



TEKNOLOGISK
INSTITUT

PROJEKT MÅNEGRISEN

December 2015



Titel:

Projekt Månegrisen

- Udvikling og test af prototyper til bestemmelse af luftflow i ved staldventilation.

Udarbejdet af:

Teknologisk Institut

Gregersensvej

2630 Taastrup

Morten Sandholm Madsen

Lars Hansen

Xu Guan

Erik Hvirgel Hansen

Christian Grønborg

Indholdsfortegnelse

1	Sammenfatning og anbefalinger	4
	Målemetoder	4
	Forslag til database- og datahåndteringssystem	5
2	Indledning	7
3	Baggrund.....	9
1.1		
1.2	Ventilation.....	9
	Ventilationsprincipper	10
3.1	Styring og regulering.....	11
4	3.0 Oversigt over tilgængelige sensorer	13
3.1.2	Sensorer i landbrugssektoren.....	13
4.1	Trykdifferens måling	13
4.1.1	Målevinge	13
4.1.2	Sensorer i komfortsektoren	14
4.2	Kravspecifikation	14
4.3	Kravspecifikation	14
5	Valg af sensorer.....	16
6	Laboratorie prøvestand.....	18
6.1		
6.2	Testkammer	19
6.3	Elliptisk dyse (venturi)	20
7.1	Måling af hastighedsprofil	21
7	7.0 Udvikling og måling af eksisterende måleudstyr i laboratoriet.....	23
7.1.2	Skov Dynamic Air flowmåling.....	23
7.2	Måling med én kanalsektion	23
7.2.1	Måling med én kanalsektion	23
7.2.2	Måling med tre kanalsektioner	25
7.3	VengSystem målevinge.....	26
7.4	Målevinge placeret på tryksiden af ventilator	27
7.4.1	Målevinge placeret på tryksiden af ventilator	27
7.4.2	Målevinge placeret på sugeside af ventilator.....	29
7.4.3	Klapsystem (vinkel flowmåler)	30
7.4.4	Ultralyd.....	33
	Blokdigram over ultralydssensor	34
	Lydhastigheden generelt.....	35
	Indledende målinger	35
	Optimal placering af sensorer	38

	Tryksiden med to sektioner	39
	Tryksiden med syv sektioner	40
	Sugesiden med fem sektioner.....	42
	Sugesiden med linearisator kryds	42
	Tryksiden med datalogger.....	44
7.4.5		
8	Opsætning og test af måleudstyr i demonstrationsstald	46
7.4.6		
7.4.7	Udvikling og nul-serieproduktion af 12 måleenheder	46
7.4.8		
7.4.8	Datahåndtering	47
7.4.9		
	Kanaloversigt i datalogger.....	48
8.1	Datapumpe	49
8.2	Langtidstest af sensorer i teststald	50
8.2.1		
8.2.2	Test af ultralyd i teststalden	52
8.3	Robusthedstest af ikke installerede ultralydssensorer	55
8.3.1		
9	Perspektivering og anbefalinger	58
8.3.2		
	Fejlhåndtering.....	58
9.1	Ultralydssensor	58
9.2		
9.3	Forslag til database- og datahåndteringssystem	59
10	Konklusion	60
11	Bilag	62
11.1	Dynamic Air	62
11.2	Målevinge	66
11.3	Målevinge	66
11.4	Klapsystem	68
	Ultralyd	69

1 Sammenfatning og anbefalinger

Teknologisk Institut har haft ansvaret for udviklings- og testarbejdet omkring måling af luftflow fra afkast i svinestalden.

Nærværende delprojekt har til formål at afprøve eksisterende og nyudviklet måleudstyr samt at udvikle en IT-plattform til håndtering af måleværdier.

Der blev indledningsvis kortlagt typiske luftmængder og dimensioner for ventilationssystemer til svineproduktion som udgangspunkt for opstilling af dimensioneringskrav for typiske arbejdsområder for luftflow og sensorer. Diverse Luftrensningssystemer blev gennemgået med hensyn til delvis- og fuldluftrensning. Det blev konstateret at et luftfilter kan give anledning til problemer med monteringen af måleudstyr da luften typisk transporteres i en fællesskakt på loftet. Løsningen blev at måle på afkast fra filteret, som for teststalden i Skanderborg bestod af fire parallelle afkast, som arbejdede synkront.

Teknologisk Institut har udarbejdet en markedsundersøgelse med hensyn til eksisterende luftflowmålere herunder luftflowmålere som allerede i dag anvende i forbindelse med svineproduktion. Målevingen fra VengSystem og Dynamic Air fra Skov blev testet i Teknologisk Instituts laboratorier. Sensorerne blev testet med hensyn til præcision samt evnen til at måle i luft med roterende luftstrømme, som optræder i staldventilation.

På basis af laboratoriemålingerne blev sensorer og måleprincipper valgt til videre test i teststald i Skanderborg.

Teknologisk Institut har desuden udviklet to nye måleprincipper. Én baseret på et mekanisk måleprincip (klap-princip) og én baseret på ultralyd. Ultralyden blev medtaget efter inspiration fra bilbranchen, som bruger ultralyd i forbindelse med parkeringssystemer og blindvinkelsalarmer. I bilbranchen er denne teknologi fuldt produktmodnet og sensorer er hyldevarer. På basis af laboratoriemålinger blev ovennævnte måleprincipper (klap og ultralyd) videreudviklet, klar til opsætning i teststalden. Sensorerne indgik i en fuldskalatest og demonstration som et samlet målesystem.

1.1

Målemetoder

Målenøjagtighed

Skovs Dynamic Air og VengSystems målevinge er to eksisterende systemer som har været anvendt i mange år i svinestalde. Systemerne er derfor allerede langtidstestet i barske miljøer med positivt resultat. Det er derfor oplagt at opsætte systemerne i teststalden. Målingerne udført i nærværende projekt viser, at målenøjagtigheden falder når luftmængden er under 2.600 m³/h ved brug af Dynamic Air. Målevingens målenøjagtighed varierer stort set ikke i arbejdsområdet og har samlet set en større målenøjagtighed end andre tilgængelige systemer. I en allerede eksisterende stald kan der forekomme opsætningsbegrænsninger, idet målevingen på nuværende tidspunkt skal sidde på sugesiden af ventilatoren. Målingerne indikerer dog, at ved indførelse af et nyt beregningsudtryk for luftmængden er det måske muligt at benytte målevingen, hvor den placeres på tryksiden af ventilatoren. Målevingen har den ulempe, at der genereres et mindre tryktab over målevingen hvilket medfører et øget energiforbrug.

Målingerne med klapsystemet og ultralyd viser, at det bestemt er muligt at benytte de nyudviklede måleprincipper og opnå høj målenøjagtighed. Klapsystemet medfører, i lighed med målevingen, et ekstra tryktab i kanalsystemet. Desuden kan systemet være vanskeligt at installere i en allerede eksisterende stald. Det formodes dog at navnlig klapsystemet vil være robust og driftssikkert. Ultralydssensorerne har en helt klar fordel ved at nemme at installere idet målingerne indikerer at sensorerne kan placeres både på tryk og sugesiden af ventilatoren. I forhold til robusthed vides det ikke, hvordan systemerne reagerer i det aggressive miljø.

Udfordringer i et aggressivt staldmiljø

Det barske og aggressive staldmiljø er en udfordring for sensorerne, som bliver belagt med et klæbelag af forurening. Denne forurening er især udbredt efter luftrensingsfilteret.

På indersiden af ventilationsrøret opbygges efter 2 uger, et 2-5mm tykt lag af ukendt snavs, som tilstopper sensorerne.

For at modvirke ovenstående problem med tilsnavsning i forbindelse med ultralydmetoden blev der implementeret signalforstærkning. Sensorhovederne blev rykket væk fra selve luftstrømmen og monteret i en lomme på ydersiden af ventilationsrøret. Derved var det muligt at måle korrekt i yderligere 6 uger drift før tilsnavsning gav problemer igen. Der skal derfor yderligere tiltag til før sensoren permanent er forberedt for det aggressive miljø.

En mekanisk renseprocedure bør udvikles for sensordelen.

Det skal fremadrettet undersøges, hvad det opbyggede snavs består af. Her tænkes på det snavs der opbygges efter luftfilteret. Det kan være nyttig information i forbindelse med udvikling af en ny mekanisk renseprocedure.

Dataopsamlingsystemet vil kunne afsløre om sensorhovederne er ved at blive tilsmudset og dermed på vej til at fejle. En fejlhåndtering af dette problem bør udvikles. Dette kan aktivere en renseproces eller sende en mail til den driftsansvarlige med en fejldiagnose.

Det forstærkerkredsløb der blev sammensat undervejs i projektet bør produktmodnes, herunder:

- Printkort udlægges, således at forstærkeren bliver en del af en ny sensor
- Forstærkerkredsløbene skal monteres tæt på sensoren for at undgå lange ledninger
- Sensorhovedet skal gøres mere intelligent med en simpel åben buskommunikation, evt., MODBUS via RS485.

Herefter kan hele målesystemet i én stald håndteres af én datalogger, som styrer de enkelte målepunkter. Herved gøres systemet billigere, hurtigere at montere og nemmere at servicere fremadrettet.

1.2 Ved klapsystem-metoden var problemerne med tilsmudsning lang mindre set i forhold til ultralydsmetoden.

De 2 markedsførte systemer er kun testet i laboratoriet.

Forslag til database- og datahåndteringssystem

En IT-plattform indeholdende data omkring emissionstal vil generelt kunne indeholde store mængder af data, som vil kunne gavne svineproducenterne og optimere produktionen samt visualisere ændringer i emissionen ved miljøtiltag.

Anbefalinger

Der bør udvikles et værktøj som kan medvirke til reduktion af emissioner. Nøgletalsberegninger udregnet fra IT-plattformen, skal direkte kunne bruges i forbindelse med styring af produktionen. Alle opsamlede data samles op i en fælles database. Det kan gælde luftmængder, ammoniakkoncentrationen i afkastluften, ammoniakkoncentrationen i gyllen, diverse temperaturer-, fugt og CO₂ målinger samt mængder af foder og produktionstal.

Systemet bør designes med åbne interfaces og med muligheder for at læse og skrive data til databasen via simple web api's. Dette betyder, at eksisterende systemer kan kommunikere med emissionsdatabasen. Herved kan data fra andre systemer sendes til databasen og andre systemer kan efterfølgende udregne ønskede specifikke nøgletal til svineproducenten. Der skal indarbejdes en høj sikkerhed, hvis systemet åbnes for disse funktioner.

2 Indledning

Nærværende projekt beskriver arbejdsplan 1 (aktivitet 1.1, 1.2 og 1.3) og arbejdsplan 2 (aktivitet 2.2, 2.3 og 2.4) som Teknologisk Institut har medvirket i. Formålet med arbejdsplan 1 har overordnet bestået i, at skabe en fælles forståelse for projektet samt vidensopbygge og vidensdele igennem netværksaktiviteter i form af konferencer og workshops. Resultatet af arbejdsplanen er et dimensioneringsgrundlag og en kravspecifikation for et samlet målesystem til test i en demonstrationsstald.

Formålet med arbejdsplan 2 har overordnet været at udvikle et system, der online og kontinuert kan måle og dokumentere luftbårne emissioner. Systemet er udviklet i fællesskab mellem Force Technology og Teknologisk Institut.

Formålet med aktivitet 2.2 er at identificere og kvalificere kosteffektive, kommercielt tilgængelige sensorer og principper til måling af luftflow. Aktiviteten er ansøgningsmæssigt opdelt i tre faser:

- Kortlægning og test af målemetoder
- Opstilling af krav til sensorer
- Opbygning og dokumentation af samlet flowmålesystem.

I første fase "**Kortlægning og test af målemetoder**" kortlægges og testes mulige måleprincipper iht. udarbejdede krav fastlagt i arbejdsplan 1.1 og 1.2. Måleprincipperne tager udgangspunkt i allerede eksisterende principper og komponenter for at reducere omkostningerne. Dette betyder at principper og eventuelt nyudviklede komponenter gerne skal kunne integreres i de eksisterende systemer, såsom udsugningskanalen, venturi indløb m.m. Dernæst udvælges et eller flere måleprincipper, hvortil der udarbejdes en cost-benefit-analyse. Analysen belyser kostpris kontra usikkerhed og robusthed(levetid) for måleprincippet og det samlede system. Første fase foregår udelukkende i laboratoriet på Teknologisk Institut. Dette betyder også, at principper og systemer testes under idealiserede forhold, hvilket ikke afspejler miljøet i en grisestald, som er langt mere aggressivt.

I fase 2 "**Opstilling af krav til sensorer**" udarbejdes en kravspecifikation til videre valg af kommercielle sensorer, som indgår i måleprincippet (flowmålesystemet). Ved udvælgelsen af sensorer skeles både til svineproduktionsbranchen og andre brancher, såsom ventilations- og byggebranchen, hvor måling af flow bestemt ikke er ukendt. Sensorerne gennemtestes, hvorefter de mest velegnede i forhold til pris, usikkerhed og robusthed udvælges til videre dokumentation.

Endeligt i fase 3 "**opbygning og dokumentation af samlet flowmålesystem**" testes det samlede flowmålesystem. Protokol og udgangssignaler fra sensorerne defineres også i fase 3, med henblik på at kunne sende data til et overordnet datahåndteringssystem, udarbejdet af Agrotech.

Resultatet af aktiviteten er en belysning af om det er muligt at opbygge et målesystem med kommercielle sensorer og geometriske udformninger, samt en beslutning om, hvilke konkrete principper (systemer), der kan indgå i det samlede system i aktivitet 2.3.

Alle teknologier (systemer) opstilles i en billig, mellem og dyr løsning som i arbejdsplan 1, i samråd med projekter, vurderes at være driftsøkonomisk attraktivt, (både hvad angår

investering og drift herunder nødvendig kalibrering) i forhold til robusthed, måleusikkerhed og det samlede systems kostpris og målekæde, som vil ligge til grund for valg af endelig løsning.

3 Baggrund

Ventilation

3.1 Det typiske ventilationsprincip for svinestalde i Danmark, er mekanisk undertrykventilation med diffus ventilation via isolering og troldektloft, eller med ventiler placeret i væg eller loft. Det er også muligt at anvende en kombination af begge dele. Ved brug af både diffus ventilation igennem troldektloft og ventiler i væg eller loft, åbnes ventiler efter behov - og først når ventilationen igennem troldektloftet ikke er tilstrækkelig til at opretholde et passende staldklima for grisene.

Ventilation igennem et diffust loft sker ved, at friskluften trækkes ind over loftet for derefter at diffundere ned igennem loftet, og efterfølgende suges ud via en eller flere kanalventilatorer.

Ventilationen dimensioneres med henblik på at opnå et passende staldindeklima. For det første stilles der i dag endnu højere krav til dyrevelfærd, hvorfor ventilationen nøje skal gennemtænkes for at sikre at dyrene ikke lider overlast i forbindelse med ventilering af staldene. Desuden sikrer en god trivsel af dyrene, at svineproduktionen/outputtet optimeres. Behovet for ventilation fastsættes typisk i forhold til de største grise, eftersom den største varmeproduktion kommer fra dem.

Smågrise mellem 20-30 kg kræver en ventilationsluftmængde mellem 3 og 30 m³/h pr. gris. Grise mellem 85-110 kg kræver en ventilationsluftmængde mellem 15 og 100 m³/h pr. gris. Med udgangspunkt i en stald med en større svinebesætning på 400 grise pr. sektion, er ventilationsbehovet 1.200-40.000 m³/h samlet set for en sektion. Dette afstedkommer, at der typisk skal bruges to til tre udsugningsventilatorer pr. sektion alt efter størrelsen på ventilatoren.

Selvom undertrykventilation og combi-diffus indblæsning i høj grad benyttes i danske slagtesvinestalde findes der andre metoder til at ventilere staldene. I Tabel 1 er de gængse anvendte ventilationsprincipper listet.

	Procent anvendelse (%)
Indblæsning	
Diffus ventilation	30
Væg- og loftsventiler	10
Combi diffus	60
Udsugning	
Skorsten i tag	85
Delvis gulvudsug	5
Samlet udsugning (luftrensning eller forberedt for luftrensning)	10

Tabel 1 – Fordeling af ventilationssystemer i Danmark¹.

¹ Ref. Anders Riis, VSP

Ventilationsprincipper

De forskellige ventilationsprincipper er kort beskrevet nedenfor:

Diffus indblæsning er som tidligere beskrevet en indblæsningsform, hvor luften ved hjælp af undertryk i stalden suges ind over loftet, hvorefter den fordeles jævnt i stalden igennem et isoleringsmateriale og troldektloft. Typisk afkøles eller opvarmes luften afhængig af årstid på loftet, eftersom temperaturen på loftet differentierer sig fra udetemperaturen. Lufthastighederne er generelt lave ved dette princip, og skaber derfor kun få trækproblemer. Desuden vil temperaturforskellene i stalden være ganske små.

Væg- og loftsventiler er generelt kendetegnet ved, at ventilere fokuseret, modsat den diffuse indblæsning. Det er vigtigt at være opmærksom på luftens impuls (hastighed og kastelængde) for at opretholde et tilpas staldindeklima.

Ved Combi diffus, som af mange menes at være den optimale indblæsningsform, benyttes fordelene ved de to ovennævnte principper. Som udgangspunkt benyttes ventilerne kun, når der er ekstra behov for ventilering, hvilket typisk er om sommeren, hvor luftskiftet som regel er 4-10 gange større end om vinteren².

Den mest udbredte udsugningsform fra stalde er udsugning igennem skorstene i taget. Der placeres typisk to til tre skorstene i hver sektion afhængig af sektionens størrelse. Skorstenen suger luft fra stalden og blæser det direkte ud i atmosfæren uden at rense luften for blandt andet ammoniak.

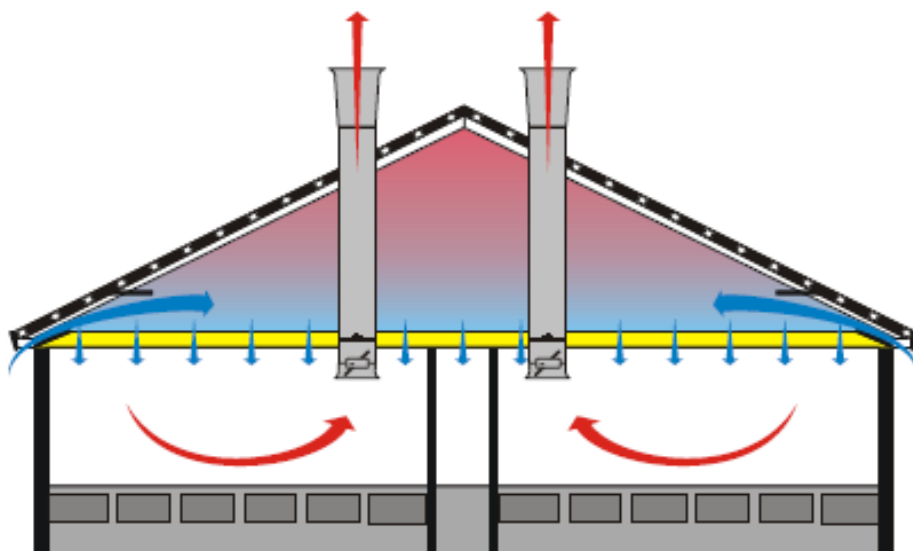
Det er muligt at kombinere udsugningen igennem skorstene med en delvis udsugning igennem gulvet. Dette giver en øget afkøling, som om sommeren kan være nødvendig. Desuden forbedrer delvis gulvudsugning stihygien og arbejdsmiljøet. Typisk dimensioneres gulvudsugningen til 10-30 % af den samlede udsugning, som enten leder luften op i en fælles kanal for derefter at blive rensat eller ud til en skorsten placeret i tilknytning til stalden.

Central luftrensning er et princip som i stigende grad anvendes i forbindelse med udsugning fra slagtesvinestalde. Luften udsuges fra sektionerne til en central udsugningskanal, typisk placeret i loftsrummet og føres til en luftrenser, hvor luften renses for derefter at blive blæst ud i atmosfæren. Luftrenseren placeres oftest i midten af stalden af hensyn til kanaldimensioner. Der findes forskellige typer luftrensning. Foruden central luftrensning findes også decentral luftrensning, hvor luften eksempelvis renses i én udsugningskanal eller fra én til to sektioner.

Ventilationsprincipperne beskrevet ovenfor er alle kendetegnet som mekanisk ventilation. Den mekaniske ventilation kan overordnet opdeles i tre typer; undertryksventilation, ligetryksventilation og overtryksventilation.

Undertryks- og overtryksanlæg er kendetegnet ved kun at indeholde enten en udsugnings- eller en indblæsningsventilator. Generelt er energiforbruget for disse typer ca. 50 % af energiforbruget ved ligetryksanlæg.

² <http://vsp.lf.dk/Viden/Stalde/Arbejdsmiljo/Stoev.aspx>



Figur 1 – Eksempel på et undertryksanlæg med diffus indblæsning.

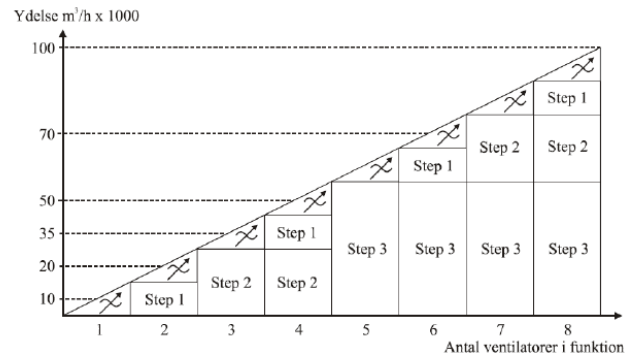
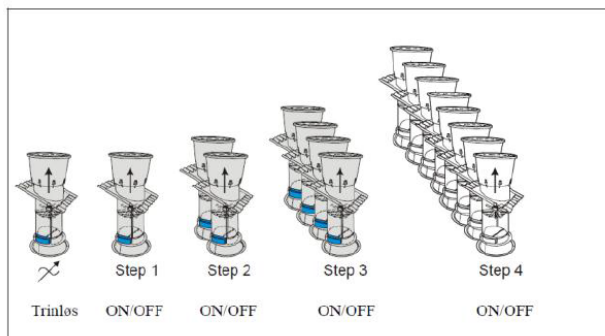
Ligetryksanlæg indeholder både en udsugningsventilator og en indblæsningsventilator. Ved denne anlægstype er det dog muligt at benytte varmegenvinding for at reducere varmeforbruget.

3.1.2 Styring og regulering

Ligesom der benyttes forskellige typer ventilationsprincipper, findes der også forskellige styringsstrategier for ventilatorernes drift. Det overordnede formål med en styringsstrategi for en eller flere ventilatorer i samspil er, at kunne opretholde et stabilt indeklima i stalden. De hyppigst anvendte reguleringsprincipper kan opdeles som følger:

Ved **on/off regulering** kobles ventilatorerne til i takt med, at temperaturen i stalden stiger. Det vil sige, at ventilatorerne styres af en termostat, som blot sender et signal til ventilatoren om at tænde eller slukke. Hastigheden på ventilatorerne reguleres ikke ved dette princip. Af samme årsag bruger dette princip unødvendigt meget energi.

Ved **trinvis indkobling** (også kendt som multistep eller kaskade regulering) er én af ventilatorerne installeret med en trinløs regulering, så hastigheden kan reguleres fra minimum til maksimum. Denne ventilator vil som udgangspunkt altid starte først. Ved stigende ventilationsbehov kobles endnu en ventilator til (som kører med maksimum hastighed), hvorefter ventilatoren med den trinløse regulering stopper. Princippet bruger sammenlignet med en on/off regulering meget mindre energi. Et eksempel på trinvis indkobling er illustreret i Figur 2.



Figur 2 – Trinvis indkoblingsprincippet.³

Opsummering

Eftersom combi diffus-princippet kombineret med skorstene i tag (det samme som et undertryksanlæg) typisk foretrækkes i Danmark, samtidigt med at demonstrationsstalden i Skanderborg benytter selv samme princip, vælges det at fokusere på måling af flow ved denne type ventilationsprincip.

På grund af kompleksiteten af indtagningen af friskluft med hensyn til udefinerbare luftindtagstværsnit, er det ikke muligt at måle luftmængden i indblæsningen. Ved undertryksanlæg kan det dog antages, at luftmængden som tilføres stalden er den samme luftmængde som udsuges. I forbindelse med afgrænsning af måleområdet fokuseres der udelukkende på måling af luftmængde i skorstene i det videre forløb.

Det er derfor ikke gennemført yderligere undersøgelser af mulighederne for måling af luftmængder fra for eksempel gulvudsugning.

³ Figuren er taget fra Skovs produktmateriale.

4 Oversigt over tilgængelige sensorer

I forbindelse med teknologivalg er fokus sat på pålidelighed, lave omkostninger ved anskaffelse og drift, robusthed og driftsstabilitet samt størst mulig anvendelsesfleksibilitet.

Sensorer i landbrugssektoren

I landbrugssektoren benyttes generelt ganske få måleprincipper til måling eller regulering af luftmængder. Dette forhold vurderes primært at skyldes pris og robusthed for måleudstyret.

- 4.1 I nedenstående tabel er primære leverandører til landbrugssektoren oplistet samt de måleprincipper disse anvender.

