

# Energieeffektiv intelligent HVLS ventilation (High Volume Low Speed fan)

Elforsk projekt 352-032, december 2022



**TEKNOLOGISK  
INSTITUT**



**TEKNOLOGISK  
INSTITUT**

## **Energieffektiv intelligent HVLS ventilation (High Volume Low Speed fan)**

**Title in English: Energy Efficient  
intelligent HVLS fan (High Volume Low Speed fan)**

**Elforsk projekt 352-032, december 2022**



Udarbejdet af  
Teknologisk Institut

Energi og Klima

December 2022



## Indholdsfortegnelse

1. Sammenfatning .....	5
1.1. Summary in English .....	6
2. Baggrund.....	8
3. Formål .....	10
4. Metode .....	11
4.1. Arbejdspakker .....	12
5. Kortlægning af brøcheanvendelse af HVLS ventilatorer .....	13
5.1. HVLS ventilatorens fødsel.....	13
5.2. USA og Europa .....	14
5.3. Resumé .....	15
6. CFD beregninger og analyse af vingedesigms .....	16
6.1. Grundlag for CFD beregninger .....	16
6.2. Resultater af vingedesign og CFD beregninger .....	19
6.2.1. CFD-kørsler med vinge A .....	21
6.2.2. CFD-kørsel med vinge A med omvendt rotation .....	23
6.2.3. CFD-kørsel med vingemodell B med 5 vinger på nav (vindmølledeign).....	24
6.2.4. CFD-kørsel med vingemodell 2 med 6 vinger på nav (vindmølledeign).....	26
6.2.5. CFD-kørsel med vingemodell A med Ø5 meter vinge.....	28
6.3. Sammenfatning af CFD beregninger og valg af vinge .....	31
6.4. Resume .....	33
7. Luftfysisk laboratorium og intelligent styringsstrategi .....	34
7.1. Laboratorium.....	34
7.2. Røgforsøg .....	35
7.3. Luftfæsthedsmålinger og sammenligning med CFD beregninger .....	38
7.3.1. Sammenligning af målinger og CFD beregninger .....	49
7.4. Chill effekt og omdrejningsfæsthed .....	51
7.5. Energiforbrug ved forskellige omdrejningsfæstheder .....	55



7.6. Resumé .....	56
8. Styring og test af samlet anlæg i praksis .....	58
8.1. Styring .....	58
8.2. Hedensted hallen .....	60
8.3. Vestas .....	61
8.4. Energireduktion .....	64
8.5. Resumé .....	64
9. Testprotokol og design guide.....	65
9.1. Testprotokol .....	65
9.2. Design Guide .....	66
10. Konklusion .....	70
11. Formidling .....	72
11.1. Artikler, indlæg og foredrag.....	72



## **1. Sammenfatning**

Projektet har udviklet et nyt ventilationskoncept til ventilering af højloftede lokaler i Nordeuropa. Eksempler på højloftede lokaler er idrætshaller, lagerbygninger, industrihaller, atrier mv.

Det nye ventilationskoncept til højloftede lokaler kan både bruges til køling om sommeren og til reduktion af udgifter til varme om vinteren.

Det nye ventilationskoncept er tilegnet det nordeuropæiske klima.

Ventilationskonceptet bygger på HVLS ventilatorer – High Volume Low Speed fan – det er ventilatorer med et vingefang på over 2 meter i diameter, som flytter store luftmængder ved lav hastighed. Det må ikke forveksles med de små loftsventilatorer, der anvendes i varmere lande som har en langt mindre diameter, og roterer hurtigt med deraf følgende høje lydniveauer.

Styringen til regulering af den udviklede HVLS fan er tilegnet det nordeuropæiske klima.

Mange brancher med højloftede lokaler, hvor der er behov for køling om sommeren, men hvor det ikke er økonomisk eller energimæssigt realistisk at investere i airconditionanlæg, vil kunne skabe køling med HVLS ventilatorer. Ligeledes vil varmeregnen i lokaler med højt til loftet kunne reduceres, da HVLS ventilatorer kan fjerne temperaturgradienten om vinteren ved at køre baglæns og sikre, at varmen under loftet returneres ned til opholdszonen.

Hypotesen om energibesparelse er eftervist. Der vil med den nyudviklede HVLS ventilator med nye vinger, intelligent styring og smart user-interface både kunne opnås øget komfort og energireduktion i højloftede lokaler. Besparelsen er 20-30 % på energiforbruget i et konventionelt klimaanlæg, hvilket er påvist i 3 idrætshaller.

Endelig er der udviklet en designguide til rådgivere, der kan anvendes til dimensionering af ventilation med HVLS ventilatorer i højloftede lokaler.



Projektet er medfinansieret af ELFORSK programmet med projekt nr. 352-032, og er udført af følgende projektdeltagere:

Dennis Thomsen	Nordicco A/S
Jesper Hermansen	Nordicco A/S
Jens Bramstrup Hansen	Nordicco A/S
Mads Ejrup Kirkegaard	Nordicco A/S
Christian Drivsholm	Teknologisk Institut
Xu Guan	Teknologisk Institut
Merete Lyngbye (Projektleder)	Teknologisk Institut

## **1.1. Summary in English**

The project has developed a new ventilation concept for ventilating room with high distance to the ceiling in North Europe. Examples of heigh-ceilinged rooms are sports halls, warehouses, industrial halls, atriums etc.

The new ventilation concept developed for rooms with high distance to the ceiling can be used both for cooling in the summer and reduction of energy during the winter.

The target for the development is the climate in North Europe.

The ventilation concept is based on HVLS fans – High Volume Low Speed fans – which are fans with large blades and a diameter of more than 2 meter in diameter. Large volume of air is moved with low speed.

The product has nothing to do with the small diameter fans used in warmer countries which have a much smaller diameter and rotate rapidly with consequent high sound levels.

The controller developed for the new product is aimed for the northern European climate.

In the industry can be seen many facilities with high distance to the ceiling and where it will not be realistic to invest in air condition systems for the workers or customers. Here the new product can be a solution for cooling in the summer. Likewise, the product can be reduced for energy reduction in the winter, where the fan rotates clockwise and destroy the temperature gradient in the room so the heat is not ending in the top of the building below the ceiling.



The hypothesis of energy saving has been proven. With the newly developed HVLS fan with new propellers, intelligent control and smart user interface both improved indoor climate and energy reduction have been obtained. The energy saving was 20-30% compared to conventional air conditions systems, which has been demonstrated in 3 sportshalls.

Finally, a design guide has been developed for advisors that can be used for dimensioning ventilation with HVLS fans in rooms with high distance to the ceiling.

The project is co-financed by the ELFORSK program with project no. 352-032, and is carried out by following participants:

Dennis Thomsen	Nordicco A/S
Jesper Hermansen	Nordicco A/S
Jens Bramstrup Hansen	Nordicco A/S
Mads Ejrup Kirkegaard	Nordicco A/S
Christian Drivsholm	Teknologisk Institut
Xu Guan	Teknologisk Institut
Merete Lyngbye (Projektleder)	Teknologisk Institut



## **2. Baggrund**

Projektet relaterer i særlig grad til Elforsk indsatsområder under industri:

- Metoder for identifikation af energipotentialer i forskellige industrier med store højloftede rum
- Teknologiudvikling og billiggørelse af teknologier og komponenter
- Inddrage digitalisering i teknologiske løsninger med helt nye styreparametre
- Effektivisering, dimensionering, billiggørelse af ventilationsanlæg og køling
- Intelligent styring af køl samt opvarmning efter helt nye generiske værktøjer, som kan igangsætte energieffektiviseringer

Klimadebatten vokser i medierne år for år, måned for måned og dag for dag. Samtidig kommer der hyppigere ekstreme klimasituationer, og DMI har dokumenteret at hyppigheden af høje temperaturperioder i Danmark er steget. Dette projekt med energibesparende og anlægsbesparende ventilation er yderst relevant, specielt hvad angår køling om sommeren og er tilmed egnet til reduktion af varmekonsum om vinteren, da det kan modvirke, at den varme luft ligger under loftet.

I Danmark er det samlede elforbrug i erhvervslivet 57.841 TJ. Heraf går 10% til ventilation og 4% til køling. Det vil sige knap 14% af elforbruget i erhvervslivet går til ventilation og køling og fremover er der øget behov for køling.

Ovenstående gælder kun for erhvervsvirksomheder, men der er stort potentiale ved også at kunne rulle det ud i højloftede offentlige bygninger.



*Figur 2.1 - Aircondition anlæg til fx køling i kontorer er sjældent økonomisk eller energimæssigt realistiske at indføre i højloftede industrivirksomheder, lagerbygninger, idrætshaller mv.  
Foto: Annonce, Energy supply, marts 2018*



### 3. Formål

Ideen med dette projekt er at udvikle en metode til elbesparelser i forbindelse med ventilering af store rum med højt til loftet, fx industrihaller, idrætshaller, butikcentre, åbne arkader, hangarer, aktivitetshaller mv.

El-besparelsen tilvejebringes ved udvikling af HVLS ventilatorer (High Volume Low Speed) og en intelligent styring tilegnet det nordeuropæiske klima.

Opskrevet på punktform er formålet:

- **at kortlægge** anvendelsespotentialer og energireduktion for **en række brancher**
- at udvikle nyt **vingeprofil**, der optimerer i forhold til energiforbrug og køleeffekt
- at udvikle en intelligent styring
- **at dokumentere** energibesparelsen gennem laboratorieforsøg, simuleringer og fundskaleforsøg
- at udvikle forslag til **testprotokoller** og **designmanual** for anvendelse af HVLS ventilatorer



## 4. Metode

Afsnittet indeholder en gennemgang af anvendte metoder samt en angivelse af arbejdspakker.

Projektteamet er sammensat så det repræsenterer opdaterede spidskompetencer indenfor forskning, udvikling og dokumentation på områderne HVAC, komponentstyring og indeklima (Nordicco A/S og Teknologisk Institut). Hertil viden om nationale og internationale markeder, økonomi, relevante krav og standarder og den relaterede udvikling inden for EU.

Samarbejdet omfatter analyser, komponent- og systemudvikling, test og dokumentation af komponenter og samlede HVAC-løsninger med intelligent styring.

Metoden til indfrielse af formålet er sammensat af 4 metodikker:

- Forsøg i laboratorium
- Design igennem udvikling af designværktøj og CFD analyser
- Fuldskala verifikationsdemonstration
- Udvikling af designguide

Der er i høj grad interaktion med inputs/outputflow mellem de 4 elementer.

### Forsøg i laboratorium

I laboratoriet på Teknologisk Institut foretages parameterudredning af HVLS ventilatordesign og dets effekt på luftstrømningsmønstre, indeklima og energiforbrug. Måleteknisk sættes et 3D-grid af og målinger samt udregning foretages for samme grid med henblik på direkte sammenligning. Kan det vises, at der er overensstemmelse mellem CFD beregninger (se nedenfor) og målinger, vil CFD fremover kunne anvendes troværdigt i relation til nye designs – både hvad angår lokaler og HVLS design og styring.

### Design igennem udvikling af designværktøj og CFD analyser

CFD programmet Ansys CFX anvendes og kalibreres (valideres) med resultater fra målinger i luftfysisk laboratorium.

Med baggrund i vingeprofil databasen <http://airfoiltools.com/airfoil> udvælges omkring 6 forskellige NACA 4-digit og 5-digit profiler med forskellige karakteristika for drag ( $C_d$ ) og lift ( $C_l$ ) koefficienten. Databasen indeholder detaljeret beskrivelse af de enkelte profiler, som kan importeres til et 3D CAD program i tilfældet her Solid Works. Desuden vil der blive inddraget erfaringer fra den traditionelle ventilatoroptimering, hvor ventilatoren sidder i et afgrænset spiralhus samt vindmøllebranchen, hvor vingen sidder frit, men virker modsatrettet.



De to mest energiøkonomiske profiler vælges til det videre forløb. Når Blueprint af nye vinger er fremstillet, vil der i høj grad være interaktion med data udveksling mellem forsøg i luftfysisk laboratorium og simuleringsgruppen.

Det er et nyt ventilationsprincip at inddrage køleeffekt baseret på temperatur, relativ fugtighed, luft-hastighed og turbulensniveau. Simuleringerne foretages ved udvikling af en sub-rutine til CFD programmet baseret på P. O. Fangers internationale anerkendte komfortligninger samt chill factor algoritmer for dyr.

#### **4.1. Arbejdspakker**

Projektet omfatter 9 arbejdspakker inkl. formidlingsaktiviteterne. I det efterfølgende angives arbejdspakker, og milepæle angives med MP.

Projektet består af 9 arbejdspakker, hvoraf projektledelse og formidling er to af arbejdspakkerne:

WP0. Projektledelse

WP1. Kortlægning af brancheanvendelse af HVLS ventilation

WP2. Indledende tests af HVLS ventilatorer på Teknologisk Institut

WP3. CFD beregninger og udvikling af vingedesigns

WP4. Test af vinger på Teknologisk Institut

WP5. Udvikling af intelligent styring af HVLS ventilator

WP6. Test af samlet ventilationsanlæg i højloftede rum

WP7. Opsætning af testprotokol for HVLS ventilator

WP8. Designguide til dimensionering af HVLS ventilation

WP9. Formidling og rapportering



## 5. Kortlægning af brancheanvendelse af HVLS ventilatorer

HVLS står for High Volume Low Speed. En HVLS ventilator er en ventilator, som flytter store luftmængder med lav hastighed.

I kapitlet redegøres for udviklingen af HVLS ventilatorer i Verden og hvordan dette projekt tilegner produktet til det nordeuropæiske klima.



*Figur 5.1 EN HVLS ventilator har en diameter på over 2 meter og må ikke forveksles med de små propelfans, der hænger i boliger, på hoteller, barer, mv. i bl.a. Amerika og Sydeuropa.*

### 5.1. HVLS ventilatorens fødsel

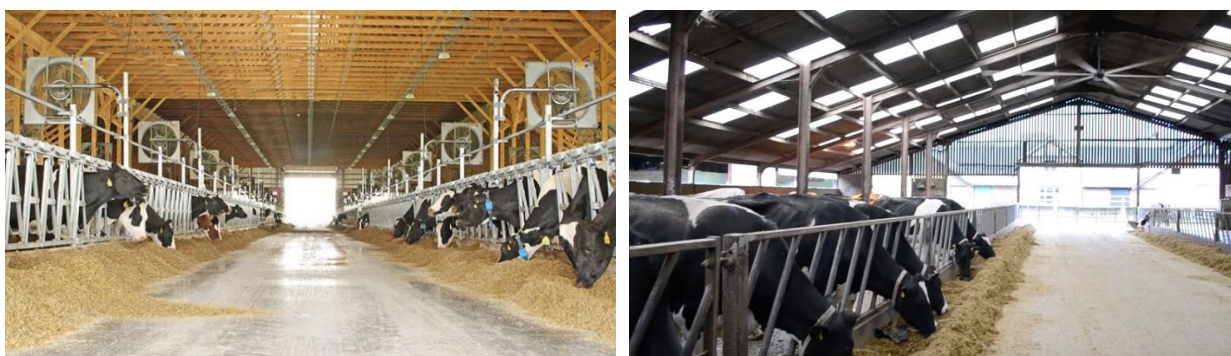
HVLS ventilatoren blev opfundet i Californien i 1990'erne. En ventilationsingeniør og en universitetsprofessor indenfor landbrugsbranchen fandt ud af at ved fremstilling og montering af meget store vifter i kvægstalde, kunne der skabes køling og dermed øget komfort for malkekøer om sommeren.

På det tidspunkt var det allerede kendt at etablering af kontrolleret lufthastighed blandt køerne om sommeren, kunne give en øget komfort og øget mælkeproduktion. Der blev på det tidspunkt i varme områder i USA og Israel anvendt små cirkulationsventilatorer, som larmede mere og var relativt dyrere i drift end køling med de nye HVLS ventilatorer.

HVLS ventilatorer må ikke forveksles med de små vifter, der ses på barer, hotelværelser, boliger, restauranter mv. i fx USA, Syd Amerika, Syd Europa og andre varme områder. I modsætning til de små vifter har en HVLS ventilator en langt større diameter på minimum 2,1 meter. De ses med diametre op til 9 meter. Den mest solgte HVLS ventilator til kvægstalde har en diameter på ca. 5 meter.



De små ventilatorer har en meget større omdrejningshastighed for at flytte en given luftmængde sammenlignet med HVLS ventilatorer. Derfor er støjniveauet i en kvægstald meget højere, hvis der er cirkulationsventilatorer sammenlignet med HVLS ventilator.



*Figur 5.2 Køling med lufthastighed i kvægstalde. Til venstre: Række af cirkulationsventilatorer*

*Til højre: HVLS ventilator. Kilder: <https://usagnet.com/sturdybuiltmfg/ventilation/fans.php>, <https://www.youtube.com/watch?v=xalOwcfnhxA>*

## **5.2. USA og Europa**

HVLS ventilatorer er nærmest ikke eksisterende i Europa, sammenlignet med USA, hvor salget har været eksponentielt øget de senere år. Der forventes en fortsat årlig stigning på 15%. I 2019 var salget 100.000 HVLS ventilatorer fra den største producent i USA. Det øgede salg skyldes først og fremmest, at markedet ikke blot er kvægstalde, men i høj grad andre højloftede rum, hvor folk bevæger sig rundt.

Ligesom for køer, medfører for høje temperaturer for mennesker også reduceret produktivitet. Et nøgletal for mennesker er, at arbejdet falder 5% ved 25 °C og 15% ved 30 °C, så udover øget komfort, vil HVLS kunne bidrage til øget produktivitet. Om sommeren kan lav clo-værdi – altså sommerbeklædning gøre forholdene mere tålelige, men i lagerbygninger, fabrikshaller mv. er det oftest nødvendigt for medarbejderne at bære lange bukser, sikkerhedssko, handsker mv., så her vil HVLS ventilatoren være nyttig.

I Sydeuropa hvor det ofte er varmt hele dagen er det lettere at styre HVLS ventilatoren for her vil der være mindre risiko for at HVLS fanen skaber negativ træk, idet der kan være overtemperatur hele dagen.



I Nordeuropa var det udenfor kvægstalde sjældent at se HVLS ventilatorer, da projektet startede i 2020 (ansøgning skrevet i 2019). Der fandtes heller ingen styring der kunne håndtere det omskiftelige klima i Nordeuropa, hvor der indenfor selvsamme dag kunne være behov for varme på et tidspunkt og køling på et andet tidspunkt.

I højloftede lokaler vil HVLS fanen både kunne reducere energiforbruget om sommeren og om vinteren. Om sommeren kan spares energi, idet køling med HVLS ventilatorer bruger langt mindre energi end dyre airconditionanlæg. Om vinteren spares energi, idet HVLS ventilatoren kan forhindre, at der er en temperatur gradient i det højloftede rum, hvor al varmen ligger oppe under loftet, mens kaloriferer i opholdszonen kører for at skabe ønsket komforttemperatur.

I det nordeuropæiske marked er der til sportshaller et potentielt marked for 63.000 HVLS ventilatorer til 1,9 milliard kr. Hertil kommer de øvrige højloftede industrilokaler, lagerbygninger, arkader og tilsvarende i lagerbygninger og industrihaller åbnes porte ofte til det fri, og i de tilfælde vil airconditionanlæg også vanskeligt kunne fungere. Men ved anvendelse af HVLS ventilatorer, vil åbne porte ikke være et problem – det vil endog være fordelagtigt i køle- og luftkvalitetssammenhænge, da udeluften når porten åbnes, hurtigt vil fordeles ensartet i hele rummet.

### **5.3. Resumé**

HVLS står for High Volume Low Speed, dermed henleder navnet HVLS ventilator til, at der flyttes store luftmængder ved lav luft hastighed.

En HVLS ventilator har en diameter på over 2 meter og må ikke forveksles med de små loftsventilatorer, der ses på barer, hoteller og andre steder i Sydeuropa og Amerika.

HVLS ventilatoren blev først udviklet til kvægstalde i Californien og udbredes nu til andre brancher. Før dette projekt startede, var der ikke udviklet HVLS ventilator med styring til højloftede lokaler udenfor landbruget tilegnet det Nordeuropæiske klima.

HVLS ventilatoren, der udvikles i dette projekt, er til højloftede lokaler placeret i Nordeuropa, og den vil udover øget komfort kunne give reduceret energiforbrug både sommer og vinter.



## **6. CFD beregninger og analyse af vingedesigns**

Kapitlet indeholder en beskrivelse af CFD beregninger udført mhp. undersøgelse af luftstrømningsbilledet i et lokale ved anvendelse af for forskellige vingedesign. Udover forskellige vingedesigns foretages også beregninger for forskellige længder af propelbladene, samt forskellige antal blade på den enkelte HVLS ventilator. Ligeledes er der foretaget beregninger af luftstrømningsbilledet ved placering af HVLS ventilatoren i forskellige højder.

På basis af CFD beregninger, materiale valg (aluminium eller glasfiber) og design (potentiel kundevurdering) blev det besluttet at sætte nye vinger i produktion.

Der blev fremstillet forme til egenproduktion af de nye aluminiumsvinger.

