

Final report

1. Project details

Project title	Fremtidens grønne emhætter (dansk) / The Green Cooking Hood of the future (engelsk)
File no.	64021-2020
Name of the funding scheme	EUDP
Project managing company / institution	Teknologisk Institut
CVR number (central business register)	56976116
Project partners	EXHAUSTO A/S (CVR: 18683741), DTU Institut for Byggeri og Anlæg (CVR: 30060946)
Submission date	2026-01-30

Table of contents

1. Project details	1
2. Summary	4
3. Project objectives	6
3.1 What was the objective of the project?	6
3.2 Which energy technology has been developed and demonstrated?	7
4. Project implementation	8
4.1 How did the project evolve?	8
4.2 Describe the risks associated with conducting the project	10
4.3 Did the project implementation develop as foreseen and according to milestones agreed upon? And did the project experience problems not expected?	11
5. Project results	12
5.1 Was the original objective of the project obtained? If not, explain which obstacles that caused it and which changes that were made to project plan to mitigate the obstacles.	12
5.2 Describe the obtained technological results. Did the project produce results not expected?	13
5.2.1 WP 1: Energi- og odoureffektivt emhætte design	13
5.2.1.1 Markeds- og brugerundersøgelse	13
5.2.1.2 Udvikling af nye metoder og teststandarder:	14
5.2.1.3 Påvirkning af EU-regulering og myndigheder (uddybet under kapitel 6)	18
5.2.1.4 Nyt emhættedesign	18
5.2.2 WP 2: Udvikling af "simpel installérbar" rør-i-rør-varmegenvinding og samlet afkast og indtag	24
5.2.2.1 Varmegenvindingskoncept	24
5.2.2.2 Kortslutningsfrit design	25
5.2.3 WP 3: Udvikling af luftbehandling til lugtfrit facadeafkast	25
5.2.4 WP 4: Udvikling af styring og sensorer til behovsstyring – MPR tjekker og tilføjer	26
5.2.4.1 Behov for en intelligent styring	26
5.2.4.2 Nyt brugercentreret design	27
5.2.5 WP 5: Demonstration af udviklede koncepter	28
5.2.5.1 Resultater fra den afsluttende brugertest/demonstration	28
5.2.5.2 Resultater fra den afsluttende workshop med beslutningstagere	30
5.2.6 WP 6: Tværfaglig arbejds pakke – indeklima og partikelforurening	30
5.2.7 WP 7: Formidling	32
5.3 Where and how have the project results been disseminated? Specify which conferences, journals, etc. where the project has been disseminated.	32
5.4 Describe the obtained commercial results. Did the project produce results not expected?	33
5.5 Target group and added value for users: Who should the solutions/technologies be sold to (target group)? Describe for each solutions/technology if several.	33

6. Utilisation of project results	34
6.1 Describe how the obtained commercial results will be utilised in the future and by whom the results will be commercialised.....	34
6.2 Did the project so far lead to increased turnover, exports, employment and additional private investments? Do the project partners expect that the project results in increased turnover, exports, employment and additional private investments?	35
6.3 Describe the competitive situation in the market you expect to enter. And are there competing solutions on the market? Specify who the main competitors are and describe their solutions.	35
6.4 Describe entry or sales barriers and how these are expected to be overcome.	36
6.4.1 Manglende adgang til information	36
6.4.2 Forbrugerprioriteter afviger fra produktfordelene	36
6.4.3 Konventionel tænkning og designforventninger	37
6.4.4 Manglende regulatoriske krav om effektivitet og mærkning	37
6.4.5 Manglende regulatoriske krav om effektivitetsmærkning	37
6.5 How does the project results contribute to realise energy policy objectives?	38
6.5.1 Sikret grundlag for, at emfangseffektivitet (removal efficiency) kan indgå i kommende ecodesign-krav	38
6.5.1.1 Teknisk dokumentation udviklet	38
6.5.1.2 Standardiseringsarbejde	38
6.5.2 Tæt samarbejde med danske og svenske energimyndigheder om input til EU's ecodesign-regulering	38
6.5.2.1 Baggrund.....	38
6.5.2.2 Konkrete resultater	38
6.5.3 Projektresultaterne integreret i danske og svenske holdninger over for EU-Kommissionen	39
6.5.3.1 Videnskabeligt grundlag leveret til energimyndighederne	39
6.5.3.2 Centrale videnskabelige resultater formidlet til myndigheder	39
6.5.3.3 Forslag til ændringer i regulering	39
6.5.4 Møder med EU og dens rådgivere for at fremme krav effektivitetsmærkning af emhætter	40
6.5.4.1 Direkte kontakt med DG ENER	40
6.5.4.2 Hovedargumenter fremført over for Europa-Kommissionen	40
6.5.4.3 Projektets position	40
6.5.5 Energibesparelspotentiale ved udskiftning af alle emhætter i Danmark	41
7. Project conclusion and perspective	42
7.1 State the conclusions made in the project.....	42
7.2 What are the next steps for the developed technology?	43
7.3 Put into perspective how the project results may influence future development	43

2. Summary

Project summary:

The purpose of the project

Cooking is a major source of harmful indoor particles. This project developed an energy-efficient cooker hood with an innovative angled design and intelligent sensor control, achieving 75% capture efficiency at reduced airflow. A revised EU test standard was created to reflect the capture efficiency in future energy labelling.

Results, conclusions and perspective

- Developed an innovative angled cooker hood design achieving 75% capture efficiency at 116.5 m³/h at 50 cm – significantly below current BAT levels
- Created intelligent sensor-based control enabling automatic operation and demand-controlled ventilation
- Revised the European MEK test standard (EN 13141-3) and developed a new CO₂-based test method, both initiated in CEN and sent for external review
- Documented that both MEK and CO₂ methods accurately reflect particle removal (PM_{2.5} and ultrafine)
- Conducted user research (306 respondents across Denmark, Sweden, Germany and France) identifying indoor climate and price as key purchase drivers
- Demonstrated the prototype for users and decision-makers, confirming that low noise, automatic control and the QR-code video instruction were highly valued

Future use of results: EXHAUSTO expects to commercialise the technology Q4/2026 w. sales start Q1/2027. The revised test standard provides the basis for including capture efficiency in future EU Ecodesign requirements and energy labelling. The project results have been integrated into Danish and Swedish positions towards the European Commission.

Expected effects: The technology enables substantial energy savings – up to 759 GWh/year in heating and 49 GWh/year in electricity if deployed across all Danish homes. Simultaneously, it improves indoor air quality by effectively removing harmful cooking particles, contributing to both energy policy objectives and public health.

Projektresumé

Formålet med projektet

Madlavning er en væsentlig kilde til skadelige partikler i boliger. Projektet udviklede en energieffektiv emhætte med innovativt skråtstillet design og intelligent sensorstyring, der opnår 75% emfangseffektivitet ved lav luftmængde. En revideret EU-teststandard blev udviklet for at afspejle emfangseffektiviteten i fremtidens energimærkning.

Resultater, konklusioner og perspektiv

- Udviklet et innovativt skråtstillet emhættedesign, der opnår 75% emfangseffektivitet ved 116,5 m³/h, ved 50 cm – markant under nuværende BAT-niveau
- Skabt intelligent sensorstyring, der muliggør automatisk drift og behovsstyret ventilation
- Revideret den europæiske MEK-teststandard (EN 13141-3) og udviklet en ny CO₂-baseret testmetode, begge initieret i CEN og sendt til ekstern høring
- Dokumenteret at både MEK- og CO₂-metoder afspejler partikelfjernelse (PM_{2.5} og ultrafine) korrekt
- Gennemført brugerundersøgelse (306 respondenter i Danmark, Sverige, Tyskland og Frankrig), der identificerede indeklima og pris som afgørende købsfaktorer
- Demonstreret prototypen for brugere og beslutningstagere, der bekræftede, at lavt støjniveau, automatisk styring og videoinstruktion via QR-kode blev værdsat højt

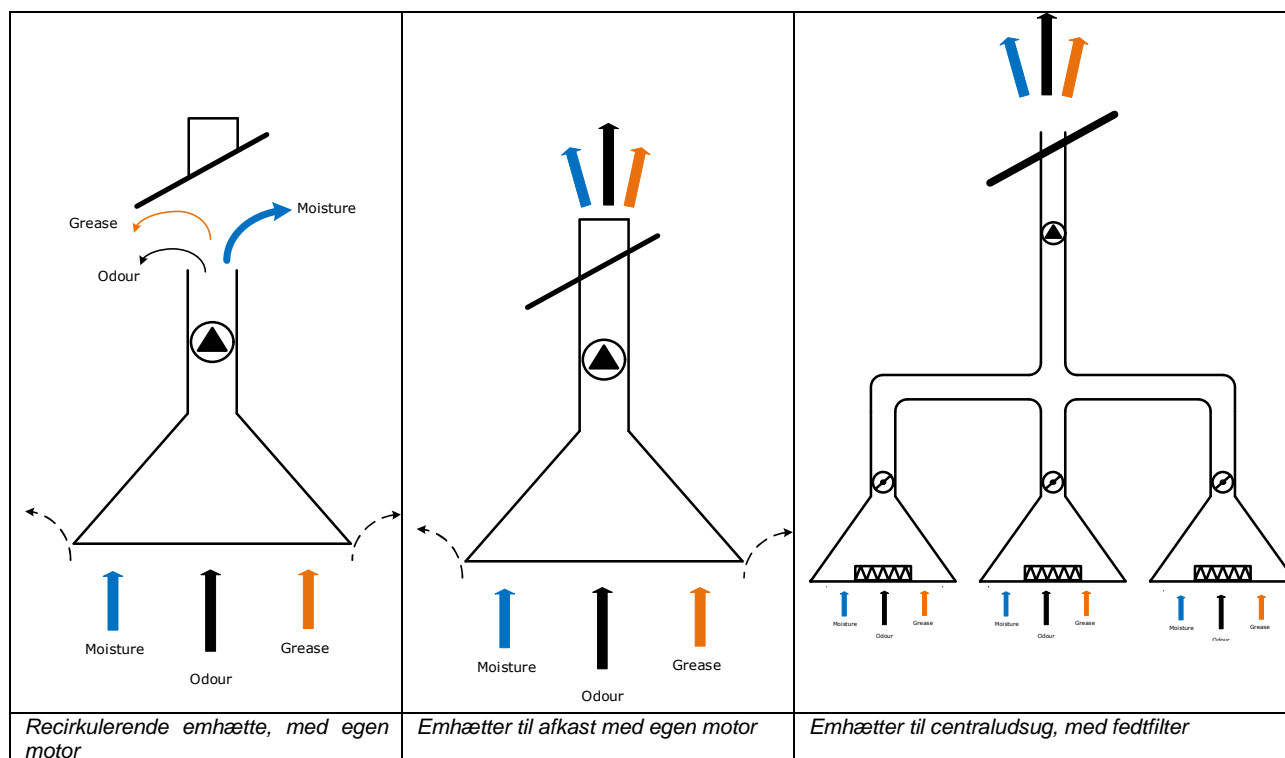
Fremtidig anvendelse: EXHAUSTO forventer at commercialisere teknologien Q4/2026 med salgsstart Q1/2027. Den reviderede teststandard danner grundlag for at inkludere emfangseffektivitet i fremtidige EU Ecodesign-krav og energimærkning. Projektresultaterne er integreret i danske og svenske holdninger over for Europa-Kommissionen.

Forventede effekter: Teknologien muliggør væsentlige energibesparelser – op til 759 GWh/år i varme og 49 GWh/år i el ved udbredelse til alle danske boliger. Samtidig forbedres indeklimaet gennem effektiv fjernelse af sundhedsskadelige madlavningspartikler, hvilket bidrager til både energipolitiske mål og folkesundheden.

3. Project objectives

3.1 What was the objective of the project?

Projektet tog overordnet udgangspunkt i, at boligventilationsemhætter grundlæggende kan opdeles i tre hovedtyper (med en række designvarianter vægmonteret, frit hængende, bordemhætter m.v.) med hver deres fordele og ulemper:



Figur 1 De tre hovedtyper af boligventilationsemhætter.

Recirkulerende emhætter er varmebesparende og lette at installere, men recirkulerer fugt og en del af forurening til rummet og kræver dyre kul-filtre for at fungere tilfredsstillende. Emhætter med egen motor og afkast fjerner de opfangede partikler og fugt, men suger samtidig opvarmet inde-luft ud og er derfor energiforbrugende. Emhætter til centraludsug kan både være partikel- og varmeeffektive, hvis de er koblet på ventilationsanlæg med varmegenvinding, men installationen er dyr.

Hver type har således sine klare fordele (nem installation, varmebesparelse, effektiv fjernelse af fugt og partikler), men også markante ulemper (bl.a. dårlig partikel- og lugtfjernelse, dyre filtre, stort energiforbrug, høje luftmængder og pladskrævende kanaler). Kongstanken med projektet var at kombinere de bedste egenskaber fra alle tre teknologier i én ny emhætte og samtidig hæve niveauet for både energieffektivitet og indeklima/sundhed.

Projektets formål var dermed at udvikle en ny generation boligventilationsemhætter, som både bidrog til et sundt indeklima og var energieffektive. Fokus var på at reducere energiforbruget til ventilation og opvarmning af erstatningsluft, begrænse partikelforurening fra madlavning, sikre lavt støjniveau og skabe løsninger, der var realistiske at installere i både eksisterende byggeri og nybyggeri. Dermed skulle emhætterne være et konkret bidrag til den grønne omstilling og til de skærpede krav i Bygningsreglementet og den kommende revision af Ecodesign og energimærkning.

Mere specifikt var det projektets mål at:

- udvikle et **energi- og emfangseffektivt emhættedesign**, der kan opnå høj emfangseffektivitet (fx 75 %) ved væsentligt lavere luftmængder end daværende BAT-niveau
- udvikle **varmegenvindingsløsninger** (fx rør-i-rør, multi-rør og kompakte vekslerkoncepter), der kan integreres enkelt og omkostningseffektivt i emhætteinstallationer
- udvikle **intelligent behovsstyring** og automatik der kan tilpasse luftmængden til den aktuelle madlavningsbelastning og samtidig være brugervenlig for slutbrugeren
- undersøge og udvikle **luftbehandlingsløsninger** til lugtreduceret/facadeafkast, så flere bygningskoncepter kan håndtere afkast uden nabogener
- etablere et **robust test- og vidensgrundlag** for emhætter, herunder emfangseffektivitet, der kunne anvendes til at påvirke standarder og kommende Ecodesign- og energimærkningskrav, så emhætters reelle ydeevne ift. energi og indeklime synliggøres.

Den udviklede prototype skulle demonstreres i etageboliger og evalueringen af løsningerne skulle omfatte energiforbrug (varme og el) samt oplevet indeklime (primært partikler, lugt, fugt og lyd).

Målet for energieffektivisering var, at "Fremtidens grønne emhætte", når den erstattede en ældre emhætte, skulle reducere varmeforbruget i en gennemsnitsbolig med 400–500 kWh/år for danske enfamiliehuse og 150–200 kWh/år pr. bolig for danske flerfamiliehuse, plus en mindre elbesparelse.

Det samlede energibesparelspotentiale ved udskiftning af alle emhætter i Danmark blev beregnet til ca. 911 GWh/år for varme (ved reducerede luftmængder), yderligere 378 GWh/år for varme (ved varmegenvinding) samt 57 GWh/år i elbesparelse.

3.2 Which energy technology has been developed and demonstrated?

Projektet har primært fokuseret på emhætter til centraludsug, da denne type er udbredt i dansk etageboligbyggeri og har det største potentiale for energieffektivisering gennem reduktion af luftmængder.

