



## ENERGIEFFEKTIV STYRINGSVENLIG STALDVENTILATOR-UNIT



*Marts 2010*

# **Energieeffektiv styringsvenlig staldventilator-unit**

Hans Andersen – Teknologisk Institut

Peter Svendsen – Teknologisk Institut

Christian Grønborg Nicolaisen – Teknologisk Institut

Jan Strøm – Aarhus Universitet, Engineering Centre Bygholm

Keld Sørensen – DXT

Claus Götke – LokalEnergi Horsens

Lars Christian Sørensen – SKOV A/S

Svend Morsing – SKOV A/S

**PSO 340-030**

# Forord

Nærværende rapport udgør afrapporteringen af PSO projektet 340-030 ”Energieffektiv styringsvenlig staldventilator-unit.

Projektet er udført af nedenstående projektgruppe, og i skrivende stund forestår der en produktmodning af det udviklede system hos SKOV A/S. Produktet forventes lanceret den 1. juli 2010.

Projektdeltagere:

Hans Andersen – Teknologisk Institut

Peter Svendsen – Teknologisk Institut

Christian Grønberg Nicolaisen – Teknologisk Institut

Jan Strøm – Aarhus Universitet, Engineering Centre Bygholm

Keld Sørensen – DXT

Claus Götke – LokalEnergi Horsens

Lars Christian Sørensen – SKOV A/S

Svend Morsing – SKOV A/S

Selvom projektet allerede har opnået signifikante resultater, er det endelige succeskriterium produktlanceringen – denne dag ser samtlige deltagere i projektgruppen frem til.

En særlig tak skal rettes mod den nordjyske landmand med initialerne NKN, der har lagt stald til test af prototype systemerne.

Projektleder Peter Svendsen  
Teknologisk Institut

Projektleder Svend Morsing  
SKOV A/S

# Indholdsfortegnelse

Side

<b>1</b>	<b>Projektbeskrivelse .....</b>	<b>5</b>
1.1	Kort projekt resume.....	6
1.1.1	Elmotorer.....	6
1.1.2	Ventilatorvinge .....	7
1.1.3	Styring .....	8
1.1.4	Staldtest og energibesparelser .....	8
1.1.5	Produktlancering .....	9
<b>2</b>	<b>Eksisterende system .....</b>	<b>10</b>
2.1	Multistep® .....	12
2.2	Vindfølsomhed .....	13
2.3	Kapacitetskurvens hældning og indflydelsen på vindfølsomheden .....	14
<b>3</b>	<b>Udviklingsaktiviteter .....</b>	<b>16</b>
3.1	Ventilatorspor .....	16
3.1.1	Målemetode .....	16
3.1.2	Målinger .....	18
3.1.3	Optimering af ydelsen på ventilatorvinge .....	21
3.2	Motorspor .....	23
3.2.1	Energimæssig delkonklusion for on/off enhed .....	26
3.3	Styringsspor .....	27
3.3.1	Vindkompenseret styring i Setup B.....	28
<b>4</b>	<b>Staldtest.....</b>	<b>30</b>
4.1	Kort om StaldVent.....	30
4.2	Opstaldning .....	31
4.2.1	Ventilationsanlæg.....	32
4.2.2	Indeklima setpunkter .....	34
4.2.3	Vejr .....	34
4.3	Simulering af energiforbrug .....	35
4.4	Steptest af ventilationsanlæg.....	39
4.4.1	Resultater .....	39
4.5	Konklusion fra staldtesten.....	42
<b>5</b>	<b>Endeligt prototype system.....</b>	<b>43</b>
5.1	Regulerbar enhed i prototype systemet.....	43
5.2	On/off enhed i prototype system .....	44
5.3	Energibesparelser.....	44
5.4	Lancering af produktserie .....	44
5.5	Kommunikationsplan.....	45
<b>6</b>	<b>Konklusion .....</b>	<b>46</b>
	<b>APPENDIKS A: StaldVent simuleringer af NKN stald .....</b>	<b>47</b>
	<b>APPENDIKS B: Resultater fra STEPTEST .....</b>	<b>53</b>
	<b>APPENDIKS C: Simulering af vindkompenseret styring .....</b>	<b>55</b>

# 1 Projektbeskrivelse

Tidligere gennemført PSO projekt 338-080, Coating af ventilatorer, har afdækket en usædvanlig lav energieffektivitet for markedsførende ventilationssystemer indenfor svinestalde. Disse er blevet opmålt til totalvirkningsgrader på 45 % for nye Best practice produkter. Dette giver baggrund for en forventning om betragtelige muligheder for reduktion af enheders energiforbrug, både ved optimering af selve aksialventilatoren, optimering af motorenheden samt forbedring af styringsstrategien. På nuværende tidspunkt antages energiforbruget til ventilationssystemer indenfor svinestalde at udgøre 350 GWh alene i Danmark.

Styringsmæssigt er systemerne opbygget til at tilfredsstille to grundlæggende krav. Dels skal styringen sikre at udsugningsgraden tilfredsstiller krav til indeklimaet, og dels skal det sikres, at der ikke opnås stor påvirkning fra de eksterne tryk- og vindforhold stalden udsættes for. Det sidstnævnte løses på nuværende tidspunkt ved drøvleregulering der pålægger ventilationsenheden et yderligere energiforbrug. Et energiforbrug der reelt ikke kommer til gavn, men som figurerer som en sikkerhedsforanstaltning.

Det er således projektgruppens formål at:

1. Udvikle en prototype ventilationsenhed med en totalvirkningsgrad på over 60 % fokuserende på optimering af motor og ventilatorvinge
2. Udvikle en regulering der nedbringer ”det tabte” energiforbrug på grund af vindfølsomhed, ved aktiv feedback fra relevant(e) målepunkt(er) i ventilationsenheden
3. Dokumentere ovenstående konstellationer i en række laboratorietest
4. Udvikle samlet prototypesystem og afprøve dette i en fuldskala staldtest hos landmand
5. Dokumenterer energibesparelser og indeklimaydelse fra staldtest mellem en række testkonstellationer. Testkonstellationer opbygges så der gives mulighed for kortlægning af væsentlige enkeltinitiativer
6. Overfører projektets resultater til StaldVent, der er det benyttede dimensioneringsprogram til udvikling af staldventilationssystemer
7. Overleverer projektets resultater til SKOVs interne produktgruppe med henblik på implementering i SKOVs produktprogram, for at der sikres en proces fra prototype til reelt markedprodukt.

På baggrund af ovenstående beskrivelse forventes det af projektgruppen, at kunne udvikle en samlet ventilationsenhed, der omkostningseffektivt vil kunne reducere energiforbruget til ventilation i danske stalde med 70 GWh ved fuldimplementering. Omkostningseffektiviteten er væsentlig, og i ordets betydning lægger projektgruppen, at en eventuel merinvestering ved etablering af nyanlæg i forhold til nuværende Best Practice, maksimalt må have en direkte tilbagebetalingstid på 3 år ved nuværende elpriser for svineindustrien.

Det er projektgruppens ambitionsniveau at et reelt markedsprodukt skal være i salg indenfor 1 år efter projektets afslutning.

## 1.1 Kort projekt resume

Et omfattende gennemført måleprogram i laboratorium med fokus på ventilatorer og motorer tidligt i projektet, har affødt en stor viden omkring markedsprodukter og deres respektive virkningsgrader i de givne driftspunkter. Dette har kortlagt, at alle de testede eksisterende induktive elmotorer i nominelle størrelser omkring 250W, har maksimale virkningsgrader mellem 50 – 60 %.

Sideløbende har projektet udtaget en række højeffektive ventilatorvinger til grundlæggende test for eventuel optimering. Disse test har vist fornuftige maksimale virkningsgrader, men fortrinsvist ved en højere trykdydelse end de reelle driftspunkter og dermed opnås disse virkningsgrader ikke i de virkelige installationer. Yderligere har kapacitetskurverne vist større stall-områder, hvilket reducerer reguleringsevnen som påvirker behovet for spjældregulering og dermed mindsker energieffektiviteten.

Ovenstående viden har gennem projektet resulteret i 3 separate udviklingsspor:

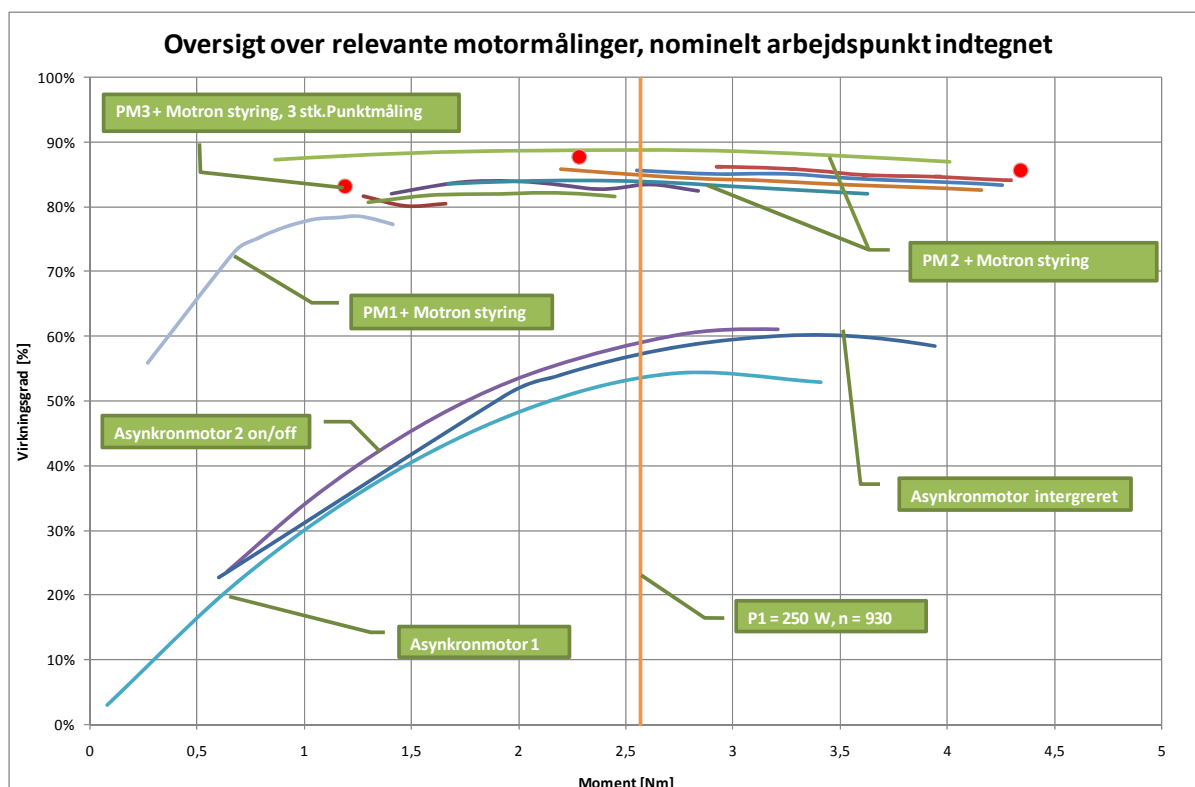
1. Udvikling af motor med høj virkningsgrad i et stort reguleringsområde og egenskaber der kan modstå det hårde staldmiljø
2. Udvikling af ventilatorvinge med høj virkningsgrad i de reelle driftspunkter samt forøget reguleringsevne ved reduceret stall-område og stejlere ventilatorkarakteristik
3. Udvikling af ny overordnet reguleringsstrategi

### 1.1.1 Elmotorer

Udviklingen af nye motorer har dels fokuseret på optimering af eksisterende produktudvalg både på de traditionelle induktionsmotorer samt de triaxsregulerede. Dette har eksempelvis for de nuværende uregulerede induktionsmotorer givet en effekt fra en tidligere virkningsgrad på 55 til 62 %.

Samtidig har fokus også været på et teknologiskift fra induktionsmotorer og triaxsregulering til indførsel af permanentmagnet motorer. Dette har vist muligheder for forøgelse af virkningsgrader til op mod 89 % og givet en langt større reguleringsevne. Samtidig, i stor udstrækning, har dette ligeledes givet mulighed for at opretholde energieffektiviteten i det fulde reguleringsområde. Effekten af teknologiskiftet fremgår af nedenstående kurve, der viser et uddrag af nogle af de motormålinger gennemført i projektet.

Projektgruppen valgte på baggrund af dette, hurtigt at fokusere på udvikling af en veldimensioneret permanentmagnet motor med de ønskede egenskaber omkring reguleringsområde og egenskaber i forhold til det hårde staldmiljø. I denne proces har der i høj grad ligeledes været fokus på omkostningseffektivitet, da indføring af permanentmagnetmotorer ligeledes skaber et behov for en styringsenhed, der er langt mere bekostelig en eksempelvis en tri-axsregulering. Dette gælder både om der benyttes en reguleret eller ureguleret motor. Samtidig har selve motoren ligeledes en merpris, og et ønske om korte tilbagebetalingstider, nødvendiggør dette fokus.



Figur 1. Udpluk af motoropmålinger foretaget i projektet

### 1.1.2 Ventilatorvinge

Efter en række grundlæggende test af de mest højeffektive ventilatorvinger står det klart, at virkningsgraderne i toppunktet er relativt høje, men til gengæld opnås de maksimale virkningsgrader ved en højere trykydelse end ønsket. Samtidig er der stall-områder, der giver begrænset reguleringsområde og som dermed mindsker frihedsgraden til indføring af optimal energieffektiv styring og regulering. Kvantitetsmæssigt er der mindre energibesparelser at hente ved optimering af denne del af enheden end motordelen, til gengæld er det mindre omkostningstungt og projektgruppen har dermed ligeledes fokuseret på denne energibesparelse.

På baggrund af det erfaringsgrundlag, der er blevet skabt fra de gennemførte test og med særligt henblik på ønsket om større reguleringsfrihed, er der blevet specialfremstillet en prototypevinge i samarbejde med Multiwing – denne vinge benævnes ”SKOV vingen” gennem rapporten. Vingen karakteriseres ved at bestå af 3 blade og dens egenskaber er dels, at den

matcher Best practice vingen energimæssigt i nominelt driftspunkt, samtidig med at den opnår en mindre vindfølsomhed og dermed sikrer den ønskede reguleringsfrihed. Den forøgede reguleringsfrihed giver mulighed for reduceret omdrejningstal samt mindre spjældregulering og dermed en reel energibesparelse. Dette fremgår detaljeret i rapporten.

Parallelt er der på en anden standard højteffektiv vinge gennemført optimeringsforsøg for forøgelse af virkningsgraden i de reelle driftspunkter. Dette er gjort ved dels stator på afkastet for ensretning af luften og diffusorer omkring ventilatornav og motor. Optimeringsarbejdet har hævet virkningsgraden på den specifikke ventilatorvinge med op til 10 procentpoint, dog primært ved højere systemtryktab end aktuelt for dette projekt. På baggrund af dette forventes det at dele af dette arbejde kan bruges i forbindelse med det fremtidige projekt, der skal gennemføres PSO 342-041 "Energieffektiv biologisk luftrensning til staldventilation".

### 1.1.3 Styring

Styringsmæssigt skal systemet dels udsuge den ønskede luftmængde for at sikre tilfredsstillende indeklima, samtidig med at vindfølsomheden formindskes i forhold eksterne tryk- og vindforhold ved et minimalt energiforbrug at de ovenstående benyttede produkter. For at forstå systemets opbygning og definitionen af vindfølsomhed henvises der til kapitlet "*eksisterende system*".

Projektgruppen har udviklet en tilbagemelding til styringen, der via en simpel vindmåling registrerer niveauet af ekstern vindpåvirkning. På baggrund af denne viden, er der udviklet en 2-strengt regulering der rent lavpraktisk skelner mellem kraftig og svag vindpåvirkning. Dette betyder, at der ved vindpåvirkning under 5 m/s benyttes en tryksvag spjældregulering og ved større vindpåvirkning en traditionel trykstærk spjældregulering. De eksisterende systemer opbygges med en kontinuerlig trykstærk spjældregulering. Når systemet regulerer efter den tryksvage spjældregulering, påtvinges mindre tryktab til systemet, og dermed opnås der en energibesparelse. Styringen bruges i setup B i nedenstående kapitel.

I forbindelse med udvikling og implementering af den nye ventilatorvinge er der ligeledes udviklet en parameterrevideret Multistep styring der giver langt mindre drøvleregulering. Styringen bruges i det endelige produkt og er implementeret i setup C i nedenstående kapitel.

### 1.1.4 Staldtest og energibesparelser

I staldtesten er der blevet installeret en række konstellationer i sammenlignelige staldsektioner, så reelle besparelser har været mulige at kortlægge. Disse består alle af sektioner med to ventilationsenheder efter princippet multistep, se *eksisterende systemer*. Der tages udgangspunkt i 3 forskellige sektioner der kort fortalt er bestykket som følgende:

- Setup A: DA600-3 indstillet til 30 % trykstabilitet med standard styring – **reference (Best practice)**
- Setup B: DA600-3 med vindkompenseret styring vekslede mellem 30 og 100 % trykstabilitet
- Setup C: DA600-LPC indstillet til 30 % trykstabilitet (Low power consumption)



Målingerne i staldtesten er gennemført over en periode på 3 måneder og resultaterne er opskaleret til årsniveau. Målingerne videreføres dog i SKOV regi for ligeledes at teste for langsigtede problematikker. Dette tæller eksempelvis dokumentation af motorens evne til at fungere i det hårde miljø.

Staldtestens opskalerede resultater viser følgende energimæssige resultater:

	<b>Setup A reference</b>	<b>Setup B vindkompenseret</b>	<b>Setup C LPC</b>
<b>kWh/år</b>	3.507	3.117	1.889
<b>kWh/år pr. stiplads</b>	18	16	10
<b>% besparelse</b>	0	11	46

Tabel 1. Årsskalering for stald bestående af et multistep system med i alt 2 ventilatorer i standard DRY år med 20 grader og 70 RH % i setpunkt.

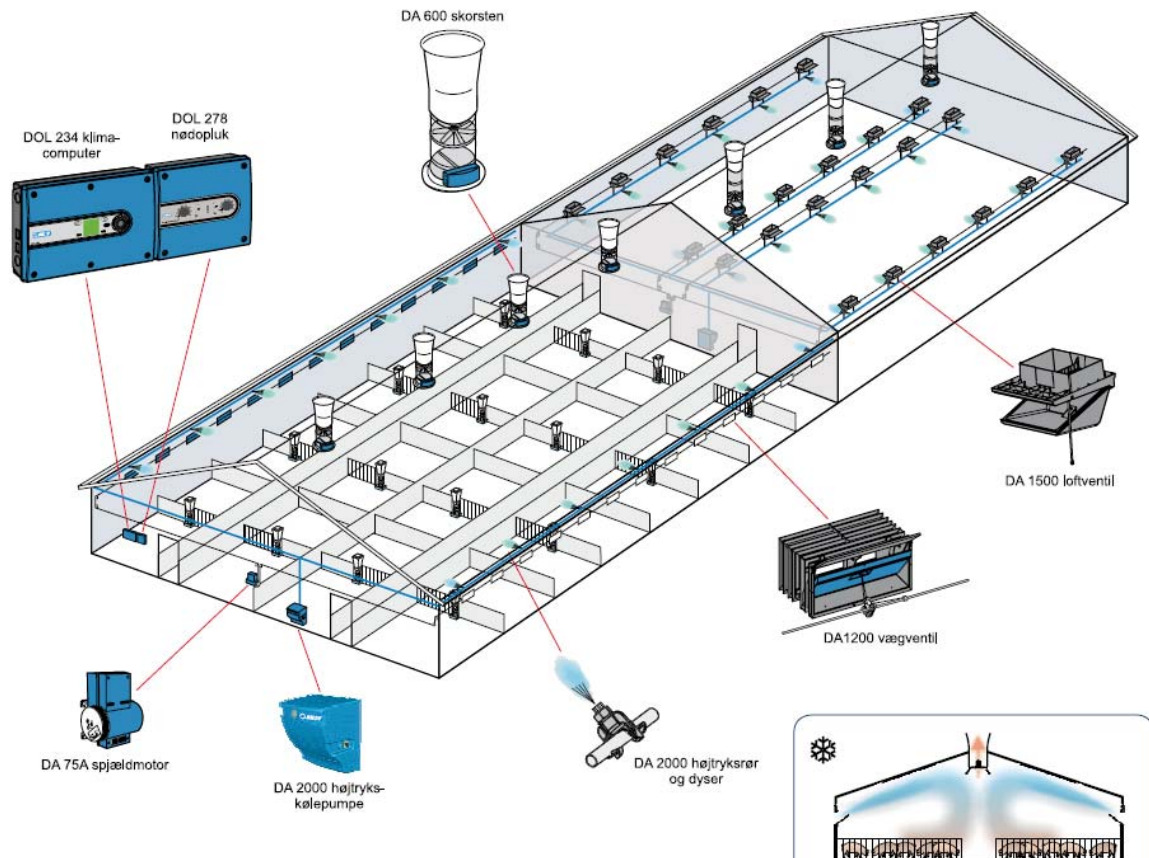
Ovenstående viser at energibesparelsen ud fra en systemtankegang udgør 46 %, og hvis der fokuseret isoleret på den regulerbare ventilationsenhed, udgør energibesparelsen 60 %. Dette vel at mærke uden at reducere SKOVs krav til ventilationsanlæggets vindfølsomhed.

Alle de resultater der er genereret i staldtest samt laboratorietest er igennem projektet blevet indført i programmet STALDVENT, som dermed er blevet styrket betragteligt både teoretiske men ligeledes med praktiske valideringer fra staldtesten. Dette har givet en lang bedre mulighed for eksempelvis teoretisk at beregne besparelser ved ændring af ønsket trykstabilitet og indføring af nye styringsstrategier.

### 1.1.5 Produktlancering

Der planlægges salgsfrigivet et produkt pr. 1. juli 2010, samtidig med at prototypen er blevet fremvist på Agromek i november 2009. Ved denne lejlighed fik prototypen prædikatet ”3-stjernet” europyhed der er den højeste vurdering der kan opnås på den omfattende landbrugsmesse. Dette fremgår af billedet på rapportens forside. Det salgsfrigivede produkt lanceres internationalt på EuroTier i november 2010.

