



TEKNOLOGISK
INSTITUT

LPC-e Danskproduceret LavEnergi Stald- ventilator Serie

Title in English:

LPC-e High performance **L**ow **P**ower **C**onsumption Stable fans

Indholdsfortegnelse

1	Sammenfatning	3
1.1	Summery in English.....	3
2	Baggrund.....	6
3	Formål.....	9
4	Metode	10
4.1	Metode	10
4.2	Arbejdspakker	11
4.3	Delkonklusion	13
5	Markedsanalyse og kravspecifikationer (simuleringværktøj)	14
5.1	Markedet for staldventilatorer på dansk plan og Verdens plan	14
5.1.1	Svineproduktion	14
5.2	Simuleringsværktøjet STALDVENT	17
5.2.1	Input, output parametre	17
5.2.2	Add-on parameter til Staldvent.....	19
5.3	Modelstalde	19
5.3.1	Slagtesvinestald i Danmark.....	20
5.3.2	Svinestald i Vietnam	20
5.4	Delkonklusion	22
6	Komponent udvikling og test (Ventilator og motor)	23
6.1	SKOVs og Fabrikas samarbejde.....	23
6.2	Motorkonstruktion	23
6.3	Sammenligning af performance for 12 og 4 polet PM Motor	25
6.4	Delkonklusion	26
7	Systemudvikling og test (styring)	27
7.1	Iteration 1.....	27
7.1.1	Del konklusion iteration 1	27
7.2	Iteration 2.....	28
7.2.1	Del konklusion iteration 2	28
7.3	Iteration 3.....	29
7.3.1	Delkonklusion iteration 3	31
7.4	Iteration 4.....	31
7.4.1	Del konklusion iteration 4	32
7.5	Software tilpasninger.....	32

7.5.1	Tekniske udfordringer.....	32
7.5.2	2-vejs kommunikation	33
7.5.3	Dødbånd.....	33
7.5.4	Motor design	33
7.6	Delkonklusion	34
8	Udvikling af beregningsværktøj til dimensionering af vingegeometri for LPC-e aksialventilator 35	
8.1	State of the art	35
8.2	Metode	35
8.3	Egne data.....	36
8.4	Delkonklusion	41
9	Validering og dokumentation (System)	42
9.1	Vindpåvirkning indlagt i staldvent.....	42
9.2	Simulering i staldvent af ny tagventilator ifm. slagtesvinestald i Danmark	47
9.2.1	Ventilationsydelse over året	47
9.2.2	Fire reguleringsstrategier	47
9.3	Simulering i staldvent af ny vægventilator i forbindelse med farestald i Vietnam .	49
9.3.1	Ventilationsydelse over året	49
9.3.2	Ventilatorsammenligninger.....	50
9.3.3	Reguleringsstrategier	51
9.4	Delkonklusion	52
10	Konklusion	53
11	Formidling	55
11.1	Artikler	55
11.2	Foredrag /indlæg	55
12	Bilag	56
12.1	Performance af ventilatorer	56
12.2	Vindtryk på bygninger	57
12.3	Grundlag	57
12.4	Beregning af aksialvinge profil med programmet MathCAD.....	60

1 Sammenfatning

Projektet har fokuseret på to energieffektive staldventilatorer, LPC-e til både skorstensventilation og gavlventilation. Ventilatorerne består af ventilatorvinge, motor, motorstyring samt indbygning i væg/loft.

- ø800 (25.000 m³/h, 20Pa, 1200 omdr. – uden diffusor)
- ø1400 (60.000 m³/h, 20Pa, 650 omdr.)

Der er taget udgangspunkt i, at ventilatorerne skal performe bedst muligt, når de indgår i et staldventilationssystem.

Projektet er medfinansieret af ELFORSK programmet med projekt nr. 350-019, og er udført af følgende projektdeltagere i perioden 1. april 2018 til 1. april 2020.

Svend Morsing	+45 2566 0044	SKOV A/S
Christian Grønborg Nicolaisen	+45 72202534	Teknologisk Institut
Christian Drivsholm	+45 72201380	Teknologisk Institut
Keld Sørensen	+45 2172 9892	Danish Exergy Technology A/S
Jens Amdisen	+45 60632552	Fabriks A/S
Preben D. Jessen	+45 2499 3946	OJ electronics A/S
Jörn Petersen		OJ electronics A/S

1.1 Summery in English

The project has developed a design of two new energy efficient barn fans LPCe, respectively a chimney fan Ø800 and a gable fan Ø1400.

The efficiency evaluation focused at the combined system. Instead of evaluation of the fan in best efficiency point, the fan has been optimized according to barn design, indoor climate, system solution and individual components.

Special focus has been to develop a fan, with clear connection between fan performance and power absorption. Normally the fan has a stalling point, but without a stalling point the fan controller will be able to give the air flow from recording of power (W) and round per minute (RMP); see figure 1.1.

The project has with success developed the design of an propeller without stalling for Ø1400. From recording power and RMP the airflow can be given. Normally an exact air flow on a farm requires instruments to measure. So, it is unique the air flow can be detected direct.

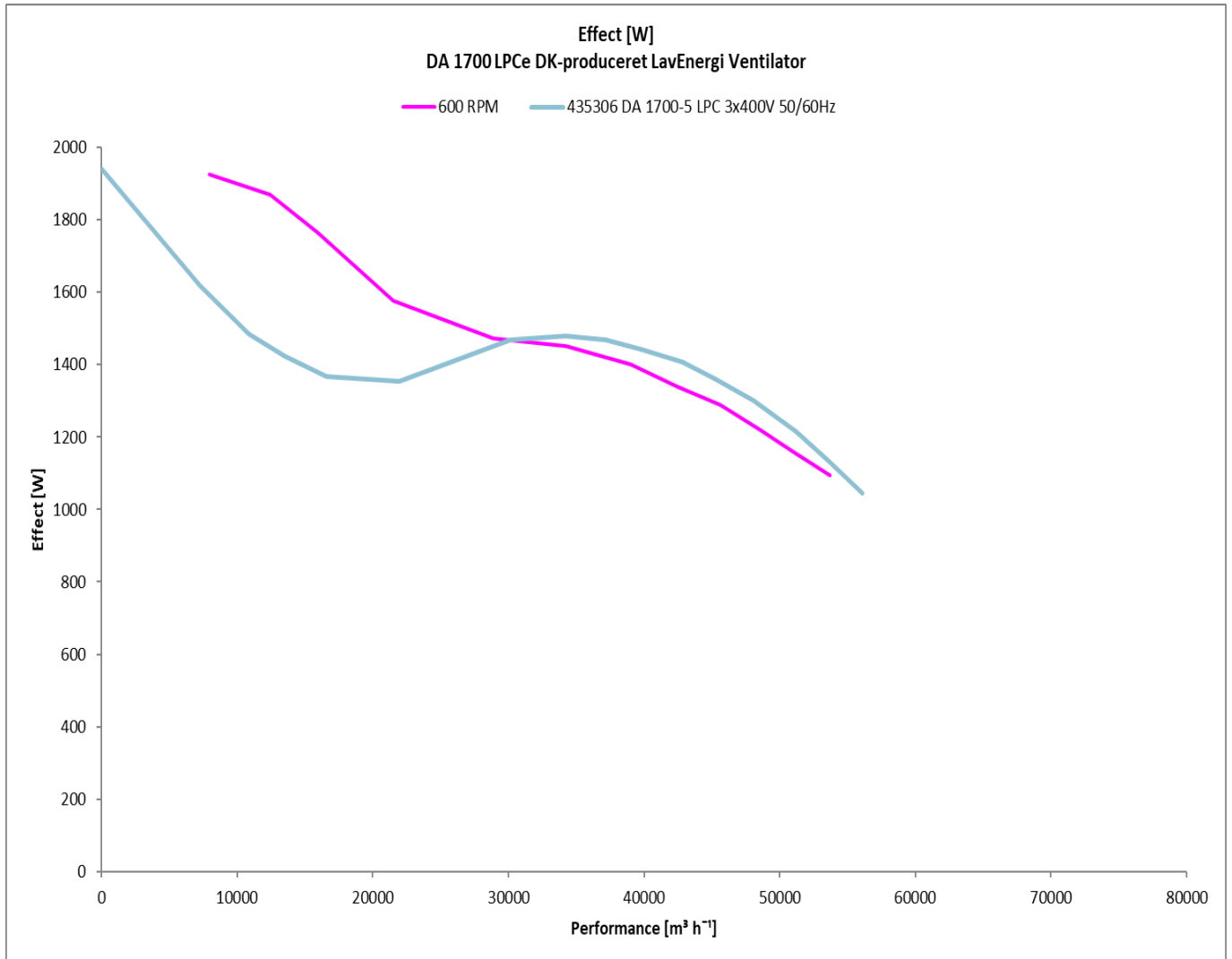


Figure 1.1: Energy consumption as a function of air flow for 600 RPM

- Blue curve shows the curve for existing fan characteristic with stalling point
- Pink curve shows the show fan characteristic for new designed fan without stalling

The project has also developed a prototype of a controller, which is able to maintain the required air flow even the pressure varies (for instance when the wind is blowing outside). Today is used dampers to maintain the air flow when the wind is blowing outside, but the vision could be that this should not be necessary for low air flow in the future.

Energy reduction

In order to simulate the energy reduction a new sub routine has been developed for the recognized simulation software Staldvent. The sub routine calculates the wind load at the building based at pressure coefficient for different wind directions.

Simulations are done for a finishing unit in Denmark and a farrowing unit in Vietnam, and depending of baseline the potential energy reduction is 22-34% compared to best practice today with Dynamic multistep.

2 Baggrund

Da den optimale ventilator til landbrugs-lavtryksmarkedet ikke var tilgængelig før i tiden, udvikledes der i et tidligere projekt en ny ventilator LPC, som opfyldte kravene og var specielt tilpasset mindre udsugningsskorstene, ud fra sammensætning af gængse optimerede komponenter fra danske og udenlandske underleverandører (motor, vinge, styring etc.).

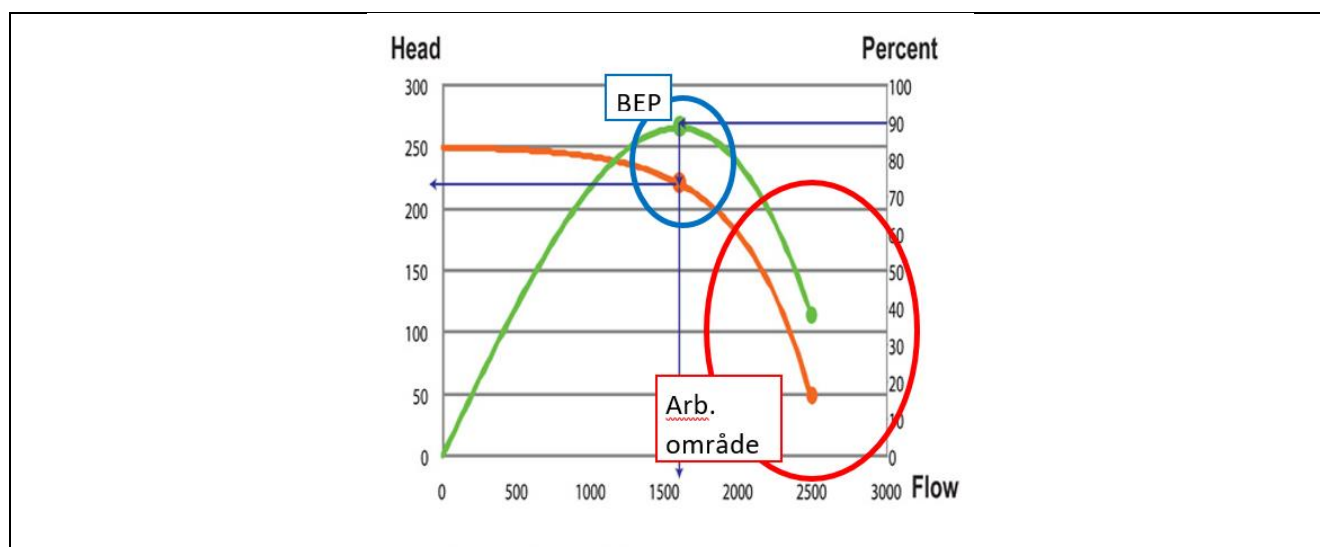
Den samlede systemløsning og meget brede viden i projektgruppen samt tilgang til udfordringerne gjorde at man endte op med et yderst energieffektivt produkt, ved ikke kun at se på optimeringen af den enkelte komponent, men systemet som helhed og herunder alle indgående komponenter, så fokus kunne rettes mod hvor "pengene var bedst placeret til optimering" ift. den samlede energieffektivitet set over et års ventilering af en stald.

Projektet var en stor succes og vandt bla. Elforskrisen 2010. LPC ventilatoren findes i dag i flere varianter som nu 6 år efter har solgt for ca. 100 mio. kr. fordelt på halvdelen i Danmark og halvdelen til eksport og har skabt arbejdspladser svarende til ca. 50 mandeår.

Særligt overraskende har det været, at landbruget ikke kun ved reparation og nybygning har implementeret produkterne, men også har udskiftet eksisterende produkter, der stadig var i drift og virkede, til de nye energieffektive produkter og systemer, udelukkende pga. energibesparelsen og rentabilitet, hvilket har givet et eksplosivt forøget marked for energieffektive produkter.

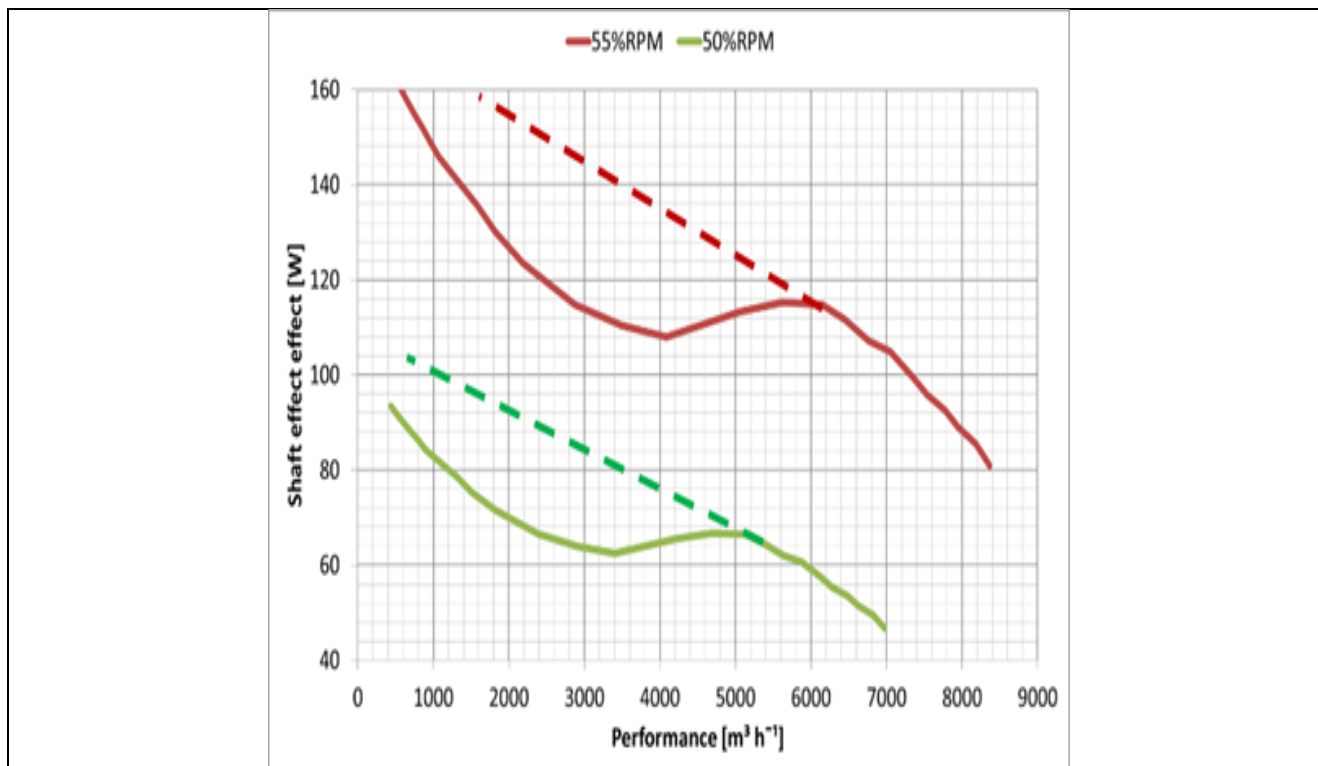
For 6 år siden udviklede og introducerede SKOV igen med støtte fra Dansk Energis ELFORSK-pulje en nyudviklet systemløsning med avanceret regulering, Dynamic MultiStep, til deres DA 600 skorstens-udsugningsenheder. Applikationsviden gjorde at der i projektet kunne defineres et optimalt forhold mellem energi effektivitet, trykstabilitet, reguleringsevne og robusthed. Dynamic multistep anvendes i dag i mange af SKOV's ventilationssystemer

Projektgruppen har nu været samlet igen, da SKOV stod overfor nye udfordringer, som de ikke kunne løfte alene med "in house viden" eller eksisterende viden. De nye Ecodesign (EU) krav gør nemlig, at underleverandører af ventilatorvinger er begyndt at producere og optimere mod, et for SKOV, ikke optimalt arbejds punkt; BEP, Best efficiency point, som er referencepunktet for EU-kravene. Dette punkt er det teoretiske bedste punkt for ventilatoren, men ikke det arbejdsområde som ventilatoren skal arbejde i, hvilket kan gøre ventilatorvingerne ineffektive i det reelle arbejdsområde (se nedenstående figur 2.1).



Figur 2.1 BEF (Best efficiency point) ift. arbejdsområde.

- Grøn kurve = virkningsgrad kurve
- Orange kurve = kapacitetskurve



Figur 2.2 Sammenhæng mellem akseffekt og ventilationsydelse. Det stiplede forløb kræver en nyudviklet vinge

- Grøn kurve = Akseffekt ved 55% af max. omdrejninger
- Rød kurve = Akseffekt ved 50% af max. Omdrejninger

Yderligere bliver underleverandørernes vinger optimeret ift. en idealiseret opstilling med meget små tolerancer iht. kravene, hvilket ikke kan efterleves i den virkelige verdens kanalenheder, i et meget aggressivt staldmiljø, hvor der skal tages højde for at tingene rent faktisk bliver kraftigt tilsmudset, og dermed giveren lavere effektivitet, hvis det ikke er i fokus.

SKOV ønsker derfor at udvikle og selv producere deres egen nye energieffektive IoT Ventilator serie LPC-e, i stedet for at samle enkelt-komponenter fra underleverandører. Som i tidligere projekt vil der ikke kun fokuseres på den enkelte komponent, men mod det samlede system (stalden, dets indeklima og indgående komponenter).

I tillæg til at designe en helt ny ventilatorvinge og serie vil projektet også udvikle ventilatoren (motor + vinge + indbygning) mod en stejl ukarakteristisk effektoptagskurve (akseffekt), som sammen med ny permagnet magnet motorteknologi vil muliggøre bestemmelse af ventilatorens tryk og flow (se figur 2.2), ved at et hvert effekt og omdrejningspunkt punkt, (fx 60W+1200o/min, 80W+1200 o/min, 100W....osv) er unikt. Dvs. kombinationen af W+RPM kun optræder en gang over hele ventilatorens karakteristik (stiplet kurve i fig. 2), hvilket ikke er tilfældet i dag (fuldt optrukken kurve i figur 2.2).

Når flowet kendes overflødiggøres "trækning af spjæld" som i dag er nødvendigt for at opretholde en vind-stabilitet som medføre et relativt stort drøvle (tryk) og energitab ved lavt omdrejningspunkt. Det vil sige at spjældåbningen pt. reduceres ved lav ventilatorhastighed for at skabe autoritet over spjældet, hvilket skaber et u hensigtsmæssigt stort tryktab over ventilatoren. Reguleringen af skorstensspjældet har hidtidig været udfærdiget for at sikre trykstabilitet og dermed flow-

stabilitet uafhængigt af vindpåvirkningen (så stalden til en hver tid har det ønskede flow og dermed indeklima uafhængigt af vindpåvirkningen, som er essentielt for dyrenes komfort samt vækst og dermed for landmandens omsætning.

Ved en nyudviklet vingekarakteristik, som angivet med stiplet linje i figur 2.2, vil der være en entydig sammenhæng mellem akseffekt og ventilationsydelse, og det er således muligt at bruge RPM og akseffekt til at bestemme ventilationsydelse. En dynamisk kompensation af vindpåvirkninger er derfor mulig, hvilket giver mulighed for at eliminere skorstensspjældets trykstabiliserende virkning og reducere tryktabet og dermed genere energibesparelser.

Landbrugsprodukter er generelt low cost produkter og en hurtig markedsindtrængning kræver komponenter, der økonomisk kan matche markedsniveauet, men er mere effektive eller har andre features. Udover den nye vinge (stiplet linje i figur 2.2) vil den entydige sammenhæng mellem omdrejningstal og akseffekt til at bestemme luftydelsen muliggøre udvikling af en motorstyring og teknologi, hvor luftflow kan bestemmes uden prisforøgende komponenter såsom flow og trykmåler samt sikre at der ikke skal trækkes fordyrende signalkabler ved installationen.

3 Formål

Projektet udvikler to nye energieffektive staldventilatorer LPCe til henholdsvis skorstensventilation og gavlventilation.

- ø800 (ca. 25.000 m³/h, 20Pa, – uden diffusor)
- ø1400 (ca. 60.000 m³/h, 20Pa,

Ventilatorserien fokuserer på det samlede system (stalden, indeklimaet, systemløsningen og komponenterne).

Formålet er opfyldt gennem:

- Udvikling og optimering af nyt vingedesign
- Udvikling af ventilatorer med en stejl karakteristisk akseffekt og effektiv motor teknologi
- Indirekte indikation af flow og trykudløb ud fra akseffekt og omdrejningstal til styringen af ventilatorens ydelse iht. det samlede system og ønskede indeklima
- Dataopsamling til driftsovervågning og styring
- Dimensioneringsværktøj for systemløsninger, komponentvalg og styring til skorstensventilatorer eller/og gavlventilatorer ud fra staldtype, anvendelse, konstruktion og størrelse, udeklima (også mth. eksport), indeklimakrav, og samspil med evt. køle- og varmeanlæg

4 Metode

Kapitlet indeholder en gennemgang af anvendte metoder samt en beskrivelse af de gennemførte Arbejdspakker.