### **6.1. Grundlag for CFD beregninger**

Der har været gennemført CFD beregninger i 3 runder:

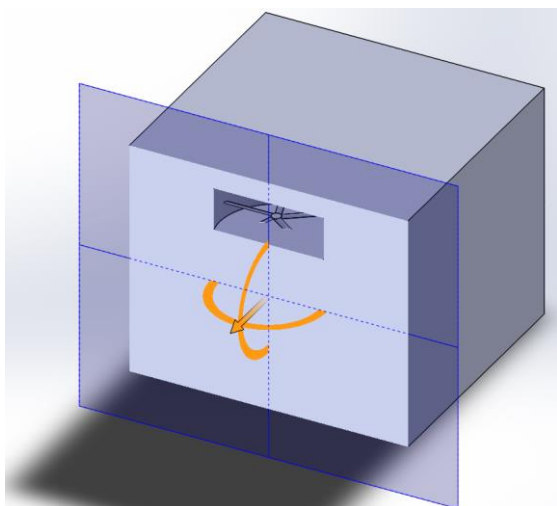
- 1) Beregninger for vinger med samme profil i hele længden (samme kordelængde og samme angrebsvinkel fra nav til tip)
- 2) Beregninger for vinger med varierende kordelængde og angrebsvinkel fra nav til tip.
- 3) Beregninger ved placering af HVLS fan i forskellige højder i rummet, forskellig antal blade, forskellige diametre.

Beregningerne er foretaget for begge omløbsretninger, dvs. nedadrettet strømning og opadrettet strømning.

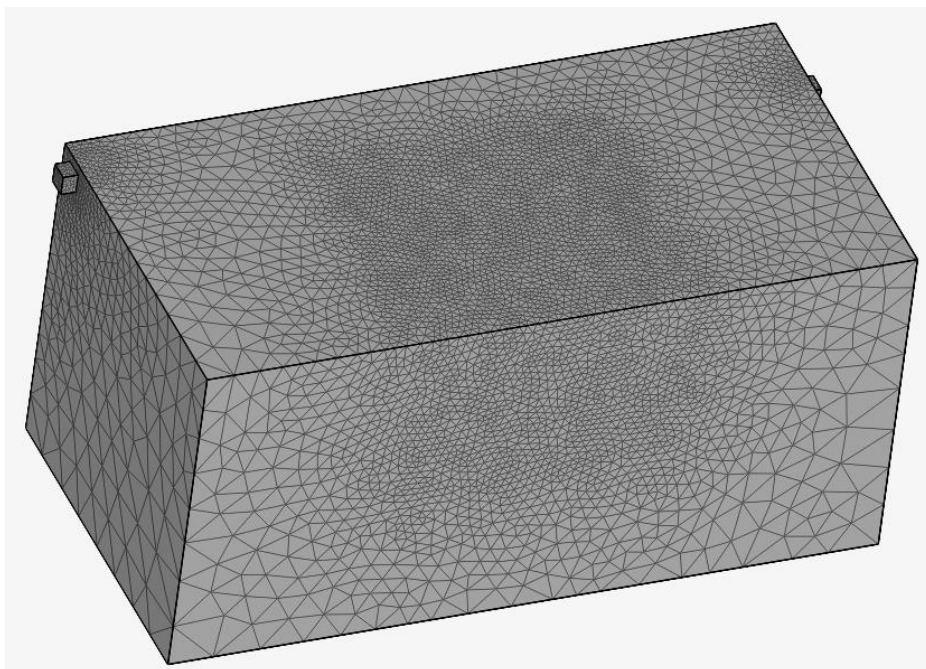
Beregningerne blev foretaget for en rumgeometri svarende til testrummet, der skulle anvendes til validering af beregningerne. Testrummet er nærmere beskrevet i kapitel 7, men det er 7 meter bredt, 14 meter langt og loftshøjden er 6,7 meter til underkant af bærende betonbjælker og 7,2 meter til loftet.

HVLS ventilatoren er placeret midt i rummet.

Der er ved CFD beregningerne anvendt et grid med 961.000 celler og øget gridnet tæthed omkring selve ventilatoren; jævnfør Figur 6.2.



Figur 6.1 - Snit i luftfysisk lokale med anvisning af vingeplacering. BxLxH = 7m x 14m x 6,7m.



Figur 6.2 - Anvendt gridnet med 961.000 celler og øget gridnet tæthed omkring selve ventilatoren.

Der er anvendt k-omega SST turbulensmodel\*se fodnote.



Fodnote\*: <sup>{fodnote 1}</sup> *k - omega SST turbulensmodel: K-omega (k- $\omega$ ) model is one of the most commonly used turbulence models. It includes two additional transport equations to represent turbulent properties of flow to account for history effects like convection and diffusion of turbulent energy. The transport variable  $k$  determines the energy in turbulence and  $\omega$  determines the scale of turbulence.*

*The basic k- $\omega$  model can be used for boundary layer problems, where the formulation works from the inner part through the viscous sub-layer until the walls. Hence the k- $\omega$  SST model can be used as a low Reynolds flow applications without additional damping functions. SST stands for Shear Stress Transport. The SST formulation also switches to a k- $\epsilon$  behaviour in the free-stream, which avoids that the k- $\omega$  problem is very sensitive to the inlet free-stream turbulence properties.*

*The k- $\omega$  SST model also accounts for its good behaviour in adverse pressure gradients and separating flow. It produces some large turbulence levels in regions with large normal strain, like stagnation regions and regions with strong acceleration. This effect is much less pronounced than with a normal k- $\epsilon$  model though. The SST model has the ability to account for the transport of the principal shear stress in adverse pressure gradient boundary-layers.*

Ved at betragte kommercielle ventilatorer (aksialblæsere) og vindmøller, er ønsket design diskuteret, og det blev besluttet dels at gå videre med et design à la vingen midt i øverste række og vingen nederst til venstre i Figur 6.3.



Figur 6.3 - Forskellige designs af vinger til visuel debat.



Der er udviklet et avanceret vingedesign værktøj i MathCAD med udgangspunkt i værket: "Ventilatoren – Entwurf und Betrieb der Radial-, Axial- und Querstromventilatoren", Dr. Ing. Bruno Eck i et samarbejde mellem DTU (Ballerup) og Teknologisk Institut. Værktøjet bygger i princippet på den anerkendte *Free Vortex* metode, hvor vingen designes efter ens præsteret arbejde, set over hele vingen fra nav til tip. Da vingehastigheden varierer fra nav til tip, bliver vingebredde (kordelængde) og angrebsvinkel også forskellig.

De beregnede basisdata (angrebsvinkel og kordelængde i 10 vingesnit) anvendes videre til design af egentlig vinge med baggrund i den internationale vingedatabase <http://airfoiltools.com/airfoil> . Programmet genererer {R, X, Y} data for de 10 snit i vingen. Disse data anvendes videre i 3D CAD-programmet Solid Works til tegning af komplet vinge ved hjælp af interpolation mellem de enkelte snit i vingen.

Input værdier til MathCAD programmet for nye vindmøllelignende vinger er hentet med baggrund i de første CFD-beregninger og test heraf i laboratorie på Teknologisk Institut; jf. kapitel 7.

## 6.2. Resultater af vingedesign og CFD beregninger

Overordnet betragtet er der resultater for kørsel af CFD beregninger for:

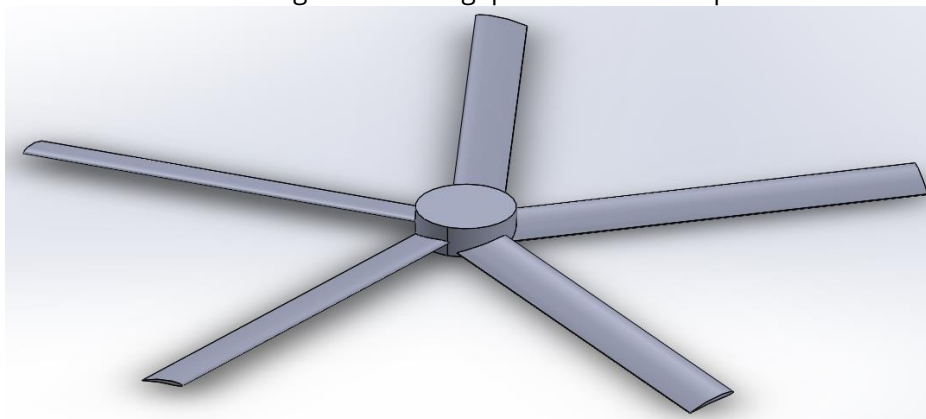
- 2 vingeprofiler (se Figur 6.3)
- 4 forskellige omdrejningshastigheder (Tabel 6.1)
- 2 forskelle vingeanstal (5 og 6 vinger)
- 2 diametre (3 meter og 5 meter)

Kørsel	Speed, %	Speed, omdr./min.	CFD Kørsels navn
1	40	51	Run2
2	60	76	Run4
3	80	100	Run5
4	100	127	Run6

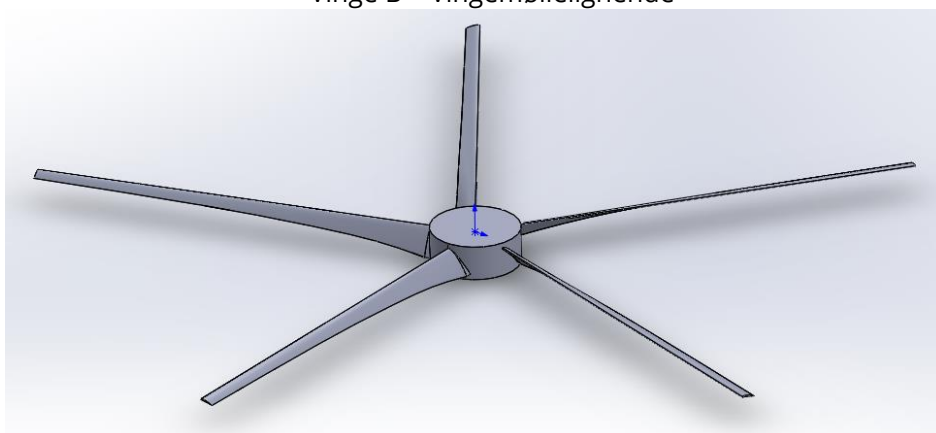
Tabel 6.1 - Fire forskellige omdrejningshastigheder undersøgt



Vinge A – Ens vingeprofil fra narv til tip



Vinge B – Vingemøllelignende



Figur 6.4 - To forskellige vinger blev analyseret ved CFD beregninger

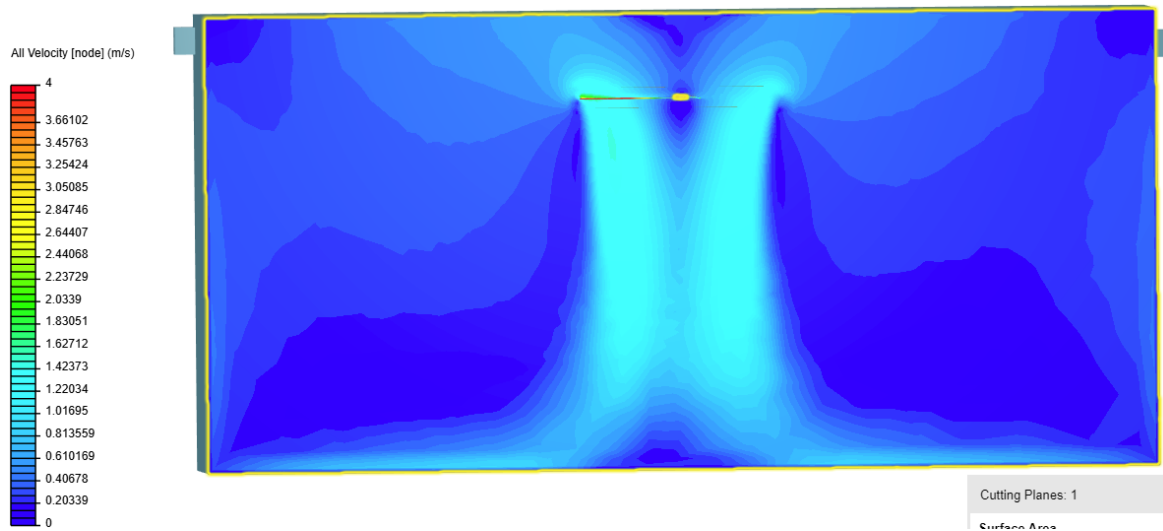
I det følgende vises resultaterne for udvalgte kørsler. Som udgangspunkt anvendes 5 vinger og en diameter på 3 meter. Når der vises plot med større diameter og flere vinger, vil dette antal være nævnt.

Der er anvendt den samme farveskalering 0 – 4,0 m/s for alle plot der viser CFD beregnede lufthastigheder i rummet. Det har fordele og ulemper. Fordelen er en lidt nemmere indbyrdes sammenligning.

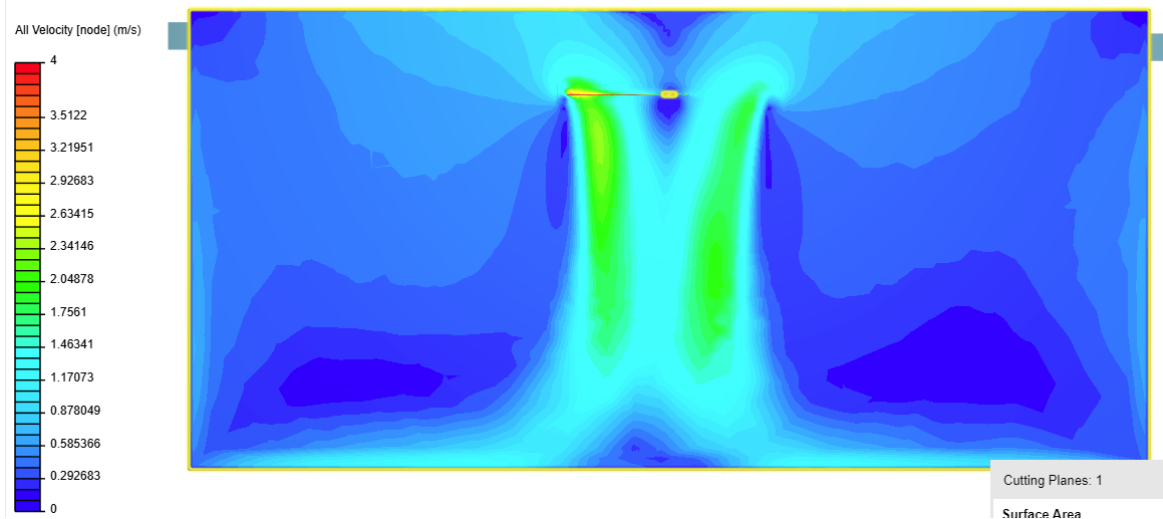
De efterfølgende plot viser et lodret længdesnit direkte gennem centrum af ventilator.



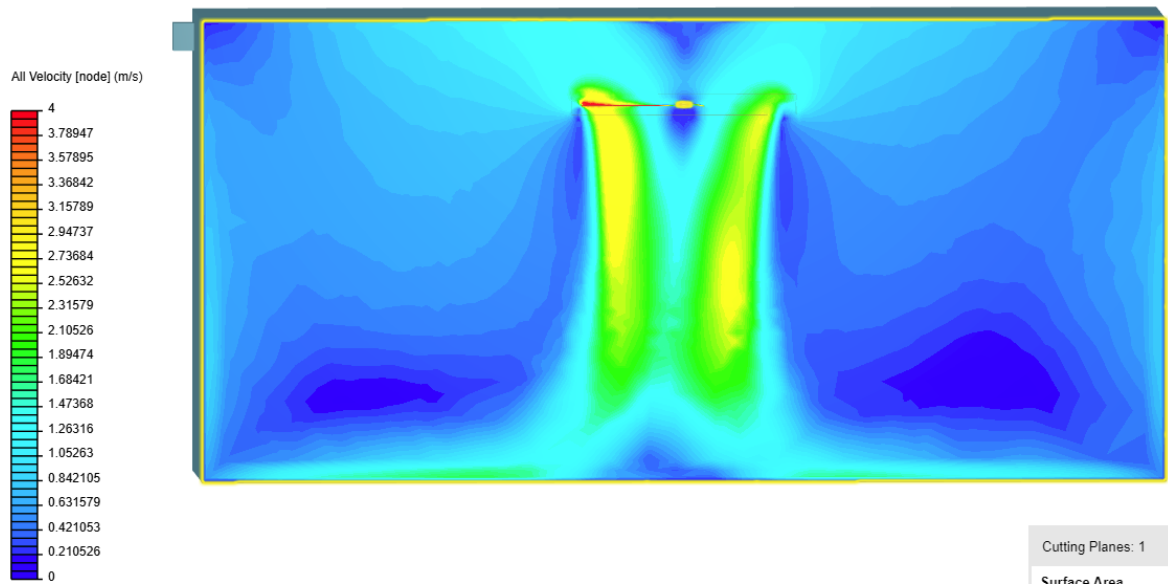
### 6.2.1. CFD-kørsler med vinge A



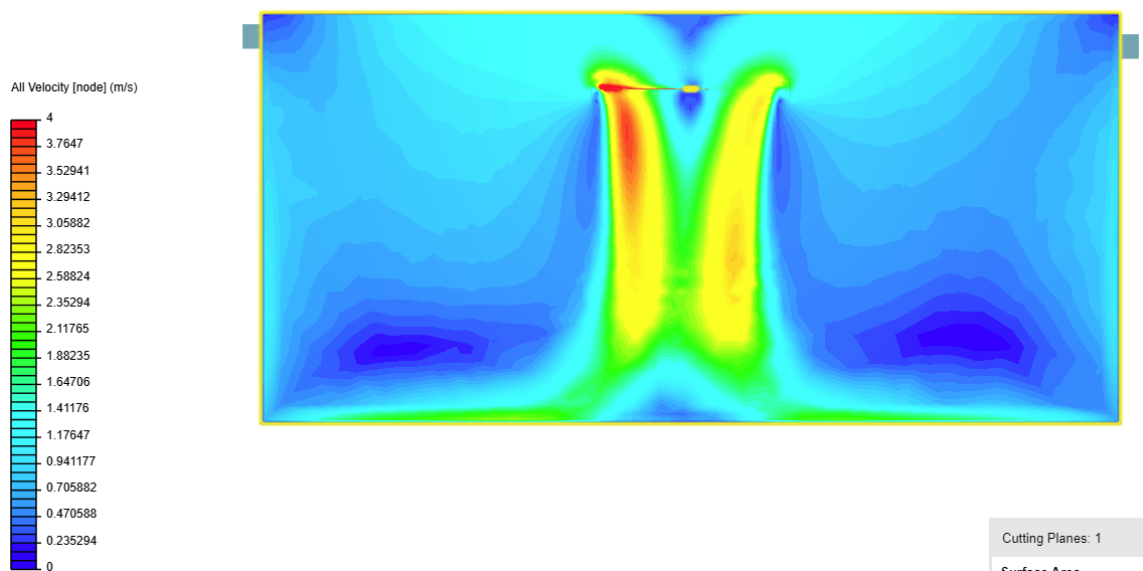
Figur 6.5 - Vinge A. Run 2: 40%, 51 omdr./min.



Figur 6.6 - Vinge A. Run 4: 60%, 76 omdr./min-



Figur 6.7 - Vinge A. Run 5: 80%, 100 omdr./min

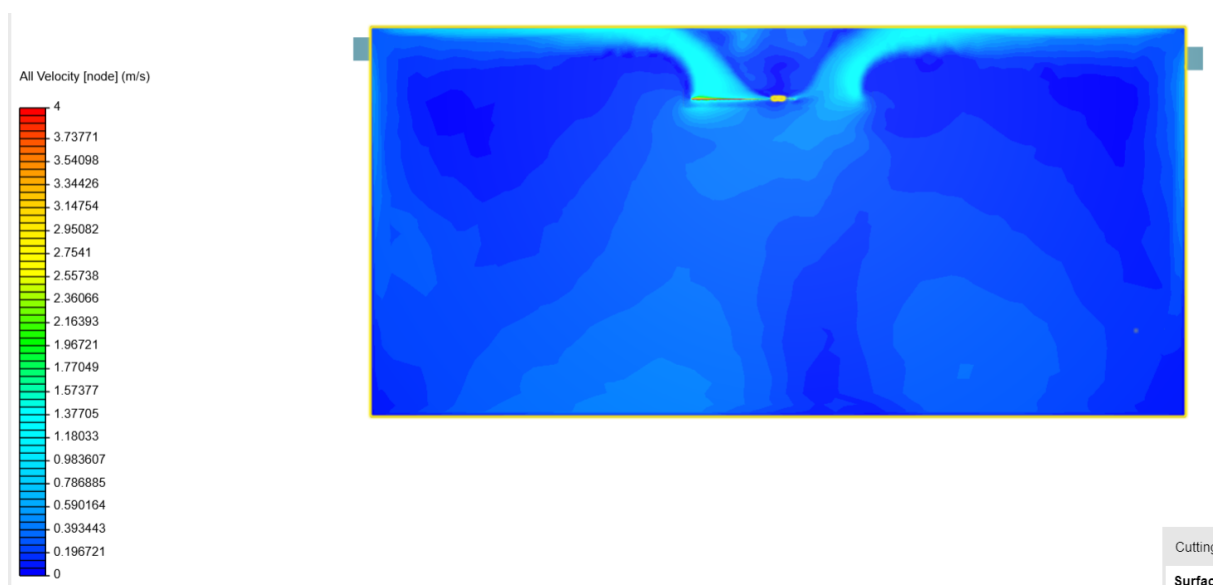


Figur 6.8 - Vinge A. Run 6: 100%, 127 omdr./min.



De udførte simuleringer viser et meget ensartet strømningsbillede uanset rotationshastighed. Strømningsfeltet er stort set begrænset til området indenfor ventilatordiameteren indtil luften rammer gulvet.

