

Final report

1. Project details

Project title	Intelligent HVLS assisteret ventilation til kontormiljøer
File no.	64022-1075
Name of the funding scheme	EUDP
Project managing company / institution	Teknologisk Institut
CVR number (central business register)	56976116
Project partners	Nordicco A/S DEAS A/S
Submission date	29 October 2024

2. Summary

Project summary:

The purpose of the project is to develop a new ventilation and cooling principle for typical offices with normal ceiling height. Rather than lowering the temperature in rooms with energy-intensive air conditioning systems, a good thermal indoor climate are created by creating air movement in the living area.

The air movement is created by newly developed HVLS* fans (High Volume Low Speed fans), which are regulated by the user in interaction with ventilation, cooling and heating, sunlight, user preferences, season etc.

Until now, HVLS fans have been used for high-ceilinged rooms, such as warehouses, sports halls, industry buildings and other buildings with high distance to the ceiling and with people in motion. In this project a solution has been developed for office rooms, which have lower ceiling heights and where people mostly sit still.

The operation of the developed HVLS fans has been investigated in interaction with fresh air ventilation. It turned out that the placement of the HVLS fan does not need to take into account according to the placement of the valves for air supply in the room.

In the project, the chill effect of cooling with air speed and temperature is set in relation to the energy consumption with the cooling compressor. Per 100 m² of office space, the annual saving is 2967 kWh.

According to Danish Statistics, the office buildings (office, trade, warehouse, public administration) amount to 63,608 x 1000 m².

This project has shown that there are no real restrictions on the use of HVLS fans in office premises. However, you must be aware of the following factors:

- Height of office space.
- The geometric design of the ceiling (ceiling heights, beams, etc.).
- Location of ceiling lights.
- Number and location of internal "semi-walls".

A dimensioning tool has been developed in the project.

Overall, there is great potential in Denmark for HVLS application in office buildings, especially for those office buildings that need to be renovated. A questionnaire survey has shown that users were satisfied with the cooling effect of the HVLS fan in the summer.

It is new that office users can simply install an app on their phone and from there change settings for set points for the nearest HVLS fan, as well as follow measured values at the phone.

Before the project started, there was an expectation that HVLS fans in office environments, just like in rooms with high ceilings, should blow downwards in the summer and upwards in the winter. This turned out not to be the case. In office environments, the HVLS fan must always blow upwards. The wings were energy-wise and functionally designed for upward operation. This is patented.

Projektesumé

Formålet med projektet er at udvikle et nyt ventilations- og køleprincip til typiske kontorer med almindelig loftshøjde. Fremfor at sænke temperaturen i rum med energikrævende airconditionanlæg, skabes køling og et godt termisk indeklima ved at skabe luftbevægelse i opholdszonen.

Luftbevægelsen skabes af nyudviklede HVLS*-ventilatorer (High Volume Low Speed fans), som reguleres af brugeren i samspil med ventilation, køling og varme, solindfald, brugerpræferencer, årstid mv.

Hidtil har HVLS ventilatorer været anvendt til højloftede lokaler, som lagerbygninger og sportshaller, med andre indeklimakrav og anden brug end kontorlokaler, der har lavere til loftet og hvor personer oftest sidder stille.

De udviklede HVLS ventilatorers drift er undersøgt i samspil med friskluftventilation. Det viste sig, at placeringen af HVLS ventilatoren ikke behøves at tage hensyn til placeringen af indblæsningsventilerne i rummet.

I projektet er chill effekten ved køling med lufthastighed og temperatur sat i forhold til energiforbruget med kølekompressor.

Per 100 m² kontorareal er den årlige besparelse 2967 kWh.

Ifølge Danmarks Statistik, udgør kontorbygninger (kontor, handel, lager, offentlig adm.) 63.608 x 1000 m².

Dette projekt har vist, at der ikke er egentlige begrænsninger på brug af HVLS ventilatorer i kontorlokaler. Man skal dog være opmærksom på følgende faktorer:

- Højde af kontorlokale.
- Loftets geometriske udformning (spring i lofthøjde, bjælker m.m.).
- Placering af loftslus.
- Antal og placering af indre "semi-vægge".

I projektet er udviklet et dimensioneringsværktøj.

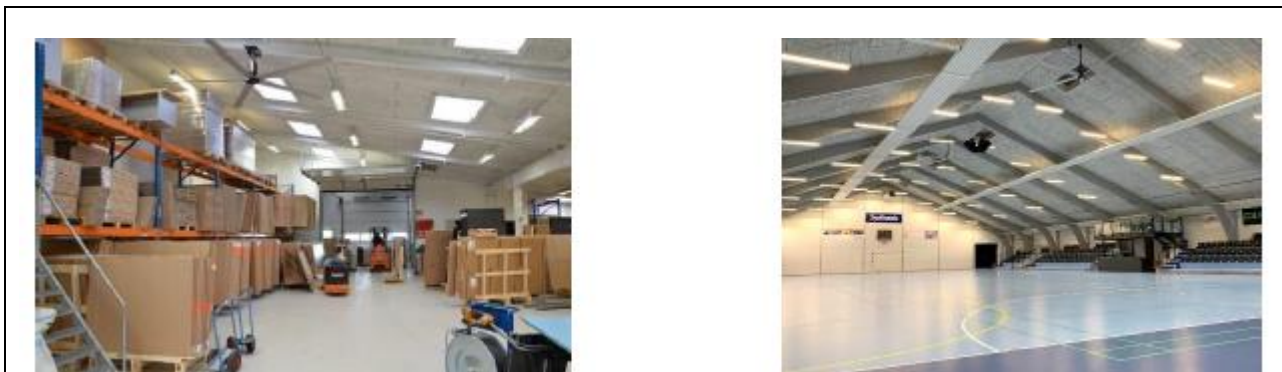
Samlet set er der et stort potentiale i Danmark for HVLS applikation i kontorbygninger specielt for de kontorbygninger, som skal renoveres.