## 2 Eksisterende system



Figur 2. Samlet indeklima system fra SKOV A/S

En staldventilationsenhed fra SKOV A/S som DA 600, betjener stalde til animalsk produktion. I indeværende projekts tilfælde er fokus på systemet til klimatisering af slagtesvinestalde. Ventilationsenheden skal sikre at forholdet mellem temperatur og fugt holdes på et optimalt niveau for sikring af minimal sygdom og optimal vækst, samtidig med tilvejebringelse af frisk luft til indånding. Systemet indgår som en yderst væsentlig sikkerhedsanordning, hvor driftsnedbrud kan ende fatalt for svinene.

Figur 2 viser et eksempel på en stald ekviperet med klimasystem fra SKOV A/S med DA 600 ventilationsenheder.

Generelt består systemet af følgende komponenter:

1. Skorsten – Er udviklet gennem mange år, og alle er opbygget med aerodynamisk diffusordel der skal sikre, at der genvindes en del af det opbyggede dynamiske tryk. Forbedringer af denne er ikke signifikante på nuværende tidspunkt.
2. Aksialventilator med elektrisk motor – Ved et overblik over markedsprodukter, er der principielt lighedspunkter i brugen af motor og ventilatorer.
3. Spjæld i skorsten – Spjældet har en række funktioner, der uddybes i rapporten.
4. Friskluftindtag – Friskluften kommer som oftest fra et diffust loft og tages derfor direkte udefra. Der er oftest ingen behov for varmegenvinding, da der reelt er et uønsket overskud af varme. Friskluften kan ligeledes tilvejebringes gennem friskluftventiler i væg eller loft.
5. Styling og registrering – Ved hjælp af temperatur og fugtsensorer i stalden, defineres det ønskede flow. På baggrund af dette indstilles ventilatoromdrejning samt regulerings-spjæld.
6. Stalden – Det betjente område er her det ønskede indeklima skal tilvejebringes. Klimaet er vigtigt i forbindelse med effektiv drift og især om sommeren stilles der store krav til ventilationskapaciteten

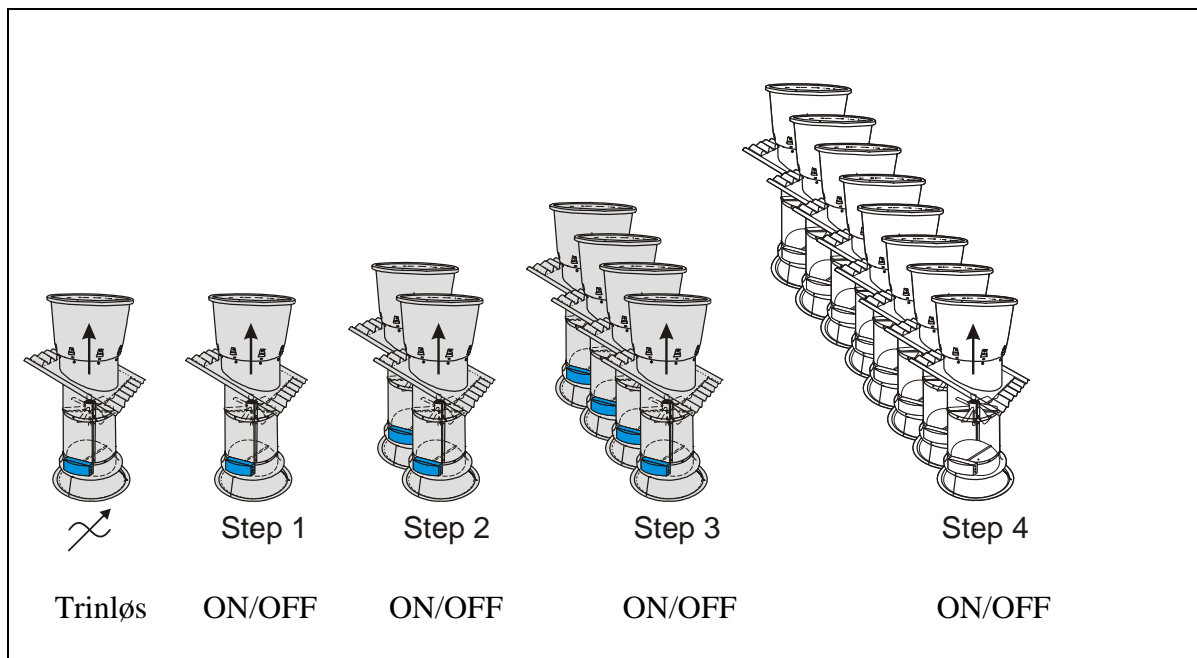
Det ønskede indeklima kan kort beskrives med fokus på temperatur og relativ luftfugtighed. Hvis temperatur og relativ fugtighed adderes, skal dette gerne fastholdes på 90 inde i stalden, typisk sammensat af 70 % relativ fugtighed og 20 °C rumtemperatur. Ligeledes skal der sikres en minimal vindfølsomhed som defineres senere i kapitlet. Det er følere i stalden til henholdsvis temperatur og fugtighed, der styrer ventilatordriften.

Da svinene i stalden bidrager med en voldsom varmepåvirkning, er der ikke behov for eksempelvis indblæsning med varmegenvinding og lignende kendte systemer. Grundopbygningen er derfor, at der udelukkende benyttes ventilatorenheder med ren udsugning og oftest sammen med diffust loft i staldens tag – alternativt med væg- eller loftmonterede ventiler.

Da både udeklimaet og påvirkningen fra svinene kontinuerligt varierer på grund af sammensætning, størrelse, belægningsgrad, vejr osv. er kravene til udsugningsenhederne voldsomt varierende og der skal på sektionniveau være mulighed for at regulere fra ”0-100” % af nominel ydelse. Til at sikre dette, har SKOV A/S udviklet et system de kalder Multistep<sup>®</sup> hvis funktion her beskrives.

## 2.1 Multistep®

MultiStep® er en metode til at styre indeklimaet ved brug af flere udsugningsenheder i trin, således at udsugningen bliver trinløs regulerbar og dermed kan tilpasses det aktuelle behov.



Figur 3. Eksempel på inddeling i multistep med én trinløs og 4 step, i alt 16 ventilatorer.

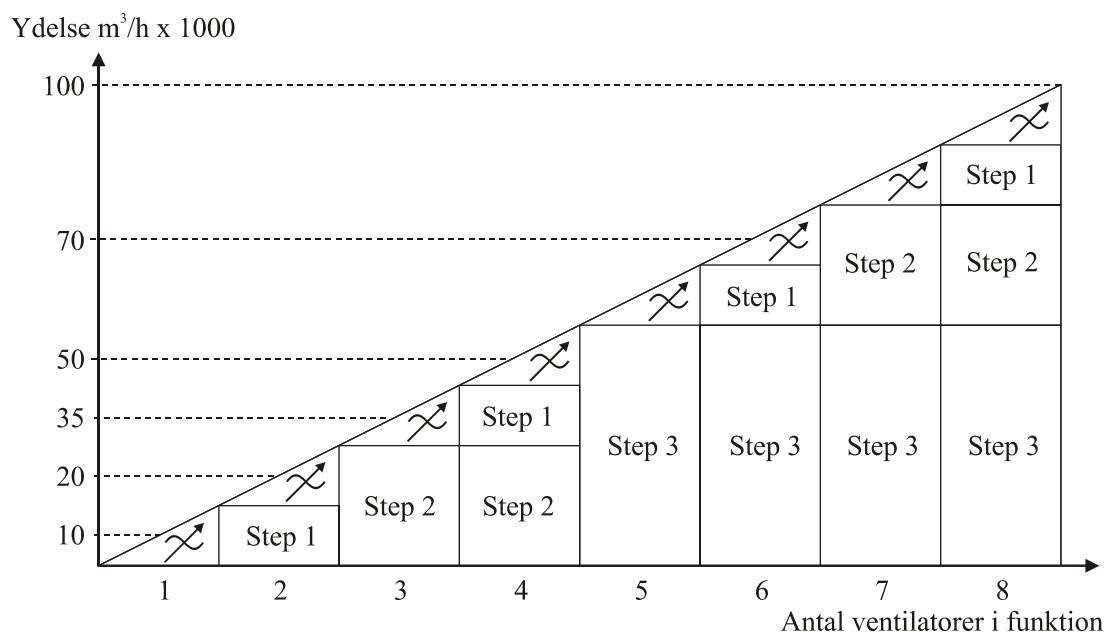
Systemet består af én regulerbar trinløs udsugningsenhed og yderligere en række on/off udsugningsenheder, eventuelt arrangeret i en gruppe. Ved indkobling af en on/off udsugningsenhed eller gruppe reduceres den trinløse enheds ydelse, og evt. mindre udsugningsgrupper kobles ud. Det giver en ydelsesmæssigt glat overgang mellem de forskellige grupper.

Hver skorsten eller gruppe udstyres med en spjældmotor, der kan åbne og lukke drejespjældet. Æn eller to af skorstene reguleres trinløst, hvilket vil sige, at spjældmotoren her kan stille spjældet i enhver stilling. Ventilatoren reguleres trinløst af klimacomputerens hastighedsstyring.

De øvrige skorstene er ON/OFF, hvilket vil sige, at spjældmotorerne kun kan åbne eller lukke spjældet. Når spjældet åbnes, startes ventilatoren via den indbyggede kontakt.

Udsugningsprincippet kombinerer trinløs styring med gruppevis styring af udsugningsenhederne i stalden. Klimacomputeren styrer én ventilator trinløst fra 0 til 100 %. Ved 100 % ventilation kobler MultiStep® den næste ventilator ind på 100 %, hvorefter den trinløst regulerede ventilator begynder forfra på 0 %.

SKOV har i tidligere undersøgelser vist, at det samlede elforbrug til ventilation sammenlignet med et traditionelt styret luftudtag, hvor alle udsugningsenheder reguleres trinløst parallelt, kan reduceres væsentligt ved anvendelsen af Multistep®. Princippet med MultiStep® giver desuden et mere trykstabil og mindre vindfølsomt ventilationsanlæg, idet der under driften er færre aktive ventilatorer, som til gengæld kører med højere omdrejningstal sammenlignet med et anlæg, hvor alle ventilatorer er i paralleldrift.

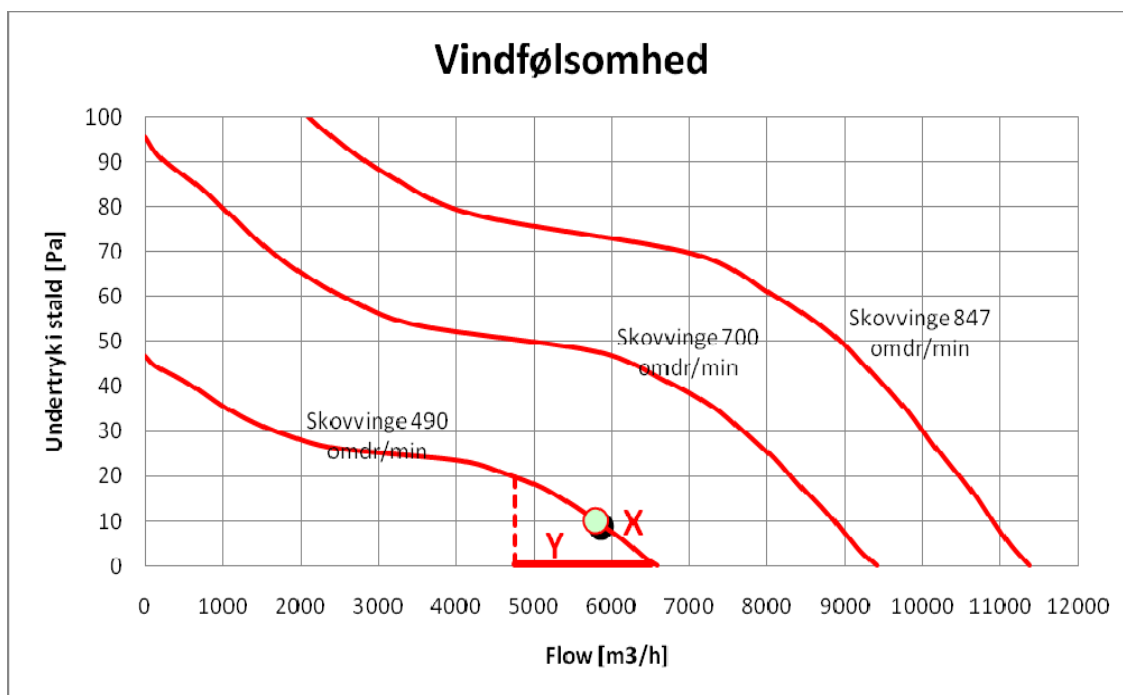


Figur 4. Figuren illustrerer princippet i et multistep anlæg med 8 skorstene.

## 2.2 Vindfølsomhed

Vindfølsomheden er væsentlig, da det ikke tillades at vindpåvirkninger medfører væsentlige luftydelsesvariationer eller tilbageløb i skorstenen. Dette vil medføre dårligt indeklima, dels ved kuldenedfald på dyrene i stalden, og dels ved manglende ventilering. Vindfølsomhed defineres som værende den procentvise ændring af flow, ved en ekstern trykændring fra 0 til 20 Pa.

$$\text{Vindfølsomhed}_{0,490 \text{ omdr.}} = \frac{Y}{X} = \frac{\text{Flowændringen fra 0 til 20Pa.}}{\text{Flowet ved 0Pa.}} = \frac{6600 - 4700 \text{ m}^3/\text{h}}{6600 \text{ m}^3/\text{h}} = 28\%$$



Figur 5 - anskueliggørelse af definition på vindfølsomhed

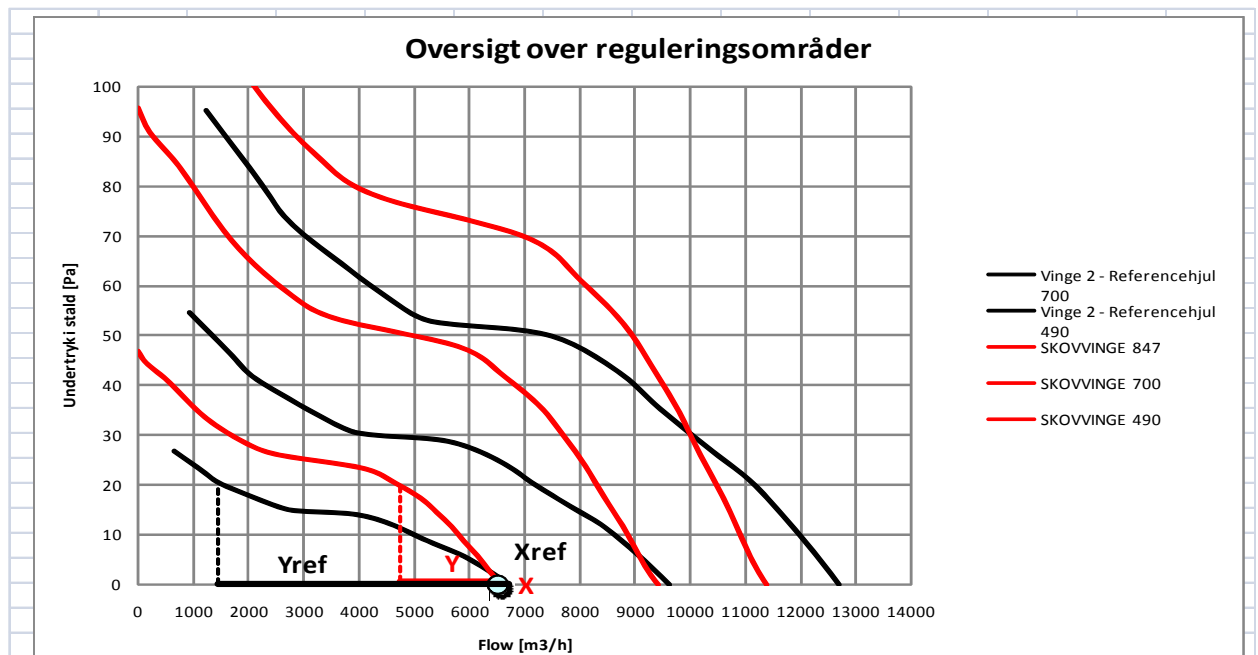
Hvis vindfølsomheden er sat på eksempelvis 30, må reguleringen af udsugningsenhederne udføres så de eksterne påvirkninger fra vinden påvirker udsugningsgraden lavt. Denne regulering udføres ved kombination af drøvleregulering og ændring i omdrejningstal.

## 2.3 Kapacitetskurvens hældning og indflydelsen på vindfølsomheden

Vindfølsomheden og implicit energiforbruget er meget afhængig af kapacitetskurvens hældning. Jo mere aggressiv ventilatoren og dermed stejlere kapacitetskurven er, jo længere ned i området kan ventilatoren omdrejningsregulere og undgå drøvleregulering med spjældet.

Drøvlereguleringen medfører et tryktab som er nødvendigt for at minimere vindfølsomheden, men går til rent energitab. Det har derfor stor indflydelse på energiforbruget og styringen, at der er i projektet er udviklet en anden ventilatorvinge med stejlere karakterstik, men som samtidig passer med udsugningsenhedens arbejdsområde.

Som det kan uddrages af nedenstående opmåling, kan den nye "SKOV ventilator" reducere omdrejningstallet væsentligt, før der er behov for drøvleregulering i forhold til den eksisterende reference vinge DA600-3, på grund af den langt stejlere karakteristisk og dermed mindre vindfølsomhed.



Figur 6. Karakteristikkens indflydelse på vindfølsomhed

I ovenstående eksempel anskueliggøres forskellen i vindfølsomheden for henholdsvis referencevingen og den nye SKOV vinge ved et lavt omdrejningstal på 490 omdrejninger og ingen drøvleregulering for at opnå energioptimale forhold.

- SKOV vingens vindfølsomhed er her 28 %
- Referencevingens vindfølsomhed er 78 %

Eksemplet viser, at en stejl ventilatorkarakteristik giver en langt mindre vindfølsomhed, og dermed et mindre behov for drøvleregulering og energimæssige besparelser ved optimal styringsstrategi. De reelle effekter af dette anskueliggøres i efterfølgende afsnit.

## 3 Udviklingsaktiviteter

For at sikre en omkostningseffektiv ventilationsenhed har fokus været på de nævnte tre fokusområder ventilator, motor samt styring. Indeværende afsnit beskriver resultaterne af disse udviklingsaktiviteter.

### 3.1 Ventilatorspor

#### 3.1.1 Målemetode

For at sikre udvikling af ventilatorvingen foregår rettet mod de specifikke systemer, har første fokusområde været en diskussion af anvendt målemetode.

Ved en traditionel opmåling af en ventilator foregår det efter standarden ISO 5801 – som en lang række af de gældende ventilatorproducenter benytter i dag. En tidligere standard DS 6039 ”Jordbrug. Staldventilation. Metode til afprøvning i laboratorier” er en anden måde at betragte ventilatoren på. Grundlæggende er der stor forskel på disse måleopstillinger og dette er væsentligt i det øjemed at sikre dimensioneringen stemmer overens med ønske.

ISO 5801 betragter en ventilator alene og den ydelse denne skaber. En korrekt indgangsvinkel i forhold til langt de fleste almene ventilationsprodukter, hvor placeringen af den endelige ventilator er ukendt.

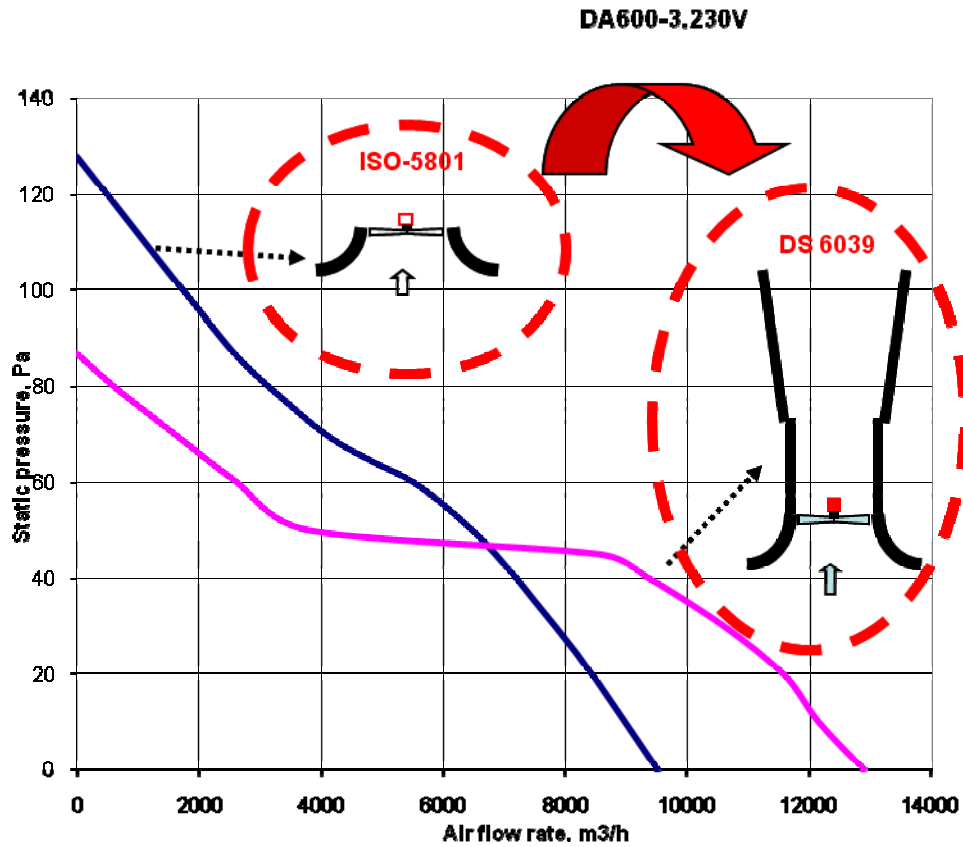
DS 6039 betragter ventilator og skorsten som et samlet system og dermed den ydelse som dette system præsterer.