### 6.2.2. CFD-kørsel med vinge A med omvendt rotation

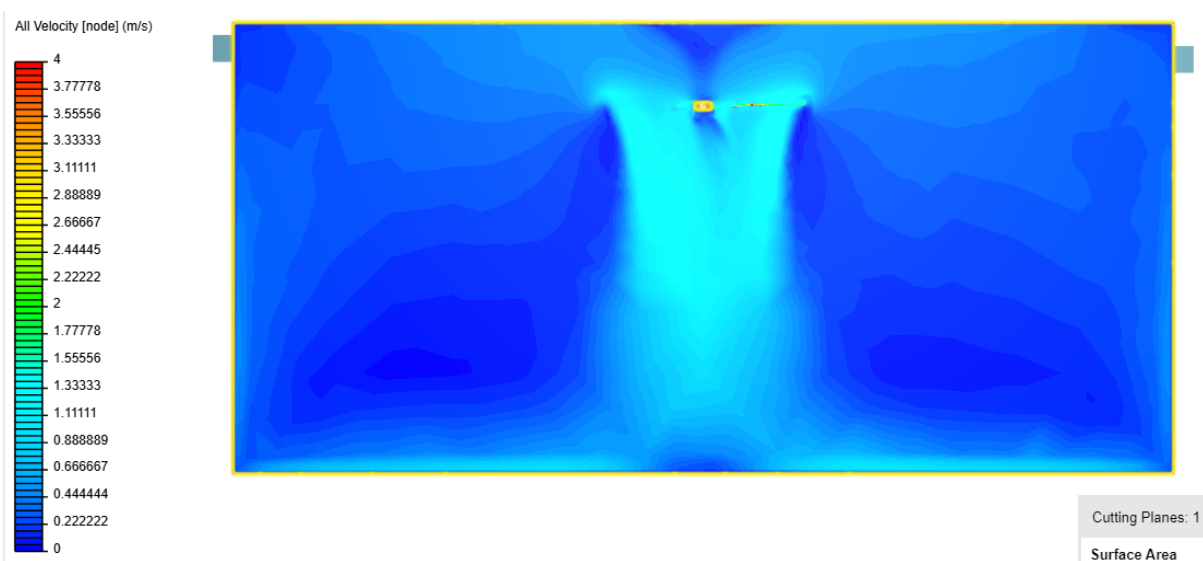


Figur 6.9 - Vinge A. Run 1 (revers): 60 omdr./min. og modsat rotationsretning.

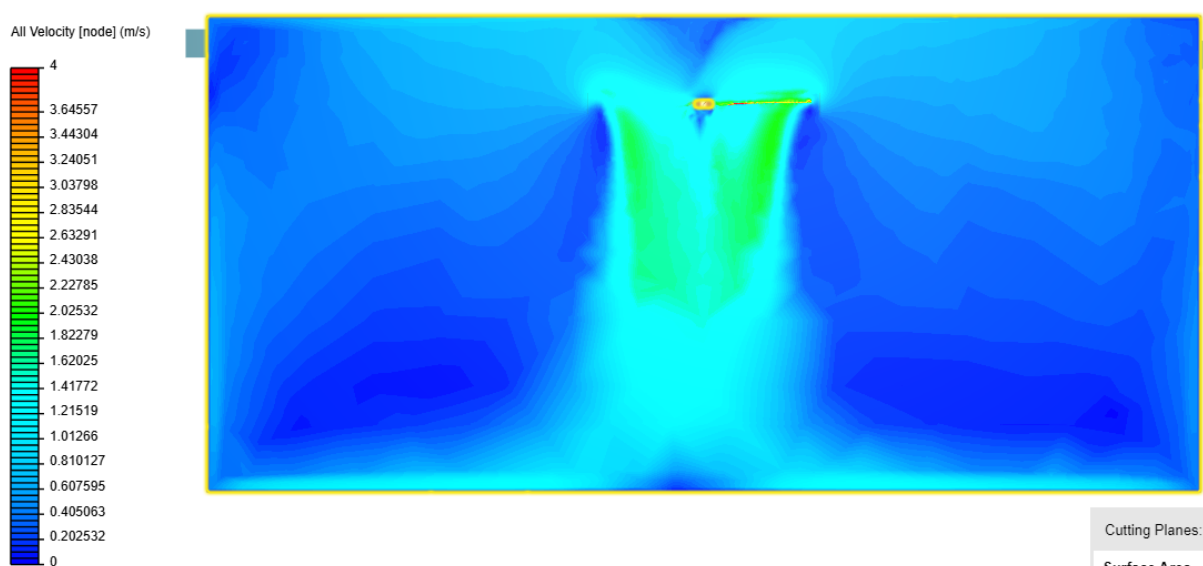
Når vingen roterer den anden vej rundt, kan der skabes flytning af luftmængder og opnås relativt ensartede lufthastigheder i opholdszonen. Det vil kunne bryde en termisk stratificering, hvor den varme luft ligger oppe under loftet.



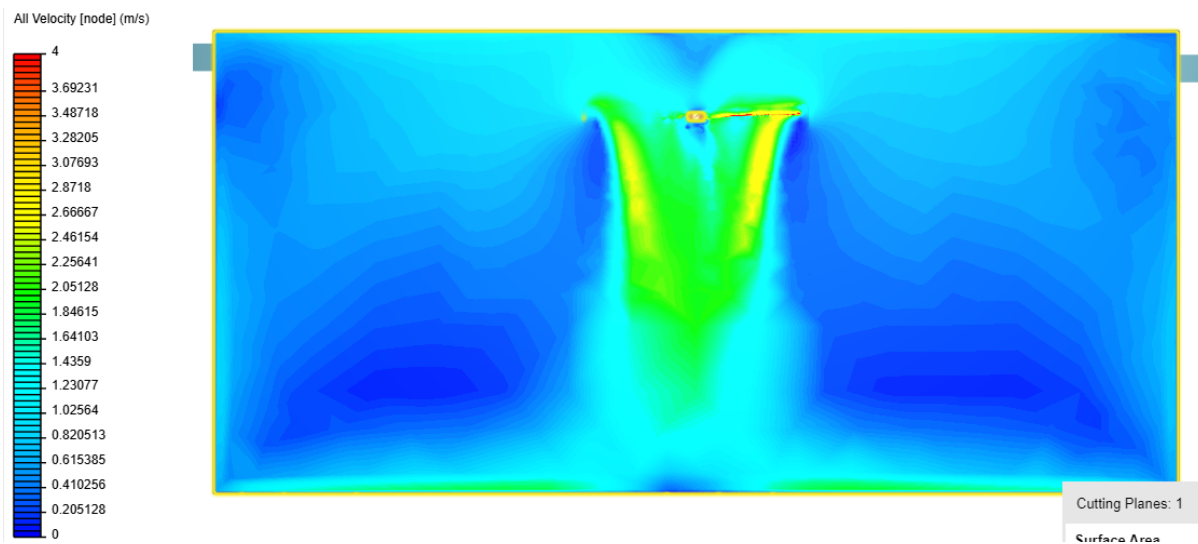
### 6.2.3. CFD-kørsel med vingemodel B med 5 vinger på nav (vindmøllede- sign)



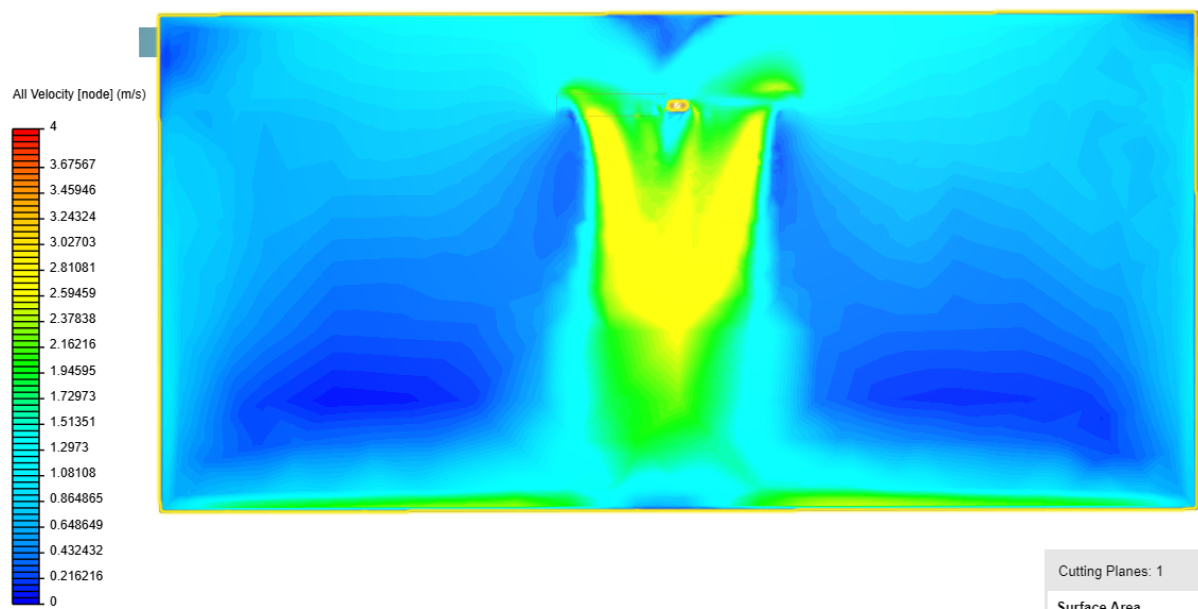
Figur 6.10 - : Vingemodel B med 5 vinger på nav. Run3: **40%**, 51 omdr./min.



Figur 6.11 - Vingemodel B med 5 vinger på nav. Run4: **60%**, 76 omdr./min.



Figur 6.12 - Vingemodel B med 5 vinger på nav. Run5: **80%**, 100 omdr./min.



Figur 6.13 - Vingemodel B med 5 vinger på nav. Run6: **100%**, 127 omdr./min.

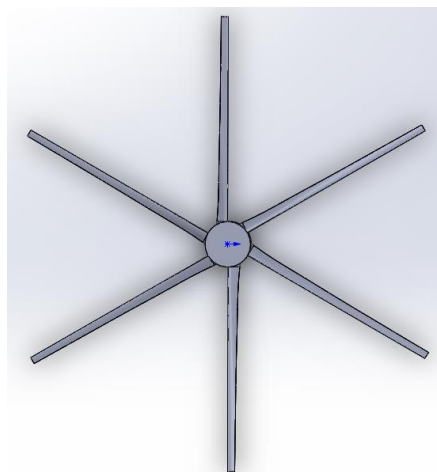
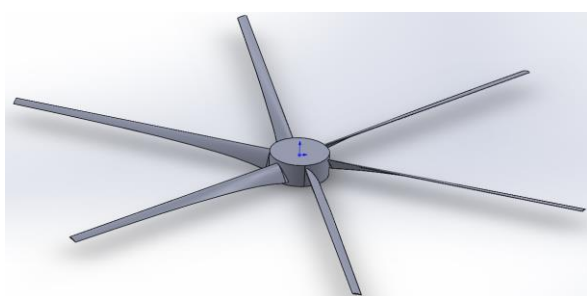
Det nye vingedesign designet med inspiration fra vindmøller, giver et lidt jævner flowprofil end designet med ensartet vingeprofil fra nav til tip, vurderet ud fra de udførte CFD-beregninger. Her ved kan det "interne" flow øges lidt mere uden det giver problemer med komforten i opholdszonen.



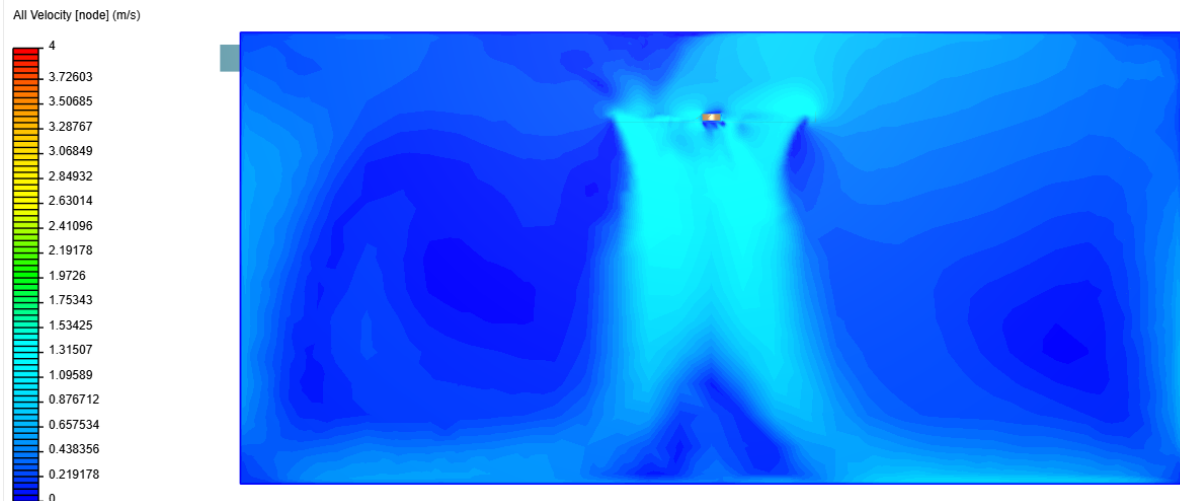
#### 6.2.4. CFD-kørsel med vingemodel 2 med 6 vinger på nav (vindmøllede-sign)

Nordicco A/S foreslog en CDF beregning af det nye vindmøllelignende design, men med 6 vinger påmonteret nav i stedet for 5 vinger, som vist i Figur 6.13.

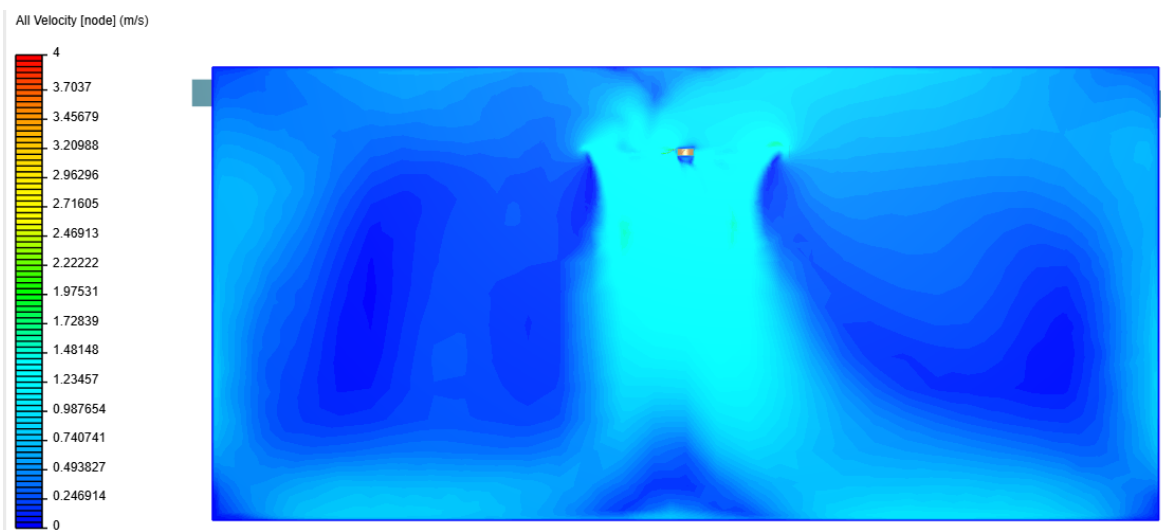
Det skyldes den salgsmæssige psykologiske faktor, at ventilatorer med mange vinger sælger bedre end ventilatorer med få vinger, specielt når det nye vindmøllelignende design er en relativ slank konstruktion i forholdt til en vinge hvor profilet i hele er ens fra nav til tip.



Figur 6.14 - Vingemodel B med 6 vinger



Figur 6.15 - Vingemodel B med 6 stk. vinger på nav. Run1: 40%, 51 omdr./min.



Figur 6.16 - . Vingemodel 2 med 6 stk. vinger på nav. Run2: 60%, 76 omdr./min.

Dette vindmøllelignende vingeprofil giver et lidt mere jævnt hastighedsprofil, sammenlignet med et vingeprofil med ensartet vinge fra narv til tip. Det vil være muligt at cirkulere større luftmængder, da en større del af ventilatorens "areal" udnyttes.



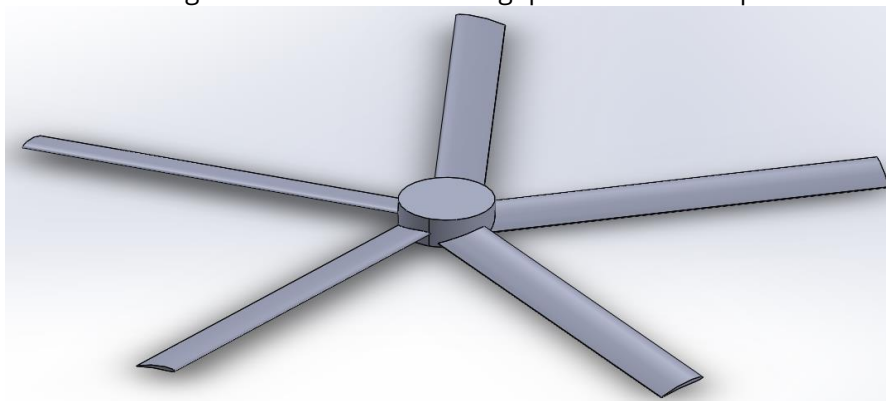
### 6.2.5. CFD-kørsel med vingemodel A med Ø5 meter vinge

For to ligedannede ventilatorer med samme omdrejningstal stiger luftstrømmen i henhold til proportionalitetslovene med diameterforholdet i tredje potens. Det bevirker at omdrejningstallet for denne 5 meter ventilator burde kunne reduceres betydeligt ved placering i samme testlokale som for 3 meter ventilatoren.

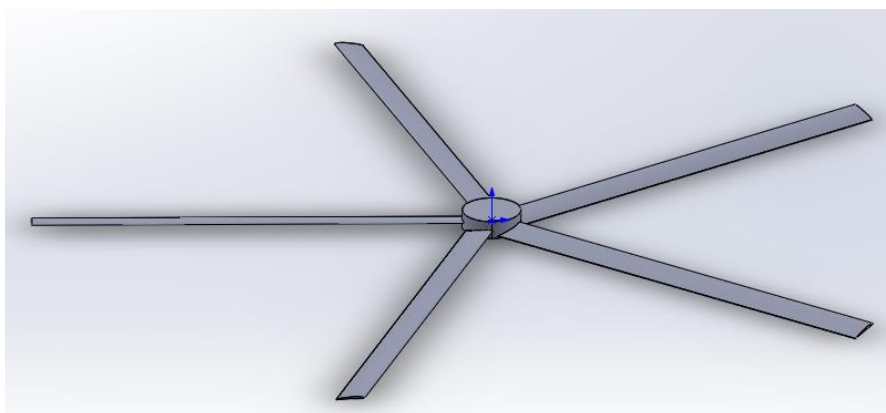
Der er foretaget flere CFD-simuleringer med forskellige omdrejningstal.

Geometrisk set er vingen præcis den samme som 3 meter vingen.

