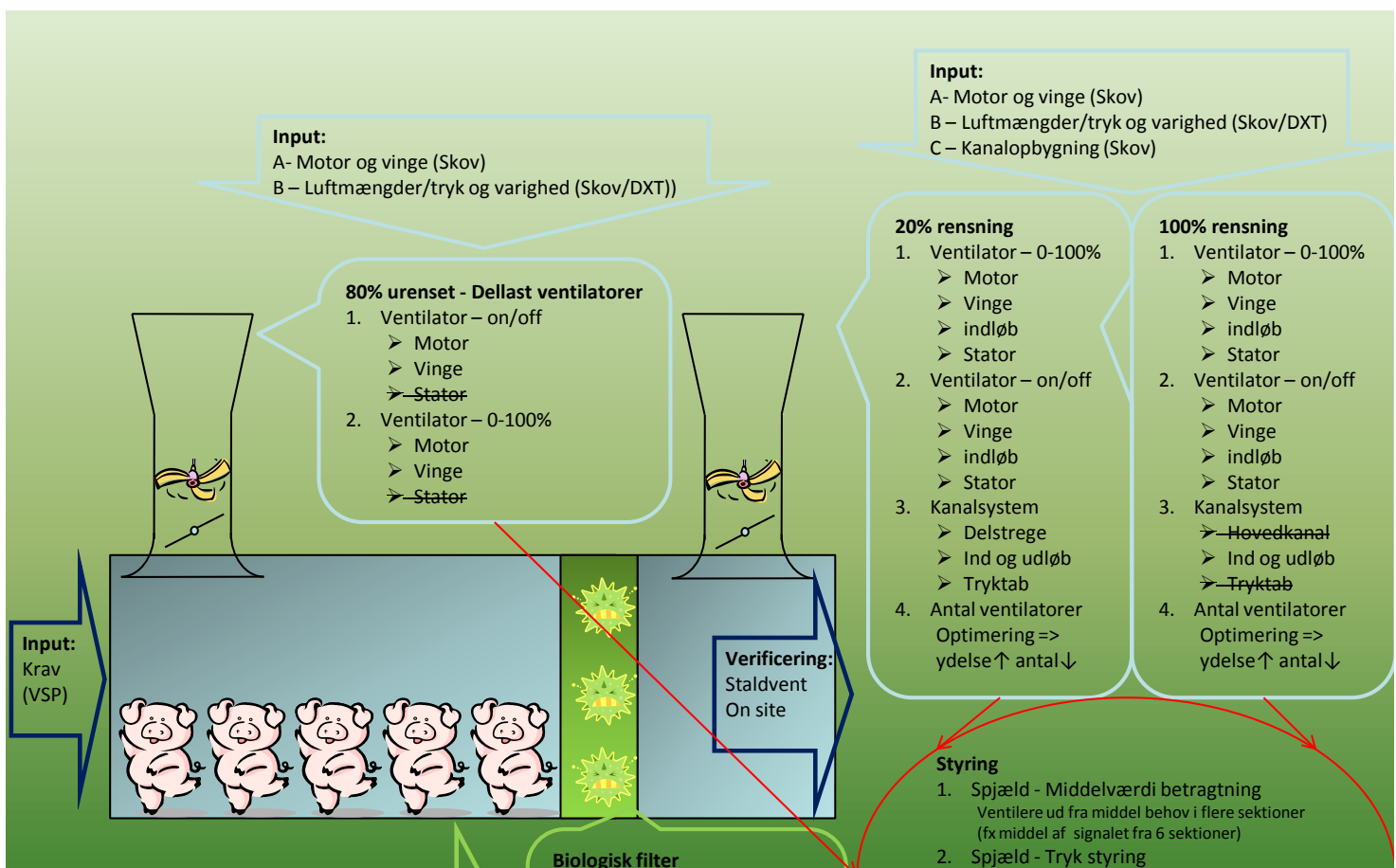




# ENERGIEFFEKTIV BIOLOGISK LUFT-RENSNING TIL STALDVENTILATION



# ENERGIEFFEKTIV BIOLOGISK LUFTRENSNING TIL STALDVENTILATION

Maj 2012

Christian Grønberg Nicolaisen, Teknologisk Institut,  
Mads P. R. Hansen, Teknologisk Institut  
Jan Strøm, DXT  
Keld Sørensen, DXT  
Claus Götke, Lokalenergi Århus  
Svend Morsing, SKOV  
Lars C. Sørensen, SKOV  
Thomas Ladegård Jensen, Videncenter for svineproduktion  
Poul Pedersen, Videncenter for svineproduktion

Teknologisk Institut  
Energi og Klima  
Energieffektivisering og Ventilation

## INDHOLDSFORTEGNELSE

Side

0	Forord .....	5
1	Sammendrag .....	6
2	Projektbeskrivelse .....	11
	2.1 Baggrund .....	11
	2.2 Beskrivelse .....	12
3	Systemopbygning (hvad er biologisk luftrensning) .....	14
4	Fokusområder – System valg 20 og 100 % .....	17
	4.1 Markedsanalyse .....	17
	4.2 Valg af system .....	18
	4.3 Målsætning .....	18
5	Indsatsområder .....	19
	5.1 Indgående komponenter .....	19
	5.2 Indsatsområder Biofilter .....	21
	5.3 Indsatsområder 20% .....	22
	5.4 Indsatsområder 100 % .....	24
	5.5 Samlet strategi og indsatsområder .....	27
6	Reference .....	28
	6.1 STALDVENT projektmodul beskrivelse .....	28
	6.2 Staldvent referencestalde og fastlæggelse af parametre .....	32
7	Udviklings aktiviteter – Biofilter .....	33
	7.1 Reference .....	33
	7.2 Udviklings aktivitet .....	34
	7.3 Resultat .....	35
	7.4 Validering .....	36
	7.5 Delkonklusion - biomodul .....	36
8	Udviklings aktiviteter – 20 % rensning (komponentbasis) .....	37
	8.1 Reference .....	37
	8.2 Decentral ventilator (80 % urensset - dellast ventilatorer) .....	38
	8.3 Central ventilator i Bio Filter (20% rensning – LPC turbo/Tunet) .....	39
	8.3.1 Ventilator .....	40
	8.3.2 Motor .....	50
	8.3.3 Delkonklusion – Motor og ventilator .....	52
	8.4 Kanalsystem/tryktab .....	53

8.4.1	Resultat.....	54
8.4.2	Delkonklusion – tryktab kanalsystem 20% .....	55
8.5	Konklusion – 20 rensning – komponentniveau .....	56
9	Udviklings aktiviteter - 100% rensning(komponentbasis) .....	57
9.1	Reference.....	57
9.2	Ventilator i Bio Filter - DA 920 eller LPC .....	58
9.2.1	Resultat.....	59
9.2.2	Delkonklusion - DA 920 Producent optimering .....	59
9.3	Kanalsystem – tryktab .....	60
9.3.1	Resultat.....	61
9.3.2	Delkonklusion - kanalsystem .....	62
10	Udviklings aktiviteter - Systembasis (styrings strategi) .....	63
10.1	Spjældniveau styring (Dynamic Air central udsugning) .....	63
10.1.1	Delkonklusion.....	63
10.2	Kanalniveau styring (knæk model) .....	64
10.2.1	Delkonklusion.....	66
10.3	Ventilatorbank niveau (Dynamic multistep) .....	67
10.3.1	Vindfølsomhed.....	67
10.3.2	Regulering af ventilatorer .....	68
10.3.3	Delkonklusion.....	70
10.4	Konklusion – Styring .....	70
11	Samlet potentiale 20% rensning.....	71
12	Samlet potentiale 100% rensning .....	73
13	Konklusion.....	75
Bilag 1	- Reference stald 0 %.....	76
Bilag 2	- Reference stald 20 % .....	82
Bilag 3	- Reference stald 100 % (fælleskanal) .....	90
Bilag 4	- Reference stald 100% - 2 - VERA test rapport.....	97
Bilag 5	– Målinger (20% rensning).....	101
Bilag 6	– Delrapport - Udetemperatur regulering af kanaltryk .....	110
Bilag 7	– Delrapport - Modelstald 0% rensning.....	120
Bilag 8	– Potentiale 100% rensning (NR).....	126
Bilag 9	Lovgivningsgrundlag .....	136
Bilag 10	Beregning af effektivitet/ virkningsgrad .....	139

## 0 Forord

Nærværende rapport udgør afrapporteringen af PSO F&U projektet 342-041 "Energieffektiv biologisk luftrensning til staldventilation".

Projektet er gennemført af nedenstående projektgruppe.

Projektgruppen:

- Svend Morsing, SKOV A/S
- Lars C. Sørensen, SKOV A/S
- Jan Strøm, DXT
- Keld Sørensen, DXT
- Claus Götke, Lokalenergi Århus
- Thomas Ladegård Jensen, Videncenter for svineproduktion
- Poul Pedersen, Videncenter for svineproduktion
- Mads P. R. Hansen, Teknologisk Institut, Energieffektivisering og Ventilation
- Christian Grønborg Nicolaisen, Teknologisk Institut, Energieffektivisering og Ventilation

Projektet har opnået signifikante resultater og den samlede projektgruppe er stolte af indfrielsen af det endelige succeskriterium som forstod ultimo 2012, hvor produktlanceringen blev realiseret.

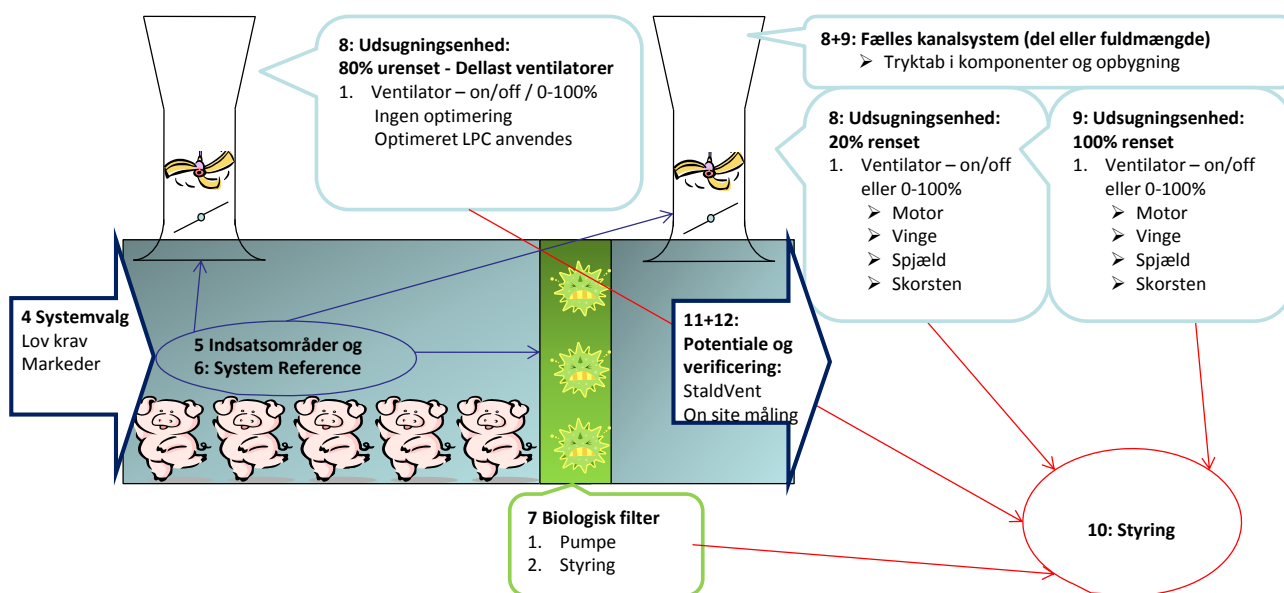
Projektleder Christian Grønborg Nicolaisen  
Teknologisk Institut

Projektleder Svend Morsing  
SKOV A/S

# 1 Sammenlægning

Kompleksiteten i projektet har været relativ stor pga. de mange indgående komponenter, optimering heraf, og deres indbyrdes indflydelse på det samlede resultat. Herunder optimering på komponent niveau og samlet på systemniveau og heraf uendelige designparametre variationer, hvorfor projektrapporten er yderst omfattende. Grundet projektets relative store omfang og kompleksitet er det derfor valgt at udarbejde et sammendrag som indleder læseren i problemstillinger og projektets væsentlige konklusioner. Delkonklusioner under de enkelte komponenter/ områder fremgår af projektrapporten.

Igennem projektforsøget er systemernes enkeltkomponenter analyseret og optimeret med fokus på det samlede system, som illustreret på nedenstående figur:



De enkelte områder er i det samlede system er optimeret iht. nummeringen på illustrationen, som også følger rapportens nummererede afsnit i gennem følgende forløb i projektet. **Nyudviklede komponenter fremgår med grøn skrift:**

## 2 - Projektbeskrivelse

I kapitel 2 er formål og baggrund for projektet nærmere beskrevet.

## 3 - Systemopbygning

I rapportens kapitel 3 er systemopbygning for et ventilationsanlæg med hhv. del- eller fuld biologisk luftrensning beskrevet. Herunder opbygning og indgående delkomponenter for det samlede system samt principperne i biologisk luftrensning.

## 4 - Systemvalg

I kapitel 4 er to systemer udvalgt som grundlag for projektet iht. gældende lovgivning og mulige markeder. De valgte systemer er hhv. 20 og 100% biologisk luftrensning. I tillæg til de to systemer er der endvidere udvalgt to selvstændigt fokusområder – biofilterets pumpedrift og styringsstrategi og komponenter som er gældende for begge de to systemer.

## **5 – Indsatsområder – (optimering af indgående komponenter)**

I kapitel 5 er de energibesparende indsatsområder, dvs. de i systemet indgående delkomponenter som er optimeringsmodne, under de 2 udvalgte systemer, analyseret, gennemgået og valgt mht. energiforbrug og mulige optimeringsområder. Hvor ligger energiforbruget i de enkelte systemer, hvilke komponenter har indflydelse på det og hvordan er deres indflydelse og hvad er muligt at optimere.

## **6 – Reference - Staldvent reference stald og fastlæggelse af parametre**

- a) Udvikling af staldvent projektmodul som kan varetage flere sektioner
- b) Opbygning af referencestald til Staldvent simuleringer af design parametre / indsatsområder

I kapitel 6 beskrives 2 modelstalde som er brugt som grundlag for de to systemer og dertilhørende modelberegninger som anvendes til identificering af optimering af delkomponenternes indflydelse på det samlede system både indeklima og energimæssigt og hermed hvor og hvor store de potentielle energibesparelser er. Herunder videreudvikling af simuleringsprogrammet StaldVent fra oprindeligt kun at simulere på sektionsbasis, til staldbasis og dermed medtager interaktion mellem flere sektioner. Hver enkelt sektion har sit ventilationsbehov, men ved luftrensning er flere sektioner ofte helt eller delvist ventileret af samme anlæg, hvorfor samhørighed mellem sektionerne er af stor betydning for energiforbruget og dimensioneringen.

## **7– Udviklingsaktivitet – Biofilter (komponentbasis)**

- a) Udvikling/ optimering af reguleringsstrategier - drift/ vandmængde ift. fordampning (dynamic overrisling)

I kapitel 7 beskrives besparelspotentialet der er ved at indføre dynamisk overrisling dvs. styring af pumpedriften afhængig af luftflowet og dermed fordampningen over de biologiske filtre i et anlæg med luftrensning.

## **8 – Udviklingsaktivitet – 20% rensning (komponentbasis)**

- a) Decentral ventilator (80 % urensset - Dellast ventilatorer)
  - Ingen optimering - Eksisterende optimeret LPC anvendes
- b) Central ventilator i Bio Filter (20% rensning – LPC 13)
  - Udskiftning til optimeret LPC-13 med PM motor
  - Optimering af motor (omdrejninger) for højere ydelse
  - Optimering af skorstensenhed
  - Kanalsystem – reducer tryktab

I kapitel 8 er udviklingsaktiviteterne for et anlæg med 20% delrensning beskrevet, herunder optimering af ventilator, motor, indbygning (indtag, afkast og strømningstab omkring ventilatoren) samt kanalsystemets opbygning. Udviklingsaktiviteterne er fortaget på komponentniveau og deres indflydelse på systemniveau er vurderet.

## **9 – Udviklingsaktivitet – 100% rensning (komponentbasis)**

- a) Optimer central ventilator i Bio Filter (on/off og variabel) fra producenten Ziahl-Abegg (DA 920).
- b) Optimering fortages af Ziahl-Abegg mht. DA 920. Alternativ anvendes omdr. optimeret LPC 15
- c) Kanalsystem – tryktab i indløb til filter og kostpris optimering

I kapitel 9 er udviklingsaktiviteterne for et anlæg med 100% delrensning beskrevet, herunder optimering af ventilator, motor og kanalsystemets opbygning. Udviklingsaktiviteterne er fortaget på komponentniveau og deres indflydelse på systemniveau er vurderet.

### **10 – Udviklingsaktivitet – Styringsstrategi (systembasis)**

- a) Kortlægge fordelagtig styringsform med Dynamic air - Multistep, kaskade, trinløs parallel el. kombination
- b) Udvikling af ny styringsform og hardware – Dynamic Multistep (styring) og Dynamic air centraludsugning (luftmåleenhed).
- c) Reducer tryktabet vha. styring via ny styring uden fast bagtryk
- d) Tryktab over loft ved lavere luftmængder kan indgå som variabel i stedet for konstant på 30 Pa.

I kapitel 10 er udviklingsaktiviteterne styringen af de samlede systemer beskrevet. Styringen og mulige optimeringer heraf, hvor resultaterne fra de indgående komponenters optimeringer er medtaget på systemniveau. Nye strategier, styringer og hjælpekomponenter er opbygget med udgangspunkt i delkomponenternes resultater.

### **11 og 12 - Samlet potentiale**

- a) Verificering af resultater og Staldvent ved on site forsøg

I Kapitel 11 og 12 vurderes det samlede besparelses potentiale ved hhv. 20 % og 100% luftrensning ift. de nyudviklede komponenter.

### **Produkter og Perspektivering**

I gennem hele projektet har der været fokus på den enkeltes komponents indflydelse på det samlede system, samt interaktion med andre komponenter og resultater heraf samt omkostninger hertil og mulige potentialer. Der er derfor også fundet flere områder som har haft gode energimæssige potentialer men for lang TBT, som ville gøre produktet umuligt at lancere.

I projektet er der fundet store energi og økonomisk besparelsesmæssige potentialer ved optimering af udsugningsventilatorerne, styringen af disse og optimering af kanalføringerne. Det har endvidere vist sig at der, i forbindelse med centralkanal anlæg, er et betydeligt energispare potentiale, ved at reducere kanaltrykket som funktion udetemperatureren, hvilket er implementeret i den nyudviklede styring

Produktmæssigt har projektet dannet grundlag for udviklingen af:

1. Nye energieffektive udsugningsenheder (LPC11,12,13) som er velegnede til luftrensning.
2. Et nyt energibesparende reguleringsprincip (Dynamic Multistep) som er særlig velegnet til lavenergiventilatorer.
3. Et nyt energibesparende flow målesystem til kanal anlæg (Dynamic air til centraludsugning).
4. En energibesparende trykstyring til fælleskanaler (trykstyring som funktion af udetemperatur).



5. Forslag til en ny energibesparende pumpedrift for overrisling af biologiske filtre (Dynamic overrisling).

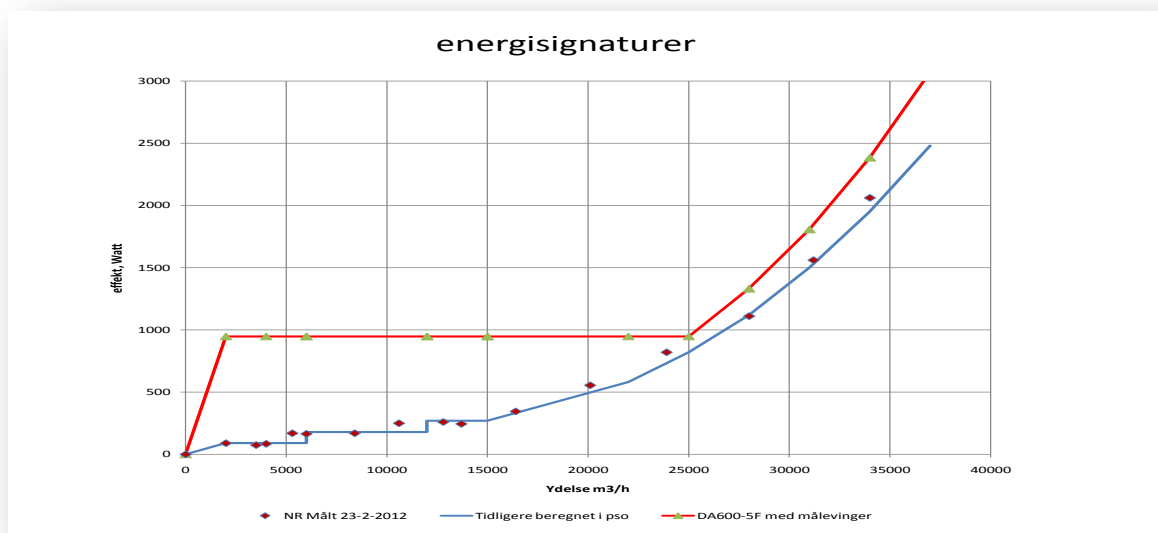
De fire første produkter er salgs frigivet fra SKOV A/S ultimo 2012. Hvorvidt den energibesparende drift af overrislingsanlæg implementeres, afhænger af yderligere test.

De teknologier som er udviklet i projektet har vist sig også at give store energibesparelspotentialer i standardanlæg uden luftrensning. SKOV A/S har derfor valgt at udvikle ovenstående produkter, så de også kan anvendes i anlæg uden luftrensning. Derved er markedspotentialet udvidet markant.

## Validering

Igennem hele projektet er det samlede system og de enkelte komponenter vurderet og analyseret med beregningsprogrammet STALDVENT som løbende er udviklet igennem projektperioden.

For at validere resultaterne er nogle af de mulige besparelspotentialer undersøgt i en kommerciel slagtesvinesektion. I en eksisterende staldsektion med 100 % luftrensning (Bio-Flex) hvor der i forvejen var udført 1 års målinger af de separate energiforbrug og ydelser, blev det eksisterende udsugningssystem udskiftet med de i projektet udviklede udsugningsenheder samt reguleringssystem (Dynamisk Multistep). Af den målte sammenhæng mellem ventilationsydelse og energiforbrug, som fremgår af figur 1, ses det tydeligt at energiforbruget, ved delast, reduceres drastisk efter installering af det nye system.



Figur 1 Sammenhæng mellem ventilationsydelse og effekt for ventilationsanlægget før og efter ombygning.

Den røde kurve er det oprindelige system, og den blå kurve er de beregnede værdier for det nye system og de tilsvarende røde/blå punkter er målte værdier i stalden.

### **Potentiale:**

I projektet er der ved implementering af det nyudviklede system ved 100% rensning (LPC 13 ventilatorer og Dynamic multistep styring) i forhold til SKOV's oprindelige system med DA600 ventilatorer i den pågældende stald opnået en besparelse på 61% og en tilbagebetalingstid på 1,7 år.

Tilsvarende er det fundet at energiforbruget til pumpedrift kan reduceret med 37% med den nye styring Dynamic overrisling.

Ved 20% rensning er der fundet et besparelspotentiale på 15% årligt og en TBT på mellem 0 og 5 år, som er afhængig af den ønskede ydelse, da kapaciteter over 26.000 m<sup>3</sup>/h medfører en yderligere udsugningsenhed i den nye løsning.

Yderligere har de nyudviklede komponenter vist sig yderst velegnet til standardanlæg uden luftrensning hvor en besparelspotentialet er 53% og tilbagebetalingstiden 1,5år

### **Vurdering**

Det er projektgruppens vurdering at projektet med ovenstående resultater til fulde har opnået sit formål om at viderefører PSO 340-033 resultater på komponentniveau til systemniveau samt opnået målsætningen om at reducere energiforbruget til luftrensning med 30% og samtidige have en tilbagebetalingstid på max 3 år. Projektet har opnået yderst signifikante resultater som ligger langt over det forventede.

Særligt tilfredsstillende er den lange række af ny komponenter som er lanceret ultimo 2012.

## 2 Projektbeskrivelse

Nye miljøtiltag har øget behovet for luftrensning af den udledte luft fra renoverede og nybyggede svinestalde betragteligt. Dette gælder for både udledning af lugtstoffer og ikke mindst ammoniak. De relativt nye ventilationssystemer med biologisk luftrensning, stiller helt nye og andre krav til komponenter, opbygning og styring end de traditionelle udsugningsenheder, som hidtil har været anvendt i landbrugssektoren.

Projektet "energieffektiv styringsvenlig staldventilator-unit" (PSO 340-033) har allerede påvist, at der kan opnås store energibesparelser alene ved optimering og udvikling på komponentniveau på traditionelle udsugningsenheder.

Nærværende projekts formål er at videreføre ovenstående projekterfaringer og -resultater på komponentniveau til systemniveau. Udvikling igennem overførsel af erfaringer og heraf optimering af de for fremtidens mest essentielle biologiske luftrensningssystemer på komponentniveau ved luft og vandtransport, og dernæst på systemniveau med ny overordnet intelligent styring og samlet kostpris optimering.

### 2.1 Baggrund

Pr. 1. januar 2007 trådte Lov om miljøgodkendelse mv. af husdyrbrug i kraft. I loven stilles der ved udvidelse, nyetablering eller ændring af husdyrproduktion over 75 dyreenheder, krav til reduktion af den luftbårne ammoniakudledning. Dette har trinvist betydet, at kravet til reduktion af ammoniakfordampningen, målt i forhold til bedste stald- og lagersystem i 2005, er blevet øget til 25 % i 2009. Denne procentsats er igennem projektperioden yderligere steget til 30 % i 2011.

Udover kravene til ammoniakudledningen må husdyrbrug større end 15 dyreenheder efter udvidelse eller ændring i eksisterende anlæg, fremover maksimalt have en lugtemission på en vis grænseværdi, afhængigt af omgivelserne – iht. bekendtgørelse nr. 1696, 2006.

Som følge af de nye regler for lugtemission, vil en række af de eksisterende husdyrbrug ikke kunne overholde de nye afstandskrav vedrørende lugt. Et bestående husdyrbrug kan dog opnå en ny miljøgodkendelse under forudsætning af, at afstanden til byzone, samlet bebyggelse og enkeltliggende huse i landzone er længere end 50 % af den beregnede geneafstand, såfremt udvidelsen eller ændringen gennemføres med uændrede eller færre lugtgener.

Kortlægninger viser at 30-40 % af de danske landmænd vil være nødsaget til at gennemføre ændringerne og udvidelse af eksisterende produktion med uændrede eller færre lugtgener. Ses der endvidere bort fra mindre hobbybrug dækker procentsatsen helt op til 75 % af landmændene.

Udledningen af lugt og ammoniak fra stalde, kan reduceres på en af 3 følgende måder, som kan del- eller fuldrense kilden:

- Kemisk behandling i stalden
- Udsugningssystem med kemisk luftrensning
- Udsugningssystem med biologisk luftrensning

I projektet er der udelukkende fokuseret på biologisk luftrensning til staldventilation, da udgangspunktet er producentens nuværende produktsortiment og som vurderingsmæssigt vil udgøre 1/3 del af det kommende marked.

På baggrund af skærpelsen i lovgivningen, forventes antallet af installerede luftrensningsanlæg at stige voldsomt i hovedparten af alt fremtidig ekspansion indenfor svineproduktionen i Danmark.

Disse installationer bør implementeres med en energi- og kostprismæssig omtanke, hvor projektets fokus har været en overordnet tilgang omkring energimæssig, styringsmæssig og funktionsmæssig optimering af systemet, ud fra en samlet systemtilgang og kostprismæssig optimering, hvor der ikke udelukkende fokuseres på installationsomkostningerne, men også den efterfølgende drift.

I projektets forløb har det ikke været muligt at se denne ekspansion, da udvidelser og etablering af nye besætninger i Danmark har været på et minimum på grund af den økonomiske finansielle krise og heraf afmatningen i økonomien.

## 2.2 Beskrivelse

Projektet omfatter optimering af SKOV's eksisterende produktprogram til biologisk luftrensning for både decentrale og centralt opbyggede systemer.

Projekt fokuserer overordnet på følgende indsatsområder:

### 1. Optimering på komponentniveau

- Implementering af viden opbygget i PSO projekt 340-030 omkring selve ventilatorheden og dens komponenter til videreoptimering til systemer med biologisk luftrensning, herunder optimal motorvalg samt udvikling af optimal ventilatorvinge og skorsten.
- Optimering af kanalsystem ved hjælp af CFD simuleringer og udformning af indløb til rensningsenhed for minimalt tryktab.
- Optimering af pumpevalg og pumpestyringen for den biologiske rensningsenhed.

### 2. Optimering på systemniveau

- Udfærdige analyse og simuleringer med programmet STALDVENT og videreudvikling af programmet for kortlægning af optimal systemsammensætning på komponentbasis og reguleringsteknik.
- Sammenkoble styringer til en ny overordnet samlet intelligent styring af ventilationsenheder med biologisk rensning.

### 3. Afprøvning og dokumentering af produktet i virkelige omgivelser

- Simulering og test i staldmiljøer

Alle de indgående komponenterne optimeres med fokus på optimal energimæssig drift, opretholdelse af indeklima og anlægspris.

Komponenterne der benyttes i udsugningsenhederne optimeres i forhold til den brug og det system de er installeret i. Dette gælder strømningsforhold, motorvalg, ventilatorvalg samt en reel kortlægning af hvordan det optimale system bør opbygges i forhold til eksempelvis størrelse samt antallet af ventilatorer. Dette understøttes af simuleringer og analyser med STALD-VENT, der skal kortlægge hvordan den fysiske opbygning udformes optimalt. Herunder sammensætning af ventilatorer for optimalt drift. Grunden til dette er primært, at en stald nominelt opbygget til 100 m<sup>3</sup>/h udsugning pr. svin, har en gennemsnitsudsugning på 35 m<sup>3</sup>/h. Dette betyder, at systemet kører på delvis drift (lav drift) langt størstedelen af tiden.

Styringen skal kunne regulere både ventilatorer, skorstensspjæld og spjæld i påstik i hovedkanal (se illustration på næste side). Målet med styringen er at sikre, at det aktuelt styringsmæssige dårligst placerede kanalspjæld altid er tæt på 100 % åbent, hvilket giver mulighed for minimalt tryktab i hovedkanalen, samt betragtelig reduktion af ventilatordriften. Det undgås herved at alle spjæld står halvt lukket i kanalerne med et unødvendigt krav til trykudløse af ventilatorerne. Styringen vil samtidig tage udgangspunkt i en reel flowindikation i kombination med nuværende konstanttrykregulering.

Reguleringen af skorstensspjældet (ikke at forveksle med kanal spjældene i påstikkene) er hidtidig udfærdiget for at sikre trykstabilitet og dermed flowstabilitet uafhængigt af vindpåvirkningen, det vil sige at spjældåbningen reduceres ved lav ventilatorhastighed for at skabe autoritet over spjældet. Dette skaber et u hensigtsmæssigt stort tryktab over ventilatoren. Den overordnede styring der udfærdiges med flowindikation, giver mulighed for at eliminere skorstensspjældets trykstabiliserende virkning og genererer dermed energibesparelser.

En sideeffekt af optimeringsprocessen er et reduceret lydniveau. På nuværende tidspunkt er kravene i "ekstern støj fra virksomheder" Vejl. Nr. 5/1984 svære at efter leve for en lang række miljøzoner.

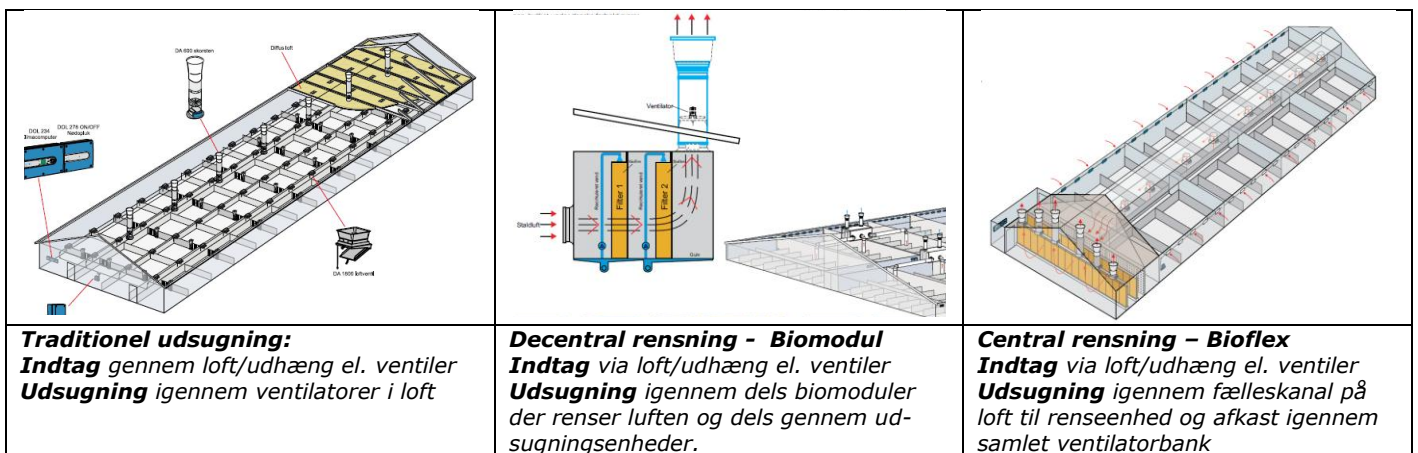
Det udviklede system vil i prototypeform blive afprøvet i en eksisterende stald. Hermed vil energibesparelser, funktion og styring blive afprøvet og dokumenteret. Ligeledes vil komponenternes formåen i det fysiske hårde miljø blive testet. Testen vil samtidig validere store dele af centralventilationsdelen, der som noget forholdsvis nyt optræder i programmet STALD-VENT.

### 3 Systemopbygning (hvad er biologisk luftrensning)

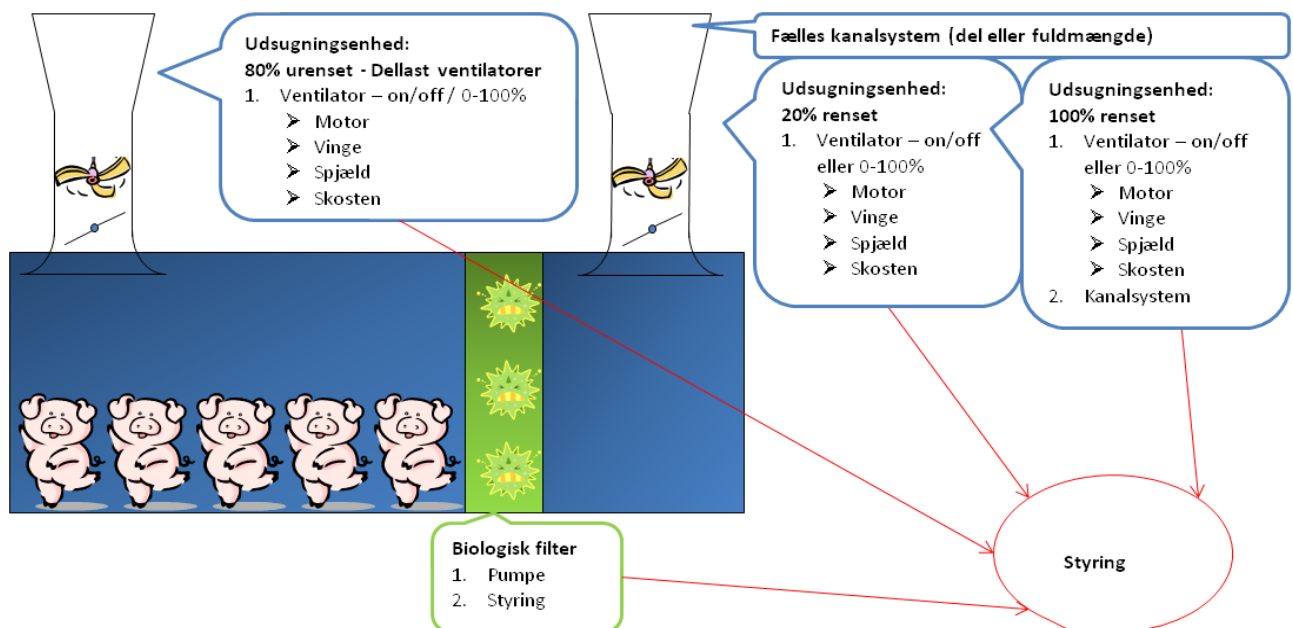
Et staldventilationsanlæg med biologisk luftrensning består i hovedtræk af et kanalsystem, en biologisk rensningsenhed med filtre og pumpeenheder, samt et antal aftræksskorstene med ventilator. Hertil en række spjæld og styringer.

Udsugningssystemer med biologisk luftrensning kan opbygges enten som en række decentrale enheder eller med én central enhed, med et samlende kanalsystem for hele staldbygningen. Endvidere kan systemet være bygget til at delrense eller fuldrense luftmængden.

Nedenstående figur viser et eksempel på udsugningssystemer med hhv., ingen-, delrensning og fuldrensning med biologisk luftrensning.



Generelt består systemet af følgende komponenter til hhv. fuld (100 %) og delrensning (20 % rensning og 80 % urensning):



Opbygningsmæssigt giver det følgende komponenter, styring og driftsforhold:

1. Stalden
  - a. Det betjente område hvor det ønskede indeklima skal tilvejebringes. Klimaet er vigtigt i forbindelse med effektiv drift og især om sommeren stilles der store krav til ventilationskapaciteten.
2. Friskluftindtag
  - a. Friskluften tilvejebringes oftest igennem et diffust loft og tages derfor direkte udefra. Friskluften kan tilvejebringes gennem friskluftventiler i væg eller loft.
3. Biologisk filter indeholdende:
  - a. Pumpe til overrisling
  - b. Styring
4. Udsugningsenheder til fuldrensning (100 %):
  - a. Fælles kanalsystem
  - b. Spjæld til regulering af luftmængden til den enkelte sektion
  - c. Ventilator bank opbygget af flere udsugningsenheder indeholdende:
    - Skorsten
    - Aksialventilator med elektrisk motor
    - Spjæld i skorsten
    - Driftspunkt 100-200Pa
5. Udsugningsenhed til delrensning (20 %):
  - a. Skorsten
  - b. Aksialventilator med elektrisk motor
  - c. Spjæld i skorsten
  - c. Driftspunkt 100-200Pa
6. Udsugningsenhed til udsugning af 80 % urensset luft (kun delrensning)
  - a. Skorsten
  - b. Aksialventilator med elektrisk motor
  - c. Spjæld i skorsten
  - d. Driftspunkt 5-40Pa (er optimeret i tidligere PSO projekt)
7. Styring og registrering
  - a. Ved hjælp af temperatur og fugtsensorer i stalden, defineres det ønskede flow. På baggrund af dette indstilles ventilatoromdrejning samt reguleringspjæld.

Biologiske luftrensningssystemer afviger fra traditionelle udsugningssystemer, da blandt andet tryktabet i systemet er langt højere, dels på grund af kanalsystemet og styringsmulighederne og dels på grund af tryktabet i de biologiske filtre. Dette giver et betragteligt forøget energiforbrug til ventilationen.

Hvor traditionelle ventilatorer i rene udsugningsenheder har et driftsområde mellem 5 og 40 Pa, har et centrale udsugningssystemer et driftsområde op til 100-200 Pa. Dette betyder at det hydrauliske arbejde er langt større og dermed fås et langt højere energiforbrug, da kravene til luftmængderne er uændrede **(Tryktab - indsatsområde)**

Ved både central- og decentral luftrensning, passerer den fulde eller en delmængde af luften en række biologiske filtre, der renser luften for blandt andet ammoniak og lugtstoffer. De biologiske filtre består af en række lameller, hvorpå der vokser en bakteriekultur, som er i stand til at fjerne ammoniak og andre lugtstoffer. For at opretholde bakteriekulturen kræves det at lamellerne konstant overrisles med vand og energiforbruget til denne overrisling (pumpeenheten) udgør en væsentlig del af det samlede energiforbrug for udsugningsenheden, 20-30 % **(pumpedrift – indsatsområde)**

Styringsmæssigt reguleres luftmængden til den enkelte sektion via spjæld og samlet via ventilatorbanken (de samlede antal ventilator i rensningsenheden). I staldafsnittene styrer en række sensorer (fugt og temperatur) hvert enkelt spjæld der er monteret i alle påstik på hovedkanalen/ delkanalen for at sikre indeklimaet i den pågældende sektion. Dette er en separat og enkeltstående styring.

Ventilatorbanken styres efter et konstant tryk, omtrent 50-100 Pa, i hovedkanalen/ biomodulet. Alt afhængig af krav omkring flow, kører det antal ventilatorer der er nødvendig for at opretholde hovedkanaltrykket. Dette konstanttryk medfører et tab som kan reduceres, med en ny styring og monitorering hvis stabiliteten i systemet kan opretholdes (**styring – indsatsområde**).

Forskellen mellem del og fuldrensning er, at delrensning kun renses en del af luften fx 20 %.

Et 20 % renselanlæg defineres som, at 20 % af den samlede maksimale projekteret luftydelse skal renses. Men det varierede luftbehov over året medfører at det meget af tiden kun er nødvendigt med en luftstrøm mindre end 20 % af det maksimale mulige for hele anlægget inkl. de rene udsugningsventilatorer som udgør 80 % af den samlede ydelse.

I delrensning prioriteres rensenheden styringsmæssigt altid først. Når ventilatorbanken i rensenheden (biofilteret) er 100 % belastet og dermed yder 100 % opstarters de rene udsugningsenheder i stalden som ikke renses luften. Derved kan luftmængden summeret over året igennem biofilteret godt være langt højere end 20 %, da behovet er meget forskelligt i henhold til årstidsvariationer samt i forhold til grisenes "alder". Behovet er derfor ofte under 20 % af den samlede maksimale projekteret luftydelse til stalden og der ventileres derfor udelukkende igennem filteret i disse perioder (ventilatorer i biofilter 20 % og rene udsugningsenheder 80 % af maksimal projekteret ydelse).

Det ønskede indeklima opretholdes med fokus på temperatur og relativ luftfugtighed. Som tommelfingerregel siges at hvis temperatur og den relativ fugtighed adderes, skal dette gerne fastholdes på 90 inde i stalden, f.eks. sammensat af 70 % relativ fugtighed og 20 °C rumtemperatur. Ligeledes skal der sikres en minimal vindfølsomhed, som sikres ved autoriteten i spjældene.

Da svinene i stalden bidrager med en voldsom varmepåvirkning, er der ikke umiddelbart behov for eksempelvis indblæsning med varmegenvinding og lignende kendte systemer i slagtesvinestalde. Grundopbygningener derfor, at der udelukkende benyttes 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 er på sektionsniveau mulighed for at regulere fra "0-100" % af nominel ydelse.

På nuværende tidspunkt er SKOV's centraludsugningssystem med biologisk luftrensning anerkendt som det bedste system på markedet.



## 4 Fokusområder – System valg 20 og 100 %

### 4.1 Markedsanalyse

SKOV er førende på det internationale marked for klimastyring og produktionsovervågning til animalsk produktion. Denne position er opnået, ved at sikre producenterne de mest moderne og konkurrencedygtige totallosninger og tilbyde løsninger, som rækker ud over markedets umiddelbare krav (fremtidssikring).

Derfor bruger SKOV en væsentlig del af omsætningen på produktudvikling i tæt kontakt med producenter, uddannelses- og forskningsinstitutioner, samt andre samarbejdspartnere over hele verden.

For at sikre at det optimerede luftrensningssystem passer til marked og producenternes krav, er det vigtigt at differentiere eksportmarked i områder, hvor der allerede er krav om luftrensning, samt markeder hvor der kommende vil være krav om luftrensning og medtage disse markeders krav iht. system/ lovkrav og kostpris til produktløsningen.

Af markedsanalyse af SKOV's eksisterende marked, for kortlægning eksportområder der er interessant ud over det hjemlige marked med hensyn til luftrensning fremgår det, at de væsentligste markeder iht. afsatte komponenter og lovkrav er:

- Danmark
- Tyskland
- Holland
- Japan
- Belgien

Der er varierende lovkrav landene imellem. Tyskland og Holland er udvalgt til fokusområder og danner grundlag for kravspecifikationen til systemet. Lovgivningen er stærkt varierende. Nogle af problemstillingerne fremgår af bilag 9

Men da verdenen er i stadig vækst og kravet om animalsk produktion ligeledes er stigende, forventes det at lovkrav til luftrensning vil blive mere og mere udbredt i takt med landenes udvikling.

En tendens der allerede er at spore i flere udviklingslande, hvor Danmarks erfaring og opbygning omkring fx affaldshåndtering er taget i anvendelse.

På baggrund af dette forventes antallet af installerede luftrensningsanlæg at stige i hovedparten af al fremtidig ekspansion og opførelse indenfor svineproduktionen i Danmark, Tyskland og Holland og senere i de øvrige eksportmarkeder.

## 4.2 Valg af system

Af den lovgivningsmæssige kortlægningen (se bilag 9) fremgår det der er følgende overordnet krav i de enkelte lande:

- Danmark: Ammoniak - primært delrensning 10-100 %
- Danmark: Lugt - primært 100 % luftrensning,
- Holland og Tyskland 100 % luftrensning

Delrensningen i Danmark kan foretages med større eller mindre rensningsgrad. Ved 10-20 % af max udsugning, kan en stor del af ammoniakken fjernes ved kilden. Lovgivningsmæssigt betyder 20 % rensning at en luftmængden svarende til 20 % af max ydelse, skal køre igennem filteret. Således kan luftskiftet over året være langt højere end 20 %.

På baggrund af ovenstående er det valgt at fokusere på følgende områder i projektet:

- 100 % fuldrensning (loftmonteret)
- 20 % delrensning (loftmonteret)

Grundlæggende er fokusområderne i projektet 100 % fuld- og 20 % delrensning. 10 % delrensning med gulvudsugning indgår som et parallelt spor, hvor et selvstændigt udviklingsprojekt følges for at holde øje med udviklingsmulighederne i fremtiden, da 10 % delrensning med gulvudsug er på et tidligt udviklingsstadium og ikke implementeret som en lovgivningsmæssig mulig løsning endnu. Lovgivningsmæssigt gives der således pt. ikke kredit for en eventuel effektivitetsforbedring ved gulvudsugning, hvor forureningen fjernes ved kilden (gyllen).