Skorstene i SKOV A/S produktprogram og generelt dem der sælges på markedet, er principielt nært beslægtede og funktionsmæssigt og luftteknisk ens. Dette betyder, at de fysiske laboratorieopbygninger og de lufttekniske målinger foretaget efter DS 6039 er nært beslægtede med de reelle installationer i staldene og dermed langt mere brugbare. Figur 7 viser hvor stor forskel der kan være på resultater afhængigt af de benyttede målemetoder. Den blå og den pink kurve repræsenterer den samme ventilator testet efter henholdsvis ISO 5801 og DS 6039.

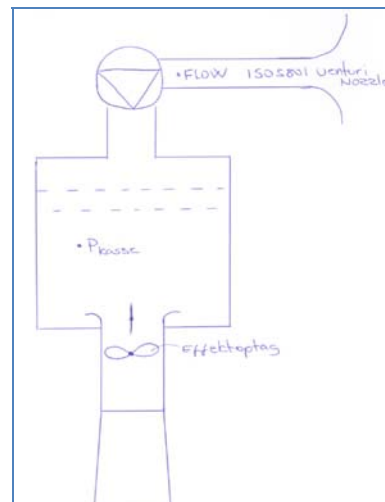
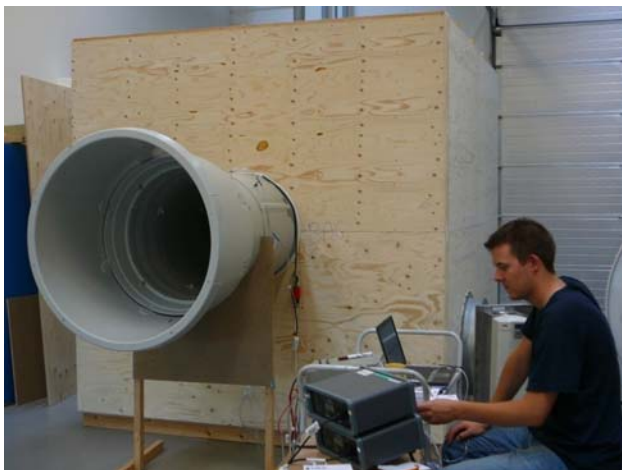
Afvigelsen mellem testmetoderne skyldes blandt andet, at når DS 6039 medtager skorstenen, medtages ligeledes den genvinding af dynamisk tryk, der foregår på grund af skorstenens diffusorvirkning. Diffusorvirkningen stor betydning i området med stort luftflow.

Målinger udført efter DS 6039 på identiske ventilatorer udført på Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet (DJF) og Teknologisk Institut i forbindelse med projektet, har vist god overensstemmelse og da denne metodik er langt mere reel i forhold til de virkelige staldinstallationer, benyttes denne igennem projektet. Det skal her nævnes, at når der tales statisk trykydelse er det differencen mellem udvendigt tryk og reelt staldtryk. På denne måde er en lang række potentielle systemtab ligeledes indregnet i anskuelserne.





Figur 7. Ventilator karakteristikkens afhængighed af testmetode.



Figur 8 - Billede af testopstilling på Teknologisk Institut

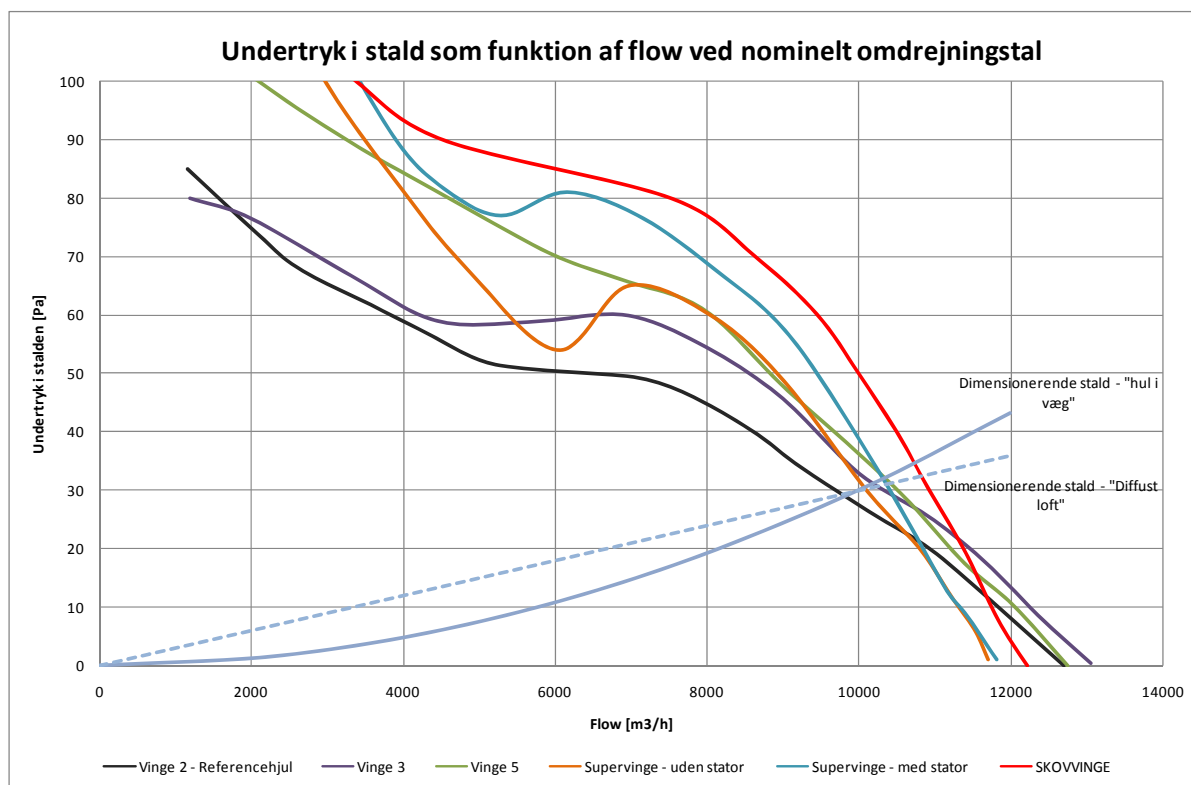
Når det omhandler ventilatorer til staldventilation, er det ikke nok udelukkende at se på virkningsgrader i bedste arbejds punkt, da driftspunkterne i de enkelte stalde er relativt identiske og ikke lægger ved optimum på grund af det lave tryk. Dette betyder, at en angivelse med fokus på effektoptaget pr. flyttet volumen oftest er mere fyldestgørende og langt lettere at forstå for landmanden og dermed markedet.

Mange af de vurderinger der derfor tages i forbindelse med ventilatorer igennem projektet, fokuserer derfor på reelt effektoptag ved et flow på 10.000 m<sup>3</sup>/h og en trykydelse på 30 Pa testet iht. DS 6039

Det er væsentligt at pointere, at når der igennem projektet snakkes ventilatorenhedens trykydelse menes den statiske trykdifference mellem "stalden" og udenfor (uden vindpåvirkning). Dette er en væsentlig forskel fra ISO 5801 målinger, der fokuserer på ventilatorens trykydelse der vil være væsentlig anderledes.

### 3.1.2 Målinger

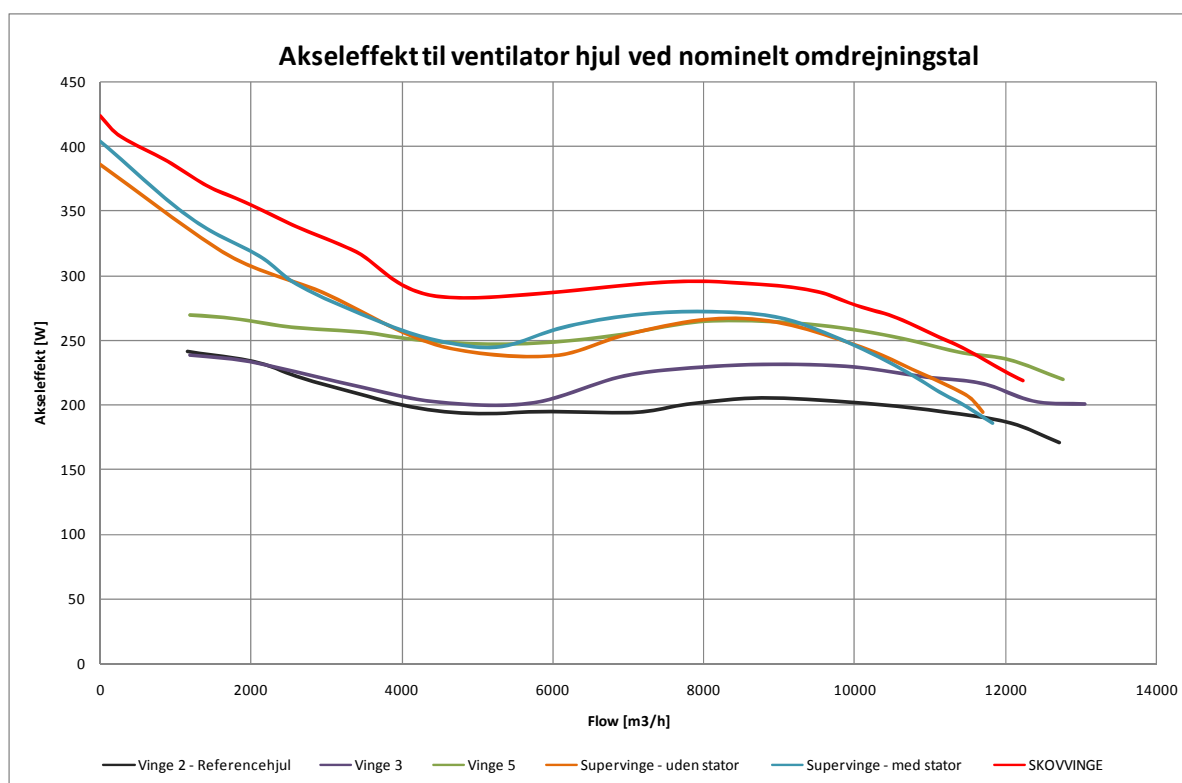
Figur 9 viser et udpluk af gennemførte laboratiormålinger på en række forskellige energiefektive vinger til staldventilation. Som tidligere beskrevet er det dimensionerende driftspunkt 10.000 m<sup>3</sup>/h pr. ventilator ved 30 Pa undertryk. Afhængigt af hvordan tilvejebringelsen af den friske luft sker, ses på disse ventilatorer en reel luftydelse på mellem 9.800 m<sup>3</sup>/h og 10.800 m<sup>3</sup>/h ved nominelt omdrejningstal. Den øgede luftmængde er ikke nødvendigvis ønskelig, da systemtrykket stiger i anden potens og på trods af fastholdt virkningsgrad, stiger det specifikke energiforbrug pr. flyttet m<sup>3</sup> luft.



Figur 9. Undertryk i stalden som funktion af flowet ved nominelt omdrejningstal

Af målingerne fremgår det, at alle ventilatorer mere eller mindre kan levere den ønskede lufttekniske ydelse, karakteristikkene er dog væsentligt varierende og Figur 10 viser ligeledes stor variation i energiforbruget. Vinge 2 som oftest benyttes i dag, har en meget ”flad” karakteristisk, hvilket gør ventilatoren relativ følsom overfor vind. Resultatet er at det er nødvendigt med en aggressiv spjæld- og styringsstrategi for at mindske vindfølsomheden. Den store vindfølsomhed og reguleringen heraf, pålægger systemet u hensigtsmæssigt meget tryktab og forhøjet energiforbrug, på trods af at ventilatoren umiddelbart af nedenstående figur ser optimal ud. Derfor vil introduktion af en mere trykstærk regulerbar ventilator give stort reguleringsmæssigt energisparepotentiale. Hvis ventilatoren samtidig kan udvikles så den stadig bibeholder den høje effektivitet som vinge 2 præsterer ved nominelt omdrejningstal, vil vingen være den optimale fremtidige vinge på alle regulerbare enheder i SKOV A/S produktprogram. Denne problematik vendes der tilbage til senere i dette afsnit.

Af specifikke bemærkninger til ovenstående målinger kan nævnes at vinge 2 og vinge 3 er identiske bortset fra diameteren på vingen. Da skorstenen er uændret går tipfrigangen fra 12,5 mm ved vinge 2 til 5 mm for vinge 3. Ved denne fysiske ændring opnås der ikke bedre specifikt energiforbrug.

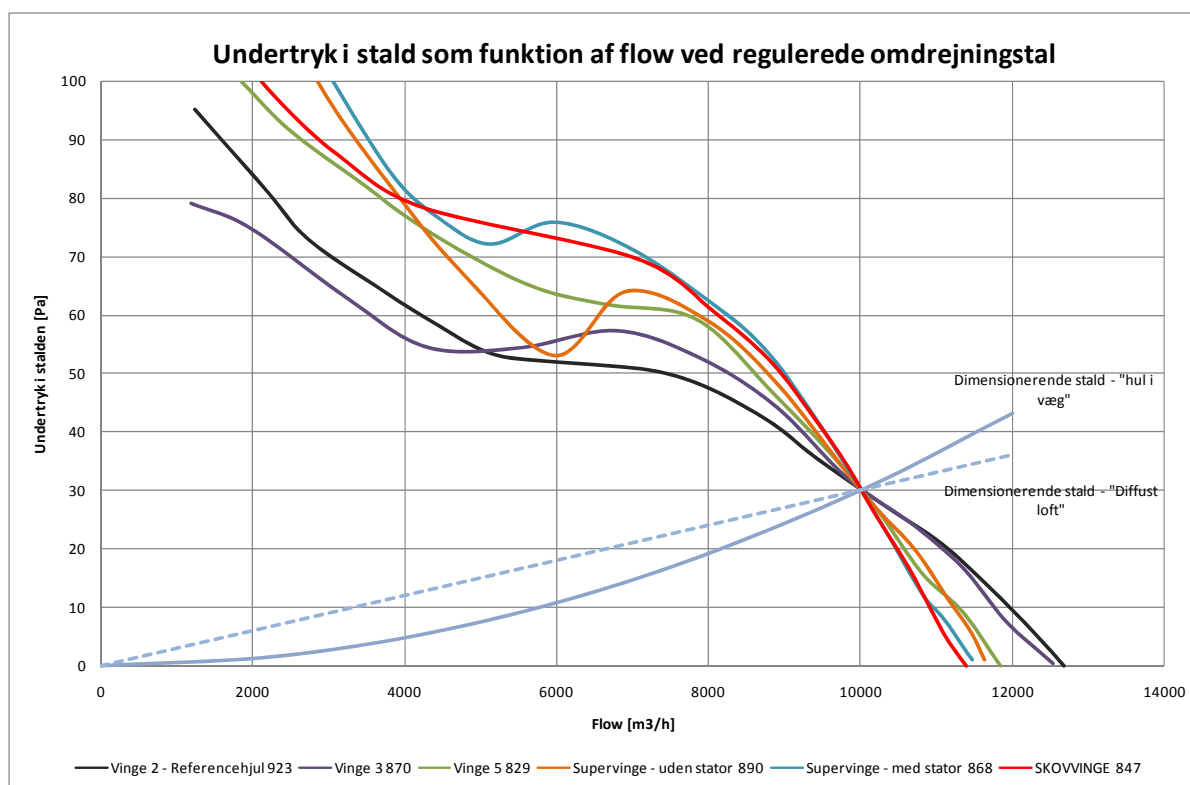


Figur 10. Akseleffekt til vingerne ved nominelt omdrejningstal.

Som beskrevet vil arbejds punktet for ovenstående ventilatorer ved fuld drift være omtrent 10.000 m<sup>3</sup>/h og en variation på akseleffekten fra 200 W (vinge 2 ved 9.800 m<sup>3</sup>/h) til 260 Watt (skovvinge ved 10.800 m<sup>3</sup>/h).

På baggrund af ovenstående kan der konkluderes følgende: Den **uregulerbare ventilatorvinge** i SKOV A/S produktprogram er på nuværende tidspunkt Vinge 2. Af Figur 11 er der ikke nogle af de testede vinge alternativer, der med en standard motor (der udelukkende kan operere ved nominelt omdrejningstal) tilvejebringer reelle energibesparelser. Virkningsgraden kan forbedres men det specifikke energiforbrug til at flytte luften falder ikke. Dette billede ændrer sig ved den **regulerbare ventilatorvinge**

De regulerbare ventilatorer i systemerne giver nogle frihedsgrader. Da der er et specifikt ønsket dimensioneringsdriftspunkt ved 10.000 m<sup>3</sup>/h og 30 Pascals forskel mellem indvendigt i stald og udvendigt, kan vingerne reguleres ind til netop at gennemløbe dette punkt. Denne regulering er foretaget på Figur 11 er giver et godt sammenligningsgrundlag på energisiden.

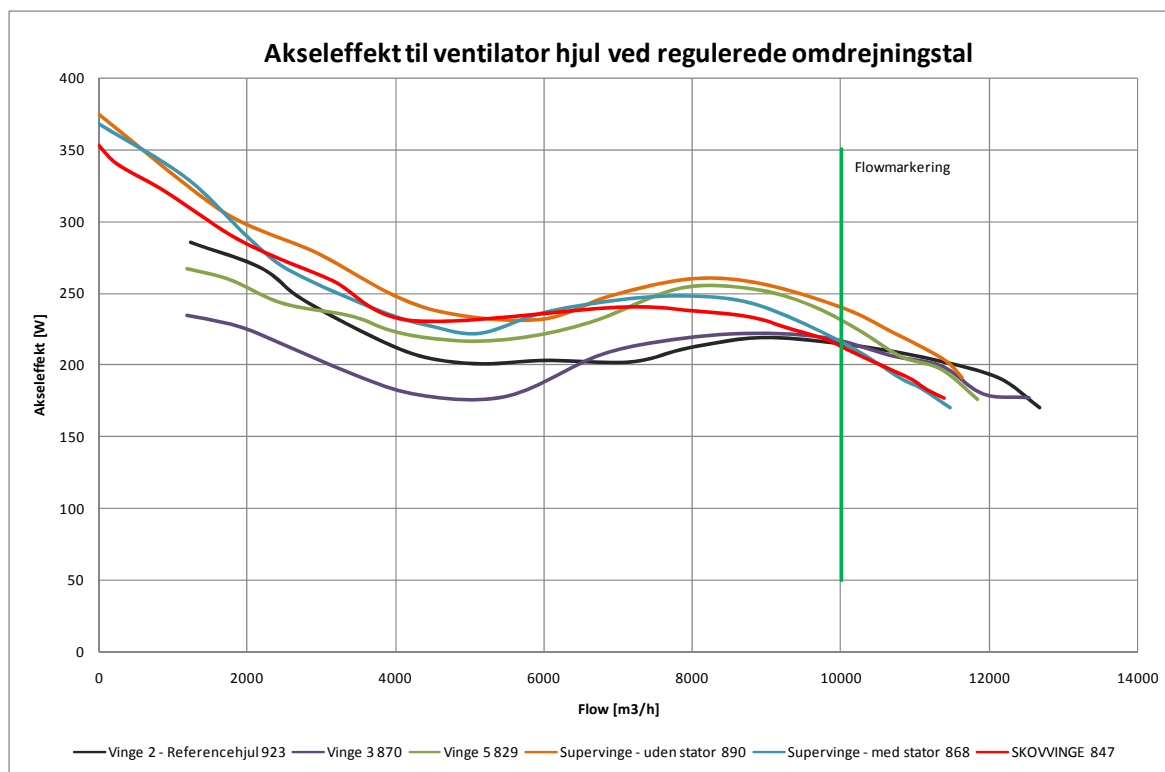


Figur 11. Undertryk ved reguleret omdrejningstal

Som det fremgår af Figur 12 går SKOV Vingen fra at være den mest energiforbrugende uregulerede vinge til reelt at være den ventilatorvinge, der mest effektivt kan opfylde dimensioneringskravene og dermed leverer det laveste specifikke energiforbrug per flyttet m<sup>3</sup> luft. Samtidig er kurven langt mere ”stejl” end vinge 2, hvilket gør vingen langt bedre reguleringsmæssigt og derfor giver store energibesparelser ved reduceret drift, da skorstensspjældene ikke skal styres så stramt som nuværende vinge kræver. Vindfølsomheden minimeres ganske enkelt i større grad uden brug af spjæld og dermed reduceret systemtryktab.

Konklusionen er derfor at SKOV Vingen er den optimale ventilatorvinge i de regulerbare systemer. Vingen kan virkningsgradsmæssigt matche eksisterende vinge ved nominel drift, og giver yderligere store energibesparelser ved reduceret drift, da spjældstyringen kan op-sættes mindre stramt.

SKOV Vingen er specielt udviklet i projektet i et samarbejde mellem projektgruppen og firmaet Multi-Wing. Vingen er designet med udgangspunkt i en større vinge i forventning om netop at der kunne opnås fastholdt energieffektivitet ved driftspunkt men større reguleringsmæssig frihedsgrad og dermed energibesparelser til følge. Dette er netop lykkedes og konsekvensen af dette ventilatorvinge skifte anskueliggøres både teoretisk og praktisk gennem rapporten.