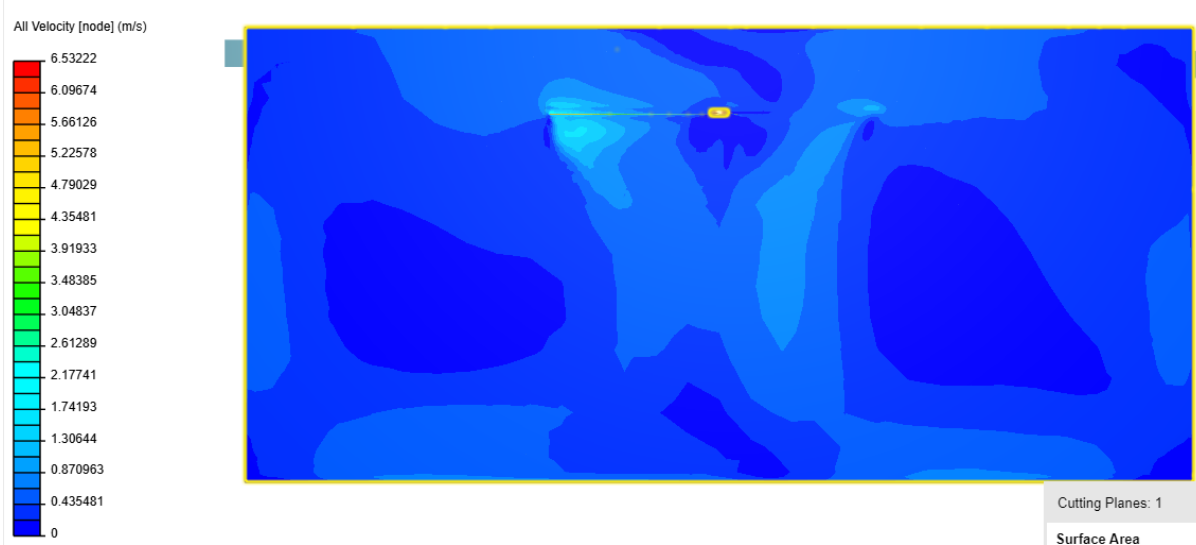
Vinge A - Ø 3 meter- Ens vingeprofil fra nav til tip



Vinge A - Ø 5 meter- Ens vingeprofil fra nav til tip

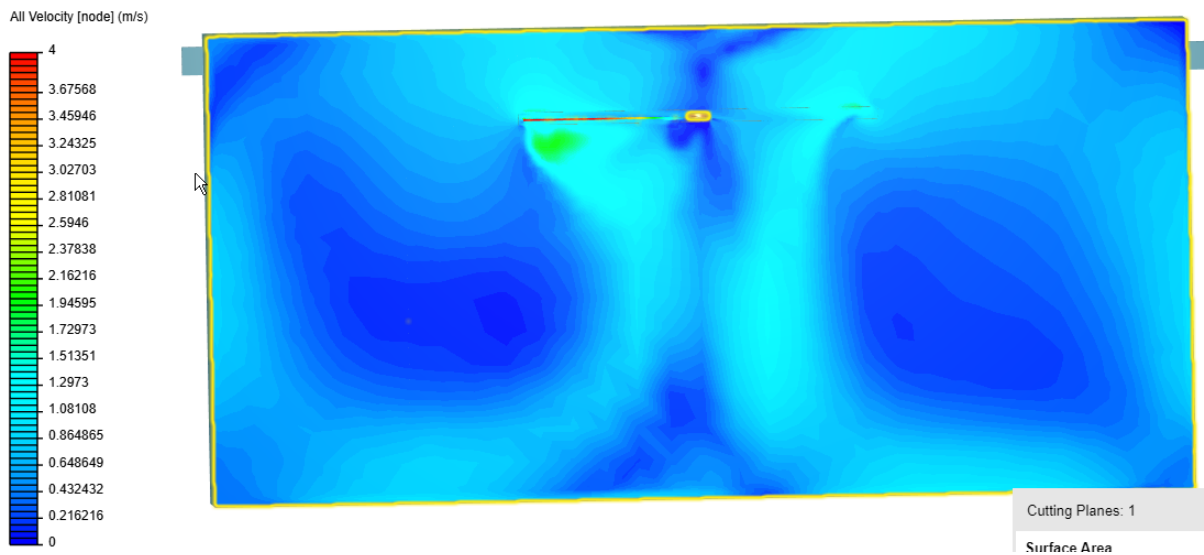


Figur 6.17 - To ens vingeprofiler, men med forskellige diametre



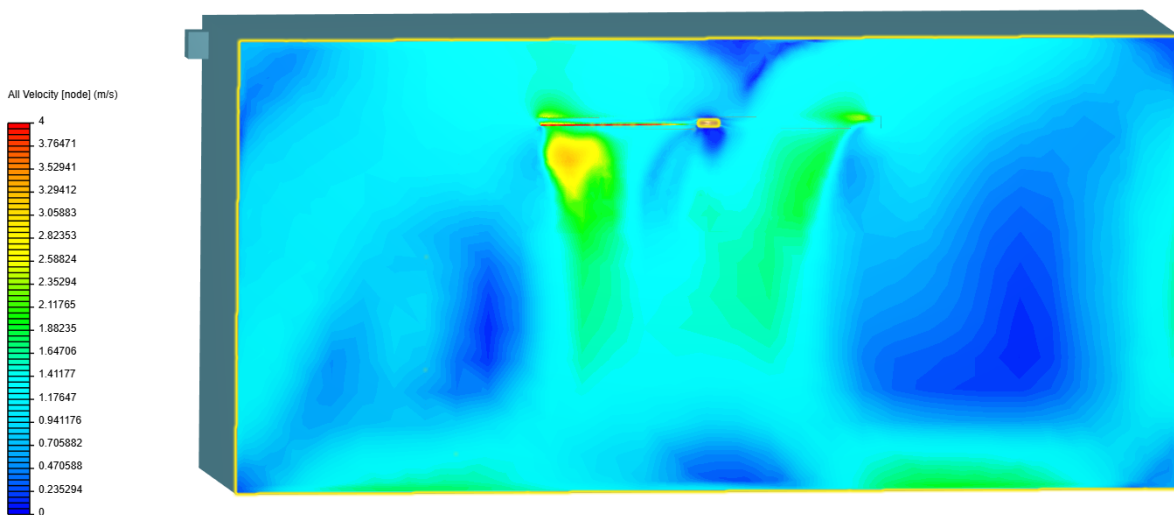
Figur 6.18 - Vinge A, Ø5m, 20 omdr./min.

Ventilatoren kan skabe tilstrækkelig cirkulation i lokalet ved blot 20 omdr./min. Ved lufthastigheder højere end 0,8 m/s i opholdszonen, vil papir på skrivebord sandsynligvis kunne flyve væk. Men nu er der tale om højloftede lokaler, hvor folk går rundt – fx lagerbygning, fabriksbygninger, glasarkader mv. og derfor vil højere lufthastigheder skabe komfort på varme sommerdage.

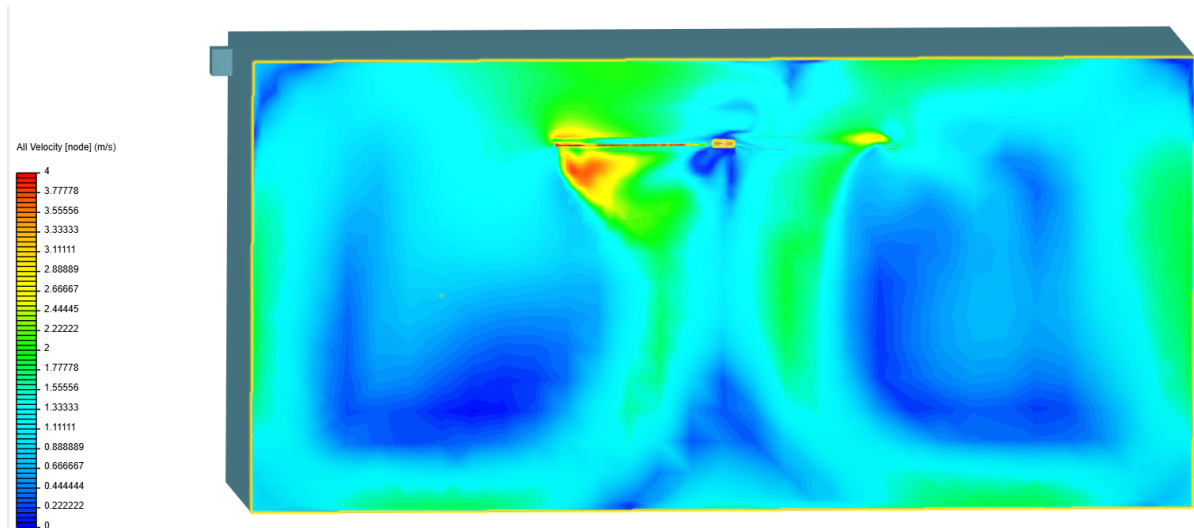


Figur 6.19 - Vinge A, Ø5m, 30 omdr./min.

Resultatet viser en relativ kraftig luftcirkulation i hele lokalets opholdszone og op langs væggene. Det forekommer, at luftstrålen lige under ventilatoren "klapper" lidt mere sammen end for Ø3 meter ventilatoren.



Figur 6.20 - . Vinge A, Ø5m, 49 omdr./min.



Figur 6.21 - Vinge A, Ø5m, 60 omdr./min.

Ved et omdrejningstal på 60 omdr./min. er der tydeligvis to cirkulationszoner med relativ høje luft-hastigheder i opholdszonen, og der er sandsynligvis også begyndende problemer med den aktuelle placering under loftet med hensyn til skæv tilstrømning af luft til ventilatoren. I en praktisk installation skulle ventilatoren nok placeres i lidt større afstand fra loftet.

### 6.3. Sammenfatning af CFD beregninger og valg af vinge

De udførte simuleringer viser umiddelbart et relativt ensartet strømningsbillede, uanset rotations-hastighed. Der er en tøndeformet nedadgående luftstrøm med en diameter svarende til diameteren på HVLS ventilatoren. Dette illustrerer, at jo større diameter en HVLS ventilator har, des større er den nedadgående luftstrøm. Den nedadgående luftstrøm skal være tilstrækkelig stor til at der i tillæg skabes en horisontal luftstrøm således, at der i opholdszonen opnås øget lufthastighed både under og mellem ophængte HVLS ventilatorer.

Ved at køre HVLS ventilatoren baglæns (modsat rotation), kan der flyttes store mængder luft uden at det giver træk i opholdszonen (Figur 6.9). Det er en særlig vigtig funktion for det Nord europæiske klima.



Er der meget højt til loftet (fx 15-20 meter), kan der selv om vinteren ved lavt omdrejningstal etableres nedadgående luftstrøm, hvis blot den nedadgående luftstrøm er opløst, inden den når opholdszone.

De to udviklede vingedesigns adskiller sig fra hinanden designmæssigt (Figur 6.4). Det ene har samme vingedimensioner og angrebsvinkel fra nav til tip. Det andet vingedesign minder mere om vindmøllevinger, hvor vingen designes efter ens præsteret arbejde over hele vingen fra nav til tip. Det udviklede vindmøllelignende design, giver anledning til et lidt jævner hastighedsprofil, vurderet ud fra CFD beregninger.

Hvis der ydermere kobles en ekstra vinge på det vindmøllelignende vingedesign (6 i stedet for 5 vinger), fås et endnu mere jævnt hastighedsprofil under HVLS ventilatoren (Figur 6.15 og Figur 6.16). CFD beregningerne viser også, at vælges der til et givet lokale en længere vinge (vinge profil det samme), skal rotationshastigheden sænkes (Sammenlign Figur 6.6 "Ø3 og 40 omdr./min" med Figur 6.20 og Figur 6.21 "Ø5 og 20-30 omdr./min.").

Man skal også undgå at HVLS ventilatoren hænger for tæt på loftet, i forbindelse med flytning af store luftmængder (store vinger og høj omdrejningshastighed). Et eksempel herpå er vist i Figur 6.21, hvor tilluften over vingen vanskeliggøres ved at den hænger for tæt på loftet i forhold til vingediameteren på 5 meter og omdrejningstallet på 60 omdr./min. Ligeledes ses på samme foto, at returstrømmen op langs væggen bliver meget høj, hvilket kræver unødvendig energi.

I projektgruppe blev de forskellige vingedesigns vurderet. Generelt gav det vindmøllelignende design med 6 blade det mest jævne hastighedsprofil. Det vil være muligt at cirkulere større luftmængder, da en større del af ventilatorens "areal" udnyttes.

De aktuelle genererede hastigheder vil ikke blive kommenteret her, men i det efterfølgende kapitel, hvor resultat af CFD beregninger sammenlignes med aktuelle målinger i luftfysisk laboratorium.

Omvendt var holdningen, at det lige profil viste enkelthed, og at det kunne være mere tiltalende for de fleste købere. Til sidst men ikke mindst viste CFD beregningerne, at vingens diameter er meget vigtig i forhold til rumdimensioner, og det vil være lagermæssigt dyrt at skulle have mange forskellige længder af vindmøllelignende vinger liggende på lager. Her ville det være nemmere at have ét profil og skære det til efter dimensioner på lokalet, hvor en eller flere HVLS ventilator skal monteres.

Det blev besluttet at fremstille forme til egenproduktion af nye aluminiumsvinger.



## **6.4. Resume**

CFD beregninger viser, at den nedadgående luftstrøm har samme diameter som HVLS ventilatoren.

For at opnå ensartede lufthastigheder i opholdszonen er det bedre med lange langsomtgående vinger fremfor små vinger med højere omdrejningstal.

Beregningerne viste også, at hvis omdrejningstallet bliver for hurtigt, vil det ikke blive et tøndeprofil under HVLS ventilatoren, så vil den nedadgående luftstrøm mere have form som en trisse, som indsnævres på midten.

I store rum, hvor der kan anvendes stor diameter til HVLS ventilatoren, er det vigtigt at der er tilstrækkeligt med afstand mellem loft og vinge, for at undgå skæv tilstrømning af luft til ventilatoren.

På basis af CFD beregninger, materiale valg (aluminium eller glasfiber) og design (potentiel kundevurdering) blev det besluttet at sætte nye vinger i produktion.

Der blev efterfølgende fremstillet forme til egenproduktion af de nye aluminiumsvinger. Disse blev efterfølgende anvendt til målinger i afsnit 7.3.



## **7. Luftfysisk laboratorium og intelligent styringsstrategi**

I dette kapitel vil værdier i forbindelse med CFD-beregninger blive sammenlignet med praktiske målinger, med henblik på at afgøre om de er retvisende.

Dernæst vil standarder indenfor indeklima, der inddrager lufthastigheder, blive diskuteret og holdt op mod målinger og CFD beregninger.

Endelig opsættes parametre der skal indgå i en intelligent styring.

### **7.1. Laboratorium**

HVLS ventilatoren udvikles til et højloftet lokale såsom idrætshal, fabriksbygning, lager, butiksarkade og lignende.

Teknologisk Institut har indrettet et forsøgsrum til luftfysiske eksperimenter, og i hele forsøgsperioden blev det dedikeret til test og udvikling af vinger. Det indgik også i forbindelse med undervisningen på ventilationskurser (omtales senere under formidling – jævnfør kapitel 11).

Rummet har dimensionerne 13,90 meter langt, 6,80 meter bredt og 6,73 meter til underkant af bærende dragere og 7,15 meter til loftet.

HVLS ventilatoren blev hængt op i en af dragerne. Underkant af ventilator var 3,82 meter over gulvoverflade og 2,98 meter under loftdrager.

Over skydedøren i lokalet (til venstre Figur 7.1) blev der opsat en konstruktion med armeret plast, så strømningen fra HVLS ventilatoren kunne ske uforstyrret i et helt lukket rum.



*Figur 7.1 - Luftfysisk laboratorium med HVLS ventilator ophængt*

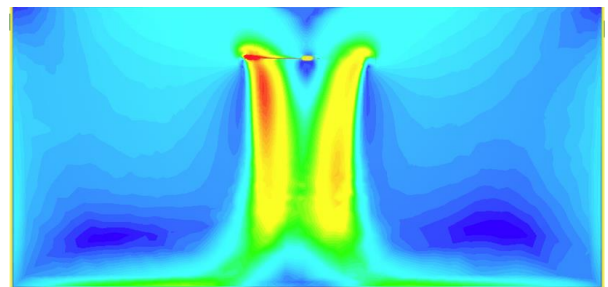
## 7.2. Røgforsøg

Det første der blev undersøgt efter ophængning af HVLS ventilator var luftstrømningsbilledet i rummet. Luftstrømninger blev anskueliggjort dels med små røgpinde, dels med røggenerator og endelig med et Ø10 cm ventilationsrør med varierende højde og ventilator i den ene ende til distribution af røgtildeling i flere højder over gulv.

Røgforsøgene kunne bekræfte CFD beregningerne. Når HVLS ventilatoren blæser nedad fremkommer der et tøndeformet luftstrømningsbillede, og langs vægge fremkommer der en opadgående strømning.

Der kunne også mærkes lufthastigheder i opholdszonen, især under HVLS ventilator og i aftagende grad ud mod ydervæggen.

Ved at lade ventilatoren kører i modsat rotation, kunne der flyttes luftmængden uden at der kunne mærkes lufthastigheder i opholdszonen.

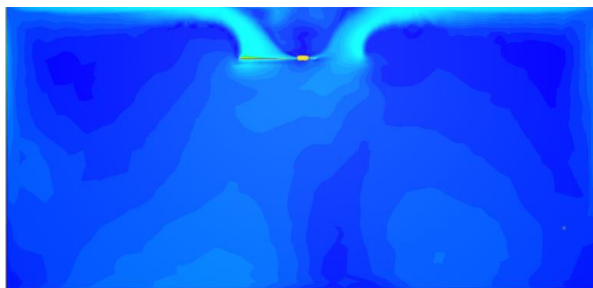


*Figur 7.2 - Røgforsøg når HVLS ventilator blæser nedad*

*To øverste fotos: Nedadgående luftstrømning registreres under HVLS ventilator*

*Foto nederst til venstre: Langs væg registreres opadgående luftstrøm*

*Foto nederst til højre: Røgforsøg bekræftede strømningsbillede genereret ved CFD beregninger*



*Figur 7.3 - Røgforsøg når HVLS ventilator blæser op mod loft*  
*Foto øverst til venstre: Under HVLS ventilator opadgående strømning*  
*Foto øverst til højre: Ved væg nedadgående luftstrøm*  
*Nederst: CFD beregninger af omvendt roterende HVLS ventilator*



### 7.3. Lufthastighedsmålinger og sammenligning med CFD beregninger

Der blev foretaget lufthastighedsmålinger dels med Dantec prober, og dels med Ultrasonic anemometer. De to typer instrumenter har hver især sine fordele. Fordelen ved Ultrasonic anemometer er, at det måler vindretningen på den målte lufthastighed og fordelen ved Dantec proberne er, at Teknologisk Institut har flere af dem, så der kan måles i flere punkter på en gang.

Teknologisk Institut råder over 16 Dantec prober, og der blev monteret 4 Dantec prober på 4 stænger i højderne 0,1; 0,6; 1,1 og 1,7 meter over gulv (Figur 7.4 til venstre). Ultrasonic anemometer blev placeret på en vandret stang, der var monteret mellem 2 lodrette stænger på hjul, så udstyr hurtigt kunne flyttes (Figur 7.4 til højre).

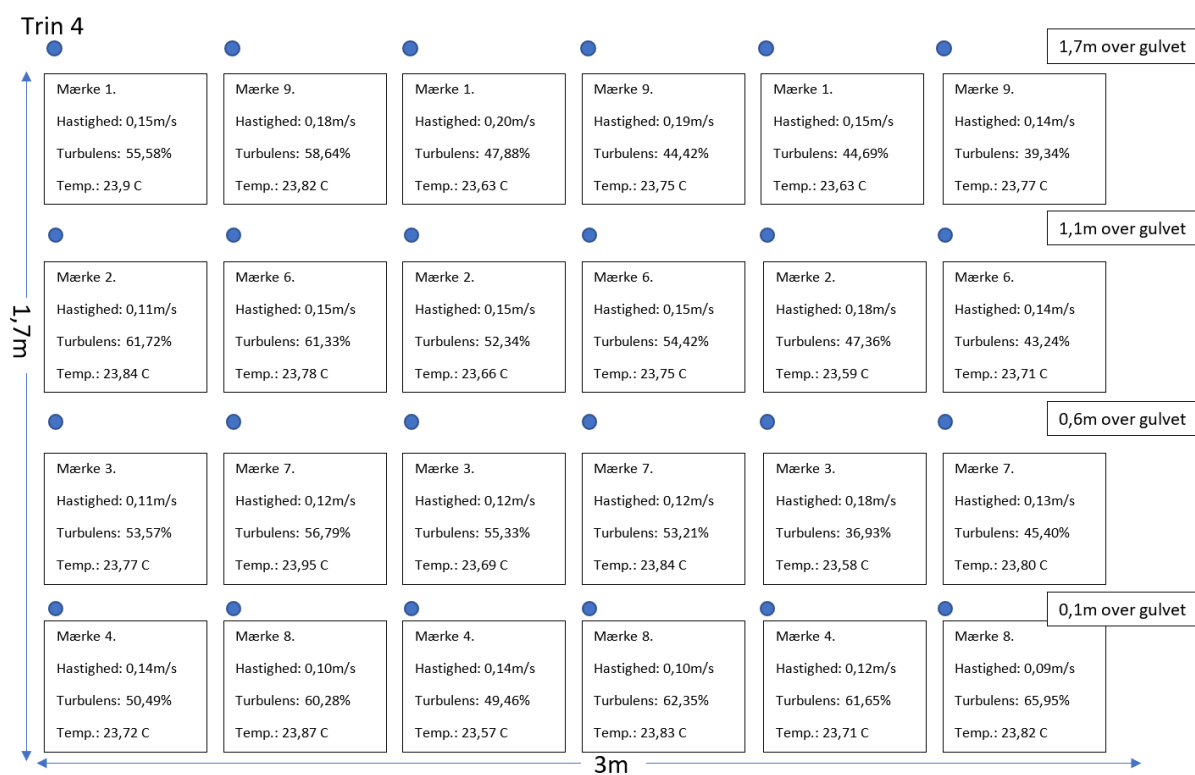


Figur 7.4 - Udstyr anvendt til lufthastighedsmålinger.

