



Mobile luftrensere 2.0 – filterlevetid og biprodukter



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**

Mobile luftrensere 2.0 – filterlevetid og biprodukter



Udarbejdet af

Teknologisk Institut
Kongsvang Allé 29
8000 Aarhus C
Luft og Sensorteknologi

Udarbejdet sammen med

Forbrugerrådet TÆNK

November 2024

Indhold

1. Baggrund.....	4
2. Konklusion.....	4
3. Partikelfiltre.....	6
3.1. Metode.....	6
3.2. Resultater	7
4. Test af aktivt kulfiltre og biprodukter	10
4.1. Metode.....	10
4.2. Resultater	11

1. Baggrund

Teknologisk Institut har i samarbejde med Forbrugerrådet TÆNK gennemført en test af levetiden og holdbarheden af filtre til fjernelse af henholdsvis partikler (primært HEPA) og gasser (udelukkende aktivt kul) i 15 forskellige mobile luftrensere. Desuden er det undersøgt, hvorvidt kulfiltrene frigiver dele af den opsamlede gas tilbage til omgivelserne (også kaldet afgangning). Projektet er støttet af Grundejernes Investeringsfond samt Realdania og er et opfølgingsprojekt til "Mobile Luftrensere – hvor godt virker de?"¹.

Markedet for luftrensere er voksende og der er en mangel samt efterspørgsel på krav og standarder. Denne rapport henvender sig både til slutbrugere (forbrugere, kommuner, institutioner m.v.) og leverandører og vil belyse hvordan levetid for filtre skal håndteres. I dag findes ingen retningslinjer for filterlevetid og anbefalinger af udskiftning beror sig udelukkende på producenternes. Dette kan resultere i, at det anbefales at skifte filteret for tit (mersalg af filtre) eller at der reklameres med mindre vedligehold (ved at det skal skiftes sjældnere). Producenternes anbefalede levetid varierer meget mellem produkter (1 måned til 10 år) og udgiften til filterskift gennem produktets samlede levetid kan være helt op til 20x indkøbspris. Vi forsøger derfor her at belyse denne problematik gennem test af produkter for at give forbrugere et grundlag for at stille krav til vurdering af filterskift.

2. Konklusion

Projektet har bidraget til adskillige gode læringer og anbefalinger. De vigtigste konklusioner fra projektet er opsummeret her:

- Hvis luftrensere placeres i et rum, hvor der dagligt ryges 7 cigaretter, vil deres renskapacitet blive reduceret med 20% inden for en periode på 55 til 309 dage. Under disse forhold kan visse filtre have en teoretisk levetid på mindre end to måneder.
- Test af kulfilter viste stor variation i evnen til at fjerne acetone blandt luftrensere. På 30 minutter formåede de mindst effektive enheder ikke at reducere koncentrationen, mens den mest effektive fjernede 97% af acetonen.
- For samtlige luftrensere blev der registreret en vis grad af afgangning, som varierede fra 6% til 81% af den opsamlede gas. I gennemsnit vil en luftrenser frigive cirka 40% af den absorberede gas, når den tages i brug i et andet renere miljø.
- Generelt bør anbefalinger vedrørende filterlevetid være klart definerede, herunder en beskrivelse af beregningsmetoden hvis en sådan er blevet brugt. Ved anvendelse af en indikator for filterskift bør det oplyses, hvad denne indikator baserer sig på. Vi anbefaler, at de følgende forudsætninger for estimering beskrives:
 - o Hvilken Clean Air Delivery Rate (CADR) luftrenseren skal falde til, før filteret udskiftes,
 - o Tidspunktet for skift ved brug af en timer

¹ <https://www.teknologisk.dk/projekter/mobile-luftrensere-hvor-godt-virker-de/44379>

- o Hvilken type og mængde af forurening der er antaget (f.eks. antallet af cigaretter om dagen), eller om der bruges en sensor.
- Ved indkøb af filtre til luftrensere var nogle filtre udgået. Det er derfor vigtigt at være opmærksom på tilgængeligheden af filtre efter købet af en luftrenser.

Anbefalinger til fremtidig vurdering af levetid vil være at angive hvilke forudsætninger levetiden er vurderet ud fra samt tydeliggøre hvordan levetiden indikeres på den enkelte enhed.