En spørgeskemaundersøgelse har vist, at brugerne var tilfredse med HVLS ventilatorens kølende effekt om sommeren. Det er nyt, at kontorbrugerne blot kan installere en app på deres telefon og derfra ændre indstillinger for setpunkter for nærmeste HVLS ventilator, samt følge målte værdier.

Inden projektet gik i gang var der en forventning om, at HVLS ventilatorer i kontormiljøer ligesom i højloftede rum skulle blæse nedad om sommeren og opad om vinteren. Dette viste sig ikke at være tilfældet. I kontormiljøer skal HVLS ventilatoren altid blæse op ad. Vingerne blev energimæssigt og funktionsmæssigt designet til opadgående drift. Dette er patentanmeldt.

3. Project objectives

Målet med projektet var at udvikle en HVLS ventilator til kontorer med tilhørende styring og demonstrere brugen af denne mhp. at opnå et reduceret energiforbrug og et forbedret indeklima i kontormiljøer.



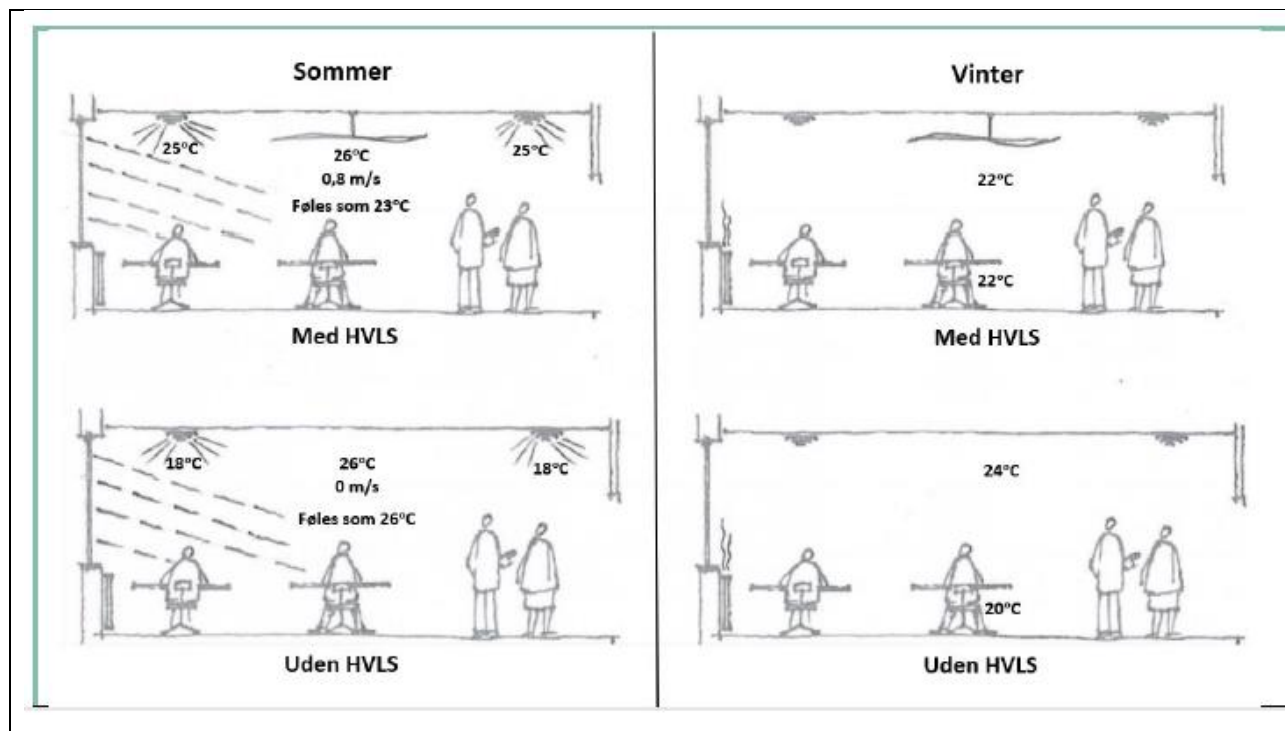
Figur 1. HVLS ventilatorer må ikke forveksles med små loftspropeller.

HVLS ventilatorer har en meget større diameter – minimum 2,1 m. De store vinger kører langsomt rundt og flytter meget store luftmængder – deraf navnet High Volume Low Speed. Små loftspropeller støjer, da de har en hurtig rotation. Det gør HVLS ventilatorer ikke.

Det er et helt nyt ventilationsprincip til kontorlokaler i det nordlige Europa. Metoden kombinerer traditionelle mekaniske ventilationsanlæg og hybridventilationsanlæg (mekanisk og naturlig ventilation) med HVLS ventilatorer.

Kombinationen reducerer energiforbruget til køling, ventilation og opvarmning. Om sommeren kan ventilationsydelse reduceres og køling kan opnås med lufthastigheder genereret af HVLS ventilatorer fremfor at etablere energikrævende køleflader i centrale aggregater (air handling units). Om vinteren vil temperaturgradienter udjævnes med deraf følgende løsning af problemer med at den varme luft ligger oppe under loftet.

I projektet blev det demonstreret, at HVLS ventilatorer etableret i kontorer udelukkende skal blæse opad og der blev designet vinger, der var optimeret efter at blæse opad. Dette er patentanmeldt.



Figur 2. Illustration udarbejdet til ansøgning.

