

Funksjonstest av ventilasjonsvifte

Kjell Erik Lien

Master i energi og miljø
Oppgaven levert: Juni 2010
Hovedveileder: Ole Gunnar Dahlhaug, EPT

Oppgavetekst

Bakgrunn

Nye EU-direktiver legger press på å komme med nye løsninger som gir lavere energi forbruk i bygninger. Da ventilasjon av bygg krever mye energi, vil optimalisering av komponenter i ventilasjon systemene bidra til lavere energi forbruk. Det er behov for 8000 nye vifter til slike ventilasjon system hver år i Norge alene. I tillegg kommer utskifting av eldre vifter fra 30000 norske næringsbygg hvert år. Dersom det er mulig å redusere energi forbruket fra viftene vil dette gi en betydelig energi besparelse samtidig som det blir lettere å nå kravene fra flere direktiver som krever lav energi forbruk i bygninger.

Denne masteroppgaven vil sammenligne state of the art med et nytt design for finne ut hvor mye virkningsgraden kan økes ved designendring av slike vifter.

Mål

Oppgradere testtrigg for virkningsgradsmålinger på vifter og gjennomføre virkningsgradsmålinger på to vifte design.

Oppgaven bearbeides ut fra følgende punkter:

1. Planlegge endringer på testtrigg for en vifter
 - a. Momenmtmåler på hovedaksling mellom motor og løpehjul
 - b. Verifisere/ forbedre volumstrømsmåling
 - c. Installere frekvensomformer
2. Etablere måle- og kalleringsrutiner for funksjonstest av vifter
 - a. Gjennomføre programmering med LabView til bruk i laboratoriet
 - b. Gjennomføre kalibrering av hastighetsmåler, trykkfølere, temperaturfølere, lastceller, etc.
 - c. Skrive detaljerte måle- og kalibreringsrutiner
3. Gjennomføre følgende målinger på en vifte
 - a. Volumstrøm
 - b. Trykk
 - c. Temperatur
 - d. Effekt til el-motor og Moment på aksling
 - e. Turtall på viften
 - f. Beregning av virkningsgrad
4. Det skal utarbeides en foretningsplan for et nytt selskap som skal designe og selge vifter. Dette skal gjennomføres i samarbeid med Sondre Nenseter og Halvor Haugsvold.
 - a. Dersom det er tid skal foretningsplanen legges frem i en konkurranse.

Hovedoppgaven gjennomføres i samarbeid med Sondre Nenseter og Halvor Haugsvold.

Oppgaven gitt: 21. januar 2010

Hovedveileder: Ole Gunnar Dahlhaug, EPT

EPT-M-2010-37

MASTEROPPGAVE

for
Kjell Erik Lien
Våren 2010

Funksjonstest av ventilasjonsvifte *Performance measurements of a ventilation fan*

Bakgrunn

Nye EU-direktiver legger press på å komme med nye løsninger som gir lavere energi forbruk i bygninger. Da ventilasjon av bygg krever mye energi, vil optimalisering av komponenter i ventilasjon systemene bidra til lavere energi forbruk. Det er behov for 8000 nye vifter til slike ventilasjon system hver år i Norge alene. I tillegg kommer utskifting av eldre vifter fra 30000 norske næringsbygg hvert år. Dersom det er mulig å redusere energi forbruket fra viftene vil dette gi en betydelig energi besparelse samtidig som det blir lettere å nå kravene fra flere direktiver som krever lav energi forbruk i bygninger.

Denne masteroppgaven vil sammenligne "state of the art" med et nytt design for finne ut hvor mye virkningsgraden kan økes ved designendring av slike vifter.

Mål

Oppgradere testrigg for virkningsgradsmålinger på vifter og gjennomføre virkningsgradsmålinger på to vifte design.

Oppgaven bearbeides ut fra følgende punkter:

1. Planlegge endringer på testrigg for en vifter
 - a. Momenmtmåler på hovedaksling mellom motor og løpehjul
 - b. Verifisere/ forbedre volumstrømsmåling
 - c. Installere frekvensomformer
2. Etablere måle- og kalleringsrutiner for funksjonstest av vifter
 - a. Gjennomføre programmering med LabView til bruk i laboratoriet
 - b. Gjennomføre kalibrering av hastighetsmåler, trykkfølere, temperaturfølere, lastceller, etc.
 - c. Skrive detaljerte måle- og kalibreringsrutiner
3. Gjennomføre følgende målinger på en vifte
 - a. Volumstrøm
 - b. Trykk
 - c. Temperatur
 - d. Effekt til el-motor og Moment på aksling
 - e. Turtall på viften
 - f. Beregning av virkningsgrad
4. Det skal utarbeides en foretningsplan for et nytt selskap som skal designe og selge vifter. Dette skal gjennomføres i samarbeid med Sondre Nenseter og Halvor Haugsvold.
 - a. Dersom det er tid skal foretningsplanen legges frem i en konkurranse.

Hovedoppgaven gjennomføres i samarbeid med Sondre Nenseter og Halvor Haugsvold.

Senest 14 dager etter utlevering av oppgaven skal kandidaten levere/sende instituttet en detaljert fremdrift- og eventuelt forsøksplan for oppgaven til evaluering og eventuelt diskusjon med faglig ansvarlig/veiledere. Detaljer ved eventuell utførelse av dataprogrammer skal avtales nærmere i samråd med faglig ansvarlig.

Besvarelsen redigeres mest mulig som en forskningsrapport med et sammendrag både på norsk og engelsk, konklusjon, litteraturliste, innholdsfortegnelse etc. Ved utarbeidelsen av teksten skal kandidaten legge vekt på å gjøre teksten oversiktlig og velskrevet. Med henblikk på lesning av besvarelsen er det viktig at de nødvendige henvisninger for korresponderende steder i tekst, tabeller og figurer anføres på begge steder. Ved bedømmelsen legges det stor vekt på at resultatene er grundig bearbeidet, at de oppstilles tabellarisk og/eller grafisk på en oversiktlig måte, og at de er diskutert utførlig.

Alle benyttede kilder, også muntlige opplysninger, skal oppgis på fullstendig måte. For tidsskrifter og bøker oppgis forfatter, tittel, årgang, sidetall og eventuelt figurnummer.

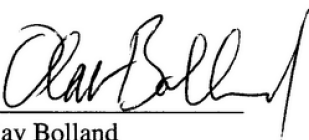
Det forutsettes at kandidaten tar initiativ til og holder nødvendig kontakt med faglærer og veileder(e). Kandidaten skal rette seg etter de reglementer og retningslinjer som gjelder ved alle (andre) fagmiljøer som kandidaten har kontakt med gjennom sin utførelse av oppgaven, samt etter eventuelle pålegg fra Institutt for energi- og prosesssteknikk.

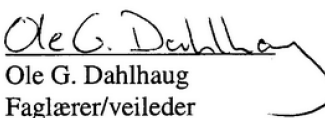
I henhold til "Utfyllende regler til studieforskriften for teknologistudiet/sivilingeniørstudiet" ved NTNU § 20, forbeholder instituttet seg retten til å benytte alle resultater og data til undervisnings- og forskningsformål, samt til fremtidige publikasjoner.

Ett -1 komplett eksemplar av originalbesvarelsen av oppgaven skal innleveres til samme adressat som den ble utlevert fra. Det skal medfølge et konsentrert sammendrag på maksimalt én maskinskrevet side med dobbel linjeavstand med forfatternavn og oppgavetittel for evt. referering i tidsskrifter).

Til Instituttet innleveres to -2 komplette kopier av besvarelsen. Ytterligere kopier til eventuelle medveiledere/oppgavegivere skal avtales med, og eventuelt leveres direkte til de respektive. Til instituttet innleveres også en komplett kopi (inkl. konsentrerte sammendrag) på CD-ROM i Word-format eller tilsvarende.

NTNU, Institutt for energi- og prosesssteknikk, 12. januar 2010


Olav Bolland
Instituttleder


Ole G. Dahlhaug
Faglærer/veileder

Forord

Rapporten oppsummerer arbeidet med utviklingen av en testtrigg som er designet for å måle statisk virkningsgrad til ventilasjonsvifter ved Vannkraftlaben NTNU. Bygging av testtriggen er en av tre oppgaver som til sammen skal kartlegge om det er interessant å gå videre med oppstart av et selskap som produserer vifter. Det har tidvis vært lange dager i laben preget av prøving og feiling i valg av måleprinsipper og mekanisk utførelse. Jeg vil rette en stor takk til mekanikerne ved Vannkraftlaboratoriet, som på en dyktig måte, uten å forhaste seg, har løst oppgaver av ulik art. Veileder Ole Gunnar Dahlhaug har vært en ressursperson når han har vært tilstede, og hans smittende entreprenørinnstilling har skapt en ny dimensjon i arbeidet. Diskusjoner innad i teamet med Halvor Haugsvold og Sondre Nenseter har bidratt til gjøre arbeidet med oppgaven faglig interessant og motiverende. Videre har Phd-studentene ved Vannkraftlaboratoriet hjulpet til når en stakkars stud.techn tidvis har sittet fast. Til slutt må det sosiale miljøet ved Vannkraftlaben gis all honnør, uten morro og lek med medstudentene ville våren blitt mang en latter fattigere.

Kjell Erik Lien

Kjell Erik Lien, Trondheim, juni 2010.

Sammendrag

Økt fokus på energibruk i bygninger gjør det interessant å sjekke virkningsgrad til vifter for ventilasjonsformål som mistenkes å være lav. 15 % av energien i nye bygg går i dag til å drive ventilasjonsvifter. Slik designen er på "state of the art" vifter i dag tapes nesten alt dynamisk trykk, og virkningsgraden til vifta i det systemet den står blir dermed lav. Utformingen av vifta er enkel for å holde produksjon- og materialkostnadene nede. Det er interessant å finne ut om det er mulig å få til produksjon av vifter med høy virkningsgrad i det nye regimet som strengere forskrifter vil skape.

Denne oppgaven er en av tre som til sammen skal avgjøre om de involverte skal danne et selskap som produserer vifter. Det er skrevet en forretningsplan og teknisk arbeid har bestått av: design av løpehjul og diffusor, test av design i CFD og i laboratorium. Hovedinnholdet i denne rapporten oppsummerer byggingen av en testrigg som skal benyttes til måle statistisk virkningsgrad på vifter. Testriggen ble påbegynt høsten 2009 og arbeidet ble videreført våren 2010. Det har blitt gjort virkningsgradsmålinger og laget viftekarakteristikker for to ulike viftedesign og to typer diffusorer. Resultatene sammenfaller bra med CFD-simuleringene og er i tråd med hva man kan forvente fra teori. Mistanken om at kommersielle vifter har lavere virkningsgrad i det systemet de benyttes i enn hva som er oppgitt er bekreftet. Dette oppfordrer til videre arbeid med å se på en bedret totalløsning; vifte, diffusor og viftehus må i langt større grad designes sammen slik at samspillet disse imellom optimeres. Det har blitt laget et slikt design som har 5.4 % høyere virkningsgrad enn referansevifta ved simuleringer i CFD.

Det er ikke oppnådd tilstrekkelig høy virkningsgrad på ny viftetype til at en opprettelse av et nytt selskap i tråd med forretningsplanen er hensiktsmessig.

Abstract

An increased focus on energy usage in buildings, and the fact that 15 % of the energy consumption in new buildings drives fans for ventilation, makes it interesting to examine the efficiency of ventilation fans. Today's state of the art fans are not optimal in this environment since all dynamic pressure is lost, thus resulting in a lower efficiency. The construction of fans today is heavily focused on keeping production and material costs as low as possible. It would be interesting to discover whether or not a new regime of building codes that demands higher efficiency can make it economically feasible to produce high efficiency fans.

To verify the results from CFD and theory it was decided to construct a test rig where accurate measurements of the efficiency of fans could be performed. Two different fans were to be tested; one commercial solution and one new prototype. The construction and design of the rig was initiated late autumn 2009 and continued throughout spring 2010. Several measurements on two different fan designs and two different diffusers have been carried out and the results presented. These results coincide with CFD simulations with some minor differences, and are reasonable compared to theory. The suspicion that commercial fans does not perform as well as stated in this specific environment is confirmed. This suggest to refocus towards a better overall solution, where fan, diffuser and fan aggregate are looked upon as integral parts of one solution and designed to work together. Such a solution is presented and an increase in efficiency of 5.4 % compared to the reference fan has been showed in CFD simulations.

The efficiency of a new fan design has to the extent that the idea of starting a new company that produces fans has been dismissed.

Innhold

Forord	i
Sammendrag	iii
Abstract	v
1 Innledning	1
2 Bakgrunn	3
2.1 Ventilasjonsanlegg	4
2.2 Viftas virkemåte	4
2.3 Design av turbomaskineri	5
2.4 Testing av vifter	8
2.5 Vifte og motor fra Fläkt Woods	10
3 Oppgradering av testrigg - teori og praksis	13
3.1 Forberedelse av løpehjul	13
3.2 Moment og turtallsmåling	15
3.3 Volumstrømsmåling	16
3.3.1 Trykkammer	17
3.3.2 Måleblende	17
3.3.3 Pitotmåling	18
3.4 Trykkmåling	21
3.4.1 Atmosfæretrykkmåling	22
3.4.2 Differanstrykkmåling	22

3.5	Frekvensomformer	24
3.5.1	Støy fra frekvensomformere	26
3.6	Temperaturmåling	27
3.7	Effektmåling	28
3.8	Loggeprogram	28
4	Usikkerhetsanalyse	29
4.1	Størrelser som behøves i kalibreringene	29
4.2	Usikkerhet ved kalibrering	30
4.2.1	Differansetrykkmålere	30
4.2.2	Volumstrømsmåling	33
4.2.3	Momentmåling	33
4.3	Usikkerhet ved testkjøring	35
4.3.1	Differansetrykkmåler	36
4.3.2	Volumstrømsmåling	37
4.3.3	Vinkelhastighet	39
4.4	Total usikkerhet for virkningsgrad	39
5	Prosedyre for kalibrering	41
5.1	Innledning	41
5.2	Kalibrering av momentmåler	41
5.2.1	Utstyrliste	42
5.2.2	Forberedelser	42
5.2.3	Kalibrering	43
5.2.4	Etterbehandling	43
5.3	Differanstrykktransducer	44
5.3.1	Utstyrliste	44
5.3.2	Forberedelser	44
5.3.3	Kalibrering	45
5.3.4	Etterbehandling	46

6	Prosedyre for testkjøring	47
6.1	Innledning	47
6.1.1	Forberedelser	47
6.2	Test av Viftekarakteristikk og Virkningsgradskurver	48
7	Resultater og diskusjon	49
7.1	Verifisering av volumstrømsmåling	49
7.2	Viftekarakteristikker	51
7.3	Virkningsgradsmålinger	53
7.4	Sammenligning av resultater	55
7.5	Sammenligning med CFD	59
8	Konklusjon og videre arbeid	65
8.1	Videre arbeid	67
9	Forretningsplan HSK Fans	69
9.1	Oppsummering av prosessen	69
9.2	Forretningsplan	71
9.2.1	Forretningsidé	71
9.2.2	Bakgrunn for forretningsidéen	71
9.2.3	Produkt	72
9.2.4	Forretningsmodell	72
9.2.5	Marked	72
9.2.6	Lønnsomhet	73
9.2.7	Team	74
9.2.8	Risikofaktorer	74
9.2.9	Handlingsplan/prosjektstatus/finansieringsbehov	75
	Bibliografi	76
	Vedlegg A: Vifterigg	81
10.1	Arbeidstegninger	81

10.2 Labview	88
10.3 Funksjoner for måleblende	91
Vedlegg B: Teori usikkerhetsanalyse	93
10.4 Teori om usikkerhetsanalyse	93
10.4.1 Total nøyaktighet i et målesystem	94
10.4.2 Tilfeldige feil	95
10.4.3 Systematiske feil	97
10.4.4 Andre feil	97
Vedlegg C: Kalibrering- og usikkerhetsdata	99
10.5 Kalibreringsprogram	99
10.6 Trykkkalibrering	101
10.7 Volumstrømkalibrering	104
10.8 Momentkalibrering	107
Vedlegg D: Testdata	111
10.9 Volumstrøm	111
10.10 HSK Prototype	115
10.11 HSK Prototype med diffusor 1	118
10.12 HSK Prototype med diffusor 2	121
10.13 Fläkt Woods	124
Vedlegg E: Forretningsdel	127
10.14 Progresjon og møtevirksomhet	127
10.15 Syretest Entreprenørskolen	131
Vedlegg F: CDROM	159
10.16 Arbeidstegninger	159
10.17 Kalibrering	159
10.18 Tester	159
10.19 Forretningsplan	159

Symbolliste

Romerske bokstaver

A	Areal	m^2
C	Utløpskoeffisient , korreksjonsfaktor for ikke-ideell strømning	-
c_1	Absolutt innløpsfart	m/s
c_2	Absolutt utløpsfart	m/s
c_{u2}	Absolutt utløpsfart i radiell retning	m/s
$c_{u2}r$	Reell absolutt fart pga slipp	m/s
D	Inn- og utløpsdiameter måleblendeseksjon, 300 mm	m
d	Blendediameter, 215 mm	m
f	frekvens på spenning	$1/s$
g	Tyngdens akselerasjon	m/s^2
M	Moment levert til viftas aksling fra motor	Nm
m	Masse til lodd, kalibrering mo- mentmåler	kg
n	rotasjonstall	rpm
P_{el}	Elektrisk effekt til motor	W
Q	Volumstrøm	m^3/s

s	Arm, kalibrering momentmåler	m
T	Moment	N m
u_2	Impellerens hastighet ved utløp	m/s
v_1	Relativ fart på fluid ved innløp	m/s
v_2	Relativ fart på fluid ved utløp	m/s

Greske bokstaver

β	Forhold mellom innløpsdiameter og blendediameter, 0.71667	-
β_2	Avløpsvinkel vifte	°
β_{2i}	Reell avløpsvinkel pga slipp	°
$\Delta p_{dynamisk}$	Dynamisk trykk ved innløp vifte	Pa
Δp_{stat}	Statisk trykkøkning	Pa
Δp_{th}	Teoretisk løftehøyde	Pa
ϵ	Ekspansjonsfaktor / kompressibilitetsfaktor	-
η_a	Aerodynamisk virkningsgrad til viftebladet	-
η_l	Virkningsgrad til lageroverføring	-
η_m	Virkningsgrad til elmotor	-
κ	Forhold mellom varmekapasitet for luft	-
ω	Rotasjonshastighet	rad/s
ρ	Densitet til luft	kg/m^3
ρ_{met}	Tetthet til metanol	kg/m^3

Subskript

1	Innløp, hvis ikke annet fremgår
---	---------------------------------

- 2 Utløp, hvis ikke annet fremgår

Figurer

2.1	Prinsippskisse Ventilasjonsanlegg	3
2.2	Viftekarakteristikk for (a) Aksialvifter (b) Sentrifugalvifter	4
2.3	Fläkt Woods Centriflow plus -kammervifte	5
2.4	Hastighetsdiagram bakovervendte skovler	6
2.5	Viftekarakteristikk viftemodell fra Fläkt Woods	7
2.6	Tap i sentrifugalvifte	8
2.7	System og viftekarakteristikk	9
3.1	Løpehjul oppspent for kastkontroll	13
3.2	Aksling og nav til balansering	14
3.3	Hovedaksling	15
3.4	Krefter i aksling ved rotasjon	16
3.5	Trykkammer	17
3.6	Pitotprinsipp - statisk trykk målt i rør	19
3.7	Pitotprinsipp - statisk trykk målt på pitot	20
3.8	Målepunkter for pitot	21
3.9	Oppheng til pitotrør	21
3.10	Statisk trykk og fartsfordeling i innløpet av testtrigg	22
3.11	Trykkmåling med ringledning	23
3.12	Virkemåte frekvensomformer	24
3.13	Likeretting med dioder	24

3.14	Mellomkrets med choppertransistor	25
3.15	Vekselretter - variabel inngangsignal øverst til venstre . . .	25
3.16	Vekselretter (PAM)	26
4.1	Kalibrering av differanstrykkcelle	31
4.2	Kalibreringskurve for differanstrykkcellen (Avvik er multi- plisert med 100)	33
4.3	Kalibreringskurve for differanstrykkcellen til volumstrømsmålingen (Avvik er multiplisert med 100)	34
4.4	Kalibreringskurve for momentmåleren (Avvik er multiplisert med 1000)	36
7.1	Viftekarakteristikk prototype vifte	51
7.2	Viftekarakteristikk Fläkt Woods	51
7.3	Viftekarakteristikk prototype vifte med 1. generasjons diffusor	52
7.4	Viftekarakteristikk prototype vifte med 2. generasjons diffusor	52
7.5	Virkningsgrad prototype vifte	53
7.6	Virkningsgrad Fläkt Woods	54
7.7	Virkningsgrad prototype vifte med 1. generasjons diffusor .	54
7.8	Virkningsgrad prototype vifte med 2. generasjons diffusor .	55
7.9	Virkningsgrad ved 1600 rpm	56
7.10	Viftekarakteristikk ved 1600 rpm	57
7.11	Tap i Fläkt Woods vifte	58
7.12	Sfp faktor ved stor strømningsmotstand	60
7.13	Sfp faktor ved lav strømningsmotstand	60
7.14	Sammenligning prototype (a) 1350 rpm (b) 1480 rpm (c) 1600 rpm	61
7.15	Sammenligning Fläkt Woods (a) 1350 rpm (b) 1480 rpm (c) 1600 rpm	62
7.16	Sammenligning HSK med diffusor ved 1480 rpm	63

Tabeller

4.2.1 Ulike feil ved kalibrering av instrument	31
4.3.1 Ulike feil ved testkjøring	36
7.1.1 Resultater volumsstrømverifisering	50
7.4.1 Resultater høyeste virkningsgrad ved 2000 rpm	59
10.4.1 Total feil for noen utvalgte funksjoner	95

Kapittel 1

Innledning

Vifter til ventilasjon i kommersielle bygg står for en betydelig andel av energibruken i bygget. I forbindelse med nye EU-direktiver, som setter strengere krav for energiutnyttelse i bygg som oppføres, vil kravet til morgendagens vifter bli strengere. På mistanke om at dagens vifter har et betydelig forbedringspotensial er det ønskelig å se på hvilke grep som kan gjøres for redusere tapene i vifte og viftehus.

Høsten 2009 startet 3 studenter (Halvor Haugsvold, Sondre Nenseter og Kjell Erik Lien) arbeidet med å avdekke mulighetene for å øke virkningsgraden til vifteenheter til ventilasjonsformål. Hvis arbeidet ble kronet med hell var planen å starte opp et selskap, HSK Fans, som skulle designe og produsere vifter. En kammervifte, toppmodellen fra markedsleder i Nord-Europa, Fläkt Woods AS, ble skaffet til veie og arbeidet med å sette seg inn i designteori av vifter startet. Det ble raskt konkludert med at det teoretisk var mulig å øke virkningsgraden betraktelig. Det videre arbeidet ble delt inn i tre deler, design av nytt løphjul, design av diffusor og viftekasse, samt konstruksjon av en testrigg hvor nøyaktige virkningsgradsmålinger på vifter kunne foretas. Undertegnede fikk ansvaret for siste del, testriggen, og i løpet av høsten ble det gjort foreløpige målinger på vifta til Fläkt Woods i den nybygde riggen. Det ble konkludert med svakheter i måleoppsettet

som måtte utbedres for å få mer nøyaktige resultater. Denne rapporten oppsummerer det videre arbeidet med å utbedre testtriggen og resultatene fra målinger på ulike viftedesign. Arbeidet med å få testtriggen ferdig har involvert lange dager og kvelder i laben og mye tidkrevende prøving og feiling. Spesielt volumstrømsmåling og støyforplantning fra frekvensomformer har vært viktige bidragsytere til undertegneds grånende hårmanke.

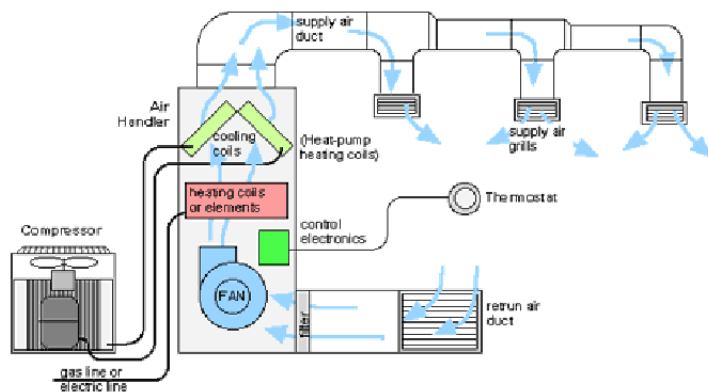
I de deler av denne oppgaven hvor det gir leseren bedre flyt er det hentet informasjon fra prosjektoppgaven [13] til undertegnede direkte. I de tilfeller hvor det ikke er like viktig, men hvor mer utfyllende informasjon kan hentes, er det sitert til samme oppgave.

I januar ble det produsert to prototyper, et løpehjul og en diffusor, og målet for våren 2010 var å få avgjort om et eventuelt selskap hadde høy nok teknisk sikkerhet til å rettferdiggjøre oppstart av et nytt selskap. Det ble jobbet parallelt med en forretningsplan og møtevirksomhet med investorer og personell fra gründermiljøet ved NTNU.

Novema Aggregater AS har levert et aggregat bestående av vifte, motor og viftehus. Den elektriske motoren kommer fra Zhejiang Kailida Explosion-proof Electromechanical CO., LTD mens industrivifta er produsert av Fläkt Wood. Frekvensomformereren som var tilgjengelig på Vannkraftlaben var av gammel dato og produserte mye støy og hodebry. Heldigvis løste dette seg ved at en ny frekvensomformereren ble donert av Feiring Bruk ved Trygve Ollendorff.

Kapittel 2

Bakgrunn

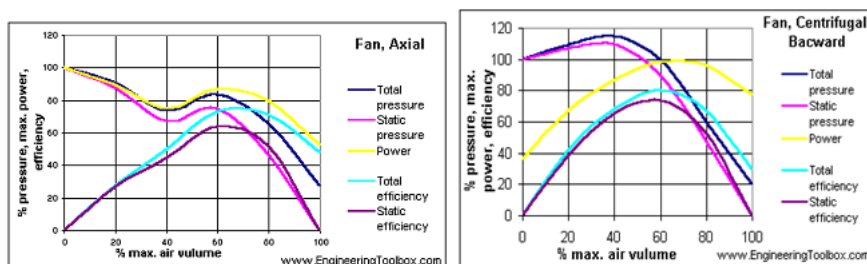


Figur 2.1: Prinsippskisse Ventilasjonssystem

2.1 Ventilasjonsanlegg

Formålet med et ventilasjonsanlegg er å bytte ut gammel luft med frisk luft i bygninger slik at inneklimaet holder seg innenfor krav fra myndighetene. Når bygg konstrueres tettere for å holde energibruken nede er det viktig med et velfungerende ventilasjonsanlegg for å sikre brukere et bra inneklima. Figur 2.1 viser prinsippet for hvordan dette gjøres.

2.2 Viftas virkemåte



Figur 2.2: Viftekarakteristikker for (a) Aksialvifter (b) Sentrifugalvifter

Det er to hovedtyper vifter, aksialvifter med strømrøtning parallelt med akselen og sentrifugalvifter hvor strømmingen bøyes 90 grader og forlater impelleren i radial retning. Disse har ulike egenskaper som vist i Figur 2.2. Den dominerende viftetyper til ventilasjonsformål har etterhvert blitt sentrifugalvifta med bakoverbøyde skovler. Dette er fordi den har et stort arbeidsområde og høy virkningsgrad. Vifta fra Flåkt Woods er en sentrifugalvifte men er plassert i et viftehus slik at strømningsretningen til slutt ender opp i aksial retning slik som i en aksialvifte. Dette kalles i industrien en kammervifte.

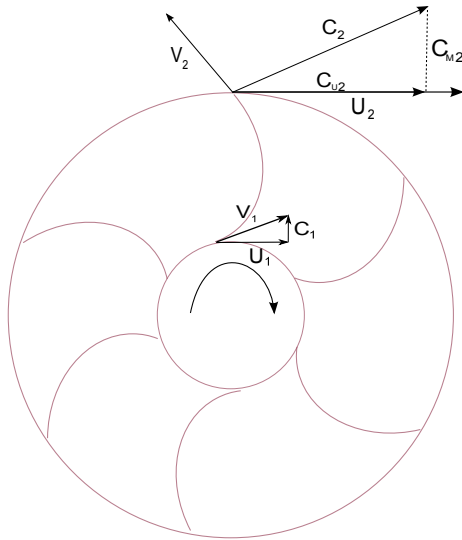


Figur 2.3: Fläkt Woods Centriflow plus -kammervifte

2.3 Design av turbomaskineri

Teori som er gjennomgått har tatt utgangspunkt i design av turbomaskineri hvor vann er mediet, nærmere bestemt Francis turbiner. Prinsippene er de samme om mediet er luft og/eller om man henter ut/tilfører energi. Utover forelesninger og samtaler med Ole Gunnar Dahlhaug er teorien hentet fra Bruno Ecks "Fan". Det synes poenngløst å reprodusere teorien som er gjennomgått i rapportene til Halvor Haugsvold og Sondre Nenseter. En detaljert beskrivelse av viftebladdesign kan finnes i Sondre Nenseter sin rapport [15, kap 4] mens Halvor Haugsvold har forklart fremgangsmåte for design av diffusor i [8, kap 5]. Det som gjengis under er kun det som benyttes videre i denne rapporten.

Vifta vi har sett på er til bruk i ventilasjonsanlegg og kjennetegnes ved at den skal levere en viss luftmengde ved et visst trykk. Trykket er viktig da vifta normalt står i et system med en rekke strømningsmotstander. Det teoretiske trykkøkningen over en sentrifugalvifte med radial innløpsfart er gitt ved Eulers pumpeformel omskrevet for vifter med rotasjonsfritt innløp [4, s. 10]



Figur 2.4: Hastighetsdiagram bakovervendte skovler

$$\Delta p_{th} = \rho \cdot u_2 \cdot c_{u2} \quad (2.3.1)$$

u_2 er løpehjulets hastighet ved utløpsdiameter og c_{u2} er hastigheten til lufta i samme retning. Se figur 2.4. Det totale energibidraget som tilføres strømmingen er endring i statisk trykk + endring i kinetisk energi (dynamisk trykk).

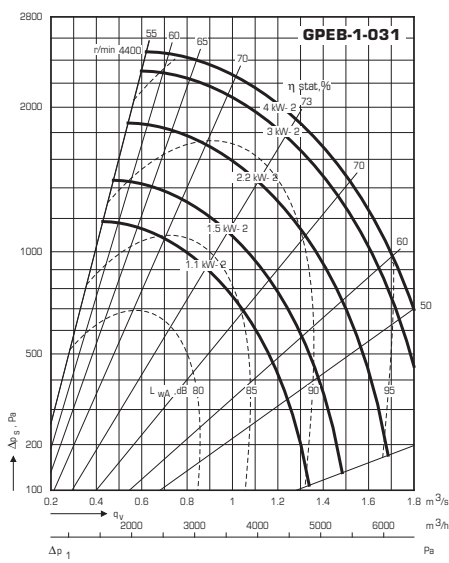
$$\Delta p_{tot} = \Delta p_{stat} + \frac{\rho}{2} \cdot (V_2^2 - V_1^2) \quad (2.3.2)$$

I likning 2.3.2 er det antatt at luften er inkompressibel, noe som kun gjelder for lave trykkdifferanser. Det er tilfellet i vår situasjon.

Utfordringen i å lage et bra vifteblad-design blir da å forsøke å skape et $u_2 \cdot c_{u2}$ produkt som er høyest mulig. Videre må man bestemme seg for hvilken form energien i luften skal ha når luften forlater viftebladet, skal man maksimere trykket eller tillate en viss størrelse på hastighetskomponenten?

Systemet som vifta normalt står i, tilsier at man bør prøve å produsere så høyt trykk som mulig siden hastigheten tapes slik vifta benyttes idag. Denne kinetiske energien kan omdannes ved hjelp av en diffusor. Dette har vært hovedfokuset i Halvor Haugsvold sin masteroppgave [9].

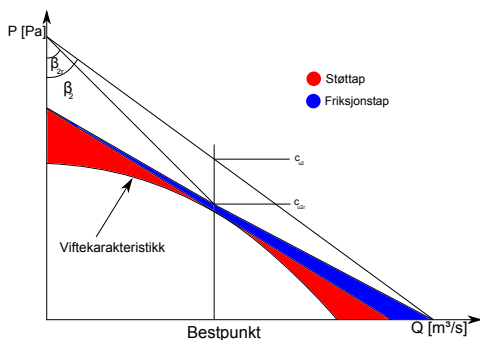
Vifter designes ut ifra et bestpunkt, det vil si en trykkøkning og en volumstrøm hvor viften har best virkningsgrad. Dette vises best i et viftekarakteristikkdiagram som vist i figur 2.5. Grunnen til at en sentrifugalvifte



Figur 2.5: Viftekarakteristikk viftemodell fra Fläkt Woods

får denne typiske buede karakteristikken er på grunn av to typer tap som oppstår når viften roterer. Friksjonstap oppstår på grunn av no-slip på skovler og vegger i viftebladet og viskositet i mediet som fører til hastighetsgradienter i strømmingen som igjen gir tap. Støttap får vi når vifta kjøres utenfor bestpunktet og er en følge av at dimensjoner som for eksempel vinkler ikke lenger er optimale slik at strømmingen nå opplever

mer/mindre avbøyning. Tapene vises i figure 2.6 hvor også slippvinkelen, vinkelen mellom teoretisk og faktisk utløpsvinkel, er tatt med. Videre er

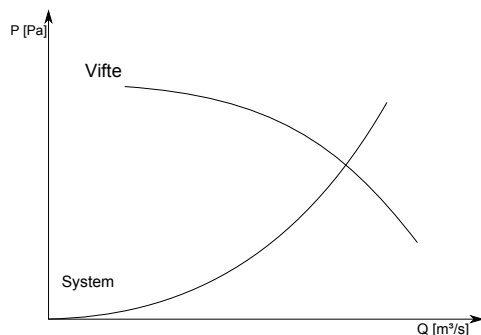


Figur 2.6: Tap i sentrifugalvifte

det viktig å ta hensyn til systemet som vifta står i. Det vil her være tap på grunn friksjon i rør, enkeltmotstander som bend, varmevekslere etc. Selv om man har enkeltmotstander så vil ofte systemkaraktistikken ha en parabelform på grunn av at friksjonstap i rør er dominerende og disse er en andre ordens funksjon av volumstrøm som vist i Figur 2.7.

2.4 Testing av vifter

Vifter til ventilasjon faller inn under energibruk i bygninger, et område som det har vært sterkt fokus på i senere tid som et ledd i å få bukt med menneskets økende energibruk. Det finnes idag nasjonale reguleringer samt reguleringer fra EU som stiller krav til energibruken i nybygg (og tilbygg over en hvis størrelse). Specific Fan Power (SFP) måles i kW/m^3 og er den totale effekten levert til viften(e) i anlegget over total volumstrøm gitt ved designtilstand. Det vil si at motorens virkningsgrad og lageroverføringer



Figur 2.7: System og viftekarakteristikk

også tas med i beregningen. Men det som er viktigst med SFP faktoren er at man tar hensyn til virkningsgraden til vifta i det miljøet den står i. Dette vil si at det er viktig å gjøre et grundig forarbeid når viftetype og størrelse skal velges. Statens Bygningstekniske etat oppgir kravet til SFP-faktor til $2kW/m^3$ på dagtid og $1kW/m^3$ nattestid. Dette kravet kan imidlertid unngås om det totale energibehovet er under en hvis grense som varierer fra bygningstype til bygningstype [5, §8-21]. SFP-faktorer klassifiseres i EUs standard for inneklime, EN13779 [17, s. 2].

Virkningsgraden til en vifte sier hvor mye energi man må tilføre vifta i forhold til hvor mye energi som overføres til strømmingen i form av økt trykk og fart (nyttig energi). Virkningsgraden kan ikke måles direkte men avledes fra andre fysiske størrelser

$$\eta_a = \frac{\Delta p \cdot Q}{\omega \cdot M} = \frac{\Delta p \cdot Q}{P_{el} \cdot \eta_m \cdot \eta_t} \quad (2.4.1)$$

Viftebladet har en virkningsgrad, hvor energien inn beregnes ved hjelp av en momentmåler og turtallmåler. Et problem som oppstår når man kun er interessert i å se på virkningsgraden til vifta er at det blir vanskelig å gjøre målinger på en sådan måte at alle tapene som inngår kun stammer fra viften. Ideelt burde man måle trykk og hastighet rett etter luftstrømmen

forlater impelleren men dette er vanskelig i praksis. I denne riggen er det planlagt å måle virkningsgrad i forhold til en kommersiell vifte slik at bestemmelse av tap i systemet ikke er like viktig; hvis disse antas like.