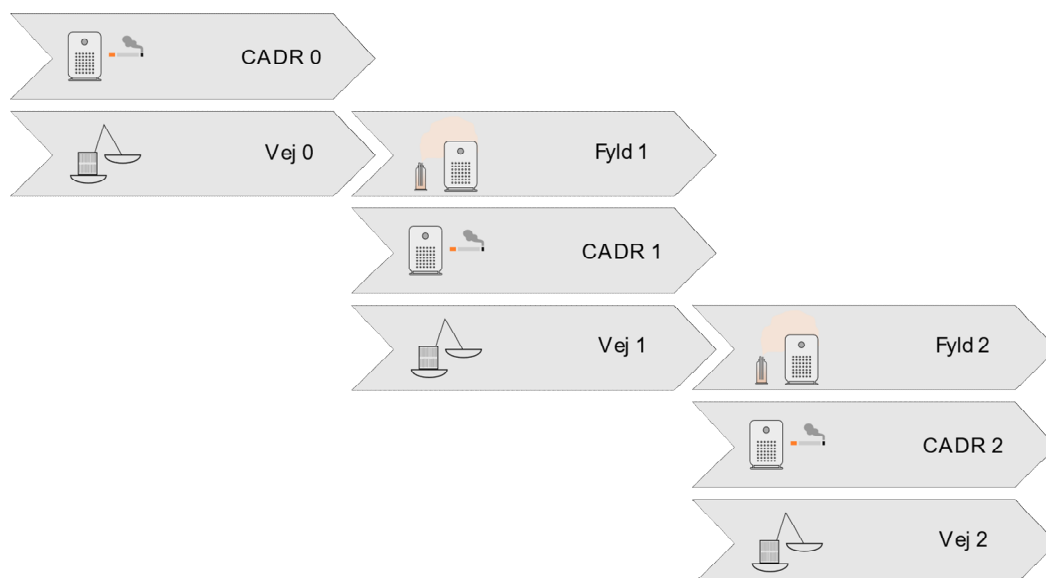
3. Partikelfiltre

Til test af partikelfiltre blev der indkøbt 15 nye partikelfiltre til 15 forskellige luftrensere. Filternes levetid blev dernæst undersøgt ved gradvist at fylde filterene med støv og måle luftrenserens evne til at fjerne partikler sammenlignet med et nyt filters effektivitet. Luftrenserens effektivitet overfor partikler defineres ud fra Clean Air Delivery Rate (CADR), hvilket angiver, hvor mange kubikmeter ren luft luftrenseren leverer per time.

3.1. Metode

For at undersøge, hvordan filterets fyldningsgrad påvirker luftrenserens rensesevne, blev CADR-værdien analyseret som en funktion af den tilførte vægt i filtret. Den tilførte vægt referer til mængden af partikler/støv, der er akkumuleret i filteret, og fungerer som en indikator for fyldningsgraden. Hypotesen er, at jo mere støv/partikler der ophobes i filteret, desto lavere bliver CADR-værdien. På baggrund af dette kan filterets holdbarhed estimeres under en række antagelser.

CADR-værdien blev målt ved tre forskellige fyldningsgrader af filteret: først med et nyt filter, dernæst efter én fyldning med støv, og til sidst efter endnu en ny fyldning med støv. Det anvendte støv var A2 kvartstøv i henhold til ISO 12103-1. Processens trin er illustreret i Figur 1.



Figur 1. Illustration af de forskellige trin i metoden til test af filterlevetid på partikelfiltre.

Der henvises til "Mobile Luftrensere – Hvor godt virker de?"² for beskrivelse af testmetoden til beregning af CADR-Værdi.

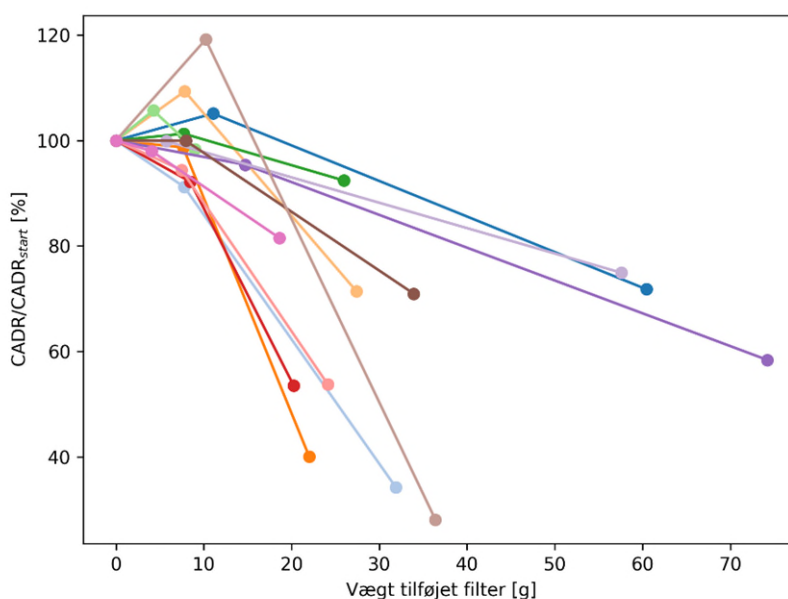
² <https://www.teknologisk.dk/projekter/mobile-luftrensere-hvor-godt-virker-de/44379>