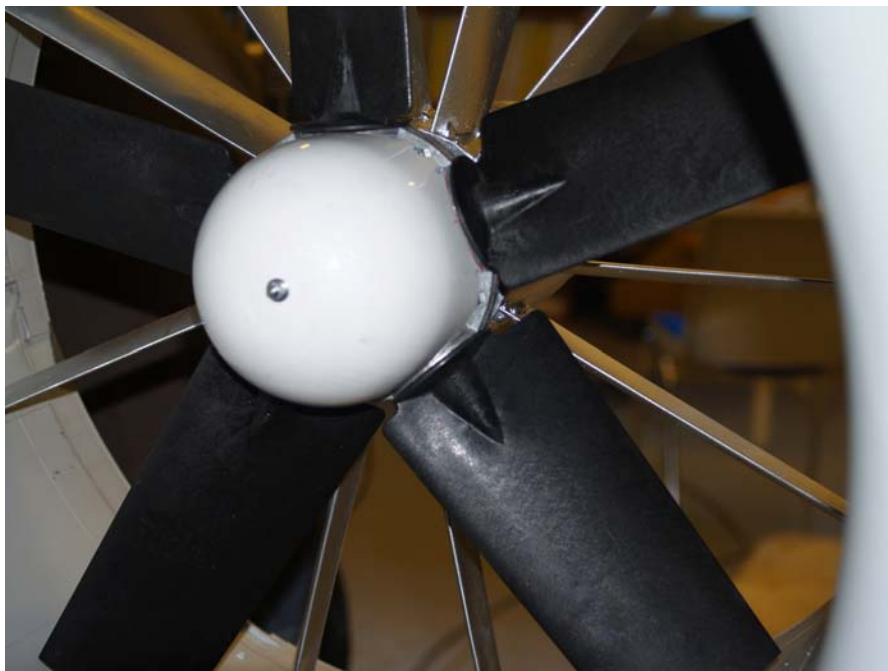
Figur 12. Akseleffekt ved reguleret omdrejningstal

### 3.1.3 Optimering af ydelsen på ventilatorvinge

Udvikling og fremstilling af en prototype vinge, SKOV vingen, er først realiseret forholdsvis sent i indeværende projekt. SKOV vingen var derfor ikke en realitet, da projektgruppen valgte at forsøge at optimere en eksisterende ventilator. Derfor faldt valget på den benævnte "Supervinge". Udvælgelsen skete blandt andet på grund af dens lovende stejle karakteristisk, der giver nogle reguleringsmæssige frihedsgrader. Udgangspunktet er at ventilatorvingen energimæssigt halter efter de andre vinger og på Figur 12, hvor vingerne er omdrejningsreguleret til ønsket omdrejningstal, er det den mindst energieffektive. Formålet med optimeringsprocessen har været dels at kortlægge mulighederne for at gøre vingen energieffektiv ved bevaret reguleringsfrihed, og dels mulighederne for optimering af staldventilatorvinger.

Der er en eksisterende brancheskepsis omkring muligheden for optimering af ventilatorvingen, som skyldes at selve skorstenens udformning er optimeret i forhold til genvinding af dynamisk tryk ved diffusorvirkning. Den roterende luft en standardventilator uden optimering skaber, har eventuelt øget denne dynamiske genvinding, hvorfor en reel ventilatoroptimering ingen effekt eller ligefrem kunne risikere at skabe en negativ effekt. Denne tilbagevendende branchediskussion har projektgruppen ønsket at mane i jorden og samtidig kortlægge mulighederne for opnåede energibesparelser.

Optimeringen af ventilatorvingen er udført efter en nøje opmåling i laboratoriet med særlig fokus på luften afgangsvinkel fra ventilatorvingen. Ud fra denne viden er der opbygget en stator, der skal eliminere denne "rotation" og luften og dermed optimere ventilatoren. Samtidig er fysikken omkring navets indløb og motoren "afkast" bygget ind omkring diffusorer – ses på Figur 13.



Figur 13. Billede af optimeret ventilator "Super vinge med stator"

Resultatet fremgår tydeligt af Figur 11 og 12, hvor det ses at vingen ved stort set uændret akseeffekt leverer en højere trykydelse og dermed væsentlig højere energieffektivitet. Dette giver reelt en mulighed for at regulere hastigheden på ventilatoren ned og dermed er ventilatoren i energimæssig klasse med de mest effektive ventilatorer på markedet. På baggrund af dette kan det konkluderes, at der reelt er en positiv effekt ved optimering med stator og diffusor omkring ventilatoren.

Effektens størrelse er størst ved højere trykydelse, men har ligeledes effekt i indeværende systemer. Det er hermed påvist, at effekten af optimering af ventilatorer i staldventilation reelt har en effekt på trods af et eventuelt samtidigt tab i dynamisk genvindingsgrad. Det skal dog påpeges, at de økonomiske udgifter ved en implementering af dette kan overstige de reelle energibesparelser på investeringsmæssig sigt. På baggrund af dette, vil der ikke blive monteret stator og diffusorer i den første udgave af det endelige SKOV A/S produkt, men det kan på sigt være relevant at inddrage i produktprogrammet hvis processen økonomioptimeres.

## 3.2 Motorspor

Som tidligere beskrevet består SKOV A/S standard staldventilatorsystem af en regulerbar ventilationsenhed, samt et antal uregulerbare – i danske svinestalde oftest én. Dette betyder, at en stor del af ventilatorerne har behov for at kunne reguleres, og dette er traditionelt opnået ved at benytte en motor med mulighed for triax regulering. Både den reguler- og uregulerbare.

Frekvensstyring af nuværende motorer er aldrig blevet et aktuelt emne på grund af de i forvejen lave virkningsgrader på motorerne og udgifterne ved implementering af denne styring.

Driftstimerne for de forskellige ventilator varierer betragteligt og særligt kan der generelt siges, at de(n) uregulerbare har langt færre driftstimer, derfor bliver potentielle påviste energibesparelser på disse områder presset af færre driftstimer og dermed mindre budget til merpriser. Det er en væsentlig parameter i valget af optimal motor til de forskellige enheder, da tilbagebetalingstider på over 3 år på nuværende tidspunkt er svært implementerbare. I projektet benyttes StaldVent til kortlægning af driftstider på de forskellige ventilatorenhedstyper og dermed de reelle installerede besparelser.

Figur 14 viser en oversigt over relevante elmotorer testet i projektet. Udgangspunktet er at ønsket driftspunkt er en akseffekt på 250 W ved 930 omdrejninger i minuttet, resulterende i et moment på omtrent 2,6 Nm.

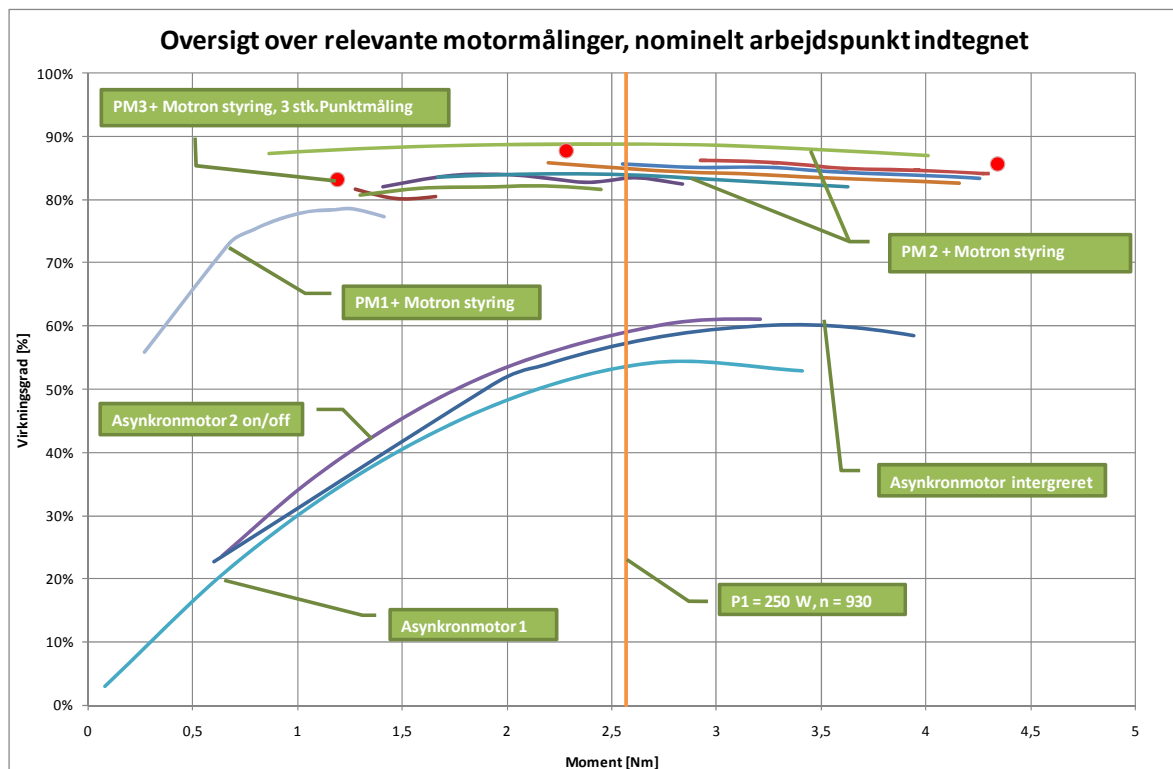
Projektgruppen har efter indledende test på nuværende benyttede motorer fokuseret dels på optimering af nuværende induktionsteknologi, samt undersøgelse af muligheden for et reelt teknologiskifte over mod permanentmagnet motorer. Nedenstående gennemgås kort testresultaterne og de benyttede motorer og teknologier.

<b>Kurvetitel:</b>	Asynkronmotor 1
<b>Antal poler:</b>	4 stk.
<b>Optimal virkningsgrad:</b>	54 %
<b>Virk.grad driftspunkt:</b>	53 %
<b>Prisindikation:</b>	100
<b>Motor konstellation:</b>	Eksisterende induktionsmotor med mulighed for triax regulering benyttet i både reguler- og uregulerbare standardenheder

<b>Kurvetitel:</b>	Asynkronmotor 2 on/off
<b>Antal poler:</b>	4 stk.
<b>Optimal virkningsgrad:</b>	61 %
<b>Virk.grad driftspunkt:</b>	59 %
<b>Prisindikation:</b>	Integreret løsning
<b>Motor konstellation:</b>	Specialudviklet induktionsmotor med henblik på erstatning af den eksisterende uregulerede induktionsmotor

<b>Kurvetitel:</b>	Asynkronmotor integreret
<b>Antal poler:</b>	4 stk.
<b>Optimal virkningsgrad:</b>	60 %
<b>Virk.grad driftspunkt:</b>	57 %
<b>Prisindikation:</b>	110
<b>Motor konstellation:</b>	Standard motorvalg i SKOV A/S produktprogram hvor motor og vinge er integreret.
<b>Kurvetitel:</b>	PM 1 + Motron Styring
<b>Optimal virkningsgrad:</b>	79 %
<b>Virk.grad driftspunkt:</b>	Kan ikke operere i ønsket driftspunkt
<b>Prisindikation:</b>	-
<b>Motor konstellation:</b>	Motoren, der er en permanentmagnet motor, er ikke dimensioneret korrekt ift. ønsket driftspunkt
<b>Kurvetitel:</b>	PM 2 + Motron styring
<b>Optimal virkningsgrad:</b>	89 %
<b>Virk.grad driftspunkt:</b>	84 %
<b>Prisindikation:</b>	250
<b>Motor konstellation:</b>	Omkostningseffektiv kinesisk produceret permanentmagnet motor. Holdbarhed ift. staldforhold skal afklares, men god virkningsgrad.
<b>Kurvetitel:</b>	PM 3 + Motron + 3 stk. punktmåling
<b>Optimal virkningsgrad:</b>	Ingen fuld opmåling foretaget på grund af staldtest behov
<b>Virk.grad driftspunkt:</b>	86 %
<b>Prisindikation:</b>	350
<b>Motor konstellation:</b>	Motoren skulle i staldtest på grund af anden motors nedbrud, hvorfor laboratorietest er begrænset. Dog viser stikprøve målinger lovende virkningsgrader. Problematikken her, er investeringsomkostningerne.





Figur 14. Udpluk af testresultater på en række motorer testet i projektet

De gennemførte målinger viser store potentialer ved overgangen fra traditionel induktionsmotor teknologi til permanent magnet motorer (PM). Dette skyldes blandt andet motorernes beskedne størrelse, der især påvirker de traditionelle motorers virkningsgrad i negativ grad. Ovenstående viser, at der uden tvivl kan laves store energibesparelser ved indføring af PM i staldventilationsenheder – barrieren der skal overvindes er dog økonomiske omkostninger ved denne teknologiovergang. Et regnestykke der utvivlsomt vil falde mere og mere til projektets fordel, som teknologien vinder generel indpas.

PM motoren adskiller sig fra nuværende induktionsteknologi ved at:

- PM motoren kan kun benyttes sammen med en styring – hvorfor de altid er regulerbare
- Den nye teknologi er mere omkostningsfuld mht. investering – både i form af dyrere motor og behov for styringsmodul

For at skabe et succesfuldt produkt i svineindustrien er der behov for tilbagebetalingstider på maksimalt 3 år. På baggrund af dette fokuseres der på forholdet mellem reelle besparelser og den heraf kommende stigning i produktpris. Det er denne beregning der lægger til grund for valget af endelige motorer til systemerne. Det skal dog pointeres, at projektet viser det store potentiale der er ved teknologiovergangen, og det vil utvivlsomt på sigt ændre salget af PM motorer dramatisk og dermed betragtelige faldende priser over en kort årrække.

Den overordnede konklusion på det motorteknologiske område er at der utvivlsomt ligger meget store besparelspotentialer ved overgang til PM teknologi, men ligeledes investeringsmæssige merpriser for kunden. Implementeringsmulighederne skal dermed afgøres ud fra en samlet betragtning på systemniveau – dette vendes der tilbage til senere i rapporten.

En konklusion på det specifikke energiforbrug afhængigt af valg af vinge og motor, kan dog udledes på on/off enheden. Dette skyldes blandt andet, at der ingen spjæld- eller motorstyring er på denne.

### 3.2.1 Energimæssig delkonklusion for on/off enhed

Tablet 2 viser det specifikke energiforbrug og resulterende flow for en række konstellationer, der er relevante for on/off ventilatorenheden. Den øverste tager udgangspunkt i at eksisterende motor benyttet med en række ventilatorer. Her beregnes det specifikke energiforbrug ud fra det resulterende flow, der er kendt fra laboratorieforsøgene og de dimensionerende driftspunkter. Det efterfølgende diagram udskifter den ineffektive induktionsmotor og erstattes af den regulerbare PM3 motor. I dette skema er ventilatorer reguleret ind til ønsket flow på 10.000 m<sup>3</sup>/h.

Tabellen viser specifikt energiforbrugsændring ved udskiftning af nuværende on/off enhed med vinge 2 (referencevinge) og Asynkronmotor 1 til SKOV vinge med PM 3 motor fra tidligere 24.332 m<sup>3</sup>/kWh til 39.623 m<sup>3</sup>/kWh. Det er en reel forhøjelse af den flyttede luft per kWh forbragt på 63 % og dermed en betragtelig besparelse.

Ureguleret og nominelt omdrejningstal med nuværende motorvalg						
Flow	Akseleffekt	Specifikt energiforbrug	Virkningsgrad (manuelt)	Optagen effekt	Specifikt energiforbrug	
		Akselmæssigt	Grundfos std. On/off	Grundfos std. On/off	Med motor	
[m <sup>3</sup> /h]	[W]	[m <sup>3</sup> /kWh]	[%]	[W]	[m <sup>3</sup> /kWh]	
Vinge 2	9830	202	48663	50	404	<b>24332</b>
Vinge 3	10200	229	44541	53	432	23607
Vinge 5	10350	258	40116	54	478	21663
Supervinge uden stator	10080	246	40976	54	456	22127
Supervinge med stator	10325	245	42143	54	454	22757
Skovvinge	10730	277	38736	54	513	20918

Reguleret til ønsket omdrejningstal med kinesisk PM motor						
Flow	Akseleffekt	Specifikt energiforbrug	Virkningsgrad (manuelt)	Optagen effekt	Specifikt energiforbrug	
		Akselmæssigt	Kineser motron PM	Kineser motron PM	Med motor	
[m <sup>3</sup> /h]	[W]	[m <sup>3</sup> /kWh]	[%]	[W]	[m <sup>3</sup> /kWh]	
Vinge 2	10000	214	46729	84	255	39252
Vinge 3	10000	215	46512	84	256	39070
Vinge 5	10000	230	43478	84	274	36522
Supervinge uden stator	10000	240	41667	84	286	35000
Supervinge med stator	10000	215	46512	84	256	39070
Skovvinge	10000	212	47170	84	252	<b>39623</b>

Tablet 2. Beregning af optimalt vingevalg afhængigt af regulerbarhed

De reelle driftstimer på de specifikke on/off enheden afhænger af en række forhold. Hvis der tages udgangspunkt i et Multistep system med i alt 2 skorstene vil on/off enheden kun være aktiv når belastningen overstiger 50 procent. Simuleringen, der fremgår senere på figur 21, illustrerer i dette tilfælde, at driftstimerne for enhederne vil være som følger:

- Den regulerbar enhed = 8760 timers årlig drift
- On/off enheden = 2305 timers årlig drift

Afhængigt af prisforhold og systemets sammensætning, vil omkostningseffektivitet være stærkt varierende. Når det endelige prisforhold er på plads, vil StaldVent kunne benyttes til at kortlægge tilbagebetalingstiderne for on/off enhederne. Indeværende projekt vil fokusere på de regulerbare enheder, på grund af deres høje driftstimer og reelle reguleringsbehov.

### 3.3 Styringsspor

I projektet er der arbejdet med en række styringsstrategier afhængigt af hvilke ventilatorer der benyttes og hvilke målbare parametre der er til stede. På nuværende tidspunkt er det ikke muligt at inddrage en reel måling af den flyttede luftmængde, hvorfor der skal reguleres ud fra et empirisk synspunkt. I projektet arbejdes der primært med 3 styringsmodeller, som alle ligeledes er implementeret i staldtestene:

**Setup A:** DA600-3 indstillet til 30 % vindfølsomhed med standard styring – **reference (Best practice)**

**Styring:** Traditionel Multistep styring – langt de fleste solgte anlæg opsættes på denne måde, hvorfor dette agerer reference.

**Setup B:** DA600-3 med vindkompenseret styring vekslede mellem 30 og 100 % vindfølsomhed

**Styring:** Beskrives i nedenstående afsnit

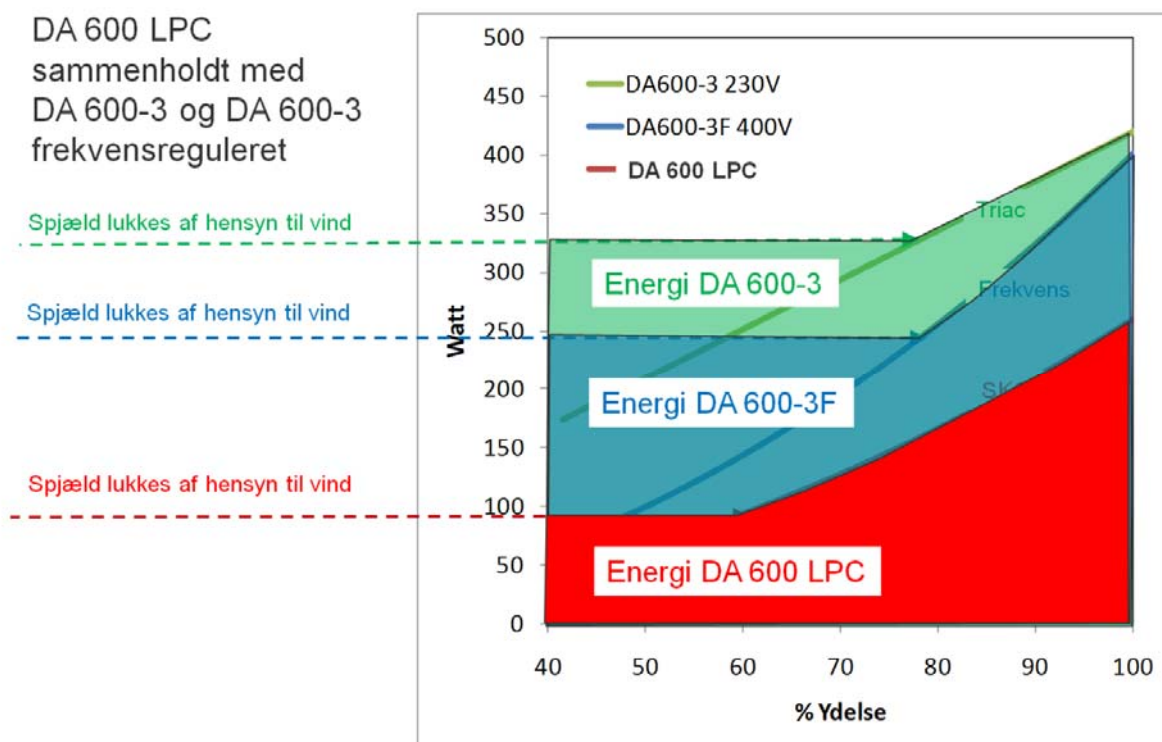
**Setup C:** DA600-LPC indstillet til 30 % vindfølsomhed (Low power consumption)

**Styring:** Parameterrevideret Multistep styring pga. vinge med langt stejlere ventilator karakteristisk der giver langt mindre drøvleregulering. Dermed opnås energibesparelser.

Indeklimastyrimodellerne er udført på baggrund af en stor empirisk database og en række laboratoriemålinger blandt andet udført i indeværende projekt. Databehandlingen og reguleringsparametrene er ikke medtaget i rapporten, da det næppe vil være interessant for læseren.

Grundlæggende fremviser Figur 15 de energimæssige forskelle ved en række styringsmæssige valg omkring motorteknologi og reguleringsprincip.

DA 600-3 er identisk med nuværende Best practice system med triac styring  
 DA 600-3F er Best practice hvor triaxstyringen er ændret til frekvensstyring. Der opnås her en reel energibesparelse, men systemets merpris gør det svært implementerbart.  
 DA 600 LPC er det udviklede system. Som det fremgår hentes der både energibesparelser på forbedret energieffektivitet og mindre spjældregulering.



Figur 15. Effektforbrug afhængigt af ydelse og systemvalg

### 3.3.1 Vindkompenseret styring i Setup B

Den traditionelle opsætning af klimastyringen er stationær i relation til vindfølsomheden. Populært sagt betyder det, at der i dag styringsmæssigt ikke tages højde for de ændringer som vindpåvirkningerne påfører systemet. I stedet opsættes klimastyringen således, at vindfølsomheden i diffuse anlæg er 30 %. SKOV A/S har god erfaring for, at dette ikke giver anledning til u hensigtsmæssigheder, selv når det blæser relativt meget. Det synes oplagt at etablere et styringssystem med en variabel vindfølsomhed, som sikrer at vindfølsomheden kun opretholdes i det omfang det er nødvendigt når det blæser. Det vil med andre ord sige, at systemet ideelt set kontinuerligt skulle måle den aktuelle vindpåvirkning og på baggrund heraf vælge hvor meget drøvlespjældet skulle bruges i forhold til omdrejningsreguleringen.