4.1 Metode

Udfordringerne ved optimering af ventilatorer er, at ingen ved hvad der egentlig sker, når luften passerer vingen. Man ved hvad der sker før og efter, men ikke i vingen under rotation. For ikke at starte fra bunden tages der udgangspunkt i en screening af BAT (Best Available Technology) i det for SKOV brugbare område og bygge videre på disse ventilatorer, iht. kendte modellove og erfaringer fra tidligere projekter:

- **Screening af ventilatorer** på marked med hhv. flad karakteristik / høj effektivitet i kombination ift. motorvalg og effektivitet.
 - Udgangspunktet er at optimere $\varnothing 800$ og $\varnothing 1400$
 - **Resultat;** Karakteristika for fokuspunkter
- **Opmåling af udvalgte designs og parametre** (fysisk laser-opmåling af geometri + kapacitets opmåling)
 - **Resultat:** Opstilling af First draft – design
 - **Resultat:** Forskel mellem idealiseret opmåling og installation i skorsten
- **Teoretisk og praktisk sammenhæng** ift. screening og heraf udvikling af teoretisk og empirisk beregningsværktøj for optimeringsproces (kombination af CFD/ teoretisk beregning/ målinger)
 - **Resultat:** Værktøj opbygget med mulighed for parametre variationer
- **Iterativ proces** med design, fremstilling og opmåling af designs
 - **Resultat:** Opstilling af 2, 3... draft design hvor udvalgte parametervariationer vælges og værktøj justeres samt produkt optimeres.
- **Endeligt design**

Fokuspunkter under optimeringsproces:

- Energieffektivitet samt ensartet karakteristik som muliggør flow bestemmelse og dermed overflødig trækning af spjæld for vindstabilitet
- Optimering i det reelle arbejdsområde
- Optimering udenfor BEP, samtidig med at enheden stadig overholder Ecodesign
- Optimering ift. simulering af et års ventilation i STALDVENT og ikke i et øjebliksbillede, for at opnå den mest energieffektive installation

Udfordringer som kræver forskning:

- Lavtryksområde (meget svært at optimere,)
- Atypisk optimum som modarbejdes af internationale krav
- Konstant anlægs karakteristik (konstant tryk over regulerede udeventiler)

Indsatsen kræver viden og erfaringer om ventilatorer, staldventilation og markedet, samt test og produktionskapacitet (SKOV), viden om international lovgivning- og markedsudvikling (Teknologisk Institut) kendt viden og forskning om optimering af ventilatorer og styring af flow og tryk med tilhørende laboratorier (Teknologisk Institut i samarbejde med DTU), viden om motorstyring

(OJ electronics), viden om og simulering af indeklima i stalde (DXT), samt erfaringer fra etablering og renovering af stalde (SKOV og tilhørende aftagergruppe).

Arbejdspakkerne nedenfor omfatter modeller, simuleringer og analyser, som udgangspunkt for udvikling samt design og test af prototyper for hardware og software. Green Lab for Energy Efficient Buildings (GLEEB) på teknologisk institut indgår i forskningssamarbejdet, der udnytter både SKOV's udviklingsfaciliteter og Instituttets ventilationslaboratorier.

Projektet udnytter yderligere viden og erfaringer fra projektet: "PSO 340.030 - Energieffektiv styringsvenlig staldventilator-unit" og "PSO 342.041 Energieffektiv Biologisk luftrensning til staldventilation".

4.2 Arbejdspakker

Projektet omfatter 8 arbejdspakker inkl. formidlingsaktiviteterne

WP1. Projektleidelse

Projektleidelsen er ansvarlig for projektets planlægning og fremdrift samt resultater i overensstemmelse med projektansøgningen, projektets ressourcer, kvalitetskrav til løsningerne, og samarbejdet mellem projektets deltagere iht. "Regelsæt for støtte fra Elforsk."

Som led i projektet etableres en projektgruppe (projektdeltagerne), som er ansvarlig for kick off møde, status møder og arbejds-sessioner i henhold til milepæle. SKOV A/S er projektleder for hele projektet.

MS1. Projekt gennemført, resultater fra øvrige WP'er foreligger som udgangspunkt for SKOV's produktion af LPC-e (efter projekt afslutning)

Deltagere: SKOV A/S og projektgruppen

WP2: Markedsanalyse og kravspecifikation (simuleringsværktøj)

Markedsanalyse og screening af markedet for opbygning og klimatisering af stalde: Størrelser, produktion, systemløsninger og komponenter og indretning af stalde samt ekstern og interne belastninger.

Videreudvikling af simulerings- og dimensioneringsværktøj STALDVENT. Simulering af enkeltkomponenter (ventilator + motor) og systemer på staldniveau og års niveau (via styring) som skal sikre fokuspunkter og korrekte design parametre for hhv. styring, styringsstrategi samt ventilator og motor.

Opstilling af reference modelstalder i staldvent og simulering heraf som udgangspunkt for opstilling af kravspecifikation til optimering.

MS2-1: STALDVENT simuleringsværktøj udviklet

TM2-1: Kravspecifikation til design- og simuleringsparametre i STALDVENT udviklet

TM2-2: Kravspecifikation til designparametre for ventilator og styringsoptimering udviklet

KM2-1 Markedsanalyse og screening gennemført

Primære deltagere: SKOV, Teknologisk Institut, DTU, DXT

WP3: Komponent udvikling og test (ventilator og motor)

Test, udvikling og optimering af de enkelte delkomponenter herunder vinge, motor og motorstyring iht. "Fremgangsmåde for optimering" angivet under afsnit 2.B samt produktion af prototyper i rapid prototyping. Yderligere opstilling af minimumskrav i samarbejde mellem SKOV, DXT og DTI til test i SKOV og DTI's testfacilitet. Optimering på komponentniveau iht. pris, effektivitet og kravspecifikation.

MS3-1: Delkomponenter, ventilator og motor samt motorstyring, optimeret.

FM3-1: Sammenhæng mellem teoretisk + empirisk beregning og praksis opmåling fundet

FM3-2: Designparametre som her indflydelse på effektiviteten er kortlagt

TM3-1: Designprogram opbygget

Primære deltager: SKOV, Teknologisk Institut, DTU, DXT, OJ-Electronics, Fabrika

WP4 Systemudvikling og test (styring)

Udvikling af styring samt tilhørende sensorer. Videreudvikling af delkomponenter til systemniveau, herunder interaktion mellem systemets komponenter (styring og regulering), stalden som helhed (indretning og indeklima) og det tilkoblede system (ventilatorer/ anlæg). Resultaterne er en samlet optimering som sikrer sammenhæng mellem indgående projekteringsparametre herunder intern og ekstern belastninger (dag/nat og årstidsvariationer samt bestykning) og de indgående delkomponenter (styring, sensorer, ventilator, motor og motorstyring) og tilhørende optimering af energiforbrug og udnyttelse af synergieffekter.

MS4-1: Delkomponenter optimeret på systemniveau

FM4-1: Test samt teoretisk grundlag fra WP3 videreudviklet fra enkeltkomponent til systemniveau

Primære deltagere: SKOV, Teknologisk Institut, DTU, DXT

WP5 Validering og dokumentation (system)

Test og demonstration af den samlede systemløsning løsninger i TI's og SKOV's ventilationslaboratorier, hvor det samlede systems energiforbrug logges over en driftsperiode svarende til et eller flere holdskifte. I WP'en udarbejdes dokumentation vendt mod slutbruger, bygningsejer og beslutningstager og der opbygges endvidere grundmateriale til teknisk formidling samt SKOVs markedsføring.

MS5-1: System valideret

TM5-1: Testserie gennemført

FM5-1: Teoretisk og praksis sammenhæng valideret

KM5-1: Grundmateriale til dokumentation og markedsføring udarbejdet

Primære deltagere: SKOV og Teknologisk Institut

WP6 Dimensioneringsværktøj for LPC-e – løsning, komponentvalg og styring

De i WP2-WP5 opnåede resultater samt tilhørende test data og dokumentation på enkeltkomponent og systemniveau indarbejdes i STALDVENT som færdigudvikles til at kunne varetage de nye komponenter og systemer. På baggrund af videreudvikling kan STALDVENT heraf opstille enhver bestykning og staldudformning og heraf beregne dels indeklimaet og dels det årlige energiforbrug og besparelse ift. traditionelle systemer.

MS6-1: STALDVENT dimensioneringsværktøj udviklet

TM6-1: STALDVENT Empirisk og teoretisk beregningskerne udviklet og valideret med test data

Primære deltagere: SKOV, DXT og Teknologisk Institut

WP7 Videnformidling

Resultaterne formidles som del af temadage om ventilation på Teknologisk Institut, samt via indlæg på eksterne konferencer og artikler i fagblade. Resultaterne formidles yderligere via SKOV's hjemmesider.

Formidling sker iht. formidlingsplanen angivet i afsnit 4.A og 4.B og bidrag til markedsmodning

MS7-1: Temadage afholdt, støttet af 2 artikler, og 2 indlæg på seminarer/konferencer.

KM7-1: Produktserie klar til produktmodning og markedsføring

Primære deltagere: SKOV og Teknologisk Institut

4.3 Delkonklusion

Projektet består af 7 arbejdsopgaver, hvoraf projektledelse og formidling er to af arbejdsopgaverne.

Efter en markedsanalyse og kravspecifikationer til simuleringsværktøj, følger et kapitel med udvikling af ventilator og motor, efterfulgt af et kapitel med udvikling af styring samt et kapitel med udvikling af vinge. Til sidst inden konklusionen er et kapitel med udvikling af simuleringsværktøj og simulering af modelstalde til demonstration af potentiel energibesparelse med de nyudviklede produkter

5 Markedsanalyse og kravspecifikationer (simuleringværktøj)

Kapitlet indeholder en markedsanalyse og screening af markedet for opbygning og klimatisering af stalde: Størrelser, produktion, systemløsninger og komponenter og indretning af stalde samt eksterne og interne belastninger.

Dernæst indeholder kapitlet kravspecifikationer til videreudvikling af simulering- og dimensioneringsværktøjet STALDVENT, således at det kan anvendes til simulering af energiforbrug i afhængighed af valgte enkeltkomponenter (ventilator + motor), styringsstrategi og systemer på staldniveau gennem et år.

Endelig indeholder kapitlet opstilling af reference modelstalder i staldvent, som skal anvendes når de udviklede produkter skal optimeres og evalueres.

MS2-1: STALDVENT simuleringværktøj udviklet

TM2-1: Kravspecifikation til design- og simuleringparametre i STALDVENT udviklet

TM2-2: Kravspecifikation til designparametre for ventilator og styringsoptimering udviklet

KM2-1 Markedsanalyse og screening gennemført

Primære deltagere: SKOV, Teknologisk Institut, DTU, DXT

5.1 Markedet for staldventilatorer på dansk plan og Verdens plan

Både af hensyn til optimalt klima for dyrene og for miljøet samt for fødevarer sikkerheden går størstedelen af grisene indendørs i stalde. I stalderne er der etableret ventilationssystemer, der optimerer de termiske og atmosfæriske forhold for dyr og driftspersonale. En vigtig brik i et ventilationssystem er udsugningsventilatorerne, og i det følgende beskrives markedet for ventilatorsalg til svinestalde både på nationalt plan og på Verdensplan.

5.1.1 Svineproduktion

I 2018 blev i Danmark født 32,7 million grise i Danmark og heraf blev 18,0 millioner slagtet i Danmark, mens resten blev eksporteret til først og fremmest Tyskland og Polen samt en mindre del til Holland og Italien (Kilde: Udvikling i den kvartalsvise produktion af svin i Danmark).

Det tager ca. et halvt år for en gris at vokse op. Undervejs har den først tilbragt 3-4 uger i farestalden, hvor den er født, derefter en periode i smågrisestalden. Når den er ca. 11 uger og vejer 25-30 kg flyttes den fra smågrisestalden til slagtesvinestalden hvor den går til den vejer 110 kg ved en alder på 5-6 måneder. Soen er drægtig (gravid) i 3 måneder, 3 uger og 3 dage. Denne periode tilbringer den i løbe/drægtighedsstalden.

Svinebestanden var i 2018 1,0 million søer, 5,9 million smågrise og 2,9 million slagtesvin gennemsnitligt på stald. I efterfølgende tabel er det omsat til ventilationskapacitet til svinestalde i Danmark (Kilde: NYT fra Danmarks Statistik, februar 2019, Nr. 38).

	Svinebestand 2018 ¹ (stk)	Vægt (kg)		Maksimal ventilationskapacitet	
		Start	Slut	(m ³ /time/gris)	(m ³ /time)
Søer	1.020.000	250		130 i drægtighedsstald (4/5 del af året) 400 i farestald (1/5 del af året)	106.080.000 81.600.000
Smågrise	5.905.000	6,5	25-30	45	265.725.000
Slagtesvin	2.901.000	25-30	110	110	319.110.000
Total	Ca. 10 millioner				Ca. 800 millioner

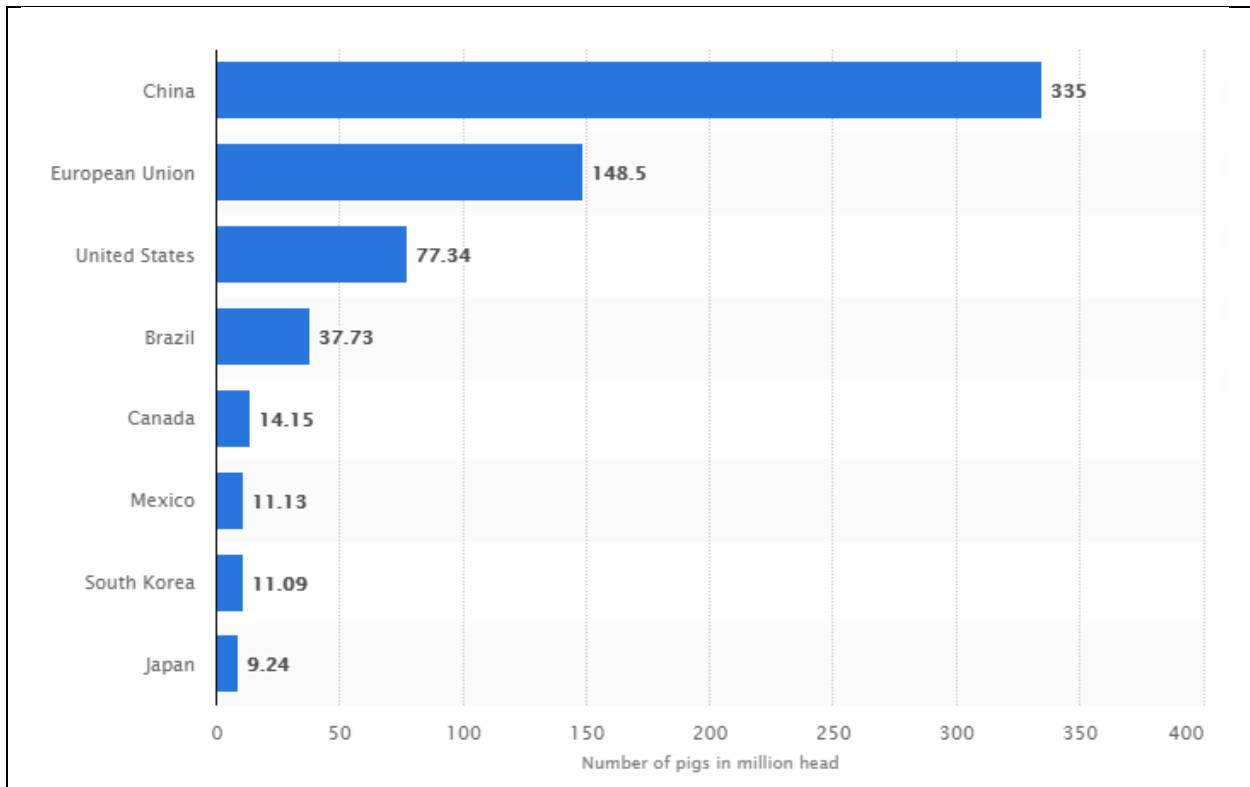
Tabel 5.1: Svinebestand og tilhørende ventilatorkapacitet i Danmark

8,5% af den samlede bestand af grise i Europa er i Danmark (Kilde: Statistik 2018, juni 2019, Landbrug og Fødevarer). Velviden at ventilatorkapaciteten er større i den sydlige del af Europa vil der minimum være en total ventilatorkapacitet på 9,5 milliard m³/time.

Forudsættes hypotetisk at der i de Europæiske stalde er ventilatorer med en kapacitet på 20.000 m³/time vil der være installation af 475.000 ventilatorer. Med en levetid på 10 år, er der i alt et Europæisk skønnet marked på 47.000 ventilatorer om året.

22% af Verdens svineproduktion er beliggende i Europa (Kilde: Statistik 2018). Ved forholdsberegning fås dermed en estimeret ventilatorkapacitet på mindst 43 milliarder m³/time. I varmere egne etableres et andet ventilationsprincip i maksimum; kaldt tunnelventilation. Her er ventilatorkapaciteten i staldene betydeligt større og der anvendes ventilatorer med typisk 40-50.000 m³/time.

I dette projekt har der været udviklet ventilatorer (vinger, motorer og styring) til det globale marked - dels de mindre tagventilatorer Ø820 der anvendes især Europa og dels de store vægventilatorer Ø1400 der anvendes i varmere områder.



*Figur 5.1: Svinebestand
– antal millioner hoveder i de største svineproducerende områder*

Ventilationsprincipper til svinestalde

I Danmark er der opblandingsventilation med luftindtag via vægventiler, loftsventiler eller diffust loft. oftest anvendes også en kombination af diffust luftindtag over hele loftsfladen og loftsventiler – kaldes kombiventilation.

Udsugning foretages udelukkende via tagventilatorer med kapaciteter på typisk 13-22.000 m³/time pr ventilator. Udsugningsdiametrene er typisk 0,62-0,82 cm i diameter.

	Drægtighedsstald	Farestald	Smågrisestald	Slagtesvinestald
Luftindtag	Vægventiler 	Diffus ventilation + loftsventiler 	Diffus ventilation 	Diffus ventilation + loftsventiler 
Udsugning	Tagudsugning 	Tagudsugning 	Tagudsugning 	Tagudsugning 

Figur 5.2: Luftindtag og udsugning i de forskellige staldafsnit i Danmark

I varmere regioner af Verden er der oftere større staldrum end i Danmark og om sommeren anvendes såkaldt tunnel-ventilation, hvor der i den ene ende af bygningen er luftindtag og i den anden ende af bygningen er store gavlventilatorer – illustreret i figur 5.5.

5.2 Simuleringsværktøjet STALDVENT

Firmaet Danish Exergy Technology A/S har sammen med det tidligere Forskningscenter Bygholm, der er i dag er under Århus Universitet, udviklet simuleringsværktøjet STALDVENT. Programmet anvendes i forbindelse med dimensionering af ventilationsanlæg til stalde og med programmet kan de energimæssige konsekvenser ved forskelligt valg af komponenter og styringsstrategi anvendes.

5.2.1 Input, output parametre

Input parametre til staldvent er dyrekategori (grise, fjerkræ og kvæg), dyrenes vægt ind og ud af sektion, ønsket start og slut temperatur og relativ fugtighed, antal dyr pr. sektion, antal dage i sektion, bygningsdimensioner, isoleringsgrad, timebaserede vejrdata hentet fra Meteonorm, minimumsventilation, valgt type udsugningsventilator og indblæsningsventil og styringsstrategi.

Staldvent5.0 Copyright© 2004 DIAS Research Centre Bygholm, DXT model slagtesvinestald.SPX

Filer Redigér Indstillinger Værktøjer Grafik Hjælp

Identifikation Produktion Bygning Ventilation Varme Simulering Klimaanalyse Luftstråle

Vpe Strøm/Feenstra 1981

SVIN	Start				Slut			
	Vægt kg	Antal --	Vpe kW	Vpe parameter	Vægt kg	Antal --	Vpe kW	Friskluft std m ³ /h
Drægtige søer	250,0	0	--	56	250,0	0	--	--
Diegivende søer	250,0	0	--	12,0	250,0	0	--	--
Smågrise	7,0	0	--		30,0	0	--	--
Ungsvin	30,0	0	--		50,0	0	--	--
Slagtesvin	30,0	400	49,62		105,0	400	103,99	32445
FRATS	7,0	0	--		95,0	0	--	--
I alt								
I alt	--	400	49,62	--	--	400	103,99	32445

Produktionsform

Holddrift
 Kontinuerlig drift
 FRATS

Dage pr hold -- 84
 Holdsammensætning ændres dag 0

Vpe parameter

Tidspunkt i drægtighedsperiode dag 56

Standard klimadata

	start	slut
Staldtemperatur °C	22,0	18,0
Relativ fugtighed %	68,0	72,0
Staldforhold --	Fugtigt	↓
Fordampningsfaktor --		0,90
Fri varmereproduktion W	27054	64252
Bunden varmereproduktion W	22549	39773
Vandfordampning kg/h	32,47	57,27
CO2-produktion kg/h	17,53	36,77

Bygningsskitse

Taghældning	grd	15,0	Gulvareal	m ²	368,0
Lofthældning	grd	0,0	Vægareal	m ²	217,5
Spærhøjde	m	1,5	Loftareal	m ²	368,0
Bygningshøjde	m	4,0	Tagareal	m ²	381,0
Spærtype	--	--	Bygningsvolumen	m ³	920,0
Tagflade	--	--			

DXT DJF

Afslut

Figur 5.3: Skærbilleder fra STALDVENT der viser inddata

5.2.2 Add-on parameter til Staldvent

I dette projekt videreudvikles programmet til at inddrage vindpåvirkning i afhængighed af bygningsdimensioner, bygningsorientering samt placering ad udsugningsventilatorer.

Programmet er desuden udvidet med de nyudviklede ventilatorer (vinger+motor) samt styringsstrategier.

Rød opsætning	Smo: grøn opsætning betyder at ventilationsydelsen ikke ændrer sig mere end 25% når der påtrykkes et sug på 20 Pa
Grøn opsætning	Smo: rød opsætning betyder at ventilationsydelsen ikke ændrer sig mere end 25% når der påtrykkes et sug på 40 Pa
Multistep	Klimacomputeren styrer én ventilator trinløst fra 0 til 100% ventilation. Ved 100% ventilation kobles den næste ventilator ind på 100%, hvorefter den trinløst regulerede ventilator begynder forfra fra 0% ventilation.
Dynamic Multistep	Ventilatorerne kobles ind i grupper til ca. 50% af deres ydelse. Når alle ventilatorer er koblet ind, reguleres de parallelt op til 100% af deres ydelse, hvis yderligere ventilation er påkrævet. Det vil altså sige, at der anvendes flere ventilatorer, og at de dermed kører ved en lavere ydelse. Det reducerer strømforbruget markant samtidig med, at det gode klima i stalden fastholdes.
LPC-e (Low Power Consumption) Ny ventilator og styring udviklet i dette projekt	Ny vinge og ny motor designet mhp. at få en entydig sammenhæng mellem omdrejningstal og energiforbrug.

Tabel 5.2: Beskrivelse af forskellige styringsstrategier

5.3 Modelstalde

I forbindelse med vurdering af nyt design på ventilatorer med ny vinge, ny motor og ny styring, vil energibesparelsen vha. STALDVENT blive anskueliggjort ved sammenligning af energiforbrug med tidligere og nuværende ventilatorer, og beregningerne vil blive foretaget ved brug af forskellige styringsstrategier.

Der er endvidere valgt modelstalde i forbindelse med simulering af energibesparelsen. Tagventilatoren Ø820 er sammenlignet med tidligere tagventilatorer i forbindelse med en slagtesvinestald beliggende i Danmark. Den nye vægventilator Ø1400 er analyseret ifm. en farestald i Vietnam.

5.3.1 Slagtesvinestald i Danmark

Slagtesvinestalden er beliggende tæt på Ålborg lufthavn. Nedenfor ses et foto fra stalden.