Termodynamisk bestemmelse av virkningsgrad er ikke vurdert da den elektriske motoren står i luftstrømmen og vil overføre betydelig med varme til denne. Denne metoden går som kjent ut på å måle temperatur i fluidet før og etter impeller for deretter omgjøre dette til tap under antagelse om at tapene overføres til varme (dissipation).

2.5 Vifte og motor fra Fläkt Woods

Vifta, GPEB-1-031, er en sentrifugalvifte med bakovervendte skovler, hvor luftstrømmen tas inn aksielt og leveres med et høyere trykk i radiell retning. Når vifta står i et viftehus eller aggregat, vil dette bygge opp et trykk i aggregatet. Den kinetiske energien i aggregatet er neglisjerbar på grunn av det store arealet man har her. Dette medfører at all kinetisk energi som leveres fra viftebladet går tapt til varme og lyd om man ikke benytter seg av en diffusor. I en diffusor lager man en gradvis økning av arealet slik at man tar vare på energien og omformer denne fra kinetisk til trykkenergi. I figur 2.5 har man karakteristikken til vifta i tilfellet hvor den står helt alene, det vil si uten innløp eller avløpsmotstander. Vifta har en oppgitt virkningsgrad på 0.73. Dokumentasjon for vifta og motor som er blitt testet er mangelfull. Det vil si at karakteristikken er tegnet inn for en 1.1 kW motor ved maksimalt omdreiningstall på 3039 rpm. Vår motor, som er på 750 W og har ett polpar til, kan maksimalt kjøres på 2556 rpm. Dette krever imidlertid en frekvens på 90 Hz. Da vi ikke har noe direkte sammenligningsgrunnlag kan man benytte seg av affinitetslikninger til å prøve å anslå hvor nært våre målinger ligger det som oppgis av produsent. Med affinitetslikninger er det mulig å regne ut hvordan karakteristikkene til en vifte vil være ved andre omdreiningstall. Problemet her er at affinitet

kun gjelder for små variasjoner av turtall og vårt tilfelle ville det ble direkte feil å konstruere en ny viftekarakteristikk basert på de oppgitte tallene fra Fläkt Woods. I denne oppgaven er det ingen krise siden man skal måle relativ forskjell i virkningsgrad mellom vifta til Fläkt Woods og HSK Fans sine løsninger.

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (2.5.1)$$

$$\frac{\Delta p_1}{\Delta p_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad (2.5.2)$$

Motoren er produsert i Kina av Zhejiang Kailida Explosion-proof Electro-mechanical CO., LTD. Den har oppgitt effektfaktor, $\cos \phi = 0.76$ og virkningsgrad $\eta = 0.73$ ved merkeeffekt 750W.

Kapittel 3

Oppgradering av testrigg - teori og praksis

3.1 Forberedelse av løpehjul

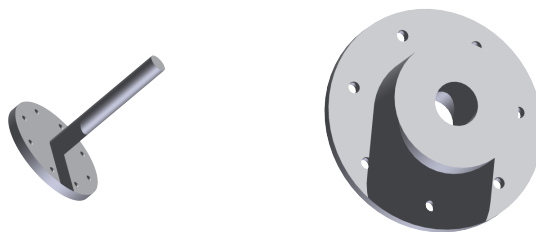


Figur 3.1: Løpehjul oppspent for kastkontroll

14KAPITTEL 3. OPPGRADERING AV TESTTRIGG - TEORI OG PRAKSIS

Løpehjul og diffusor ble produsert av Polyteknikk AS i Stjørdal i januar 2010. Metoden som ble benyttet kalles Rapid Prototyping og har klare likhetstrekk med 3-D plotting hvor modellen lagvis bygges opp plast. Selve byggingen foregår i en ovn som holder 80 °C og plaststoffene sprøytes ut av robotstyrte dyser. Det benyttes to typer plast hvor den ene kun er et midlertidig byggestoff og har som oppgave å simulere tomrom slik at man får bygget i planet over tomrommet. Denne platen fjernes når modellen ferdigstilles.

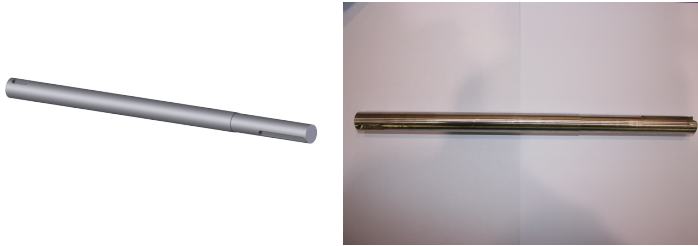
Før roterende utstyr kan settes i drift er det viktig å påse at modellen er korrekt balansert, det vil si å kontrollere at rotasjonsaksen sammenfaller med aksens til massesenteret [10]. Hvis dette ikke er tilfelle vil løpehjulet rotere ujevnt og gi større belastninger på lagerhus og aksling. Det vil også kunne skape kast noe som i vårt tilfelle med små klaringer mellom roterende og faste komponenter kunne blitt fatalt. Plassering av små vekter benyttes for å flytte massesenteret slik at hjulet balanseres. På grunn av manglende utstyr på Vannkraftlaboratoriet ble balanseringen foretatt eksternt av Mantena AS Marienborg i Trondheim. Det ble laget en aksling som passet sammen med utstyret til Mantena slik at løpehjulet kunne settes opp i deres balanseringsmaksin. Resultatet vises i figur 3.2.



Figur 3.2: Aksling og nav til balansering

For å gjøre plass til momentmåleren måtte man konstruere enda en

aksling. Etter samråd med mekanikere på Vannkraftlaben ble det laget en 20 mm aksling som vist i figur 3.3. Denne kan benyttes sammen med navet i figur 3.2. Det ble også tegnet en ny motorplate hvor motor, momentmåler og turtallsmåler ble montert sammen med aksling og vifte. Arbeidstegninger kan finnes i vedlegg 10



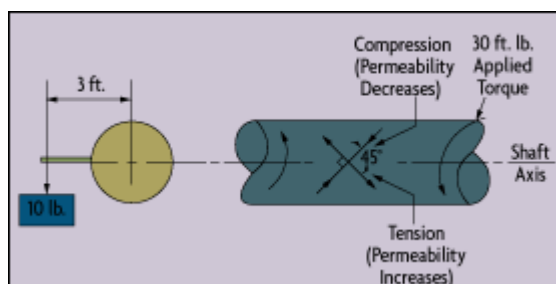
Figur 3.3: Hovedaksling

3.2 Moment og turtallsmåling

Produktet av moment og turtall gir den mekaniske effekten som tilføres vifta. Momenttransduceren er produsert av HBM og typebetegnelsen er T22. Denne måler moment ved hjelp av strekkklapper som reagerer på i hvor stor grad akslingen vrir i rotasjonsplanet. Dette vil gi utslag som enten kompresjon eller som strekkspenning (dekompresjon), se figur 3.4. Fra transduceren leveres det et -5 V til 5 V signal definert slik at transduceren fanger opp moment i begge rotasjonsretningene.

Turtallsmålingen gjøres ved en optisk sensor som registrer tiden det tar mellom to passeringer av en refleks påmontert akslingen. Ut ifra dette beregnes omdreiningshastigheten ved hjelp av loggeprogrammet Labview.

Løsningen for både moment og turtallsmålinger er metoder som benyttes hyppig i industrien generelt og Vannkraftlaben spesielt.



Figur 3.4: Krefter i aksling ved rotasjon

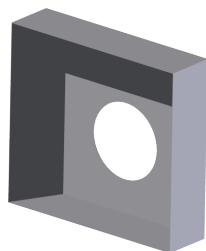
3.3 Volumstrømmmåling

Volumstrømmen ble tidligere målt ved hjelp av en innsnevring i et venturirør [13, Kap. 3]. Det settes høye krav (ISO 5167) til konstruksjonen av denne, blant annet bør innsiden helst være maskinert, og siden dette ikke var mulig å få til på en tilfredsstillende måte på verkstedet i Vannkraftlaboratoriet ble det bestemt å måle volumstrømmen på en annen måte og sammenligne resultatene. Etter telefonisk kontakt med vifteprodusenten Fläkt Woods kjøpte man inn den trykk og volumstrømmmåleren som de benytter i sine anlegg. Måleren kalles Centrimeter og denne benytter seg av samme prinsipp, en innsnevring i forkant av vifta skaper et trykkfall som benyttes til regne seg om til volumstrøm. Koeffisienten FW benytter er bestemt etter lange og nøyaktige testkjøringer i forskningsavdelingen deres i Sverige [Telefonsamtale med Fläkt Woods (Turku) februar 2010].

Innledende, foreløpige, og ikke tallfestede målinger med henholdsvis venturirør, Centrimeter, pitotrør og glødetråd viste at volumstrømmen skulle by på problemer våren 2010 også.

3.3.1 Trykkammer

Etter telefonsamtale og befaring med Fläkt Woods, hvor det fra deres side ble stilt spørsmål om utformingen av innløpet, ble det bygget et trykkammer rett oppstrøms for vifteinnløpet. Dette var ifølge Fläkt Woods sine ingeniører viktig for at strømmingen inn til vifta skulle bli mest mulig lik designforholdene. Ved å plassere et kammer med stort tverrsnittsareal



Figur 3.5: Trykkammer

vil farten foran vifta reduseres betydelig for å opprettholde kontinuitet. Undertegnede synes dette er en dårlig løsning, en kraftig retardasjon av fluidet for så akselerere fluidet opp til samme hastighet vil unektelig føre til økte tap i systemet. Men siden poenget med oppgaven er å sammenligne virkningsgraden til Fläkt Woods med en ny prototype ble det bestemt å bygge trykkammeret slik at Fläk Wood sin vifte ikke fikk redusert virkningsgraden sin på grunn av at strømningsforholdene er annerledes enn det den er designet for.

3.3.2 Måleblende

En måleblende benytter seg av samme prinsipp som venturirøret som tidligere ble brukt [13, Kap. 3] for å måle volumstrøm. En innsnevring i et rør skaper et trykkfall som kan måles. Trykkfallet inntreffer som

18KAPITTEL 3. OPPGRADERING AV TESTRIGG - TEORI OG PRAKSIS

en følge av at hastigheten i innsnevringen er høyere enn før og etter grunnet massebevarelse, videre vil bevaring av energi kreve at trykket faller når hastigheten øker slik som Bernoullis likning forteller [23, s. 183]. Volumstrømmen for en ideell prosess kan da skrives som [3, s. 566]

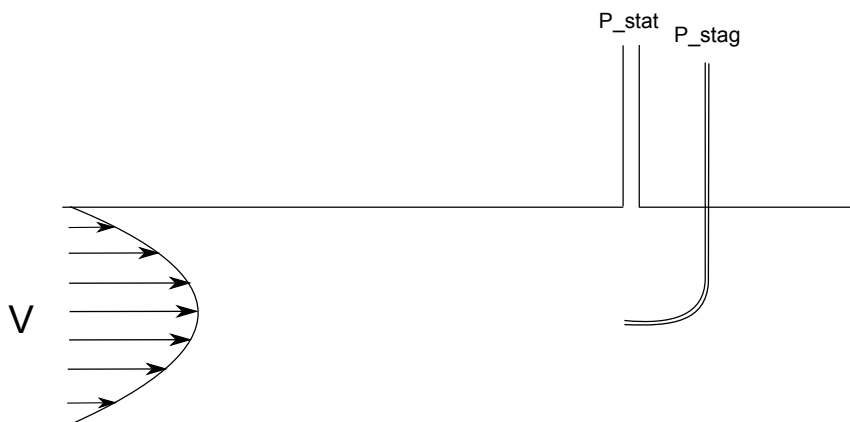
$$Q = \frac{A_2}{\sqrt{1 - (A_2/A_1)^2}} \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho}} \quad (3.3.1)$$

Siden det vil være irreversibiliteter tilknyttet prosessen oppnår man aldri denne sammenhengen. Bruk av måleblender er betydelig i alt fra industri til akademia derfor finnes det et rikt utvalg av litteratur og tallmateriale fra forsøk som er gjort for å empirisk bestemme sammenhengen mellom trykkdifferanse og volumstrøm. ISO 5167:2 gjengir konstruksjonskrav og hvordan man bestemmer koeffisientene som behøves for å få et nøyaktig uttrykk for volumstrøm [6, s. 2-20]. Herfra finner man også metoder for å bestemme usikkerheten til målingene. [6, Kap. 5.3]

$$Q = \frac{C}{\sqrt{\rho(1 - \beta^4)}} \epsilon \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2 \cdot \Delta p} \quad (3.3.2)$$

3.3.3 Pitotmåling

Volumstrømsmåling ved hjelp av pitotrør er en nøyaktig metode som særlig benyttes i laboratorieforsøk [11, s. 257-263]. Metoden ble først benyttet av franskmannen Henri Pitot på 1700-tallet til å måle farten i elva Seinen. Formålet med pitotmålingen her, er få verifisert målingen gjort med måleblende og sjekket hvor stor forskjell det er mellom de ulike metodene for volumstrømsmåling. Pitotmålingen benytter seg av Bernoullis likning [2, s. 122] for å bestemme farten i et tverrsnitt av røret. Figur 3.6 viser hvordan et generelt måleoppsett ser ut. Et tynt rør føres ned i fluidet som det skal måles på, i spissen fremme på røret er det et hull hvor stagnasjonstrykket



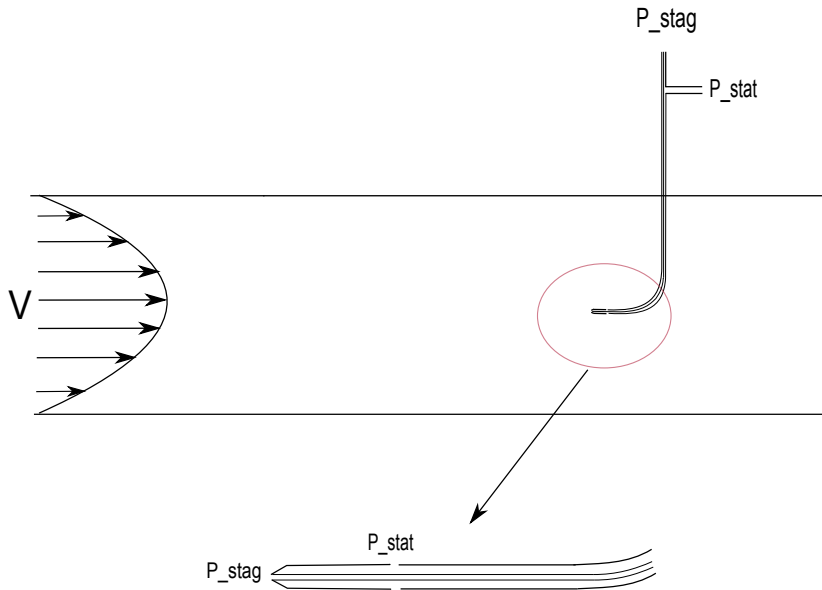
Figur 3.6: Pitotprinsipp - statisk trykk målt i rør

måles. Detaljtegning er vist i figur 3.7. Akkurat på spissen vil fluidet ha fart lik null og ifølge Bernoulli vil energien gå over fra kinetisk til potensiell i form av økt trykk. Hvis man samtidig måler det statiske trykket kan man beregne hva farten er i dette punktet. De finnes to metoder for å måle statisk trykk, det ene er å måle trykket langs veggen av røret som fluidet passerer i som vist i figur 3.6 eller å måle trykket direkte på pitotrøret som vist i figur 3.7. Begge deler ble forsøkt og til slutt endte man opp med å benytte statisk trykkmåling langs yttervegg av spirorøret. Årsaken var at strømmingen ikke er helt uniform slik at det statiske trykket på pitot varierer og det ble ikke funnet en posisjon hvor dette holdt seg konstant. Hastigheten beregnes så fra [2, s. 122]

$$V = \sqrt{2g\Delta p} \quad (3.3.3)$$

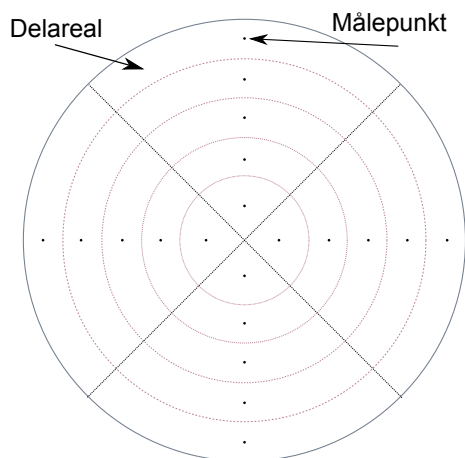
Kjenner man nå tverrsnittarealet A kan volumstrømmen Q beregnes fra

$$Q = V \cdot A \quad (3.3.4)$$

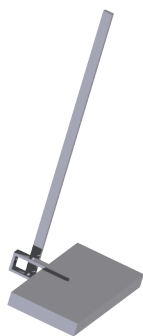


Figur 3.7: Pitotprinsipp - statisk trykk målt på pitot

Problemet er at dette er en punktmåling mens det man er ute etter er gjennomsnittsfarten. Dette ble løst ved å gjøre flere målinger, 20 stk totalt, i ulik avstand fra sentrum som vist i figur 3.8. Grunnen til at antall målepunkt ble såpass høyt, var at det ble oppdaget at det ikke var radiell symmetri når målingene skulle tas. Tverrsnittarealet ble derfor delt inn i 20 mindre arealer, farten i midten av hvert areal ble målt og satt til gjennomsnittsfart for hele tilhørende delareal. Volumstrømmen i hvert delareal ble så funnet ved hjelp av likning 3.3.4 og disse ble til slutt summert for å gi total volumstrøm. Det ble laget 4 oppheng (figur 3.9) til pitotrøret for å sikre at målingene skulle bli så nøyaktige som mulig.



Figur 3.8: Målepunkter for pitot



Figur 3.9: Oppheng til pitotrør

3.4 Trykkmåling

Trykkmålingene fra høsten 2009 var tilfredstillende og det ble ikke gjort noe utover å måle trykket i sugekammeret rett foran vifteinntaket i stedet

22KAPITTEL 3. OPPGRADERING AV TESTTRIGG - TEORI OG PRAKSIS

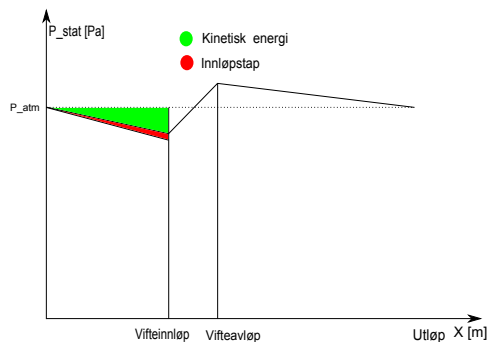
for i det koniske innløpet slik tilfellet var tidligere. Siden arealet man målet trykket over nå er likt, trenger man ikke ta hensyn til den kinetiske energien siden denne vil være lik på begge sider. Etter problemer med den tidligere trykktransduceren ble det til slutt gått til innkjøp av ny transducere som var mer nøyaktige og stabile.

3.4.1 Atmosfæretrykkmåling

Atmosfæretrykket måles kun for å bestemme tettheten til lufta og siden denne antas å ikke variere mye over en testperiode ble det bestemt å benytte seg av trykkmåleren som alt finnes i Vannkraftlaben, Barometric pressure PTB220 Digital (Vaisala Instruments).

3.4.2 Differanstrykkmåling

Det ble laget en ringledning med flere målepunkt på innsiden langs veggene av viftehuset nedstrøms for viften som måler et gjennomsnittlig statisk trykk i viftehuset. Vifta skal i utgangspunktet øke trykket fra atmosfære



Figur 3.10: Statisk trykk og fartsfordeling i innløpet av testtrigg

til et høyere trykk, denne trykkgradienten vil sammen med økt kinetisk

energi føre til at vi får en volumstrøm. Slik som testtriggen ble konstruert, med et innløpsrør foran vifta, fører dette til at man har både trykk- og kinetisk-energi før luften kommer til selve viftebladet slik som vist i Figur 3.10 hvor grønn farge er kinetisk energi og rødt representerer tap. Når det måles statisk trykkøkning over vifta får man ikke med den kinetiske energi som finnes i strømmingen men denne kan beregnes fra kontinuitet siden man kjenner volumstrøm og areal. På denne måten sikrer man at vifta får kreditt for alt arbeidet den gjør, hadde det ikke vært et innløpsrør ville trykket foran vifta vært høyere da trykktapene ville blitt vært mindre. Trykkdifferansen over vifta beregnes da som

$$\begin{aligned}\Delta p_{tot} &= \Delta p_{statisk} + \Delta p_{dynamisk} \\ &= \Delta p_{statisk} + \frac{1}{2}\rho \left(\frac{Q_2}{A_2}\right)^2 - \frac{1}{2}\rho \left(\frac{Q_1}{A_1}\right)^2\end{aligned}\quad (3.4.1)$$

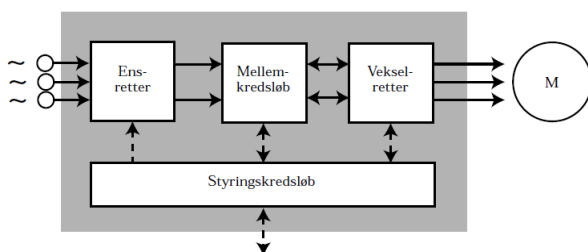
hvor det dynamiske trykket vil være like stort på begge sider siden arealene er like store og farten også må være lik for å bevare kontinuitet.



Figur 3.11: Trykkmåling med ringledning

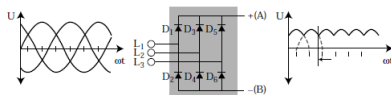
3.5 Frekvensomformer

De foreløpige testresultatene fra høsten 2009 viste at målinger gjort med et fast turtall på 1485 rpm klarte man ikke å oppnå en tilfredsstillende viftekarakteristikk for Flåkt Woods-vifta [13, Kap. 5]. Ved å installere en frekvensomformer vil turtallet vifta roterer med kunne varieres og volumstrømmen økes. Frekvensomformerens virkemåte er mangfoldig og varierer fra type og produsent. Under er kun prinsippene gjengitt [1, Kap. 2]. Figur 3.12 viser hvordan frekvensomformerens mates med vekselspenning



Figur 3.12: Virkemåte frekvensomformer

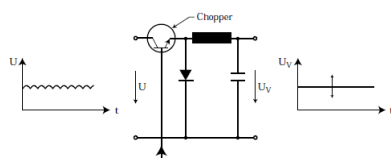
fra nettet helt til venstre, spenningen omgjøres til noe som ligner likespenning som vist i figur 3.13 i en likeretter. Hvis likerettingen gjøres med dioder



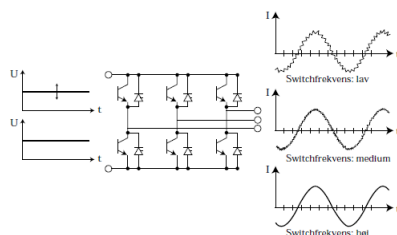
Figur 3.13: Likeretting med dioder

vil størrelsen på spenningen som går videre til mellomkretsen ikke kunne reguleres. Det kreves da at denne reguleringen foretas i mellomkretsen og kan gjøres ved hjelp av en choppertransistor som vist i figur 3.14. Choppertransistoren slås av og på avhengig av ønsket spenningsverdi. Sammen

med transistoren er det et filter som skal redusere rippleeffekten, det vil si redusere små svingninger rundt ønsket signal. Dioden har som oppgave å lede strømmen bort fra transistoren når denne slås av, da spolen i filteret vil sette opp en uendelig høy spenning når strømmen gjennom den forandres hurtig. Dette er en fundamental karakteristikk ved spoler. Spenningen ut av mellomkretsen blir således en jevn fin likespenning som kan reguleres i størrelse. Det siste steget blir nå å omgjøre den variable likespenningen



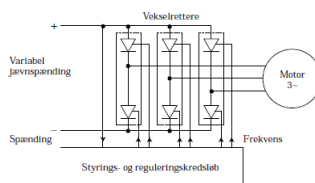
Figur 3.14: Mellomkrets med choppertransistor



Figur 3.15: Vekselretter - variabel inngangssignal øverst til venstre

til variabel vekselspenning som motoren kan benytte. Dette gjøres idag som regel ved hjelp av Insulated Gate Bipolar Transistors (IGBT), en halvlederkomponent som åpner og lukker for strøm tilnærmet øyeblikkelig og som kan skape frekvenser på over 20 kHz. Denne switchfrekvensen har stor betydning på kvaliteten på utgangssignalet til frekvensomformerer som vist i figur 3.15. Vekselrettingen som benyttes av frekvensomformere med variabel mellomspenning kalles Puls-Amplitude-Modulasjon (PAM)

og siden størrelsen på spenningen reguleres i mellomkretsen er det kun frekvensen som varieres i vekselretteren. Dette gjøres ved at halvlederene (figur 3.16) skifter strømretning et bestemt antall ganger per periode slik at spenningen ut fremstår som vekselspenning. Disse tre stegene styres og



Figur 3.16: Vekselretter (PAM)

kontrolleres av den siste blokken i en frekvensomformer; styringskretsløpet. El-motoren har 2 polpar slik at det teoretiske turtallet kan beregnes fra

$$n = \frac{f \cdot 60}{\text{poltall}} \quad (3.5.1)$$

Det faktiske turtallet vil kunne skille seg noe fra denne på grunn av motorens konstruksjonsmetode.

Når oppstarten nærmet seg og måleutstyr var montert og innkoblet ble det notert tildels kraftig støy på målesignalene. Effekten var sterkest i turtallsmålingen som ble påvirket i så stor grad at resultatene var ubrukelige. Etter feilsøking ble frekvensomformeren avslørt som syndebukken.

3.5.1 Støy fra frekvensomformere

Elektromagnetisk støy (EMC) fra frekvensomformere deles inn i to hovedtyper, høyfrekvent støy gjennom hovedsaklig luft (radiostøy) og lavfrekvent støy som forplanter seg gjennom tilførsel, kontroll og motorkabler [1, Kap. 4]. Den lavfrekvente støyen har den egenskapen at den virker tilbake på nettet og, hvis kraftig nok, kan forandre den sinusformede nettspenningen.

I dette tilfellet var det den høyfrekvente støyen som skapte problemer og det ble iverksatt tiltak for å redusere forplantning i kabler og luft. Radiostøy, som opptrer i 10 kHz til GHz området, kommer fra det hurtige strømretningsskiftet skapt av halvlederene i frekvensomformerer. Den luftbårne støyen ble forsøkt skjermet ved å plassere omformerer i en omsluttende boks av ledende materiale, på folkemunne kalt et Faradaybur. Faradayburet fungerer slik at ladninger på skapt på innsiden distribuere seg langs overflaten Den delen som forplanter seg i ledningsnett kan reduseres ved å bruke skjermede kabler. Men det mest effektive er å benytte seg av et filter som ikke slipper høyfrekvente signaler gjennom. Frekvensomformerer som var tilgjengelig på Vannkraftlaben var av gammel dato og hadde ikke dette filteret innebygget slik som alle moderne omformere har. Via bekjente ble det skaffet til veie en ny frekvensomformer med filter, Cutler Hammer SVX001A1-2A1B1, og dette løste problemet med støy.

3.6 Temperaturmåling

Temperaturen i vifteriggen måles for å bestemme tettheten til luft siden volumstrømmen beregnes blant annet ved hjelp av tettheten. Målingen foretas nedstrøms for måleblenden, rett foran innløpet til vifta. Temperaturen måles med 'S1222 Temperature Meter, 4831-2' fra 'Systemteknik' og har en nøyaktighet på 0.01 °C. Transmitteren er et PT-100 element som baserer seg på at den elektriske motstanden i platinum varierer på en konsistent måte slik at strømmen gjennom elementet, ved fast matespenning, gir en direkte sammenheng med temperaturen i omgivelsene hvor elementet er plassert.

3.7 Effektmåling

I forbindelse med prosjektoppgaven høsten 2009 ble den elektriske effekten levert til el-motoren målt for å finne mekanisk effekt levert til vifteaksling. Det ble stilt store spørsmål ved oppgitt virkningsgrad til motoren og hvordan denne varierte med belastning. Innledende målinger gjort tidlig vår 2010 viste at denne mistanken var berettiget og siden man nå måler den mekaniske effekten direkte ved hjelp moment og turtall ble det i samråd med veileder valgt å droppe målingen av effekt.

3.8 Loggeprogram

For å overføre målesignaler fra transducere til data som kan behandles og analyseres ble LabView, en grafisk programmeringsplattform benyttet. Signaler fra måleinstrumentene tas inn programmet ved hjelp av et loggekort, NI-USB 6211, som har en oppløsning på 16 bit og en loggehastighet på 250 kS/s. Hastighet og oppløsning deles på de kanaler som er i bruk og med 3 signaler inn er både oppløsningen og hastigheten på målingene svært bra. Det tas 10000 målinger med en frekvens på 10000. Det vil si at vi får inn 10000 målinger hvert sekund. Før signalene brukes videre i beregninger tas først det aritmetiske gjennomsnittet av 10000 rådatamålinger som legges inn i en vektor. Videre tas det aritmetiske snittet av de siste 10 elementene i vektoren. Den siste operasjonen er en form for akkumulert gjennomsnitt som sikrer at man får fjernet store deler av den tilfeldige usikkerheten til transmitterne. Nå er dataene klare for å bli prosessert i en sløyfe hvor man beregner ulike parametre som trykkøkning, volumstrøm, virkningsgrad etc. De beregnede verdiene skrives ut til skjerm i form av grafer og numeriske verdier. Ønsker man å lagre data, for eksempel under test eller kalibrering, er det lagt til rette for å skrive ut både beregnede verdier, midlede og rådata. Programmet vises i 10.

Kapittel 4

Usikkerhetsanalyse

Målinger av fysiske størrelser vil alltid ha et visst usikkerhetsmoment over seg. Å måle 100% nøyaktig den verdien som faktisk inntreffer er ikke mulig. Usikkerhetsanalyse går ut på å kvantifisere nøyaktigheten på målinger man gjør samt avledede størrelser fra samme målinger. I appendiks 10.4 er det gitt utledninger av formler og uttrykk som benyttes i dette kapitlet. Den relative feilen ($\Delta u_i/u_i$) betegnes i rapporten som f_i .

4.1 Størrelser som behøves i kalibreringene

Dette er størrelser som benyttes indirekte for å bestemme virkningsgraden til viften, men feilbidraget fra disse er ikke ansett som betydelig nok til at det er foretatt usikkerhetsanalyse utover den delvis systematiske og delvis tilfeldige usikkerheten som er oppgitt i kalibreringsblad eller som er funnet ved hjelp av en primærmetode.

Temperaturmåling Temperaturen måles for å bestemme tettheten til lufta. Kalibreringsblad oppgir feil til 0.01 °C ved 20 °C som gir $f_T = 0.05\%$. Temperaturen varierer svært lite og dette er høyeste feilverdi som oppstår. f_T settes derfor konstant.

Atmosfæretrykkmåling Atmosfæretrykket måles for å bestemme tettheten til lufta. Kalibreringsblad oppgir feil til 0.0098%

Måling av indre inngangsdiameter Diameter måles med et skyvelær og hvis målingen gjøres skikkelig vil usikkerheten gis direkte av skyvelærets nøyaktighet som er satt til $\pm 0.1mm$ som gir $f_D = 0.04\%$.

Måling av minste indre diameter Måleblenden er maskinert og har oppgitt nøyaktighet til $f_d = 0.01\%$ [14].

4.2 Usikkerhet ved kalibrering

Man skal kunne følge et primærinstruments usikkerhet helt tilbake til en primærmetode og dennes usikkerhet. En primærmetode går ut på å benytte seg av lengde, masse eller tid som det finnes definisjoner på. Da forfatteren ikke har funnet en standardisert prosedyre for å finne målefeil ved beregning av virkningsgrad til vifter spesielt, ble det bestemt å bruke "IEC 60193: Hydraulic turbines - Model acceptance tests" som utgangspunkt. Denne ble brukt av Bjarte Grytli Seim i 2008 for å finne usikkerheten til virkningsgraden til en Pelton turbin [19, s. 16]. I det følgende er det benyttet 95% konfidensintervall ved statistiske beregninger slik at virkningsgraden også med 95% vil ligge innenfor sin feilmargin. I de tilfeller hvor feil er konstante, eller endres så lite at de er antatt som konstante, er tallverdi oppgitt. I de tilfeller hvor feilen er en funksjon avhengig av målepunkt er det ikke oppgitt tall men disse kan for hvert punkt finnes i 10.8.

4.2.1 Differansetrykkmålere

Kalibreringen gjøres med et skråttstående manometer fylt med metanol som vist i Figur 4.1. Et referansetrykk settes så på luftslangene til mano-

Tabell 4.2.1: Ulike feil ved kalibrering av instrument

Feil	Beskrivelse
$\pm f_a$	Systematisk feil for primærinstrumentet
$\pm f_b$	Tilfeldig feil for primærinstrumentet
$\pm f_c$	Systematisk feil for sekundærinstrumentet
$\pm f_d$	Tilfeldig feil for sekundærinstrumentet
$\pm f_e$	Fysiske fenomen og ytre påvirkning
$\pm f_f$	Feil i fysiske størrelser



Figur 4.1: Kalibrering av differansetrykkcelle

meteret og trykktransducere man ønsker å kalibrere. Er man nøye under konstruksjonen kan unøyaktigheten bli så lav som 1.33 Pa ved målingen [3, s. 444]. For en snittmåling på 400 Pa vil det si 0.33 %. Målt trykkdifferanse kan uttrykkes som

$$\Delta P = \rho_{met} \cdot g \cdot h \quad (4.2.1)$$

$f_{P_a} + f_{P_b}$ Konstruksjonen antas å være utført nøyaktig og benytter da 0.33 %. I tillegg kommer feil ved tettheten til metanol. Tettheten antas å forandre seg lite og usikkerheten settes som om det var vann. Denne er oppgitt til 0.01% [19, s. 16]. Brukt tallverdi for tettheten til metanol er bestemt ved 1 atm og 20°C. Temperaturen ved kalibrering var 19.4°C. Systematisk og tilfeldig feil i primærinstrumentet er totalt $\pm 0.3448\%$.

f_{P_c} Poenget med kalibreringen er å fjerne denne feilen og hvis denne gjøres korrekt vil det eneste feilbidraget man sitter igjen med være knyttet til regresjonen. Ved kalibrering ble det benyttet et Labview program skrevet av PhD Håkon Hjort ved Vannkraftlaben. I programmet beregnes både systematisk og tilfeldig feil i sekundærinstrumentet med henholdsvis regresjonsanalyse, seksjon 10.4.2, og statistiske metoder beskrevet i 10.4.

f_{P_d} Fra kalibreringskurven, se figur 4.2, med feilmargin ble det laget et matlabskript som beregner usikkerheten i hvert enkelt punkt ut ifra kurvetilpasning. Programmet finnes i 10.15.

f_{P_e} Det er ingen åpenbare fenomener som utpeker seg til å kunne skape problemer derfor antas denne å kunne neglisjeres.

f_{P_f} Under kalibreringen leser man av mm væskesøyle med metanol og beregner trykkdifferansen ved 4.2.1. Dette innebærer at man kan få feil ved feilavlesning av h $f_{P_{f,h}}$, feil ved gravitasjonskonstanten $f_{P_{f,g}}$ og feil ved tettheten til metanol $f_{P_{f,\rho}}$. Sistnevnte er tatt inn i f_{P_a} . Nøyaktigheten til g antas å være svært lav og neglisjeres [19, s. 20]. Vi sitter da igjen med $f_{P_{f,h}}$ som antas å kunne settes til $\pm 0.5mm$. For et snitt på 10 cm avlest verdi blir denne da $\pm 0.5\%$.