Den udviklede prototype er en emhætte til centraludsug c) med nyt geometrisk design og intelligent styring. Designprincipperne og styringsløsningen kan overføres til emhætter med egen motor, dvs. a) og b), hvilket udvider projektets anvendelsespotentiale.

Prototypen er demonstreret og evalueret på Teknologisk Institut med deltagelse af brugere og beslutningstagere. Evalueringen omfattede målt energiforbrug samt målt og oplevet indeklime.

Sideløbende med prototype-udviklingen blev en dokumenteret metode og tilhørende standard (MEK og CO₂) udviklet, for at sikre, at den endelige løsnings forbedringer inden for brugersundhed og energieffektivitet også ville blive anerkendt i en lovgivningsmæssig kontekst.

FGE-projektet har under dette, udviklet og dokumenteret følgende energiteknologiske elementer for emhætter:

Energi- og omkostningseffektivt design som har en høj emfangseffektivitet pga. aerodynamisk geometri, der sikrer en høj samlet opfangning og fjernelse af partikler. Designet er energieffektivt som følge af reducerede luftmængder og tilsvarende tryktab som er opretholdt af en høj emfangseffektivitet.

Varmegenvinding og kortslutningsfrit afkast: I projektet blev der udviklet og testet kompakte varmegenvindingskoncepter (bl.a. rør-i-rør-løsninger) samt et sammenbygget, kortslutningsfrit design for indtag og afkast. Varmegenvindingen blev teknisk afprøvet, men vurderet mest egnet som tilkøbsmulighed frem for standard-løsning.

Luftbehandling til lugtfrit facadeafkast: Projektet undersøgte luftbehandlingsteknologier til lugtreduceret afkast, der muliggør installation af emhætteafkast i facaden uden gene for naboer, herunder partikelfilter + kulfilter, elektrostatisk filtrering og UV-/oxidationsløsninger. Undersøgelsen viste, at flere teknologier kan give tilstrækkelig lugtreduktion, men omkostningsniveau, trykfald og servicebehov gør, at de primært er relevante som mulige tilkøbsmoduler, ikke som standardelementer.

Intelligent styring og sensorer: Der blev udviklet en behovsstyret styring, som automatisk regulerer luftmængden efter madlavningsbelastningen. Styringen blev kombineret med et simpelt, brugercentreret interface med to knapper og lysindikering, udviklet på baggrund af brugerundersøgelser og demonstreret som en prisbillig, robust løsning.

4. Project implementation

4.1 How did the project evolve?

WP1: Energi- og odoureffektivt emhætte design

WP1 var i ansøgningen planlagt som en indledende arbejdsplan med tre overordnede elementer:

- Udarbejdelse af kravspecifikation for emhættetyper, geometri og installationsforhold,
- Validering af eksisterende testgrundlag/standard for emfangseffektivitet, og
- Udvikling af et optimalt energi- og odoureffektivt emhættedesign på dette grundlag.

Ifm. valideringen viste det sig imidlertid, at det eksisterende testgrundlag ikke var tilstrækkeligt robust, hverken ift. at afspejle den reelle emfangseffektivitet eller ift. at kunne anvendes som grundlag for de kommende Ecodesignkrav og energimærkning. WP1 blev derfor udvidet til at løbe over hele projektperioden og kom til at omfatte en stor egenfinansieret udvidelse med:

- En systematisk revision og forbedring af den gældende MEK-standard (EN 13141-3) samt udvikling af ny CO₂-baseret metode, baseret på mere end 300 tests med MEK, CO₂ og partikler,
- Fagligt input til Ecodesignrevisionen gennem samarbejde med energimyndigheder og direkte møder med EU-Kommissionen, samt
- En supplerende bruger- og markedsundersøgelse (forbrugere og beslutningstagere) for at sikre, at både testgrundlag og design afspejler reelle behov og drivere i markedet.

Formålet med udvidelsen var at sikre, at det reviderede testgrundlag måler emfangseffektiviteten korrekt, og at der blev skabt et solidt grundlag for at få det ind som parameter på energimærkningen. Dermed står den udviklede emhætte teknologisk og regulatorisk stærkt i det kommende marked.

På basis af kravspecifikationen, markeds- og brugerundersøgelsen og det reviderede testgrundlag blev der gennemført en iterativ designproces med to hovedkoncepter: en konventionel vandret emhætte som reference og et nyt innovativt skråstillet design med todelt filtersystem, der trækker forureningen bagud væk fra brugeren og dermed giver høj emfangseffektivitet ved lavere luftmængder. Designet blev indledningsvist udviklet via CFD-simuleringer suppleret med fysiske tests der validerede resultaterne, og blev efterfølgende optimeret gennem en iterativ designproces med over 100 iterative tests.

WP2: Varmegenvinding og kortslutningsfrit design

WP2 udviklede og testede rør-i-rør-systemet med varmegenvinding samt det sammenbyggede kortslutningsfrie design for indtag og afkast. Rør-i-rør-konceptet blev delvist indfriet (for lav VGV) og overgik til almindelig varmegenvindingsløsning som tilkøbsmulighed.

WP3: Luftbehandling til lugtfrit facadeafkast

WP3 undersøgte teknologier til lugtfri afkastluft, herunder kul-filter, elektrostatisk filter og UV-behandling. Resultaterne viste, at løsningerne fungerer teknisk, men blev vurderet som tilkøbsmuligheder fremfor standard-elementer pga. pris.

WP4: Styring og sensorer

WP4 udviklede den intelligente behovsstyring samt det brugercentrerede interface. Fokus var på billige, robuste sensorer, og resultaterne var lovende – sensorerne fungerede efter hensigten. Brugerfladen med to knapper og pulserende lys blev designet på baggrund af den indledende brugerundersøgelse.

WP5: Demonstration og validering

WP5 gennemførte demonstration af den udviklede prototype med deltagelse af brugere og beslutningstagere. Demonstrationen blev gennemført på Teknologisk Institut (Energy Flex House) fremfor i private boliger som oprindeligt planlagt.

WP6: Tværfaglig arbejdsopgave om partikelforurening og indeklima

WP6 løb sideløbende med de øvrige arbejdsopgaver og validerede løbende resultaterne ift. indeklima og partikelforurening. Arbejdet omfattede bl.a. samarbejde med University of Nottingham om sundhedspåvirkning fra madlavningspartikler og identifikation af de vigtigste forurenende stoffer at fjerne.

WP7: Formidling

Formidlingsaktiviteterne blev gennemført løbende og omfattede ekspertmøder, præsentationer ved internationale standardiseringsmøder, temadage på Teknologisk Institut samt pressemeddelelser og artikler med betydelig mediedækning (over 1 million læsere i 2024). Desuden blev projektresultaterne formidlet direkte til danske og svenske energimyndigheder samt EU-Kommissionen.

4.2 Describe the risks associated with conducting the project

De risici som blev identificeret i ansøgningen, er blevet tilgået/tacklet på følgende måde i løbet af projektet:

Tabel 1: Projektets væsentligste risici og håndteringen af dem

Risiko	Sandsynlighed (1 = mindst, 5 = størst)	Konsekvens (1 = mindst, 5 = størst)	Reelt forløb og håndtering
Den ønskelige reduktion i luftmængde på 50% kombineret med emfangseffektivitet på 75% kan ikke opnås	1	3	<p>Det forebyggende tiltag var at justere effektmålene til et fornuftigt niveau der samtidigt var ambitiøst men opnåeligt. Det opnåede niveau på ca. 40% viste sig at være et fornuftigt kompromis. Specielt, henset til brugertest, som viste at der er behov for at have et vist operationelt arbejdsområde for madlavningen, hvorfor der var grænser for, hvor meget emfangseffektiviteten kunne øges.</p>
Det ikke lykkes at etablere tilstrækkelig lugt-reduktion for afkast på facade	2	2	<p>Projektet kortlagde og testede relevante teknologier og kunne dermed dokumentere en teknisk tilstrækkelig lugtreduktion til facadeafkast. Udfordringen viste sig primært at være økonomi, trykfald, støj og kort serviceinterval – ikke manglende teknologi. På den baggrund blev de oprindeligt planlagte tiltag i risikohåndteringen (samarbejde med SKOV A/S, inddragelse af Camfil/General Filters samt særskilt dialog med Bolig- og Planstyrelsen om at definere nye BR-krav) ikke realiseret, da:</p> <ul style="list-style-type: none"> der allerede fandtes velkendt filterteknologi, som kunne levere den nødvendige lugtreduktion, yderligere teknologiudvikling via SKOV/Camfil/General Filters vurderedes ikke proportional med projektets mål og økonomi, og løsningen ville blive for omkostningstung som standardkomponent. <p>I stedet blev luftbehandling til facadeafkast dokumenteret og placeret som mulig tilkøbsløsning, mens prototype-emhætten blev optimeret uden facadefilter for at bevare omkostningseffektivitet og konkurrenceevne.</p>
Det ikke lykkes at udvikle rør-i-rør varmegenvinding	1	2	<p>Den tekniske vurdering senere i projektet viste, at det yderligere energibesparelspotentiale fra varmegenvinding var relativt lavt, når luftmængden allerede er reduceret væsentligt gennem det</p>

med tilstrækkelig høj effektivitet			nye emhættedesign. Samlet set kunne meromkostningen til alle typer varmegenvinding ikke retfærdiggøres af den begrænsede yderligere besparelse. Det planlagte plan B-tiltag; at tage udgangspunkt i en modstrømsveksler blev derfor heller ikke implementeret – men i stedet en add-on / tilkøb.
------------------------------------	--	--	--

4.3 Did the project implementation develop as foreseen and according to milestones agreed upon? And did the project experience problems not expected?

I tillæg til ovenstående mulige forudsete risici, opstod der en række uforudsete udfordringer i løbet af projektperioden, hvoraf de væsentligste er nævnt nedenfor.

Forsinket opstart og afslutning

Projektet var oprindeligt planlagt til perioden 2022-01-01 til 2024-12-31, men oplevede en forsinkelse på ca. 4 måneder ved opstart pga. senere bevillingstilsagn grundet arbejdet med NDA'er og projektsamarbejdsaftaler.

Løsningstiltag: Slutdato blev udsat fra 2024-12-31 til 2025-06-30, og siden til 2025-11-30 pga. udfordringer med forsikring og CE-mærkning ifm. demonstrationen.

Udvidet standardiserings og ecodesign-indsats

Projektet blev involveret i EU's revisionsarbejde med ecodesign-regulering i langt højere grad end oprindeligt planlagt. Dette omfattede direkte møder med Europa-Kommissionen (DG ENER), samarbejde med danske og svenske energimyndigheder samt en central rolle i CEN-standardiseringsarbejdet om revision af EN 13141-3 og udvikling af en ny CO₂-baseret metode, hvor projektets deltagere både udgjorde arbejdsgruppen og formanden for arbejdet.

Løsningstiltag: WP1 blev udvidet til at foregå sideløbende med de øvrige arbejdsplaner. Resultatet blev revision af den europæiske standard EN 1314-3 i CEN, som sikrede grundlag og input til Ecodesign-reguleringen så emfangseffektivitet kan blive en del af energimærkningen.

I forbindelse med Ecodesign og standardiseringsarbejdet opstod der diskussioner med internationale interessenter, som gav anledning til at undersøge brugernes reelle behov mere indgående. Oprindeligt var det forventet, at der skulle udvikles et afgrænset testgrundlag, hvor metoden afspejlede virkeligheden bedre, og at standarden skulle reflektere, hvad en effektiv emhætte var. Det viste sig imidlertid, at der var betydelig modstand blandt andre producenter, hvilket gjorde indsatsen langt mere omfattende end planlagt.

For at sikre, at det nyudviklede emhættedesign blev baseret på et solidt grundlag og den reviderede standard havde en chance for at blive implementeret i EU-regulering, var det nødvendigt at undersøge, hvad der reelt driver valget af emhætter. Dette omfattede drivkræfterne både set fra forbrugernes, beslutningstageres og indkøbernes perspektiv. Den antropologiske markeds- og brugerundersøgelse var ikke en del af den oprindelige projektansøgning, men projektet blev udvidet med **300 timer egenfinansieret** af Teknologisk Institut for at gennemføre denne undersøgelse. Undersøgelsen gav væsentlig indsigt i, at indeklima og pris er afgørende faktorer for både forbrugere og beslutningstagerer, og at der er begrænset betalingsvillighed for tilføjelser med lang tilbagebetalingstid. Disse resultater gav input og argumenter for at få emfangseffektivitet som en del af energimærkningen og havde ligeledes direkte indflydelse på projektets prioriteringer, herunder beslutningen om at fokusere slutproduktet på design og intelligent styring, mens varmegenvinding og luftbehandling tilbydes som tilkøb.

Varmegenvinding og luftrensning

Varmegenvinding og luftrensning (gennem kul-filter) viste sig at være for dyrt til at inkludere i det kommercielle produkt i første omgang.

Løsningstiltag: Elementerne er udviklet og testet som planlagt, men tilbydes som tilkøbsmuligheder fremfor standardelementer. Slutproduktet fokuserer på de to primære innovationer: det nye geometriske design og den intelligente styring.

Udfordring med forsikring og CE-mærkning af prototyper ifm. demonstration

Der opstod uventede udfordringer med forsikring og CE-mærkning af prototyper til demonstration i private hjem, især ift. Brandrisiko. Dette var ikke forudset i projektplanen og krævede ekstra ressourcer.

Løsningstiltag: Demonstration blev gennemført i Teknologisk Institut demonstrationshus Energy Flex House, i stedet for i private hjem. Erfaringen blev videreformidlet til EUDP som anbefaling om at inkludere budget til sådanne opgaver i fremtidige projekter.

5. Project results

5.1 Was the original objective of the project obtained? If not, explain which obstacles that caused it and which changes that were made to project plan to mitigate the obstacles.

Det overordnede formål med projektet blev i al væsentlighed opnået: Der blev udviklet og demonstreret en ny generation boligventilationsemhætte, der kombinerer høj emfangseffektivitet med reduceret luftmængde, lavt energiforbrug og støjniveau.

Energi- og odoureffektiv emhætte: Den udviklede prototype opnåede 75 % emfangseffektivitet ved ca. 116,5 m³/time, hvilket ligger tæt på målet om 30 l/s (108 m³/time) og er markant bedre end eksisterende BAT-niveau.

Intelligent styring og brugerinterface: Der blev udviklet en behovsstyret, automatisk styring, kombineret med et enkelt, brugercentreret interface med kun to knapper og lysindikering. Bruger- og beslutningstagerundersøgelserne viste, at den fuldautomatiske styring med mulighed for manuel overstyring samt det enkle betjeningspanel opleves som intuitivt og anvendeligt i praksis.

Supplerende mål – brugeraccept og energimærkning: For at sikre, at brugeren tager godt imod det nye design og styring, og for at understøtte, at emfangseffektivitet kan komme på energimærket, blev der gennemført en række supplerende tiltag:

- En antropologisk **bruger- og markedsundersøgelse** (survey, hjemmeinterviews, brugertest og beslutningstagerworkshop), der har givet konkret input til geometri, støjniveau, automatik og betjening – og samtidig dokumenteret, at indeklimate og pris er afgørende drivere, mens betalingsvilligheden for dyre tilvalg er begrænset. Disse indsigter er anvendt aktivt overfor energimyndigheder og EU-Kommissionen som argumentation for, at Ecodesign og energimærkning skal fokusere på emfangseffektivitet (reel beskyttelse af brugeren) frem for kun ventilatorvirkningsgrad.