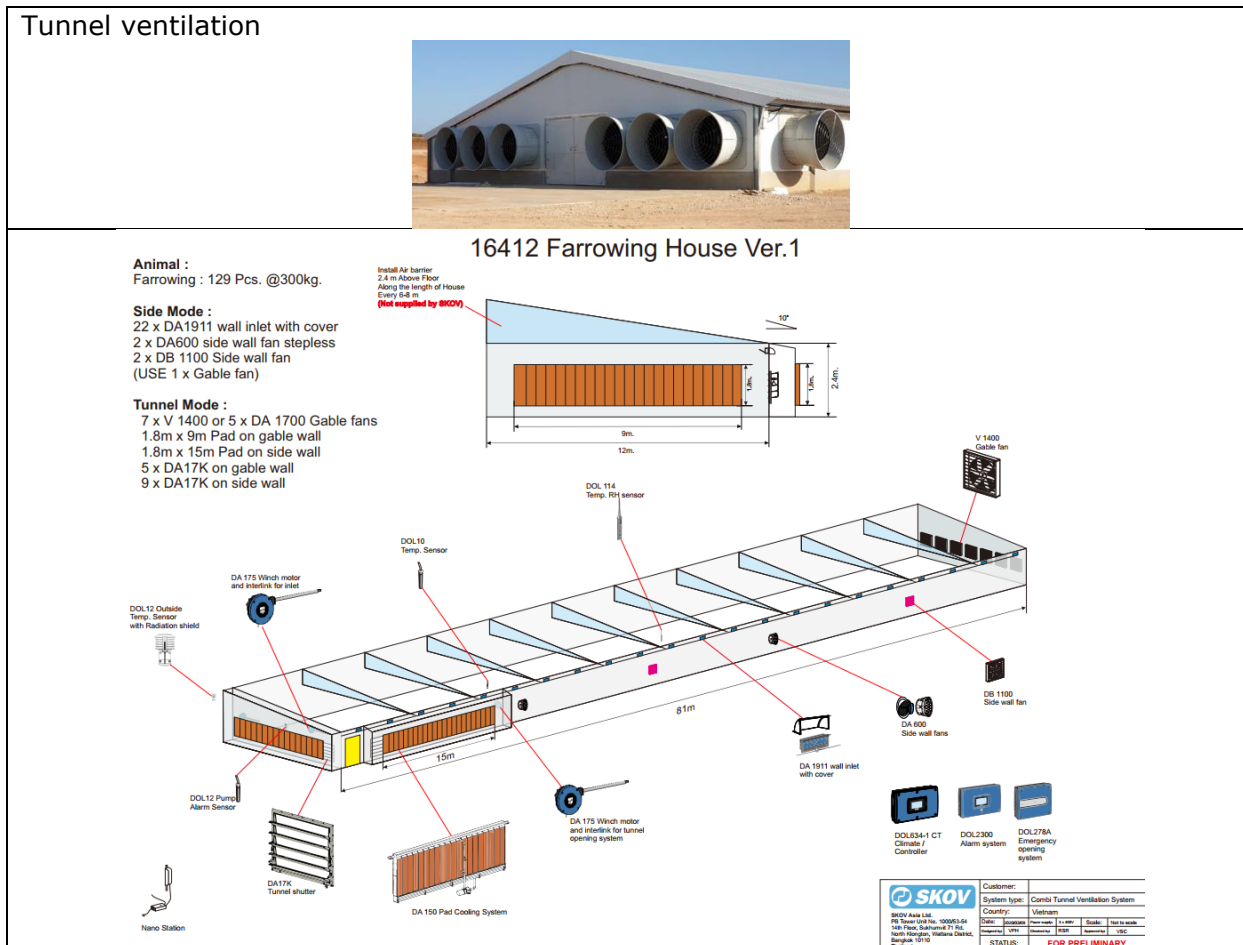
Figur 5.5. Foto fra modelstalde til grise i Danmark

Antal grise pr. sektion	stk.	400
Indsættelsesvægt	kg	30
Afgangsvægt	kg	105
Antal dage i sektion	dage	84
Antal dage mellem hold	dage	7
Indsættelsestemperatur	Celsius	22
Afgangstemperatur	Celsius	18
Minimumsventilation	m ³ /time/gris	7
Bygningsdata (sektionsstørrelse)		
Længde	m	32,0
Bredde	m	11,5
Væghøjde	m	2,5
Taghældning	grader	15
Ventilationsydelse		
Ventilationsluftmængde/dyr - max	m ³ /time/dyr	100
Ventilationsluftmængde/dyr - min	m ³ /time/dyr	7
Undersøgte ventilatorer		LPC-11/12 LPC-e
Indblæsningsprincip		Diffus ventilation
Undersøgte styringsstrategier		Rød, Grøn, Multistep, Dynamic Multistep
Vejrdata	Try-vejrdata	Aalborg

Tabel 5.4: Slagtesvinestald

5.3.2 Svinestald i Vietnam

En stor del af SKOV A/S's salg går til lande hvor dyrenes køles med træk vha. tunnelventilation. Derfor er produktudviklingen også evalueret i forhold til eksport. Som modelstald er valgt en farestald i Hanoi i Vietnam. Nedenfor ses et foto fra stalden og i tabel 5.5. er angivet inddata for modelstalden.



Figur 5.5. Foto fra modelstald farestald i Hanoi, Vietnam

Antal søer pr. sektion	stk.	120 /hoddrift
Vægt	kg	300
Antal dage i sektion	dage	35
Antal dage mellem hold	dage	7
Indsættelsestemperatur	Celsius	24
Afgangstemperatur	Celsius	20
Bygningsdata (sektionsstørrelse)		
Længde	m	81,0
Bredde	m	12,0
Væghøjde	m	2,4
Taghældning	grader	10 (ensidig)
Ventilationsydelse		
Ventilationsluftmængde/dyr - max	m3/time	250000
Undersøgte ventilatorer		DA1700-5 LPC DA1700-5 LPC-e
Indblæsningsprincip		Ventil + tunnel
Undersøgte styringsstrategier		Multistep, Dynamic Multistep og LPCe
Vejrdata	Hanoi	Vietnam

Tabel 5.4: Farestald i Vietnam

5.4 Delkonklusion

I 2018 blev i Danmark født 32,7 million grise i Danmark og heraf blev 18,0 millioner slagtet i Danmark. 8,2 % af svinebestanden i Europa forefindes her i Danmark.

I Danmark er installeret tagventilatorer med en tilsammen maksimal udsugningskapacitet på 800 millioner m³/time. Hertil er overslagsmæssigt opsat minimum 475.000 tagventilatorer.

I varmere lande er det ikke tilstrækkeligt at køle luften med udeluften. Der trækkes luften gennem cooling-pads, og der etableres tunnelventilation, så dyrene køles med høje lufttemperaturer.

I kapitlet er beskrevet modelstalde for grise beliggende i Danmark og Vietnam.

I kapitel 9 vil vi vende tilbage til modelstaldene, hvor vi vil anvende dem til på staldniveau at evaluere de produktudviklingsforslag der udvikles i de efterfølgende 2 kapitler.

6 Komponent udvikling og test (Ventilator og motor)

Kapitlet indeholder beskrivelse af udvikling af motor og test.

6.1 SKOVs og Fabrikas samarbejde

Fabrikan og SKOV har i flere år haft et godt samarbejde vedrørende energi effektive elmotorer. Samarbejdet startede, da Fabrika deltog i udviklingen af SKOV's DA 1700 gavilventilator, som de i dag er hovedleverandør til. På baggrund af de erfaringer der blev gjort i denne proces, blev Fabrika inviteret med til LPC-e projektet, for at kunne bistå med den nyeste viden omkring elmotorer.

6.2 Motorkonstruktion

Nogle af de første overvejelser vi havde i projektgruppen var, om vi kunne finde en motorkonstruktion, hvor vi kunne undgå kritiske materialer som Neodym magneter, der disse er produceret af et grundstof som i sin natur har en begrænset tilgængelighed. Kombinationen af det begrænsede materiale, og den øgede efterspørgsel fra producenter af elmotorer til elbiler gjorde, at vi frygtede, at der på sigt kunne komme en stor øget efterspørgsel, hvilket vil føre til en markant prisstigning. Siemens har i det seneste gjort meget ud af at promovere deres reluktans elmotorer, da de har en høj virkningsgrad, når de drives af frekvensomformere. Derfor tænkte vi, at dette kunne være en mulighed for os at teste. Desværre viste det sig, at der var flere udfordringer ved denne teknologi. For det første har disse elmotorer en ringere $\cos \phi$, hvilket medfører at de trækker en højere strøm. Den højere strøm kræver en større frekvensomformer, som derved bliver dyrere. Samtidigt er reluktansmotorerne ikke billigere end de PM motorer vi har sammenlignet med, hvilket samlet gør drevsystemet for dyrt. Desuden kræver denne teknologi en helt bestemt software, der skal være integreret i frekvensomformeren. Denne software har OJ ikke, og da der er langt fra nok timer i projektet til at udvikle dette, dropper vi reluktansteknologien.

Efter opstartsmødet blev det aftalt, at Fabrika skulle gå videre med at designe en 1,2kW PM motor.

Designfasen endte ud i en 12polet og en 4polet version, hvor vi gennem projektet ville lave en analyse af hvilken af disse to konstruktioner, der giver bedst kombination af pris og performance. Her er det specielt forskel i performance ved de lave omdrejninger og belastninger der er interessant, da det er her vi i projektet vil finde den helt store energibesparelse.

Under designfasen kom projektgruppen i forbindelse med en relativt ny teknologi kaldet permanent magnet assisteret synkron reluktansmotorer (PMaSynRM). Denne teknologi skulle have den fordel at man i stedet for Neodym magnet, som jo er en begrænset ressource, kunne bruge almindelige ferrit magneter. Tanken bag designet er blandt andet, at man ved at bruge disse ferrit magneter, kan øge roterkernens performance, og derved kompensere for den lavere $\cos \phi$, som forårsager at øget strømforbrug.

Electric Motors – Other motor technologies



Motor technology and trends – PMaSynRM

PM assisted SynRM (PMaSynRM)

- Expected to be future trend
- Highly energy efficient
- Magnets introduced to improve $\cos\phi$ – avoid over-sizing of drive
- No rare earth magnets (ferrite instead)
- Easy maintenance
- Combines the best of PM and SynRM
- Very high energy efficiency classes expected: IE5



Drawings from Danfoss

Figur 6.1: Motorteknologi og trends

Motorteknik Sammenligning af motortyper



	Asynkron Motor	PM (Non-Salient)	PM (Salient)	SynRM
Enkel design	+	+	-	+
Enkel fabrikation	+	-	+	+
Enkel at styre	++	+	-	-
Virkningsgrad	+	++	+++	++
Felt svækkelse cap.	++	-	+	+
Moment densitet	-	+	++	++
Magnetisk robust	++	-	+	++
Mekanisk robust	++	-	+	+++
Direkte tilslutning	++	-	-	-
Vægt / Størrelse	-	++	++	++
Service	++	-	-	++

Figur 6.2: Danfoss – Sammenligning af motortyper

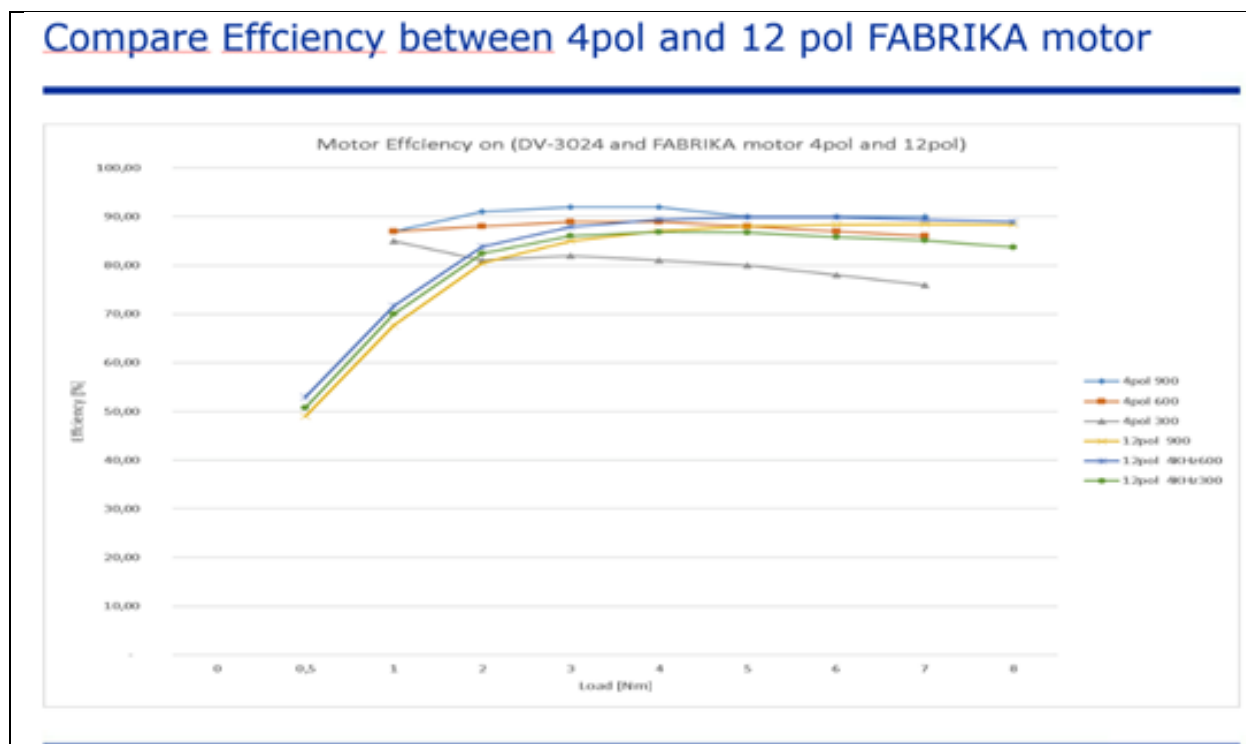
Danfoss og Teknologisk Institut har lavet en grafisk sammenligning af de forskellige typer elmotorer - jævnfør figur 6.2.

For at undersøge permanent magnet assisteret synkron reluktansmotorer (PMSynRM) mulighed nærmere afholdte Fabrika og SKOV møde med TI om dette. På mødet fandt vi ud af, at der var lavet prototyper, som havde vist rigtigt flot performance og derved høj virkningsgrad. Da teknologien endnu ikke var moden, blev det besluttet at dette projekt ikke kunne vente, og Fabrika ville derfor sideløbende følge med i udviklingen for egen skyld.

Næste step var derfor at få produceret de to 1,2kW prototyper i hhv. 4 og 12polet udførelse og få dem testet ved OJ, så vi kunne se hvilken der havde den bedste performance.

6.3 Sammenligning af performance for 12 og 4 polet PM Motor

OJ har opmålt og testet den 4 polede motor i deres prøvestand.

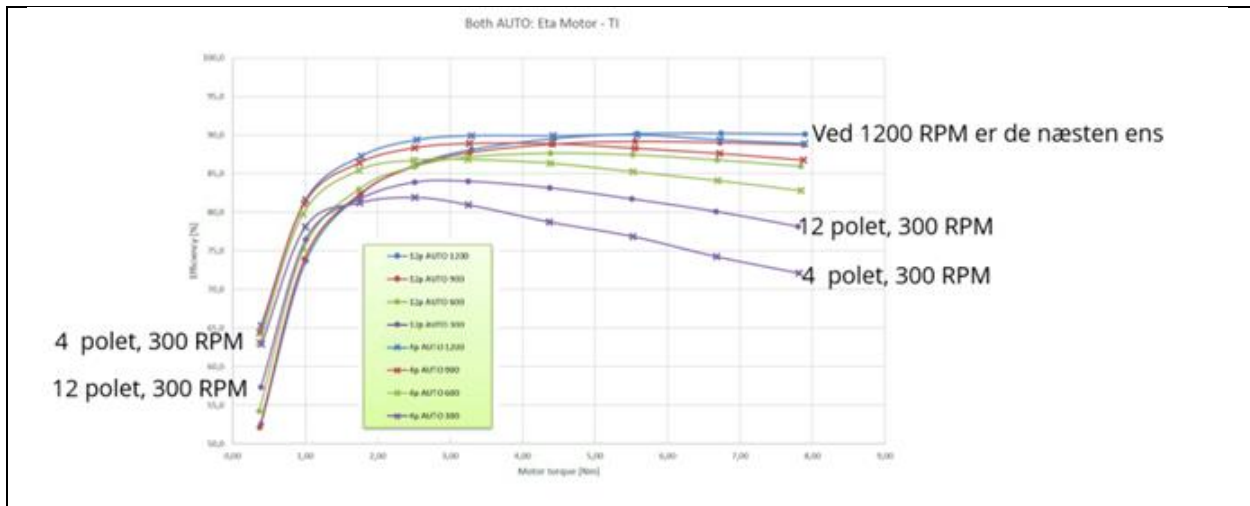


Figur 6.3 Motoreffektivitet testet af Fabrika

Resultatet viste at den generelt havde en tilfredsstillende høj effektivitet, men ved de nederste 1/3 af området faldt styringens effektivitet markant. Desværre er dette kritisk, da det er i dette område, at vi ønsker at hente den helt store besparelse på ventilatoren.

Da årsagen til dette blev undersøgt, fandt vi ud af, at det skyldes frekvensomformererens begynder at skifte mellem 4 og 8kHz, ved 60% hastighed, for at reducere støj. For at undgå tab ved lav hastighed, blev det besluttet at der fremadrettet skulle benyttes 4kHz alene.

For at få et mere sikkert analysegrundlag, blev det besluttet at der skulle laves direkte sammenlignelige målinger i Teknologisk Instituts målebænk



Figur 6.4 Motoreffektivitet testet af Teknologisk Institut

Testen fra Teknologisk Institut viste at forskellen mellem den 12 og 4poledede var meget lille. Der ville være en teoretisk chance for at man ved at finjustere på parametre på de 12poledede kunne få bedre performance. Dog ville det ikke kunne betale sig at bruge disse ressourcer, da det vurderes at vi ikke kan optimere den 12poledede nok til at det kunne opveje merprisen der er ved at producere denne type motor.

Derfor blev det besluttet ikke at bruge mere tid på den 12poledede, og man ville derfor benytte den 4poledede 1,2kW fremadrettet i projektet.

6.4 Delkonklusion

Forskellige typer magneter blev vurderet i forhold til motorkonstruktion. Der blev designet en 1,2 kW PM motor i hhv 4 og 12 polet udførelse. Ud fra tests blev det valgt at benytte en 4 polet 1,2kW motor.

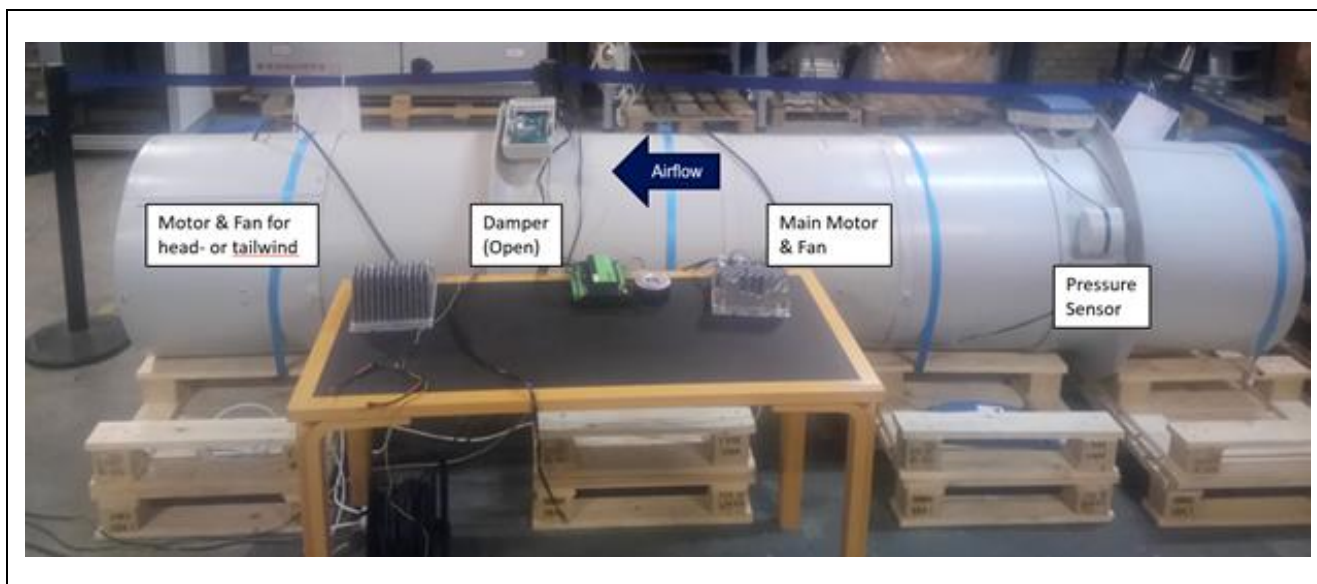
7 Systemudvikling og test (styring)

Kapitlet indeholder en gennemgang af udviklingsforløbet samt en beskrivelse af de gennemførte iterationer.

7.1 Iteration 1

Standard softwaren til OJ-DV motorstyring blev udvidet med en funktion til at levere et konstant tryk i røret ved brug af en ekstern tryk-transmitter.

Formålet med denne udvidelse var at kunne evaluere trykreguleringen ved forskellige påvirkninger, for efterfølgende at kunne indføre den ønskede flowregulering med den integrerede "flow-estimator".