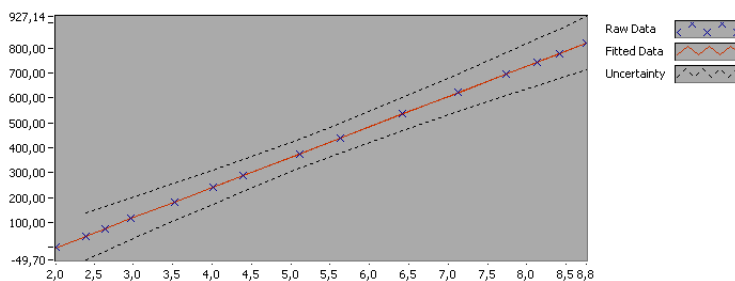
Med rss-metoden gir dette

$$f_{P_{cal}} = \sqrt{f_{P_{a+b}}^2 + f_{P_{c+d}}^2 + f_{P_f}^2}$$

Kalibreringskurve for differansetrykk ble

$$d_P = 121.821886 \cdot x - 246.784795$$

hvor x er målsignal i Volt og d_P er trykk i Pascal. Se også 10.4.4



Figur 4.2: Kalibreringskurve for differanstrykkcellen (Avvik er multiplisert med 100)

4.2.2 Volumstrømmmåling

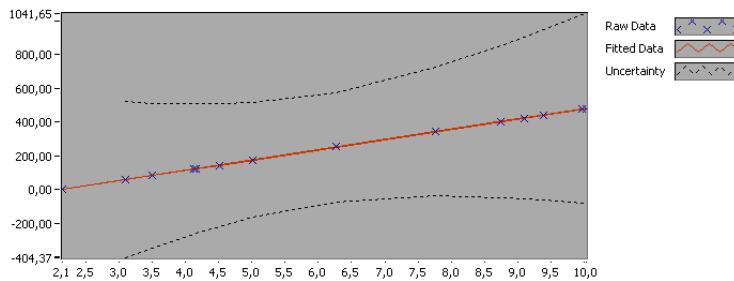
Siden volumstrømmen måles ved hjelp av en differansetrykkcelle, og det kun er denne som kalibreres, vil fremgangsmåten for å finne feil fra kalibrering for volumstrøm bli identiske med dem for differanstrykkcellen vist ovenfor. Men siden det er en annen celle (men med samme spesifikasjoner og produsent), og et mindre måleområde, vil kalibreringskurven bli annerledes.

$$d_{P_Q} = 60.81772 \cdot x - 130.3702$$

hvor x er målsignal i Volt og d_{P_Q} er trykk i Pascal. Se også 10.4.4

4.2.3 Momentmåling

Momentetmåleren kalibreres ved hjelp av vekter som plasseres på en arm. Når man kjenner massen, tyngdens akselerasjon og armens lengde



Figur 4.3: Kalibreringskurve for differanstrykkcellen til volumstrømmålingen (Avvik er multiplisert med 100)

samt tilhørende usikkerheter kan man finne det virkelige momentet og usikkerheten til momentmåleren. Momentet beregnes fra

$$T = m \cdot g \cdot s \quad (4.2.2)$$

Momentmåleren ble kalibrert på motorakslingen slik at lagerfriksjon og andre feilkilder tas hensyn til; slik blir momentet som settes på under kalibrering likt det momentet som overføres til vifta under kjøring. Armen, s , er 50 mm og loddene 1 kg. Armen er konstruert slik at massesenteret ligger midt på motoraksling og vil således ikke bidra til moment i ene eller andre retningen. Kalibreringsområdet er fra 0-5 Nm.

f_{T_a} Den relative systematiske feilen til primærinstrumentet blir her gitt av f_{T_l} .

f_{T_b} Hverken vektene eller armen har tilfeldige feil tilknyttet seg, de er konstante.

f_{T_c} Poenget med kalibreringen er å fjerne denne feilen og hvis denne gjøres korrekt vil det eneste feilbidraget man sitter igjen med være

knyttet til regresjonen. Denne tas hånd om ved hjelp av regresjonsanalyse og kurvetilpasning når kalibreringen gjøres. Resultatene kan finnes i 10.8

f_{T_d} Den relative tilfeldige feilen for sekundærinstrumentet beregnes ved hjelp av likning 10.4.7 og resultatene kan finnes i 10.15.

f_{T_e} Utover lagerfriksjonen som det er tatt hensyn til, er det ingen åpenbare fenomener som utpeker seg til å kunne skape problemer derfor antas denne å kunne neglisjeres.

f_{T_f} Tre fysiske størrelser benyttes, tyngdens akselerasjon g , armen s og vektens masse m . Tyngdens akselerasjon ved Vannkraftlaboratoriet er nøyaktig bestemt til å være 9.82146516 m/s^2 og feil i denne neglisjeres [19, s. 20]. Armen måles med skyvelær og bidrar med $f_s = \pm 0.2\%$. Vektens masse er oppgitt å være innenfor ± 0.1 [12]. Totalt $f_{T_f} = \pm 0.64\%$

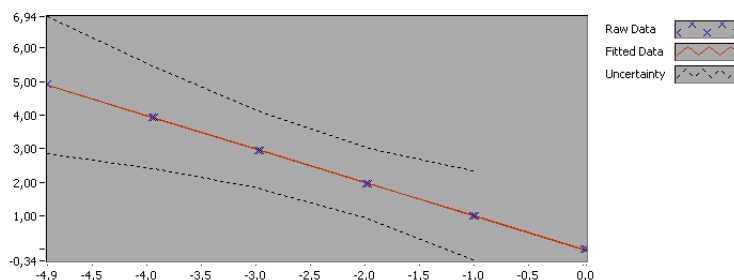
Kalibreringskurve for momentmåleren ble

$$d_T = -0.995405630 \cdot x + 0.0009444$$

hvor x er målsignal i Volt og d_T er moment i $[Nm]$. Se også 10.4.4

4.3 Usikkerhet ved testkjøring

Ved testkjøring er det foretatt 10000 målinger i sekundet over en periode på 10 sekunder slik at man ved hvert enkelt målepunkt har 100000 verdier. Dette betyr at man vil få samme usikkerhet om man benytter seg av en normalfordeling eller student-T fordeling. I tillegg til feilene man har fra kalibreringen kan ytterligere feil oppstå ved testkjøring. Feil ved testkjøring er listet i tabell 4.3.1 [19].



Figur 4.4: Kalibreringskurve for momentmåleren (Avvik er multiplisert med 1000)

Tabell 4.3.1: Ulike feil ved testkjøring

Feil	Beskrivelse
$\pm f_{kal}$	Systematisk feil fra kalibrering
$\pm f_h$	Ytterlige Systematisk feil for sekundærinstrumentet
$\pm f_j$	Feil i fysiske størrelser
$\pm f_{ks}$	Systematisk feil ved fysiske fenomen og ytre påvirkning
$\pm f_{kt}$	Tilfeldig feil ved fysiske fenomen og ytre påvirkning
$\pm f_l$	Tilfeldig feil som følge av mangel på repeterbarhet

4.3.1 Differansetrykkmåler

$f_{P_{kal}}$ Denne hentes direkte fra 4.2 siden test og kalibrering gjøres under samme forhold. Feilen har i utgangspunktet både systematiske og tilfeldige komponenter men blir helt systematisk siden kalibreringen (og dens feil) tar hensyn til begge disse.

f_{P_h} Dette er feil som følge av at sekundærinstrumentet ikke klarer å gi ut samme signal over tid, drifting og hysteresis, drifting kan reduseres

ved å kalibrere ofte. Siden det er kort tid mellom kalibrering og testkjøring neglisjeres denne.

f_{P_j} Differansetrykkcellen gir ut et spenningssignal som hentes direkte. Det er derfor ikke andre fysiske størrelser å ta hensyn til utover det som er gjort i kalibreringsfeilanalysen.

$f_{P_{ks}}$ Da test og kalibrering er under samme forhold er denne tatt hensyn til i $f_{P_{kal}}$.

$f_{P_{kt}}$ Da test og kalibrering er under samme forhold er denne tatt hensyn til i $f_{P_{kal}}$.

f_{P_l} Denne finnes fra testdata ved å benytte likning 10.4.7 og varierer fra testpunkt til testpunkt. Resultat finnes i 10.4.4.

Dette gir, ved bruk av rss-metoden, en total feil for differansetrykkmåling

$$f_P = \pm \sqrt{f_{P_{kal}}^2 + f_{P_l}^2}$$

4.3.2 Volumstrømsmåling

Ved å benytte samme prosedyre som for f_P finner man total feil i volumstrømsmålingen

$f_{Q_{kal}}$ Denne hentes direkte fra 4.2 siden test og kalibrering gjøres under samme forhold. Feilen har i utgangspunktet både systematiske og tilfeldige komponenter men blir helt systematisk siden kalibreringen (og dens feil) tar hensyn til begge disse. For volumstrømsmåleren inngår denne i punkt f_{Q_j} som $f_{\Delta P}$.

f_{Q_h} Dette er feil som følge av at sekundærinstrumentet ikke klarer å gi ut samme signal over tid, drifting og hysteresis, drifting kan reduseres ved å kalibrere ofte. Siden det er kort tid mellom kalibrering og testkjøring neglisjeres denne.

f_{Q_j} Differansetrykket som måles benyttes til å beregne volumstrømmen ved hjelp av likning 3.3.2. Her benyttes flere størrelser og de ulike feilkildene kunne vært delt opp under ulike punkt i denne lista. Men for oversiktens skyld er alle lagt inn under dette punktet. Tallmessig betyr det ingenting og det er prisen man må betale for benytte standarder som skal være generelle men samtidig absolutt korrekte. Behandlingen av disse er vist under.

$f_{Q_{ks}}$ Da test og kalibrering er under samme forhold er denne tatt hensyn til i $f_{Q_{kal}}$.

$f_{Q_{kt}}$ Da test og kalibrering er under samme forhold er denne tatt hensyn til i $f_{Q_{kal}}$.

f_{Q_i} Denne finnes fra testdata ved å benytte likning 10.4.7 og varierer fra testpunkt til testpunkt. Resultat finnes i 10.4.4.

Likning for volumstrøm gjengis her

$$Q = \frac{A_2}{\sqrt{1 - (A_2/A_1)^2}} \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho}}$$

Det kan lett vises ved hjelp av RSS-metoden 10.4.4 hva uttrykket for feilen må bli, men siden måleblenden er designet ut ifra ISO-5167 finner man uttrykk for feilmargin i denne.

$$f_{Q_j} = \sqrt{f_C^2 + f_\epsilon^2 + \left(\frac{2\beta^4}{1-\beta^4}\right)^2 f_D^2 + \left(\frac{2}{1-\beta^4}\right)^2 f_d^2 + \frac{1}{4}f_{\Delta P}^2 + \frac{1}{4}f_\rho^2}$$

$$f_C = 1.667\beta - 0.5\% = \pm 0.69\%$$

$$f_\epsilon = 3.5 \frac{\Delta p}{\kappa \cdot p_1} \approx 0\%$$

$$f_D = \pm 0.0333\%$$

$$f_d = \pm 0.01\%$$

$f_{\Delta P} = f_P$, hentes fra differansetrykkkalibrering

$$f_{\rho} = \pm \sqrt{f_{T_{atm}}^2 + f_{P_{atm}}^2} = \pm 0.2098\%$$

$$f_Q = \pm \sqrt{f_{Q_{kal}}^2 + f_{Q_j}^2 + f_{Q_l}^2} \%$$

4.3.3 Vinkelhastighet

Vinkelhastigheten måles ved hjelp av en optisk sensor som registrerer, og sender ut en puls, for hver passering av et fast punkt på den roterende akslingen. Når neste puls kommer finnes tidsdifferansen mellom pulsene. Det eneste som måles er tiden så kalibrering blir dermed vanskelig. Nøyaktigheten vil da være gitt av hvor raskt man kan logge pulsene, starte/stoppe tidtakningen, altså frekvensen til signalet som starter/stopper tidtakningen, i dette tilfelle 100 kHz. Pål Tore S Storli har i sin masteroppgave redegjort nøye for teorien bak og resultatene hans benyttes her. Systematisk (og eneste) feil ved en frekvens på 100kHz er gitt av

$$f_{\omega} = \pm 7.76 \cdot 10^{-6} \quad (4.3.1)$$

Det er her antatt at feilfordelingen har en triangulær form som er en mellomting mellom en rektangulær fordeling og en normalfordeling. Dette synes fornuftig siden Storli viser at det er mer sannsynlig med utfall nær middelverdien enn i ytterkantene. Valgt konfidensintervall er 95%.

4.4 Total usikkerhet for virkningsgrad

Når man har funnet alle delusikkerhetene som inngår i uttrykket for virkningsgraden kan total usikkerhet finnes

$$f_{\eta} = \pm \sqrt{f_P^2 + f_Q^2 + f_T^2 + f_{\omega}^2}$$

Kapittel 5

Prosedyre for kalibrering

5.1 Innledning

Kalibreringen skal foregå under så normale forhold som mulig. Det vil si forhold som kan tenkes å kunne inntreffe ved testkjøringer i fremtiden. Kalibreringen bør foretas så tett opp mot testkjøring som mulig og minst en gang i året [20].

5.2 Kalibrering av momentmåler

Momentetmåleren kalibreres ved hjelp av vekter som plasseres på en arm. Når man kjenner massen, tyngdens akselerasjon og armens lengde samt tilhørende usikkerheter kan man finne det virkelige momentet og usikkerheten til momentmåleren. Momentet beregnes fra

$$T = m \cdot g \cdot s \quad (5.2.1)$$

T, Moment [$N \cdot m$]

m, masse [kg]

g, Tyngdens akselerasjon [m^2/s]

s, armens lengde [m]

Momentmåleren bør kalibreres på motorakslingen slik at lagerfriksjon og andre feilkilder tas hensyn til; slik blir momentet som settes på under kalibrering likt det momentet som overføres til vifta under kjøring. Armen, s, er 50 mm og loddene 1 kg. Armen er konstruert slik at massesenteret ligger midt på motoraksling og vil således ikke bidra til moment i ene eller andre retningen. Kalibreringsområdet er fra 0-5 Nm.

5.2.1 Utstyrliste

Arm

Festeanordning

Vektlodd

Kalibreringsprogram*

* Kalibreringsprogrammet, skrevet av PhD Håkon Hjort, er et glimrende verktøy ved kalibrering og gjør det lettere å få en nøyaktig kalibrering. Det anbefales å benytte dette, men kalibreringen kan gjøres uten.

5.2.2 Forberedelser

- 1 Platen som motor, aksling og momentmåler er plassert på må tas ut av vifteaggregatet og plasseres på plan overflate.
- 2 Vektloddenes masse og usikkerhet må finnes. Finn også massen til festeanordningen.
- 3 Forventet verdi og tilhørende usikkerhet beregnes ved hjelp av likning 5.2.1.
- 4 Program for kalibrering startes og informasjon om kalibreringen legges inn.

- 5 Påse at loddene tillates å henge fritt.
- 6 Påse at akslingen ikke tar borti fremmedlegemer som kan påvirke målingene.

5.2.3 Kalibrering

Det skal minimum tas 10 punkter, (0, 25%, 50%, 75%, 100%, 75%, 50%, 25%, 0%) iflg datablad fra produsent

- 1 Målt moment uten noe belastning registreres.
- 2 Lodd henges på arm. Loddet bør ikke pendle. Registrer målt moment.
- 3 Gjenta punkt 2 til ønsket maksimumsverdi.
- 4 Fjerne ett lodd og registrer verdi. Loddet bør ikke pendle.
- 5 Gjenta punkt nr 4 til og med nullpunkt. Husk å fjerne festeanordning på nullpunktet.

5.2.4 Etterbehandling

Hvis man benytter seg av kalibreringsprogrammet blir det følgende gjort i programmet. De registrerte dataene gir en lineær sammenheng mellom påført moment og målt voltverdi i momenttransduceren. Man må da finne koeffisientene a og b i likningen

$$T = a \cdot x + b \quad (5.2.2)$$

T , Moment [$N \cdot m$]

x , målt verdi [V]

5.3 Differanstrykktransducer

Kalibrering av differanstrykktransducer gjøres med et skråttstående manometer fylt med metanol. Kalibreringen skal gjøres med en temperatur mellom 18-22 deg C [20]. Et referansetrykk settes så på luftslangene til manometeret og trykktransducere man ønsker å kalibrere. Ved å avlese væskehøyden kan man finne trykket p fra likning 5.3.1

$$p = \rho_{met} \cdot g \cdot h \cdot \sin(\Theta) \quad (5.3.1)$$

ρ_{met} , Tetthet til metanol [kg/m^3]

g , Tyngdens akselerasjon [m/s^2]

h , Avlest høyde [m]

$\sin(\Theta)$, komponent av væskeøyde som bidrar til statisk trykk (Avleses direkte på manometer)

5.3.1 Utstyrliste

Skråttstående manometer (Wilh. Lambrecht GmbH 655) med slanger og klemme,

Kalibreringsprogram*

* Kalibreringsprogrammet, skrevet av PhD Håkon Hjort, er et glimrende verktøy ved kalibrering og gjør det lettere å få en nøyaktig kalibrering. Det anbefales å benytte dette, men kalibreringen kan gjøres uten.

5.3.2 Forberedelser

- 1 Differanstrykktransducere kobles til skråttstående manometer, benytt helst samme slanger som skal benyttes under testing.

- 2 Påse at manometeret er plassert på en plan plate og finjuster dette med skruer som finnes på manometer. Benytt vannvater som finnes på manometeret til å få det helt plant.
- 3 Manometer og differansetrykktransducør bør være på samme høyde.
- 4 Bestem vinkelen manometeret skal ha, dette er avhengig av kalibreringsområde.
- 5 Still inn manometer slik at atmosfæretrykk settes som referansetrykk.
- 6 Juster nullpunktet på manometer slik at væskesøylen ligger på null i avlesningsområdet.
- 7 Gjør klart et regneark slik at avlest høyde raskt kan omberegnes ved hjelp av likning 4.2.1 til trykk. Her bør også usikkerhet i avlest høyde kunne beregnes.
- 8 Program for kalibrering startes og informasjon om kalibreringen legges inn.
- 9 Sjekk at alle koblinger er tette. Dette kan gjøres ved å trykksette systemet og se om væskesøylen beveger seg. Den bør være konstant i minimum 30 sekunder.

5.3.3 Kalibrering

Det skal minimum tas 10 punkter inkludert null og fullskalverdi i stigende og synkende trykk i følge [20]. Benyttes kalibreringsprogram vil det underveis være enkelt å se hvilke områder som har størst usikkerhet og derfor behov for flere kalibreringspunkt.

- 1 Koble manometeret til transducørens høytrykkside merket H med luftslange. Transducørens lavtrykkside merket L settes til atmosfæretrykk.

- 2 Registrerer voltverdi og beregnet verdi for nullpunkt.
- 3 Øk trykket kontrollert, for eksempel ved å tvinne luftslangen rundt fingeren, steng av ved å skru igjen klemme. Påse at væskehøyden er konstant og les av verdi.
- 4 Beregn trykket som tilsvarer denne væskehøyden.
- 5 Gjenta punkt 2 til 3 til man oppnår fullskalverdi.
- 6 Gjenta punkt 2 til 3 fra fullskalaverdi og ned til null.

5.3.4 Etterbehandling

Hvis man benytter seg av kalibreringsprogrammet blir det følgende gjort i programmet. De registrerte dataene gir en lineær sammenheng mellom påført trykk og målt voltverdi i differansetrykktransduceren. Man må da finne koeffisientene a og b i likningen

$$p = a \cdot x + b$$

p , differansetrykk [Pa]

x , målt verdi [V]

Kapittel 6

Prosedyre for testkjøring

6.1 Innledning

Alt måleutstyr skal være slått på minimum en time før test igangsettes. Testene skal gjøres under så like forhold som ved kalibrering som mulig. Se kapittel 5.

6.1.1 Forberedelser

- 1 Frekvensomformer kobles til nettet. Denne skal stilles inn på fjernkjøring og dette gjøres lokalt på tablå på frekvensomformer.
- 2 Riggeren betjenes fra PC som er plassert like ved. Grensesnittet er skrevet i LabView og verdier som atmosfæretrykk, temperatur og koeffisienter til volumstrømsmålingen legges direkte inn her.
- 2 Påse at vifteaggregat er fritt for løse gjenstander og at løpehulet kan rotere fritt.
- 2 Utløpskoeffisient C og ekspansjonskoeffisient β er funksjoner av Reynoldstall og må beregnes for hver volumstrøm. Metoden finnes i ISO 5167:2 [6, s. 11]. Det er mulig å benytte seg av et regneark

laget av professor Hans Martin Mathisen ved Institutt for energi- og prosessteknikk NTNU og modifisert av undertegnede. Se vedlegg ??.

6.2 Test av Viftekarakteristikk og Virkningsgrads- kurver

- 1 Atmosfæretrykk i laboratoriet og temperatur i vifteaggregat noteres og legges inn i LabView- programmet.
- 2 Lagringssted for data settes i Labview-programmet.
- 3 Still inn frekvens til ønsket turtall er oppnådd. Ved høye turtall bør dette gjøres i flere trinn slik at momentet ikke overstiger 5 Nm.
- 4 Juster på ventil plassert som er plassert i utløp av testtrigg til ønsket volumstrøm er oppnådd eller til ønsket ventilposisjon.
- 5 La strømmingen stabilisere seg, dette tar normalt mindre enn 10 sekunder.
- 6 Utløpskoeffisient C og ekspansjonskoeffisient β beregnes og verdiene legges inn i LabView-programmet.
- 7 Verdiene logges ved trykke på "Lagre".
- 8 Gjenta punkt 1 til 7 til man har tatt de målinger man ønsker.

Kapittel 7

Resultater og diskusjon

Alle målepunkt i kapitlet er tatt med 100 000 punkt over en tidsperiode på 10 sekunder. Gjennomsnittet av disse blir så beregnet og skrevet ut til en fil. Usikkerhetsanalyse og presentasjon av resultater er gjort med Microsoft Excel 2007 og Mathworks Matlab r2009b. Råfiler og skript finnes i vedlegg 10.8 og 10.15. Testene er foretatt under tilsvarende forhold som ved kalibrering.

7.1 Verifisering av volumstrømsmåling

På grunn av tidligere nevnte problemer, beskrevet i kapittel 3.3, med å måle volumstrøm ble det kjørt en test for å sammenligne tre ulike metoder: bruk av måleblende, pitotrør og Fläkt Woods sitt Centrimeter system. Ved tre tilfeldige volumstrømmer, lav, moderat og høy, ble volumstrømmen målt med disse tre metodene og avvik i forhold til pitotmålingen ble beregnet. Se tabell 7.1.1.

Måleresultatene fra blenden og pitot sammenfaller bra, men har noe større avvik ved lav gjennomstrømning. Dette stemmer godt overens med teori siden usikkerheten tilknyttet måleblenden er størst ved lav volumstrøm. Centrimeteret fra Fläkt Woods viser et avvik som på alle tre målinger

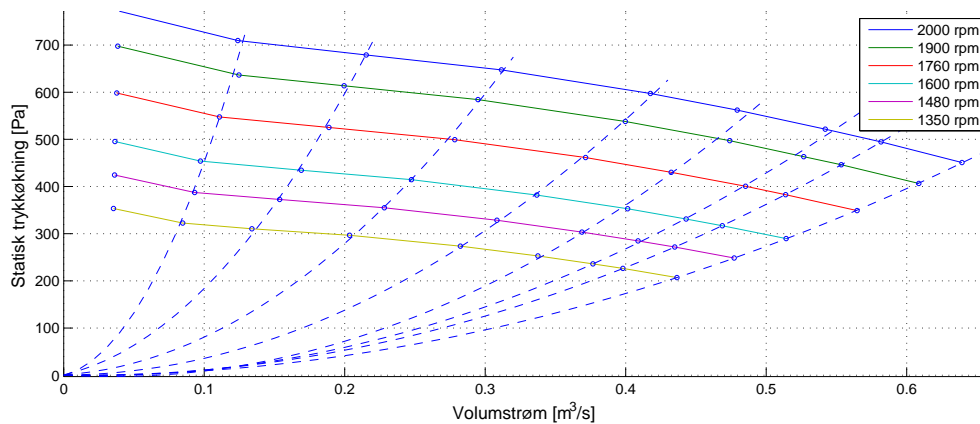
er over 10 % og ved lav volumstrøm nesten 20 %. Dette er urovekkende stort avvik og det kunne vært interessant å avdekke opphavet til dette. Størrelsen på avviket kan tilsi at det er gjort noe feil i konstruksjonen av trykkammeret, se 3.3.1, men det vil føre for langt å arbeide videre med denne problemstillingen i denne rapporten. Målingene fra Centrimeter må følgelig forkastes og vil ikke bli benyttet i de videre testene. Ut ifra resultatene ble det bestemt å benytte måleblenden alene i de videre testene da disse målingene er meget mindre tidkrevende enn pitotmålinger.

Tabell 7.1.1: Resultater volumsstrømverifisering

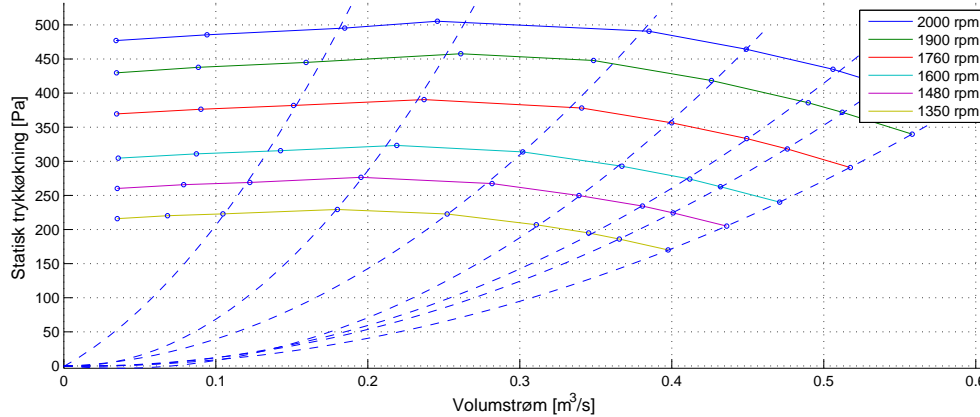
	Pitot	Blende	Centrimeter
$Q_{lav}[m^3/s]$	0.3015	0.2920	0.2515
Avvik [%]		3.244	19.87
$Q_{mod}[m^3/s]$	0.4646	0.4566	0.4091
Avvik [%]		1.738	11.95
$Q_{høy}[m^3/s]$	0.5616	0.5524	0.5090
Avvik [%]		1.672	10.33

Avviket i prosent er i forhold til pitotmålingene.

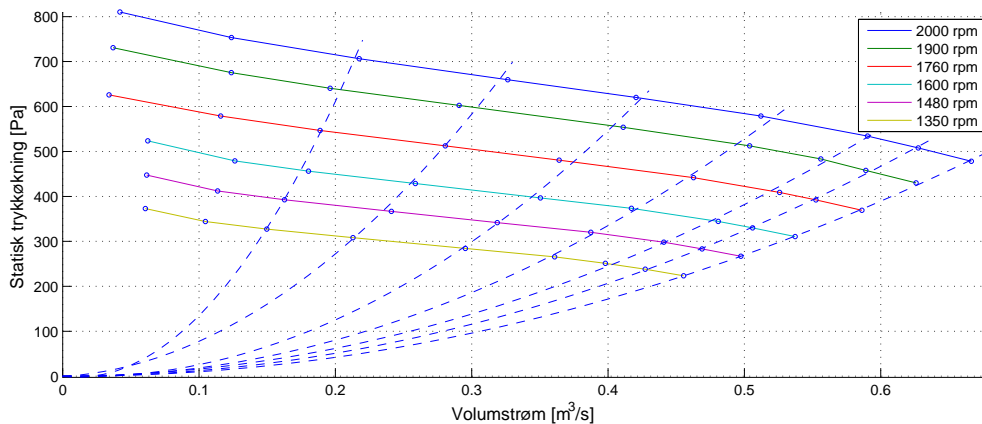
7.2 Viftekarakteristikk



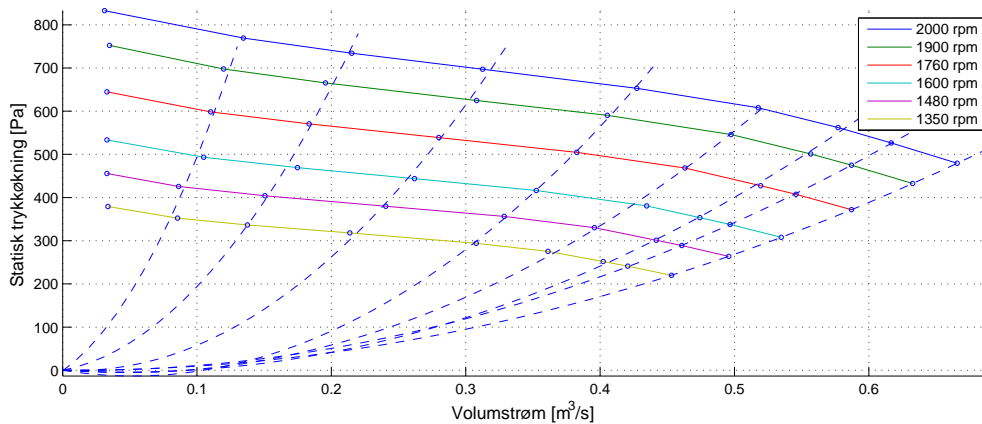
Figur 7.1: Viftekarakteristikk prototype vifte



Figur 7.2: Viftekarakteristikk Flåkt Woods



Figur 7.3: Viftekarakteristikk prototype vifte med 1. generasjons diffusor

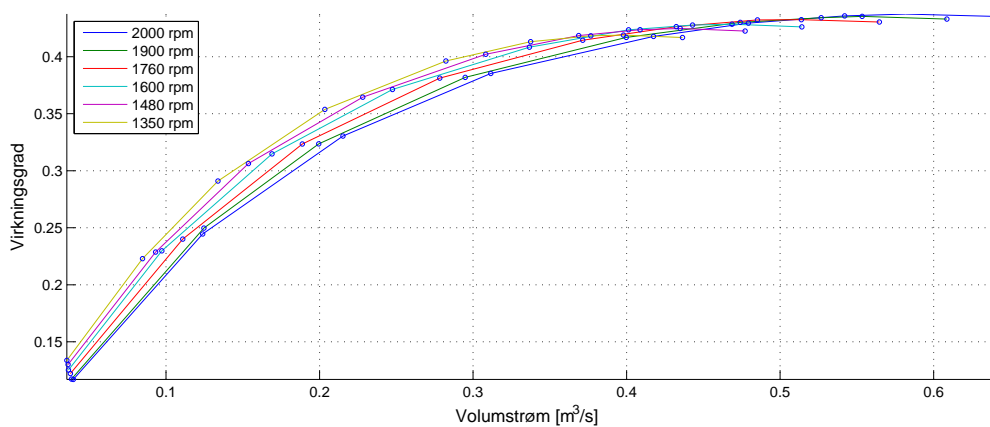


Figur 7.4: Viftekarakteristikk prototype vifte med 2. generasjons diffusor

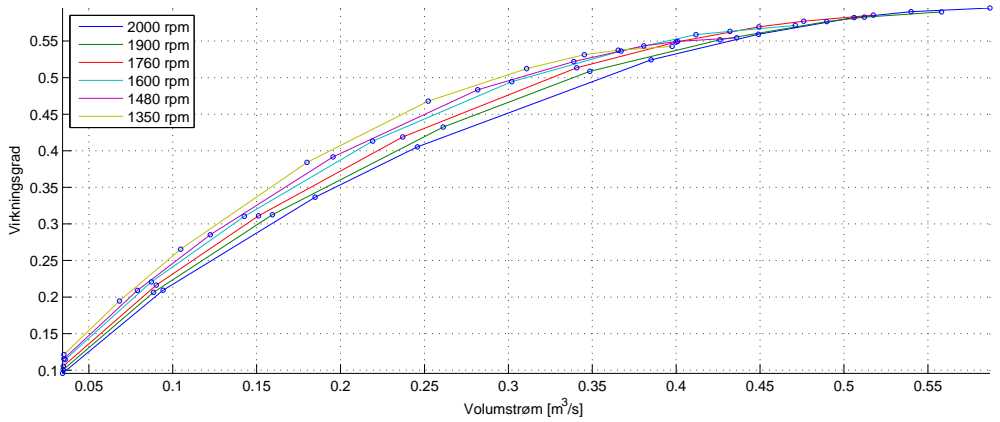
Alle viftekarakteristikkene viser en trend hvor trykkøkningen er en kvadratisk funksjon av turtall slik som affinitetsloven, likning 2.5.2, tilsier. Denne

funksjonen vises med stiplet linje i figurene 7.1 - 7.4. Ved helt lave volumstrømmer er usikkerheten i målingene så stor at resultatene ikke gir mening i en slik fremstilling. En kvadratisk kurvetilpasning gir her ingen fysisk mening og for lave volumstrømmer er denne ikke tatt med. Kurvene diskuteres i seksjon 7.4.

