:

- To ens lys blev anvendt til hvert forsøg
- Ca. 6 timers varighed af hvert forsøg
- Roterende ventilator, indstillet på laveste niveau, stående i hjørnet af testkammeret
- Lufthastighed måles kontinuerligt i umiddelbar nærhed (ca. 20 cm) af de tændte lys
- Relativ luftfugtighed (RH) og temperatur måles ligeledes direkte i testkammeret
- Koncentrationsmålingerne foretages gennem måleudtag i testkammerets væg.

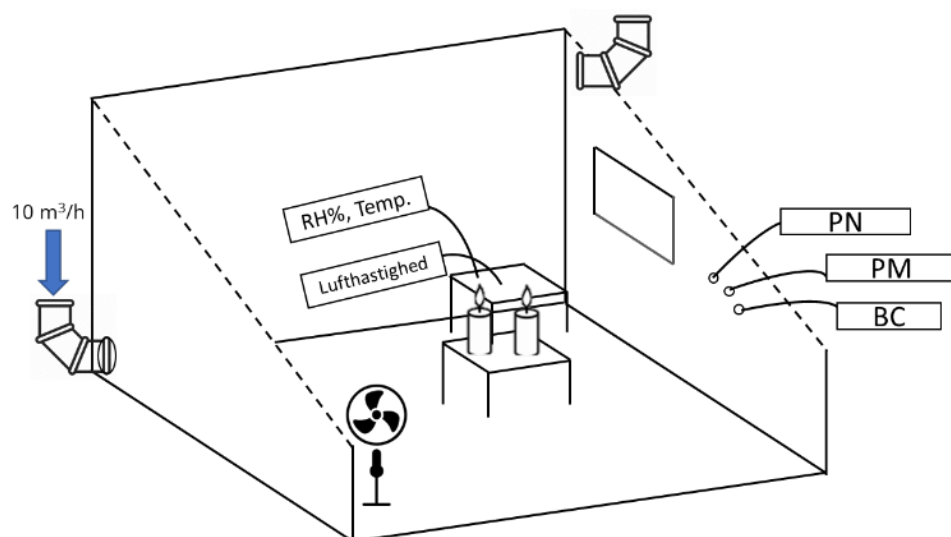
Partikelantalskoncentration blev målt med SMPS (*Scanning Mobility Particle Sizer*), som består af en *Ultrafine Condensation Particle Counter* (TSI Model 3776), samt en *Nano Differential Mobility Analyzer* (TSI Model 3085). Der er målt partikler i størrelsesområdet fra 2,5 - 81 nm og med brug af *diffusion correction* og *multiple charge correction* af data. Der er anvendt en måleperiode på 180 sekunder per måling.

Partikelmassekoncentration blev målt med DustTrak DRX, (TSI model 8533). Instrumentet måler partikelmasse i størrelsesområdet ~0,1-15 µm og i koncentrationsområdet 0,001–150 mg/m³. Instrumentet benytter et optisk måleprincip (lysspredning) og kan efter behov størrelsesopdele i fraktionerne PM₁, PM_{2.5}, PM₄, PM₁₀ og PM_{total} med tidsopløsning på 10 sekunder. I dette forsøg anvendes resultaterne fra den totale partikelmasse (PM_{total}) og med standardindstillinger på instrumentet.

Black carbon blev målt med Aethalometer (MAGEE Scientific, Model AE33). Instrumentet måler black carbon ved at opsamle aerosoler på et filter, som kontinuert belyses ved forskellige bølgelængder. Koncentrationen udregnes i realtid ved *dual spot* transmissionsmålinger på filteret. Der er i forsøget anvendt målingerne ved 880 nm for at udregne black carbon koncentrationen.

Lufthastigheden omkring lysene blev målt med et omnidirektionelt anemometer (SWEMA 03) med en målefrekvens på 1 Hz. Den oplyste usikkerhed på instrumentet er angivet til ±0,03 m/s.

Temperatur og luftfugtighed i testkammeret er målt med USB data logger (MC USB-500/600 Series) med et målepunkt hver 5. minut.



Figur 1: Skematisk tegning over forsøgsopstilling samt billede af forsøgsopstillingen taget inde fra testkammeret.



4. Resultater

4.1. Temperatur, luftfugtighed og burn rate

Middellufthastigheden omkring lysene er i alle forsøg målt til 0,13 m/s ($\pm 0,07$ m/s).