3.2. Resultater

Resultaterne fra undersøgelsen af filterets holdbarhed er præsenteret i Figur 2. Her er den procentvise CADR-værdi relativt til start CADR-værdien vist i forhold til filterets vægtforøgelse. Baseret på dette kan luftrensere opdeles i to kategorier:

- 1) Luftrensere, hvor den første fyldning fører til en stigning i CADR-værdi, efterfulgt af et fald i CADR-værdi efter den anden fyldning.
- 2) Luftrensere, hvor CADR-værdien efter den første fyldning oplever et mindre fald, hvorefter den falder yderligere med en stejlere hældning efter den anden fyldning.

Generelt ses det, at den første fyldning resulterer i en relativ lille ændring i CADR ($\pm 10\%$). Dette kan delvist tilskrives, at filteret bliver mere tæt, efterhånden som partikler sætter sig på det, uden at det i væsentlig grad påvirker den luftmængde, luftrenseren filtrerer.



Figur 2. Relativ ændring i CADR i forhold til start CADR som funktion af vægtforøgelsen af filtret.

Efter den anden fyldning opleves der et større fald i CADR-værdi, hvilket kan skyldes, at filteret bliver tilstoppet og at luftstrømmen gennem luftrenseren begrænses. Målet efter den anden fyldning var at reducere CADR-værdien til omkring 50% af den oprindelige værdi, da standarden GB/T18801-2015 foreskriver, at filterskiftet bør foretages ved dette niveau. Dette mål var ikke mulig at opnå for alle luftrensere, da nogle luftrenseres CADR-værdi steg efter første fyldning, hvormed en fremskrivning ikke var mulig. Herudover er sammenhængen mellem vægtforøgelse og reduktion i CADR-værdi ikke

nødvendigvis lineær. Hvis det fulde billede over udviklingen af CADR-værdi som funktion af vægt skal findes, kræves der flere målepunkter.

Filtrets fysiske størrelse, motorkraft og evnen til at kompensere for trykfald påvirker, hvor hurtigt luftrensersens renssevne falder.

Sammenhængen mellem vægtforøgelsen af filteret og reduktion i CADR-værdi kan omdannes til et estimat for levetid under visse forudsætninger/antagelser. Det første skridt i denne proces var at fastlægge, hvilken reduktionsgrad der er acceptabel ift. filterskift. Vi antog her, at en reduktion på 20% var acceptabel. Derudover skulle graden af forurening vurderes, hvilket førte til opstillingen af to scenarier:

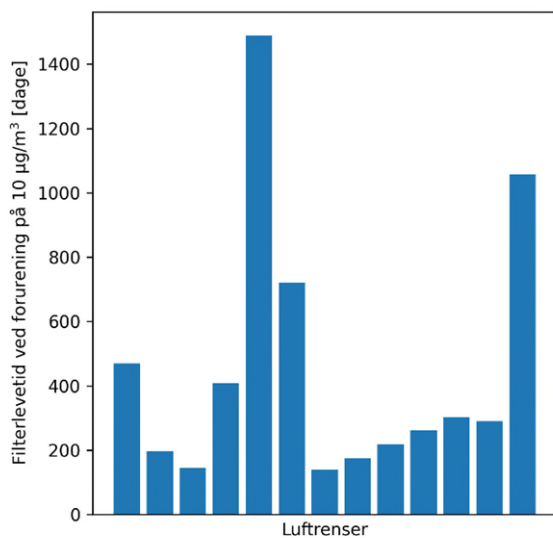
1. Hvis det antages, at en luftrenser placeres i et rum med en gennemsnitlig luftforurening på $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, vil levetiden variere mellem 140 dage og 1.487 dage for de testede luftrensere (se Figur 3). Her kører luftrenseren 24 timer i døgnet på højeste niveau, hvilket i de fleste tilfælde ikke vil være realistisk bl.a. pga. støjniveau. Beregningsmetoden er vist nedenfor:

$$\text{Levetid (dage)} = \frac{\text{Støvgrænseværdi (g)}}{\text{CADR} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) \times \text{Forurening} \left(\frac{\text{g}}{\text{m}^3} \right) \times 24 \left(\frac{\text{h}}{\text{day}} \right)}$$