Antallet af kombinationer af tryk, spjældstilling og ventilatoromdrejninger er imidlertid nærmest uoverskueligt højt, hvorfor anvendelsen af en ideel og flydende trykstabilitet fra fx 0-20 m/s i praksis vil være næsten umuligt at implementere, hvilket fører til den såkaldte simple vindkompenserede styring.

Princippet i denne model er at styringen i stedet for én opsætningskurve med én trykstabilitet, i stedet har mulighed for at håndtere to forskellige opsætningskurver med hver sin vindfølsomhed på baggrund af et eksternt input for den aktuelle vindpåvirkning. Det giver mulighed for at etablere en trykstærk, men ikke særlig energivenlig opsætningskurve, som kan bruges når det blæser over 5 m/s plus en anden mindre trykstærk – og energivenlig – opsætning, når der blæser mindre end 5 m/s. For at undgå pendlinger i praksis er der indlagt et indstilleligt dødbånd på  $\pm 1$  m/s, så hvis skillepunktet er 5 m/s, vil styringen skifte ved henholdsvis 4 og 6 m/s afhængig af om vindhastigheden over tid er stigende eller faldende.

Tabellerne nedenfor viser nogle eksempler på hvordan SKOV's klimastyring DOL234 i praksis sættes op i relation til inddata for den trinløse ventilator. De i tabellerne viste data er baseret på udførlige laboratoriemålinger i en standardopsætning. I styringen indtastes sammenhængen mellem de tre øverste rækker og klimastyringen bestemmer på baggrund af en ønsket temperatur (og evt. fugt), hvilken luftydelse (%) der til et givent tidspunkt er ønskeligt. (Mellem punkterne regulerer DOL 234 styringen i øvrigt lineært, så hvis der i stald 12 ønskes en luftydelse på 37 %, vil ventilatorprocenten være 46 % og spjældprocenten 61 %.)

Resultaterne af implementeringen af de forskellige styringsstrategier fremgår af staldtesten.

Stald 12: Referencestald, max 30 %trykstabilitet,									Stald 12: Referencestald, max 30 %trykstabilitet,								
Vent. l %	0	52%	48%	48%	44%	44%	55%	100%	Vent. l %	0	52%	48%	48%	44%	44%	55%	100%
Ydelse	0	13	21	30	44	64	82	100	Ydelse	0	13	21	30	44	64	82	100
Spjæld	0	33	43	52	70	98	100	100	Spjæld	0	33	43	52	70	98	100	100
effekt	0	317	305	300	283	285	326	418	effekt	0	317	305	300	283	285	326	418
Trykstabilitet									Trykstabilitet								
LPC ven																	
Stald 13 LPC Stald, max 30 %trykstabilitet									Stald 13 LPC Stald, max 30 %trykstabilitet								
Vent. l %	0	62%	58%	65%	63%	56%	78%	96%	Vent. l %	0	62%	58%	65%	63%	56%	78%	96%
Ydelse	0	10	20	30	40	50	75	100	Ydelse	0	10	20	30	40	50	75	100
Spjæld	0	31	47	55	66	100	100	100	Spjæld	0	31	47	55	66	100	100	100
Effekt	0	114	86	109	100	73	148	266	Effekt	0	114	86	109	100	73	148	266
Trykstabilitet		27,14	28,23	29,15	26,43	27,37	14,88	8,76	Trykstabilitet		27,14	28,23	29,15	26,43	27,37	14,88	8,76
stald 14																	
Stald 14 vindkompenseret max 30 %trykstabilitet									Stald 14 vindkompenseret max 100 %trykstabilitet								
Vent. l %	0	52%	48%	48%	44%	44%	55%	100%	Vent. l %	0	26%	16%	16%	29%	44%	55%	100%
Ydelse	0	13	21	30	44	64	82	100	Ydelse	0	12	21	30	44	64	82	100
Spjæld	0	33	43	52	70	98	100	100	Spjæld	0	47	77	89	100	100	100	100
effekt	0	317	305	300	283	285	326	418	effekt	0	187	145	150	226	285	326	418
Trykstabilitet									Trykstabilitet								

## 4 Staldtest

Indeværende projekt har haft stor fokus på test af de udviklede systemer i reelle fieldtest i fungerende stalde. Fokus har været på energiforbrug, reguleringsevne og holdbarhed i de hårde vilkår. I skrivende stund pågår forsøgene stadig, da SKOV A/S har behov for test over en længere periode for at sikre, at produkter virker efter hensigten og kan markedslanceres.

På baggrund af dette, er konklusionerne i dette afsnit udarbejdet ud fra StaldVent, og samtidig eftervist i steptest udført i den nordjyske stald. Steptest og StaldVents energisignaturer er stort set identiske og på baggrund af dette, er resultaterne ligeledes valideret.



Figur 16. Billede af stalden hvor fieldtest af systemerne er udført

### 4.1 Kort om StaldVent

StaldVent er et pc program der kan anvendes til at dimensionere ventilations- og varmeanlæg til husdyrstalde, så der opretholdes et ønsket indeklima og fra en komponentfil udvælges den type og det antal komponenter, som bedst lever op til det ønskede. Desuden kan programmet benyttes til at simulere driftsforhold over tid, fx. timer med for høje eller lave indeklimaer, for høj luftfugtighed eller CO<sub>2</sub>-indhold i staldluften. Det årlige energiforbrug og emission af ammoniak kan også simuleres.

For at gennemføre en anlægs- og driftssimulering skal der indtastes oplysninger om staldbygning, husdyrproduktion samt ydelsesdata, for såvel ventilationsanlæg og varmeanlæg.

Desuden har programmet brug for vejrdata time for time for den periode simuleringerne skal gennemføres i.

Programmets historie går tilbage til midten af 1980erne. Formålet den gang var at gøre oplysninger om husdyrs varmeafgivelse og testdata for ventilationsanlægs ydelse nemt tilgængelige for dimensionering og valg af komponenter. Senere er programmet udvidet til at simulere driftsforhold.

Alle resultaterne der er oparbejdet i projektet, er overført til programmet der derved er blevet betragteligt styrket, både i forbindelse med valg af styringsstrategi og valg af ventilatorenheder.

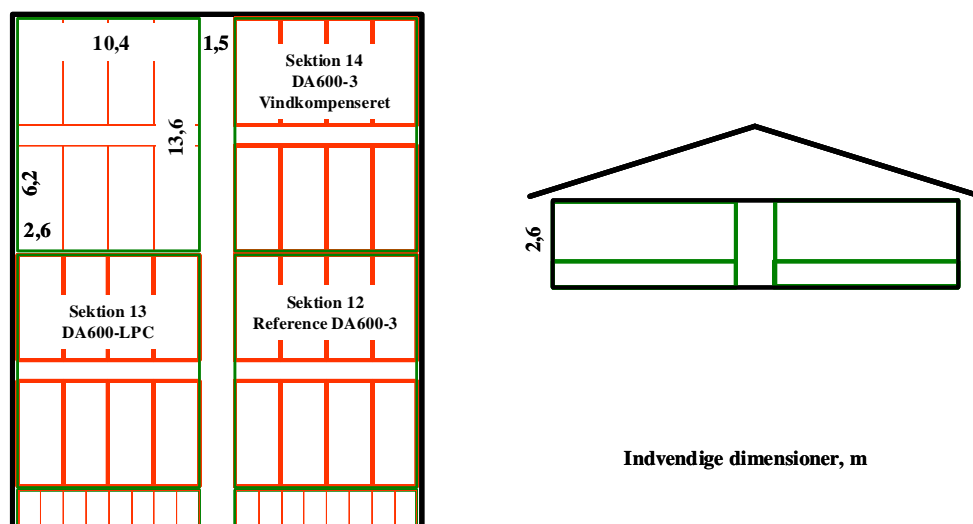
## 4.2 Opstaldning

I nærværende projekt er data for den udvalgte slagtesvinestald anvendt til sammenlignende simuleringer af energiforbruget i 3 geometrisk identiske staldsektioner. Et eksteriørbillede af den del af stalden, hvor de 3 sektioner var placeret er vist på Figur 17.



Figur 17. Del af stalden hvor forsøgene pågår.

Placering og dimensioner for de udvalgte sektioner er vist i figur 18. Hver sektion er 13,6 m bred og 10,4 m dyb. Loftshøjden var 2,6 m. Der var 4 stier, hver 6,2 m dyb og 2,6 m bred med 24 stipladser, på hver side af en 1,2 m bred inspektionsgang. Det samlede gulvareal blev 141 m<sup>2</sup>, hvilket svarer til 0,74 m<sup>2</sup> stiareal til hver af de 192 stipladser pr. sektion.



Figur 18. Sektionsopdeling i de 3 vedrørende stalde.

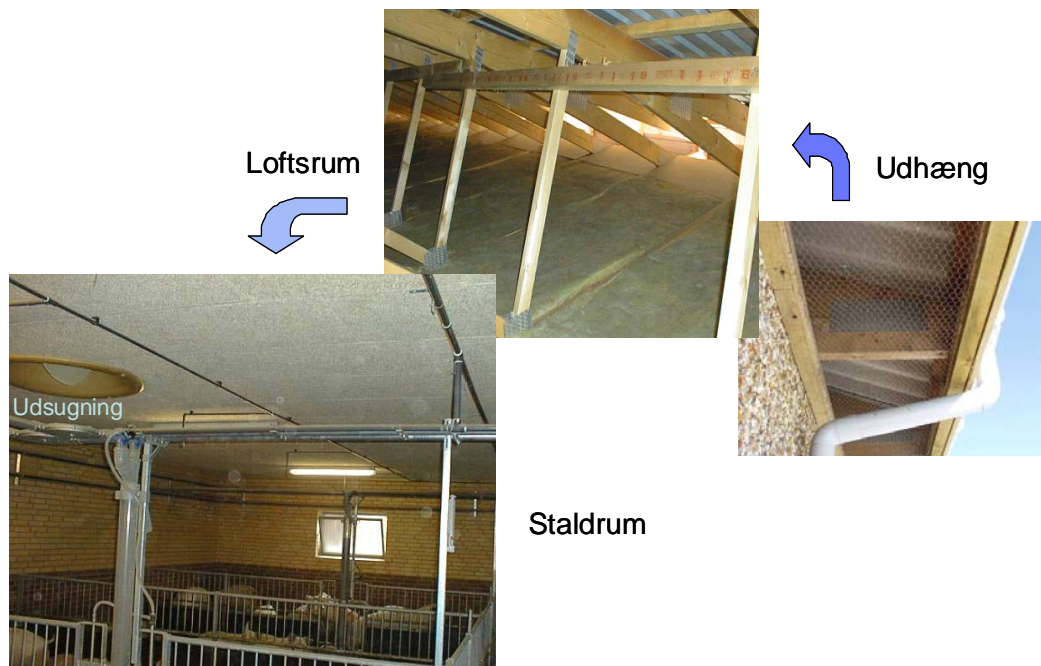
Som det ses på Figur 18 er de 3 sektioner ens i størrelse og indretning. Arealet og konstruktionen af det diffuse loft er også ens. For at undgå kortslutning af luft i samlingen mellem skillevægge og isolering, er der udlagt en 20 cm bred plastdug rundt rummets periferi og en 1,0 m bred dug over inspektionsgangene, hvor udsugningsenhederne er placeret.

Simuleringerne er baseret på alt-ind/alt-ud produktion med samtidig indsætning i alle tre sektioner. Efter tre dage mellem holdene startes et nyt hold grise. Grisene indsættes ved en vægt på 30 kg og leveres ved 105 kg efter 90 dage. Det svarer til en daglig tilvækst på 833 g. Isoleringsgrad er ikke målt, men det forudsættes, at den er isoleret svarende til et transmissionsvarmestab på 120 W pr. 1°C temperaturforskel mellem stald- og udeluft.

#### 4.2.1 Ventilationsanlæg

Der anvendtes diffus undertryksventilation i alle tre sektioner. Det vil sige, at frisk udeluft suges fra naturligt ventileret loftsrum til staldrummet gennem et lag mineraluld på et underloft af træbetonplader. En tilsvarende mængde staldluft trækkes ud gennem udsugningsenheder som vist i Figur 19.





Figur 19. Diffus undertryksventilation.

I hver sektion er installeret to udsugningsenheder, der er styret efter princippet multistep, som tidligere omtalt. On/off enheden er i alle tilfælde en DA600-3 fra SKOV A/S. De andre er følgende tre versioner af en DA600 enhed med motoriseret reguleringsspjæld og trinløs reguleret motor.

Reference:	DA600-3 med 30 % vindfølsomhed og standard styring
Vindkompenseret:	DA600-3 med vindafhængigt skift mellem 30 og 100 % vindfølsomhed
Lavenergi:	DA600-LPC med 30 % vindfølsomhed (Low power consumption)

Den vindkompenserede styring er detaljeret gennemarbejdet i separat appendiks C, da styringen spiller en sekundær rolle i forhold til det fremtidige lancerede produkt.

Vindfølsomhed er historisk defineret af SKOV A/S som værende den procentvise ændring af flow, ved en ekstern trykændring fra 0 til 20 Pa. Dette vil sige, at jo højere tal for vindfølsomhed, jo mindre trykstabil er systemet. Kort fortalt betyder en vindfølsomhed på 30 % derfor at flowet ændres maksimalt 30 % ved en ændring af den eksterne trykpåvirkning fra 0 til 20 Pa.

Udsugningsenhederne regnes i alle tre sektioner at have en maksimal luftkapacitet på 20.000 m<sup>3</sup>/h (10.000 per ventilatorenhed) ved 30 Pa differenstræk mellem staldrummet og det fri, med begge udsugningsenheder i fuld drift. Det svarer til en dimensionerende luftmængde på 104 m<sup>3</sup>/h pr. stiplads.

Referenceanlægget, der blev installeret i sektion 12, repræsenterer Best practice multistep ventilation og er benyttet som reference. Det vindkompenserede anlæg blev installeret i sektion 14 og er i princippet det samme som referenceanlægget, men styres forskelligt afhængig af vindhastigheden. Anlæggets styring vil svinge mellem at køre på kurven for 100 % vindfølsomhed ved vindhastigheder under en defineret værdi, typisk 5 m/s, og på kurven for 30 % vindfølsomhed ved højere vindhastigheder. Endelig omfatter lavenergianlægget i sektion 13 en optimeret DA600, der er forsynet med optimeret motor og en nyudviklede SKOV vinge.

Den udsugede luftmængde reguleres ved at variere omdrejningshastigheden på ventilatormotoren og stillingen på ventilatorspjældet, så temperaturen fastholdes på den indstillede værdi. For at man med StaldVent skal kunne simulere energiforbrug, skal luftmængden defineres som funktion af differenstræk i hele reguleringsområdet. De nødvendige data foreligger i form af computerpunkter for sammenhængende værdier for motor og spjæld, som SKOV A/S har fastlagt på grundlag af erfaringer og laboratoriemålinger. Disse indkodes i klimacomputeren ved opstart af anlæggene.

Inddata og simuleringer ved setpunkt 20 °C er gengivet i Appendiks A.

#### **4.2.2 Indeklima setpunkter**

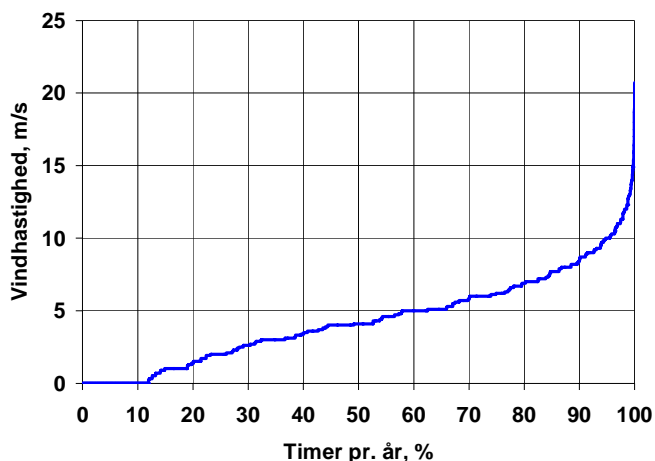
Staldtemperaturen ved indsætning afhænger af stalddtype og sænkes som regel efterhånden som grisene vokser. I simuleringerne er der for enkeltheds skyld regnet med en konstant setpunktstemperatur på 20 °C. Der er regnet med fugtoverstyring, så varme tilsættes med deraf følgende ekstra ventilation, når luftfugtigheden i staldduften kommer over 70 % relativ fugtighed. Der er ikke stillet krav om luftkvalitet i form af en øvre grænse for CO<sub>2</sub> indholdet i staldduften.

Der er gennemført en følsomhedsanalyse af effekten på det årlige elforbrug af forskellige setpunkter i området 18 °C til 22 °C. Det er forudsat, at summen af temperatur og luftfugtighed er 90, det vil sige en energieffektiv indstilling svarende til normal luftkvalitet (Morsing et al, 2005).

#### **4.2.3 Vejr**

StaldVent opstiller varme- og fugtbalancer time for time i løbet af den periode som simuleringen skal dække. Der skal således bruges en udeklimafil, som minimum indeholder lufttemperatur og luftfugtighed.

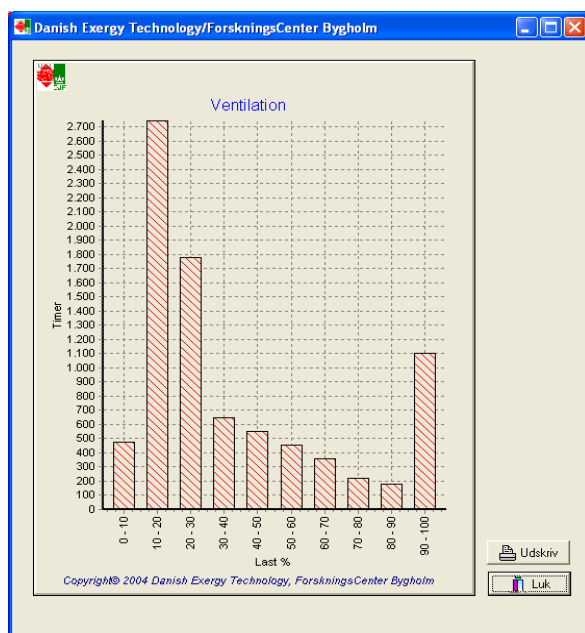
Som del af projektet er udarbejdet et vindmodul, som kan anvendes ved simulering af besparelsespotentialer ved den vindkompenserede styring. Udover udetemperatur og -fugtighed anvendes vindhastighed time for time i simuleringerne i henhold til Design Reference Year (DRY). Som vist i Figur 20, vil vindhastigheden i ca. 60 % af årets timer være under 5 m/s.



Figur 20. Vindhastighed i henhold til DRY.

### 4.3 Simulering af energiforbrug

Ventilationsbehovets variation over året er vist i Figur 21. Da produktionen og bygningen er ens i de tre staldsektioner, er ventilationsbehovet også ens. I over 50 % af årets timer, er behovet i området 10 – 30 %, medens der kun i 12,5 % er behov for 100 % af den dimensionerende ventilationsydelse.

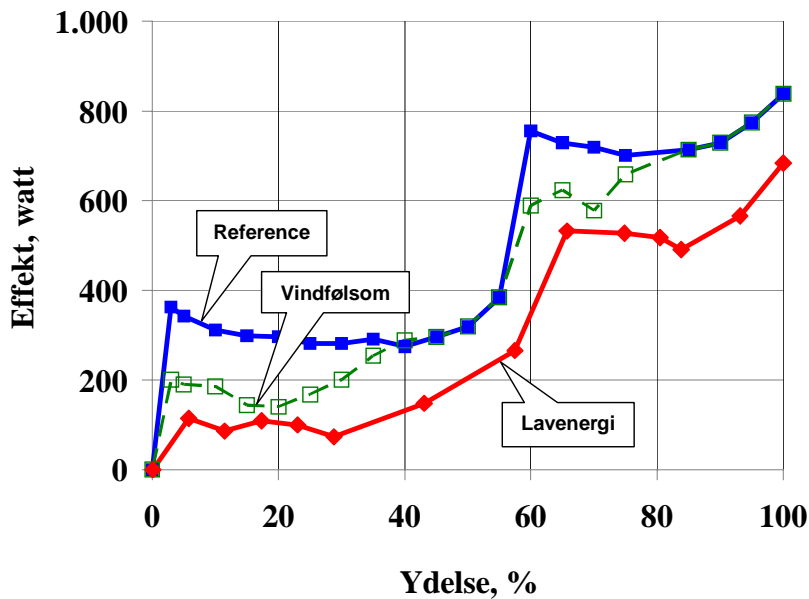


Figur 21. Ventilationsbehovets fordeling i løbet af et år

Simuleringerne er gennemført med energisignaturen for følgende 3 regulerbare enheder.

Reference: DA600-3 med 30 % vindfølsomhed  
Vindfølsom: DA600-3 med 100 % vindfølsomhed  
Lavenergi: DA600 LPC med 30 % vindfølsomhed

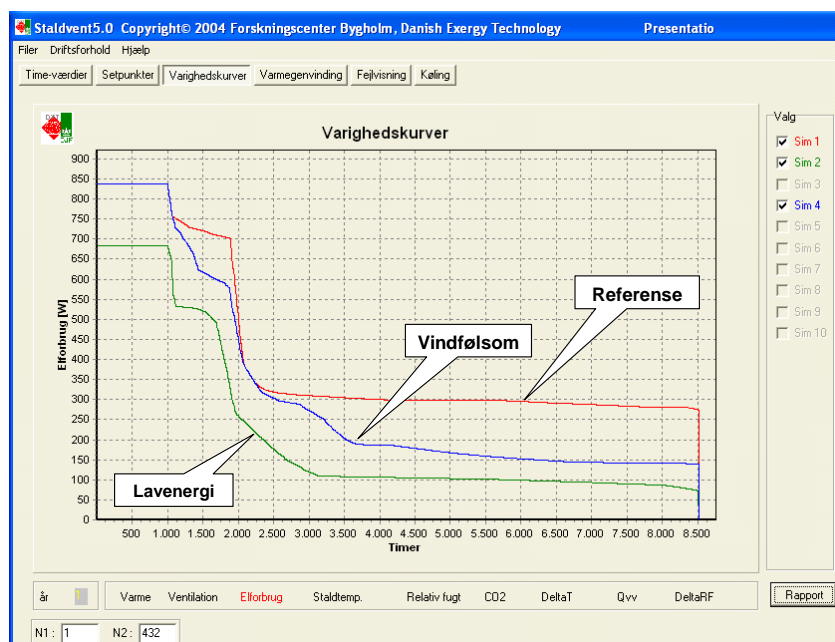
Kombineres den regulerbare enhed med en DA600-3 on/off fås de energisignaturer som er vist i Figur 22.