Virksomhed (produkt)	Måleprincip
Skov (Dynamic Air)	Trykdifferens måling over spjæld
Big Dutchman (Dynamic Air)	Trykdifferens måling over spjæld
Opticon Agri systems	Trykdifferens måling eller målevinge
VengSystem (Hi-Lo)	Regulering efter CO ₂ og omdrejninger af målevinge
Bauer	Regulering efter luftkvalitet, temperatur og CO ₂
MHJ Agroteknik	Regulering efter CO ₂
Skjold	Regulering efter temperatur og fugtighed
NorboVent	Regulering efter temperatur og fugtighed
Munters (AgHort/Climate for pigs)	

Tabel 2 – Leverandører til landbrugssektoren.

Ved en række af de viste måleprincipper måles ikke luftmængder, derimod reguleres luftmængden ud fra luftkvaliteten i stalden. I nærværende projekt er en del af formålet at identificere kommercielt tilgængelige sensorer og principper til måling af luftmængder.

4.1.1

Trykdifferens måling

Ved trykdifferens måling måles trykket over en kendt modstand i afkastskorstenen. I dette tilfælde er modstanden et resultat af et spjæld. Ved trykdifferensmåling måles det atmosfæriske tryk (i dette tilfælde i stalden) og trykket efter spjældet. Herved opnås en trykdifferens mellem før og efter spjæld, som via et beregningsudtryk kan opregnes til en luftmængde.

- 4.1.2 Principielt kan luftmængden bestemmes alene ud fra trykdifferensmålingen uden spjældet. Spjældet fungerer dog som forstærker for trykket således, at det er muligt at måle luftmængden i de lavere måleområder. Spjældet har dog andre fordele, som at aflukke en skorsten, når denne ikke er i brug. Herved undgås unødvendig varmespild og kortslutning af friskluft og afkastluft.

Målevinge

En målevinge minder meget om en almindelig ventilator. Forskellen er, at hastigheden på målevingen ikke styres, men blot måles. Ved en målevinge måles et ukendt antal pulser pr. omdrejning for målevingen over et kendt tidsinterval, som kan omregnes til en luftmængde. Målevingen placeres i forbindelse med en reguleret ventilator i skorstenen.

Sensorer i komfortsektoren

I komfortsektoren og ventilationsbranchen findes til forskel fra landbrugssektoren mange forskellige produkter, som dog i langt de fleste tilfælde benytter de samme måleprincipper. Grunden til at der forefindes så mange forskellige produkter skyldes primært, at kravet til robusthed for sensorerne er meget lempelige i forhold til landbrugssektoren.

4.2 I nedenstående tabel er primære produkter anvendt i ventilationsbranchen oplistet i sammenhæng med det anvendte måleprincip.

Produkt	Måleprincip
Målekryds	Trykdifferens
Målemodstand	Trykdifferens
Målebøjning	Trykdifferens
Venturi	Trykdifferens
Korsrøret FRU	Trykdifferens
Pitotrør	Trykdifferens
Varmetråds anemometer	Lufthastighed
Varmetråd Alm. (serie LN/LG)	Lufthastighed
Varmetråd i 2 punkter	Lufthastighed
Varmetråd i 2 punkter i tværrør	Lufthastighed
Kop anemometer	Omdrejninger
Gasanalytator	Gaskoncentration

Tabel 3 – Produkter anvendt i ventilationsbranchen.

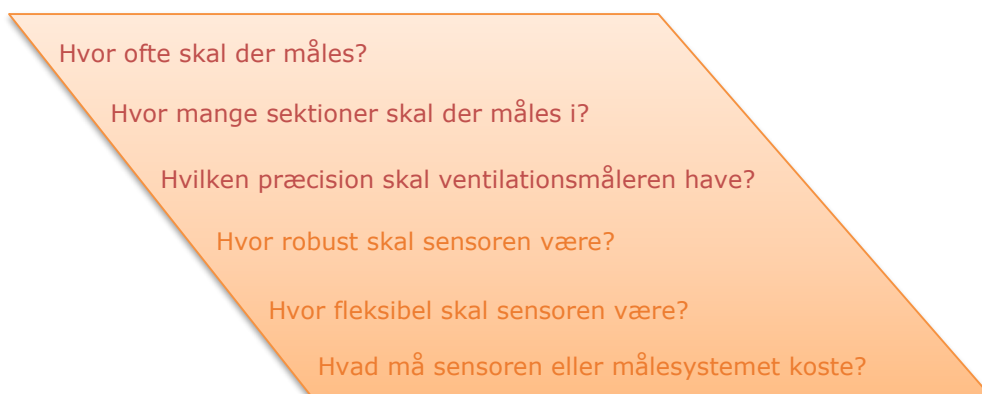
Fælles for måleprincipperne er, at alle målingerne kan omsættes til en luftmængde via beregningsudtryk. Alle sensortyper kan i teorien anvendes til måling af luftmængder i svine-stalde. Dog er flere af typerne ikke afprøvet i de aggressive miljøer der findes her.

I valget af sensorerne gennemgås de enkelte produkter med hensyn til en række fastsatte udvælgelseskriterier.

4.3

Kravspecifikation

I forbindelse med teknologivalg er der opsat en række kriterier, som sensorerne skal undersøges i forhold til. Disse kriterier er fastsat af projektdeltagerne i fællesskab i arbejdsplan 1.1 og 1.2. Kriterierne er vist i nedenstående figur.



Figur 3 – Kriterier for valg af sensorer.

Kriterierne som blandt andet ligger til grund for det videre valg af sensorer, er ikke yderligere specificeret. Dette forhold skyldes, at Agrotek har udarbejdet et samlet beslutningsværktøj (datasimulerings- og modelleringsprogram), hvor hensigten er at undersøge en række forskellige måleprincipper i kombination med hinanden, hvor ovenstående kriterier varierer. F.eks. vælger GTS institutterne en række sensorer og måleprincipper, hvor for eksempel præcision og pris varierer.

Ved måling af luftmængder er der intet til hinder for at måle kontinuerligt. Den eneste begrænsning der kan forekomme er serverkapaciteten til håndtering af data. En kontinuerlig måling vil automatisk øge præcisionen af målingen.

På baggrund af Agrotek's datasimuleringsprogram er det fastlagt, at der skal måles i 8 sektioner i svinestalden. Som udgangspunkt forsøges det at måle i alle afkastskorstene. Dette vil ligeledes øge præcisionen af målingen.

Kravet til præcision af sensorerne angives ikke. Dog bør måleusikkerheden ikke overstige 10 %. Præcision, robusthed, fleksibilitet og pris bestemmes derfor for de enkelte sensorer.

5 Valg af sensorer

Ud fra de givne specifikationer, beskrevet i ovenstående afsnit, er det besluttet, at medtage sensorerne oplistet i nedenstående tabel til yderligere analyse. Fælles for sensorerne/principperne er, at luftmængden kan beregnes ud fra signalet, hvilket er nødvendigt i dette projekt.

Sensorerne vurderes i forhold til:

- robusthed i forhold til miljøets aggressivitet og støvbelastning
- muligheder for integration i nye såvel som eksisterende systemer
- måleusikkerhed i laminar såvel som roterende luftstrømning.

Vurdering: 1-5, hvor 5 er bedst	Robusthed - aggressivt miljø	Robusthed - støv	Integration i nye systemer	Integration i eksisterende systemer	Måleusikkerhed [%]	Måleusikkerhed [%] - ved roterende luft	Vejledende udsalgspris (pris for tilsvarende måleinstrument er ikke inkluderet)	Samlet score (maks point = 35)
Målekryds	5	4	3-4	3-4	3-5	5-10	-	22
Målemodstand	5	4	4	2	5-10	5-10	-	21
Målebøjning	5	5	2	2	5-10	5-10	1022-3140	24
Conical / bellmouth (venturi)	4	5	4	2	2	2	10000	25
Korsrøret FRU	5	3	3-4	3-4	5	4-8	10000	22
Varmetråd anemometer alm.	1	1	3-4	3-4	2	5-10	1500	21
Varmetråd alm. (Serie LN/LG)	5	1	3-4	3-4	2	5-10	2000	24
Varmetråd i 2 punkter	1	1	3-4	3-4	2	3-7	4000	20
Varmetråd i 2 punkter med tværrør	1	1	3-4	3-4	2	2-5	4500	20
Pitotrør	2	2	4-5	4-5	2	4-8	1200	25
Kop anemometer	5	3	3	3	4	+10	-	19
Trykdifferens (Skov)	5	5	5	4	4-5	4-5	800	32
Målevinge (VengSystem)	5	5	5	3	2	-	1335	29
Klapsystem	5	4	4-5	3	4	5	2000	28
Ultralyd	4	4	4-5	4-5	2	5-10	1485	29

Tabel 4 – Kommercielt tilgængelige sensorer i landbrugs- og ventilationssektoren. Sensorerne er forsøgt rangeret i forhold til brugbarhed ved hjælp af en skala gående fra 1-5, hvor 5 er bedst. Denne skala gør sig dog ikke gældende for de tre sidste kategorier omhandlende måleusikkerhed og pris. Derfor er der også benyttet et farvesystem ligeledes til at illustrere, hvor god den pågældende sensor er, hvor blå svarer til 5, grøn til 4, orange til 3 og rød 2 og 1.

Værdierne angivet i Tabel 4 skal ses som vejledende værdier, eftersom det ikke har været muligt at indhente oplysninger om alle sensorerne. Dette gælder især den vejledende pris, som kan variere afhængig af antallet af sensorer der indkøbes. Der er desuden ikke taget højde for, at måleusikkerheden over tid muligvis øges på grund af slitage mm. Værdierne kan derfor differentiere sig fra virkeligheden. Tabellen giver dog alligevel en god identifikation af, hvilke sensorer der egner sig bedst.

Sensorerne er forsøgt rangeret ved hjælp af en pointskala. Som det ses scorer Skovs trykdifferensmåling flest point sammen med VengSystems målevinge. Herefter kommer klapsystemet og ultralyd. På baggrund af tabellen vælges det at udtage de fire nævnte sensorer til videre afprøvning og dokumentation.

Sensorerne indeholdt i Tabel 4 er alle beskrevet tidligere på nær klapsystemet og ultralyd, som Teknologisk Institut har udviklet. Rangeringen af disse er derfor foretaget udelukkende ud fra en faglig vurdering. Sensorerne beskrives i et senere afsnit.

6 Laboratorie prøvestand

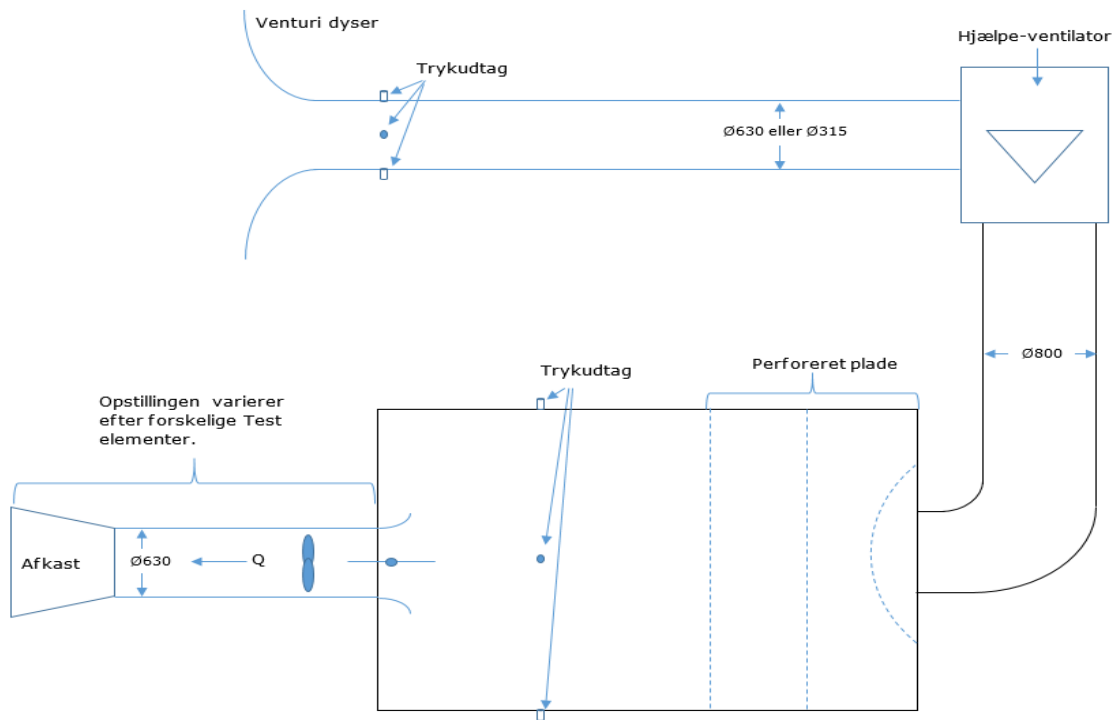
I forbindelse med projektet er der opbygget en prøvestand i Teknologisk Instituts laboratorie med henblik på kunne måle på forskellige sensortyper. Prøvestanden er opbygget i henhold til ISO 5801, hvilket betyder, at målingerne udføres på lige niveau med akkrediterede målinger.

Opbygningen, som består af en elliptisk dyse (venturi), hjælpeventilator, testkammer samt diverse måleudstyr, kan ses på billede 1. Komponenternes funktion er senere beskrevet.



Billede 1 – Prøvestand til test af sensorer.

Nedenfor er vist en principskitse af prøvestanden.



Figur 4 – Principskitse af prøvestanden.

Den elliptiske dyse udskiftes afhængig af luftmængdeintervallet der måles i. I udgangen af testkammeret er monteret en afkastkanal, spjæld og indløbsring fra Skov. Dette system bruges i flest stalde. Skovs produkter benyttes igennem hele projektføreløbet for ikke at skulle ombygge prøvestanden unødvendigt mange gange. Dette er dog på ingen måde en hindring for at overføre resultater eller sensorer til andre systemer.

6.1

Testkammer

Til projektet er der som sagt opbygget en prøvestand, herunder et testkammer. Testkammeret, som i daglig tale også kaldes et trykudligningskammer, er opbygget i henhold til ISO 5801, hvor der stilles krav til minimumsdimensioner samt luftstrømningsfordelingen. Testkammeret er opbygget med en sådan størrelse, at det kan simulere atmosfæriske omgivelser. Således sikres det, at sensorerne testes så virkelighedsnært som muligt.

Testkammeret som kan ses på billede 2 har følgende indvendige dimensioner; h: 2,4 m, b: 2,4 m, l: 3,4 m og er bygget til at kunne håndtere luftmængder op til 16.000 m³/h. For at sikre, at luftfordelingen i kammeret er laminar ligesom i en stald, er der indsat tre perforerede plader med en given afstand imellem sig i henhold til ISO 5801. Lufthastighederne i tværsnittet er herefter blevet målt for at afgøre, hvorvidt luftstrømningen er laminar eller ej, hvilket det er konstateret at den er.



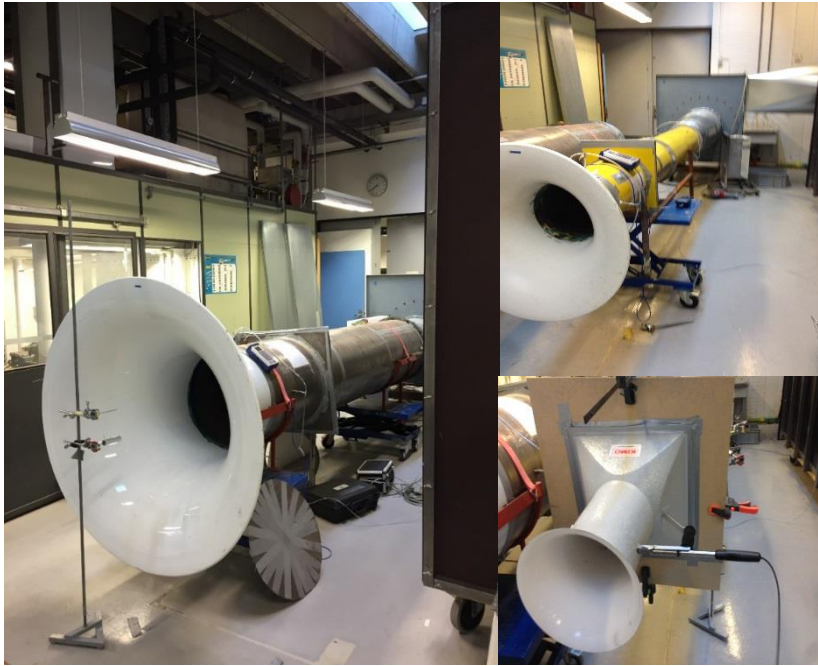
Billede 2 – Testkammer med måleudstyr indsat.

Som vist i principskitsen tilkobles en hjælpeventilator til testkammeret. Hjælpeventilatoren har til formål at sikre et nultryk i testkammeret efter de tre perforerede plader, det vil sige lige inden testemnet. Dette skal ligeledes sikre at sensorerne testes under vilkår som er sammenlignelige med en stald.

I testkammeret måles temperaturen og trykket foran testemnet.

6.2 Elliptisk dyse (venturi)

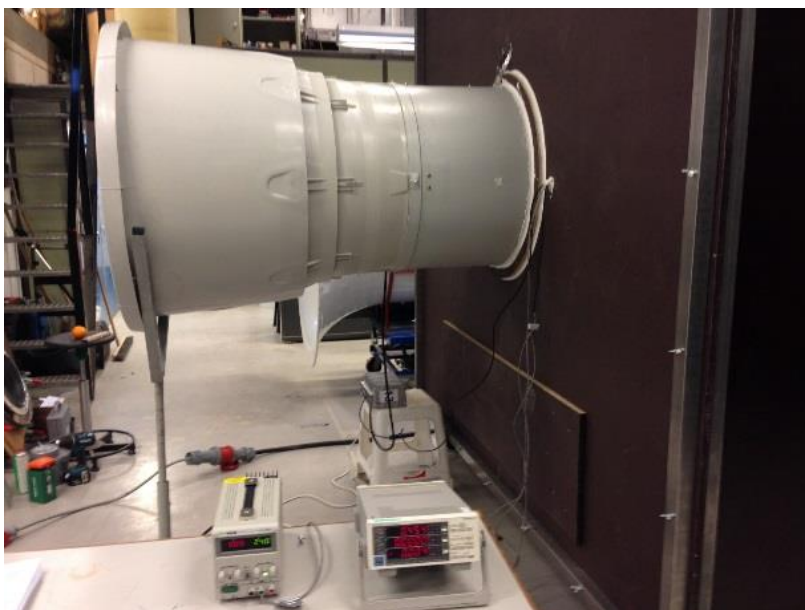
Dysen, som også benævnes venturi, bruges til måling af luftmængder. Luftmængden bestemmes ved at måle trykket i dysen, det atmosfæriske tryk samt temperaturen i indløbet af dysen. Herved kan luftmængden beregnes ud fra en teoretisk afprøvet funktion for ellipsen. Nøjagtigheden for udstyret er $\pm 1\%$. Da dysen har et begrænset arbejdsområde ligesom alt andet måleudstyr, udskiftes dysen afhængig af hvilken luftmængde der ønskes. Der varieres mellem en $\varnothing 630$ og $\varnothing 315$ dyse samt en måletragt, som fungerer efter samme princip som dyserne.



Billede 3 - Forskellige dyser anvendt til måling af diverse sensorer.

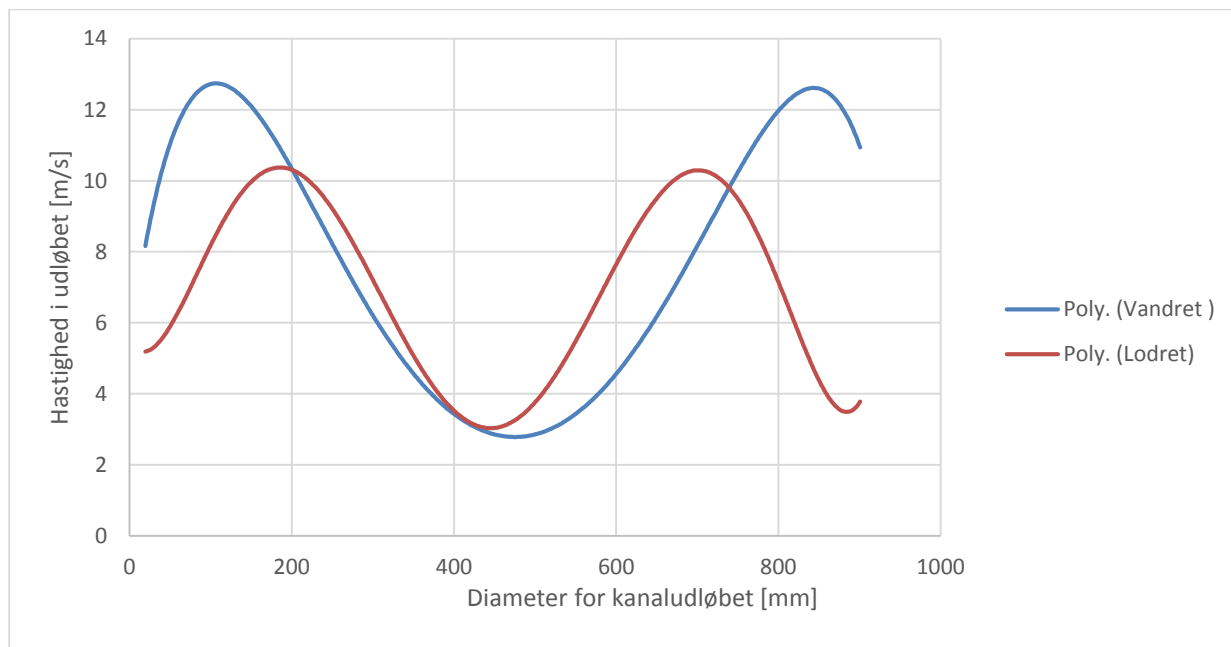
Måling af hastighedsprofil

- 6.3 Inden igangsætning af forsøgene skal hastighedsprofilen i afkastet kendes. Som beskrevet tidligere anvendes Skovs kanalsystem, spjæld og ventilator, som vist i nedenstående billede.



Billede 4 - Et eksempel på en testopstilling.

Hastighedsprofilen undersøges ved to spjældindstillinger; vandret/åbnet og lodret/lukket. Målingerne er vist i Figur 5. Det fremgår tydeligt af målingerne, at hastighedsfordelingen i udløbet er meget ujævn, hvilket skyldes, at luften roterer. Hastighederne er størst ved siderne af kanalen.



Figur 5 – Hastighedsprofil i udløbet af ventilationskanalen.

Generelt besværliggøres målingerne af roterende luftstrømninger. En del af det gængse måleudstyr som anvendes i ventilationsbranchen til måling af luftmængder, kan for eksempel ikke anvendes i en sådan luftstrøm, medmindre der måles i rigtig mange punkter, hvilket forlænger måleperioden.

Det er derfor fordelagtigt at anvende en sensor, som uafhængig af hastighedsfordelingen, kan måle luftmængden nøjagtigt. Ved indsættelse af en linearister (luftstrømningsudretter) kan hastighedsfordelingen udjævnes. Herved øges mulighederne for anvendelse af flere måleinstrumenter. Dette ses dog ikke som en realistisk alternativ, eftersom linearisteren skaber et forholdsvist stor tryktab i systemet. Dette vil medføre en væsentlig meromkostning til drift af ventilatorerne.

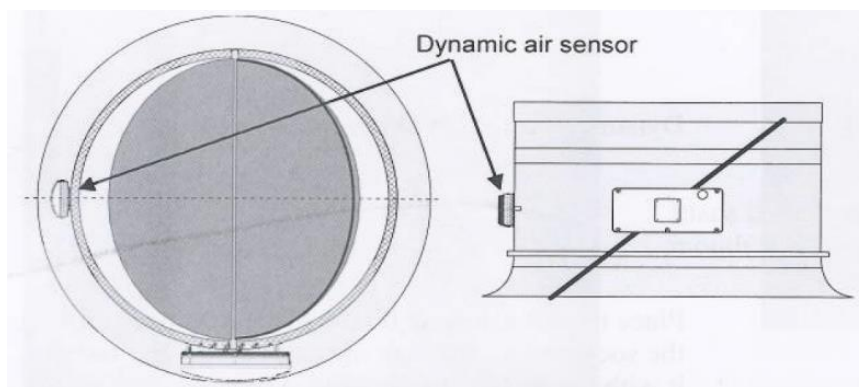
7 Udvikling og måling af eksisterende måleudstyr i laboratoriet

Jf. arbejdsplan 2.2 skal markedsførte såvel som nye måleudstyr først afprøves og dokumenteres i laboratoriet, for derefter at blive udpeget til at blive opsat i Månegris-stalden. I afsnit 4 "Valg af sensorer" blev fire sensorer valgt til videre afprøvning. Disse er Skovs trykdifferensmåling og VengSystems målevinge, som begge er tilgængelige udbredte systemer inden for landbruget. Desuden afprøves de to nyudviklede måleprincipper; klapsystemet og ultralyd.