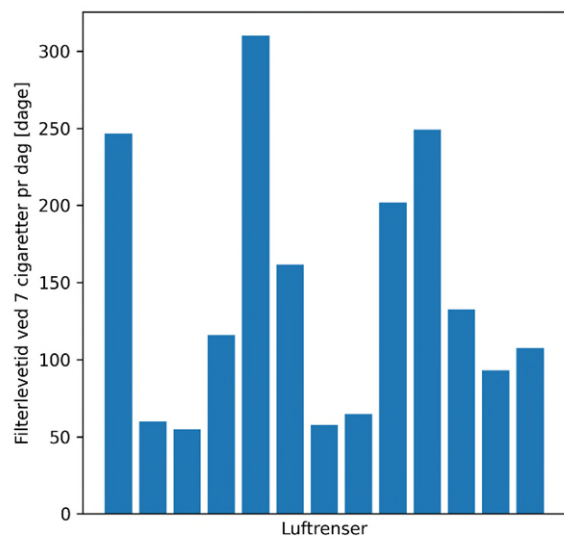
2. Hvis man derimod antager at luftrenseren er placeret i et rum, hvor der ryges syv cigaretter om dagen, svarende til en samlet luftbåren partikelmasse på 0,19 g/dag, vil filterets levetid variere mellem 55 dage og 309 dage (se Figur 4). Dette betyder, at for at opretholde en CADR-værdi, der er højere end 80% af den oprindelige, vil flere af luftrensere under disse forhold kræve filterskift oftere end hver anden måned. Se beregningsmetode nedenfor:

$$\text{Levetid (dage)} = \frac{\text{Støvgrænseværdi (g)}}{\text{Forurening (partikler dannet fra 7 cigaretter om dagen)}}$$

De nedenstående figurer viser de to scenarier og illustrerer, hvordan de to scenarier i nogle tilfælde følger hinanden tæt, mens de i andre ikke gør. Disse beregninger er vanskelige at bruge til sammenligning af produkter på tværs af hinanden, da de større luftrensere straffes hårdere end mindre luftrensere, fordi de ikke indtager lige så meget luft. Det vurderes derfor, at den mest retvisende måde at sammenligne filterlevetid på tværs af produkter er baseret på scenarie 2.



Figur 3. Filterlevetid i dage for de enkelte luftrensere hvis de konstant står i et miljø med 10 µg/m³ partikler.



Figur 4. Filterlevetid i dage for de enkelte luftrensere hvis de udsættes for forurening med 7 cigaretter om dagen.

Delkonklusion:

I projektet er det lykkedes at udvikle en metode til at teste sammenhængen mellem en luftrenseres CADR-værdi og en gradvis fyldning af filtrene med støv. Det skal dog bemærkes, at metoden er begrænset af, at der ikke nødvendigvis er en lineær sammenhæng mellem de to parametre.

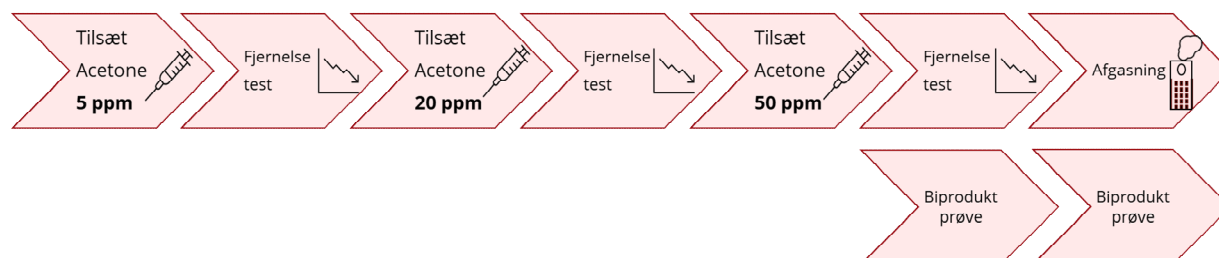
Filterlevetiden er beregnet baseret på baggrund af en række forudsætninger og viser, at den indledende CADR-værdi ikke nødvendigvis er en klar indikator for, hvor meget støv en luftrenser kan opfange, før filteret bør udskiftes. Den teoretiske filterlevetid varierer betydeligt blandt de testede luftrensere og det vurderes at mere end halvdelen af de testede enheder kræver filterskift oftere end hvert halve år, hvis den anvendes hos en rygende borger.