Foto til venstre: Målinger med Dantec hastighedsprober - Foto til højre: Målinger med Ultrasonic anemometer

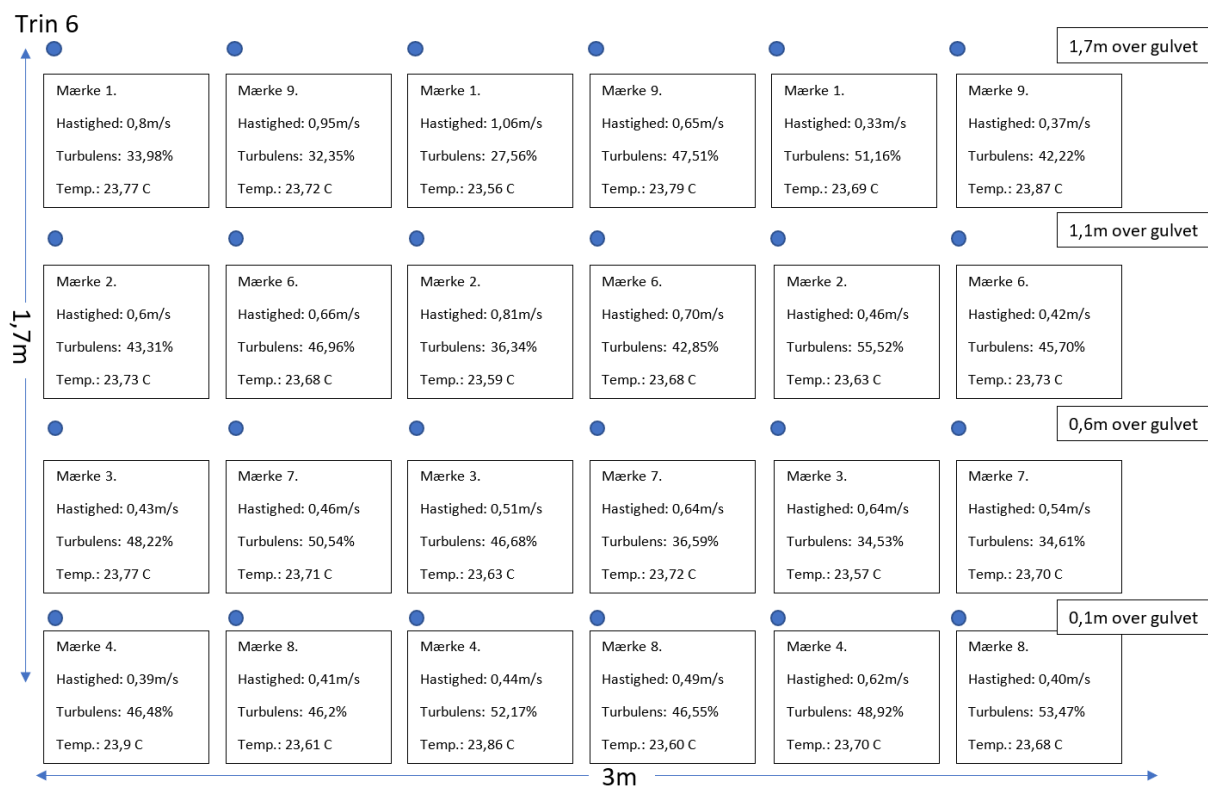


Der blev optegnet et kryds på gulvet med afstandslabels, hvorefter målingerne blev påbegyndt. Alle målingerne var fra centrum og ud mod væggen. Der blev udelukkende målt i opholdszonen og derfor ikke målt mere end 1,7 meter over gulv. På styringen er 10 trin, og der blev målt ved hvert hastighedstrin fra og med trin 4 til og med trin 10. På de følgende 7 figurer ses måleresultater fra styringens hastighedstrin 4 til 10.



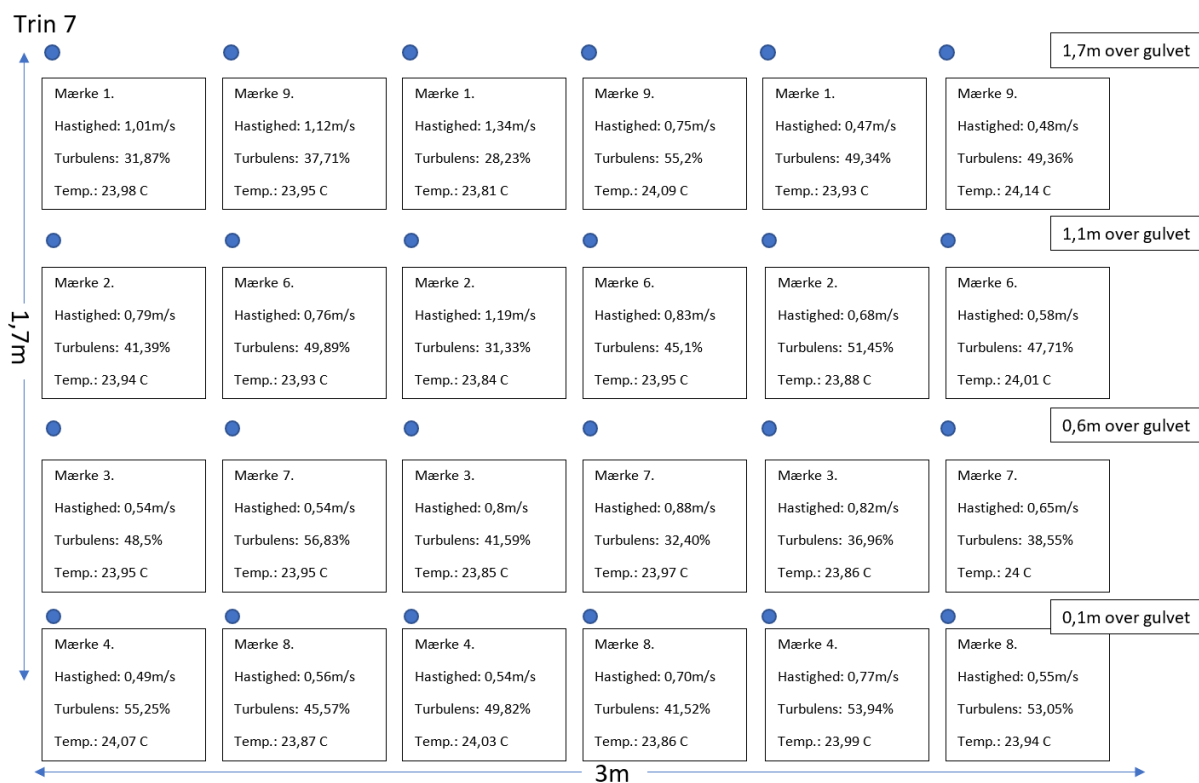
Figur 7.5 - HVLS ventilator indstillet til trin 4

Der er målt fra lokalemidte og 3 meter ud mod væggen (rummet er 6,8 meter bredt). Målingerne er taget for hver 50 cm. I højden er der målt 0,1; 0,6; 1,1 og 1,7 meter over gulv



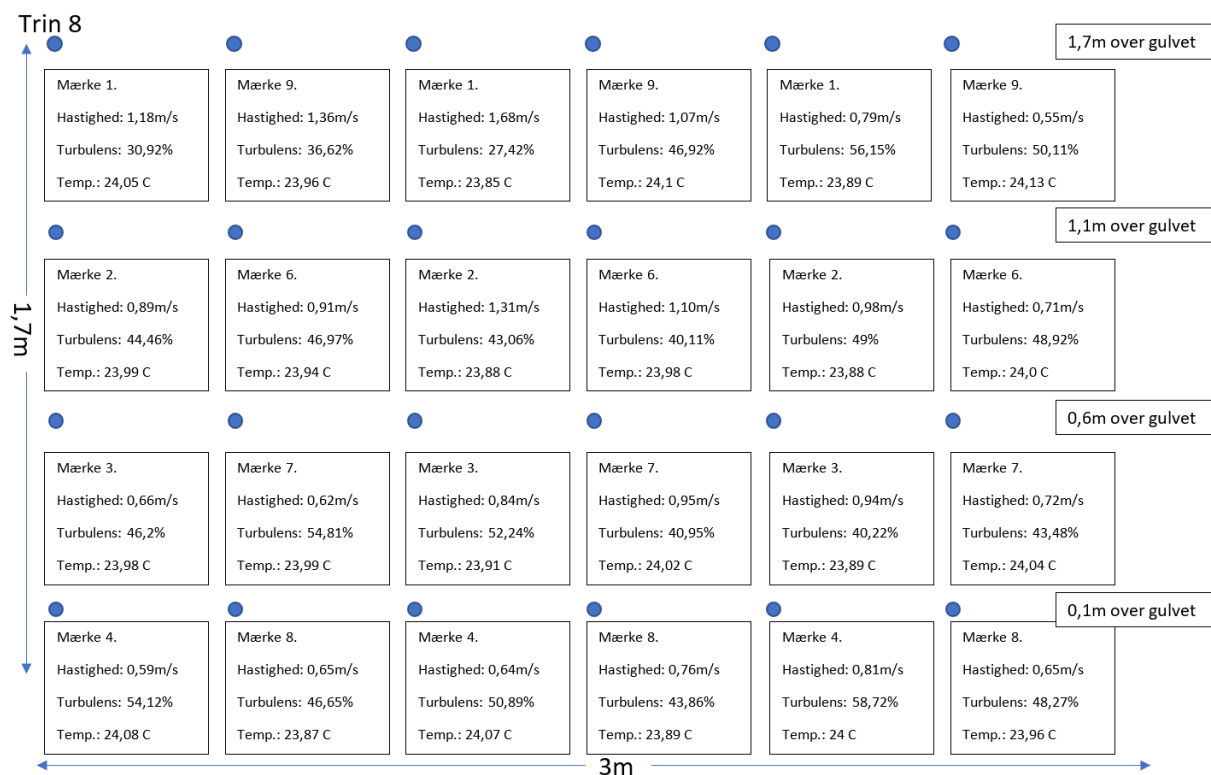
Figur 7.6 - HVLS ventilator indstillet til trin 6

Der er målt fra lokalemidte og 3 meter ud mod væggen (rummet er 6,8 meter bredt). Målingerne er taget for hver 50 cm. I højden er der målt 0,1; 0,6; 1,1 og 1,7 meter over gulv



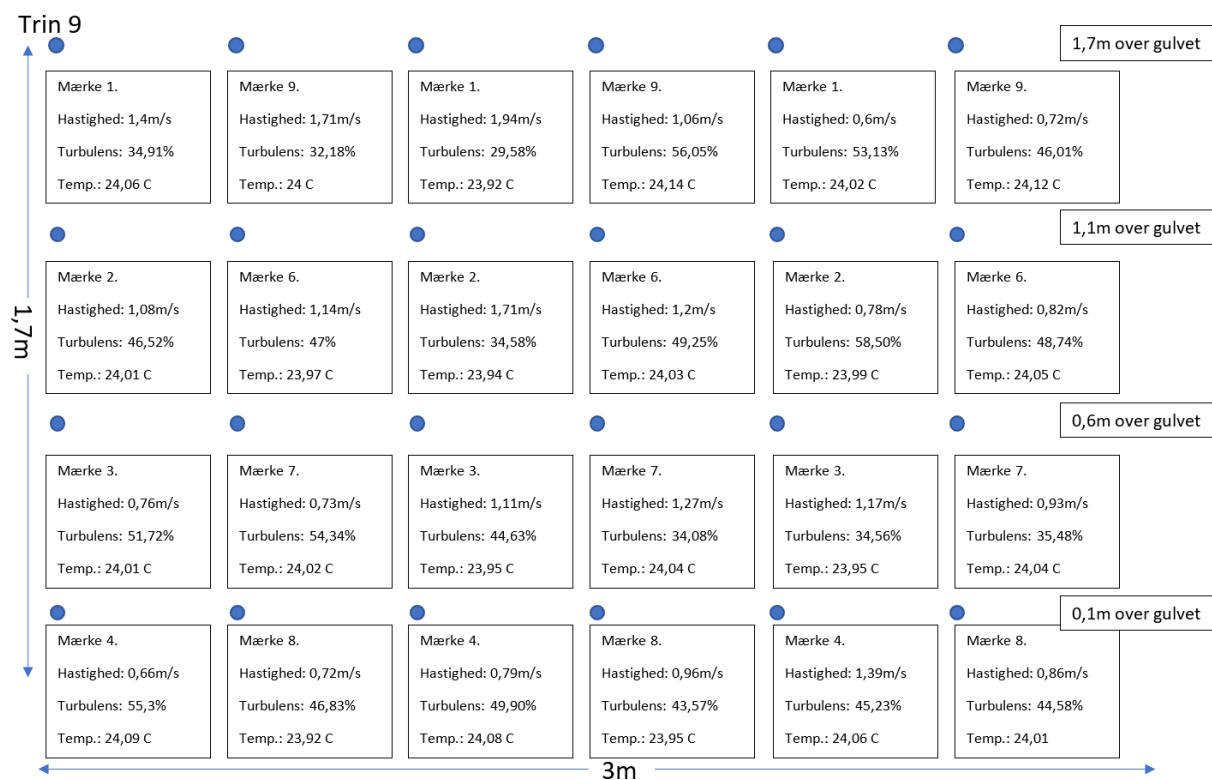
Figur 7.7 - HVLS ventilator indstillet til trin 7

Der er målt fra lokalemidte og 3 meter ud mod væggen (rummet er 6,8 meter bredt). Målingerne er taget for hver 50 cm. I højden er der målt 0,1; 0,6; 1,1 og 1,7 meter over gulv



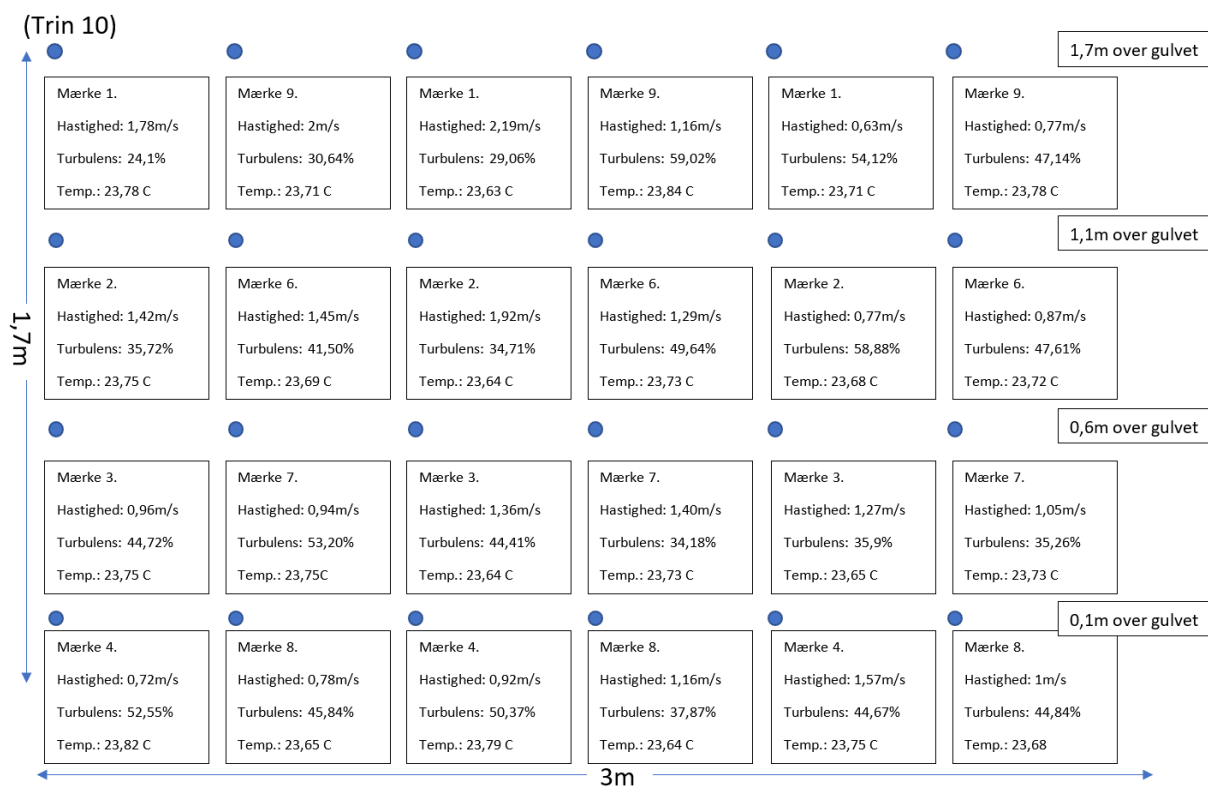
Figur 7.8 - HVLS ventilator indstillet til trin 8

Der er målt fra lokalemidte og 3 meter ud mod væggen (rummet er 6,8 meter bredt). Målingerne er taget for hver 50 cm. I højden er der målt 0,1; 0,6; 1,1 og 1,7 meter over gulv



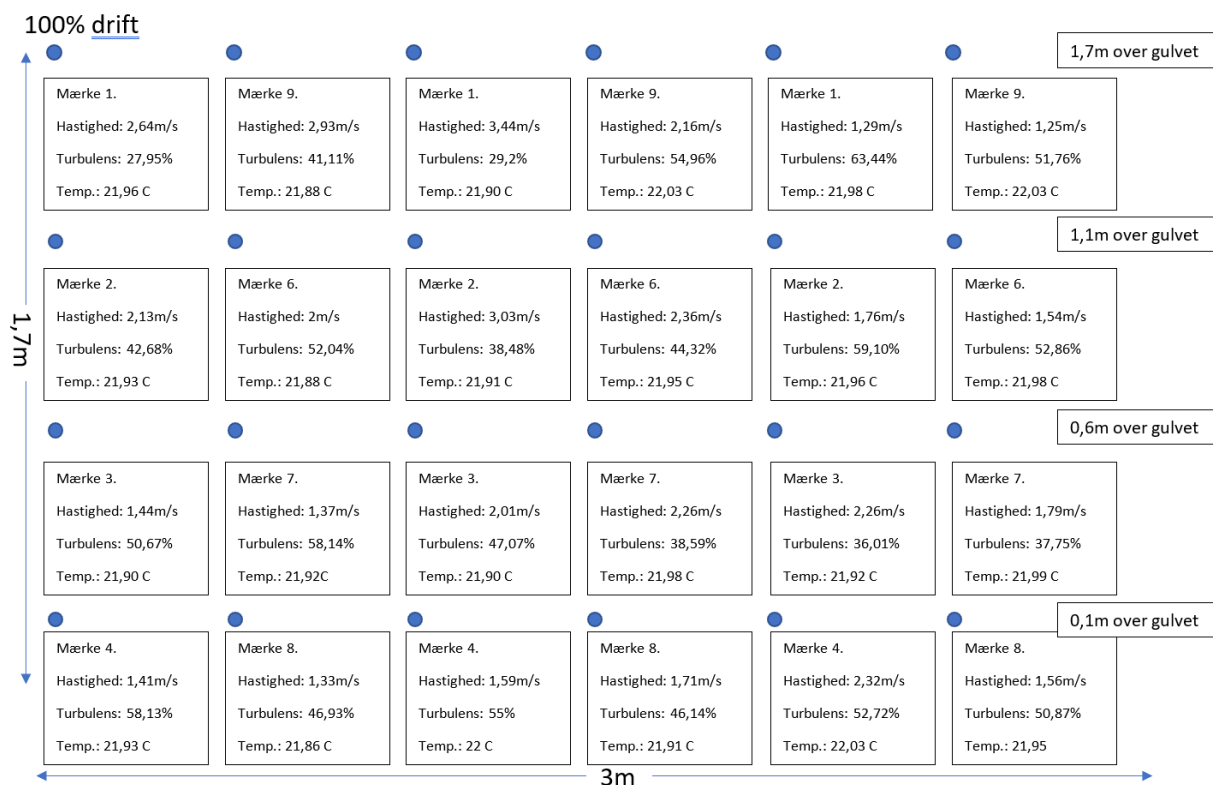
Figur 7.9 - HVLS ventilator indstillet til trin 9

Der er målt fra lokalemidte og 3 meter ud mod væggen (rummet er 6,8 meter bredt). Målingerne er taget for hver 50 cm. I højden er der målt 0,1; 0,6; 1,1 og 1,7 meter over gulv



Figur 7.10 - HVLS ventilator indstillet til trin 10

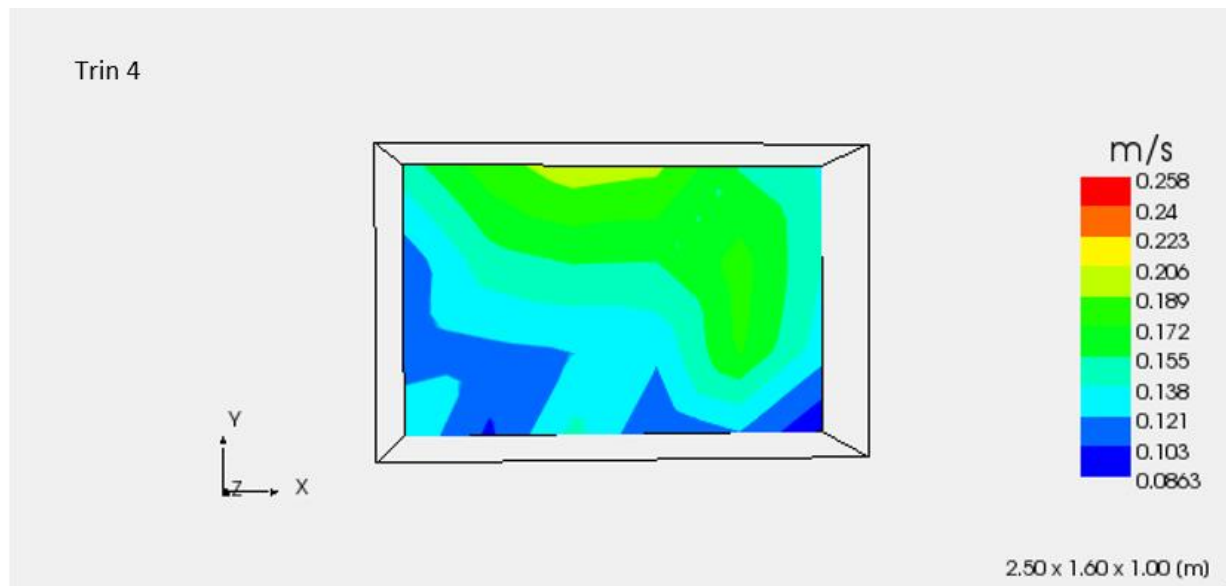
Der er målt fra lokalemidte og 3 meter ud mod væggen (rummet er 6,8 meter bredt). Målingerne er taget for hver 50 cm. I højden er der målt 0,1; 0,6; 1,1 og 1,7 meter over gulv



Figur 7.11 - HVLS ventilator indstillet til 100% omdrejningstal

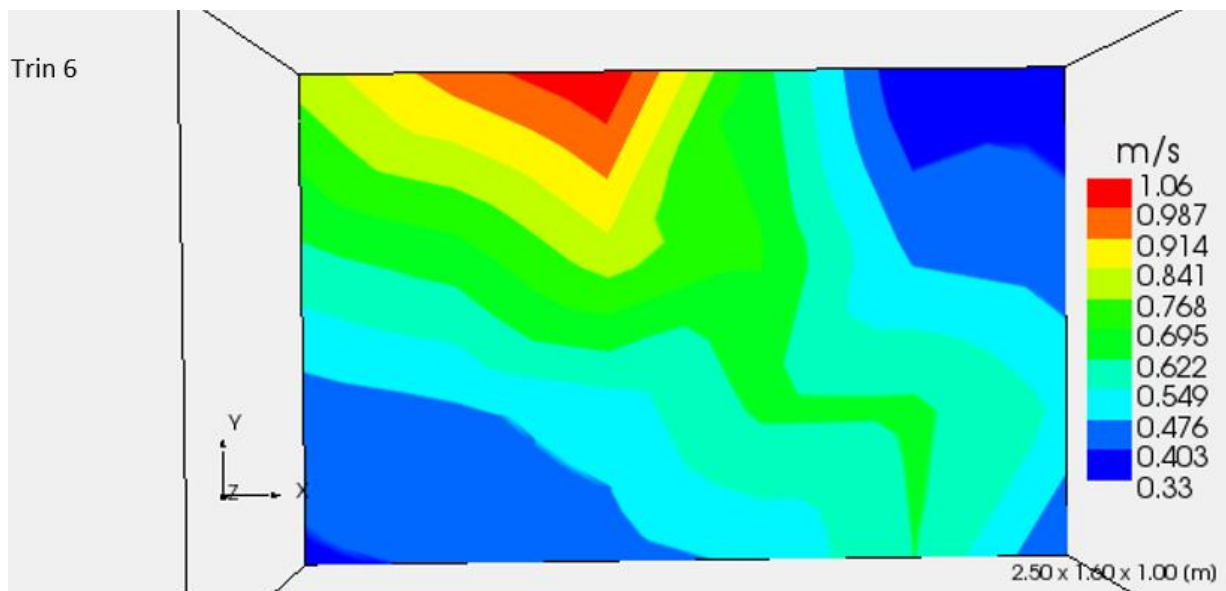
Der er målt fra lokalemidte og 3 meter ud mod væggen (rummet er 6,8 meter bredt). Målingerne er taget for hver 50 cm. I højden er der målt 0,1; 0,6; 1,1 og 1,7 meter over gulv

De foranstående målte lufthastigheder, der er registreret over 3,00 meter for hver 50 cm fra midten af rummet og ud mod nærmeste væg og i højderne 0,1; 0,6; 1,1 og 1,7 meter over gulv er optegnet som konturplot.