## 4.3 Målsætning

Skønnede omkostninger og energiforbrug til luftrensning anno 2011, fremgår af nedenstående opgørelse:

### Investering:

- Investering indeks 100
- 100 % luftrensning: indeks 250-400
- 20 % luftrensning (af max ventilationsydelse): indeks 200

### Energi ventilation:

- Ventilation koster traditionelt ca. 18-20 kWh/stiplads/år
- 100 % luftrensning koster yderligere ca. 20 kWh/stiplads/år
- 20 % luftrensning koster yderligere ca. 10 kWh/stiplads/år

### Energi til BIO3 modul eller Bioflex (pumpe til overrisling mv.):

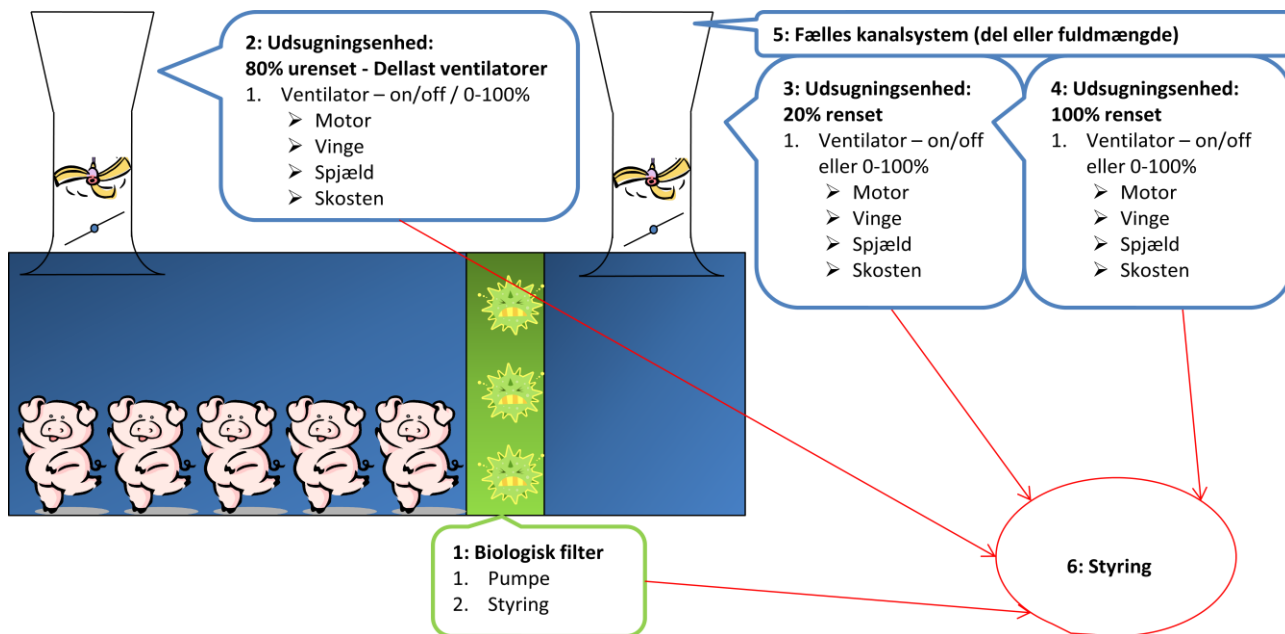
- 100 % luftrensning ca. 10-25 kWh/stiplads/år
- 20 % luftrensning ca. 3-5 kWh/stiplads/år

Det er projektets målsætning at reducere energiforbruget til luftrensning med 30 % og samtidig have en tilbagebetalingstid på max 3 år, så der opnås et godt incitament hos bygherren (landmanden). Systemet skal kunne implementeres under såvel nybyg, renovering, vedligehold og udvidelse.

## 5 Indsatsområder

### 5.1 Indgående komponenter

Som beskrevet i afsnit 3.0 består luftrensningssystemet generelt af følgende komponenter til hhv. fuld (100 %) og delrensning (20 % rensat og 80 % urensat):



Opdelt i enkeltkomponenter udgør mulige indsatsområder:

1. Biologisk filter indeholdende:
  - a. Pumpe til overrisling
  - b. Styring
2. Udsugningsenhed til udsugning af 80 % urensat luft (kun delrensning)
  - a. Driftpunkt 30-50Pa (Ventilator er optimeret i tidligere PSO projekt)
3. Udsugningsenhed til delrensning (20 %):
  - a. Skorsten
  - b. Aksialventilator med elektrisk motor
  - c. Spjæld i skorsten
  - d. Driftpunkt 150-200Pa
4. Udsugningsenheder til fuldrensning (100 %):
  - a. Spjæld til regulering af luftmængden til den enkelte sektion
  - b. Ventilator bank opbygget af flere udsugningsenheder indeholdende:
    - Skorsten
    - Aksialventilator med elektrisk motor
    - Spjæld i skorsten
    - Driftpunkt 150-200Pa
5. Fælles kanalsystem (tryktab)
  - a. Udsugnings påstik i stalden
  - b. Indløb til filtersektion
  - c. Geometrisk udformning
6. Styring og registrering
  - a. Ved hjælp af temperatur og fugtsensorer i stalden, defineres det ønskede flow. På baggrund af dette indstilles ventilatoromdrejning samt reguleringsspjæld. Kører ud fra fast kanaltryk og vindfølsomhed som sikrer driften men øger energiforbruget. Ved at kende aktuelle flow kan det faste tryk i kanalen og sikkerheden for vindpåvirkning reduceres.

Som det fremgår af afsnit 4.3 er energiforbruget fordelt på de enkelte hovedområder umiddelbart:

**Energi ventilation:**

- Ventilation koster ca. 18-20 kWh/stiplads/år
- 100 % luftrensning koster yderligere ca. 20 kWh/stiplads/år
- 20 % luftrensning koster yderligere ca. 10 kWh/stiplads/år

**Energi til BIO3 modul eller Bioflex (pumpe til overrisling mv.):**

- 100 % luftrensning ca. 10-25 kWh/stiplads/år
- 20 % luftrensning ca. 3-5 kWh/stiplads/år

Det giver følgende overordnet indsatsområder som der arbejdes videre med:

**Biofilter:**

- Pumper (Overrisling/lænsning/vasker)
- Styringsstrategi for pumper

**Ventilation (20 % og 100 % rensning):**

- Ventilatorer
- Styringsstrategi
- Tryktab

## 5.2 Indsatsområder Biofilter

I henhold til komponentbestykningen er der foretaget analyse af energiforbruget med udgangspunkt i STALDVENT og konkrete beregninger for kortlægning af indsatsområderne for biofilteret.

Af en overordnede analyse for hele systemet fremgår det, at energiforbruget til pumpedrift til 100 % rensning udgør en væsentlig del af det samlede el energiforbrug i indsatsområderne (fra 30 % til over 50 %).

El energiforbruget til pumpedrift er udelukkende afhængig af fire faktorer:

- Pumpevalg
- Nødvendigt vandforbrug til overrisling herunder fordampning (biomasse)
- Nødvendigt vandforbrug til lænsning
- Nødvendigt vandforbrug til vasker

Da Skov tidligere har pris- og vedligeholds-optimeret pumpevalget og da komponentvalget er yderst kritisk med hensyn til det meget hårde miljø, er det valgt udelukkende at fokusere på reducere vandforbruget.

Reducering af vandforbruget er dog også meget kritisk, da der ikke tidligere er forsket i biomassens nødvendige vandforbrug, og der derfor kun kan fokuseres på fordampningen.

Vandforbruget til overrisling er empirisk udledt igennem mange års erfaring, og der er i projektet og de afsatte resurser ikke mulighed for at dykke dybere ned i dette område, hvorfor der i projektet udelukkende vil blive fokuseret på mulighederne for reducere vandmængden.

### Indsatsområder for Biofilter

- Reducering af vandforbruget til overrisling ved fokusering på fordampningen

### 5.3 Indsatsområder 20%

I henhold til komponentbestykningen er der foretaget analyse af energiforbruget med udgangspunkt i STALDVENT og konkrete beregninger for kortlægning af indsatsområderne for hhv. 20 og 100 % rensning. Analysen er foretaget med udgangspunkt i en 20 %-referencestald, som er konkretiseret senere i rapporten. Analysen er foretaget på sektionniveau og viderebearbejdet til staldniveau for at vurdering af systeminteraktion mellem sektorer.

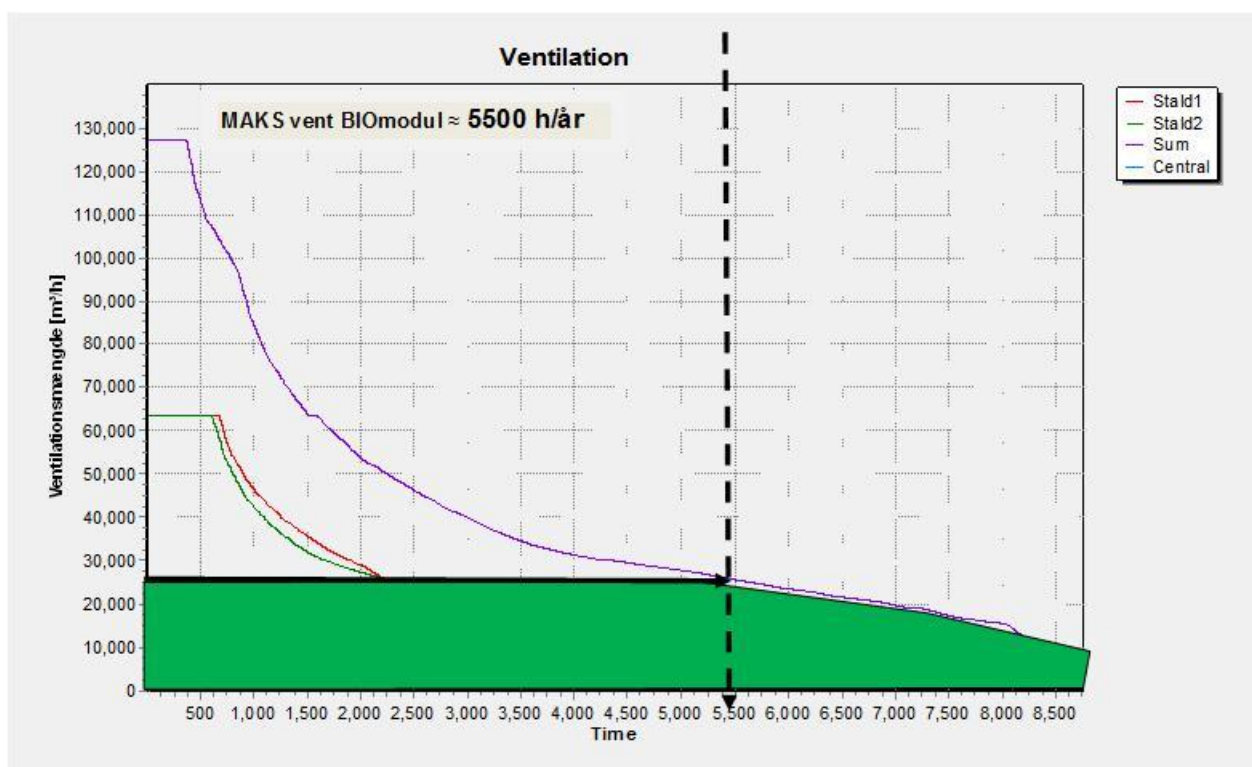


Fig.5.2-1 Varighedskurve for reference stald med 20 % rensning

Fokuseres der i ovenstående varighedskurve for referencestald med 20 % rensning, som udgør analysens resultat, på området tv. for den sorte stiplede linje, (hvor der ikke reguleres på ventilatorydelsen) fremgå det at en stor del af driftstimerne ligger konstant høj ventilatorydelse.

Derfor bør fokus rettes på optimering af energiforbrug ved høj ydelse. Det vil sige optimering af ventilatorerne ved højt differenstryk og luftydelse:

- I referencestalden udsuges der i 5500 timer/året udelukkende gennem biofilteret (63 % af tiden).
- Da de andre ventilatorer der behandler "den ikke rensede luft (80 %) udsuges direkte fra stalden", tidligere er optimeret vil staldens ikke rensende ventilatorer (80 %) ikke indgå i de styringsmæssige overvejelser.

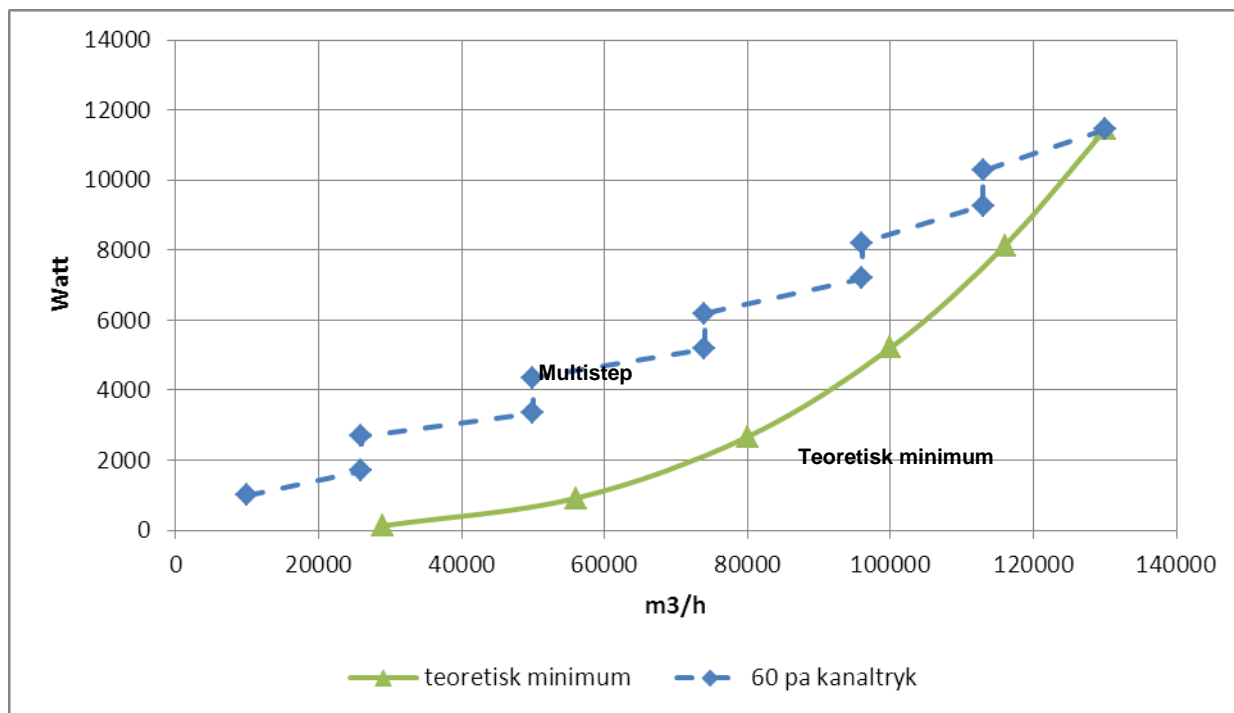
Anvendes der ventilatorer baseret på PM motorteknologi, kan den maksimale ventilationsydelse gennem den biologiske luftrener altid tilpasses behovet.

### **Indsatsområder for 20 % rensning**

- Anvend tidligere udviklet LPC ventilator i biofilter i modificeret udgave med ny motor
- Øg ydelse på LPC ventilator igennem optimering af udsugningsenhedens enkelte komponenter
- Optimer motor (PM motor med øget omdr.tal og opretholdelse af virkningsgrad)
- Reducer tryktab i kanalsystem (flere cirkulære rør pr. sektion)

## 5.4 Indsatsområder 100 %

Der er ligeledes foretaget analyse af 100 % rensning i henhold til komponentbestykning med udgangspunkt i STALDVENT og konkrete beregninger for kortlægning af indsatsområderne. Analysen er foretaget på sektionniveau og viderebearbejdet til staldniveau for at vurdere systeminteraktion mellem sektioner.



Figur 5.3-1 Ventilationsstatistik 100 % rens (med dynamic air)

Som det fremgår af figur 5.3-1 er der et relativt stort teoretisk potentiale i ændring af styreformen fra den oprindelige Multistep styring, som belaster systemet tryktabsmæssigt ved konservativ lukning af spjæld for opretholdes af sikkerhed mod vindpåvirkninger. I analysen er der foretaget simuleringer med Multistep og ny styring (Dynamic Multistep) hvor det forudsættes, at luftmængden til den enkelte sektion kendes og spjældene ikke lukkes på grund af sikkerhed for vindpåvirkning, men udelukkende til regulering af luftmængderne til de enkelte sektioner.

Udgangspunktet er det teoretiske minimum der dog ikke er fuldstændigt praktisk opnåeligt, da ventilatorbanken styres mod et fast tryk i hovedkanalen.



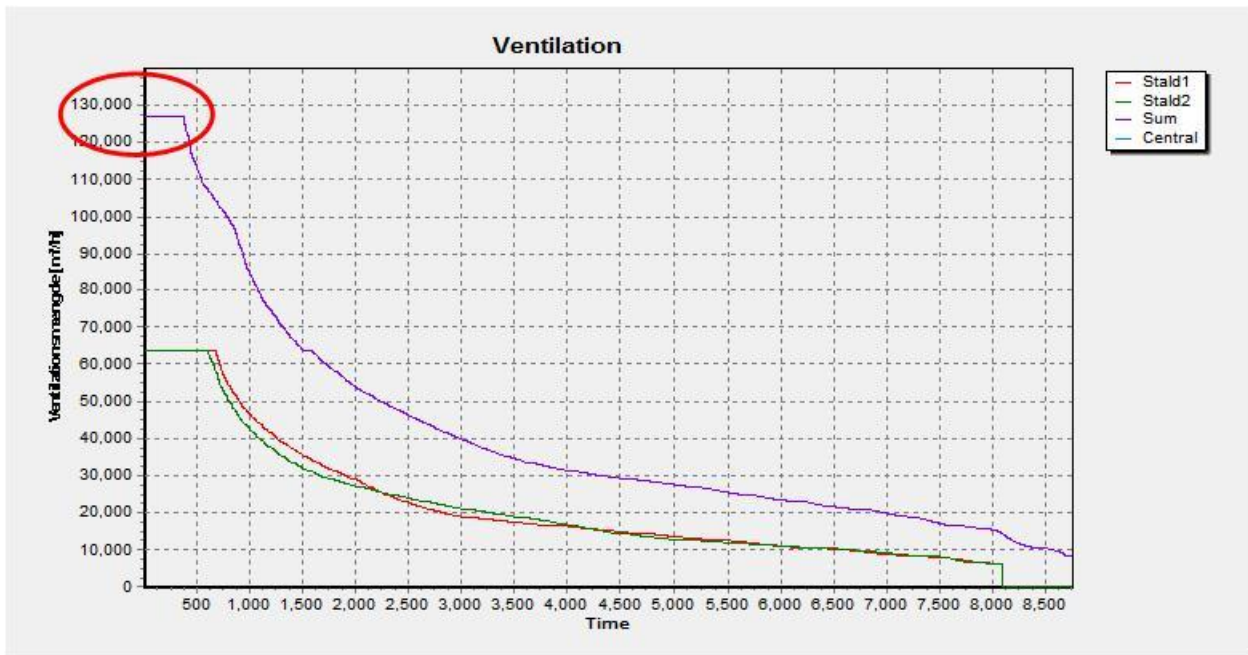


Fig.5.3-2 Ventilationsstatistik 100 % rens (uden dynamic air)

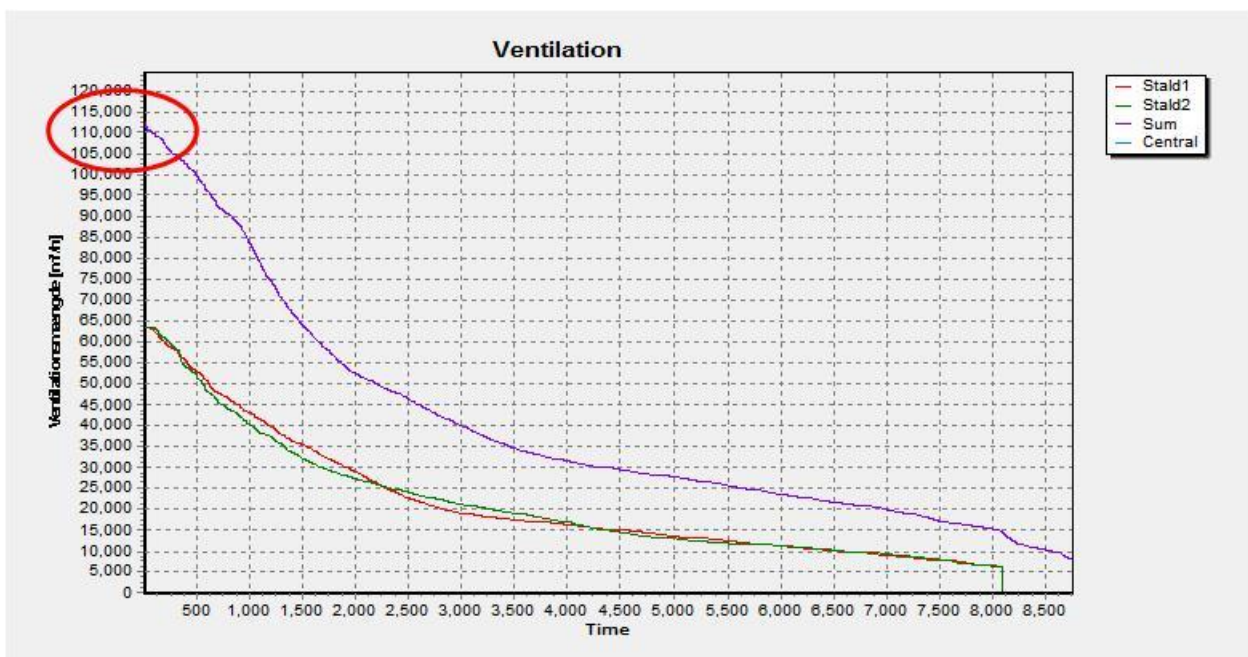


Fig.5.3-3 Ventilationsstatistik 100 % rens (med dynamic air)

Af analyserne fremgår det at varighedskurverne reduceres betydeligt med den reviderede styringsform. Styringsformen forudsætter dog at ventilatorer er fuldt regulerbare og sammenholdt med et stort antal timer ved lav ydelse bør fokus være rettet mod optimering af energiforbrug ved lav ydelse samt udvikling af ny styringsstrategi og komponenter hertil.

Af analysen fremgår det yderligere at:

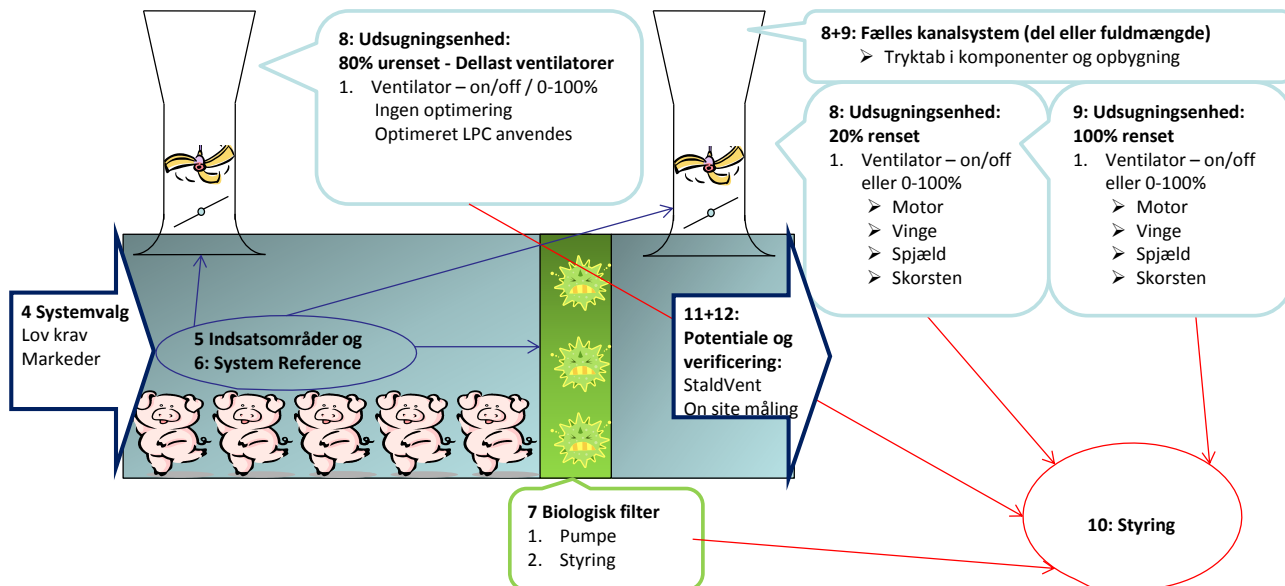
- Kanalen i 100 % rensning er rektangulær og ført over loft med meget lave lufthastigheder, og der er derfor ikke noget væsentligt potentiale med hensyn til reducere tryktab. Det eneste punkt hvor tryktabet skal vurderes er ved indløb til filter med hensyn til afstanden mellem filter og kanaludmunding. Hovedkanalen udgør dog en relativ stor post af den samlede installation, hvorfor en optimering af størrelsen kan frigøre midler til andre komponenter.
- Indsatsområderne bør derfor omhandle ventilatorer og styring af disse.
- Indsatsområderne skal ligge indenfor energioptimering ved lav ydelse, da det er der størstedelen af driftstimerne er.
- Styringsmæssigt er det at fortrække at køre paralleldrif i det øvre område og multistep i det nedre område, hvilket kun er muligt, når alle ventilatorer er regulerbare. Der skal derfor reduceres i antallet af ventilatorer ved at øge ydelsen eller opnå tilstrækkeligt stor besparelse til at fremtvinge et økonomisk incitament.

### **Indsatsområder for 100 % rensning**

- Optimer eksisterende anvendt ventilator DA 920-2 igennem udviklingssamarbejde med underleverandør af ventilator
- Optimer motor i samarbejde med producent
- Udvikling af ny styringsstrategi, software og hardware med paralleldrif i det øvre område og multistep styringsstrategi i det nedre område (Dynamic Multistep)
- Reducer tryktabet vha. styring via Dynamic Air for centraludsug (målt luftmængde ) som muliggør:
  - Ingen/ reduceret bagtryksstyring (sektion med højeste luftmængde vil altid øge tryk tabet til en sektion med lavere luftmængde)
  - Tryktab over loft ved lavere luftmængder kan indgå som variabel i styringen i stedet for nu hvor det indgår som en konstant på f.eks. 30 Pa.

## 5.5 Samlet strategi og indsatsområder

Grundlæggende er fokus i projektet 100 % fuldrensning og 20 % delrensning. 10 % delrensning indgår som et parallelt informationsspor, se bilag. Under disse fokusområder er der valgt følgende indsatsområder og strategi for indfrielse.



Nummeringen følger rapportens nummerering og starter derfor med 6. **Nyudviklede komponenter fremgår med grøn skrift:**

### 6. Reference - Staldvent reference stald og fastlæggelse af parametre

- a. **Udvikling af staldvent projektmodul som kan varetage flere sektioner**
- Opbygning af referencestald til Staldvent simuleringer af design parametre / indsatsområder

### 7. Komponentbasis – pumpedrift

- **Udvikling/ optimering af reguleringsstrategier - drift/ vandmængde ift. fordampning (dyn overrisling)**

### 8. Komponentbasis – 20 % Rensning

- a. Decentral ventilator (80 % urensset - Dellast ventilatorer)
  - i. Ingen optimering - Eksisterende optimeret LPC anvendes
- b. **Central ventilator i Bio Filter (20% rensning – LPC1300)**
  - i. Udsiftning til optimeret LPC1300 med PM motor
  - ii. Optimering af motor (omdrejninger) for højere ydelse
  - iii. Optimering af skorstensenhed
- Kanalsystem – reducer tryktab

### 9. Komponentbasis - 100% Rensning

- a. **Optimer central ventilator i Bio Filter (on/off og variabel) fra Ziahl-Abegg (DA 920).**
- b. Optimering fortages af Ziahl-Abegg mht. DA 920. Alternativ anvendes omdr. optimeret LPC1300
- Kanalsystem – tryktab i indløb til filter og kostpris optimering

### 10. Systembasis - Styrings strategi – udvikling og simulering af Dyn. Air step II

- a. Kortlægge fordelagtig styringsform med dyn.air - Multistep, kaskade, trinløs parallel el. kombination
- b. **Udvikling af ny styringsform og hardware – Dynamic Mutistep (styring) og Dynamic air centraludsugning (luftmåleenhed).**
- c. Reducer tryktabet vha. styring via ny styring uden fast bagtryk
- Tryktab over loft ved lavere luftmængder kan indgå som variabel i stedet for konstant på 30 Pa.

### 11.+ 12 Verificering

- Verificering af Staldvent ved on site forsøg

## 6 Reference

### 6.1 STALDVENT projektmodul beskrivelse

#### Generel beskrivelse

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 udvælge 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 inde-temperaturer, 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 1980'erne og er oprindeligt udviklet af Bygholm og senere overtaget og videreudviklet af DXT. 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.

Staldvent regner oprindeligt kun på sektionbasis, og der er derfor i projektet udviklet et projektmodul (program) der medtager flere sektioner, da en stald typisk er opdelt i flere sektioner. Hver enkelt sektion har sit ventilationsbehov, men ved luftrensning er flere sektioner ofte helt eller delvist ventileret af samme anlæg, hvorfor samhørighed mellem sektionerne er af stor betydning for energiforbruget og dimensioneringen.

Projektmodulet tager dermed højde for autoriteten i systemet, det vil sige at det tager højde for at der i den ene sektion kan være forskellige behov i forhold til en anden. I en sektion kan der være et behov for 100 % luftmængde, hvilket kræver 60 Pa i hovedkanalen og i en anden kan der være et behov for 20 %, hvilket kræver et lavere tryk i hovedkanalen eller lukning af spjældet i den enkelte sektion. I projektmodulet lukkes de resterende spjæld i systemet, i forhold til den største forbruger, selvom det ikke er krævet i de andre sektioner med mindre behov, ellers vil flowet til en mindre krævende sektion også have 100 % luftmængde, når en hvilken som helst anden sektion havde behov for 100 %. Dette øger tryktabet men reducerer samtidig flowet og sikre forhold der ses in real.

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.

## Oversigt over inddata og resultater

Sektionere defineres i Staldvent og overføres i projektmodul som regner på alle de definerede sektioner i samhörighed. Projektmodul leverer sumkurver, driftskurver, månedskurver og dagskurver.

Simulering foretages typisk over 3 år dvs. fra uge 1 til uge 156, hvor de sidste 2 år er repræsentative. Udover 84 dages produktionstid afsættes der normalt 7 dage med tom stald mellem holdene, hvor der ikke regnes med ventilation og opvarmning af den tomme stald. I simuleringen opbygges identiske sektioner 1 til 8, hvor holdene indsættes med 7 ugers mellemrum.

Styringsmæssige ind- og output for det nyudviklede projektmodul, er overordnet gengivet nedenfor til information for brugere af programmet i projektmodul. Klima og opvarmningsparametre fremgår af afsnit 6.2.

### Input til 100 % rensning:

**Tryktab** Tryktab defineres i projektmodul:

- Fra ude til hoved kanal = sektionen (husk diffust loft er lineær tryktab)
- Hoved kanal + filter (logaritmisk tryktab) = hoved systemet

**Styring** 1 af 3 reguleringsstrategier/ anlægskarakterstikker (reguleringskurve lægges ind særskilt) vælges for "kanalsystemet":

- Konstant trykdifferens  
Max dimensionerende tryk 120 Pa. Føler placeret i 2/3 punktet i hovedkanalen.
- Konstant tryk reserve  
Intelligent VAV med fx 5 Pa overskudstryk i kanal i forhold til behovet
- Ideel  
Følger behovet – intelligent VAV uden trykreserve

For styring af "ventilatorbanken" er der yderligere muligheder for følgende styringsstrategi:

- Multistep
- Udkobling af ventilatorer
- Alle regulerbar

**Reference** Stald reference indlægges særskilt

Det skal hertil nævnes, at andre firmaer udover SKOV typisk vil anvende alle regulerbare i stedet for Multistep eller udkobling.

Der er også mulighed for udetemperaturkontrolleret styring, som flytter SP for trykket iht. udetemperaturen. Det tillader højere tryk = flow ved høje udetemperaturer og lavere tryk ved lavere udetemperatur, hvilket reducerer energiforbruget på grund af lavere styre (drøvl) -tryk i hovedkanalen.

## Input til 20 % rensning:

**Tryktab:** Angivelse af tryktabet er forskellig fra 100 % da der er skal indlægges to forskellige varighedskurve for de to ventilatorer pr. sektion samt en varighedskurve for centralandelen. Forskellen gør også denne model meget sværere at simulere på grund af de to systemer.

**Styring:** Reguleringskurve kan defineres i staldvent, så der er mulighed for at samkører forskellige reguleringsstrategier fx indkoble trinløs parallel i et område og multi-stepi et andet.

Samtidigheden gives der mulighed for ved samme luftmængde at rense mindre på grund af at der ikke renses på sektionsbasis, men på hele stalden.

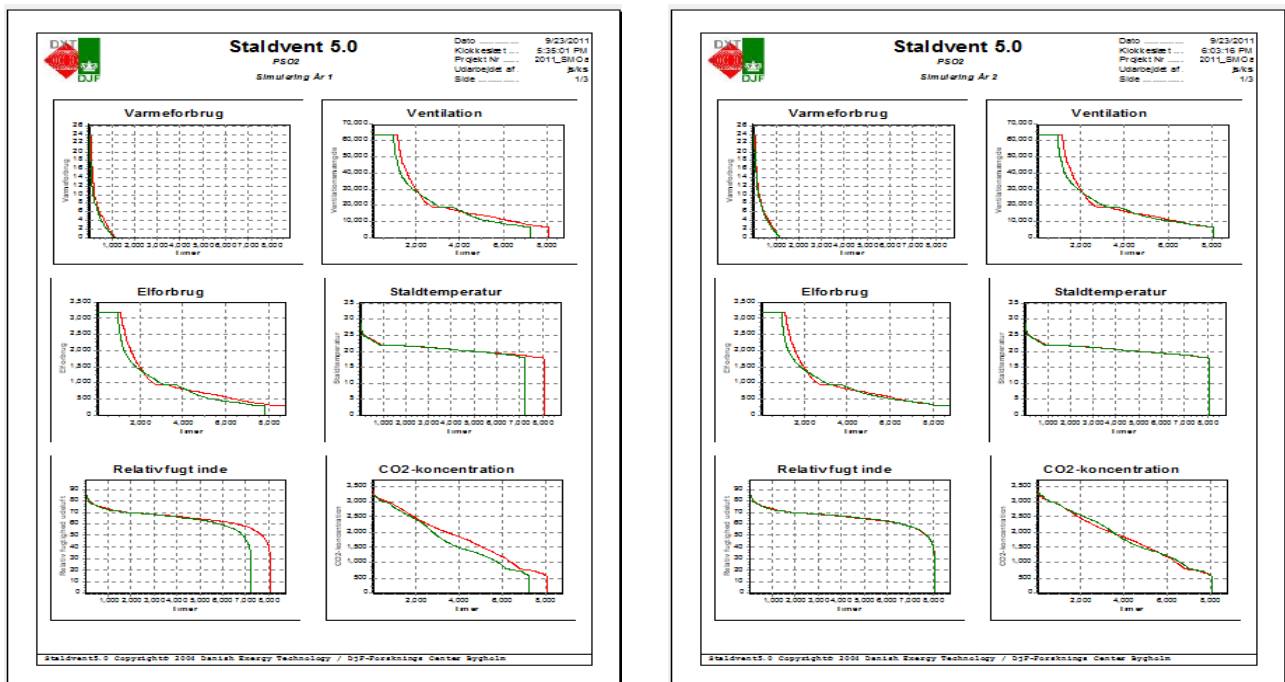
**Reference:** Stald reference indlægges særskilt.

En tabel over inddata samt nøgletal for simulering er vist i figur 6.2-1. For oven ses at der i eksemplet, med undtagelse af *Startuge* er de samme forudsætninger som er benyttet for begge simuleringer af de to sektioner (1 og 7). Pr. produceret gris ses for neden, at det gennemsnitlige energiforbrug til opvarmning af sektion 1 og sektion 7 er hhv. 3,27 og 3,02 kWh og elforbrug til ventilation hhv. 3,87 og 3,78 kWh pr. produceret gris.

Parameter / Simulering		1	2
Simuleringstitel	--	Basis01_SMOa	Basis07_SMOa
Referencefil	--	DRYREF	DRYREF
Startuge for simulering	--	1	7
Slutuge for simulering	--	156	156
Antal varmeproducerende enheder start	kW	87,0	87,0
Antal varmeproducerende enheder slut	kW	163,2	163,2
Staldtemperatur start	°C	22,0	22,0
Relativ fugtighed start	%	70,0	70,0
Staldtemperatur slut	°C	18,0	18,0
Relativ fugtighed slut	%	80,0	80,0
Aktivitetsprofil	--	NA	NA
Max ydelse ventilationsanlæg	m <sup>3</sup> /h	63800	63800
Min ydelse ventilationsanlæg start	%	10,0	10,0
Min ydelse ventilationsanlæg slut	%	16,0	16,0
Elforbrug ved max ydelse	W	3190,0	3190,0
Minimum elforbrug ventilation	W	10,0	10,0
Reguleringssystem	--	4	4
Fugtstyring Ja/Nej	--	Ja	Ja
Regulerings prioritet	--	Temp.	Temp.
CO2-styring Ja/Nej	--	Nej	Nej
Setpunkt CO2-styring	Vppm	3500	3500
Max varmeeffekt	kW	24,0	24,0
Varmetilførsel op til x% af max vent	%	30,0	30,0
Varmeforbrug pr produceret dyr	kWh	3,27	3,02
Elforbrug pr produceret dyr	kWh	3,87	3,78

Figur 6.2-1. Inddata og resultater for simulering af 3 års drift.

En grafisk præsentation af resulterende energiforbrug og indeklima er vist i figur 6.2-2. Forskellen mellem de to sektioner skyldes i år 1 forskydning i opstart på 84 dage. I år 2 forsvinder effekten af de forskellige starttidspunkter.



Figur 2. Varighedskurver for klima og energiforbrug i to staldektioner for år 1 og år 2.

## Validering

Under udviklingen af programmet er der foretaget en løbende validering med måling på en faktisk stalld – E.V.A. med 40% rensning og sammenlignet med en standard gennemregning i Staldvent med 3 forskellige styringsformer. Tendensen mellem styringsformer og beregningen har været god, men energiforbruget i Staldvent har dog ligget over i alle tilfælde.

Årsagen har været ukorrekt vejrdata, da vejstation i nærheden af stalden ikke har været mulig, samt uens holdskifte imellem simuleringen og faktiske holdskifte. Valideringen har vist vigtigheden af korrekte klimadata og faktiske ændringer i stalden. Den sluttelige validering i projektet er valgt til anden stalld, hvor korrekte data kan forefindes og fremgår af afsnit 12/ bilag 8.

## 6.2 Staldvent referencetalde og fastlæggelse af parametre

Til vurdering af de enkelte parametervariationer/ komponenters optimerings indflydelse i systeminteraktion, er der opbygget 3 referencestaldmodeller til simulering i STALDVENT PROJEKTMODUL, som svarer til det typiske opførte stalde for hhv.:

- Ingen rensning
- 20 % delrensning
- 100 % fuldrensning

Alle referencestaldes bestykningen og detaljer fremgår af bilag 1 til 4.

Referencestaldmodellerne er fastlagt med nedenstående konstanter, for at reducere parametervariationer i simuleringen:

- 2 sektioner
- Nyt hold uge 1, 4, 7 og 10 (sektion 1 uge 1 og 7) (sektion 2 uge 4 og 10)
- 1 hovedkanal uden rensning (sammenligning med decentrale enheder)
- Temperatur start 22°C, slut 18°C. Ved indsætning regnes med en indstillet rumtemperatur på 22 °C, der holdes konstant den første uge, hvorefter den sænkes til 18 °C ved levering. Konstant temperatur med start 20 °C, slut 20 °C kan være problematisk med hensyn til 100 % rensning
- Stald dimensioneret til -10 °C ude og +25 °C inde
- 100 m<sup>3</sup>/h pr. slagtesvin
- Varmeanlæg udlagt for RH (hvilket medfører, at der kan opvarmes samtidig med der udsuges på grund af RH skal reduceres)
- Max 100 m<sup>3</sup>/h pr. slagtesvin
- RH start 70 %, slut 80 % (RH vil ændre på varmetilførslen og dermed ventilationsbehovet, hvorfor denne skal fastlægges)
- Svinene opfedes fra 35 til 102 kg
- Varmeproduktion i henhold til vpe-modellen (Strøm/Feenstra 1981).
- Minimum luftmængde ved indsætning er 10 %, og minimum ved levering 16 %
- Med dyr i stalden tillades der varmetilførsel op til 30 % af max. ventilation for at undgå unødigt varmetilførsel til fugtoverstyring i milde, fugtige perioder.
- Fugtoverstyring og en øvre CO<sub>2</sub> grænse på 3.500 ppm

Hardwaremæssigt anvendes der i 20 % rensning et biomodul, som renser 20 % af den projekterede max luftmængde pr. 2 sektioner og den resterende luftmængde tilvejebringes via udsugningsenheder i loftskonstruktionen.

Hardwaremæssigt anvendes der i 100 % rensning et samlet rensemodul opbygget på stedet, som renser 100 % af luftmængde pr. 2 sektioner.

Måleparameter er fastlagt til kWh/stiplads/år.



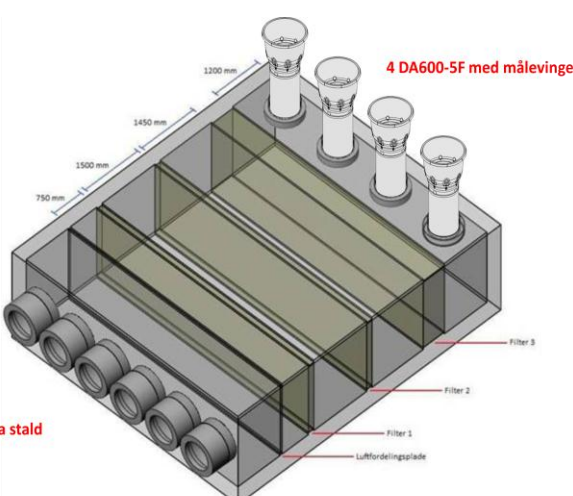
## 7 Udviklings aktiviteter – Biofilter

### 7.1 Reference

Optimeringen er foretaget med udgangspunkt i referencestald 4 (konkret slagtesvinestald i Jylland) med 100 % rensning som projektgruppen har været ude at inspicere. Staldens specifikationer fremgår af Bilag 4.

På stalden foreligger der logning af data over en længere referenceperiode uden optimeret komponenter i forbindelse med VERA gennemgang og rapport.

Stalden er bestykket med 100 % luftrensning direkte fra stalden. Luftrensningens systemopbygning og bestyknings fremgår af nedenstående figur og tabel:

	Parametre	Bio Flex 100 % rensning
	Dyrekategori	30-350 kg slagtesvin
	Drift	Holddrift 100 dage pr hold, 5 dage mellem hold
	Foder	Tørfoder ad libitum
	Gulvtype	1/3 drænet, 2/3 fuldpartlet
	Luftindtag	30 vægventiler DA1200
	Kanal	6 x DA600 rør med afkastkonus
	Luftudtag	4 x nedenstående: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Indløbstragt</li> <li>• Drejespjæld</li> <li>• DA 600-5f, trinløs</li> <li>• Afkastkonus</li> </ul>
	Staldlængde	14,40 m
	Staldbredde	19,68 m
Loftshøjde	2,80 m (åben til kip)	
Taghældning	30°	

Nøgletallene for stalden fremgår af nedenstående:

- Ekstra tryktab på 30Pa over ekstra filtre som kræves i henhold til tysk lovgivning.
- Da det er en ventilstald, er der et stort tryktab på 10 Pa
- 33 kWh/stiplads pr. år til ventilatordrift
- 16 kWh/ stiplads pr. år til pumpedrift

## 7.2 Udviklings aktivitet

Som beskrevet i afs. 5.4 er det valgt udelukkende at fokusere på reducere vandforbruget.

Af en gennemgang i reference stald 4 fremgik det at over 80 % af energiforbruget vedrørende pumpedrift går til overrisling af filtre. Ved nedregulering af luftmængden bør vandgennemstrømningen kunne reduceres proportionalt med en ny styring af pumperne.

Reducering af vandforbruget er dog også meget kritisk, og udviklingen er derfor foregået i tæt samarbejde med SKOV's R&D mikrobiologisk afdeling for at sikre opretholdelse af biofilm på filterne.

Udgangspunktet har været at fokusere på at vandforbruget til overrisling af filterne skulle reduceres til fordampningen samt den nødvendige vandmængde til opretholdelse af biofilmen, så unødigt vandforbrug udgås.

Vandforbruget til fordampning er stærkt afhængigt af den aktuelle luftmængde som ventilatorbanken leverer over filteret, hvorfor denne skal kendes. En forudsætning der opfyldes med styringen Dynamic Multistep og flowmålingen, Dynamic Air til central udsugning, som er udviklet og beskrives senere i projektet.

Ud fra forsøg i reference stalden, års lange empiriske data, samt fordampningsbalance og mikrobiologisk massebalance for filtrene, er der i projektet kommet frem til en styringsstrategi som anført nedenfor og som af prismæssige årsager er det valgt at til og/off regulering:

Vent. Ydelse %	Off-tid (s)	Off-tid (min)	Cyklustid (s)	On tid *) %
100	160	02:39	300	<b>47</b>
90	175	02:54	315	<b>44</b>
80	193	03:12	333	<b>42</b>
70	215	03:34	355	<b>39</b>
60	242	04:02	382	<b>37</b>
50	278	04:38	418	<b>33</b>
40	326	05:26	466	<b>30</b>
30	395	06:34	535	<b>26</b>
20	499	08:19	639	<b>22</b>
10	680	11:19	820	<b>17</b>
0	1063	17:43	1203	<b>12</b>

ON-tiden er altid den samme (140 s) og cyklustiden er deraf on+off

På baggrund af styringsstrategien og luftflow inputtet fra Dynamic Air til central udsugning, er der i projektet udviklet en strategi for ny pumpestyring "Dynamic Overrisling", som regulerer pumpedriften på baggrund af luftmængden over filteret. Resultaterne ved at implementere pumpestyringen fremgår i efterfølgende afsnit.