4. Test af aktivt kulfiltere og biprodukter

I denne del af projektet er holdbarheden af luftrensernes kulfilter blevet undersøgt. Dette blev gjort ved at teste luftrensernes effektivitet over for flygtige organiske forbindelser (VOC'er) under forskellige koncentrationsniveauer. Acetone blev anvendt i denne test som er blandt de hyppigste forekommende VOC'er i eksempelvis skoleklasser³. Acetone er en repræsentativ VOC for denne test, da den er en middelsvær VOC at fjerne ved brug af kulfiltere⁴, er sikker at håndtere i laboratoriet og let at detektere med det rette måleudstyr.

4.1. Metode

Formålet med testen var at vurdere kulfilterets ydeevne, når det udsættes for forskellige koncentrationer af acetone. Testen blev udført i en 20 m³ Teflon-belagt testkammer, som forhindrer, at gassen adsorberes på kammerets vægge. Trinene i denne test omfattede tilsætning af acetone, en fjernelsestest, en afgangstest og biproduktprøvetagning. En referencetest blev også udført for at tage højde for det naturlige henfald af acetone. Rækkefølgen af testen er præsenteret i skemaet i Figur 5 og vil blive beskrevet i detaljer i afsnittene nedenfor.



Figur 5. Skema over testrækkefølgen

Adsorption af gasser ved hjælp af aktivt kul og lignende teknologier er en dynamisk proces, hvor effektiviteten varierer afhængig af den valgte gastype. For eksempel er gasser som acetaldehyd og methanol typisk sværere at fjerne, mens toluen og limonen er lettere at håndtere. Derfor er det vigtigt at bemærke at de enkelte enheder kan have forskellig effektivitet overfor andre gasser. En testmetode med flere

³ Yassin, M. F., & Pillai, A. M. (2019). Monitoring of volatile organic compounds in different schools: a determinant of the indoor air quality. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16, 2733-2744.

⁴ Sørensen, S.B., A. Feilberg and K. Kristensen, Removal of volatile organic compounds by mobile air cleaners: Dynamics, limitations, and possible side effects. *Building and Environment*, 2023. 242: p. 110541.

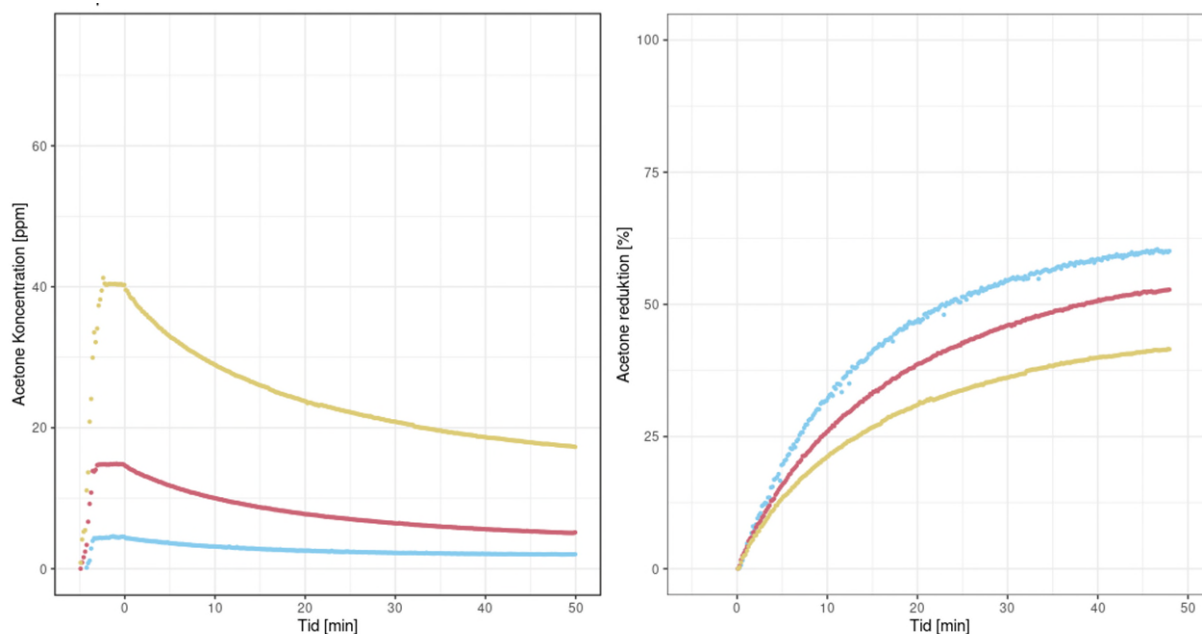
forskellige VOC'er samtidig kunne have belyst denne problemstilling, men ville samtidig gøre dataanalysen og konklusionen mere kompleks.