- En **videoinstruktion** som er tilgængelig via QR-kode på emhætten, der fungerer som digital brugermanual. Brugertesten viste, at dette format i højere grad bliver anerkendt end en traditionel manual og dermed øger forståelse og korrekt brug af emhætten.

Supplerende mål – Standarder og lovgivning: Som et supplerende resultat blev den eksisterende MEK-standard (EN 13141-3) revideret og forbedret, og en ny CO₂-baseret testmetode udviklet, som er initieret i CEN og sendt i ekstern høring. Dermed er der skabt et solidt grundlag for, at emfangseffektivitet kan indgå i fremtidige Ecodesign-krav og energimærkning og dermed synliggøre emhættens reelle funktion.

Varmegenvinding og luftbehandling: Rør-i-rør-, multi-rør- og modstrømsvarmevekslere samt luftbehandling og facadeafkast blev undersøgt og udviklet som planlagt, men ikke indarbejdet som standardelementer i slutproduktet. På baggrund af markeds- og brugerundersøgelsen samt de tekniske og økonomiske vurderinger blev det vurderet at disse løsninger p.t. er for omkostningstunge ift. den begrænsede ekstra energibesparelse og øget driftsøkonomi - derfor positioneres de som evt. mulige tilkøbsoptioner.

5.2 Describe the obtained technological results. Did the project produce results not expected?

Dette afsnit opsummerer projektets teknologiske og videnskabelige resultater for hver af projektets arbejds-pakker.

5.2.1 WP 1: Energi- og odoureffektivt emhætte design

5.2.1.1 Markeds- og brugerundersøgelse

Den indledende markeds- og brugerundersøgelse bestod af én kvantitativ og to kvalitative dele:

Kvantitativ del: Forbruger-survey

Spørgeskemaundersøgelsen omfattede godt 300 respondenter fordelt på fire markeder: Danmark (108), Sverige (87), Tyskland (54) og Frankrig (30). Respondenterne var almindelige forbrugere og boligejere, der besvarede spørgsmål om deres brug af emhætter, præferencer og købskriterier. Undersøgelsen viste, at under halvdelen (42%) bruger emhætten hver gang de laver mad, mens 9% aldrig bruger den og 16% glemmer det nogle gange. 35% bruger kun emhætten ved damp eller røg, og 26% kun ved lugt. Støj påvirker brugen markant – i Danmark slukker 38% nogle gange emhætten pga. støjgener. Desuden var der begrænset viden om sundhedsrisici ved madlavningspartikler – for mange var det en "aha-oplevelse".

Vigtigste parametre ved køb

De vigtigste parametre ved køb varierer mellem markerne. Pris er den afgørende faktor, særligt i Danmark. 'Effektivitet ift. at rense luften' prioriteres højt i de nordiske markeder, mens design er mindre vigtigt for danske forbrugere sammenlignet med de øvrige markeder.

Ønskede funktionaliteter

Forbrugerne efterspørger flere funktionaliteter: Automatisk boost-funktion, rengøringsnotifikation og mulighed for manuel overstyring var ønsket på tværs af markerne. Sikkerhedsalarm var særligt efterspurgt i Sverige og Tyskland.

Kvalitativ del 1: Forbruger-interviews

Der blev gennemført dybdegående antropologiske interviews med 4 danske forbrugere i deres eget hjem, hvor antropologen deltog i madlavning for at observere adfærd og holdninger. Interviewene viste, at forbrugerne er

bevidste om vigtigheden af et godt indeklima, men at emhætten ikke opfattes som et designobjekt – funktionalitet og komfort er vigtigere - men samtidigt ønsker forbrugerne et diskret og simpelt design, der passer naturligt ind i køkkenet. Årsagerne til manglende brug af emhætten var støjgener, glemsomhed og begrænset viden om sundhedsrisici.

Kvalitativ del 2: Indledende interviews af beslutningstagere

Interviews med professionelle aktører i byggebranchen, som har indflydelse på valg af emhætter i nybyggeri og renovering, herunder rådgivende ingeniører, der specificerer tekniske krav (SWECO, OJ Ingeniører), bygningsejere, der træffer indkøbsbeslutninger for boligbyggerier (SAI Danmark), og entreprenører, der står for installation og aflevering.

Tabel 2: Beslutningstageres fokusområder og vigtige parametre ved valg af emhætte, baseret på interviews med professionelle aktører i byggebranchen.

Beslutningstager	Fokusområde	Ønsker og vigtige parametre
Ingeniører	Dokumentation og compliance	Emhætten skal leve op til bygningsreglementet; transparent indkøbsproces med let tilgængelig DGNB-dokumentation; sammenlignelig bæredygtighedsdokumentation ift. konkurrenter; sikkerhed for at emhætten overholder lovkrav ved automatisk drift (luftmængde, emfangseffektivitet, trykfald)
Byggeudvalg (sociale boligbyggerier)	Totaløkonomi	Pris er det springende punkt – vælger aldrig den dyreste emhætte; svært at argumentere for lang tilbagebetalingstid; robust og nem at vedligeholde; god service og nem adgang til reservedele
Entreprenører	Installation og aflevering	Nem og omkostningseffektiv installation af én person med nemt ophæng; skal kunne bestå 1- og 5-års gennemgangen; let tilgængelige data på kritiske parametre (luftmængde, trykfald, emfangseffektivitet, lydniveau, effektforbrug og nem indregulering)

5.2.1.2 Udvikling af nye metoder og teststandarder:

Baggrunden for, at projektet udviklede nye teststandarder, var todelt. For det første skulle projektet sikre, at når den nyudviklede emhættes effektivitet blev målt retvisende. For det andet var der i forbindelse med den igangværende ecodesign-revision blevet rejst tvivl om den eksisterende MEK-metode, hvilket skabte et behov for at gennemgå standarden og vurdere, om der forelå et retvisende grundlag.

Identifikation af de vigtigste forurenende stoffer

Det første skridt var at tage kontakt til Benjamin Jones fra University of Nottingham, som havde lavet indledende studier om, hvilke stoffer der er vigtigst at fjerne fra madlavning. Tidligere var fokus primært på fugt for at undgå skimmelsvamp i boliger, men nu var fokus i forhold til folkesundhed skiftet til partikler – især ultrafine partikler (UFP) og PM2.5. DTU arbejdede videre med dette i projektet og fandt, at benzo(a)pyren er den mest kritiske partikeltype at fjerne ift. sundhed. Benzo(a)pyren (BaP) er et stærkt kræftfremkaldende polycyklisk aromatisk hydrocarbon (PAH), der dannes ved ufuldstændig forbrænding af organisk materiale, det findes fx i kul- og tjærestoffer, tobaksrøg, og kan kontaminere mad (f.eks. grillet kød)).

Validering af målemetoder

Med dette grundlag, at det er partiklerne der skal fjernes, var næste skridt at undersøge, om de eksisterende målemetoder afspejler partikelfjernelsen. Der blev gennemført over 300 målinger, hvor MEK-metoden blev sammenlignet med en partikelmetode, som Teknologisk Institut udviklede. Projektet forsøgte at fremføre partikelmetoden som grundlag for ecodesign, da det reelt er partikler, emhætten skal fjerne. Der var imidlertid generel modstand mod dette, og selvom både projektet og myndighederne pegede på det som en god idé, kunne det ikke gennemføres på grund af modstand fra producenter og leverandører.

MEK-metodens validering

Projektet undersøgte derfor, om MEK-metoden kunne anvendes i stedet. Altså om den afspejler fjernelsen af partikler. MEK er en sporgas/væske, som dryppes ned på en pande, hvorefter man måler, hvor meget der fjernes fra rummet. De 300 målinger sammenlignede MEK-metoden med partikelmetoden og viste, at MEK afspejler fjernelsen af PM2.5-partikler (partikler op til 2,5 mikrometer).

Producenternes forslag om CO₂-metoden

Sideløbende var ecodesign-revisionen startet op, hvor danske og svenske energimyndigheder samt Teknologisk Institut tidligere var blevet lovet, at emhættens emfangseffektivitet skulle indgå som en del af ecodesign. En del af industrien arbejdede imidlertid kraftigt imod dette, formentligt da de var bekendt med, at nogle af deres emhætter ikke var særligt effektive. De stillede derfor spørgsmålstegn ved MEK-metodens robusthed.

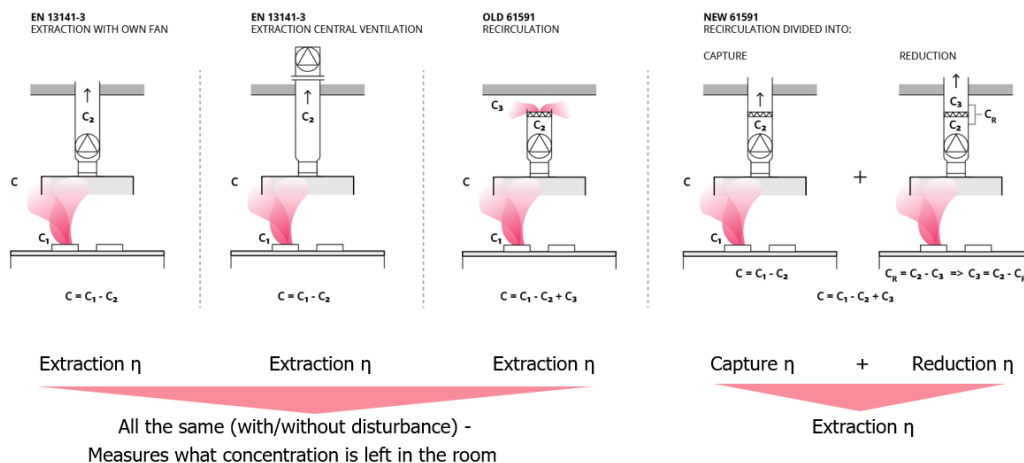
Da projektet fremviste arbejdet med de 300 målinger, kunne industrien se, at MEK-metoden var robust, og at de identificerede fejl i standarden var rettet. Industrien foreslog herefter at undersøge en amerikansk metode, der anvender CO₂ som sporgas. Projektgruppen kunne ikke umiddelbart bakke op om dette, før metoden var testet, og derfor blev de 300 målinger udvidet til også at omfatte CO₂.

CO₂-metodens fordele for recirkulerende emhætter

Årsagen til, at industrien foreslog CO₂-metoden, var formentligt producenterne af recirkulerende emhætter. Recirkulerende emhætter anvender kul-filter, som ikke nedbryder CO₂ – man kan altså ikke måle filtereffektiviteten med CO₂. Idéen med CO₂-metoden var derfor, at man kun måler det, der kaldes "capture efficiency" (opfangningseffektivitet) – altså hvor god emhætten er til at indfange forureningen – men ikke hvor god den er til at fjerne det fra rummet.

Dette er problematisk, fordi en afkastemhætte fører al luften ud til det fri, mens en recirkulerende emhætte leder al luften tilbage i rummet. For recirkulerende emhætter skal filtereffektiviteten derfor også indgå i beregningen. Projektet har derfor foreslået i den nye standard, at effektiviteten opdeles i flere elementer, hvor "removal efficiency" (fjernelseseffektivitet) er det endelige mål. For recirkulerende emhætter beregnes dette som capture efficiency / emfangseffektiviteten ganget med filtereffektivitet.

Hvis kun capture efficiency indgår i ecodesign, vil det være falsk varebetegnelse over for forbrugeren, som tror, de kigger på en effektiv emhætte, der er god til at fjerne forurening. Men hvis luften ledes tilbage i rummet uden effektiv filtrering, giver det ingen mening, hvilket fremgår af nedensående illustration:



Figur 2: Forskellen mellem eksisterende og reviderede standarder ift. Emfangseffektivitet.

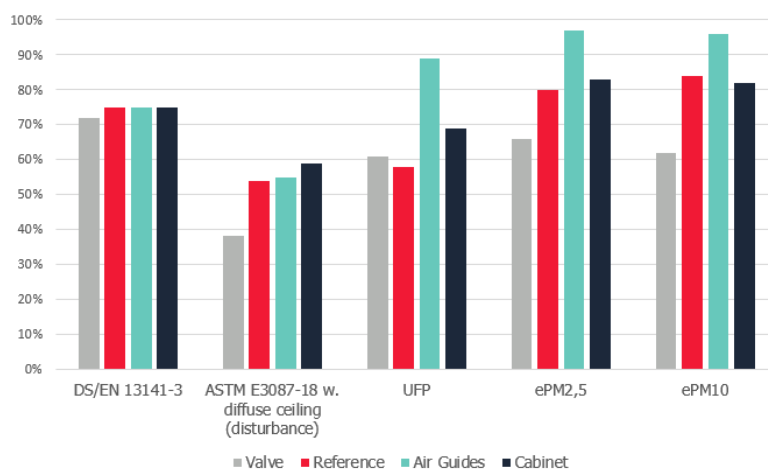
De supplerende tests i projektet viste dog, at CO₂-metoden giver et konservativt, men retvisende billede af emhættens evne til at fjerne ultrafine partikler (UFP). Sammenligninger af MEK-, CO₂- og partikelmålinger på repræsentative emhætter viste, at CO₂-baseret capture efficiency generelt ligger lavere end UFP-effektiviteten, men følger samme tendens: højere luftmængde eller bedre geometrisk design giver højere effektivitet. Dermed kan CO₂-metoden, når den kombineres med krav om filtereffektivitet, anvendes som robust indikator for fjernelse af de mest sundhedsskadelige partikler ved recirkulerende emhætter.

CO₂, MEK og partikler

Projektets sammenlignende målinger (MEK, CO₂ og partikler) viste, at de to sporgas-metoder hver afspejler forskellige dele af partikkelproblematikken

- **MEK-metoden (EN 13141-3)** korrelerer godt med fjernelsen af **PM_{2,5}-partikler** og giver dermed et retvisende billede af emhættens effektivitet for fine partikler.
- **CO₂-metoden (ASTM/IEC-grundlaget)** giver et konservativt, men stabilt billede af capture efficiency, fordi den CO₂-baserede effektivitet konsistent måles lavere end UFP-effektiviteten, men følger fjernelsen af partikler over tid – og dermed kan fungere som en proxy for UFP-effektiviteten.

som illustreret i nedenstående figur:



Figur 3: Test af fire repræsentative emhætter i EU (MEK + CO₂ + partikler)

Begge metoder er nu videreudviklet, valideret og indarbejdet i den reviderede standard, og de kan bruges som grundlag for Ecodesign og energimærkning. For **recirkulerende emhætter** er det afgørende, at CO₂-metoden ikke kun anvendes til at måle capture efficiency, men kombineres med **filtereffektivitet** (for partikler), så den samlede **removal efficiency** (capture x filter) fremgår. Med dette krav opfyldt kan industrien frit vælge, om de vil bruge MEK- eller CO₂-metoden – uden at vildlede forbrugerne om emhættens reelle evne til at fjerne sundhedsskadelige partikler. De overordnede forskelle i standarderne fremgår af nedenstående tabel:

Tabel 3: Oversigt over de forskellige teststandarders specifikationer, ligheder og forskelle.