### 7.3 Resultat

Reference energiforbruget (uden Dynamic overrissling) i reference stald 4 fremgår af nedenstående figur:

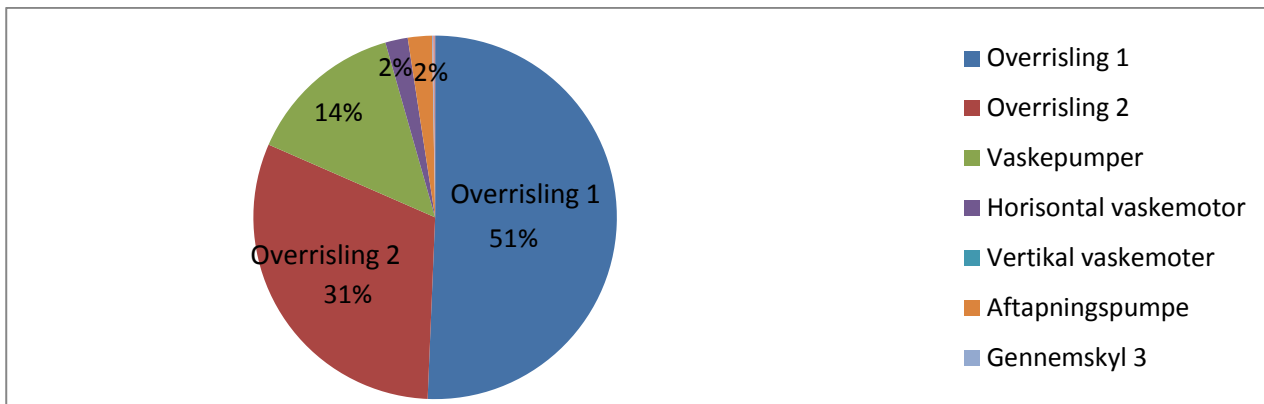


Fig. 7.3-1 BIO Flex, Dynamisk overrissling

Af figuren fremgår at overrisslingen er konstant og udgør 82 % af det samlede energiforbrug til biomodulet (ekskl. ventilatorer). Ved installation af den nye pumpestyring; Dynamic overrissling reduceres effektoptaget betragteligt, som angivet i nedenstående energisignaturer for hhv. BIO Flex, Normal drift og Dynamisk overrissling, simuleret i STALDVENT:

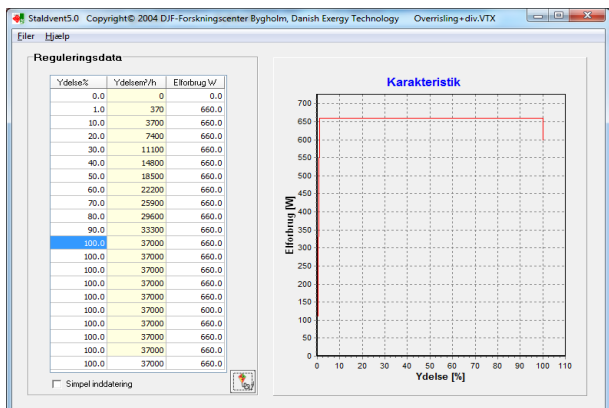


Fig. 7.3-2 BIO Flex, Normal drift

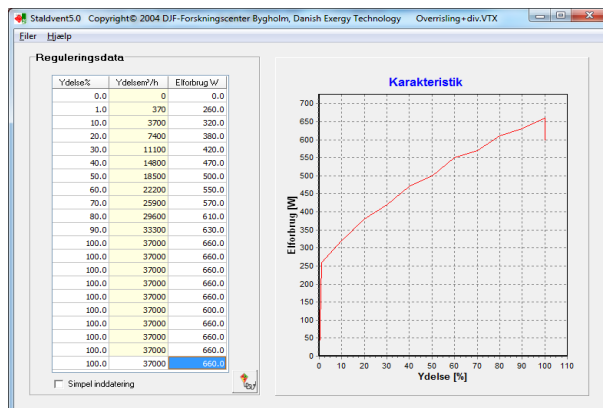


Fig. 7.3-3 BIO Flex, Dynamisk overrissling

Samlet stationære resultat med og uden den nye styringsform - BIO Flex, Normal drift og Dynamisk overrissling fremgår nedenfor:

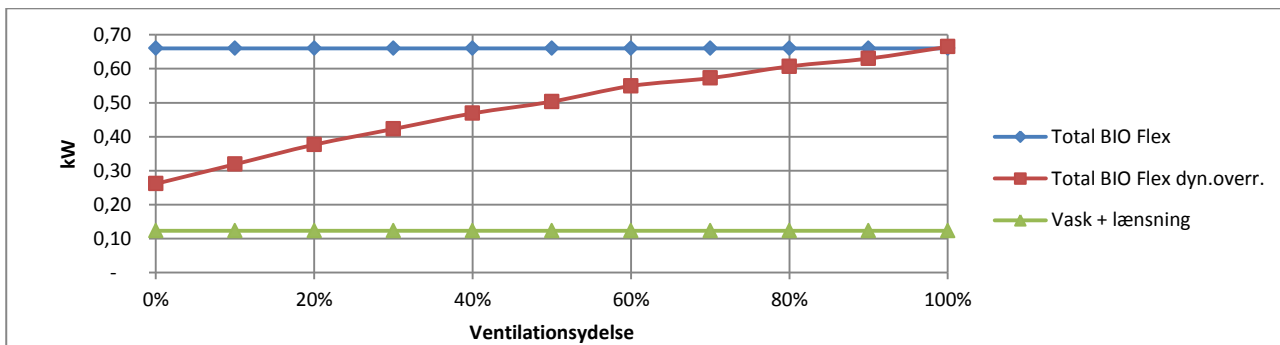


Fig. 7.3-4 BIO Flex, Normal drift og Dynamic overrissling

Simulering af resultaterne med styringen i referencestalden viser at energiforbruget til pumpe- drift reduceres med 37 % med den nye styring, over en etårig periode:

Pumpedrift til BIO Flex luftrensere	kWh/år	kWh/stiplads/år
Målt 1 års VERA test – Bioflex (reference)	<b>5544</b>	<b>16</b>
StaldVent simulering Bioflex (reference)	<b>5501</b>	<b>16</b>
StaldVent simulering dyn. overrisling	<b>3569</b>	<b>10</b>

Fig. 7.3-5 BIO Flex, Normal drift og Dynamic overrisling måling

## 7.4 Validering

Som det fremgår af figur 7.3-5 er resultaterne verificeret med simulering af driftsforholdene i referencetilstand over en 1 årig periode, sammenlignet med energiforbruget målt over en periode på 1. år, angivet i VERA test rapporten. Resultaterne ligger indenfor 1%.

Det har ikke været muligt i det indeværende projekt også at validere den nye styringsform ved direkte måling over 1 år på grund af projektperiodens længde.

## 7.5 Delkonklusion - biomodul

Dynamic overrisling reducerer det samlede energiforbrug til bioflexmodul med 37 % i referencestalden med 100 % rensning. Resultatet er yderst tilfredsstillende.

## 8 Udviklings aktiviteter – 20 % rensning (komponentbasis)

### 8.1 Reference

Optimeringen er foretaget med udgangspunkt i referencestald 2 med 20 % rensning, som svarer til typiske opførte stalde med delrensning. Staldens specifikationer fremgår af Bilag 2.

Referencestaldmodellens klimaparametre fremgår af afsnit 6.2.

Hardwaremæssigt anvendes der i 20 % rensning et biomodul, som rensrer 20 % af den projekterede max luftmængde pr. 2 sektioner, og den resterende luftmængde tilvejebringes via udsugningsenheder i loftskonstruktionen.

Luftrensningens systemopbygning og bestykning fremgår af nedenstående specifikationer:

<b>Stald:</b>	<b>4 stk. slagtesvinesektioner á 638 dyr, 35-102 kg.</b>
Ventilationsprincip:	<b>Diffus udregnet efter holddrift</b>
Staldlængde:	36 m
Staldbredde:	12,8 m
Væghøjde:	2,6 m
Lofthældning:	0 °C
Taghældning:	20 °C
Luftbehov:	63.800 m <sup>3</sup> /t
Luftskifte:	53 gange/t
Luftindtag:	Diffust loft
Udsugning:	<u>0-23,5 % luft (fuld udnyttelse af BIO3U, delrensning)</u> Trinløs 1: DA 600 påstik, ydelse 7.500 m <sup>3</sup> /t Trinløs 1: DA 600 påstik, ydelse 7.500 m <sup>3</sup> /t  <u>23,5-100 % luft (loftudsug, undertryk 30 Pa)</u> Trinløs 2: 1 stk. DA 600 LPC 230v. ydelse 12.400 m <sup>3</sup> /t Multistep 1: 1 stk. DA 600-3 230v. ydelse 10.400 m <sup>3</sup> /t Multistep 2: 1 stk. DA 600-3 230v. ydelse 10.400 m <sup>3</sup> /t Multistep 3: 2 stk. DA 600-3 230v. ydelse 20.800 m <sup>3</sup> /t <b>Total luftydelse: 69.000 m<sup>3</sup>/t = 108 m<sup>3</sup>/t/stiplads</b>

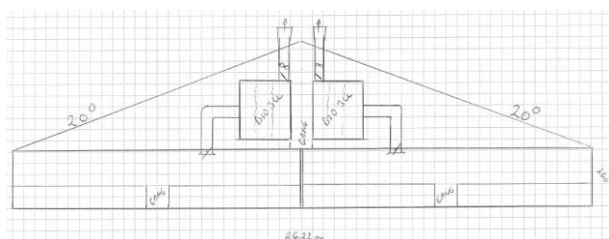


Fig. 8.1-1 Snit af 20 % reference stald

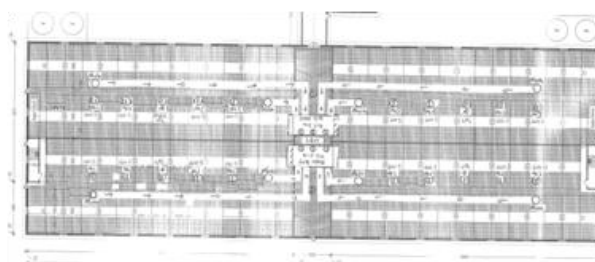


Fig. 8.1-2 Plan af 20 % reference stald

## **8.2 Decentral ventilator (80 % urensset - dellast ventilatorer)**

Da ventilatorerne der behandler den ikke rensede luft (80 %) udsuges direkte fra stalden tidligere er optimeret og hovedparten af luften udsuges i gennem Biomodulet (biofilteret) er indsatsområdet udelukkende biofilterets komponenter (se afs. 5.3), dog vil staldens ikke rensede ventilatorer (80 %) indgå i de styringsmæssige overvejelser og samlede resultat og validering, senere i dette afsnit.

### 8.3 Central ventilator i Bio Filter (20% rensning – LPC turbo/Tunet)

Som beskrevet i afsnit 5.3 er indsatsområder for 20 % rensning:

- Udskift nuværende DA600-5 med tidligere udviklet LPC ventilator i biofilter i modificeret udgave med ny motor
- Øg ydelse på LPC ventilator, så 3 ventilatorer kan erstattes med 2 igennem:
  - Optimer motor (PM motor med øget omdr.tal og opretholdes af virkningsgrad)
  - Optimering af enhedens enkeltkomponenter

Nuværende ventilatorer i biofilter udgør 3 stk. DA600-5 (1 stk. frekvensstyret og 2 on/off).

Udgangspunktet i de følgende optimeringsforløb er en bestykning i biofilteret med 2 nye LPC ventilatorer optimeret til  $1500^{\circ}/_{\text{min}}$ , samt pris- og ydelsesoptimeret til filterdrift (tryk og luftydelse).

LPC-ventilatoren er udviklet i tidligere PSO-projekt. Fokus er rettet mod ny motor som øger omdrejningstal fra  $1100-1500^{\circ}/_{\text{min}}$  og samtidig opretholdes af effektiviteten, så antallet af ventilatorer kan reduceres fra 3 til 2 og dermed reducerer den samlede udgift til ventilatorbanken.

Ved at gå fra 3 til 2 ventilatorer kan energiforbruget umiddelbart reduceres med 10 %, pga. optimeret drift. Dog vil tryktabet i afkastkanalerne stige på grund af øget hastighed. Hvis tryktabet reduceres, vil det have stor betydning for energiforbruget.

Vurderingsparameteren i de følgende afsnit om ventilator og motor er den samlede effektivitet, angivet som totalvirkningsgraden for ventilator og motor, beregnet på baggrund af det statiske tryk (virkningsgrad for ventilator og motor tilsammen) – se evt. bilag 10. Således er ventilator- og motorvirkningsgrad separat højere end det angivet totalniveau, da en ventilatorvirkningsgrad på 50 % og en motorvirkningsgrad på 50 % giver en totalvirkningsgrad på 25 %. Denne parameter er anvendt, da det er systemet der betragtes og den endelige energibesparelse er på baggrund af dette.

Der er løbende foretaget vurderinger i forhold systemniveau som samlet er angivet under afsnit 11, hvor delkomponenternes samlede indflydelse på systemniveau er simuleret og vurderet.

### 8.3.1 Ventilator

En ventilator har et optimalt arbejds punkt. Flyttes arbejds punktet henholdsvis til venstre- eller til højre for dette punkt i ventilators kapacitetskurve, vil der opstå forskellige fænomener ved vingen, som resulterer i mange små tab der akkumuleret, kan ses på virkningsgradskurven. På den nedenstående figur, er søgt illustreret hvad der sker ved i afhængighed af hvor ventilatoren befinder sig er på arbejds kurven.

Figuren illustrerer visuelt, hvad der sker, hvis arbejds punktet flyttes henholdsvis til venstre eller højre fra den maksimale virknings grad (punkt d).

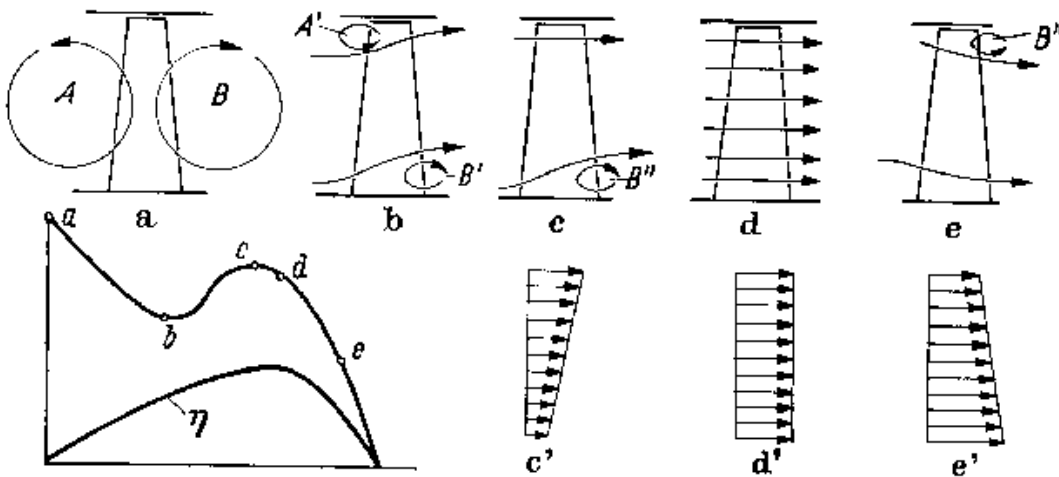


Fig. 8.3.1-1 Illustration af strømningforhold

- a Ventilatoren kan ikke få luft eller komme af med den og "pisker" derved i den samme luft.
- b Ventilatoren kan ikke få nok luft at arbejde med og lufthastigheden er lavere ved vingens tip end rod, og der dannes turbulens ved tip og rod.
- c Ventilatoren kan ikke få nok luft at arbejde med og lufthastigheden er lavere ved vingens tip end rod, og der dannes turbulens ved vingens rod.
- d Ventilatoren arbejder optimalt, lufthastigheden er jævn henover hele vingen.
- e Ventilatorens omdrejninger er blevet for høje, så lufthastigheden ved vingens tip er blevet så høj at der er opstået turbulens.

Tabet i ventilatoren kan normalt opskrives som

1. *Profildrag*. Skyldes skinfriktion og trykdifferens omkring de enkelte vinger.
2. *Sekundært drag*. Opstår som følge af sekundære strømninger ved vingernes tip og rod.
3. *Annulus drag*. Opstår bl.a. ved overgangen fra fuldt rør til annulus som følge af friktion ved kanal og nav under accelerationen af luften.



4. *Diffusor tab.* Opstår ved overgangen fra annulus til fuld rørdiameter efter rotoren.
5. *Swirl tab.* Tab af luftstrømmens primære rotation, swirl. Denne rotation udnyttes ikke i en blæser uden stator.
6. *Tip tab.* Tab pga. tipklaring, dvs. luftspalten mellem vingetippen og kanalvæggen er for stor, så luften bevæger sig, henover tippen, fra tryk- til sugesiden på vingen.

Aksialventilatorens absolutte største tab fremkommer af Tiptab (6) og Swirvltab (5), som hvis ventilatoren vel og mærket er korrekt udformet udgør op mod 80 % af ventilatorens tab. Disse tab kan afhjælpes med henholdsvis lav tipfrigang og diffusor samt stator. Erfaringerne viser, at virkningsgraden kan øges op til 80 % ved disse tiltag.

Da det ved tidligere optimeringer af LPC-ventilatoren har vist sig at swirvltabet er relativt lille og at det er urentabelt at udforme en stator til at afhjælpe dette, er der fokuseret på tabet i ventilator indbygningen/ skorstenen (3, 4 og 6 iht. ovenstående tab). Det er dog testet om swirvltabet kan afhjælpes med SKOV's eksisterende "miljø kryds", som anvendes til at øge kastelængden. Tabene udgør:

- Tip tab (6) - Reducering af tipfrigang
- Tab omkring udløb (4) - Ændring af udløb fra ventilator
- Strømningstab omkring ventilatoren pga. turbulenser (3) -strømnings optimering af ventilatorens delkomponenter
- Swirvltab (miljøkryds)

Ventilatoroptimeringen tager som tidligere nævnt udgangspunkt i opretholdelse af effektivitet ved øget omdrejningstal. Motor er indledningsvis udskiftet til større motor af samme type, hvor omdrejningstallet er øget fra det oprindelige 1100 til 1500 omdrejninger pr. min.

Alle designparametre tager udgangspunkt i teoretiske overvejelser, heraf udførelse og opmålinger og vurderet i forhold til de kostprismæssige konsekvenser.

Ventilatoroptimering har ikke i alle tilfælde haft den optimale effekt, da ventilatoren er en lavtryksventilator og derfor ikke følger de normale modellove.

Alle målinger i de følgende afsnit er gengivet i bilag i fuldside størrelse.

### 8.3.1.1 Opretholdelse af effektivitet ved øget omdrejningstal

LPC- ventilatoren er testet ved et øget omdrejningstal fra det oprindelige 1100 til 1500 omdrejninger pr. min.:

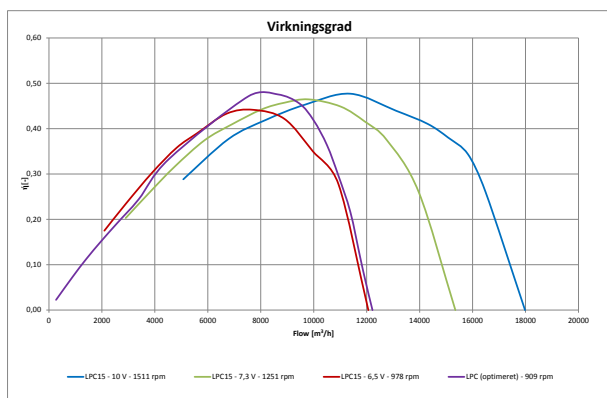


Fig. 8.3.1.1-1 LPC 15 ved forskellige omdr. ift. LPC

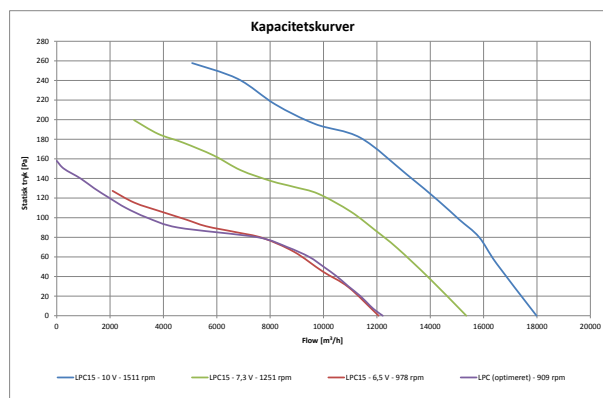


Fig. 8.3.1.1-2 LPC 15 ved forskellige omdr. ift. LPC

Af målingerne fremgår det at den nye LPC ventilator (herefter benævnt LPC 15) opretholdte totaleffektiviteten med et øget omdrejningstal (motor + ventilator).

Den øgede ydelse muliggør anvendelse af 2 ventilatorer i stedet for 3, hvilket muliggør anvendelse af dyre komponenter som PM-motorer (se afsnit 8.3.2).

#### Vurdering:

- LPC opretholder kapaciteten ved øget omdrejningstal (LPC 15)
- Kapaciteten øges tilstrækkeligt til at to nye LPC 15 kan erstatte eksisterende 3 stk. DA600-5
- Det er prisen der er bestemmende for om parametervariationen anvendes

### 8.3.1.2 Reducering af tipfrigang

LPC- ventilatorens tipfrigang er reduceret. For at prisoptimere løsningen, er optimeringen konstrueret som en mulig ad-on (herefter benævnt AD-ON-TIP), da en evt. ændringen i skorstens diameter vil betyde nye meget høje omkostninger til udvikling af nye sprøjteværktøjer til plaststøbningen af alle skorstens delelementer.

AD-ON-TIP er udført som et indlæg i kanalen mellem skorsten og ventilatorens vinge. Udførelsens er af formstabil materiale (stål eller aluminium), da skorstene er udformet i plast som er relativt blødt og uformstabil, og det er af stor vigtighed at vingen ikke rammer karmen.

Der er afprøvet forskellige former på tilløb af afløb samt længder af AD-ON-TIP, hvoraf den mest effektive fremgår nedenfor:

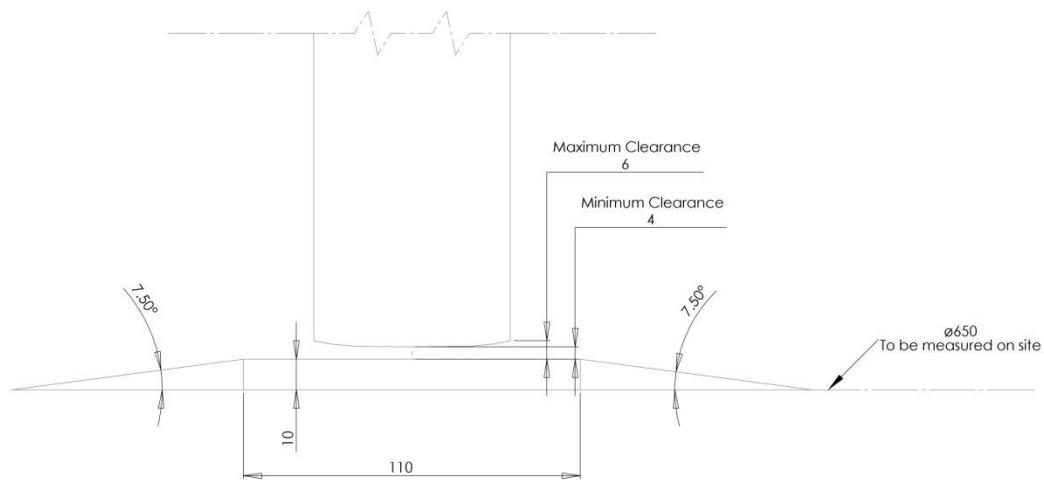


Fig. 8.3.1.2-1 AD-ON-TIP

## Resultat

Resultatet af optimeringen fremgår af nedenstående kurver:

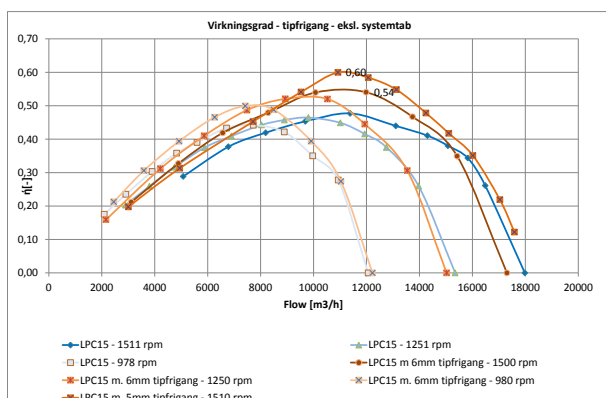


Fig. 8.3.1.2-2 LPC 15 ved forskellige tipfrigange. Virkningsgrad ekskl. systemtab

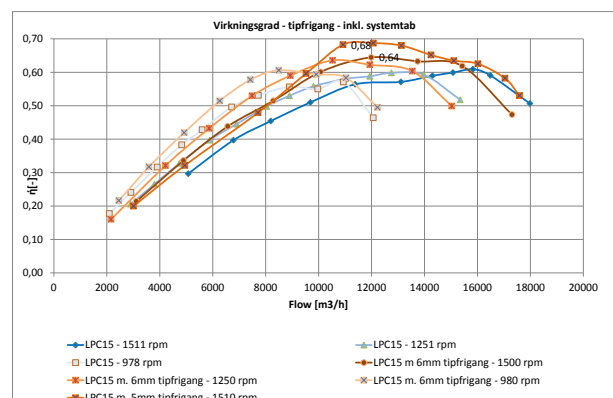


Fig. 8.3.1.2-3 LPC 15 ved forskellige tipfrigange. Virkningsgrad inkl. systemtab

Af målingerne fremgår det at:

- Effektiviteten er yderst afhængig af tipfrigangen også ved lavtryksventilatorer
- Den øgede effektivitet som er resultat af den reducerede tipfrigang opretholdes ved lavere omdrejninger
- Reduceres tipfrigangen til 6 mm øges den statiske total effektivitet i optimum fra 47 % til 55 %
- Reduceres tipfrigangen med yderligere 1 mm fra 6 mm til 5 mm, kan den statiske totaleffektivitet i optimum øges fra 55 % til 60 % ved 1500 rpm (68 % uden system tryktab)
- Den statiske totalvirkningsgrad på 68 % (5 mm tipfrigang) er inkl. motor og ventilator uden tryktabet i kanalsystemet. Dette betyder at motor og ventilator hver for sig skal have en virkningsgrad på:

<b>Eta motor</b>	<b>Eta ventilator</b>	<b>Total eta</b>
<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>
70	99	69
80	86	69
83	83	69
90	77	69
100	69	69

- Da det ikke kan forventes at en lavtryksventilator kan blive signifikant meget bedre bør der hovedsageligt arbejdes videre med optimering af kanalmodstanden (udløb):

### **Vurdering**

- Den statiske totalvirkningsgrad er forbedret markant fra 47 til 60 % ekskl. systemtab og fra 58 til 68 % inkl. systemtab.
- Den minimale tipfrigang ventilatoren kan arbejde med i praksis er 6 mm.
- Ved reducere af tipfrigangen til 5 mm skal vingen afstives/ udføres i anden og mere formstabil plast.
- Forbedringen har vist sig for omkostningstung og ikke rentabel

### 8.3.1.3 Ændring af udløb fra ventilator

Der er foretaget forsøg med ændring af LPC- ventilatorens udløb i henhold til flere gængse modeller. Grundlæggende for alle parametervariationer er ønske om genvinding af dynamiske tryk med mindst muligt tab og færrest mulige ændringer (omkostninger).

Det originale afkast fra SKOV har en afslagsplade for slagregn som delvist er turbulens skabende og teoretisk reducerer genvindingen af det dynamiske tryk (rød cirkel på nedenstående fig.). Denne afslagsplade er ikke nødvendig ved anvendelse af afkastet i biomodulet da evt. vand fra slagregn godt må havne i biomodulet som i forvejen er "vand belastet".

Reducering af tabet i afkastet er søgt afhjulpet igennem afprøvning af forskellige parametervariationer/ ændringer på afkastet:

- Reference – originalt afkast (1)
- Anvendelse af indløbsring som afkast – udelukkende kostpris (2)
- Samme afvikling af udløbet som originalt uden afslagsplade (3)
- Teoretisk bedst mulig afvikling af udløb (4)
- Sluttelig implementering af (3) i SKOV ´s afkast med foringsplade (5)

De forskellige ændringer fremgår af nedenstående figurer:

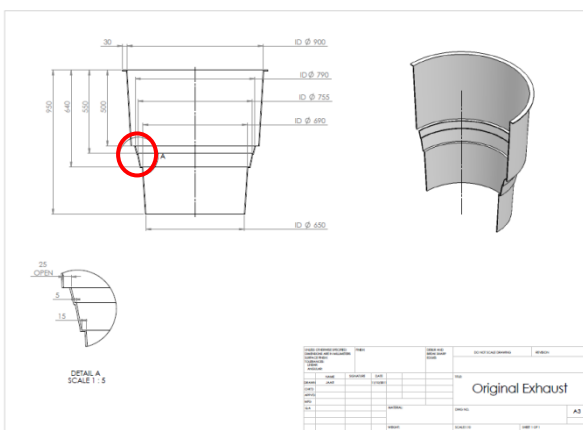


Fig. 8.3.3-1 Originalt afkast (1)

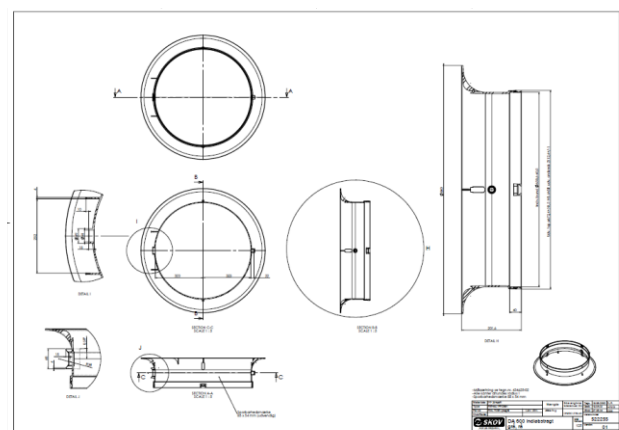


Fig. 8.3.3-2 Indløbsring som afkast (2) – radius udløb

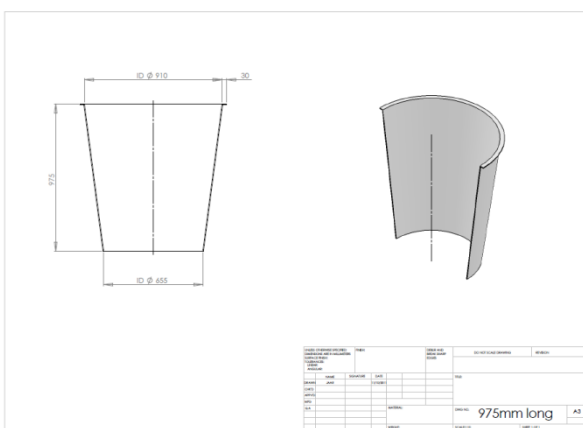


Fig. 8.3.3-3 Samme afvikling som original (3)

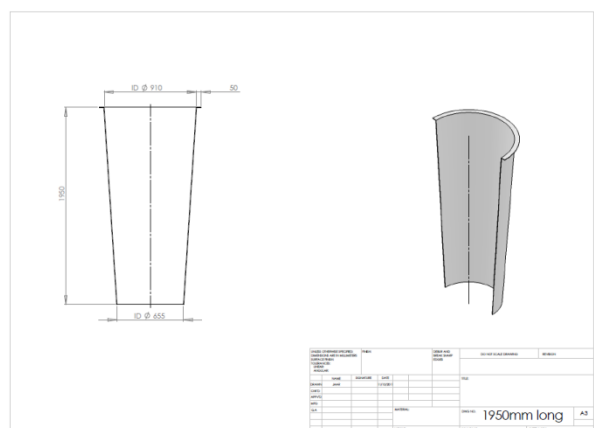


Fig. 8.3.1.3-4 Teoretisk bedst mulige afvikling (4)

## Resultat – radiusudløb (2)

Resultatet af optimeringen fremgår af nedenstående kurver:

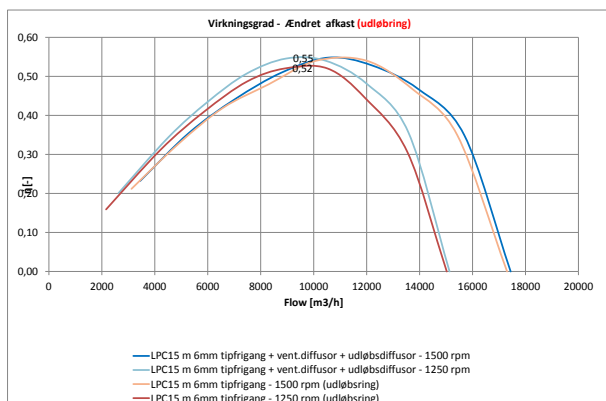


Fig. 8.3.3-5 LPC 15 med udløbring

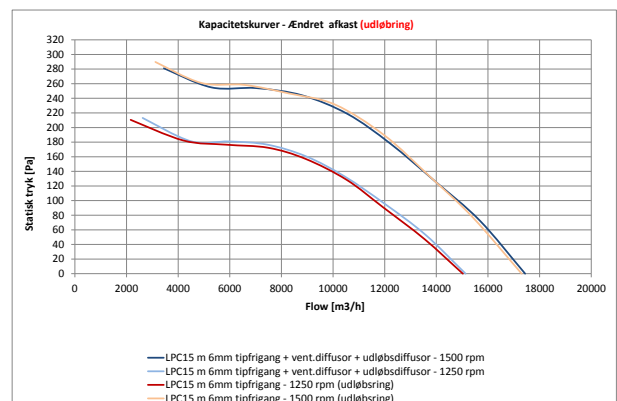


Fig. 8.3.3-6 LPC 15 med udløbring

Som det fremgår af målingerne reducerer radiusudløbet den samlede effektivitet og sidder som en lokal modtand og dermed en forringelse. Radiusudløbet har lille indflydelse på kapaciteten.

## Resultat - afvikling uden afslagsplade (kort) og teoretisk bedst mulige (lang) (3 & 4)

Resultatet af optimeringen fremgår af nedenstående kurver:

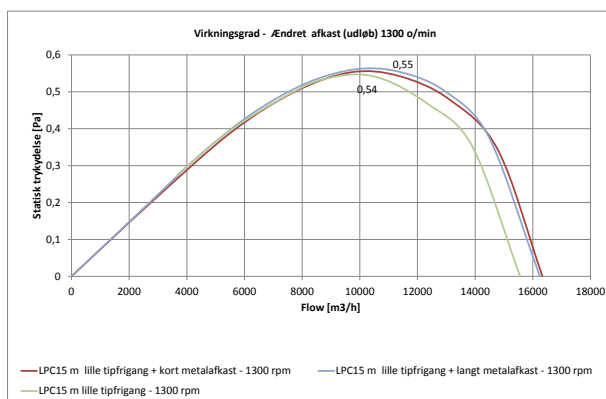


Fig. 8.3.1.3-7 LPC 15 med kort og langt afkast

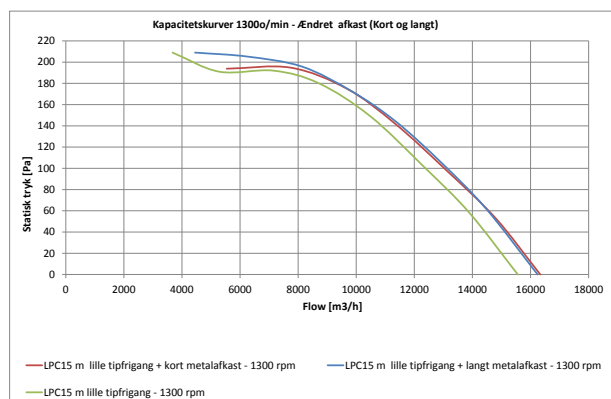


Fig. 8.3.1.3-8 LPC 15 med kort og langt afkast

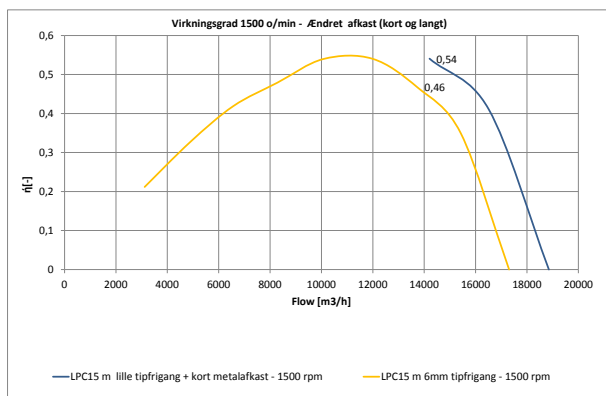


Fig. 8.3.1.3-9 LPC 15 med kort og langt afkast

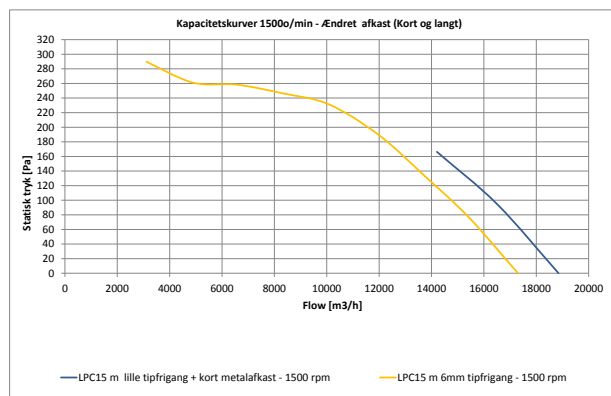


Fig. 8.3.1.3-10 LPC 15 med kort og langt afkast

Som det fremgår af målingerne forbedrer begge de udviklede afkast den samlede effektivitet. Ved et øget omdrejningstal opretholdes den fulde effektivitet ved 1500 o/min og forbedres dermed den samlede statiske totalvirkningsgrad på systemet.

Det korte afkast er lige så effektivt som det lange, hvorfor denne efter prototypeforsøgene er optimeret med en indsats i det oprindelige afkast. Billeder af det optimeret afkast fremgår nedenfor:

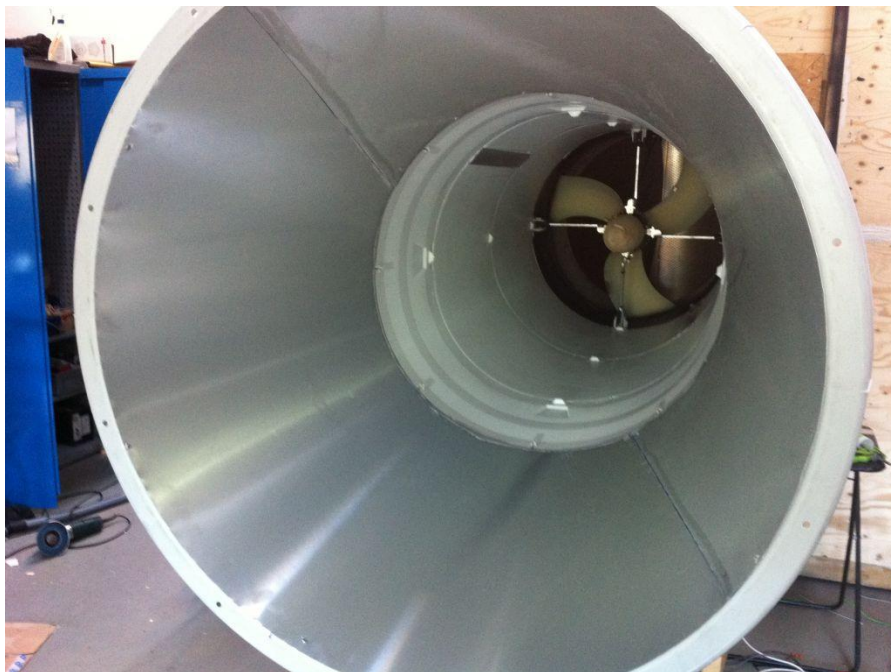


Fig. 8.3.1-17 Foret afkast

### Vurdering

- Kapaciteten forbedres svagt ved lave omdrejninger og mere signifikant ved høje omdrejninger
- Effektiviteten er ved lavere omdrejninger 1250 rpm øget fra 52 til 55 % i optimum og ved høje omdrejninger i slut målepunktet fra 46 til 54 %. Det har ikke været muligt at foretage en fuldopmåling ved 1500 o/min, da vingen ramte på karmen på grund af pulsationer
- Både det korte og lange afkast opretholder den fulde effektivitet ved 1500 o/min og forbedres dermed den samlede statisk totalvirkningsgrad på systemet
- Det korte afkast er lige så effektivt som det lange hvorfor dette anvendes
- Ændring af afkastet har pt. ikke vist sig mulig rentabel

### 8.3.1.4 Strømningstab omkring ventilatoren pga. turbulenser

Strømningstab omkring ventilatoren er søgt optimeret, med korrekt strømningsteknisk indløb og afvikling af annulus, iht. R. Allan Wallis Free Wortex betragtninger. Metoden bygger på en såkaldt "streamlined body of revolution" for optimal afvikling.

Diffusoren og indløbs optimeringsfunktion er, at omdanne størstedelen af det dynamiske tryk til statisk, ved korrekt kontraktion i indløb og afvikling af annulus. Erfaringen er dog at en afvigelse fra Wallis med en kugleskal som indløb er at fortrække, hvorfor denne er valgt. Den udviklede diffusor og indløbskugleskal fremgår af nedenstående figurer.



Fig. 8.3.1.4-1 Diffusoren og indløbskugleskallen



Fig. 8.3.1.4-2 Diffusoren og indløbskugleskallen

## Resultat

Resultatet af optimeringen fremgår af nedenstående kurver:

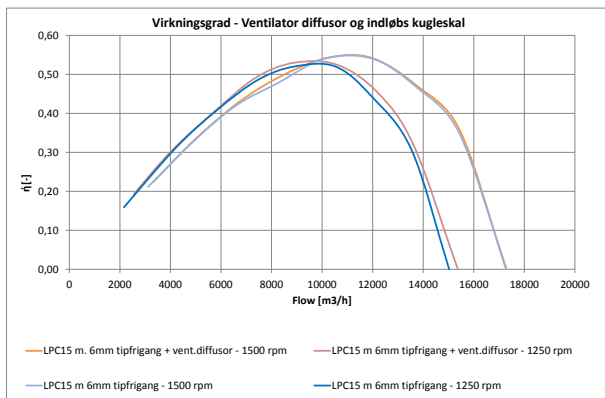


Fig. 8.3.1.4-3 LPC 15 med kort og langt afkast

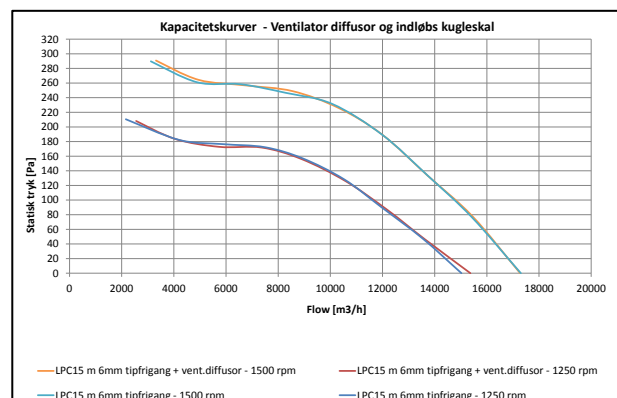


Fig. 8.3.1.4-4 LPC 15 med kort og langt afkast

## Vurdering

- Diffusor og indløbskugleskal har kun minimal indflydelse på effektiviteten
- Effektiviteten forbedres minimalt ved et lavere effektforbrug og kapaciteten er uændret
- Årsagen er sandsynligvis det minimale areal kerne udgør i forhold til det samlede areal
- Denne parameter anvendes ikke



### 8.3.1.5 Swirvl tab

Det er testet om swirvltabet kan afhjælpes med SKOV's eksisterende "miljø kryds", som anvendes til at øge kastelængden. Miljøkrydset udgør et kryds i rustfrit stål placeret øverst i afkastet.

### Resultat

Resultatet af optimeringen fremgår af nedenstående kurver:

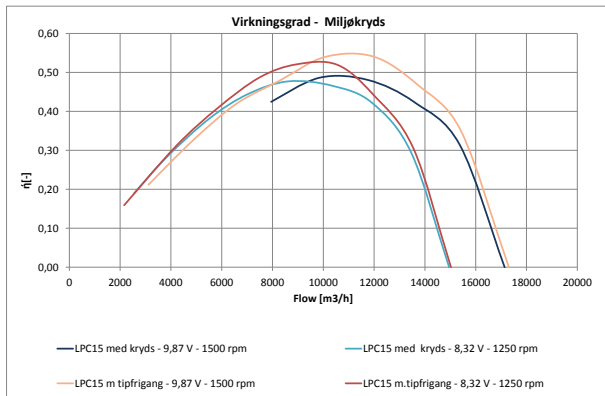


Fig. 8.3.1.5-1 LPC 15 med kort og langt afkast

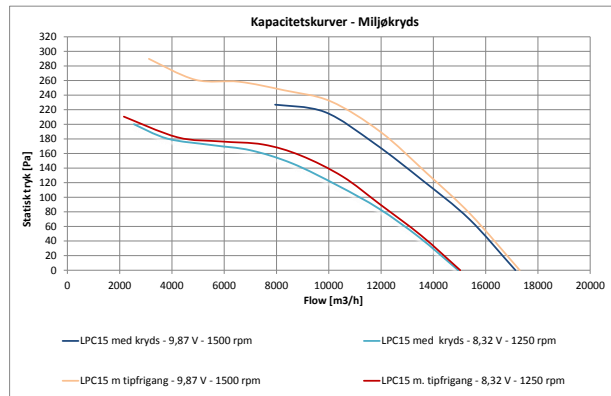


Fig. 8.3.1.5-2 LPC 15 med kort og langt afkast

### Vurdering

- Miljøkrydset har ingen virkning og mindsker effektiviteten
- Miljøkrydset optræder som en lokal modstand og ikke en forbedring
- Denne parameter anvendes ikke

### 8.3.2 Motor

Motoroptimeringen tager udgangspunkt i den eksisterende LPC-ventilatores motor. Denne motor er indledningsvis udskiftet til større motor af samme type, hvor omdrejningstallet er øget fra det oprindelige 1100 til 1500 omdrejninger pr. min.

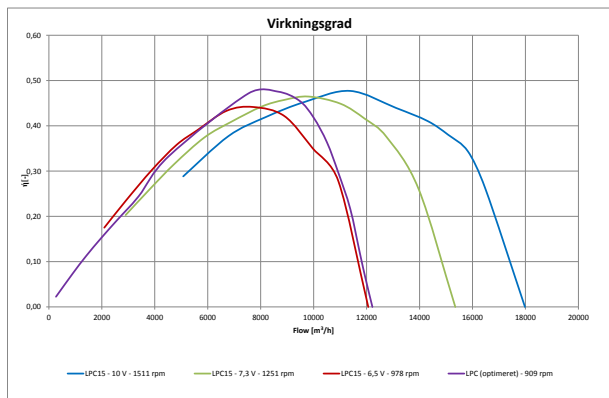


Fig. 8.3.2-1 LPC 15 ved forskellige omdr. ift. LPC

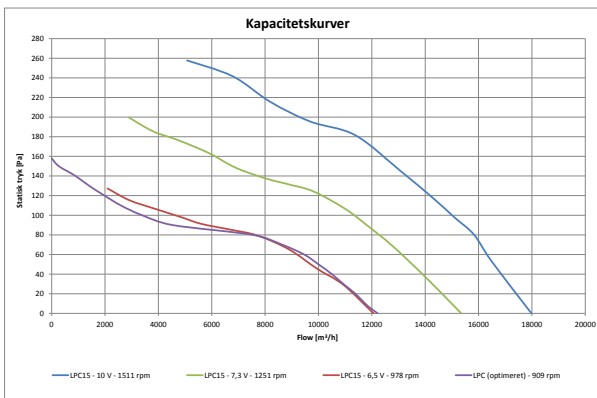


Fig. 8.3.2-2 LPC 15 ved forskellige omdr. ift. LPC

Af målingerne fremgår det at den nye LPC ventilator (benævnt LPC-15) opretholdte totaleffektiviteten med et øget omdrejningstal (motor + ventilator).

