

BACHELOROPPGAVE:

**Virkningsgrad til dyser benyttet
i Soft Landing Cylinder**

FORFATTERE: CARL HELGE BACUS HAUKÅS
 PETTER ANDREAS KVALSVIK
 ANDREAS GJESTVANG

DATO: 18.05.2016

SAMMENDRAG

Tittel:	Virkningsgrad til dyser benyttet i Soft Landing Cylinder		Dato: 18.05.16
Deltakere	Carl Helge Bacus Haukås		
	Petter Andreas Kvalsvik		
	Andreas Gjestvang		
Veileder:	Terje Bokalrud		
Oppdragsgiver:	EAB Engineering AS, Harald Bakke		
Nøkkelord	Havbunnsinstallasjon, støtdemper, virkningsgrad, dyser, subsea		
Antall sider: 72	Antall vedlegg: 22	Publiseringsavtale inngått: Ja	
Innledning: EAB Engineering AS er leverandør av blant annet subsea-utstyr til installasjonsprosessen av utstyr på havbunnen. Dette utstyret er modulbasert, og senkes individuelt ned på havbunnen fra et skip. Landingen er kritisk da sensitivt utstyr kan ødelegges ved for hard landing. Det benyttes bølgekompenserende kraner for å minske risikoen, men disse systemene kan svikte og å avbryte oppdraget vil medføre store kostnader. Som en ekstra beskyttelse mot skader ved landing benyttes Soft Landing Cylinder (SLC), en subsea støtdemper utviklet av EAB Engineering AS.			
Hensikt: Hensikten med dette prosjektet har vært å kvantifisere virkningsgraden til SLC-dysene ved vanngjennomstrømning. Dette er en del av produktets kvalitetssikring.			
Metode: I undersøkelsen ligger det teoretiske beregninger i bunn. Dette har dannet grunnlaget for utvikling av et testsystem som har blitt benyttet til å finne virkningsgraden for de ulike dysedesignene eksperimentelt. Det er også blitt gjort FEM-analyser i ANSYS Fluent, dette har blitt brukt som et støtteapparat til testsystemet for å vurdere dets troverdighet.			
Resultat: Virkningsgraden for alle relevante dyser har blitt identifisert og er presentert i sin helhet i rapporten. På bakgrunn av resultatene er det også identifisert alternative designmønstre som kan påvirke virkningsgraden.			
Konklusjon: Basert på egne funn hevder vi at virkningsgraden til SLC-dysene er 0,40, som er lavere enn forventet. Dette betyr at SLCs dimensjoneringsunderlag bør revurderes.			

ABSTRACT

Title:	Efficiency of nozzles used in Soft Landing Cylinder	Date: 18.05.16
Participants	Carl Helge Bacus Haukås	
	Petter Andreas Kvalsvik	
	Andreas Gjestvang	
Supervisor	Terje Bokalrud	
Employer:	EAB Engineering AS, Harald Bakke	
Keywords	Subsea installation shock absorber, efficiency, nozzle, subsea	
Number of pages: 72	Number of appendix: 22	Availability: Open
<p>Introduction: EAB Engineering AS is a supplier of subsea equipment used in installation processes on the ocean floor. The equipment is module-based and needs to be lowered individually to the seafloor from the ship. The placement of modules onto the ocean floor is critical as the sensitive equipment might not endure the landing if the impact is too severe. The ships delivering the modules use dynamic positioning systems to alleviate potential impacts from movement caused by waves, however, the systems could fail and aborting the mission would be very expensive. To further prevent damages during subsea placement ships employ use of the Soft Landing Cylinder (SLC), an underwater shock absorber, made by EAB Engineering AS.</p> <p>Intention: Our intention with this project has been to quantify the efficiency of water flow through SLC's nozzles as a part of the products quality assurance.</p> <p>Method: The examination is built on theoretical calculations. These calculations aided in the development of a test-system which has been used to find the efficiency of various nozzles by an empirical study. In addition, FEM-analysis in ANSYS Fluent were used as support for the test-system and to evaluate its credibility.</p> <p>Result: The efficiency of all relevant nozzles has been identified and are presented in the report. Alternate design elements were also detected that might affect the efficiency.</p> <p>Conclusion: Based on our findings we claim that the efficiency of SLC's nozzles is 0.40, which is lower than expected, and as such it is recommended that the engineering record of the SLC is re-evaluated.</p>		

Great things in business are never done by one person. They're done by a team of people.