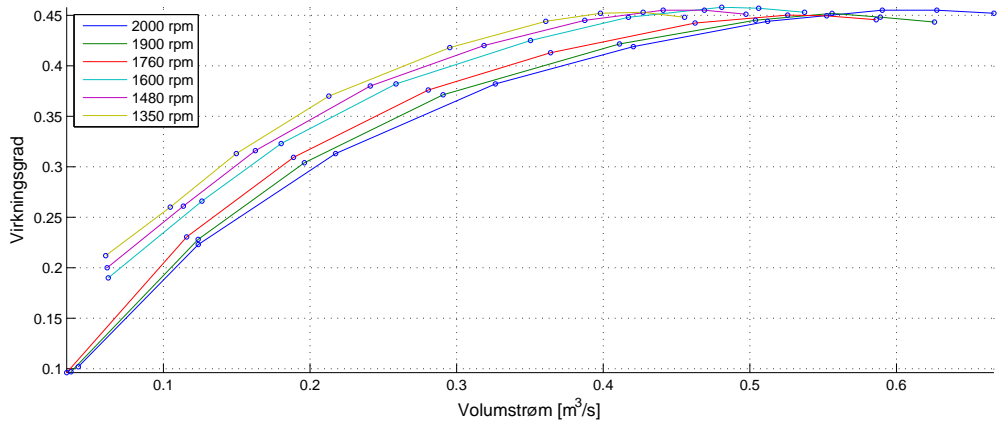
7.3 Virkningsgradsmålinger



Figur 7.5: Virkningsgrad prototype vifte

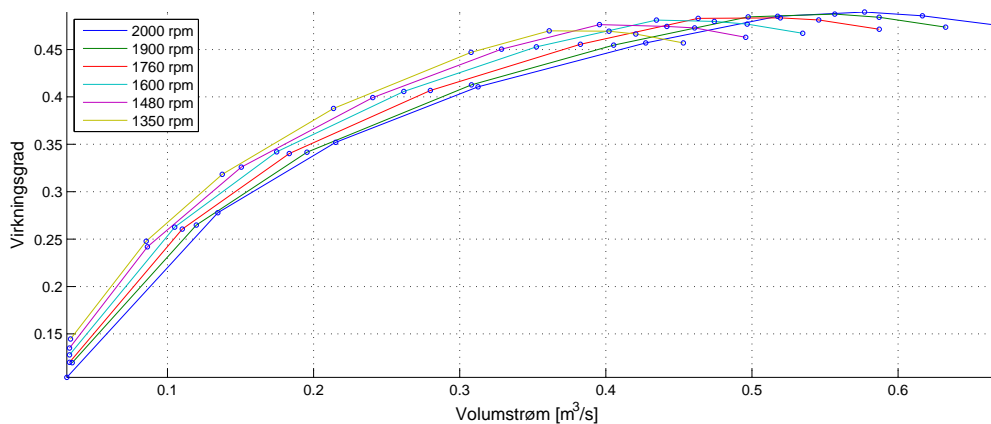


Figur 7.6: Virkningsgrad Fläkt Woods



Figur 7.7: Virkningsgrad prototype vifte med 1. generasjons diffusor

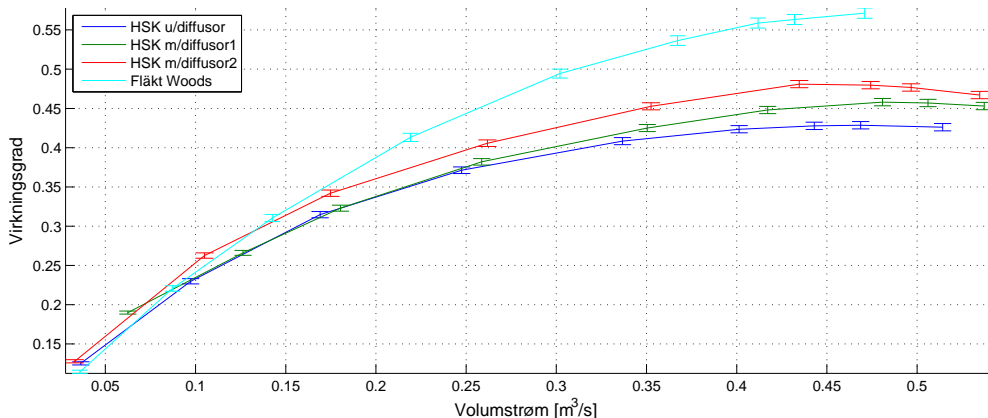
Virkningsgradskurvene diskuteres i neste seksjon (7.4)



Figur 7.8: Virkningsgrad prototype vifte med 2. generasjons diffusor

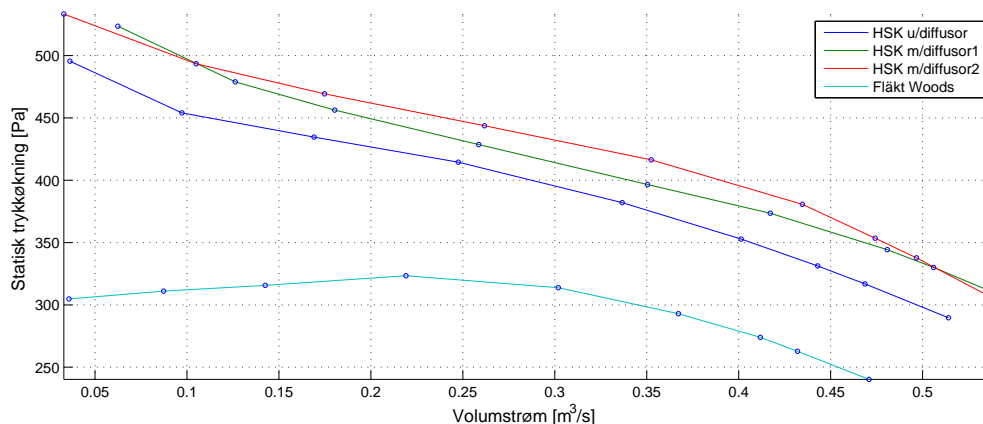
7.4 Sammenligning av resultater

Resultatene for de ulike kjøringene viser nøyaktig samme tendens, høyere statisk trykk og noe økning i virkningsgrad, ved økende turtall. Dette rettferdiggjør å kun sammenligne resultat fra ett fast turtall (valgt til 1600 rpm), noe som gir et oversiktlig og klart uttrykk, uten at det går på bekostning av sannhetsgehalten i diskusjonen. Her er også usikkerheten i hver enkelt måling tatt med. Usikkerheten er rett underkant av 1.1 % hvilket er bedre enn hva som ble oppnådd høst 2009 (3.5 %) [13]. Som figur 7.9 viser er vifta fra Fläkt Woods mer effektiv ved alle volumstrømmer bortsett fra helt lave volumstrømmer. Resultatet er langt unna den oppgitte virkningsgraden på 73 %. Testriggen har tap som vil redusere målt virkningsgrad, siden målet var å måle økning i virkningsgrad i forhold til Fläkt Woods, men undertegnede er svært tvilsom til at Fläkt Woods kan oppnå en slik virkningsgrad i et virkelig anlegg. Et aspekt ved Fläkt Woods sin vifte er at man aldri oppnår maksimal virkningsgrad selv om



Figur 7.9: Virkningsgrad ved 1600 rpm

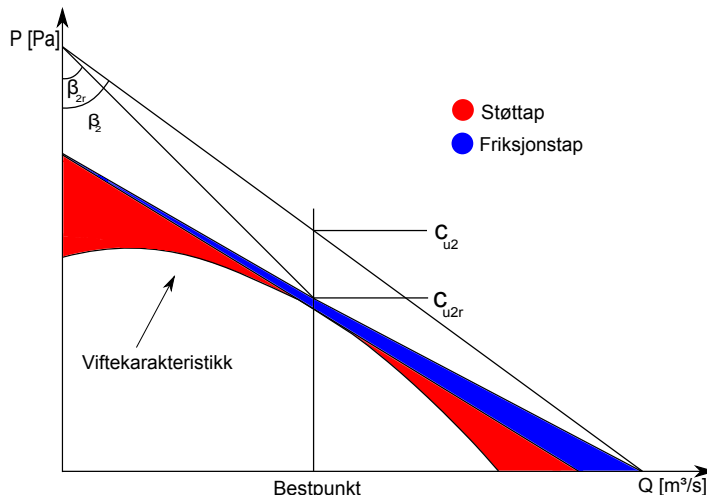
kurvens stigningsstall avtar betraktelig når volumstrømmen går opp. Siden testriggeren kan anses som et ventilasjonssystem i miniatyr og målepunktene for høye volumstrømmer har svært liten strømningsmotstand sammenliknet med et reelt ventilasjonssystem stilles det spørsmål ved hvor effektiv vifta Fläkt Woods vil være i et slikt system med høy strømningsmotstand. At den er betydelig lavere enn maksimal målt virkningsgrad er iallefall klart. For å øke virkningsgraden til vifteaggregatet burde vifte, diffusor og viftehus designes og selges som en løsning. For alle kjøringene ser vi en trend mot økt virkningsgrad ved høyere turtall. Denne lille økningen antas å stamme fra at friksjonstapet i lageroverføringen ikke øker like mye relativt sett som andre tap, noe som vil gi en litt høyere virkningsgrad. Viftekarakteristikken fra Fläkt Woods er interessant av den grunn at man får en økning i trykk når volumstrømmen er lav og økes. Dette avviker fra hva man kunne vente fra teori om vifter med bakoverbøyde skovler. I dette tilfellet vil man være langt unna bestpunktet og vinklene i fartsdiagrammet langt fra ideelle, se figur 2.4. Vifta roterer med konstant hastighet slik at



Figur 7.10: Viftekarakteristikk ved 1600 rpm

u er konstant mens v vil være svært liten på grunn av lav volumstrøm. Friksjonstapene vil være relativt små grunnet den lave farten. Slippvinkelen vil ikke kunne være opphøvet til dette fenomenet siden den kun vil redusere avløpsvinkelen (β_2) og for å få et høyere trykk ved økende volumstrøm må (β_{2i}) være større enn 90° [4]. Se figur 7.11. Siden CFD-simuleringen (Computational Fluid Dynamics) støtter opp om denne karakteristikken gjenstår kun støttapene. Hvis vi sammenligner med figur 2.6 vil støttapene ikke ha en fin parabelform, men tvert om være høyst ulineære og svært store ved lav volumstrøm som i figur 7.11. Et annet aspekt ved karakteristikken er at den ved lave volumstrømmer er svært flat. Dette fører til ustabilitet fordi man ved samme trykkoppbygning kan ha flere volumstrømmer slik at vifta kan pendle mellom flere arbeidspunkt.

Formen på viftekararakteristikken til HSK følger fint forventet kurve og forklares ikke nærmere. Trykket som bygges opp av HSK sine løsninger er betydelig høyere enn hva Fläkt Wood sin vifte klarer. I tillegg viser CFD-analyser [16] at det dynamiske trykket også er betydelig høyere. Men



Figur 7.11: Tap i Fläkt Woods vifte

denne energien må komme fra et sted og tabell 7.4.1 viser hvor mye høyere moment som kreves av HSK i motsetning til Fläkt Woods som har betydelig lavere moment for alle målepunkt. Den tilfeldige usikkerheten fra test er størst for momentmålingen, noe som kan forklares med at akslingen er noe tynn slik at vibrasjon og kast forekommer. Akslingen bør derfor konstrueres i en tykkere utgave. Riktignok var målet å designe en vifte som leverte et høyere statisk trykk ved samme volumstrøm, men dette har i all for høy grad gått på bekostning av tilført moment.

Formålet med å benytte seg av en diffusor er å omdanne hastighetsenergien lufta har når den forlater løpehjulet til statisk trykk. Dette er har vært hovedoppgaven i Halvor Haugsvold sine prosjekt- og masteroppgaver [8], [9] hvor teori og designparametre kan finnes. Resultatene fra laben

viser at man har lykket med å øke trykket og at prototype 2, som er en bladløs diffusor med lav kostnad, øker virkningsgraden med 7.6 % i forhold til prototype 1, og 11.9 % i forhold til HSK uten diffusor. Fortsatt ligger Fläkt Woods 17.8 % høyere enn HSK sin beste løsning i bestpunkt ved 2000 rpm.

Tabell 7.4.1: Resultater høyeste virkningsgrad ved 2000 rpm

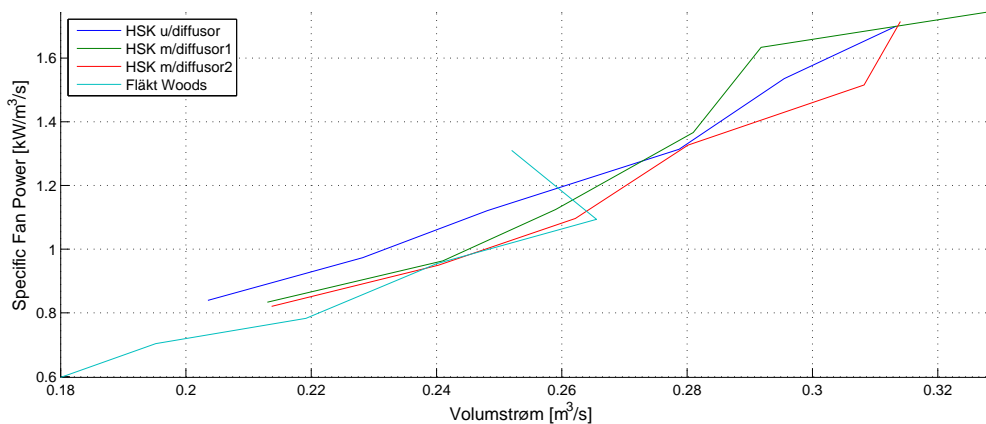
	$Q[m^3/s]$	$\Delta P[Pa]$	$T[Nm]$	η_{maks}^*	$feil[\pm\%]$
Fläkt Woods	0.587	377.0	1.846	0.5953	1.095
HSK	0.5817	494.6	3.086	0.4375 (26.5)	1.088
HSK m/diffusor1	0.590	534.2	3.251	0.4550 (23.6)	1.088
HSK m/diffusor2	0.577	562.2	3.100	0.4896 (17.8)	1.088

* Tallene i parantes viser prosentvis reduksjon mot Fläkt Woods.

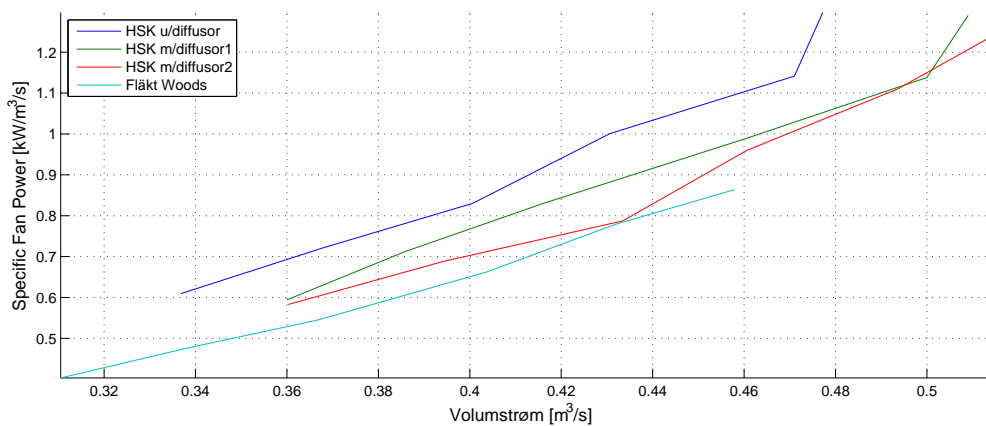
Hvis man holder på tanken om testtriggen som et reellt ventilasjonsanlegg i miniatyr hvor man har mulighet til å variere strømningsmotstanden, som i virkeligheten vil tilsvare å forandre størrelsen på ventilasjonsanlegget (lengre rørbaner og flere enkeltmotstander), kunne det være interessant å sammenligne vifteenhetenes sfp-faktor. Denne er som nevnt ønskelig å ha så lav som mulig. Også ved en sammenligning med sfp-faktor kommer Fläkt Woods seirende ut som figurene 7.12 og 7.13 viser selv om avviket her er noe mindre. Det siste punktet for Fläkt Woods i figur 7.12 viser hvordan ustabilitet kan inntreffe. Her oppnår man lavere volumstrøm ved høyere turtall selv om trykket er høyere.

7.5 Sammenligning med CFD

En bakenforliggende årsak for å konstruere testtriggen var å få sammenlignet resultater med det Sondre Nenseter fikk i sine numeriske beregninger gjort med Ansys CFX, et verktøy for CFD analyse. Dette ble enda viktigere når tidlige CFD-kjøringer viste at designen av prototypen til HSK ikke viste



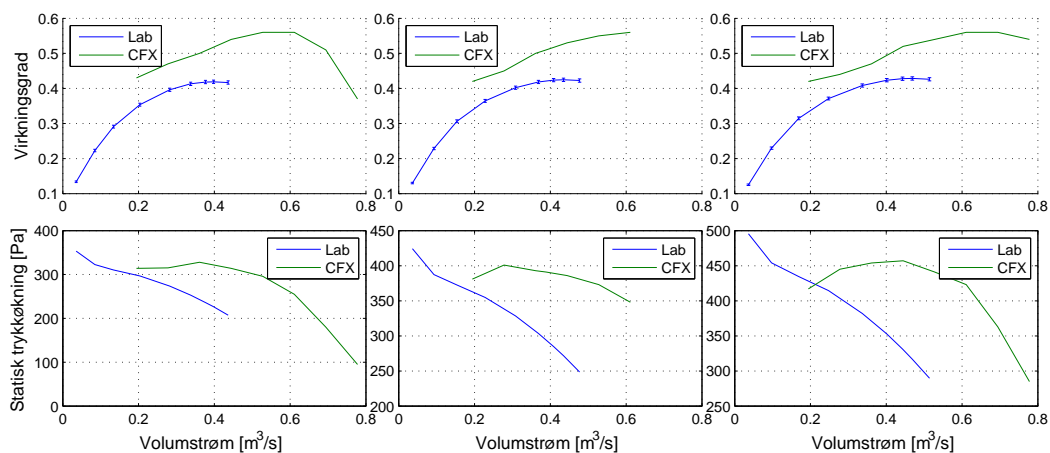
Figur 7.12: Sfp faktor ved stor strømningsmotstand



Figur 7.13: Sfp faktor ved lav strømningsmotstand

særlige oppløftende resultater. Klarer man å få overenstemmelse mellom CFD og lab kan det spares betydelige summer knyttet til prototypekostna-

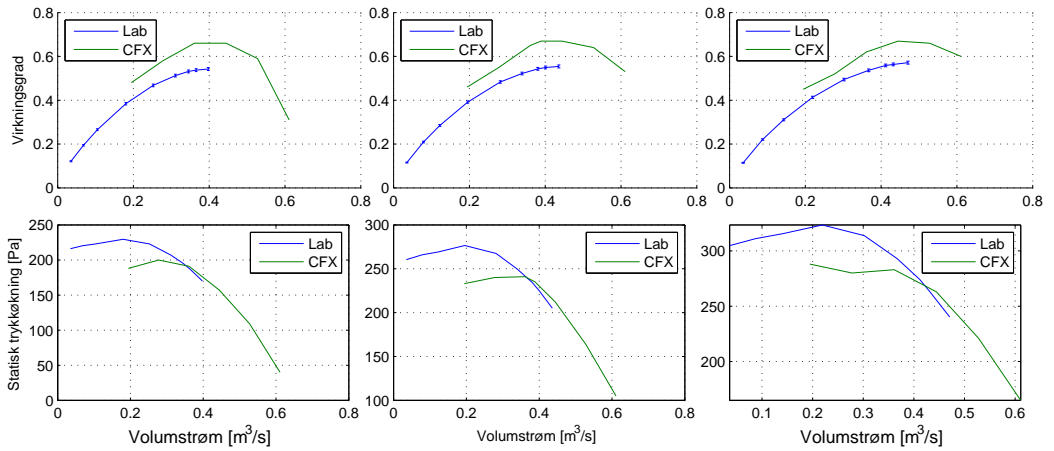
der og ventetid. Fra figur 7.14 kan vi merke oss to ting, resultatene er kun



Figur 7.14: Sammenligning prototype (a) 1350 rpm (b) 1480 rpm (c) 1600 rpm

delvis overlappende og CFX resultatene konsekvent ligger over tallene fra laben. Det første kunne lett vært utbedret ved å kjøre CFD-analyse i CFX for de volumstrømmer som ble målt i laben. I laben har man ikke mulighet til å regulere dette og labresultatene blir derfor bestemmende for området man kjører i CFX. Testtriggen var ikke ferdigstilt før semesteret nærmet seg slutten derfor var det ikke mulig å få kjørt nye simuleringer i CFX. [15]. Faktumet at verdiene fra CFX ligger høyere enn målte verdier er i seg selv ingen krise. Betingelser og konstanter satt i CFX for slipp-betingelser, overflateruhet etc. kan forklare dette. For viftekarakteristikken ser man at formen på de to kurvene varierer, fra laben måles et synkende statisk ved økende volumstrøm mens CFX-simuleringene stiger noe i starten før de faller av. Denne formulikheten må studeres nærmere og anses som det største problemet ved sammenlikning av resultater fra CFX og labforsøk.

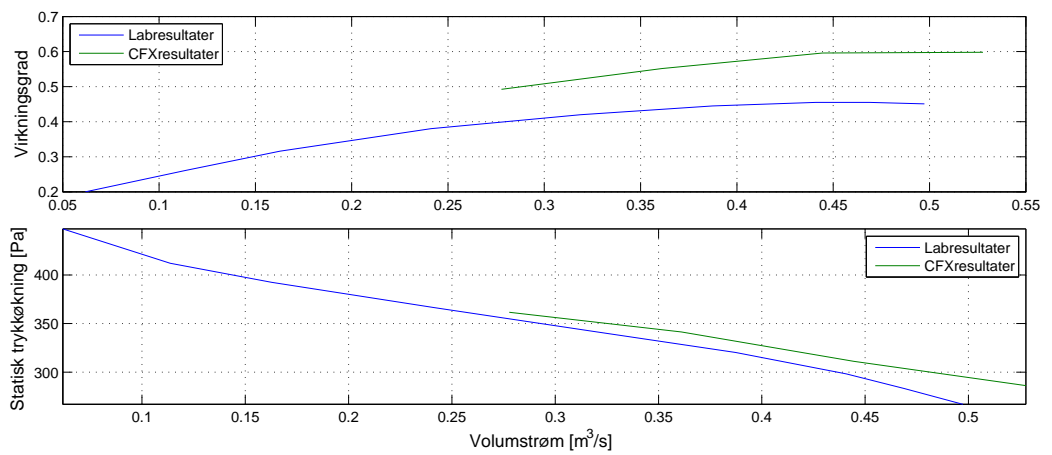
Sammenligningen av resultater for Fläkt Woods sin vifte er betraktelig



Figur 7.15: Sammenligning Fläkt Woods (a) 1350 rpm (b) 1480 rpm (c) 1600 rpm

bedre, her er formlikheten mellom grafene helt tydelig selv om måleområdet også her er noe forskjellig. Antagelsen om at maksimal virkningsgrad ligger like utenfor mulig måleområde støttes av resultatene fra CFX-simuleringene. Siden resultatene mellom labforsøk og CFD er såpass mye bedre for Fläkt Woods sin vifte enn for HSKs prototype stilles det spørsmål ved CFX-modellen i sistnevnte tilfelle ettersom måleoppsettet i laben var identisk for alle forsøkene.

Ser vi på figur 7.16, som har samme karakteristikk som sammenligningen fra Fläkt Woods, styrkes mistanken om at CFX-simuleringen fra HSK uten diffusor ikke er til å stole på. Dette bekreftes av Sondre Nenseter og utgreies i hans masteroppgave [16]. Det fantes kun tall ved 1480 rpm fra CFX-simuleringen i dette tilfellet.



Figur 7.16: Sammenligning HSK med diffusor ved 1480 rpm

Kapittel 8

Konklusjon og videre arbeid

Alle momenter i oppgaven er besvart og resultater lagt frem i denne rapporten. Den mekaniske effekten er målt ved hjelp av en momentmåler og turtallsmåling på akslingen. Det ble lagt betydelig arbeid ned i volumstrømsmålingen, flere steiner ble snudd, men valget falt på en løsning basert på måleblende og denne ble igjen verifisert ved hjelp av pitotmålinger. En kommersiell løsning ble samtidig testet og denne ble funnet svært unøyaktig. Frekvensomformer ble installert slik at turtallet kan reguleres og støy fra denne ble håndtert.

Et nytt program for å håndtere måledata ble laget i Labview. Her beregnes de parametre man er ute etter samt tilfeldig usikkerhet under målinger. Resultatene vises i skjerm og kan, om ønskelig, skrives ut til fil. Trykktransducere og momenttransducer ble kalibrert og nøyaktigheten til disse ble funnet. Det er gjort en grundig usikkerhetsanalyse som endte med en usikkerhet på mellom 1.6 % (lav volumstrøm) til 1.09 % (høy volumstrøm). Denne er en vesentlig forbedring fra høst 2009. Det er skrevet detaljerte måle- og kalibreringsrutiner slik at forsøk kan reproduseres og arbeid på vifteriggen fortsettes uten undertegnede.

Målsetningen om å betydelig øke virkningsgraden til en kammervifte som står i et ventilasjonssystem er ikke nådd. Sammenligningen med Fläkt

Woods viser at denne er mer effektiv for alle volumstrømmer enn prototypen til HSK Fans. Bruk av diffusor viser positive resultater og sammen med en mer effektiv vifte kunne resultatet blitt virkelig interessant. Dessverre ble en svært lik løsning patentert i 2006. Det er funnet at vifta og viftehuset ikke er optimalt i forhold til det systemet disse benyttes i. Videre arbeid bør fokusere på en helhetsløsning hvor vifte, diffusor og viftehus designes i ett.

Det positive er at et nytt design oppnår lovende virkningsgrad i CFX og at det er en klar sammenheng mellom resultater fra lab og CFX-simuleringer fra andre tester. Det er noe avvik i tallstørrelsen mellom lab og CFX og det bør avdekkes hva denne forskjellen ligger grunner på. Undertegnede ønsker at verdier som slippbetingelser, friksjonstall etc. som velges under CFD-simuleringen kontrolleres opp mot fysiske verdier. Både resultatene fra lab og CFX har størst usikkerhet ved lave volumstrømmer men dette området er ei heller det viktigste siden virkningsgraden her er lav. Det bør i fremtiden fokuseres på kommunikasjon mellom labforsøk og CFD-simuleringer slik at det blir bedre overensstemmelse i måleområdet hvor det testes/simuleres.

Gjennom våren 2010 er det samtidig arbeidet for å starte opp et selskap (HSK Fans) dersom de tekniske resultatene skulle bli som håpet på. Det er her skrevet en forretningsplan i samarbeid med Halvor Haugsvold og Sondre Nenseter som er med i rapporten. Denne ble også påmeldt to konkurranser uten å nå helt frem. Slik resultatene er i dag er det ikke stor nok oppside til å kunne rettferdiggjøre oppstarten av et nytt selskap. Arbeidet med å utvikle et nytt løpehjul er ikke kronet med tilstrekkelig hell og veien frem til en virkningsgrad som er betydelig bedre enn hva som finnes idag synes lang. Patentering av vifte og diffusor synes svært vanskelig men det er mulig at en totalløsning hvor vifte og diffusor er en integrert del av viftehuset lettere kan patenteres.

8.1 Videre arbeid

Fra kapittel 7 og ovenfor er det funnet flere punkter som bør undersøkes nærmere / forbedres ved videre arbeid. Dette gjelder spesielt:

Tykkere vifteaksling for å minske vibrasjon.

Undersøke kommersiell volumstrømsmåler, Centrimeter, for avdekke dennes (mangel på) nøyaktighet utover det som er gjort her.

Oppgradere rigg for måling av stagnasjonstrykk i tillegg til statisk trykk.

Analysere og kvantifisere forskjell i resultater mellom lab og CFX.

Fokusere på totalvirkningsgrad med vifte, diffusor og viftehus i en løsning.

Kapittel 9

Forretningsplan HSK Fans

Forretningsplanen er i sin helhet skrevet i samarbeid med Sondre Nenseter og Halvor Haugsvold. Den tar først for seg prosessen som har foregått (hovedsaklig) det siste året og deretter resultatet av dette arbeidet. Det presiseres at tall om oppgitt virkningsgrad for HSK Fans baserer seg på hva man ønsket å oppnå ikke hva man klarte. Dette kommer også frem i kapittel 8.

9.1 Oppsummering av prosessen

Våren 2007 oppstod ideen om at en forbedring i virkningsgraden til ventilasjonsvifter ville kunne senke energiforbruket i et bygg betraktelig.

Studentene Halvor Haugsvold og Sondre Nenseter deltok i Venture Cup våren 2007 med Prof. Ole Gunnar Dahlhaug som veileder. Det ble denne våren innledet samtaler med NTNU Technology Transfer AS (TTO) og søkt om økonomisk støtte hos Innovasjon Norge.

Prosjektet ble lagt på is frem til våren 2009, da det ble tatt opp igjen av Sondre Nenseter og Kjell Erik Lien. De skrev et semesterprosjekt på University of California Berkeley, der de gjorde en vurdering av ventilasjonsmarkedet i USA.

Høsten 2009 skrev de tre studentene prosjektoppgaver ved Vannkraftlaboratoriet ved NTNU. Prof. Ole Gunnar Dahlhaug var prosjektveileder. De mottok en vifte av aggregatleverandøren Novema, som ble testet i laboratoriet av Kjell Erik Lien. Sondre Nenseter designet en ny vifte som ble produsert i desember 2010 med midler fra Idéfondet. Halvor Haugsvold designet en diffusor som ble produsert med midler fra samme fond. Denne høsten ble det innledet samtaler med TTO og TrønderEnergi Invest. Det ble også med hjelp fra Entreprenørskolen ved NTNU gjennomført en syre-test av prosjektet, med fokus på kommersialiseringsmuligheter i Norge og Europa. Denne ligger vedlagt 10.13.

Våren 2010 skrev de tre studentene masteroppgaver ved Vannkraftlaboratoriet ved NTNU med Ole Gunnar Dahlhaug som veileder. Masteroppgaven var en direkte videreføring av prosjektoppgaven. Det ble innledet et samarbeid med TTO og TrønderEnergi Invest. TTO gjennomførte en patentundersøkelse (vedlegg XXX). Konklusjonen fra patentundersøkelsen var negativ. Det ble også lagd en forretningsplan som ble sendt inn til to forretningsplanskonkurranser: Startstøtte og Take Off Midt-Norge. Denne kan leses i sin helhet i kapittel XXX.

Etter grundig testing av den produserte viften og diffusoren, viste det seg at disse ikke fungerte bedre enn viften mottatt av Novema. Våren 2010 ble det av Sondre Nenseter designet en ny vifte, men på grunn av tidsmangel var det ikke mulig å lage en vifte som var mye bedre enn dagens standard. Halvor Haugsvold designet en ny diffusor som kunne øke viftevirkningsgraden med 8 %. Senere ble det oppdaget at en slik diffusor ble patentert i 2006.

19. mai 2010 ble hele vifteprosjektet lagt dødt.

I vedlegg 10.13 finnes det en oversikt over hele prosessen. Denne inneholder datoer og møtoreferater.

9.2 Forretningsplan

9.2.1 Forretningsidé

HSK Fans skal levere markedets mest energieffektive vifter til bruk i ventilasjonssystemer.

9.2.2 Bakgrunn for forretningsidéen

Ventilasjonsvifter har ikke gjennomgått større forandringer på flere tiår, og det er rom for betydelig økning av virkningsgraden. Det har i de siste årene skjedd en revolusjon innen Computational Fluid Dynamics(CFD), som brukes til å simulere strømming i fluider. Denne teknologien brukes blant annet i konstruksjon av vannkraftturbiner og design av rør til olje- og gasstransport. Vannkraftlaboratoriet ved NTNU har ledende kompetanse på denne teknologien.

I en verden med økt fokus på energiutnyttelse og strengere krav fra myndighetene både nasjonalt og internasjonalt, er dette et marked med store vekstmuligheter. Bygg står for om lag 40 % av energibruken i verden, og potensialet for energieffektivisering er stor. Ombygging av eksisterende anlegg, nye anlegg og strengere krav til innendørsklima vil i følge SINTEF føre til en dobling av energibehovet til vifter neste 15-20år. EUs mål om energieffektivisering i bygninger skal nås gjennom en sterk økning i bevilgningene til utvikling av ny teknologi.

I et typisk skandinavisk kontorbygg går 17 %av energien til vifter[SINTEF]. Ved å øke virkningsgraden i viftene vil man spare energi, noe som er ønskelig både fra et økonomisk og et miljømessig ståsted.

Fra 1.juli 2010 vil det bli lovpålagt med energimerking av næringsbygg i Norge. Byggets totale energimerkekarakter er et produkt satt sammen av mange delvurderinger, for ventilasjon gjelder dette SFP faktor (Specific Fan Power) og krav til varmegjenvinning. I tillegg til nybygg fungerer forskriftene slik at de har tilbakevirkende kraft ved ombygging.

Dagens vifter kjennetegnes ved lav virkningsgrad og innkjøpskostnad. Et økende fokus på lavt energiforbruk og bærekraftige løsninger vil gi rom for produkter med lave livsløpskostnader.

9.2.3 Produkt

Produktet er en ny type ventilasjonsvifte. Den er mer energieffektiv og har en mer kompakt utforming sammenlignet med vifter som brukes i dag.

For å kunne teste og verifisere produktene har det blitt bygget en testrigg for ventilasjonsvifter i Vannkraftlaboratoriet på NTNU.

9.2.4 Forretningsmodell

Den nye viftetypen vil konkurrere med eksisterende produsenter og kan egenproduseres, eller lisensieres ut til vifteprodusenter.

Før eller siden vil fremtidsrettede vifteprodusenter se seg nødt til å utvikle viftene sine. Siden HSK Fans allerede har gjort denne teknologiutviklingen, vil en alternativ forretningsmodell være å selge totalresultatet.

9.2.5 Marked

Markedet i dag fungerer slik at selve viften produseres for seg selv, og settes deretter sammen med andre komponenter i et aggregat av en annen produsent/leverandør.

Det totale markedspotensialet for leveranse av vifter til ventilasjonsanlegg, er anslått til å være i underkant av 150 MNOK årlig i Norge, og rundt 4000 MNOK i Europa. 10.13

Det er et stort antall vifteprodusenter på verdensbasis. Den største i Skandinavia er Fläkt Woods, som er representert i 95 land. De leverer vifter til norske Novema, og har om lag 20 % av markedsandelen her i landet.

Vifter benyttes også på andre områder enn i ventilasjonsanlegg, for eksempel tunnelvifter. De samme grunnprinsippene i virkningsgradsforbedring kan overføres hit, og dermed utvide markedet betraktelig.

9.2.6 Lønnsomhet

Kunden vil, med antatt 30 % økt virkningsgrad, kunne redusere energiforbruket til ventilasjonssystemet med 9-11 %.

Eksempel på ettermontering av ny viftetype:

Et næringsbygg på 5,000m² vil i et normalt driftsår ha et forbruk på ca 1,000,000 kWh. Med et konservativt anslag vil 15 % gå til å drifte de to viftene som er nødvendig for god ventilasjon (ref. Sweco). Det tilsvarer 150,000 kWh per år. En 30 % økning i virkningsgrad vil gi en reduksjon i energiforbruket på 45,000 kWh.

Hvis tilbakebetalingen skjer over 3 år med 7 % rente og en strømpris på 70 øre/kWh vil dette kunne forsvare en merpris på 41,000 kr per vifte, når man antar totalt 2 vifter i bygget.

I 2003 anslo SINTEF at det i Norge benyttes 2.3 TWh til å forsyne vifter i yrkesbygg og boliger. Videre har det ifølge SSB vært 8.8 % økning i bygningsmassen i Norge frem til 2009, slik at 2.5 TWh trolig er den energien som går til å drive vifter i dag. En 20 - 30 % økning i virkningsgrad vil dermed redusere energiforbruket med 500 - 750 GWh på årlig basis kun i Norge. En snittpris på 70 øre/kWh vil gi 350- 525 MNOK besparelse per år.

Den nye viftetypen vil ha lavere livsløpskostnader enn en tradisjonell viftetype. Prisen må settes på bakgrunn av en helhetsvurdering, men innovative løsninger i design og produksjon vil gi lave kostnader og dermed stort potensial for fortjeneste.

9.2.7 Team

Organisasjonen består i dag av tre 5. årsstudenter, samt en professor på Institutt for Energi og Prosessteknikk (EPT) ved NTNU. Kjell Erik Lien og Sondre Nenseter er 5.årsstudenter fra Energi & Miljø retning energi- og prosesssteknikk. Halvor Haugsvold går Produktutvikling og produksjon med samme retning. Alle skriver masteroppgave med Ole Gunnar Dahlhaug som veileder fra Vannkraftlaboratoriet på NTNU.

HSK Fans har hatt innledende samtaler med TrønderEnergi Invest og NTNU TechnologyTransfer (TTO), planen er å samarbeide med disse utover våren 2010. NTNU Technology Transfer AS skal bistå med vurdering av immaterielle rettigheter, samt sikre eventuelle patentrettigheter.

Av samarbeidspartnere har vi tilgang til laboratorium og ressurspersonell på NTNU, samt TrønderEnergiInvest og TTO. Nenseter og Lien har også nær kontakt med fagmiljøet i konsulentselskapet Sweco, som blant annet prosjekterer ventilasjon i bygg.

Idérettigheter og eierandeler Rettigheter til ideen ligger hos studentene, og er fordelt med 1/3 på hver.

9.2.8 Risikofaktorer

Det er en viss teknologisk risiko knyttet til prosjektet ettersom produktene ikke er ferdig designet enda. Teamet innehar, og har tilgang til, betydelig kompetanse som reduserer denne risikoen. Siden det er gjort grundige beregninger som viser en klar forbedring i virkningsgrad og nøyaktige målinger som bekrefter disse reduseres den teknologiske risikoen betydelig.

Det er også en markedsrisiko knyttet til prosjektet, ettersom dette er en teknologi som har eksistert i mange år, og markedet er dominert av store aktører. Målet er å få oppfinnerhøyde slik at produktene kan patenteres, noe som gir et stort konkurransefortrinn.

9.2.9 Handlingsplan/prosjekstatus/finansieringsbehov

Teknologiutvikling

Masteroppgavene til Nenseter og Haugsvold har som mål å utvikle et markedsklart produkt. Lien skal i sin masteroppgave sørge for at vifteenhetene testes grundig og sammenligne med toppmodellen til Flåkt Woods. Produktene vil være basert på prototypene designet i prosjektoppgavene, og skal forbedres med input fra vifteriggtester av førstegenerasjons prototyper og CFD simuleringer.

Finansieringsbehov

Førstegenerasjons prototyper og bygging av testrigg ble finansiert med midler fra Idéfondet. Finansieringsbehovet i våren 2010 er i hovedsak knyttet til produksjon av andregenerasjons prototyp, samt grundig testing og verifisering av resultater og produksjonsvurdering. Kostnadene antas å beløpe seg til ca 250.000 kr. Med positive testresultater vil neste steg være å etablere en organisasjon som kan kommersialisere ideen, finansieringsbehovet her er betraktelig, 500.000 kr.