Figur 7.1 Første OJ testopstilling baseret på DA600

Følgende målinger blev gennemført:

- Hastighedsstabilitet ved pludseligt trykstigning
- Hastighedsstabilitet ved pludseligt trykfald
- Motorstrøms påvirkning ved hhv. med- og modvind

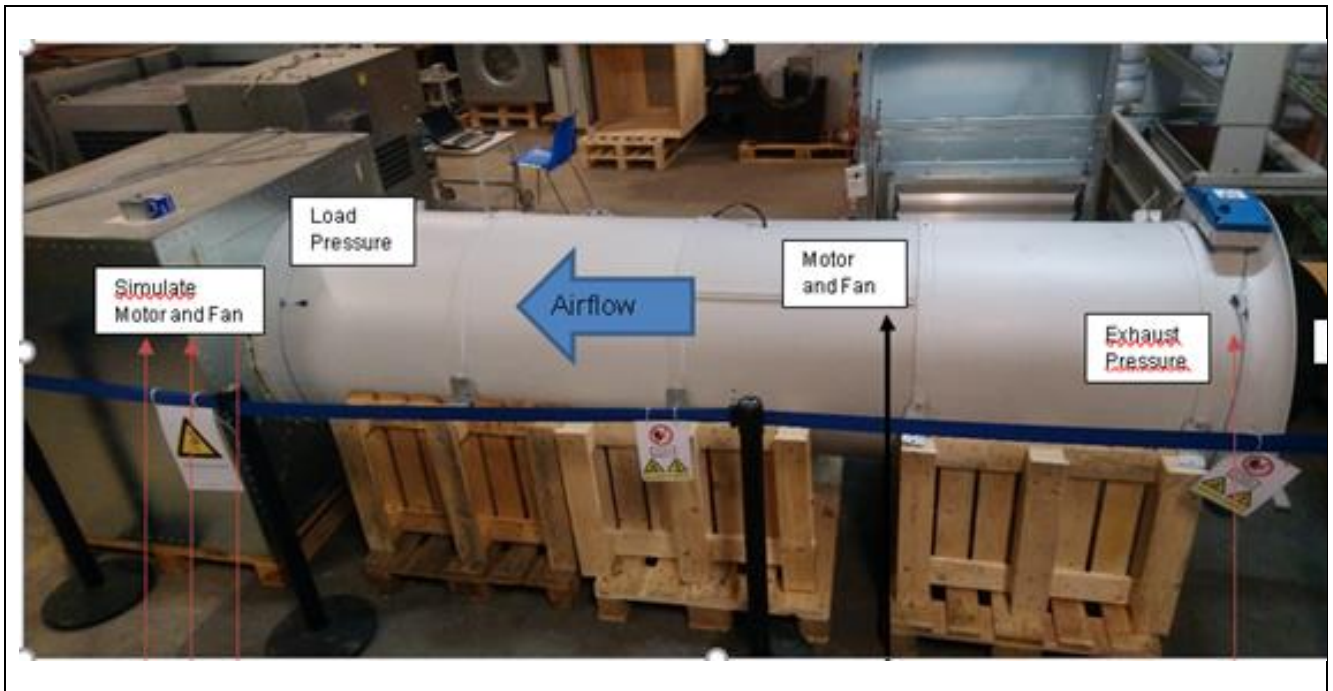
7.1.1 Del konklusion iteration 1

- Medvindsmålinger viser en klar sammenhæng mellem stigende medvind og faldende motorstrøm.
- Modvindmålingerne er mere uklare på grund af begrænsninger i testopsætningen (bl.a. en ikke optimal vingekarakteristik for DA600-ventilatoren, som ikke gav en monoton stigende belastningskurve)
- Testopsætning bør optimeres:
- Mod- og medvinds skal køre med "fast strøm" for at skabe "konstant moment" i stedet for at bruge hastighedsregulator for at sikre "konstant hastighed"
- Alternativt: Brug konstant trykregulator til med- og modvind
- Trykmåling kan forbedres med lille "luftslange" omkring røret

- Bør måle differenstryk over ventilatoren, når der bruges to ventilatorer
- Vis beregnet akseffekt $[W] = \text{Moment} [Nm] * \text{Hastighed} [RPM] * 2\pi / 60$

7.2 Iteration 2

Softwaren blev udvidet med muligheder for at udlæse flere data via kommunikations-snitfladen, som blev anvendt i et automatiseret test-miljø for at fremskaffe kalibreringsværdier til "flow-estimatoren".



Figur 7.2 Forbedring af test opstilling og tilpasset til DA82

Målinger

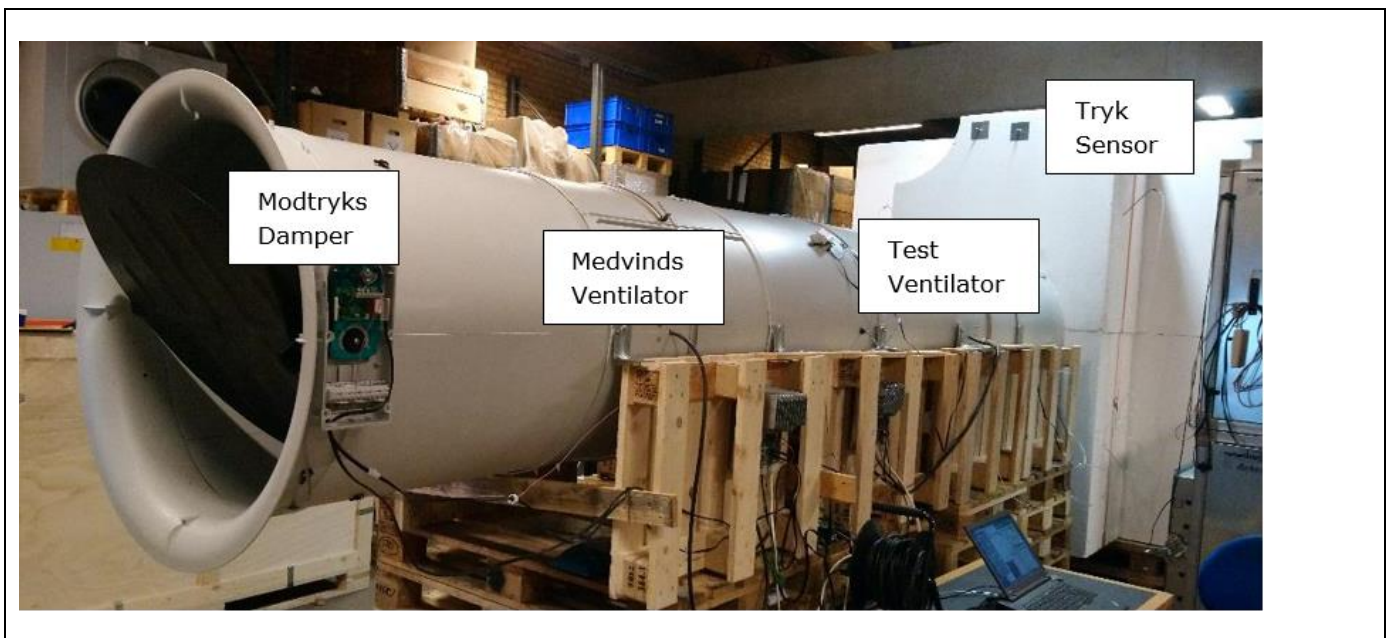
- Motorstrømspåvirkning ved hhv. med- og modvind

7.2.1 Del konklusion iteration 2

- Modvindsmålinger viser en klar sammenhæng mellem stigende modvind og stigende motorstrøm
 - Dette er forbedret fra måling på DA600-systemet i iteration 1
- Medvindsmålinger er uklare, og yderligere undersøgelse er nødvendige
 - Dette scenarie er ændret i den forkerte retning
- Møde med Teknologisk Institut og SKOV A/S hos OJ for videre diskussion/afklaring

7.3 Iteration 3

- Der er tilføjet en funktionalitet til at måle motorens akseleffekt i softwaren
- Første udgave af "flow-estimator", som ud fra hastighed og akseleffekt beregner flow i kanalen.
- Tilføjet funktion til at estimere hastighed på ventilator, når motoren er stoppet (til detektering af træk i kanalen)
- Løbende justeringer og optimeringer af "flow-estimatoren" efter interne målinger.
- Testopstilling
- Fremstilling af Venturi-rør til kalibrering af målinger og beregning af air flow ud fra trykmålinger
- Forbedret placering samt tilføjelse af trykmåle sensorer
- Opdatering af system, så test af medvind og modtryk kan gennemføres som en automatiseret test



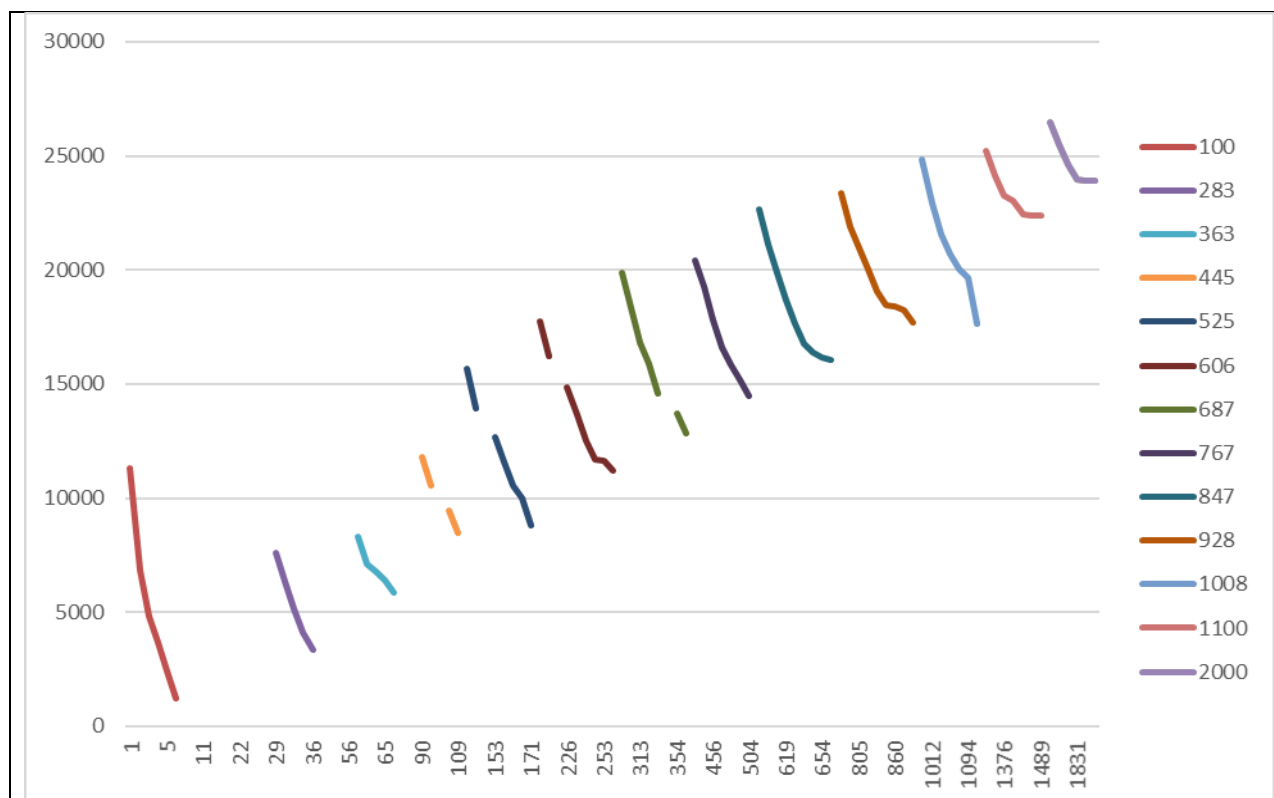
Figur 7.3 Forbedring af test opstilling og Venturi-rør til kalibrering



Figur 7.4 Venturi-rør

Målinger

- Flow kontrol beregningskoncept
 - Udmåling af flow og akseleffekt ved forskellige hastigheder
 - Udarbejdelse af tabel til opslag af flow ved forskellige aksel effekter og hastighed
 - Indføre en form for linearisering imellem værdier i flow tabel



Figur 7.5 Resultat for udmåling af flow (angivet i m^3/h på Y-akse) i afhængighed af akseleffekt (angivet i W på X-akse) ved forskellige hastigheder (angivet i RPM med farvede kurver)

7.3.1 Delkonklusion iteration 3

Lukningspjæld reducerer luftstrømmen, men strømmen beregnes ikke korrekt. Nedsat luftstrøm reducerer belastningen på ventilatoren og reducerer motorstrømmen. Dette får flow-estimatoren til at antage, at ventilatoren bliver udsat for mere medvind, og at luftstrømmen stiger, så drevet reducerer hastigheden.

For meget medvind (ved lav hastighed) får DV til at beregne forkert strøm. **Drev** bruger ekstra strøm, når du prøver at holde hastigheden nede, hvis medvinden bliver for høj. På et tidspunkt bliver medvind så kraftig, at motorhastigheden stiger. Kan delvis løses, hvis drevet lader ventilatoren dreje frit, når hastigheden stiger.

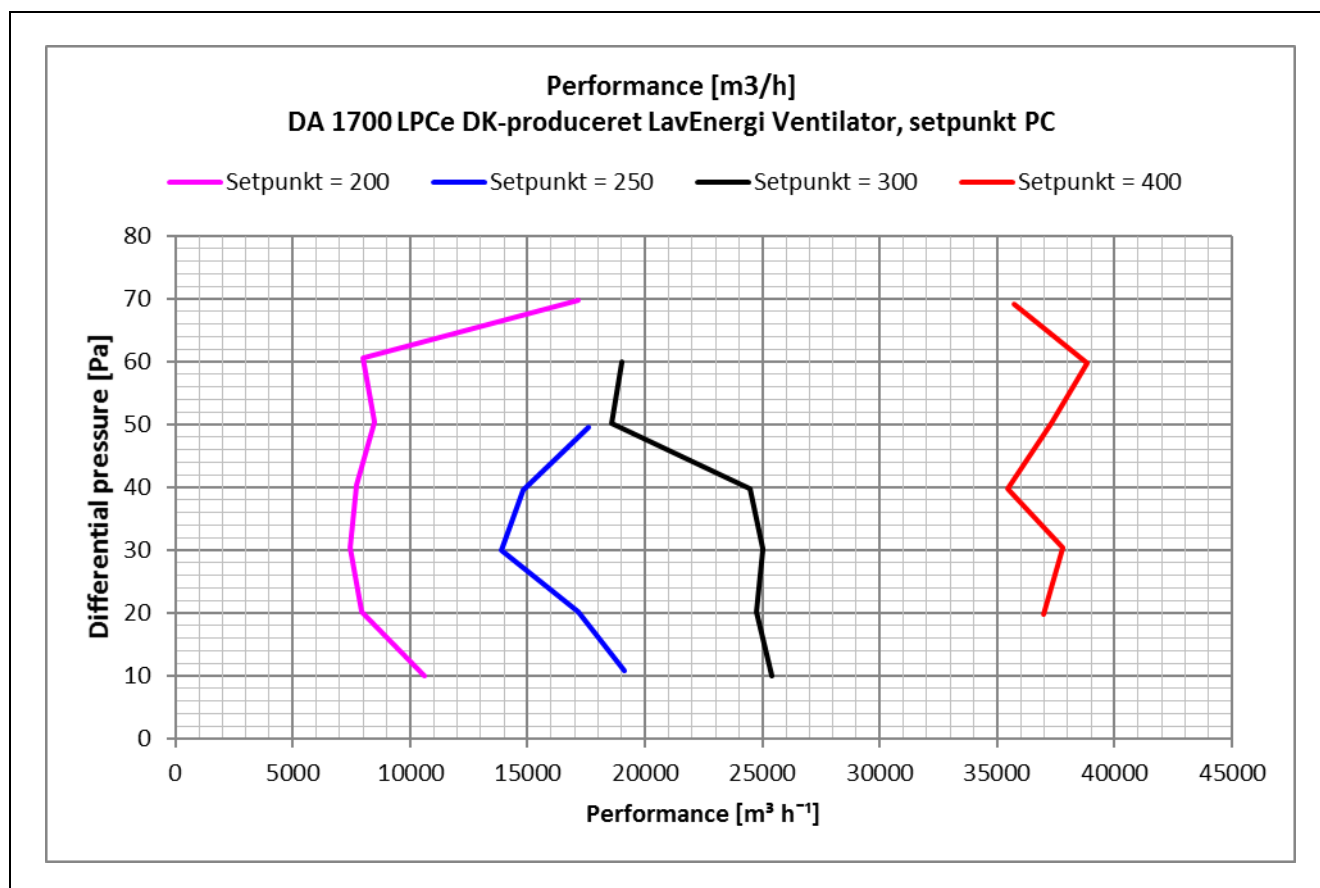
7.4 Iteration 4

Software:

- Tilpasninger og justeringer af "flow-estimator" efter målinger på prøvestand hos Skov med "DA1700-vinge"
- Evaluering af testresultater og undersøgelse af optimeringsmuligheder i samarbejde med Skov

Test og målinger:

- Test blev gennemført hos Skov A/S af Skov's medarbejdere og evalueret i samarbejde mellem OJ og Skov. Se testresultat i næste figur.



Figur 7.6 Resultat af målinger på Skovs prøvestand.

Viser faktisk flow (Performance) ved forskellige eksterne vindpåvirkninger (med- og modvind)

7.4.1 Del konklusion iteration 4

Figur 7.6 viser relativ store afvigelser under målingerne, som i den ideelle implementering skulle vise lodrette streger for de forskellige "Setpunkter".

Det har dog vist sig at være meget svært, at opnå stabile arbejds punkter for lave setpunkter, hvor systemet viste store udsving for motorhastighed og flow.

7.5 Software tilpasninger

7.5.1 Tekniske udfordringer

- Som beskrevet under 7.4.1 var det svært at opnå stabile arbejds punkter for flowreguleringen. Det formodes, at det skyldes et modspil mellem flowreguleringen og lastreguleringen, som anvendes til at skabe det konstante modtryk i testopstillingen.
- Ved acceleration og nedbremsning af motoren ændrer effektoptaget sig, så flowet vil blive estimeret forket i disse situationer. Denne midlertidige målefejl burde dog kunne filtreres fra i flowregulatoren.
- Der skal udføres en recalibrering og laves en ny tabel til flowregulatoren, hvis der foretages ændringer i systemet (f.eks. vingedesign, rørdiameter eller kanallængde).
- Kalibrerings-tabellen skal udmåles så detaljeret, at der undgås "huller" og at der er nok "overlap" for effektoptaget imellem de forskellige reference-hastigheder.

7.5.2 2-vejs kommunikation

I dag benytter Skov et 10-0V styresignal til den enkelte OJ motorstyring for at styre hastigheden.

I dag reduceres hastigheden for en $\varnothing 1400$ kun ned til ca. 60%, derfra reduceres luft flowet ved hjælp af styret lukning af spjæld. Dette for at sikre korrekt luftflow uanset ydre påvirkninger.

For at opnå størst mulig energireduktion skal hastigheden på motoren reduceres så langt ned som muligt, før drosling af spjæld benyttes. En vigtig parametre i dette er vingedesignet. Afhængig af hvor god en lineær sammenhæng mellem aksel effekt og flow, der kan opnås, kan grænsen for brug af spjæld drosling reduceres ved brug af eksisterende 10-0V styring princip.

Skal grænsen reduceres yderligere eller opnås ikke en god nok lineær sammenhæng er det en betingelse at der indføres en form for 2-vejs kommunikation. OJ motorstyring har som standard et RS-485 interface med en Modbus RTU protokol.

Ud fra måleresultater ser det ud til at vingedesignet for $\varnothing 1400$ gavlventilatoren har en god nok sammenhæng at grænsen kan reduceres uden at Skov skal indføre Modbus kommunikation.

For $\varnothing 800$ er det en betingelse at der indføres 2-vejs kommunikation (Modbus) for at der kan udveksles data om hvilket flow der leveres og hvornår ydre påvirkninger bevirker at spjæld skal drosles.

7.5.3 Dødbånd

Som beskrevet i kapitel 2, har et af målene i dette projekt været udvikling af en ventilatorvinge, som viser en entydigt sammenhæng imellem akseffekt og ydelse (flow).

Da det ikke lykkedes til fulde for $\varnothing 800$ -ventilatoren, kan det blive nødvendigt at indføre en funktionalitet i softwaren, som også kan estimere flowet for en ikke-entydig vingekarakteristik. Algoritmen til flowestimeringen laver et tabelopslag i kalibreringstabellen og en efterfølgende linearisering imellem arbejds punkterne.

Her starter algoritmen altid sin søgning i tabellen ved 0 og "søger opad" mod et stigende flow, men startpunktet kunne også sættes til det maksimale flow og søgningen udføres "nedad" til et faldende flow, hvis det aktuelle arbejds punkt ligger i den øvre halvdel af arbejdsområdet.

På denne måde kunne man i det mindste finde de to yderpunkter for "sadelen" (det ikke entydige område for vingekarakteristikken), men der kan stadigvæk være en større "gråzone", hvor flowet vil være ukendt.

Kvaliteten af dette princip vil være afhængig af den konkrete vingekarakteristik.

7.5.4 Motor design

Den valgte motor til dette projekt er en 4-polet motor fra Fabrika. Denne har en BACK-emf spænding på 221V rms ved 1000 rpm. Dermed er det elektriske design af motoren ikke tilpasset til det aktuelle maksimale hastighedskrav. Opløsningen på BACK-emf spændingen bliver derfor ikke optimal ved lave hastigheder

Ligeledes har vi oplevet at motoren skal have en højere startstrøm i forhold til andre, dette kan også have betydning for styring af motoren ved lave hastigheder.

7.6 Delkonklusion

OJs testopstilling er baseret på $\varnothing 800$, hvor der ikke er opnået et vingedesign uden saddelpunkt. Dette har bevirket at OJs software rettelser og implementering har været afhængig af Skov's test og måleresultater. Ligeledes har der indtil sent i projektet været arbejdet med til stadighed at optimere vingedesignet, hvilket har haft indflydelse på software implementeringen.

Iteration 4 har reelt set været flere iterationer. Software er i flere omgange været justeret og tilpasset ud fra måleresultat foretaget hos Skov.

Baseret på de tests som er gennemført, ser det ud til at være muligt at tilføje en ekstra salgsparemeter til $\varnothing 1400$ i form af at reducere grænsen for, hvornår spjæld skal lukkes for at have styr på ventilationsluftmængden.

For at dette skal lykkes er der behov for at udfordringerne som beskrevet i afsnit 7.4.1 bliver håndteret således at tests kan gennemføres på et stabilt system.

8 Udvikling af beregningsværktøj til dimensionering af vingegeometri for LPC-e aksialventilator

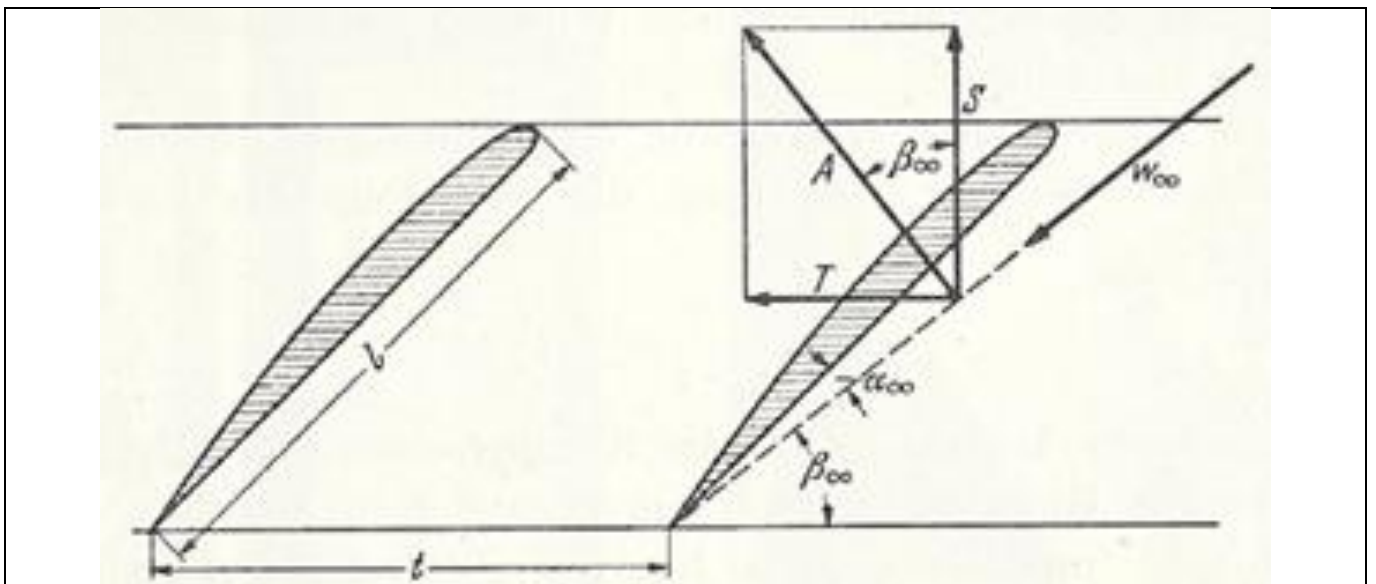
SKOV har ønsket udvikling af aksialventilator vinger i størrelsen $\varnothing 800\text{mm}$ (DA820) og $\varnothing 1400\text{mm}$ (DA1700), hvis arbejdskurver giver en mere unik sammenhæng mellem luftydelse, målt effekt og målt omdrejningstal, og hvor der også tages hensyn til vindtryk og vindsug på staldbygningen. Herved kan OJ Elektronik styring og Fabrika el-motorer anvendes uden yderligere brug af diverse sensorer.