Topic	Testing standard			
	EN 61591 (MEK)	EN 13141-3 (MEK)	E3087-18 ASTM/AMCA (CO2)	DGEGSS-3 (Particles)
Short description	Standard using MEK as a tracer gas to evaluate the Odour reduction capabilities of a range hood. Used for range hoods incorporating a fan. Both extraction and recirculating models.	Standard using MEK as a tracer gas to evaluate the Odour reduction capabilities of a range hood. Used for residential range hoods without a fan (but can be used for other also).	American Standard using CO2 as a tracer gas.	(New method by DTI) Test method developed in a research project (2) evaluating the health impacts of using a range hood while cooking. The test method evaluates the capability of a range hood to remove particle pollution from cooking a standardized beef patty.
Result	Odour reduction factor	Odour reduction factor	Capture Efficiency	CFE-E
Method	Diff. between with/ out CFE (C_{end}) $Of = (C1-C2) / C1$	Diff. between with/ out CFE (C_{end}) $Of = (C1-C2) / C1$	Continuous: (exhaust – room) / emitter $CE = (Ce-Cc) / (Ce-Ca)$	Diff. between with/ out CFE (C_{mean}) $Of = (PM1_{5-21}-PM2_{5-21}) / PM1_{5-21}$
Test time	30 min	10 min	10 min	16 min
Pan	125 mm pot	45 mm pan	Two 38 mm diffuser emitters	45 mm pan
Pan material	Undefined	Copper	Steel or aluminum	Copper
Pan temperature	170 °C	170 °C	160 °C	180 °C
Test room size	22 m ³ ± 2 m ³	22 m ³ ± 2 m ³	21,9 m ³	22 m ³ ± 2 m ³
Disturbing element	No	Yes	No	Yes
Tracer medium	Methyl Ethyl Ketone (MEK)	Methyl Ethyl Ketone (MEK)	CO2 or equivalent	Particles pollution (UFP, PM1, PM2.5 & PM10)
Suitable for recirculating range hoods	Partly - it does not reflect the removal of particles	Partly - Can by simple rewriting include recirculating as well	No (only capture) – But can by including filter eff. cover rec.	Yes

Tre centrale effektivitetsbegreber

I emhættestandarderne anvendes tre centrale effektivitetsbegreber: Capture efficiency (opfangningseffektivitet), som angiver hvor stor en andel af forureningen emhætten opfanger; removal efficiency (fjernelseseffektivitet), som angiver hvor stor en andel af den opfangede forurening der faktisk fjernes fra luften; samt det ældre begreb odour removal efficiency (lugtfjernelseseffektivitet), som kombinerer de to, men med fokus på lugt frem for partikler. De oprindelige standarder (EN 13141-3 og EN 61591) anvendte odour removal efficiency, men da partikler er vigtigere end lugt ift. sundhed, har den af projektdeltagerne udførte reviderede EN 13141-3 opdelt målingen i capture efficiency og removal efficiency, hvor sidstnævnte dokumenteres via filtertest for partikler (PM2.5 eller PM1). Denne opdeling er særligt relevant for recirkulerende emhætter, der skal dokumentere både opfangning og filterets fjernelsesevne, mens afkastemhætter pr. definition har 100% removal efficiency, da luften føres ud af bygningen.

Projektet har derfor arbejdet på at begrebet "odour reduction efficiency" erstattes eller suppleres med de mere præcise begreber "capture efficiency" og "removal efficiency" i den kommende revision, da partikler er vigtigere end lugt ift. sundhed. Samlet set har projektet gennemført følgende:

- **Revideret eksisterende MEK-standard (EN 13141-3)** Projektet identificerede og rettede fejl i den eksisterende europæiske MEK-standard (EN 13141-3), som anvendes til måling af emhætters emfangseffektivitet. Gennem over 300 tests blev der påvist mangler i standarden, som nu er adresseret i det reviderede standardforslag.
- **Udviklet ny CO₂-baseret testmetode** Med udgangspunkt i den amerikanske ASTM E3087-18 standard har projektet udviklet og valideret en ny CO₂-baseret testmetode til måling af emfangseffektivitet. Metoden er blevet tilpasset og forbedret til europæiske forhold, herunder rettelse af identificerede fejl i den amerikanske udgave, og adopteret i den reviderede EN 13141-3
- **Den reviderede europæisk standard er initieret i CEN og sendes til høring.** Standarden giver industrien et validt og reproducerbart grundlag for at dokumentere emhætters emfangseffektivitet.
- **Bevist at både MEK- og CO₂-metoder kan afspejle partikeleffektivitet** Gennem sammenlignende tests med projektets egen partikelmetode (DGEGSS-3) er det dokumenteret, at både MEK- og CO₂-metoderne giver et retvisende billede af emhættens evne til at fjerne partikler fra madlavning. MEK-metoden afspejler primært PM2.5-partikler, mens CO₂-metoden afspejler fjernelsen af ultrafine partikler – hvilket giver industrien fleksibilitet til at vælge den metode, der passer bedst til deres behov.

5.2.1.3 Påvirkning af EU-regulering og myndigheder (uddybet under kapitel 6)

Projektet har haft tæt samarbejde med Energistyrelsen (DK) og Energimyndigheten (SE) om input til EU's ecodesign-regulering, herunder direkte møder med Europa Kommissionen (DG ENER) for at fremme krav om energimærkning (energieffektivitet) af emhætter. Projektresultaterne blev integreret i de danske og svenske holdninger over for Europa Kommissionen, og projektet har sikret grundlaget for, at "capture efficiency" (opfangningseffektivitet) og "removal efficiency" (samlet emfangseffektivitet) kan indgå i kommende ecodesign-krav ved revision af de bagvedliggende standarder og tilhørende dokumentation.

5.2.1.4 Nyt emhættedesign

I designudviklingen blev der arbejdet med to geometriske designkoncepter: en **konventionel vandret emhætte** og en **innovativ skråtstillet emhætte** med todelt filtersystem, hvor halvdelen af luften trækkes bagud, halvdelen opad. CFD-simuleringer (af partiklernes bevægelser) og efterfølgende fysiske tests førte til valg af det skråtstillede design, som opnår højere emfangseffektivitet ved lavere luftmængder.

Geometriske afgrænsninger

Der blev tidligt i projektet undersøgt typiske installationsforhold, og ud fra denne analyse blev der opsat geometriske afgrænsninger for det nye design. Disse omfatter blandt andet en standard bredde på 598 mm, en 125 mm kanaltilslutning samt en standard installationshøjde på typisk 600 mm og mindst 500 mm (målt fra toppen af bordpladen til undersiden af emfanget).

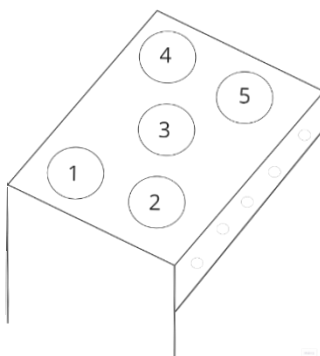
Brugerundersøgelse

Der blev udført en spørgeskemaundersøgelse i de mest relevante lande ift. EXHAUSTO og Frankes mærker: Danmark, Sverige, Tyskland og Frankrig. Formålet med undersøgelsen var at identificere brugernes prioriteter i valget af en ny emhætte samt hvilke nye og intelligente features de lagde mest vægt på. De væsentligste resultater er opsummeret i forhenværende afsnit 5.2.1.1, mens de mest ønskede funktionaliteter, som havde direkte indflydelse på emhættedesignet er gengivet nedenfor.

Tabel 4: Mest ønskede funktionaliteter på tværs af lande.

Mest ønskede funktionaliteter				
Funktionalitet	Danmark	Sverige	Tyskland	Frankrig
Cleaning notification - Et ikon som indikerer, hvornår det er tid til at rense filteret ("Filtervagt")				
Safe alarm - Emhætten overvåger, om kogepladen er tændt uden en gryde eller pande, og slukker automatisk komfuret				
Automatic boost - Emhætten booster automatisk til en højere indstilling, hvis den registrerer et behov				
Boost notification - Et ikon fortæller brugeren, at emhætten bør skrues op				
Automatic sides - Automatiske sider, der sænkes, når emhætten er tændt, og gør emhætten mere effektiv. Siderne er skjulte, når den er slukket				

Brugerne blev i samme spørgeskema spurgt om hvilke kogeplader de brugte mest, for at sikre at emhætte-designet målrettede sig det vigtigste område for partikelskabelse. De to mest brugte kogeplader var de to yderste (tættest på brugeren), mens den mest anvendte af dem var den venstre. Af de to bagerste kogeplader var den til højre den mest foretrukne. De mest anvendte kogeplader kan ses af nedenstående figur, og kan opsummeres som følger: 2 > 5 > 4 > 1 > 3



Figur 4: Illustration af komfur med nummererede kogeplader til reference i spørgeskemaundersøgelsen.

Sensitivitetsundersøgelse

En sensitivitetsundersøgelse baseret på TI's over 300 målinger konkluderede at udsugningsflowet var den afgørende faktor for odour-effektiviteten efterfulgt af afstanden mellem udsugningspunkt og forureningskilden (dvs. monteringshøjden). Den geometriske udformning havde en relativt lav, dog målbar betydning for odour-effektiviteten.

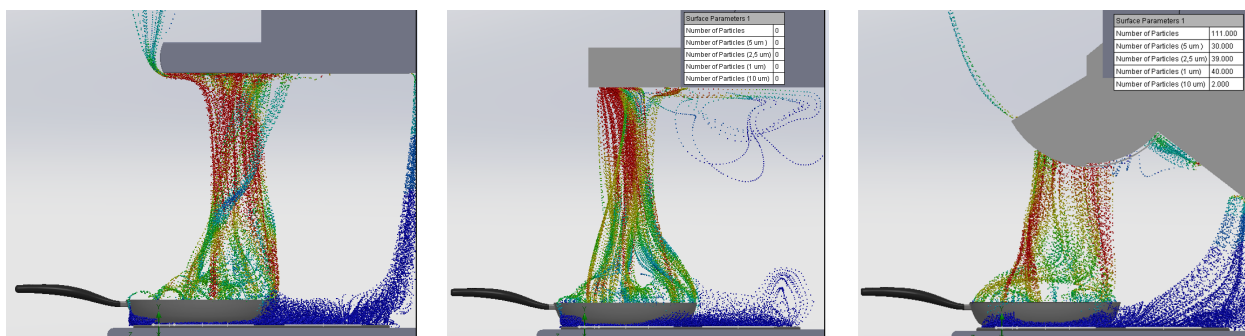
Geometrisk udformning

Med konklusionerne fra sensitivitetsanalysen, blev det klart at emfangseffektiviteten kun i begrænset omfang ville kunne øges inden for de eksisterende geometriske afgrænsninger. Det blev derfor besluttet at der skulle udvikles 2 forskellige designs. Et konventionelt design og et innovativt design. Det konventionelle design ville nemt kunne sælges på markedet, men emfangseffektiviteten ville realistisk set kun kunne forbedres margi-

nalt. Det innovative designs primære mål var at øge emfangseffektiviteten så meget som muligt, uagtet geometrisk udformning og salgbarhed, og erfaringer herfra ville danne grundlag for et evt. senere kommercielt produkt.

Iterativ udvikling

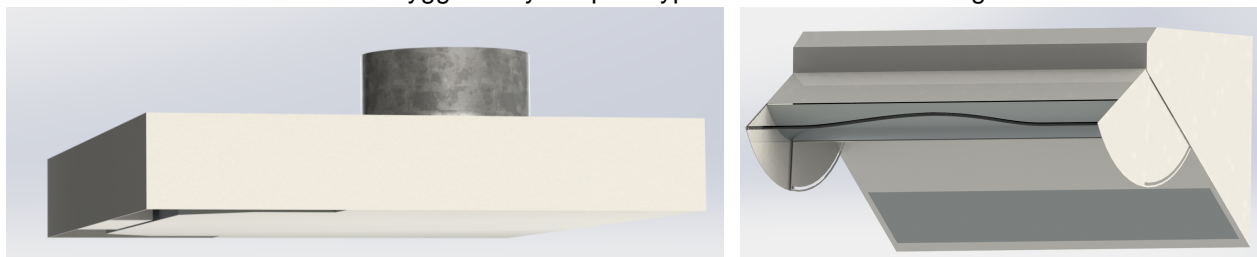
Begge designs blev udviklet gennem en iterativ designproces i CAD-softwaren Solidworks. Geometriske designforslag blev testet gennem omfattende CFD-simuleringer for relativt hurtigt at kunne teste deres effekt, inden en fysisk prototype produceret for at blive testet i Teknologisk Instituts emhætte-laboratorium.



Figur 5: CFD-simuleringer som viser partikelsimulering under steady state forhold for hhv. en standard emhætte (venstre), konventionelt design (midterst) og innovativt design (højre).

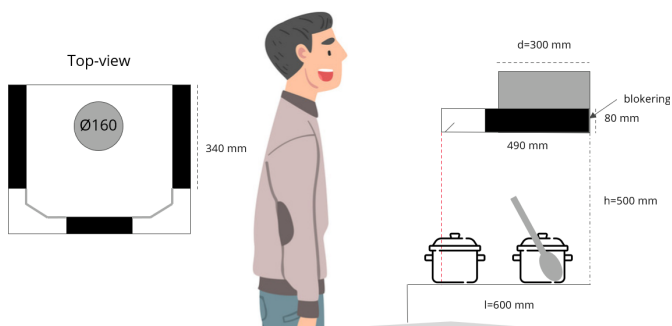
Test af fysiske prototyper

Ud fra CAD-modellerne blev der bygget en fysisk prototype for hver emhætte-design.

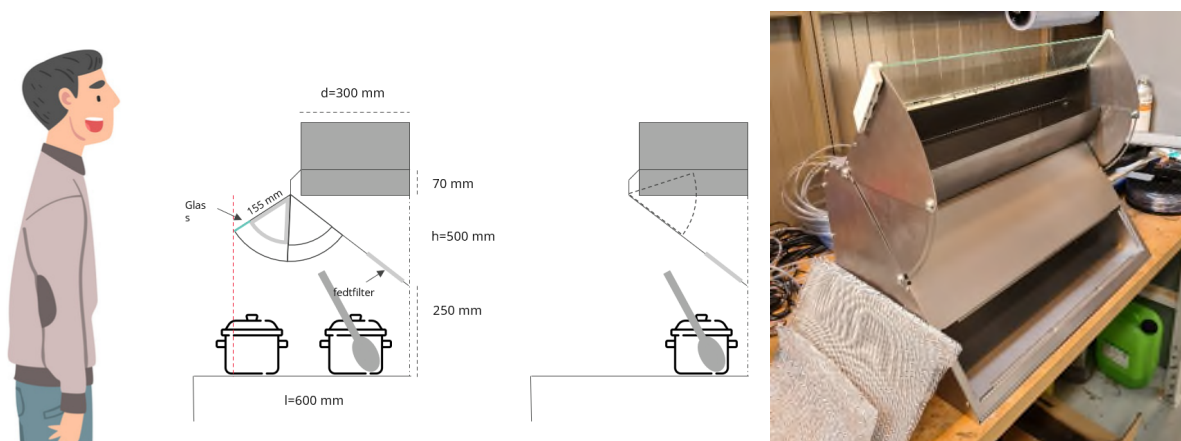


Figur 6: CAD-modeller til første iteration af fysiske prototyper. Konventionelt design ses til venstre og innovativt design ses til højre.

CFD-simuleringerne var begrænsede af kun at kunne simulere steady state forhold – dvs. uden ekstern påvirkning fra et forstyrrende element. I test-standarden EN 13141-3 anvendes et mekanisk bevægeligt element som har til formål at simulere en forstyrrelse af luften svarende til en person der bevæger sig foran emhætten. Hvor godt en emhætte yder under påvirkning af det bevægelige element er en afgørende parameter for et godt testresultat som helhed. For yderligere forbedring af designet, var det derfor nødvendigt at udføre fysiske (og mere tidskrævende) test af mulige forbedringer på den byggede prototype. På nedenstående figurer ses forsøgsopstilling og målene på de første prototyper der blev bygget.