Bibliografi

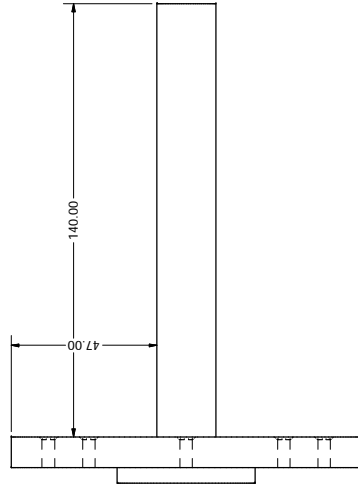
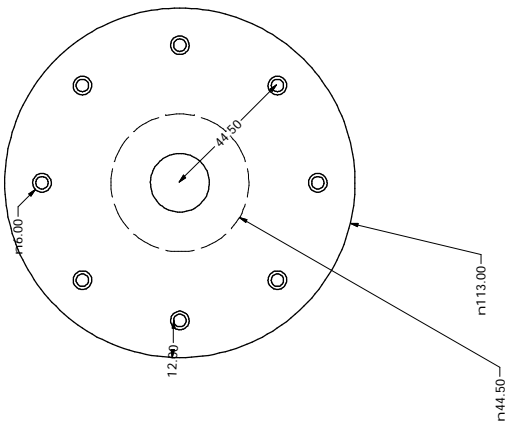
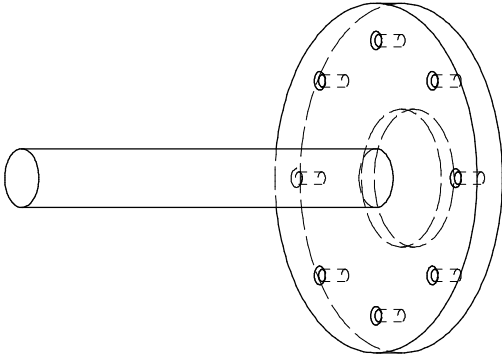
- [1] Danfoss AS, editor. *Værd at vide om frekvensomformere*, volume 1. utgave, 3 opplag. New Century Schoolbook, DTP, Copenhagen, 1998.
- [2] Pijush K. Kundu Ira M. Cohen, editor. *Fluid Mechanics*, volume 4th Edition. Elsevier Academic Press, US, 2008.
- [3] Ernest O. Doebelin, editor. *Measurement Systems - Application and Design*, volume 4th Edition. McGraw-Hill Int, US, 1994.
- [4] Bruno Eck, editor. *Fans, Design and operation of centrifugal, axial-flow and cross-flow fans*, volume 1st English Edition. Fanta Sea Press, Ltd, Germany, 1999.
- [5] Statens Bygningstekniske etat. Forskrift om krav til byggverk og produkter til byggverk (tek), Desember 2009. <http://www.lovdatab.no.html>.
- [6] International Organization for Standardization. Iso 5167:2003 measurements of fluid flow by means of pressure differential devices. Technical report, ISO, Geneva 20, 2003.
- [7] International Organization for Standardization. Unertainty of measurement - part 3 guide to expression of uncertainty in measurement (gum:1995). Technical report, ISO, Geneva 20, 2007.

- [8] Halvor Haugsvold. Funksjonstest av ventilasjonsvifte. Technical report, Norges Tekniske og Naturvitenskaplige Universitet, Trondheim, 2009.
- [9] Halvor Haugsvold. Design av ventilasjonsvifte. Master's thesis, NTNU, Trondheim, 2010.
- [10] Gordon E. Hines and Michael J. Myers. Balancing pump impellers, April 2010. <http://www.hinesindustries.com/balancing-articles/balancing-pump-impellers.shtml>.
- [11] Rex Klopfenstein Jr. *ISA Transactions*, 37:257–263, 1989.
- [12] Kern and Sohn. V4346-1 ftb 15k0.5, datablad vannkraftlaben, Februar 2010.
- [13] Kjell Erik Lien. Funksjonstest av ventilasjonsvifte. Technical report, Norges Tekniske og Naturvitenskaplige Universitet, Trondheim, 2009.
- [14] Professor Hans Mathisen. Excel-ark funksjoner for måleblende, Februar 2010.
- [15] Sondre Nenseter. Funksjonstest av ventilasjonsvifte. Technical report, Norges Tekniske og Naturvitenskaplige Universitet, Trondheim, 2009.
- [16] Sondre Nenseter. Design av ventilasjonsvifte. Master's thesis, NTNU, Trondheim, 2010.
- [17] J. Railio P-Mäkinen. Specific fan power- a tool for better performance of air handling systems. Technical report, Proceedings of Clima 2007 WellBeing Indoors, Finland, 2007.
- [18] S.L. Myers R.E. Walpole, R.H. Myers and K. Ye, editors. *Probability and Statistics for Engineers and Scientists*, volume 8th Edition. Pearson Education Int, US, 2007.

- [19] Bjarte Grytli Seim. Flow condition in a pelton runner. Technical report, Norges Tekniske og Naturvitenskaplige Universitet, Trondheim, 2008.
- [20] Norsk Standard. Ns 5504 - trykkmålere - kalibrering - terminologi - nøyaktighet - sporbarhet - prosedyrer - kalibreringssertifikat. Technical report, Norsk Standard, Norge, 1989.
- [21] Pål-Tore Selbo Storli. Modelltest av francis rigg i vannkraftlaboratoriet ved ntnu. Master's thesis, NTNU, Trondheim, 2006.
- [22] Anthony J. Wheeler and Ahmad R. Ganji, editors. *Introduction to Engineering Experimentation*, volume 2nd Edition. Pearson Education Int, US, 2004.
- [23] Frank M. White, editor. *Fluid Mechanics*, volume 6nd Edition. McGraw-Hill Int, US, 2008.

Vedlegg A: Vifterigg

10.1 Arbeidstegninger



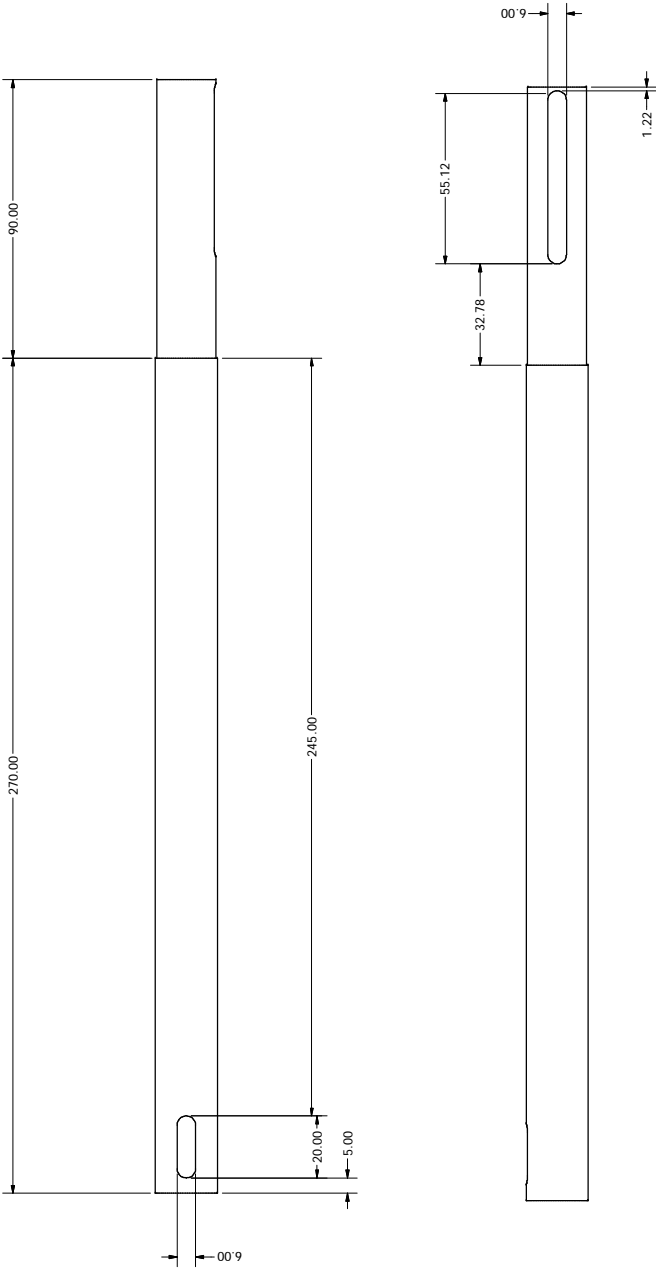
DRAWN 431883 CHECKED	27.05.2010	TITLE
QA	MFG	APPROVED
SIZE C	DWG NO balanseovergang	REV
SCALE	SHEET 1 OF 1	1

D

C

B

A



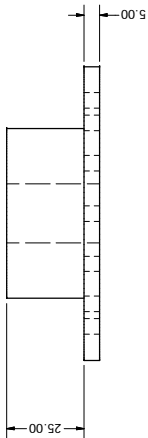
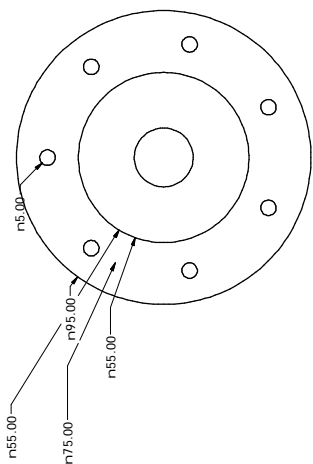
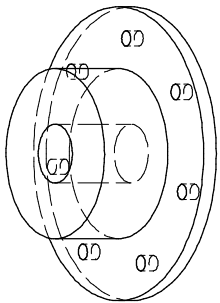
DRAWN 831883		27.05.2010		TITLE	
CHECKED					
QA					
MFG					
APPROVED					
				DWG NO aksling	
				SIZE C	
				SCALE	
				REV	
				SHEET 1 OF 1	

D

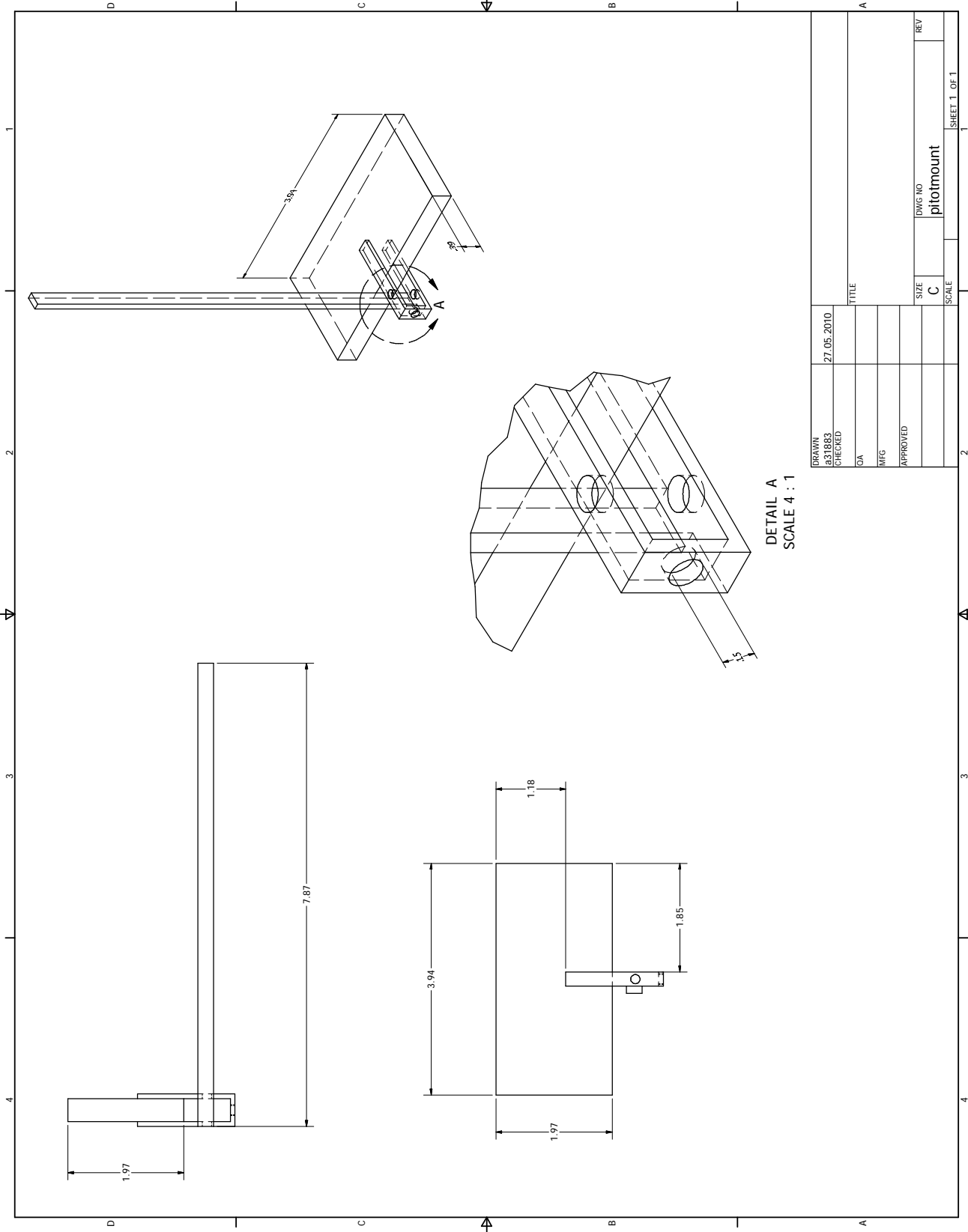
C

B

A



DRAWN 831883 CHECKED	27.05.2010	TITLE
QA	MFG	APPROVED
SIZE C	DWG NO Nav	REV
SCALE	SHEET 1 OF 1	1



DETAIL A
SCALE 4 : 1

DRAWN 831883		27.05.2010	TITLE	
CHECKED				
QA				
WFG				
APPROVED				
SIZE C	DWG NO pitotmount	SCALE	REV	
			SHEET 1 OF 1	

10.2 Labview

Frekvens [Hz]
75
50
25
0

Starte motor

Temperature
rho
P_atm

physical channels
input terminal configuration
RSE

Mean length
10
RESET Mean

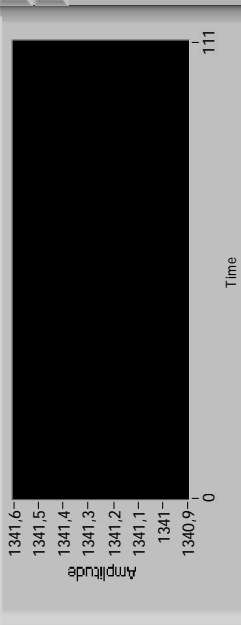
Stop hele programmet
STOP

Lagre

file path (use dialog) 2. Mean

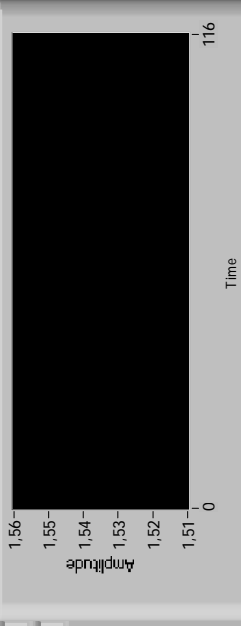
file path Raadata

Turtall

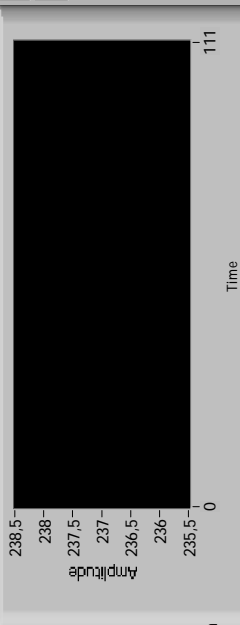


0,0000
0,0000

Moment

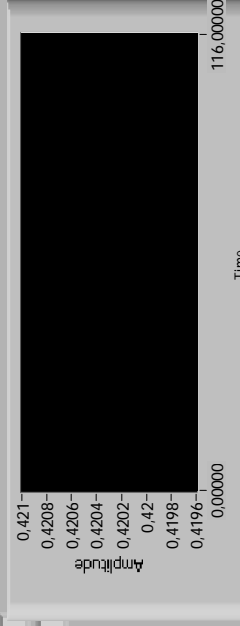


DP_P



0,0000
0,0000

Q



0,0000
0,00
0,00

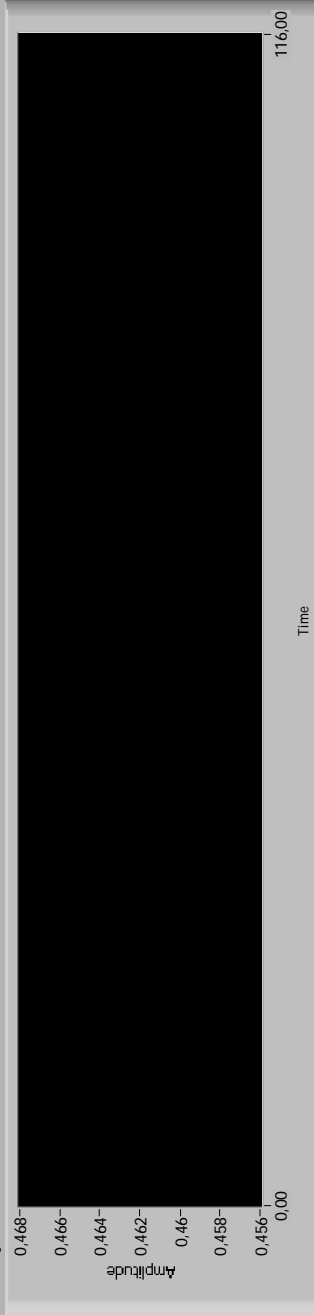
C

0
Eps

0
Malerf Blende [%]

0
0,0000

Efficiency



0,0000

10.3 Funksjoner for måleblende

Basis NS-EN ISO 5167-1 og NS-EN ISO 5167-2

Antatt luftmengde (for overslag av Re-tall) 0,8 m³/s (Korrigeres med verdi fra celle E21 når første beregning er gjort)

Hastighet i rør	11,3 m/s
Hastighet i blende	22,0 m/s
Dynamisk viskositet for luft	1,79E-05 Ns/m ²
Kinematisk viskositet for luft	1,46E-05 m ² /s
Reynoldstall	2,33E+05
Blendediameter	0,215 m
delta p	200 Pa
rho	1,23 kg/m ³
Rørdiameter	0,3 m
Beta	0,716666667

l1=0 for orifice plate with corner tappings

l2	0 m
p1	9900 Pa
p2	100000 Pa
epsilon	0,9997

(5) side 12 i 5167-2

(4) side 11 i 5167-2

Discharge coefficient C	0,6050
Volumstrøm	0,568 kg/s
	0,4729 m ³ /s
	1 702,6 m ³ /h
	94 Pa

Trykkklap (statisk trykkdifferanse rørvegg før og ett

Beregning av målefeil	
dC	0,004203
C	0,6050
dD	0,001
D	0,3
dd	0,00002
d	0,215
beta	0,716667
d(delta)p	2
(delta)p	200
dirho	0,012
rho	1,2
depsilon	0,000025
epsilon	0,9997
Målefeil for volumstrøm fra blen 1,0 %	

Beregning av luftens tetthet

1,205 Luftens tetthet i kg/m³ ved 1013 hPa og 20 grader C

-50 Ønsket temperatur i grader Celsius

1013,0 Ønsket trykk målt i hPa

1,583251 Beregnet tetthet kg/m³

	1,583251	-25	-15	-5	5	10	20
	1050	1,48	1,42	1,37	1,32	1,29	1,25
	1025	1,44	1,38	1,33	1,29	1,26	1,22
	1013	1,42	1,37	1,32	1,27	1,25	1,21
	1000	1,41	1,35	1,30	1,25	1,23	1,19
	975	1,370245	1,317134519	1,267987708	1,222377	1,20078	1,159798
	950	1,33511	1,283361839	1,235475203	1,191034	1,169991	1,130059

Vedlegg: Vedlegg B: Teori usikkerhetsanalyse

10.4 Teori om usikkerhetsanalyse

Målinger av fysiske størrelser vil alltid ha et visst usikkerhetsmoment over seg. Å måle 100% nøyaktig den verdien som faktisk inntreffer er ikke mulig. Usikkerhetsanalyse går ut på å kvantifisere nøyaktigheten på målinger man gjør samt avledede størrelser fra samme målinger. Man behandler ytelsen til et måleinstrument ut ifra to underområder: statiske og dynamiske karakteristikkene. De dynamiske karakteristikkene er viktig når man ser på transiente, eller dynamiske systemer hvor måleverdier forandrer seg hurtig i tid. De målinger som er gjengitt i denne rapporten er alle gjort under ”steady state”, som vil si at forandringer i målte verdier ikke forandrer seg nevneverdig over tid. Det medfører at det er tilstrekkelig å kun analysere de statiske karakteristikkene til måleinstrumentene [3, s. 38].

Statiske karakteristikk Alle verdier man behandler som statiske kommer fra en prosess som kalles statisk kalibrering. I dette begrepet ligger det at alle fysiske størrelser inn til systemet, bortsett fra den man ønsker å kalibrere, holdes konstant. Videre lar man den fysiske størrelsen som man måler variere over et område som er fornuftig i forhold til forventede verdier under forsøkene. Man noterer seg verdier og avvik fra forventet verdi.

Dette gjøres så for alle måleinstrumenter i systemet og til slutt kan man finne et helhetlig kvantitativt uttrykk for nøyaktigheten til målesystemet som vist under. Tidligere var det vanlig å kategorisere etter tilfeldige og systematiske årsaker til måleusikkerhet. Da disse uttrykkene er tvetydige og siden målefeil ofte har elementer av begge i seg benyttes i stedet kategoriene Type A og Type B. Disse kjennetegnes ved fremgangsmåten man benytter for å finne størrelsen på feil. Type A kjennetegnes ved at man benytter seg av statistisk analyse mens Type B benytter seg av metoder som ikke baserer seg på statistisk analyse av en serie med måledata som, i større eller mindre grad, er normalfordelte. Eksempler på Type B metoder kan være drift mellom kalibreringer, dårlig oppløsning på display og produsentens toleransegrenser. Det gjøres obs på at begrepene systematisk og tilfeldige feil lever i beste velgående [7, s. 37].

10.4.1 Total nøyaktighet i et målesystem

Hvis vi kjenner unøyaktighetene til hvert enkel måleinstrument, og når målinger fra disse benyttes til å beregne en sammensatt størrelse ønsker man gjerne å beregne nøyaktigheten til den avledede størrelsen. Følgende metode [3, s. 59] beskriver hvordan man kan finne samlet unøyaktighet.

Anta at man har en kjent funksjon,

$$N = f(u_1, u_2, u_3, \dots, u_n) \quad (10.4.1)$$

De ulike størrelsene som måles er her u_i og N er den sammensatte størrelsen. Hvis u_i har en verdi som i absoluttverdi skiller seg Δu_i fra den virkelige størrelsen, finner man hvor mye N skiller seg fra den virkelige N slik,

$$N \pm \Delta N = f(u_1 \pm \Delta u_1, u_2 \pm \Delta u_2, u_3 \pm \Delta u_3, \dots, u_n \pm \Delta u_n) \quad (10.4.2)$$

Trekker man fra N , og rekkeutvikler som en Taylor rekke og utelater 2.

ordens ledd og høyere får man et uttrykk for ΔN ,

$$\Delta N = \sum_{i=0}^n \left| \Delta u_i \frac{\partial f}{\partial u_i} \right| \quad (10.4.3)$$

Dette er den verst tenkelige situasjon, feilene i de individuelle måleinstrumentene drar alle i samme retning. Ergo kan vi være sikre på at den virkelige feilen er mindre enn likning 10.4.3. Det er vanlig å benytte seg av rot-sum-kvadrat metoden (root-sum-square), rss, som alltid gir en lavere feilmargin enn likning 10.4.3. [3]

$$\Delta N = \sqrt{\sum_{i=0}^n \left(\Delta u_i \frac{\partial f}{\partial u_i} \right)^2} \quad (10.4.4)$$

Det er viktig å merke seg at i denne overgangen går ΔN over til å bli en statistisk variabel, slik at hvis Δu_i er gitt ved et visst konfidensintervall så vil også dette konfidensintervallet gjelde for ΔN [3, s. 63]. Det er nå lett å se hvilke ledd som bidrar mest til å redusere nøyaktigheten til N slik at man kan jobbe videre med å redusere størrelsen på de mest signifikante leddene. Tabell 10.4.1 viser hvordan man kombinerer feil for noen funksjoner [21].

Tabell 10.4.1: Total feil for noen utvalgte funksjoner

Type funksjon	Total feilbidrag
$N = u_1 \pm u_2$	$(\Delta N)^2 = (\Delta u_1)^2 + (\Delta u_2)^2$
$N = u_1 u_2$	$(\Delta N/N)^2 = (\Delta u_1/u_1)^2 + (\Delta u_2/u_2)^2$
$N = u_1/u_2$	$(\Delta N/N)^2 = (\Delta u_1/u_1)^2 + (\Delta u_2/u_2)^2$
$N = u^b, b = konst$	$(\Delta N/N) = b(\Delta u/u)$

10.4.2 Tilfeldige feil

Usystematiske eller tilfeldige feil er feil som inntreffer på grunn av små og tilfeldige påvirkninger på måleinstrumentet og kjennetegnes ved mangel

på repeterbarhet. Feilene er tilfeldige i natur slik at man kan benytte seg av statistiske metoder.

Konfidensintervall for måleserie For å kvantifisere denne usikkerheten repeterer man målinger ved samme driftstilstand. Er antallet repetisjoner svært høyt, kan man anta at verdiene kan representeres som en normalfordelt sannsynlighetstetthetsfunksjon. Er antallet færre benytter man seg av en Student t-fordeling som gir et større konfidensintervall enn en normalfordeling [3, s. 57]. Standardavviket til en samling med målinger kan finnes ved [22, s. 184]

$$S_x = \sum_{i=0}^n \left(\frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1} \right)^{1/2} \quad (10.4.5)$$

hvor \bar{x} er

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=0}^n x_i}{n} \quad (10.4.6)$$

$\nu = n - 1$ gir antall frihetsgrader i Student t-fordelingen og for et gitt konfidensintervall gir dette en t-verdi som man benytter for å finne usikkerheten til \bar{x}

$$P_{\bar{x}} = \pm t \frac{S_x}{\sqrt{n}} \quad (10.4.7)$$

Konfidensintervall ved regresjon Når man behandler data fra en kalibrering hvor målet er å finne en (lineær) sammenheng mellom målt signal og ut-signal. Dette gir oss to koeffisienter, a og b. Feilen knyttet til koeffisientene og antagelsen om en lineær sammenheng finnes ved å benytte seg regresjonsanalyse beskrevet i [18, s. 409]. Konfidensintervallet som middelverdien til en estimert verdi, Y, beregnet fra en X_0 vil ligge mellom

$$\hat{y}_0 - t_{\alpha/2} \cdot s \cdot \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{S_{xx}}} < \mu_{Y|x_0} < \hat{y}_0 + t_{\alpha/2} \cdot s \cdot \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{S_{xx}}} \quad (10.4.8)$$

hvor $t_{\alpha/2}$ finnes fra tilhørende konfidensintervall i en student-t tabell. Den nøytrale estimatoren for σ^2 er

$$s^2 = \sum_{i=0}^n \frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{n-2} = \frac{S_{yy} - b \cdot S_{xy}}{n-2}$$

$$S_{xx} = \sum_{i=0}^n (x_i - \bar{x}_i)^2, S_{yy} = \sum_{i=0}^n (y_i - \bar{y}_i)^2, S_{xy} = \sum_{i=0}^n (x_i - \bar{x}_i)(y_i - \bar{y}_i)$$

b = offset i regresjonslinjen

10.4.3 Systematiske feil

Systematiske feil er feil som ikke stammer fra tilfeldige variasjoner rundt forventet måleverdi men som kommer fra den systematiske oppførselen til et måleinstrument. Den systematiske feilen kan man korrigere for ved å kalibrere instrumentene. Gjøres kalibreringen under samme forhold som testen vil disse feilene bli svært små. [7, s. 5]

10.4.4 Andre feil

I tillegg til disse to typene feil, kommer menneskelige feil, instrumenter som ikke virker slik de skal etc. Dette vil ofte innebære at man får verdier som ligger langt unna den forventede verdien. En teknikk for å oppdage og korrigere for dette kalles Thompson τ metoden [22, s. 149].

Vedlegg C: Kalibrering- og usikkerhetsdata

10.5 Kalibreringsprogram

10.6 Trykkalibrering

CALIBRATION REPORT

CALIBRATION PROPERTIES

Calibrated by: Kjell Erik Lien
 Type/Producer: Fuji FCX All-V5
 SN:
 Range: 0-1000
 Unit: Pa

CALIBRATION SOURCE PROPERTIES

Type/Producer: DPI 601
 SN: Wilh. lambrecht GmbH 655
 Uncertainty [%]: 0

POLY FIT EQUATION:

$Y = -246,78479501E+0X^0 + 121,82188612E+0X^1$

CALIBRATION SUMMARY:

Max Uncertainty : Inf [%]
 Max Uncertainty : 1,074348 [Pa]
 RSQ : 0,999985
 Calibration points : 15

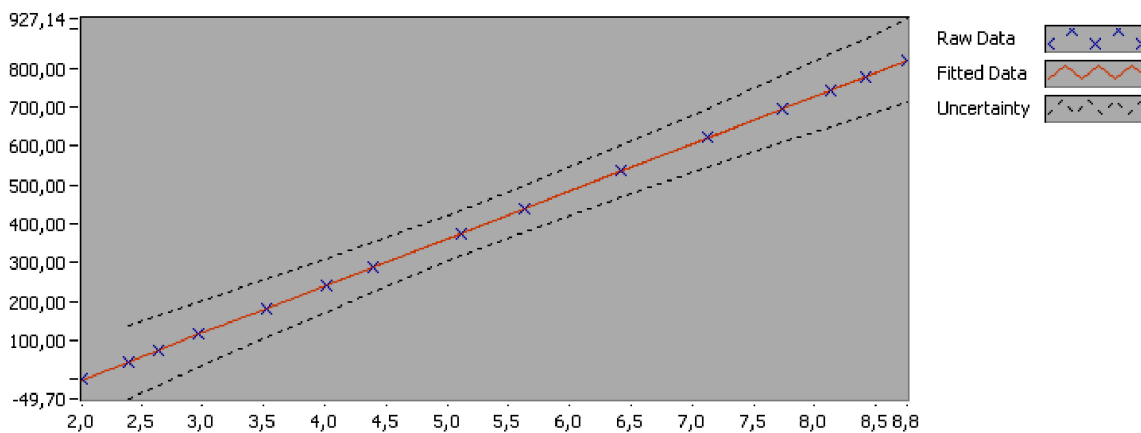


Figure 1 : Calibration chart (The uncertainty band is multiplied by 100)

Kjell Erik Lien

CALIBRATION VALUES

Value [Pa]	Voltage [V]	Best Poly Fit [Pa]	Deviation [Pa]	Uncertainty [%]	Uncertainty [Pa]
0,000000	2,017510	-1,007921	1,007921	Inf	NaN
45,850000	2,399340	45,507343	0,342657	2,076591	0,952117
74,600000	2,642113	75,082399	-0,482399	1,211194	0,903550
115,800000	2,972253	115,300689	0,499311	0,725872	0,840559
183,020000	3,529596	183,197204	-0,177204	0,406780	0,744489
287,940000	4,400060	289,238817	-1,298817	0,219606	0,632332
376,000000	5,112357	376,012117	-0,012117	0,157149	0,590882
438,730000	5,630567	439,141542	-0,411542	0,135814	0,595859
539,000000	6,424274	535,832421	3,167579	0,122220	0,658766
620,960000	7,119047	620,470992	0,489008	0,121846	0,756613
695,570000	7,741817	696,337957	-0,767957	0,124644	0,866986
744,140000	8,134108	744,127595	0,012405	0,126867	0,944070
777,180000	8,408861	777,598535	-0,418535	0,128757	1,000672
819,500000	8,754528	819,708357	-0,208357	0,131098	1,074348
240,200000	4,011814	241,941952	-1,741952	0,281179	0,675392

COMMENTS:

The uncertainty is calculated with 95% confidence. The uncertainty includes the randomness in the calibrated instrument during the calibration, systematic uncertainty in the instrument or property which the instrument under calibration is compared with (dead weight manometer, calibrated weights etc.), and due to regression analysis to fit the calibration points to a linear calibration equation. The calculated uncertainty can be used as the total systematic uncertainty of the calibrated instrument with the given calibration equation.

10.7 Volumstrømkalibrering

CALIBRATION REPORT

CALIBRATION PROPERTIES

Calibrated by: Kjell Erik Lien
 Type/Producer: Fuji FCX All-V5
 SN:
 Range: 0-500
 Unit: Pa

CALIBRATION SOURCE PROPERTIES

Type/Producer: Type/Producer: Wilh. Iambrecht GmbH 655
 SN:
 Uncertainty [%]: 0

POLY FIT EQUATION:

$Y = -130,37018386E+0X^0 + 60,81771500E+0X^1$

CALIBRATION SUMMARY:

Max Uncertainty : Inf [%]
 Max Uncertainty : 0,561793 [Pa]
 RSQ : 0,999988
 Calibration points : 15

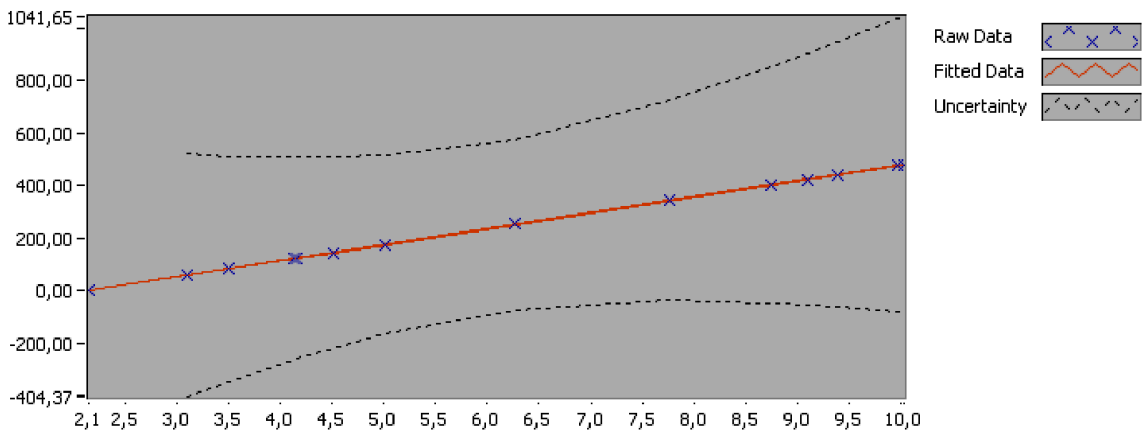


Figure 1 : Calibration chart (The uncertainty band is multiplied by 1000)

Kjell Erik Lien

CALIBRATION VALUES

Value [Pa]	Voltage [V]	Best Poly Fit [Pa]	Deviation [Pa]	Uncertainty [%]	Uncertainty [Pa]
0,000000	2,145535	0,116334	-0,116334	Inf	NaN
57,316000	3,089293	57,513529	-0,197529	0,805858	0,461885
120,070000	4,121412	120,284674	-0,214674	0,321416	0,385925
174,090000	5,006160	174,093057	-0,003057	0,195518	0,340378
252,193000	6,261363	250,431607	1,761393	0,127851	0,322430
341,570000	7,769603	342,159307	-0,589307	0,111110	0,379517
400,240000	8,741196	401,249393	-1,009393	0,112093	0,448640
480,300000	10,033772	479,860899	0,439101	0,116967	0,561793
476,100000	9,972929	476,160551	-0,060551	0,116804	0,556102
0,000000	2,145695	0,126093	-0,126093	Inf	NaN
423,170000	9,104121	423,321652	-0,151652	0,113079	0,478516
441,200000	9,395257	441,027906	0,172094	0,114159	0,503668
143,700000	4,511659	144,018593	-0,318593	0,252667	0,363083
123,200000	4,160599	122,667927	0,532073	0,311250	0,383460
82,200000	3,497133	82,317479	-0,117479	0,522646	0,429615

COMMENTS:

The uncertainty is calculated with 95% confidence. The uncertainty includes the randomness in the calibrated instrument during the calibration, systematic uncertainty in the instrument or property which the instrument under calibration is compared with (dead weight manometer, calibrated weights etc.), and due to regression analysis to fit the calibration points to a linear calibration equation. The calculated uncertainty can be used as the total systematic uncertainty of the calibrated instrument with the given calibration equation.