Årsagen til at to eksisterende og meget kendte systemer fra henholdsvis Skov og VengSystem som i årevis har været opsat i stalde afprøves skyldes, at Teknologisk Institut har været nødsaget til at kontrollere måleusikkerhederne for systemerne, for at afgøre om måleusikkerheden øges ved ændring af afkastet. Dette forhold vil have betydning for fleksibiliteten af systemerne, eftersom disse skal kunne monteres i såvel eksisterende som nye stalde. Desuden er muligheden for at optimere systemerne ligeledes undersøgt.

Skov Dynamic Air flowmåling

- 7.1 Dynamic Air er et koncept, som kombinerer måling af tryk, position af spjæld og omdrejninger fra ventilator, hvorefter luftmængden kan beregnes. Systemet kræver som sagt et trykudtag, et spjæld, en RLU indløbstragt og en ventilator for at måle luftmængden. Opbygningen af systemet er vist i Figur 6.



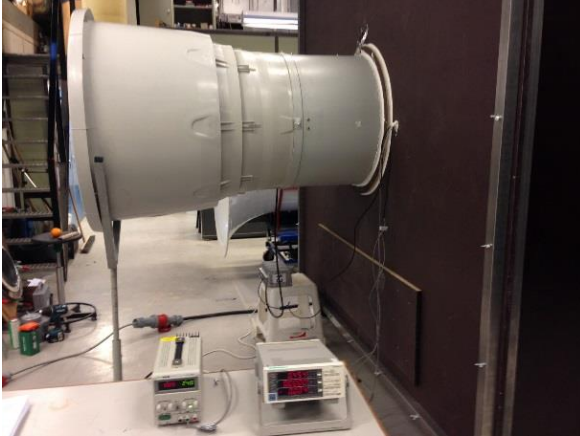
Figur 6 – Dynamic Air flowmåler.

- 7.1.1 Skovs Dynamic Air undersøges ved to opbygninger; én med tre kanalsektioner og én med fem kanalsektioner for at afgøre om systemets måleusikkerhed ændrer sig afhængig af længden af afkastet/skorstenen.

Måling med én kanalsektion

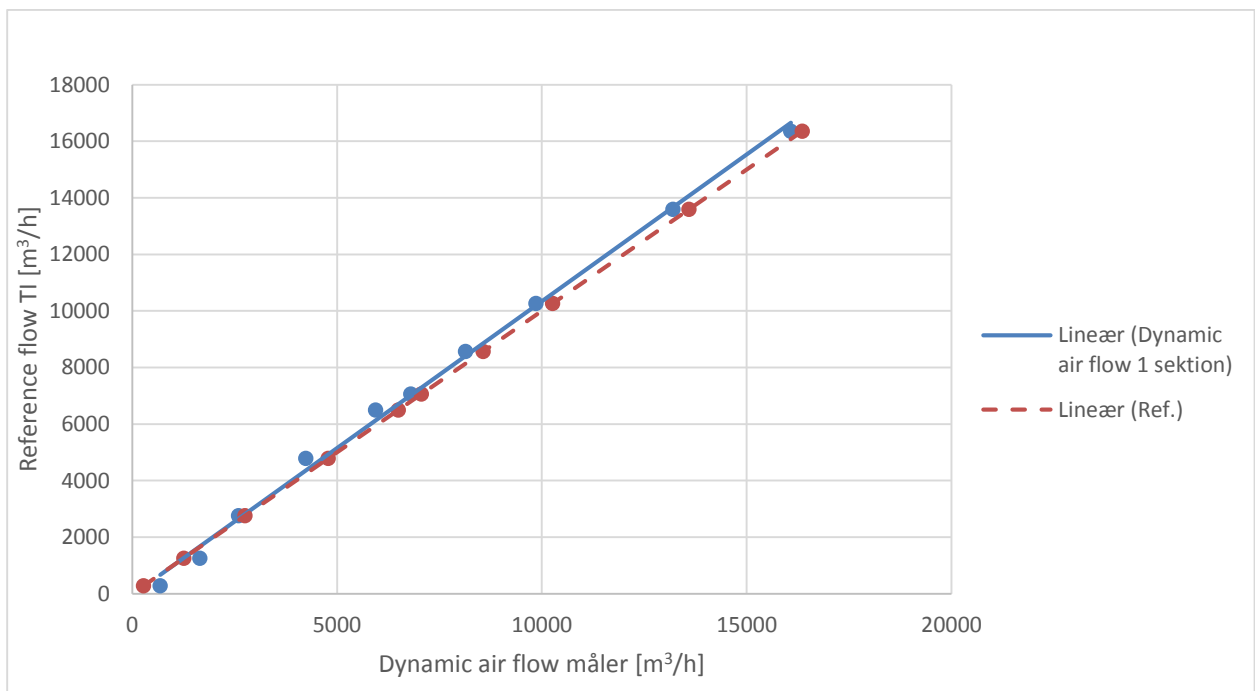
Der er foretaget målinger med en Ø650 kanalstørrelse fra Skov med én kanalsektion i tillæg til ventilatorsektionen, indløbstragt og afkasthætte som alle er en del af basisproduktet. Der er foretaget en fuldopmåling af Skovs Dynamic Air Flowmåleren, hvorved produktet også testes uden for dets oprindelige driftspunkter, med henblik på at undersøge muligheden for at udvide måleområdet og hermed øge fleksibiliteten af produktet.

En sektion af måleopstillingen er vist på nedenstående billede. Systemet testes liggende på grund af pladsforhold. Dette har dog ingen betydning for systemets performance.



Billede 5 – Måleopstilling med Skovs skorsten med én kanalsektion i tillæg.

Måleresultaterne er afbildet i nedenstående diagram.



Figur 7 – Måleresultater for måling af Dynamic Air med én sektion i tillæg.

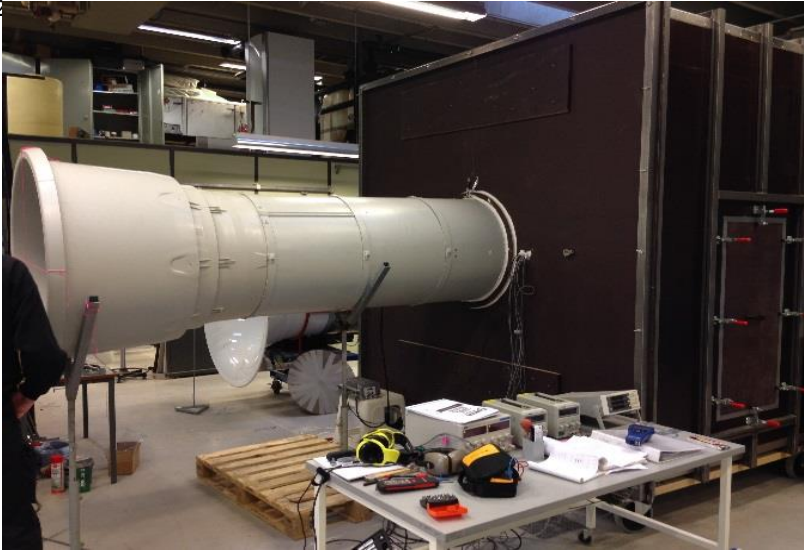
Måleresultaterne viser, at der generelt er god overensstemmelse mellem referencen og Dynamic Air. Der er i gennemsnit en afvigelse mellem referencen og Dynamic Air på 5% ved luftmængder mellem 2.600 m³/h og 17.000 m³/h, hvilket befinder sig inden for arbejdsområdet for Dynamic Air.

Ved lavere luftmængder end 2.600 m³/h øges måleusikkerheden.

Måling med tre kanalsektioner

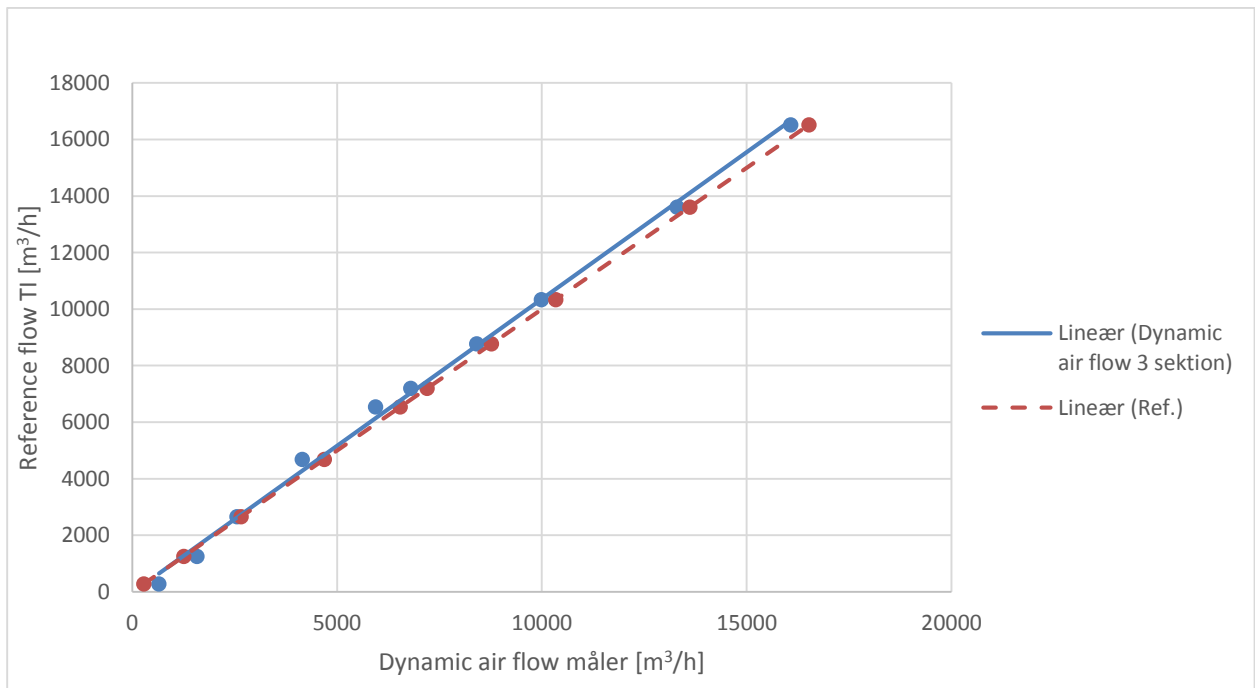
Der er foretaget målinger med en Ø650 kanalstørrelse fra Skov med tre kanalsektioner i tillæg til ventilatorsektionen, indløbstragt og afkasthætte som alle er en del af basisproduktpakken. Der er ligeledes i denne måling gennemført en fuldopmåling af Dynamic Air Flowmåleren. En del af måleopstillingen er vist på nedenstående billede.

7.1.2



Billede 6 – Måleopstilling med Skovs skorsten med tre kanalsektioner i tillæg.

Målerresultaterne er afbildet i nedenstående diagram.



Figur 8 – Målerresultater for måling af Dynamic Air med tre sektioner i tillæg.

Måleresultaterne viser, at der generelt er god overensstemmelse mellem referencen og Dynamic Air. Der er i gennemsnit en afvigelse mellem referencen og Dynamic Air på 5 % ved luftmængder mellem 2.600 m³/h og 17.000 m³/h, hvilket befinder sig inden for arbejdsområdet for Dynamic Air. Det vil sige, at målingerne viser den samme tendens som de forrige målinger, hvor der anvendtes én kanalsektion.

Ved lavere luftmængder end 2.600 m³/h øges måleusikkerheden. Måledata kan ses i bilag 11.1.

VengSystem målevinge

Målevingen fra VengSystem beregner luftmængden ved hjælp af vingens antal pulser pr. omdrejning og frekvens. Data fra vingen afgives til en datakonverter, som er forbundet til en 7,2 computer, hvorved data kan videreeksporteres og behandles.

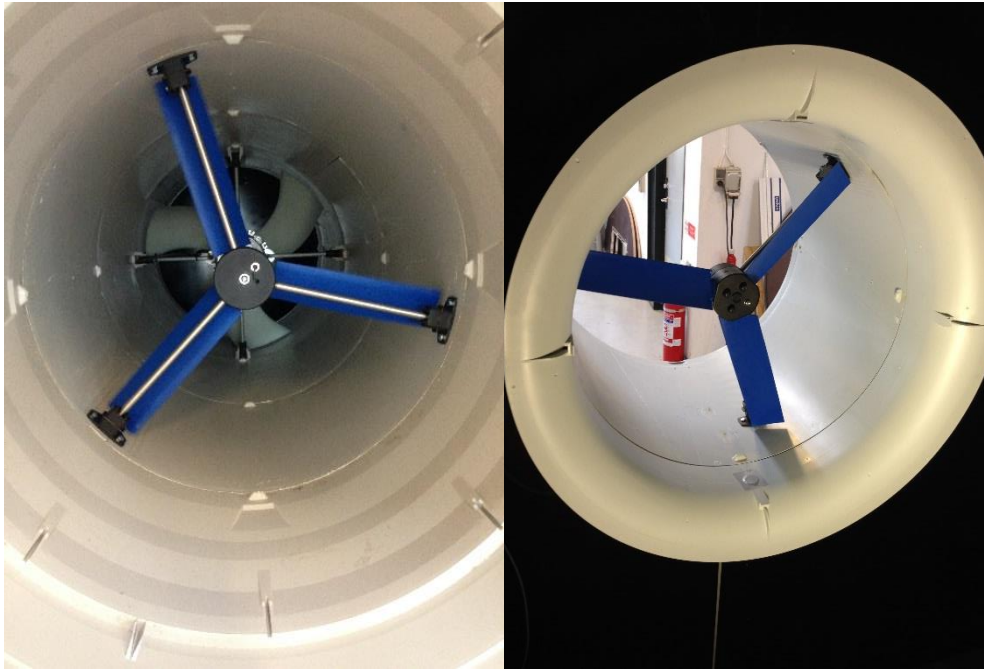
Systemet kan ses på nedenstående billede.



Billede 7 – Målevinge med dertilhørende data konverter fra VengSystem.

Målevingen er af producenten opgivet til at skulle sidde på sugesiden af ventilatoren, for at øge målenøjagtigheden. I de aktuelle forsøg placeres målevingen dog også på tryksiden af ventilatoren, for at undersøge muligheden for eventuelt at optimere produktet og dermed øge fleksibiliteten.

Måleopstillingen er den samme som vist i forrige afsnit, hvor Skovs kanalsystem, spjæld og ventilator benyttes. Målevingen fra VengSystem indsættes i denne måleopstilling. Måleopstillingerne er vist nedenfor, hvor det fremgår, at vingen er placeret på hhv. suge- og tryksiden af ventilatoren.

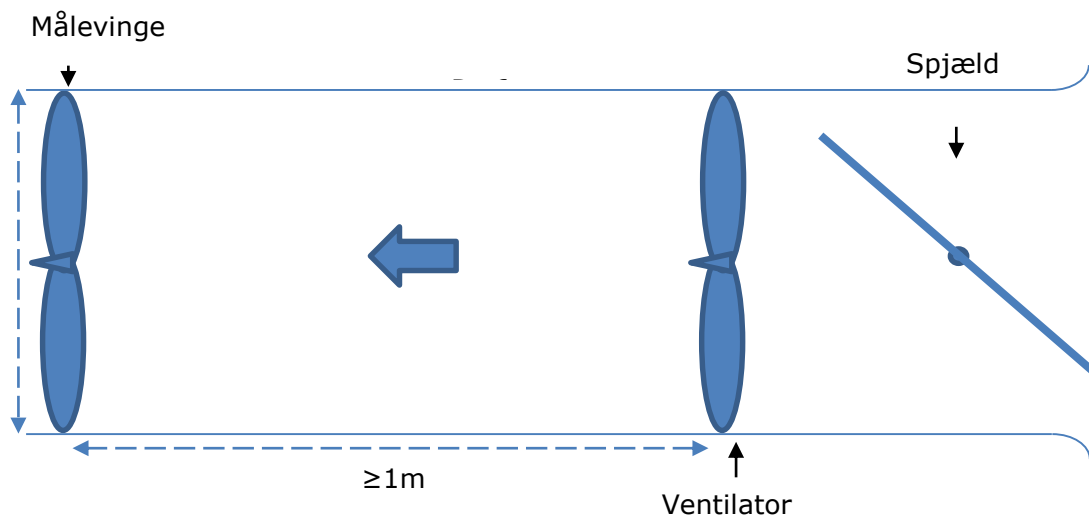


Billede 8 – Målevinge placeret på hhv. tryk- og sugesiden af ventilatoren.

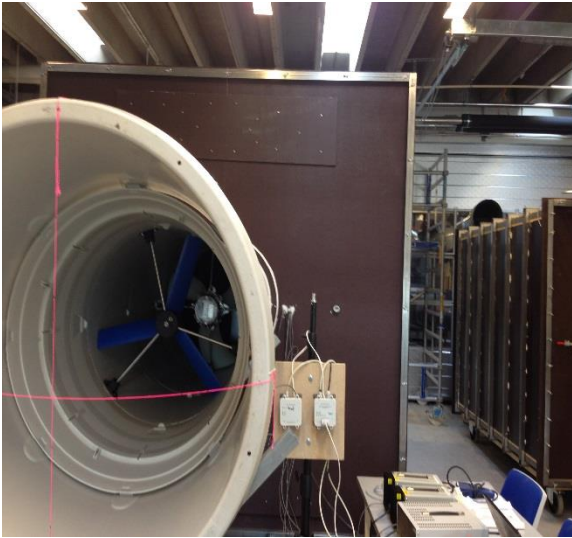
7.2.1 Målevinge placeret på tryksiden af ventilator

Målevingen er i målingerne placeret omkring 1,5 meter fra ventilatoren på tryksiden. Derudover er et spjæld placeret på sugesiden.

Måleopstillingen er vist på nedenstående figurer.



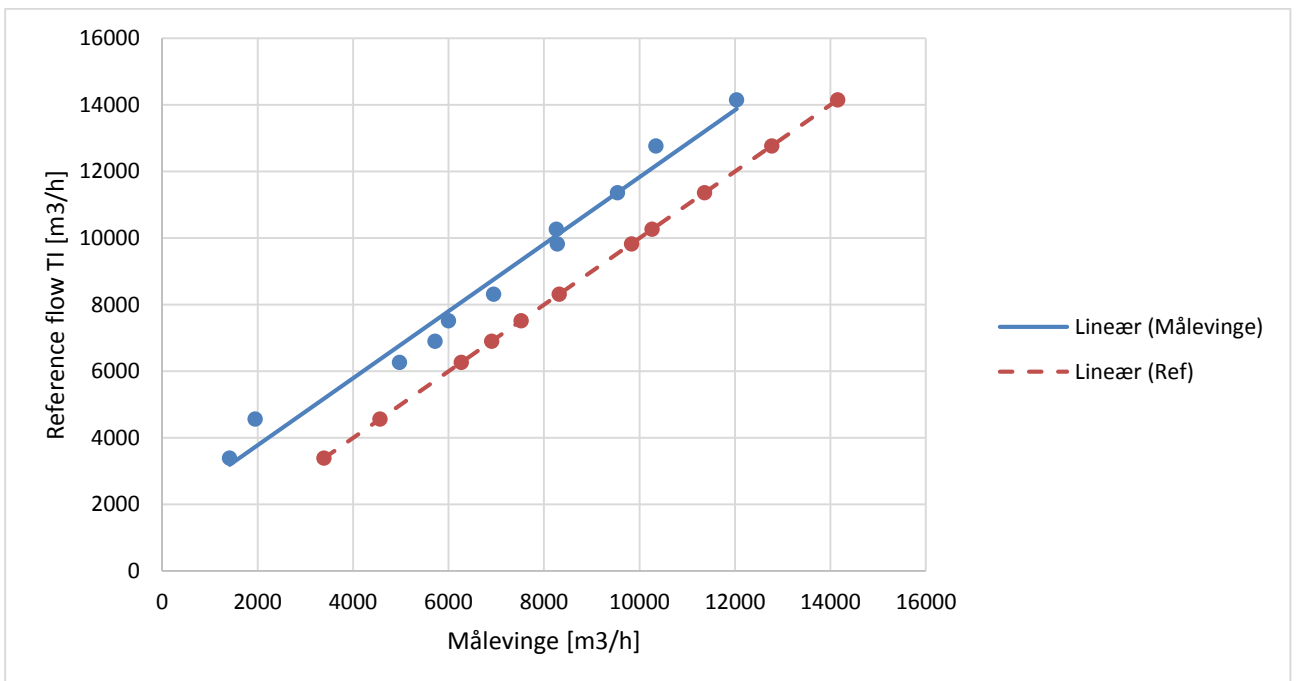
Figur 9 – Måleopstilling med målevinge placeret på tryksiden af ventilatoren.



Billede 9 – Måleopstilling med målevinge placeret på tryksiden af ventilatoren.

Målingerne, som er vist i Figur 10 viser, at der generelt forekommer en stor afvigelse mellem referencemålingen og målevingen.

Størrelsen på afvigelsen er dog tilnærmelsesvis jævn i størstedelen af arbejdsområdet. Det indikerer, at med en indlagt forskydning i målingerne, vil det være muligt at øge målenøjagtigheden. Målingerne viser, at ved luftmængder under 5000 m³/h er afvigelsen tæt på 50 %. Ved højere luftmængder er afvigelsen mellem 15-20%. Måledata kan ses i bilag 11.2.



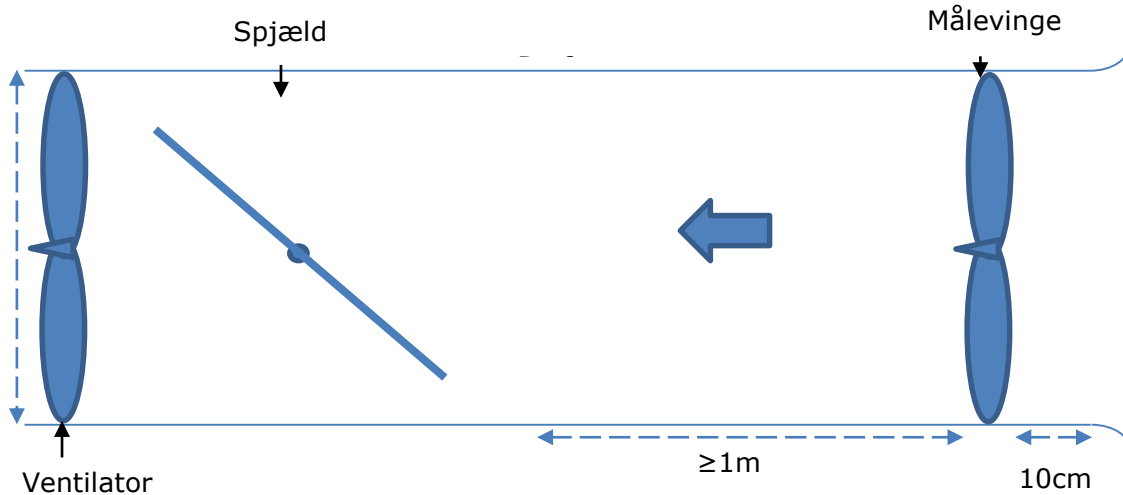
Figur 10 – Måleresultater for måling af målevinge på tryksiden af ventilatoren.

Målevinge placeret på sugeside af ventilator

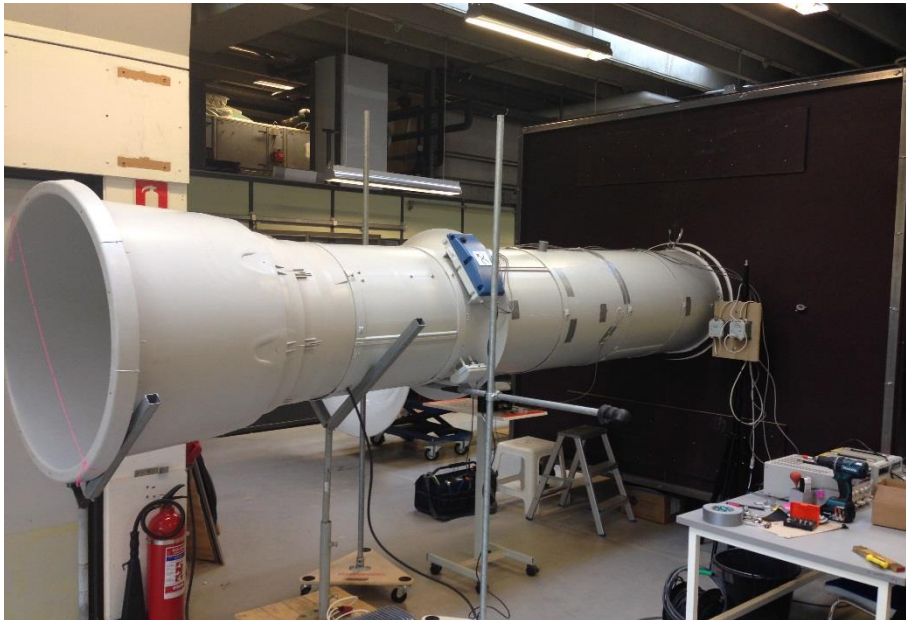
Målevingen er oprindeligt designet til at sidde på sugesiden af ventilatoren. Målevingen er i målingerne placeret omkring 1,5 meter spjældet og ventilatoren og ca. 10 cm fra indløbs-tragten.

Måleopstillingen er vist på nedenstående figurer.