8.1 State of the art

De nuværende ventilator arbejdskurver har lidt for markerede 'sadel-punkt' områder, som gør det problematisk at vide hvor man er på arbejdskurven. Ved at flytte rundt på designpunktet på arbejdskurven og anvende vingeprofiler med høj liftværdi, kan arbejdskurvens 'sadel-punkt' sandsynligvis også flyttes og udglattes en anelse.

8.2 Metode

I beregningsværktøjet til dimensionering af vingeprofiler for aksialventilatorer er anvendt 'Free vortex metoden', som er en semiempirisk metode, hvor en ønsket ydelse kan fastlægges for en given volumenstrøm, et designpunkt eller optimalt designpunkt. Metoden bygger på antagelse af inviskose, inkompressible og stationære forhold samt strømning langs strømlinjer. Disse antagelser tillader anvendelse af Bernoullis ligning til bestemmelse af trykforholdene omkring blæseren, og antagelsen om strømning langs en strømlinje betyder at metoden kun beskæftiger sig med den primære strømning, den fri hvirvel. En 'free vortex' ventilator er karakteriseret af stramme begrænsninger på designet, da metoden kræver, at den teoretiske totaltrykstigning ved designvolumenstrømmen er konstant over alle snit i vingen, ligesom aksialhastigheden i alle snit skal være ens både før og efter ventilatoren. Dette medfører, at luftens tangentialhastighed efter blæserpladet skal være omvendt proportional med radius for at opfylde den radiale ligevægtsbetingelse.



Figur 8.1 Snit i vingeprofil for opstilling af vektorielle kræfter og angivelse af angrebsvinkel.

Ovenstående forudsætninger er udtrykt i følgende vigtige formel:

$$C_a \cdot l = \frac{\Delta p_{tot} \cdot 4 \cdot \pi}{\eta_{tot} \cdot w_{\infty} \cdot \rho \cdot \omega \cdot z} = \text{Konstant} \cdot \frac{1}{w_{\infty}}$$

C_a er liftkoefficient for vinge

l er kordelængde for vinge, m

Δp_{tot} er den totale trykstigning over ventilator, Pa

η_{tot} er ventilatorens totalvirkningsgrad

w_{∞} er den resulterende lufthastighed, m/s

ρ er luftens massefylde, kg/m³

ω er vinkelhastigheden (^{2·π·n}), 1/s

z er antal vinger

“Die rechte Seite dieser Gleichung ist bis auf w_{∞} für den ganzen Flügel konstant. Es ergibt sich somit folgende Satz: Für jeden Flügelquerschnitt muß $C_a \cdot l$ immer umgekehrt proportional mit w_{∞} wachsen. Diese Gleichungen bilden die Grundlagen zur Bemessung der Axialgebläse”

Vingeprofilets angrebsvinkel i forhold til vandret er ud fra figuren lig:

$$\beta = \beta_{\infty} + \alpha_{\infty}$$

8.3 Egne data

Følgende parametre anvendes som input til dimensioneringen:

- Totaltrykstigning over ventilator fx 140 Pa
- Volumenstrøm fx 21000 m³/h
- Omdrejningstal fx 1100 min⁻¹
- Luftens massefylde fx 1,225 kg/m³
- Navdiameter, D_1 fx 0,188 m
- Antal vinger fx 3
- Anslået totalvirkningsgrad (ventilator) fx 0,75 (start gæt)

Dimensioneringsværktøjet giver nu et forslag til tipdiameter, D_2 , hvor kriteriet er maksimal ventilator virkningsgrad. Ofte ligger D_2 dog fast på forhånd.

Det er uklart med baggrund i faglitteraturen hvor stor forskel der kan tillades mellem $D_{2_beregnet}$ og D_{2_valgt} .

Navforholdet $v = D_1/D_2$ bør mindst være 0,29.

Produktet $C_a \cdot l$ skal adskilles i de videre beregninger. Herbert Sigloch, Wolfgang Kalide og Bruno Eck har givet bud på det med baggrund i en hjælpeestørrelse, som kaldes skovldelingen:

$$t(r) = \frac{2 \cdot r \cdot \pi}{z}$$

Der er angivet interval for størrelsen:

$$0,1 \dots 0,5 < \frac{l(r)}{t(r)} < 0,8$$

Bruno Eck har givet et udtryk til beregning af $l(r)$:

$$l(r) = \text{Funktion}(r) \cdot t(r)$$

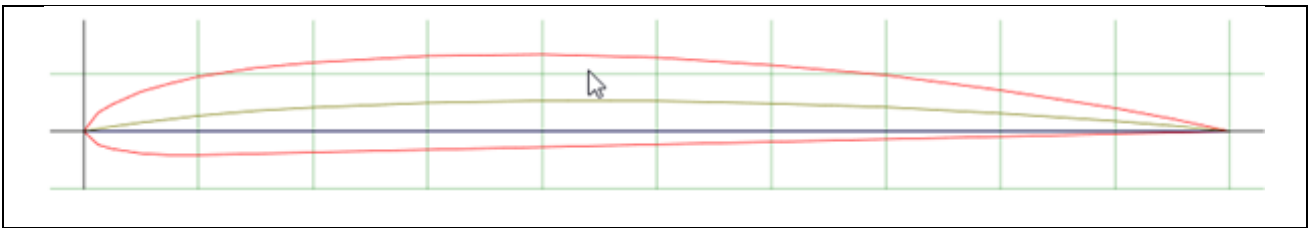
Herved kan $C_a(r)$ beregnes ud fra:

$$C_a(r) = \frac{[C_a l](r)}{l(r)}$$

Et vingeprofiles liftkoefficient C_a som funktion af α_∞ er målt for mange typer profiler hvoraf de mest kendte er:

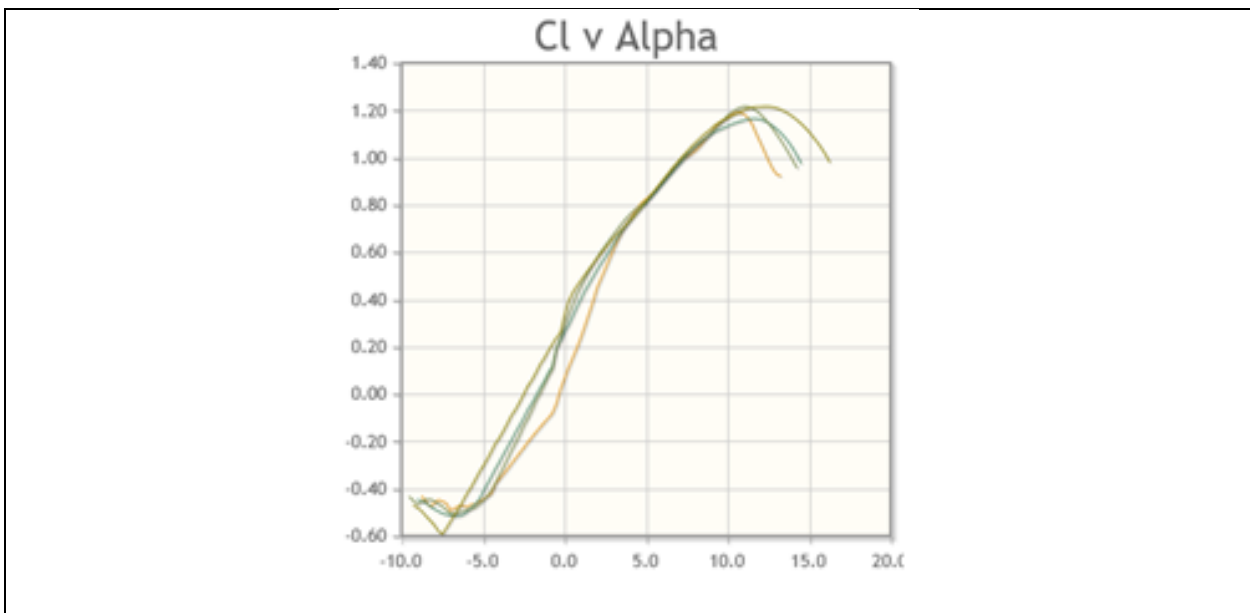
NACA 4 digit, NACA 5 digit og Göttinge vingeprofil. Vingedata er samlet i en kæmpedatabase under følgende internetlink: <http://airfoiltools.com/>

Nedenfor er vist et eksempel på vingeprofil fra databasen.



Figur 8.2 Eksempel på vingeprofil fra vinge database.

Det pågældende vingeprofiles liftkoefficient er vist på den efterfølgende figur.



Figur 8.3 Eksempel på vinge liftkoefficient som funktion af alfa vinkel fra vingedatabase.

$C_l = C_a$, $\text{Alpha} = \alpha_\infty$

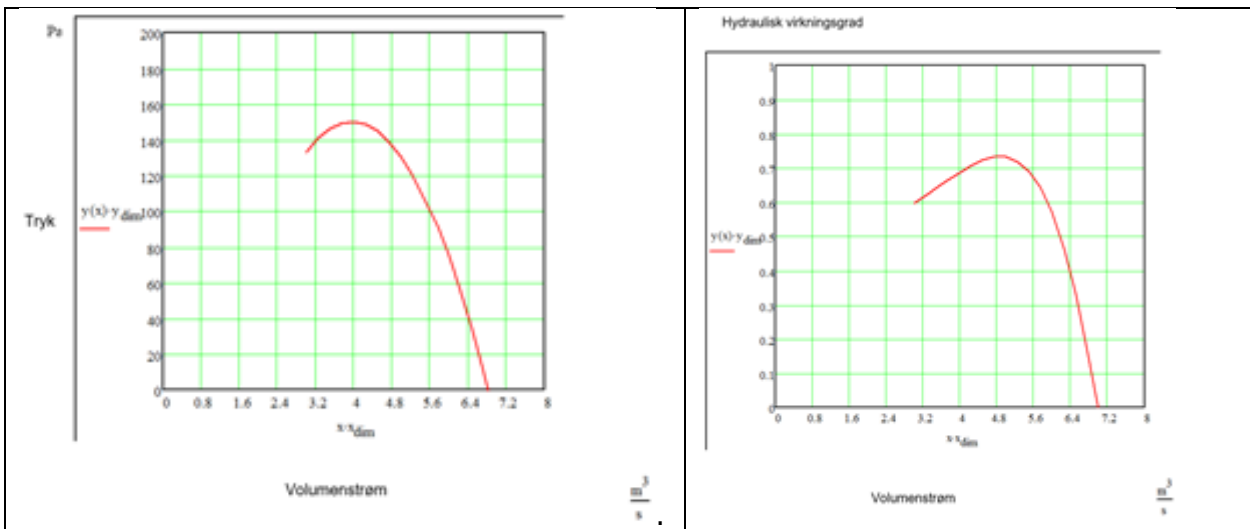
Jo mindre værdi for C_a desto længere kordelængde l , da produktet $C_a \cdot l$ som sagt ligger fast med baggrund i formeludtryk.

I starten blev der taget udgangspunkt i en anslået totalvirkningsgrad for ventilatoren. R. A. Wallis har undersøgt forskellige tab i axialventilatoren og udledt empiriske formler for disse:

- Profildrag
- Sekundært drag
- Annulus drag
- Diffuser tab
- Swirl tab
- Tip tab

$\eta_{\text{total}} = 1 - \text{profildrag} - \text{sekundært drag} - \text{annulus drag} - \text{diffuser tab} - \text{swirl tab} - \text{tip tab}$

Denne værdi for totalvirkningsgraden skal nu indsættes i beregningsprogrammet som et nyt gæet, og hele beregningen gentages indtil $\eta_{\text{gæt}}$ er lig η_{beregnet}



Figur 8.4 Eksempel på beregningsresultat. Her total trykstigning som funktion af luftstrøm

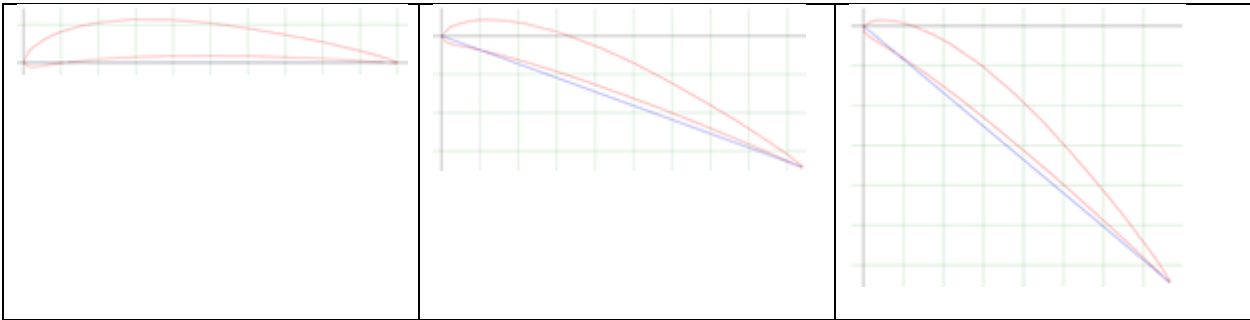
Figur 8.5 Eksempel på beregningsresultat. Her ventilatorvirkningsgrad som funktion af luftstrøm.

Programmet kan beregne en arbejdskurve og virkningsgrads kurve.

Beregningsprogrammet kan nu generere følgende nødvendige værdier til det videre forløb i designprocessen:

}	{	r_1	$l(r_1)$	$\beta(r_1)$
}	{	r_2	$l(r_2)$	$\beta(r_2)$
}	{	r_3	$l(r_3)$	$\beta(r_3)$
}	{		etc.	

I projektet er valgt at køre med 10 snit i vingeprofilet.



Figur 8.6 Vingedatabasen kan generere $\{X, Y, Z\}$ værdier afhængig af angrebsvinkel.

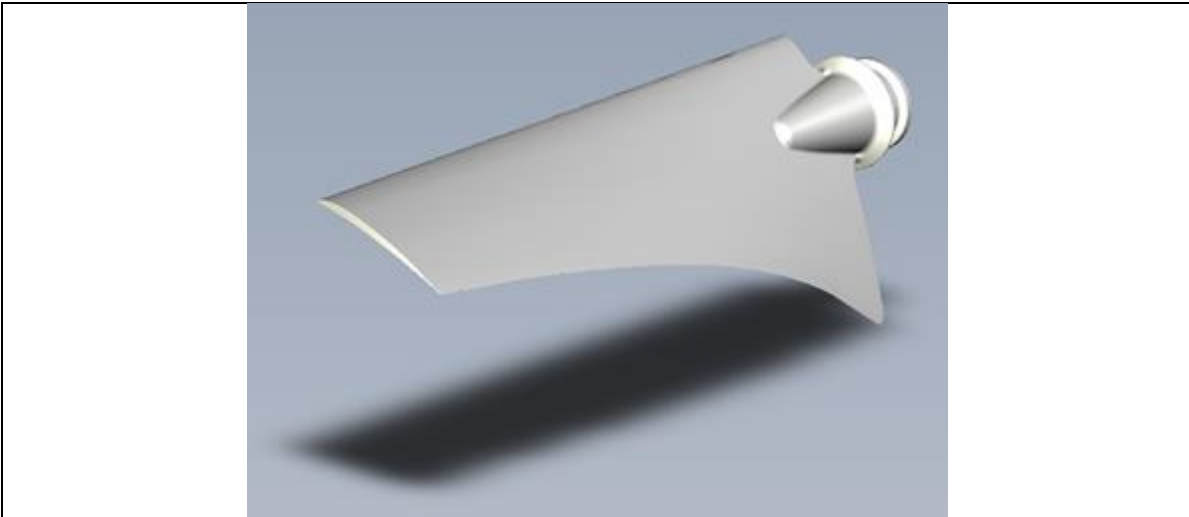
Vingeprofilets angrebsvinkel β og kordelængde l skal indtastes i vingeprofilprogrammet på hjemmesiden. Programmet kan herefter generere $\{X, Y\}$ koordinater for hvert snit i vingeprofilet, se efterfølgende udklip fra Excel ark.

Programmet kan herefter generere $\{X, Y\}$ koordinater for hvert snit i vingeprofilet, se efterfølgende udklip fra Excel ark.

Name,GOE XXX (FRIEDRICHSHAFEN G 13) AIRFOIL			
Chord(mm),195			
Radius(mm),0			
Thickness(%),100			
Origin(%),0			
Pitch(deg),13.467			
,			
Airfoil surface,			
X(mm),Y(mm)			
189.706441,-45.128172			
180.939244,-39.722230			
172.020689,-34.981839			
154.077178,-25.978866			
135.939246,-17.829639			
117.714282,-10.060598			
99.358769,-2.861833			
80.740262,3.196831			
59.902438,8.461561			
42.508064,10.940670			
32.611341,11.403754			
22.478123,10.820648			
17.313356,10.102449			
11.974070,8.621984			
6.461172,6.383045			
3.562595,4.644940			
0.000000,0.000000			
1.932138,-2.481857			
4.244194,-3.310228			
9.104348,-3.922676			
14.031178,-4.248316			
18.912142,-4.765490			
28.634799,-5.988944			
38.321127,-7.364108			
57.537882,-10.798952			
76.610465,-14.860964			
95.597912,-19.303615			
114.539946,-23.935904			
133.374138,-29.043652			
152.164813,-34.341491			
170.911972,-39.829424			
180.229360,-42.820601			
189.706441,-45.128172			

Figur 8.7 Eksempel på vingeprofil output fra vingedatabase program.

Et 3D CAD-program fx Solid Works kan med de beregnede {X, Y} data for hvert snit i vingen tegne et komplet vingeprofil i fx Step filformat til efterfølgende fysisk print på 3D printer.



Figur 8.8 Eksempel på færdigt vingeprofil tegnet i 3D CAD programmet Solid Works. Vingeprofilet kan nu 3D printes.

8.4 Delkonklusion

Der er udviklet optimerede vingeprofiler ud fra Göttinge basisprofiler GOEXXX, hvis data for *lift* og *drag* er hentet i den internationale vingeprofil database <http://airfoiltools.com/airfoil>. Designværktøjet til generering af vingeprofil data er implementeret i MathCAD program med baggrund i det udviklede semiempiriske grundlag beskrevet i Bruno Eck "Ventilatoren" og Wallis "Axial Flow Fans". I udviklingsprocessen er det optimale designpunkt beregningsmæssigt flyttet lidt til venstre på ventilatorens arbejdskurve. Ligeledes er forskellige kordelængde afprøvet. Det lykkedes at få DA1400 designet, så ydelsen kunne bestemmes ud fra omdrejningstal og tilført effekt. For DA820 kunne der ikke skabes helt den samme unikke sammenhæng til trods for flere design forsøg.

Litteratur:

"Ventilatoren – Entwurf und Betrieb der Radial-, Axial- und Querstromventilatoren", Dr. Ing. Bruno Eck, "Axial Flow Fans", R. A. Wallis, "Optimering af aksialventilators virkningsgrad", H. Olsen, C. G. Larsen, C. Drivsholm (ENS-journal nr. 731227/99-0011), "Strömungsmaschinen 1 – Aufbau und Wirkungsweise" & "Strömungsmaschinen 2 – Berechnung und Konstruktion", Willi Bohl, "Design, analyse, fremstilling og afprøvning af aksialblæser" & "Måling af aksialblæsers virkningsgrad", Snorre Krogh Biehe, DTU.

9 Validering og dokumentation (System)

Kapitlet indeholder først en beskrivelse af udviklingen af simuleringsprogrammet StaldVent, så det også indeholder vindtryk. Derefter følger konsekvensberegninger vha. StaldVent til dokumentation af mulig forbedring af de nydesignede ventilatorer.

9.1 Vindpåvirkning indlagt i staldvent

Vindpåvirkning på bygning som funktion af vindretning og bygningsorientering er beregnet på baggrund af trykkoefficienter angivet i ASHRAE Handbook 2006 og Teknisk Ståbi og er detaljeret beskrevet i bilag 12.2; kapitel 12.

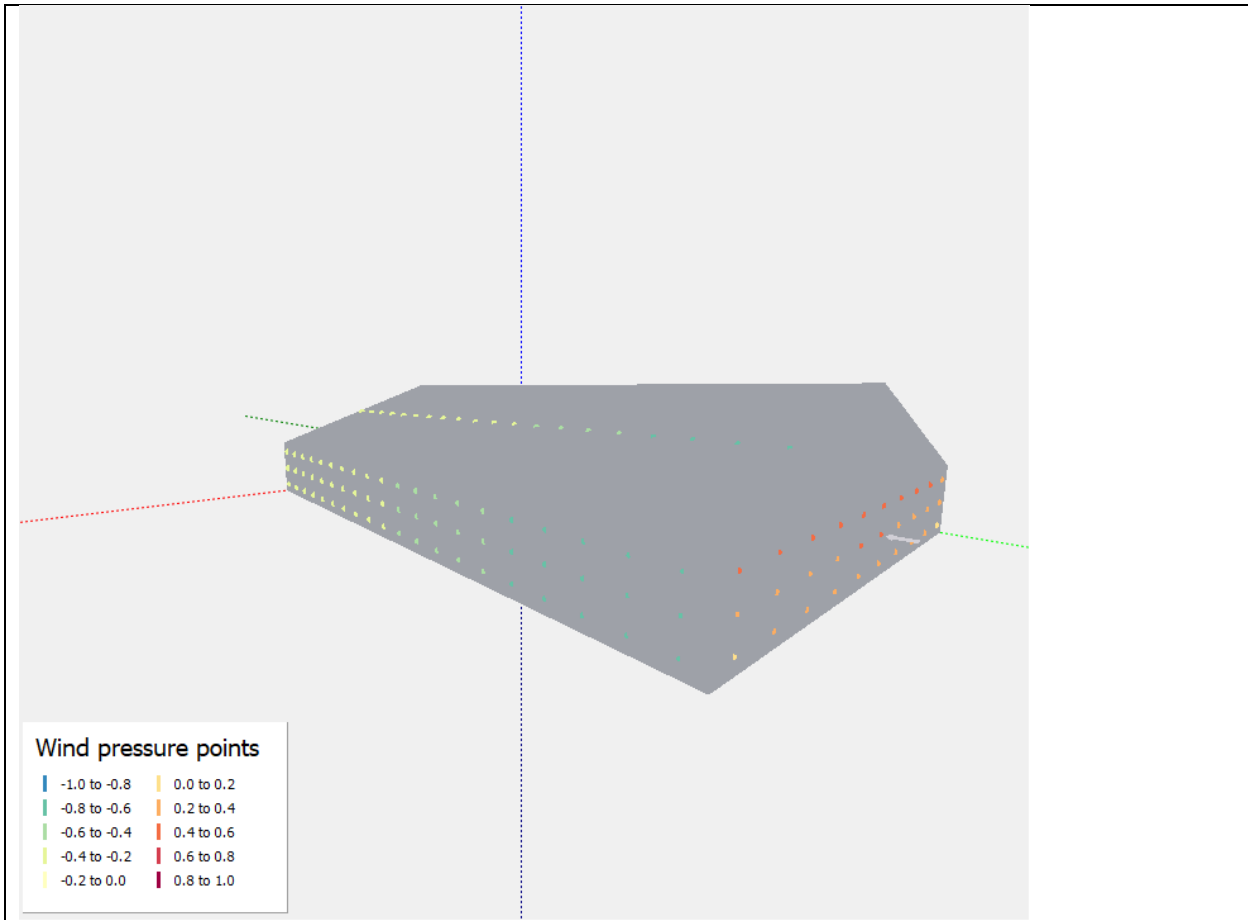
Væg og tagflader opdeles i trekantsfelter for interpolering/ekstrapolering. Herudfra bestemmes trykkoefficienterne i tre vandrette linjer på hver væg og tagflade.