Den gennemsnitlige temperatur i testkammerforsøgene var 23,1°C ($\pm 0,1$ °C) for "Nyt Lys" og 23,7°C ($\pm 0,1$ °C) for "Eksisterende lys".

Den gennemsnitlige relative luftfugtighed var 22,6 %RH ($\pm 2,0$ %RH) for "Nyt Lys" og 24,9 %RH ($\pm 0,2$ %RH) for "Eksisterende Lys"

Den gennemsnitlige burn rate for de to typer af lys blev målt til henholdsvis 4,8 g/h for "Nyt Lys" og 7,3 g/h for "Eksisterende Lys"

4.2. Partikelantalskoncentration

Den gennemsnitlige partikelantalskoncentration over de 6 timers afbrænding for de to forsøg for hvert lys er angivet i tabellen nedenfor. Der er målt meget sammenlignelige antalskoncentrationer for de to lys.

Lys		Partikelantal (#/cm ³)
Nyt Lys	Forsøg 1	1,2E+06
	Forsøg 2	1,1E+06
	Gennemsnit	1,2E+06 ($\pm 3,6E+04$)
Eksisterende lys	Forsøg 1	1,1E+06
	Forsøg 2	9,7E+05
	Gennemsnit	1,0E+06 ($\pm 6,4E+04$)



4.3. Partikelmassekoncentration

Den gennemsnitlige partikelmassekoncentration (PM_{total}) over de 6 timers afbrænding for de to forsøg for hvert lys er angivet i tabellen nedenfor. Der er i gennemsnit målt en reduktion på 98% for "Nyt Lys" sammenlignet med "Eksisterende Lys".

Lys		Partikelmasse (PM_{total}) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Nyt Lys	Forsøg 1	3,9
	Forsøg 2	1,4
	Gennemsnit	2,6 ($\pm 1,2$)
Eksisterende lys	Forsøg 1	131
	Forsøg 2	139
	Gennemsnit	135 (± 4)

4.4. Black Carbon

Den gennemsnitlige koncentration af black carbon over de 6 timers afbrænding for de to forsøg for hvert lys er angivet i tabellen nedenfor. Der er i gennemsnit målt en reduktion på 97% for "Nyt Lys" sammenlignet med "Eksisterende Lys".

Lys		Black Carbon ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Nyt Lys	Forsøg 1	3,9
	Forsøg 2	1,4
	Gennemsnit	2,6 ($\pm 1,3$)
Eksisterende lys	Forsøg 1	93,8
	Forsøg 2	101
	Gennemsnit	97,5 ($\pm 3,7$)



5. Bilag



Figur 2: Billeder af "Nyt Lys" før og efter forsøg



Figur 3: Billeder af "Eksisterende Lys" før og efter forsøg



TEKNOLOGISK
INSTITUT



**Ministry of Environment
and Food of Denmark**
Environmental
Protection Agency

Environmentally friendly candles with reduced particle emissions

Environmental Project
No. 2053

November 2018

Publisher: The Danish Environmental Protection Agency

Editors:

Jacob Ask Hansen, Danish Technological Institute

Peter Bøgh Pedersen, Danish Technological Institute

Thomas Nørregaard Jensen, Danish Technological Institute

Mette Poulsen, ASP-HOLMBLAD A/S

Stefan Thomann, European Candle Association ASBL

Olle Kilström, Liljeholmens Stearinfabrik AB

Paulo Roque, Promol Industria de Velas SA

Rute Ventura, Promol Industria de Velas SA

ISBN: 978-87-7038-009-6

The Danish Environmental Protection Agency publishes reports and papers about research and development projects within the environmental sector, financed by the Agency. The content of this publication do not necessarily represent the official views of the Danish Environmental Protection Agency. By publishing this report, the Danish Environmental Protection Agency expresses that the content represents an important contribution to the related discourse on Danish environmental policy.