Steve Jobs

FORORD

Denne oppgaven er vår avsluttende bacheloroppgave som maskiningeniører ved NTNU i Gjøvik, og tar for seg hvordan man kan kvantifisere virkningsgraden til dyser benyttet i EAB Engineering sin Soft Landing Cylinder. Det presenteres resultater fra egne undersøkelser for å kvalitetssikre produktet. Vi har siden Oktober 2015 jobbet jevnt med oppgaven, og har hatt et kjempefint samarbeid innad i gruppen til tross for at Carl Helge har vært nødt til å balansere tidsbruken opp mot sin andre bacheloroppgave på studiet økonomi og ledelse. Vi sitter alle igjen med mye kunnskap og erfaringer, som det å håndtere mange oppgaver parallelt. Alt i alt er vi takknemlige for erfaringene vi har tilegnet oss og vi er stolte over sluttresultatet. Vi vil takke vår veileder Terje Bokalrud og spesielt Michael Sætvedt, vår kontaktperson ved EAB Engineering, for godt samarbeid og konstruktive tilbakemeldinger i løpet av våren. Vi vil også takke Christian Amundsen ved EAB som har vært til stor hjelp gjennom hele testgjennomføringen, og alle ekspertene vi har vært i kontakt med i forbindelse med analysen.

Rapporten er først og fremst ment for EAB Engineering AS, men kan også være aktuell for andre som vil teste liknende dyser. Denne oppgaven omfatter vanngjennomstrømning i SLCs dyser, men det kunne like gjerne ha vært andre dyser der det kreves høyt volumstrøm ved høyt trykk.

Råd til leserne: Rapporten er skrevet enklest mulig, men mye kan være vanskelig å ta fatt i. Det anbefales å lese innledning og definisjon av virkningsgrad godt, for å forstå hva diskusjonen omhandler.

Gjøvik, 18.05.2016



Carl Helge Bacus Haukås



Andreas Gjestvang



Petter Andreas Kvalsvik

Medforfatterdeklarasjon for Bacheloroppgave ved TØL

Forfattere:

Student 1: Carl Helge Bacus Haukås

Student 2: Petter Andreas Kvalsvik

Student 3: Andreas Gjestvang

Student 4: _____

Tittel: Virkningsgrad til dyser benyttet i Soft Landing Cylinder

Bidrag:

Delaktiviteter/deloppgave	Student 1	Student 2	Student 3	Student 4
Planlegging	3	2	2	
Teori	2	2	3	
Metode	3	2	2	
Resultat	2	3	3	
Analyse	3	3	3	
Diskusjon	3	3	3	
Konklusjon	3	3	3	
Rapportskriving	3	3	3	

Tabellen fylles ut med delaktiviteter og størrelsen på bidraget fra den enkelte student angis med et tall mellom 0 og 4 etter følgende betydning:

- 0: Ingenting
- 1: Lite
- 2: En del
- 3: Mye
- 4: Alt

De undertegnede studenter bekrefter herved at de har gjort følgende delaktiviteter på gjeldende Bacheloroppgave.

Signatur studenter:

Carl H. B. Haukås
Petter A. Kvalsvik
Andreas Gjestvang

Innholdsfortegnelse

Innholdsfortegnelse	7
1 Innledning	12
1.1 Problemstilling	13
1.2 Viktige begreper i rapporten	14
2 Teoretisk grunnlag	17
2.1 Variabelliste	17
2.2 Om utvalget av teori	18
2.3 Teori	19
2.3.1 Bernoullis likning	19
2.3.2 Reynolds tall	21
2.3.3 Kavitasjon og hydraulisk flipp	23
2.3.4 Akkumulatorer	24
2.3.5 Finite Element Method	24
2.3.6 Korrelasjonskoeffisient	25
3 Metode	26
3.1 Utviklingsprosessen av anvendt metode	28
3.1.1 Avgrensninger og forutsetninger	28
3.1.2 Overordnet fremgangsmåte	28
3.2 Rapportens ulike dysedesign	29
3.3 Anvendt metode	33
3.3.1 Estimering av virkningsgrad	33
3.3.2 Eksperimentell undersøkelse	34
3.3.3 Datasimulering	40
3.3.4 Analyse	43
4 Resultat	45