Der er udviklet et 3D værktøj til visualisering og verificering af beregning for trykkoefficienter se figur 9.1.

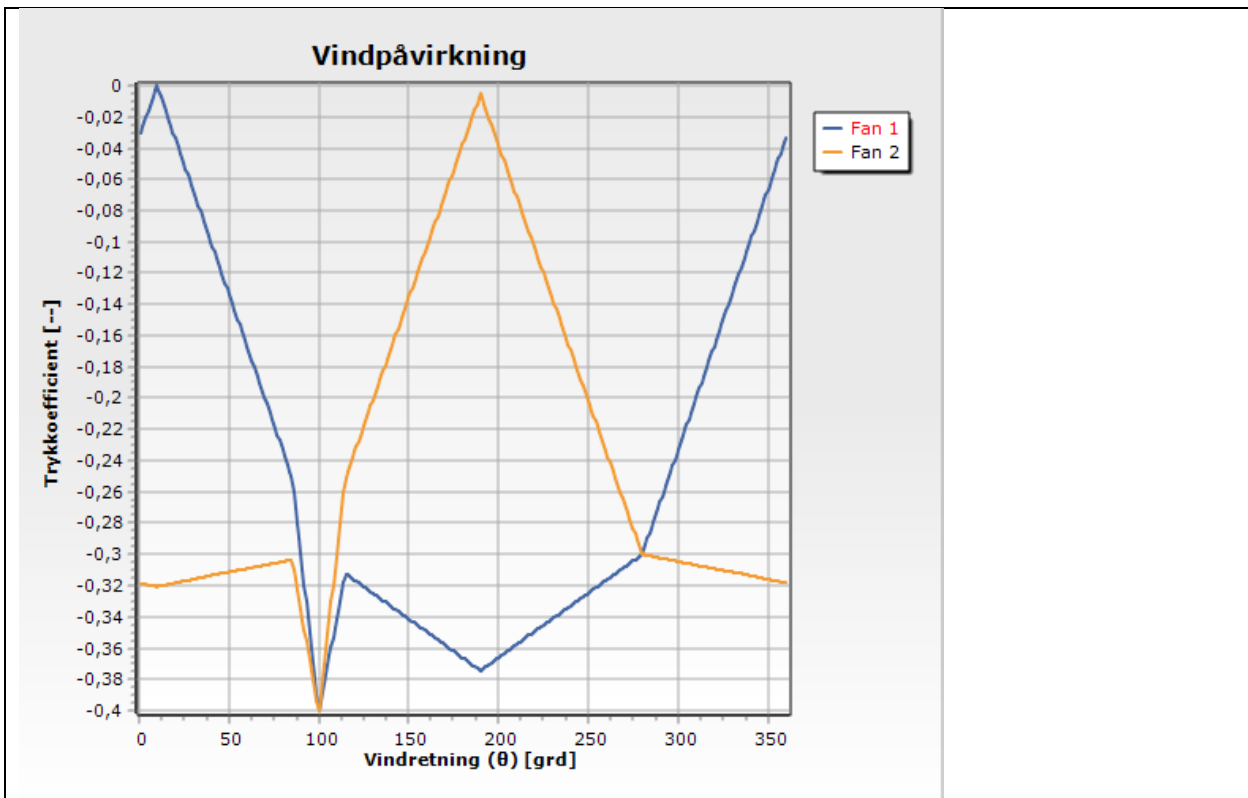
Beregningsmodellen er efterfølgende implementeret i StaldVent. I figur 9.2 er vist vindpåvirkningen på ventilatorer placeret på tagfladen afhængig af vindretning.

I StaldVent er der indarbejdet et vindmodul, hvor bygningsdimensioner og placering kan angives. Desuden kan ventilatorernes placering i forhold til bygningen angives – se figur 9.3. Med ventilatorernes placering kan vindpåvirkningen bestemmes time for time på årsbasis ud fra vinddata givet i klimareferencefilerne. (DRYREF, TMY2 m.fl) se vindrose i figur 9.4.

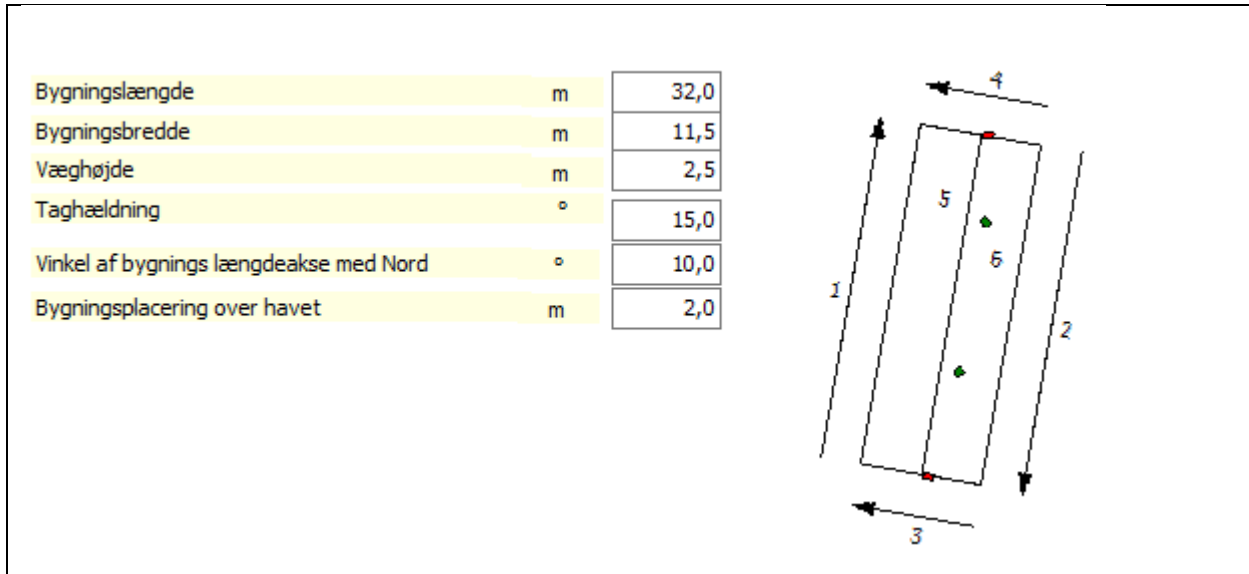
Med udgangspunkt i StaldVent simulering af luftmængden og kendskab til tryktabet over indsugningsenhederne kan kravet til luftmængde og trykdifferens for ventilatorerne bestemmes. Herefter kan reguleringsprincippet vælges og det årlige el-forbrug bestemmes ud fra karakteristikken på ventilatorerne.



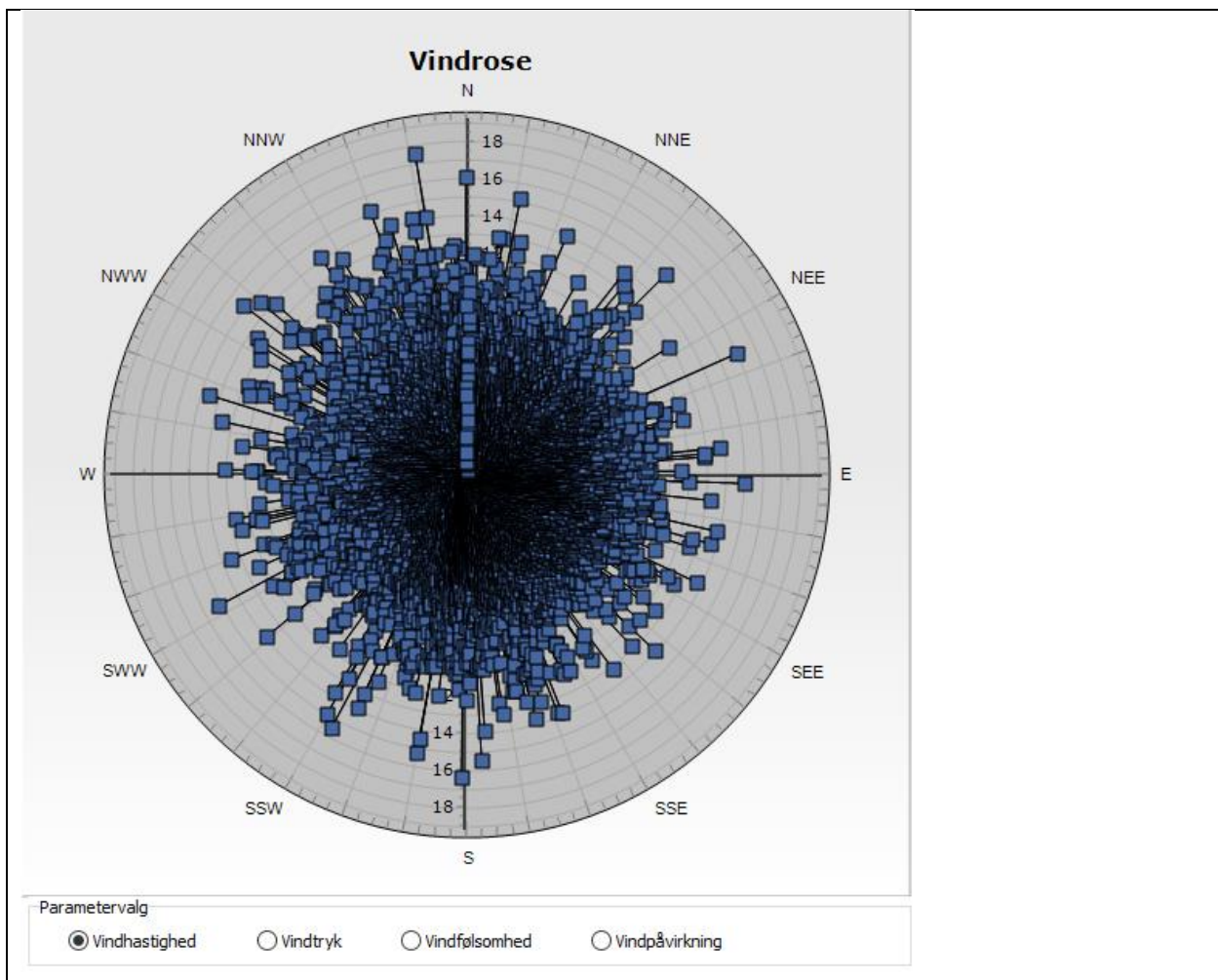
Figur 9.1 3D model til verifikation af vindpåvirkning.



Figur 9.2 Typisk vindpåvirkning på afkast placeret på tagflader afhængig af vindretninger.



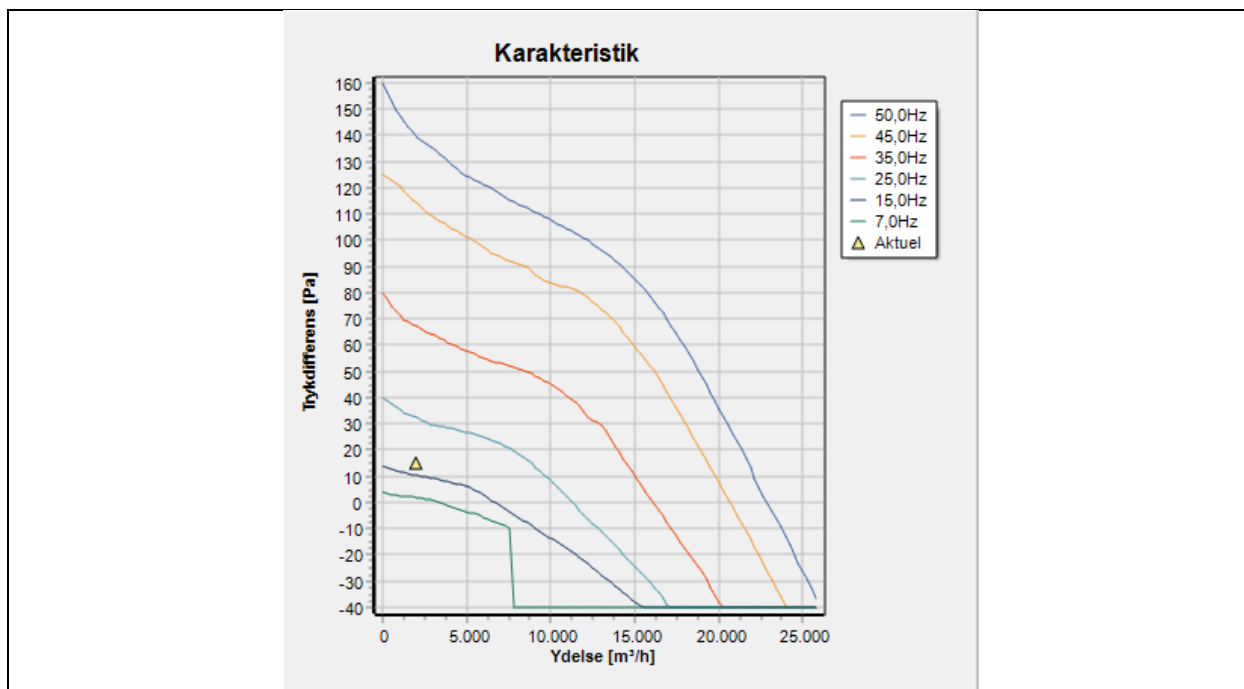
Figur 9.3 Inddata for bygningsdimensioner og orientering



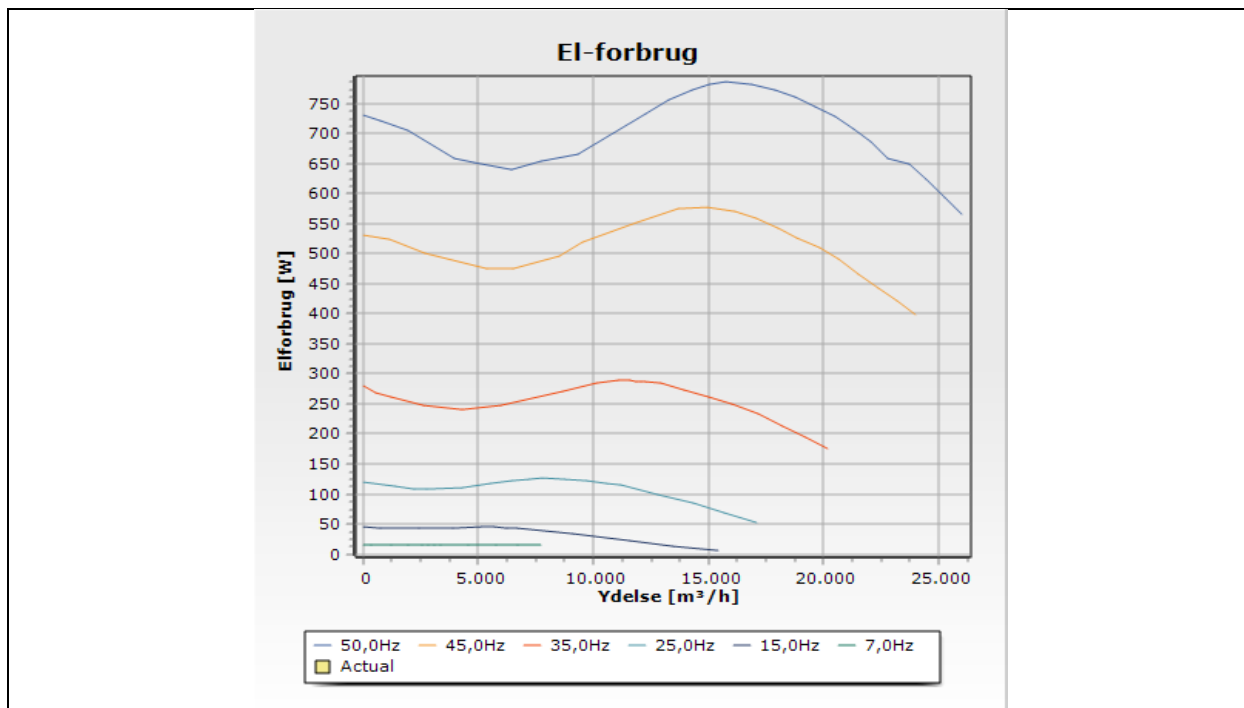
Figur 9.4 Vindrose med angivelse af vindhastighed for Aalborg lufthavn med data fra Meteororm.

Ud fra målinger af ventilatorydelse og elforbrug foretaget i Skovs vindtunnel er blæserkarakteristikken for en række ventilatorer indarbejdet i StaldVent – se figur 9.5 og figur 9.6. Målingerne er foretaget ned til en trykdifferens på -40Pa, hvilket gør det muligt, at simulere effekten af udkobling af ventilatorer under gunstige vindforhold.

På baggrund af vindpåvirkning og tryktabskarakteristik for indsugning og reguleringsspjæld kan sumkurven for differensstrykket over ventilatorerne bestemmes – se figur 9.7. Afhængig af den valgte reguleringsstrategi (multistep, dynamisk multistep eller synkron) kombineret med den valgte spjældreguleringsstrategi og minimum motorfrekvens kan det årlige elforbrug estimeres.



Figur 9.5 Ventilator karakteristisk for DA820-LPC10 .



Figur 9.6 Elforbrug DA820-LPC10.

INDDATA

Ventilator type: DA820-10 LPC

Luftmængde i designpunkt: 41000,0 m³/h

Tryktab i designpunkt: 30,0 Pa

Antal udsugningsenheder: 2 stk

Skorstensdiameter: 820,0 mm

Tryktabskoefficient spjæld: 0,00

Ventilationsgrad for indkobling: 0,0 %

Minimum frekvens for ventilator: 15,0 Hz

Trykprofil ind sugning: Diffus

Regulering:

Zeta kst. Dp/DpVind kst. Dpmin kst.

Skov 30% Skov 100% Min. frekvens

Designdata

Trykprofil

		Fan 1	Fan 2	Fan 3	Fan 4	Fan 5	Fan 6
El-forbrug	kWh	1792	1415				
Driftstimer	h	8064	1969				
Samlet el-forbrug	kWh	3208	Minimum/maximum Dp		-21Pa	30Pa	

Anvend blæserplacering 1 Øst tag

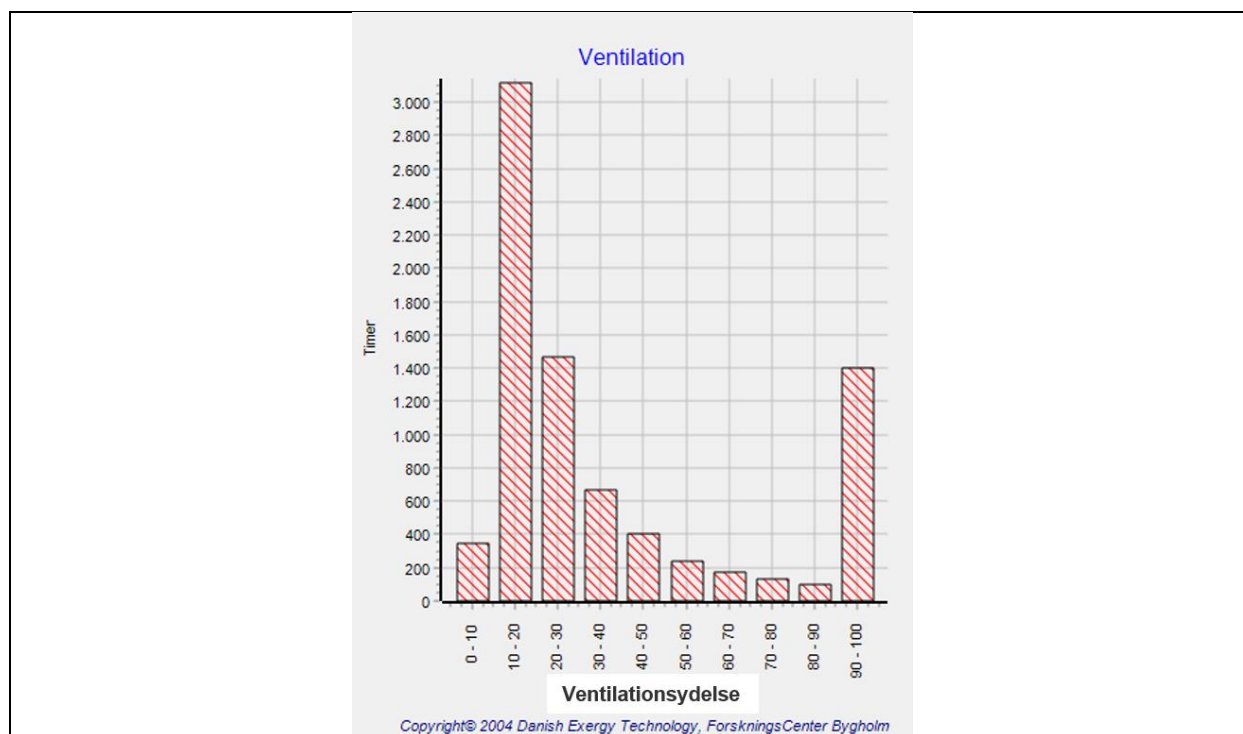
Figur 9.7 Elforbrug DA820-LPC10.

9.2 Simulering i staldvent af ny tagventilator ifm. slagtesvinestald i Danmark

I dette afsnit er det årlige energiforbrug beregnet for modelstalden til slagtesvin i Danmark beskrevet i kapitel 5.

9.2.1 Ventilationsydelse over året

I en slagtesvinestald i Danmark er ventilationsydelsen under 20% af maksimumskapacitet gennem 40% af årets timer. Derfor er det afgørende, at ventilator med vinge og styring er optimeret i det lave kapacitetsområde. På figur 9.8 ses, hvor mange timer af året ventilationsydelsen kører på de forskellige trin.