Figur 22. Energisignaturer for de tre udsugningsanlæg

Kurverne angiver det absolutte effektforbrug i W, som funktion af luftmængden i % af den dimensionerende ydelse. Den regulerbare udsugningsenhed kører uden hjælp fra on/off enheden ved lave ventilationsbehov. Når ventilationsbehøvet overstiger den regulerbare enheds maksimale kapacitet, startes on/off enheden. De sammenhørende værdier for effekt og ydelse findes i figurene A7, A9 og A11.

Af energisignaturerne i Figur 22 fremgår at der er stor forskel på elforbruget på de 3 anlæg i området 10 - 30 % ventilationsydelse. Lavenergianlægget ligger med et elforbrug, der er ca. 1/3 af referenceanlægget. Elforbruget for det vindfølsomme anlæg er ca. 2/3 af elforbruget for referenceanlægget. Forskellen mellem kurverne for referenceanlægget og det vindfølsomme anlæg er stærkt afhængig af ydelse, hvorfor besparelspotentialet vil afhænge af setpunkt for temperatur og dermed ventilationsbehøvet over året.



Figur 23. Elforbrugets fordeling i løbet af et år

I figur 23 er vist elforbrugets fordeling på timer i løbet af et år. De store forskelle i elforbrug ved lavt ventilationsbehov fremgår af de næsten vandrette kurver i over halvdelen af årets timer. Medens lavenergianlægget har det laveste elforbrug i alle årets timer, er forskellen mellem referenceanlægget og det vindfølsomme anlæg varierende, og i perioder er energiforbruget ens.

	Setup A reference	Setup B vindkompenseret	Setup C LPC
kWh/år	3507	3117	1889
kWh/år pr. stiplads	18	16	10
% besparelse	0	11	46

Tabel 3. Simuleret årligt elforbrug for de tre anlæg med hver en regulerbar og en on/off udsugningsenhed ved konstant temperatur setpunkt 20 °C og maks. 70 % relativ fugtighed.

Driftssimulering af de tre anlæg med hver en regulerbar og en on/off udsugningsenhed er vist i figurene A8, A10 og A12 i appendiks A ved konstant temperatur setpunkt 20 °C og maks. 70 % relativ fugtighed. Det resulterende elforbrug er vist i tabel 3.

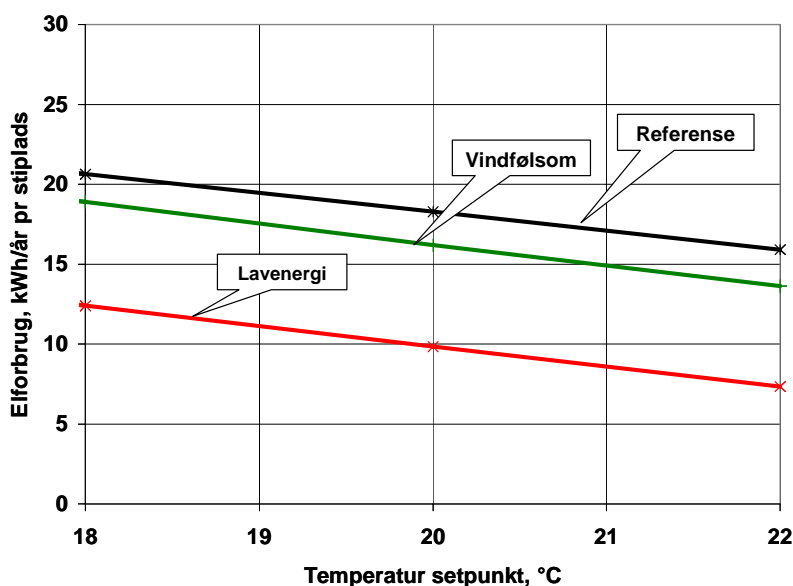
Elforbruget i referencetalden er 18 kWh/år pr. stiplads. I forhold hertil er elforbruget lavenergistalden kun 10 kWh/år stiplads, altså en besparelse på 46 %. On/off ventilatoren startes ved en luftmængde på ca. 60 % af maks., hvilket svarer til omtrent 1800 timer om året. Fratrækkes et energiforbrug til on/off ventilatoren på 780 kWh reduceres energiforbruget for den regulerbare ventilator alene fra 2.727 kWh til 1.109 kWh, det vil sige en besparelse på 60 %.

Hvis DA600-3 anlægget kunne køre med 100 % vindfølsomhed året rundt, ville det årlige elforbrug blive 14 kWh/stiplads. Med vindkompenseret styring ville anlægget skønsomt kun køre med 100 % vindfølsomhed i halvdelen af tiden. Derved bliver det årlige elforbrug 16 kWh pr. stiplads, eller 11 % besparelse.

I Tabel 4 og Figur 24 er vist hvorledes elforbruget pr. stiplads varierer med temperatursetpunktet. Der er regnet med konstant setpunkt fra indsætning til levering, og sum af temperatur i °C og fugtighed i % er sat til 90. Elforbruget for det vindkompenserede anlæg er regnet som middelværdien af årsforbruget for referenceanlægget og det vindfølsomme anlæg.

Anlægstype	kWh/år pr. stiplads			kWh/år pr. stiplads pr. °C
	18/18°C	20/20°C	22/22°C	22/22°C - 18/18°C
Reference	20,6	18,3	15,9	1,18
Vindkompenseret	18,9	16,2	13,6	1,32
Lavenergi	12,4	9,8	7,3	1,26
<b>Middel =</b>				<b>1,25</b>

Tabel 4. Simuleret årligt elforbrug for de tre multistep anlæg ved forskellig setpunktstemperatur.



Figur 24. Elforbrugets variation med temperatur setpunkt

Som det fremgår, er der store energimæssige besparelser ved i stedet for referenceanlægget at investere i et vindkompenseret anlæg eller et lavenergianlæg. Det ses af Figur 24, at det årlige energiforbrug varierer tilnærmeth lineært med setpunktstemperaturen i temperaturområdet 18 °C til 22 °C. En lavere setpunktstemperatur medfører højere elforbrug og virkningen er nogenlunde ens for de tre anlæg, nemlig ca. 1,25 kWh/år pr. stiplads pr. °C ændring i setpunktstemperatur.

## 4.4 Steptest af ventilationsanlæg

Den 2. februar 2010 blev der foretaget målinger af sammenhængen mellem ventilationsydelse og energiforbrug for de tre setup:

Setup A: DA600-3 30 % trykstabilitet med standard styring som reference

Setup B: DA600-3 30/100 % trykstabilitet med vindkompenseret styring

Setup C: DA600-LPC 30 % trykstabilitet (Low power consumption)

Formålet med målingerne var at fastlægge sammenhængen mellem ventilationsydelse og energiforbrug for de tre anlæg. Den maksimale ydelse for hvert af de tre ventilationsanlæg er tidligere estimeret til 20.000 m<sup>3</sup>/h ved 30 Pa undertryk i stalden. Det er tidligere vist, at der er en lineær sammenhæng mellem luftgennemgangen og trykdifferens over et diffust loft. Et estimat for ventilationsydelsen ved forskellige indstillinger, kan derfor findes ved at måle undertrykket over det diffuse loft.

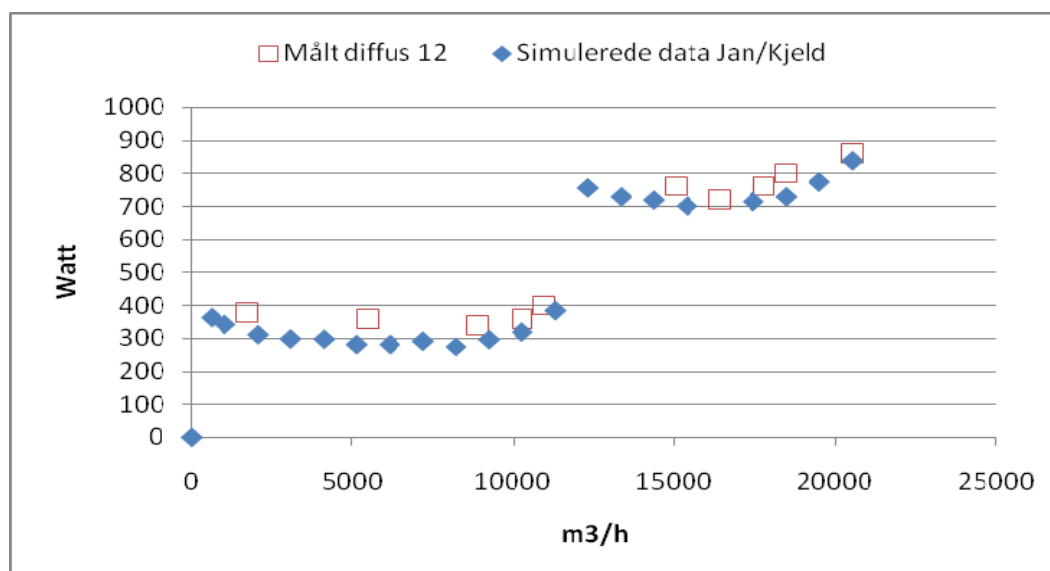
Målinger blev foretaget ved at indstille computerstyringen fra 10-100 % ydelse i spring af 10 %. Ved hver indstilling blev differenstrykket over det diffuse loft samt energiforbruget til ventilationen registreret.

Udetemperaturen var i måleperioden mellem -2 og -4 °C. Vindhastigheden lå mellem 5 og 8 m/s fra sydøst.

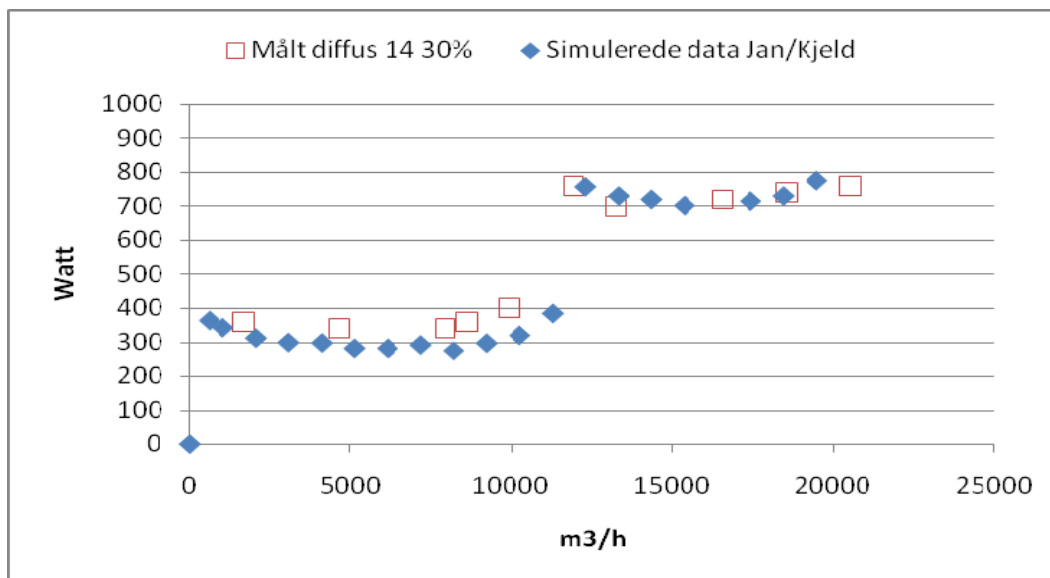
### 4.4.1 Resultater

Nedenstående sammenhørende resultater af praktisk steptest og teoretiske StaldVent beregninger er utrolig sammenfaldende og det Dette både validerer vores konklusioner i afsnittet og samtidig modellerne bygget ind i StaldVent.

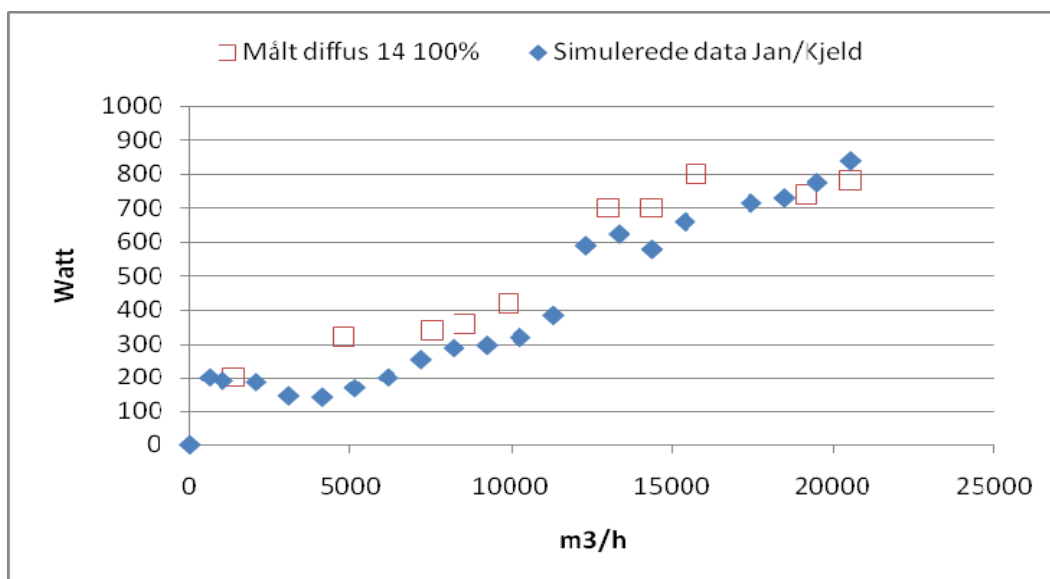
Resultaterne af målingerne er vist i Figur 25 til Figur 28.



Figur 25. Setup A: DA600-3 30 % trykstabilitet med standard styring som reference

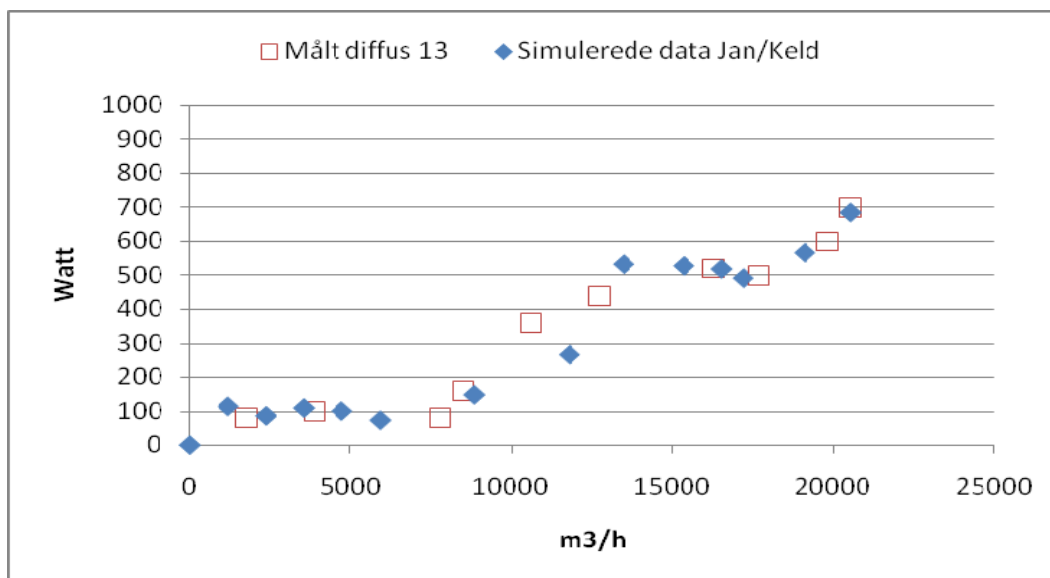


Figur 26. Setup B30: DA600-3 30 % trykstabilitet med vindkompenseret styring.



Figur 27. Setup B100: DA600-100 % trykstabilitet med vindkompenseret styring.





Figur 28 Setup C: DA600-LPC 30 % trykstabilitet (Low power consumption).

## 4.5 Konklusion fra staldtesten

Det årlige elforbrug til ventilation er simuleret ved hjælp af StaldVent for tre slagtesvinesektioner og beregningsmodellerne valideret af staldtest. I hver sektion er installeret to udsugningsenheder, der styres efter princippet multistep. On/off enheden er i alle tilfælde en DA600-3 fra SKOV A/S. Den hastighedsregulerede enhed er følgende tre versioner af en DA600 enhed med reguleringspjæld og trinløs reguleret motor

Reference:	DA600-3 med 30 % vindfølsomhed og standard styring
Vindkompenseret:	DA600-3 med vindafhængigt skift mellem 30 og 100 % vindfølsomhed
Lavenergi:	DA600-LPC med 30 % vindfølsomhed (Low power consumption)

Elforbruget i referencestalden er 18 kWh/år pr. stiplads. I forhold hertil er elforbruget lavenergistalden kun 10 kWh/år stiplads – der er reelt genereret en besparelse på 46 % i forhold til Best practice.

Hvis DA600-3 anlægget kunne køre med 100 % vindfølsomhed året rundt, vil det årlige elforbrug blive 14 kWh/stiplads. Med vindkompenseret styring, vil anlægget dog skønsomt kun køre med 100 % vindfølsomhed i halvdelen af tiden. Derved bliver det årlige elforbrug 16 kWh pr. stiplads – 11 % besparelse.

En lavere setpunktstemperatur medfører højere elforbrug. Virkningen er nogenlunde ens for de tre anlæg, nemlig ca. 1,25 kWh/år pr. stiplads pr. °C ændring i setpunktstemperatur.

## 5 Endeligt prototype system

Som tidligere beskrevet tages der udgangspunkt i et system med i alt 2 udsugningsenheder efter Multistep princippet – der er altså én udsugningsenhed med regulerbar ydelse og en udsugningsenhed efter on/off princippet.

Den endelige prototype er på nuværende tidspunkt til endelig teknisk afprøvning hos Århus Universitet, Engineering Centre Bygholm, for endelig produktdokumentation.

### 5.1 Regulerbar enhed i prototype systemet

Den regulerbare udsugningsenhed består af følgende komponenter:

- Skorsten – uændret i forhold til Best practice enhed
- Ventilatorvinge – specialudviklet ”SKOV vinge” – udviklet i samarbejde med Multi-wing i projektet
- Motor – specialudviklet Leroy Somer permanentmagnet motor
- Motor styring – specialudviklet Motron styring til Leroy Somer PM motor
- Spjæld – uændrede egenskaber (ikke funktion) i forhold til Best practice
- Styring af samlet enhed – parameterændret Multistep styring med forbedret energieffektivitet

Ventilatorvingen er specialudviklet og er marginalt mere energieffektiv end tidligere benyttet ventilator ved maksimal ydelse. Forskellen og grundlaget for udviklingen består i at ventilatorkarakteristikken er langt mere stejl og dermed, som tidligere beskrevet, realiserer store besparelser rent styringsmæssigt. Dette skyldes det mindre behov for drøvleregulering for at sikre vindfølsomheden, hvilket betyder at det er valgt at fastholde eksisterende styringsstrategi, men med reviderede styringsparametre der sikrer den mindre drøvleregulering.

Konsekvensen for introduktionen af SKOV vingen i slutproduktet betyder, at de lovende resultater på den vindkompenserede styring ikke er indeholdt i første udgave af det fremtidigt lancerede produkt. Dette skyldes at den vindkompenserede styring i staldtesten blev benyttet på den ”gamle” ventilator, som har en langt mere flad ventilatorkarakteristik og dermed er langt mere relevant at vindkompensere. Den nye vinge opnår ikke i samme grad store energibesparelser på grund af den optimerede styring og på baggrund af dette, vil det ikke være rentabelt at medtage denne reducerede energibesparelse.

Den til projektet udviklede permanentmagnet motor hæver eksisterende virkningsgrader fra omtrent maksimalt 55 til 90 %, hvilket ligeledes bidrager til store energibesparelser.

De store energibesparelser på denne del af enheden stammer primært fra motoren og den forbedrede styringsstrategi, muliggjort af den udviklede vinge.

## 5.2 On/off enhed i prototype system

Ændringen, der i første omgang vil være på den uregulerede enhed, er udskiftning af eksisterende Grundfos motor med forbedret Grundfos motor specialudviklet i projektet mod optimal virkningsgrad ved driftspunkt og fjernelse af triax modulet. Dette hæver virkningsgraden fra omtrent 55 til 61 %.

Driftstiderne på on/off enhederne er langt mindre end for de regulerbare enheder. Dette betyder, at der på trods af store procentmæssige energibesparelser ved skifte fra traditionel motorteknologi til permanentmagnetmotoren, er for beskedne reelle kWh sparet til at det endnu kan betale sig at indføre permanentmagnet motoren. I og med at projektet stadig benytter permanentmagnet motorer til den regulerbare enhed, skubber projektgruppen til markedet for at sikre bred implementering af PM motorteknologi og mere konkurrencedygtige priser. Det forventes at den uregulerede motor kan udskiftes indenfor en kortere årrække, når prisforskellen mellem PM og traditionel motorteknologi er blevet mere beskeden.

Implementering af ”SKOV vingen” uden reduktion af omdrejningstallet, vil hæve ydelsen og virkningsgraden, men også hæve det specifikke energiforbrug på grund af forøget tryk-ydelse – dette betyder, at så længe on/off enheden ikke har mulighed for at få specialindstillet omdrejningstallet, forbliver vingevalget uændret for on/off enheden.