Designydelsen i henhold til kravspecifikationerne på 25520 m<sup>3</sup>/h (4\*6380 m<sup>3</sup>/h) og 110-120 Pa viser, at der også er mulighed for at udskifte de normalt anvendte 3 stk. DA 600-5 (2 konstant + 1 variabel) med 2 nye variable LPC-15, som også rent styringsmæssigt er at foretrække. (luftmængde angivet i bilag 2 på hhv. 7.500 og 29.500 er den maksimale ydelse for bioflex modulet).

Men for at skabe et succesfuldt produkt i svineindustrien, er der behov for en tilbagebetalings-tid på maksimalt 3 år og fokuseres der på forholdet mellem den reelle besparelse og den heraf kommende stigning i produktpris, er det nødvendigt at kostprisoptimere LPC-15 motoren, da denne er markant dyrere end den oprindelige LPC motor med 1100 omdrejninger.

Da det ikke har været muligt at reducere prisen på LPC-15 motoren (1500 omdr.) eller finde anden tilsvarende leverandør, har der i projektet været fokus på udvikling af ny kontroller/styring af den eksisterende LPC motor til drift med øget omdrejninger (benævnt LPC-13):

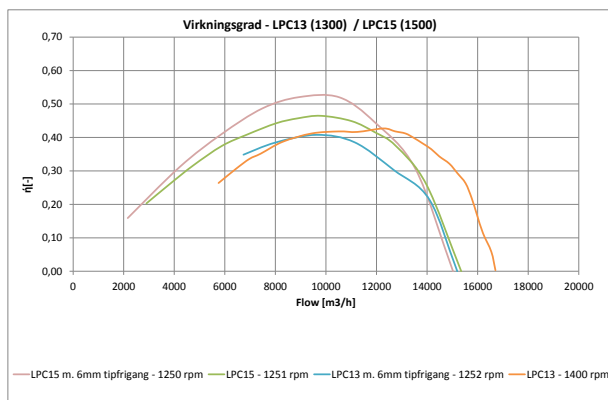


Fig. 8.3.2-3 LPC-15/ LPC-13

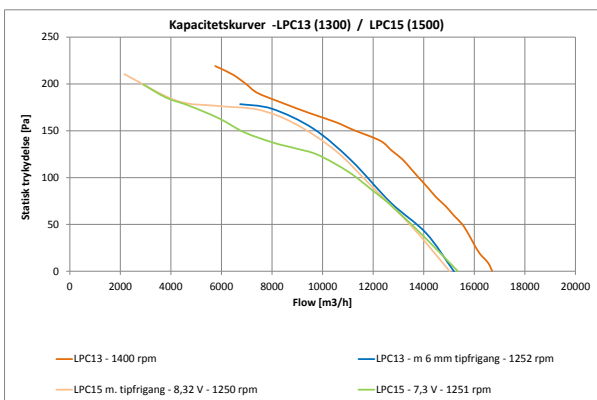


Fig. 8.3.2-4 LPC-15/ LPC-13

Umiddelbart ligger totaleffektiviteten (den statiske total virkningsgrad) relativt lavt, men betragtes ventilatoren separat inkl. systemtabet i skorstenen er den langt højere:

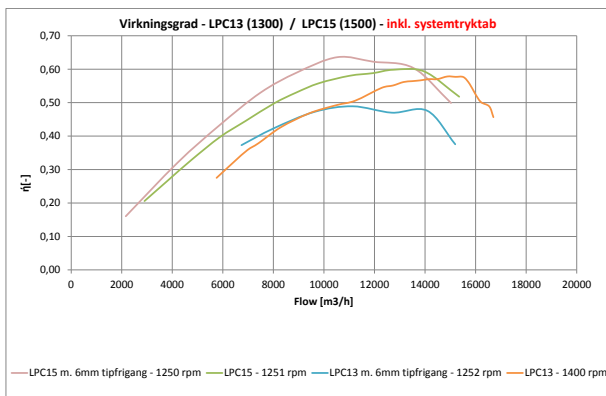


Fig. 8.3.2-5 LPC-15 / LPC-13

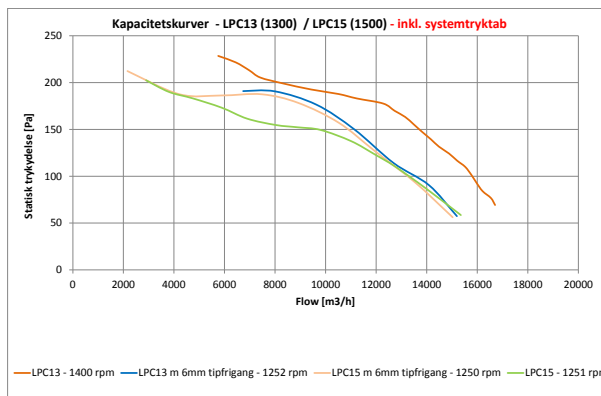


Fig. 8.3.2-6 LPC-15/ LPC-13

Af målingerne fremgår det at kapaciteten opretholdes fra LPC-15 til LPC-13 (se blå og lyserød kurve), men at effektiviteten falder pga. et øget effektforbrug.

### Vurdering - Motor

Den overordnede konklusion på det motorteknologiske område er, at der utvivlsomt ligger meget store besparelspotentialer ved anvendelse af den oprindelige PM teknologi, men en ligeledes investeringsmæssige merpris for kunden. På baggrund af kostprisen er det i projektet valgt at anvende LPC-13, selvom dennes effektivitet er lavere.

Vurderes LPC-13 særskilt, er forbedringen i forhold til den tidligere anvendte DA600 markant, da dennes totalvirkningsgrad maksimalt er 25 %, mod LPC-13 på 50 %. Altså en forbedring på 50 %, hvilket vurderes som værende yderst tilfredsstillende.

Det øgede tryktab i skorstenen reducerer kun totaleffektiviteten for LPC-13 til 41 %, hvilket er langt over udgangspunktet på 25 %.

LPC-13 er efterfølgende stresstestet og testen angiver at motoren kontinuerligt kan anvendes op til 1400 omdrejninger pr. minut under lang tids øgede belastning.

### 8.3.3 Delkonklusion – Motor og ventilator

Følgende kan konkluderes i henhold til de optagede målinger og optimeringer. For uddybning under de enkelte punkter henvises der til respektive afsnit.

- **Tipfrigang - øger effektiviteten fra 47-60 % (ikke rentabel)**
  - Effektiviteten er yderst afhængig af tipfrigangen også ved lavtryksventilatorer  
Den øgede effektivitet som er resultat af den reducerede tipfrigang opretholdes ved lavere rpm
  - Reduceres tipfrigangen til 6 mm øges den statiske total effektivitet i optimum fra 47 % til 55 %
  - Reduceres tipfrigangen med yderligere 1 mm fra 6 mm til 5 mm, kan den statiske totaleffektivitet i optimum øges fra 55 % til 60 % ved 1500 rpm (68 % uden system tryktab)
  - Ved reduceret tipfrigang til 5 mm skal vingen afstives/ udføres i anden og mere formstabil plast
  - Det anbefales at anvende denne parameter men den er desværre omkostningstung og ikke rentabel
  
- **Diffusor og indløbskugleskal - minimal indflydelse på effektiviteten**
  - Effektiviteten forbedres minimalt ved et lavere effektforbrug.
  - Kapaciteten er uændret
  - Årsagen er sandsynligvis pga. det minimale areal kerne udgør af det samlede areal
  - Det anbefales ikke at anvende denne parameter
  
- **Ændre afkast - øger effektivitet ved lave omdr. fra 52 til 55 %**
  - Kapaciteten er øget
  - Effektiviteten er øget i ved lavere omdrejninger 1250 rpm (52 til 55 %)
  - Afkastet opretholder derved den fulde effektivitet som ses ved 1500 o/min
  - Det anbefales at anvende denne parameter i en kort version såfremt den er rentabel
  
- **Miljøkryds - ingen forbedring**
  - Miljøkrydset optræder som en lokal modstand og ikke en energimæssig forbedring
  - Det anbefales ikke at anvende denne parameter
  
- **LPC-13/ LPC-15 (Det er kostprisen der afgør hvilket type der anvendes)**
  - LPC-13 opretholder kapaciteten
  - LPC-13 kan iflg. stresstest (SKOV) tåle at kører kontinuerligt op til 1400 rpm
  - Den totale statisk effektivitet på 41% er lavere end LPC-15 udgaven (1500 omdr./min) men langt bedre end DA 600 som er 25%.
  - Kostprisen er højere end den alm. LPC men lavere end LPC-15

## 8.4 Kanalsystem/tryktab

For at dels at verificere tryktabet i kanalsystemet til simulering i staldvent samt vurdere bedst mulige konfigurationer er der foretaget en række CFD-simuleringer af kanalsystemet.

Simuleringerne er foretaget med udgangspunkt i "reference stald 20%" (bilag 2) med aktuelt totalluftskifte pr biomodul på 25.520m<sup>3</sup>/h og en heraf delluftmængde på 6.380m<sup>3</sup>/h pr. kanal (luftmængde angivet i bilag 2 på hhv. 7.500 og 29.500 er den maksimale ydelse for bioflex modulet).

Simuleringen er foretaget med udgangspunkt i SKOV's standard ø650mm vare program med følgende konfigurationer på kanalsystemet:

1. Indløb til biofilter som indløbsring (direct)
2. Indløb til biofilter som diffusor (taper)

Der er kun foretaget ændringer på kanalsystemet da dette er de eneste af delkomponenterne der kan ændres på i opsætningen. Konfiguration 1 er standard opsætning og 2 er standard komponent som normalt ikke anvendes til dette formål men som teoretisk kunne bidrage med en svag reduktion i tryktabet.

Kanalsystemets opbygning fremgår af nedenstående figur. Simuleringen er foretaget på det halve af kanalsystemet som er ligedannet.

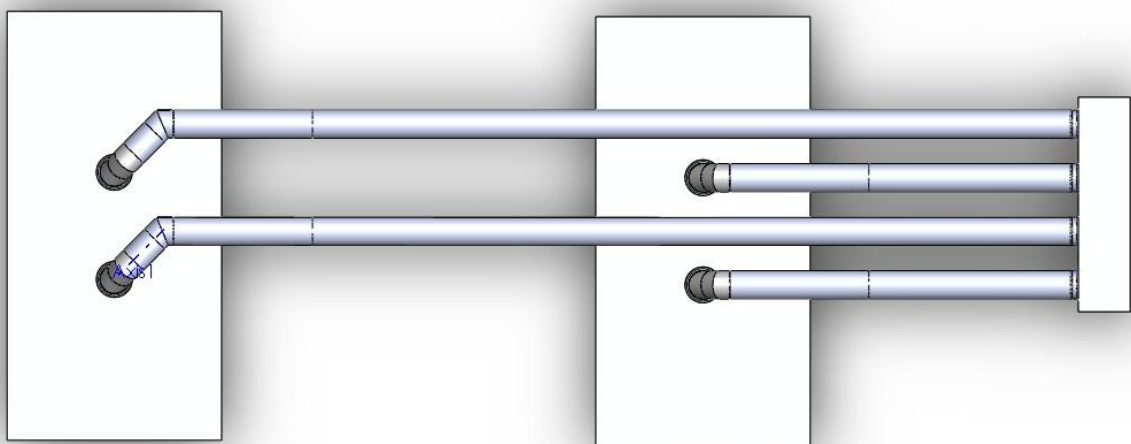
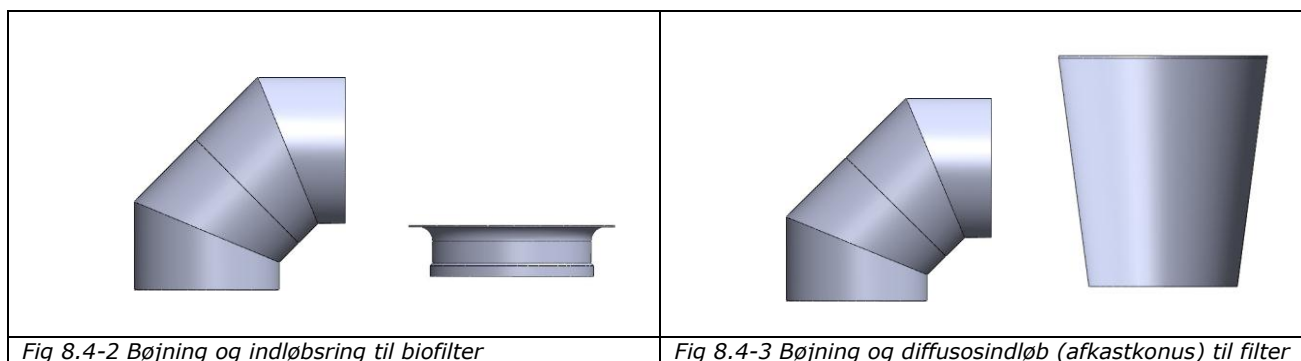


Fig 8.4-1 plan af kanalsystem



### 8.4.1 Resultat

I nedenstående tabel er værdierne for simuleringen af standard opsætningen:

Komponent	SKOV's standardværdier	Simulering
Udhæng	5	5 (ikke simuleret)
Diffus loft	30	30 (ikke simuleret)
Indløb	5	0,7
Kanal 1,5m	0,8	0,9
Bøjning 90°	9	7,2
Kanal 0,7 m	0,4	0,7
Bøjning 45°	5	1,7
Kanal - 21 m	12	12,5
Udløb - Deacceleration	17	16,9
Biofilter	29	29 (ikke simuleret)
Total	113	105

Fig 8.4-4 Resultater af simulering

Resultaterne viser god sammenhæng mellem SKOV's standardværdier og simuleringen lige med undtagelse af indløbet, hvor der er en lille afvigelse.

Fokuseres der på de forskellige konfigurationer af kanalsystemet viser simuleringerne at der ikke er noget væsentligt potentiale ved ændring i standard opsætningen. Forskellen i tryktab mellem bedste og værste konfiguration er under 3 Pa.

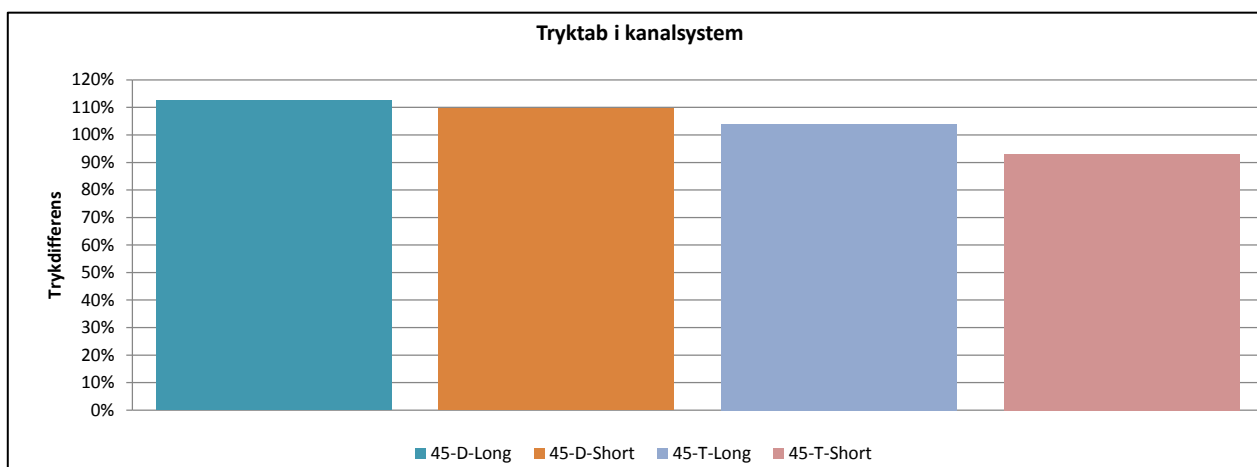


Fig 8.4-5 Resultater af simulering

- D Direct = indløbsring til filter
- T Taper=Diffuser (afkastkonus) som indløb til filter
- Short Kort kanalstrækning
- Long Lang kanalstrækning
- 45 Standardbøjning sammensat af 2\*45° bøjning

Visualisering af simuleringerne fremgår af nedenstående figurer:

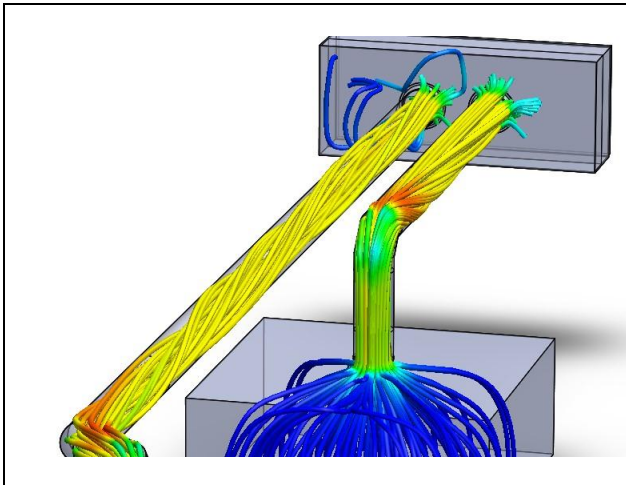


Fig 8.4-6 Simuleringer af kanalsystem

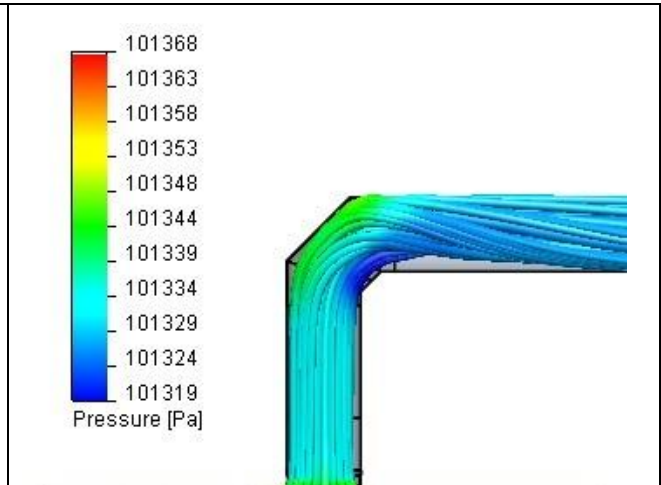


Fig 8.4-7 Simuleringer af bøjning

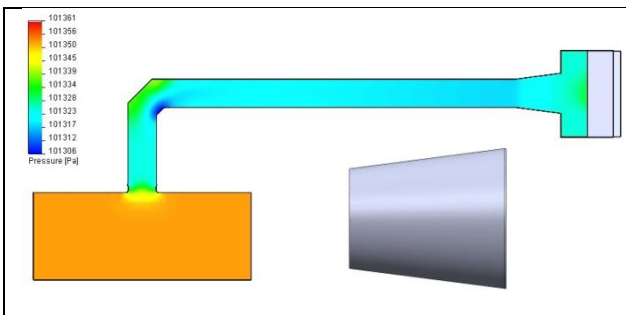


Fig 8.4-8 Simuleringer med diffusor som indløb

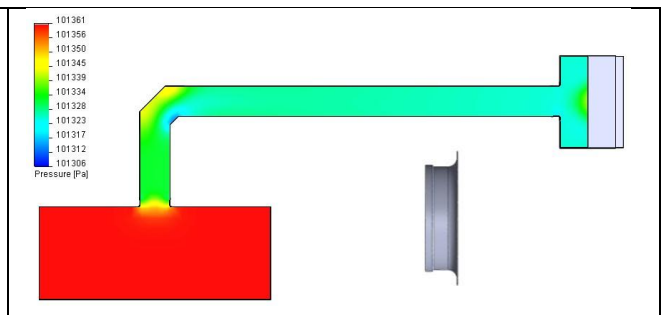


Fig 8.4-9 Simuleringer med indløbsring til filter

### 8.4.2 Delkonklusion – tryktab kanalsystem 20%

Simuleringen viser fin overensstemmelse med normal anvendt praksis.

Der er ingen potentiale i tryktabsoptimering af kanalsystemet, primært pga. relativ lave hastigheder i forhold til når kanalerne som vanligt anvendes som skorsten med indbygget ventilator. Parameteren anvendes ikke.

## 8.5 Konklusion – 20 rensning – komponentniveau

- Tipfrigang - øger den statiske totaleffektivitet fra 47-60 % men er ikke rentabel
- Diffusor og indløbskugleskal - minimal indflydelse på effektiviteten
- Ændre afkast - øger den statisk total effektivitet ved lave omdr. fra 52 til 55 % men ikke rentabel
- Miljøkryds - ingen forbedring
- Motorvalg - LPC 15 / LPC 13. Begge kan anvendes. LPC-15 er at fortrække effektivitetsmæssigt men af kostpris/ driftmæssige forhold er LPC-13 at fortrække.
- Kanalsystem – ingen forbedring

De indgående optimeringer på komponentniveau under 20% rensning, som er vurderet rentable, og der køres videre med i SKOV er således iht. afs. 7.0 til 8.4:

- Ventilator indbygning – ingen ændring
- Vinge + motor – Nyt produkt - LPC-13
- Kanalsystem – Ingen ændring

Det samlede potentiale af enkeltkomponenterne på systemniveau fremgår af afs. 11 hvor ventilatorstyringen – Dynamic multistep også er medtaget.



## 9 Udviklings aktiviteter - 100% rensning(komponentbasis)

### 9.1 Reference

Optimeringen er foretaget med udgangspunkt i referencestald 3 med 100% rensning, som svarer til typiske opførte stalde med fuldrensning. Staldens specifikationer fremgår af Bilag 3.

Hardwaremæssigt anvendes der i 100 % rensning et biofilter opbygget på stedet, som rensrer 100 % af luftmængden. Biofilteret er typisk placeret ved staldens gavl og suger igennem en manifold i staldens bredde og højde luften ud fra stalden igennem hovedkanal placeret på loft hvortil de enkelte sektioners luftbehov reguleres af spjæld placeret i loft/ hovedkanal.

Luftrensningens systemopbygning og bestykning fremgår af nedenstående specifikationer:

<b>Stald:</b>	<b>4 stk. slagtesvinektioner á 638 dyr, 35-102 kg.</b>
Ventilationsprincip:	<b>Diffus udregnet efter holddrift</b>
Staldlængde:	36 m
Staldbredde:	12,8 m
Væghøjde:	2,6 m
Lofthældning:	0 grader
Taghældning:	20 grader
Luftbehov:	63.800 m <sup>3</sup> /t
Luftskifte:	53 gange/t
Luftindtag:	Diffust loft
Udsugning:	<u>0-100 % luft (fuld rensning)</u> Trinløs 1 stk. DA 920 9 og 5 stk og/off DA 920 Drejespjæld i påstik forbindes mekanisk og reguleres af 1 stk. DA 174- spjældmotor

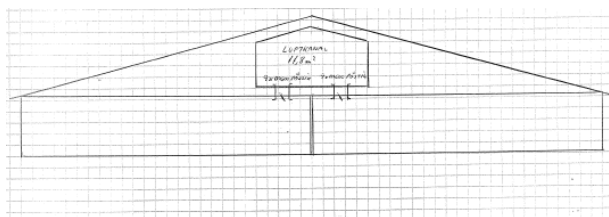


Fig. 9.1-1 Snit af 100 % reference stald

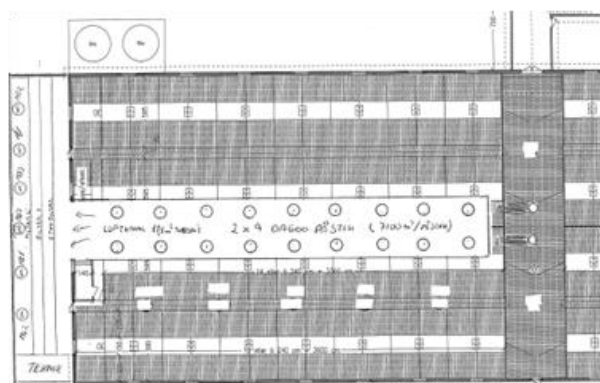


Fig. 9.1-2 Plan af 100 % reference stald

## 9.2 Ventilator i Bio Filter - DA 920 eller LPC

Som beskrevet i afsnit 5.4 er indsatsområder for 100 % rensning:

- Optimer eksisterende anvendt ventilator DA 920-2 igennem udviklingssamarbejde med underleverandør af ventilator
- Optimer motor i samarbejde med producent

Nuværende ventilatorer i biofilter udgør 6 stk. DA920 (1 stk. frekvensstyret og 5 on/off).

Da der i projektet ikke har været afsat midler til en egentlig optimering af ventilatorerne til 100% rensning har optimeringen været et samarbejde med producenten af SKOV´s nuværende ventilatorer til fuldrensning - DA920. Optimeringen har været udvikling af ventilator og motor specifikt til SKOV´s behov, men udelukkende foretaget af producenten. Samarbejdet har taget udgangspunkt i to modeller:

- Optimering af ventilatorenheden uden pris forøgelse.
- Optimering med prisforøgelse men med tilsvarende ydelses forøgelse, så det samlede antal ventilatorer reduceres og den samlede udgift til ventilatorer ikke forøges.

Den tyske producent er en af Europas største producenter af ventilatorer og har en udviklingsafdeling med over 100 ingeniører.

I løbet af projektperioden har dele af projektgruppen været på et længere besøg hos producenten for koordinering af indsatsen og fået fremvist de imponerende produktions og udviklings afdelinger, som både omfatter udvikling og produktion af ventilatorer og motorer, både alm. asynkron og den nyeste pm-teknologi.

Samarbejdet og mødet var umiddelbart en stor succes. Særligt interessant var det at en evt. "ikke pm" løsning efter producentens anvisning kunne anvendes med lige så god total virkningsgrad som en pm-løsning. Dette da producenten selv producerer alle komponenter og bl.a. ved vikling af motorerne kan konstruere en samlet løsning der specifikt designet til de ønskede konditioner, øger virkningsgraden betragteligt og holder prisen nede ved ikke anvendelse af pm-teknologi.

## 9.2.1 Resultat

Resultatet af producent optimeringen fremgår af nedenstående kurver.

Vurderingsparameteren for ventilator og motor er den samlede effektivitet, angivet som den statiske totalvirkningsgrad for ventilator og motor, beregnet på baggrund af det statiske tryk (virkningsgrad for ventilator og motor tilsammen), se evt. bilag 10. Således er ventilator- og motorvirkningsgrad separat højere end det angivet totalniveau, da en ventilatorvirkningsgrad på 50 % og en motorvirkningsgrad på 50 % giver en totalvirkningsgrad på 25 %. Denne parameter er anvendt, da det er systemet der betragtes og den endelige energibesparelse er på baggrund af dette.

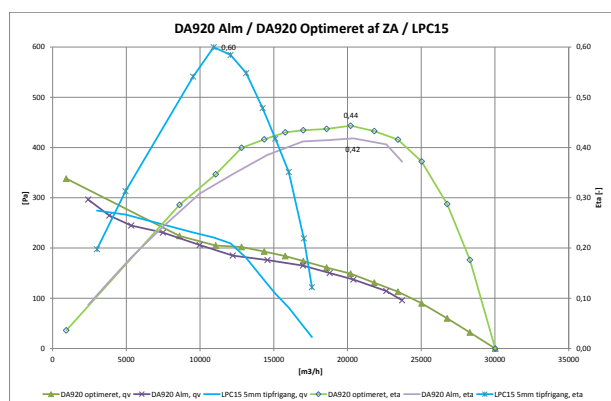


Fig. 9.2-1 Optimering af DA 920 ift. LPC-15

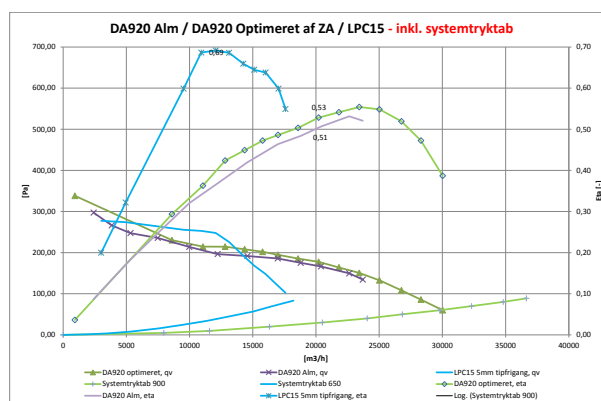


Fig. 9.2-1 Optimering af DA 920 ift. LPC-15 inkl. systemtab

## Vurdering

- Optimeringen er meget minimal og optimeringen har kun øget totalvirkningsgraden med 2 procent point
- De i projektet opnåede resultater med LPC-15 til 20% rensning hvor projektgruppen selv har forestået optimeringen med en forøgelse fra hhv. 47% to 60% uden systemtab og fra 60 til 68% med systemtab ligger væsentligt over producents optimeringen
- Optimeringen er så minimal at parameteren ikke anvendes

## 9.2.2 Delkonklusion - DA 920 Producent optimering

- Optimeringen er så minimal at parameteren ikke anvendes
- Alternativt anvendes LPC-13 fra 20% optimeringen hvor den forøgede ydelse kan reducere antallet af LPC'er og dermed være interessant prismæssigt. Årsagen til at LPC-15 som er en smule bedre end LPC-13 ikke anvendes er prismæssigt som beskrevet under optimeringen af 20 % delrensning
- Effektiviteten på LPC-13 er væsentligt overlegent.

### 9.3 Kanalsystem – tryktab

Kanalen i 100 % rensning er rektangulær og ført over loft med meget lave lufthastigheder, og der er derfor ikke noget væsentligt potentiale med hensyn til reducere tryktab. Det eneste punkt hvor tryktabet er interessant er ved til indløb til filter med hensyn til afstanden mellem filter og kanaludmunding. Både manifold og hovedkanalen udgør en relativ stor post af den samlede installation, hvorfor en optimering af hovedkanalen og manifoldens størrelse kan frigøre midler til andre komponenter.

Derfor er der foretaget en række CFD-simuleringer af kanalsystemet. Simuleringen er anvendt til at verificere tryktabet i kanalsystemet til simulering i STALDVENT samt vurdere bedst mulige konfigurationer af indløb til filter og størrelse af hovedkanal.

Simuleringerne er foretaget med udgangspunkt i "reference stald 100%" (bilag 3) med et maksimalt totalluftskifte på 63.800m<sup>3</sup>/h.

Kanalsystemets opbygning fremgår af nedenstående figur. Simuleringen er foretaget på det halve af kanalsystemet som er ligedannet.

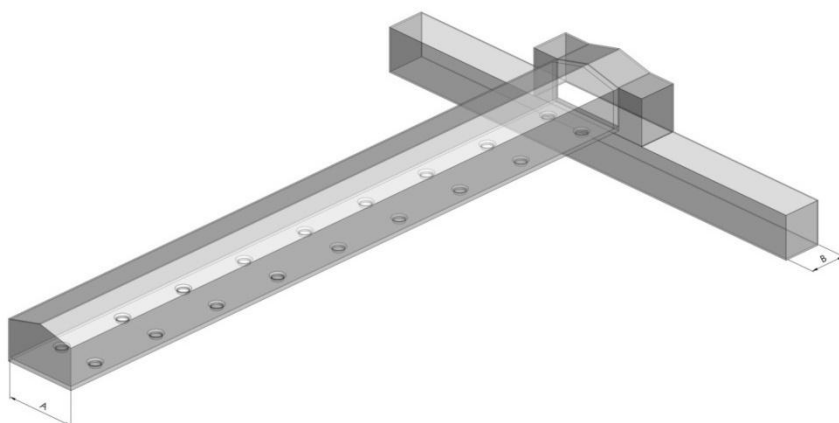


Fig 9.3-1 3D skitse af kanalsystem

Følgende konfigurationer og parametre er simuleret:

- A – hovedkanal bredde
- B – Manifold bredde



fig 9.3-2 Parameter B - Manifold dybde

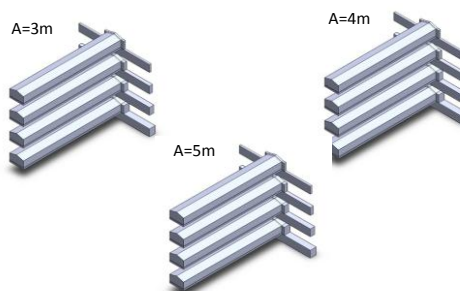


Fig 9.3-3 Parameter A - Kanalbredde

### 9.3.1 Resultat

Nedenstående visuelle illustrationer, illustrere et udvalg af simuleringens resultater:

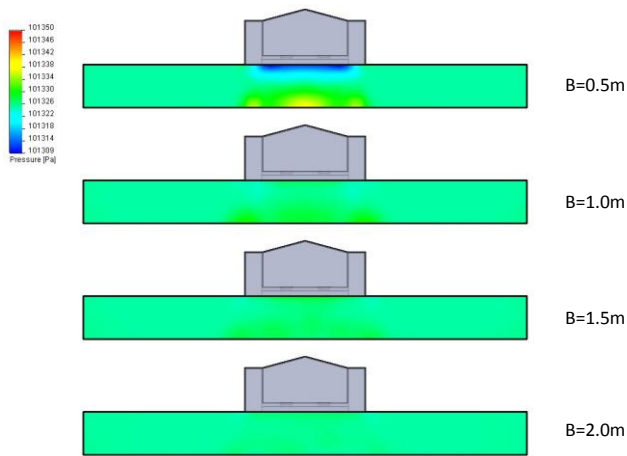


fig 9.3-4 Parameter B - Tryk illustration

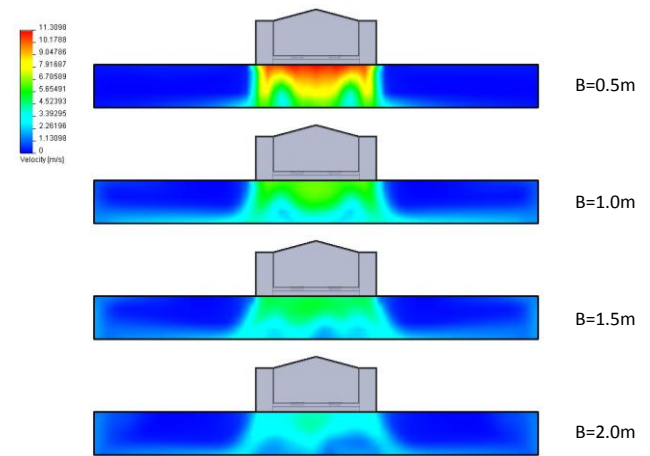


Fig 9.3-5 Parameter B- Hastigheds illustration

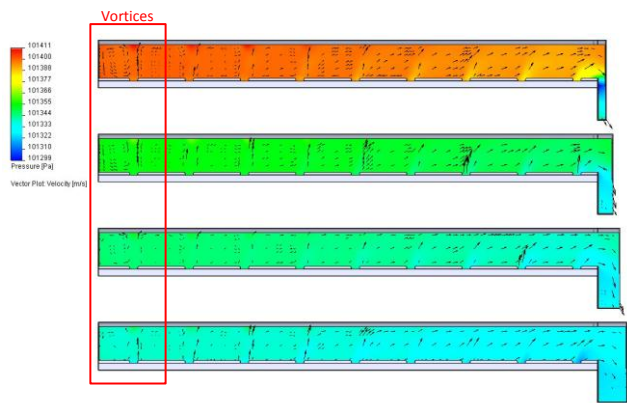


fig 9.3-6 Parameter B - Tryk illustration

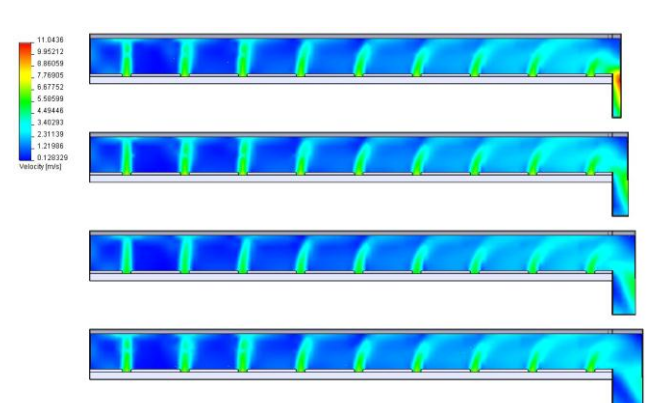


Fig 9.3-7 Parameter B - Hastigheds illustration

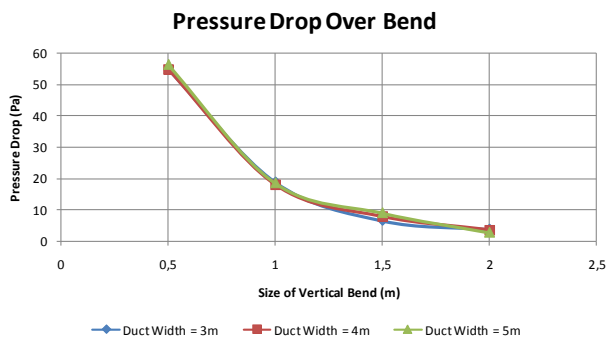


fig 9.3-8 Parameter B - Tryk illustration

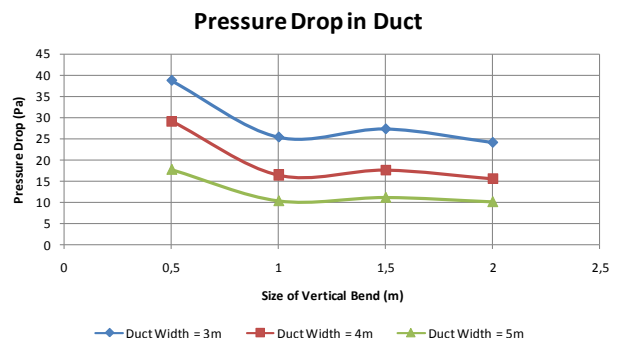


Fig 9.3-9 Parameter B - Tryk illustration

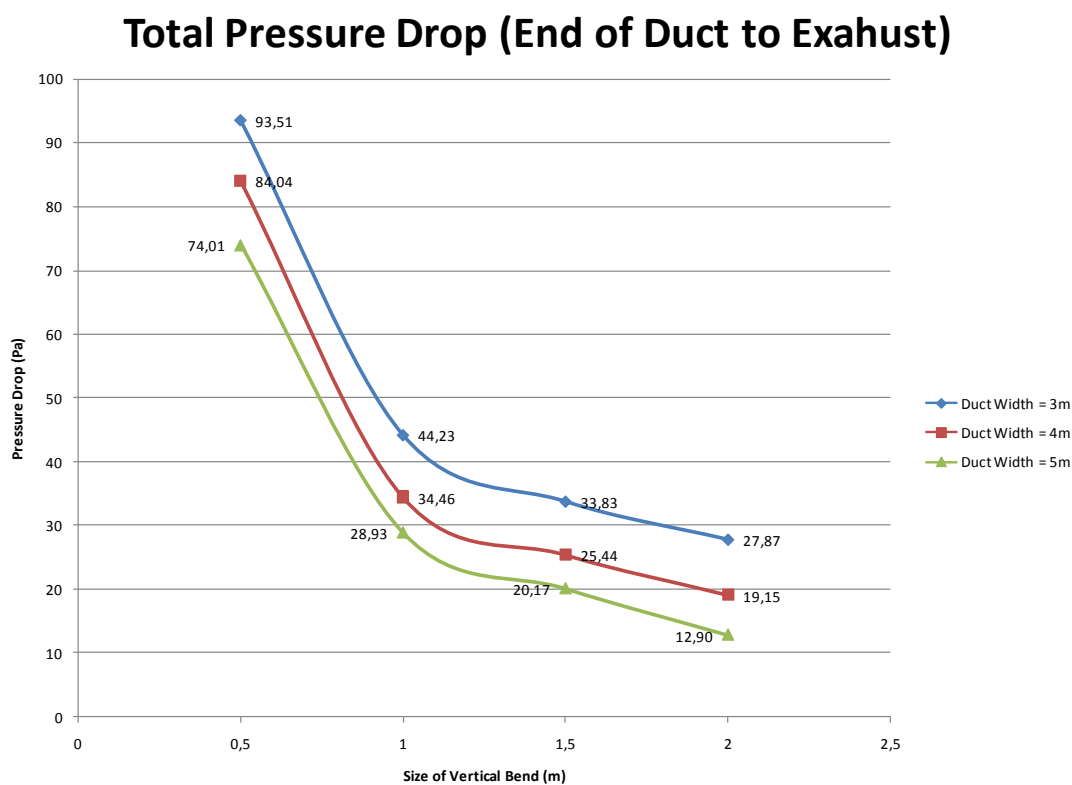
Som det fremgår af fig. 9.3-6 og fig. 9.3-7 opstår der en del hvirveldannelser i starten af kanalen (fig. 9.3-6) og en dyse virkning (fig. 9.3-7) som begge har indflydelse på tryktabet.

Af fig. 9.3-8 fremgår det at manifoldens dybde kan reduceres fra 2 til 1,5 meter uden nævneværdigt tryktab. Manifolden kan yderligere reduceres fra 2 til 1 meter med et øget tryktab på 16 Pa.

Tilsvarende kan kanalens bredde reduceres med fra 5 til 4 meter uden nævneværdigt tryktab (5Pa). Reduceres kanalens bredde fra 5 til 3 meter forøges tryktabet med 15Pa.

Som det fremgår af kurverne er det dog yderst vigtigt også for tryktabet i kanalen at manifoldens dybde aldrig kommer under 1 meter.

Udover tryktabet og dermed energiforbruget er det dog yderst vigtigt for funktionen af bio renseren at luften fordeles jævnt over filteret, hvilket begrænser redueringen af dybde til maksimalt 1,5 m., hvilket dog skal vurderes fra gang til gang.



### 9.3.2 Delkonklusion - kanalsystem

Nedenstående iht. de givende luftmængder/ hastigheder som anvendt i referencestalden for 100% rensning:

- Manifoldens dybde bør ikke være under 1 meter
- Manifoldens dybde anbefales reduceret til 1,5 meter for at frigive midler til andre tiltag.
- Kanalens bredde anbefales reduceret til 4 meter

## 10 Udviklings aktiviteter - Systembasis (styrings strategi)

Som det fremgår af afsnit 5.3 er der et relativt stort teoretisk potentiale i ændring af styrefor- men fra den oprindelige Multistep styring, som belaster systemet tryktabsmæssigt ved hhv. konservativ lukning af spjæld for opretholdelse af sikkerhed mod vindpåvirkninger, samt auto- ritet over spjæld til sektioner, for at kende luftmængden. Styringsmæssigt er der tale om tre reguleringer, hvor der i Multistep anvendes 1a, 2a og 3a.

1. Styring på spjældniveau (det enkelte sugested til en pågældende sektion)
  - a. Øge åbningsgraden af spjældet i forhold sætpunkt/ melder i sektionen
2. Styring på kanalsystemet niveau, hvor ventilatorbanken styres ud fra:
  - a. Konstant trykdifferens (max dimensionerende tryk 60Pa).
  - b. Konstant tryk reserve (Intelligent VAV med fx 5 Pa overskudstryk i kanal i for- hold til behovet)
  - c. Ideel (Teoretisk minimum som følger behovet. Intelligent VAV uden trykreserve)
3. Styring af "ventilatorbanken" – den samlede luftmængde, hvor en af følgende princip- per følges:
  - a. Multistep
  - b. Udkobling af ventilatorer
  - c. Alle regulerbar

### 10.1 Spjældniveau styring (Dynamic Air central udsugning)

På spjældniveau reguleres ydelsen til den enkelte sektion i forhold behovet. Det ønskede inde- klima reguleres på baggrund af temperatur og relativ luftfugtighed. Temperatur og den relativ fugtighed adderes og summen skal som tommelfingerregel styringsmæssigt fastholdes på fx 90 inde i stalden, f.eks. sammensat af 70 % relativ fugtighed og 20 °C rumtemperatur.

Spjældstillingen/ luftydelsen sættes i forhold til erfaringsdatabase i styringen som ved en given påvirkning regulerer spjældet/ luftydelsen til den enkelte sektion. Luftydelsen over det enkelte spjæld kendes ud fra spjældstillingen og det dimensionerende bagtryk i hovedkanalen, som er relativt højt. Autoriteten i systemet ligger over spjældene som er nødvendigt for at kende flo- wet igennem spjældet, hvorfor bagtrykket er relativt højt.

Da det er ønskeligt at reducere bagtrykket i hovedkanalen (se næste afsnit) er det nødvendigt at kende luftmængden igennem det enkelte spjæld/ påstik på en anden måde. Dette er i pro- jektet opnået gennem udvikling af en ny type flowmåling, som der af forretningsmæssige år- sager ikke kan uddybes nærmere i indeværende rapport. Flowmålingen reducere autoriteten over spjældet så det ikke længere er nødvendigt at drøvle/ opretholde et fast og meget stort bagtryk. Flowmålingen har fået navnet Dynamic Air central udsugning.

#### 10.1.1 Delkonklusion

Dynamic central udsugning åbner, med minimale omkostninger, op for at flowet på det enkelte påstik/ spjæld kendes uden drøvletryk. Endvidere giver det mulighed i ventilatorbanken for at reducere vindfølsomheden (se afsnit 10.3.1). Dynamic Air central udsugning sættes i produkti- on hos SKOV og er salgsfrigivet og præsenteret på EuroTier Nov. 2012

## 10.2 Kanalniveau styring (knæk model)

På kanalniveau er det at fortrække at regulere efter "2b" med reduceret bagtryk da drøvletrykket over spjældene til sektionerne bliver langt mindre. Den reduceret bagtryks styring vil dog også drøvle, da sektion med højeste luftmængde altid vil øge tryktabet til en sektion med lavere luftmængde. Men styringen er hard- og softwaremæssig meget omkostningstung og derfor ikke anvendelig pt.

Et alternativ er at 2a med differentieret sætpunkt i forhold det maksimale luftbehov iht. ude konditionerne. Et såkaldt udetemperatur kontrolleret sætpunkt for trykket i hovedkanalen. Det variable sætpunkt tillader højere tryk = luftflow ved høje ude temperaturer, hvor der er stort kølebehov/ luftmængde og lavere tryk ved lavere ude temperatur, hvilket reducerer energiforbruget pga. laver styre (drøvle) -tryk i hovedkanalen.

I bilag 6 "Udetemperatur regulering af kanaltryk (9. januar 2012)" er der vedlagt delrapport som beskriver hvorledes kanaltrykket kan reduceres ved benyttelse af udeføler i tillæg til en kanaltryksmåler.

Formålet med undersøgelsen har været at fastlægge en styringsstrategi for undertrykket i hovedkanalen for et centralt udsugningsanlæg som funktion af udetemperaturen og det energimæssige besparelses potentiale.

Altså at finde kanaltrykket i hovedkanalen som der skal styres efter samt energiforbruget for ude temperatur kompenseret sætpunkts regulering.

Simuleringen er fortaget uden ventilatorens effektivitet og uden tryktab i rensesektion da hovedformålet er at finde trykket i kanalen til styring iht. udetemperatur. Effekten er udelukkende det hydrauliskarbejde, dvs. det der er behov for ( $\text{Pa} \cdot \text{qv} / 3600$ ) (ikke det aktuelle energiforbrug).