10.8 Momentkalibrering

CALIBRATION REPORT

CALIBRATION PROPERTIES

Calibrated by: Kjell Erik Lien
 Type/Producer: Torque Transducer T22
 SN:
 Range: 0 - 5
 Unit: Nm

CALIBRATION SOURCE PROPERTIES

Type/Producer: DPI 601
 SN: 14206 / 96 - 1
 Uncertainty [%]: 0

POLY FIT EQUATION:

$Y = + 944,41213513E-6X^0 - 995,40563066E-3X^1$

CALIBRATION SUMMARY:

Max Uncertainty : Inf [%]
 Max Uncertainty : 0,020487 [Nm]
 RSQ : 0,999897
 Calibration points : 11

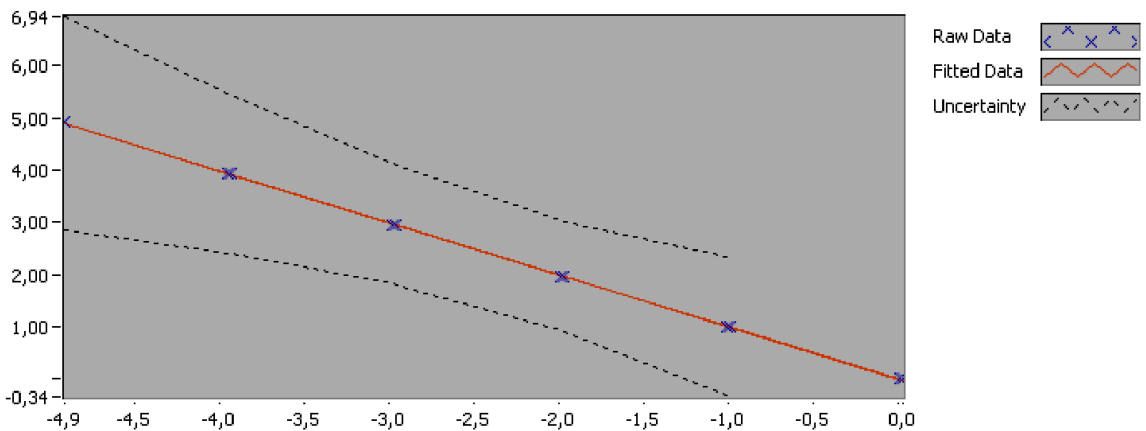


Figure 1 : Calibration chart (The uncertainty band is multiplied by 100)

Kjell Erik Lien

CALIBRATION VALUES

Value [Nm]	Voltage [V]	Best Poly Fit [Nm]	Deviation [Nm]	Uncertainty [%]	Uncertainty [Nm]
0,000000	0,029265	-0,028186	0,028186	Inf	NaN
0,982147	-0,990595	0,986988	-0,004841	1,355004	0,013308
1,964293	-1,974880	1,966751	-0,002458	0,538595	0,010580
2,946440	-2,955901	2,943265	0,003175	0,388595	0,011450
3,928586	-3,935295	3,918159	0,010427	0,389390	0,015298
4,910733	-4,910661	4,889044	0,021689	0,417183	0,020487
3,928586	-3,953614	3,936394	-0,007808	0,391649	0,015386
2,946440	-2,976615	2,963883	-0,017443	0,390532	0,011507
1,964293	-1,993684	1,985469	-0,021176	0,537578	0,010560
0,982147	-1,006986	1,003304	-0,021157	1,348187	0,013241
0,000000	0,012406	-0,011405	0,011405	Inf	NaN

COMMENTS:

The uncertainty is calculated with 95% confidence. The uncertainty includes the randomness in the calibrated instrument during the calibration, systematic uncertainty in the instrument or property which the instrument under calibration is compared with (dead weight manometer, calibrated weights etc.), and due to regression analysis to fit the calibration points to a linear calibration equation. The calculated uncertainty can be used as the total systematic uncertainty of the calibrated instrument with the given calibration equation.

Vedlegg D: Testdata

10.9 Volumstrøm

Målepunkt	Opf Trykk [Pa]	V [m/s]	Q [m³/s]	Målepunkt Ver Trykk [Pa]	V [m/s]	Q [m³/s]	Målepunkt Nec Trykk [Pa]	V [m/s]	Q [m³/s]	Målepunkt He Trykk [Pa]	V [m/s]	Q [m³/s]	Areal
0,0125	9,231	0,040781	0,125	0,125	9,14	0,040379	0,125	8,24	0,036403	0,125	8,870333	0,039188	0,017671
0,0375	9,976	0,034279	0,375	0,375	10,349	0,035566	0,375	9,09	0,031234	0,375	9,805	0,033681	0,013744
0,0625	9,827	0,024119	0,625	0,625	10,389	0,029498	0,625	9,161	0,022484	0,625	9,792333	0,024034	0,009817
0,0875	9,812	0,014449	0,875	0,875	10,139	0,014931	0,875	9,583	0,014112	0,875	9,844667	0,014497	0,00589
0,1125	9,747	0,004785	1,125	1,125	9,861	0,004841	1,125	9,387	0,004608	1,125	9,665	0,004744	0,001963

Q: 0,4634619
 Tilsv trykk: 52,90231
 Q_blande: 0,45655
 Avvik i %: 1,767452
 Q_centr: 0,4091
 Avvik i %: 13,57108

Q_centr [m3/s] Q_blande [m3/s]

0,406	0,457
0,406	0,457
0,408	0,456
0,407	0,457
0,407	0,457
0,406	0,456
0,408	0,457
0,407	0,456
0,407	0,457
0,406	0,456
0,406	0,457
0,406	0,457
0,407	0,457
0,406	0,456
0,406	0,456
0,407	0,457
0,408	0,456
0,408	0,457
0,407	0,456
0,453	0,456
0,4091	0,45655

Målepunkt	Opri Trykk [Pa]	V [m/s]	Q [m³/s]	Målepunkt	Ver Trykk [Pa]	V [m/s]	Q [m³/s]	Målepunkt	Net Trykk [Pa]	V [m/s]	Q [m³/s]	Målepunkt	Hør Trykk [Pa]	V [m/s]	Q [m³/s]	Areal
0,0125		5,936	0,026224	0,125		5,763	0,02546	0,125		5,564	0,024581	0,125		5,873	0,025946	0,017671
0,0375		6,393	0,021967	0,375		6,482	0,022273	0,375		5,973	0,020524	0,375		5,909	0,020304	0,013744
0,0625		6,378	0,015654	0,625		6,861	0,016839	0,625		6,268	0,015384	0,625		6,366	0,015625	0,009817
0,0875		6,346	0,009345	0,875		6,502	0,009575	0,875		6,446	0,009493	0,875		6,57	0,009675	0,005689
0,1125		6,35	0,003117	1,125		6,423	0,003153	1,125		6,434	0,003158	1,125		6,47	0,003176	0,001963

Q: 0,301474
Tilsv fart 6,14157
Tilsv trykk: 22,273
Q_blande: 0,292
Avvik i %: 3,244388
Q_centri: 0,2515
Avvik i %: 19,87022

Q_blande [m3]	Q_centri [r_v]	piot [m/s]			
0,292	0,252	6,473	VR	5,873	
0,292	0,255	6,509	VR	5,909	
0,292	0,253	6,966	VR	6,366	
0,292	0,254	7,07	VR	6,57	
0,292	0,253	7,17	VR	6,47	
0,292	0,251	6,536	UP	5,936	
0,292	0,252	7,093	UP	6,393	
0,292	0,251	7,078	UP	6,378	
0,292	0,251	7,046	UP	6,346	
0,292	0,251	7,05	UP	6,35	
0,292	0,251	6,463	VL	5,763	
0,292	0,251	7,182	VL	6,482	
0,292	0,251	7,361	VL	6,861	
0,292	0,251	7,202	VL	6,502	
0,292	0,251	7,123	VL	6,423	
0,292	0,251	6,264	DOWN	5,564	
0,292	0,251	6,673	DOWN	5,973	
0,292	0,25	6,968	DOWN	6,268	
0,292	0,251	7,146	DOWN	6,446	
0,292	0,249	7,134	DOWN	6,434	
0,292	0,2515				

rho[kg/m3] 1,181

Målepunkt	Opri Trykk [Pa]	V [m/s]	Q [m³/s]	Målepunkt	Ver Trykk [Pa]	V [m/s]	Q [m³/s]	Målepunkt	Net Trykk [Pa]	V [m/s]	Q [m³/s]	Målepunkt	Hør Trykk [Pa]	V [m/s]	Q [m³/s]	Areal
0,0125	11,314	0,049984	10,829	0,047841	0,125	10,55	0,046608	0,125	11,165	0,049325	0,017671					
0,0375	12,031	0,04134	12,023	0,041312	0,375	11,15	0,038313	0,375	11,327	0,038921	0,013744					
0,0625	12,122	0,029752	12,299	0,030186	0,625	11,141	0,027344	0,625	11,488	0,028196	0,009817					
0,0875	12,082	0,017792	12,088	0,017801	0,875	11,28	0,016611	0,875	11,568	0,017035	0,005689					
0,1125	12,026	0,005903	11,84	0,005812	1,125	11,657	0,005722	1,125	11,79	0,005787	0,001963					

Q: 0,561587
 Tilsv fart 11,44056
 Tilsv trykk: 77,28843
 Q_blande: 0,55235
 Avvik i %: 1,672341
 Q_centr: 0,509
 Avvik i %: 10,33147

Q_blande [m3]	Q_centr [r_v]	piot [m/s]
0,553	0,508	10,55 Down
0,552	0,509	11,15 Down
0,552	0,508	11,141 Down
0,552	0,51	11,28 Down
0,553	0,51	11,657 Down
0,552	0,507	11,165 VR
0,552	0,51	11,327 VR
0,552	0,508	11,488 VR
0,552	0,507	11,568 VR
0,552	0,507	11,79 VR
0,553	0,51	11,314 Up
0,553	0,51	12,031 Up
0,553	0,51	12,122 Up
0,552	0,509	12,082 Up
0,553	0,511	12,026 Up
0,553	0,51	10,829 VL
0,552	0,508	12,023 VL
0,552	0,51	12,289 VL
0,552	0,509	12,088 VL
0,552	0,508	11,84 VL
0,55235	0,509	

10.10 HSK Prototype

T [C]	Palm [Pa]	Dens [kg/m3]	dp [Pa]	Q_blend [m3 Moment]	Nm	Turtal [rpm]	Eff	Q_a	P_a	C	dc [%]	Frekvens	dp_O [Pa]	Std_dp	Apning Ventil	Std_mom	Std_O	Std_dp_O	Apning Ventil
23.0000	101000.0000	1.1880	816.0524	0.0407	1.3167	2056.4801	0.1171	0.0396	771.8431	0.6354	71.4000	75.0000	1.9204	0.00674846	0.00269309	0.20418916	90	60	
23.0000	101000.0000	1.1957	738.9859	0.1264	1.7871	2040.9659	0.2446	0.1239	709.6180	0.6171	7.2000	75.0000	20.0355	0.00526339	0.00278822	0.26078252	60	90	
20.7200	101000.0000	1.1973	697.0960	0.2181	2.1684	2026.6498	0.3854	0.2153	679.0000	0.6122	2.0000	75.0000	60.8386	0.006112	0.00282181	0.2504538	50	40	
20.7200	101000.0000	1.1973	655.2511	0.3134	2.5292	2012.0427	0.5292	0.3115	647.4308	0.6097	1.4000	75.0000	126.6623	0.0045622	0.00442578	0.21412867	50	40	
20.7200	101000.0000	1.1973	595.7367	0.4170	2.8427	1997.2766	0.6718	0.4179	597.3625	0.6081	1.0000	75.0000	225.4008	0.00428345	0.00768324	0.17828255	30	30	
20.7200	101000.0000	1.1973	551.0165	0.4772	3.2963	1990.7191	0.8295	0.4794	562.1885	0.6073	1.0000	75.0000	295.9209	0.006506	0.00778225	0.15978068	20	20	
20.7200	101000.0000	1.1973	514.1912	0.5381	3.0535	1985.6786	0.4358	0.5420	521.6350	0.6067	1.0000	75.0000	377.1349	0.00960746	0.02246656	0.16235538	20	20	
20.7200	101000.0000	1.1973	486.1158	0.5767	3.0863	1982.7448	0.4375	0.5817	494.6167	0.6065	1.0000	75.0000	433.3434	0.00735461	0.01614867	0.1598206	0	0	
20.7200	101000.0000	1.1973	442.6170	0.6335	3.1030	1981.6296	0.4354	0.6393	450.8615	0.6061	0.9000	75.0000	533.5887	0.0064858	0.01689125	0.16407184	ror av	ror av	
20.7200	101000.0000	1.1973	651.5607	0.3148	2.5397	2008.3063	0.3840	0.3135	646.1822	0.6097	1.4000	75.0000	127.7802	0.00502093	0.00335647	0.24640215	40	verifisering	
22.7000	101000.0000	1.1892	724.2901	0.0391	1.1918	1936.1740	0.1173	0.0384	697.4787	0.6356	79.4000	70.4500	1.7812	0.00684948	0.00272228	0.22987231	90	90	
22.7000	101000.0000	1.1892	652.4096	0.1263	1.6376	1923.6810	0.2497	0.1247	636.4458	0.6173	7.2000	70.4500	19.4504	0.00736471	0.00267329	0.17070354	60	50	
20.7200	101000.0000	1.1973	623.2920	0.2011	1.9316	1914.9222	0.3235	0.1995	613.6157	0.6133	2.9000	70.4500	51.6022	0.00544524	0.003317825	0.15354446	50	40	
20.7200	101000.0000	1.1973	586.7572	0.2955	2.2769	1893.8550	0.3819	0.2949	584.3835	0.6101	1.5000	70.4500	112.4215	0.00665754	0.00496044	0.12961496	40	30	
20.7200	101000.0000	1.1973	534.2965	0.3984	2.5749	1893.5836	0.4169	0.3997	537.9236	0.6083	1.0000	70.4500	205.6161	0.00472796	0.00981197	0.11492104	30	20	
20.7200	101000.0000	1.1973	490.9551	0.4710	2.7193	1887.9841	0.4301	0.4740	497.2716	0.6075	1.0000	70.4500	288.1277	0.00411171	0.01392092	0.10953931	20	20	
20.7200	101000.0000	1.1973	456.2826	0.5227	2.7822	1885.2738	0.4342	0.5267	463.4387	0.6069	1.0000	70.4500	355.5018	0.00735461	0.00998029	0.1100029	10	10	
20.7200	101000.0000	1.1973	438.7846	0.5689	2.8039	1884.3610	0.4353	0.5535	446.0991	0.6067	1.0000	70.4500	392.3672	0.0048593	0.01135654	0.1124251	0	0	
20.7200	101000.0000	1.1973	399.4499	0.6032	2.8218	1883.1528	0.4330	0.6086	406.6291	0.6063	0.9000	70.4500	474.4466	0.00478858	0.00904959	0.11298603	ror av	ror av	
20.7200	101000.0000	1.1973	651.9118	0.1276	1.6550	1923.1206	0.2497	0.1261	636.3308	0.6173	7.2000	70.4500	20.9444	0.00606149	0.00968326	0.11319767	60	verifisering	
20.7200	101000.0000	1.1973	615.3894	0.0382	1.0297	1785.0078	0.1222	0.0377	658.2671	0.6344	71.4000	64.7058	1.7408	0.00603118	0.00277342	0.17414044	90	90	
20.7200	101000.0000	1.1973	558.1404	0.1119	1.3988	1776.8226	0.2401	0.1109	547.6217	0.6183	9.1000	64.7058	15.7118	0.00629385	0.00276314	0.13640464	60	60	
20.7200	101000.0000	1.1973	531.3742	0.1899	1.6822	1770.2470	0.3235	0.1888	525.2403	0.6133	3.2000	64.7058	45.9335	0.00747584	0.00297885	0.12819784	50	40	
20.7200	101000.0000	1.1973	501.0112	0.2787	1.9842	1762.8430	0.3812	0.2783	499.3963	0.6105	2.0000	64.7058	99.9195	0.00461684	0.0042423	0.11945978	40	30	
20.7200	101000.0000	1.1973	459.6640	0.3706	2.2351	1756.4280	0.4144	0.3714	461.5355	0.6087	1.2000	64.7058	177.7265	0.00576852	0.00613233	0.09958505	30	20	
20.7200	101000.0000	1.1973	426.8839	0.4307	2.3488	1753.4228	0.4264	0.4324	430.0924	0.6073	1.0000	64.7058	240.6691	0.00575657	0.01025137	0.09926287	20	20	
20.7200	101000.0000	1.1973	396.8642	0.4829	2.4171	1751.5331	0.4829	0.4853	400.0924	0.6073	1.0000	64.7058	303.1210	0.00576852	0.01105238	0.10098454	10	10	
20.7200	101000.0000	1.1973	348.7358	0.5112	2.4415	1750.8438	0.4325	0.5138	382.7470	0.6070	1.0000	64.7058	339.9175	0.00457643	0.01250091	0.10229341	0	0	
20.7200	101000.0000	1.1973	315.2585	0.5615	2.4570	1750.2930	0.4305	0.5646	349.0986	0.6066	1.0000	64.7058	410.7229	0.00580893	0.00974804	0.10139734	ror av	ror av	
20.7200	101000.0000	1.1973	426.6629	0.4305	2.3516	1752.9795	0.4255	0.4322	430.0872	0.6079	1.0000	64.7058	240.3898	0.00513206	0.00949124	0.09964546	20	verifisering	
20.7200	101000.0000	1.1973	506.3328	0.0388	0.8774	1617.4251	0.1253	0.0364	495.4817	0.6373	83.8000	58.4824	1.5966	0.00781932	0.00270151	0.09990964	90	90	
20.7200	101000.0000	1.1973	461.1277	0.0980	1.1650	1612.4769	0.2298	0.0973	454.0192	0.6199	11.9000	58.4824	11.9900	0.00957057	0.00378369	0.09452804	60	50	
20.7200	101000.0000	1.1973	439.0942	0.1699	1.4077	1608.1860	0.3147	0.1691	434.6354	0.6142	3.9000	58.4824	36.6923	0.0057079	0.003313293	0.10039978	50	40	
20.7200	101000.0000	1.1973	416.4186	0.2481	1.6570	1603.6057	0.3713	0.2475	414.5450	0.6113	2.0000	58.4824	78.9458	0.00413192	0.003800612	0.1124327	40	30	
20.7200	101000.0000	1.1985	381.7449	0.3365	1.8785	1599.4186	0.4083	0.3367	382.0225	0.6093	1.3000	58.4824	146.6872	0.00505858	0.006500212	0.12818803	30	20	
20.4200	101000.0000	1.1985	351.6071	0.4006	1.9885	1597.1821	0.4235	0.4013	352.8489	0.6083	1.0000	58.4824	208.5502	0.00501083	0.00885439	0.13762082	20	20	
20.4200	101000.0000	1.1985	329.7151	0.4420	2.0378	1596.9277	0.4278	0.4430	331.2571	0.6078	1.0000	58.4824	254.2178	0.00571801	0.01003566	0.13188912	10	10	
20.4200	101000.0000	1.1985	315.2178	0.4675	2.0577	1595.8354	0.4285	0.4687	316.8652	0.6075	1.0000	58.4824	284.7300	0.00514216	0.01084714	0.1301286	0	0	
20.4200	101000.0000	1.1985	288.0479	0.5127	2.0740	1595.6314	0.4262	0.5141	289.6273	0.6070	1.0000	58.4824	343.0687	0.00630395	0.01116557	0.13199916	ror av	ror av	
20.3200	101000.0000	1.1989	416.7621	0.2477	1.6625	1603.5550	0.3697	0.2471	414.9162	0.6113	2.0000	58.4824	79.0005	0.00549575	0.01101149	0.13673056	40	verifisering	
20.3200	101000.0000	1.1989	430.1223	0.0364	0.7709	1489.9680	0.1302	0.0362	424.3762	0.6351	71.4000	53.7800	1.5810	0.00884978	0.00292889	0.08675024	90	90	
20.3200	101000.0000	1.1989	390.6497	0.0936	1.0270	1486.1895	0.2287	0.0932	387.4027	0.6201	13.1000	53.7800	10.9638	0.00473807	0.00287714	0.09615946	60	60	
20.3200	101000.0000	1.1989	374.1971	0.1540	1.2111	1483.2993	0.3064	0.1537	372.5342	0.6151	4.8000	53.7800	30.1740	0.00505124	0.00311518	0.08960822	50	40	
20.3200	101000.0000	1.1989	354.9085	0.2282	1.4331	1480.0655	0.3646	0.2281	354.8771	0.6119	2.3000	53.7800	66.9124	0.00500073	0.00427432	0.08628754	40	30	
20.3200	101000.0000	1.1989	327.1878	0.3076	1.6184	1476.8879	0.4021	0.3083	328.5681	0.6098	1.5000	53.7800	122.5004	0.00539473	0.00518507	0.08722337	30	20	
20.3200	101000.0000	1.1989	301.6213	0.3677	1.7147	1475.8380	0.4186	0.3688	303.3249	0.6088	1.2000	53.7800	175.6140	0.0057643	0.00752404	0.09096867	20	20	
20.3200	101000.0000	1.1989	282.7244	0.4073	1.7597	1474.9031	0.4237	0.4087	284.6818	0.6082	1.2000	53.7800	215.8871	0.00516237	0.00971696	0.08583472	10	10	
20.3200	101000.0000	1.1989	269.7566	0.4333	1.7824	1474.5739	0.4247	0.4349	271.7456	0.6080	1.0000	53.7800	244.4764	0.00467414	0.00804151	0.0842540	0	0	
20.3200	101000.0000	1.1989	246.5567	0.4754	1.7967	1474.3295	0.4226	0.4772	248.4529	0.6074	1.0000	53.7800	294.8338	0.00397028	0.00688237	0.09188239	ror av	ror av	
20.3200	101000.0000	1.1989	327.3539	0.3069	1.6213	1477.2141	0.4006	0.3075	328.5898	0.6097	1.5000	53.7800	121.9677	0.00521288	0.01085656	0.09071512	30	verifisering	
20.3200	101000.0000	1.1989	357.5675	0.0356	0.6680	1357.9608	0.1338	0.0353	353.3874	0.6335	66.7000	49.0000	1.5157	0.0073344	0.00307378	0.11523887	90	90	
20.3200	101000.0000	1.1989	325.0446	0.0850	0.8732	1355.1748	0.2229	0.0846	322.5670	0.6217	15.9000	49.0000	8.9908	0.00507378	0.00307378	0.1047469	60	50	
20.3200	101000.0000																		

10.11 HSK Prototype med diffusor 1

T [C]	Patm [Pa]	Dens [kg/m3]	dP [Pa]	Q_blenide [m3 Moment]	Nim)	Turtall [rpm]	Eff	Q_a,off	P_a,aff	C	dc [%]	Frekvens	dP_O [Pa]	Std_dp	Std_dp_O	Sid_mom	Apning Ventil	
19,7132	101300	1,205	850,561	0,043	2,048,98	1,102	0,0419721	810,382433	0,635	7,5	2,24070641	64,5	75	0,00674	0,00284829	0,19539392	90	
19,7132	101300	1,205	780,49	0,126	2,064	0,223	0,12380159	753,492129	0,617	7,2	20,3782205	7,2	75	0,00491	0,00294254	0,24954958	60	
19,7132	101300	1,205	722,841	0,22	2,392	0,313	0,21677802	706,363325	0,612	2,5	75,16148611	2,5	75	0,00641	0,00298443	0,23966576	50	
19,7132	101300	1,205	665,913	0,328	2,719	0,382	0,32743686	659,581068	0,609	1,6	75,141745277	1,6	75	0,00431	0,000468084	0,20490563	40	
19,7132	101300	1,205	618,477	0,42	2,968	0,449	0,42054776	620,091286	0,608	1,1	75,233177648	1,1	75	0,00444	0,000812601	0,17060322	30	
19,7132	101300	1,205	571,932	0,509	3,153	0,454	0,51209356	578,905206	0,607	1,1	75,343600413	1,1	75	0,00544	0,000823073	0,15289883	20	
19,7132	101300	1,205	524,65	0,585	3,251	0,455	0,5902744	534,153203	0,606	0,9	75,455367445	0,9	75	0,00876	0,002376021	0,15536209	10	
19,7132	101300	1,205	497,424	0,621	3,277	0,455	0,62746255	507,830939	0,606	0,9	75,513137317	0,9	75	0,00735	0,001707929	0,15293365	0	
19,7132	101300	1,205	467,721	0,659	3,292	0,452	0,666396	478,27834	0,606	0,9	75,577857928	0,9	75	0,00589	0,001786466	0,15700462	rer av	
19,635	101300	1,20532	493,62607	0,61548	3,25187	0,4526	0,62446066	508,136473	0,6061	0,9	75,504290475	0,9	75	0,00502	0,00035499	0,23578864	0 verifisering	
21,9689	101300	1,19579	758,07344	0,03765	1,45136	0,09703	0,03696506	730,742114	0,6381	100	70,65	100	70,65	0,00638	0,00287971	0,21781633	90	
20,532	101300	1,20168	691,48907	0,12518	1,88556	0,22805	0,12372322	675,488318	0,617	7,2	70,65	7,2	70,65	0,00678	0,00282735	0,16175076	60	
20,1733	101300	1,20311	651,1918	0,19778	2,11183	0,30401	0,19616701	640,613531	0,619	3,2	70,65	3,2	70,65	0,00409	0,00336141	0,1471972	50	
20,1733	101300	1,20311	606,75425	0,2918	2,38839	0,37129	0,29079439	602,579433	0,610	1,6	70,65	1,6	70,65	0,00655	0,002524631	0,12281713	40	
20,1733	101300	1,20311	551,07972	0,41004	2,70055	0,42616	0,41106964	553,850787	0,6081	1,1	70,65	1,1	70,65	0,00435	0,01037742	0,10889384	30	
20,1733	101300	1,20311	506,00787	0,50068	2,87821	0,44517	0,50382134	512,377323	0,6071	1,1	70,65	1,1	70,65	0,00407	0,01472316	0,10379437	20	
19,8737	101300	1,20434	475,80156	0,55168	2,94237	0,45191	0,55603979	487,351926	0,6066	0,9	70,65	0,9	70,65	0,00718	0,01055544	0,10423365	10	
19,8737	101300	1,20557	450,00052	0,58391	2,97277	0,44811	0,58900651	457,890226	0,6063	0,9	70,65	0,9	70,65	0,00522	0,012011	0,10540824	0	
19,5748	101300	1,20557	422,09178	0,62004	2,99529	0,4433	0,62590628	430,115119	0,6061	0,9	70,65	0,9	70,65	0,00414	0,0095711	0,10760332	rer av	
19,8737	101300	1,20434	648,61805	0,2023	2,12754	0,30769	0,20080541	639,069465	0,6127	2,8	70,65	2,8	70,65	0,0069	0,010242129	0,10726086	50 verifisering	
19,7132	101300	1,19741	641,83065	0,03447	1,23161	0,09622	0,03403557	625,759616	0,6381	100	64,80583	100	64,80583	0,00621	0,00282735	0,16516951	90	
19,7132	101300	1,20229	587,91736	0,11681	1,60398	0,23051	0,11589248	578,773707	0,6178	8,4	64,80583	8,4	64,80583	0,00500	0,00281688	0,12937769	60	
19,7132	101300	1,20229	552,17845	0,18972	1,82878	0,3093	0,18880497	546,864943	0,6133	3,2	64,80583	3,2	64,80583	0,00672	0,00303678	0,12170937	50	
19,7132	101300	1,20434	513,72078	0,28098	2,08056	0,37596	0,28063458	512,458488	0,6104	1,7	64,80583	1,7	64,80583	0,00322	0,00327302	0,11330575	40	
19,7132	101300	1,20516	478,94294	0,36346	2,29153	0,4129	0,36410052	480,632503	0,6088	1,2	64,80583	1,2	64,80583	0,00668	0,00625159	0,09445488	30	
19,7132	101300	1,20516	437,5887	0,46044	2,48309	0,44236	0,46263917	441,778733	0,6075	1,1	64,80583	1,1	64,80583	0,00564	0,01045072	0,09414929	20	
19,7132	101300	1,20553	403,98279	0,52264	2,55995	0,4502	0,525239917	408,864226	0,6069	1,1	64,80583	1,1	64,80583	0,00583	0,002860285	0,09518227	10	
19,7132	101300	1,20544	387,11073	0,56885	2,58131	0,44948	0,55239917	392,133466	0,6067	0,9	64,80583	0,9	64,80583	0,00431	0,006431394	0,097702371	0	
19,7132	101300	1,20544	364,24004	0,58222	2,59949	0,44564	0,58617255	359,203307	0,6064	0,9	64,80583	0,9	64,80583	0,00579	0,009932761	0,0961738	rer av	
19,7132	101300	1,20532	473,98793	0,37534	2,32944	0,41542	0,37627947	476,363677	0,6085	1,2	64,80583	1,2	64,80583	0,00672	0,00519413	0,09667582	0,09451218	30 verifisering
19,7132	101300	1,205	533,241	0,063	1,046	0,19	0,06242715	523,587768	0,626	2904	58,48	2904	58,48	0,00791	0,00275405	0,09538119	90	
19,7132	101300	1,205	484,4	0,127	1,368	0,266	0,12628852	478,987807	0,617	7,1	58,48	7,1	58,48	0,00604	0,00283782	0,09024351	60	
19,7132	101300	1,205	459,731	0,181	1,536	0,313	0,18032244	456,295497	0,614	3,5	58,48	3,5	58,48	0,00317	0,00319386	0,09584912	50	
19,7132	101300	1,205	429,858	0,259	1,736	0,382	0,25863952	428,662271	0,611	1,9	58,48	1,9	58,48	0,00387	0,00432448	0,10760332	40	
19,7132	101300	1,205	395,62	0,335	1,947	0,425	0,35040757	396,541919	0,609	1,3	58,48	1,3	58,48	0,00557	0,006629857	0,12237784	30	
19,7132	101300	1,205	371,494	0,416	2,067	0,448	0,41715291	373,555977	0,608	1,1	58,48	1,1	58,48	0,00507	0,00902658	0,1313831	20	
19,7132	101300	1,205	341,72	0,479	2,144	0,458	0,48080482	344,299981	0,607	1	58,48	1	58,48	0,00429	0,01023082	0,12591119	10	
19,7132	101300	1,205	327,446	0,504	2,164	0,457	0,50599679	330,045746	0,607	1	58,48	1	58,48	0,00520	0,0105808	0,12423046	0	
19,7132	101300	1,205	308,146	0,535	2,179	0,453	0,53723625	310,727422	0,607	1	58,48	1	58,48	0,00638	0,0113827	0,12601623	rer av	
19,7132	101300	1,205	452,332	0,062	0,901	0,2	0,06166567	447,466855	0,626	30,3	53,783	30,3	53,783	0,00895	0,00296348	0,09414929	90	
19,7132	101300	1,205	414,391	0,114	1,165	0,261	0,11367304	412,017378	0,618	8,7	53,783	8,7	53,783	0,00479	0,00291112	0,08232691	60	
19,7132	101300	1,205	393,59	0,163	1,308	0,316	0,16275444	392,404998	0,615	4,3	53,783	4,3	53,783	0,00511	0,00511233	0,08503899	50	
19,7132	101300	1,205	366,204	0,213	1,499	0,38	0,24112023	366,569488	0,611	2,1	53,783	2,1	53,783	0,00632	0,00432448	0,08188763	40	
19,7132	101300	1,205	340,296	0,28	1,665	0,42	0,31870848	341,813997	0,61	1,4	53,783	1,4	53,783	0,00545	0,00545997	0,08277574	30	
19,7132	101300	1,205	317,899	0,386	1,783	0,445	0,38737965	320,275541	0,609	1,1	53,783	1,1	53,783	0,00643	0,0076129	0,08635684	20	
19,7132	101300	1,205	295,679	0,439	1,846	0,455	0,44088568	298,224574	0,608	1,2	53,783	1,2	53,783	0,00524	0,0092779	0,0814579	10	
19,7132	101300	1,205	280,711	0,467	1,866	0,455	0,46898399	283,100199	0,608	1	53,783	1	53,783	0,00479	0,0093035	0,00813649	0,07995862	0
19,7132	101300	1,205	264,458	0,495	1,881	0,451	0,49734154	266,965891	0,607	1	53,783	1	53,783	0,00419	0,0096366	0,0871972	rer av	
19,7132	101300	1,205	377,041	0,061	0,767	0,212	0,060607	372,972576	0,626	30,9	49	4,63987733	0,00742	0,00311009	0,11153907	90		
19,7132	101300	1,205	346,278	0,105	0,986	0,26	0,10467118	344,112558	0,619	10	49	14,060242	0,00577	0,00311009	0,10112048	60		
19,7132	101300	1,205	328,544	0,15	1,114	0,313	0,14970281	327,243433	0,615	5,1	49	29,0688454	0,00591	0,00308914	0,09471272	50		
19,7132	101300	1,205	308,483	0,213	1,256	0,37	0,21289529	308,197468	0,612	2,6	49	59,1904794	0,00510	0,00398971	0,08912621	40		
19,7132	101300	1,205	283,699	0,295	1,416	0,418	0,29533557	284,344411	0,61	1,5	49	114,282533	0,00430	0,00524	0,09052045	30		
19,7132	101300	1,205	264,339	0,36	1,517	0,444	0,36079991	265,15008	0,609	1,2	49	170,752044	0,00472	0,00595	0,08213592	20		
19,7132	101300	1,205	249,75	0,397	1,558	0,452	0,39885588	251,080261	0,608	1,1	49	208,3384412	0,00486	0,00860771	0,091145631	10		
19,7132	101300	1,205	236,715	0,426	1,581	0,453	0,42721614	238,188817	0,608	1,1	49	239,887454	0,00534	0,00534975	0,06883018	0		
19,7132	101300	1,205	222,023	0,454	1,597	0,448	0,45542937	223,423235	0,608	1	49	272,4583	0,00457	0,00457043	0,00833774	rer av		