4.2. Resultater

I alt blev 15 luftrensere testet. Resultaterne er her præsenteret for henholdsvis fjernelsestesten, afgangning og biprodukter.

Renseevne

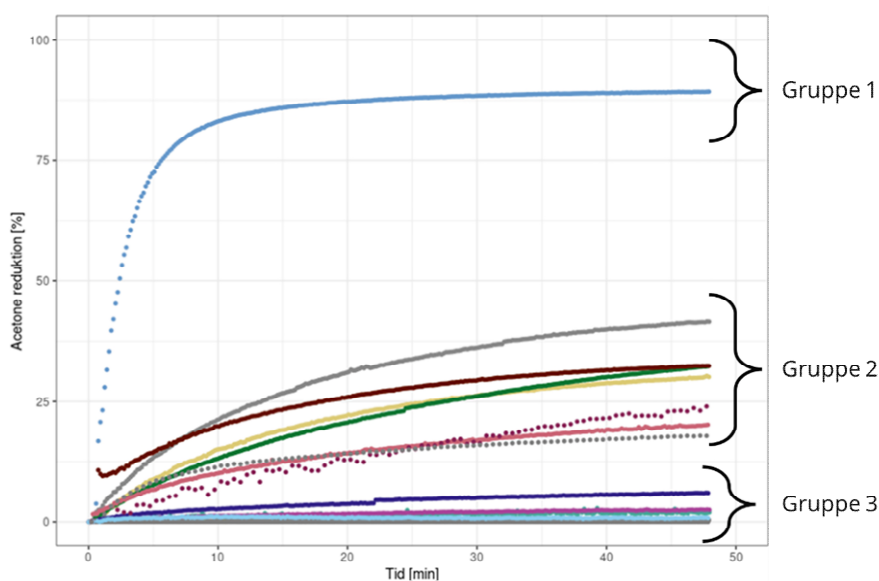
Figur 6 viser et eksempel på, hvordan testresultaterne for en luftrensere ser ud. I eksemplet har koncentrationer ved det laveste niveau den højeste fjernelseffektivitet, mens koncentrationen med det højeste niveau havde den laveste effektivitet. Dette mønster blev observeret i flere af de testede luftrensere, men ikke i dem alle. Teoretisk set vil et kulfilter være mere effektivt, jo højere koncentration af gassen er. Det vurderes, at den modsatte tendens blev observeret, fordi kulfilteret gradvist "fyldes op" og derfor har mistet en del af sin kapacitet til fjernelsestesten efter henholdsvis første og anden tilsætning.



Figur 6. (Venstre) Tidsserie af renseevne af acetone fra en af luftrensere, blå svarer til den laveste koncentration (5 ppm), og gul til den højeste (40 ppm). (Højre) Fjernelsesprocenten for hver af de tre koncentrationer.

I Figur 7 vises fjernelsesprocenten for alle testede luftrensere ved den højeste koncentration. Enhederne kan opdeles i tre grupper. Den mest effektive gruppe (gruppe 1) omfatter én luftrensere, der opnåede

en fjernelse på over 75%. Den anden gruppe kan identificeres som de enheder, der havde en renseevne fra 60% ned til 10%, mens den sidste gruppe havde meget lav eller ingen fjernelse af acetone.