Figur 7.12 - Kontur plot af hastighedsfordeling ved trin 4 (16 omdrejninger/minut)

Konturplot er vist fra lokalemidte og 3 meter ud mod nærmeste væg (rummet er 6,8 meter bredt) og fra gulvniveau til 1,7m over gulv.

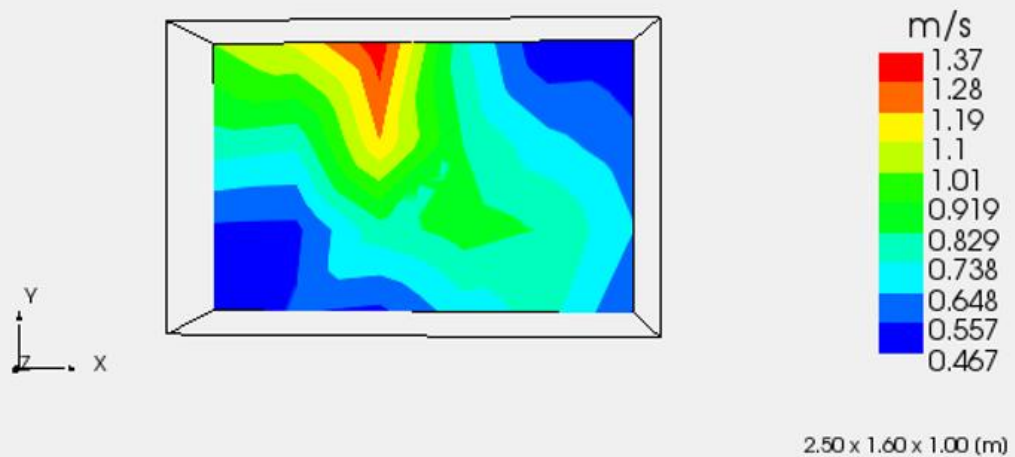


Figur 7.13 - Kontur plot af hastighedsfordeling ved trin 6 (42 omdrejninger/minut)

Konturplot er vist fra lokalemidte og 3 meter ud mod nærmeste væg (rummet er 6,8 meter bredt) og fra gulvniveau til 1,7m over gulv.



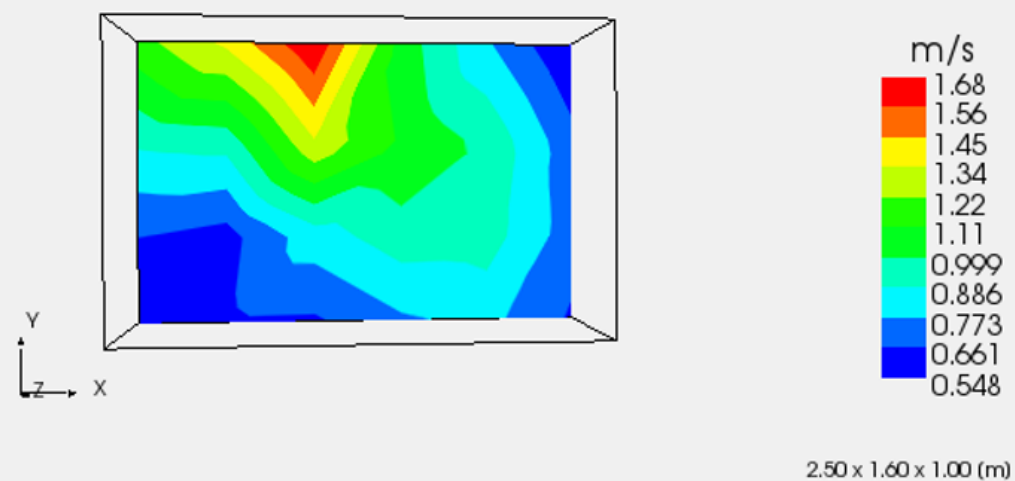
Trin 7



Figur 7.14 - 14 Kontur plot af hastighedsfordeling ved trin 7 (52 omdrejninger/minut)

Konturplot er vist fra lokalemidte og 3 meter ud mod nærmeste væg (rummet er 6,8 meter bredt) og fra gulvniveau til 1,7m over gulv.

Trin 8

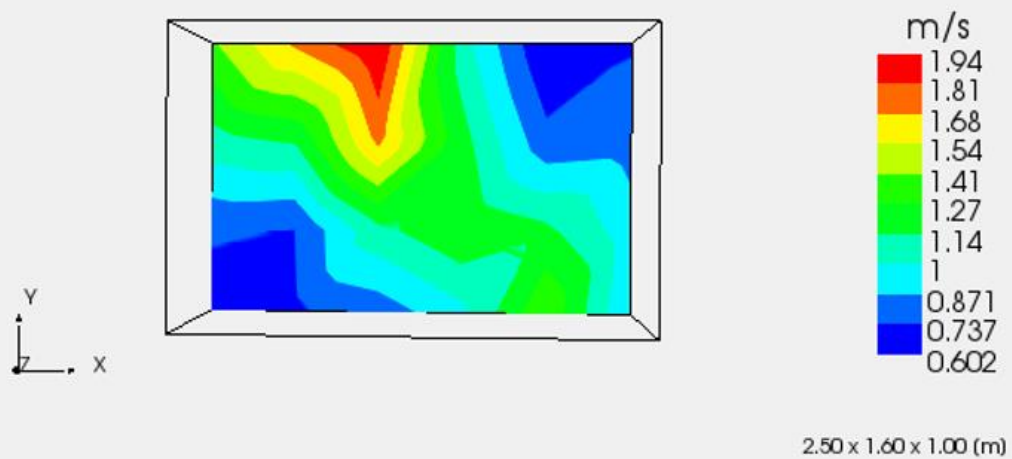


Figur 7.15 - Kontur plot af hastighedsfordeling ved trin 8 (60 omdrejninger/minut)

Konturplot er vist fra lokalemidte og 3 meter ud mod nærmeste væg (rummet er 6,8 meter bredt) og fra gulvniveau til 1,7m over gulv.



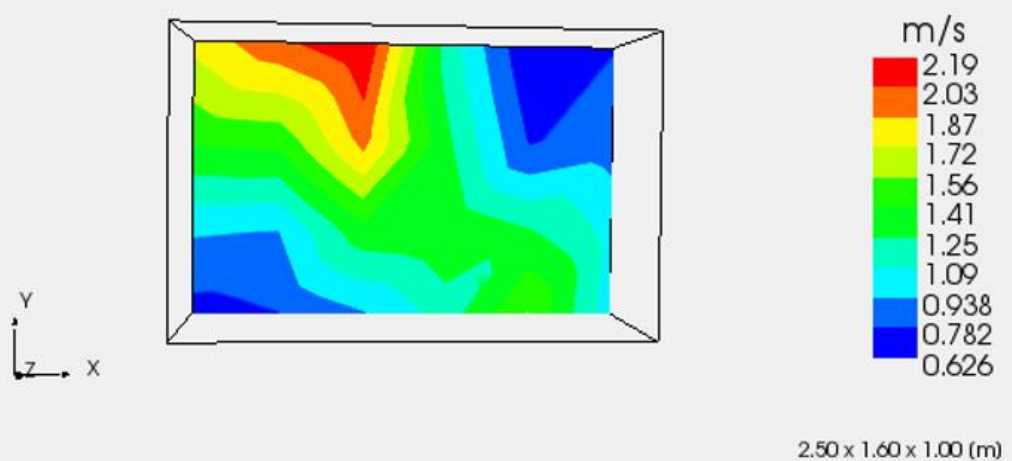
Trin 9



Figur 7.16 - Kontur plot af hastighedsfordeling ved trin 9 (72 omdrejninger/minut)

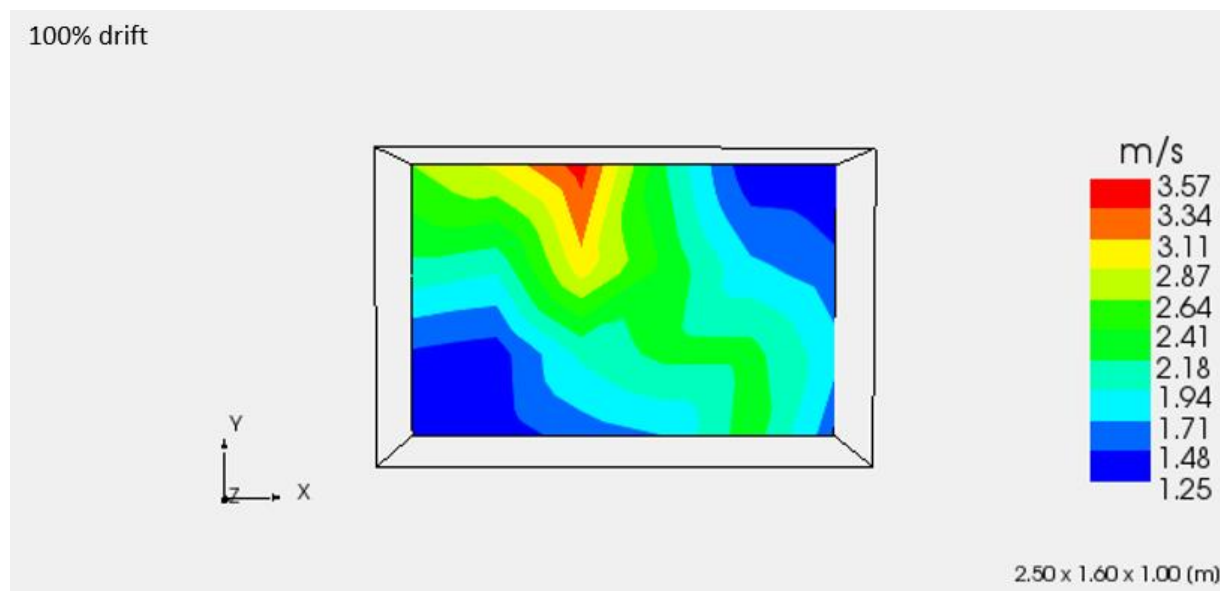
Konturplot er vist fra lokalemidte og 3 meter ud mod nærmeste væg (rummet er 6,8 meter bredt) og fra gulvniveau til 1,7m over gulv.

Trin 10



Figur 7.17 - Kontur plot af hastighedsfordeling ved trin 10 (82 omdrejninger/minut)

Konturplot er vist fra lokalemidte og 3 meter ud mod nærmeste væg (rummet er 6,8 meter bredt) og fra gulvniveau til 1,7m over gulv.



Figur 7.18 - Kontur plot af hastighedsfordeling ved maksimalt omdrejningstal

Konturplot er vist fra lokalemidte og 3 meter ud mod nærmeste væg (rummet er 6,8 meter bredt) og fra gulvniveau til 1,7m over gulv.

### 7.3.1. Sammenligning af målinger og CFD beregninger

Kontur plot for målinger viser overordnet set det samme profil som CFD beregningerne, hvis man betragter det målte område. CFD figurer er for hele rummet, mens kontur plottene af målingerne er lavet for opholdszonen – dvs. fra 0,1 meter over gulv og op til en højde af 1,7 meter over gulv. Desuden måles der ikke helt ud til væggen, men fra midten af lokalet og 3 meter ud mod væggen, dvs. der måles ikke i de yderste 40 cm ud mod væggen.

De udførte simuleringer viser et meget ensartet strømningsbillede, uanset rotationshastighed. Det samme er tilfældet for kontur plot baseret på målingerne.

Der er en nedadgående strøm under ventilatoren, og der er som nævnt målt lufthastigheder lige under ventilatoren i 1,7 meter over gulvniveau ved forskellige ventilatoromdrejningstal. Disse lufthastigheder er overslagsmæssigt konverteret til et flow i denne højde og sammenlignet med estimerede flow ud fra de udførte CFD-beregninger.

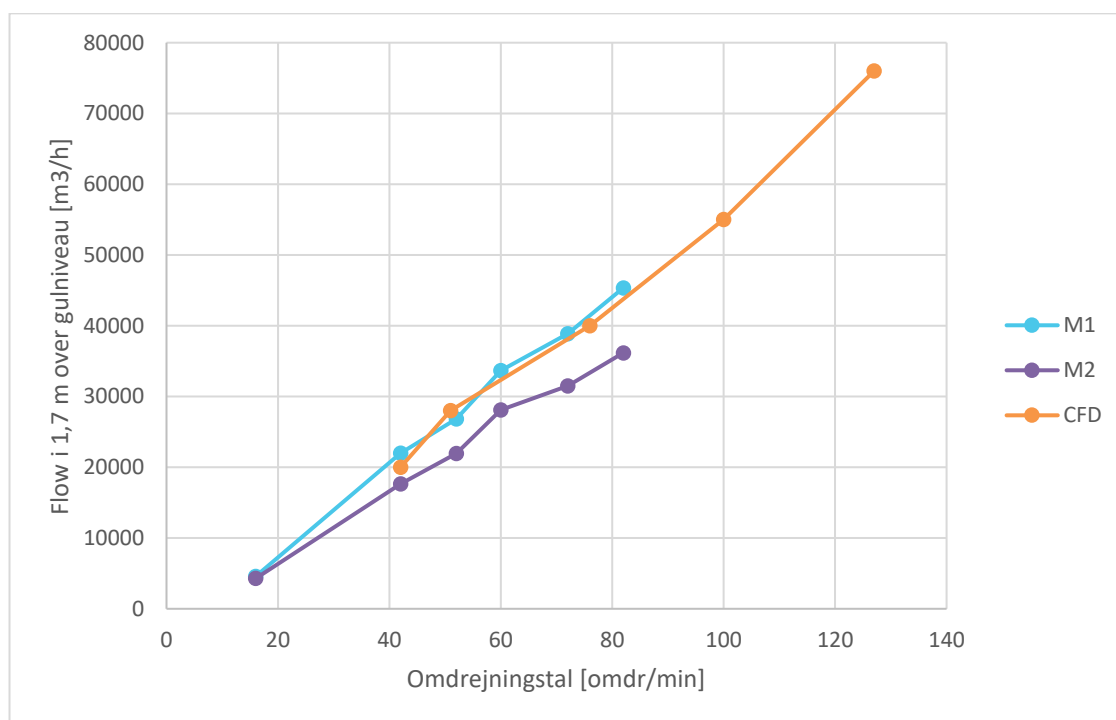
Hverken målinger eller CFD-beregninger kommer med andre ord direkte frem til et flow. Da der sælges ventilatorer, som er endnu større end den valgte ø3m ventilator bliver nøjagtig beregning af flow relativ set en kompliceret opgave.



I Tabel 7.1 er vist de beregnede flow ved forskellige ventilator trin, og de dertilhørende målte omdrejningstal samt beregnede flow under HVLS ventilatoren baseret på en radius af henholdsvis 1,5 meter og 2,5 meter.

Trin	Omdrejningstal (RPM)	Flow udregnet med hastighedsmålinger fra centrum til 1,5 meter (m <sup>3</sup> /time)
4	16	4580,4
6	42	22011,6
7	52	26846,5
8	60	33653,5
9	72	38870,1
10	82	45359,1

Tabel 7.1 - Målt omdrejningstal og beregning af luftflow på baggrund af hastighedsmålinger og en plume radius på hhv, 1,5 meter



Figur 7.19 - Målt omdrejningstal og beregning af luftflow på baggrund af hastighedsmålinger og en plume radius på hhv, 1,5 og 2,5 meter. Grøn kurve er CFD beregninger og M1 og M2 er beregninger for plumeradius på 1,5 og 2,5 meter



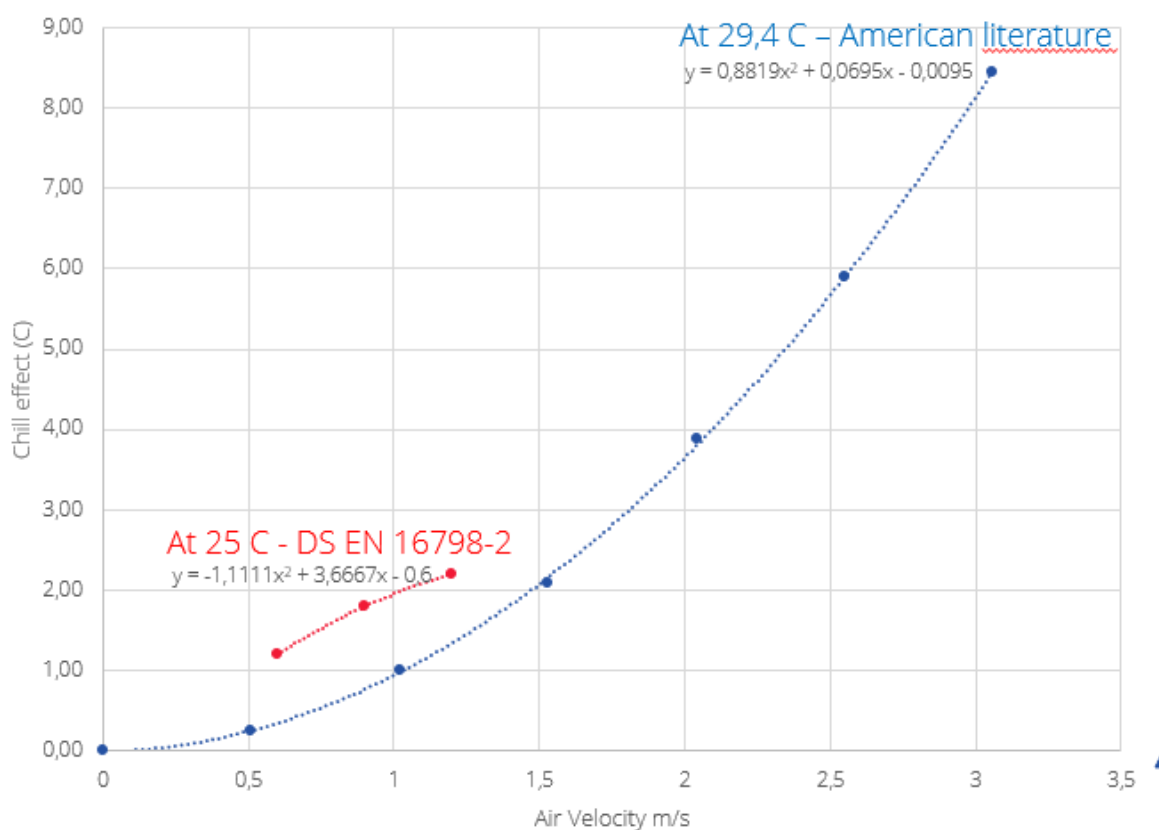
Eftersom der er vist fin overensstemmelse mellem målinger og CFD beregninger ved flere forskellige omdrejningstal for en størrelse HVLS ventilator, med én valgt vinge og for ét rum, vil det bestyrke at værktøjet kan anvendes for nye lokationer med andre rumgeometrier, når HVLS ventilatoren efterfølgende skal sælges.

#### **7.4. Chill effekt og omdrejningshastighed**

I Nordeuropa har man ikke tradition for at projektere ventilationsanlæg, hvor lufthastighed indgår som en kølemulighed. Dog er der taget højde for den kølende effekt i forbindelse med den danske og europæiske standard DS EN 16798-2, hvor køleeffekten er nævnt ved en rumtemperatur på 25°C og lufthastigheder ved 0,7-2,1 m/s. I USA er der i litteraturen anført chill effekt ved langt højere lufthastigheder. Fx for en rumtemperatur på 29°C er der undersøgt chill effekter ved lufthastigheder på op til 3 m/s.