Innholdsfortegnelse

4.1	Estimert virkningsgrad	45
4.2	Eksperimentell undersøkelse	46
4.2.1	Målt virkningsgrad for alle dysene	47
4.2.2	Video av testsekvens	49
4.3	Datasimulering	50
4.4	Analyse	51
4.4.1	Virkningsgrad ved ulike trykknivå	51
4.4.2	Virkningsgrad ved forskjellige dysediametre	51
4.4.3	Virkningsgrad ved forskjellige dyselengder	54
4.4.4	Virkningsgrad ved fas på dyseinnløpet	55
4.4.5	Virkningsgrad ved forskjellige dyseutløpsdiametre	56
4.5	Oppsummering	56
5	Diskusjon	57
5.1	Drøfting av intern validitet og reliabilitet	57
5.1.1	Estimert virkningsgrad	57
5.1.2	Eksperimentell undersøkelse	58
5.1.3	Datasimulering	62
5.1.4	Analyse	63
5.2	Drøfting av resultatet	64
5.2.1	Virkningsgrad ved ulike trykknivå	64
5.2.2	Virkningsgrad ved forskjellige dysediametre	65
5.2.3	Virkningsgrad ved alternative dysedesign	65
5.2.4	Ekstern validitet: Generaliserbarhet og overførbarhet	66
5.3	Konklusjon	68
6	Litteraturliste	69
7	Vedlegg	72
	Vedlegg 1. Vitenskapelig metode	73

Innholdsfortegnelse

Vedlegg 2. Aktivitets- og ressursplan	77
Vedlegg 3. Risiko – Grovanalyse	77
Vedlegg 4. FMEA.....	78
Vedlegg 5. Estimering av virkningsgrad	79
Vedlegg 6. Utvikling av testsystem	86
Vedlegg 7. Monteringsanvisning for testsystem.....	95
Vedlegg 8. SJA for testgjennomføring	98
Vedlegg 9. Anslag av nødvendig antall testser	104
Vedlegg 10. Testprosedyre	106
Vedlegg 11. Testresultat: Behandling av rådata	118
Vedlegg 12. Testresultat: Datasammendrag	126
Vedlegg 13. Testresultat: Rådata og beregninger	126
Vedlegg 14. Avvikende dysediameter	128
Vedlegg 15. Kontrollmåling av testdyser	129
Vedlegg 16. Beregning av testsystemets reproduserbarhet	129
Vedlegg 17. Resultater fra FEM-analyse.....	132
Vedlegg 18. Sprengskisser av testsystem	134
Vedlegg 19. Arbeidstegning: Dobbeltvirkende sylindere	136
Vedlegg 20. Arbeidstegning: Testbøtte	138
Vedlegg 21. Arbeidstegning: Akkumulatorramme.....	140
Vedlegg 22. Arbeidstegning: Dyser og adapter	144

FIGURLISTE

Figur 1. SLC prinsippskisse. Bilde fra: EAB Engineering.	12
Figur 2. Soft Landing Cylinder montert på subseamodul. Bilde fra: EAB Engineering.	13
Figur 3. Kavitasjon og hydraulisk flipp i dyse (Tafreshi & Pourdeyhimi, 2004)	23
Figur 4. Typiske hydraulikkakkumulatorer (Hydas AS, 2013)	24
Figur 5. Flytskjema for metodegjennomføring.....	29
Figur 6. Dyseplassering i SLC	29
Figur 7. Grunndesignet til testdysene	30
Figur 8. Eksempel på estimert virkningsgrad	34
Figur 9. Sammenstilt testsystem	35
Figur 10. Prinsippskisse av testsystem.....	36
Figur 11. Montert testsystem	37
Figur 12. Flytskjema for testgjennomføring	39
Figur 13. Mesh dyse 35-60-30 med grensebetingelser	41
Figur 14. Nærbilde av mesh dyse 35-60-30.....	41
Figur 15. Skjerm bilde fra FEM-analyse	42
Figur 16. Estimerte virkningsgrader	46
Figur 17. Komplette oversikt over eksperimentelle tester.....	48
Figur 18. Video 1 av testsekvens	49
Figur 19. Video 2 av testsekvens	49
Figur 20. Simulert virkningsgrad.....	50
Figur 21. Virkningstgrad ved ulike vanntrykk.....	51
Figur 22. Dysediameterens effekt på virkningsgrad	52
Figur 23. Virkningsgrad for forskjellige dyselengder.....	54
Figur 24. Virkningsgrad som følge av faset dyseinnløp.....	55
Figur 25. Virkningsgrad som følge av økt diameter etter dyseutløp.	56