Inden projektet startede havde vi en forventning om, at den udviklede HVLS ventilator skulle blæse nedad om sommeren og opad om vinteren. Dette er illustreret på denne figur udarbejdet til ansøgningen. Det viste sig i projektet, at HVLS ventilatorer til kontorer året rundt skal blæse opad med varierende omdrejningstal. Vinger blev designet til at blæse opad, og denne funktion er patentanmeldt. Det er ikke tidligere set at vinger designes til opadgående luftstrøm.

Opdagelsen af at HVLS ventilatorens vinger udelukkende skal designes til at køre opad ville ikke være fundet hvis ikke udviklingen var foretaget i Teknologisk Instituts IC.lab, hvor avanceret måleudstyr kan måle turbulens mv. præcist uden forstyrrelser fra kontormedarbejdere mv.

Der er udviklet en APP til styring, som de enkelte kontormedarbejdere kan betjene fra deres respektive telefon, og de kan fra telefonen se en række måledata visualiseret på let tilgængelig og overskuelig vis.

Test i praksis har vist at kontormedarbejderne om sommeren var tilfredse med HVLS ventilatoren eller ikke bemærkede den.

Målet var at udvikle en løsning til kontorer på markeder i Nord Europa og nye markeder i det nordlige USA. Baseret på målinger og beregninger for det danske klima kan der estimeres en årlig energireduktion på 2967 kWh per 100 m² kontorareal.

Løsningen kan anvendes i kontorer med en loftshøjde ned til 2,7 meter.

Løsningen har vist sig at være mere anvendelig, end det blev formodet, da ansøgningen blev skrevet. Det er lettere at placere HVLS ventilatoren i rummet ift. de øvrige indblæsningsventiler, der sender friskluft ind i lokalet. HVLS-ens luftstrøm er så kraftig, at den mixer friskluften uden der vil være problemer med at der sendes

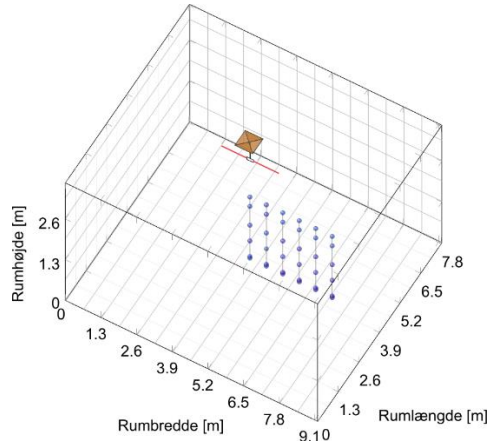
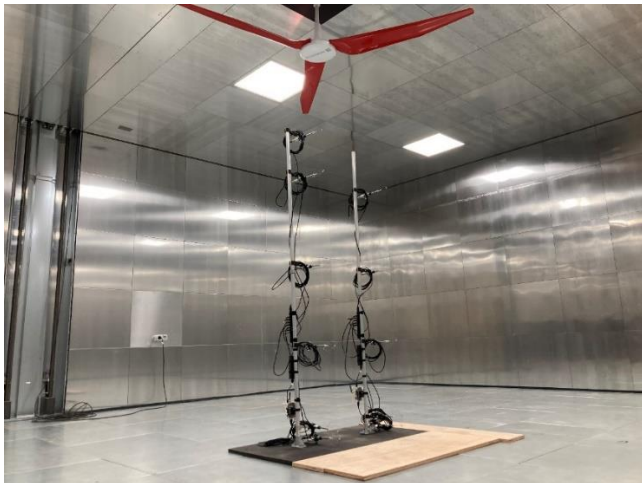
trækkende underafkølet friskluft ned i opholdszonen, når friskluften støder sammen med luften genereret af HVLS ventilatoren.

Sammenhængen mellem HVLS ventilatorens energiforbrug og omdrejningstal samt afledte effekter på klimaet viste at det per 100 m² kontorareal vil være en årlig besparelse på 2967 kWh. Ifølge Danmarks Statistik, udgør kontorbygninger (kontor, handel, lager, offentlig adm.) 63.608 x 1000 m².

4. Project implementation

Projektet var tidsmæssigt planlagt, således at der skulle foretages test på to lokaliteter sommeren 2023, men projektet startede efter sommerferien 2022, og det viste sig at være for optimistisk med sommerforsøg 2023. Vi nåede kun at teste på en lokalitet i sommeren 2023. Derfor fik vi en projektførlængelse, således at der kunne foretages test på lokalitet 2 i sommeren 2024.

Vi var forud for projektets start betænkelige ved, om der kunne opstå problemer med brugertilfredsheden. Man kunne for eksempel forestille sig, at nogle ville føle negativ træk alt afhængig hvor de sad i forhold til selve HVLS ventilatoren. Forsøg i IC lab på Teknologisk Institut, hvor det blev demonstreret at HVLS ventilatoren på kontorer udelukkende skal sende luften opad og der derved skabes et relativt ensartet turbulensfelt i horisontal retning og dermed relativ ensartet chill effekt i opholdszonen gjorde, at der ikke var nævneværdig forhold på lokaleindretning ift. placering af HVLS ventilatoren.



Figur 3. Forsøg i IC lab. på Teknologisk Institut

Forsøg i IC. Lab. (Indoor Climate) viste sig at være mere nyttige end forudset. I IC lab. kan lofter skydes op og ned, og vægge kan flyttes, og der kan hurtigt etableres nye ventilationssystemer. Men nytten viste sig at være endnu større. Der kunne med avanceret måleudstyr registreres forhold, som man ikke ville kunne gøre i praksis. Man kunne registrere at HVLS ventilatoren med det rigtige design ved opadgående rotation kunne skabe et ensartet turbulens niveau i opholdszonen i horisontal retning, og dermed kunne skabe ensartet køl om sommeren i hele opholdszonen.