Ved dimensionering af ventilation i Danmark kommer lufthastigheden i opholdszonen aldrig over 2 m/s.

I Figur 6.20 er optegnet en graf, der viser chill effekten ud fra europæisk og amerikansk standard ved hhv. en rum temperatur på 25°C og 29°C.



Figur 7.20 - Eksempler på chill effekt som funktion af lufthastigheden ved en rumtemperatur på 25°C og 29°C i henhold til dansk/europæisk standard og amerikansk litteratur. Algoritmer opsat i foreliggende projekt.

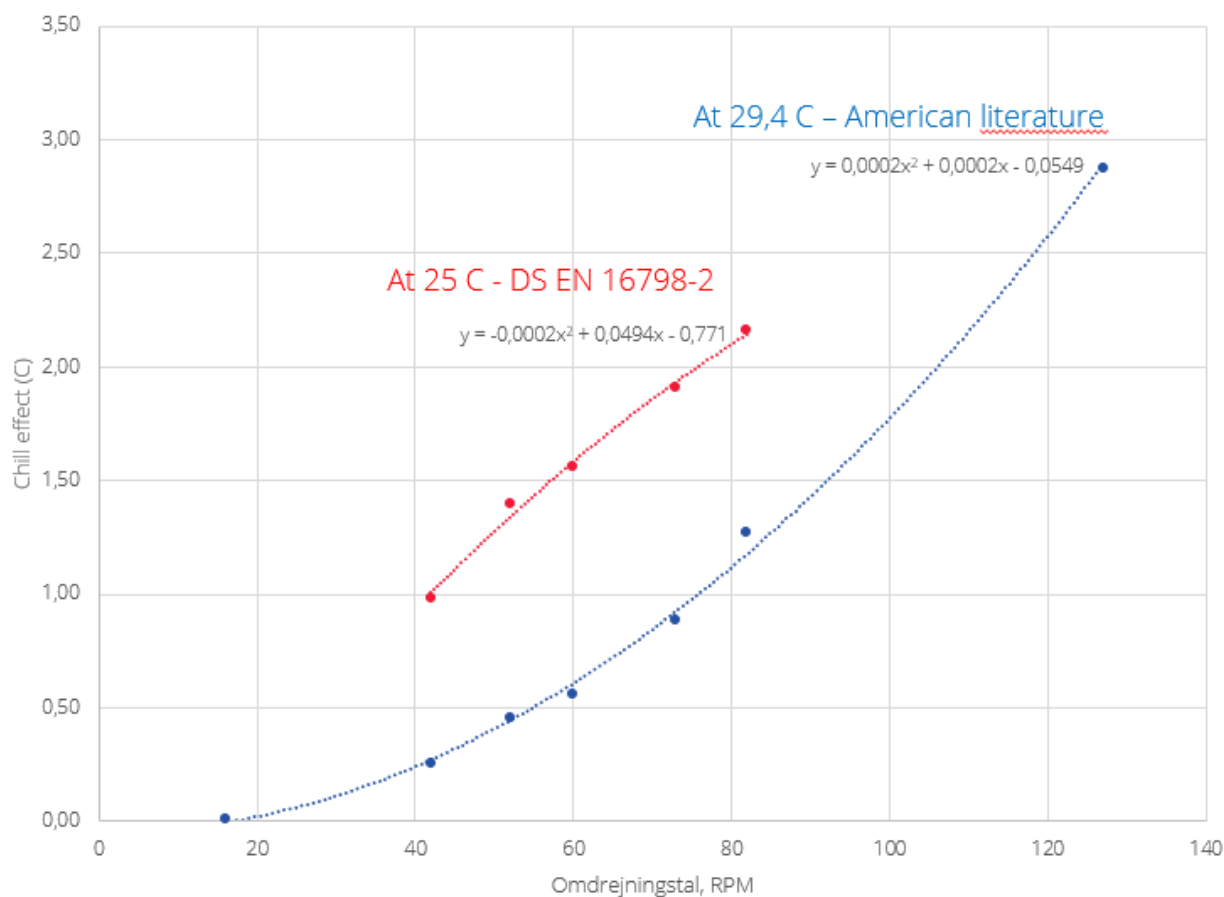
Som vist tidligere i foreliggende kapitel er lufthastigheden i opholdszonen både beregnet og målt for forskellige omdrejningstal. I Tabel 7.2 er gennemsnittet af de målte lufthastigheder beregnet for målinger 0,6 meter over gulv. De beregnede gennemsnit er sat ind i ligninger anført i Figur 6.20, og derved er chill effekten beregnet en rumtemperatur på henholdsvis 25°C og 29°C; jævnfør sidste to kolonner i Tabel 7.2. Som det fremgår, er chill effekten for en given rumtemperatur større ved en rumtemperatur på 25°C end 29°C. Dette forekommer logisk, idet en afkøling virker større des koldere temperaturen er.



0,6 meter over gulv									Afkøling DS EN	Afkøling American litterature
Trin	rpm	m/s			min		max	avg	ved 25 C	ved 29 C
4	16	0,11	0,12	0,12	0,12	0,11	0,12	0,12		0,01
6	42	0,43	0,46	0,51	0,64	0,43	0,64	0,51	0,98	0,26
7	52	0,54	0,54	0,8	0,88	0,54	0,88	0,69	1,40	0,46
8	60	0,66	0,62	0,84	0,95	0,62	0,95	0,77	1,56	0,56
9	73	0,76	0,73	1,11	1,27	0,73	1,27	0,97	1,91	0,88
10	82	0,96	0,94	1,36	1,4	0,94	1,4	1,17	2,16	1,27
100%	127	1,44	1,37	2,01	2,26	1,37	2,26	1,77		2,88

Tabel 7.2 - Effektforbrug (W) som funktion af omdrejningstal (RPM)

Graferne på Figur 7.20 og målinger anført Tabel 7.2 er anvendt til at udvikle beregningsalgoritmer, hvor chill effekten bestemmes som funktion af omdrejningstallet for den udviklede HVLS ventilator. Resultatet af disse beregninger er illustreret i Figur 7.21. På figuren viser ligninger for kurvefitting den direkte sammenhæng mellem HVLS ventilatorens omdrejningstal og chill effekten ved hhv. 25°C og 29°C. Denne sammenhæng kan indlægges ved automatisk styring af HVLS ventilatorens omdrejningstal ud fra aktuell rumtemperatur.



Figur 7.21 - Afkøling (Celsius) ved forskellige omdrejningstal (RPM) 0,6 meter over gulv (siddende person eller børnehøjde) for testet HVLS ventilator..

**Rød kurve:** Dansk standard og baseret på en rumtemperatur på 25°C

**Blå kurve:** Amerikansk standard og baseret på en rumtemperatur på 29 °C



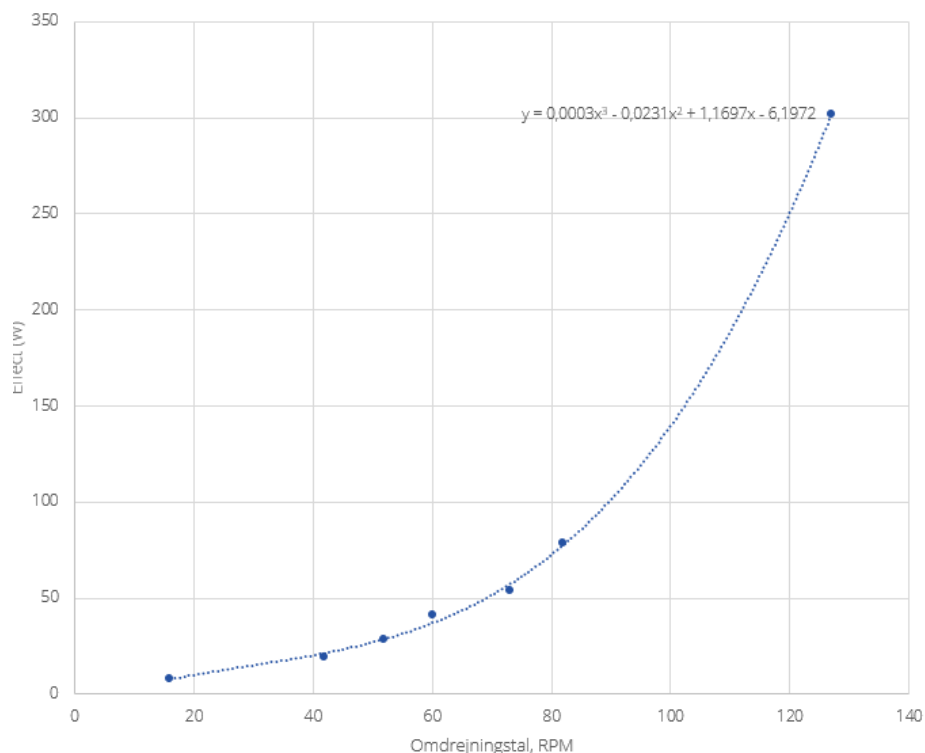
## 7.5. Energiforbrug ved forskellige omdrejningshastigheder

Både omdrejningstal og effektforbrug er målt for de forskellige ventilatortrin, og værdierne er indført i Tabel 7.3.

Udover angivelse i tabel er måleresultaterne indtegnet i Figur 7.22, og der er ved kurvefitting optegnet en graf, der viser sammenhængen mellem omdrejningstal og effektforbrug til HVLS ventilator. Denne sammenhæng kan indgå i styring.

Trin	Omdrejningstal (RPM)	Effektforbrug (W)
4	16	8
6	42	19,3
7	52	28,8
8	60	41,2
9	72	53,7
10	82	78,5
100%	127	302

Tabel 7.3 - Effektforbrug (W) som funktion af HVLS ventilatorens omdrejningstal (RPM)



Figur 7.22 - Effektforbrug (W) som funktion af omdrejningstal (RPM) for HVLS ventilator

## 7.6. Resumé

HVLS ventilatoren er ophængt i Teknologisk Instituts laboratorium.

Røgforsøg viser at HVLS ventilatoren genererede en nedadgående cylinderformet luftstrøm under vingerne, og udenfor keglen var der et vandret strømningsforløb i opholdszonen indtil luftstrømmen ramte en væg og strømmede op.

Ved omvendt rotation blev luften sendt op i rummet og der var ikke træk i opholdszonen. Langs væggen var der nu en nedad gående luftstrøm.

Strømningsbillede visualiseret med røg stemmer overens med strømningsbillede baseret på CFD beregningerne.



Med avanceret måleudstyr (Dantec prober med software på PC og Ultrasonic anemometer tilknyttet pc), blev lufthastigheder målt fra midt i rum og næsten til væg i højderne 0,1; 0,6; 1,1 og 1,7 meter over gulv. Målingerne blev foretaget ved en række omdrejningstal. Hastigheds plot af målte lufthastigheder stemmer overens med plot af CFD resultater. Ved at måle flowstrøm i kvote 1,7 meter over gulv og finde at det stemmer overens med flow baseret på CFD beregninger, betyder at CFD beregninger anses for troværdige, og at Nordicco A/S kan anvende dem i forbindelse med salgsprocesser og design i forbindelse med nye lokaler.

Der er opsat en række algoritmer, der kan indgå i styringen af en eller flere HVLS ventilatorer. Algoritmerne kan bestemme nødvendigt omdrejningstal i forhold til temperatur og ønsket chill effekt.

Ligeledes blev det iagttaget at måling af temperatur i opholdszonen og under loft og over HVLS ventilator, kan afgøre hvilken vej luften skal strømme (ligger der varme under loft der ønskes nedad – eller er der behov for chill effekt). Endelig måles energiforbrug løbende.



## 8. Styring og test af samlet anlæg i praksis

I dette kapitel beskrives udviklet styring og montage af anlæg i forskellige brancher. Afslutningsvis vises data af indsamlede energiforbrug.

### 8.1. Styring

På basis af målinger, som nævnt i kapitel 7 er der udviklet formelalgoritmer til styring af omdrejningstal på HVLS fan ud fra

- målte temperaturer under loft og i opholdszonen (termisk stratificering)
- udendørs temperatur
- tid på året (korrektion for beklædning)
- lokaleformål
- CO<sub>2</sub> (korrektion for brug af lokale)

Den første styring var med trykpanel, som der kunne betjenes manuelt af brugeren i rummet.

Den anden styring havde samme funktion som trykpanelet, men kunne betjenes fra en iPad mini. Det var ikke muligt at se historiske data, og på det tidspunkt var styringen ikke baseret på to rumtemperaturer.

Udvikling af den tredje styring var koblet op på en IPAD, hvorpå man løbende kunne følge temperaturer og CO<sub>2</sub> koncentrationen forskellige steder under loft og i lokalet. Desuden kunne man koble sig ind og se historiske data på graf niveau.

Særligt udvikling af styringen hvor det på IPAD var muligt at se temperaturer og CO<sub>2</sub> koncentrationer under loft og i rummet, gav stor entusiasme for brugeren til at følge og skabe det rette klima.

Den tredje styring var også koblet op på internettet, og dermed var det muligt for Nordicco A/S. at give råd og vejledning til brugeren over nettet.

Der er tale om trådløse IoT sensorer og den enkelte Facility manager eller driftsansvarlige kan fra en IPAD følge og justere settings i styringen.



Fra at HVLS fanen blot var noget der var installeret, skabte internet løsningen med IPAD og målinger under loft og i rum samt visning af historiske data, en stor interesse hos facility managers og halinspektører. Data blev løbende fuldt under arrangementer og dagligdrift.

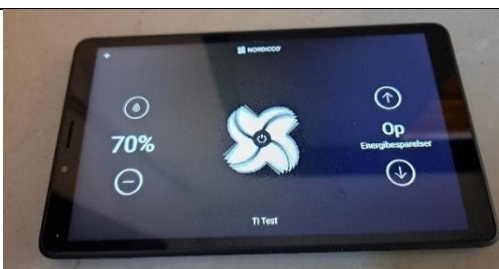
### Version 1.

Simpel styring af omdrejningstal og om-løbsretning via trykknapp panel



### Version 2.

Ovenstående nu som Mini PAD

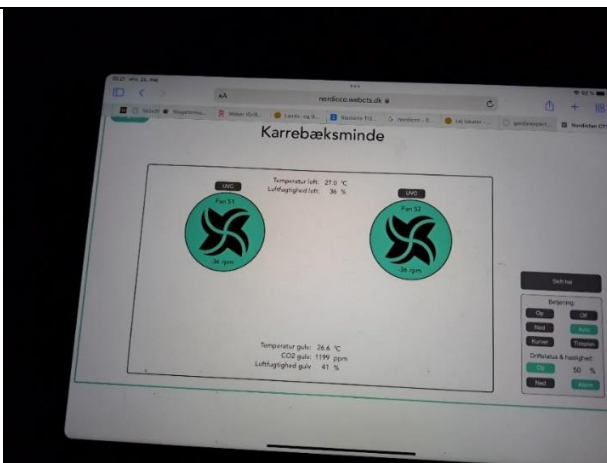


### Version 3.

Avanceret styring fra IPAD med: temperatur, relativ fugtighed, og CO2 følere både under loft i lokale og i opholdszonen.

Mulighed for at se historiske data.

Koblet op på internettet



Figur 8.1 - Tre trins udvikling af styring



## 8.2. Hedensted hallen

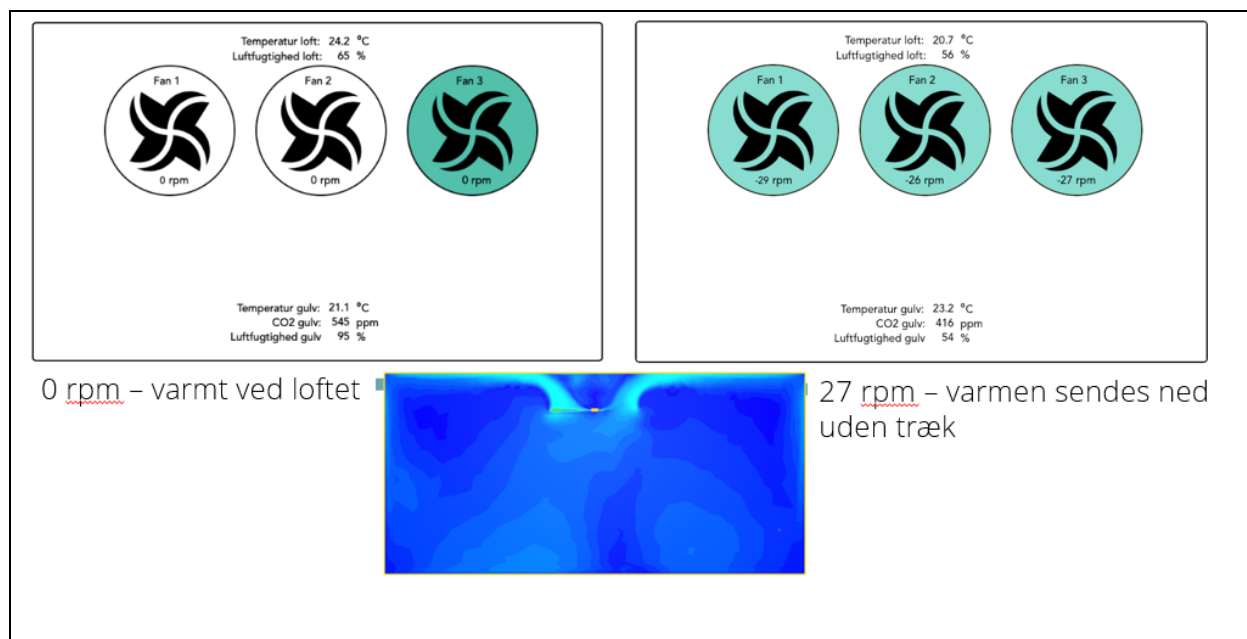
I Hedensted hallen blev to nyudviklede HVLS ventilatorer installeret under Coronaepidemien. På efterfølgende billede ses HVLS ventilatoren hængende under loftet i idrætshallen, og der var opstillet en række stole og årsagen var, at hallen blev anvendt til byrådsmøde under Corona, så politikerne kunne sidde med lang afstand mellem hinanden. HVLS fanen kunne således vurderes, selvom hallen var lukket for traditionel aktivitet.

På varme sommerdage nød politikerne køleeffekten.

Hedensted hallen var så tilfredse med det udviklede produkt, at den blev ophængt i endnu en hal samt i deres fitness rum.



*Figur 8.2 - HVLS ventilatorer ophængt i Hedensted hallen. Opstilling til byrådsmøde under corona epidemi.*



Figur 8.3 - Eksempel på skærbillede før og efter omvendt rotation, hvor luften blæses opad.

Til venstre ses at varmen ligger under loftet, og at ventilatorer står stille (0rpm).

Til højre ses situation når HVLS ventilatoren er igangsat (27 rpm) og blæser opad (minus tegn foran rotation) og sørger for at varmen under loftet sendes ned i opholdszonen.

Nordicco A/S har, efter projektarbejdet er gennemført, monteret HVLS ventilation i 100 sportshaller og gymnastiksale over hele Danmark og i Norge og Sverige.

### 8.3. Vestas

To HVLS-ventilatorer blev monteret i Vestas produktionshal i Videbæk i Midtjylland i december 2020.

Hallen har følgende dimensioner L·B·H: 60 meter · 20 meter · 9 meter.

Der er installeret et klimaanlæg med indblæsning under loftet via hvirveldiffusorer. Klimaanlægget har en kapacitet på omkring 32.000 m<sup>3</sup>/h svarende til et luftskifte på omkring 3 gange pr. time.

Hvirveldiffusorer er specielt designet til at kunne kaste opvarmet luft ned i opholdszonen selv ved en lofthøjde på omkring 9 meter.

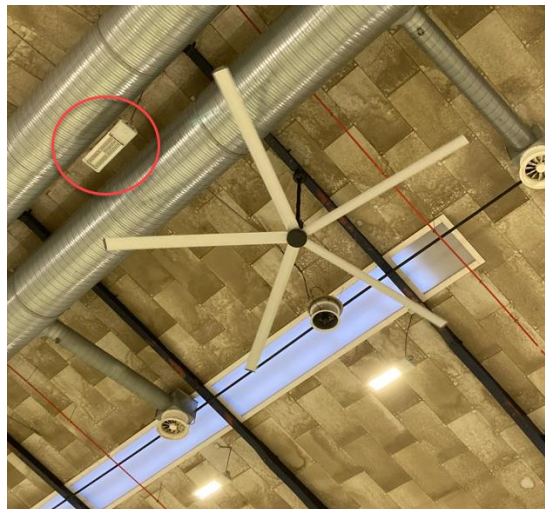
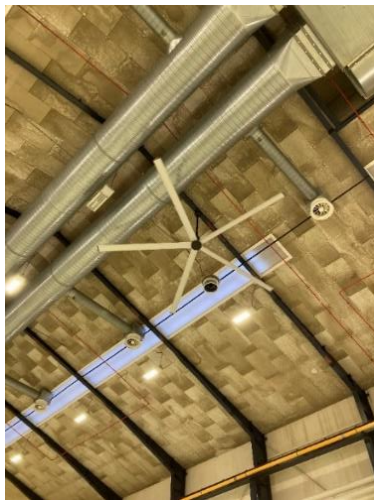


Via Team Leader Brian Enevoldsen Laugesen, Global Repair Operations Videbæk har vi efterfølgende talt med ansatte i halområdet og med driftspersonale.