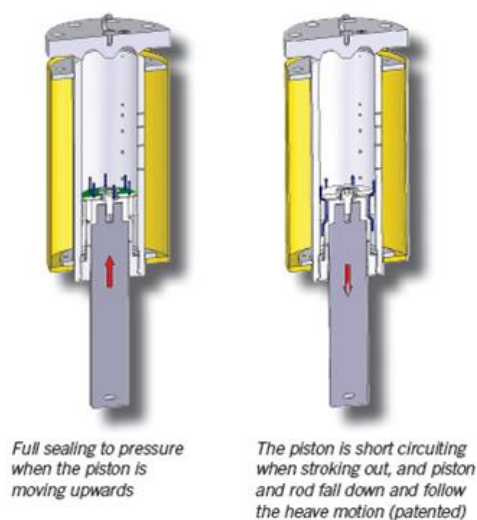
TABELLISTE

Tabell 1. Eksempel på dysenummerering.....	31
Tabell 2. Oversikt over testdyser	31
Tabell 3. Liste over testsystemets komponenter	35
Tabell 4. Estimerte virkningsgrader.....	45
Tabell 5. Virkningsgrader fra eksperimentelle tester.....	47
Tabell 6. Simulert virkningsgrad.	50
Tabell 7. Virkningsgrad for SLC-dyser og korrelasjonsanalyse.....	52
Tabell 8. Middelerdi og standardavvik for dyse 10-60-30	61

1 Innledning

Når en offshoreaktør bygger moduler til havbunnen, er det ofte tilknyttet millionsummer. I installasjonsprosessen sendes de ut med båt og senkes ned med båtens bølgekompenenserende kran, slik at modulen senkes med tilnærmet konstant hastighet. Slike bølgekompenenserende systemer kan som alt annet teknisk utstyr svikte. Om dette skulle skje i det tidspunktet en modul er i ferd med å nå havbunnen, vil dette gi store dynamiske støt mot modulen, som kan skade sensitive komponenter. For å dempe støtet og forsikre seg mot potensielle skader benyttes støtdempere. En variant er Soft Landing Cylinder (SLC), utviklet av EAB Engineering AS. SLC kommer i ulike størrelser, der den største sylindere har blitt testet til å kunne bremse 2200 tonn ved bruk av 4 sylindre, forutsatt en nedsenkningshastighet på 0,5 m/s (*Soft Landing Cylinders*).

SLC er bygd opp av en sylinder som automatisk fylles med sjøvann ved nedsenkning. Demping oppnås når stempelstangen treffer havbunnen og stempelet skyves innover. Vannet i sylindere blir da presset ut gjennom et antall små dyser plassert i et mønster som sikrer tilnærmet konstant dempekraft (*Soft Landing Cylinders*) ved at stempelet stenger for dysene på vei innover i sylindere, slik at færre og færre dyser er aktive.



Figur 1. SLC prinsippskisse. Bilde fra: EAB Engineering.

I dagens dimensjoneringsunderlag er det gjort en forutsetning basert på erfaring angående dysenes virkningsgrad. Nøyaktig hvor stor gjennomstrømmningen i dysene er, er ikke dokumentert, og det er grunn til å tro at denne forutsetningen er avvikende fra den reelle virkningsgraden. Dette betyr ikke at underlaget er mangelfullt ettersom EAB har kontrollert SLCs funksjon ved å gjennomføre ulike funksjonstester. Men aktører på subsea-markedet krever god dokumentasjon bak alle steg i utviklingen av produkter, derfor ønsker EAB at vi skal kvantifisere energitapet til dysene benyttet i SLC.

PRESENTASJON AV EAB ENGINEERING AS

EAB Engineering AS ble grunnlagt i 1952 av Even A. Bakke. EAB har gjennom tidene drevet med blant annet fyrstikker og taubane, men har de siste 20 årene spesialisert seg innen ingeniørvirksomhet på havbunnen (*Fra fyrstikker og taubane til offshoresuksess, 2016*). EAB er en stor leverandør av utstyr til installasjonsprosessen på havbunnen, vedlikehold av subsea-moduler, i tillegg til konstruksjon av infrastruktur for subsea-installasjoner. Løsningene deres er basert på både standard- og skreddersydde produkter. Hovedkontoret er lokalisert i Gjøvik og huser betydelige ingeniørressurser i tillegg til en stor testhall. I 2014 ble de en del av OneSubsea Processing AS (*Our Background and Resources*).

1.1 Problemstilling

“Hva er virkningsgraden til dysene i Soft Landing Cylinder?”

Problemstillingen er utarbeidet på bakgrunn av at EAB Engineering ønsker å forbedre dimensjoneringsunderlaget for SLC, men aldri har funnet tid til dette ettersom viktigere oppdrag har blitt prioritert i stedet. For å identifisere virkningsgraden tas det utgangspunkt i estimeringer som danner grunnlaget for eksperimentelle undersøkelser, som videre sammenliknes mot FEM-analyser før det trekkes en konklusjon.



Figur 2. Soft Landing Cylinder montert på subseamodul. Bilde fra: EAB Engineering.