Forudsætninger for kortlægningen har været referencestald 100% rensning (bilag 3) med følgende væsentlige parametre:

### Forudsætninger:

- Tryktab udhæng 5Pa
- Loft 30Pa
- Påstik 20Pa
- Kanal 55Pa
- Tryk tabets afvikling; 30 Pa lineær (loft) 25Pa kvadratisk (udhæng+påstik)
- Simulering af de 2 sektioner er forskudt iht. holdets vægt, start mv.
- Grise 30-120Kg
- Sætpunkt 18-22°C inde
- Fugtighed 72-80%Rh

### Resultater:

I simuleringen regner STALDVENT time for time indeklimaet, konditioner flow mv. iht. vejrdata filen for de to sektioner (1 og 7) over en 3-årig periode, som anvendes til at finde trykket ud fra flowet i hovedkanalen.



Der prioriteres altid efter det højeste kanaltryk. Dvs. at det højeste luftbehov er styrende for kanaltrykket der styres efter i hovedkanalen. I den sektion der har ønske om lavere luftmængde hæves tryktabet over påstikket ved at spjældåbningen reduceres/ trækkes.

Af delrapport (bilag 6) fremgår det på side 4 fig. 3 ("den blå sværm") at der er en god sammenhæng mellem udetemperaturen og trykbehov og der heraf er et stort potentiale. De vandrette striber der fremgår af kurverne i notatet (side 3) er pga. der ikke tilføres varme når luftmængden er over 30%

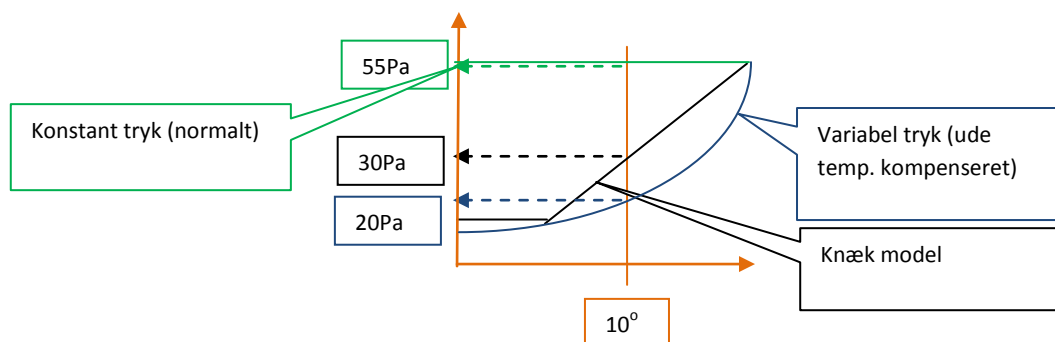
Af beregningerne fremgår det at det er muligt at beregne den luftmængde som er nødvendigt for at sikre det største ventilationsbehov ved en given udetemperatur.

Det er muligt at opstille en sammenhæng mellem det undertryk som skal være til rådighed over et diffust loft for at dække det største, samtidige ventilationsbehov ved en given udetemperatur. Det kan benyttes til at reducere undertrykket, og dermed energiforbruget for en central udsugning. Sammenhængen er dog individuel, og skal bestemmes separat for hvert enkelt stald type.

Undersøgelsen har resulteret i 3 mulige styringer (se simplificeret kurve nedenfor eller delrapport side 7):

- **Konstantryks regulering - 55Pa (grøn)**  
Konstant tryk i hovedkanal = gammel strategi (kaldet traditionel)
- **Teoretisk (blå)**  
Kvadratisk kurve fra 5 til 55Pa (kaldet teoretisk) Ideel regulering = ud fra maks tryk behov i hovedkanal.
- **Knæk model**  
Lineær regulering pga. styringsmæssige nem implementering.

Af simuleringen fremgår det at langt det største energiforbrug ligger over 10°C ude temperatur (se kurve side 7 i delrapport for uddybning)



#### Trykbehovet ud fra 10°C ude er ved styringsstrategierne:

Traditionel (konstant) - grøn	55Pa
Teoretisk bedst - blå	20Pa
Knæk regulering - sort	30Pa

**Potentialet (uden ventilatorens effektivitet):**

Energiforbruget som udelukkende er den hydrauliskeffekt  $(20.000+10.000 \text{ m}^3/\text{h}) \cdot \text{tryk}$ :

Traditionel (konstant) – grøn	4,55 kWh/stiplads
Knæk regulering – sort	3,64 kWh/år/stiplads - reduktion med 20%
Teoretisk bedst – blå	2,76kWh/år/stiplads - reduktion med 40%

**10.2.1 Delkonklusion**

Af implementeringsmæssige årsager er det valgt at fokusere på knækreguleringen. Knæk reguleringen reducerer det samlede energiforbrug med 20% i reference stalden med 100 % rensning. Resultatet er yderst tilfredsstillende og knækmodellen implementeres i SKOV's styring og er salgsfrigivet ultimo 2012. Knækmodellen er yderligere udvidet med et tredje punkt midt på den krumme kurve som øger potentialet yderligere.

Det er en forudsætning for Knækmodellen af Dynamic Air central udsugning implementeres.

### 10.3 Ventilatorbank niveau (Dynamic multistep)

Ventilatorbanken styres i dag med SKOV's Multistep system. MultiStep® er en metode til at styre ydelsen ved brug af flere udsugningsenheder i trin, således at udsugningen bliver trinløs regulerbar og dermed kan tilpasses det aktuelle behov.

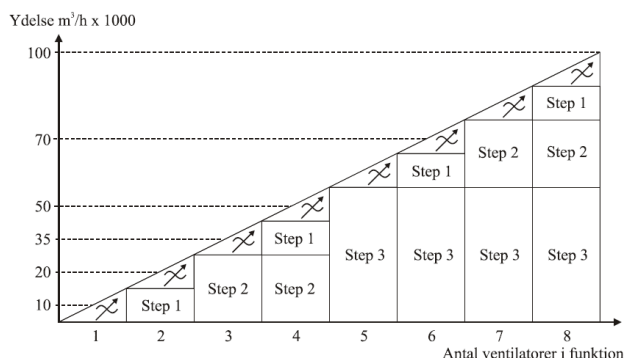
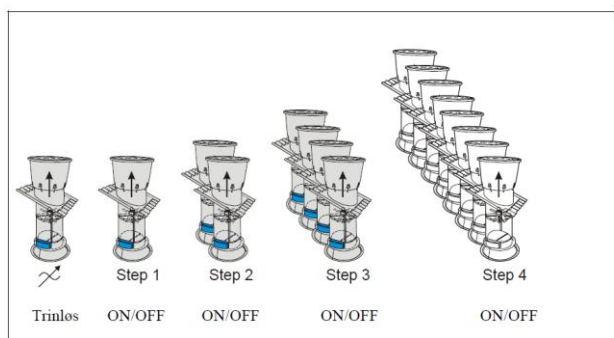


Fig. 10.3-1 Styringsprincip

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. En eller to af skorstene reguleres trinløst, hvilket vil sige, at spjældmotoren her kan stille spjældet i enhver stilling. 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. Styringen regulerer 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 %.

For at sikre at ydelsen opretholdes ved vindpåvirkninger har styringsformen yderligere indbygget en sikkerhed overfor vindpåvirkninger - "vindfølsomhed".

#### 10.3.1 Vindfølsomhed

Vindfølsomheden er væsentlig, da det ikke tillades at vindpåvirkninger medfører væsentlige luftydelsesvariationer eller tilbageløb i skorstenen, ved dels vindpåvirkninger og dels ved opstart af anden ventilator i ventilatorbanken. Dette vil medføre manglende ventilering. Vindfølsomhed er defineret som værende den procentvise ændring af flow, ved en ekstern trykændring fra 0 til 20 Pa.

$$Vindfølsomhed_{ved\ 490\ omdr.} = \frac{\text{Flowændringen fra 0 til } 20Pa}{\text{Flowet ved } 0Pa} = \frac{6500 - 4700\ m^3/h}{6500\ m^3/h} = 28\%$$

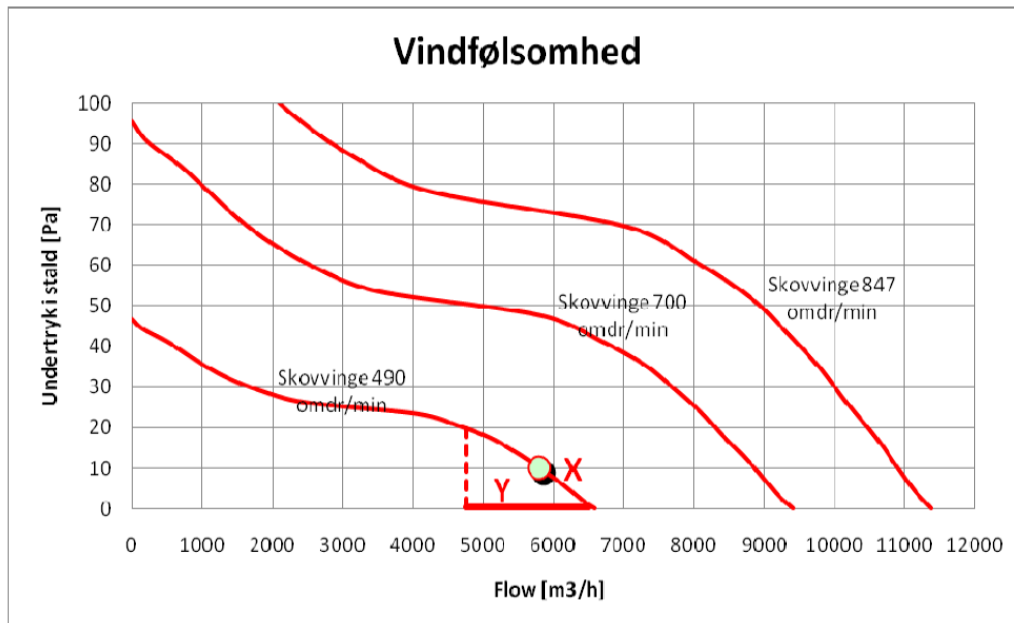


Fig. 10.2.3-1 Anskueliggørelse af definition af vindfølsomhed

Regulering udføres ved kombination af drøvleregulering og ændring i omdrejningstal, for at sikre autoritet i systemet og minimere påvirkninger fra vinden.

Drøvlingen går til rent energitab og det har derfor stor indflydelse på energiforbruget og styringen og det er derfor væsentligt at se på andre måder der kan sikre "vindfølsomheden".

I projektet er den nyudviklede flowmåling Dynamic Air central udsugning (se afsnit 10.1) anvendt som erstatningen for vindfølsomhedsprincippet, da luftmængden er kendt og styringen dermed til en hver tid kan kompensere i forhold til den eksterne belastning.

### 10.3.2 Regulering af ventilatorer

Som beskrevet i afsnit 10.2 er der tre mulige styringsstrategier for ventilatorbanken:

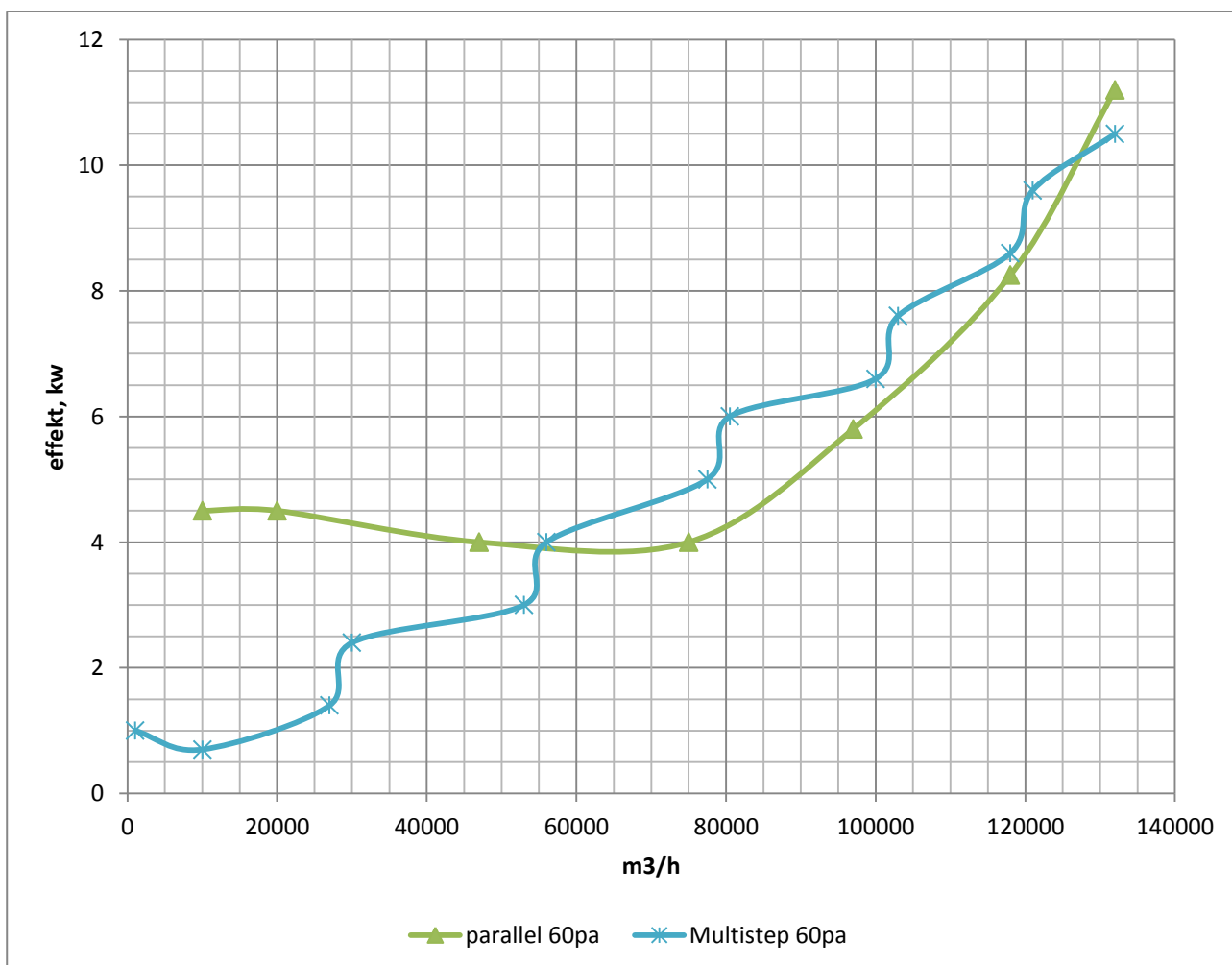
- Paralleldrif = alle ventilatorer reguleres op og ned samtidig
- Multistep = On/off+1 trinløs (kaskade)
- Kombination Ideal = følger behovet

I det følgende vurderes styringsstrategierne for de to fokusområder 100 og 20% rensning

## 100 % rensning:

Simuleringer af styringsformer af referencestalden til 100% rensning med en trykstabilitet (vindfølsomhed) på 10Pa og et bagtryk på 60Pa viser, at der i det lave frekvensområde med paralleldrif, haves et relativt højt energiforbrug pga. at det er nødvendigt at trække spjæld for at opretholde trykstabiliteten. Trykstabiliteten opretholder trykket (konstant tryk) og "opretholder dermed energiforbruget til tryktab", uanset luftmængdens størrelse, da det hydrauliske arbejde er proportionalt med flowet.

Med On/off+trinløs (kaskade) = Multistep fås en bølget energisignatur (se nedenstående kurve), som har et højere energiforbrug i det høje flowområde, men mindre energiforbrug i det lave flowområde.



Ved 100% rensning er det således styringsmæssigt at fortrække at køre paralleldrif i det øvre område og multistep i det nedre område, hvilket kun er muligt når alle ventilatorer er regulerbare. Der skal derfor reduceres i antallet af ventilatorer ved øget ydelse eller tilstrækkeligt stor besparelse til at fremtvinge et økonomisk incitament.

I projektet er der udviklet en ny styringsform som kombinerer disse to reguleringsformer kaldet Dynamic Multistep.

## **20% rensning:**

Simuleringer af styringsformer af referencestalden til 20% rensning viser at der i en stor del af tiden kører med maksimalydelse og styringsstrategien derfor ikke i samme omfang er helt afgørende. 20 % rensning kan dog være næsten lige så energiforbrugende som 100 % pga. højt tryktab/ flow i mange driftstimer.

Ved 20% rensning er det dog også styringsmæssigt at fortrække at køre paralleldrif i det øvre område og multistep i det nedre område, hvilket er muligt når alle ventilatorer er regulerbare. Dog ligger en stor del af driftstimerne gennem biofilteret på 100% udsugning, hvorfor det er op til økonomien i det enkelte tilfælde om der er incitament til implementeringen.

### **10.3.3 Delkonklusion**

Der er udviklet ny styringsstrategi, Dynamic Multistep, med paralleldrif i det øvre område og Multistep i det nedre område. Styringsstrategien forudsætter Dynamic Air central udsugning

Til 100% rensning er styringen yderligere ekviperet med ude temperatur kompenseret sæt-punkts regulering som nedsætter bagtrykket i hovedkanalen (knækmodel).

Potentialet for styringen er angivet under det samlede potentiale i afsnit 11 og 12.

Produktet er salgsfrigivet ultimo 2012.

## **10.4 Konklusion – Styring**

Ideel styring uden bagtryk har ikke kunne etableres i virkeligheden dog er styringsstrategi med minimalt bagtryk implementeret.

Der er udvikling ny styringsstrategi, software og hardware med paralleldrif i det øvre område og Multistep i det nedre område.

Til 100% rensning er styringen yderligere ekviperet med ude temperatur kompenseret sæt-punkts regulering som nedsætter bagtrykket i hovedkanalen (knækmodel).

Der er udviklet ny flowmåling; Dynamic Air til centraludsug som muliggør styringsstrategierne og sikrer vindfølsomhed uden drøvling.

Dynamic Air Multistep, reducere trykket i kanalen, og sikre samtidig korrekte luftmængde. Dette var ikke tilfældet tidligere, hvor der skulle opretholdes et konstant højt kanaltryk samt "overdimensionere" kanalen for at kunne sikre korrekte luftmængder.

Alle tiltag er yderst energibesparende og er sat i produktion og lanceret hos SKOV, november 2012. Det samlede potentiale er opgjort i afsnit 11 og 12.

## 11 Samlet potentiale 20% rensning

De indgående optimeringer på komponentniveau under 20% rensning, som er vurderet rentable, og der køres videre med i SKOV er iht. afs. 7.0 til 8.4:

- Vinge + motor – Nyt produkt - LPC-13
- Samlet styring - Dynamic Multistep

De resterende indsatsområder der ikke er fundet rentable og som er udtaget omhandler følgende komponenter:

- Ventilator indbygning – ingen ændring
- Kanalsystem – Ingen ændring
- Pumpe styring – Ingen ændring
- Ventilator styring – Ingen ændring

Af afsnit 7.0 til 8.4 fremgår det at ventilatorens indbygningsforhold er af mindre betydning i det rentable område og kanalsystemet er optimalt mht. de anvendte kapacitetsområder. Det samme gør sig gældende for styringsstrategierne for hhv. pumpe- og ventilatordrift som negligeres af det store antal driftstimer med maksimal kapacitet igennem biofilteret.

Af afsnit 7.0 til 8.4 fremgår det yderligere at den ny udviklede ventilator, LPC-13 er rentabel iht. følgende overvejelser:

- Lovgivningsmæssigt betyder 20% rensning at et luftmængden svarende til 20% af max ydelse skal køres igennem filteret. Således kan luftskiftet over året være langt højere end 20%.
- I reference stalden udsuges der derfor i 5500 timer udelukkende gennem biofilteret, hvilket udgør 63% af tiden.
- Eksisterende ventilatorer i biofilter: 3 stk. DA600-5 (1 stk. frekvensstyret og 2 on/off)
- Fremtidig ventilator i biofilter: 2 stk. LPC-13 ( $1300^{\circ}/_{\min}$ ). Tidligere optimeret ventilator med ny motor som øger omdrejninger til  $1300^{\circ}/_{\min}$  og dermed reducerer antallet af ventilatorer til 2.
- Ved at gå fra 3 til 2 ventilatorer reduceres energiforbruget med over 10%. Dog øges tryktabet i afkastkanalerne pga. øget hastighed, hvilket reducerer forbedringen til 8,5% point. Det skal her bemærkes at forbedringen er endnu højere i driftspunktet med optimal virkningsgrad som dog ikke anvendes, da driftspunktet ikke i praksis er anvendeligt);
- Ved at gå fra 3 til 2 ventilatorer er der større økonomisk råderum til at anvende PM motorerne og dermed have alle ventilatorer regulerbare.
- Styringsmæssigt er det at fortrække at kører frekvensparallel i det øver område og multistep i det nedre område, hvilket er muligt når alle ventilatorer er regulerbare. Dog ligger en stor del af driftstimerne gennem biofilteret på 100% udsugning, hvorfor der styringsmæssigt ikke er rentabelt at anvende den mere omkostningstunge nyudviklede styring.

På baggrund af de opnåede forbedringer (ny ventilator) har SKOV fortaget en analyse på baggrund STALVENT og egne beregninger for kortlægge potentialet for 20% rensning. Analysen er fortaget med udgangspunkt i referencestalden.

Det samlede potentiale på systemniveau er fundet 15% på årsbasis iht. referencestalden. Den reducerede værdi over året ift. ventilator optimeringen 17,7% er pga. det varierende flow og effektivitet i ventilatorenes nedre arbejdsområde.

Som ved referencestalden kan den nye løsning med LPC-13 ved ydelser under 26.000 m<sup>3</sup>/h reducere antallet af udsugningsenheder fra 3 til 2 pr bioflexmodul, hvilket reelt gør løsningen billigere end den eksisterende med 3 stk. DA600-5 (to on/off og en frekvesreguleret).

Ved ydelser fra 26.000 til 30.000 m<sup>3</sup>/h pr bioflexmodul skal den nye løsning med LPC-13 forøges til 3 ventilatorer. Samtidig reduceres tryktabet i udsugningsskorstene dog pga. det lavere flow pr enhed.

Det medfører en TBT på mellem 0 og 5 år alt efter om kapaciteten er over eller under 26.000 m<sup>3</sup>/h

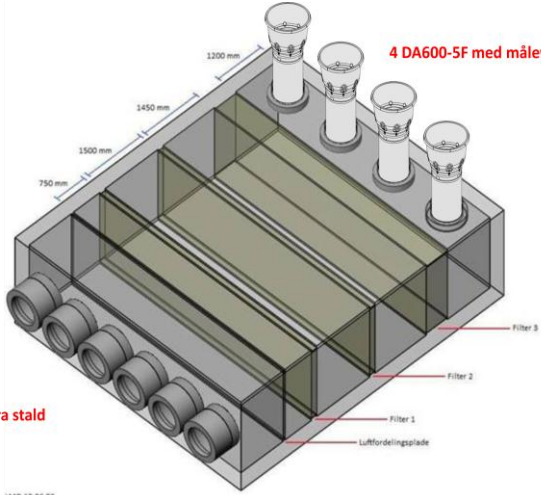


## 12 Samlet potentiale 100% rensning

Potentialet er opgjort med udgangspunkt i referencestald 4 med 100 % rensning. Staldens specifikationer fremgår af Bilag 4.

På stalden forligger der logning af data over en et årig referenceperiode uden optimeret komponenter i forbindelse med VERA gennemgang og rapport.

Stalden er bestykt med 100 % luftrensning direkte fra stalden. Luftrensningens- systemopbygningen og bestykning fremgår af nedenstående figur og tabel:

	Parametre	Bio Flex 100 % rensning
	Dyrekategori	30-350 kg slagtesvin
	Drift	Holddrift 100 dage pr hold, 5 dage mellem hold
	Foder	Tørfoder ad libitum
	Gulvtype	1/3 drænet, 2/3 fuldpartlet
	Luftindtag	30 vægventiler DA1200
	Kanal	6 x DA600 rør med afkastkonus
	Luftudtag	4 x nedenstående: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Indløbstragt</li> <li>• Drejespjæld</li> <li>• DA 600-5f, trinløs</li> <li>• Afkastkonus</li> </ul>
	Staldlængde	14,40 m
	Staldbredde	19,68 m
Loftshøjde	2,80 m (åben til kip)	
Taghældning	30°	

Nøgletallene for stalden fremgår af nedenstående:

- Ekstra tryktab på 30 Pa over ekstra filtre som kræves i henhold til tysk lovgivning.
- Da det er en ventilstald, er der et start tryktab på 10 Pa
- 33 kWh/stigplads pr. år til ventilatordrift
- 16 kWh/ stigplads pr. år til pumpedrift

I projektperiodens afslutning er der opsat de nye optimerede ventilatorer og styringer for test af det samlede systemet. Det samlede optimerede system udgør:

- Dynamic overrisling (pumpedrift)
- Samlet styring - Dynamic Multistep indeholdende:
  - Dynamic Air central udsugning (måling af luftflow)
  - Udetemperatur kompenseret sætpunktsstyring - Knæk styring
  - Vindfølsomhed uden drøvling
- Ventilatorer udskiftet til LPC-13

Som det fremgår af afsnit 7.4 er simuleringens resultaterne fra STALDVENT verificeret med simulering af driftsforholdene i referencetilstand over en 1 årig periode, sammenlignet med energiforbruget er målt over en periode på 1. år, angivet i VERA test rapporten. Det har ikke været muligt i det indeværende projekt også at validere tiltagene ved direkte måling over 1 år på

grund af projektperiodens længde, men de punktvisse opmålinger af effektforbruget er i de forskellige driftspunkter er opmålt til validering af resultatet.

Nedenstående tabel angiver nøgletallene for opmålinger/ simuleringen. Simuleringen fremgår af Bilag 8.

Ventilation	kWh/år	kWh/stiplads/år
<b>Målt i 1 års VERA test (4 DA600-5F)</b>	11547	33
<b>StaldVent (4 DA600-5F m. målevinger)</b>	9743	28
StaldVent (3*LPC13 med Dyn. multistep)	<b>3844</b>	<b>11</b>

BIO Flex luftreenser	kWh/år	kWh/stiplads/år
<b>Målt 1 års VERA test</b>	5544	16
<b>StaldVent</b>	5501	16
StaldVent dyn. overrissing	<b>3569</b>	<b>10</b>

Som det fremgår af resultaterne er der en afvigelse mellem STALDVENT og det målte værdier i VERA testen. Afvigelse er forudsagt af periode med meget tilsmuds filter. En situation der også kan forekomme andetsteds, hvorfor afvigelse ikke tages til indtægt i resultatet og potentialet reduceres tilsvarende.

Den samlede reduktion med det nye system til luftrensning udgør dog alligevel en markant forbedring på hele 61%.

Tilsvarende er tilbagebetalingstiden på det nye system meget positivt:

Ventilation	TBT
Dyn Multistep og 1*LPC-13 regularbar+2 konstant (ny styring)	<b>1,7</b>
Som ovenstående men kost optimeret	<b>1</b>
1 DA600-7F+2 konstant	<b>1,3</b>

Det forventes at det er muligt at reducere prisen på LPC-13 hvorfor denne løsning også fremgår. Her er TBT er helt nede på 1 år.

Løsningerne kan endvidere implementeres i SKOV's standard produktprogram uden luftrensning, hvilket fremgår af nedenstående resultater (uden Dynamic overrissing):

Opsætning	kWh pr. 3 år	kWh/stipl/år	TBT
<b>Reference - 2DA600-3+2 konstant</b>	17051	14,2	
<b>3LPC13</b>	7986	6,7	1,5

Den samlede reduktion med det nye system til "ikke luftrensning" udgør 53% og TBT på den kostpris optimeret løsning er helt nede på 0,4 år.

## 13 Konklusion

PSO F&U projektet 342-041 "Energieffektiv biologisk luftrensning til staldventilation", har haft til formål at viderefører PSO projektet 340-033 resultater på komponentniveau til systemniveau og haft en målsætning om at reducere energiforbruget til luftrensning med 30% og samtidig have en tilbagebetalingstid på maksimalt 3 år.

Projektet har opnået yderst signifikante resultater som ligger langt over målsætningen. Særligt tilfredsstillende er den lange række af ny komponenter som er lanceret ultimo 2012.

I projektet er der ved implementering af det nyudviklede system ved 100% rensning (LPC 13 ventilatorer og Dynamic multistep styring) i forhold til Best pratic (SKOV's oprindelige system med DA600 ventilatorer) i en konkret stald opnået en besparelse på 61% og en simpel tilbagebetalingstid på 1,7 år.

Tilsvarende er det fundet at energiforbruget til pumpedrift kan reduceret med 37% med den nye styring Dynamic overrisling.

Ved 20% rensning er der fundet et besparelspotentiale på 15% årligt og en TBT på mellem 0 og 5 år, som er afhængig af den ønskede ydelse, da kapaciteter i biomodulets øvre kapacitetsområde mellem 26.000-30.000 m<sup>3</sup>/h medfører en omkostninger til en ekstra udsugningsenhed i den nye løsning.

Yderligere har de nyudviklede komponenter vist sig yderst velegnet til standardanlæg uden luftrensning hvor en besparelspotentialet er 53% og tilbagebetalingstiden 1,5år

Produktmæssigt har projektet dannet grundlag for udviklingen af:

1. Nye energieffektive udsugningsenheder (LPC11,12,13) som er velegnede til luftrensning.
2. Et nyt energibesparende reguleringsprincip (Dynamic Multistep) som er særlig velegnet til lavenergiventilatorer.
3. Et nyt energibesparende flow målesystem til kanalanlæg (Dynamic air til centraludsugning).
4. En energibesparende trykstyring til fælleskanaler (trykstyring som funktion af udetemperatur).
5. Forslag til en ny energibesparende pumpedrift for overrisling af biologiske filtre (Dynamic overrisling).

De udviklede produkter er allerede videregivet til SKOV A/S produktafdeling og de fire første produkter er som sagt salgs frigivet fra SKOV A/S ultimo 2012. Hvorvidt den energibesparende drift af overrislingsanlæg implementeres, afhænger af yderligere test.

## Bilag 1 - Reference stald 0 %

Diffust ventilationsanlæg i 4 slagtesvinesektioner á 638 stipladser (35-102 kg.)



The collage features several key elements: a perspective view of a modern pig pen with metal railings; a blue SKOV control unit with a digital display and a computer monitor showing a software interface with various data points; the exterior of a brick building with several white cylindrical roof vents; and a close-up of a diffuser nozzle on a metal pipe, emitting a fine mist. Below the collage, there are icons for a pig and a chicken, a thermometer icon, and smaller images of piglets and chicks. The SKOV logo is prominently displayed with the slogan "klima for vækst".

## Bemærkninger:

Intet krav til luftrensning

## Tekniske data:

### 4 stk. slagtesvinesektioner á 638 dyr, 35-102 kg.

Ventilationsprincip: **Diffus udregnet efter holddrift**

Staldlængde: 36 m

Staldbredde: 12,8 m

Væghøjde: 2,6 m

Lofthældning: 0 grader

Taghældning: 20 grader

Luftbehov: 63.800 m<sup>3</sup>/t

Luftskifte: 53 gange/t

Luftindtag: Diffust loft

Udsugning: 0-100% luft (undertryk 30 pa.)

Trinløs 1: 1 stk. DA 600 LPC 230v. ydelse 12.400 m<sup>3</sup>/t

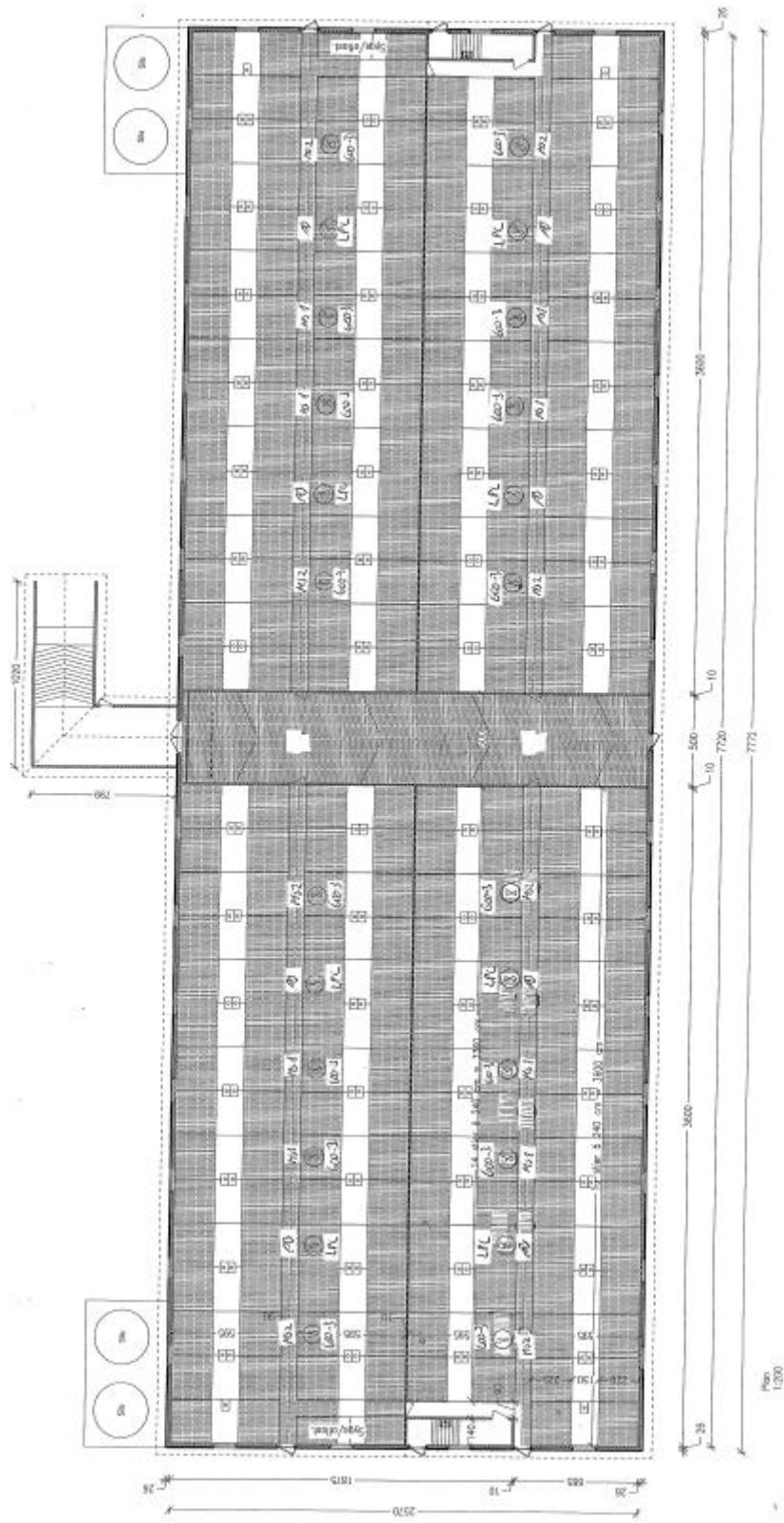
Trinløs 2: 1 stk. DA 600 LPC 230v. ydelse 12.400 m<sup>3</sup>/t

Multistep 1: 2 stk. DA 600-3 230v. ydelse 20.800 m<sup>3</sup>/t

Multistep 2: 2 stk. DA 600-3 230v. ydelse 20.800 m<sup>3</sup>/t

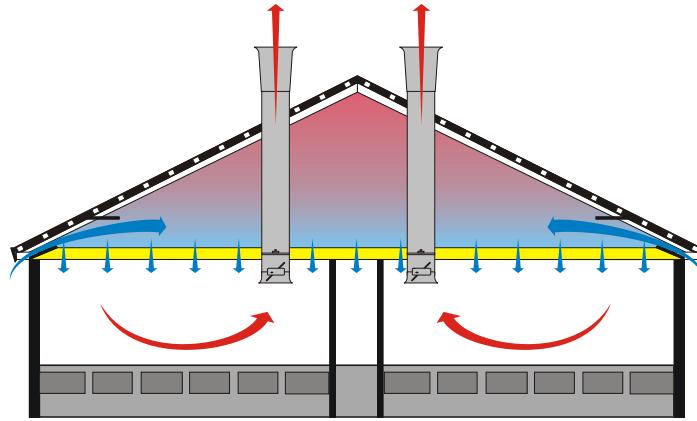
**Total luftydelse: 66.400 m<sup>3</sup>/t = 104 m<sup>3</sup>/t/stiplads**

Her vist 4 sektioner ud af i alt 4 sektioner



## Luftindtag:

Luftindtag sker via diffust loft som etableres i samråd med SKOV A/S. Dette sikrer korrekt dimensionering af afdækning, diffust areal samt typen af mineraluld.



Ved diffust loft anbefaler SKOV A/S automatisk vinduesnødopluk, som åbner i tilfælde af strøm- og/eller tekniksvigt samt alarmanlæg.

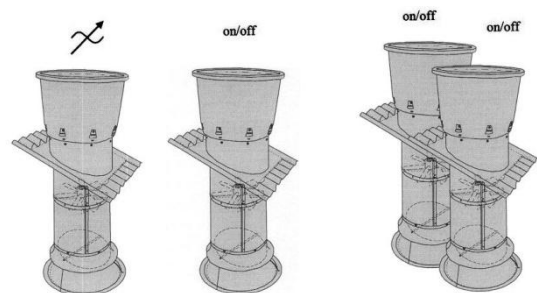
## Luftudtag:

Luftudtag sker via DA 600 aerodynamiske skorstene der leveres med faststøbt inddækning, indløbstragt, trinløst reguleret drejespjæld, trykstabilt ventilator og konus med regnfang.



Skorstenen er meget robust, fremstillet af polypropylen, tåler rengøring med højtryksrensere og er stabil trods kraftig vindpåvirkning

For reduktion af energiforbrug etableres luftudtaget med MultiStep® styring der samtidig øger afkasthøjden over taget så nærmiljøet skånes for lugt og støv. Der er ingen mekaniske forbindelser mellem udsugningsenhederne, som kræver løbende justering.



## Klimastyring:

Anlægget styres ud fra avanceret temperaturregulering via DOL 234 klima-computer. DOL 234 kan desuden styre alarm, varme, køling, temperaturstyret overbrusning, iblødsætning, tørring og MultiStep® ventilatorstyring etc.

DOL 234 er brugervenlig med en overskuelig betjeningsflade og er udstyret med display til grafvisning. For sikker backup kan data ind- og udlæses via Compact Flash kort.



## Nødopluk:

DOL 278M udgør sammen med klimacomputeren et nødoplukssystem, der ved strøm- eller tekniksvigt åbner drejespjælde helt og forbedrer, i en periode, dyrenes mulighed for at klare sig.



## Alarmanlæg:

Tilbuddet indeholder DOL 2200 fastnet alarmanhed, der overvåger for høj og for lav temperatur i op til 10 sektioner. Den indbyggede talecomputer, kan via højtaler og/eller opkald til 5 forskellige telefonnumre afgive melding i klar tale.

Ved telefonopkald til alarmanheden, er der mulighed for fjernbetjening, kontrol og alarmstatus mm. Der kan endvidere modtages ON/OFF alarmer for tom silo, fastkørte snegle og lavt vandtryk mm.

DOL 2200 er udstyret med et stort grafisk display, der viser temperaturforløbet i kurver samt alarmstatus for hver indgang. Ligeledes indeholder tilbuddet 4 stk. sektionfølere og udeføler for sommerkompensering samt sirene for alarm.

Køber sørger selv for etablering af analog telefonlinje, 5-pol stik, oprettelse af nummer.





## Stykliste

<b>Varenummer</b>	<b>Antal</b>	<b>Enhed</b>	<b>Varebetegnelse</b>
434001	24	stk	DA 600 afkastkonus grå
434002	24	stk	DA 600 taggennemføring grå
434040	24	stk	DA 600 tagpl,side,grå
434003	168	stk	DA 600 rør 500 mm grå
434032	84	stk	DA 600 isolering 1000 mm
434004	24	stk	DA 600 rør med vent.oph. grå
445003	16	stk	DA 600-3 ventilator 230V
434007	8	stk	DA 600 indløb trinløs grå
434006	16	stk	DA 600 indløb on/off grå
445083	8	stk	DA 600 LPC ventilator 230V 50Hz
401990	2	stk	Undertryksmåler -10 - 600 Pa
401995	6	m	Slange for undertryksmåler
134690	1	stk	DOL 278AM nødopluk ON/OFF, Medium (4,2A)
608440	2	stk	DOL 234 manualpakke DA
134301	2	stk	DOL 234-2 klima LB 10RL MS3

## Bilag 2 - Reference stald 20 %

Diffust ventilationsanlæg i 4 slagtesvinesektioner á 638 stipladser (35-102 kg.) med delvis rensning (20 %)



### Bemærkninger:

Kravet til biologisk rensning er 20 % af udsugningsydelsen (delrensning), men når BIO 3U luftrensere udnyttes fuldt ud, renses 23,5 % af luftydelsen (Luftbehov fra 0 til 23,5 %)

### Tekniske data:

#### 4 stk. slagtesvinesektioner á 638 dyr, 35-102 kg.

Ventilationsprincip: **Diffus udregnet efter holddrift**

Staldlængde: 36 m  
Staldbredde: 12,8 m  
Væghøjde: 2,6 m  
Lofthældning: 0 grader  
Taghældning: 20 grader  
Luftbehov: 63.800 m<sup>3</sup>/t  
Luftskifte: 53 gange/t

Luftindtag: Diffust loft

Udsugning: 0-23,5% luft (fuld udnyttelse af BIO3U, delrensning)

Trinløs 1: DA 600 påstik, ydelse 7.500 m<sup>3</sup>/t

Trinløs 1: DA 600 påstik, ydelse 7.500 m<sup>3</sup>/t

23,5-100% luft (loftudsug, undertryk 30 pa.)

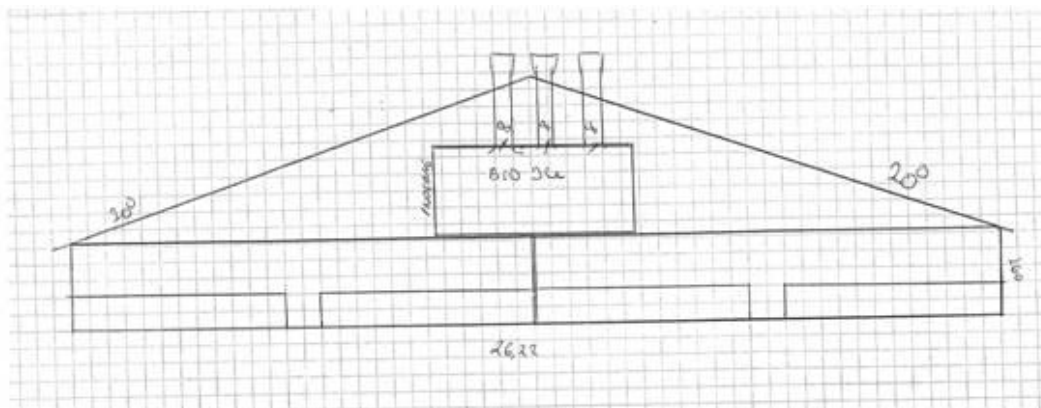
Trinløs 2: 1 stk. DA 600 LPC 230v. ydelse 12.400 m<sup>3</sup>/t

Multistep 1: 1 stk. DA 600-3 230v. ydelse 10.400 m<sup>3</sup>/t

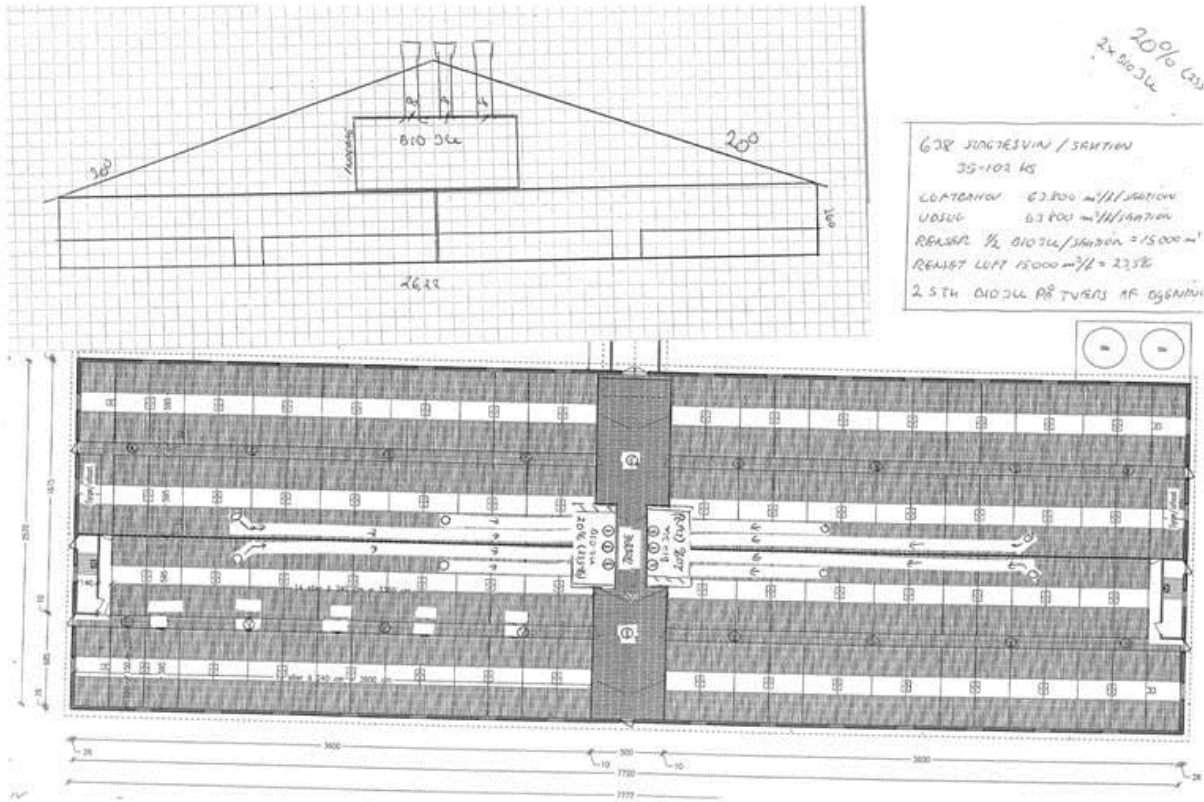
Multistep 2: 1 stk. DA 600-3 230v. ydelse 10.400 m<sup>3</sup>/t

Multistep 3: 2 stk. DA 600-3 230v. ydelse 20.800 m<sup>3</sup>/t

**Total luftydelse: 69.000 m<sup>3</sup>/t = 108 m<sup>3</sup>/t/stiplads**



Her vist 4 sektioner ud af i alt 4 sektioner



Stald/sektions type: 4 stk. slagtesvinesektioner a' 30 stier

## Luftindtaget

Luftindtag sker via diffust loft som etableres i samråd med SKOV. Diffust luftindtag er kendetegnet ved at have et konstant åbningsareal over dele af loftet. Lufthastigheden ved diffust luftindtag er lav og derfor er der ringe risiko for træk i stierne.

## Luftudtaget (pr. sektion)

Fra 0 til 15.000 m<sup>3</sup> luft (23,5 %) suges ud via luftrensere som placeres på loftet. Fra 15.000 til 63.800 m<sup>3</sup>/t suges ud af stalden via 5 stk. DA 600 skorstene. Disse skorstene starter først op når luftrensere kører i max. og fungerer også som nødluftudtag. En skorsten i loftet etableres med DA 600 LPC ventilator og regulerer trinløs. De øvrige skorstene anvender DA 600-3 ventilatorer og det energibesparende MultiStep ventilationsprincip ved at ventilatorerne kobler ind efter behov. Ved anvendelse af MultiStep opnås størst mulig lufthastighed i afkastet og lavt energiforbrug.