7.2.2

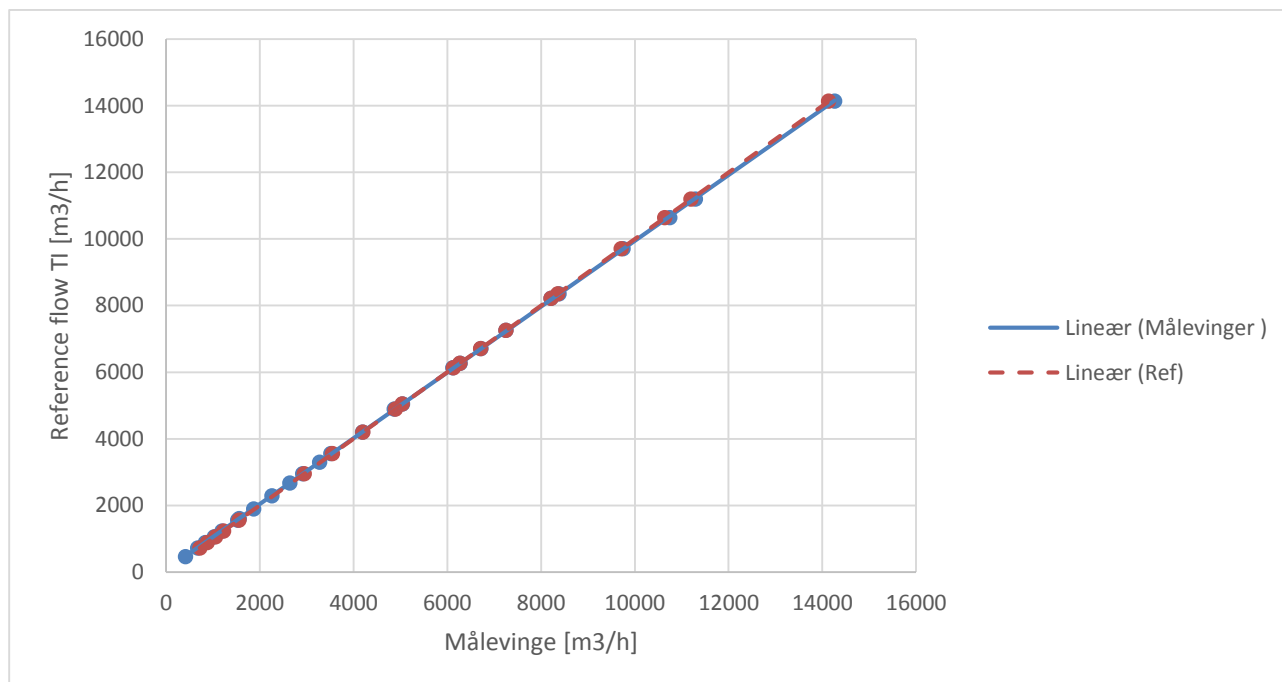


Figur 11 – Måleopstilling med målevinge placeret på sugesiden af ventilatoren.



Billede 10 – Måleopstilling med målevinge placeret på sugesiden af ventilatoren.

Målingerne som er vist i Figur 12 viser, at der er en god overensstemmelse mellem referencemålingen og målevingen. Målingerne viser, at ved lavere luftmængde har afvigelsen samme tendens som ved forrige måling, dog med en afvigelse på ca. 7 %. Afvigelsen mellem målingerne ved luftmængder over 1.500 m³/h er under 2 %. Måledata kan ses i bilag 11.2.



Figur 12 – Måleresultater for måling af målevinge på sugesiden af ventilatoren.

7.3 Klapsystem (vinkel flowmåler)

Vinkelflowmåleren er en ny flowmåler udviklet af Teknologisk Institut. I forbindelse med udvikling af den nye målemetode, er der blevet opbygget flere forskellige konstruktioner før den endelige konstruktion er blevet valgt. Flowmåleren er dog på ingen måder færdigudviklet, men er derimod en prototype i et tidligt stadige.

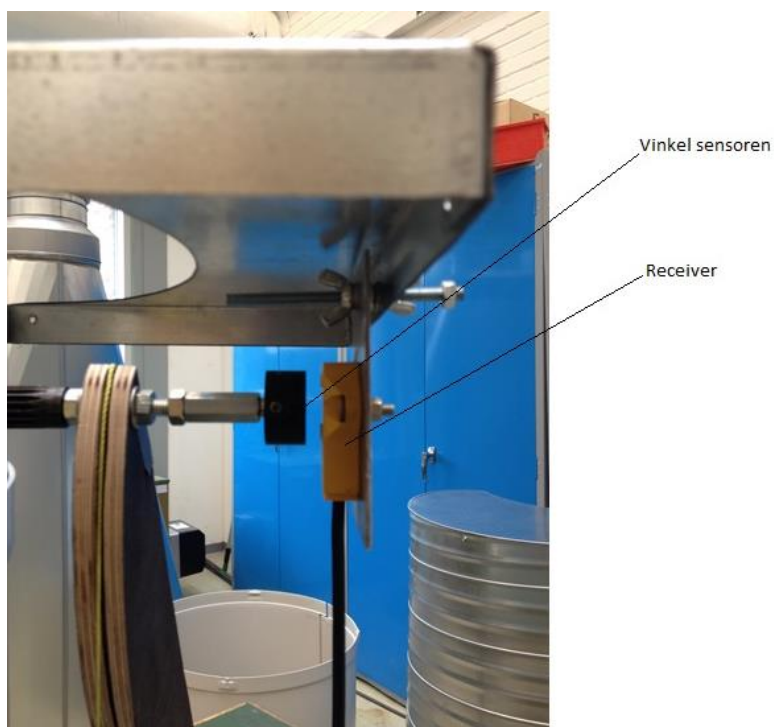
Flowmåleren adskiller sig meget fra systemer som er baseret på enkeltmodstandsprincippet, hvor $1/5$ luftstrøm giver $1/25$ trykdifferens. Et sådant system kræver et meget dyrt mikro-manometer til måling af trykket, og selv med et sådant instrument, vil der kunne forekomme problemer med at måle i hele måleområdet, givet ved ventilatorens arbejdsområde.

Den udviklede vinkelflowmåler er opbygget således, at via en kontravægt lineariseres/forbedres sammenhængen mellem luftmængde og vinkeldrejning. Det muliggør brugen af billigt måleudstyr, samtidigt med at måleområdet udvides, hvilket anses som en væsentlig fordel.

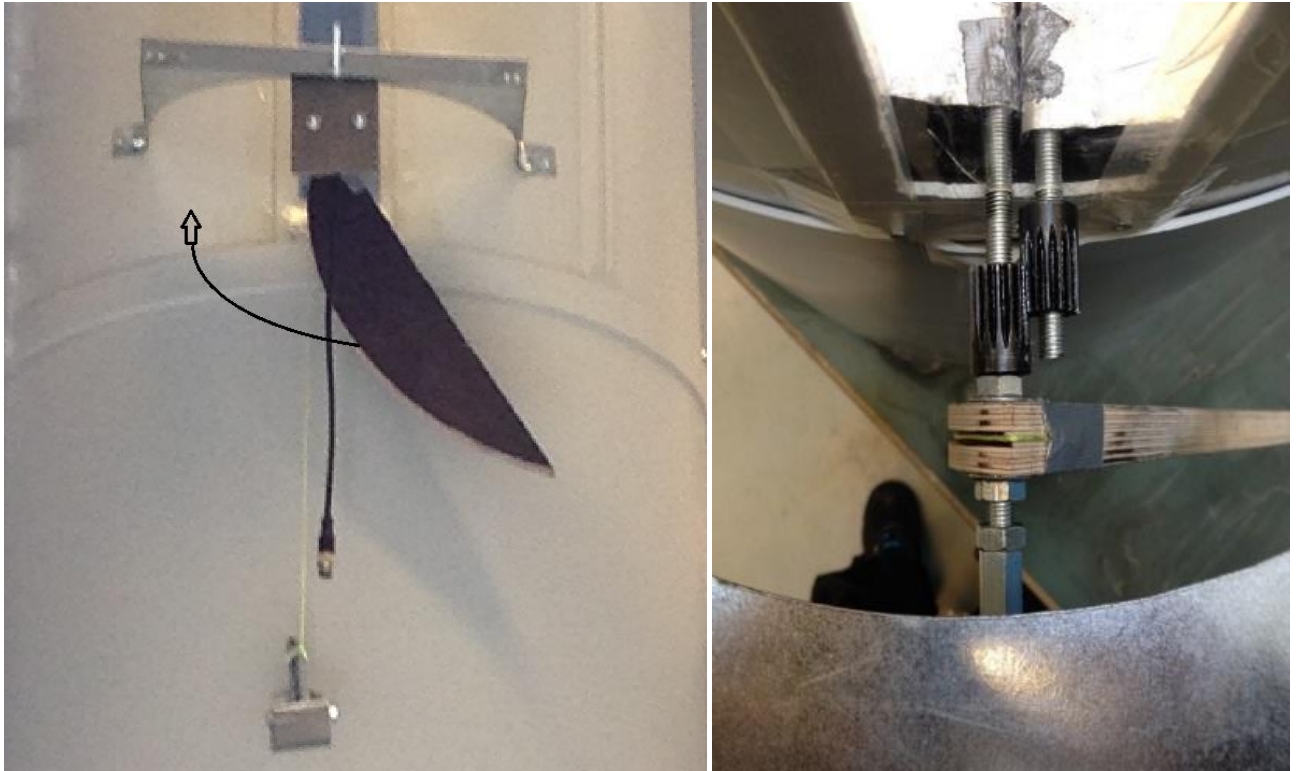
Vinkelflowmåleren består af to halvcirkulære klapper, som er fastmonteret til to gevindaksler, som i dette tilfælde er 8 mm samt to kontravægte som ligeledes er fastmonteret til akslerne. På en af akslerne er der monteret en vinkelmåler fra Turck. Instrumentet har en analog udgang 0-10 VDC, og kan principielt måle 0-360 grader. Vinkelflowmåleren ses på nedenstående billeder. På baggrund af målingerne er udviklet et matematisk udtryk for sammenhængen mellem vinkeldrejning og luftmængde.



Billede 11 – Vinkel flowmåler, hvor klapperne på venstre billede er lukkede og højre billede åbne.



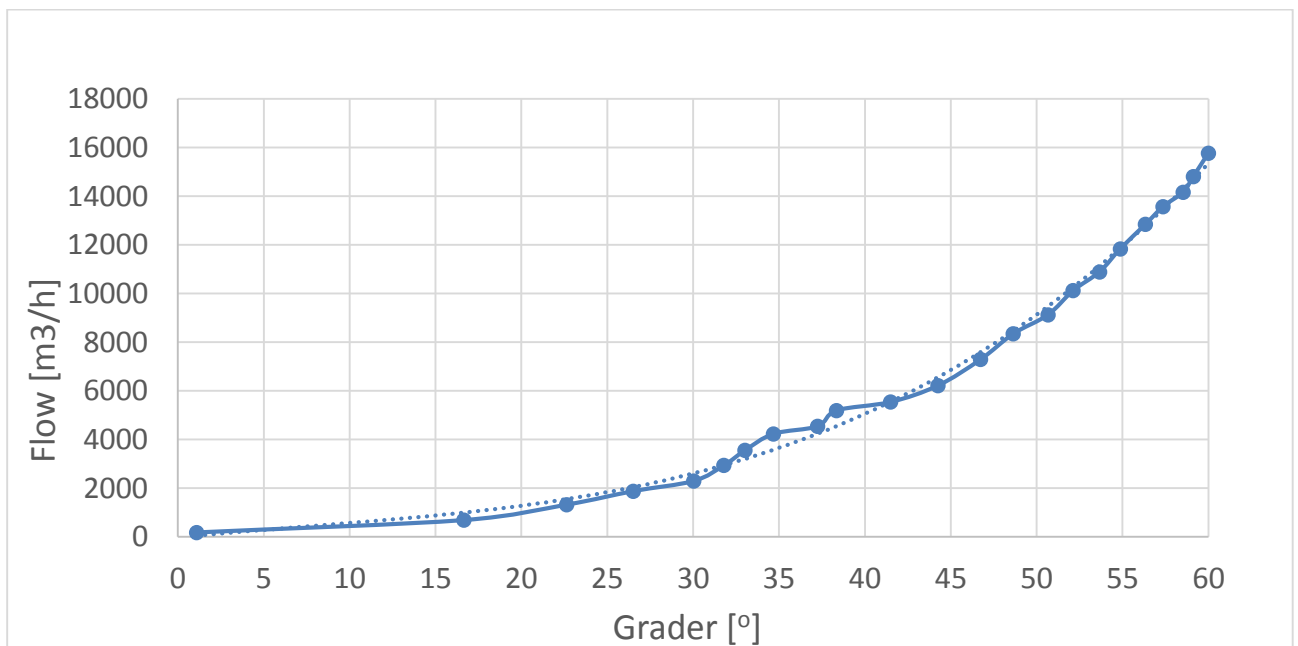
Billede 12 – Turck instrument, som består af en vinkel sensor og receiver er vist.



Billede 13 – Vinkel flowmåler, hvor kontravægten er vist.

Det er den brune kurveskive (vist på venstre billede), som i forbindelse med loddet giver et kontramoment der øges med åbningsvinklen og dermed luftmængden. Dette giver en vinkel-drejning, der tilnærmelsesvis er proportional med luftmængden.

Nedenfor er sammenhængen mellem åbningsgrad og luftmængde vist.



Figur 13 – Måleresultater for vinkel flowmåleren.

Målingerne som er vist i ovenstående figur viser, at der forekommer en god overensstemmelse mellem målingerne og den polynomiske regressionslinie. Den samlede usikkerhed for målesystemet, hvor forskellen mellem målinger og regressionslinie og usikkerheden for vinkel måleren Turck er medtaget, er ca. 2%. Måledata kan ses i bilag 11.3.

Ultralyd

Ultralyd er en kendt teknologi, som anvendes i flere brancher. Teknologien er blandt andet udbredt i processer og produktioner, hvor der for eksempel skal registreres enheder på et transportbånd. I bilbranchen anvendes teknologien som parkeringssensor samt blinkvinkels-alarmer m.m.

7.4 Parametre som pris, kvalitet og driftssikkerhed i et barsk miljø er vigtige i nævnte brancher. Kravene i bilbranchen er sammenlignelige med de krav som bør stilles i et staldmiljø. Teknologisk Institut har derfor været inspireret til at overføre denne teknologi og teste om ultralydsteknikken kan anvendes til måling af luftmængder i landbrugssektoren.

I bilbranchen monteres ultralyd i dag på stort set alle nye biler på markedet og er derfor fuldt produktmodnet til netop dette. Nedenfor er vist et eksempel på en ultralydssensor som enkelkomponent og en ultralydssensor monteret på en personbil.



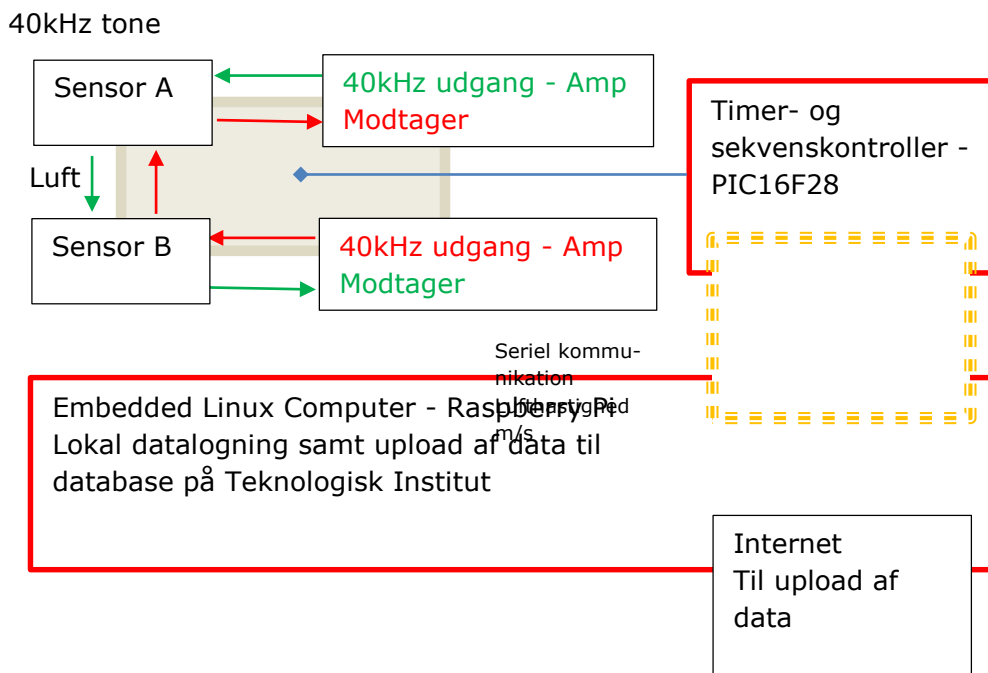
Billede 14 – Til venstre ses en løs ultralydssensor og til højre en ultralydssensor monteret på en personbil.

I første omgang testes en række forskellige ultralydssensorer for at undersøge om det overhovedet er muligt at benytte princippet til luftmængdemålinger og hvilke type der eventuelt egner sig bedst. I forbindelse med overførsel af teknologien er der en række udfordringer som skal overvindes, såsom det aggressive staldmiljø. Ved valg af sensorer til målinger tages der derfor højde for dette.

Blokdiagram over ultralydssensor

Ultralyd kan via doblereffekten, som er en kendt teknik, måle afstande. Samme princip bruges i baksensorer til biler.

Ultralyden sendes afsted mellem A og B i en vilkårlig vinkel tværs gennem ventilationskanalen, som vist i figur 14. Princippet er, at lyden bevæger sig hurtigere i medvind end i modvind og forskellen i hastigheden er et udtryk for luftens hastighed i ventilationsrøret. Princippet er nedenfor forklaret.



Målesekvens

- 1) Timer (stopur) nulstilles og startes (grønne pile)
- 2) A udsender kort 40kHz tone mod B
- 3) B sættes til at lytte efter tonen
- 4) Timer (stopur) stoppes når lyden ankommer til B
- 5) Timerværdi gemmes som T1
- 6) Timer (stopur) nulstilles og startes (røde pile)
- 7) B udsender kort 40kHz tone mod A
- 8) A sættes til at lytte efter tonen
- 9) Timer (stopur) stoppes når lyden ankommer til A
- 10) Timerværdi gemmes som T2
- 11) Nu er værdien, T1-T2, et udtryk for vindhastigheden i ventilationskanalen mellem punkterne A og B.
- 12) Forsæt til punkt 1. Uendelig loop er etableret.

Hvis $T1 > 0$ og $T1 = T2$ er vindhastigheden 0.

Figur 14 - Blokdiagram for ultralyd.

I figur 14 vil T2 være mindre end T1 fordi lyden bæres hurtigere afsted i medvind end i modvind.

Måledata sendes til Teknologisk Instituts database via internettet, hvorfor der skal være et tilgængeligt netværk i stalden før systemet kan virke. Herudover indstilles uret via en NTP-server i dataloggeren ved opstart og bruges i den lokale database til tidsstempel af måleværdier. Et batterisikkert ur (RTC) kan implementeres, hvis det fremadrettet bliver et problem med manglende internetforbindelse ved opstart af systemet. Dataloggeren har en implementeret procedure, som genstarter systemet én gang i døgnet. Denne procedure er indført for at forhindre system- og programfejl. Selve dataloggeren er baseret på den billige Raspberry Pi, som findes i versioner helt ned til kr. 35,-. I projektet bruges Raspberry Pi version 2, som koster ca. kr. 200,- og kan ses på nedenstående billede. Opgaven i projektet vedrørende dataloggeren er derfor begrænset til at være udvikling af software til håndtering af data samt fremsendelse til database på Teknologisk Institut. Softwaren skrives i C++ og kan derfor senere køres på andre platforme og operativsystemer efter behov.



Billede 15 – Raspberry Pi version 2.

7.4.2

Lydhastigheden generelt

Lydhastigheden varierer som funktion af omgivelsestemperaturen. 10°C variation giver ca. 1,8% ændring i lydens hastighed gennem luften og dermed i måleværdien. Hvis man måler lufttemperaturen mellem ultralydssensorerne kan denne værdi bruges til korrektion og således kan der opnås en større målepræcision. Samme påvirkning gør sig gældende med ændring i luftfugtigheden - dog i mindre grad - så denne parameter ses der bort fra i første omgang.

Regneeksempel med ændring i omgivelsestemperaturen:

Ved 15°C er $\rho_{15} = 1.225 \text{ kg/m}^3$, $Z_{15} = 417 \text{ N}\cdot\text{s/m}^3$, og $C_{15} = 340 \text{ m/s}$

Ved **20°C** er $\rho_{20} = 1.204 \text{ kg/m}^3$, $Z_{20} = 413 \text{ N}\cdot\text{s/m}^3$, og **$C_{20} = 343 \text{ m/s}$**

7.4.3 Ved 25°C er $\rho_{20} = 1.184 \text{ kg/m}^3$, $Z_{25} = 410 \text{ N}\cdot\text{s/m}^3$, og $C_{25} = 346 \text{ m/s}$

I første version af ultralydssensoren måles temperaturen ikke og vil ikke yderligere blive kommenteret.

Indledende målinger

Til de indledende målinger er der indkøbt en række forskellige sensorer.

En af disse sensorer som er købt i Kina er vist på nedenstående billeder. Sensoren blev købt på grund af, at denne var indkapslet, hvorfor modstandsdygtigheden over for snavs formodes at være god. Målinger viste, at sensoren ikke kunne bruges til luftmåling, eftersom sensoren var designet til måling af flow på flydende stoffer, såsom vand, gas og olie mv. Den fysiske udformning af selve sensorhovederne kan muligvis genbruges i nærværende projekt. Der blev ikke foretaget yderligere målinger med denne sensor.



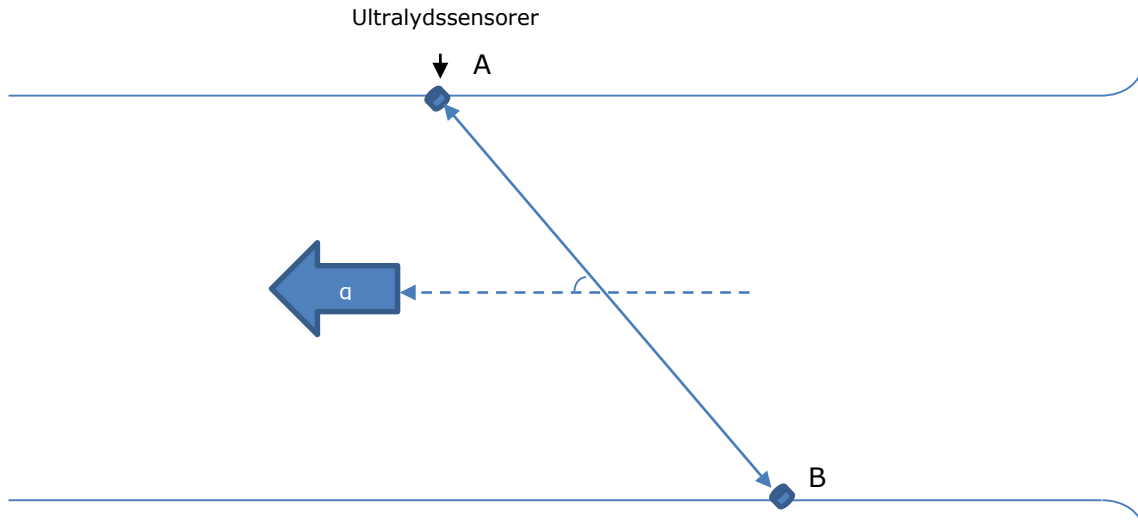
Billede 16 – Ultralydssensor fra Kina til måling på flydende stoffer.

En anden sensor som også er blevet testet er vist på nedenstående billede. Denne sensor er i modsætning til ovenstående ikke indkapslet. Begrundelsen for at købe denne sensor er, at den er prisbillig.



Billede 17 – Ultralydssensor.

Ved den indledende måling er ultralydssensorerne placeret i en ventilationskanal, hvorpå der er monteret en indløbstragt for at glatte luften ud. Der skal bruges to sensorer som monteres over for hinanden med retning imod hinanden. Opstillingen er vist i nedenstående figur.



Figur 15 – Opbygning af målestand ved måling af ultralydssensorer.

Ultralyden sendes skiftevis afsted mellem A og B i en vilkårlig vinkel tværs gennem ventilationsrøret, som ses i ovenstående figur. Princippet er at lyden er hurtigere i medvind end i modvind og forskellen i hastigheden er et udtryk for luftens hastighed i ventilationsrøret. Dette betyder endvidere, at vinklen ikke må være 0 grader eftersom forskellen i hastighederne altid vil være 0.

I de indledende målinger sammenholdes ultralydsmålingerne med en simpel centermåling foretaget med en TSI. For at simplificere målingerne og samtidigt sikre, at sensorerne er korrekt rettet imod hinanden monteres disse på en pind. Måleopstillingen er vist nedenfor.