Figur 7: Til venstre: Billede fra TI's emhætte-laboratorium, i forgrunden ses det mekaniske bevægelige element og i baggrunden ses den sidste fysiske prototype af det innovative design. Til højre: Dimensions-skitse til prototype af konventionelt design.

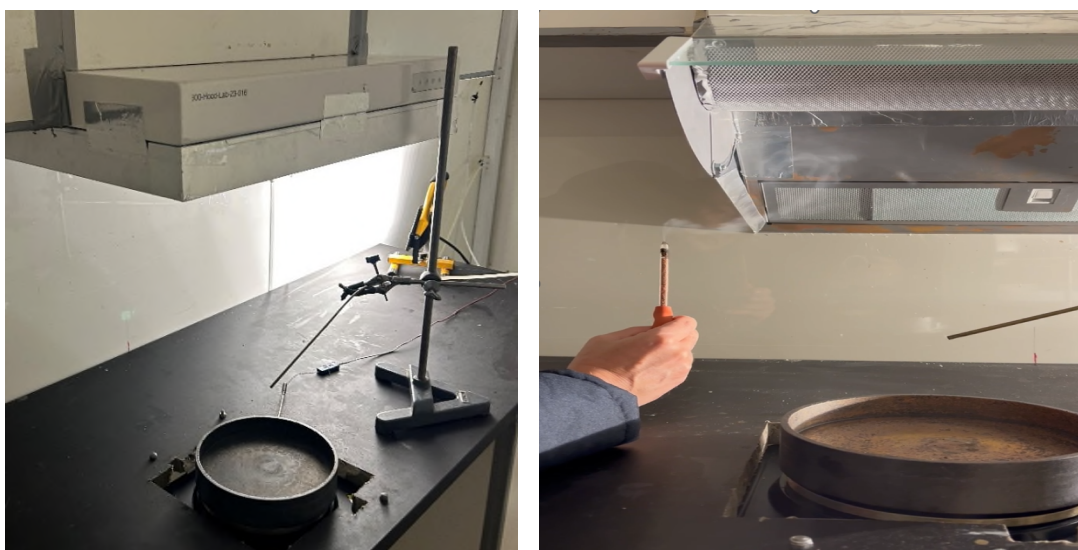


Figur 8: Dimensions-skitse til prototype af innovativt design, samt den første prototype af det innovative design, som skulle testes i emhætte-laboratoriet.

Testresultater

Gennem omfattende test af forskellige geometriske ændringer, blev den højest opnåede emfangseffektivitet målt til 116,5 m³/t ved 75% odour-effektivitet i 50 centimeters montagehøjde for det innovative design. Til sammenligning var det bedste opnåede resultat for det konventionelle design var 133 m³/t ved 74,5% odour-effektivitet.

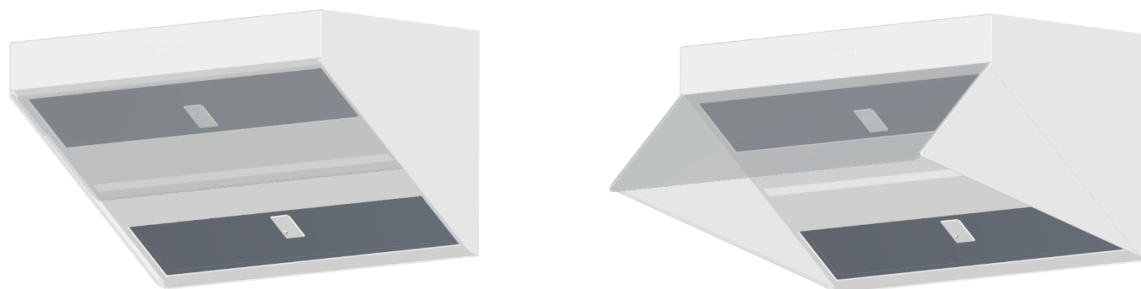
Der blev udført i omegnen af 100 forskellige emhættetest og røgforsøg. Det skal dog nævnes at lang fra alle optimeringer gav mening at implementere i det endelige produktionsdesign, men testene gav basis for en kontinuerlig iterativ forbedring. Designet blev produceret og testet i forbindelse med brugerundersøgelsen i Energy Flex House på Teknologisk Institut (se afsnit 5.2.5).



Figur 9: Eksempel på testede forbedringer

Det endelige designvalg

Det endelige designvalg opnåede en reduceret luftmængde (130-140 m³/time) med 75% effektivitet ved en monteringshøjde på 60 cm (da 50 cm viste sig for lav for brugerne), og var ifølge brugertests "Uhyre støjsvag".



Figur 10: Illustration af prototype version 2 af det innovative design som blev produceret af Franke. Dette er den endelige prototype version i projektet som senere produktmodnes af Franke.

5.2.2 WP 2: Udvikling af "simpel installérbar" rør-i-rør-varmegenvinding og samlet afkast og indtag

5.2.2.1 Varmegenvindingskoncept

Projektet designede og evaluerede flere varmegenvindingsløsninger, herunder et rør-i-rør-system, en multi-rør-veksler samt et koncept for supplerende modstrømsveksler. Ingen af disse blev dog implementeret i slutproduktet som standard.

Udviklingen af varmegenvinding gennemgik flere iterationer. Først blev der udviklet en rør-i-rør-varmegenvinder, som viste sig at have en relativt lav effektivitet på mellem 7,5% og op til godt 10%.



Figur 11: Rør-i-rør-varmeveksler.

Dette var for lavt til projektets mål, og derfor blev der udviklet en multi-rørveksler, som kunne placeres over emhætten. Effektiviteten blev her lidt højere, men stadig lav – omkring 28-33%.



Figur 12: Multi-rørvarmeveskler.

Dette rejste spørgsmålet om, hvor effektiv veksleren egentlig skulle være, da højere effektivitet medfører mere kondensering. Der blev gennemført en undersøgelse af, hvor meget vanddamp der typisk produceres ved madlavning, og hvor problematisk kondenseringen ville være. Undersøgelsen viste, at der stort set altid vil dannes kondens, uanset vekslerens effektivitet. Derfor kunne veksleren ikke placeres direkte over emhætten som først tiltænkt.

I stedet blev der udviklet et koncept med en modstrømsveksler placeret indvendigt på facaden i køkkenet, tæt ved indtag og afkast, så hele systemet kunne føres ud gennem facaden. Denne løsning viste sig dog at have for høje omkostninger til at være kommercielt gangbar. Projektet valgte derfor ikke at færdigudvikle konceptet, men evt. tilbyde det som et tilkøb (add-on) fremfor som standard i slutproduktet.

Beslutningen om at tilbyde varmegenvinding som tilkøb fremfor at implementere den var baseret på en samlet vurdering af marked, teknik og økonomi. Markeds- og brugerundersøgelsen dokumenterede, at indeklima og pris er de afgørende faktor for både forbrugere og beslutningstagere i Danmark, og at der er begrænset betalingsvillighed for yderligere energibesparende tilføjelser med lang tilbagebetalingstid. Samtidig viste den tekniske vurdering, at det yderligere energibesparelspotentiale fra varmegenvinding er relativt lavt, når luftmængden allerede er reduceret væsentligt gennem det nye emhættedesign. Samlet set kunne meromkostningen til varmegenvinding derfor ikke retfærdiggøres af den begrænsede yderligere besparelse, hvilket understøttede beslutningen om at tilbyde det som tilkøb.

5.2.2.2 Kortslutningsfrit design

Det kortslutningsfrie design for sammenbygget indtag og afkast var oprindeligt tæt knyttet til varmegenvindingsløsningen (rør-i-rør-systemet), da formålet var at sikre, at afkastet ikke kortsluttede direkte til indtaget af udeluften og dermed skabte lugtgener samt reducerede ventilationseffektiviteten og varmegenvindingsgraden.

Da beslutningen blev truffet om at tilbyde varmegenvinding som tilkøb fremfor standard, blev behovet for det kortslutningsfrie design væsentligt reduceret. Derfor blev arbejdet med denne del af projektet nedprioriteret i de senere faser. Der foreligger dog et udkast til designet, som kan videreudvikles, hvis varmegenvinding på et senere tidspunkt bliver en del af standardproduktet eller efterspørges som tilkøbsløsning.



Figur 13: Kortslutningsfrit afkast

5.2.3 WP 3: Udvikling af luftbehandling til lugtfrit facadeafkast

For at gøre installationen mere økonomisk attraktiv i renoveringsøjemed i etageboliger blev der i projektet kigget på mulighederne for at føre afkastet fra emhætten direkte ud gennem facaden fremfor op gennem eksisterede aftræk (som kræver tætning) eller nye aftræk, som begge er forbundet med merudgifter. Et faktum som medfører at recirkulerende emhætter i højere grad tilvælges, selvom studier påviser at de ofte har en kort filterlevetid og ringe reduktion af både partikler og lugt. Facadeafkast kræver imidlertid, at afkastluften renses for lugt, så naboer ikke generes. Projektet undersøgte, testede og evaluerede derfor flere forskellige luftbehandlingsteknologier, der kunne muliggøre et lugtfrit facadeafkast – og dermed forenkle installationen, særligt i etagebyggeri, hvor føring til tag kan være omkostningstung og kompleks ved en "stand alone" installation hvor ikke alle lejligheder omfattes. De mest essentielle teknologier fremgår af nedenstående tabel:

Tabel 5: Oversigt over de mest essentielle teknologier og deres rating.

Type	Short description	Effective for removing what contaminants?	Not effective for removing what contaminants?	Odor removal	Remark	"Character" 1 = not usable 10 = perfect
Traditional filtering	Particles are captured in the filter medium by interception, impaction and diffusion.	Works fine for capturing particles. The capture efficiency can reach 99.99% with the right filter medium.	Not effective in removing gas-phase chemicals	*No	High pressure drop	7
Electrostatic air purification	Particles are charged using corona wires or through the generation of ions (e.g., using pin ionizers) and by collecting the particles on oppositely charged deposition plates (precipitators) or by the particles' enhanced removal to a conventional media filter or to room surfaces.	Effective for capturing particles, especially fine particles. Slightly less effective than HEAP filters for capturing fine particles.	Not effective in removing gas-phase chemicals	*No	Low pressure drop; Ozone is often formed in low or moderation level	8
Sorbent air cleaning	Sorbent air cleaners involve physical adsorption (physisorption) and chemisorption to remove gaseous contaminants from airstreams. Physisorption is the adsorption of gaseous contaminants onto solid porous materials due to Van der Waals forces (nuclear attraction) and condensation in the small pores. The most common adsorbent used is activated carbon. Chemisorption involves both adsorption and instantaneous irreversible chemical reactions on the sorbent surface.	Effective to remove gas phase chemicals. However, different sorbents could have different selectivity for different chemicals. The adsorption capacity for nonpolar organics increases with the boiling point, molecular weight, and concentration of the air contaminant.	Low molecular weight (less than 50 amu) and/or highly polar compounds such as formaldehyde, methane, ethanol, etc., will not be readily adsorbed at low concentrations. Not effective for capturing particles. Pre-filters are required to remove particles from the air.	**Yes	High pressure drop and short service time; Often require regular replacement or regeneration of sorbent medium. After service for a short period (e.g. several hundred to few thousand hours), the sorbents may start to outgas the chemicals adsorbed.	5
Air cleaners based on the oxidation process	Molecules of contaminants are degraded by different oxidation processes, e.g. plasma (thermal or non-thermal), ozone or catalytic oxidations, etc.	Works with gas-phase chemicals. Some VOCs can be decomposed into CO ₂ and H ₂ O.	Not effective for removing particles; Not effective for decomposing some chemical compounds completely into CO ₂ and H ₂ O and generates intermedia that are toxic or irritating.	**Yes	Low pressure drop; Risk of generating toxic or irritating compounds. Some catalysts can be poisoned by some chemicals in the air and reduce service time.	5

Ud fra undersøgelsen blev der fundet to teknisk velegnede teknologier: **partikelfilter kombineret med kul-filter** samt **non-thermal plasma-assisteret filtrering**. Partikelfilter med kul-filter er en veletableret teknologi, der effektivt fjerner både partikler og lugt, men har højt tryktab og kort levetid (mellem 3 uger og max 6 måneder). Non-thermal plasma-teknologien tilbyder lavere tryktab og omkostninger, men der er usikkerhed om oxidationsprodukterne ved nedbrydning af kemikalier fra madlavning. Konklusionen var, at partikelfilter kombineret med kul-filter ville være den mest sikre løsning, men den kan være støjende og omkostningstung pga. den høje modstand og korte levetid. En levetid der dog kunne forlænges ved et større og mere effektivt (og dyrere) filter samt supplerende forfilter. Det gør dog luftrensningen for omkostningstung og derfor bliver den kun tilbudt som et evt. tilkøb.

5.2.4 WP 4: Udvikling af styring og sensorer til behovsstyring – MPR tjekker og tilføjer

5.2.4.1 Behov for en intelligent styring

Den indledende brugerundersøgelse viste, at under halvdelen (42%) bruger emhætten hver gang de laver mad, og at 9% aldrig bruger den. Årsagerne var bl.a. glemsomhed og støjgener. Samtidig er der begrænset viden om sundhedsrisici ved madlavningspartikler. For at sikre, at emhætten altid er i drift under madlavning – uafhængigt af brugerens adfærd – blev der udviklet en intelligent prisbillig behovsstyring, der automatisk aktiverer og regulerer emhætten baseret på sensorinput.

Temperatursensor til registrering af madlavningsaktivitet

En temperatursensor registrerer, hvornår madlavning påbegyndes ved at detektere temperaturstigningen over kogezone. Sensoren aktiverer automatisk emhætten, så brugeren ikke behøver at huske at tænde den manuelt.

Sensorer til realtidsmåling af luftforurening

Sensorer måler luftforureningen i realtid og giver styringen information om det aktuelle forureningsniveau. Fokus var på at finde en billig sensorløsning, der samtidig er robust og tilstrækkelig præcis til at regulere indeklimaet. Resultatet var lovende: de valgte sensorer fungerede efter hensigten og gjorde, at emhætten selv kunne øge luftmængden efter behov, så lugte stadig fjernes effektivt, også hvis emhætten for eksempel er monteret for højt.

Automatisk regulering af luftmængde

Baseret på input fra sensorerne regulerer styringen automatisk emhættens luftmængde efter det aktuelle behov. Dette sikrer effektiv fjernelse af forurening ved høj belastning og lavt energiforbrug ved lav belastning.

Efterløbsfunktion

Selv med et effektivt emhættedesign kan stege-ovns slippe ud i rummet og øge forureningsniveauet. For at sikre et godt indeklima efter madlavning er emhætten derfor udstyret med en intelligently efterløbsfunktion. Den aktiveres kun, hvis forureningsniveauet stadig er forhøjet, og emhætten kører automatisk videre, indtil niveauet er faldet under grænseværdien, dog højst i 30 minutter. Brugertests viste, at funktionen blev modtaget positivt – især fordi emhætten er så støjsvag, at efterløbet ikke generer.

Filtervagt

For at sikre en stabil ydeevne er emhætten udstyret med en simpel tidsstyret filtervagt. En af knapperne lyser, når der er behov for rengøring af fedtfilteret, så brugeren let kan vedligeholde emhætten og sikre effektiv drift over tid.

5.2.4.2 Nyt brugercentreret design

Brugerundersøgelsen viste, at forbrugerne ønsker et diskret og enkelt design, og at emhætten ikke opfattes som et designobjekt – funktionalitet og komfort er vigtigere. Samtidig var der et klart ønske om automatisk styring med mulighed for manuel overstyring. For at imødekomme disse behov blev der udviklet et brugercentreret interface, der balancerer automatik med brugerkontrol.