## 5.3 Energibesparelser

Simuleringer i StaldVent og reelle målinger foretaget i staldtest bekræfter, at det ovennævnte præsenterede prototype system bestående af i alt 2 udsugningsenheder realiserer betragtelige omkostningseffektive energibesparelser.

**I sammenligning med nuværende Best practice system reduceres energiforbruget på årsbasis med 1618 kWh, svarende til en energibesparelse på 46 procent.** En opskalering på landsplan er svær at foretage, men når der benyttes omtrent 350 GWh årligt til ventilation i svinestalde, er en reduktion i forhold til et Best practice system med 46 % ganske betragteligt.

## 5.4 Lancering af produktserie

Det udviklede produkt i projektet er allerede videregivet til SKOV A/S produktafdeling, der lancerer produktet på markedet pr. 1. juli 2010, samtidig med at prototypen er fremvist på Agromek i november 2009 – se forsiden. Det salgsfrigivede produkt lanceres internationalt til november på EuroTier.

Projektgruppen har haft stor fokus på at det nye produkt er omkostningseffektivt for at sikre implementeringen. I skrivende stund er produktafdelingen ved at afslutte de økonomiske aftaler med underleverandører, så en endelig tilbagebetalingstid er endnu uvis. Det forventes dog at den netop nævnte enhed vil få en merpris i forhold til Best practice svarende til energibesparelsen de første 2 til 3 år. På baggrund af dette, er produktet i høj grad implementerbart.

## **5.5 Kommunikationsplan**

For at sikre optimal markedsgennemtrængning er der i projektet udviklet en kommunikationsplan som SKOV vil benytte i den kommende fase. Denne kommunikationsplan er ikke medtaget i rapporten. Hvis FoU administrationen ønsker adgang og indblik i denne plan, fremsendes og diskuteres denne gerne.

## 6 Konklusion

Projektets PSO 340-030 *Energieffektiv styringsvenlig staldventilator-unit* har haft til formål at udvikle en state of the art omkostningseffektiv energibesparende udsugningsenhed til ventilation af svinestalde.

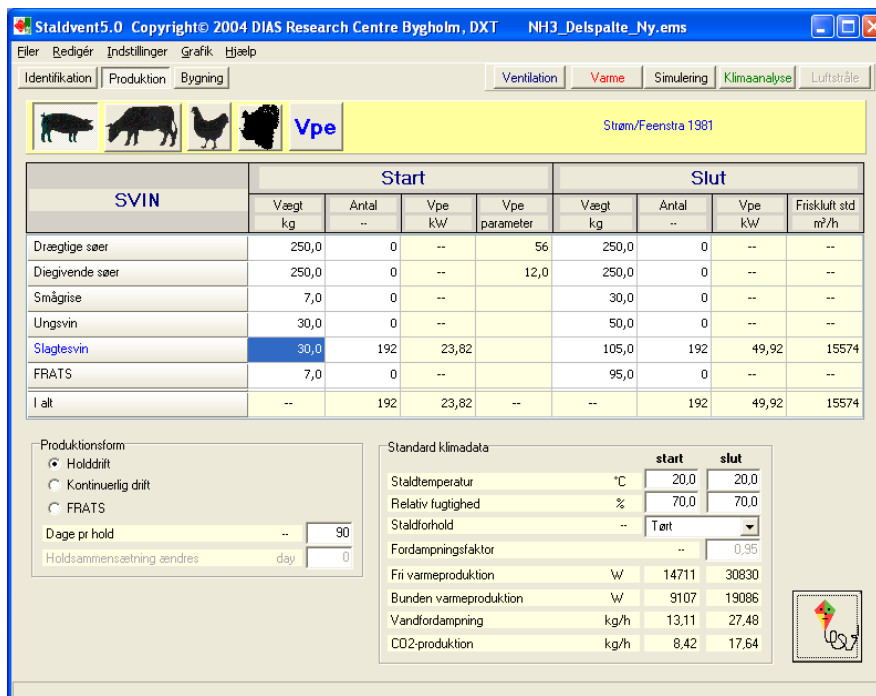
Afrapporteringen påviser, at et Best practice system er blevet forbedret energimæssigt med 46 % og en simpel tilbagebetalingstid på merinvesteringen på mellem 2 og 3 år – hvilket opfylder gruppens succeskriterium. Energibesparelsen alene på den regulerbare enhed er på 60 %.

Det udviklede produkt i projektet er allerede videregivet til SKOV A/S produktafdeling, der lancerer produktet på markedet pr. 1. juli 2010, samtidig med at prototypen er fremvist på Agromek i november 2009 – se forsiden. Ved denne lejlighed opnåede produktet status som 3-stjernet Europanyhed og var dermed med i opløbet til Årets Agromek Pris.

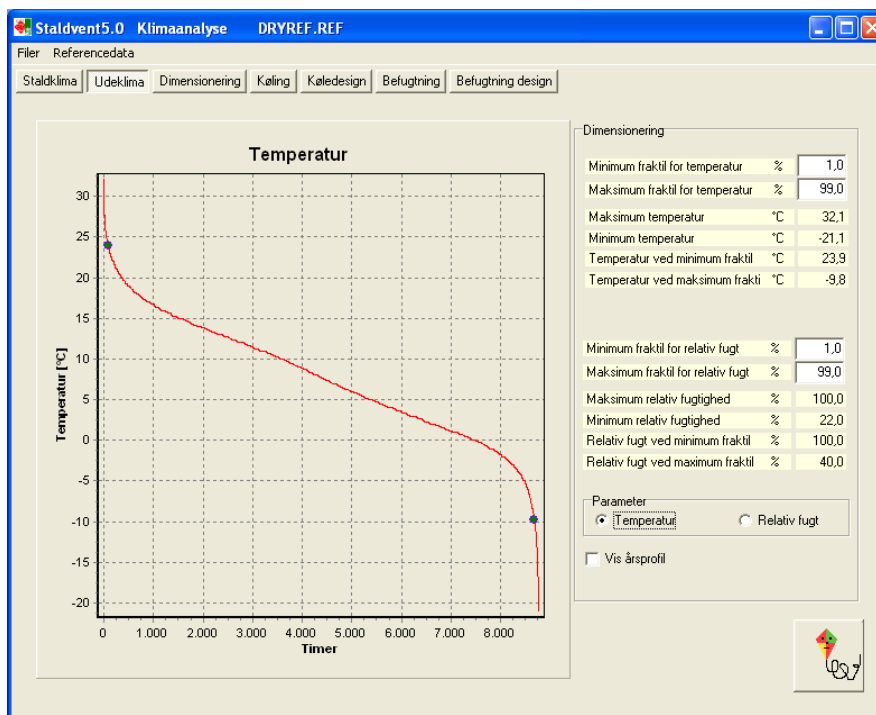
Ud over at have udviklet et energi- og funktionsmæssigt klart forbedret produkt, som skal bidrage med at sikre Danmarks energispareindsats, har projektgruppen samtidig understøttet regeringens ønske om jobskabelse indenfor klimateknologiområdet, idet den specialudviklede vinge skal produceres af Multi-Wing og den specialfremstillede motorstyring af Motron – begge danske innovationsvirksomheder.

Projektgruppen ser nu frem til lanceringsdatoen 1. juli, hvor det endelige succeskriterium skal gå i opfyldelse.

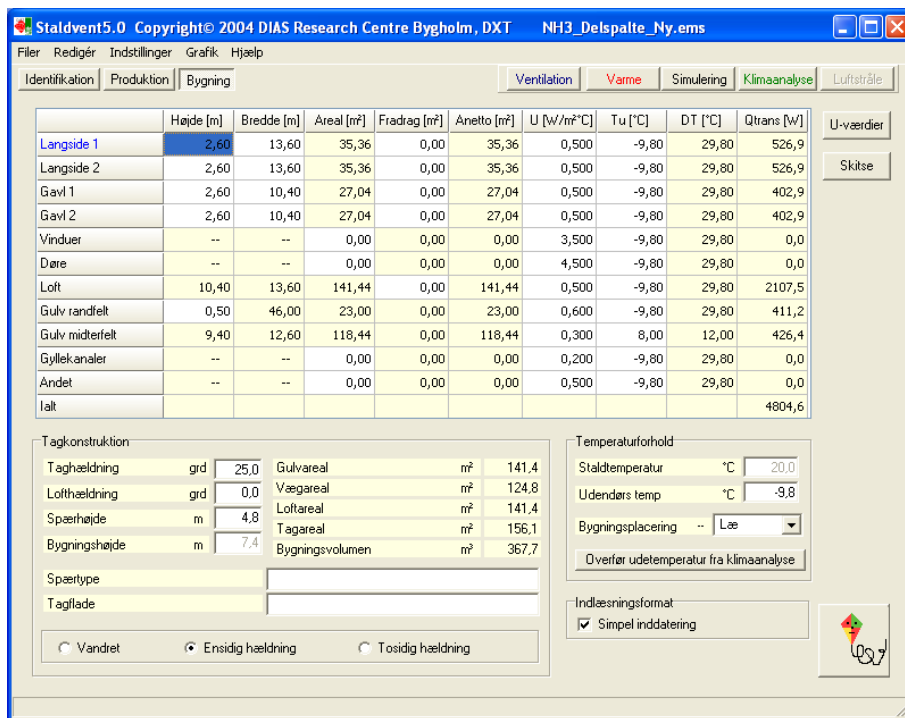
# APPENDIKS A: StaldVent simuleringer af NKN stald



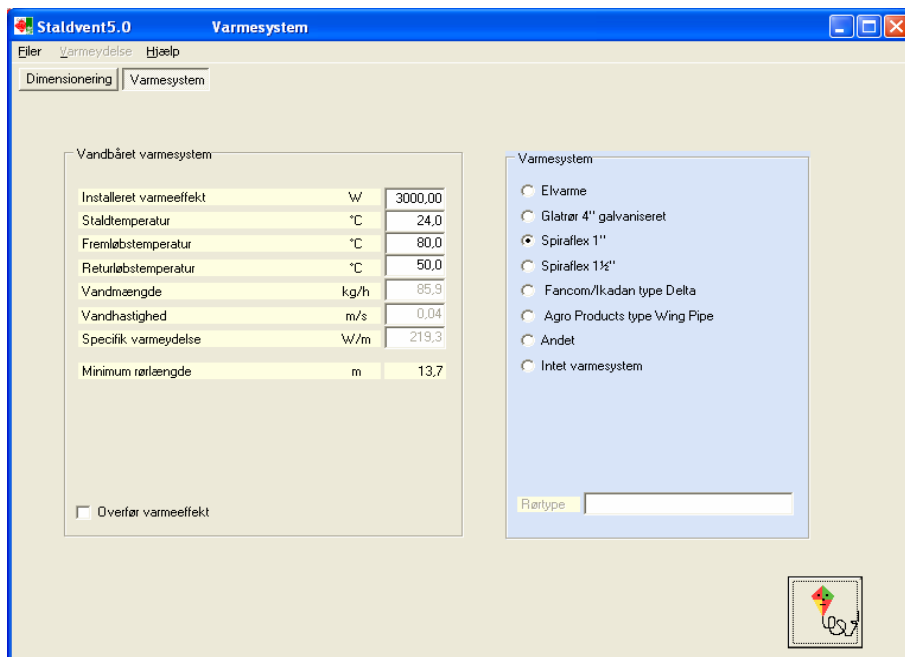
Figur A1. Inddata for produktion.



Figur A2. Udetemperatur i henhold til referenceåret DRY.



Figur A3. Inddata for staldbygning.



Figur A4. Dimensionering af varmeanlæg med 1" ribberør for 3kW kapacitet.



Staldvent5.0 SimuleringsModul DRYREF.REF

Filer Referencedata Redigér Grafik Hjælp UMN

Driftsforhold Ventilationsanlæg **Varmeanlæg** Statistik Luftrensning Køling

Varmesystem

Maksimum varmeydelse kW 3,0

Varmetilførsel op til x% af max ventilation % 100,0

Forvarmningstemperatur af friskluft °C 0,0

Virkningsgrad for varmegenvinding (tør) % 0,0

Minimum afkasttemperatur °C 0,0

Luft bypass - % af aktuel ydelse % 0,0

Max luftmængde gennem varmeveksler m<sup>3</sup>/h 0,0

Forvarmer udkobles ved en udelufttemp på °C 0,0

Luftforvarming

Varmevekslerdesign

Varmeveksler effektivitet  Konstant lufttemperatur

Kedel/brændselsdata

Brændselstype -- Olie

Nedre brændværdi MJ/kg 42,00

Brændselspris \$/tons 1400,00

Kedelvirkningsgrad % 80,00

Direkte fyring

Luftfordeling

Luft bypass indløb - konstant mængde m<sup>3</sup>/h 0,0

Luft bypass - udløb konstant mængde m<sup>3</sup>/h 0,0

Geotermisk varmeveksler

Max vandmængde gennem varmeveksler kg/h 0,0

Vandtemperatur (konstant) °C 0,0

Luftmængde gennem varmeveksler - design m<sup>3</sup>/h 0,0

Varmevekslerareal (A) m<sup>2</sup> 0,0

Varmegenngangstal (U) W/m<sup>2</sup>K 0,0

Samlet varmebidrag fra varmeveksler kWh 0

Samlet kuldebidrag fra varmeveksler kWh 0

Varmeveksler indkoblet

Simulering DA600-3 30% 1 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Figur A5. Inddata vedr. simulering af varmeanlæg.

Staldvent5.0 SimuleringsModul DRYREF.REF

Filer Referencedata Redigér Grafik Hjælp UMN

Driftsforhold Ventilationsanlæg **Varmeanlæg** Statistik Luftrensning Køling

Ventilationsanlæg

Ventilationstype : Ikke defineret

Max ydelse ventilationsanlæg m<sup>3</sup>/h 20000,0

Min ydelse ventilationsanlæg start % 5,0

Min ydelse ventilationsanlæg slut % 10,0

Specifik ventilationsydelse m<sup>3</sup>/Wh 23,9

Elforbrug ved max ydelse W 838,0

Minimum elforbrug ventilation % 0,0

Klimastyring

Fugtstyring  Temperaturstyring

CO<sub>2</sub>-kontrol  Komfortventilation

Prioritering

Temperaturstyring  Fugtstyring

Udendørs temperaturføler

Temperatur for indkobling af regulering °C 0,0

Temperatur for udkobling af regulering °C 0,0

Andel af max vent. ydelse ved indkobling % 0,0

Udendørs temperaturføler aktiv

Reguleringsprincip

Spjældregulering

Spændingsregulering uden spjæld

Ét-trins spændingsregulering med spjæld

Fler-trins spændingsregulering med spjæld

Spændingsregulering med følgestyring

Frekvensregulering med spjæld

Ideel hastighedsregulering

Indlæst reguleringskurve

Ventilationsbegrænsning

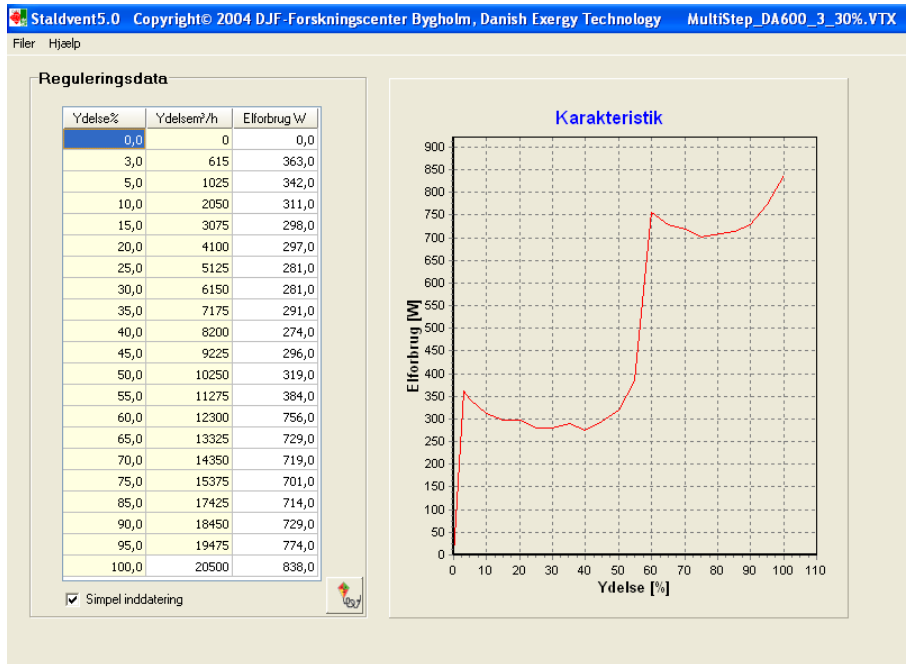
Max ventilation pr Vpe m<sup>3</sup>/h/kW 0,0

Ventilationsbegrænsning aktiv

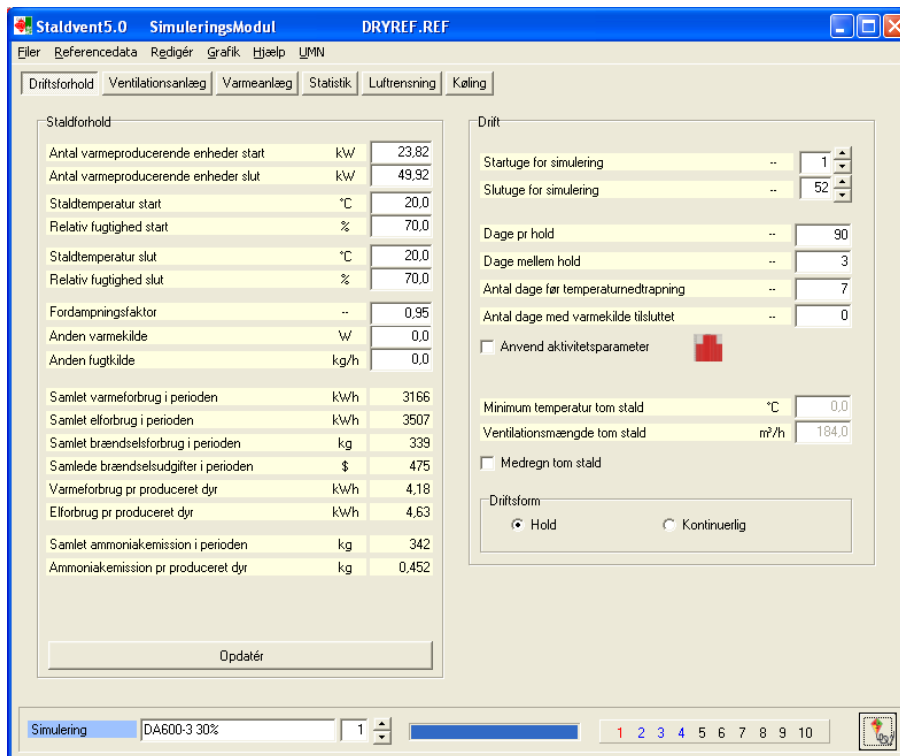
Vind

Simulering DA600-3 30% 1 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

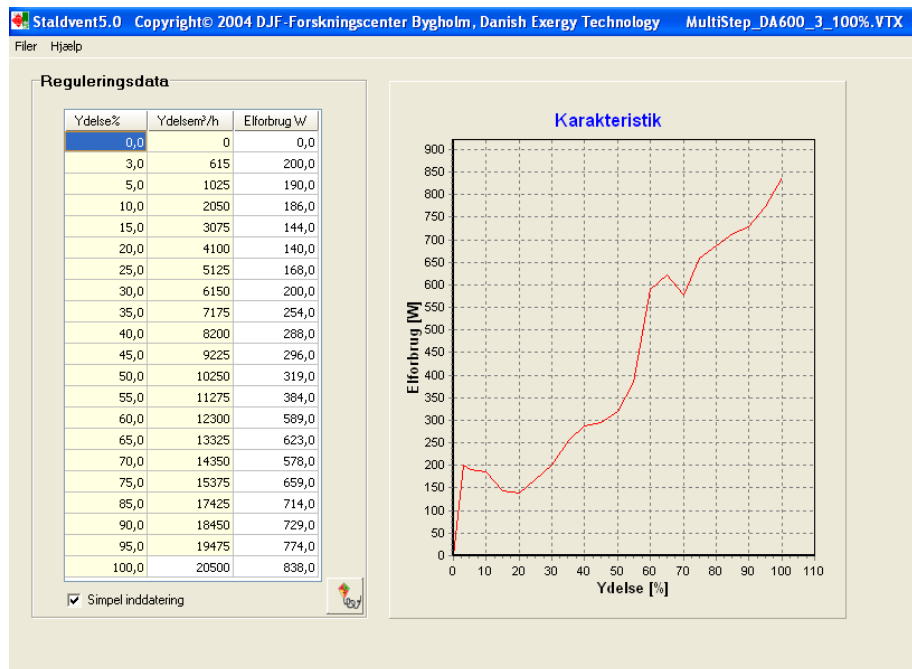
Figur A6. Inddata vedr. simulering af ventilationsanlæg.