1.2 Viktige begreper i rapporten

Akkumulator	Lagringseenhet for energi, se kapittel 2.3.4 for nærmere forklaring.
ANSYS Fluent	Programvare for ingeniørmessig strømninganalyse basert på elementmetoden.
CFD	Computational Fluid Dynamics. Numerisk metode for å analysere væskeflyt og varmeoverføring.
Dyse	Et sirkulert hull med en gitt tverrsnittsgeometri med hensikt å kontrollere gjennomstrømningsvolum.
Energitalp	Energi som ikke overføres til kinetisk energi ved dysegjennomstrømning.
FEM	Finite Element Method, Elementmetoden. Numerisk metode for å analysere komplekse figurer under påvirkning av ytre krefter (Kolbein, 2009).
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis. En type risikoanalyse.
Inkompressibel væske	En væske som ikke kan komprimeres.
Kvantifisere	Uttrykke i målbare størrelser.
K-verdi	Tapskoeffisient for væskestrømninger som følge av endring i blant annet strømningsretning og tverrsnittsareal.
Korrelasjonskoeffisient	Effektstørrelse som sier noe om hvor mye virkningsgraden avhenger av valgt variabel - dysediameter. Uttrykt som et tall mellom -1 og 1. Verdi lik 1 indikerer perfekt positiv korrelasjon, dersom diameteren øker vil alltid virkningsgraden også øke. Tilsvarende betyr -1 at dersom diameter økes vil virkningsgraden reduseres (Field, 2009).

Innledning

Laminær strømning	Væske eller gass som beveger seg med parallelle strømningslinjer, uten turbulens.
Meshing	Å dele opp en modell i en mengde små elementer.
Moody-diagram	Diagram for å bestemme friksjonskoeffisienten f ved turbulent strømning.
Måleprojektor	Måleverktøy som benytter en lyskilde for å projekte måleflaten opp mot en skjerm, der geometrisk mål avleses.
Populasjon	En gruppe målinger, et begrep innen statistikk.
SJA	Sikker jobb-analyse, en metode for å identifisere ulike risikomomenter ved gjennomføring av en arbeidsoppgave.
SLC	Soft Landing Cylinder.
SLC-dyse	Standarddyser for SLC. Dysediameter mellom 1,0 og 4,5 mm. Dyselengde 3,0 mm. Utløpsdiameter 6,0 mm.
Trykkbølger	Trykket svinger ved et bestemt punkt.
Turbulent strømning	Væske eller gass som beveger seg med uregelmessige strømningslinjer.
Tversnittsgometri	Hvordan dysen ser ut i et tverrsnitt langs lengderetningen.
Vanngjennomstrømning	Vann som strømmer gjennom dysen.
Virkningsgrad	Dysedesignets effektivitet ved vanngjennomstrømning, uttrykt som et dimensjonsløst desimaltall mellom 0 og 1. Eksempelvis betyr $\eta=0,3$ at vannets bevegelsesenergi reduseres med 70%.
SolidWorks	Programvare for dataassistert konstruksjon, 3D-modellering.
Strømningslinjer	En betegnelse som brukes for å beskrive hastighetsvektorenes retning, men som ikke sier direkte noe om størrelsen (Janna, 1993).

Innledning

Viskositet

Viskositet kan kalles en seighet i væsken. Hvis man tenker seg at væsken deles opp i mange tynne lag, vil viskositeten være hvor stor motstand det er mot at disse lagene skal bevege seg med ulike hastigheter. SI-enheten er Pascal-sekund ($\text{Pa}\cdot\text{s}$) (Holtebekk, 2009).

2 Teoretisk grunnlag

2.1 Variabelliste

ΔP	Trykkendring
ΔV	Nødvendig oljevolum per testsykel (liter)
ε	Overflateruhet i dyse (μm)
η	Virkningsgrad (ubenevnt)
μ	Dynamisk viskositet (Ns/m^2)
ρ	Massetetthet (kg/m^3)
D	Hydraulikksylinders sylinderdiameter (m)
d	Hydraulikksylinders stempelstangdiameter (m)
d_{dyse}	Dysediameter (m)
f	Friksjonskoeffisient (ubenevnt)
F	Målefrekvens (Hz)
g	Tyngdeakselerasjon ($9,81 \text{ m/s}^2$)
K	Tapskoeffisient (ubenevnt)
L	Dyselengde (m)
L_e	Inngangslengde; nødvendig lengde før væskestrømmingen er stabilisert (m)
Re	Reynolds tall (ubenevnt)
P	Statisk vanntrykk ved testgjennomføring (Pa)
\bar{P}	Ønsket testtrykk (Pa)
P_0	Akkumulators forladningstrykk (Pa)
P_1	Laveste arbeidstrykk i akkumulator (Pa)
P_2	Høyeste arbeidstrykk i akkumulator (Pa)
r	Pearsons produkt-moment korrelasjonskoeffisient (ubenevnt)
V_0	Totalt akkumulatorvolum (liter)
\dot{V}	Volumstrøm per tid (m^3/s)
v_{dyse}	Dysens utløpshastighet (m/s)
v_{ideell}	Dysens ideelle utløpshastighet uten tap (m/s)
y	Høyde over referansepunkt