## Biologisk luftrensning Bio 3U:

Ved at rense 15.000 m<sup>3</sup>/t pr. sektion (23,5 % af udsugning) opnås en ammoniakreduktion på min. 70 %. Der anvendes 2 stk. BIO 3U til 4 slagtesvinesektioner.

Der er 3 DA 600 udsugningsenheder fra renser. Der anvendes 1 stk. DA 600-5F samt 2 stk. DA 600-5 ventilatorer som er meget trykstabile og kan dermed klare et stort modtryk. Der anvendes det strømbesparende MultiStep system. Udsugning reguleres ved hjælp af DOL 234 klimacomputer samt tryksensorer derved reguleres sektioner uafhængige af hinanden.

## Klimacomputer:

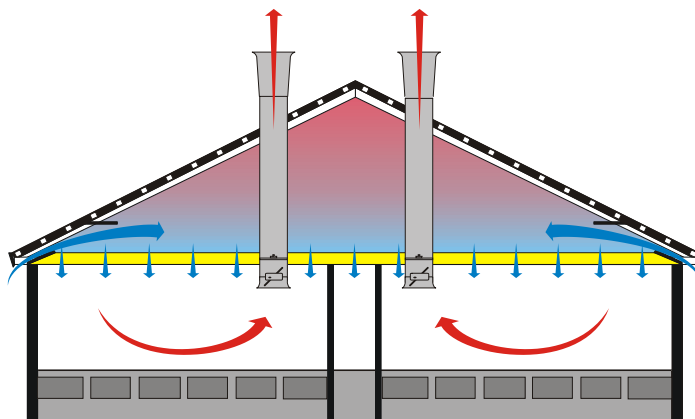
Der anvendes 2 stk. DOL 234-2 klimacomputere som regulerer ventilationsanlægget ud fra målt temperatur. Klimacomputer er forberedt for fugtstyring, styring af overbrusning/køling og har ligeledes indbygget pausefunktioner med bl.a. iblødsætning, vask og tørring.

## Nødopluk:

DOL 278M udgør sammen med klimacomputeren et nødoplukkesystem, der ved strøm- eller tekniksvigt åbner drejespjældet helt og derved sikrer naturlig ventilation i stalden.

## Luftindtag:

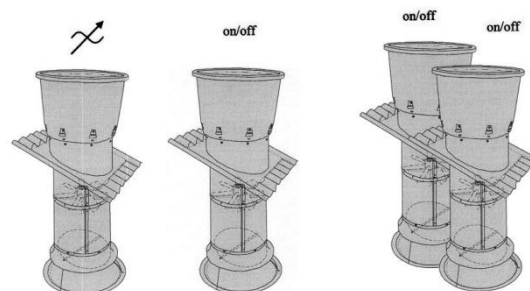
Luftindtag sker via diffust loft som etableres i samråd med SKOV A/S. Dette sikrer korrekt dimensionering af afdækning, diffust areal samt typen af mineraluld.



Ved diffust loft anbefaler SKOV A/S automatisk vinduesnødpluk, som åbner i tilfælde af strøm- og/eller tekniksvigt samt alarmanlæg.

## Luftudtag:

Luftudtag sker via DA 600 aerodynamiske skorstene der leveres med faststøbt inddækning, indløbstragt, trinløst reguleret drejespjæld, tryk stabil ventilator og konus med regnfang.



Skorstenen er meget robust, fremstillet af polypropylen, tåler rengøring med højtryksrensere og er stabil trods kraftig vindpåvirkning.

For reducere af energiforbrug etableres luftudtaget med MultiStep<sup>®</sup> styring der samtidig øger afkasthøjden over taget så nærmiljøet skånes for lugt og støv. Der er ingen mekaniske forbindelser mellem udsugningsenhederne, som kræver løbende justering.

## Luftrensning (delrensning 23,5 %)

Farm AirClean er et system til biologisk luftrensning. Systemet benytter sig udelukkende af biologiske principper til rensning af luften. De biologiske principper er effektive med hensyn til reduktion af lugt, ammoniak og støv. Systemet har ved omfattende test vist følgende resultater: Ammoniakholdet i afgangsluften fra stalden reduceres til mindre end 1 ppm, lugten af "gris" fjernes fra afgangsluften og støvindholdet i afgangsluften reduceres med 95 %.

Farm AirClean er modulbaseret, hvilket gør det muligt at beregne antallet af rensenheder til luftrensning ud fra antallet af m<sup>3</sup> staldluft, der skal renses. Alle enheder er udstyret med en automatisk filtervasker.

**I det konkrete projekt anvendes 2 stk. BIO 3U luftrensemoduler, som begge har en renskapacitet på 30.000 m<sup>3</sup>/t**



Staldluften sendes igennem to filtre, som overrisles med vand. Ammoniak og lugtstoffer fjernes i begge filtre, mens størstedelen af støvet fjernes i det første filter. Luftrensningen er en biologisk proces. På filtrene dannes en biofilm af bakterier og andre mikroorganismer. Ammoniak, lugtstoffer og støv fjernes, når staldluften kommer i kontakt med vandet og biofilmen i filtrene.

### Klimastyring:

Anlægget styres ud fra avanceret temperaturregulering via DOL 234 klimacomputer. DOL 234 kan desuden styre alarm, varme, køling, temperaturstyret overbrusning, iblødsætning, tørring og MultiStep<sup>®</sup> ventilatorstyring etc.

DOL 234 er brugervenlig med en overskuelig betjeningsflade og er udstyret med display til grafvisning. For sikker backup kan data ind- og udlæses via Compact Flash kort.



### **Nødopluk:**

DOL 278M udgør sammen med klimacomputeren et nødoplukssystem, der ved strøm- eller tekniksvigt åbner drejespjælte helt og forbedrer, i en periode, dyrenes mulighed for at klare sig.



### **Alarmanlæg:**

Tilbuddet indeholder DOL 2200 fastnet alarmanhed, der overvåger for høj og for lav temperatur i op til 10 sektioner. Den indbyggede talecomputer, kan via højttaler og/eller opkald til 5 forskellige telefonnumre afgive melding i klar tale.

Ved telefonopkald til alarmanheden, er der mulighed for fjernbetjening, kontrol og alarmstatus mm.

Der kan endvidere modtages ON/OFF alarmer for tom silo, fastkørte snegle og lavt vandtryk mm.

DOL 2200 er udstyret med et stort grafisk display, der viser temperaturforløbet i kurver samt alarmstatus for hver indgang. Ligeledes indeholder tilbuddet 4 stk. sektionfølere og udeføler for sommerkompensering samt sirene for alarm.

Køber sørger selv for etablering af analog telefonlinie, 5-pol stik, oprettelse af nummer.





## Stykliste

Varenummer	Antal	Enhed	Varebetegnelse
413239	2	stk	Elektronisk differenstrykmåler VFP-100
134281	1	stk	DOL 234-2 klima LB 10RL MS2
434003	350	stk	DA 600 rør 500 mm grå
434032	207	stk	DA 600 isolering 1000 mm
434005	8	stk	DA 600 indløbstragt grå
434020	32	stk	DA 600 bøjning 45 gr. grå
434007	8	stk	DA 600 indløb trinløs grå
434031	24	stk	DA 600 støttering
530149	64	stk	Tape PVC 21 sort 100mm x 10m
508946	8	stk	Reparationsbøsning t/indløbstragt
437853	2	stk	BIO 3U modul 230V 50Hz
434001	6	stk	DA 600 afkastkonus grå
434002	6	stk	DA 600 taggennemføring grå
434040	6	stk	DA 600 tagpl,side,grå
434003	18	stk	DA 600 rør 500 mm grå
434004	6	stk	DA 600 rør med vent.oph. grå
445062	2	stk	DA 600-5F vent. 3x230 V m/frekvensomf.
432056	6	stk	Universal kit for plastdrejespjæld
432070	2	stk	DA 74AV drejespjældmotor trnl.
434005	4	stk	DA 600 indløbstragt grå
434212	6	stk	DA 600 drejespjæld sort
432080	4	stk	DA 74A drejespjældmotor on/off
280060	4	stk	Kontaktor 3-pol 400V, 230V 50/60 Hz
445042	4	stk	DA 600-5 ventilator 400V
437899	6	stk	BIO-modul vandafskærmning for luft.ud
434001	20	stk	DA 600 afkastkonus grå
434002	20	stk	DA 600 taggennemføring grå
434040	20	stk	DA 600 tagpl,side,grå
434003	140	stk	DA 600 rør 500 mm grå
434032	70	stk	DA 600 isolering 1000 mm
434004	20	stk	DA 600 rør med vent.oph. grå
434007	4	stk	DA 600 indløb trinløs grå
445003	16	stk	DA 600-3 ventilator 230V
445083	4	stk	DA 600 LPC ventilator 230V 50Hz
434006	16	stk	DA 600 indløb on/off grå
401990	2	stk	Undertryksmåler -10 - 600 Pa
401995	6	m	Slange for undertryksmåler
134690	1	stk	DOL 278AM nødopluk ON/OFF, Medium (4,2A)
134301	2	stk	DOL 234-2 klima LB 10RL MS3
608440	2	stk	DOL 234 manualpakke DA

### Bilag 3 - Reference stald 100 % (fælleskanal)

Diffust ventilationsanlæg i 4 slagtesvinesektioner á 638 stipladser (35-102 kg.) med 100 % rensning



**Bemærkninger:**

Kravet til biologisk rensning er 100 % af udsugningsydelsen (fuld rensning)

**Tekniske data:****4 stk. slagtesvinesektioner á 638 dyr, 35-102 kg.**

Ventilationsprincip: **Diffus udregnet efter holddrift**

Staldlængde: 36 m

Staldbredde: 12,8 m

Væghøjde: 2,6 m

Lofthældning: 0 grader

Taghældning: 20 grader

Luftbehov: 63.800 m<sup>3</sup>/t

Luftskifte: 53 gange/t

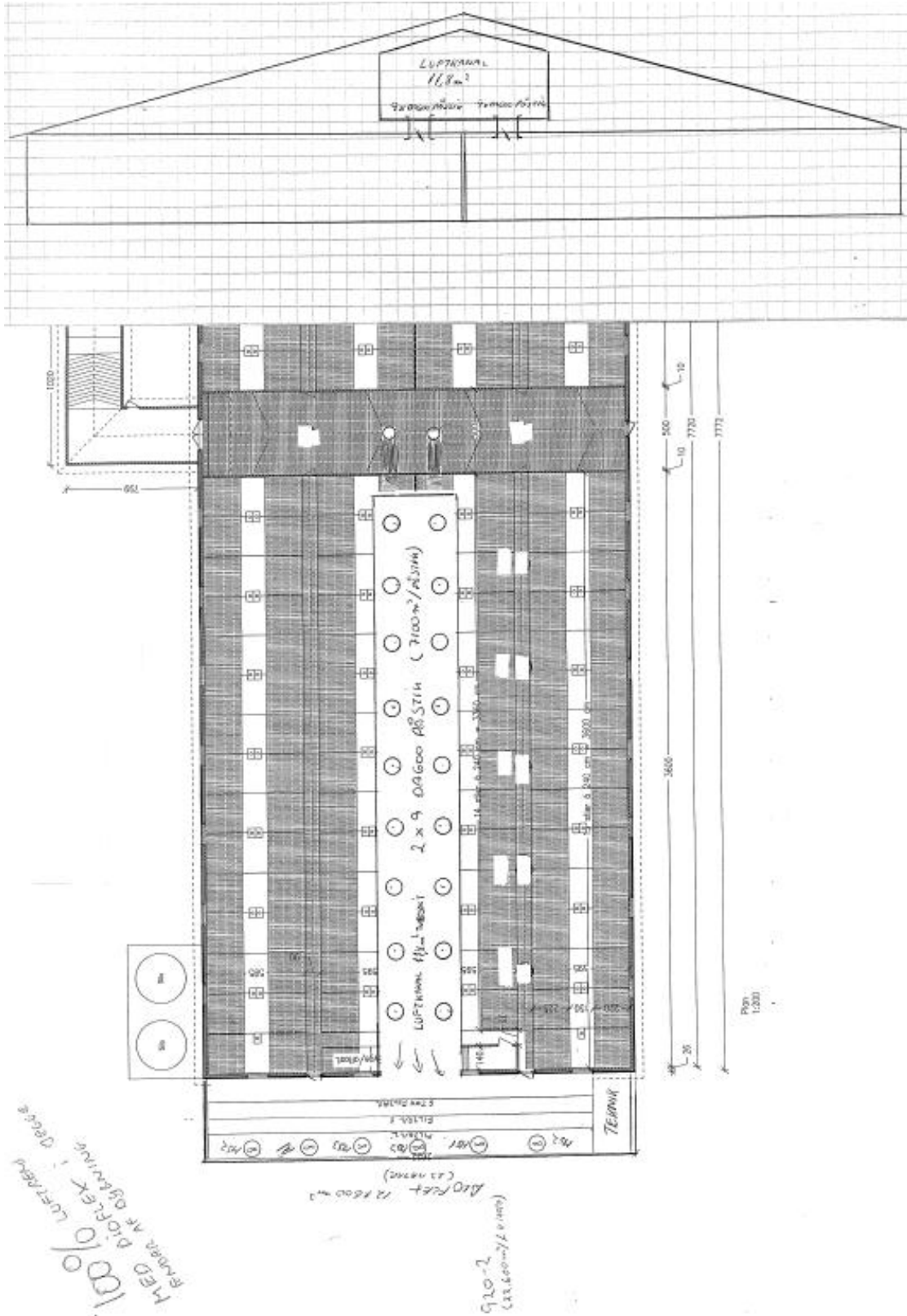
Luftindtag: Diffust loft

Udsugning: 0-100 % luft (fuld rensning)

Trinløs 1: DA 920 + 5 stk. DA 920 on/off

Drejespjæld i påstik forbindes mekanisk og reguleres af 1 stk. DA 174- spjældmotor

Her vist 2 sektioner ud af i alt 4 sektioner



**Stald/sektions type: 4 stk. slagtesvinesektioner a' 30 stier**

## **Luftindtaget**

Luftindtag sker via diffust loft som etableres i samråd med SKOV. Diffust luftindtag er kendetegnet ved at have et konstant åbningsareal over dele af loftet. Lufthastigheden ved diffust luftindtag er lav og derfor er der ringe risiko for træk i stierne.

## **Luftudtaget (pr. sektion)**

Fra 0 til 100 % luft suges ud via luftrensere som placeres for enden af bygningen.

## **Biologisk luftrensning BIOFlex 18 meter:**

Ved at rense al udsugningsluften opnås en ammoniakreduktion på min. 90 %. Der anvendes 2 stk. BIOFlex til 4 slagtesvinesektioner. Én i hver ende af bygningen.

Der er 6 stk. DA 920 udsugningsenheder pr. renser/BIOFlex. Der anvendes 1 stk. DA920-2F (trinløs) samt 5 stk. DA920-2 (on/off).

Ventilatorerne er meget trykstabile og kan klare et stort modtryk. Der anvendes det strømbeholdende MultiStep system. Udsugning reguleres ved hjælp af DOL 234 klimacomputer samt tryksensor, derved reguleres sektioner uafhængige af hinanden.

## **Klimacomputer:**

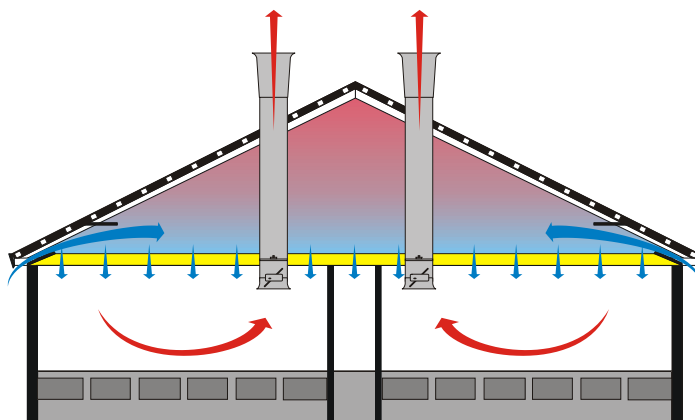
Der anvendes DOL 234 klimacomputere som regulerer ventilationsanlægget ud fra målt temperatur. Klimacomputer er forberedt for fugtstyring, styring af overbrusning/køling og har ligeledes indbygget pausefunktioner med bl.a. iblødsætning, vask og tørring.

## **Nødopluk:**

Da der anvendes 100 % luftrensning skal al luften igennem renser. Der er således meget begrænset nødventilation igennem anlægget. Derfor anbefales det at anvende nødstrømsanlæg. For yderlig sikring anbefaler SKOV at der etableres ekstra udsugningsenheder, som skal tage over i en nødsituation. Disse udsugningsenheder er ikke indeholdt i dette tilbud.

## Luftindtag:

Luftindtag sker via diffust loft som etableres i samråd med SKOV A/S. Dette sikrer korrekt dimensionering af afdækning, diffust areal samt typen af mineraluld.



Ved diffust loft anbefaler SKOV A/S automatisk vinduesnødpluk, som åbner i tilfælde af strøm- og/eller tekniksvigt samt alarmanlæg.

## Luftudtag:

Al luften går igennem luftrenser

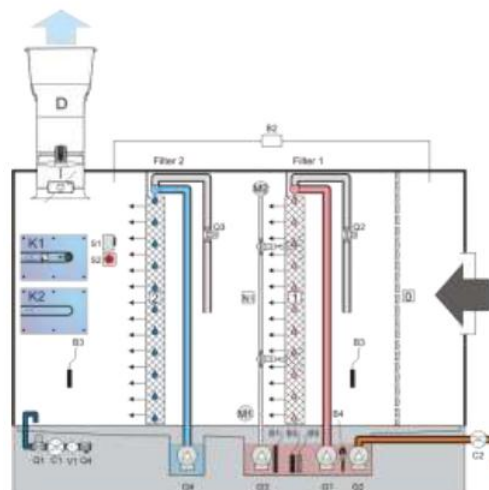
## Luftrensning (100 %)

For reducere af ammoniak lugt i afgangsluften etableres der luftrensning af typen BIO Flex.

BIO Flex luftrensning renser afgangsluft fra staldbygninger for ammoniak, lugt og støv. BIO Flex er velegnet til store luftrensningsanlæg i forbindelse med centralkanal.

BIO Flex med 2 filtre er et biologisk luftrensningsanlæg af typen 2-trins biologisk luftvasker.

Luftrensningen er en biologisk proces, der fungerer ved, staldluften ledes igennem rensfiltrene, der overrisles med vand. Når de uønskede stoffer i luften kommer i kontakt med vandet og det lag af bakterier, der sidder på rensfiltrene, optages de af vandet og nedbrydes på filtrene.



Den biologiske proces styres af DOL 356 luftrensningscomputer, som overvåger vandets kemiske sammensætning. Denne tilpasses ved aftapning og tilførsel af frisk vand. Det aftappede vand kan opsamles eller ledes til gyllebeholder.

BOI Flex leveres som standard med en filtervasker på første filter. Filtervasker vasker regelmæssigt staldstøv og overskydende biomasse væk fra filteret. Filtervaskeren sikrer således høj luftrensningseffektivitet og lavt modtryk over filtrene.

### **Klimastyring:**

Anlægget styres ud fra avanceret temperaturregulering via DOL 234 klimacomputer. DOL 234 kan desuden styre alarm, varme, køling, temperaturstyret overbrusning, iblødsætning, tørring og MultiStep® ventilatorstyring etc.

DOL 234 er brugervenlig med en overskuelig betjeningsflade og er udstyret med display til grafvisning. For sikker backup kan data ind- og udlæses via Compact Flash kort.



### **Nødopluk:**

Da der anvendes 100 % luftrensning skal alt luften igennem rensere. Der er således meget begrænset nødventilation igennem anlægget. Derfor anbefales det at anvende nødstrømsanlæg. For yderlig sikring anbefaler SKOV, at der etableres ekstra udsugningsenheder, som skal tage over i en nødsituation. Disse udsugningsenheder er ikke indeholdt i dette tilbud.

### **Alarmanlæg:**

Tilbuddet indeholder DOL 2200 fastnet alarmanhed, der overvåger for høj og for lav temperatur i op til 10 sektioner. Den indbyggede talecomputer, kan via højttaler og/eller opkald til 5 forskellige telefonnumre afgive melding i klar tale.

Ved telefonopkald til alarmanheden, er der mulighed for fjernbetjening, kontrol og alarmstatus mm.

Der kan endvidere modtages ON/OFF alarmer for tom silo, fastkørte snegle og lavt vandtryk mm.

DOL 2200 er udstyret med et stort grafisk display, der viser temperaturforløbet i kurver samt alarmstatus for hver indgang. Ligeledes indeholder tilbuddet 4 stk. sektionfølere og udefølere for sommerkompensering samt sirene for alarm.



**Stykliste:**

<b>Varenummer</b>	<b>Antal</b>	<b>Enhed</b>	<b>Varebetegnelse</b>
437890	2	stk	Kit for manuel filtervask
130660	1	stk	FarmOnline WebLink FarmOnline 32
437733	20	stk	BIO Flex befugter - rør m. dyser 1,8 m
437732	2	stk	BIO Flex befugt - pumpe 1x220-240V,50Hz
437727	36	m	BIO Flex energikæde
437726	2	stk	BIO Flex filtervasker
437723	8	stk	BIO Flex filter - overrisling 9 m
437722	40	stk	BIO Flex filter - næste 1,8 m
437721	4	stk	BIO Flex filter - start
437725	20	stk	BIO Flex luftfordeling - næste 1,8 m
437724	2	stk	BIO Flex luftfordeling - start
437720	2	stk	BIO Flex startpakke
413100	140	m	Ståltråd, hærdet Ø2.5 A2
411821	4	stk	Montagesæt udbalancering, kontravægte
434051	36	stk	DA 600 påstik, grå
432084	4	stk	DA 174 spjældmotor 380 mm trinløs 24V
434100	12	stk	DA 920 afkastkonus, grå
433074	12	stk	Botyl tape
434102	8	stk	DA 920 rør 1500 mm, grå
434101	8	stk	DA 920 rør 1000 mm, grå
433073	12	stk	DA 920 ventilatorring
	2	stk	DCT 920-2F ventilator
409137	10	stk	DCT 920-2 ventilator 3x400V
434104	2	stk	DA 920 indløb trinløs, grå
434105	10	stk	DA 920 indløb on/off, grå
433071	12	stk	DA 920 forankring for rør
433075	14	stk	Revepur sh-100 fugemasse
434106	12	stk	DA 920 tagplade, side, glat
433082	12	stk	DA 920 inddækning af glat tagplade
134221	2	stk	DOL 234-1 klima LB 20RL MS6
413239	2	stk	Elektronisk differenstrykmåler VFP-100
401990	4	stk	Undertryksmåler -10 - 600 Pa
401995	10	m	Slange for undertryksmåler
608440	2	stk	DOL 234 manualpakke DA
134690	2	stk	DOL 278AM nødopluk ON/OFF, Medium (4,2A)
134261	2	stk	DOL 234-2 klima LB 5RL MS1



## Bilag 4 - Reference stald 100% - 2 - VERA test rapport

Ventil stald til slagtesvin, ventilationsanlæg med 100 % rensning

Uddrag af VERA test rapport 16. feb. 2012



# Sammendrag

Formålet med VERA testen var at dokumentere SKOV A/S' Farm AirClean BIO Flex luftrensers lugt-, støv- og ammoniakreduktion ved målinger gennem et helt år i en slagtesvinestald. Endvidere var formålet at dokumentere luftrensers driftsstabilitet. Testen er gennemført på luftrensers indeholdende tre filtertrin. Resultaterne er, i det omfang det har været muligt, angivet for både to og tre filtertrin i luftrensers.

## Baggrund

SKOV A/S har gennem flere år udviklet på det biologiske luftrensningsanlæg Farm AirClean BIO System, som i sin grundform er konstrueret med to rækker af befugtede cellulosepads, der er placeret vertikalt. Videncenter for Svineproduktion har gennemført flere afprøvninger af systemet [1],[2],[3],[4],

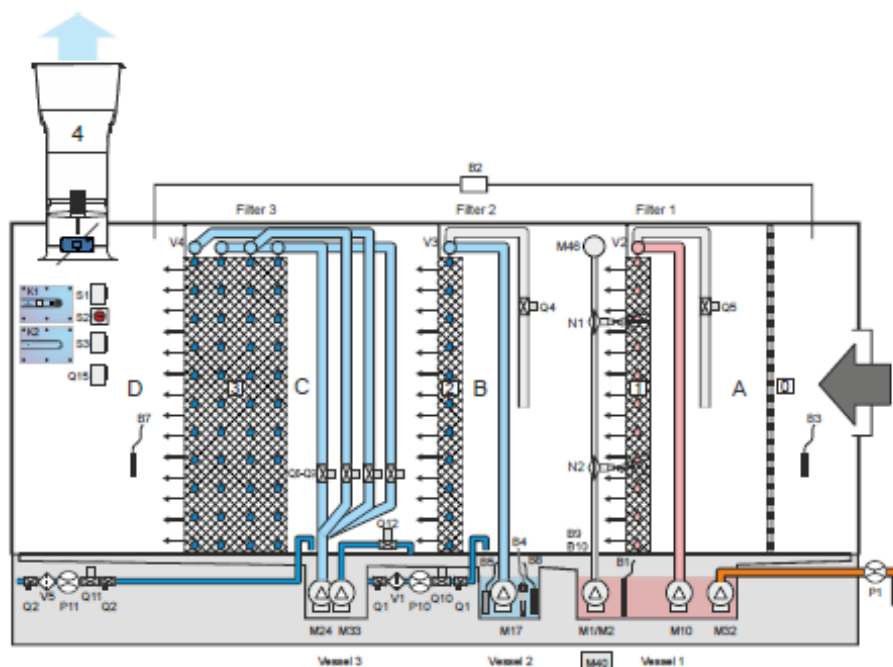
Formålet med nærværende VERA test var at dokumentere Farm AirClean BIO Flex luftrensers lugt-, støv- og ammoniakreduktion ved målinger gennem et helt år i en slagtesvinestald. Endvidere var formålet at dokumentere luftrensers driftsstabilitet. Testen er gennemført på luftrensers indeholdende tre filtertrin. Resultaterne er, i det omfang det har været muligt, angivet for både to og tre filtertrin i luftrensers.

## Materiale og metode

Luftrensers Farm AirClean 3-trins BIO Flex (version 1) fra SKOV A/S var monteret i en slagtesvinestald indrettet som storsti med i alt 350 stipladser. Aktivitets- og lejeområdet i storstien var adskilt fra foderområdet med en sorteringsvægt fra Domino A/S, se figur A1 i appendiks. Luftrensers var placeret i en tilbygning ved siden af slagtesvinestalden, figur A2 i appendiks. Al afgangsluft blev ledt fra siden af stalden og ind igennem luftrensers via 6 stk. Ø650 mm rør med afkastkonus. Stalden var 14,4 m i længden og 19,7 m i bredden. Væggene var 2,8 m i højden, og der var loft til kip med 30° taghældning. Stalden var indrettet med 1/3 drænet gulv og 2/3 fuldspaltegulv samt tørfoder ad libitum. Der var vakuumsugning af gylle fordelt på otte tværgående kanaler med én prop pr. kanal. Luftindtaget bestod af 30 vægventiler (DA 1200). De eksisterende ventilationsafkast i stalden blev kun anvendt som nødventilation i testperioden. I produktionsforløbet blev der anvendt to foderblandinger.

Fra 30-55 kg var råproteinindholdet i den anvendte foderblanding 16,7 % og fra 55 kg til slagtning var råproteinindholdet i foderblandingen 14,7 %. Mellem hvert hold slagtesvin blev stalden vasket, desinficeret og udtørret inden indsættelse af nye grise.

I luftrensere var der efter det tredje filtertrin monteret fire trinløse ventilatorer med en samlet udsugningskapacitet på 35.000 m<sup>3</sup>/time. Efter ventilatorerne var der monteret fire målevinger af fabrikatet Reventa. Filtermaterialet i alle tre filtertrin bestod af cellulose. De to første filtertrin havde hvert et volumen på 1,5 m<sup>3</sup>, idet de målte 5,0 m i bredden, 2,0 m i højden og 0,15 m i dybden. Det tredje filtertrin havde et volumen på 6,0 m<sup>3</sup>, idet det målte 5,0 m i bredden, 2,0 m i højden og 0,6 m i dybden. Det samlede filtervolumen i luftrenseren var dermed 9,0 m<sup>3</sup>. De to første filtertrin blev overrislet med vand, som blev recirkuleret fra et kar under hvert filtertrin, mens det tredje filtertrin kun blev befugtet via den fugtighed, der var i luften, efter at den havde passeret de to første filtertrin. Rent vand blev tilført i karret under det andet filtertrin, hvorfra der var overløb til karret under det første filtertrin. Al lænsning af vand fra luftrenseren skete fra karret under det første filtertrin og blev ført til gylleopbevaring. Lænsning af vand fra kar 1 blev reguleret af ledningsevnen i kar 2. I mellem det første og andet filtertrin var der placeret en automatisk vasker, som vaskede det første filter fra bagsiden modsat ventilationsluftstrømmen med jævne mellemrum. I figur 1a og 1b er vist luftrensersens opbygning med henholdsvis tre og to filtertrin.



Figur 1a. Farm AirClean BIO Flex med tre filtertrin. Skitse: SKOV A/S.

**Tabel 8.** El- og vandforbrug til luftrenseren i testperioden.

	Forbrug i testperioden	Forbrug pr. produceret gris
El luftrenser, kWh	5.541	4,5
El ventilation igennem luftrenser, kWh	11.547	9,4
El total, kWh	17.088	13,9
Vand tilført, m <sup>3</sup>	416	0,339
Vand lænset, m <sup>3</sup>	204	0,167



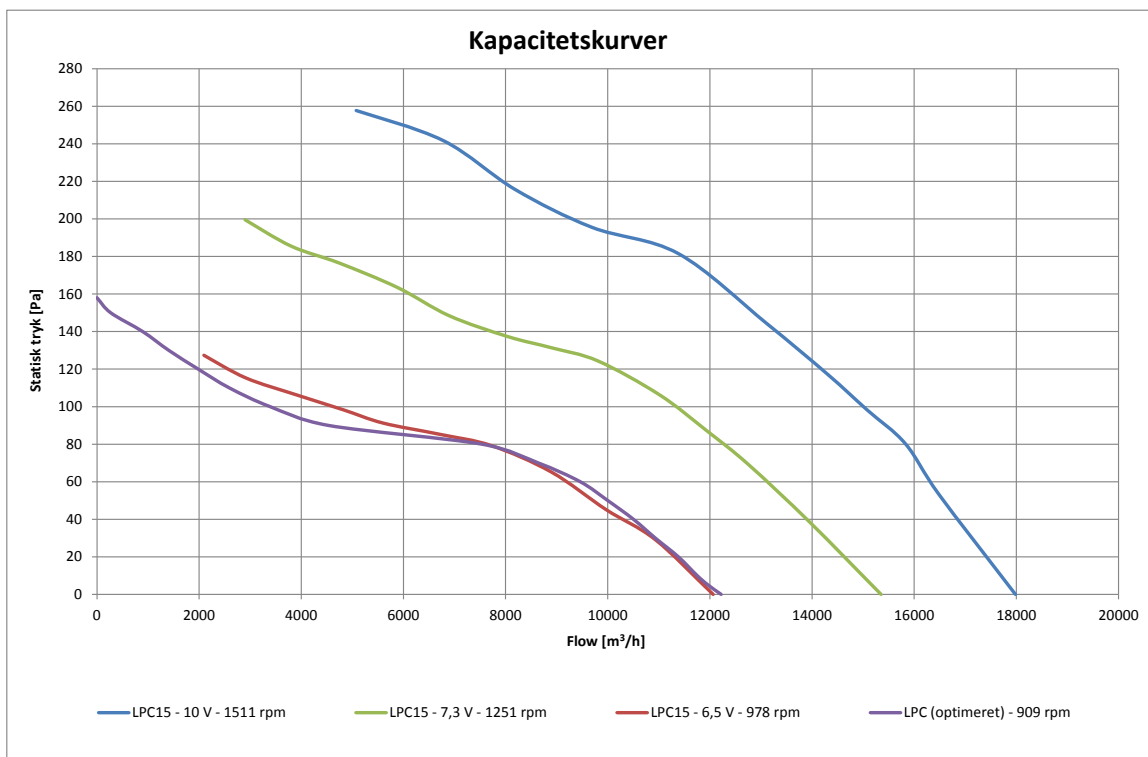
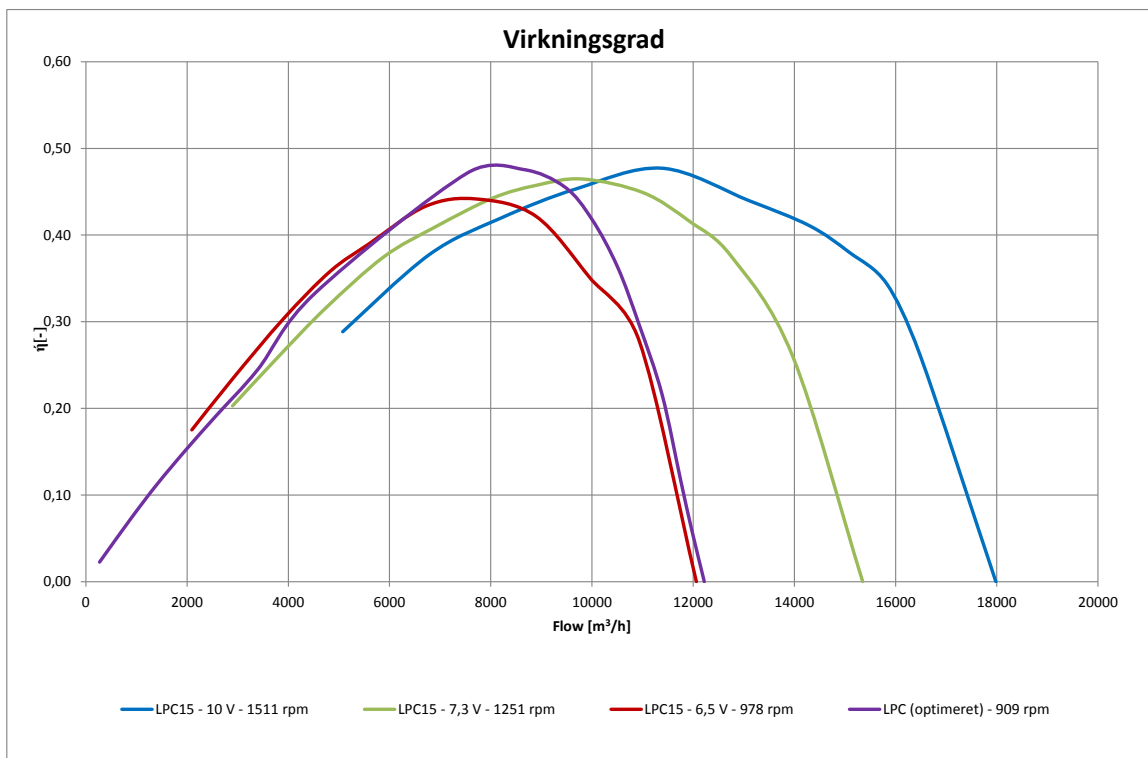
Figur A1. Indretning af slagtesvinestalden, hvor testen blev gennemført.



Figur A2. Luftrenseren fra SKOV A/S var placeret i en tilbygning ved siden af slagtesvinestalden.

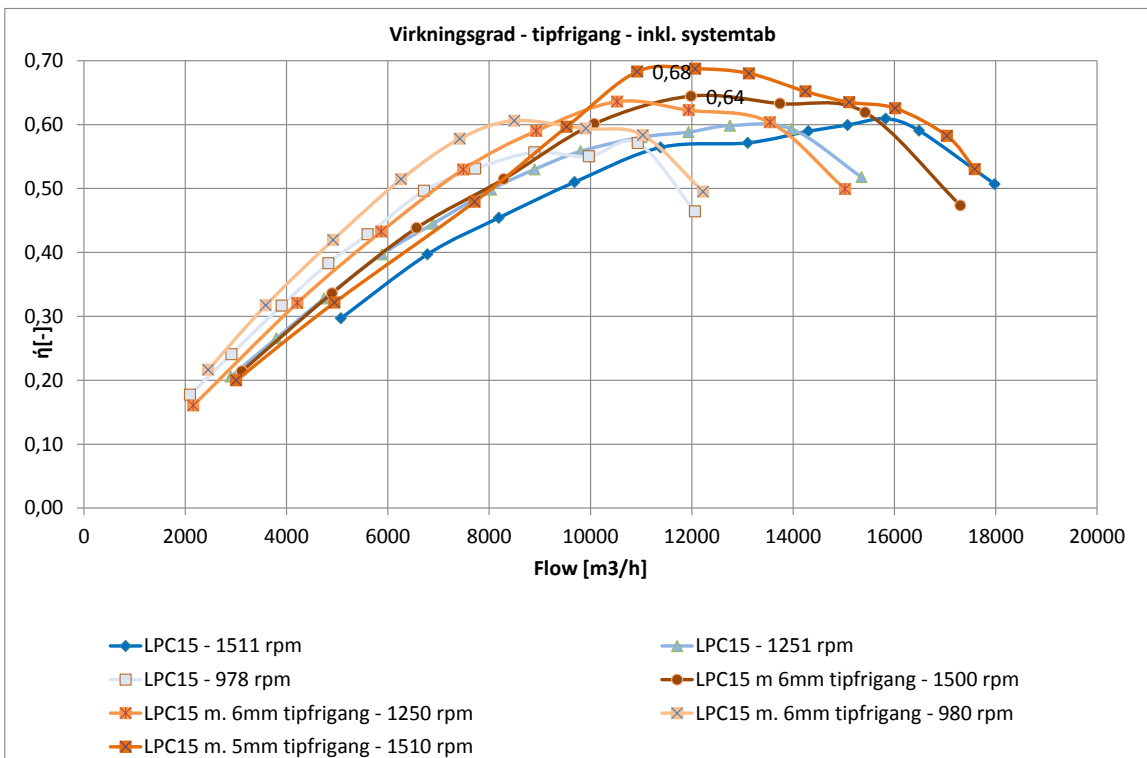
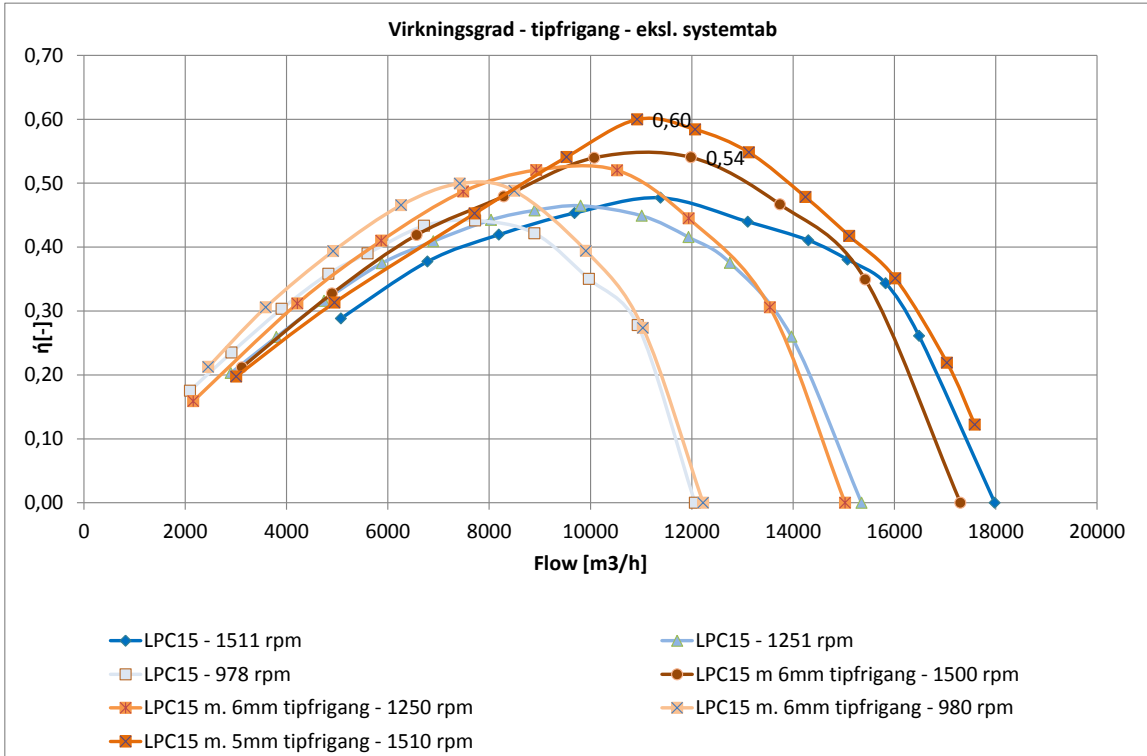
# Bilag 5 – Målinger (20% rensning)

## Ventilator - Opretholdelse af effektivitet ved øget omdrejningstal



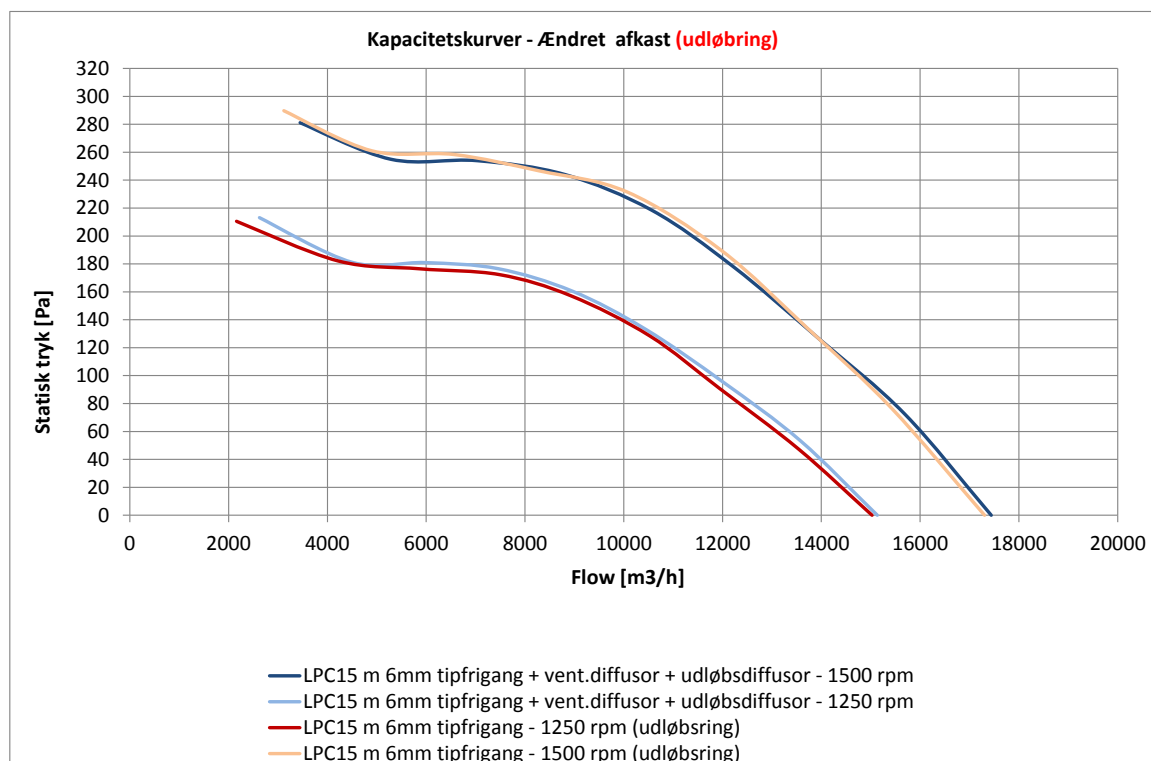
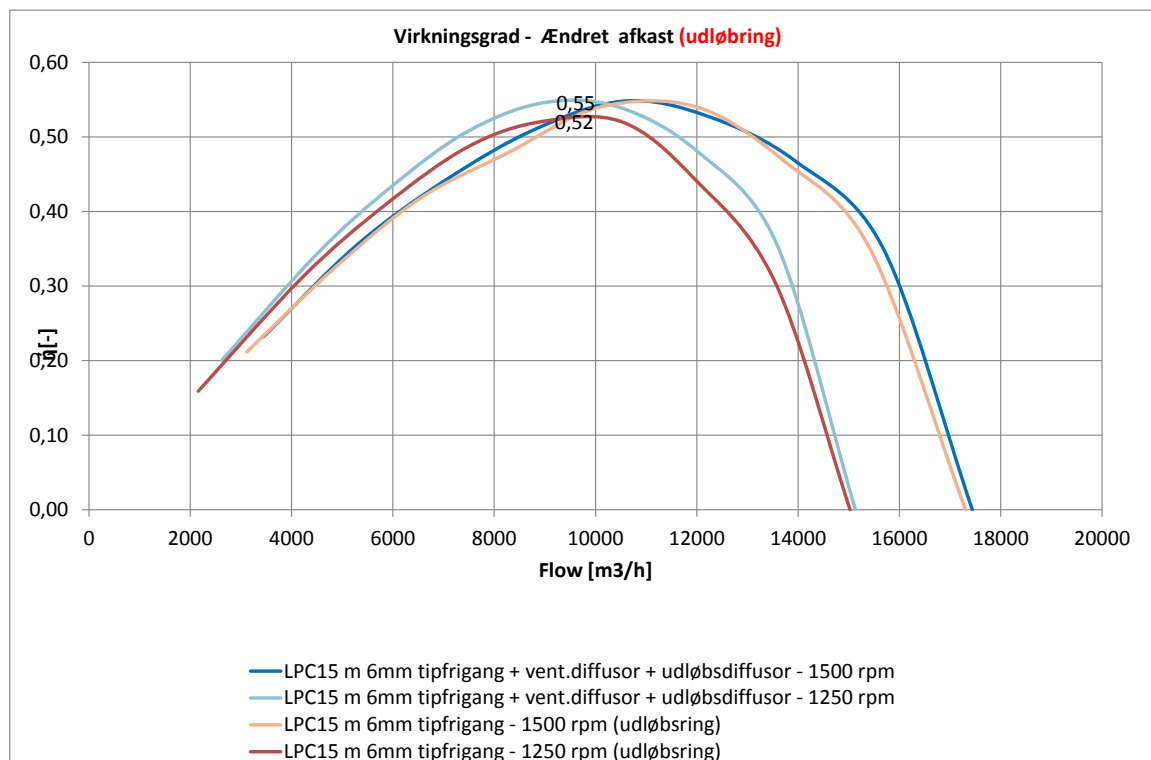
# Bilag 5 – Central ventilator i Bio Filter (20% rensning)