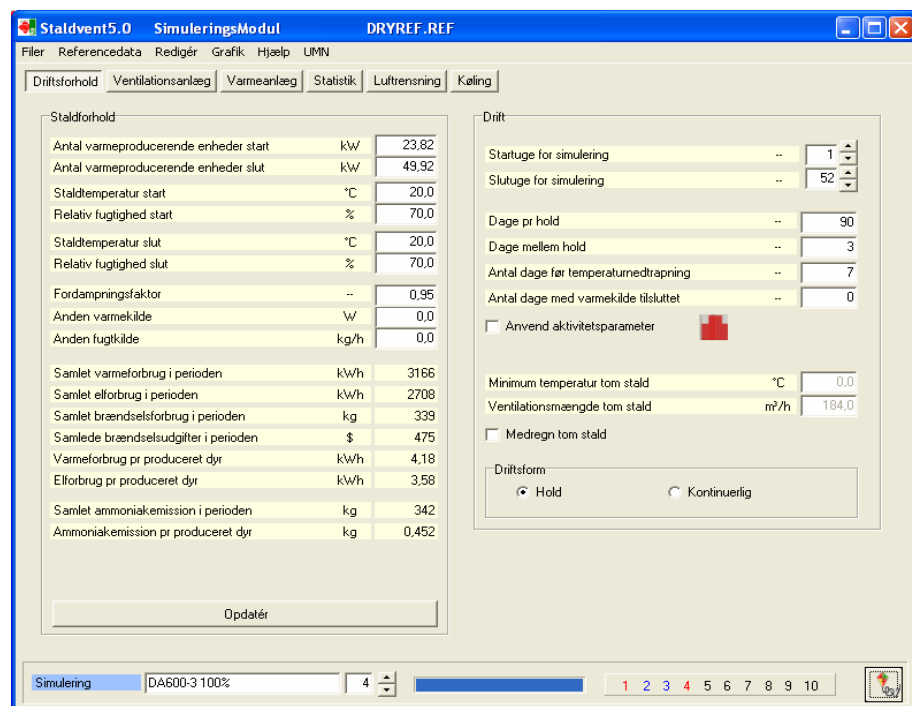
Figur A7. Energisignatur for referenceanlæg



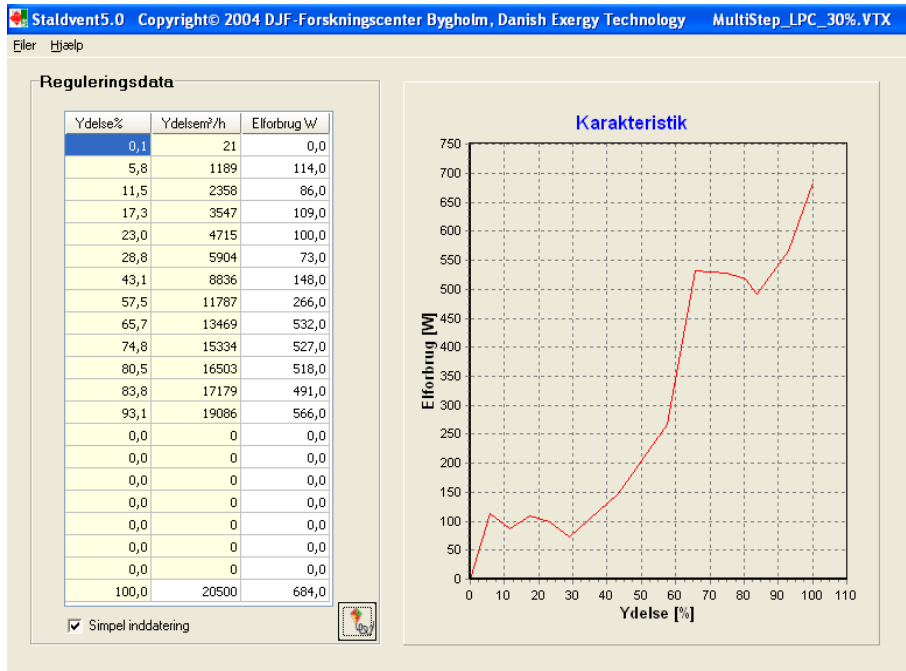
Figur A8. Simulering af driftsforhold for referenceanlæg



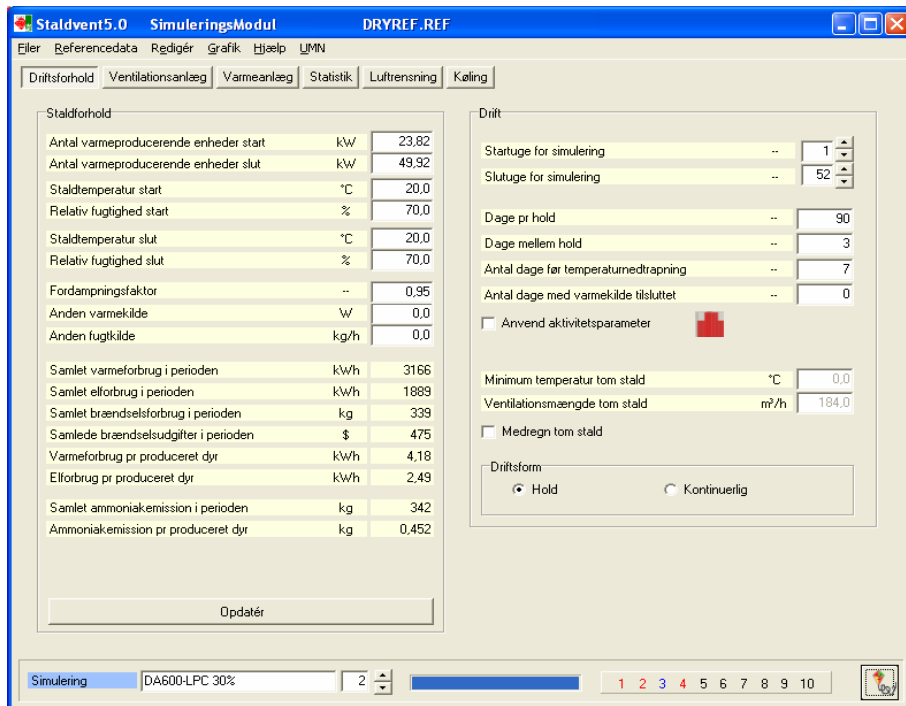
Figur A9. Energisignatur for vindfølsomt anlæg.



Figur A10. Simulering af driftsforhold for vindfølsomt anlæg.



Figur A11. Energisignatur for lavenergianlæg



Figur A12. Simulering af driftsforhold for lavenergianlæg

## APPENDIKS B: Resultater fra STEPTEST

Ydelse %	Trykstald Pa	Energi var Watt	Energi/on off Watt	Energi total Watt	Ydelse m <sup>3</sup> /h
0,00					
10	2,5	380	0	380	1.708
20	8	360	0	360	5.467
30	13	340	0	340	8.883
40	15	360	0	360	10.250
50	16	0	400	400	10.933
60	22	360	400	760	15.033
70	24	320	400	720	16.400
80	26	360	400	760	17.767
90	27	400	400	800	18.450
100	30	420	440	860	20.500

Tabel B1. Setup A: DA600-3 30 % trykstabilitet med standard styring som reference

Ydelse %	trykstald Pa	Energi var Watt	Energi/on off Watt	Energi total Watt	Ydelse m <sup>3</sup> /h
0,00					
10	2,5	360	0	360	1.653
20	7	340	0	340	4.629
30	12	340	0	340	7.935
40	13	360	0	360	8.597
50	15	0	400	400	9.919
60	18	360	400	760	11.903
70	20	300	400	700	13.226
80	25	320	400	720	16.532
90	28	340	400	740	18.516
100	31	360	400	760	20.500

Tabel B2. Setup B30: DA600-3 30 % trykstabilitet med vindkompenseret styring

Ydelse	Trykstald	Trinløs	on/off	Energi total	Ydelse
--------	-----------	---------	--------	--------------	--------

%	Pa	4 min	4 min	Watt	m <sup>3</sup> /h
0,00					
10	2	200	0	200	1.367
20	7	320	0	320	4.783
30	11	340	0	340	7.517
40	12,5	360	0	360	8.542
50	14,5	420	0	420	9.908
60	19	340	360	700	12.983
70	21	300	400	700	14.350
80	23	400	400	800	15.717
90	28	340	400	740	19.133
100	30	380	400	780	20.500

Tabel B3. Setup B100: DA600-100 % trykstabilitet med vindkompenseret styring.

Ydelse %	trykstald Pa	Energi var Watt	Energi/onoff Watt	Energi total Watt	Ydelse m <sup>3</sup> /h
0,00					
10	2,5	80	0	80	1.767
20	5,5	100	0	100	3.888
30	11	80	0	80	7.776
40	12	160	0	160	8.483
50	15	0	360	360	10.603
60	18	80	360	440	12.724
70	23	120	400	520	16.259
80	25	100	400	500	17.672
90	28	200	400	600	19.793
100	29	260	440	700	20.500

Tabel B4 Setup C: DA600-LPC 30 % trykstabilitet (Low power consumption).

# APPENDIKS C: Simulering af vindkompenseret styring

J. S. Strøm

Århus Universitet, Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Engineering Centre Bygholm.  
DK-8700 Danmark

og

Keld Sørensen

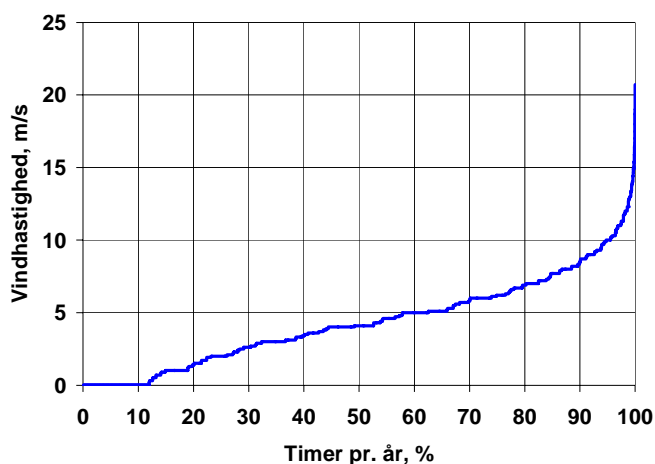
DXT Danish Exergy Technology, DK-9520 Skørping, Danmark

I rapporten ”Simulering af el-forbruget for energieffektive, styringsvenlige staldventilatorunits i en slagtesvinestald” (Strøm & Sørensen, 2010) er undersøgt den årlige energibesparelse til ventilation ved at omstille et Skov A/S DA600-3 anlæg fra at køre med en 30 % til 100 % vindfølsom indstilling for den regulerbare udsugningsenhed. Som del af projektet er udarbejdet et vindmodul, som kan anvendes ved simulering af besparelspotentialet ved at vælge en vindkompenseret styring, hvor styringen er vindfølsom ved vindhastigheder under en valgt vindhastighed og mindre vindfølsom ved en højere vindhastighed.

I dette notat redegøres for opbygning og brug af vindmodulet. For at få så sammenlignelige resultater som muligt, er der valgt de samme forudsætninger for bygning og husdyrproduktion i forsøgssektionerne som i ovenstående rapport, ligesom vejrdato ikke er aktuelle data men er hentet fra referenceåret DRY. Dog er største ventilationsydelse forøget en smule fra 20.000 m<sup>3</sup>/h til 20.500 m<sup>3</sup>/h for at være i overensstemmelse med de elforbrugsprofiler, som er opgivet af Skov A/S.

## Vejr

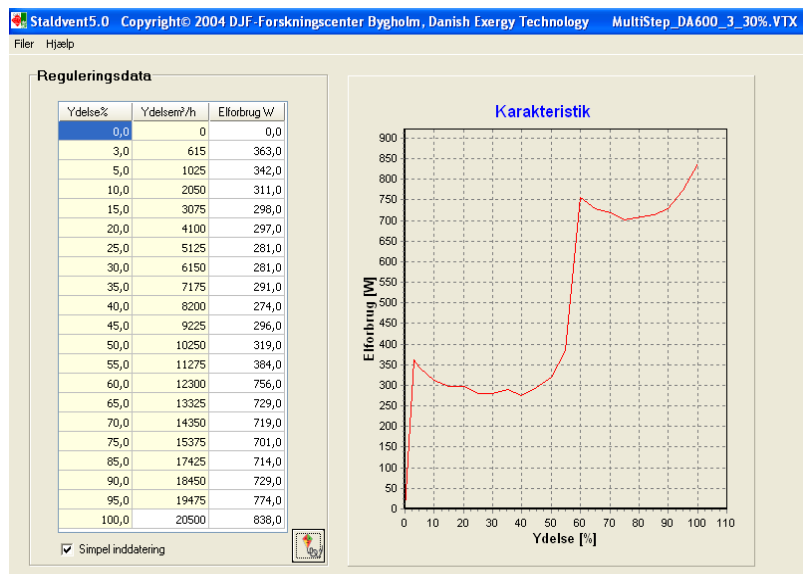
Udover udetemperatur og -fugtighed anvendes i den følgende vindhastighed time for time i simuleringerne i henhold til Design Reference Year (DRY). I figur C1 er vist hvor stor del af årets timer vindhastigheden er under en valgt værdi, for eksempel at vindhastigheden i ca. 60 % af årets timer være under 5 m/s.



Figur C1. Vindhastighed i henhold til DRY.

### Vindkompenseret styring

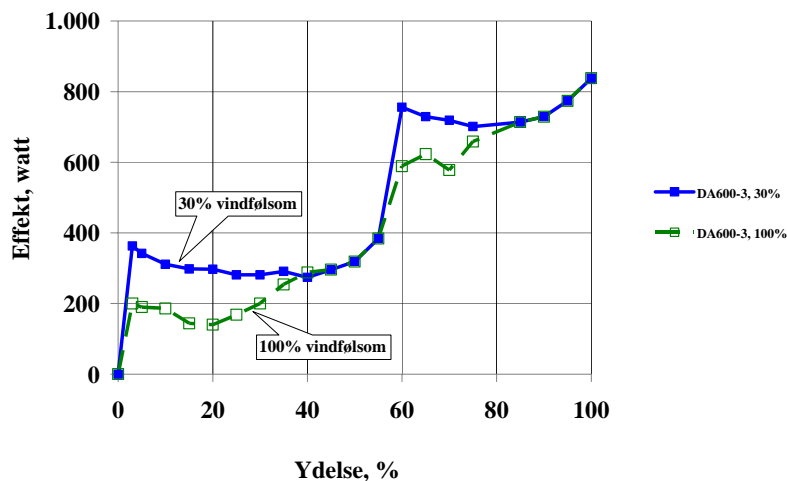
I figur C2 er vist hvorledes energiforbruget er defineret som funktion af ydelsen i sektionen med 30 % vindfølsomhed for den hastighedsregulerede udsugningsenhed. Det ses tydeligt hvorledes energiforbruget stiger kraftigt ved ca. 60 % ventilation hvor on/off ventilatoren indkobles.



Figur C2 Elforbrugets variation med ydelsen for multistepanlæg med 30 % vindfølsomhed.

I figur C3 er vist det energimæssige udgangspunktet for den vindkompenserede styring. Ved vindhastighed under en nærmere defineret værdi, kører anlægget på den nedre kurve, hvor vindfølsomheden er stor (100 %).

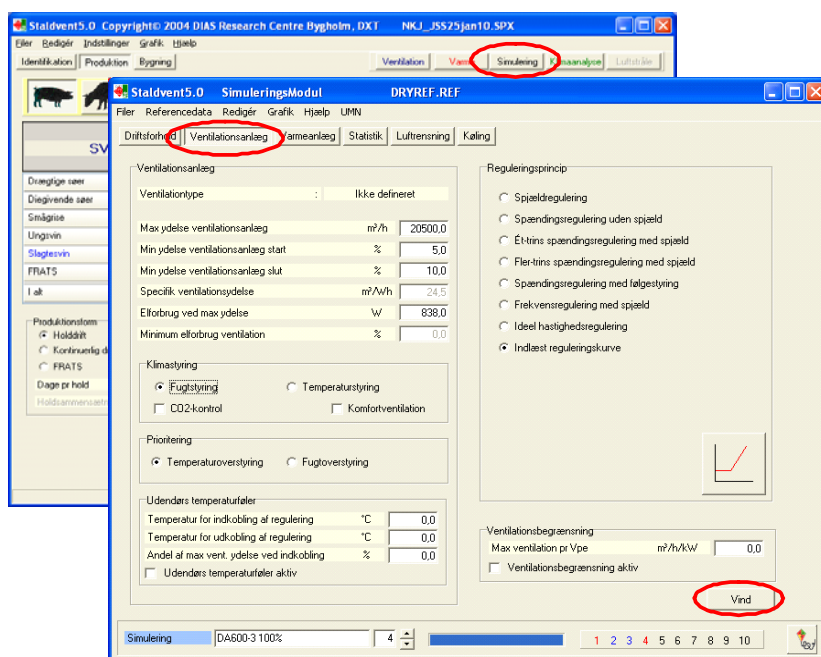




Figur C3. De to energisignaturer som udsugningsanlægget skifter mellem afhængig af vindhastigheden.

Ved højere vindhastigheder skiftes der om til den øvre, hvor vindfølsomheden er mindre men samtidig er elforbruget større. I simuleringerne sker omstilling fra den ene til den anden kurve ved den givne vindhastighed. I praksis er der lagt et bånd ind, for at undgå pendlinger.

For at simulere besparelser ved vindkompenserende styring går man til fanebladet "Ventilationsanlæg" i menuen "Simulering" og vælger knappen "Vind" som vist i figur C4.

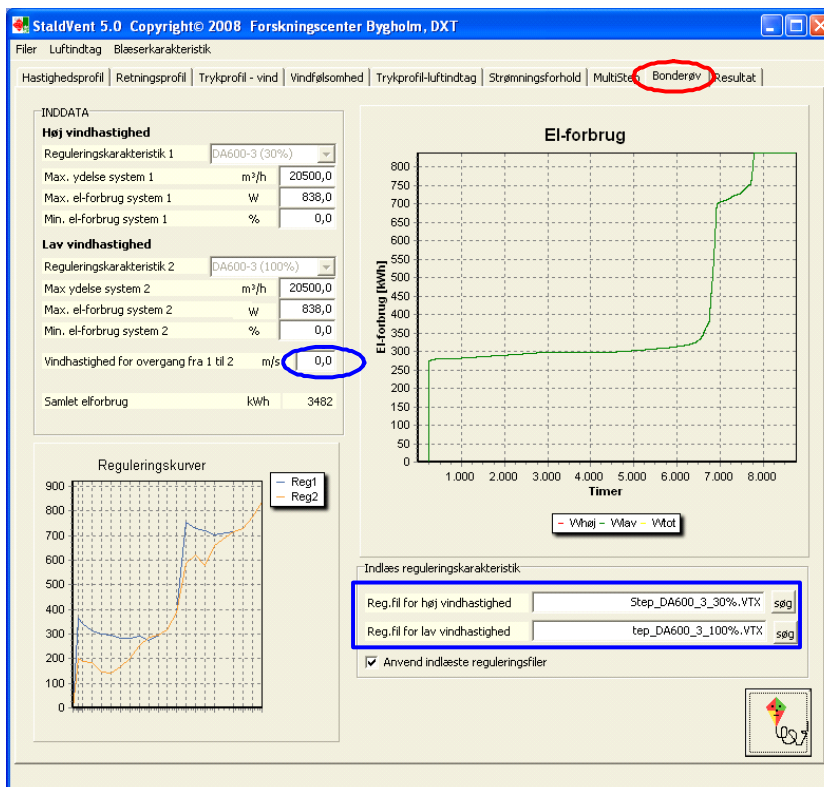


Figur C4. Valg af "Vind" simulering.

## Simpel vindkompenseret styring

Derved kommer man ind i vindmenuen som er vist i figur C5. Der er i princippet to vindmodeller, hvoraf kun den enkleste kaldet Simple vindkompenseret styring, der er implementeret i skrivende stund. I denne model er det vindhastigheden alene som bestemmer, hvilken af de to kurver der anvendes ved henholdsvis lav og høj vindhastighed.

Ved at vælge vindhastighed for overgang fra den ene til den anden kurve vælges og ved at aktivere dragen beregnes samlet årligt elforbrug. I figuren er 0 m/s valgt, det vil sige, at anlægget hele tiden kører på 30 % vindfølsomhed. Det beregnede elforbrug på 3.402 kWh/år svarer til det som er angivet i ”Simulering af elforbruget for energieffektive, styringsvenlige staldventilator-units i en slagtesvinestald” (Strøm & Sørensen, 2010) når der tages hensyn til at den største ventilationsydelse er forøget fra 20.000 m<sup>3</sup>/h til 20.500 m<sup>3</sup>/h.



Figur C5. Definition af vindmodel

## Bespareser ved simpel vindkompenseret styring

I tabel C1 er vist elforbrug og besparelser ved at anvende den simple model for vindkompenseret styring. Sættes elforbruget for et anlæg, der kører med en vindfølsomhed på 30 % året rundt til 100 %, bliver besparelsen ved at køre med vindkompensering op til 23 % ved helt at køre med det urealistiske 100 % vindfølsomhed året rundt.

Max. ydelse = 20.500 m<sup>3</sup>/h

Enhed	Vindfølsomhed	Vind m/s	Elforbrug		Besparelse
			kWh/år	%	%
DA600-3	30%		3482		
Vindkompenseret styring		0	3482	100	0
		5	3014	87	13
		10	2721	78	22
		15	2677	77	23
		20	2674	77	23
DA600-3	100%		2674		

Tabel C1. *Besparelse i årligt elforbrug ved at anvende vindkompenseret styring med forskellig vindhastighed for overgang fra den ene til den anden kurve for vindfølsomhed*

Ved at vælge at køre med 100 % vindfølsomhed op til 5 m/s og derefter at køre med 30 % vindfølsomhed opnås en besparelse på 13 %. Det skal sammenholdes med den skønnede besparelse på 11 % ved at antage at anlægget skønmæssigt kun køre med 100 % vindfølsomhed i halvdelen af tiden.

Den energimæssige fordel ved at anvende vindkompenseret styring er imidlertid begrænset i forhold til at videreudvikle på lavenergianlægget, der kan give en besparelse af størrelsesordenen 46 %. Lavenergianlæggets elforbrug er beregnet på grundlag af en vindfølsomhed på 30 %, hvilket dog betyder der er rum for yderligere energioptimering ved at undersøge potentialet for vindkompenseret styring af lavenergianlægget.

### Konklusion

Ved at vælge at køre med 100 % vindfølsomhed op til 5 m/s og derefter at køre med 30 % vindfølsomhed, opnås en besparelse på 13 %.

Den energimæssige fordel ved at anvende vindkompenseret styring er begrænset i forhold til at videreudvikle på lavenergianlægget, der kan give en besparelse af størrelsesordenen 46 %. Lavenergianlæggets elforbrug er beregnet på grundlag af en vindfølsomhed på 30 %, hvilket dog betyder der er rum for yderligere energioptimering ved at undersøge potentialet for vindkompenseret styring af lavenergianlægget.

### Litteratur

Strøm, J. S. & Sørensen, K., 2010. Simulering af el-forbruget for energieffektive, styringsvenlige staldventilator-enheder i en slagtesvinestald. Århus Universitet, Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Institut for Jordbrugsteknik, DK-8700 Bygholm.