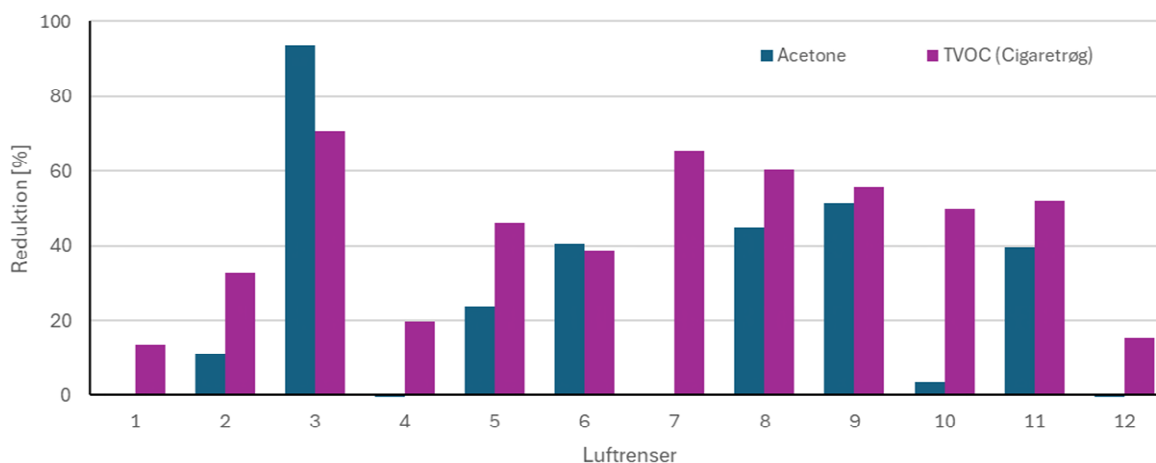


Figur 7. Fjernelseskurver for luftrenseren ved den højeste acetonekoncentration. Enhederne kan opdeles i tre grupper.

Et eksempel på betydningen af gastypen kan ses når man sammenligner fjernelsestest for acetone med fjernelse af røg, hvor der også dannes VOC'er. Dette er vist i **Error! Reference source not found.** Renseevnen overfor acetone kan være lav sammenlignet med andre VOC'er⁵, især for visse typer af luftrensere, for eksempel enhederne 7 og 10 fra figuren. Dette indikerer, at selvom en luftrenser er udstyret med et kulfilter, betyder det ikke nødvendigvis, at den er effektivt til at fjerne den specifikke gas, man ønsker at fjerne. Ikke alle luftrensere er medtaget da det viste sig at der ved enkelte test var ude fra påvirkninger som influerede resultaterne. Fx blev der ikke anvendt et originalt filter, hvilket ikke var

⁵ Sørensen, S. B., Feilberg, A., & Kristensen, K. (2023). Removal of volatile organic compounds by mobile air cleaners: Dynamics, limitations, and possible side effects. *Building and Environment*, 242, 110541.

tydeligt ved købet. Det originale filter er for nuværende desuden udsolgt og er på ubestemt tid ikke mulige at fremskaffe fra leverandøren.

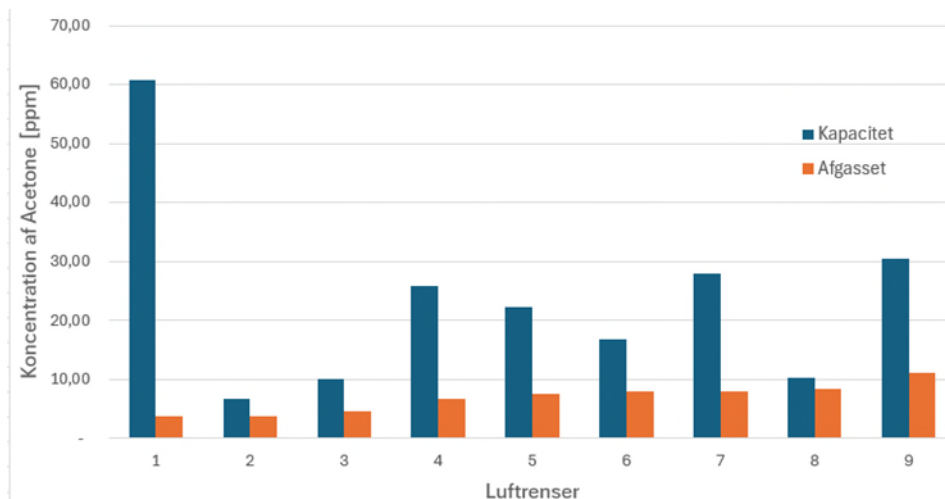


Figur 8. Renseevne overfor acetone og TVOC (fra cigaretrøg) blev undersøgt på tværs af de forskellige luftrensere. Resultaterne for TVOC stammede fra en CADR-test i testen af filterlevetid for partikler.