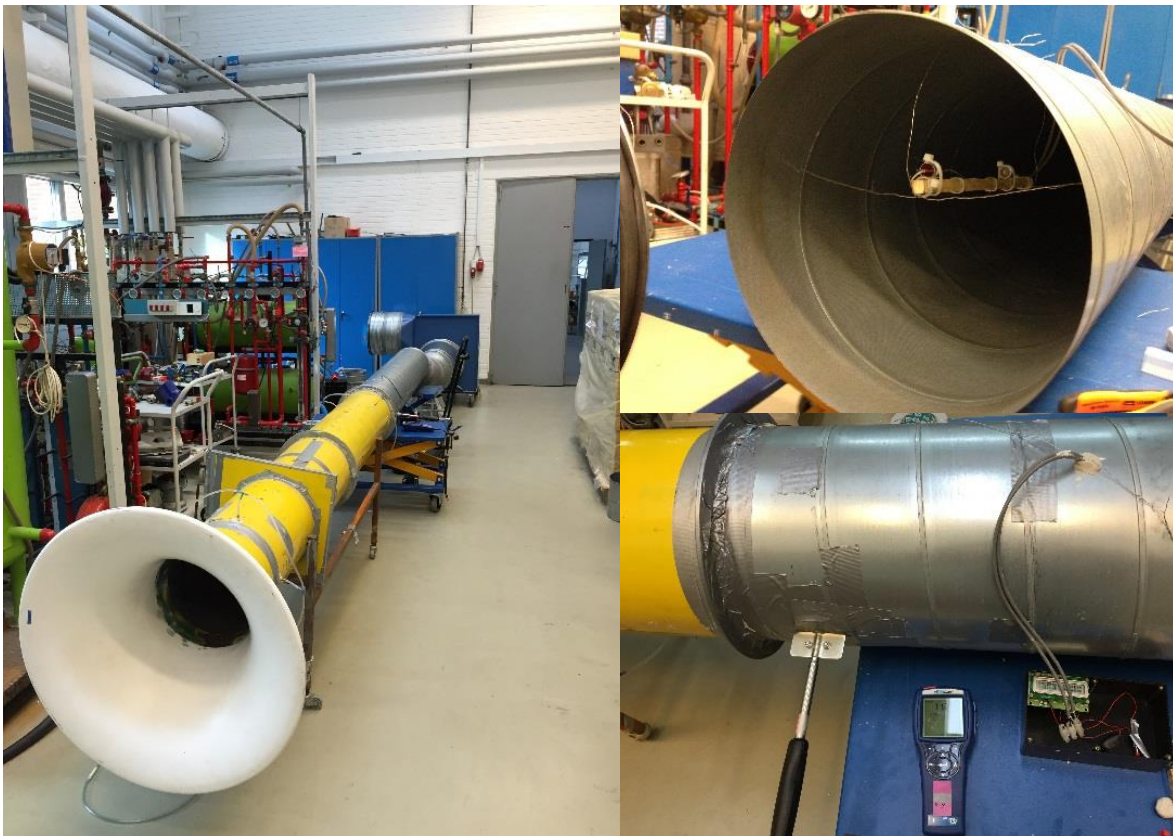
Billede 18 – Ultralydssensor placeret i ventilationskanal, hvor målingerne sammenlignes med måling fra en TSI.

De indledende målinger har vist, at der er en sammenhæng mellem lufthastigheden i ventilationskanalen og outputtet fra ultralydssensorerne. Målingerne indikerer dog tilsvarende, at sensorerne er meget sensible over for fluktuationer i luften. Dette kan dog dels løses i proceduren for udregning af middelværdier for lufthastigheden i dataopsamlingssystemet.

Optimal placering af sensorer

De indledende forsøg viste, at det ikke er uvæsentlig, hvordan sensorerne placeres i forhold til hinanden. Der foretages derfor yderligere forsøg af, hvilken vinkel mellem sensorerne der er optimal for at opnå den bedste sammenhæng mellem lufthastigheden i kanalen og outputtet fra ultralydssensorerne.

- 7.4.4 Til forsøget er anvendt en Ø250 ventilationskanal, hvorpå en venturi dyse og ventilator er monteret. Dette er vist på nedenstående billeder. Ultralydssensorerne blev monteret på en pind med en afstand på 18 cm. Der blev foretaget forsøg med henholdsvis 0, 10, 30, 45, 60 og 90 grader mellem sensorerne og ventilationskanalen. 0 grader svarer til at sensorerne placeres over for hinanden på tværs af kanalen og 90 grader til at sensorerne placeres langs med kanalen. Ved forsøget blev lufthastigheden varieret mellem 0 og 12 m/s.



Billede 19 – Måleopstilling, hvor ultralydssensorerne testes ved forskellige vinkler.

Forsøgene viser, at ved henholdsvis 0 og 90 grader fungerer sensorerne ikke som de skal. Se bilag 11.4 for yderligere måledata. Ved 0 grader genererer sensorerne den samme output værdi ($T1 = T2$ for sensor A og B), hvilket jf. tidligere forklaring betyder, at lufthastigheden er 0 m/s.

Ved 90 grader er forskellen på $T1$ og $T2$ for sensor A og B så lille, at usikkerheden ved placering af sensorerne i denne vinkel er relativ stor. Forsøgene viser til gengæld, at ved 10, 30,

45 og 60 grader er der en god sammenhæng mellem referencemålingerne og ultralydsmålingerne med en tilfredsstillende måleopløsning.

Det besluttedes at gennemføre yderligere forsøg med sensorerne, hvor de placeres i en vinkel på 60 grader i forhold til ventilationskanalen. Der gennemføres en række forsøg, hvor kanal-sektioner og placering af sensorerne på henholdsvis tryk og sugesiden af ventilatoren varieres med henblik på at afprøve sensorerne fleksibilitet.

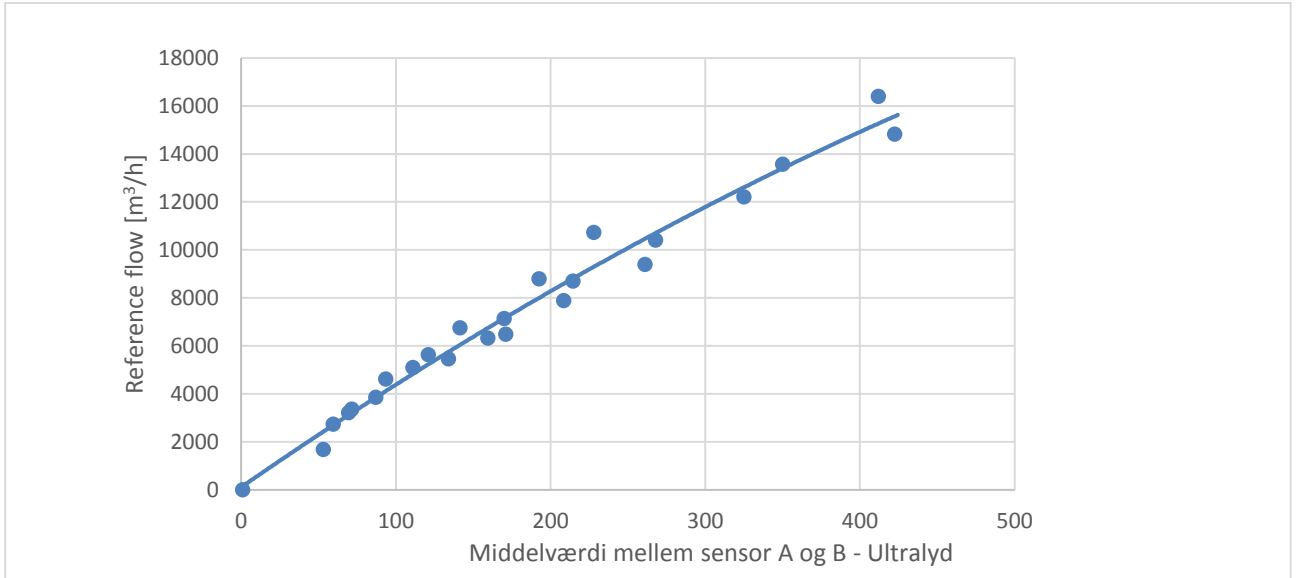
Tryksiden med to sektioner

Sensorerne placeres på tværs af ventilationskanalen med en vinkel på 60 grader i forhold til ventilationskanalen. Sensorerne placeres på tryksiden af ventilatoren. Formålet med forsøget er at teste ultralydssensorernes følsomhed i forhold til det roterende strømningsprofil som en aksial ventilator genererer.



Billede 20 – Måleopstilling, hvor ultralydssensorerne er indsat i Skovs afksthætte.

Måleresultaterne viser (figur 16), at der forekommer en sammenhæng mellem referencemålingerne og ultralydsmålingerne. Måleværdierne fra ultralydssensorerne aflæses manuelt på display.



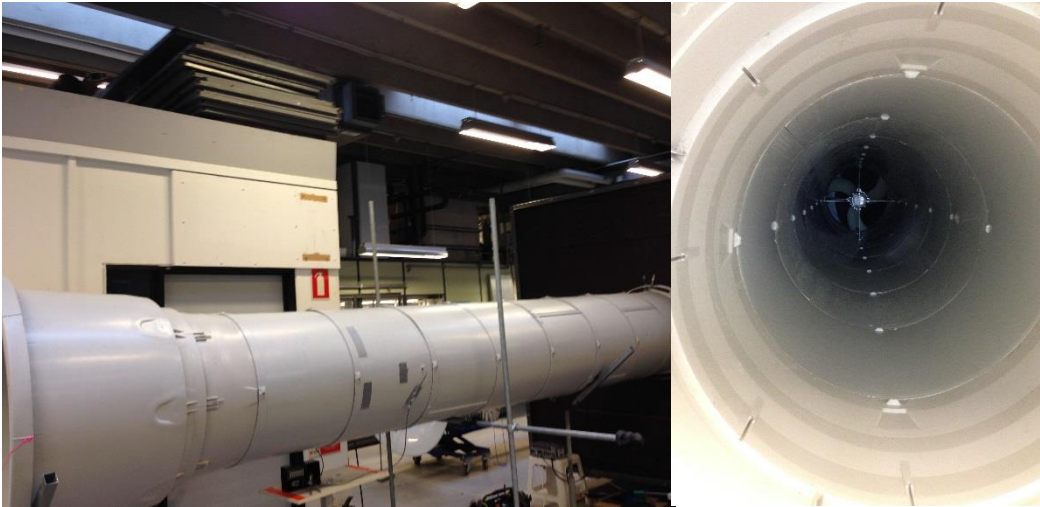
Figur 16 – Ultralyd placeret på tryksiden med to kanalsektioner.

Måleværdierne offset i forhold til referencemålingerne vurderes at skyldes dels den manuelle aflæsning og dels roterende luftstrømninger. Der er en gennemsnitlig afvigelse på 3% mellem en luftmængde fra 1.700 til 16.000 m³/h. Afvigelsen er størst i det lavere måleområde, hvilket vurderes at skyldes forstyrrelser fra spjældet. På baggrund af forsøget udvides kanallængden til syv sektioner for at undersøge om måleforholdene kan forbedres ved flytning af sensorerne længere væk fra ventilatoren.

Værdier på x-aksen er forskellen på timerværdier internt i ultralydssensoren. Det vil sige tidsforskellen mellem lyden i de to retninger, fra sensor A til B og fra sensor B til A. Denne numeriske værdi er forskellen på de interne 16 bits tællere (2 stk.), som kører med fuld hastighed. Tællerne når at tælle fra 0 til ca. 6000 inden lyden når fra sensorhoved A til B ved en rørdiameter på Ø630. Til senere brug skal der derfor laves en regression af passende form, således at værdierne omregnes til brugbar værdier med en passende enhed. Denne omregning og kalibrering kan finde sted i databasen, hvor data ender på Teknologisk Institut.

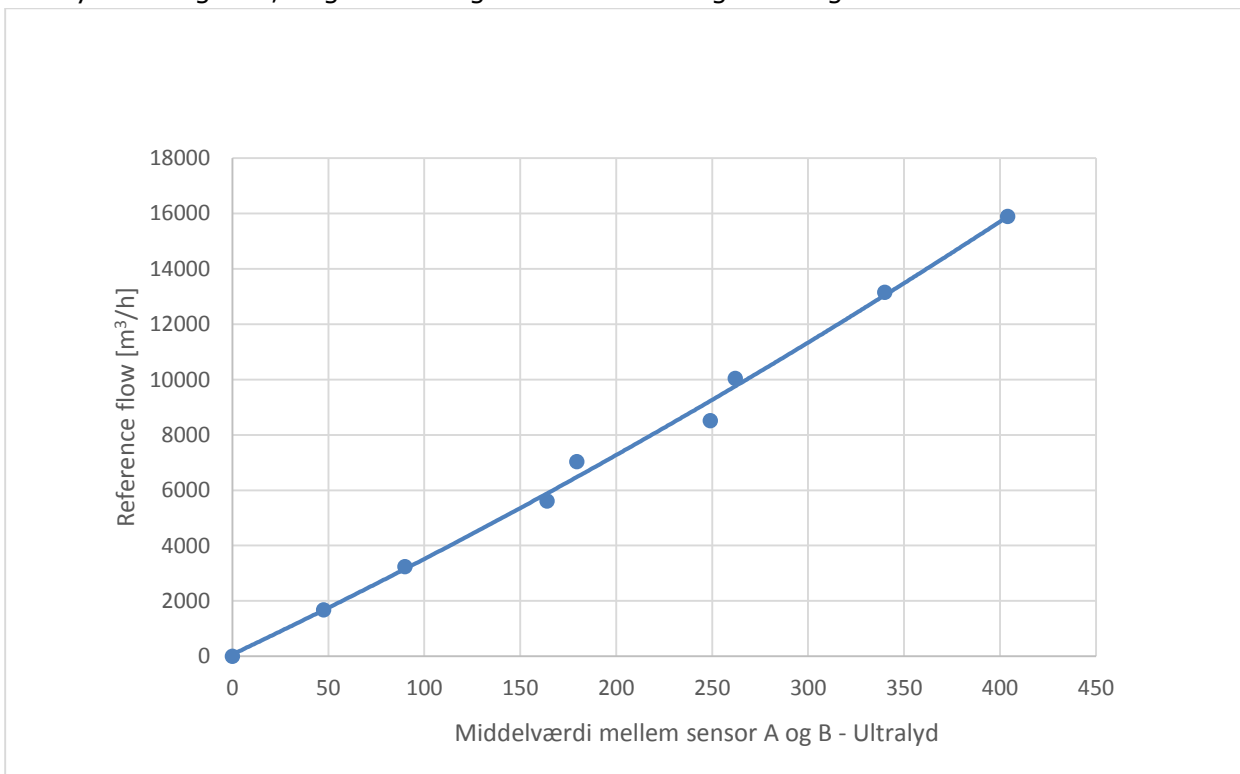
Tryksiden med syv sektioner

Den samme opstilling som tidligere anvendes, hvor kanalsystemet er udvidet til syv sektioner. Sensorerne placeres tilsvarende længere væk fra ventilatoren for at undersøge om påvirkningerne fra luftrotationerne mindskes. Opstillingen ses nedenfor.



Billede 21 – Måleopstilling, hvor ultralydssensorerne er indsat i Skovs afkasthætte.

Måleresultaterne, vist i figur 17, tyder på, at luftstrømningerne stadigvæk påvirker ultralydsmålingerne, dog i mindre grad end ved forrige måling.



Figur 17 – Ultralyd placeret på tryksiden med syv kanalsektioner.

Der forekommer en gennemsnitlig afvigelse på 3,4% mellem referencemålingen og ultralyds-målingerne mellem en luftmængde på 1.700 til 16.000 m³/h. Resultatet minder om forrige forsøg med to sektioner

Sugesiden med fem sektioner

Ultralydssensorerne placeres i dette forsøg på sugesiden af ventilatoren for at undersøge om det forbedrede luftstrømningsprofil bevirker, at sensorerne måler mere nøjagtigt. Opstillingen ses nedenfor.

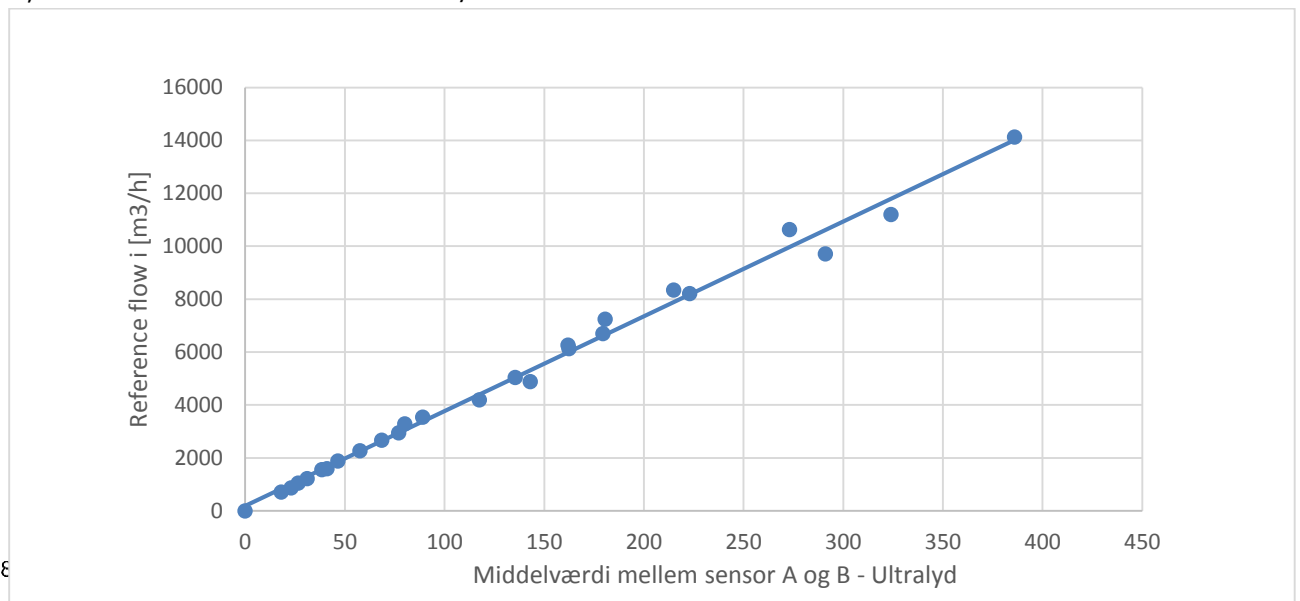
7.4.7



Billede 1 Ultralyd sider på sugesiden af skov ventilator.

Af måleresultaterne nedenfor fremgår det, at det at målenøjagtigheden mellem ultralydsmålningerne og referencemålingerne er uændret i forhold til forrige målinger. Der forekommer en gennemsnitlig afvigelse på lidt under 5% ved en luftmængde mellem 730 til 14.000 m³/h og 3,5% mellem 1.700 til 14.000 m³/h.

7.4.8



Figur 18 – Ultralyd placeret på sugesiden med fem kanalsektioner.

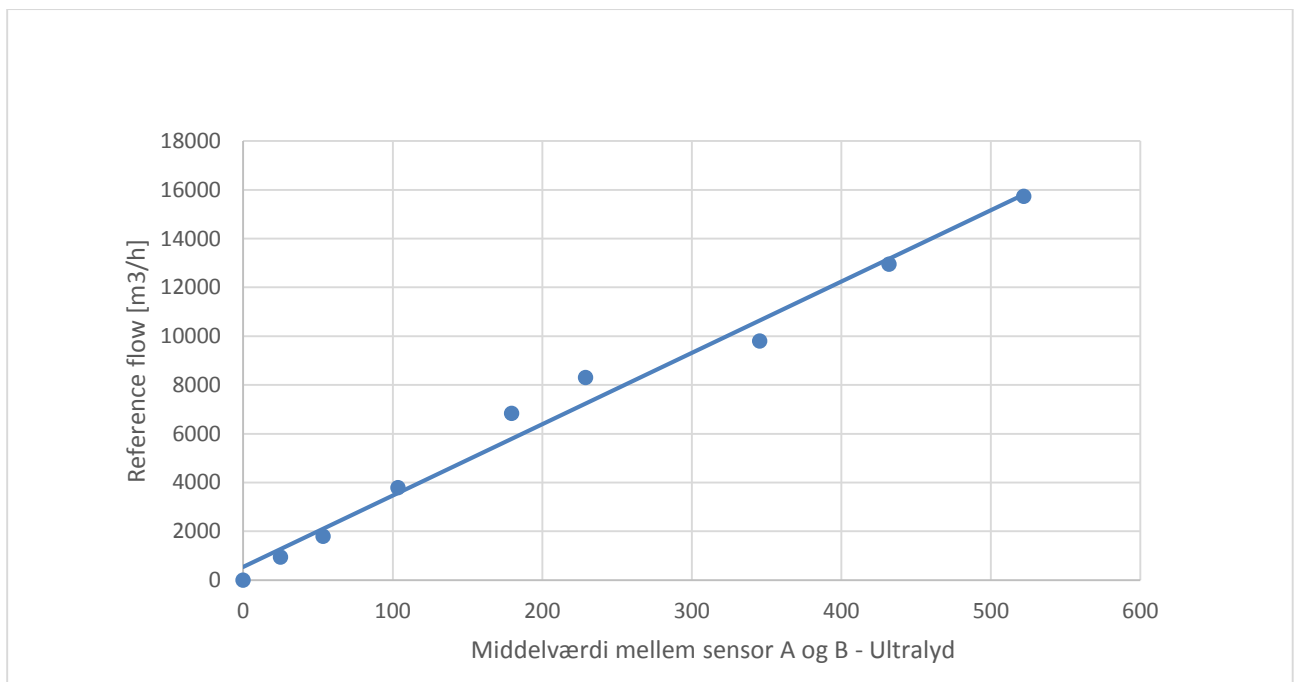
Sugesiden med linearisator kryds

For at forbedre måleforholdene indsættes et kryds som fungerer som linearisator for luften. Det vil sige, at krydset bryder eventuelle roterende luftstrømninger. Ultralydssensorerne placeres igen på sugesiden af ventilation. Opstillingen kan ses nedenfor.



Billede 22 – Måleopstilling med linearisator kryds som placeres i indløbsstragten og ikke som vist på billedet.

Måleresultaterne er vist på nedenstående figur.



Figur 19 – Ultralyd placeret på sugesiden med syv kanalsektioner med indsat linearisator kryds.

Måleresultaterne viser, at ved indsættelse af et kryds for at udrette luften forværrer målenøjagtigheden. Den gennemsnitlige afvigelse er 7% ved en luftmængde mellem 950 til 16.000 m³/h. Det vurderes at ultralydssensorerne har været placeret for tæt på krydset, hvilket har resulteret i en forringet målenøjagtighed.

Tryksiden med datalogger

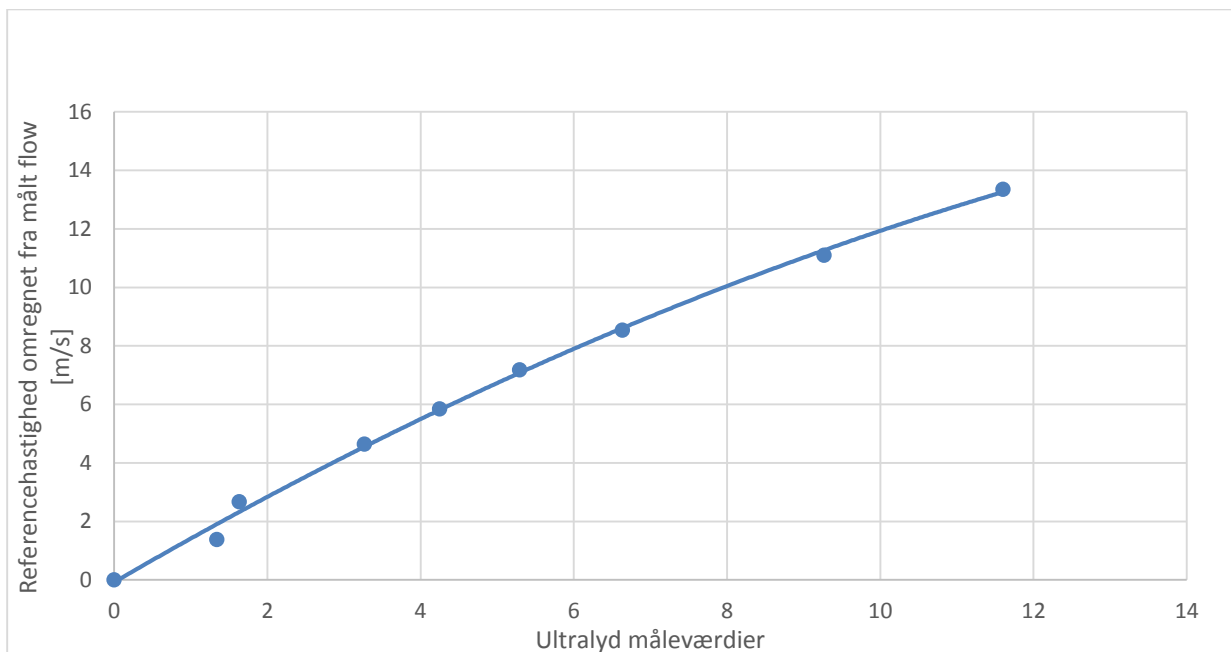
Ved de hidtil udførte målinger med ultralyd er måleværdierne blevet aflæst manuelt. Det betyder, at usikkerheden blandt andet afhænger af den menneskelige faktor. For at fjerne denne ekstra usikkerhed og til videre brug er der udviklet en datalogger som digitalt aflæser måleværdier.