Sources must be acknowledged

Contents

Preface	5
Summary and Conclusion	6
Sammendrag og konklusion	8
Definition of Words	10
1. Introduction	11
1.1 Objectives of the project	11
2. Background	12
2.1 Candles and Culture	13
2.2 Facts and figures	13
2.3 About the tested candles - background	14
2.4 Performance of Quality Control	16
2.5 Methodology of the performance tests	16
3. Methodology and limitations in this study	17
3.1 Description of measurement methods	19
3.1.1 SMPS – number concentration and size distribution	19
3.1.2 DustTrak – particle mass emission	19
3.1.3 Aethalometer – black carbon measurement	20
3.1.4 Analysis of total dust content	20
3.1.5 Analysis of soluble salts	20
3.1.6 Analysis of metals	21
3.1.7 Analysis of VOC	21
3.2 Measurement set-up	22
3.3 Timeline for measurements	22
4. Results and discussion	23
4.1 Burn rate	23
4.2 Particle number concentration of ultrafine particles	24
4.3 Particle size distribution of ultrafine particles	25
4.4 Particle mass concentration	28
4.4.1 Total particle mass concentration measured by DustTrak	28
4.4.2 Particle mass concentration measured by filter collection	29
4.5 Salt concentration	30
4.6 Black carbon concentration	32
4.7 Metal concentration	36
5. SVOCs and VOCs: semi- and volatile organic compounds	37
6. Assessment and Discussion	42
6.1 Discussion	42
6.1.1 Measurement results	43

6.1.2	Health aspects	44
6.2	Uncertainties and limitations	45
6.3	Improving knowledge	45
6.4	Conclusion	46
Appendix 1.Sooting test		47
Appendix 2.Burning test		48

Preface

The project “Environmentally friendly candles with reduced particle emissions” is co-financed by the Danish Environmental Protection Agency (EPA) under the subsidy scheme MUDP 2016.

This report describes the project results and methodology used in achieving these results. The purpose of the project was the development of environmentally friendly candles with reduced particle emissions.

The project was carried out in a partnership between ASP-Holmblad A/S, Liljeholmens Stearinfabriks AB, Promol – Industria de vesla S.A., European Candle Association ASBL and Danish Technological Institute.

All pictures and figures shown in the report are produced within the project group unless stated otherwise.

Danish Technological Institute

Aarhus, August 2018

Summary and Conclusion

Measurements of the emissions and their chemical composition

To support the development of low emission candles, measurements of emissions from five different types of candles were conducted in triplicates. These measurements were done partly to characterize the emission from candles and to balance possible differences in the performance of individual candles.

Prior to the measurements, it was decided to protect the candles from draught during burning because this is what candle manufacturers strongly recommend consumers to do. A steady burn setup was also chosen as it was a more reproducible method and covers the major time of candle burn in practice.

Measurements of ultrafine particles (4-166 nm) showed room concentrations between approx. 104,000 and 430,000 particles/cm³. The candles with the highest fuel consumption per hour and with the strongest wick protection showed the highest emission. Water-soluble salts, such as ammonium phosphates and sulphates are used to protect the wick from corrosion. Analyses of the collected particles showed that virtually the entire emitted particle mass of some candles consisted of these salts. The total particle mass ranged between 29 µg/m³ and 59 µg/m³ and its black carbon content ranged at a low percentage, between 0.46 % and 1.5 %. Black carbon is an important indicator of soot and critical substances such as polycyclic aromatic hydrocarbons which are typical constituents of soot. Previous studies have shown that the levels of emitted black carbon increases dramatically under non-optimal burn conditions (sooting burn), and this knowledge underline the importance of development of candles towards a stable burn under sub-optimal conditions

Measurements of metals, such as lead and nickel, showed no emissions above the detection limit, and also the measurement of emitted (semi) volatile organic compounds, (S)VOC, was unremarkable. Some typical combustion products from this group of substances, e.g. acetone, isopropyl alcohol and toluene were detected in the emissions of all candles, but at low levels. Modifying the composition of the reference candles resulted in a change of the emission, but it was not possible to reduce all different kinds of emission with one of the modified candles.

Assessment and conclusions

The study confirmed that candles that are commonly used in Denmark are a significant source of fine particles to indoor air. The number of particles and the total particle mass that are emitted depend on the burn rate and the amount of salts necessary for wick protection. It must be noted however, that if candles are protected from draught, the level of black carbon, which is an indicator of soot, is very low and virtually all emitted particles of some candles at least consist of the salts for wick protection.

This is an important finding because the salts are, in contrast to particles such as diesel soot or dust, not persistent but can dissolve easily when they get in contact to the humid surfaces in the human respiratory tract. One could therefore assume that these salts can be excreted much easier by the body. Exposure studies of human cells and preferably of human panellists should follow up this angle to confirm the assumption of course. But based on these new findings, direct comparison of particles from candle burning under optimal conditions with those from other sources, such as traffic, does not seem to be appropriate.