5. Project results

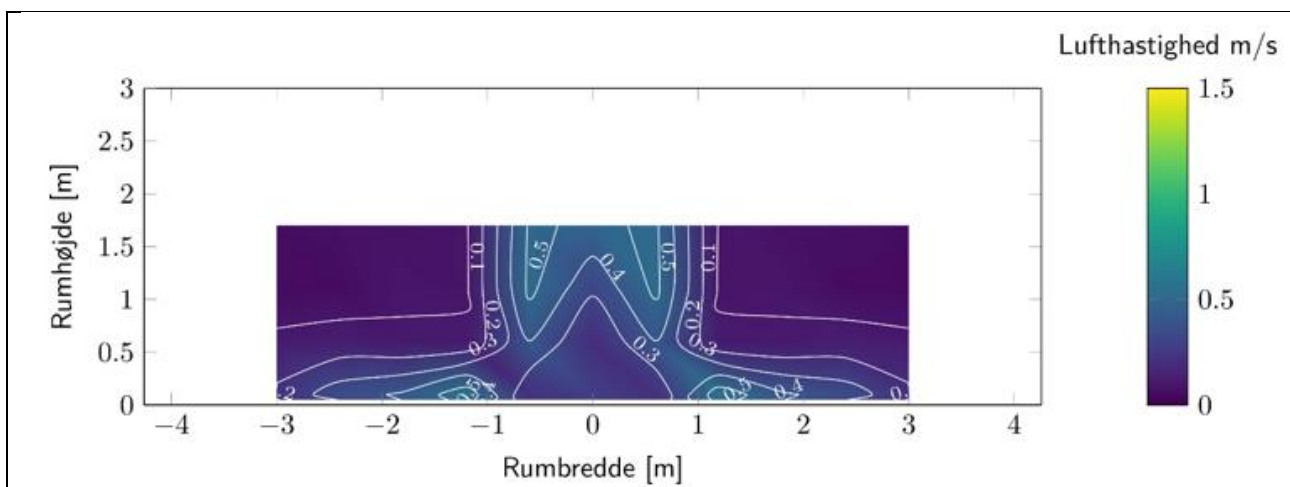
Hovedformålet med udvikling af en HVLS ventilator tilegnet kontorer med tilhørende APP løsning, hvor den enkelte fra sin telefon kan ændre settings og se historiske data er indfriet.

Hovedformålet med at skabe afkøling ved hjælp af lufthastighed er indfriet.

Fra starten af, var det forventet, at placeringen af HVLS ventilatoren i rummet skulle ske i tæt samspil med kontorets indretning. Men opdagelsen og konklusionen med, at der skabes et ensartet kølende klima i opholdszonen, når HVLS ventilatoren udelukkende blæser opad, viste sig at være en løsning, der øger salgsmuligheder og anvendelse af det udviklede produkt til kontorer.

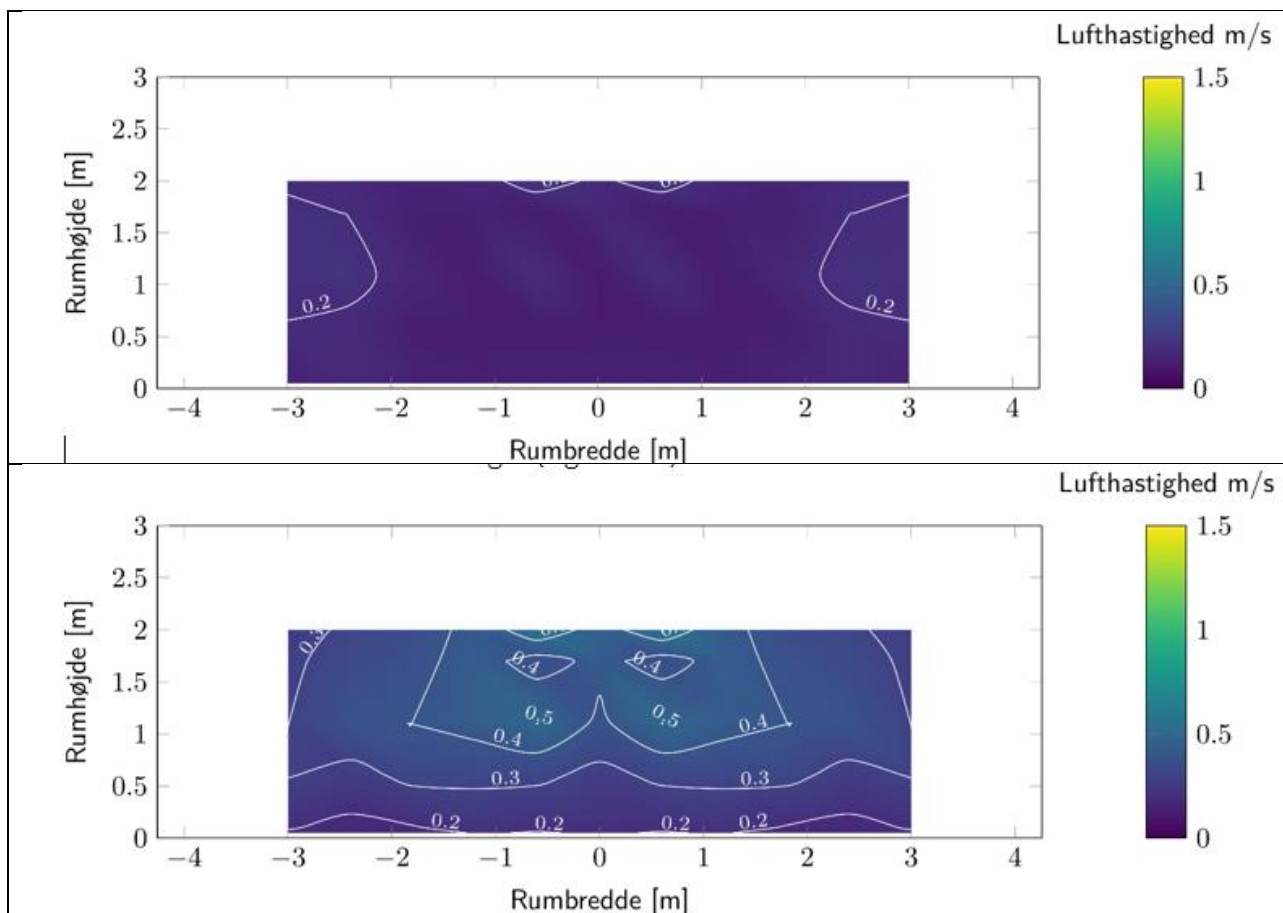
Der er foretaget matematiske beregninger af forskellige vingeprofiler og deres interaktion for luftstrømninger, og turbulensniveauer er bestemt med CFD beregninger. I IC-lab på Teknologisk Institut er der fundet fin overensstemmelse mellem CFD beregninger og praktiske målinger med avanceret trækmåleudstyr.