Simpelt brugerinterface med kun to knapper

Styrings brugerflade er baseret på resultaterne fra den indledende brugerundersøgelse, som viste et klart behov for et simpelt og intuitivt design. Brugerfladen består af kun to knapper med pulserende lys, der indikerer emhættens tilstand. Designet er inspireret af Google Nest-produkter og sikrer, at brugeren intuitivt forstår emhættens funktion uden behov for omfattende instruktion.

Mulighed for manuel overstyring

Selvom emhætten er fuldautomatisk, kan brugeren overstyre automatikken ved at holde knappen inde (boost-funktion). Brugerundersøgelsen viste, at denne mulighed er vigtig for brugernes accept af den automatiske styring.

5.2.5 WP 5: Demonstration af udviklede koncepter

5.2.5.1 Resultater fra den afsluttende brugertest/demonstration

Brugertesten blev gennemført i **Energy Flex House på Teknologisk Institut**, hvor et nyt køkken og flere prototyper af fremtidens grønne emhætte blev installeret. Fem **ikke-tekniske forbrugere** med spredning på køn og alder deltog i testen.

Forbrugerne lavede mad og testede emhættens funktionalitet, design, brugervenlighed og effektivitet. Det tilberedte måltid bestod af bacon, pasta, løg og svampe for at teste emhættens oplevede effektivitet ift. partikler, damp og lugt.



Figur 14: Brugertest i Energy Flex House.

Prototype-emhætten blev installeret, fremvist og testet i både 50 og 60 cm højde, i en hvid og sort version samt i både sammenslået og udtrukket form.



Figur 15: Udeladelse af panel med knapper (til venstre), alternativ (til højre).

Design

Brugertesten viste, at emhætten beskrives som "**relativt diskret**" når den er slået ind, men "**lidt klodset**" og "**industriagtig**" når den er slået ud. Der var dog enighed om, at det er smart, at man kan trække emhætten ned over maden, da det forventes at gøre den mere effektiv.

Hvad angår monteringshøjde, **foretrækkes 60 cm frem for 50 cm** for at skabe bedre plads og arbejdsrum, særligt ved de bagerste blus. Fedtfiltere og glas opfattes som meget fremtrædende, hvilket skaber bekymring for hyppigere rengøring – her foreslås det, at **fedtfiltere bør være i stål, der matcher emhættens farve**. Desuden **dugger glasset til under brug**, hvilket gav anledning til forslag om overfladebehandling.

I forhold til brugerfladen bør **knapperne gøres mere diskrete** – placeret på glasset eller på siden, gerne over/under hinanden. Endelig opfattes **det hvide panel som "tungt" i udtrykket** og bør udelades.

Styring og automatik

Forbrugerne var **positive overfor den fuldautomatiske emhætte** og havde tillid til, at den regulerer sugeevnen efter behovet. Dog blev det påpeget, at **emhætten bør reagere hurtigere** på temperaturændringer og starte tidligere, da der allerede er damp og os, når den tænder. **Efterløbsfunktionen (op til 30 min ift. den aktuelle "forurening") blev opfattet positivt** – det fremhævedes, at det ikke generer, fordi emhætten er så lydsvag.

Brugerne udtrykte ønske om, at **emhætten slukker automatisk** i både automatisk og manuel tilstand for at undgå forvirring, og at **lyset bør slukke automatisk** samtidig med emhætten for at undgå, at det bliver glemt. **Lys-pulseringen fra knapperne** blev opfattet som lidt forstyrrende af nogle, og der blev foreslået forskellige farver til at indikere tilstand. Endelig blev det understreget, at **mulighed for manuel overstyring er vigtig** – brugere vil kunne skrue op eller slukke selv.

Effektivitet og støjniveau

Alle forbrugere fremhævede, at emhætten var meget støjsvag – dette blev vurderet som et væsentligt salgsparameter. Mange forbrugere fravælger at tænde deres egen emhætte pga. støj, og den støjsvage emhætte løser netop dette problem. Emhætten blev desuden oplevet som **effektiv til at fjerne mados, damp og lugt** – forureningen forbliver under glasset og kommer ikke op i ansigtet på brugeren. Derudover blev **effektivitet ift. at rense luften og energieffektivitet** fremhævet som vigtige salgsparametre.

Instruktionsvideo og QR-kode

Forbrugerne var **begeistrede for den digitale brugsanvisning** i videoformat, da der er større chance for at se en video end at læse en tyk brugermanual. **QR-koden opfattes som en nem måde at tilgå materialet** – på tværs af aldersgrupper. Deltagerne angav, at videoen kun behøver ses et par gange, og at de ikke ville hænge QR-koden op permanent ("som på et hotel"). Der blev foreslået at **lægge videoen på YouTube**, så man kan søge den frem efter behov, samt et ønske om at **tilføje information om, hvordan man renser og skifter filteret**.

Navneforslag

De indledende undersøgelser viste det sig vigtigt, at emhættens væsentligste funktion var en del af navnet i stedet for fx at have et typisk teknisk navn som "ESL125". I brugertesten blev deltagerne derfor bedt om at komme med navneforslag til emhætten. Flere fremhævede, at emhættens "selling point" var, at den er **støjsvag**, og foreslog derfor noget med "**Silent**". Enkelte foretrak noget med "**Green**", "**Eco**" eller "**Clean**", mens en enkelt nævnte det automatiske som det særlige og foreslog "**Auto-hætten**". Der var tvivl om, hvad "**hood**" betyder for danske forbrugere, mens "**AIR**" skabte uønskede associationer til flyselskaber.

5.2.5.2 Resultater fra den afsluttende workshop med beslutningstagere

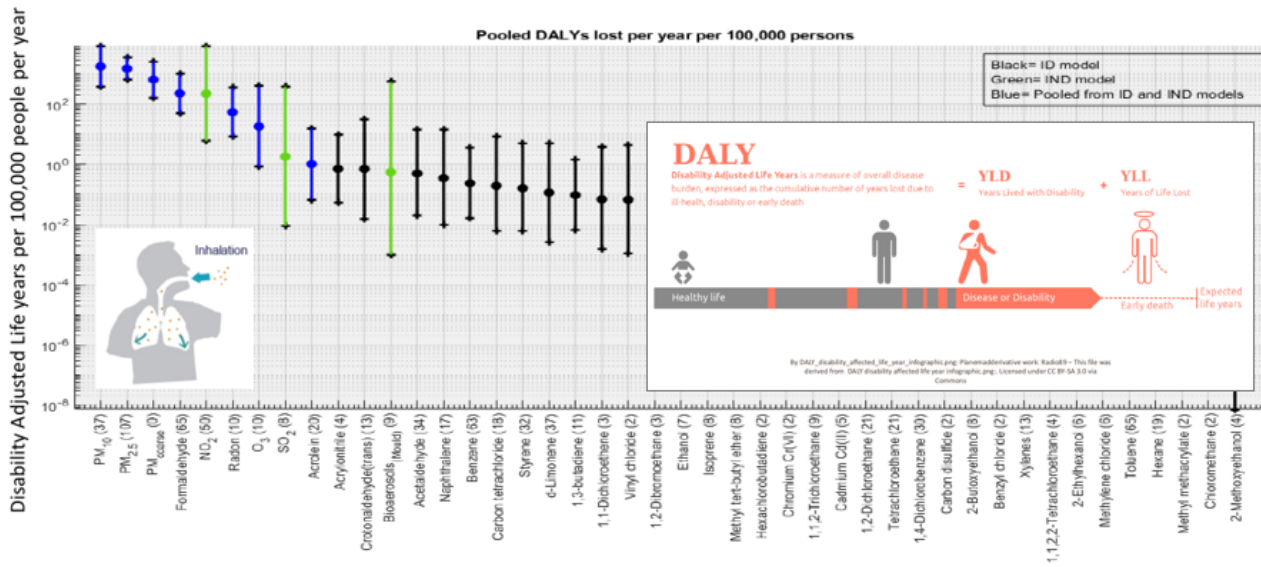
Mens den indledende undersøgelse afdækkede generelle behov og bekymringer hos beslutningstagerne, gav den afsluttende workshop mulighed for konkret feedback på den færdigudviklede prototype. Workshoppen bekræftede de indledende indsigter, men tilføjede også nye pointer om elementer, som først kunne vurderes med den fysiske prototype i nærheden.

Workshoppen blev afholdt i Teknologisk Instituts Energy Flex House med deltagelse af 7 beslutningstagere fra byggebranchen, herunder rådgivere, bygningssejere og entreprenører/håndværkere. Deltagerne blev præsenteret for emhætteprototypen og dens funktionaliteter, hvorefter de diskuterede og vurderede produktet ud fra deres professionelle perspektiv.

Ud over at bekræfte de indledende indsigter tilføjede workshoppen nye pointer baseret på den konkrete prototype. Beslutningstagerne fremhævede den **automatiske styring** som et stort plus, da den sikrer, at emhætten bliver brugt korrekt uafhængigt af brugerens adfærd. **Støjniveauet** blev fremhævet som væsentligt – en støjsvag emhætte er attraktiv for beboere og understøtter, at emhætten faktisk bliver brugt. Der var desuden generel interesse for **energieffektiviteten og de lavere luftmængder**, og beslutningstagerne anerkendte, at emhætten kan bidrage til at opfylde kravene i bygningsreglementet. Beslutningstagerne var desuden positive overfor den digitale brugsvejledning via QR-kode og så et potentiale i at anvende videoen som dokumentation overfor beboere ved aflevering af boligen. Der blev desuden foreslået at inkludere vedligeholdelsesanvisninger i videoen for at samle al relevant information ét sted.

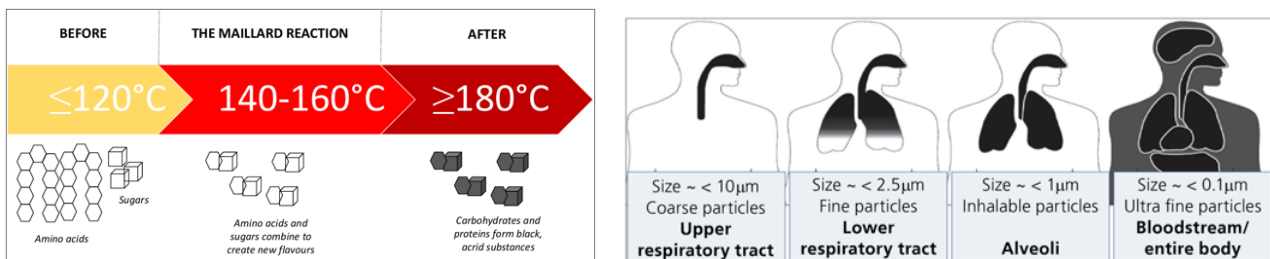
5.2.6 WP 6: Tværfaglig arbejdsplanke – indeklimate og partikelforurening

Som grundlag for projektets udviklingsarbejde blev der indledningsvis gennemført en systematisk undersøgelse af, hvilke forurenende stoffer fra madlavning der er vigtigst at fjerne. I samarbejde med Benjamin Jones fra University of Nottingham, som havde lavet indledende studier om sundhedspåvirkning fra madlavningspartikler, blev det identificeret, at partikler – især ultrafine partikler (UFP) samt PM2.5 og PM10 – er de vigtigste forurenende stoffer at fjerne ift. folkesundhed (målt i DALY – Disability Adjusted Life Years). Tidligere var fokus primært på fugt for at undgå skimmelsvamp, men i takt med at bygningers kuldebroer er blevet reduceret og bedre ventileret er fokus skiftet til partikler. Jo mindre partiklerne er, jo farligere er de for sundheden.



Figur 16: Studier fra Nottingham University af sundhedspåvirkning fra madlavningspartikler, identificerer, at især ultrafine partikler (UFP) samt PM2.5 og PM10 er de vigtigste forurenende stoffer at fjerne ift. folkesundhed (Y: DALY – Disability Adjusted Life Years, X: Forureningstyper, fx PM1, PM2,5, PM10...).

DTU arbejdede videre med dette i projektet og fandt, at benzo(a)pyren er den mest kritiske partikeltype at fjerne ift. folkesundhed. Koncentrationen af benzo(a)pyren ved madlavning er 5.000 ng/m³ med en standard-emhætte og 20.000 ng/m³ uden emhætte – begge langt over WHO's grænseværdi på 1 ng/m³. Derudover blev sammenhængen mellem madlavningstemperatur og partikelproduktion undersøgt – jo højere temperaturen er, des finere og flere partikler produceres.



Figur 17: Forskningen påviser også sammenhængen mellem madlavningstemperatur og partikelproduktion, hvor højere temperaturer producerer flere og finere partikler

Projektet dokumenterede også, at varmeenergi til erstatningsluft udgør ca. 14 gange mere end el-forbruget til ventilatoren, hvilket understreger vigtigheden af at reducere luftmængder gennem højere opfangningseffektivitet.

Denne viden blev integreret i projektets udviklingsarbejde på tværs af arbejdsparterne. Valget af sensorer i styringen afspejler sammenhængen mellem temperatur og partikelproduktion: en sensor registrerer, hvornår madlavning påbegyndes og aktiverer emhætten, mens en anden måler det faktiske forureningsniveau i realtid og justerer luftmængden efter behov. Styringens efterkørselsfunktion sikrer desuden, at rummet renses efter endt madlavning, hvis forureningsniveauet stadig er forhøjet. Det geometriske emhættedesign blev optimeret til høj opfangningseffektivitet af partikler – testene viste, at øget luftmængde eller et godt geometrisk design (fx "Air Guides") øger effektiviteten markant.

Viden om partiklernes sundhedspåvirkning dannede grundlag for at vurdere, hvorvidt projektets egen partikelmetode var tilstrækkelig til at afspejle fjernelsen af de sundhedskritiske partikler. Over 300 sammenlignende

tests på mere end 13 forskellige emhættetyper med partikelmetoden som reference bekræftede, at MEK-metoden (EN 13141-3) korrelerer med PM2.5-partikler, mens CO₂-metoden giver et retvisende billede af UFP-fjernelsen, som beskrevet under WP1. Emhættedesignets effektivitet blev slutteligt valideret i forbindelse med brugertests.

5.2.7 WP 7: Formidling

Se kapitlet om formidling nedenfor.

5.3 Where and how have the project results been disseminated? Specify which conferences, journals, etc. where the project has been disseminated.

Projektet har gennemført en bred og målrettet formidlingsindsats i overensstemmelse med formidlingsplanen. Formidlingen har været rettet mod hele værdikæden – fra lovgivere og standardiseringsorganer, over udførende (producenter, rådgivere og installatører) til slutbrugere (familier og boligforeninger).

Kort sagt er der blevet formidlet til:

- **Lovgivere** – så fremtidens krav til emhætter kan bygge på projektets resultater
- **Udførende aktører** – så entreprenører og rådgiverne ved, hvordan de skal dimensionerer og anbefale emhætter
- **Slutbrugere** – så familierne i køkkenet forstår, hvorfor en god emhætte gør en forskel for deres sundhed

Formidlingen, som er opsummeret i det nedenstående, har omfattet både internationale og nationale aktiviteter samt bred mediedækning.