10.12 HSK Prototype med diffusor 2

10.13 Fläkt Woods

T [K]	Patm [Pa]	Dens [kg/m ³]	p [Pa]	Q_blande [m ³ /s]	Eff	Q_aff	P_aff	C	dc [%]	Frekvens	dP_Q [Pa]	Std_dP	Std_Q	Apning Ventil
295.65	101580	1.19694	511.26421	0.03558	0.87648	20.7021463	0.09573	477.1717	0.6224	0	75	1.0935	0.00596	18.4448
295.65	101580	1.19694	516.81936	0.09724	1.11111	20.6359138	0.2093	485.4577	0.6203	0	75	8.22273	0.00611	0.19624
295.65	101580	1.19694	523.39005	0.18997	1.37246	20.5567778	0.33651	495.3928	0.6133	0	75	32.10353	0.00469	0.0033
295.65	101580	1.19694	531.17586	0.25199	1.53781	20.5030316	0.40538	505.4250	0.6108	0	75	56.95053	0.00468	0.00338
295.65	101580	1.19694	531.17586	0.39314	1.79372	20.4188386	0.52433	490.7584	0.6084	0	75	139.72313	0.00532	0.24368
295.65	101580	1.19694	483.15776	0.45796	1.8521	20.3993845	0.59524	464.4037	0.6076	0	75	190.08898	0.00517	0.24879
295.65	101580	1.19694	452.09587	0.51885	1.87655	20.3897805	0.5821	434.9761	0.607	0	75	241.66523	0.00564	0.23295
295.25	101580	1.19856	428.14346	0.55057	1.87034	20.3919503	0.5902	411.8431	0.6067	0	75	275.93881	0.00451	0.00982
295.25	101580	1.19856	392.20071	0.59865	1.86446	20.3997108	0.5926	377.0041	0.6063	0	75	326.65956	0.00558	0.21714
295.25	101580	1.19856	428.14397	0.55086	1.86976	20.3897108	0.59075	411.9340	0.6063	0	75	276.68905	0.00527	0.23365
295.25	101580	1.19856	451.94224	0.35359	0.78337	19.4815921	0.10064	429.8741	0.6424	0	70.45	1.02836	0.00419	0.00273
295.25	101580	1.19856	457.94163	0.09054	0.98678	19.4327683	0.20649	437.7720	0.621	0	70.45	7.12311	0.00516	0.237
295.25	101580	1.19856	463.21287	0.16259	1.18709	19.3819768	0.31255	445.0458	0.6146	0	70.45	23.45012	0.00577	0.0034
295.25	101580	1.19856	473.05696	0.26554	1.43609	19.3170735	0.43242	457.6547	0.6108	0	70.45	63.32961	0.00458	0.00461
295.25	101580	1.19856	460.98302	0.35365	1.58781	19.27175076	0.50861	447.8065	0.609	0	70.45	112.99193	0.00458	0.00563
295.25	101580	1.19856	429.70178	0.43178	1.67999	19.2541904	0.55167	418.4310	0.6079	0	70.45	169.03843	0.00433	0.1404
295.25	101580	1.19856	395.98311	0.49618	1.69026	19.248613	0.57668	385.8202	0.6072	0	70.45	223.74334	0.00461	0.14442
295.25	101580	1.19856	381.71169	0.51868	1.68646	19.2485906	0.58261	371.9159	0.607	0	70.45	244.81806	0.00654	0.14235
295.25	101580	1.19856	349.05119	0.56885	1.65989	19.2542437	0.5899	339.8586	0.6066	0	70.45	291.35394	0.00564	0.01197
295.25	101580	1.19856	381.46779	0.51862	1.68815	19.2467922	0.58144	371.7478	0.607	0	70.45	244.59468	0.00488	0.14968
295.25	101580	1.19856	383.24053	0.35344	0.68618	17.9214883	0.10547	369.6142	0.6424	0	64.7058	1.01976	0.00546	0.0033
295.25	101580	1.19856	388.56469	0.09162	0.87875	17.8816868	0.21635	376.4191	0.6207	0	64.7058	7.30025	0.00483	0.00333
295.25	101580	1.19856	392.95054	0.15333	1.03619	17.8529931	0.31102	381.8925	0.6151	0	64.7058	20.82096	0.00475	0.00361
295.25	101580	1.19856	399.93326	0.23991	1.28804	17.8123536	0.41885	390.4543	0.6115	0	64.7058	51.57347	0.00413	0.00417
295.25	101580	1.19856	385.86201	0.34416	1.38944	17.77179604	0.51338	378.1756	0.6091	0	64.7058	106.9722	0.00435	0.00529
295.25	101580	1.19856	363.36747	0.40371	1.45323	17.7669131	0.54855	336.5722	0.6083	0	64.7058	147.58073	0.00463	0.01067
295.25	101580	1.19856	339.58678	0.45343	1.45392	17.7622069	0.56937	333.4128	0.6076	0	64.7058	186.59992	0.00559	0.01071
295.25	101580	1.19856	324.03247	0.48043	1.4499	17.7633363	0.5772	318.1008	0.6074	0	64.7058	209.62525	0.00671	0.01187
295.25	101580	1.19856	296.45728	0.52242	1.42149	17.7680341	0.58556	290.8765	0.6069	0	64.7058	248.27685	0.01006	0.01006
295.25	101580	1.19856	324.04362	0.48041	1.45098	17.7611249	0.57683	317.1910	0.6074	0	64.7058	209.6031	0.00526	0.00992
295.25	101580	1.19856	307.44961	0.36302	0.57427	16.071034	0.11458	304.7378	0.6424	0	57.9243	1.05334	0.00617	0.00348
295.25	101580	1.19856	312.87008	0.08753	0.73831	16.0479538	0.22072	311.0031	0.6213	0	57.9243	6.65063	0.00561	0.00345
295.25	101580	1.19856	316.77932	0.14285	0.86841	16.0292992	0.31044	315.6223	0.6158	0	57.9243	18.03064	0.00557	0.00351
295.25	101580	1.19856	323.5849	0.21917	1.02427	16.0042475	0.41313	323.4132	0.6122	0	57.9243	42.93429	0.0042	0.00374
295.25	101580	1.19856	313.20543	0.30169	1.14175	15.9842761	0.4944	3020.3138015	0.61	0	57.9243	81.95676	0.00478	0.00534
295.25	101580	1.19856	292.05	0.36666	1.19327	15.9760766	0.53639	292.9253	0.6088	0	57.9243	121.5352	0.00459	0.00868
295.25	101580	1.19856	273.12046	0.41114	1.20135	15.9745135	0.55875	273.9927	0.6082	0	57.9243	153.11593	0.00515	0.0078
295.25	101580	1.19856	261.98662	0.43133	1.19938	15.9741414	0.56323	262.8355	0.6079	0	57.9243	168.68562	0.00456	0.00767
295.25	101580	1.19856	239.6159	0.47028	1.17858	15.9717382	0.57143	240.2841	0.6075	0	57.9243	200.79049	0.00432	0.00701
295.25	101580	1.19856	262.25092	0.43127	1.19859	15.9739238	0.5641	263.1078	0.6079	0	57.9243	168.64189	0.00456	0.00634
295.25	101580	1.19856	261.21667	0.35322	0.51318	14.8248968	0.11548	260.3400	0.6424	0	53.4	1.0072	0.00473	0.0026
295.25	101580	1.19856	266.22673	0.07895	0.6481	14.8087324	0.20914	269.9128	0.6227	0	53.4	5.38651	0.00472	0.00255
295.25	101580	1.19856	266.98376	0.12234	0.7447	14.7916866	0.28519	289.1224	0.6174	0	53.4	13.15652	0.00454	0.00264
295.25	101580	1.19856	275.50926	0.19517	0.88751	14.7734345	0.39162	276.5010	0.6131	0	53.4	33.95484	0.00383	0.00285
295.25	101580	1.19856	266.02639	0.28097	1.00036	14.7605844	0.48339	267.4490	0.6104	0	53.4	70.99555	0.00329	0.00442
295.25	101580	1.19856	248.41298	0.338	1.04075	14.7572478	0.52505	249.8544	0.6093	0	53.4	103.10991	0.00385	0.00439
295.25	101580	1.19856	232.90525	0.37944	1.0529	14.7521086	0.54332	234.4199	0.6086	0	53.4	130.24132	0.00338	0.00698
295.25	101580	1.19856	223.19904	0.39699	1.05057	14.7571478	0.54949	224.4972	0.6083	0	53.4	144.65877	0.00443	0.00959
295.25	101580	1.19856	203.8352	0.34383	1.03469	14.7572717	0.55432	205.0171	0.6079	0	53.4	171.44028	0.00427	0.00729
295.25	101580	1.19856	222.98811	0.3996	1.04987	14.7568113	0.54922	224.2953	0.6083	0	53.4	144.59281	0.00412	0.00733
295.25	101580	1.19856	217.46786	0.35328	0.44544	13.5437303	0.12143	216.0658	0.6424	0	48.78641	1.0104	0.00397	0.00303
295.25	101580	1.19856	221.30934	0.06837	0.54878	13.5299006	0.19459	220.3293	0.6249	0	48.78641	4.01074	0.00392	0.003
295.25	101580	1.19856	229.59803	0.10087	0.62404	13.5024174	0.26533	229.9232	0.6191	0	48.78641	9.61365	0.00355	0.00301
295.25	101580	1.19856	239.69048	0.18003	0.76105	13.5262958	0.38419	229.5178	0.6137	0	48.78641	28.83563	0.00344	0.00342
295.25	101580	1.19856	222.58024	0.48848	0.8488	13.4897078	0.52504	222.8846	0.6111	0	48.78641	56.99404	0.00338	0.00351
295.25	101580	1.19856	206.60433	0.3105	0.88665	13.485038	0.51236	207.0631	0.6098	0	48.78641	86.87288	0.0033	0.00486
295.25	101580	1.19856	194.5905	0.34491	0.89442	13.485232	0.53137	195.0169	0.6091	0	48.78641	107.43956	0.00353	0.00796
295.25	101580	1.19856	185.72363	0.36605	0.89325	13.4845391	0.53735	186.1498	0.6088	0	48.78641	142.46924	0.00391	0.00555
295.25	101580	1.19856	169.84337	0.39717	0.8801	13.4859495	0.54272	170.1975	0.6083	0	48.78641	142.83572	0.0035	0.00481
295.25	101580	1.19856	185.93669	0.3653	0.89403	13.4846255	0.53802	186.3609	0.6088	0	48.78641	120.63949	0.00396	0.00617

-0.09318875

0.20082045

0.06410256

-0.1544662

0.04913647

-0.09674419

Vedlegg E: Forretningsdel

10.14 Progresjon og møtevirksomhet

Oversikt over møtevirksomhet og progresjon HSK Fans

17.des.2009 Møte med TrønderEnergi Invest.

Initiativ: Ole Gunnar Dahlhaug

Tilstede: Tommy Olsen Ole Gunnar Dahlhaug og HSK.

- Presentasjon av HSK Fans

- Presentasjon av TEI

TEI har mål om å satse på ENØK. Er interessert i å følge opp HSK videre.

14.jan. Møte med TTO.

Tilstede: Eli Grong Aursand(TTO), Erik Wold(TTO), Ole Gunnar Dahlhaug og HSK

- Presentasjon av prosjektet for TTO. Og presentasjon av TTO for oss.

- Diskusjon om forretningsmodell.

- Rollefordeling og fremgang i prosjektet.

Resultater:

-Eli Grong Aursand blir kontaktperson/ansvarlig for HSK Fans i TTO.

- TTO vil gjøre en patenterbarhetsundersøkelse.

- HSK fans skal søke Take-off.

Oppsummerende mail fra Eli:

Hei,

Takk for et bra møte i dag.

Jeg har notert følgende aksjonspunkter:

1. Dere møter Trønder Energi Invest 26. jan. Vi blir gjerne med dersom møtet blir flyttet til februar. Sørg for at dere har NDA på plass hvis dere skal presentere tekniske detaljer.
2. Påmeldingsfrist take-off er 25. januar. Dere følger opp med søknad og kontakt med Morten Frøset. Henvis gjerne til Erik eller meg hvis de har spørsmål om caset.
3. Patenterbarhetsundersøkelse og møtetidspunkt følges opp av Eli.
4. Dere båndlegger prosjektoppgaver og masteroppgaver.

Datoer for Take-off er:

Introduksjonskurs 17.-19. februar

Idéutviklingsseminar 7.-12. mars

Oppfølgingsseminar 28. april

Vi møter TrønderEnergi Invest 22. januar.

Jeg kommer tilbake til dere med møtedato for patenterbarhetsvurdering.

Med vennlig hilsen

Eli

25.jan. Midt-Norge Take-Off våren 2010

Søknad om å bli med i konkurransen er sendt.

26.jan. Møte med TrønderEnergi Invest

Initiativ: TEI

Tilstede: Tommy Olsen, Hans Christian Steen, Håkon Welde, Ole Gunnar Dahlhaug og HSK

- Presentasjon av prosjektet. Prosjektstatus.

- Diskusjon om marked og forretningsmodell.

- Mange ubesvarte spm fra TEI angående potensial for energibesparelse, markedsstørrelse og viftemarkedet(aktører, pris etc)

- Forslag om å kontakte ENOVA.

TEI er interessert i å vite mer om ENØK-bransjen. De vil gå videre med å undersøke om det finnes en markedsundersøkelse på viftemarkedet i Norge og verden. Evt bestille en undersøkelse? "5% reduksjon i energiforbruket er garantert butikk, men hvordan?"
Hans Christian Steen blir kontaktperson for HSK.

02.feb. Møte med TTO.

Tilstede: Eli Grong Aursand(TTO), Hans Christian Blom (TTO) og HSK
Møte på i morgen onsdag klokken 09.30, samkjøre med Eli i forhold til TEI.

Presenterte prototypene og kort om teori bak for HC med tanke på patentering. Testresultater fra FW-vifte er positivt mtp patentsøknad.

Diverse spørsmål fra HC angående design og idè.

Viste luftaggregat. Konseptet med helt ny vifte/aggregat/diffusor (VAD I) kan man se på senere, nok å ta tak i idag.

Eli foreslår noe uanstendig til møtet i morgen. Punkt til presentasjon:

- Hva er nytt
- Hva er problemet, behovet
- Status per 3.2
- Vilje i systemet

Positivt inntrykk av HC. "Vi virker mer oppadgående enn mange han har møtt" :)

3.feb. Møte med TTO og TrønderEnergi Invest hos TTO

Initiativ: TTO

Sted: TTO

Til stede: Eli Grong Aursand, Hans Christian Steen og HSK

Eget inntrykk: Både TTO og TrønderEnergi Invest (TEI) virker svært interesserte og motiverte *dersom* vi får gode testresultater fra første prototyp.

Under følger en mail med møtereferrat fra Eli:

Hans Christian, Sondre, Halvor og Kjell Erik,
tak for et bra møte i dag! Jeg tror TrønderEnergi er en meget spennende og riktig partner for NTNU/Studentene i dette prosjektet.

Oppsummering:

- HSK Fans sin teknologi ligger innenfor fokusområdet til TrønderEnergi Invest.
- TrønderEnergi ønsker kvantitativt målinger på energieffektiviseringspotensialet som input til en mulig markedsundersøkelse.
- Hvis testene gir positive resultater kan TrønderEnergi Invest gi finansiell og faglig støtte til å få gjennomført en markedsundersøkelse.

Finansiering av prosjektet:

Fase 1 (høst 2009): NTNU, 200k

Fase 2: (vår 2010): Mulig delt finansiering/innsats mellom NTNU (teknologiutvikling), TTO (patentundersøkelse), TrønderEnergi Invest (markedsundersøkelse), Enova (prototyp)

Oppfølgingspunkter:

- Skaffe målinger fra test, prototyp 1 (studenter)
- Holde TrønderEnergi og TTO oppdatert på resultater (Kjell Erik)
- Enkel beregning av energisparepotensial basert på tester (studenter)
- Avtale nytt møte mellom studenter og TrønderEnergi (Eli)

- Planlegge møte med Enova (TrønderEnergi, TTO og studenter i nytt møte)

Vi snakkes!
Eli Grong Aursand
Project manager

NTNU Technology Transfer as
Klæbuveien 153
N-7491 Trondheim

18.feb. Søknad til Venture Cup 2010

Søknad om å bli med i konkurransen er sendt.

19. mai. Møte med HSK og Ole Gunnar Dahlhaug

Til stede: Halvor Haugsvold, Sondre Nenseter, Kjell Erik Lie, Ole Gunnar Dahlhaug

Etter flere tester med negative resultater fra laben og manglende fremgang i arbeidet med å øke virkningsgrad til vifte i Ansys CFX ble det bestemt å avholde et møte for å bestemme veien videre for HSK.

Resultatene så langt ble diskutert og det ble konkludert med at man innledningsvis kanskje hadde vært noe optimistiske i målsetningen.

Det har ikke lyktes å designe en vifte som har bedre virkningsgrad enn Fläkt Woods til dags dato.

Arbeidet fremover med å komme dit ser lang og møysommelig ut.

Alle tre studentene har fått seg jobb fra høsten av og er lite lystne på å satse videre siden det tekniske grunnlaget er såpass tynt. Arbeidet med å designe en ny diffusor som enkelt kan monteres på vifter har kommet et steg videre og det er blitt designet en 2. generasjons prototype.

Det blir bestemt å ikke satse på videre på å utvikle ny vifte men døren for en ny diffusor holdes åpen.

Skal man satse videre på dette foreslås det å involvere Innovasjon Norge,

beholde TTO og avslutte samarbeidet med TrønderEnergi Invest siden Innovasjon Norge muligens vil kunne stille med kapital til utgifter til markedsanalyse.

Det foreslås også å ta kontakt med vifteprodusent Fläkt Woods og høre om muligheten for selge rettigheter til dem. Det bestemmes å forhøre seg med TTO om det er mulig å få patent på den nye designen

som skiller seg vesentlig fra den gamle.

Senere på dagen blir det funnet patent på tilsvarende diffusor utstedt i 2006. Det blir bestemt å legge ned det videre arbeidet med HSK Fans.

10.15 Syretest Entreprenørskolen

Konfidensielt

September 2009



ES '11

HSK FANS

Syretest 3 | Gøran Berntsen, Andreas Bertheussen, Bård Gamnes,
Eldri Coll Mossige, Robert Haarstad

SAMMENDRAG

Drift av vifteenhetene til ventilasjonsanlegg i næringsbygg står for 15-20 % av byggets totale energiforbruk. Fokus på energisparing har ført til skjerpede krav til ventilasjonsanlegget og skapt et ønske om effektivitetsforbedring. Hoveddrivkraften er økonomisk gevinst, og nye EU-direktiv om energimerking av bygninger er med på å forsterke dette fokuset.

Høyere effektivitetsgrad på vifteenhetene gir lavere energikostnader for eieren av et nytt bygg. Eierens ønske forplanter seg gjennom en rekke aktører til vifteprodusenten som må tilby bedre løsninger. Utover effektivitetsgrad er det også et potensiale for å redusere støy og i tillegg minske aggregatstørrelsen gjennom mer effektive vifter.

En vifteenhet består av en vifte med en spesialtilpasset motor som driver viftebladene rundt. Dagens effektivitetsgrad på vifteenhetene ligger på rundt 70 %. Inspirert av turbiner fra vannkraftindustrien vil HSK Fans redesigne vifteenheten og tilby høyere effektivitet.

HSK Fans består i dag av tre NTNU-studenter, med professor Ole Gunnar Dahlhaug som veileder. De jobber med å utvikle et design som vil danne grunnlag for utvikling av en prototype. Denne skal bygges våren 2010 dersom høstens arbeid viser seg lovende.

Det totale markedetpotensialet for leveranse av vifter til ventilasjonsanlegg er anslått til å være i underkant av 150 MNOK årlig i Norge og er i dag dominert av to store aktører; Fläkt Woods og ebm-papst. Disse leverer vifter til de største ventilasjonsleverandørene i Norge.

Det økonomiske potensialet ved en vellykket oppstart ligger rundt 23 MNOK årlig i omsetning i Norge, og i Europa ligger det økonomiske potensialet rundt 600 MNOK. Finansieringsbehovet vil i utviklingsfasen ligge på rundt 1 MNOK og i kommersialiseringsfasen på 5-10 MNOK.

For at produktet skal være levedyktig på dagens marked må en del krav tilfredsstilles. Virkningsgradens må forbedres med 20%, prisen må ikke øke med mer enn 20 % og designet må foreligge innen juni 2010. I tillegg kan vifta ikke ha høyere støynivå enn dagens gjennomsnitt på ca 30 dB og må ha like god levetid som konkurrentenes produkter.

INNHALDSFORTEGNELSE

Sammendrag.....	2
Innholdsfortegnelse.....	3
Produkt	4
Definisjoner	4
Bakgrunn.....	4
Produktbeskrivelse	4
Status på prosjektet.....	4
Innovasjonshøyde.....	4
Beskyttbarhet	5
Skalerbarhet	5
Alternative anvendelsesområder	5
Marked	5
Trender	5
Segmentering.....	6
Næringskjeden.....	6
Inngangsbarrierer	7
Konkurrenter	7
Kunden.....	7
Kundenytte	8
Kjøpskriterier og Krav til produktet	8
Organisering	8
Idéhavere.....	8
Komittment og ambisjoner.....	8
Entreprenørskolens rolle	9
Forretningsmodeller	9
Økonomi	10
Overordnet økonomisk potensiale	10
Kapitalbehov.....	10
Vår anbefaling.....	11
Fordeler	11
Ulemper	11
Vedlegg	12
Kostnadskrav med utgangspunkt i energi og investering.....	12
Liste over konkurrenter og potensielle kunder	13
Kontaktlogg.....	14

PRODUKT

DEFINISJONER

Et ventilasjonsanlegg består av rørsystemer og ventilasjonsaggregat (VA), og i ventilasjonsaggregatet finner man vifteenheten (VE). VE består av viftebladene og motoren som driver dem. Det er hele VE som skal redesignes og forbedres.

BAKGRUNN

En uforholdsmessig stor andel av den totale energibruken i yrkesbygg går med til drift av VE i ventilasjonsanlegg (15-20 %)¹. Her er potensiale for store innsparinger på strømutgifter og markedet etterspør energieffektive ventilasjonssystemer. Det nye bygningsenergidirektivet innfører strengere krav til energibruk i bygninger, noe som øker miljøfokus ytterligere. Markedskravene til energieffektivitet er jevnt over strengere enn de lovpålagte kravene. Ventilasjonsvifter har til nå blitt designet med et utpreget fokus på å presse produksjonskostnadene ned, noe som har gått på bekostning av virkningsgraden til viftene. I lys av behovet for energieffektive bygg har denne prioriteringen nå skapt et krav om forbedring.

PRODUKTBESKRIVELSE

Produktet er en oppdatert utgave av vifteenheten. Forbedringspotensialet i aerodynamikken til vifta skal utnyttes slik at virkningsgraden forbedres med 20 %, og strømforbruket til ventilasjonsaggregatet vil dermed reduseres uten at ytelsen blir påvirket. En økning av effektiviteten på 20% i VE vil medføre at energiforbruket til VA reduseres med 6-7 %².

Det optimale skjæringspunktet mellom tolerert økning i produksjonskostnader, akseptert prisforhøyning og økt effektivitet må finnes for at produktet skal få innpass på markedet.

STATUS PÅ PROSJEKTET

Tre femteårsstudenter skriver prosjektoppgave om produktet. Frem til jul skal de teste en vifte fra Flåkt Woods (FW) og finne virkningsgraden på denne. Samtidig skal de utvikle en forbedret vifte som det skal kjøres CFD-simuleringer³ på. Første milepæl er ved prosjektinnlevering i desember. Andre og mest sentrale milepæl er juni 2010, da skal masteroppgaven leveres. Dersom produktet er utviklet tilstrekkelig og markedspotensialet vurderes som stort nok, vil de forsøke å ta produktet videre til en kommersialiseringsfase.

INNOVASJONSHØYDE

Ideen er fortsatt på et tidlig stadium, og det endelige produktet er ikke definert ennå. Innovasjonshøyden vil avhenge av tilvirkingsmetode, teknologien og utformingen til produktet når det er ferdig utviklet. I alle tilfeller er det slik at de aerodynamiske prinsippene bak vifta som HSK Fans skal lage ikke er noen hemmelighet - nyvinningen

¹ Sintef rapport: "Nye energikrav. Tilleggsanalyser. Underlag for revisjon av forskriftskrav til bygningers energibehov", http://marinteksolutions.com/upload/Byggforsk/A05207_Nye%20energikrav-Tilleggsanalyser.pdf

² Ole Gunnar Dahlhaug

³ Computational Flow Dynamics

Konfidensielt

ligger i å overføre teknologi og designprinsipper fra vannturbiner til vifteblader. Innovasjonshøyden vil derfor trolig være forholdsvis lav.

BESKYTTBARHET

Siden innovasjonshøyden antakelig vil være lav vil det være vanskelig å patentere det endelige produktet. Det som eventuelt kan være patenterbart er en eventuelt ny produksjonsmetode som kan flytte skjæringspunktet mellom aerodynamikk og produksjonskostnad i en positiv retning. Det er likevel ikke gitt at å patentere en slik produksjonsmetode er gunstig - det kan være fordelaktig å holde den hemmelig for å sikre et konkurransefortrinn. En annen mulighet som bør vurderes er å designbeskytte selve utformingen av viftebladet. Å sende en slik søknad koster lite, men det er verdt å merke seg at designbeskyttelser kan være både vanskelige og kostbare å forsvare.

SKALERBARHET

Vifter til ventilasjonsaggregat er et standard produkt med tanke på form. Det vil ikke bli snakk om noen skreddersøm av vifter, og selskapet vil kunne konsentrere seg om masseproduksjon. Det kan enkelt produseres vifter med forskjellig kapasitet basert på de samme tekniske prinsippene. Produktet må derfor kunne betegnes som skalerbart i stor grad.

ALTERNATIVE ANVENDELSESOMRÅDER

Prosessorer, grafikkort og strømforsyninger i datamaskiner er alle elementer som utvikler mye varme, og alle disse har som regel egne dedikerte vifter for å kjøle ned komponentene. Viftene som benyttes i dag er enkle, så et forbedret viftedesign vil trolig også være ideelt her. Store prosessvifter til industrien og vifter til varmepumper og airconditioning er andre områder hvor man kan se på mulighetene som HSK-viftene gir.

MARKED

TRENDER

Kravene til energieffektivitet i bygninger blir stadig strengere. Dette reflekteres i en ventilasjonsbransje som blir mer og mer opptatt av energieffektivitet. Teknologien i VA har i flere tiår vært mer eller mindre uendret, med unntak av VE hvor det har vært litt endringer de siste årene. Likevel etterspør markedet stadig forbedringer på VE.

"Markedet er veldig klart for nytt viftedesign, og hvis du har noe som passer her i nybygget er det bare å ringe!"
-Geir Vangsnes, ansvarlig for ventilasjonsanlegget på Gardermoen, om nybygget på 300 000 m²

EUs bygningsenergidirektiv ble vedtatt i EU i 2003 og skal bidra til å øke energieffektiviteten i den europeiske bygningsmassen. Basert på dette direktivet har Odelstinget vedtatt en lovendring som trer i kraft i januar 2010, og som vil kreve at alle nybygg i Norge energimerkes samt at det utføres en energivurdering av alle tekniske anlegg i bygninger. Jevnt over er kravene fra markedet i dag allerede strengere enn de lovpålagte kravene for energieffektivitet. Slik energimerking av bygninger vil bidra til å ytterligere øke bevisstheten rundt dette, spesielt siden et nybygg som bygges etter dagens forskrifter kun bli klassifisert som klasse C innenfor den nye energimerkingsordningen.⁴

⁴ Klassifiseringssystemet strekker seg fra klasse A til G, hvor A er mest energieffektiv.

I klimaforliket av 2008 foreslås det at passivhusstandarden⁵ skal være normert nybyggstandard i Norge innen 2020⁶. I passivhus er ventilasjonsanlegg påkrevd (5)⁷, ettersom vegger og skjøter er tette. Økt passiv byggmasse medfører økt etterspørsel etter VA, og dermed VE.

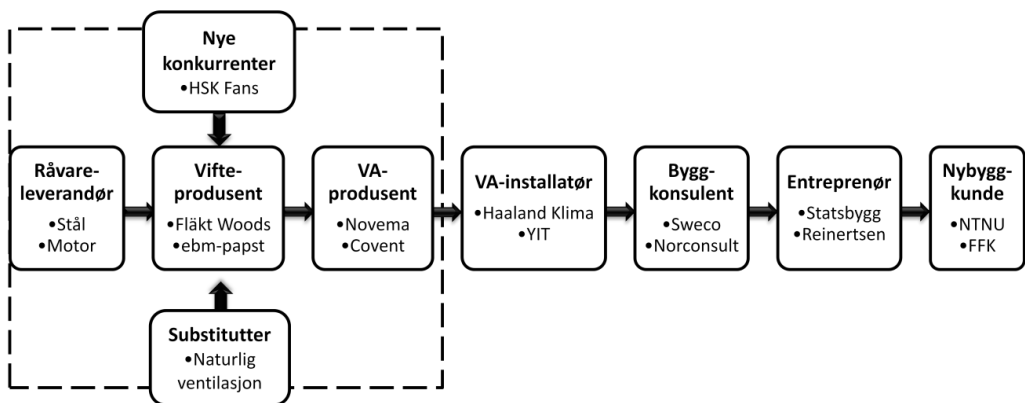
SEGMENTERING

Kundene til HSK Fans vil være produsenter av VA. Man kan skape et skille mellom de VA-produsentene som leverer til bolighus og de som leverer til næringsbygg. HSK Fans vil primært rette seg mot det segmentet som omfatter forretningsbygg, industribygg, institusjonsbygg og undervisningsbygg fordi det stilles store krav til energiforbruk og arbeidsmiljø.

Bolighusegmentet kan være interessant i framtiden. Når kravene til energisparing i dette segmentet blir større, og passivhusstandarden blir utbredt, vil mer effektive ventilasjonsvifter være et av tiltakene som boligeiere vil vurdere.

Når HSK Fans lykkes i hjemmemarkedet, vil det være naturlig å se på tilsvarende segmenter internasjonalt. Her er det først og fremst Europa som skiller seg ut, siden fokuset på energisparing er større innenfor EU enn i resten av verden.

NÆRINGSKJEDEN



Porters fem krefter

Figur 1: Næringskjeden og Porters fem krefter

⁵ Passivhus er bygg med svært lavt energiforbruk, der oppvarmingsbehovet kan være redusert med så mye som 90 prosent. Passivhus får energimerkeklasse A.

http://www.regjeringen.no/nb/dep/md/aktuelt/taler_artikler/ministeren/erik_solheim/2009/klimapolitisk-redegjorelse-for-storting.html?id=560864

⁶ <http://arkitekturturnytt.no/2008/04/passivhus-i-norden.html>

⁷ http://www.sintef.no/upload/Veileder_lavenergihus.pdf

Konfidensielt

Næringskjeden for ventilasjonsanlegg er lang og komplisert, og vifteprodusenter er som vist i figuren plassert tidlig i kjeden. Byggentreprenøren vil på oppdrag fra en byggkunde gå til et konsultentselskap og be om et ventilasjonssystem. Konsulenten lyser da ut et anbud ut fra krav de blir enige om med byggherren. Anbudene går til VA-installatør som igjen går til VA-produsent og spør om tilbud. Tilbud vil så gå oppover igjen i kjeden, til konsulenten som tar et valg og leverer en komplett løsning til byggherren.

Det er produsentene av ventilasjonsaggregater som tar den endelige avgjørelsen om hvilke vifter de benytter i sine aggregater. Det er likevel verdt å merke seg at leddene etter produsent har vist stor interesse for forbedrede vifter når de har fått informasjon om HSK Fans. Dersom byggkonsulenter og -entreprenører kan bli overbeviste om at HSK Fans vil gi lavere energikostnader og en bedre miljøprofil, kan det være mulig å skape en pull-effekt i næringskjeden.

INNGANGSBARRIERER

Kundene kjøper i dag etter behov og har sterk forhandlingsstyrke grunnet prisdrevet konkurranse hos vifteprodusentene. Å komme inn som en ny aktør på et prisdrevet konkurransemarked kan skape vanskeligheter med å få høy nok margin til å overleve dersom man kun vil konkurrere på pris alene.

Andre mulige inngangsbarrierer kan være manglende kontaktnettverk i bransjen, manglende distribusjonsnettverk, eksisterende serviceavtaler og etablerte produksjonsstandarder hos VA-produsenter, og sertifiseringsproblemer. Opplevde byttekostnader for kunden vil også kunne hindre tilgang til markedet ettersom de etablerte aktørene har bygget opp gode relasjoner til kundene.

Tilstrekkelig finansiering er en helt avgjørende faktor for at HSK skal kunne starte produksjon.

KONKURRENTER

Det finnes flere store produsenter av vifter til ventilasjonsaggregat i dag. Ledende blant disse i Europa er Fläkt Woods, som i tillegg til å levere vifter til ventilasjonsaggregater også leverer ferdige aggregater. Andre store leverandører av vifter er ebm-papst og Gebhardt. HSK Fans vil havne i direkte konkurranse med disse tre. De utgjør potensielle trusler, da de forholdsvis enkelt vil kunne kopiere HSK Fans sine vifter og bruke sine overlegne ressurser til å tvinge HSK Fans ut av markedet. FW er klar over at viftene de produserer ikke er aerodynamisk perfekte, men har ikke hatt noe insentiv til å forbedre designet, noe de vil få dersom HSK Fans begynner å stjele markedsandeler. Selv om HSK Fans klarer å få noen form for designbeskyttelse av sin vifte er det overhengende sannsynlig at konkurrentene vil klare å komme tilbake med vifter med tilsvarende egenskaper. Dette er noe HSK Fans må være klar over før de går inn i markedet. Et viktig element blir å få en first mover-advantage, ved at de er først inn på markedet med et vesentlig forbedret produkt.

KUNDEN

Den direkte kunden vil være produsenter av aggregater. I Norge er Novema, Covent og Flexit blant de største, men det finnes også flere små aktører. Det varierer litt hvor sterke bånd disse har til sine underleverandører i dag. Novema kjøper per i dag kun vifter fra FW, Covent kjøper fra både ebm-papst og FW, mens Flexit plukker fra markedet det som til enhver tid passer best for systemet de skal bygge.

KUNDENYTTTE

Kundenytten til aggregatprodusentene vil ligge i at de kan tilby mer energieffektive vifter til sine kunder. Dette vil være nyttig for våre kunder siden det øker kvaliteten på deres produkter. Ettersom det er sluttbruker som betaler for energien viften bruker og kan påvirke valg av VE, vil det være nødvendig å overbevise han om at HSK Fans er energibesparende og derfor et bedre alternativ i byggeprosessen. Fokuset kan også rettes mot miljøgevinsten dette gir. Økt kapasitet på vifta kan gjøre aggregatene mindre, noe som kan være en kundenytte for kunder som ønsker plassbesparende ventilasjonsystemer. Dersom det blir mulig å gjøre en forbedring på støy vil dette også kunne ha en nytteverdi for nisjekunder med spesielt behov for stillegående systemer.

KJØPSKRITERIER OG KRAV TIL PRODUKTET

Ettersom HSK Fans er i idéfasen er det mer hensiktsmessig å stille krav til det ferdige produktet, enn å gjøre vurderinger basert på estimater om spesifikasjonene. Ut fra vurderingene i denne testen finnes følgende krav til spesifikasjonene på vifta:

- **Økning i virkningsgrad med 20%:** Det er nødvendig med en betydelig endring fra dagens løsninger ettersom HSK Fans ikke skal konkurrere på pris, men heller differensiere seg i markedet. Dahlhaug mener at 20% forbedring er lett oppnåelig, og den beste teknologien til FW hadde en endring på 10% da den kom som ble sett på som revolusjonerende.
- **Prisøkning på maksimalt 20%:** Ut fra kalkylen i vedleggene kan en prisøkning på 55% forsvares rent økonomisk. Når det tas hensyn til byttekostnader og andre produksjonsutgifter, vil HSK Fans måtte ligge langt under 55%, og det er derfor estimert med 20% prisøkning som krav for produktet.
- **Støy:** Støynivået på HSK Fans må ikke ligge over 30 dB, som er nivået konkurrerende VE ligger på.
- **Energibesparende:** Motorteknologien som brukes må fungere godt med vifta.
- **SFP:** Verdien på SFP er et satt krav fra konsulent i samarbeid med byggherre. Dette er noe man i dag kun har mulighet til å oppfylle ved å øke størrelsen på aggregatet, og dermed minske internmotstanden i systemet.
- **Størrelse:** Ettersom HSK Fans kan levere mer effektive vifteenheter vil VA-produsentene kunne produsere mindre enheter som oppfyller de samme SFP-kravene. Dette vil frigjøre mer plass i bygget som dermed kan brukes til andre ting.

ORGANISERING

IDÉHAVERE

De formelle rettighetene til HSK Fans ligger hos Halvor Haugsvold, Sondre Nenseter og Kjell Erik Lien. De er femteårsstudenter ved sivilingeniørstudiet i henholdsvis Produktutvikling og produksjon, og Energi og miljø. Ole Gunnar Dahlhaug, professor ved Institutt for energi- og prosesssteknikk og gründer for DynaVec og ChapDrive, er deres veileder for prosjektoppgaven. Tilsammen utgjør idéhaverene og Dahlhaug en solid kunnskapsbase som er en viktig faktor i utviklingen av teknologien. Denne kunnskapsbasen underbygges ytterligere av idéhaverenes tilknytning til fagmiljøet ved NTNU.

KOMITTMENT OG AMBISJONER

Forutsatt at det viser seg at HSK Fans er et levedyktig produkt, vil de tre studentene fortsette i prosjektet gjennom en masteroppgave. De vil også jobbe videre i bedriften etter endt studium dersom prosjektet ser lovende ut.

ENTREPRENØRSKOLENS ROLLE

Idéhavergruppa har kompetanse på det tekniske, men ingen erfaring med kommersialisering av teknologi. Veileder Dahlhaug har tidligere vært involvert i flere oppstarter, har vist interesse for å hjelpe til og kan således være en ressurs for idéhavergruppa. Idéhaverne innser at de må fokusere på den tekniske utviklingen for å ha et produkt ferdig til juni og de er positive til et samarbeid med Entreprenørskolen.

Entreprenørskolen vil kunne bidra med skriving av forretningsplan, kapitalinnhenting, etablere relasjoner med potensielle kunder og generell kompetanse med tanke på forretningsdrift. Entreprenørskolens formelle rolle må avklares nærmere før dette prosjektet eventuelt blir valgt for videre arbeid.

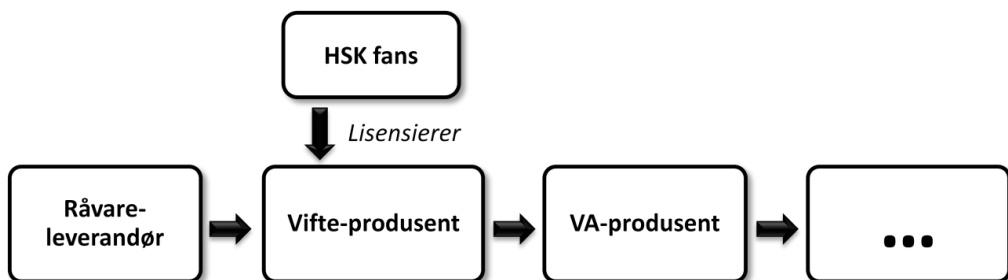
FORRETNINGSMODELLER

PRODUKSJON - OUTSOURCING

HSK Fans vil outsource produksjonen, men selv ta seg av markedsføring og salg. Denne modellen krever mindre startkapital enn oppstart av egen produksjonslinje.