Både CFD beregninger og målinger i IC-lab er foretaget over to runder, og der har været produceret to forskellige vingedesigns. Først blev der produceret et profil, designet og optimeret til at blæse luften nedad om sommeren og opad om vinteren. Men målingerne viste, at der ved udelukkende at blæse luften opad, ville opnås den bedste løsning til kontormiljøer, idet trækraten var relativt ensartet i horisontal retning, når luften blev blæst opad. Dette gjorde at møbleringen og indretningen af kontoret var forholdsvis valgfri og uafhængig af hvor tæt man var placeret på HVLS ventilatoren.



Figur 4. Nedadgående luftstrøm

Måling af lufthastighed ved nedadgående luftretning genereret af HVLS ventilator ved det laveste omdrejningstal – trin 1. HVLS ventilator placeret 3 meter over gulvet.



Figur 5. Opadgående luftstrøm

Måling af lufthastighed ved opadgående luftretning. HVLS ventilator hængende 3 meter over gulvet. Øverst er omdrejningstal trin 1 og nederst trin 4.

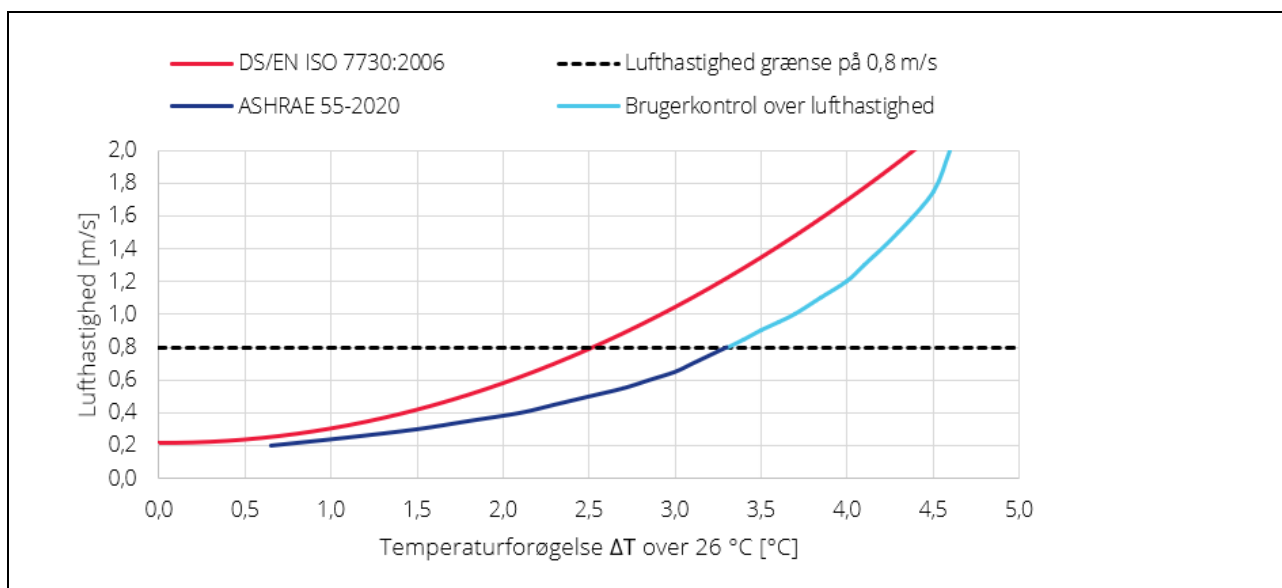
I anden runde CFD beregninger, blev vingen optimeret til at blæse opad. Det menes at det er den eneste HVLS ventilator, der er på markedet hvor vingen er optimeret i forhold til opadgående luftstrøm. Firmaet Nordicco A/S har patentanmeldt designet med optimering ift. opadgående luftretning.

I bilag ses en detaljeret gennemgang af målingerne i IC-lab.

Ved at øge lufthastigheden i opholdszonen kan man tillade at indetemperaturen bliver højere i kontoret. DS/EN ISO 7730:2006 begrænser den tilladte lufthastighed til 0,8 m/s for almindeligt kontorarbejde. Det betyder, at man kan tillade at temperaturen bliver op til 28,5 °C indendørs, hvis den gennemsnitlige lufthastighed er 0,80 m/s. Sammenlignet med den amerikanske indeklimastandard ASHRAE 55-2020 (se efterfølgende figur) er dette ikke ret meget. ASHRAE 55-2020 tillader lufthastigheder over 0,8 m/s, hvis brugeren selv kan styre lufthastigheden (den lyseblå del af kurven på Figur 6).