2.2 Om utvalget av teori

Ingen av oppgavens forfattere hadde store kunnskaper om fluiddynamikk ved prosjektstart. For å kunne gjennomføre en troverdig undersøkelse av virkningsgraden har det blitt gjort en omfattende eksplorativ undersøkelse innenfor temaet. Teorien er også en viktig grunnstein som er tatt med inn i analysen og datatolkningen. Mye av teorien som har blitt benyttet i oppgaven er heller ikke noe folk flest kjenner til. Det er derfor valgt å presentere alt mest mulig forenklet, slik at leseren skal kunne forstå konklusjonens røtter.

Det har vært en utfordring å navigere i forskningen som kan knyttes til oppgaven. Dette i hovedsak fordi fluider er et komplekst fagfelt. Oppgaven benytter forskning fra siste halvdel av 1900-tallet og fram til i dag. Utvalget av kildene er basert på biblioteket på NTNU i Gjøvik sitt utvalg av bøker og hva slags treff vitenskapelige søkemotorer gir når man søker på relevante nøkkelord. Artikkene som har blitt funnet på nett har igjen fungert som inngangsportal til forskere som skriver på området. Flere forskere og professorer, i tillegg til individer på nettforum som for eksempel CFD-Online har ledet forfatterne inn på artikler og teorier som videre har blitt undersøkt.

2.3 Teori

2.3.1 Bernoullis likning

Væskestrømning i et rør eller én dyse er i hovedsak basert på Bernoullis likning, som er gjennomgående gjennom hele oppgaven. Bernoullis likning baseres på energibevaring mellom to ulike punkter i et væskesystem, som betyr at summen av tilført arbeid, potensiell energi og bevegelsesenergi er lik i begge punkter (Young et al., 2012).

Den ideelle Bernoullis likning:

$$P_1 + \rho g y_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \rho g y_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \quad (1)$$

Der indeks 1 og 2 representerer to ulike punkter i et væskesystem.

ENERGITAP VED VÆSKEGJENNOMSTRØMNING

I alle praktiske sammenhenger vil det ved væskegjennomstrømning forekomme et energitap, noe det ikke tas høyde for i den ideelle Bernoullis likning. I større rørsystem med lange rørledninger og et antall knutepunkter, ventiler og liknende vil det forekomme et totalt tap av betydning for funksjonaliteten. På bakgrunn av dette er det gjort mye forskning, hvor forskningslitteratur deler tapet i to forskjellige kategorier:

Minor losses: Dette kalles på norsk for singulærtap, kjent som energitap som følge av blant annet ekspansjon og kontraksjon, strømning gjennom rørknutepunkter, ventiler og liknende. Minor losses uttrykkes ofte på følgende måte:

$$\Delta P = K \cdot \frac{\rho v^2}{2} \quad (2)$$

Konstanten K bestemmes ut ifra hvordan tverrsnittsgeometrien i et gitt punkt ser ut. Disse K-verdiene er empiriske, som et resultat av store mengder praktiske forsøk. Standard K-verdier for ulike situasjoner finnes i eksisterende litteratur, for eksempel i boken *Introduction to Fluid Mechanics* (Janna 1993), som er benyttet i denne oppgavens teoristudier. I følge Janna (1993) har væsketrykket neglisjerbar påvirkning ovenfor hvor stor andel tilført arbeid som betraktes som tap.

Major losses: Dette er definert som energitap som følge av friksjon. I følge Janna (1993) vil friksjonstapet gjøre et betydelig utslag ved dimensjonering av lange rørledninger. Friksjonstapet uttrykkes som en K-verdi på følgende måte i Janna (1993, s. 247):

$$K_{\text{friksjon}} = f \cdot \frac{L}{d} \quad (3)$$

Der d og L er henholdsvis dysens diameter og lengde. Friksjonskoeffisienten f bestemmes ut ifra om det forekommer laminær eller turbulens strømning, som bestemmes med utgangspunkt i Reynolds tall, som vist under 2.3.2. Dersom strømmingen er laminær bestemmes friksjonskoeffisienten f rent analytisk. Hvis strømmingen er turbulent er beregning av friksjonskoeffisienten noe mer komplisert, dette gjøres da ved hjelp av et Moody-diagram (Janna, 1993). Friksjonskoeffisienten f er kun gyldig om strømmingen er fullt utviklet. Det vil si at strømningsbildet forblir uendret videre langs strømmingens lengderetning.