7.4.9 Af praktiske årsager placeres ultralyd sensoren på tryksiden af ventilatoren.



Billede 23 – Måleopstilling med ultralyd, hvor signal outputtet fra ultralydssensorerne logges.

Måleresultaterne fremgår af nedenstående figur.



Figur 20 – Tryksiden med datalogger.

Værdier på x-aksen repræsenterer nu en numerisk middelværdi. Proceduren for udregning af middelværdien finder sted i kontrolleren som er placeret i ultralydssensoren. Ved brug af en digital logning forbedres målenøjagtigheden til 1,2% ved en luftmængde fra 1.700 til 16.000 m³/h.

Opsummering

I nærværende afsnit er det blevet afdækket, hvorvidt det er muligt at benytte markedsførte sensorer.

Skovs Dynamic Air og VengSystems målevinge er to eksisterende systemer som har været anvendt i mange år i svinestalde. Systemerne er derfor allerede langtidstestet i barske miljøer med positivt resultat. Det er derfor oplagt at opsætte systemerne i teststalden. Målingerne udført i nærværende projekt viser, at målenøjagtigheden falder når luftmængden er under 2.600 m³/h ved brug af Dynamic Air. Målevingens målenøjagtighed varierer stort set ikke i arbejdsområdet og har samlet set en større målenøjagtighed end andre tilgængelige systemer. I en allerede eksisterende stald kan der forekomme opsætningsbegrænsninger, idet målevingen på nuværende tidspunkt skal sidde på sugesiden af ventilatoren. Målingerne indikerer dog, at ved indførelse af et nyt beregningsudtryk for luftmængden er det måske muligt at benytte målevingen, hvor den placeres på tryksiden af ventilatoren. Målevingen har den ulempe, at der genereres et mindre tryktab over målevingen hvilket er energimæssigt dyrt.

Målingerne med klapsystemet og ultralyd viser, at det bestemt er muligt at benytte de nyudviklede måleprincipper og opnå høj målenøjagtighed. Klapsystemet medfører, i lighed med målevingen, et ekstra tryktab i kanalsystemet. Desuden kan systemet være vanskeligt at installere i en allerede eksisterende stald. Det formodes dog at navnlig klapsystemet vil være robust og driftssikkert. Ultralydssensorerne har en helt klar fordel ved at nemme at installere idet målingerne indikerer at sensorerne kan placeres både på tryk og sugesiden af ventilatoren. I forhold til robusthed vides det ikke, hvordan systemerne reagerer i det aggressive miljø.

På baggrund af ovenstående vælges det at opsætte klapsystemet og ultralydssensorerne i teststalden med henblik langtidstest.

8 Opsætning og test af måleudstyr i demonstrationsstald

Det udvalgte måleudstyr langtidstestet i et miljø svarende til det miljø som vil forekomme i en svinestald jf. aktivitet 2.4 i arbejdsplanen 2. Testene kan udføres i laboratoriet, som kræver en dynamisk dosering af støv, ammoniak og fugt m.m. til et testkammer. Alternativt kan testene foretages i en svinestald, hvor de "rette" luftkonditioner forekommer. Sidstnævnte fremgangsmåde vælges.

Før måleudstyret kan opsættes og afprøves, opbygges dataloggere og der foretages en samlet systemtest af hvert enkelt system, som indebærer klapsystemet og ultralydssensorerne. Der udarbejdes ligeledes en procedure samt selve systemet til håndtering af data fra sensorerne opsat i teststalden.

Udvikling og nul-serieproduktion af 12 måleenheder

8.1 Blokdiagrammet over ultralydssensoren som er vist i et tidligere afsnit er grundlaget for udvikling af elektroniksystemet til opsamling af data fra ultralydssensorerne vist i nedenstående billede. Elektronikken blev udviklet, sammensat og testet af Teknologisk Institut. Udviklingen blev baseret på en mikrocontroller, PIC16F28 til håndtering af timer- og sekvenssteps vedrørende lydsignaler. Grunden til at der opereres med en lokal controller er kravet om en præcis tidsmåling (realtime), som dataloggeren ikke kan håndtere på grund af dataloggerens operativsystem. Et operativsystem skal håndtere adskillige ting parallelt, såsom Interrupt med hensyn til internet, skrive og læse til harddiskenheden. Derfor kan dataloggeren ikke klare tidsmålingsprocedurer der er præcise nok til denne måletype. Ved benyttelse af en decentral tidsmåling via en hurtige controller, som ikke skal udføre andre opgaver, er problemet løst. Herved er den upræcise tidsstyring lagt på selve dataloggeren, som arbejder meget langsommere og i større tidsområder (i sekunder). Efter en succesfuld laboratorietest fremstillede Teknologisk Institut en nulserieproduktion på 12 enheder, som kunne dække to sektioner i stalden med i alt 12 afkast.

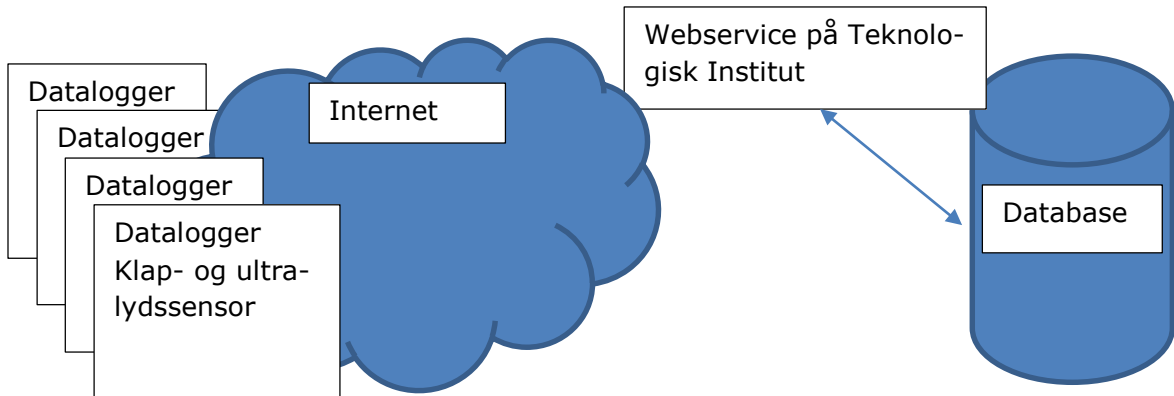


Billede 24 – Elektronikboks med ultralydssensorerne monteret og datalogger.

Datahåndtering

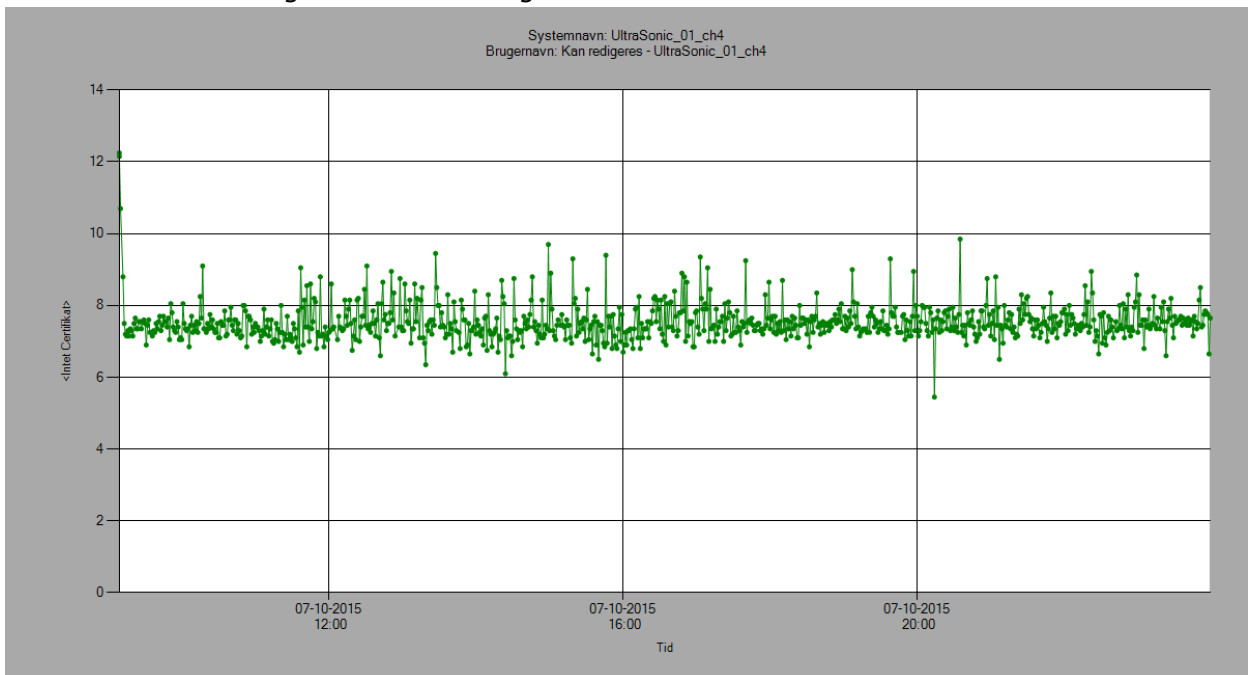
Dette afsnit beskriver Teknologisk Instituts datahåndteringsproces, hvor måleværdier genereret af sensorerne opsat i teststalden sendes til Teknologisk Instituts egen database samt til Agrotechs analyseplatform. Dette sker via en datapumpe. Database på Teknologisk Institut

Opbygningen af databasen på Teknologisk Institut kan er illustreret i blokdiagrammet nedenfor.



Dataloggeren i ultralydssensoren og klapsystemet lagrer i første omgang måleværdier lokalt på SD hukommelseskortet og sender efterfølgende værdier til databasen på Teknologisk Institut. På denne måde forhindres datatab, hvis forbindelsen til internettet afbrydes eller bliver ustabil. Efter en eventuel afbrydelse vil data, gemt lokalt, igen blive uploadet til serveren og således undgås datatab. Uploadede råværdier omregnes til værdier med andre enheder, for eksempel fra 4-20mA og til -40-40°C eller omregning i forhold til diameter på afkast. Denne funktion kan ydermere bruges, hvis kalibreringscertifikatet skal bruges på en bestemt kalibreret sensor.

Data kan løbende følges i en almindelig webbrowser:



Figur 21 – Data fra en ultralydssensor.

Kanaloversigt i datalogger

Sensorerne som opsættes i teststalden oprettes i Teknologisk Instituts database, hvor den enkelte sensorer tildeles et certifikat eller navn, så loggede måleværdier altid tilknyttes til den respektive sensor. Nedenfor er vist et eksempel på én sensor.

8.2.1

http://datalog...se/channel.aspx

datalog.teknologisk.dk/pages_cl

TEKNOLOGISK INSTITUT

TI-DAQ
DECENTRALIZED
DATA ACQUISITION

Menu Log ud Administration

Måleprojekt : MG datalogger 11

Kanaler

Kanaler uden certifikat tildeles et "default" certifikat hvor der ganges med 1.
Antal kanaler : 5

Navn fra labview	Navn fra bruger	Bemærkning	Certifikat
sys_uptime	Kan redigeres - sys_uptime	Automatisk oprettet: 2015-10-07 11:01:02	Rediqr Slet Måledata
UltraSonic_01_ch1	Kan redigeres - UltraSonic_01_ch1	Automatisk oprettet: 2015-10-07 11:09:03	Rediqr Slet Måledata
UltraSonic_01_ch2	Kan redigeres - UltraSonic_01_ch2	Automatisk oprettet: 2015-10-07 11:09:03	Rediqr Slet Måledata
UltraSonic_01_ch3	Kan redigeres - UltraSonic_01_ch3	Automatisk oprettet: 2015-10-07 11:09:03	Rediqr Slet Måledata
UltraSonic_01_ch4	Kan redigeres - UltraSonic_01_ch4	Automatisk oprettet: 2015-10-07 11:09:03	Rediqr Slet Måledata

Figur 22 – Kanaloversigt i dataopsamlingsystemet.

En ultralydssensor har i alt fem kanaler (output værdier), som indeholder forskellige informationer. Klapsystemet har kun et kanaloutput. Kanaloutputtene fra ultralydssensorerne er som følgende.

sys_uptime

Viser hvornår dataloggeren har sendt data til serveren. Bruges til check om datalogger er online. Kan derfor bruges til fejlindikering, hvis ikke dataloggeren er eller har været online i et bestemt tidsrum - serveren kan fremsende fejlmail til ansvarlig for driften af systemet ved fejl.

UltraSonic_01_ch1

Timerværdi a til b (T1).

UltraSonic_01_ch2

Timerværdi b til a (T2).

UltraSonic_01_ch3

T1 - T2.

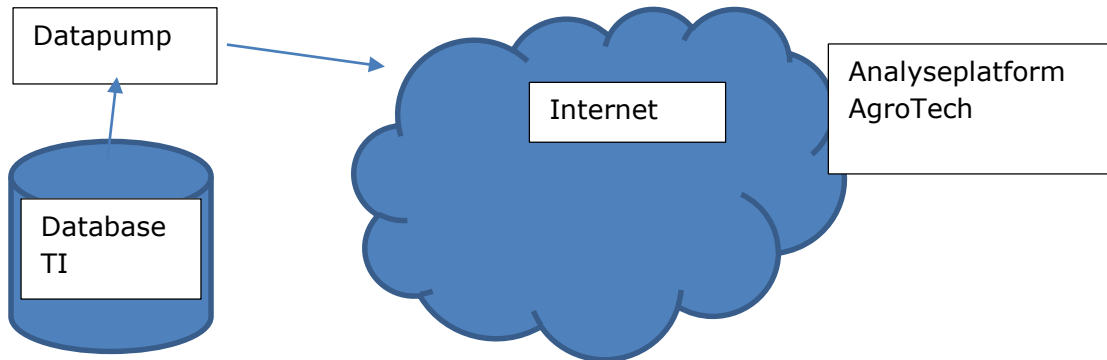
UltraSonic_01_ch4

Udregnet middelværdi fra sensor.

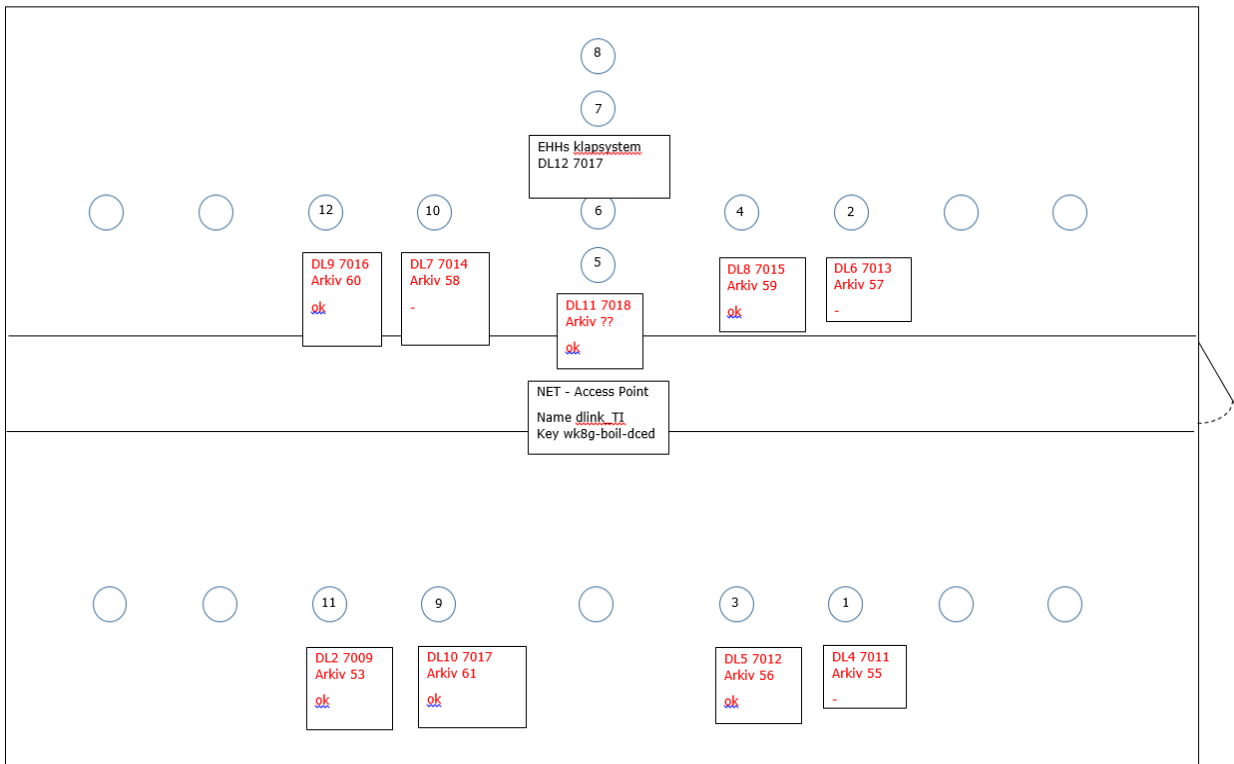
Datapumpe

Til upload af data til Teknologisk Institut og til Agrotech blev en simpel datapumpe (computerprogram) skrevet i Visual Studio. Nedenstående blokdiagram viser dataflow fra Teknologisk Institut og frem til databasen under Agrotechs analyseplatform. Datapumpen læser alle relevante data i Teknologisk Instituts database hver time og fremsender til Agrotechs WebAPI.

8.2.2



Hver datalogger fremsender følgende data per kanal; et ID, tidsstempel og værdi. Nedenstående skitse viser teststalden ved Skanderborg set oppe fra, hvor in-situ test blev foretaget. Hver cirkel symboliserer en ventilationskanal, hvor luftmængden måles. De andre værdier bruges i forbindelse med dataopsamlingsystemet.



Figur 23 – Oversigt over ventilationskanaler, hvor luftmængden skal måles. Hver enkelt ventilationskanal er blevet tildelt et ID nummer.

Langtidstest af sensorer i teststald

I første omgang blev det bestemt mellem GTS institutterne, at der "kun" skulle måles på én sektion i stalden. Dette blev senere udvidet til to sektioner baseret på Agrotech usikkerhedsanalyse, hvorved antal målepunkter blev fordoblet. Det vil sige, at der ligeledes er blevet udviklet flere sensorer.

8.3 Målepunkterne er vist i ovenstående figur i form af ventilationskanalerne med et tilhørende ID nummer. Målepunkterne 1, 2, 3, 4, 9, 10, 11 og 12 er afkast fra sektionerne direkte til det fri. Målepunkterne 5, 6, 7 og 8 er afkast efter luftrensningsanlægget. Eftersom afkastventilatorerne efter luftrensningsanlægget kører identisk er det kun nødvendigt at måle på et af afkastene. Data for dette afkast kan derefter blot multipliceres med antal afkast efter luftrensningsanlægget, hvorved den samlede luftmængde kendes.

I nedenstående tabel kan placering af sensorerne ses.

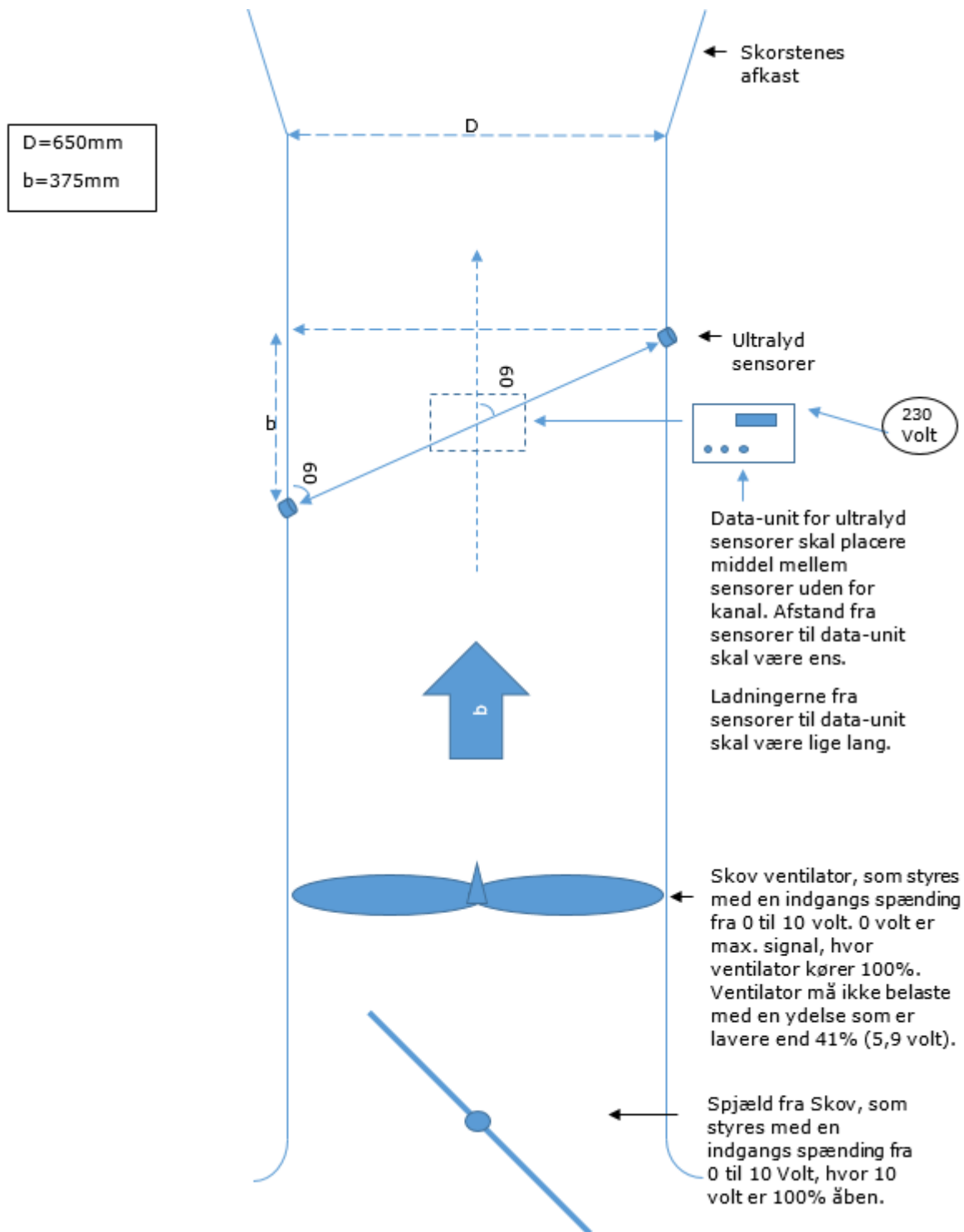
Målepunkt	Sensortype	Afkasttype
1	Ultralyd	Afkast fra sektion til det fri
2	Ultralyd	Afkast fra sektion til det fri
3	Ultralyd	Afkast fra sektion til det fri
4	Ultralyd	Afkast fra sektion til det fri
5	Ultralyd	Afkast efter luftrensningsanlægget til det fri
6	Klapsystem	Afkast efter luftrensningsanlægget til det fri
7	Ikke brugt	Afkast efter luftrensningsanlægget til det fri
8	Ikke brugt	Afkast efter luftrensningsanlægget til det fri
9	Ultralyd	Afkast fra sektion til det fri
10	Ultralyd	Afkast fra sektion til det fri
11	Ultralyd	Afkast fra sektion til det fri
12	Ultralyd	Afkast fra sektion til det fri

Tabel 5 – Oversigt over placering af sensorer.

Enhederne er udformet, således at det nødvendiggør montering af en el-kasse ved hvert målepunkt. Hver kasse indeholder en datalogger, som via trådløs internet kobler sig op til databasen på Teknologisk Institut. Det er derfor et krav, at der er trådløs internet på loftet i teststalden. Nedenstående billeder viser de to typer sensorer, som er monteret på i teststalden.



Billede 25 – Til venstre ses klapsystemet og til højre ultralydssensorerne.



8.3.1

Figur 24 – Grafisk afbildning af måleopsætningen med ultralydsensorer.

Test af ultralyd i teststalden

I alt ni ultralydssensorer er monteret i teststalden og har alle i starten af opsætningsperioden sendt data til Teknologisk Instituts database. Disse data er efterfølgende videregivet til Agro-tech analyseplatform til videre behandling.

Efter ca. to uger begyndte sensorerne en efter hinanden at falde ud på grund af tilsnavsning af ultralydssensorer. På nedenstående billede fremgår det tydeligt, hvorfor lyden ikke kunne sendes mellem sensor A og B.



Billede 26 – Viser hvordan ultralydssensorerne er blevet tilsnavset efter få uger.

I første omgang blev der monteret et filter, som kunne udskiftes og således blev sensorerne beskyttet mod direkte indre tilsnavsning. Denne løsning betød, at målingerne kunne fortsætte, men kun i en kortere periode. Denne løsning er ikke en holdbar løsning, da den vil kræve for meget manuelt arbejde til udskiftning af filtre.



Billede 27 – Ultralydssensor med påmonteret filter.