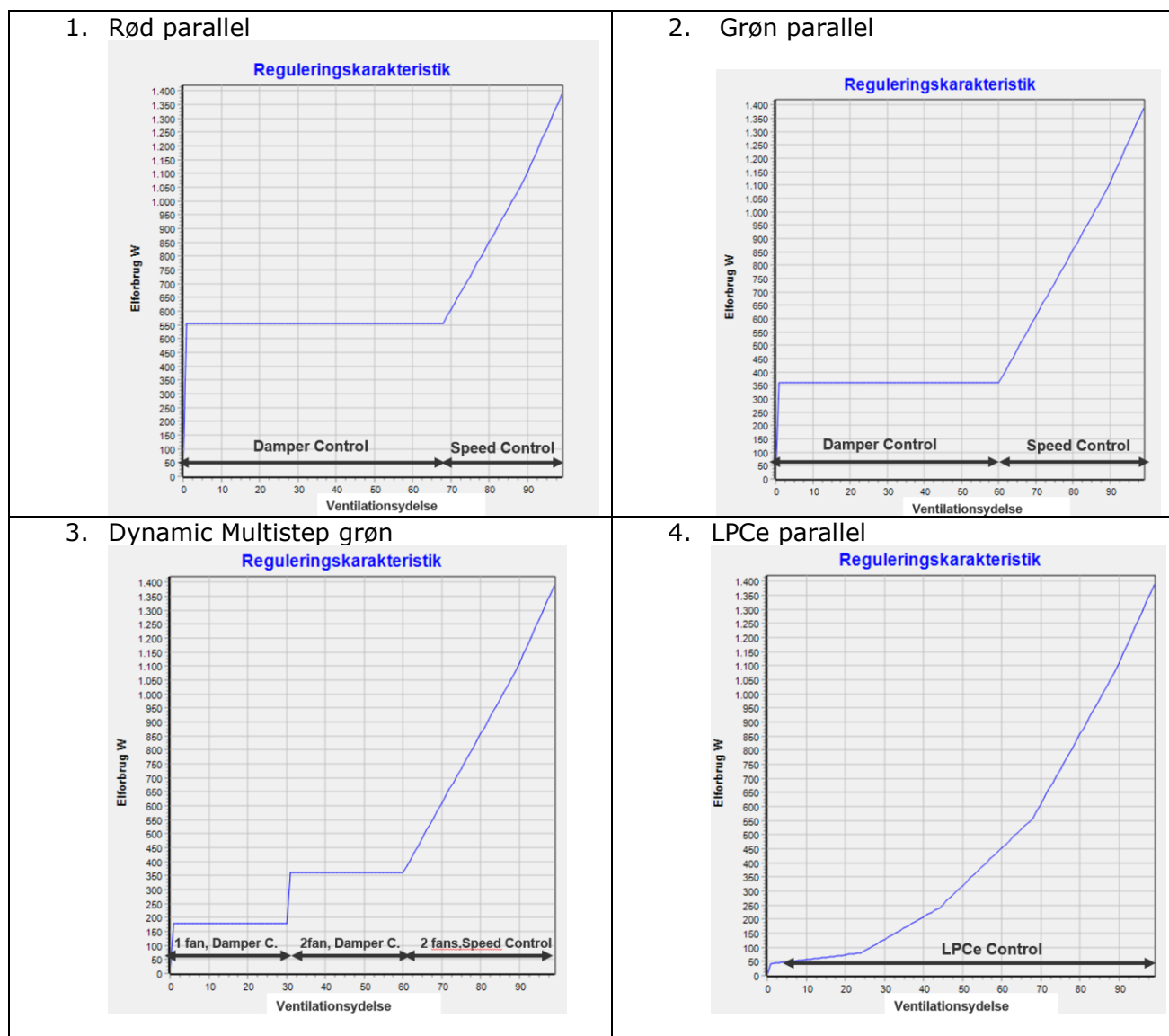
Figur 9.8 Antal timer gennem et år hvor ventilationsydelsen kører indenfor et givent interval optegnet for en slagtesvinestald i Danmark.

9.2.2 Fire reguleringsstrategier

Energiforbruget for den nydesignede tagventilator Ø800 LPC-e er beregnet ved 4 forskellige reguleringsstrategier for modelstalden beskrevet i kapitel 5. På punktform er følgende reguleringsprincipper sammenlignet:

- 1: Parallel regulering med fuldt åbne spjæld ved 50% ventilation (rød parallel)
- 2: Parallel regulering med fuldt åbne spjæld ved 30% ventilation (grøn parallel)
- 3: Dynamic Multistep med fuldt åbne spjæld ved 30% ventilation (Dynamic Multistep grøn)
- 4: LPCe parallel (paralleldrift uden trækning af spjæld)

Elforbrug som funktion af ventilationsydelse ved de 4 reguleringsprincipper er illustreret i figur 9.9.



Figur 9.9 Elforbrug ved fire forskellige reguleringskarakteristikker

Simulering af energiforbruget gennem et år ses i figur 9.10.

Reguleringsstrategi	Energiforbrug kWh/år	Energiforbrug pr. stiplads kWh/stiplads/år
Rød parallel	5750	14,4
Grøn parallel	4514	11,2
Dynamisk multistep Grøn	3626	9,2
LPCe vindkomp.	2931	7,2

Figur 9.10 Oversigt over energiforbrug for slagtesvinestald (jævnfør kapitel 5) ved 4 forskellige reguleringsprincipper

Energibesparelsen ved at gå fra "Dynamic multistep-Grøn opsætning" til "LPC-e vindkomp." er 22% samtidig med at man opnår en øget trykstabilitet. Prioriterer man trykstabiliteten højt er besparelsen ved at gå fra "Grøn parallel opsætning" til "LPCe vindkomp." er besparelsen 35%.

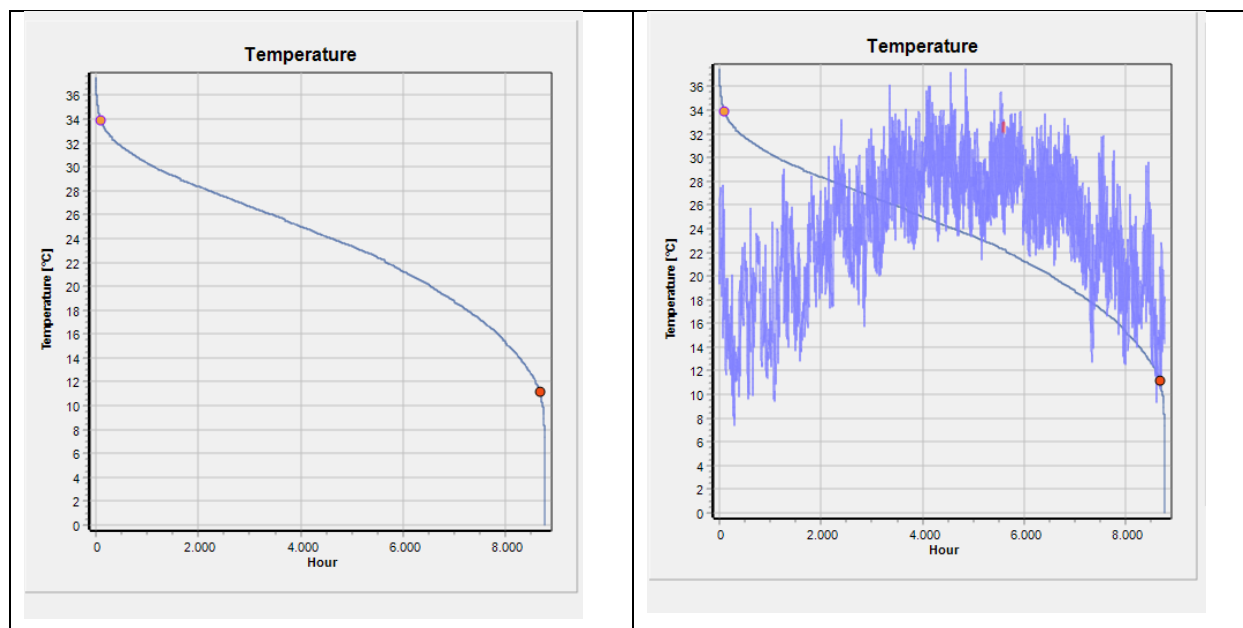
9.3 Simulering i staldvent af ny vægventilator i forbindelse med farestald i Vietnam

I Danmark bruges stort set udelukkende tagventilatorer i svinestalde. I fjerkræstalde anvendes ligeledes tagventilatorer, men ofte anvendes vægventilatorer som ekstra ventilationskapacitet på varme sommerdage. En stor andel af SKOV A/S's produktion går til eksport til varmere klimazoner, hvor vægventilatorer anvendes til svinestalde. Derfor vil dette afsnit omhandle en analyse af energibesparelsen i en farestald i Vietnam.

Den nydesignede vægventilator vil blive sammenlignet med en vægventilator frigivet i 2018. Tidligere havde SKOV A/S ikke egenproduktion af vægventilatorer.

9.3.1 Ventilationsydelse over året

Mens temperaturen i Danmark er gennemsnitligt 7,8 Celsius i løbet af året er det betydeligt varmere i Vietnam. 99% af tiden er temperaturen over 11 Celsius ved Hanoi i Vietnam og over 34 Celsius i 1% af tiden. Meteorologiske timebaserede vejrdata er anvendt til simulering af energiforbruget.



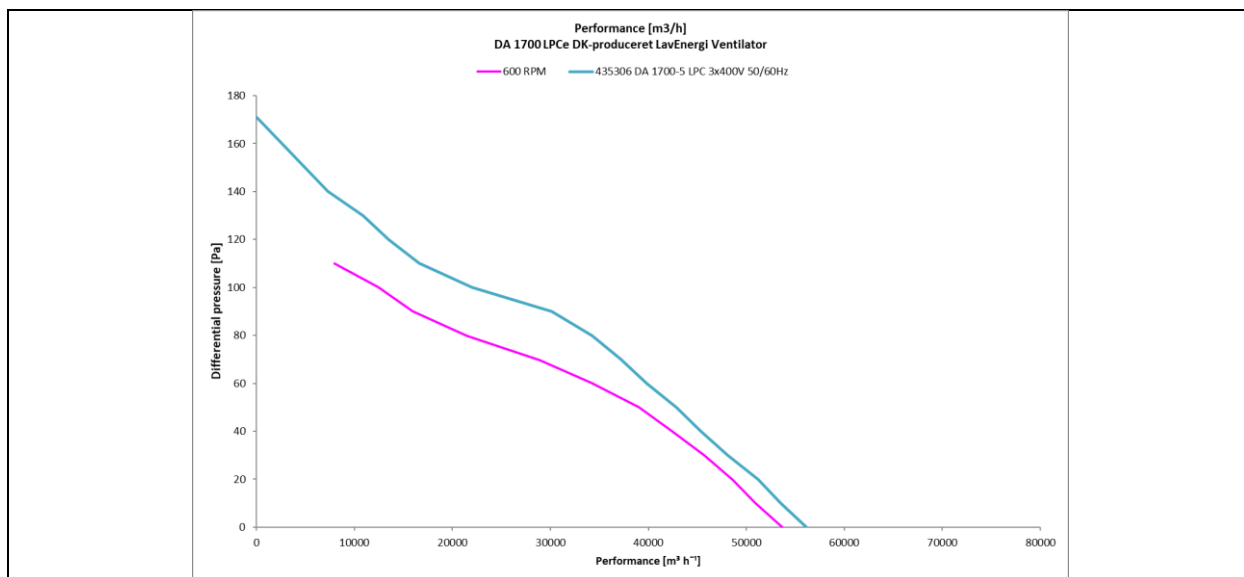
Figur 9.11 Temperatur i Hanoi baseret på vejrdata fra Meteor

9.3.2 Ventilatorsammenligninger

Den nydesignede ventilator er holdt op imod den forholdsvis nye vægventilator SKOV A/S introducerede på markedet i 2018 og som regnes for at være blandt de bedste i Verden.

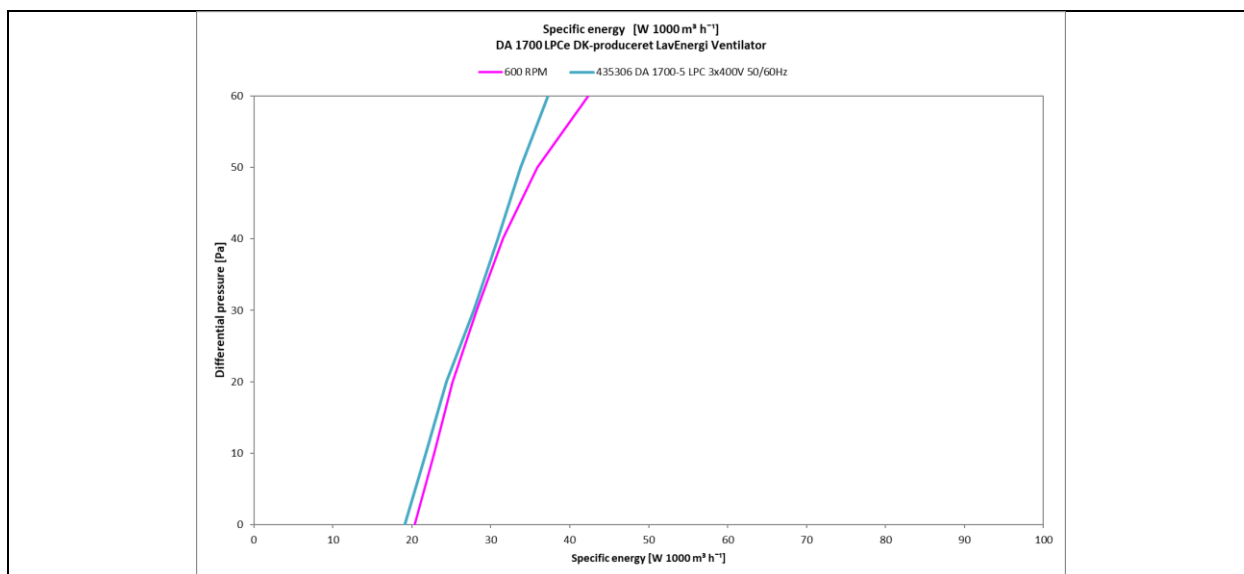
I bilag 12.1 ses performance ved 200-650 omdrejninger pr. minut for den nydesignede ventilator vægventilator Ø1400.

I figur 9.12 – 9.14 er den nydesignet ventilator ved 600 omrejninger pr. minut sammenlignet med den der er på markedet.



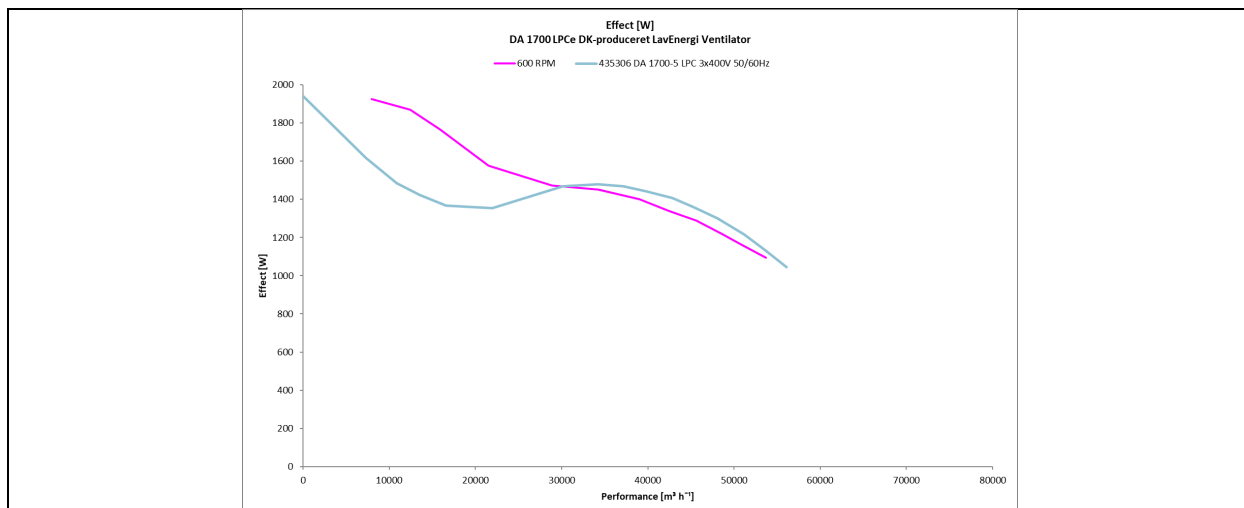
Figur 9.12 Tryk som funktion af flow

- Blå kurve: Nuværende ventilator
- Pink kurve: Nydesignede ventilator



Figur 9.13 Tryk som funktion af specifikt energiforbrug

- Blå kurve: Nuværende ventilator
- Pink kurve: Nydesignede ventilator

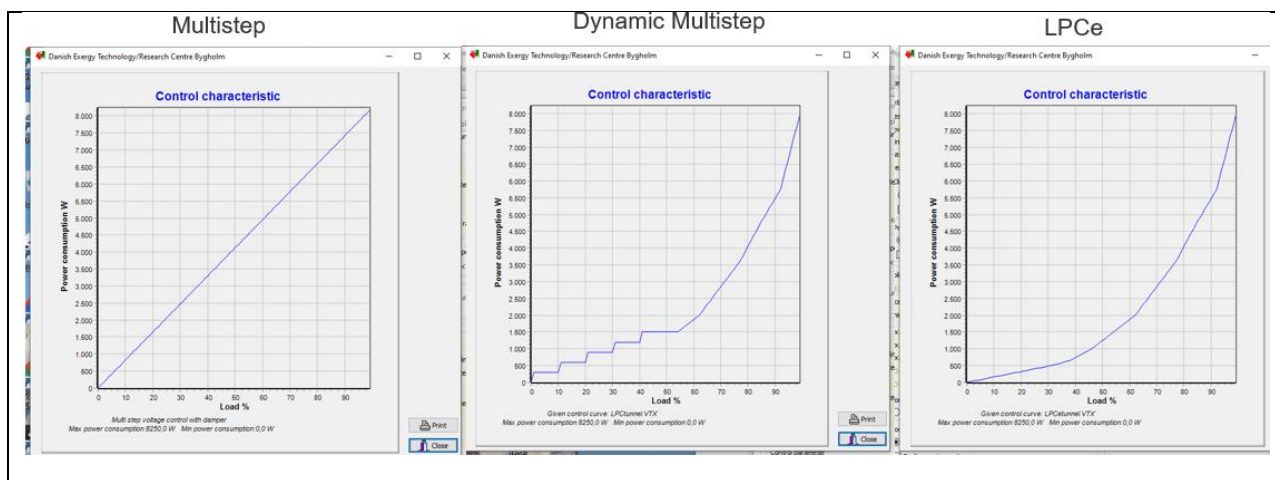


Figur 9.14 Effektforsøg som funktion af ventilationsflow

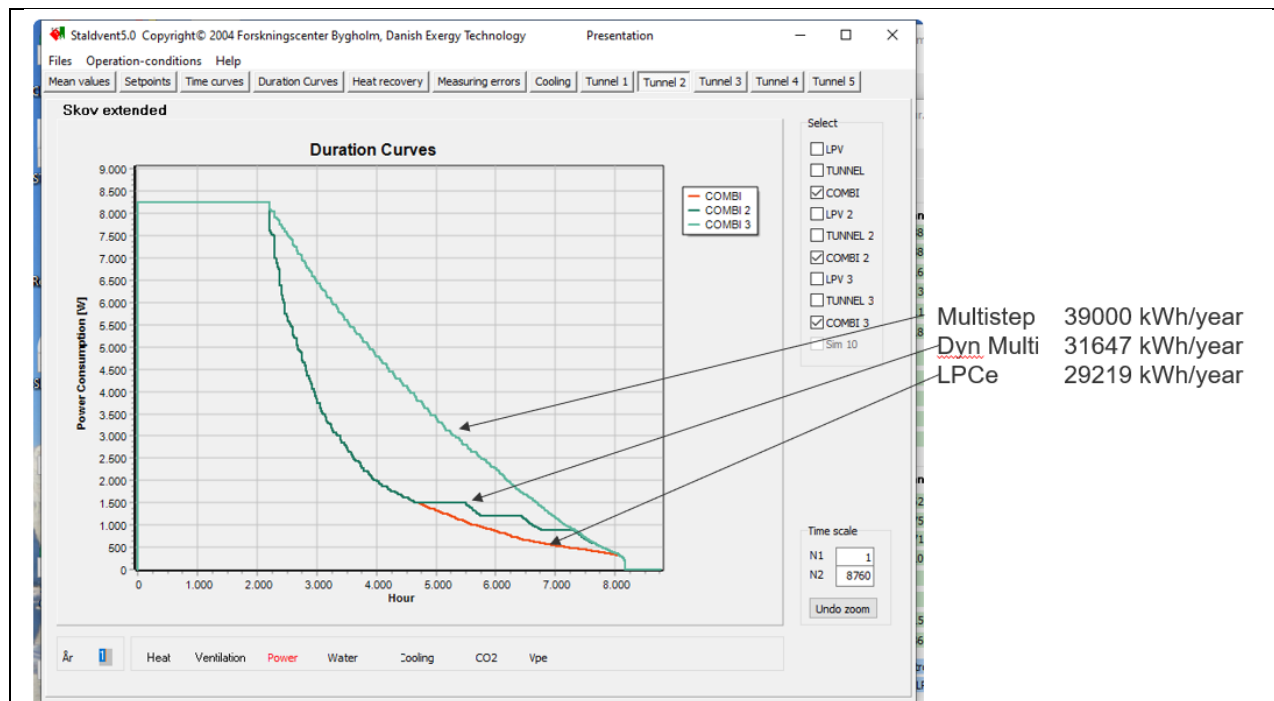
- Blå kurve: Nuværende ventilator (sadelpunkt så der ikke er en entydig sammenhæng mellem effekt og flow)
- Pink kurve: Nydesignede ventilator (entydig sammenhæng mellem effekt og flow)

9.3.3 Reguleringsstrategier

Energiforbruget ved etablering af den nydesignede ventilator er beregnet ved 3 forskellige strategier for ventilationsstyring 1) Multistep, 2) Dynamic Multistep og LPCe – se figur 9.15 og 9.16.



Figur 9.15 Effekt som funktion af luftflow



Figur 9.16 Energiforbrug

I foranstående figur er vist det akkumulerede energiforbrug over et år ved 3 forskellige reguleringsprincipper for den nye ventilator Ø1400 for en farestald i Vietnam. Fortrinsvis benyttes "Multistep", men der kan opnås en markant energibesparelse med "Dynamic multistep" på bekostning af trykstabilitet. Ved at anvende "LPC-e vindkomp." opnås både energibesparelse og trykstabilitet. Prioriterer man trykstabiliteten højt er besparelsen 25% ved at gå fra "Multistep" til "LPCe vindkomp.".

9.4 Delkonklusion

Gennem projektet er der udviklet et modul i StalDVent til beregning af vindpåvirkning på staldbygninger ud fra trykkoeficienter for forskellige vindretninger angivet af ASHRAE. Modulet er verificeret ved hjælp af en 3D model.

I vindmodulet kan parametre, som har indflydelse på vindpåvirkningen af ventilationssystemet indlæses og vindpåvirkningen beregnes time for time på baggrund af klimareferencedata.

Til vindmodulet er der desuden udviklet et modul til indlæsning og beregning af karakteristikken for ventilatorer, således at effektoptaget i forskellige driftspunkter kan bestemmes. På baggrund af trykdifferensprofilet for ventilationssystemet kan forskellige reguleringsstrategier og spjældstyringer simuleres. Hermed kan den optimale opsætning med hensyn trykstabilitet og energiforbrug relativt nemt fastlægges for både eksisterende og nye ventilatorer.