Kurverne på efterfølgende figur er beregnet efter Fangers PMV-ligninger (predicted mean vote). ASHRAE 55-2020 benytter en lidt mere kompliceret version af PMV som hedder SET (standard effective temperature).

Den mere ventilationstekniske læser henvises til det udførlige notat omkring målinger i IC-lab.



Figur 6. Tilladt temperatur når der køles med lufthastighed

Tilladt temperaturstigning over 26 °C ved forøget lufthastighed beregnet for den europæiske standard EN ISO 7730: 2006 og for den amerikanske standard ASHRAE 55-2020

Ud fra en samlet vurdering af alle resultaterne (appendiks til rapport over målinger i IC-lab), haves at HVLS-ventilatoren kan opnå lufthastigheder på 0,42 m/s ved opadgående luftretning ventilatortrin 6 og en loftshøjde på 3,0 m. I denne situation vil man kunne tillade en indetemperatur på 27,5 °C frem for en indetemperatur på 26,0 °C hvis lufthastigheden normalt er omkring 0,10 m/s, når HVLS-ventilatoren er slukket. Lufthastigheden vil dog være lavere, når man hæver loftshøjden, og højere når man sænker den.

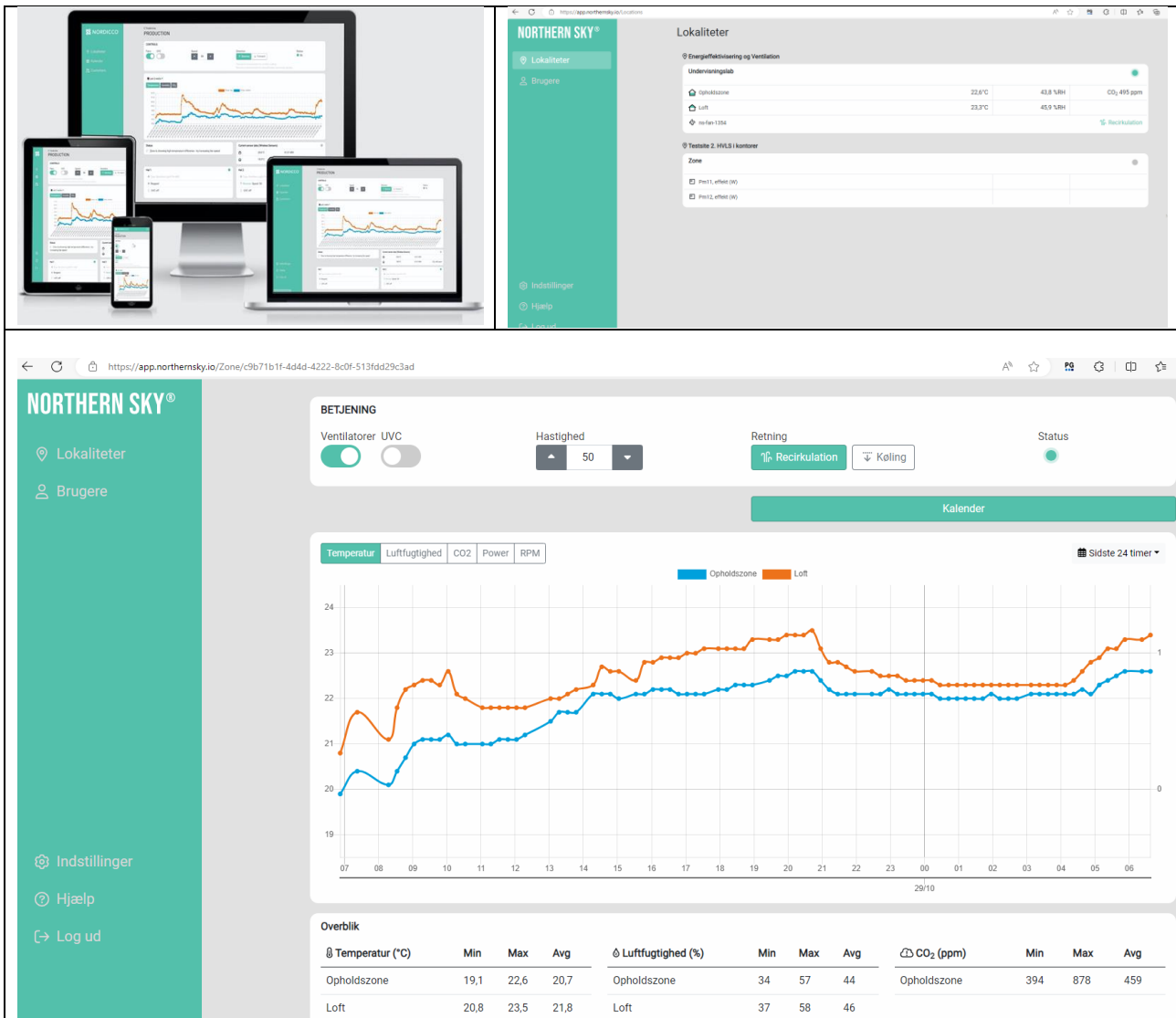
Forsøgene i IC-lab viser også, at placeringen af HVLS ventilatoren i forhold til indblæsningsventiler ikke er af nævneværdig betydning. Luftstrømmen der leveres af indblæsningsarmaturet retningsbestemmes i forhold til HVLS ventilatorens genererede luftstrøm. Inden projektet startede, var et af punkterne netop, om der ville blive problemer mellem samspil mellem HVLS ventilator og loftsventiler der leverer frisk luft til rummet. Men det har vist sig ikke at være tilfældet.