Dyselengden som er nødvendig for å oppnå et fullt utviklet strømningsbilde er beregnet ut fra Reynolds tall. Dette gjøres ved hjelp av en av følgende to likninger, avhengig av om strømmingen er henholdsvis laminær eller turbulent (Janna, 1993, s. 215):

$$L_{e, \text{laminær}} = 0,06D \cdot Re \quad (4)$$

$$L_{e, \text{turbulent}} = 0,4D \cdot \sqrt[4]{Re} \quad (5)$$

Videre forkortes Bernoullis likning ved å fjerne alle ledd som kan tilnærmes null i denne situasjonen, og utvides til å omfatte singulærtap. Dette fører til følgende likning (Janna, 1993, s. 248):

$$P = \frac{1}{2} \rho v^2 + \frac{1}{2} \sum K \rho v^2 \quad (6)$$

Som omskrives til et uttrykk for væsketrykket P :

$$P = \frac{1}{2} \rho (1 + \sum K) v^2 \quad (7)$$

Teoretisk grunnlag

Det vil også være hensiktsmessig å uttrykke likningen med hensyn på utløpshastigheten v , som er benyttet i blant annet vedlegg 5:

$$v = \sqrt{\frac{2P}{\rho(1 + \sum K)}} \quad (8)$$

Likningen kan også uttrykkes med hensyn på væsketrykket P og tapskoeffisienten K :

$$\frac{P}{1 + \sum K} = \frac{\rho v^2}{2} \quad (9)$$

Likningen forenkles ved å innføre virkningsgraden η , som multiplisert med væsketrykket P er et desimaltall mellom 0 og 1. Virkningsgraden η beskriver hvor stor andel tilført arbeid som overføres til kinetisk energi ved dysegjennomstrømming. Virkningsgraden η innføres som en funksjon av K på følgende måte, som også er benyttet i estimatene:

$$\eta = \frac{1}{1 + \sum K} \quad (10)$$

Likning (10) innsatt i (9) fører så til følgende uttrykk:

$$\eta P = \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (11)$$

Videre uttrykkes likningen med hensyn på virkningsgraden η :

$$\eta = \frac{\rho v^2}{2P} \quad (12)$$

Denne likningen danner grunnlaget for hvordan virkningsgraden er kvantifisert, ved innsetting av parametrene vanntrykket P og utløpshastighetene for v .

2.3.2 Reynolds tall

Reynolds tall er et dimensjonsløst tall som i hovedsak benyttes for å bestemme hva slags type strømning som oppstår i et væskesystem. Det kan beskrives som forholdet mellom treghetskrefter

Teoretisk grunnlag

og viskositetskrefte. Tregghetskraftene bidrar til å øke turbulensen, mens viskositetskraftene motvirker dette. Derfor vil turbulensen i strømmingen øke i takt med Reynolds tall. Reynolds tall kan for rørledninger uttrykkes ved følgende formel (Janna, 1993, s. 209):

$$\text{Re} = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (13)$$

For strømninger med Reynolds tall lavere enn 2100 betegnes strømmingen som laminær.

Om Reynolds tall befinner seg mellom 2100 og 4000 sies det at strømmingen befinner seg i en overgangsfase mellom laminær og turbulent, som er noe avhengig av systemets detaljer.

For Reynolds tall større enn 4000 betegnes strømmingen som fullstendig turbulent (Janna, 1993).

2.3.3 Kavitasjon og hydraulisk flipp

Kavitasjon er en faktor som påvirker væskestrømningen, og oppstår ved høye væskehastigheter. Kavitasjon forklares av Madill og Hulaas (1985) slik:

Høye væskehastigheter gjør at det statiske trykket i høyhastighetsområdet synker. Når trykket synker, synker også fordampningstemperaturen for væsken. Dette gjør at væsken fordamper ved en lavere temperatur enn vanlig, og på grunn av den fordampende væsken dannes dampbobler. Når dampboblene forflytter seg og havner i et område med et større lokalt trykk enn de klarer å motstå vil de kollapse og implodere med en stor kraft. Dette fenomenet kalles kavitasjon.