Internationale aktiviteter

- Præsentationer ved internationale standardiseringsmøder (CEN samt IEC)
- Ekspertmøde på Teknologisk Institut med deltagelse af interessenter fra hele EU
- Direkte møder med EU-Kommissionen og dens rådgivere ifm. Ecodesign-revisionen
- Round Robin-test gennemført med svensk testinstitut RISE og Franke

Nationale aktiviteter

- Formidling til nationale interessenter herunder energimyndigheder i Danmark og Sverige samt brancheforeninger (VELTEK og APPLiA)
- Indeklimaets Temadag 2023 og 2025 på Teknologisk Institut
- Demonstration og workshop med brugere og beslutningstagere på Teknologisk Institut i 2025
- Input til den nye Branchevejledning for indeklima, 2025

Mediedækning

- Video, pressemeddelelse og artikel ultimo december 2023 – set/læst af over **700.000** i bl.a. BT
- Video, pressemeddelelse og artikel ultimo december 2024 – set/læst af **1,05 millioner** læsere
- LinkedIn-opslag på DTI's kanal – læst af over **13.000** læsere
- Pressemeddelelse sendt ud i Sverige
- Artikel i HVAC-magasinet

5.4 Describe the obtained commercial results. Did the project produce results not expected?

EXHAUSTO og Franke er klar til at sætte emhætten i produktion efter projektets afslutning. De endelige produktionstegninger er under udvikling. Slutproduktet inkluderer det nye geometriske design og intelligent styring, mens varmegenvinding og kul-filte til facadeafkast muligvis bliver udviklet som elementer til evt. senere tilføjelse som tilkøb.

Den antropologiske markeds- og brugerundersøgelse gav væsentlig indsigt i markeds- og brugerkrav, som har styrket grundlaget for produktets kommercielle positionering. Undersøgelsen dokumenterede bl.a. at pris er afgørende for beslutningstagere, at støjniveau påvirker brugen markant, og at forbrugere ønsker automatisk styring med mulighed for manuel overstyring.

5.5 Target group and added value for users: Who should the solutions/technologies be sold to (target group)? Describe for each solutions/technology if several.

Den indledende markeds- og brugerundersøgelse samt den opfølgende demonstration med brugertest og workshop med beslutningstagere bekræfter følgende ønsker og merværdi for brugere (boligejere) og beslutningstagerne i socialt boligbyggerier, som er de to primære målgrupper.

Teknologien vil blive kommercialiseret af EXHAUSTO gennem salg til boligforeninger, med rådgivende ingeniører og ventilationsentreprenører som centrale mellemlid i værdikæden.

Den udviklede emhætte tilbyder følgende merværdi for målgrupperne:

Tabel 6: Overblik over merværdien for de forskellige målgrupper.

Merværdi	Uddybning for slutbrugere/forbrugere	Uddybning for beslutningstagere (indkøbere, bygherrer)
Bedre indeklimate med lav partikelforurening	Indeklima er det vigtigste for slutbrugere. Brugere har dog begrænset viden om sundhedsrisici ved madlavningspartikler – for mange var det en "aha-oplevelse".	Bygherrer prioriterer potentielt indeklimate som en del af byggeriets kvalitet.
Meget lavt støjniveau	Støj påvirker brugen markant – i Danmark slukker 38% nogle gange	En støjsvag emhætte er attraktiv for beboere og reducerer klager til bygherrer og bygningsejere.

	emhætten pga. støjgener. Den støjsvage emhætte blev fremhævet positivt af alle deltagere i brugertesten.	
Brugervenlig automatisk styring	Under halvdelen (42%) bruger emhætten hver gang de laver mad, og 16% glemmer det nogle gange. Den automatiske styring sikrer korrekt brug.	Indkøbere og bygherrer fremhævede automatikken som et stort plus, da den sikrer korrekt brug uafhængigt af beboernes adfærd.
Videoinstruktion via QR-kode	Brugere ved ikke, hvor de skal finde information om emhætters effektivitet. Videoinstruktionen giver nem adgang til brugsvejledning.	Kan bruges som nem introduktion overfor beboere ved aflevering af boligen, hvor funktioner, drift og vedligehold enkelt forklares via video
Lavere energiforbrug gennem reducerede luftmængder og intelligent behovsstyring	Energieffektivitet er ikke højt prioriteret af forbrugere, men den automatiske styring sikrer energibesparelser uden aktiv indsats fra brugeren.	Bygherrer har interesse i lavere driftsomkostninger over emhættens levetid. Indkøbere er prisfokuserede, men kan argumentere for besparelser over tid.
Levetidsomkostninger	(Ikke prioriteret af slutbrugeren)	Bygherrer prioriterer design med lang levetid og holdbarhed. Indkøbere fokuserer på pris, men robust design reducerer vedligeholdelsesomkostninger.

6. Utilisation of project results

6.1 Describe how the obtained commercial results will be utilised in the future and by whom the results will be commercialised.

De kommercielle resultater vil blive anvendt af EXHAUSTO til at bringe en ny, forbedret emhætteteknologi på markedet, primært rettet mod boligsektoren i Danmark, Skandinavien og i resten af EU. Teknologien vil blive kommercialiseret gennem salg til boligforeninger, med rådgivende ingeniører og ventilationsentreprenører som centrale mellemlid i værdikæden. EXHAUSTO forventer at kommercialisere teknologien i løbet af Q4/2026 og startende med salg i Q1/2027.

Pt. anslås det nationale marked i Danmark (uden ventilator) til 30.000 emhætter årligt, hvoraf EXHAUSTO forventer at dække 50% svarende til ca. 15.000 emhætter årligt, hvor udbredelsen af den nye teknologi vil ske løbende over en årrække. Eksportmarkedet (uden ventilator) er på ca. 50.000 emhætter årligt. I dag eksporterer EXHAUSTO en mindre del af deres emhætter, men det forventes over en årrække at kunne øges til op imod 10 – 15% af markedet svarende til ca. 5 - 7.500 emhætter årligt.

Desuden har arbejdet med at revidere testgrundlaget og standarden samt påvirkningen af EU-lovgivningen yderligere styrket EXHAUSTO og Frankes kommercielle position. Dette skyldes, at projektets arbejde med udvikling og dokumentering af en ny metode samt revideret den europæiske standard, som er initieret i CEN og sendt til ekstern høring. Projektets bidrag til standardarbejdet har været fagligt funderet og motiveret af et

ønske om at forbedre målingen af emhætters reelle ydeevne. Disse forbedringer af standarden tegner fremtiden for, hvordan både energieffektivitet og evnen til at beskytte brugeren mod sundhedsskadelig partikelforurening dokumenteres i Europa. Standarden kan dække alle typer emhætter og giver industrien et validt grundlag for at dokumentere emfangseffektivitet – et krav, som EXHAUSTO og Frankes produkt allerede opfylder.

Samtidig har projektet haft direkte dialog med EU-Kommissionen (DG ENER) og samarbejdet tæt med danske og svenske energimyndigheder om input til EU's ecodesign-regulering. Projektresultaterne er integreret i de danske og svenske holdninger over for EU-Kommissionen, og der er sikret grundlag for, at "removal efficiency" skal indgå i kommende ecodesign-krav. Når disse krav træder i kraft, vil EXHAUSTO og Franke være blandt de første producenter med en emhætte, der lever op til de nye krav – hvilket giver dem en væsentlig konkurrencefordel på det europæiske marked.

6.2 Did the project so far lead to increased turnover, exports, employment and additional private investments? Do the project partners expect that the project results in increased turnover, exports, employment and additional private investments?

Resultater til dato

Projektet har endnu ikke ført til øget omsætning, eksport eller beskæftigelse, da kommercialiseringen endnu ikke er påbegyndt, og der ikke er solgt nogen enheder.

Fremtidige forventninger

Projektpartnerne forventer, at projektet vil generere positiv kommerciel effekt. EXHAUSTO forventer gradvis vækst i omsætningen over de kommende år, efterhånden som bevidstheden og teknologien introduceres på markedet, med størstedelen af salget forventet i Danmark og en mindre, men voksende andel fra eksport. Beskæftigelsen relateret til teknologien forventes at stige moderat, efterhånden som produktion og salg skales op. Derudover har EXHAUSTO allerede foretaget indledende private investeringer for at forberede markedsintroduktionen og planlægger at fortsætte med at investere i aftagende grad, efterhånden som produktet modnes og bliver økonomisk bæredygtigt på markedet. Dette forventes yderligere at accelereres, når krav om emfangseffektivitet indføres i Ecodesign-reguleringen og afspejles overfor forbrugerne og beslutningstagerne på energimærket, fordi det vil øge markedet for emhætter med god opfangningseffektivitet og lavt energiforbrug betydeligt, på bekostning af ineffektive emhætter.

6.3 Describe the competitive situation in the market you expect to enter. And are there competing solutions on the market? Specify who the main competitors are and describe their solutions.

Den udviklede FGE-løsning har følgende konkurrenter på det nordiske marked:

- **Thermex** – har alle typer af emhætter, bl.a. udviklet kul-filter- og recirkulationsløsning
- **Berbel** – har udviklet kul-filter- og recirkulationsløsning (sammen med www.Airtjek.dk)
- **Eico** – leverandør af emhætter med dokumentation men med høj luftmængde
- **Silverline** - tilbyder skråtstillede emhætter, centralventilationsmodeller samt støjsvage "Silence"-motorer og automatisk styring
- **Franke** – nuværende projektpartner (egenfinansieret deltagelse, ejet af Faber)

Ydermere er der følgende store **internationale aktører**, som er indirekte konkurrenter til FGE-løsningen:

- **BSH-Gruppen** (Tyskland): Europas største hvidevareproducent med over 20% markedsandel i Vesteuropa; producerer emhætter under mærkerne Bosch, Siemens, Gaggenau og Neff; (ejes af Bosch)
- **Faber Gruppen** (Italien, ejer Franke): En af verdens tre største emhætteproducenter; opfandt den moderne køkkenemhætte i 1958; markedsleder i Italien.

Konkurrenternes løsninger og svagheder

Thermex og Berbel har begge udviklet kul-filter- og recirkulationsløsninger, men disse løsninger opfylder generelt ikke kravene i Bygningsreglementet (BR18), som foreskriver, at emhætter skal have afkast til det fri. Desuden er den påståede levetid på 10 år for kulfiltrene tvivlsom. Berbel har dog udviklet en såkaldt hybrid-emhætte, hvor en del af luften ledes ud over tag, mens resten recirkuleres gennem et stort kul-filter – en løsning, der måske tilnærmelsesvist kan være i overensstemmelse med BR18's krav.

Samlet set er projektets konkurrencefordel, at der pt. ikke findes emhætter på markedet – hverken i Danmark eller EU – der opfylder de mål, som projektet har sat for den grønne emhættes energiforbrug og opfangnings-effektivitet. I modsætning hertil har den udviklede emhætte følgende dokumenterbare fordele:

- Energieffektiv – høj effektivitet med lav luftmængde
- Effektiv reduktion af partikler, lugt, fugt og støj
- Behovsstyret
- Veldokumenteret emfangseffektivitet

I tillæg til dette har en stor del af emhætteerne på markedet ikke dokumenteret deres emfangseffektivitet, og disse er iflg. de 300 målinger der er foretaget på tværs af typer og producenter relativt dårlige, hvilket giver FGE en klar fordel, når kravet om emfangseffektivitet på energimærket bliver gennemført.

6.4 Describe entry or sales barriers and how these are expected to be overcome.

6.4.1 Manglende adgang til information

Barriere

Forbrugere ved ikke, hvor de skal finde information om emhætters effektivitet. Brugerundersøgelsen afslørede, at købere har begrænset viden om sundhedsrisici ved madlavningspartikler – for mange var det en "aha-oplevelse".

Tiltag

Videoinstruktion via QR-kode på emhætten. Simple brugervideoer tilgængelige via QR-kode direkte på emhætten giver nem adgang til brugsvejledning og information om produktets fordele. Denne løsning blev modtaget meget positivt af alle deltagere i brugertesten. QR-koden giver adgang til.

6.4.2 Forbrugerprioriteter afviger fra produktfordelene

Barrier

Forbrugerprioriteter varierer på tværs af det europæiske marked: I Skandinavien (Danmark og Sverige) er effektiv fjernelse af lugt og partikler den vigtigste faktor, mens design er topprioritet i Tyskland og Frankrig.

Energieffektivitet og bæredygtighed scorer lavt på alle markeder (0-11% som førsteprioritet). Dette gør det udfordrende at kommunikere de primære fordele ved den grønne emhætte. Desuden er emhætteleverancen i flere lande en del af køkkenleverancen og ude af ventilationsentreprenørens hænder.

Tiltag

Automatisk styresystem. Brugerundersøgelsen viste, at under halvdelen (42%) bruger emhætten hver gang de laver mad, og 16% glemmer det nogle gange. Det automatiske styresystem sikrer korrekt brug uafhængigt af brugerens adfærd, og overvinder dermed barrieren fra brugervaner. Beslutningstagere (indkøbere, byggherrer) fremhævede dette som en betydelig fordel.

6.4.3 Konventionel tænkning og designforventninger

Barriere

Det innovative skrå design udfordrer traditionelle forventninger til, hvordan en emhætte skal se ud. På markeder hvor design er en nøgleprioritet (Tyskland, Frankrig), kan dette skabe indledende modstand.

Tiltag

Simpelt brugerinterface med kun to knapper. Den essentielle produktversion har et omkostningseffektivt interface med minimal kompleksitet:

- Én knap til lys tænd/sluk
- Én knap til emhætte tænd/sluk

Denne minimalistiske tilgang imødekommer brugernes præference for enkelhed og reducerer barrierer for adoption af smarte funktioner.

6.4.4 Manglende regulatoriske krav om effektivitet og mærkning

Barriere

Nuværende EU Ecodesign-regler for emhætter fokuserer primært på hydraulisk effektivitet (W/m^3) og inkluderer ikke krav om emfangseffektivitet (ventilationseffektivitet). Dette betyder, at forbrugere ikke nemt kan sammenligne produkter baseret på deres faktiske ydeevne.

Tiltag

Påvirkning af EU-lovgivning for at sikre krav om effektivitetsmærkning. Teknologisk Institut deltager som teknisk rådgiver for flere EU-medlemslande (Danmark, Sverige, Norge) i den igangværende revision af Ecodesign-regler for emhætter. Målet er at etablere mærkningskrav, der inkluderer emfangseffektivitet – ikke kun hydraulisk effektivitet. Dette vil gøre det muligt for forbrugere at foretage informerede sammenligninger og skabe regulatorisk pres til fordel for højtydende produkter som den grønne emhætte.

6.4.5 Manglende regulatoriske krav om effektivitetsmærkning

Barriere: Entreprenører vil ikke betale for funktioner, der ikke er et krav, fordi de fokuserer på "value for money" og prioriterer emhætter, der er nemme at installere og vedligeholde, kan bestå 1- og 5-års eftersyn, og hvor reservedele er let tilgængelige.

Tiltag: EXHAUSTO skal sikre klar kommunikation om enkel installation (én person, to skruer), robust design med lang levetid samt nem adgang til reservedele i mange år.

6.5 How does the project results contribute to realise energy policy objectives?

6.5.1 Sikret grundlag for, at emfangseffektivitet (removal efficiency) kan indgå i kommende ecodesign-krav

6.5.1.1 Teknisk dokumentation udviklet

- **Ny partikelmetode (DGEISS-3)** udviklet af DTI som referencemetode.
- **Vigtigheden af forstyrrelseselementet** dokumenteret – uden dette element ville en simpel ventil i loftet give bedre testresultater end en standardemhætte.
- **Fejl i den amerikanske CO₂-metode (ASTM E3087-18)** samt den eksisterende **MEK metode** (EN 13141-3) identificeret og forslag til rettelser fremlagt.
- **Videreudviklet, dokumenteret og valideret både MEK og CO₂-metoden.**
- **Revideret EN13141-3 (MEK) samt adopteret den videreudviklede CO₂-metode.**

6.5.1.2 Standardiseringsarbejde

- Aktiv deltagelse i **CEN-møder** om revision af europæiske standarder og metoder for emhætter.
- **Møder om og fremlæggelse af den af projektets partnere, reviderede standard med CEN i Paris** (oktober 2023, november 2024, november 2025).
- **Robin-test** gennemført i Sverige med svenske testinstitutter og Franke for at sikre reproducerbarhed.