Figur 7. Forsøg i IC. Lab med indretning til 8 kontormedarbejdere, HVLS ventilator Ø2,1 meter og to stk. frisk luft indblæsningsarmaturer

App løsning til kontorbrugere og driftspersonale

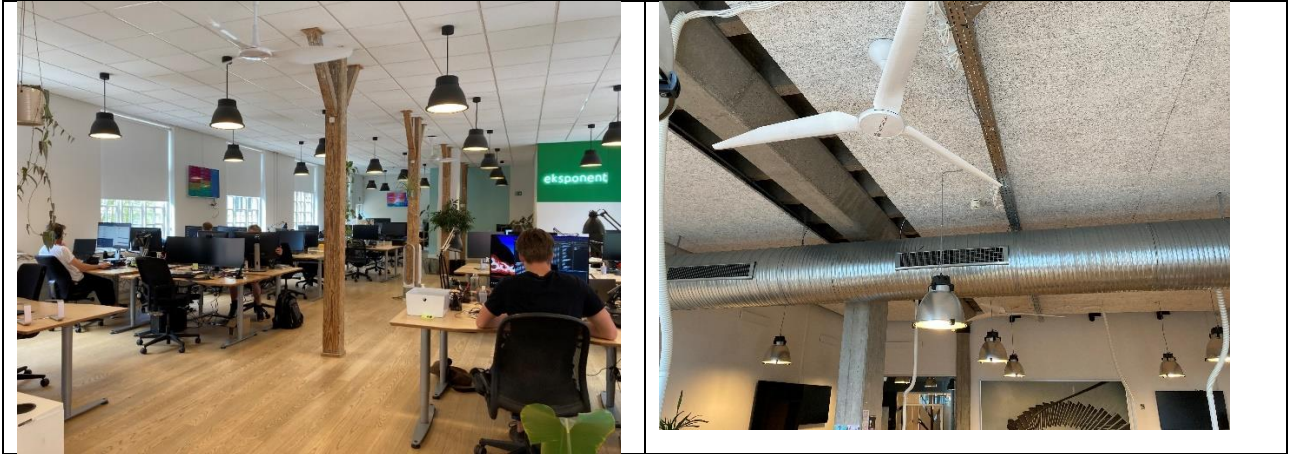
Der er udviklet en APP til telefonen eller mulighed for nem adgang via PC til at ændre setting for HVLS driften, se realtids data og historiske data. Fremfor at styringen er hængende på væggen, og målte data er værdier udelukkende ligger på CTS anlægget, er brugeren knyttet tættere på at kunne kontrollere klimaet og følge historiske data for indeklima og energiforbrug fra sin telefon eller PC.



Figur 8. APP løsning så kontoransatte fra sin telefon kan ændre setting på HVLS, se aktuelle og historiske måleværdier for indeklima og energiforbrug