Afgasning

I afgasningstesten blev det fastlagt, hvor meget TVOC luftrenseren frigav, når den blev tændt efter afslutning af fjernelsestesten. Disse mængder repræsenterede mellem 6% og 57% af den mængde, som luftrenseren havde optaget. Generelt blev de høje procentværdier primært opnået fra luftrensere med meget lave fjernelseshastigheder. Dette indikerer, at deres affinitet med acetone var meget lav, da de fjernede meget lidt og frigav det meste af det bagefter.

Figur 9: Summen af acetone (ppm) optaget i filteret (Kapacitet) for hver luftrensere samt deres afgasning. Luftrensere fra gruppe 1 og 2 er her taget fra figur 7. viser den samlede mængde af acetone optaget i hvert filter for luftrensere i gruppe 1 og 2. Det fremgår heraf at filterkapaciteten varierer betydeligt og at de alle i en vis grad frigiver den optagede acetone.



Figur 9: Summen af acetone (ppm) optaget i filteret (Kapacitet) for hver luftrensere samt deres afgasning. Luftrensere fra gruppe 1 og 2 er her taget fra figur 7.

Biprodukter

Denne test blev udført baseret på hypotesen, at hvis enheden kan nedbryde acetone (C_3H_6O) til mindre komponenter, vil enheden også kunne nedbryde andre gasser. Disse såkaldte biprodukter kan potentielt være skadelige, og det er derfor vigtigt at undersøge deres tilstedeværelse. Dette blev gjort ved at analysere hvilke VOC'er der var til stede i lokalet ved slutningen af testen. Resultaterne blev sammenlignet med en referencemåling, da acetone naturligt nedbrydes til mindre gasser.

Overordnet set blev der ikke observeret betydelige koncentrationer af biprodukter. Tabel 1 viser nogle resultater for udvalgte luftrenser, der havde en lille stigning i koncentrationer af biprodukter. Tidligere studier har vist, at acetone kan nedbrydes til eddikesyre, hvis der dannes ozon fra PCO (Photocatalytic Oxidation)⁶. Dette kan muligvis forklare, hvorfor stigningen i koncentrationen af isopropanol fragmenter (m/z 43) er højere for enkelte enheder end for referencen.

Tabel 1. Maks massekoncentrationer målt af PTR-MS i slutningen af fjernelsestesten for reference og for 4 enheder. Acetone måles i m/z 59, mens m/z 43 svarer til enten isopropanol eller acetic acid (eddikesyre), og m/z 57 refererer til enten propion syre eller butanol. m/z er massen af gassen.

m/z	Forslået forbindelse	Koncentration (ppm)				
		Reference	1	2	3	4
59	Acetone	121	116	128	137	130
43	Isopropanol fragment, Eddikesyre fragment	8	9	14	10	9

⁶ Kask, M., Bolobajev, J., & Krichevskaya, M. (2020). Gas-phase photocatalytic degradation of acetone and toluene, and their mixture in the presence of ozone in continuous multi-section reactor as possible air post-treatment for exhaust from pulsed corona discharge. *Chemical Engineering Journal*, 399, 125815.

57	Butanol, propanoic acid fragmentet	0,6	1,0	1,3	1,0	0,3
----	------------------------------------	-----	-----	-----	-----	-----

Delkonklusion:

Vores undersøgelse viser, at kapaciteten varierer betydeligt mellem produkter, og at det faktum, at en luftrensere har et kulfilter, ikke er ensbetydende med, at den er effektiv til at fjerne den/de ønskede gasser. På baggrund af dette er anbefalingerne at identificere, hvilken gas man ønsker at fjerne, og have dokumentation på renseevnen overfor den gas.

Generelt varierede evnen til at fjerne acetone betydeligt mellem luftrensere. På 30 minutter formåede de mindst effektive enheder ikke at reducere koncentrationen, hvorimod den mest effektive fjernede 97%. Alle luftrensere udviste en vis grad af afgasning som varierede fra 6% til 57 % af den opsamlede gas.

Biprodukter blev ikke identificeret i projektet, men det anbefales fremadrettet stadig at sikre at en teknologi hvor der er mistanke til biprodukter såsom PCO, UV, m.fl, ikke danner ozon og/eller omdanner gasser til andre gasser.



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**