6.5.2 Tæt samarbejde med danske og svenske energimyndigheder om input til EU's ecodesign-regulering

6.5.2.1 Baggrund

- Projektet har arbejdet tæt sammen med **Energistyrelsen (Danmark)** og **Energimyndigheden (Sverige)** om at påvirke EU's revision af ecodesign-reguleringen for emhætter.
- Teknologisk Institut desuden gennemførte en **undersøgelse for den svenske Energimyndighed** om revision af ecodesign og energimærkning for emhætter.

6.5.2.2 Konkrete resultater

- **Forslag om ændring af EEI-indekset** (Energy Efficiency Index) til at inkludere varmeenergi (erstatningsluftopvarmning) (AEHC = Annual Electrical AND Heating/Cooling Consumption).
- **Argumentation for ligestilling** af alle emhættetyper i reguleringen (recirkulerende, afkast og centraludsug, med sammenlignelige testresultater).
- **Dokumentation af at varmeenergi udgør 91%** af det samlede energiforbrug til emhætter, mens el kun udgør 9% – hvilket viser, at det nuværende fokus på ventilatorer alene er utilstrækkeligt og **Emfangseffektivitet skal på energimærket** (jo lavere luftmængde med høj

effektivitet fx 75%, jo lavere energiforbrug, da der er færre m³ erstatningsluft der skal opvarmes).

- **Revideret standard og udviklet ny metode** så grundlaget for at få emfangseffektivitet er til stede.

6.5.3 Projektresultaterne integreret i danske og svenske holdninger over for EU-Kommis-sionen

6.5.3.1 Videnskabeligt grundlag leveret til energimyndighederne

- **Over 300 tests** gennemført med forskellige testmetoder (MEK, CO₂, partikler) samt typer af emhætter, for at validere og rettet målemetoder.
- **Sammenligning af fire teststandarder:** EN 61591 (MEK), EN 13141-3 (MEK), E3087-18 ASTM/AMCA (CO₂) og DTI's egen udviklede partikelmetode (DGEGSS-3)
- **Dokumentation af korrelation** mellem sporgas (MEK og CO₂) og faktisk partikelfjernelse
- **Påvisning af fejl i eksisterende MEK-standard og CO₂-metoden** og forslag til rettelser samt adoptering i standarden

6.5.3.2 Centrale videnskabelige resultater formidlet til myndigheder

- Madlavning er den **største enkeltkilde til høje koncentrationer af partikler i boliger**
- Ultrafine partikler (UFP), PM_{2.5} og PM₁₀ er de vigtigste stoffer at fjerne ift. sundhed (DALY – Disability Adjusted Life Years)
- **Benzo(a)pyren** identificeret som den mest kritiske forurening – koncentrationen ved madlavning med standard-emhætte er 5 µg/m³, uden emhætte 20 µg/m³ (WHO-grænse: 1 ng/m³)
- Nuværende recirkulerende emhætter er **markant mindre effektive** mod partikelforurening end emhætter med afkast

6.5.3.3 Forslag til ændringer i regulering

- Inkludering af **emfangseffektivitet** i EEI-indekset
- Inkludering af **varme-/køleenergi** til erstatningsluft i beregningen
- **Korrektionsfaktor (K)** for varmegenvinding: K=1 for recirkulerende, K=0,73 for centraludsug med HRS, K=0 for afkast uden HRS

6.5.4 Møder med EU og dens rådgivere for at fremme krav effektivitetsmærkning af emhætter

6.5.4.1 Direkte kontakt med DG ENER

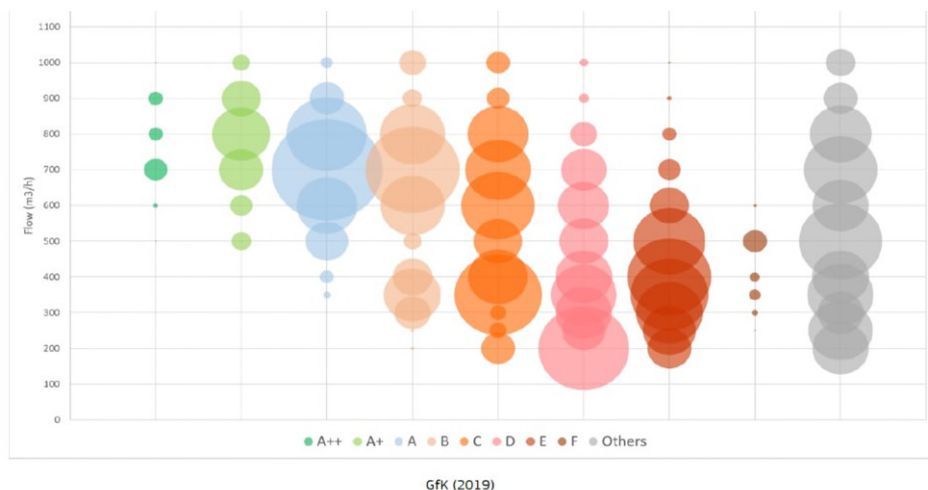
- **Møde 1 (14. marts 2024):** "Meeting with DG ENER Product Energy Efficiency Team - Hoods (Exchange of experience)" – præsentation af projektresultater og argumenter for effektivitetskrav
- **Møde 2 (5. juli 2024):** Opfølgningsmøde med DG ENER – fortsættelse af dialogen om testmetoder og krav

6.5.4.2 Hovedargumenter fremført over for Europa-Kommissionen

- Da den nuværende regulering blev udarbejdet (2011-2014), blev det **aftalt at emfangseffektivitet skulle indgå i revisionen** (2019-nu)
- Industrien lovede at revidere standarderne for 10 år siden – dette var stadig ikke gjort ved projektets start, hvorfor projektet har bidraget til dette ved at revidere standarden og udvikle ny metode, så grundlaget for at adoptere emfangseffektiviteten på energimærket var på plads.
- **FDE (Fluid Dynamic Efficiency) er IKKE den primære faktor** for energieffektivitet – det er emfangseffektiviteten sammenholdt med luftmængden.
- Ved at sætte krav til effektivitet kan energiforbruget reduceres med **op til 70%** (fra gennemsnitlig 500 m³/h til BAT 150 m³/h)
- Krav til emfangseffektivitet vil også **forbedre indeklimaet og fjerne farlige partikler** fra madlavning (i tråd med ESPR)

6.5.4.3 Projektets position

- Villighed til at afstå partikelmetoden og samarbejde om enten MEK eller CO₂-metoden afhængigt af hvad industrien ønsker.
- Insisteren på at effektivitet skal indgå i Ecodesign og energimærkning for alle typer emhætter
- Krav om opdeling i "capture" (opfangning) og "removal" (fjernelse) med krav om filtertest (PM_{2,5} eller PM₁) for recirkulerende emhætter, hvis CO₂-metoden vælges.
- Krav om at "forstyrrelseselementet" (disturbing element) inkluderes i testmetoden.
- Sæt ingen krav til effektivitet i Tier 1 + lave krav i Tier 2 (f.eks. 50% som udgangspunkt)
- Ellers bliver energiforbruget som det er sket med den nuværende forordning blive forøget, da fokus alene på FDE fremmer emhætter med høj luftmængde, hvilket fremgår af nedenstående figur over marked for emhætter i 5 europæiske lande ift. deres energimærkning og luftmængde.



Figur 18: unit sales per energy class and airflow in five EU countries (2018) (Y = m³/t, X = Energimærkningsklasser)

6.5.5 Energibesparelspotentiale ved udskiftning af alle emhætter i Danmark

I projektansøgningen blev det samlede energibesparelspotentiale ved udskiftning af alle emhætter i Danmark opgjort til:

- Varmebesparelse ved reduceret luftmængde: **911 GWh/år**
- Yderligere varmesparelse ved varmegenvinding (75% effektivitet): **378 GWh/år**
- Varmebesparelse total: **1.289 GWh/år**
- Elbesparelse: **57 GWh/år**

(Beregningerne var baseret på 75% emfangseffektivitet ved 30 l/s samt 72 min daglig brugstid jf. SBI-anvisning 213)

Projektet opnåede 75% emfangseffektivitet ved 116,5 m³/h (32 l/s) i laboratorietest, hvilket svarer til et maksimalt opnåeligt varmesparelspotentiale på ca. **877 GWh/år** (dog stadig uden styring). Ved den produktionsmodne emhætteudgave forventes effektiviteten opnået ved ca. 140 m³/h (39 l/s), da ikke alle optimeringspunkter fra laboratorieprototypen nødvendigvis medtages i det endelige produkt.

Med justering for den forventede produktionsluftmængde estimeres varmesparelspotentialet ved reduceret luftmængde til ca. **759 GWh/år** – svarende til ca. 83% af det oprindeligt estimerede potentiale. Elbesparelspotentialet estimeres til **ca. 49 GWh/år** (86% af oprindeligt estimat).

Hvilket i princippet er inden for rækkevidde ved bred markedsudbredelse af en FGE-løsning uden varmegenvinding.

Varmegenvindingselementet (de ekstra ca. 250–300 GWh/år varme) blev udviklet og testet, men vurderes p.t. for omkostningstungt til at indgå som standardelement. Dette yderligere potentiale kan kun realiseres i det omfang, varmegenvinding vælges som tilkøb og/eller bliver økonomisk attraktivt ved skærpede energikrav.

Samlet set bekræfter projektet, at hovedpotentialet ligger i at reducere luftmængden gennem høj emfangseffektivitet. Beregningerne viser, at varmeenergi til opvarmning af erstatningsluft udgør ca. 91 % af emhættens samlede energiforbrug, mens el kun udgør ca. 9 %, hvilket understreger behovet for at få emfangseffektivitet ind som parameter i Ecodesign og på energimærket.

7. Project conclusion and perspective

7.1 State the conclusions made in the project

Projektet har med succes udviklet og demonstreret en ny generation af energieffektive boligventilationsemhætter, der kombinerer høj emfangseffektivitet med lavt energiforbrug og forbedret indeklima.

Emhættedesign og ydeevne

Den udviklede prototype med innovativt skråtstillet design opnåede 75% emfangseffektivitet ved 116,5 m³/h – markant under nuværende BAT-niveau. Ved at trække forureningen bagud, væk fra brugeren, kan høj effektivitet opnås ved væsentligt lavere luftmængder end konventionelle emhætter. Den optimale monteringshøjde blev fastsat til 60 cm, da 50 cm viste sig for lav ift. brugernes operationelle arbejdsområde.

Intelligent styring

Automatisk styring baseret på sensorer sikrer korrekt brug uafhængigt af brugerens adfærd, giver bedre indeklima og lavere energiforbrug. Brugerundersøgelsen viste, at under halvdelen (42%) bruger emhætten hver gang de laver mad. Den automatiske styring vurderes at kunne løse dette problem, bl.a. vha. Den simple bruger-interface med kun to knapper og pulserende lys, som blev vurderet intuitivt og brugervenligt.

Teststandarder og målemetoder

Projektet har revideret den eksisterende europæiske MEK-standard (EN 13141-3) og udviklet en ny CO₂-baseret testmetode, begge godkendt i CEN og sendt til ekstern høring. Over 300 tests dokumenterede, at både MEK- og CO₂-metoder afspejler partikelfjernelse korrekt – MEK afspejler PM_{2.5}-partikler, mens CO₂ afspejler ultrafine partikler (UFP). Dette skaber et solidt grundlag for at inkludere emfangseffektivitet i fremtidige Ecodesign- og energimærkningskrav.

Sundhed og indeklima

Madlavning er den største enkeltkilde til høje partikkelkoncentrationer i boliger. DTU's forskning identificerede benzo(a)pyren som den mest kritiske forurening – koncentrationen ved madlavning med standard-emhætte er 5.000 ng/m³, uden emhætte 20.000 ng/m³, begge langt over WHO's grænseværdi på 1 ng/m³. Jo mindre partiklerne er, jo farligere er de for sundheden, hvilket understreger vigtigheden af effektiv partikelfjernelse.

Brugeradfærd og markedsindsigt

Forbrugerprioriteter varierer på tværs af europæiske markeder: I Danmark og Sverige er effektiv fjernelse af lugt og partikler den vigtigste faktor, mens design er topprioriteter i Tyskland og Frankrig. Energieffektivitet og lavt klimaaftryk scorer lavt på alle markeder (0-11% som førsteprioritet), hvilket understreger behovet for bedre mærkning og information. Støjniveauet er afgørende for brugen – i Danmark slukker 38% nogle gange emhætten pga. støjgener. Den udviklede emhætte blev beskrevet som "uhyre støjsvag" af alle brugertestdeltagere.

Varmegenvinding og luftbehandling

Varmegenvinding (rør-i-rør-, multi-rør- og modstrømsveksler) samt luftbehandling til lugtfrit facadeafkast blev udviklet og testet som planlagt. Løsningerne er teknisk mulige, men vurderes for omkostningstunge til at indgå som standardelementer. Markedsundersøgelsen dokumenterede begrænset betalingsvillighed for tilføjelser med lang tilbagebetalingstid, hvorfor disse tilbydes som tilkøbsmuligheder.

Energibesparelspotentiale

Projektet bekræfter, at hovedpotentialet ligger i at reducere luftmængden gennem høj emfangseffektivitet. Varmeenergi til opvarmning af erstatningsluft udgør ca. 91% af emhættens samlede energiforbrug, mens el kun udgør ca. 9%. Det samlede energibesparelspotentiale ved udskiftning af alle emhætter i Danmark udgør op til 750-800 GWh/år i varme og 45-50 GWh/år i el.

7.2 What are the next steps for the developed technology?

Produktion: EXHAUSTO og Franke sætter emhætten i produktion

Markedsføring: Lancering af produktet på det danske, skandinaviske og sidenhen det europæiske marked

Standardisering: Den nye europæiske standard færdiggøres efter ekstern høring

Modulære tilføjelser: Varmegenvinding og kul-filter kan tilbydes som tilkøb når markedet er modent

Ecodesign-regulering: Fortsat påvirkning af EU-Kommissionen for at sikre krav om emfangseffektivitet

7.3 Put into perspective how the project results may influence future development

Dokumenteret hvilken forurening der er vigtigst at fjerne (partikler) (viderebygning af Nottingham-studiet) **og udviklet og eftervist at metode og standard der afspejler dette** (2 metoder CO2 og MEK)

Ny europæisk standard kan revolutionere måden emhætter testes og mærkes på i hele EU (har sikret grundlaget for at emfangseffektiviteten kan blive en del af energimærkningen)

Energibesparelspotentiale ved udskiftning af alle emhætter i Danmark udgør op til 850 GWh/år

Påvirkning af EU's codesign-regulering kan føre til krav om effektivitetsmærkning af alle emhætter solgt i EU

Designprincipper (skråtstillet design, todelt filtersystem) kan inspirere fremtidige produktudviklinger i branchen

Intelligent styring kan blive standard i fremtidens emhætter

Varmegenvinding og luftrensning kan blive relevante tilføjelser efterhånden som energikrav skærpes

Videreføring af resultater: Projektets resultater kan med fordel videreføres i et nyt projekt om recirkulerende emhætter, da markedet for disse er enormt og der er betydelige sundhedsrisici, hvis de recirkulerende emhætter ikke filtrerer luften tilstrækkeligt. Teknologien er til stede, men mangler at overføres til denne type emhætter, da de kan blive et godt alternativ de steder hvor afkastet til det fri ikke er muligt.