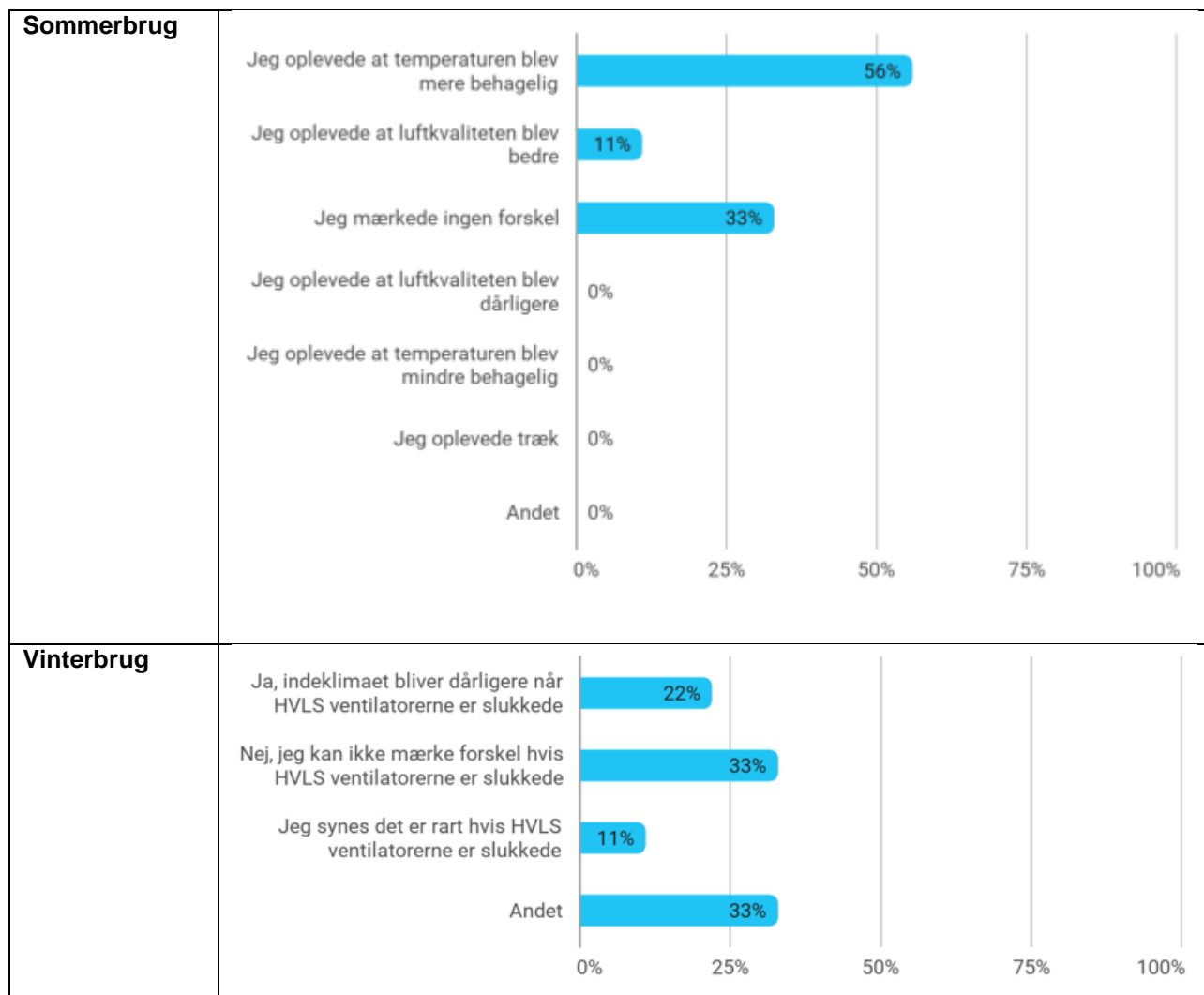
HVLS installeret på to kontorer

Den udviklede HVLS ventilator er installeret på to lokaliteter. Hvert sted er monteret to HVLS ventilatorer og hvert sted er der kontorer med og uden HVLS ventilatorer.



Figur 8. To åbne kontorlandskaber hvor HVLS løsningen er testet

En antropologisk spørgeskemaundersøgelse viser, at personerne er positive eller ikke bemærker de opsatte HVLS ventilatorer. Der er ingen der udtrykker utilfredshed ifm. sommermålinger. Det kan der være om vinteren. For brugeren er det en udpræget løsning til høje temperaturer om sommeren, og for driftsansvarlig til energibesparelse året rundt.



Figur 9. Resultat af antropologisk undersøgelse af brug af HVLS til kontorer henholdsvis sommer og vinter.

6. Utilisation of project results

HVLS løsningen kan anvendes til eksisterende kontorer og i forbindelse med ny etablering af kontorer, hvor det vælges at have ventilationsanlæg til frisklufttilførsel, men hvor det ikke vælges at etablere air conditions-anlæg. Udover selve energibesparelsen kan der opnås reduktion i etableringsomkostninger.

Løsningen til kontorer vil blive commercialiseret af Nordicco A/S. De har haft stigende salg på hjemmemarked og til eksport til højloftede lokaler. Fremadrettet vil der været et salg af en HVLS løsning til kontorer med loftshøjde ned til 2,7 meter over gulv.

Markedet har vist, at der er et behov for køling på kontorer, og de stigende udetemperaturer viser, at behovet for køling om sommeren er stigende. De små bordmodeller, mange har taget i brug på kontorer, er mere energikrævende og støjende.

Projektet er netop afsluttet, og der er ingen tvivl om at en markedsindsats vil bidrage til at projektets resultater, og den udviklede løsning vil være med til at realisere energi politiske mål.

Det er vigtigt at fremhæve, at HVLS løsningen har en diameter på 2,1 meter, hvilket er den nedre definition på HVLS ventilatorer. Den må ikke forveksles med de små loft-propeller, der har et højere omdrejningstal og støjer mere og som ikke giver den ensartede trækrate og dermed køleeffekt i hele kontoret.

7. Project conclusion and perspective

I projektet er udviklet et nyt ventilationskoncept til kontorer. I dag anvendes oftest ingen ventilation, mekanisk ventilation med og uden køling eller hybrid ventilation, der er et mix af mekanisk ventilation og hybrid ventilation.

I foreliggende projekt er udviklet en metode til kontorer, hvor der køles med positiv træk ved nyudviklet HVLS ventilator løsning dedikeret til kontorer. Den kan bruges i samspil med mekanisk ventilation og hybrid ventilation.

HVLS ventilatorer anvendes normalt til højloftede lokaler, hvor personer bevæger sig, men i dette projekt er det udviklet til kontorer, der vil have lavere afstand til loftet og hvor personer er stillestående.

I projektet blev det konkluderet, at HVLS ventilatoren ikke skal sende luften nedad i opholdszonen, men udelukkende skal sende luften opad. Ventilatorvinger blev special designet til at sende luften opad. Dette er patentanmeldt.

De udviklede vinger skaber et tilnærmelsesvis ensartet træk mønster i horisontal retning, og derfor er det forholdsvis valgfrit, hvordan skriveborde mv. kan stå i lokalet. Inden projektet gik i gang, formodes det ellers at valgfri kontorindretning kunne blive en barriere.

Der er udviklet en app løsning, hvor de enkelte kontormedarbejder fra sin telefon kan ændre settings på styring af HVLS-ventilatoren og se nuværende og historiske data for indeklima i rummet.

Ud fra en samlet analyse af alle resultaterne haves, at HVLS-ventilatoren kan opnå lufthastigheder på 0,42 m/s ved opadgående luftretning ventilatortrin 6 og en loftshøjde på 3,0 m. I denne situation vil man kunne tillade en indetemperatur på 27,5 °C frem for en indetemperatur på 26,0 °C hvis lufthastigheden normalt er omkring 0,10 m/s, når HVLS-ventilatoren er slukket.

En antropologisk spørgeskema undersøgelse viser, at personerne er positive eller ikke bemærker de opsatte HVLS ventilatorer. Der er ingen der udtrykker utilfredshed ifm. sommermålinger.

Per 100 m² kontorareal er den årlige besparelse 2967 kWh sammenlignet med brug af kølekompressor til køling.

Ifølge Danmarks Statistik, udgør kontorbygninger (kontor, handel, lager, offentlig adm.) 63.608 x 1000 m².