*Figur 8.4 - Hallen hvor to Ø5m HVLS ventilatorer er installeret.*





*Figur 8.5 - Ø5m HVLS ventilatorer ophængt under loftet i fabriksbygning hos VESTAS. Rød ring markerer at lampe over vinger blev slukket på grund af stroboskopagtig lysvirkning. Under loftet ses de eksisterende indblæsnings diffusere*

Personalet har kun rapporteret to aktionspunkter i forbindelse med de installerede ventilatorer. Den ene HVLS-ventilator udsendte lidt kugleleje støj, hvilket blev løst. Den anden HVLS-ventilator rakte ind over en lyskilde, hvilket virkede generende. Dette lys blev permanent slukket.

Personalet har i testperioden aldrig oplevet problemer med det termiske indeklima.



## 8.4. Energireduktion

I idrætshaller foretages der ofte måling på halniveau, og det er enkelt at registrere det årlige energiforbrug. Derved er det også nemt at se besparelsen for hallen. Ved Vestas har det ikke været muligt at differentiere energibesparelsen, da der er stor og varierende fabrikation. Her var det mere den komfortmæssige vurdering af forholdene; jævnfør tidligere afsnit.

Hedenstedhallen var, som det fremgår af side 60, det sted, hvor det nyudviklede produkt først blev installeret. Flere haller kom hurtigt efter, og de kunne også registrere energiforbrug før og efter installation. I nedenstående tabel ses energiforbruget fra Hedensted hallen og 2 andre haller. Som det fremgår af tabellen blev energiforbruget reduceret med 20-30%. Det er også set, at de beregnede besparelser inden installation, svarer til de opnåede besparelser.

	Før kWh	Beregnet besparelse %	Efter installation kWh	Faktisk besparelse %
Idrætshal 1 (Undløsehallen)	120.000	20	84.000	30
Idrætshal 2 (Bramsnæsvighallen)	269.382	26	201.990	25
Idrætshal 3 (Hedenstedhallen)	241.200	20	180.500	25

Tabel 8.1 - Årligt energiforbrug i idrætshaller før og efter installation af HVLS ventilatorer. Hedensted hallen var en del af projektet.

## 8.5. Resumé

Under projektperioden blev der udviklet og anvendt flere modeller af styringen. Fra blot at være muligt manuelt at indstille omdrejningstal og omdrejningsretning, er der i dag en styring med sensorer under loftet og i opholdszonen. Sensorerne er temperaturer, relativ luftfugtighed og CO<sub>2</sub> koncentration. Omdrejningshastighed og -retning styres ud fra målte parametre og opsatte algoritmer.

HVLS-ventilatoren blev som en start ophængt i en hal i Hedensted Centret og hos Vestas A/S. Her blev der givet rådgivning til styring og vurdering af forhold, man skulle være opmærksom på ifm. montage.

Der er i projektets case 'Hedensted hallen' målt 25% energibesparelse. Yderligere 2 haller har registreret 25-30% energibesparelse. Den beregningsmæssigt vurderede besparelse lå på 20-25%, så de aktuelle målinger lever op til forventningerne.



## 9. Testprotokol og design guide

Dette kapitel beskriver testprotokol anvendt i USA indenfor HVLS området, samt giver en guide til hvorledes der vælges de rigtige HVLS produkter til en given applikation i Nordeuropa.

### 9.1. Testprotokol

I Europa er der standarder for test af ventilatorer og for test af de såkaldte "comfort fans and house hold fans", men der er ingen standarder for test af HVLS ventilatorer.

I USA foretager Air Movement and Control Association (AMCA) 3. parts test af HVLS ventilatorer. AMCA er en "non-profit" organization, der udvikler standarder, certificerer produkter og underviser markedet indenfor luftbevægelse og kontrol. Test protokollen, som AMCA anvender er kendt som AMCA 230-15.

Anvendelse af HVLS ventilatorer alene eller i samspil med traditionelle HVAC systemer, er ikke uden udfordringer. Der er et sikkerhedsaspekt, produktivitetshensyn og spørgsmål i relation til energieffektivitet for den person, der investerer i HVLS ventilation. Derfor har U.S. Department of Energy i 2020 taget initiativ til, at HVLS ventilatorer skal være testet af en 3. parts instans.

I Danmark skal HVLS ventilatoren opfylde maskindirektivet, og Nordicco A/S har sørget for "EF-Declaration of conformity for machines".

I Maskindirektivet vises der ikke performance data. Det gør der i AMCA 230-15. Her skal HVLS ventilatoren ophænges i et stort rum, ligesom der blev anvendt i foreliggende projekt.

I det følgende opstilles på punktform testprotokolparametre fra AMCA:

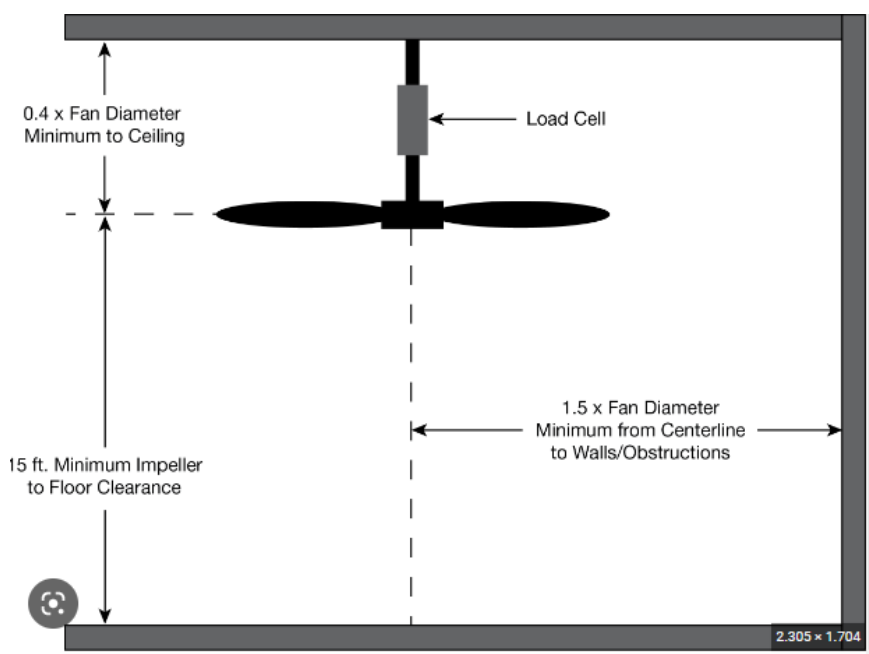
- HVLS ventilator skal ophænges i stort rum
- Minimum afstand fra center af HVLS ventilator til nærtliggende væg =  $1,5 \times$  HVLS ventilator diameter
- Minimum afstand til loftet er  $0,4 \times$  HVLS ventilatordiameter
- Minimum afstand til gulv er 15 ft = 4,57m
- Måle luftflow i cubic feet per minute eller  $\text{m}^3/\text{time}$
- Måle energi performance CFM/Watt eller  $\text{m}^3/\text{time}/\text{Watt}$

Mens ovennævnte energitests er relativt simple, er det en omfattende proces at teste en HVLS ventilator, idet der skal foretages test af lufthastigheder i opholdszonen i mange punkter og ved flere omdrejningshastigheder. Desuden er det kostbare kalibrerede instrumenter, der skal anvendes til



disse test. Sidstnævnte test parametre er ikke en del af AMCA 230-15, men ASRAE (American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers) udkom sidste år med en standard 216P, hvor bl.a. lufthastigheder, som målt i dette projekt i opholdszonen, er anført. Standarden er ikke fuld implementeret.

Nordicco A/S har fremsendt materiale af Teknologisk Instituts test til information for ASRAE. De tog positivt imod dette og anerkendte forsøgsdesign og målinger.



Figur 9.1 – I USA er der standarder til test af HVLS ventilatorer.

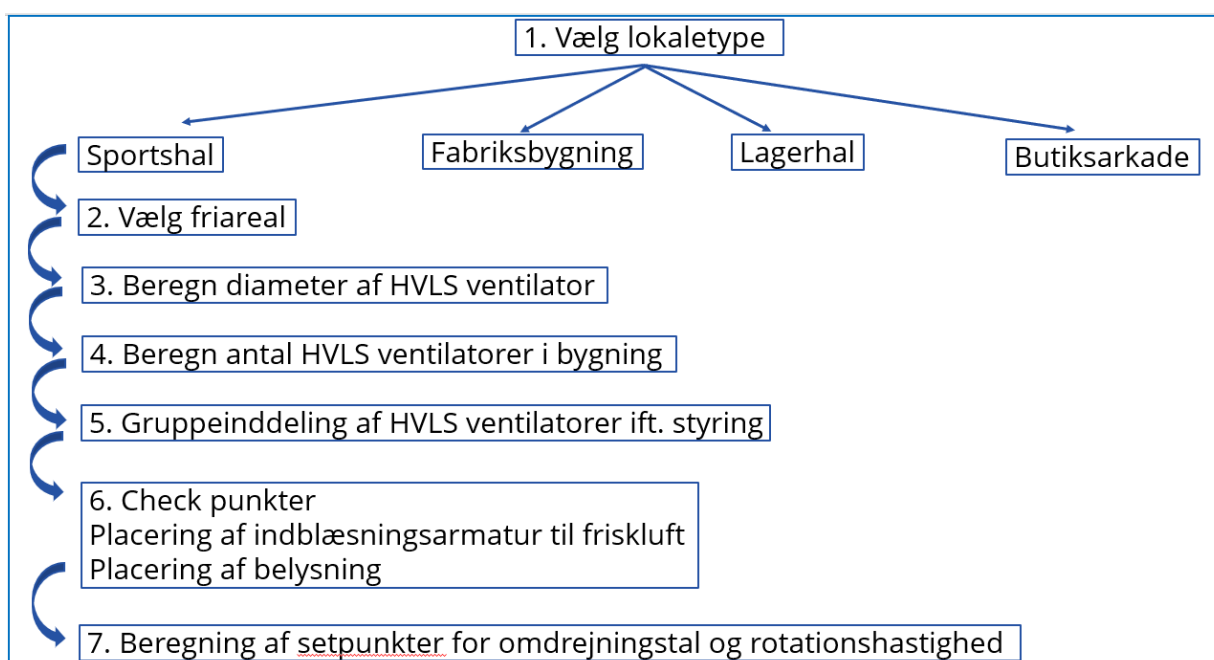
## 9.2. Design Guide

Indenfor universiteter og lærestalter samt i ventilations- og rådgiverbranchen, er der grundlæggende viden om dimensioneringsregler og beregningsmetoder for valg af ventilationsarmaturer, placering af disse mht. kastelængde og andet, så det ikke giver træk mv. Men i Nordeuropa er der indenfor undervisnings- og rådgiverbranchen ingen kendskab til HVLS ventilatorer.

Derfor er der i projektet udviklet en guide til, i hvilke lokaletyper HVLS ventilatorer kan anvendes, hvor de skal placeres i rummet, hvilken diameter de skal have, hvordan de med fordel kan kobles i grupper til styringen, hvilke faldgruber der kan være og krav samt setpunkter til styring.



Punkterne gennemgås i det følgende og er anskueliggjort i flowdiagrammet i figur 9.2. Det skal understreges, at guiden er gældende for nordeuropæisk klima.



Figur 9.2 – Flowdiagram for dimensionering af HVLS ventilation. I foreliggende rapport side 67-69 er de 7 dimensioneringspunkter beskrevet.

Projektgruppen har dannet sig dimensioneringserfaringer fra sportshaller, fabriksbygninger, lagerhaller og butiksarkader. Det er alle rum med højt til loftet, hvilket vil sige en loftshøjde på mindst 4 meter.

### Lokaletype

Når man foretager dimensionering af ventilation med HVLS ventilatorer, går man igennem en 7 punkts plan.

Først undersøger man om rummet er egnet til anvendelse af HVLS ventilation. Er der højt til loftet? Bevæger folk sig rundt inde i lokalet? Er loftshøjden mindst 4 meter? Er der behov for køling af mennesker om sommeren? Er der problemer med at varmen ligger oppe under loftet om sommeren? Hvis man kan svare bekræftende på foranstående spørgsmål, kan HVLS ventilatorer være en del af ventilationsløsningen.

Guiden, som er beskrevet her, er specielt tilegnet sportshaller, fabriksbygninger, lagerhaller og butiksarkader, og først vælger man bygningstype i flowdiagrammet.



### **Friareal**

Dernæst fastlægges friarealet (punkt 2 på figur 9.2). Friarealet er givet ved  $B \times L$ , hvor  $B$  er bredden og  $L$  er længden. Mange større sportshaller har tilskuerpladser i siderne og i den ene ende hallen, og dette areal hører ikke med til friarealet. Det skal være det fri gulvareal. Ligeledes hvis der er tale om lagerbygninger, skal der enten være tilstrækkelig med plads mellem og under hylder, eller så skal der være tilstrækkelig med frihøjde over hylderne til at luften kan fordeles.

Når friarealet er bestemt, beregnes diameteren for HVLS ventilatoren (punkt 3 på figur 9.2). Ofte foretrækkes en stor diameter. Det er billigere i leverance og i installation.

### **Diameter af HVLS ventilator**

Hvis man fx har en idrætshal, vil man ofte vælge en eller to rækker HVLS ventilatorer. Diameteren på propellen vil så beregnes ved:

$D = B/3$ , hvor  $D$  er propel diameter og  $B$  = Fri bredde.

Hvis fx fribredden i en sportshal er 20 meter, så vil der blive valgt en HVLS ventilator med en diameter på 6 meter.

Med kendskab til diameteren på HVLS ventilatoren, kan det totale antal ventilatorer efterfølgende bestemmes (punkt 4 på figur 9.2).

### **Antal HVLS ventilatorer**

Antal HVLS ventilatorer i bygningen vil være givet ved:

Total antal HVLS ventilatorer =  $N_B \times L / (D \times 3)$ ;

hvor  $N_B$  er antal HVLS ventilatorer i bredderetning,  $L$  er længden af friarealet og  $D$  er diameteren af HVLS ventilatoren. Hvis fx frilængden er 40 meter, og der kun er én række HVLS ventilatorer, skal der anvendes  $= 40/(6 \times 3) = 2$  ventilatorer i hallen.

### **Gruppeinddeling**

Når der monteres flere ventilatorer i store haller, kan der være behov for at kunne styre HVLS ventilatorerne med forskelligt omdrejningstal. Fx kan der i en fabrikshal være behov for mere køling i et område sammenlignet med et andet område. Ligeledes hvis der i en stor arena monteres fire HVLS ventilatorer, kan der i enden af hallen med scenen være behov for at nedkøle HVLS ventilatoren i perioden, hvor der udsendes røg ifm. lysshow. Denne nedkøling er jo ikke nødvendig i resten af hallen, hvor der kan være høj personbelastning i forbindelse med koncerter.



Det er vigtigt at diskutere denne gruppeinddeling, inden HVLS ventilatorer monteres således, at der kan trækkes de nødvendige kabler og opsættes den rigtige styring i forhold til behov.

### **Checkpunkter**

Luftstrømme genereret af HVLS ventilatorer kan have indvirkning på indblæsning af friskluft udefra eller friskluft fra indblæsningsarmaturer. Derfor skal man ved projektering tage højde for hele luftstrømningsbilledet. I kapitel 6 er luftstrømningsbilledet genereret af HVLS ventilatoren beskrevet i detaljer, og det er i særdeleshed det nedadgående luftflow fra en HVLS ventilator, der skal tages hensyn til. Det er bedst at luftstrømme går i samme retning eller løber i forskellige planer.

Belysning er også en vigtig check faktor. Lysarmaturer skal være mellem eller under HVLS ventilatorer. Hvis ovenlysvinduer eller lysarmatur er monteret direkte over vingerne, kan der komme blink i lokalet.

### **Set punkter for omdrejningshastighed og omløbsretning**

I kapitel 7 er chill effekten ved 25 og 29°C angivet som funktion af omdrejningstallet på den udviklede ventilator (se figur 7.21). For at begrænse negativ træk, kan der være behov for at begrænse HVLS ventilatorens reguleringsområde med udgangspunkter i formler/kurver i figur 7.21.



## 10. Konklusion

Anvendelsespotentialer for High Volume Low Speed ventilatorer (HVLS ventilatorer), er kortlagt og de er anvendelige i Nord Europa indenfor brancher med højt til loftet såsom lagerhaller, industrihaller, idrætshaller, arkader, shopping centre og lignende steder, hvor folk bevæger sig rundt.

HVLS ventilatorer har i USA og syd Europa især været anvendt til køling. Men i foreliggende projekt er det både i laboratorie og i praksis vist, at HVLS ventilatorer med succes kan anvendes med omvendt rotation, således at varme under loftet om vinteren cirkuleres retur til opholdszonen, uden det giver træk i opholdszonen.

**Projektet har haft succes med at få udviklet en driftssikker HVLS ventilator, der kan køle om sommeren og reducere varmekonsum om vinteren.**

**Samtidig opnås øget komfort året rundt.**

### Vingedesigns og CFD beregninger

I projektet er der undersøgt forskellige vingedesigns, og CFD beregninger blev anvendt til at vurdere performance for de forskellige designs. Der var tale om vingedesigns svarende til vindmøllevinger og vingedesigns med det samme profil fra nav til tip. Den vindmøllelignende vinge gav det mest ensartede flow målt horisontalt under vingen, men det afveg ikke markant fra det ensartede profil fra nav til tip. Økonomisk vil et ensartet profil være at foretrække, da der derved kan produceres én vingelængde, som tilpasses den enkelte opgave ved at skære vingen til i den optimale længde. Ligeledes blev det vurderet, at et ensartet profil ville være bedst visuelt for brugerne.

### Test på Teknologisk Institut

Der blev på baggrund af CFD beregninger, økonomiske vurdering og design udvalgt et vingeprofil, der var ensartet fra nav til tip, og form til produktion heraf blev produceret. Den udviklede og producerede vinge blev efterfølgende testet i et højloftet luftfysisk testrum på Teknologisk Institut. Der blev fundet overensstemmelse mellem CFD beregninger og målinger. Dermed kan det opbyggede program bruges til design af HVLS ventilatorløsningen til andre atypiske rumgeometrier.

I laboratoriet på Teknologisk Institut er der udviklet ligninger for sammenhængen mellem omdrejningstal på HVLS ventilatoren og den opnåede chill effekt på varme sommerdage. Dette er et alternativ til energiforbrugende airconditionanlæg.

### Styring



Der er udviklet en intelligent styring med et smart user-interface, så brugeren fra en iPad får en visuel beskrivelse af drift, og brugeren kan ændre setpunkter og aflæse værdier på fx temperatur og CO<sub>2</sub> oppe under loftet og nede i opholdszonen.

### **Guide**

Der er udviklet en guide til installation af HVLS ventilatorer i højloftede lokaler generelt således, at det kun er i specielle situationer, der vil være behov for at anvende CFD beregninger.

### **Testprotokoller**

Parallelt med foreliggende projekt er der i USA udviklet test protokol til test af HVLS ventilatorer. Den er udviklet af AMCA, som er en "non-profit" organisation i USA, der udvikler standarder, certificerer produkter og underviser markedet indenfor luftbevægelse og kontrol. Test protokollen er kendt som AMCA 230-15. Denne standard vedrører luftflow og energi performance. Som gjort i dette projekt, bør der også foretages målinger i opholdszonen i mange punkter og ved flere omdrejningshastigheder med kalibreret udstyr, der kan gå ned til meget lave hastigheder (<0,01 m/s). Sidstnævnte er ikke en del af AMCA 230-15. ASREA (American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers) er ved at indføre en ny standard 216P, hvor lufthastigheder, som målt i dette projekt i opholdszonen, er anført. I Europa skal målinger gennemført på baggrund af test protokollen holdes op mod DS EN 16798-2. Desuden skal produktet opfylde Maskindirektivet og være CE-mærket, mhp. at dokumentere at produktet lever op til sikkerhed, sundhed og miljø.

### **Casesteder, brugeroplevelse og energibesparelse**

Et af case stederne var en idrætshal og en anden var en højloftet industrihal. Case stederne gav indsigt i brugernes oplevelse af produktet, og var særligt en hjælp i forbindelse med udvikling af styringens user interface samt hvilke punkter man skal være opmærksom på i forbindelse med montering – ovenlys, lamper og placering af eksisterende indblæsningsarmaturer.

Målinger og beregninger på Teknologisk Institut og i idrætshal viser et energibesparelspotentiale på 20-30 %. Efter projektafslutning er der solgt flere hundrede HVLS ventilatorer til idrætshaller i Danmark, Norge og Sverige.

**Der er i aktuelle eksempler opnået 20-30% energibesparelse**



## **11. Formidling**

Der er formidlet af flere omgange i hele projektforsløbet, og forskellige medier har været anvendt.

### **11.1. Artikler, indlæg og foredrag**

- Pressemeldelse ved opstart af projekt  
<https://installator.dk/nordic-fan-company-teknologisk-institut-og-elforsk-indg%C3%A5r-samarbejde-omkring-udvikling-af-s%C3%A6rligt>
- Linked-In posts
- Indlæg og opgave med målinger ifm. kursus ved Teknologisk Institut  
<https://www.teknologisk.dk/kurser/ventilation-i-industrivirksomheder-og-laboratorier/k27305>
- Maskinmesteren, Januar 2021  
[https://nordicco.eu/wp-content/uploads/2021/01/MM-01\\_2021\\_Teknologisk-Institut.pdf65.pdf](https://nordicco.eu/wp-content/uploads/2021/01/MM-01_2021_Teknologisk-Institut.pdf65.pdf)
- TV2 nyhederne + P4 + TV Syd
- Fremhævelse af projekt ifm. konference " Comfort, Climate and Covid" i Edinburgh; September 2022
- Materiale til efterfølgende webinar i februar 2023