Future research should also provide more knowledge which type of emission can be reduced with which modification of the candles design or composition. If it is not possible to reduce all

types of emission in general, priority should be given to those that pose a potential health risk. Until then, consumers should take care to use high-quality candles, to trim the wick if it gets too long and to protect the candles from air flows that make the candle flame flicker so that the candles can burn calmly and without sooting.

Sammendrag og konklusion

Måling af emissioner og deres kemiske sammensætning

For at understøtte udviklingen af lavemissions levende lys, er der foretaget målinger på tre eksemplarer af fem forskellige slags levende lys. Disse målinger er foretaget dels for at karakterisere emissioner fra levende lys og dels for at balancere mulige forskelle på præstationerne for disse.

Inden målingerne blev udført, blev det besluttet, at beskytte de levende lys mod træk under afbrænding, da det er dette producenterne anbefaler forbrugerne. En opsætning, hvor lysene brænder med rolig flamme blev valgt, da den metode er mere reproducerbar og dækker lysenes brændetid i praksis.

Målinger af ultrafine partikler (4-166 nm) viste koncentrationer i rummet på ca. 104.000 og 430.000 partikler/cm³. Lysene med den største forbrænding pr. time og den stærkeste vægebeskyttelse udviste den største emission. Vandopløselige salte som fx ammoniumfosfat og sulfat bruges til at beskytte vægen mod korrosion. Analyser af de opsamlede partikler viste, at for nogle lys bestod stort set hele den afgivne partikelmasse af disse salte. Hele partikelmassen var på omkring 29 µg/m³ og 59 µg/m³, og indholdet af carbon black var lavt – mellem 0,46 % og 1,5 %. Carbon black er en vigtig indikator for sod og kritiske komponenter som fx polyaromatiske kulbrinter, som er typiske bestanddele i sod. Tidligere studier har vist at mængden af black carbon stiger væsentligt ved ikke optimal forbrænding (sodende afbrænding), og denne viden understreger vigtigheden af at udvikle lys imod en stabil forbrænding under ikke optimale forhold

Målinger af metaller, som fx bly og nikkel, viste ingen emissioner over detektionsgrænsen og der var heller ingen bemærkninger til målingen af afgivne (halv) flygtige organiske komponenter (SVOC). Dog blev nogle typiske forbrændingsprodukter fra denne gruppe af bestanddele fx acetone, isopropylalkohol og toluen påvist i lave mængder. Modificeringen af referencelysenes komposition resulterede i en ændring i emissionen, men alle former for emission kunne ikke reduceres samtidigt med de valgte modifikationer.

Vurdering og konklusioner

Undersøgelsen bekræftede, at de levende lys, som oftest bruges i Danmark, er en væsentlig kilde til fine partikel i indendørsluften. Antallet af partikler og den totale partikelmasse, som afgives, afhænger af hastigheden, hvormed lysene brænder, og mængden af salt, som er nødvendig for at beskytte vægen. Det bør dog bemærkes, at hvis lysene beskyttes mod træk, så er carbon black-niveauet, som er en indikator for sod, meget lavt, og mere eller mindre alle emitterede partikler fra de levende lys består af salte benyttet til vægebeskyttelse.

Dette er en vigtig iagttagelse, da salte i modsætning til partikler som fx dieselsod eller støv ikke er bestandige, men de opløses nemt, når de kommer i kontakt med fugtige overflader i luftvejene hos mennesker. Derfor kan man antage, at kroppen meget lettere kan udskille disse salte. Studier af humanceller og studier på mennesker bør forfølge denne vinkel for at bekræfte antagelsen. På baggrund af de nye iagttagelser, er det ikke hensigtsmæssigt, at partikler fra afbrænding af levende lys under optimale forbrændingsforhold sammenlignes direkte med partikler fra andre kilder som fx meget trafikerede gader.

Fremtidig forskning bør også bidrage med mere viden om, hvilke typer af emission der kan reduceres, og med hvilke modifikationer af lys mht. design eller komposition. Hvis det generelt ikke er muligt at reducere alle former for emission, så bør man prioritere de former for emissi-

on, der medfører potentielt sundhedsmæssige effekter. Indtil da bør forbrugerne vælge levende lys af høj kvalitet, og de bør klippe vægen, hvis den bliver for lang. Lysene bør beskyttes mod luftstrømme, som får dem til at blafre, og man bør også sørge for, at de brænder med en rolig flamme og uden at sode.