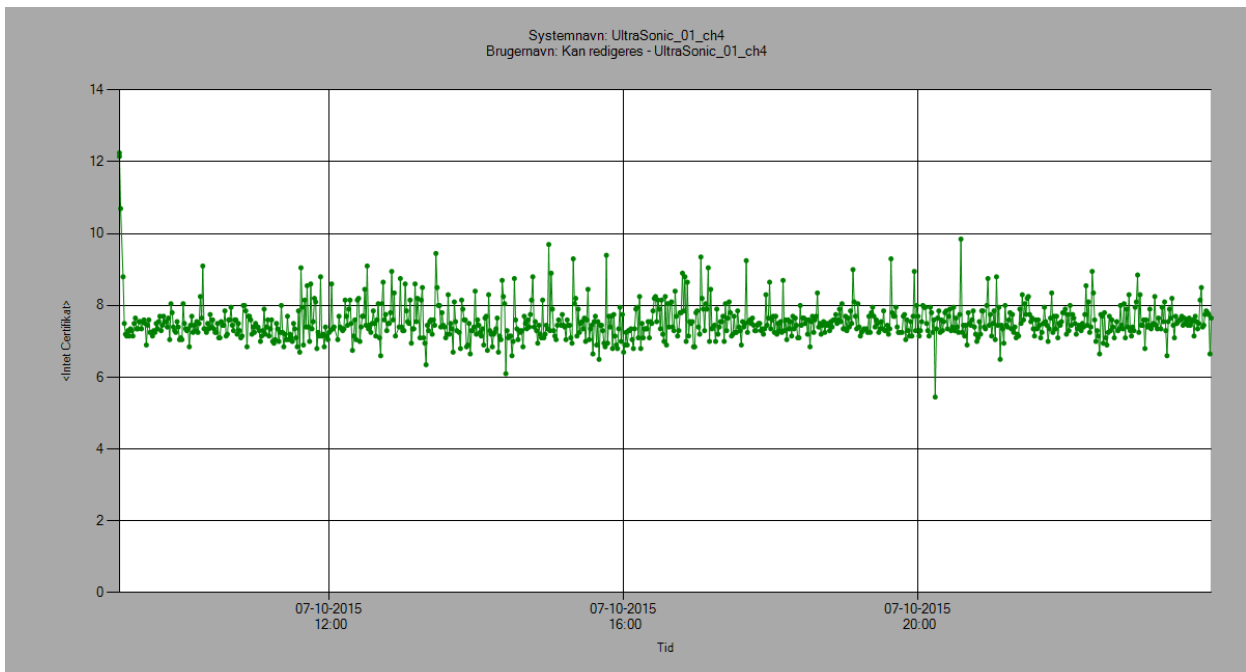
For at teste om lydsignalet kan sendes mellem sensorerne når et filter er monteret og sensorerne tilsnævses blev der indsat en forstærkning af det udsendte lydtryk og forstærkning omkring lydmodtageren blev forøget med en faktor 10. Denne løsning virker dog kun indtil tilsnævningen bliver for massiv. Sensorerne som var placeret på afkastet efter luftrensningsanlægget blev mest tilsnævsete.

For at imødegå tilsnævningsproblemet blev der udarbejdet en ny løsning, hvor sensorerne fjernes fra luftstrømmen. På ydersiden af ventilationskanalen monteres en lomme, hvor sensorerne monteres i. Denne løsning blev implementeret på én af ventilationskanalerne og grundlaget for en ny test i stalden. Sensorerne sendte data i seks uger før lydsignalet igen blev generet af tilsnævning.

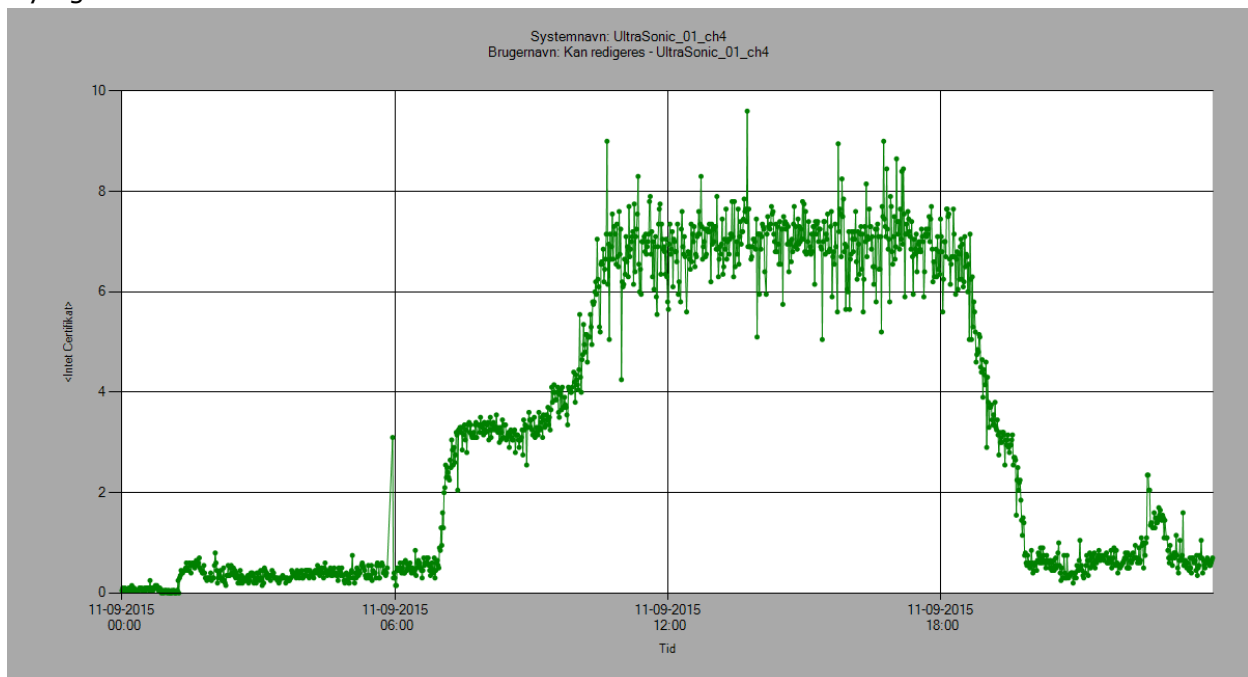


Billede 28 – Til venstre ses forstærkningsmodulet som eftermontere i el-boksen og til højre lommen, hvori ultralydssensorerne monteres i.

Forslag til videreudvikling af ultralydssensorerne beskrives i afsnittet "perspektivering".



Ny og forbedret sensor



1. version af sensor

8.3.2 Robusthedstest af ikke installerede ultralydssensorer

På baggrund af de indledende erfaringer omkring målestabiliteten af sensorerne blev der indkøbt nogle indkapslede ultralydssensorer. Parallelt med eksekvering af måletesten blev disse sensorer placeret i den fælles luftskakt før luftrensningsfilter. Dette skulle afsløre om indkapslingen blev påvirket af den ammoniakholdige og aggressive luft. Testen varede ca. to måneder, hvor sensorerne udelukkende befandt sig i luftskakten. Sensorerne blev indkøbt for sent til, at Teknologisk Institut kunne nå at ændre design og kredsløb for derefter at indarbejde dem i måletestene inden for projektførelsen. Der blev derfor kun udført en robusthedstest med sensorerne.



Billede 29 – Indkapslede ultralydssensorer placeret i den fælles luftskakt før luftrensningsanlægget.

På nedenstående billeder ses det tydeligt, at sensorerne ikke har taget skade af testen. Det kan derfor anbefales, at man arbejder videre med denne type sensor og integrerer disse ved at tilpasse eksisterende kredløse vedrørende sender og modtager af ultralyden. Der skal kigges på om spændingsniveauer, frekvenser og forstærkninger skal justeres, således at de indkapslede sensorer fungerer optimalt. Sensorerne blev efter placering i luftskakten i ca. to måneder afprøvet rent elektrisk. Testen kunne afsløre, at sensorerne ikke havde taget skade af opholdet i den aggressive luft.



Billede 30 – Indkapslede ultralydssensorer efter robusthedstest i den fælles luftskakt før luftrensningsanlægget.

Nye erfaringer viser, at sensorerne måske burde været blevet placeret efter luftrensningsanlægget, eftersom tilnavnsningen er størst her. Det vurderes dog ikke at gøre nogen nævneværdig forskel.

Ud fra laboratoriemålingerne er der udarbejdet et kalibreringsudtryk, som omregner ultralydssensorernes måleværdier i stalden til en luftmængde.

Måleværdier fra sensorerne kan omregnes ved dette udtryk:

$$(38,346 \cdot x_{\text{Ultralyd}}^2 + 1817,33 \cdot x_{\text{Ultralyd}} - 89,953) = \text{Flow}_{\text{m}^3/\text{h}}$$

9 Perspektivering og anbefalinger

Herunder har Teknologisk Institut skitseret en række anbefalinger til supplerende tiltag som skal bringe konceptet bag Månegrisprojektet tættere på praktisk anvendelse.

Fejlhåndtering

Dataopsamlingsystemet vil kunne afsløre om sensorhovederne er ved at blive tilsmudset og dermed på vej til at fejle. En fejlhåndtering af dette problem bør udvikles. Dette kan aktivere en rensproces eller sende mail til den driftsansvarlige med en fejldiagnose.

9.1 Ultralydssensor

Det forstærkerkredsløb der blev sammensat undervejs i projektet bør produktmodnes, herunder:

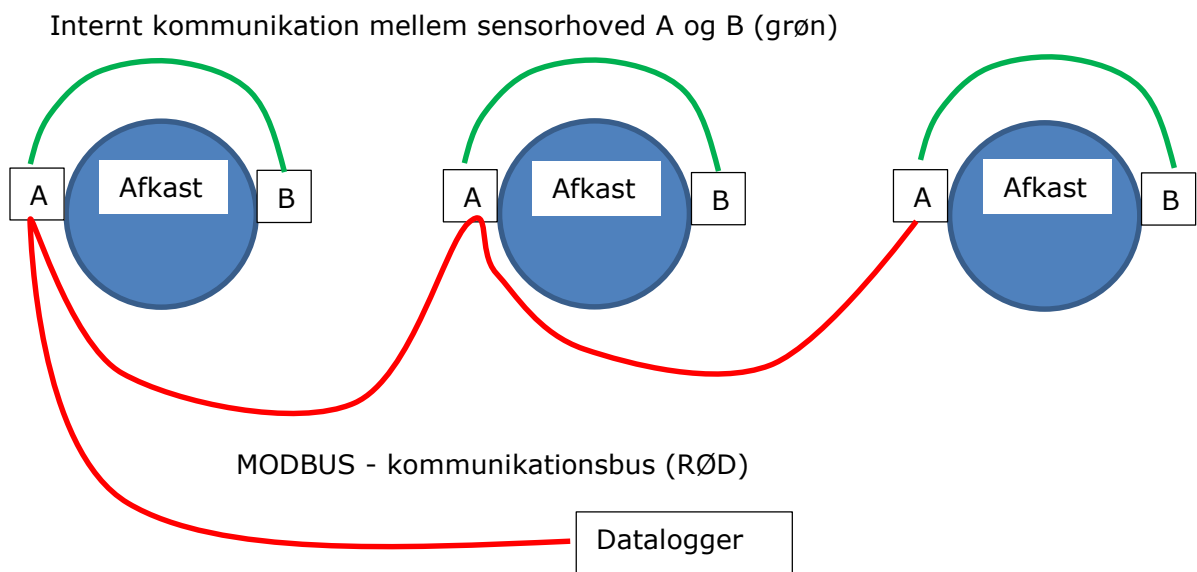
- Printkort udlægges, således at forstærkeren bliver en del af en ny sensor
- 9.2 • Forstærkerkredsløbene skal monteres tæt på sensoren for at undgå lange ledninger
- Sensorhovedet skal gøres mere intelligent med en simpel åben buskommunikation, evt., MODBUS via RS485.

Herefter kan hele målesystemet i én stald håndteres af én datalogger, som styrer de enkelte målepunkter. Herved gøres systemet billigere, hurtigere at montere og nemmere at servicere fremadrettet.

Denne opdeling kan ligeledes være god, hvis sensorhovederne skal indarbejdes i andre systemer som findes i forvejen, eksempelvis i ventilationsstyringer der forhandles på markedet i dag. Det vil samtidig kunne eliminere, at sensorerne generer hinanden på lydsiden ved, at kun én sensor måler ad gangen.

Dette vil dog kræve et udviklingsarbejde samt tilhørende test, som ligger uden for nærværende projekt. Efter et redesign vil der ligge dokumentation på den åbne kommunikationsstandard, således at interesserede aktører nemt vil kunne indarbejde luftmængdemåling baseret på ultralyd i deres styre- og dataloggersystem.

Bud på blokdiagram til nyt forbedret system til måling af luftmængde baseret på kun en datalogger:



Forslag til mekanisk renseprocedure, som skal fjerne snavs og støv fra sensorhoved:

- 1) Der implementeres en servomotor, som med mellemrum kører en rensekost forbi sensorhoved eller på et foran monteret filter
- 2) Princippet fra et spejlreflekskamera kan implementeres. Dvs. at der kun åbnes til sensoren når den måler
- 3) Implementering af indkapslede sensorer
- 4) Punkt 3 i kombination med punkt 1 eller 2.

Eksemplerne betyder højere pris for sensorerne men en væsentlig forøgelse af levetiden og reduktion af driftsomkostninger. Punkt 4 er den mest robuste løsning over for snavs mv., men også den dyreste. Inden man lægger sig fast på en renseprocedure bør man analysere, hvad snavset indeholder. Snavset skal analyseres både før og efter luftrensingsfilteret.

Forslag til database- og datahåndteringssystem

9.3 En IT-plattform indeholdende data omkring emissionstal vil generelt indeholde store mængder af data, som vil kunne gavne svineproducenterne og optimere produktionen samt visualisere ændringer i emissionen ved miljøtiltag.

Det vil være et godt værktøj som kan medvirke til reduktion af emissioner. Nøgletalsberegninger udregnet fra IT-plattformen, skal direkte kunne bruges som i styring af produktionen. Alle opsamlede data ender i en fælles database. Det kan gælde luftmængder, ammoniakkoncentrationen i afkastluften, ammoniakkoncentrationen i gyllen, diverse temperaturer-, fugt og CO₂ målinger samt mængder af foder og produktionstal.

Systemet bør designes med åbne interfaces og med muligheder for at læse og skrive data til databasen via simple web api's. Dette betyder, at eksisterende systemer kan kommunikere med emissionsdatabasen. Herved kan data fra andre systemer sendes til databasen og andre systemer kan efterfølgende udregne ønskede specifikke nøgletal til svineproducenten. Der skal indarbejdes en høj sikkerhed, hvis systemet åbnes for disse funktioner.

10 Konklusion

Følgende viser en oversigt over de arbejdspakker og milepæle, som Teknologisk Institut har medvirket i:

Arbejds-pakke	Aktivi-tet	Mile-pæl	Beskrivelse
1	1.1	1	Videnopbygning og -deling
1	1.2	2	Dimensioneringsgrundlag og kravspecifikation
1	1.3	3	Dataintegration og modellering
2	2.2	2	Prototypeudstyr flowmåling
2	2.3	3	Prototypeudstyr måling af emissionsniveauer
2	2.4	4	Test og demonstration af samlet målesystem

1.1 Videnopbygning og -deling

Teknologisk Institut deltog på alle afholde konferencer og workshops der blev afholdt gennem projektføreløbet og der blev skabt relevante kontakter og opbygget nødvendig viden samt fælles forståelse for projektet.

1.2 Dimensioneringsgrundlag og kravspecifikation

Der blev undersøgt typiske luftmængder og dimensioner på ventilationssystemer til svineproduktion og dermed krav til arbejdsområder for kommende luftflowmålinger og sensorer. Luftrensningssystemer blev gennemgået med hensyn til delvis- og fuldluftrensning. Et luftfilter kan give anledning til problemer med monteringen af måleudstyr da luften typisk transporteres i fællesskakt på loftet. Løsningen blev at måle på afkast fra filter, som ved teststald i Skanderborg bestod af fire parallelle afkast, som arbejdede identisk.

1.3 Dataintegration og modellering

Ud over medvirkning til denne arbejdspakke og milepæl, deltog Teknologisk Institut i projektets nedsatte datagrube, som havde til formål at definere dataflow og interfaces til det samlede målesystem. Alle GTS institutter brugte egne dataloggere, men en fælles interface til upload af data til databasen, skulle defineres.

2.2 Prototypeudstyr flowmåling

Teknologisk Institut udarbejdede en markedsundersøgelse med hensyn til eksisterende luftflowmåler herunder luftflowmålere som allerede bruges i forbindelse med svineproduktion. Målevingen fra VengSystem og Dynamic Air fra Skov blev testet i Teknologisk Instituts laboratorier.

Teknologisk Institut har genbrugt teknologien som bilbranchen har brugt til parkeringssensor og blindvinkelsalarm, ultralyd. Sensorerne i denne branche er fuld produktmodnet og findes som hyllevarer. Desuden er der udviklet en ny målemetode baseret på en vinkel måling kaldet klapsystemet som ligeledes er undergået en række laborietest.

2.4 Test og demonstration af samlet målesystem

Denne del af projektet blev udført i en teststald ved Skanderborg. Testen skulle give erfaringer med langtidstest af delkomponenter og det samlede udstyr til luftflowmåling. Det blev hurtigt klart at tilnavnsning var det store problem, især efter luftrensningsfilteret. På inder-siden af ventilationsrøret opbyggede der sig et 2-5mm tykt lag af ukendt snavs, som stoppede ultralydssensorerne efter to uger. Herefter blev der indarbejdet tiltag som signalforstærkning og sensorhovederne blev rykket væk fra selve luftstrømmen og monteret i lomme på ydersiden af ventilationsrøret. Det gav yderligere 6 ugers drift før tilnavnsning gav problemer igen.

Der skal derfor yderligere tiltag til før sensoren er modnet til det aggressive miljø. En mekanisk renseprocedure som beskrevet i forrige afsnit bør indarbejdes i sensoren.

Det skal fremadrettet undersøges, hvad det opbyggede snavs består af. Her tænkes på det snavs der opbygges efter luftfilteret. Det kan være nyttigt information i forbindelse med udvikling af en ny mekanisk renseprocedure.

Producenter af parkeringssystemer til bilbranchen bør kontaktes, hvis man ønsker yderligere udvikling af ultralydssensoren og erfaringer overført til landbrugssektoren.

Klapsystemet blev ligeledes opsat i teststalden. Under opsætning af systemet blev akselhængene fordrejet eller muligvis beskadiget. Måleværdierne som løbende er blevet logget giver derfor en forkert resultat ved omregning til en luftmængde. Fejlen er prøvet udbedret, men uden held. En del af forklaringen hvorfor fejlen ikke blev udbedret skyldes tilgængeligheden af systemet på loftet i stalden.

11 Bilag

Dynamic Air

Kolonner markeret med orange er parametre som styres manuelt. Kolonner markeret med blå er måleværdier. Kolonner markeret med en rød ramme henholdsvis referencemålingerne og målingerne foretaget for den pågældende sensor.

11.1 Nedenstående viser resultatet af testen med 100% åbning af spjæld.

Skov indstilling		Frekvens hjelpe- ventilator	Temperat ur efter hjelpe ventilator	Tryk venturi	Tryk i testkammer	Flow venturi	Skov tryktranducer			Flow Skov [m ³ /h]
Omdr. [%]	Omdr. [V]						Refence	Skov udgangs.	Skov omregnet	
[%]	[V]	[Hz]	[oC]	[Pa]	[Pa]	[m3/h]	[Pa]	[V]	[Pa]	[m3/h]
41	5,9	13,2	20,7	26,7	0,4	7057,80	41,70	1,01	38,25	6801,79
50	5	16	21,0	39,3	-0,5	8565,52	58,00	1,23	54,75	8137,66
60	4	19,2	21,1	56,3	0,2	10260,69	80,40	1,57	80,25	9852,12
80	2	25,4	20,3	98	0,8	13590,47	142,00	2,42	144	13197,41
100	0	30,6	20,7	142	0,5	16358,91	218,00	3,35	213,75	16079,05

Nedenstående viser resultatet af testen med 75% åbning af spjæld.

Skov indstilling		Frekvens hjelpe- ventilatoe	Temperat ur efter hjelpe ventilator	Tryk venturi	Tryk i testkammer	Flow venturi	Skov tryktranducer			Flow Skov [m ³ /h]
Omdr. [%]	Omdr. [V]						Refence	Skov udgangs.	Skov omregnet	
[%]	[V]	[Hz]	[oC]	[Pa]	[Pa]	[m3/h]	[Pa]	[V]	[Pa]	[m3/h]
41	5,9	12,2	21,3	22,7	-0,3	6492,23	64,90	1,35	63,75	5944,37
50	5	14,5	21,3	32,6	0,5	7782,68	91,20	1,71	90,75	7092,33
60	4	17,4	18,2	47,4	0,4	9441,83	137,00	2,32	136,50	8698,25
80	2	22,5	19,6	77,7	-0,8	12080,30	223,30	3,58	231,00	11315,44
100	0	27,7	21,1	116	-0,7	14749,63	348,00	4,90	330,00	13524,54

Nedenstående viser resultatet af testen med 60% åbning af spjæld.

Skov indstilling		Frekvens hjelpe- ventilatoe	Temperat ur efter hjelpe ventilator	Tryk venturi	Tryk i testkammer	Flow venturi	Skov tryktranducer			Flow Skov [m ³ /h]
Omdr. [%]	Omdr. [V]						Refence	Skov udgangs.	Skov omregnet	
[%]	[V]	[Hz]	[oC]	[Pa]	[Pa]	[m3/h]	[Pa]	[V]	[Pa]	[m3/h]
41	5,9	22	21,2	12,4	-0,3	4785,8	61,6	1,29	59,25	4234,29
50	5	17,8	21,3	17,8	0,5	5746,8	88,4	1,65	86,25	5108,76
60	4	32,3	21,6	25,4	0,7	6869,9	132,4	2,27	132,75	6338,02
80	2	16,5	21,4	42,2	0,4	8858,6	229,3	3,49	224,25	8237,63
100	0	20,1	21,5	62,8	0,8	10821,0	344,8	4,90	330,00	9992,94

Nedenstående viser resultatet af testen med 45% åbning af spjæld.

Skov indstilling		Frekvens hjælpe- ventilatoe	Temperat ur efter hjælpe ventilator	Tryk venturi	Tryk i testkammer	Flow venturi	Skov tryktranducer			Flow Skov [m ³ /h]
Omdr. [%]	Omdr. [V]						Refence	Skov udgangs.	Skov omregnet	
[%]	[V]	[Hz]	[oC]	[Pa]	[Pa]	[m3/h]	[Pa]	[V]	[Pa]	[m3/h]
41	5,9	12,5	21,0	4,2	0,3	2754,07	50,4	1,15	48,75	2600,05
50	5	15,5	21,1	6,5	-0,5	3446,91	76,0	1,50	75,00	3224,96
60	4	18,7	21,0	8,9	0,6	4043,06	110,3	1,95	108,75	3883,37
80	2	7,8	21,0	14,9	-0,4	5250,37	198,0	3,14	198,00	5239,95
100	0	12,7	21,0	22,7	0,7	6494,78	306,0	4,60	307,50	6530,05

Nedenstående viser resultatet af testen med 30% åbning af spjæld.

Skov indstilling		Frekvens hjælpe- ventilatoe	Temperat ur efter hjælpe ventilator	Tryk venturi	Tryk i testkammer	Flow venturi	Skov tryktranducer			Flow Skov [m ³ /h]
Omdr. [%]	Omdr. [V]						Refence	Skov udgangs.	Skov omregnet	
[%]	[V]	[Hz]	[oC]	[Pa]	[Pa]	[m3/h]	[Pa]	[V]	[Pa]	[m3/h]
41	5,9	3,9	19,21	13,1	0,1	1257,203	60,2	1,29	59,25	1653,95
50	5	4,7	18,53	19,4	0,1	1536,136	87,3	1,68	88,5	2021,39
60	4	5,7	18,72	28,5	-0,2	1863,935	130	2,22	129	2440,47
80	2	7,8	19,01	53,8	0,3	2564,607	225,8	3,56	229,5	3255,15
100	0	9,6	19,16	83,4	0,4	3196,3	342,1	5,04	340,5	3964,95

Nedenstående viser resultatet af testen med 15% åbning af spjæld.