## Ventilator - Reducering af tipfrigang



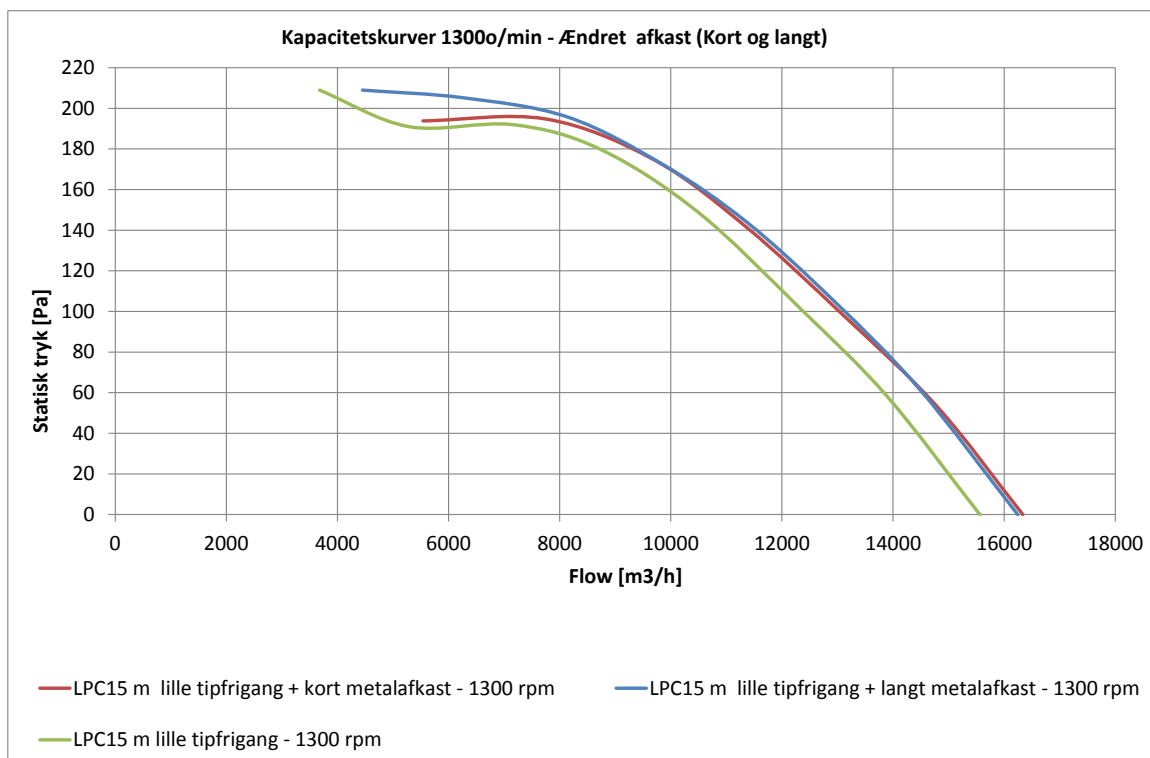
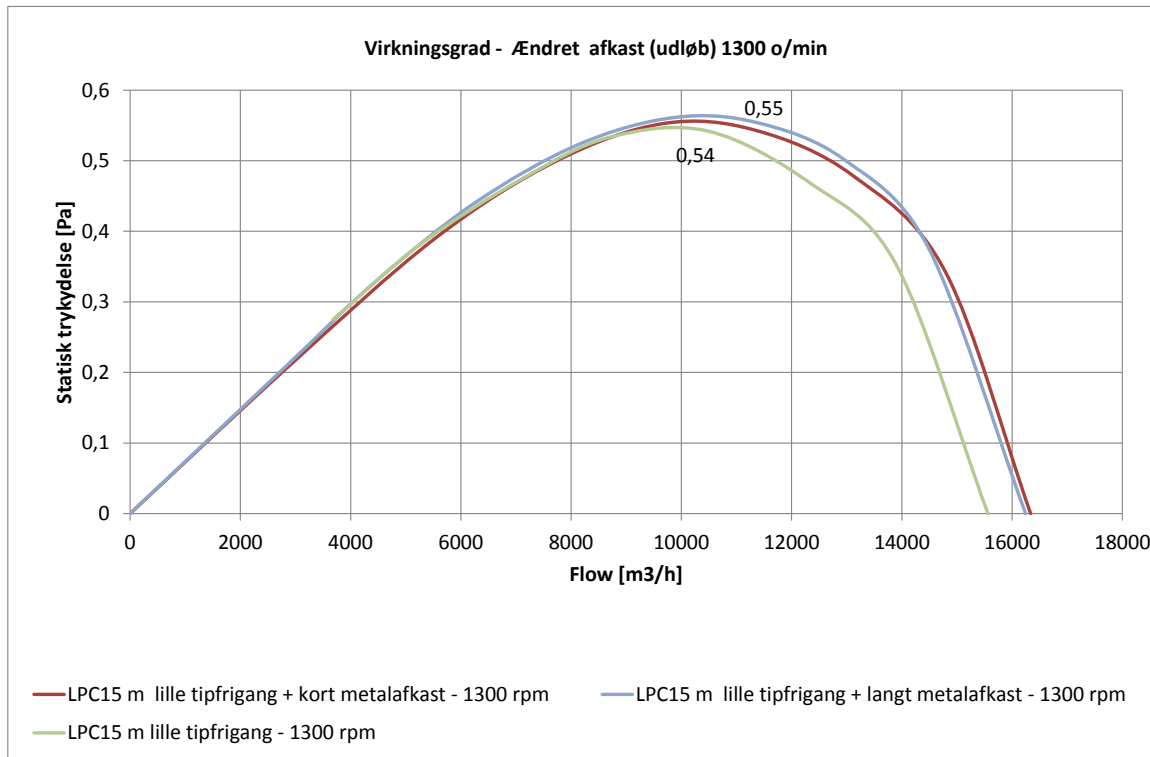
## Bilag 5 – Central ventilator i Bio Filter (20% rensning)

### Ændring af udløb fra ventilator - radiusudløb

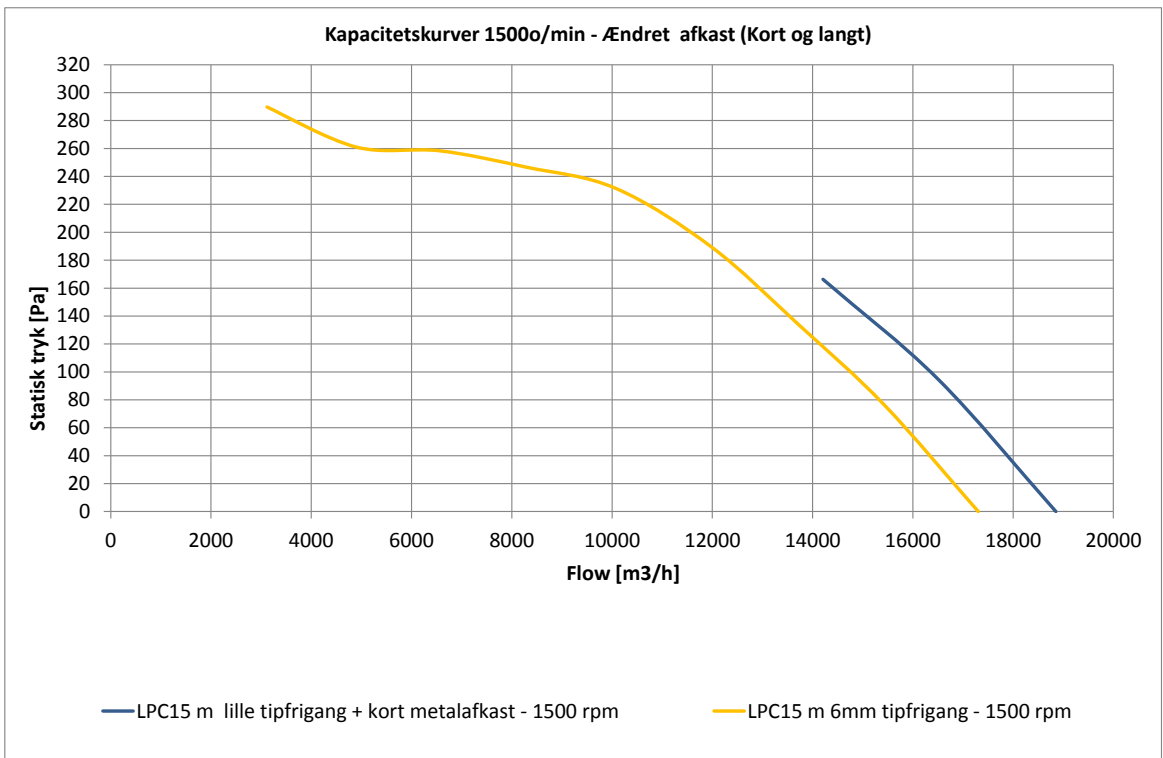
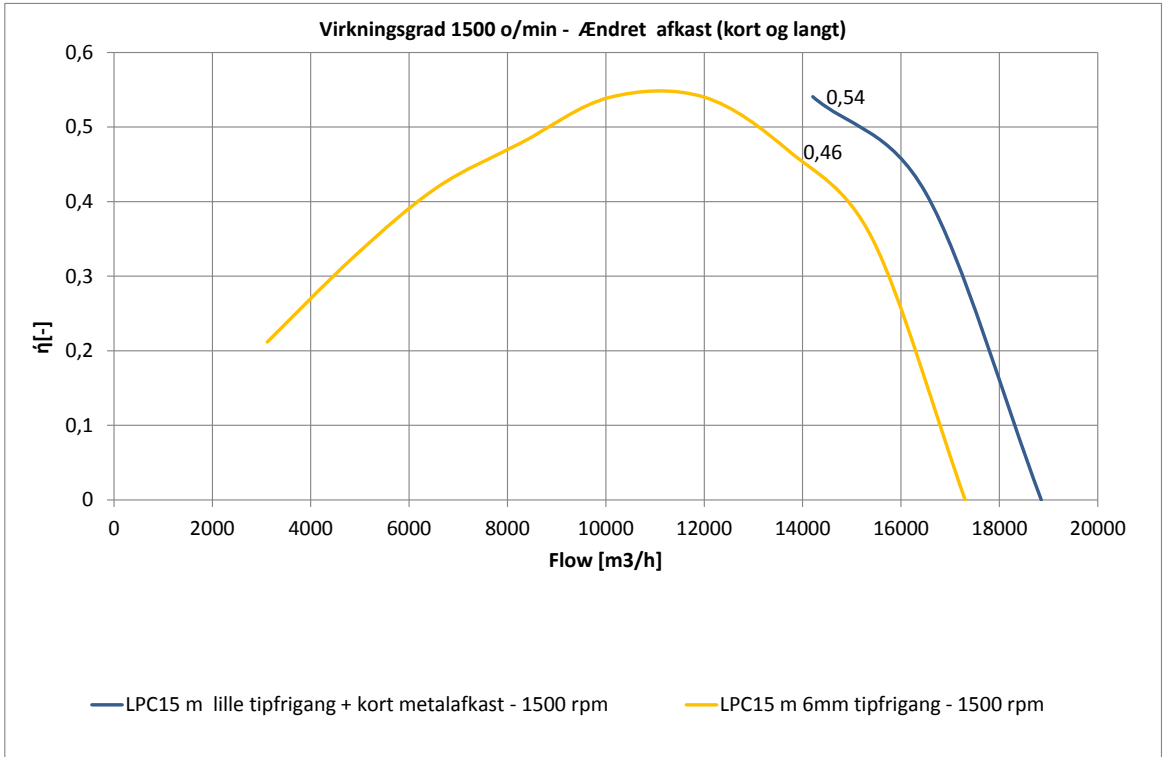


## Bilag 5 – Central ventilator i Bio Filter (20% rensning)

Ændring af udløb fra ventilator - afvikling uden afslagsplade (kort) og teoretisk bedst mulige (lang)

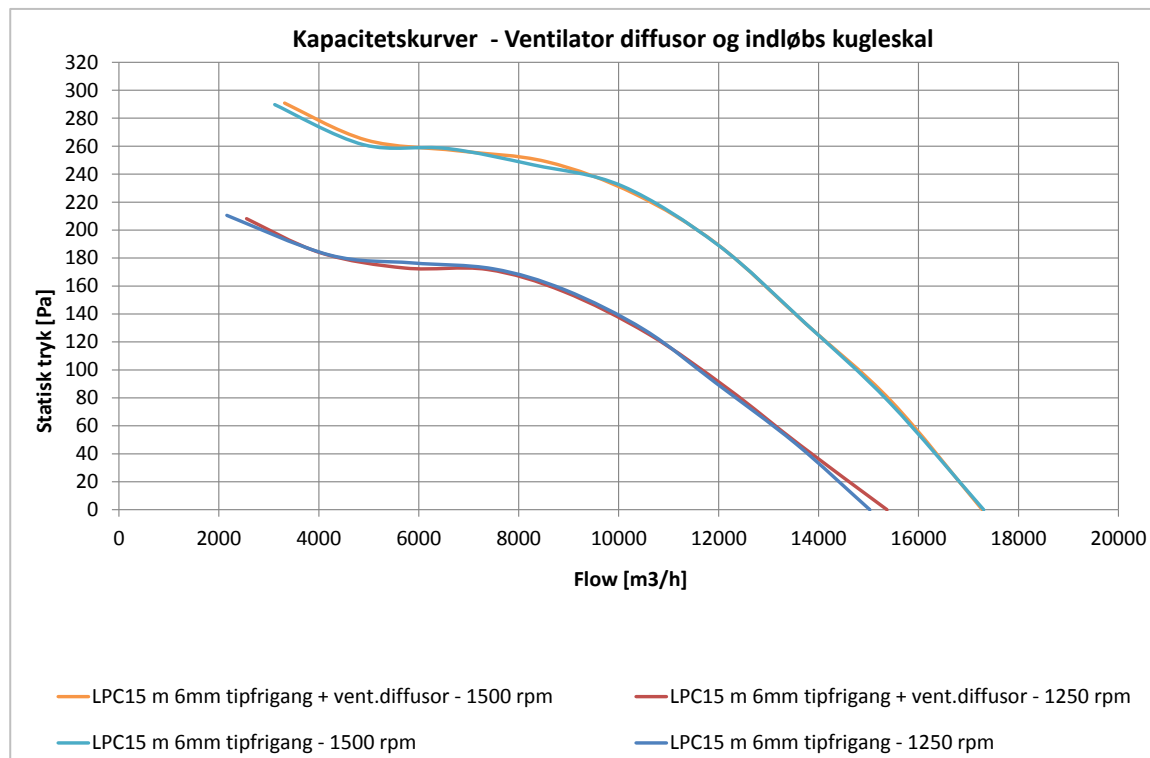
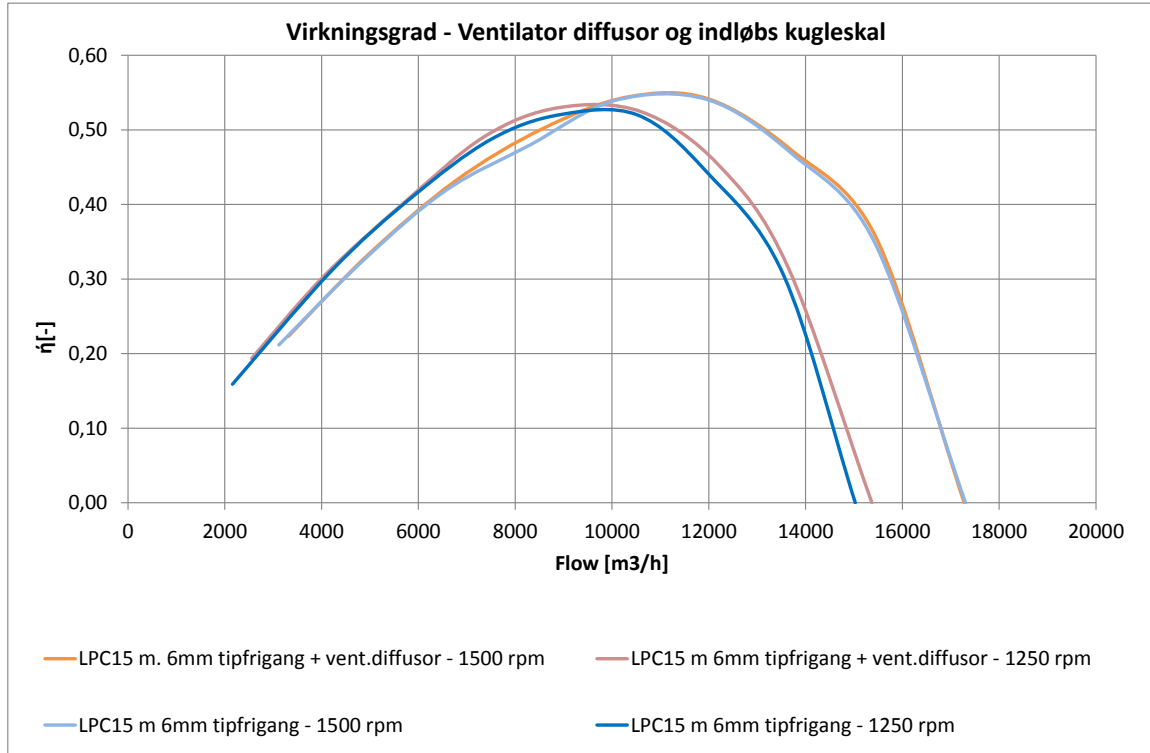






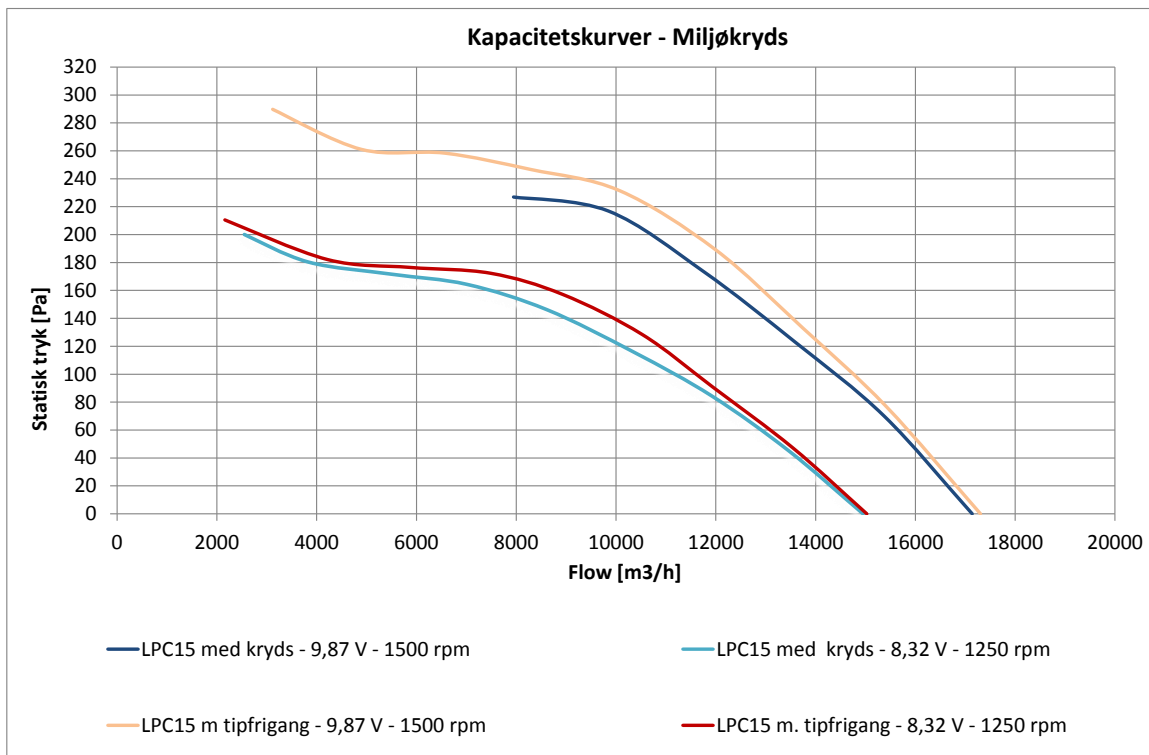
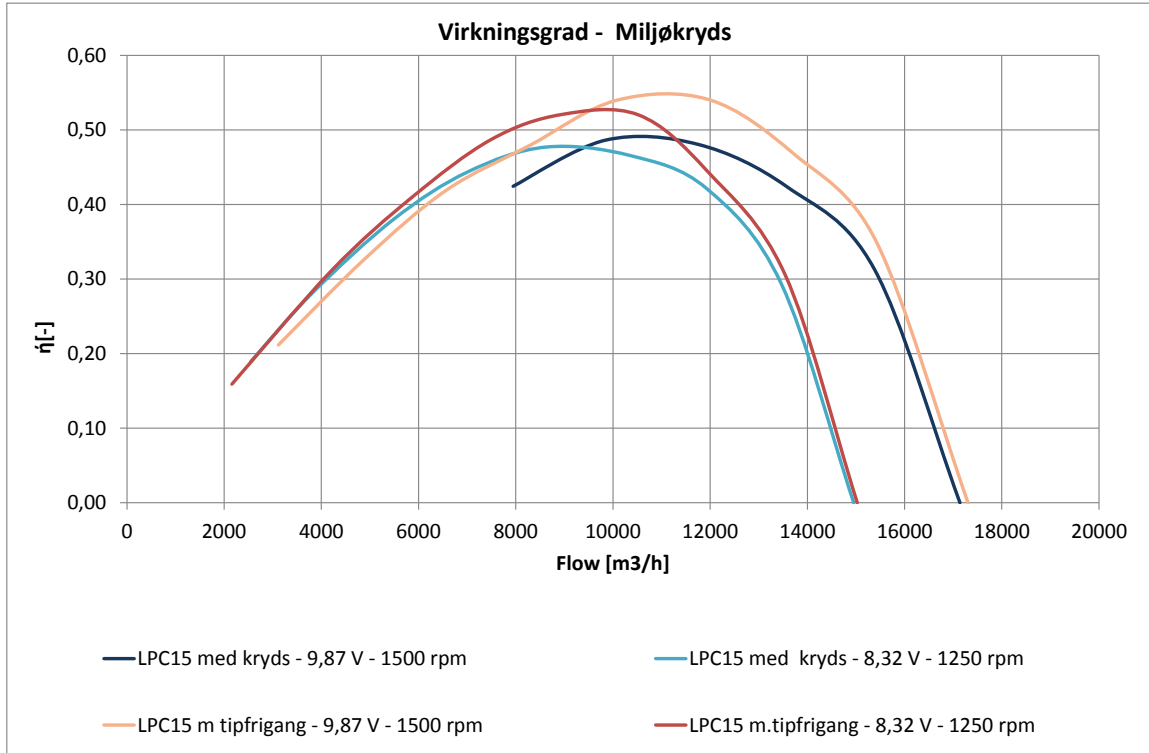
## Bilag 5 – Central ventilator i Bio Filter (20% rensning)

### Strømningstab omkring ventilatoren pga. turbulenser



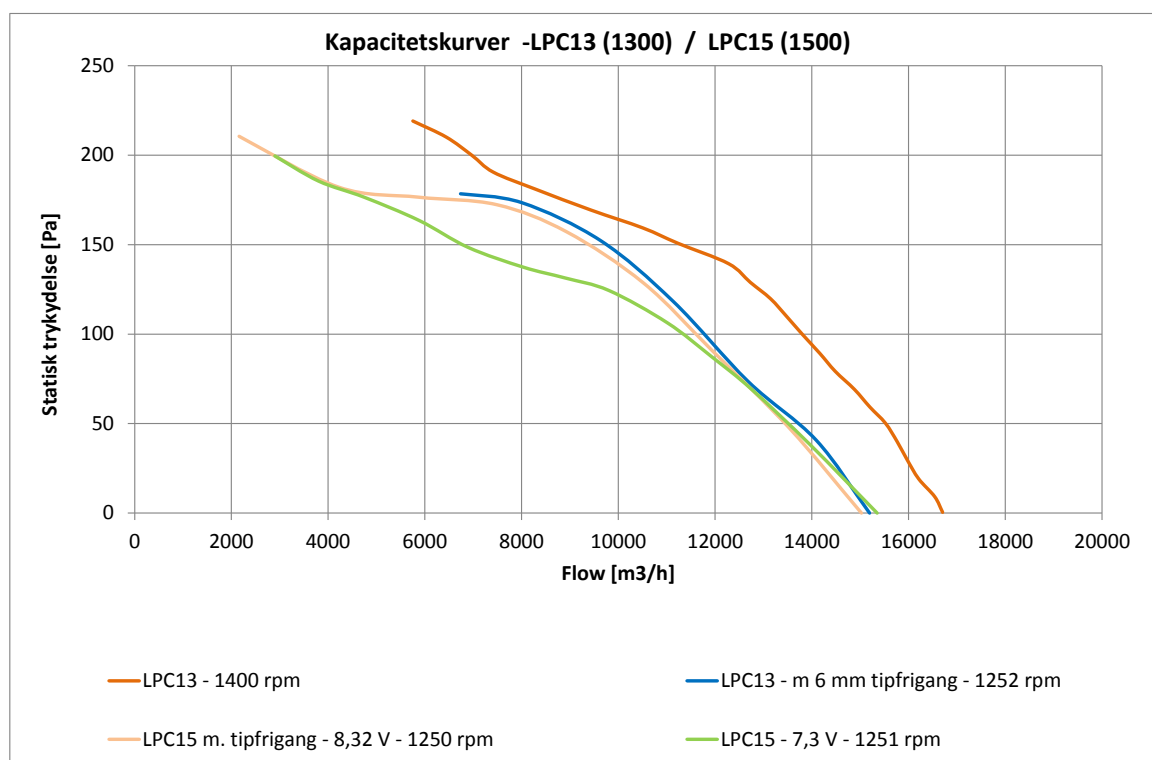
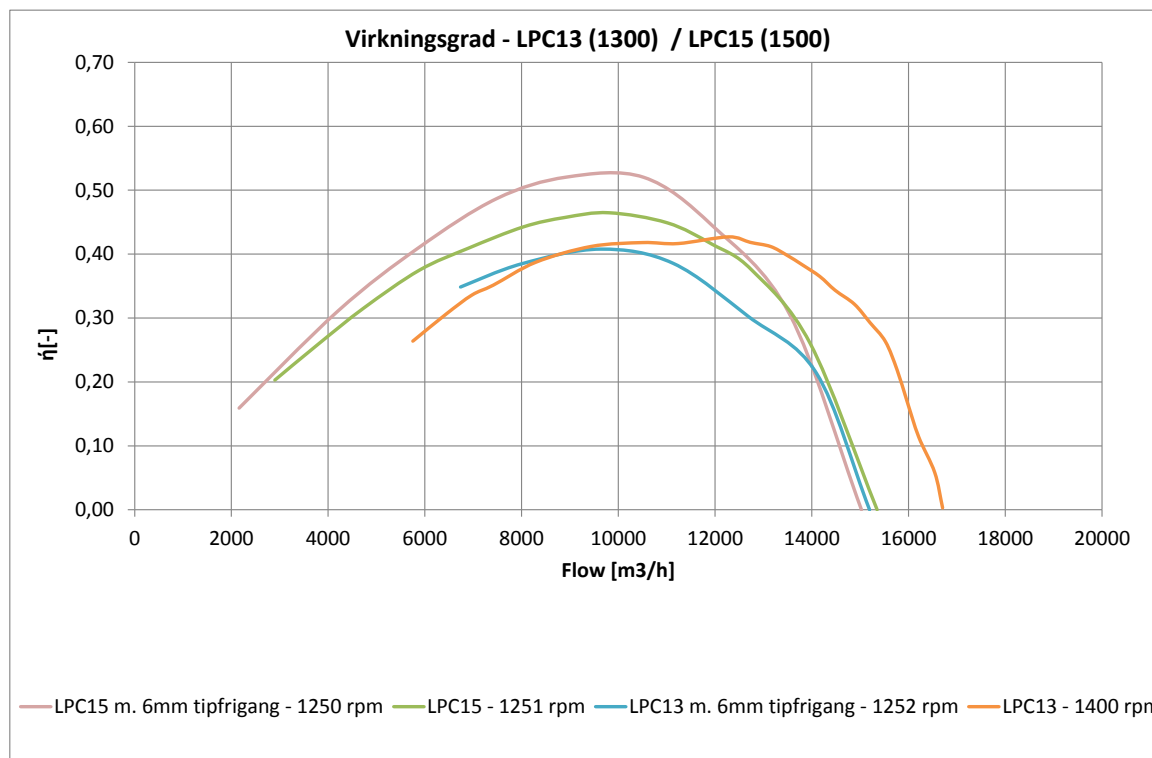
## Bilag 5 – Central ventilator i Bio Filter (20% rensning)

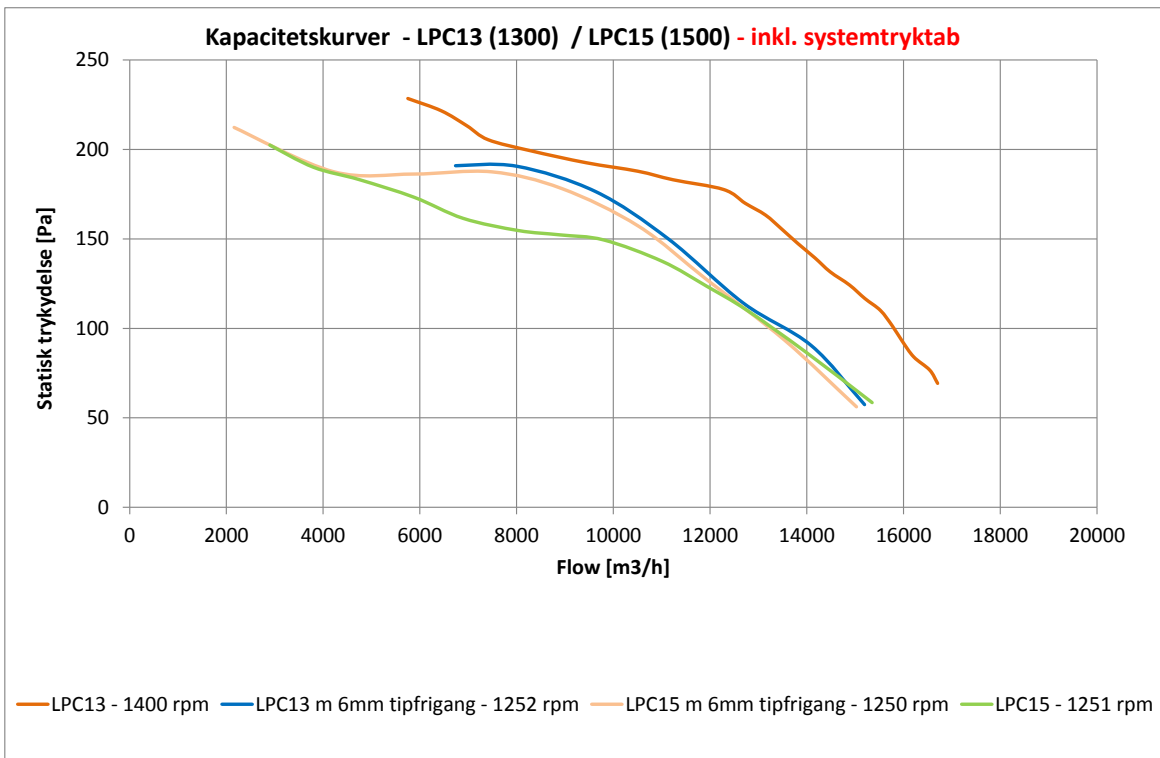
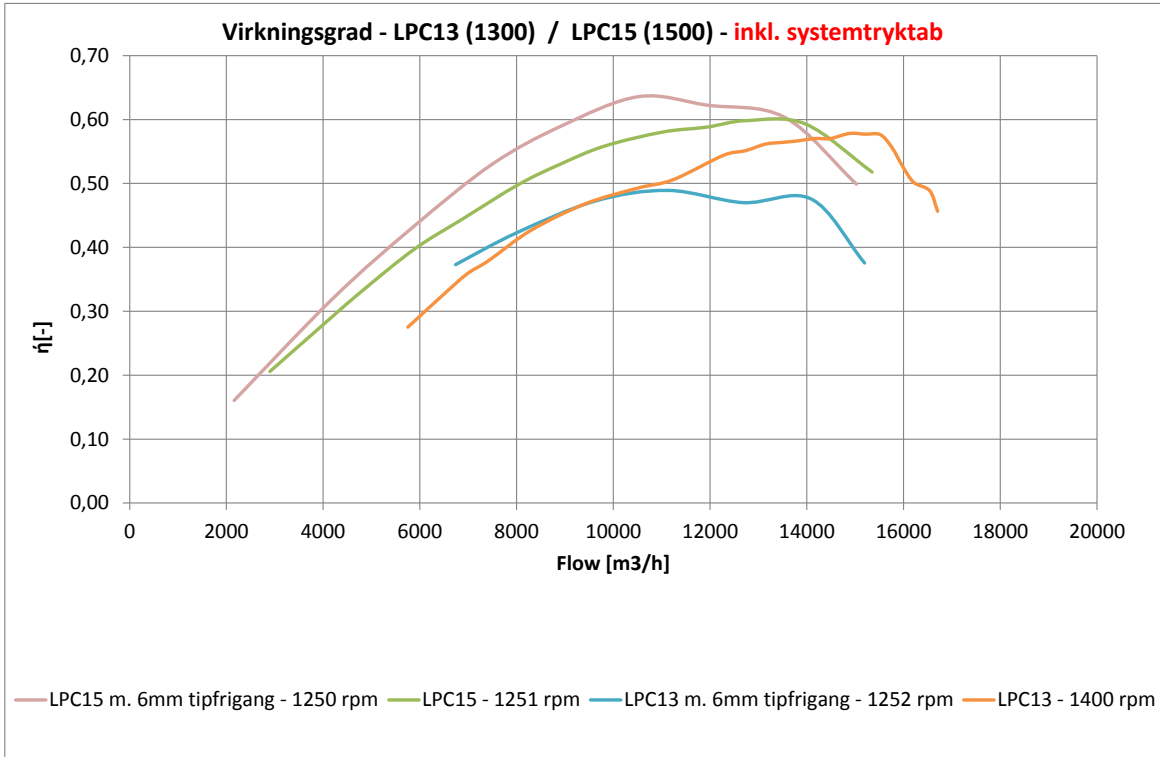
### Swirvl tab (test af miljøkryds)



## Bilag 5 – Central ventilator i Bio Filter (20% rensning)

### Motor





## **Bilag 6 – Delrapport - Udetemperatur regulering af kanaltryk**

## Strategier for styring af undertryk i hovedkanal for centralt udsugningsanlæg

af

*Keld Sørensen og Jan S. Strøm,*  
Danish Exergy Technology A/S (DXT)

### Baggrund

Dansk Energis PSO-F&U projekt 342-041: "Energieffektiv biologisk luftrensning til staldventilation" omfatter kortlægning af muligheder for at opnå energibesparelser for centrale anlæg til biologisk rensning af staldventilationsluft.

Ved centrale anlæg kan udsugningen fra de enkelte staldsektioner ske ved tilslutning til en central hovedkanal med påstik, der indeholder reguleringsspjæld. Reguleringsspjældene styres af rumtemperaturfølere, så den indstillede rumtemperatur fastholdes.

Den nødvendige ventilation af de enkelte staldsektioner sikres ved at der til enhver tid er et tilstrækkeligt undertryk til rådighed i hovedkanalen. Det enkleste er ved hjælp af trykmålere at holde et undertryk der er stort nok til sommerventilation, og overlade det til spjældene i påstikkene at sørge for at lukke nok til at luftmængden passer resten af året.

Det vil være energimæssigt bedre at holde et så lille undertryk i hovedkanalen at den mest luftkrævende sektion lige nøjagtigt kan få den nødvendige luftmængde. En enklere metode, men ikke så energieffektiv, er at reducere undertrykket i hovedkanalen, dog ikke mere end at der til enhver tid er undertryk nok til at dække det største ventilationsbehov ved en given udetemperatur.

Kortlægningen af mulighederne for besparelse af hydraulisk arbejde ved forskellige måder at styre undertrykket i hovedkanalen er gennemført ved hjælp af simuleringer med StaldVent.

### Formål

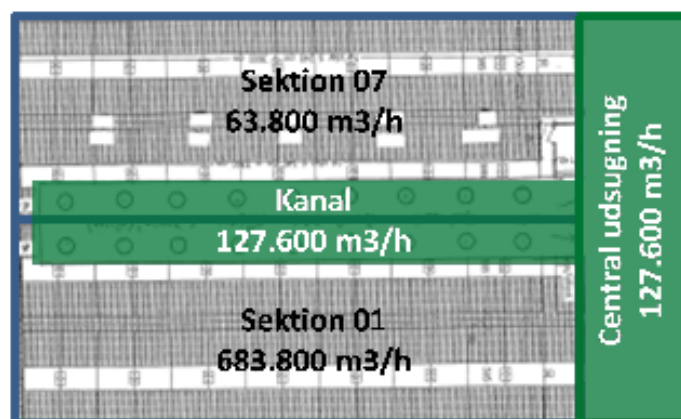
I dette notat ses på mulighederne for at fastlægge en styringsstrategi for undertrykket i hovedkanalen for et centralt udsugningsanlæg som funktion af udetemperaturen og potentiale for besparelse af hydraulisk arbejde

### Modelstald

Der tages udgangspunkt i en den modelstald, som er beskrevet i notatet "StaldVent simuleringer af PSO2 modelstald". Modelstalden er en slagtesvinestald, der består af to identiske sektioner der kun adskiller sig ved at der i den ene sektion indsættes dyr i uge 1 det første driftsår, og i den anden sektion i uge 7.

### Luftydelse

Hver staldsektion indrettet med 638 stipladser. Med dimensionerende ventilationsydelse på 100 m<sup>3</sup>/h pr. stiplads svarer det til en maksimal ventilationsydelse på 63.800 m<sup>3</sup>/h for hver sektion. For de to modelsektioner der er tilsluttet den centrale udsugning svarer en samlet maksimal luftmængde på 127.600 m<sup>3</sup>/h, der via udsugningskanalen tilføres det centrale udsugningsanlæg, figur 1.

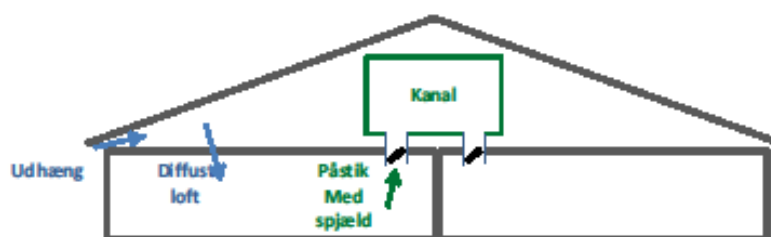


Figur 1. Modelstald med to staldsektioner tilsluttet et centralt udsugningsanlæg med fælles hovedkanal

#### Tryktab

Den luftmængde som skal til for at holde det ønskede indeklima, trækkes ind i staldrummet ved et undertryk genereret af det centrale udsugningsanlæg. Udeluften tilføres direkte til staldrummet gennem tagudhængen via loftsrummet og et diffust loft uden forbehandling som opvarmning, recirkulering, affugtning, figur 2.

Udsugningen fra de to staldsektioner sker ved tilslutning til den centrale hovedkanal med påstik, der indeholder reguleringsspjæld



Figur 2. Ventilationsluftens vej fra det fri til hovedkanalen

#### Årsvariation i ventilationsbehov

I hver sektion opfedes svine fra 35 til 102 kg og der indsættes et nyt hold grise efter 84 dage. Ved indsætning regnes med en indstillet rumtemperatur på 22 °C der holdes konstant den første uge hvorefter den sænkes så den når 18 °C ved levering. Indstillet maksimum fugtighed ved indsætning er



70 % r.f. stigende til 80 % ved levering. Med dyr i stalden tillades der varmetilførsel op til 30 % af maksimum ventilation

Ventilationsbehovet varierer derfor over året. Jo koldere det er desto mere af dyrenes varmeafgivelse går til at dække transmissionsvarmetab og der skal mindre luft til af fjerne det resterende varmeoverskud. Varmeafgivelsen fra dyrene stiger desuden efterhånden som de bliver større, hvilket også påvirker ventilationsbehovet.

I figur 3 er vist simulering med StaldVent af ventilationsbehovet time for time for staldsektion 01. Da formålet er at fastlægge det hydrauliske arbejde (der er produktet af luftmængde og tryk) som funktion af udetemperatur, er der i figuren markeret kolonnerne med udetemperatur og det resulterende ventilationsbehov

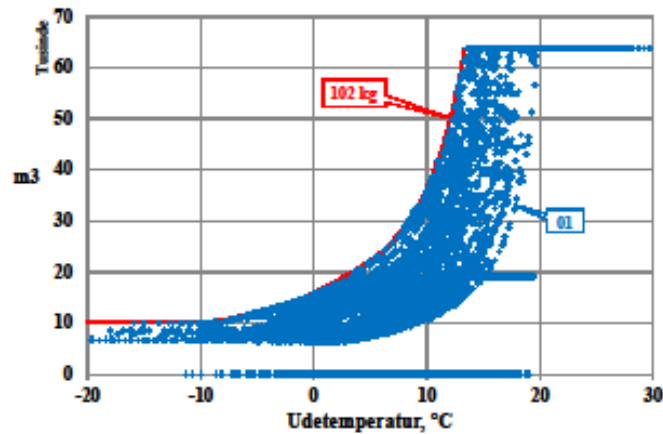
week	day	hour	Ti	TiSet	RFi	TH set	Tu	RFu	Qr	Airflow	CO2	Cvind
-	-	-	°C	°C	%	%	°C	%	kW	kg/h	Vppm	m/s
1	1	1	20	20	65,4	70	2,8	80	0	8380	2497	19
1	1	2	20	20	65,6	70	2,6	80	0	8271	2525	17
1	1	3	20	20	65,6	70	2,6	80	0	8271	2525	14
1	1	4	20	20	65,4	70	2,8	80	0	8380	2497	12,3
1	1	5	20	20	67,7	70	2,9	87	0	8435	2482	12
1	1	6	20	20	66,8	70	3,2	85	0	8605	2439	11,8
1	1	7	20	20	65,4	70	2,9	80	0	8435	2482	11,3
1	1	8	20	20	65,2	70	2,3	78	0	8113	2569	12

Figur 3. Simulering med StaldVent af ventilationsbehovet time for time i begyndelsen af år to for staldsektion 01.

Timeværdierne for ventilationsbehovet i staldsektion 01 er vist som funktion af udetemperaturen i figur 4. Der er regnet med en massefylde for ventilationsluften på 1,2 kg/m<sup>3</sup>. Beregningerne er gennemført for en treårs periode. For at undgå forskelle som skyldes opstartsfasen, er det dog kun resultater for det andet år som er benyttet i det nedenstående.

I figuren ses hvorledes ventilationsbehovet falder stærkt med udetemperaturen fra en udetemperatur fra ca. 15 °C til ca. 0 °C. Der er stor spredning som primært skyldes variationen i dyrenes vægt. De 7 dage der er afsat med tom stald mellem holdene uden ventilation fremgår nederst på figuren. Desuden fremgår også en periode hvor begrænsningen af fugtoverstyring ved mere end 30 % af maksimum ventilation er trådt i funktion.

Maksimalt ventilationsbehov opstår når grisene har nået deres slutvægt på 102 kg. I figuren er kurven for ventilationsbehovet for en staldsektion med kontinuerlig indsætning og gennemsnitlig vægt 102 kg indtegnet. Kurven repræsenterer det maksimale ventilationsbehov ved forskellige udetemperaturer. Den største del af tiden er der imidlertid et væsentligt mindre ventilationsbehov.



Figur 4. Timeværdier for ventilationsbehov i staldsektion 01 i år 2 samt kurve for maksimalt ventilationsbehov.

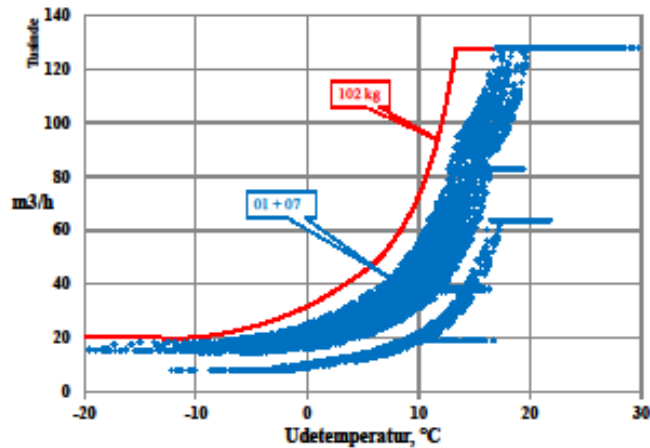
#### Samtidig ventilationsbehov

På grund af de tidsmæssigt forskudte tidsforløb i de to staldsektioner vil den udsugede luftmængde fra den ene sektion være forskellig fra den anden sektion. Den luftmængde som skal transporteres i hovedkanalen vil være summen af de to luftmængder. I figur 5 er vist luftmængderne beregnes på grundlag af simuleringer i StalVent

Time			Tu	m <sup>3</sup> /h (from StalVent)			
week	day	hour	°C	01	07	01+07	% m <sup>3</sup>
53	1	1	0,5	6.403	10.993	17.396	14
53	1	2	0,3	6.403	10.872	17.274	14
53	1	3	0	6.403	10.693	17.096	13
53	1	4	-0,3	6.403	10.520	16.923	13
53	1	5	-0,5	6.403	10.408	16.810	13
53	1	6	-0,5	6.403	10.408	16.810	13
53	1	7	-0,5	6.403	10.408	16.810	13
53	1	8	-0,5	6.403	10.408	16.810	13

Figur 5. Beregning af samtidige luftmængder i staldsektionerne

I figur 6 er summen af luftmængdebehovet i de to staldsektioner vist som funktion af udetemperaturen. Det ses at timeværdierne fordeler sig i to delmængder, en mindre mængde hvor der kun har været dyr i den ene sektion, og en større med dyr i begge sektioner.



Figur 5. Sum af ventilationsbehov for de to sektioner i modelstalden som funktion af udetemperatur samt ventilationsbehov med kontinuerlig indsætning og gennemsnitsvægt på 102 kg pr. gris i begge sektioner.

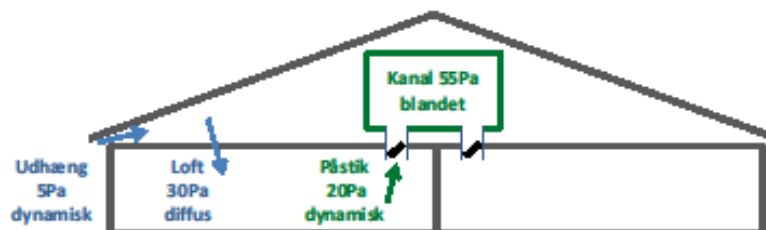
Kravet om at der kun tillades varmetilførsel op til 30 % af max. ventilation resulterer i begrænset ventilation på flere niveauer og over større udetemperaturområde end for den enkelte sektion.

Kurven for ventilationsbehovet ved kontinuerlig indsætning og gennemsnitlig vægt 102 kg i begge sektioner er også indtegnet. På grund af det tidsmæssigt forskudte forløb ligger kurven over det maksimale ventilationsbehov ved forskellige udetemperaturer.

#### Undertryk i hovedkanalen og hydraulisk arbejde

Den nødvendige ventilation i hver staldsektion sikres ved at der til enhver tid er et tilstrækkeligt undertryk til rådighed i hovedkanalen.