LISENSIERING

Dersom HSK Fans patenterer viftene vil de kunne selge lisenser til konkurrentene på vifteproduksjon.

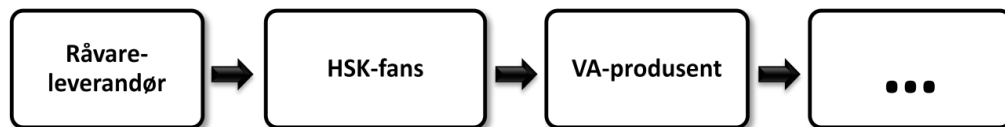


Figur 2: Lisensiering

Ettersom ideen til HSK Fans i stor grad baserer seg på kjente prinsipper kan det bli utfordrende å få produktet patentert. Dersom man skulle klare å få et patent vil fortsatt store utfordringer være knyttet til å selge lisenser, ettersom flere av konkurrentene selv sitter på FoU-ressurser og kan forbedre egne løsninger for å møte strengere krav i markedet. Lisensiering anses av disse grunnene som en lite aktuell forretningsmodell for HSK Fans.

PRODUKSJON - EGENPRODUKSJON

En produksjonsmodell vil innebære at de tre idéhaverne selv produserer og selger en VE til en VA-produzent. Å starte opp en produksjonslinje vil kreve mye finansiering.



Figur 3: Egenproduksjon

Fokuset i denne modellen er at HSK Fans tilbyr en vesentlig forbedret VE, til en marginalt høyere pris, og at dette gir økonomisk og miljømessig gevinst for kunden.

Basert på at idéhaverne har et stort nettverk på NTNU og tilgang til mange ressurser der, vil en egenproduksjonsmodell være den beste løsningen for HSK Fans. Dette innebærer et større kapitalbehov i starten, men de vil kunne kapre større deler av næringskjeden og dermed få mer makt i markedet.

ØKONOMI

OVERORDNET ØKONOMISK POTENSIALE

I Norge er omsetningen i viftemarkedet på 150 MNOK årlig⁸. Det selges årlig 8000 vifter i Norge og det byttes rundt 30 000 vifter.⁹ Antatt at HSK Fans klarer å bli totalleverandør til en av de tre største VA-produzentene samt levere til en eller to av de mindre, kan HSK Fans klare å oppnå en markedsandel på 15%.

Utsalgsprisen for en av FW sine vifter ligger på rundt €400. Antatt at HSK Fans sin vifte kan være litt dyrere, settes prisen til 4000

NOK, og som tabell 1 viser vil omsetningspotensialet i så tilfelle bli 22,8 MNOK per år. I Europa ligger årlig omsetning innen vifter til bygg på rundt €400 millioner¹⁰. Det kan antas at HSK Fans på lang sikt kan oppnå en markedsandel lik den i Norge også i Europa. Dette vil gi et potensiale i Europa på rundt €77 millioner som tilsvarer rundt 615 MNOK.

VE solgt i Norge	38000
Markedsandel HSK	15 %
VE solgt av HSK	5700
Utsalgspris	kr 4 000,00
Omsetning	kr 22 800 000,00

KAPITALBEHOV

PRODUKTUTVIKLINGFASE

I følge FW har de brukt rundt € 500 000 på å utvikle den nye vifteteknologien CF+. Dette inkluderer design, testing, prototyper og en modell klar til produksjon. FW har da hatt mye av arbeidet klart fra tidligere modeller, mens HSK Fans vil starte fra bunnen av med sin vifte. HSK Fans vil derimot ha tre masterstudenter som jobber gratis, lokaler og et stort nettverk på NTNU. Ole Gunnar Dahlhaug estimerte kostnadene til 3 - 500 000. Det kan dermed antas at HSK vil ha utviklingskostnader som ligger under FW sine og estimeres til 1 MNOK.

⁸ Kilde: Gorm Benno, ebm-papst

⁹ Kilde: Idéhaverene.

¹⁰ Kilde: Fläkt Woods

KOMMERSIALISERINGSFASE

FW bruker rundt € 1-2 millioner på å lage verktøy og produksjonsanlegg klart for nye serier med vifter. Denne prisen var for en serie med 11 modeller. HSK Fans vil også måtte opprette produksjonslokaler og starte opp et AS som medfører ekstra utgifter. HSK Fans har ingen distribusjonsnettverk og dette vil medføre store ekstrakostnader å opprette.

Det anslås ut fra dette et finansieringsbehov på 5-10 MNOK for lokaler og produksjonsutstyr, men på grunn av ressursene på NTNU kan de klare å komme seg ned på en enhetskostnad på omtrent det samme som FW.

FINANSIERING

HSK Fans vil kunne søke midler fra IN og andre investorer, men også fra NTNU. Ettersom HSK Fans har tilgang på billig arbeidskraft og stort nettverk på NTNU kan dette være et attraktivt prosjekt for andre investorer også.

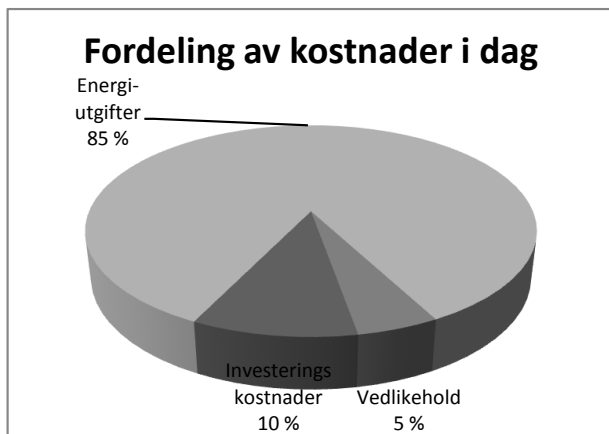
VÅR ANBEFALING

FORDELER	ULEMPER
Spennende ny teknologi	Usikker teknologi
Stort potensiale	Liten innovasjonshøyde

Gitt at de kravene til produktet som er skissert i dette dokumentet oppfylles er vår oppfatning at HSK fans er en forretningsidé som er verdt å jobbe videre med.

VEDLEGG

KOSTNADSKRAV MED UTGANGSPUNKT I ENERGI OG INVESTERING



(Kilde: <http://www.flaktwoods.com/applications/energy-efficiency/life-cycle-cost/>)

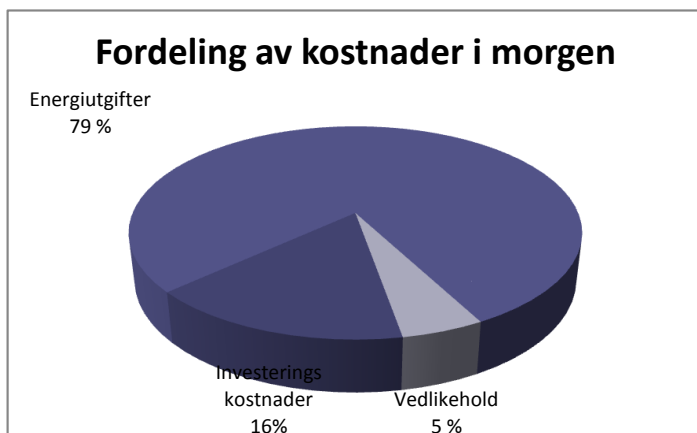
Det antas at vi kan forbedre effekten med 7%. (Tall fra Ole Gunnar Dahlhaug)

$$85 * 0,93 = 79,05\%$$

Dette vil gi oss en ny delkostnad på 79% av totalen. Dette gir oss en mulighet for å ha en pris som tar 16% av totalen, gitt av totalkostnadene er konstante.

$$10\% + (85-79) = 16\%$$

10% til 16% gir 60% økning! Dette er en økning på 60% som kan forsvares rent økonomisk.



Det antas at byttekostnadene for kunde er store, ettersom HKS fans ikke har troverdighet i markedet per i dag, og at det finnes godt etablerte aktører som HKS vil måtte konkurrere direkte mot. Derfor antas det at en mulig prisøkning på 20 % kan forsvares.

LISTE OVER KONKURRENTER OG POTENSIELLE KUNDER

Potensielle kunder	Konkurrenter
Airproduct AS	Airproduct AS
Covent AS	ebmpapst
Dantherm Air Handling AS	Exhausto Norge AS
Exhausto Norge AS	Flexit AS
Flexit AS	Fläkt Woods AS
Fläkt Woods AS	J. L.Bruvik AS
Interfil AS	Moderne Kjøling AS, Oslo
KlimaSystem AS	NeGo Norge AS
NeGo Norge AS	Nordplast AS
Norse Block AS	Norse Block AS
Novema Aggregater AS	Novema Aggregater AS
Novenco AS	Novenco AS
Randem & Hübert AS, MNVEF (L) Oslo	Parlock AS
Systemair AS	Scand Industrimiljø AS
Ventistål AS Landsdekkende	Systemair AS
	Thermo Byggvarme AS
	Ventistål AS Landsdekkende
	Vuas Produkter AS, MNVEF (L)

KONTAKTLOGG

Kontakt	Organisasjon	Når	Resultat av samtale	Hvem	Videre referanser
Møte med Halvor Haugsvold	NTNU-student	Måndag 28.09.09, 08.30	Generell pitching av idè,	Alle	Ole Gunnar Dahlhaug
Ole Gunnar Dahlhaug (91897609, 73598257)	NTNU, Institutt for energi- og prosesseteknikk, Professor og gründer (ChapDrive)	Måndag 28.09.09 09.15	Vifteteknologien som blir brukt i dag er frå 50/60/70-talet (finn ut årstal), og designarane av desse viftene er ikkje lenger i bransjen. Ein ser at viftene har blitt meir og meir forenkla sidan då, for å pressa ned produksjonskostnadane. Dette har gått på bekostning av virkningsgraden til viftene, viftene er no SUPERenkle. Har ikkje vore behov for betre vifter før no, når EU sine nye rammedirektiv for energibruki bygningar trer i kraft denne hausten. Produkta held ikkje lenger mål, og bransjen innehar ikkje lenger den kompetansen som skal til for å betra produkta slik at dei møter krava. Dette opnar eit tidsvindaug, frå i dag fram til den dagen bransjen skaffar seg den naudsynte kompetansen eller til ein produsent kjem på marknaden med betre vifter. Ei heilt optimal vifte vil auka produksjonskostnaden med i alle fall 100 % (out of the blue), men me treng ikkje laga optimale vifter, dei må berre oppfylle dei nye krava. Kostnad prototyp m/instrumentering: 3-500 000 NOK. Om det skal lagast ei ny bedrift, bør Halvor, Sondre og Kjell Erik greia å utforma vifta slik at ho kan patenterast, det er fullt ut mogleg. Forretningsmodell: lisensiering er vel den opplagt enklaste løysinga.	Eldri	Snakk med Sondre om dei nye rammedirektiva. Sintef (VVS) har ei gruppe som jobbar med noko i samme gata - dei har kanskje info om marknad etc.

Konfidensielt

William Andersen, 73907352	Flåkt woods, Avdelingsleder trondheim	Mandag 28.09.09	Firmaet er ledende i Norge på vifter og levert vifter til aggregatlevereandører. De har en mindre konkurrent i Bruvik på vestlandet, men har den beste teknologien på vifter ifølge seg selv. De leverer også fullstendige aggregater til ventilasjonanlegg, men her har de bare 25% av markedet i Norge, dvs omsetning på 80 millioner i året på aggregatleveranse. Det er mange typer vifter der de vanligste er kammervifter og radialvifter. Av disse er kammervifte mest populært. Effektiviteten på de beste viftene ligger rundt 70%. De har FoU avdeling i Sverige og Finland der avdelingen i Sverige er blant de beste i Europa innenfor forskning på vifter og har muligheten til storskalatesting. Han fortalte at de nye forskriftene som gjelder fra 1. august er positivt for bedriften da det skaper ønske om forbedringer. Levetiden på en vifte er typisk 30 år ettersom de er laget av stål eller aluminium. I tillegg til å øke effektiviteten var det også interesse for å senke støy. Selv om det var stor variasjon i størrelsen på viftene var det 4-5 kW som var gjennomsnittlig størrelse.	Andreas	snakke med FoU i Sverige
Ottar Michelsen	post doc. NTNU, IØT	Mandag 28.09.09 10.00	Veit ikke mye om rammedrivetiva, men dei er implementert i Noreg i form av ei forskrift. Kan sjekka lover som er komne frå Miljøverndepartementet.	Eldri	Rolf André Bohne, Dag Arne Høystad
FoU person som jeg ble sendt videre til ved å ringe til 22074500 og spurt om jeg kunne få snakke med noen som viste om FoU avdelingen til firmaet	Flåkt woods,	Mandag 28.09.09	Fortale at de hadde gjennombrudd for ca 3 år siden da de ved å fjerne en bit av bladet forbedret effektiviteten med 10%. det kreves en forbedring på effektivitet på 5-10% evt en 3db forbedring i støy for å legge om produksjonslinjene. Fortalte også at firmaet har en av de største FoU avdelingene i Europa når det gjelder utvikling av vifter.	Andreas	

Konfidensielt

Brita Dagsen, 22475600	Statens bygningsteknisk etat	Mandag 28.09.09	På be.no kunne jeg under byggeregler og tekniske forskrifter finne den nye tekniske forskriften på krav til nye bygg, paragraf 8-21. Her var det blant annet rammekrav energibruk i nye bygninger som skulle ned med 25% siden siste forskrift publisert i 1997.	Andreas	
Edvin Karlstad	NTNU, Seksjon for tekniske tjenester, ingeniør	Måndag 28.09.09 13.30	Vifta som står på Kjel (den Halvor og gutta snakka om) er 1,5 år gammel -> ho er produsert etter at den nye, revolusjonerande teknologien vart teken i bruk hjå Flåktwoods. Jippi.	Eldri	Trond Haugen
Trond Haugen, 9187223, 73595443	NTNU, Seksjon for tekniske tjenester, avdelingsingeniør	Måndag 28.09.09 13.35	Når dei skal kjøpa nye ventilasjonsvifter, har dei ei mal med krav som dei må følga. Malen inneheld SFP, støykrav, pris. Tek avgjerda på basis av korleis dei ulike viftene oppfyller desse krava samla. Når dei kjøper større ventilasjonsanlegg, vel dei produsent etter anbud. Ved mindre produkt/anlegg, har dei brukt produsentar som YIT, Oras, Gunnar Karlsen.	Eldri	
Ole Gunnar Dahlhaug, 91897609, 73598257	NTNU, Institutt for energi- og prosesseteknikk, Professor og gründer (ChapDrive)	Måndag 28.09.09 13.50	Oppteken - ringe opp att.	Eldri	
Rolf Andre Bohne, 73594646, 99705363	NTNU, Institutt for bygg, anlegg og transport, driv med bærekraftig infrastruktur	Måndag 28.09.09 14.00	Oppteken i møte ut dagen - ring i morgon.	Eldri	
Øyvind Bjørgum, 73 59 09 64	NTNU, NEC, Venture Cup	Mandag 28.09.09 14.30	Ringte for å høre om mulighet for å delta i VC 2010, mtp at HS Fans deltok i 2007. Øyvind er positiv, dersom det viser seg at prosjektet har forandret seg i vesentlig grad. Sendte også over vurderinga forretningsplanen fikk i 2007. Mente at håndverket på den planen ikke var helt topp.	Robert	

Konfidensielt

Rune Aarliien	Sintef energiprosesser	Måndag 28.09.09 14.50	Ikkje hans område - henviser vidare til Hans Martin Mathisen, tlf 73593870	Eldri	Hans Martin Mathisen, tlf 73593870
Dag Arne Høystad, 23109628, 93009955	Naturvernforbundet	Måndag 28.09.09 15.00	Prøv om att i morgon!	Eldri	Geir Vangsness, 64812146, Hammerset, 64812147
Bjørn Harald Bakken, 73597445	Sintef Energiforsking AS	Måndag 28.09.09 15.00	Ikkje hans område - prøv heller Energiprosesser- og VVS-folk	Eldri	
Gorm Benno, 22763350	Ebmapast	Mandag 28.09.09	Firmaet leverte et stort utvalg av vifter i alle størrelser fra pc vifter til store aggregater. Han fortalte at SFP verdi får man ved å finne ut hvor mange kubikk luft man får ut pr kW inn. de leverte vifter til covent og flexit. Andre aktører var FW, gbart, nikotra og rosenberg. Firmaet holdt til i Tyskland. Kravet til vifter gikk på støy, pris og størrelsesbegrensning i tillegg til effektivitet. Dette var det mye forskning på. Til slutt kunne han estimere at totalmarkedet for vifter til ventilasjonsanlegg i Norge var i underkant av 150 millioner kr pr. år, men at dette var vanskelig for han å vite ettersom hans firma hadde stor bredde i produkter.	Andreas	
Roar Øvstedal 23125400	Haaland Klima	Mandag 28.09.09 kl 1450	Haaland klima leverer klimaanlegg til mange store nybygg i Norge. Kjøper aggregat av Novema og Covent, som er det største leverandørene av dette i Norge. Faktorer som er viktige ved valg av aggregat er EFFEKTIVITET (SFP-faktoren, som knyttes rett til energiregnskapet) og STØY. Pris er selvfølgelig også viktig. De ser også på tidligere erfaringer knyttet til tetthet på aggregatet. De siste 4-5 årene har den gamle typen vifter (sentrifugalvifter) blitt helt borte til fordel for kammervifter som gir økt energieffektivitet. Aggregater med ferdig	Gøran	

Konfidensielt

			<p>automatikk blir vanligere og vanligere. (Tidligere måtte de ha egne automatikkinstallatører i tillegg.) Deres største prosjekt om dagen er Storebrand Eiendom på Lysaker.</p>		
<p>Jostein Jensen, 51459600 (sentralbord)</p>	Covent	<p>Mandag 28.09.09, 1530</p>	<p>Leverer ventilasjonsaggregater. Kjøper vifter primært av FW, noen også fra ebmpapst. Primært kammervifter (som begynte å komme for ca 10 år siden) men også noe sentrifugalvifter. Virkningsgrad og lyd er kritiske faktorer.</p>	Gøran	
<p>Frode Vallstad, 63870770</p>	Novema, Skedsmokorset	<p>Mandag 28.09.09 kl 1500</p>	<p>Novema er en av Norges ledende leverandører av ventilasjonsaggregater. De bestiller vifter fra Fläkt Woods. Kundene velger ikke vifte selv, men de får en standard løsning fra Fläkt Woods. De hadde tidligere to modeller, en for høy virkningsgrad og en for lav støy, men har idag kun en modell med høy virkningsgrad. Kundene stiller strenge kra til SFP, og de har gjort dette lenge. De nye kravene fra byggtknisk er derfor ikke avgjørende for kundene. De ser litt på å eventuelt bytte til ny motor teknologi, men ikke gjort noe med dette enda. De tenker da på noe som heter EC teknologi, og kan da eventuelt få ytterrotormotorer. Problemet har vært at de som leverer dette ikke har hatt en godt vifteteknologi, og det har derfor ikke vært noen stor suksess. SFP har lenge vært stor fokus i utlandet, men kommer mer og mer i Norge også nå. Novema har levert samme modellen i 3-4 år nå, og siste oppdatering fra FW på vifteteknologien kom i 2005. For å øke SFP så fokuserer Novema på størrelsen på aggregatet og på flyten i selve anlegget, ikke så mye på selve viften. DE VAR VELDIG INTERESSERT NÅR JEG NEVNT AT VIFTENE KUNNE FORBEDRES BETRAKTELIG!</p>	Bård	<p>Mika Wanne (FW salgskontakt) +358 20 442 3078, og Karl-Erik Fermèr, som er en pensjonert vifteutvikler som er veldig god på å forklare vifteteknologi. Han som også utviklet skovlene for de gamle viftene før CF-teknologien kom.</p>

Konfidensielt

Sekretær på Gardermoen, 64812000	Gardermoen lufthavn	Mandag 28.09.09, 1515		Bård	Geir Vangsness, 64812146, Hammerset, 64812147
Rolf Andre Bohne, 73594646	NTNU, institutt for bygg, anlegg og transport	Tysdag 29.09.09 08.40	Veit lite om vifter, ser mest på u-verdiar, resultat i staden for prosess. Forbetringspotensialet til ventilasjonsaggregat: kan enkelt komma under 10 kWh/m ² /år med tilgjengeleg teknologi. Snakk heller med Thor Oscar Levander, prof. Voitec (?), Per O. Kjellslott (sistnemnde er i NTNUs faggruppe for ventilasjonsteknikk)	Eldri	Thor Oscar Levander, Per O Kjellslott
Peter Blom, 92063764	Sintef, seniorforskar byggtteknikk	Tysdag 29.09.09 08.45	EU sine rammedirektiv si betydning i Noreg - sjå BE sine nettsider. Lite fruktbar samtale.	Eldri	Mads Mysen
Ole Gunnar Dahlhaug	NTNU, Institutt for energi- og prosesssteknikk, Professor og gründer (ChapDrive)	Tysdag 29.09.09 09.20	Konfronterer Ole Gunnar med at Fläktwood har Europa sin største forskingslab med testmulegheiter, og kanskje ikkje heng så mykje etter som me førsst var forespegla. Sjølv sagt seier dei sjølv at dei ligg langt framme i utviklinga, og sjølv sagt har dei forskingslabar. Me bør snakka med konsulentar som jobbar for Fläktwood heller; dei som bruker, installerer og evaluerer ventilasjonsaggregata deira. Oppfatninga til Ole G. om at teknologien er lågt utvikla, er basert på at han har sett på vifter som kjem frå nettopp Fläktwoods, og meiner dei ser ut som dei er designa for låg produksjonskostnad heller enn høg effektivitet. Vasskraft- og pumpeindustrien har hatt omvendt fokus i mange år - høg virkningsgrad, og så låg som muleg produksjonskost, utan at det går ut over effektivitet, og teknologien som er utvikla her, kan overførast til vifter. Forbetringspotensialet ligg ikkje berre i vifteblada, men i heile systemet, generelt er det strømningsstekniske systemet dårleg	Eldri	Hans Martin Mathisen, Peter G. Schild, Mads Mysen - desse har eg prøvd å ringa før

Konfidensielt

			utforma i vifteaggregat.		
Mikka Wanne, +35 8 20 442 3078	Fläkt Woods Finland, salgssjef mot Norge	Tirsdag 29.09.09, 0950	Det finnes ingen godkjenning av viftene per i dag, kun på brannsikkerhet. Ellers er det mest veiledende anbefalinger. Ved vifter til eksplosiv gass trenges det mer godkjenninger. Rookki leverer stål til produksjonen, en finsk stålprodusent. dB nivå er det ikke krav fra viftene, men ansvaret ligger med hos aggregatprodusenter, etterisoleringer osv.. SFP krav er også mer hos aggregatprodusentene, ettersom det er mest effekttap i anlegget ellers, og ikke i selve viften. CF+ serien kostet rundt 0,5millioner € å utvikle, men dette er siden de hadde en del å bygge på fra før av. En ny produksjonsserie koster rundt 1-2 M€ å opprette bare i verktøykostnader hvis du skal ha 10-12 modeller fra 22cm til en meter. standard modellen som selger mest; 50cm, 3kW motor, koster rundt €400. De vet at de kan forbedre viften, og har lagt seg på et nivå som de mener er forsvarlig. Dette er en balanse mellom effekt og pris basert på egne beregninger på hva kunden vil ha. I kammerviften, som er den de selger mest av, så har de kun en viftemodell, men i forskjellige str. De bruker EC motorer, og har prøvd litt på ytterrotmotorer, men har enda ikke begynt å bruke dette pga for lav effekt, og for få leverandører på dette. De må også ha nøyaktig lik motot ved bytte, og det er ikke alltid like lett når man har så mange forskjellige leverandører.	Bård	Kan ringe tilbake ved mer spmål.

Konfidensielt

Hans Martin Mathisen	NTNU, Institutt for energi- og prosesseteknikk, professor II	Tysdag 29.09.09, 14.10	Oppteken mann som til slutt tek telefonen: Eg presenterer Ole Gunnar Dahlberg si påstand om at dagens vifter er lågt utvikla, og det har ikkje skjedd noko i utviklinga dei siste tiåra. Respons: Ja, denne påstanden vil eg sei er riktig. Særskilt når det gjeld mindre vifter, som t.d. vert brukte i bustader og mindre bygg. Har sjølv undersøkt små vifter, og veit at det står dårleg til med desse. Store vifter kan ha nokå god virkningsgrad, men for småvifter er virkningsgraden generelt låg - her er det rom for store forbedringar. Dette gjeld vifta som heilheit - både vifteblad o viftemotor. Årsaka til den låge utviklinga er at produksjonskostnadane er pressa ned til eit minimum, men ein skulle tru at ein i dag kunne laga meir avanserte vifteblar ved hjelp av plast og kunsstoff og støypeformer enkelt og billeg! SFP-faktor - nokså eintydig definert, men uklart om straum som vert trekt av varmegjennvarmotoren skal vera med i SFP-utrekninga. Sintef Byggforsk i Oslo gjennomførte ei undersøking på kontorbygg frå 80talet, fann ut at 20 % av årleg totalforbruk av straum gjekk KUN til drift av viftemotorane i ventilasjonsaggregata - MADS MYSEN veit meir om dette. Finst ikkje andre krav til godkjenning av viftene enn vanleg CE-merking. Rammedirektiva frå EU HAR ført til auka fokus på energieffektivitet på ventilasjonsanlegg - først no er det kome skjerpa krav til SFP-faktor (kontor: 2 kW/m2/tidseining, bustad:2,5 kW/m2/tidseining.	Eldri	Mads Mysen (igjen, må få tak i han)!
Peter G Schild, 22965854	Sintef Byggforsk, bygninger	Tysdag 29.09.09	Oppteken mann som aldri tek telefonen	Eldri	
Mads Mysen, 93862700	Sintef Byggforsk, bygninger	Tysdag 29.09.09	Oppteken mann som heller aldri tek telefonen	Eldri	

Konfidensielt

<p>Are Rødsjø, 73892331</p>	<p>Husbanken, spesialrådgivar energi og miljø</p>	<p>Tysdag 29.09.09, 13.50</p>	<p>Husbanken går ikkje så detaljert til verks at dei anbefalar spesielle leverandørar av produkt eller tenester - det kan dei ikkje som statleg institusjon (konkurransevridding). Dei sett likevel krav til virkningsgrad/effektivitet på vifter i ventilasjonsanlegg i sine hus - meir info på nett. Husbanken har vore einn av dei store bidragsytarane for å få endra forskrifta (implementera EU sine rammedirektiv for energibruk i bygningar i norsk lov), og her var bransjemotstanden enorm første gong, litt mindre no (nytt forslag er på høring no) Forskrifta forutsett balansert ventilasjon og høg varmegjenvinningsgrad. Husbanken har og vore pådrivar for å få bygga flest muleg passivhus, og for å gjera passivhus til vurdert standard innan 2020 (som vart vedteke i klimaforliket av i fjor). DETTE ER BRA, FOR PASSIVHUS KREVER GODE VENTILASJONSSYSTEM - OGSÅ I PRIVATBUSTADER -->auka marknadomfang.</p>	<p>Eldri</p>	
<p>Morten Bjerknes, Sentralbord:81555045</p>	<p>Statsbygg, innkjøp</p>	<p>Tysdag 29.09.09, 13.10</p>	<p>Føler seg ikkje kvalifisert til å svara på spørsmål, henviser meg vidare til Jørgen Våge og Oddbjørn Evensen, som begge to er på haustferie. Deretter får eg nr til Terje Åsberg.</p>	<p>Eldri</p>	<p>Jørgen Våge og Oddbjørn Evensen (haustferie) Terje Åsberg, 48193471, 22954241</p>

Konfidensielt

<p>Terje Åsberg, 48193471, 22954241</p>	<p>Statsbygg</p>	<p>Tysdag 29.09.09,13.15</p>	<p>Absolutt fokus på effektivitetsfaktor når dei kjøper inn utstyr og installasjonar til bygga. Alt skal vera optimalt. Sidan dei er ei statleg verksemd, skal alle store innkjøp gå på anbud. Pris og effektivitet er avgjerande faktorar, der prisen veger ca 40 %, og effektiviteten veg tyngre. ABB, Novema, Gunnar Karlsen er nokre av leverandørane, bruker eksterne installatørar. Har ikkje direkte kontakt med leverandør av ventilasjonsaggregat. Viss me kan tilby ventilasjonsvifter som er vesentleg meir energieffektive enn dagens vifter, vil dei ABSOLUTT vera interesserte i det, så lenge den auka effektiviteten ikkje går på bekostning av noko anna. DA stiller dei om krava sine, slik at ein MA kjøpa slike vifter. LCC (Long Cycle Cost) må vera slik at den auka investeringa vert tent inn i form av innsparing. Dette gjeld generelt i bransjen, LCC blir meir og meir vektlagt når ein kjøper inn produkt. Statsbygg har på eige initiativ lenge hatt miljøfokus, men det vert tydelegare i bransjen no, ettersom EU sine rammedirektiv for energibruk i bygningar vert implementerte i norsk lov i form av krav til t.d.nybygg.</p>	<p>Eldri</p>	
<p>Bjarne Ryvold, servicesenter: 81570445</p>	<p>Forsvarsbygg,innkjøpsansvarleg</p>	<p>Tysdag 29.09.09, 13.40</p>	<p>Er miljøbevisste når dei kjøper tekniske installasjonar som ventilasjonssystem til bygga sine, i form av at dei har ei mal med krav og klassifiseringar. Ingen fast leverandør av ventilasjonsprodukt, men Gunnar Karlsen og Nor klima er nokre han kjem på. Bruker eksterne installatørar, men kjem ikkje på nokon firmanamn. Fokus på å møte funksjonskrava (det vart spurt om fokus på energieffektivitet), gjerne også overgå dei, men målsettingane er allereie høge. Forsvarsbygg har eit eige prosjekt som går på dette, som heiter</p>	<p>Eldri</p>	<p>Gunnar Solbjørg, 90761573</p>

Konfidensielt

			Energiokonomiseringsprosjekt (??), kan ringe Gunnar Solbjørg for meir informasjon.		
Gunnar Solbjørg, 90761573		Tysdag 29.09.09,	Denne mannen får ein ikkje tak i..	Eldri	
Trond, 32109622	Bryn Ventilasjon	Tirdag 29.09.09 1040	Ringte opp igjen etter avtale tidligere i dag. De handler aggregater hos blant andre Novema, og gjør installasjonen selv. Novema/andre leverandører er ikke involvert etter dette, men det hender eksterne rådgivere leid inn av kommune/stat er med på utforming av kanalnett og slikt. Trond har jobba i bransjen i 15-20 år og har sett lite innovasjon på aggregatene, UTENOM viftene som har blitt bedre de siste årene. Han var likevel veldig interessert i mulighetene for å lage bedre vifter. Det som er viktig for Bryn er GJENNVINNINGSGRAD og VIRKNINGSGRAD i aggregatene. Han påpekte at det er viktig å se alt under ett. Bryn designer ofte kanalnett for sine kunder, og med et trangt kanalnett vil det ikke hjelpe å ha et bra aggregat. Oppsummert: Hyggelig samtale, Trond virka veldig interessert i bedre vifter.	Gøran	
Knut Jørgen	NTNU TTO	Tirsdag 29.09.09 1155	Patenter: Høres ut som om patentløpet kommer til å bli tungt og komplisert. Neppa nok "nytt og overraskende" her. Produksjonsteknikk, dersom ny og spennende kan kanskje beskyttes, men bør også vurdere å holde denne som en forretningshemmelighet. Man kan derimot vurdere å sende en designsknad for å få en viss beskyttelse av det endelige viftebladet. Dette vil gi litt beskyttelse og er dessuten veldig billig å gjøre. Angående hvorfor man søker patenter i England: Det er billigere, man får raskere og	Gøran	

Konfidensielt

			bedre granskning (de er flinkere enn i Norge), TTO har litt blandede erfaringer med Patentstyret i Norge. En avveining tas på bakgrunn av fagfelt - på noen områder som for eksempel olje/gass kan man like gjerne søke i Norge.		
Frode Valstad	Novema, skedsmokorset	Tirsdag 29.09.09 1340	Hvem implementerer VA i bygg? Det er f.eks. Gunnar Karlsen, YIT, Oras, Baco osv. Veldig mange forskjellige entreprenører. Byggherre (statsbygg) vil gå til et konsultentselskap (SWECO) og be om et ventilasjonssystem. konsulenten setter da ut et anbud om dette, ut fra krav de blir enige om med byggherren. Anbudene går til VA-installatør (GK, YIT...) som igjen går til VA-produsent (Novema...) og spør om tilbud. Så går det oppover igjen i kjeden, til konsulent som tar et valg og gir det til byggherren. Støy krav finnes av og til, men det ser Novema sjeldent på ettersom de som regel oppfyller dette. Lav SFP --> Lav støy.. Skoler typisk rundt 32dB osv.. Sertifisering: Eurovent er vanlig i utlandet, men ikke så mye i Norge. Men det kommer mer og mer.. Sjeldent etterprøving i Norge, men litt i utland. Entreprenører som skal tilpasse anlegget og få det til å passe til kravene. Det blir mer og mer om dette fremover! Akers gamle HK, tatt over av Storebrand. Der stilte de krav til SFP under 1,8 og virkningsgrad på over 80%! Dette vil være veldig relevant for oss, ettersom det her er strenge krav til SFP og VG. Kammervifter er på vei ut! En	Bård	GK, YIT, SWECO

Konfidensielt

			<p>gammeldags, dobbeltsugende vifte med hus er mye mer effektiv! Grunnen til at de ikke brukes, er reindriften de hadde. Mye støv og vedlikehold ødela for denne teknologien, men EC motorer osv kan gjøre det mulig for den å komme tilbake. Kammervifter er mer kompakte, men de gammeldagse er bedre på effekten. Gehardt sa iallefall dette, og de er produsenter av vifter. MEN det vil stilles strenge krav til å konvertere utløpshastighet til trykk ved inløp for å utnytte effekten. Aggregatet vil bli litt lengre, men plassmangel er kanskje ikke så viktig i grønne bygg..?Bransjen er veldig prisstyrt! Billigste tilbud vinner som regel!</p>		
Geir Vangsnes	Gardermoen	Tirsdag 29.09.09 1415	<p>Gardermoen har rundt 100 store VA (10000 - 30000m3 med luft per), og 40 litt mindre aggregater.Leverandør av anlegget: YIT, 1996-1997. Betalte vel std.priser for dette mente han..De var meget interessert i å bytte ut ved en betydelig effektsforbedring, og 20% var absolutt aktuelt! MEN det stilles krav til mengde og volum på leveringene..De skal bygge ut nytt bygg nå på 300 000m2, som de trenger vifter til. Har satt krav på 70%virkningsgrad og 2,0SFP. 2-3 år før vifter skal settes inn, vi måtte ta kontakt!Konsulent på denne jobben er Advansia og Kobe.Sitat: "Markedet er veldig klar for nye vifter!"Hvis du har noe som passer inn her så er det bare å ringe!" angående det nye bygget de skal sette opp.Luftstyring er også veldig aktuelt for sparing, og de har klassifisert områder etter åpningstider og publikum/kontorer, og kan dermed skru på og av etter behov.Aksialdrift på viftene sine, ikke remdrift!</p>	Bård	Advancia, YIT
Halvor	Idèhaver	Tirsdag	Gutta kjem bortom for ein prat i morgon før	Eldri	

Konfidensielt

		29.09.09	10		
Installasjonsansvarlig, 69810000	Flexit	Tirsdag 29.09.09 11.30	Når flexit gjorde innkjøp gjorde de en vurdering av hva de hadde lyst på til sine systemer og gikk deretter ut i markedet og så etter det de hadde mest lyst på. De kjøpte i dag vifter fra ebm, men var ikke låst til disse som leverandør.	Andreas	
Robert Bykvist	ESAF	Tirsdag 29.09.09, 1720	Snakk med DeAmp, de samarbeidet med noen ventilasjonsfolk.. TakeOff 2008, der var det noe om dette prosjektet.	Bård	DeAmp, Øystein Madsen
Mads Mysen	Sintef byggforsk	onsdag 30.09.09	Framleis out of touch	Eldri	

Vedlegg F: CDROM

10.16 Arbeidstegninger

10.17 Kalibrering

10.18 Tester

10.19 Forretningsplan