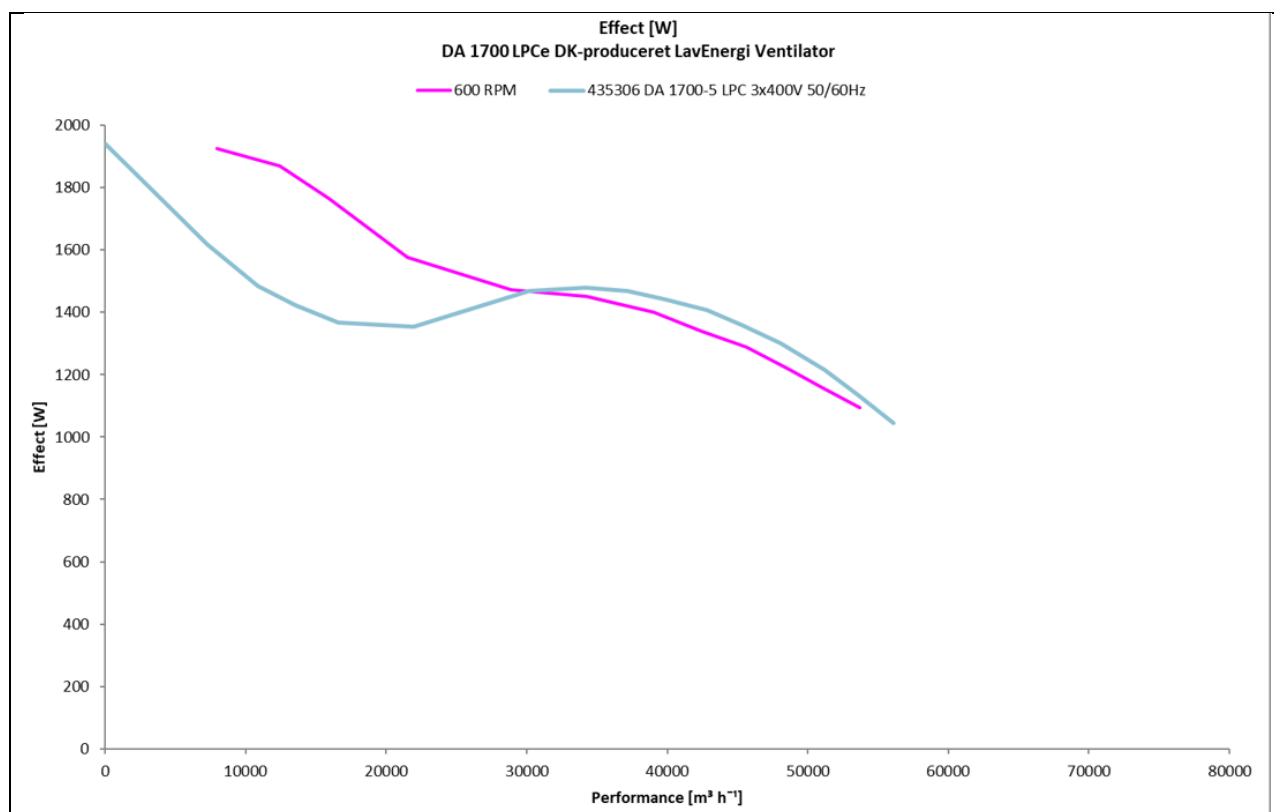
Det nye modul kan samtidigt danne basis for beregning af vindpåvirkningen af staldbygninger med naturlig ventilation, hvor effekten af vindpåvirkning er mere signifikant. DXT vil snarest starte annoncering af det nye modul til eksisterende kunder.

Ved hjælp af den sidste version af StalDVent er der foretaget simulering af en slagtesvinestald i Danmark og en farestald i Vietnam. Mulig energibesparelse ligger fra 22-34% alt efter hvilken styringsstrategi der tages udgangspunkt i.

10 Konklusion

I projektet er der udviklet designforslag til nye ventilatorer, hvor alle komponenter er fra Danmark og SKOV's egne leverancer. Det drejer sig om en tagventilator og en vægventilator med en vingediameter på henholdsvis Ø800 og Ø1400.

Særligt har fokus været at få udviklet en ventilator med en entydig sammenhæng mellem ventilationsydelse og effektoptag, dvs. uden stalling punkt (figur 10.1), som aksialventilatorer normalt har.



Figur 10.1 Energiforbrug som funktion af luftmængde

- Blå kurve viser nuværende ventilator karakteristisk med stalling
- Pink kurve viser ventilatorkarakteristik for nydesignet ventilator uden stalling

Projektet har haft succes med at kunne udvikle en Ø1400mm ventilator uden stalling. Ud fra ventilatorens effektoptag og omdrejningstal kan ventilationsydelsen bestemmes. Der er endvidere udviklet en prototype styring, hvor man er istand til at fastholde den ønskede ventilationsydelse ved varierende trykforskelle. Fremadrettet er det også være muligt at gøre for en Ø800 ventilator.

Projektet har haft succes med at udvikle en ventilator, hvor ventilationsydelsen kan fastholdes ved varierende trykforskelle.

Hypotesen fra indledningen om at man kan udvikle en ventilator, hvor luft flow kan bestemmes ud fra effektoptag og omdrejningstal, er demonstreret i nærværende projekt.

Luftmængden kan måles online uden merudgift, når ventilatoren ikke staller.

Energibesparelse

Med henblik på at simulere energibesparelserne er der udviklet et modul til det anerkendte simuleringssprogram Staldvent. Modulet beregner vindpåvirkning på staldbygninger ud fra trykkoefficienter for forskellige vindretninger

Danmark

Energibesparelsen ved at gå fra "Dynamic multistep-Grøn indstilling" til "LPC-e vindkomp." er 22% samtidig med at man opnår en mindre vindfølsomhed. Prioriterer man lille vindfølsomhed højt, er besparelsen 35% ved at gå fra "Grøn parallel" til "LPCe vindkomp."

Vietnam

Betragtes en stald i varmere klimazoner vil der ligeledes kunne opnås væsentlig energibesparelse. Prioriterer man lille vindfølsomhed højt er besparelsen 25% ved at gå fra "Multistep" til "LPCe vindkomp."

LPC-e kan give energibesparelser på 22-34%

11 Formidling

11.1 Artikler

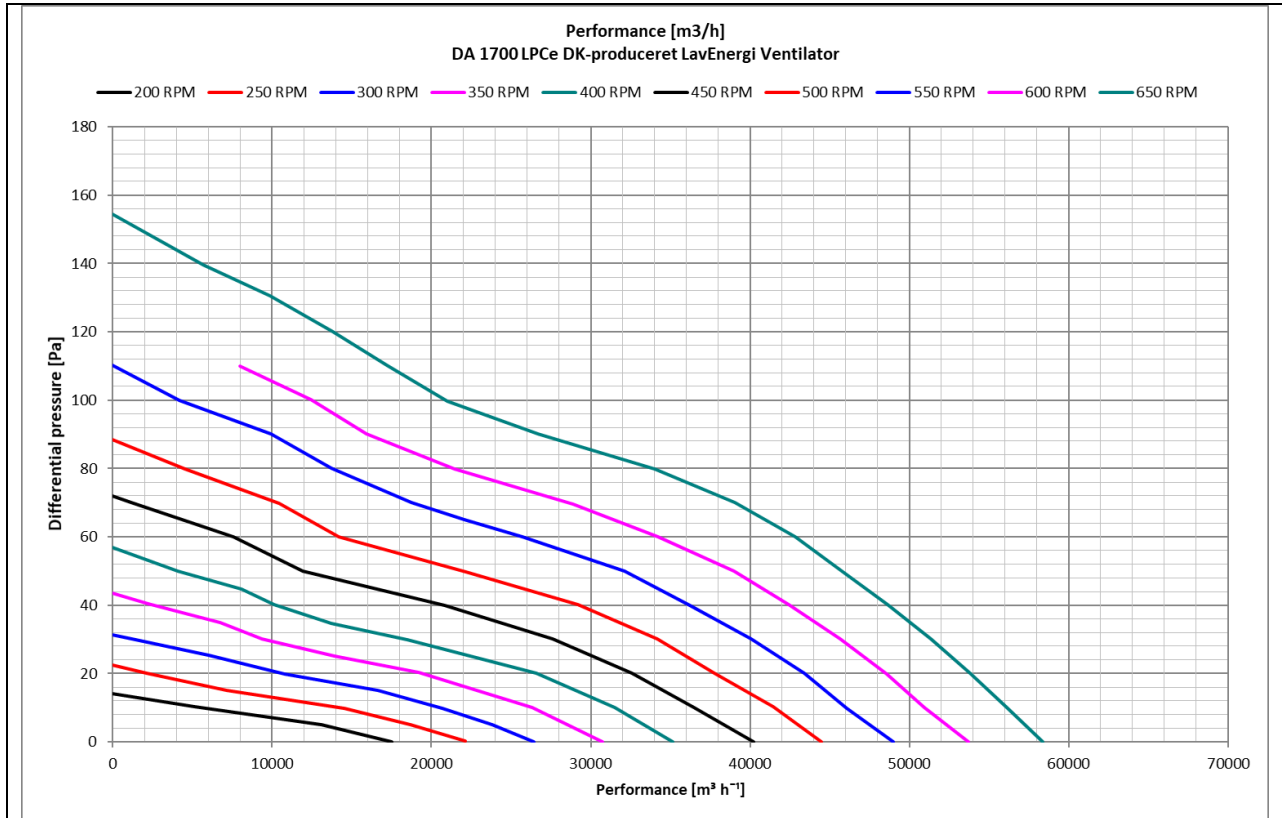
- SVIN/Hyologisk
- Elforsks hjemmeside
- SKOVs hjemmeside

11.2 Foredrag /indlæg

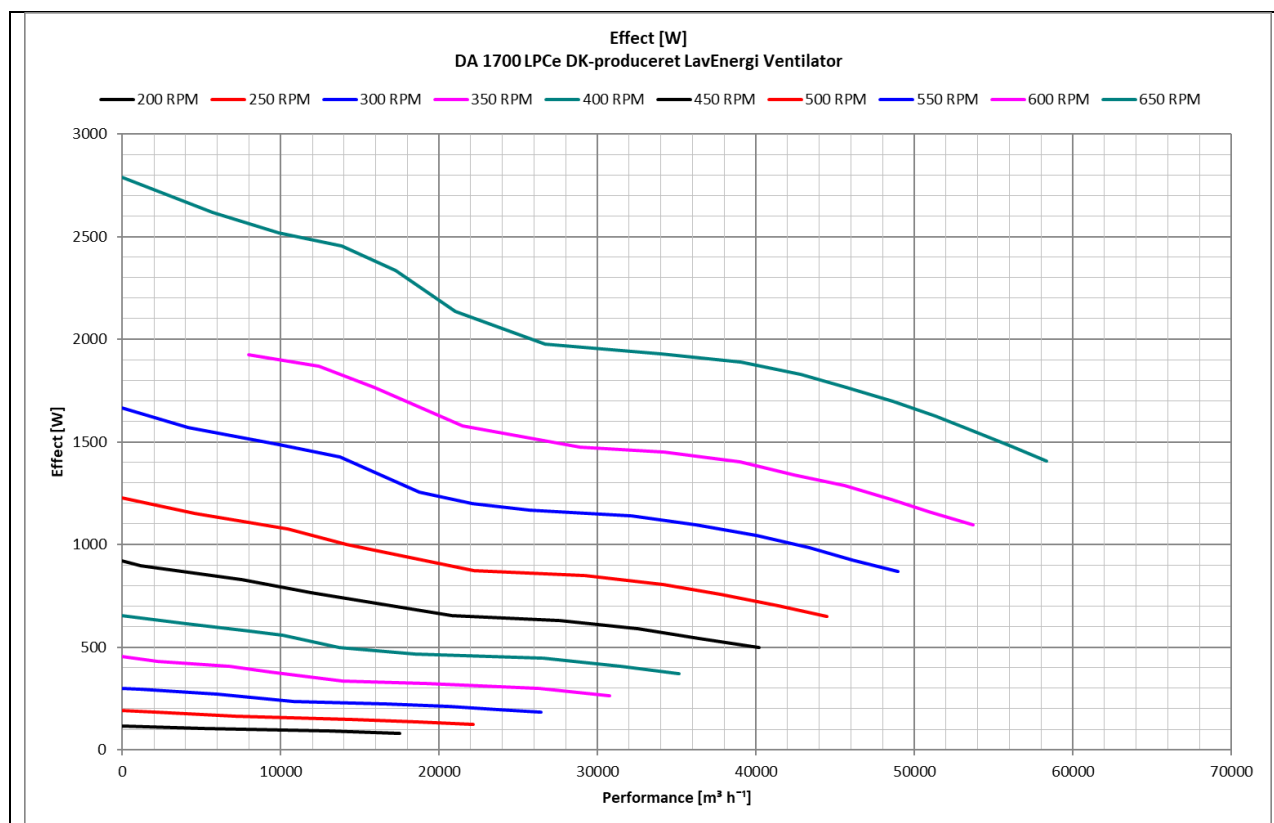
- Kurser ved Teknologisk Institut
- Årligt indeklimaseminar på Teknologisk Institut, 2019
- Roomvent 2021

12 Bilag

12.1 Performance af ventilatorer



Figur 12.1.1 Tryk som funktion af luftflow for nydesignet ventilator Ø140



Figur 12.1.2 Effekt som funktion af luftflow ved nydesignet ventilator Ø140

12.2 Vindtryk på bygninger

Bilaget indeholder en beskrivelse af hvorledes der er udviklet formler til beregning af vindtryk på bygninger.

12.3 Grundlag

De fleste ventilatorer i en staldbygning er designet til et relativt lavt statisk tryk f.eks. omkring 30-40 Pa.

Vindtrykket på bygningen kan sagtens være af samme størrelsesorden og kan derfor ikke negligeres.

$$\text{Vindtryk} = \xi \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_l \cdot v_l^2, [\text{Pa}]$$

Derfor er der lavet et omfattende arbejde på dette felt, som har resulteret i et vindtrykmodul integreret i IT programmet StaldVent. Inddragelse af vindtrykket på bygningen har betydning for det samlede elforbrug til ventilatorer afhængig af placering på bygning.

Formelgrundlaget tager udgangspunkt i data fra Ashrae og Teknisk Ståbi:

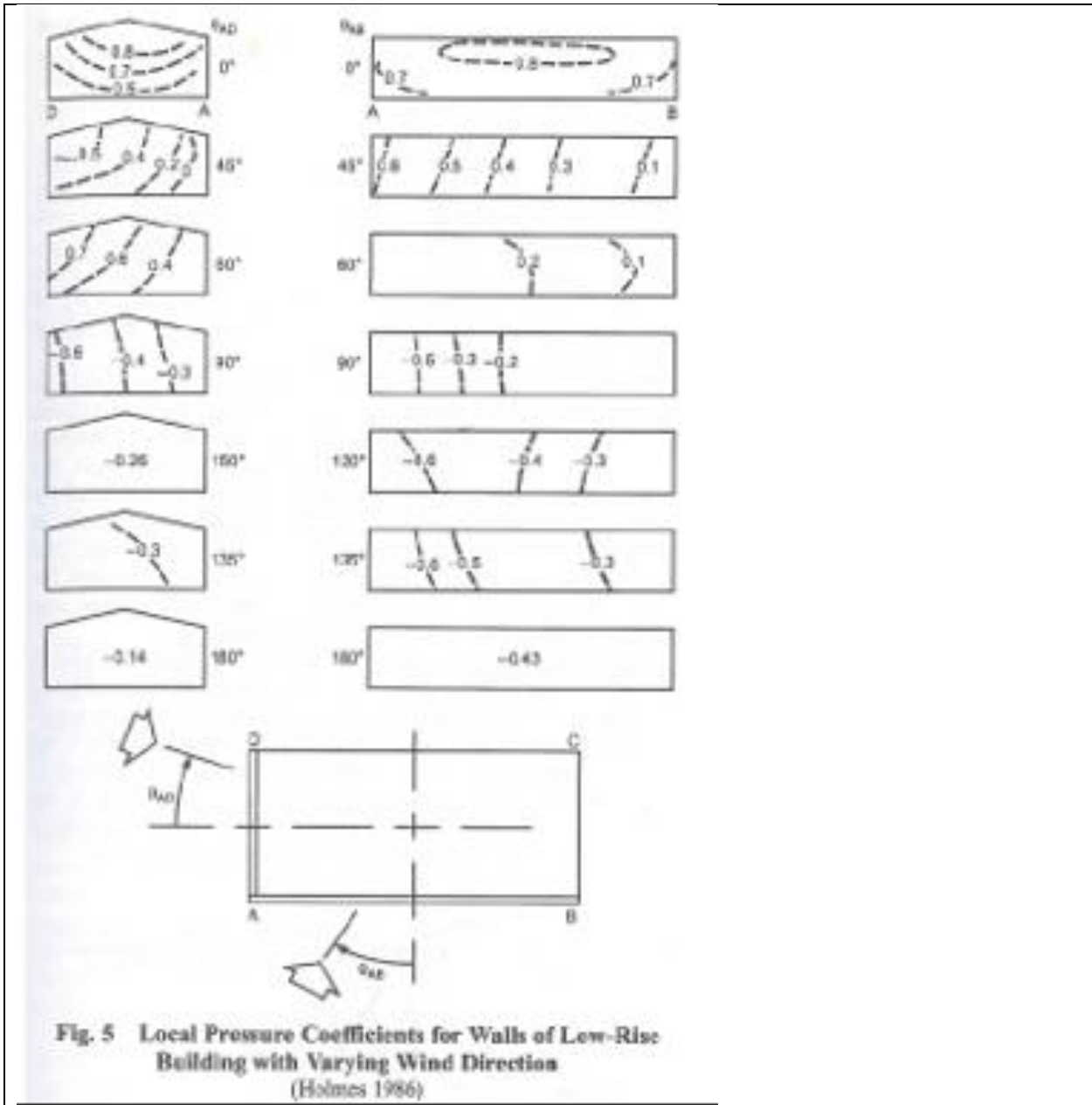
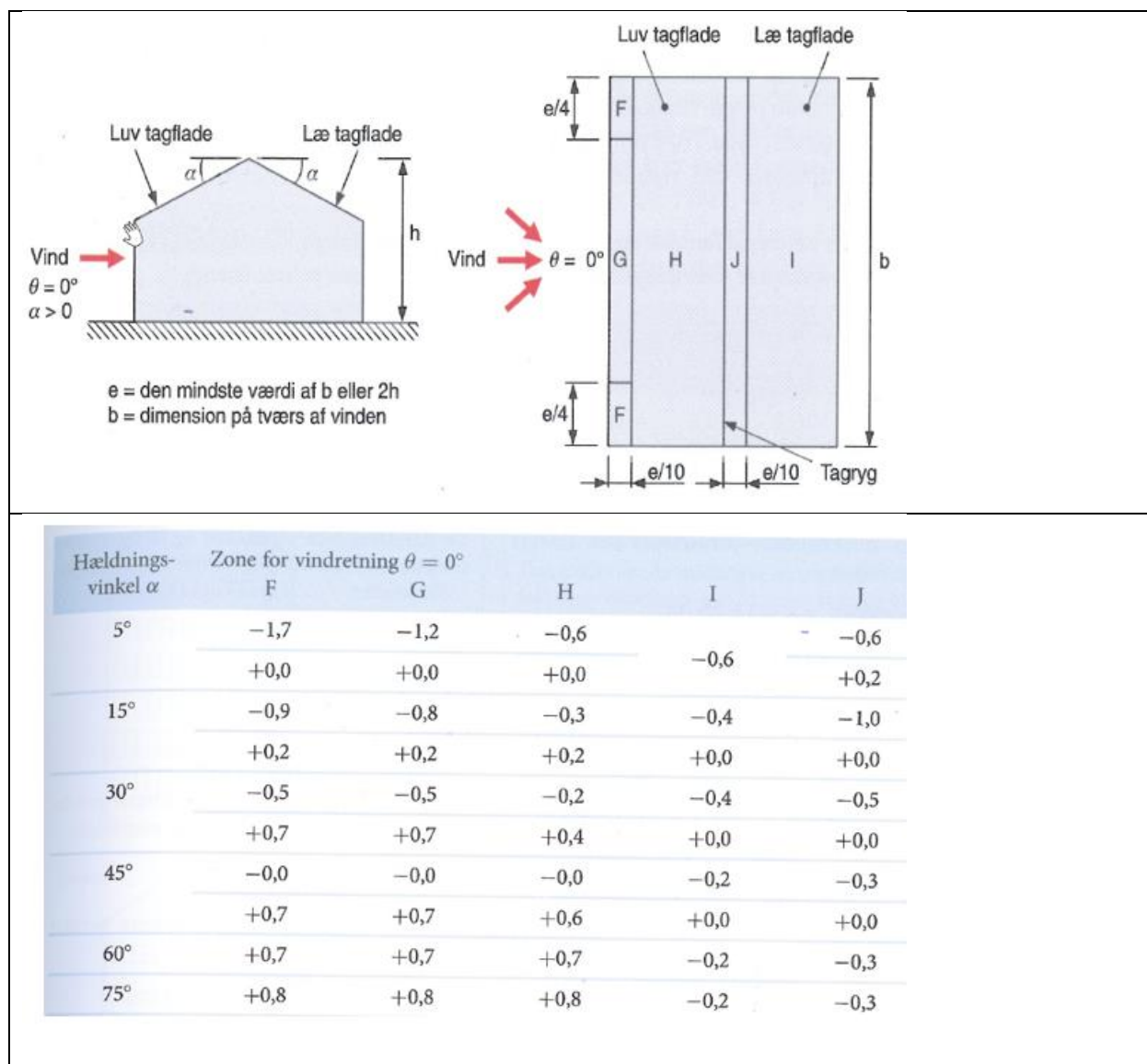


Fig. 5 Local Pressure Coefficients for Walls of Low-Rise Building with Varying Wind Direction
(Holmes 1986)

Figur 3.3.1: Ashrae data



Figur 3.3.2: Teknisk Ståbi

For alle ydervægge og for enhver af de angivne vindretninger er der givet C_p værdier for de angivne kurver. På hver kurve er indtegnet punkter. Alle nabopunkter er forbundet med linjer der danner trekanten. I visse tilfælde hvor der ikke er angivet nogen værdi har vi skønnet værdien. Disse trekanten laver en polygonflade i rummet, hvis C_p værdi (z -værdien) af en funktion af denne relative position i forhold til bygningens længde og bygningens højde. Programmet interpolerer automatisk mellem kurver og det linker kurver matematisk til en given vindretning med en opløsning helt ned til 15 grader. Metoden kaldes også for triangulering, hvilket er en mere præcis metode, idet der hele tiden kun arbejdes med de nærmeste nabopunkter.

Litteratur:

Teknisk Ståbi, 25. udgave, ASHRAE Handbook – Fundamentals, 2005

12.4 Beregning af aksialvinge profil med programmet MathCAD

Bilag rekvireres hos Teknologisk Institut, Christian Drivsholm, cd@teknologisk.dk.