Ved 100 % ventilation dimensioneres anlægget for 30 Pa tryktab i det diffuse loft, 5 Pa i udhængen og 20 Pa i påstik med fuldt åbne spjæld, dvs. 55 Pa undertryk i hovedkanalen, [figur 6](#).



Figur 6. Dimensionerende tryktab for kanal udsugningen

Kun i en del sommertimer er der behov for 100 % luft i begge sektioner. Resten af året er ventilations-behovet forskelligt, og det undertryk der er behov for i hovedkanalen er følgelig også forskelligt. I det diffuse loft er tryktabet direkte proportionalt med luftmængden medens det i udhæng og påstik er proportionalt med kvadratet på luftmængden.

Det samlede tryktab ved fuldt åbne spjæld i påstikkene bliver

$$Pa = 30 * (0,01 * \%m3) + 25 * (0,01 * \%m3)^2 (Pa)$$

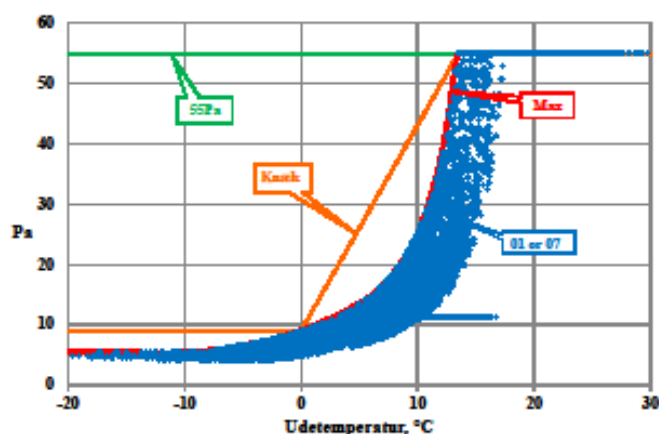
Når luftmængde og tryktab er beregnet kan det hydrauliske arbejde som kræves for at bringe den nødvendige luft ind i hovedkanalen beregnes som

$$HyEff = Pa * m3/3600 (W)$$

#### Strategier for styring af undertryk i hovedkanal

I figur 7 er vist alternative strategier for styring af undertrykket i hovedkanalen. Den bedste strategi ville være at sikre et undertryk i hovedkanalen som kun var stort nok til at der altid var den nødvendige ventilation ved fuldt åbent spjæld i det mest udsatte påstik. Dette er markeret med blå punkter i figuren. Det vil imidlertid kræve information af spjældstilling og en regulering der tilpassede undertrykket i hovedkanalen så der altid var et fuldt åbent spjæld.

Den traditionelle reguleringsform er imidlertid at holde et fast undertryk i hovedkanalen på 55 Pa. Af figuren ses at undertrykket i hovedkanalen derved er væsentligt større end nødvendig en stor del af året.



Figur 7. Det største undertryk i hovedkanalen som der er behov for i en af de to sektioner ved forskellig udetemperatur samt to forenklede strategier for styring af undertrykket.

En bedre strategi vil være at regulere trykket i hovedkanalen ved hjælp af en temperaturføler i udeluften. Trykket reguleres så som angivet med den røde kurve. Med fuldt åbne spjæld i påstikkene vil der derved til enhver tid være undertryk nok til at forsyne sektionerne med luft. Den største del af tiden vil det dog være nødvendigt at spjældene trækkes noget i begge sektioner for at undgå overventilering.

I praksis kan den buede styringskurve tilnærmes med enklere kurver. Det kunne for eksempel være at holde et fast, højt undertryk ved udetemperaturer over 13,5 °C og i en overgangsperiode lineært at reducere undertrykket til en fast, lav værdi ved udetemperaturer under 0 °C. Det er vist som en knæk-model i figuren.

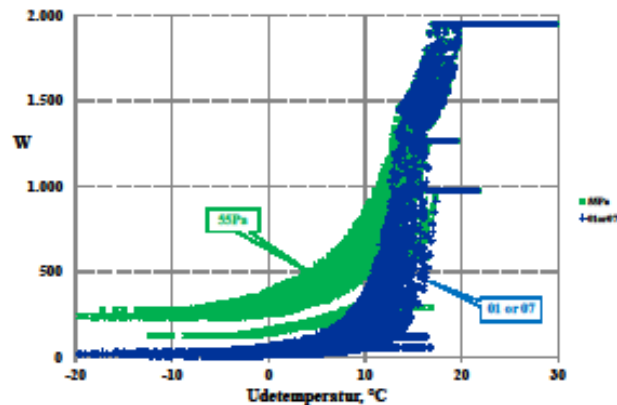
#### Besparelsespotentiale ved trykregulering i hovedkanal

Når nødvendig luftmængde og tryktab er kendt time for time som beskrevet i det foregående, kan også det hydrauliske arbejde beregnes time for time. I figur 8 er vist eksempler på værdier for luftmængder, undertryk og hydraulisk arbejde for de første timer af andet år.

Time			Tu	Sum 01+07 m3		55 Pa		Knæk		01 eller 07	
week	day	hour	°C	%m3	m3	Pa	W	Pa	W	Pa	W
53	1	1	0,5	14	17.396	55	266	11	52	6	29
53	1	2	0,3	14	17.274	55	264	10	48	6	28
53	1	3	0	13	17.096	55	261	9	43	6	27
53	1	4	-0,3	13	16.923	55	259	9	42	6	26
53	1	5	-0,5	13	16.810	55	257	9	42	6	26
53	1	6	-0,5	13	16.810	55	257	9	42	6	26
53	1	7	-0,5	13	16.810	55	257	9	42	6	26
53	1	8	-0,5	13	16.810	55	257	9	42	6	26

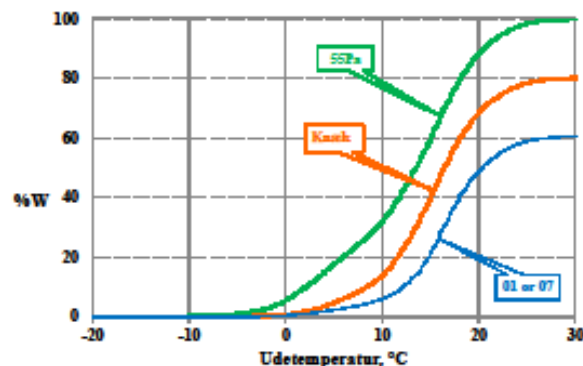
Figur 8. Eksempel på timeværdier for undertryk og hydraulisk arbejde for forskellige strategier for styring af undertryk i hovedkanal.

I figur 9 er som eksempel vist hydraulisk arbejde som funktion af udetemperatur, dels den traditionelle styringsstrategi ved at holde et fast undertryk på 55 Pa i hovedkanalen og dels den teoretisk bedste ved at reducere undertrykket i hovedkanalen så det kun er tilstrækkeligt ved fuldt åbent spjæld i det mest udsatte påstik



Figur 9. Timeværdier for det hydrauliske arbejde som funktion af udetemperatur er vist, dels ved at holde et fast undertryk på 55 Pa i hovedkanalen og dels ved at reducere undertrykket i hovedkanalen mest muligt.

I figur 10 er vist hvorledes det hydrauliske arbejde varierer med udetemperaturen for de tre styringsstrategier. Som reference er valgt det hydrauliske arbejde for den traditionelle styring med konstant undertryk på 55 Pa.



Figur 10. Sum af det hydrauliske arbejde i % af årsforbruget som funktion af udetemperaturen ved tre reguleringsstrategier for undertryk i hovedkanalen.

I figur 11 er det årlige hydrauliske arbejde beregnet for de tre strategier til styring af undertrykket i hovedkanalen. Den traditionelle strategi med at holde et konstant undertryk på 55 Pa medfører et årligt hydraulisk arbejde på 4,55 kWh/stiplads. Den teoretiske nedre værdi for det hydrauliske arbejde ved at reducere undertrykket i hovedkanalen mest muligt er 2,76 kWh/år/stiplads. Ved at anvende den praktiske mellemløsning med knæk-modellen bliver det årligt hydraulisk arbejde 3,64 kWh/år/stiplads, hvilket svarer til en besparelse på 20% af en teoretisk mulig besparelse på 39%.

Vurdering af om disse besparelser er attraktive afhænger af de investeringer som skal til i form af ekstra måle- og reguleringsudstyr.

Regulering		Forbrug		Besparelse
m <sup>3</sup> /h	Pa	kWh/år	kWh/år/stiplads	%
01+07	Konstant 55 Pa	5.802	4,55	
01+07	Knæk 55-13,5 Pa	4.650	3,64	20
01+07	Max 01 eller 07	3.519	2,76	39

Figur 11. Årligt hydrauliske arbejde for tre strategier til styring af undertrykket i hovedkanalen

#### KONKLUSION

Der er taget udgangspunkt i en den modelstald, som er beskrevet i notatet "StaldVent simuleringer af PSO2 modelstald". Tre strategier for styring af undertrykket i hovedkanalen som funktion af udetemperaturen og potentiale for besparelse af hydraulisk arbejde er beregnet for et centralt udsugningsanlæg.

De undersøgte strategier er dels en traditionel strategi med et konstant undertryk på 55 Pa, dels en teoretisk styring der reducerer undertrykket i hovedkanalen mest muligt samt en praktisk mellemøsning baseret på at undertrykket i hovedkanalen reduceres afhængigt af udetemperaturen.

Den traditionelle strategi medfører et hydraulisk arbejde på 4,55 kWh/stiplads. Den teoretiske nedre værdi for det årlige arbejde ved at reducere undertrykket i hovedkanalen mest muligt er 2,76 kWh/år/stiplads. Den praktiske mellemøsning resulterer i 3,64 kWh/år/stiplads, hvilket er en besparelse på 20 % i forhold til den traditionelle strategi.

## **Bilag 7 – Delrapport - Modelstald 0% rensning**



# STALDVENT SIMULERINGER AF PSO2 MODELSTALD

af

*Keld Sørensen og Jan S. Strøm,*

Danish Exergy Technology A/S (DXT)

## **BAGGRUND**

Som integreret del af PSO-F&U ansøgning til Dansk Energi projekt 342-041: "Energieffektiv biologisk luftrensning til staldventilation" er der udfærdige analyse og simuleringer med StaldVent for at kortlægge den optimale systemsammensætning på komponentbasis og regulerings-teknisk. Energibesparelser, funktion og styring vil blive afprøvet og dokumenteret i en eksisterende stald. Testen vil samtidig validere store dele af centralventilationsdelen der optræder i StaldVent.

Ved et indledende møde i projektgruppen den 8. juli 2010 blev det besluttet at tage udgangspunkt i en slagtesvinestald, der var under projektering. Stalden betegnes i det følgende som modelstalden, og danner grundlag for at kortlægge den optimale systemsammensætning på komponentbasis og reguleringsteknik.

## **MODELSTALD**

Modelstalden består af to sektioner af en Gråkjær stald, der i alt består af fire sektioner. De to sektioner ligger i den ene ende af stalden og tilsluttes et fælles renseanlæg. Modektionerne er geometrisk ens, men adskiller sig driftsmæssigt ved at der i den ene (stald\_01) indsættes dyr i uge 1 af det første driftsår, medens det i den anden (stald\_07) først indsættes dyr i uge 7.

## **Produktion**

En modelsektion har 638 stipladser. Svinene opfedes fra 35 til 102 kg. Der regnes med 84 dage pr. hold svarende til en gennemsnitlig tilvækst på ca. 0,8 kg pr. dag.

Ved indsætning regnes med en indstillet rumtemperatur på 22 °C der holdes konstant den første uge hvorefter den sænkes så den når 18 °C ved levering. Indstillet maksimum fugtighed ved indsætning er 70 % relativ fugtighed stigende til 80 % ved levering. Der regnes med vådfodring svarende til en fordampningsfaktor på 0,90.

Varmeproduktion beregnes i henhold til vpe-modellen (Strøm/Feenstra 1981).

### **Bygning**

En modelsektion er 36 m lang og 12,8 m bred, dvs. et gulvareal på 460,8 m<sup>2</sup>. Med de 638 stipladser giver det 0,72 m<sup>2</sup> gulv pr. stiplads.

Der er 15 stier pr. række svarende til en stibredde på 2,4 m. En 1 m bred inspektionsgang giver en stidybde på 5,96 m. Med 29 stier pr. sektion (+ sygesti) er der således 22 grise pr. sti

Væghøjden er 2,6 m og der er en ensidige taghældning på 20°. Loftshældningen er sat til 0°. U-værdi for vægge mod det fri er sat til 0,5 W/m<sup>2</sup>°C. U-værdien for det diffuse loft er sat til 0,3 W/m<sup>2</sup>°C. Den dimensionerende udetemperatur er -10 °C.

### **DIMENSIONERING AF KLIMAANLÆG**

Ved vurdering af effekten af forskellig systemsammensætning, komponentvalg og regulerings-teknik på energiforbrug og emission anvendes modelstalden uden rensning. Stalden ventileres med diffus undertryksventilation. Ventilationsluften tilføres gennem loftsrummet og diffust loft og trækkes ud ved hjælp af et udsugningsanlæg.

#### **Ventilationsanlæg**

Ventilationsanlægget dimensioneres for 100 m<sup>3</sup>/h pr. stiplads, dvs. 63.800 m<sup>3</sup>/h for hver modelsektion ved et differenstryk over det diffuse loft på 30 Pa. Minimum luftmængde ved indsætning er 10 %, og minimum ved levering 16 %. Specifik ventilationsydelse sættes til 20 m<sup>3</sup>/Wh svarende til et strømforbrug ved max. ydelse på 3,19 kW.

#### **Varmeanlæg**

Varmetabet fra tom stald er 11 kW ved den dimensionerende udetemperatur på -10 °C. Med dyr i stalden tillades der varmetilførsel op til 30 % af max. ventilation for at undgå unødige varmetilførsel til fugtoverstyring i milde, fugtige perioder. Med fugtoverstyring og en øvre CO<sub>2</sub> grænse på 3.500 ppm er det største varmebehov 20,5 kW med dyr i stalden dag 7 efter ind-

sættelsen. I simuleringerne er varmeanlæggets største ydelse sat til 24 kW for at sikre at varmeanlægget ikke bliver begrænsende faktor ved simuleringerne.

## **SIMULERING**

I StaldVent simuleres forholdene i den ene sektion uafhængigt af den andre, som tilsluttes fælles rensningsanlæg. I programmet Projekt kan simuleringsskemaerne i de to sektioner derefter kombineres til simulering af driftsforhold for et centralt klima- og rensningsanlæg der betjener begge sektioner. Til det formål skal der etableres en simuleringsskema for hver enkelte sektion.

### ***Modelstald 1.***

Simuleringen i modelstald 1 dækker 3 år, dvs. fra uge 1 til uge 156. Udover de 84 dages produktionstid afsættes 7 dage med tom stald mellem holdene. Der regnes ikke med ventilation og opvarmning af tom stald.

### ***Modelstald 7***

Simuleringen af modelstald 7 er identisk med undtagelse af at dyrene først indsættes i uge 7.

### ***Oversigt over inddata og resultater***

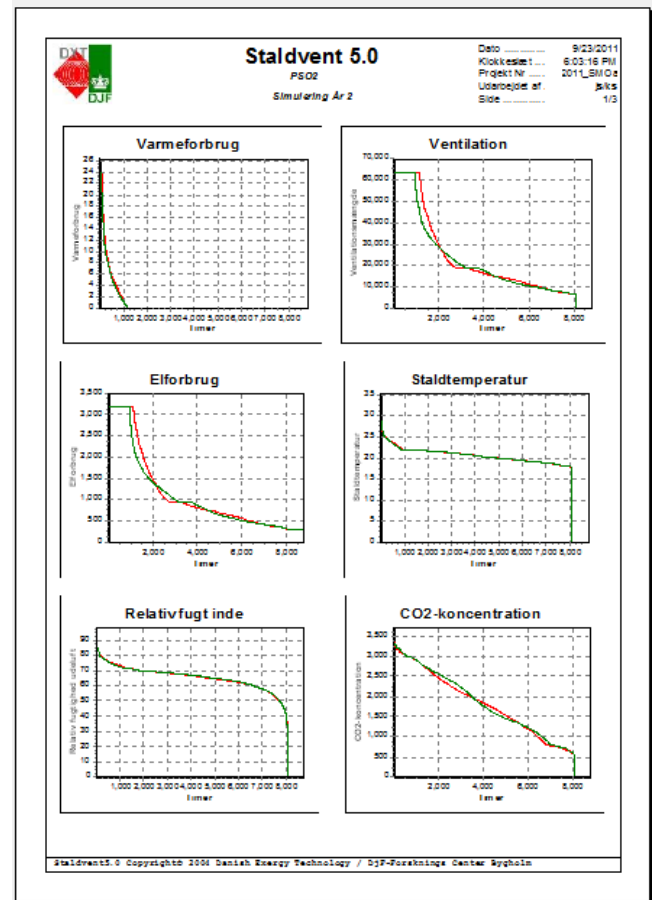
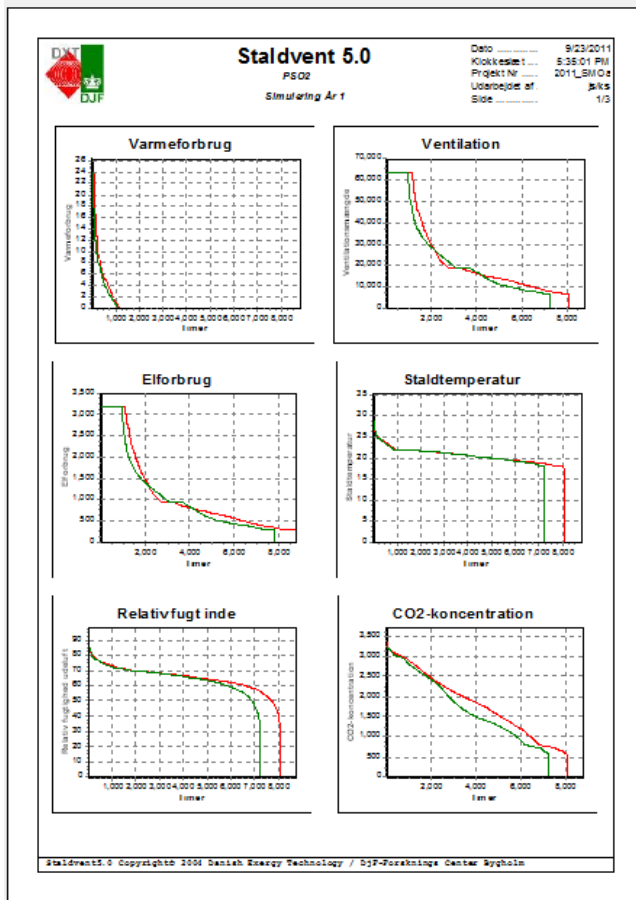
En tabel over inddata samt nøgletal for simuleringen er vist i figur 1. For oven ses at det med undtagelse af *Startuge* er de samme forudsætninger som er benyttet for begge simuleringer. Pr. produceret gris ses for neden at det gennemsnitlige energiforbrug til opvarmning af stald 1 og stald 7 var hhv. 2,27 og 3,02 kWh og elforbrug til ventilation hhv. 3,87 og 3,78 kWh pr. produceret gris.

En grafisk præsentation af resulterende energiforbrug og indeklimate er vist i figur 2. Forskellen mellem de to sektioner skyldes i år 1 forskydning i opstart på 84 dage. I år 2 forsvinder effekten af de forskellige starttidspunkter.

De simulerede time for time drifts og energiværdier gemmes som simuleringsskemaerne basis01\_smo.sim og basis7\_smo.sim. Filerne danner grundlaget for dimensionering og driftssimuleringer af fælles udsugning og central rensning af luften fra de to sektioner ved hjælp af PC modulet StaldVent-Projekt.

Parameter / Simulering		1	2
Simuleringstitel	--	Basis01_SMOa	Basis07_SMOa
Referencefil	--	DRYREF	DRYREF
Startuge for simulering	--	1	7
Slutuge for simulering	--	156	156
Antal varmeproducerende enheder start	kW	87,0	87,0
Antal varmeproducerende enheder slut	kW	163,2	163,2
Staldtemperatur start	°C	22,0	22,0
Relativ fugtighed start	%	70,0	70,0
Staldtemperatur slut	°C	18,0	18,0
Relativ fugtighed slut	%	80,0	80,0
Aktivitetsprofil	--	NA	NA
Max ydelse ventilationsanlæg	m <sup>3</sup> /h	63800	63800
Min ydelse ventilationsanlæg start	%	10,0	10,0
Min ydelse ventilationsanlæg slut	%	16,0	16,0
Elforbrug ved max ydelse	W	3190,0	3190,0
Minimum elforbrug ventilation	W	10,0	10,0
Reguleringssystem	--	4	4
Fugtstyring Ja/Nej	--	Ja	Ja
Regulerings prioritet	--	Temp.	Temp.
CO2-styring Ja/Nej	--	Nej	Nej
Setpunkt CO2-styring	Vppm	3500	3500
Max varmeeffekt	kW	24,0	24,0
Varmetilførsel op til x% af max vent	%	30,0	30,0
Varmeforbrug pr produceret dyr	kWh	3,27	3,02
Elforbrug pr produceret dyr	kWh	3,87	3,78

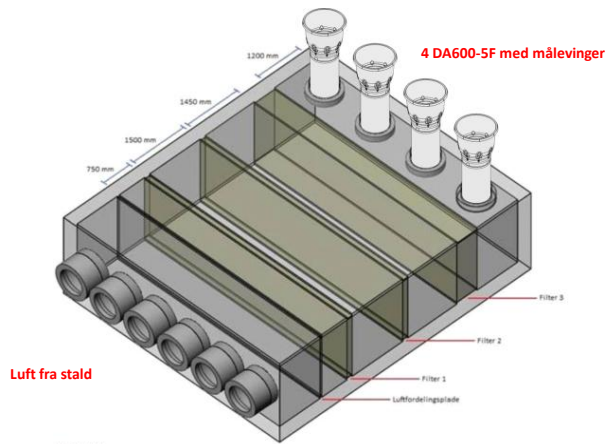
Figur 1. Inddata og resultater for simulering af 3 års drift.



Figur 2. Varighedskurver for klima og energiforbrug i de to staldsektioner for år 1 og år 2.

## **Bilag 8 – Potentiale 100% rensning (NR)**

## BIO-FLEX hos NR, 2011



## Stalldata for NR med BIO-FLEX

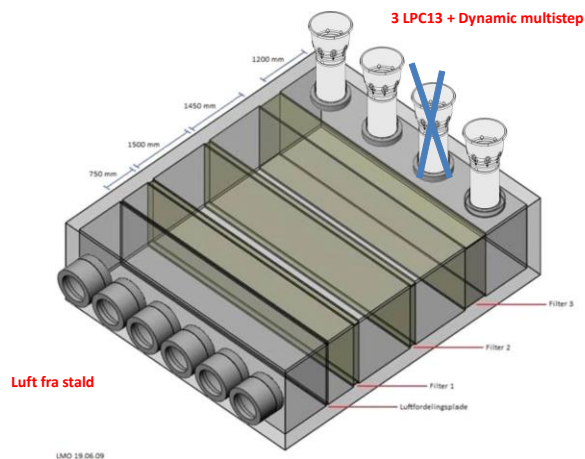
PARAMETER	BIO FLEX TESTSTALD VED NIELS RIIS
Dyrekategori	350 Slagtesvin (xx kg – xx kg) <b>30kg-105kg</b>
Drift	Holddrift <b>100 dage pr. hold 5 dage mellem hold</b>
Foder	Tørfoder ad libitum
Gulvtype	1/3 drænet, 2/3 fuldspalter
Luftindtag	30 vægventiler DA 1200
Kanal	6 x DA600 rør med afkastkonus
Luftudtag	4 x nedenstående: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Indløbstragt? <b>Indløbstragt</b></li> <li>• Drejespæld? <b>Drejespæld</b></li> <li>• DA600-5f, trinløs <b>DA600-5F. Trinløs med miljømodul + målevinger</b></li> <li>• Afkastkonus <b>Afkastkonus</b></li> </ul>
Nødventilation	Eksisterende ventilation i stalden genanvendes til nødventilation. 3 stk DA 600, heraf 1 stk trinløs + 2 stk on/off KJE laver en omskifterboks i luftrensningsforrum, så der kan skiftes om mellem ventilation gennem BIO Flex og ventilation gennem nødventilation. JDN levere nærmere funktionsbeskrivelse for omskifterboks via KJE, inkl. Beskrivelse med planche i forrummet.
Staldlængde	14,40 m
Staldbredde	19,68 m
Loftshøjde	2,80 (åben til kip)
Taghældning	30°

## Uddrag af VERA test rapport (juli 2010 – Juli 2011)

**Tabel 8.** El- og vandforbrug til luftrenseren i testperioden.

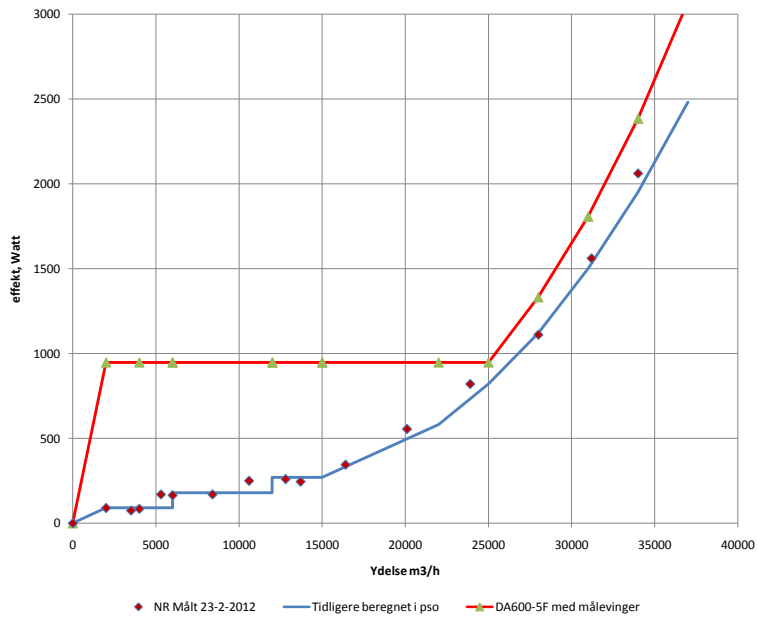
	Forbrug i testperioden	Forbrug pr. produceret gris
El luftrenser, kWh	5.541	4,5
El ventilation igennem luftrenser, kWh	11.547	9,4
El total, kWh	17.088	13,9
Vand tilført, m <sup>3</sup>	416	0,339
Vand lænset, m <sup>3</sup>	204	0,167

## BIO-FLEX hos NR, 2012

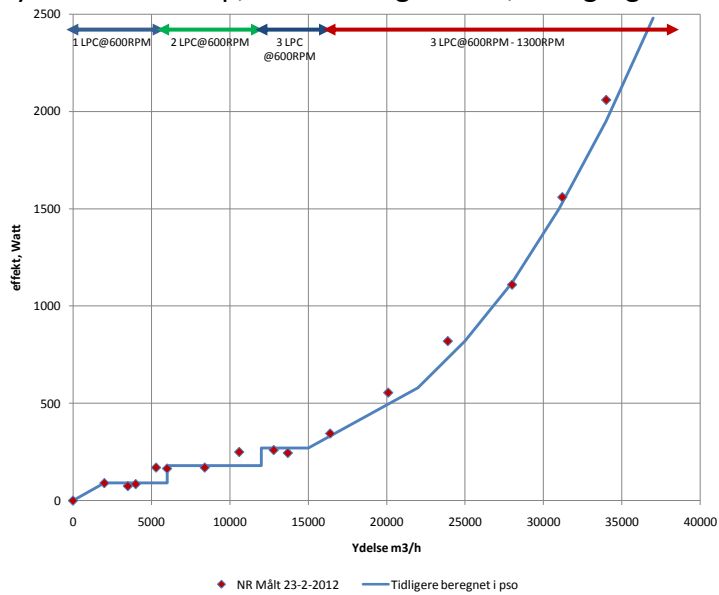




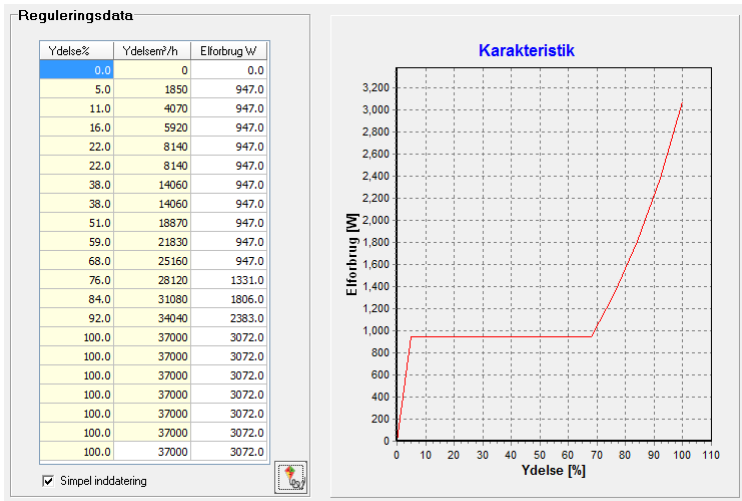
### energisignaturer



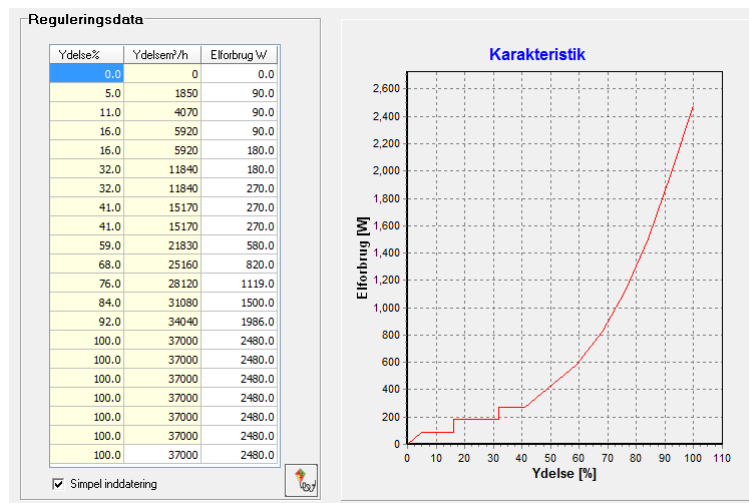
### Dynamic multistep, luftrensning hos NR, energisignatur

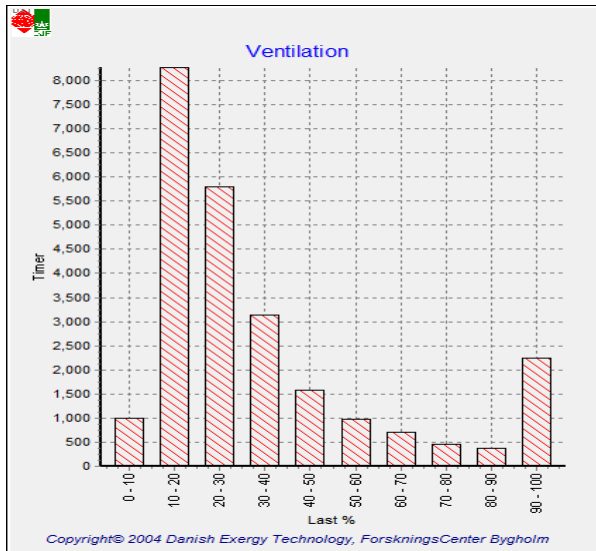


## Energisignatur for 4 DA600-5F med målevinger.



## Energisignatur for 3 LPC13 Dynamic Multistep + Dynamic air





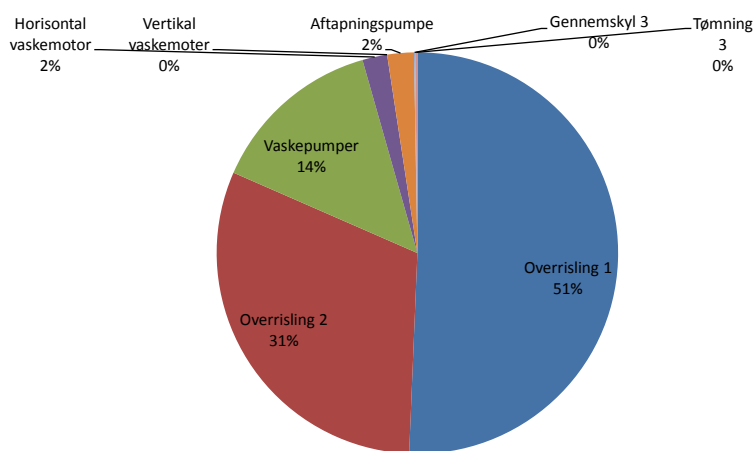
## Energiforbrug til ventilation

	kWh/år	kWh/stiplads/år
Målt i 1 års VERA test *)	11547	33
StaldVent (4DA600-5F m. målevinge)	9743	28
StaldVent (3LPC1300 + Dyn multistep)	3844	11

\*) Der har i perioder været tilstoppet filter, som har givet et forøget energiforbrug

Forbrug BIO Flex Mors	Drift-Timer/år	kWh/år	% kWh
Overrisling 1	4771	2.807	51
Overrisling 2	2911	1.712	31
Vaskepumper	758	778	14
Horisontal vaskemotor	768	111	2
Vertikal vaskemotor	17	1	0
Aftapningspumpe	115	118	2
Gennemskyl 3	10	5	0
Tømning 3	10	10	0
		5.544	100

Fordeling af energiforbrug til drift af Bio-Flex. Totalforbrug er målt.  
 Fordelingen mellem de enkelte komponenter er beregnet ud fra målt effektoptag x driftstid.



Overrisling er konstant og udgør 82% af energiforbruget til bioflex går til overrisling

## Dynamisk overrissing (drifttid er en funktion ventilationsydelse)

Vent. Ydelse	Off-tid (s)	Off-tid (min)	Cyklustid (s)	On tid *)
100%	160	02:39	300	47%
90%	175	02:54	315	44%
80%	193	03:12	333	42%
70%	215	03:34	355	39%
60%	242	04:02	382	37%
50%	278	04:38	418	33%
40%	326	05:26	466	30%
30%	395	06:34	535	26%
20%	499	08:19	639	22%
10%	680	11:19	820	17%
0%	1063	17:43	1203	12%

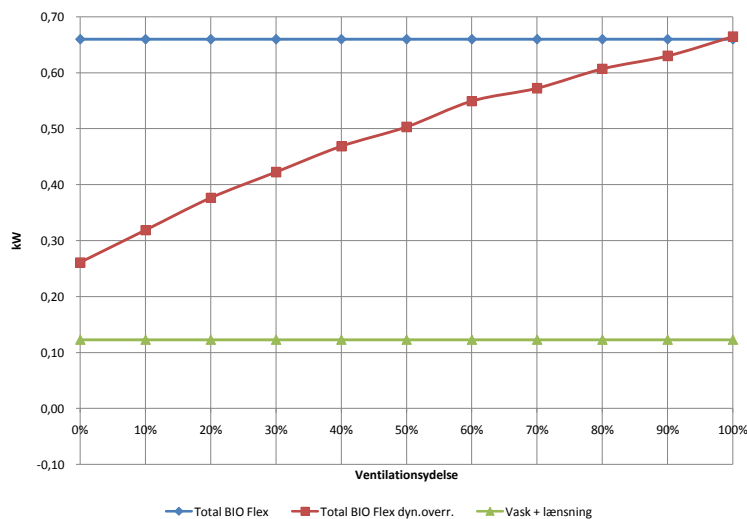
On-tid er altid den samme

140sek

Cyklustid = on+off

\*) On tid er beregnet ud fra en fordampningsbalance og en mikrobiologisk massebalance for filtrene.

## Energisignatur for BIO Flex, Normal drift og Dynamisk overrissing





## Energiforbrug NR luftrensning

Ventilation	kWh/år	kWh/stiplads/år
Målt i 1 års VERA test *)	11547	33
StaldVent (4 DA600-5F m. målevinger)	9743	28
<b>StaldVent (3 LPC13 m. Dyn. multistep )</b>	<b>3844</b>	<b>11</b>
<b>BIO Flex luftrenser</b>		
Målt 1 års VERA test	5544	16
StaldVent	5501	16
<b>StaldVent dyn. overrisling</b>	<b>3569</b>	<b>10</b>

\*) Der har i perioder været tilstoppet filter, som har givet et forøget energiforbrug

**Årlig besparelse ≈ 50 % ( 63% på ventilation, 35% drift af BIO Flex)**

## **Bilag 9 Lovgivningsgrundlag**



Af kortlægningen af lovgivningsgrundlaget i de tre fokusmarkeder, Danmark, Tyskland og Holland fremgår det at alle landene har lovkrav omhandlende lugtemission og luftbåren udledning af ammoniak. De enkelte faktorer kan reduceres på flere af følgende måder:

**Foder:**

- Reduceret N-udskillelse og P-udskillelse
- Benzoesyre

**Stalde**

- Delvist fast gulv - andel fast gulv
- Køling af gylle
- Luftrensning med syre
- Biologisk luftrensning
- Forsuring

**Lager:**

- Overdækning af gyllebeholder
- Nedfældning af gylle

Hvoraf luftrensning er en af de primære og ofte anvendte faktorer til nedbringelse af emissionerne.

## **Lovgivning i Danmark**

### **Luftbåren ammoniak udledning**

Pr. 1. januar 2007 trådte Lov om miljøgodkendelse mv. af husdyrbrug i kraft. I loven stilles der ved udvidelse, nyetablering eller ændring af husdyrproduktion over 75 dyreenheder, krav om at reducere den luftbårene ammoniakudledning. Dette har trinvist betydet, at kravet til reduktion, målt i forhold til bedste stald- og lagersystem i 2005, er blevet øget til 25 % i 2009. Denne procentsats er igennem projektperioden yderligere steget til 30 % i 2011.

Hvis GRØN VÆKST, som går på total og ikke kun på nyopførsler, gennemføres, vil der fra ikrafttrædelsesåret være nye krav opgivet iht. BAT-værdier, hvilket sandsynligvis med hensyn til ammoniak vil blive fra 0,29-0,21 kg ammoniak pr. dyreenhed. Da hver besætning i teorien skal miljøgodkendes hvert 8. år, åbner dette hele det eksisterende marked for ammoniak reduktion.

### **Lugtemission**

Udover kravene til ammoniakudledningen må husdyrbrug større end 15 dyreenheder efter udvidelse eller ændring i eksisterende anlæg fremover maksimalt have en lugtemission på en vis grænseværdi, afhængigt af omgivelser – iht. bekendtgørelse nr. 1696, 2006. Lovgivningen er ændret fra en tidligere FMK vejledning som vurderes hensigtsmæssig til en ny OML model, som omtrent har et afstandskrav svarende til en 45 % lineær hældning fra udledningen og ikke tilgodeser det reelle koncentrationsfald på 4 gange ved fordoblet afstand. Dette giver nye store besætninger enorme afstandskrav, hvis der ikke etableres luftrensning.

Som følge af de nye regler for lugtemission, vil en række eksisterende husdyrbrug ikke kunne overholde de nye afstandskrav vedrørende lugt. Et bestående husdyrbrug kan dog opnå en ny

miljøgodkendelse under forudsætning af, at afstanden til byzone, samlet bebyggelse og enkeltliggende huse i landzone er længere end 50 % af den beregnede geneafstand, såfremt udvidelsen eller ændringen gennemføres med uændrede eller færre lugtgener.

Kortlægninger viser at 30-40 % af de danske landmænd vil være nødsaget til at gennemføre ændringerne og udvidelse af eksisterende produktion med uændrede eller færre lugtgener. Ses der endvidere bort fra mindre hobbybrug, dækker procentsatsen helt op til 75 % af landmændene.

Den nye lugtvejledning er udelukkende gældende for etableringer, udvidelser og ændringer. I forbindelse med klagesager og revurderinger af eksisterende husdyrbrug, skal der tages hensyn til proportionalitetsprincippet. Det betyder, at der ikke må pålægges eksisterende lovligt etablerede husdyrproduktioner uforholdsmæssige store omkostninger.

### **Vurdering**

Der er ingen systemkrav i Danmark, udelukkende en ramme man skal holde sig indenfor. Både krav om lugtemission og ammoniakudledning kan opfyldes ved anvendelse af biologisk luftrensning med enten del eller fuldrensning.

20 % biologisk delluftrensning er det mest velvalgte system på nuværende tidspunkt og giver omtrent 60 % ammoniak reduktion.

## **Lovgivning i Tyskland og Holland**

### **Lugtemission**

Lugt- og ammoniakkrav følger ikke hinanden i Danmark og Tyskland og Holland. Krav i Tyskland og Holland er generelt meget mindre end i Danmark med hensyn til afstanden til anden bygning, hvilket giver stordriftsfordele. I Tyskland skal der ved anvendelse af luftrensning altid renses 100 %, og der er mange yderligere og forskellige krav. Men på grund af det primære krav om 70 % N-reduktion, kan det generelt anføres, at fuldrenses der til under 3000Ue, så skal der ikke yderligere dokumentation/ krav til en evt. udvidelse af besætningen, hvorfor luftrensning stort set altid anvendes i Tyskland.

### **Ammoniak**

I Tyskland har der tidligere været lempelser til større besætninger med hensyn til kravet om udledningen af ammoniak. Men denne lempelse forsvinder, og der er dermed ikke er den samme rabat/ stordriftsfordele med hensyn til ammoniak udledning.

### **Vurdering**

Rensning er meget udbredt i Tyskland og Holland og det er kun 100 % rensning der er relevant i disse lande på grund af fordelene ved udvidelser.

## **Bilag 10 Beregning af effektivitet/ virkningsgrad**

## Beregning af virkningsgrader.

Virkningsgraden for de i rapporten anvendte ventilatorer er beregnet ud fra nedenstående betragtninger.

Definitionen af virkningsgraden er foretaget med baggrund i en lang række målinger, som den for projektet bedste måde at vurdere energiforbruget ift. den leverede ydelse i stalden og dermed vurdering af optimeringerne. I definitionen er der ikke skelnet til ECO-design.

### Virkningsgrad eksklusiv systemtab (Statisk virkningsgrad)

Virkningsgraden eksklusiv systemtab (statisk virkningsgrad) er defineret ud fra nedenstående Udtryk:

$$\eta_a = \frac{\text{Hydralisk arbejde}}{\text{Tilført effekt}(P1)} * 100\% = \frac{Q * \Delta P}{\text{Watt}(P1)} * 100\%$$

Hvor:

$\eta_a$  : Statisk virkningsgrad (eksklusiv systemtryktab)

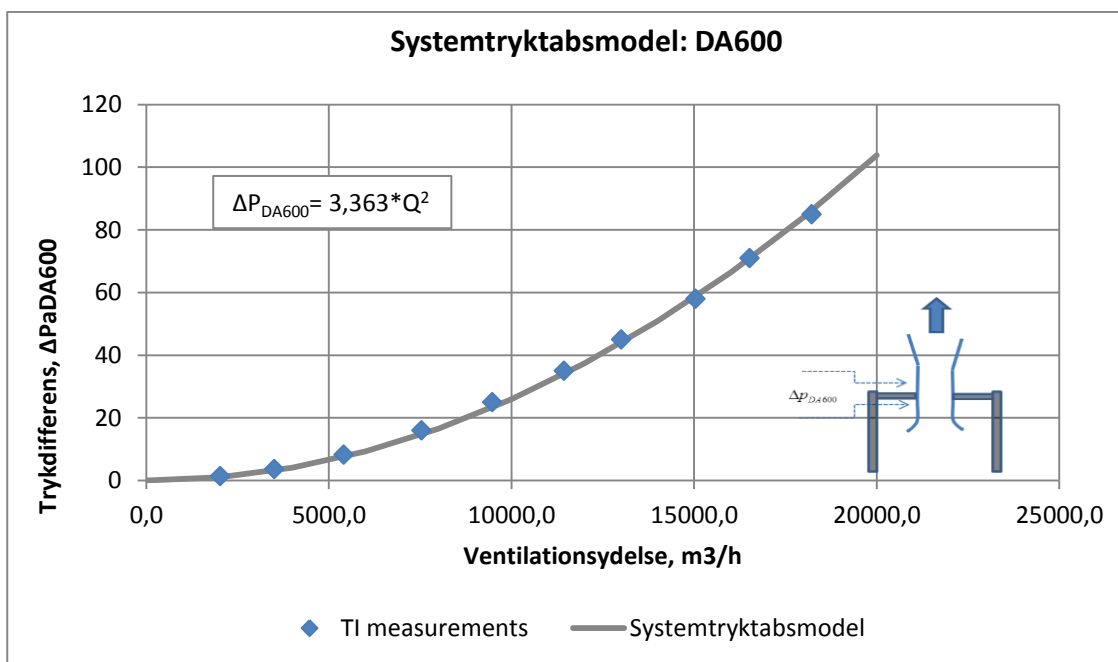
Q : Volumenstrøm, m<sup>3</sup>/s

$\Delta P$ : Statisk trykdifferens mellem inde og ude, Pa

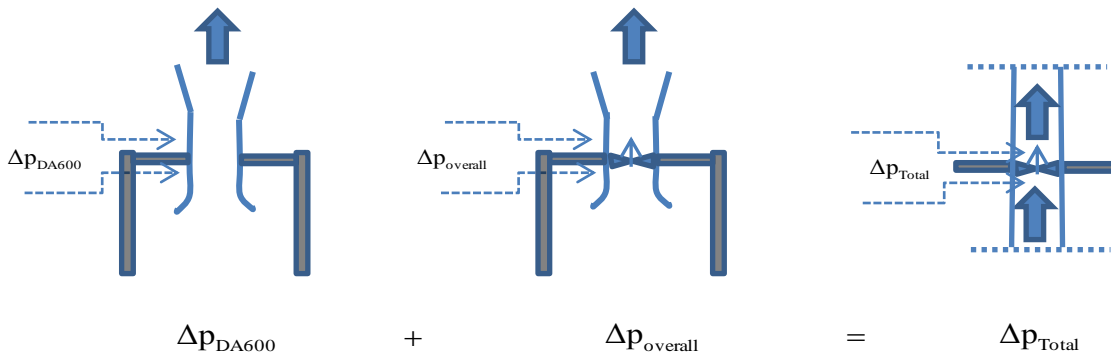
### Virkningsgrad inklusive systemtab (total virkningsgrad)

Virkningsgraden inklusive system (total virkningsgrad) giver bedre mulighed for at vurdere ventilatorens effektivitet i det normale driftsområde. Virkningsgraden inklusiv systemtryktab er defineret på følgende måde:

- 1) Systemtryktabet (eksklusiv ventilator) er fundet ved forskellige ydelser og fremgår af figur nedenstående figur.



Når systemtryktabet er kendt kan den totale virkningsgrad (inklusive systemtryktab) findes ud af nedenstående betragtninger:



$$\Delta p_{DA600} = 3,363 \cdot Q^2$$

$$\eta_d = \frac{\text{Hydraulisk Arbejde}}{\text{Tilført effekt}(P1)} \cdot 100\% = \frac{Q \cdot (\Delta p_{Total})}{\text{Watt}(P1)} \cdot 100\% = \frac{Q \cdot (\Delta p_{DA600} + \Delta p_{overall})}{\text{Watt}(P1)} \cdot 100\%$$

Hvor

$\eta_d$  : Total virkningsgrad (inklusive systemtab)