Skov indstilling		Frekvens hjælpe- ventilatoe	Temperat ur efter hjælpe ventilator	Hastighe d i tragt	Tryk i testkammer	Flow venturi	Skov tryktranducer			Flow Skov [m ³ /h]
Omdr. [%]	Omdr. [V]						Refence	Skov udgangs.	Skov omregnet	
[%]	[V]	[Hz]	[oC]	[m/s]	[Pa]	[m3/h]	[Pa]	[V]	[Pa]	[m3/h]
41	5,9	1,3	18,87	1,95	-0,1	273	70	1,39	66,75	685,72
50	5	1,5	18,92	2,38	0,1	333,2	97,7	1,85	101,25	844,54
60	4	1,8	19,26	2,82	0,4	394,8	137	2,4	142,5	1001,91
80	2	2,2	19,45	3,67	-0,1	513,8	258,2	3,89	254,25	1338,30
100	0	2,4	19,40	4,03	0,2	564,2	307	4,63	309,75	1477,16

Teknologisk Institut

Spjæld	Skov indstilling		Frekvens hjælpe-ventilatoe	Temperatur efter hjælpe ventilator	Tryk venturi	Tryk i testkammer	Reference flow (Venturi)	Skov tryktranducer			Flow Skov
	Omdr. [%]	Omdr. [V]						Refence	Skov udgangs.	Skov omregnet	
[%]	[%]	[V]	[Hz]	[oC]	[Pa]	[Pa]	[m3/h]	[Pa]	[V]	[Pa]	[m3/h]
100	41	5,9	13,2	20,7	26,7	0,4	7057,80	41,70	1,01	38,25	6801,79
100	50	5	16	21,0	39,3	-0,5	8565,52	58,00	1,23	54,75	8137,66
100	60	4	19,2	21,1	56,3	0,2	10260,69	80,40	1,57	80,25	9852,12
100	80	2	25,4	20,3	98	0,8	13590,47	142,00	2,42	144	13197,41
100	100	0	30,6	20,7	142	0,5	16358,91	218,00	3,35	213,75	16079,05
75	41	5,9	12,2	21,3	22,7	-0,3	6492,23	64,90	1,35	63,75	5944,37
60	41	5,9	22	21,2	12,4	-0,3	4785,8	61,6	1,29	59,25	4234,29
45	41	5,9	12,5	21,0	4,2	0,3	2754,07	50,4	1,15	48,75	2600,05
30	41	5,9	3,9	19,21	13,1	0,1	1257,203	60,2	1,29	59,25	1653,95
15	41	5,9	1,3	18,87	1,95	-0,1	273	70	1,39	66,75	685,72

Skov indstilling		Frekvens hjælpe-ventilatoe	Temperatur efter hjælpe ventilator	Tryk venturi	Tryk i testkammer	Reference flow (Venturi)	Skov tryktranducer			Flow Skov
Omdr. [%]	Omdr. [V]						Refence	Skov udgangs.	Skov omregnet	
[%]	[V]	[Hz]	[oC]	[Pa]	[Pa]	[m3/h]	[Pa]	[V]	[Pa]	[m3/h]
41	5,9	13,4	20,13	27,80	0,40	7202,25	39,60	1,01	38,25	6801,79
50	5	16,3	20,18	41,20	0,50	8772,76	60,30	1,28	58,50	8411,73
60	4	19,3	20,47	57,20	0,60	10342,97	85,80	1,60	82,50	9989,28
80	2	25,4	20,57	98,70	0,70	13612,02	134,10	2,45	146,25	13300,11
100	0	31	20,08	145,00	0,40	16518,94	218,00	3,35	213,75	16079,05

Skov indstilling		Frekvens hjælpe-ventilatoe	Temperatur efter hjælpe ventilator	Tryk venturi	Tryk i testkammer	Reference flow (Venturi)	Skov tryktranducer			Flow Skov
Omdr. [%]	Omdr. [V]						Refence	Skov udgangs.	Skov omregnet	
[%]	[V]	[Hz]	[oC]	[Pa]	[Pa]	[m3/h]	[Pa]	[V]	[Pa]	[m3/h]
41	5,9	12,2	20,72	22,80	0,00	6545,55	61,30	1,35	63,75	5944,37
50	5	14,9	20,86	33,60	0,20	7948,20	97,90	1,78	96,00	7294,59
60	4	17,8	20,96	47,50	0,20	9457,33	126,80	2,36	139,50	8793,31
80	2	23,2	21,25	79,80	0,30	12272,45	217,50	3,50	225,00	11167,52
100	0	28,4	21,05	119,00	0,40	15005,44	325,80	4,82	324,00	13401,02

Teknologisk Institut

Skov indstilling		Frekvens hjelpe- ventilatoe	Temperatur efter hjelpe- ventilator	Tryk venturi	Tryk i testkammer	Reference flow (Venturi)	Skov tryktranducer			Flow Skov
Omdr. [%]	Omdr. [V]						Refence	Skov udgangs.	Skov omregnet	
[%]	[V]	[Hz]	[oC]	[Pa]	[Pa]	[m3/h]	[Pa]	[V]	[Pa]	[m3/h]
41	5,9	8,8	20,67	11,80	0,00	4689,87	57,80	1,26	57,00	4153,11
50	5	10,8	20,67	17,50	0,30	5726,72	89,10	1,67	87,75	5152,99
60	4	12,7	20,52	24,30	0,40	6759,43	124,70	2,17	125,25	6156,37
80	2	16,8	20,67	42,70	-0,20	8966,07	236,70	3,61	233,25	8401,31
100	0	20,7	20,52	64,20	0,40	11009,99	335,90	5,03	339,75	10139,48

Skov indstilling		Frekvens hjelpe- ventilatoe	Temperatur efter hjelpe- ventilator	Tryk venturi	Tryk i testkammer	Reference flow (Venturi)	Skov tryktranducer			Flow Skov
Omdr. [%]	Omdr. [V]						Refence	Skov udgangs.	Skov omregnet	
[%]	[V]	[Hz]	[oC]	[Pa]	[Pa]	[m3/h]	[Pa]	[V]	[Pa]	[m3/h]
41	5,9	8	19,31	57,20	0,30	2657,50	49,20	1,13	47,25	2559,74
50	5	9,6	19,26	83,60	-0,20	3218,09	73,00	1,46	72,00	3159,81
60	4	11,4	19,16	120,00	0,00	3861,97	104,20	1,92	106,50	3842,99
80	2	15,6	108,97	227,00	-0,20	5307,39	189,60	3,10	195,00	5200,10
100	0	19,2	20,47	343,00	0,10	6523,74	314,90	4,47	297,75	6425,69

Skov indstilling		Frekvens hjelpe- ventilatoe	Temperatur efter hjelpe- ventilator	Tryk venturi	Tryk i testkammer	Reference flow (Venturi)	Skov tryktranducer			Flow Skov
Omdr. [%]	Omdr. [V]						Refence	Skov udgangs.	Skov omregnet	
[%]	[V]	[Hz]	[oC]	[Pa]	[Pa]	[m3/h]	[Pa]	[V]	[Pa]	[m3/h]
41	5,9	8,8	19,74	13,1	0,2	1262,81	55,8	1,22	54	1578,98
50	5	10,6	19,84	19,1	0,3	1529,27	81,8	1,58	81	1933,85
60	4	12,5	19,99	27,7	0,2	1843,35	123,9	2,14	123	2383,04
80	2	17,4	20,13	55,7	0,4	2618,23	226,7	3,53	227,25	3239,15
100	0	21,4	20,81	84,8	0,5	3235,97	360,1	5,04	340,5	3964,95

Skov indstilling		Frekvens hjelpe- ventilatoe	Temperatur efter hjelpe- ventilator	Hastighe d i tragt	Tryk i testkammer	Reference flow (Venturi)	Skov tryktranducer			Flow Skov
Omdr. [%]	Omdr. [V]						Refence	Skov udgangs.	Skov omregnet	
[%]	[V]	[Hz]	[oC]	[m/s]	[Pa]	[m3/h]	[Pa]	[V]	[Pa]	[m3/h]
41	5,9	6,1	19,45	2,02	0	282,8	60,8	1,31	60,75	654,18
50	5	5,2	19,45	2,41	0	337,4	92	1,74	93	809,40
60	4	6	19,50	2,91	0	407,4	141,3	2,35	138,75	988,64
80	2	8	19,11	3,83	0	536,2	247	3,79	246,75	1318,41
100	0	5,5	18,97	4,56	0	638,4	352,3	4,97	335,25	1536,76

Spjæld	Skov indstilling		Frekvens hjælpe-ventilatøe	Temperatur efter hjælpe ventilator	Hastighed i tragt	Tryk i testkammer	Referenc e flow (Venturi)	Skov tryktranducer			Flow Skov
	Omdr. [%]	Omdr. [V]						Refence	Skov udgangs.	Skov omregne t	Omregne t iht. skov
[%]	[%]	[V]	[Hz]	[oC]	[Pa]	[Pa]	[m3/h]	[Pa]	[V]	[Pa]	[m3/h]
100	41	5,9	13,4	20,13	27,80	0,40	7202,25	39,60	1,01	38,25	6801,79
100	50	5	16,3	20,18	41,20	0,50	8772,76	60,30	1,28	58,50	8411,73
100	60	4	19,3	20,47	57,20	0,60	10342,97	85,80	1,60	82,50	9989,28
100	80	2	25,4	20,57	98,70	0,70	13612,02	134,10	2,45	146,25	13300,11
100	100	0	31	20,08	145,00	0,40	16518,94	218,00	3,35	213,75	16079,05
75	41	5,9	12,2	20,72	22,80	0,00	6545,55	61,30	1,35	63,75	5944,37
60	41	5,9	8,8	20,67	11,80	0,00	4689,87	57,80	1,26	57,00	4153,11
45	41	5,9	8	19,31	57,20	0,30	2657,50	49,20	1,13	47,25	2559,74
30	41	5,9	8,8	19,74	13,1	0,2	1262,81	55,8	1,22	54	1578,98
15	41	5,9	6,1	19,45	2,02	0	282,8	60,8	1,31	60,75	654,18

Målevinge

11.2

Nedenstående viser resultatet af testen med målevingen placeret på tryksiden af ventilatoren.

Spjæld	Skov indstilling		Frekvens hjælpe-ventilatøe	Temperatur ved venturi	Temperatur efter hjælpe ventilator	Tryk venturi	Tryk i testkammer	Flow venturi	Flow Målevinger
	Omdr. [%]	Omdr. [V]							
[%]	[%]	[V]	[Hz]	[oC]	[oC]	[Pa]	[Pa]	[m3/h]	[m3/h]
100	41	5,9	12,8	18,4	17,9	25,6	0,1	6905,1	5716,2
100	50	5	15,5	18,0	18,0	37,1	0,2	8321,0	6944,2
100	60	4	18,4	19,1	18,9	51,9	0,4	9832,9	8281,6
100	70	3	21,2	18,2	18,4	69	-0,2	11362,7	9543,5
100	90	1	26,6	18,3	18,5	107	0,5	14151,2	12038,2
75	41	5,9	11,7	18,4	18,4	21,1	0	6267,8	4975,7
75	50	5	14	18,5	18,5	30,4	0,2	7524,3	6003,0
75	70	3	19,2	18,8	18,7	56,5	0,2	10266,6	8262,3
75	90	1	23,9	18,8	18,9	87,2	0,4	12772,6	10342,3
45	50	5	6,3	18,9	18,6	6,3	0	3393,9	1413,5
45	70	3	8,5	18,7	18,7	11,3	0	4564,5	1947,1

Nedenstående viser resultatet af testen med målevingen placeret på sugesiden af ventilatoren.

Spjæld	Skov indstilling		Frekvens hjælpe-ventilatoe	Temperatur ved venturi	Temperatur efter hjælpe ventilator	Tryk venturi	Tryk i testkammer	Flow venturi	Flow Målevinger
	Omdr. [%]	Omdr. [V]							
[%]	[%]	[V]	[Hz]	[oC]	[oC]	[Pa]	[Pa]	[m3/h]	[m3/h]
100	41	5,9	12,7	19,6	19,5	24,2	0	6709,4	6719,3
100	50	5	15,4	20,1	20,0	36,3	0	8214,1	8215,8
100	60	4	18,2	20,4	20,4	50,7	-0,1	9710,2	9752,5
100	70	3	21,1	20,4	20,7	67,3	-0,1	11197,6	11291,2
100	90	1	26,6	20,8	21,1	107	0,3	14135,9	14265,1
75	41	5,9	9,5	19,4	19,4	13,7	0	5040,9	5045,4
75	50	5	11,5	20,0	20,0	20,2	0	6131,3	6118,8
75	60	4	13,6	20,7	20,5	28,3	0,1	7252,7	7251,6
75	70	3	15,7	21,4	20,9	37,6	-0,1	8353,8	8387,6
75	90	1	20	21,1	20,9	60,8	0,2	10639,5	10744,8
60	41	5,9	5,6	20,8	20,8	4,8	0,2	2951,4	2912,0
60	50	5	6,7	21,0	20,8	6,9	0,1	3550,9	3514,0
60	60	4	7,9	21,1	20,9	9,6	0	4197,3	4188,6
60	70	3	9,2	21,2	21,0	13	0,1	4894,2	4865,2
60	90	1	11,8	21,3	21,1	21,2	0,1	6269,2	6273,8
45	41	5,9	12,9	20,5	20,7	21,5	0,2	1600,8	1562,4
45	50	5	15,1	20,8	20,9	30	0,1	1891,6	1866,3
45	60	4	18	20,8	21,0	43,5	0,1	2280,0	2258,2
45	70	3	20,8	20,8	21,0	59,6	0,1	2671,5	2643,3
45	90	1	9,9	21,0	21,0	90,5	0,1	3297,4	3273,3
30	41	5,9	6	20,8	20,9	4,5	-0,1	720,9	673,7
30	50	5	7,2	20,9	21,0	6,6	0	877,8	837,1
30	60	4	8,7	21,1	21,1	9,5	0,1	1055,9	1030,7
30	70	3	9,9	21,2	21,2	12,7	0,1	1223,9	1189,9
30	90	1	12,4	20,9	21,3	20,4	-0,1	1557,9	1527,1

Klapsystem

Nedenstående viser resultatet af testen med klapsystemet.

11.3

Skov indstilling		Spjæld åbning	Flow venturi	Klapesystem		Kontra vægt
Omdr . [%]	Omdr . [V]			Turck vinkel måler	Beregnet vinkel	
[%]	[V]	[%]	[m ³ /h]	[V]	[°]	[Kg]
100	0	100	15766	0,92	60,0	0,15
95	0,5	100	14800	0,94	59,1	0,15
90	1	100	14166	0,96	58,5	0,15
85	1,5	100	13570	0,992	57,4	0,15
80	2	100	12840	1,02	56,3	0,15
75	2,5	100	11835	1,06	54,9	0,15
70	3	100	10886	1,093	53,7	0,15
65	3,5	100	10117	1,135	52,1	0,15
60	4	100	9120	1,175	50,7	0,15
55	4,5	100	8344	1,23	48,6	0,15
50	5	100	7287	1,282	46,7	0,15
45	5,5	100	6210	1,35	44,2	0,15
41	5,9	100	5538	1,425	41,5	0,15
100	0	46	5188	1,52	38,3	0,15
90	1	46	4541	1,555	37,3	0,15
80	2	46	4229	1,628	34,7	0,15
70	3	46	3554	1,675	33,0	0,15
60	4	46	2934	1,71	31,8	0,15
50	5	46	2293	1,76	30,0	0,15
41	5,9	46	1874	1,86	26,5	0,15
41	5,9	35	1320	1,97	22,6	0,15
41	5,9	25	685,79	2,14	16,7	0,15
41	5,9	10	176,64	2,582	1,09155	0,15

Ultralyd

Nedenstående viser resultatet af testen med ultralyd placeret på tryksiden med to kanalsektioner.

11.4

spjældindstilling af åbning	Skovindstillin Omdr. [%]	Omdr. [V]	Frekvenshjelpe- [Hz]	Temperatur ved [oC]	Temperatur efter [oC]	Trykventuri [Pa]	Tryk i testkam [Pa]	Flowventuri [m3/h]	Ultralyd (af læsning af display)		
									Sansor 1	Sansor 2	Differenc e mellem 1 og 2
%	[%]	[V]	[Hz]	[oC]	[oC]	[Pa]	[Pa]	[m3/h]			
34	41	5,9	5,1	19,49342	19,16039	23,2	0,1	1678,4	1789,0	1753,5	53,0
45	41	5,9	5,3	20,5	20,4	4,1	0	2731,1	1790,5	1751,5	59,5
49	41	5,9	6,1	20,2	19,9	5,6	0,1	3211,4	1801,5	1749,5	69,5
45	50	5	6,3	19,5	19,3	6,1	0,1	3357,5	1820,5	1766,5	71,5
45	60	4	7,3	19,9	19,6	8	0,1	3850,3	1818,5	1740,0	87,0
60	41	5,9	8,7	20,1	19,8	11,4	0,1	4605,3	1818,5	1738,5	93,5
45	80	2	9,7	20,4	19,9	13,9	-0,2	5090,7	1856,0	1714,0	111,0
66	41	5,9	10,4	20,1	19,9	15,9	0,1	5452,4	1843,5	1715,0	134,0
60	50	5	10,6	20,2	19,9	16,9	0,1	5623,0	1836,0	1726,5	121,0
45	90	1	12	20,8	20,2	21,3	0,2	6314,3	1818,0	1721,0	159,5
75	41	5,9	12,2	20,2	20,3	22,5	0,1	6482,5	1855,0	1683,5	171,0
60	60	4	12,7	20,4	20,1	24,3	0,1	6750,5	1849,0	1748,5	141,5
100	41	5,9	13,4	21,0	20,5	27,3	0,1	7132,3	1871,0	1668,0	170,0
75	50	5	14,8	20,6	20,6	33,3	0,2	7885,3	1851,5	1611,0	208,5
100	50	5	16,4	21,6	21,2	40,6	0,2	8694,7	1858,5	1642,0	214,5
60	80	2	16,5	20,3	20,3	41,1	-0,2	8785,6	1913,5	1743,0	192,5
75	60	4	17,7	20,6	20,7	47,2	0,3	9394,0	1876,5	1695,0	261,0
100	60	4	19,5	20,4	20,6	57,8	0,2	10404,6	1943,5	1625,5	268,0
60	90	1	20,1	20,5	20,5	61,1	0,2	10720,9	1905,5	1715,5	228,0
75	80	2	23	20,7	21,1	79,4	0	12201,1	2008,5	1591,5	325,0
100	80	2	25,5	20,6	20,7	97,9	0,1	13563,6	1932,5	1650,0	350,0
75	100	0	28	20,8	21,2	117	0,4	14827,3	2000,0	1616,0	422,5
100	100	0	30,9	20,7	21,1	143	0,3	16396,6	2023,5	1565,5	412,0

Nedenstående viser resultatet af testen med ultralyd placeret på tryksiden med syv kanalsektioner.

spjældindstilling af åbning	Skovindstillin Omdr. [%]	Omdr. [V]	Frekvenshjelpe- [Hz]	Temperatur ved [oC]	Temperatur efter [oC]	Trykventuri [Pa]	Tryk i testkam [Pa]	Flowventuri [m3/h]	Ultralyd (af læsning af display)		
									Sansor 1	Sansor 2	Differenc e mellem 1 og 2
%	[%]	[V]	[Hz]	[oC]	[oC]	[Pa]	[Pa]	[m3/h]			
34	41	5,9	5,1	20,7	20,6	22,6	0	1675,0	1823,5	1784,5	47,5
49	41	5,9	9,7	20,8	20,6	83,7	0	3237,1	1905,0	1781,5	90,0
66	41	5,9	16,5	20,8	20,7	251	0,1	5617,5	1942,0	1736,0	164,0
100	41	5,9	13,2	20,1	20,1	25,6	0	7037,2	1902,0	1724,0	179,5
100	50	5	16	20,3	20,3	37,5	-0,2	8517,6	1918,5	1700,0	249,0
100	60	4	18,9	20,8	20,6	52,1	0,1	10040,0	1993,0	1687,5	262,0
100	80	2	24,8	20,8	20,9	89,1	0,2	13151,6	2023,5	1642,5	340,0
100	100	0	30,1	21,0	21,2	130	-0,1	15894,1	2042,0	1647,5	404,0

Nedenstående viser resultatet af testen med ultralyd placeret på sugesiden og med målevinge.

spjæld indstillin ger af åbning	Skov indstillin Omdr. [%]	Omdr. [V]	Frekvens hjelpe-	Tempera tur ved	Tempera tur efter	Tryk venturi	Tryk i testkam	Flow venturi	Ultralyd (aflæsning af display)		
									Sansor 1	Sansor 2	Differenc e mellem 1 og 2
%	[%]	[V]	[Hz]	[oC]	[oC]	[Pa]	[Pa]	[m3/h]			
30	41	5,9	6	20,8	20,9	4,5	-0,1	720,9	1726,5	1707,0	18,0
30	50	5	7,2	20,9	21,0	6,6	0	877,8	1726,5	1704,5	23,0
30	60	4	8,7	21,1	21,1	9,5	0,1	1055,9	1725,5	1699,5	26,5
30	70	3	9,9	21,2	21,2	12,7	0,1	1223,9	1725,5	1695,0	31,0
30	90	1	12,4	20,9	21,3	20,4	-0,1	1557,9	1729,5	1692,5	38,5
45	41	5,9	12,9	20,5	20,7	21,5	0,2	1600,8	1740,5	1700,0	41,0
45	50	5	15,1	20,8	20,9	30	0,1	1891,6	1741,0	1695,5	46,5
45	60	4	18	20,8	21,0	43,5	0,1	2280,0	1742,0	1685,0	57,5
45	70	3	20,8	20,8	21,0	59,6	0,1	2671,5	1747,0	1678,5	68,5
60	41	5,9	5,6	20,8	20,8	4,8	0,2	2951,4	1812,0	1737,0	77,0
45	90	1	9,9	21,0	21,0	90,5	0,1	3297,4	1808,0	1731,0	80,0
60	50	5	6,7	21,0	20,8	6,9	0,1	3550,9	1823,0	1728,0	89,0
60	60	4	7,9	21,1	20,9	9,6	0	4197,3	1824,5	1716,5	117,5
60	70	3	9,2	21,2	21,0	13	0,1	4894,2	1826,5	1706,0	143,0
75	41	5,9	9,5	19,4	19,4	13,7	0	5040,9	1866,5	1741,5	135,5
75	50	5	11,5	20,0	20,0	20,2	0	6131,3	1867,5	1713,5	162,5
60	90	1	11,8	21,3	21,1	21,2	0,1	6269,2	1849,5	1686,0	162,0
100	41	5,9	12,7	19,6	19,5	24,2	0	6709,4	1889,0	1705,0	179,5
75	60	4	13,6	20,7	20,5	28,3	0,1	7252,7	1874,0	1685,0	180,5
100	50	5	15,4	20,1	20,0	36,3	0	8214,1	1897,5	1684,0	223,0
75	70	3	15,7	21,4	20,9	37,6	-0,1	8353,8	1884,0	1671,0	215,0
100	60	4	18,2	20,4	20,4	50,7	-0,1	9710,2	1910,0	1645,5	291,0
75	90	1	20	21,1	20,9	60,8	0,2	10639,5	1905,0	1642,5	273,0
100	70	3	21,1	20,4	20,7	67,3	-0,1	11197,6	1990,5	1644,5	324,0
100	90	1	26,6	20,8	21,1	107	0,3	14135,9	2065,0	1646,5	386,0

Nedenstående viser resultatet af testen med ultralyd placeret på sugesiden og med lineari-sator kryds.

spjæld indstillin ger af åbning	Skov indstillin Omdr. [%]	Omdr. [V]	Frekvens hjælpe-	Tempera tur ved	Tempera tur efter	Tryk venturi	Tryk i testkam	Flow venturi	Ultralyd (af læsning af display)		
									Sansor 1	Sansor 2	Differenc e mellem 1 og 2
%	[%]	[V]	[Hz]	[oC]	[oC]	[Pa]	[Pa]	[m3/h]			
34	41	5,9	12,8	20,1	20,1	7,6	0	944,5	1856,0	1856,0	25,0
49	41	5,9	14,3	20,1	20,1	26,8	0	1789,3	1929,5	1827,0	53,5
66	3,4	11,3	119	20,1	20,0	119	0	3790,5	1954,0	1801,5	103,5
100	41	5,9	12,8	19,6	19,4	25	0	6827,8	2013,5	1782,0	179,5
100	50	5	15,6	19,9	19,6	37	-0,1	8306,2	2084,5	1755,5	229,0
100	60	4	18,5	20,0	19,8	51,4	0,1	9796,7	2101,5	1736,0	345,5
100	80	2	24,4	20,1	20,2	89,6	0,2	12956,0	2139,0	1691,5	432,0
100	100	0	29,7	20,3	20,4	132	0,3	15734,7	2111,5	1657,0	522,0

Nedenstående viser resultatet af testen med ultralyd placeret på tryksiden af ventilatoren med datalogger monteret.

Omdr.	Omdr.	Frekvenso mformer	Tryk venturi UK.	Tryk i testkam mer	Flow venturi ved 20°C	Sansor 1	Sansor 2	Differenc e mellem sensor 1 og 2	Hastighed i Ultralyd	Hastighed omregnet fra reference flow
[%]	[V]	[Hz]	[Pa]	[Pa]	[m3/h]					[m/s]
100	0	31,1	129,2	-1,2	15950,4	5880,0	5686,9	213,2	11,6	13,4
80	2	25,4	89,4	0,0	13265,8	5897,0	5685,1	218,9	9,3	11,1
60	4	19,5	53,0	0,1	10197,7	5874,2	5711,1	165,6	6,6	8,5
50	5	16,4	37,7	0,1	8584,8	5835,9	5719,0	113,6	5,3	7,2
41	5,9	13,4	25,0	0,4	6984,6	5836,7	5732,9	102,1	4,3	5,8
41	5,9	16,7	243,0	-0,3	5553,2	5812,6	5747,6	65,0	3,3	4,6
41	5,9	9,5	80,3	0,1	3191,4	5807,4	5784,4	23,0	1,6	2,7
41	5,9	5,1	21,7	0,2	1652,0	5798,1	5785,4	12,8	1,3	1,4