Et eksempel på kavitasjon er båtpropeller. Under bruk dannes det et visuelt rør av dampbobler bak propellen. Dette skjer som følge av undertrykk på baksiden av propellbladene, og kavitasjon oppstår (*The Largest Submarine in The U.S. Navy*, 2013). Kavitasjon i en dyse med luft på utsiden er illustrert nedenfor:



Figur 3. Kavitasjon og hydraulisk flipp i dyse (Tafreshi & Pourdeyhimi, 2004)

Dysen helt til venstre i figuren viser en tidlig fase i kavitasjonen. Området der kavitasjon finner sted vil utvides om hastigheten økes, og den nye situasjonen vil likne dyse to sett fra venstre side. Når kavitasjonsområdet fortsetter å vokse i størrelse vil det nærme seg dyse tre, og kavitasjonsområdet når dysens utløp. Idet kavitasjonen vokser seg forbi dette punktet vil kavitasjonsområdet komme i kontakt med luften på utsiden av dysen, og vil på grunn av undertrykk trekke til seg luften utenfor, som vist i dysen lengst til høyre. Når dette skjer opphører kavitasjonen, og det oppstår en slags luftlomme mellom dyseveggen og væskestrømningen. Dette fenomenet kalles hydraulisk flipp, og forutsetter at det er luft på utsiden av dysen (Tafreshi og Pourdeyhimi, 2004).

2.3.4 Akkumulatorer

I forbindelse med hydrauliske anlegg benyttes ofte gassfylte akkumulatorer, også kalt hydro-pneumatiske akkumulatorer. Blæreakkumulatoren består av en tank som inneholder ei blære med komprimert gass, der oljen presses inn i tanken på utsiden av blæra. (Hydraulics&Pneumatics, 2007)

Forladningstrykket P_0 i gassen bør være ca. 0,85-0,90 ganger akkumulatorens minste arbeidstrykk P_1 . Største arbeidstrykk P_2 tillates vanligvis maksimalt å være 4 ganger forladningstrykket P_0 (Hydac AS, 2013).



Figur 4. Typiske hydraulikkakkumulatorer (Hydas AS, 2013)

Nødvendig akkumulatorstørrelse kan uttrykkes slik:

$$V_0 = \frac{\Delta V}{\left(\frac{P_0}{P_1}\right)^{0,714} - \left(\frac{P_0}{P_2}\right)^{0,714}} \quad (14)$$

2.3.5 Finite Element Method

Finite Element Method (FEM), også kjent som elementmetoden, er et numerisk verktøy for blant annet å analysere spenninger i konstruksjoner, hastigheter ved varmeoverføring, eller strømningshastighet i fluider. Prinsippet bak en FEM-analyse er å dele opp konstruksjonen eller væskeområdet i en mengde små sammenkoblede elementer og kalkulere en stykkevis tilnærmet løsning til et sett differensiallikninger. For strømningsanalyse (CFD) benyttes Navier-Stokes-likningene som beskriver sammenhengen mellom hastighet, trykk, temperatur, og densitet i et fluid (væske eller gass) under bevegelse (Hall, 2015).

AKSESYMMETRI

I tilfeller der modellen er symmetrisk om en akse, og grensebetingelsene er uavhengige av den periferiske retningen (θ i sylinderkoordinater), kan modellen forenkles til to dimensjoner (Lewis, Nithiarasu og Seetharamu, 2004).

GRENSEBETINGELSER

Grensebetingelsen “velocity inlet” brukes til å definere strømningshastighet sammen med alle andre relevante egenskaper til strømmingen. Ved “velocity inlet” blir ikke det totale trykket satt konstant, men det vil øke ettersom hvor mye som er nødvendig for å opprettholde den valgte hastigheten (ANSYS Inc 2016). Sammen med “velocity inlet” anbefales det å sette utløpet som “outflow”, men dette er kun i tilfeller med fullt utviklet strømning og stabil strømning i grensebetingelsen. Der dette ikke er tilfelle bør heller grensebetingelsen “pressure outlet” velges (ANSYS Inc, 2006).

2.3.6 Korrelasjonskoeffisient

Korrelasjonskoeffisienten r er et effektall som sier noe om hvor mye virkningsgraden avhenger av valgt variabel: dysediameter i dette tilfellet. Korrelasjonskoeffisienten r er et tall som varierer mellom -1 og 1 , hvor 1 indikerer perfekt positiv korrelasjon som betyr at økt dysediameter alltid gir økt virkningsgrad, men hvor mye virkningsgraden øker sier ikke korrelasjonskoeffisienten noe om (Bretscher, 2009; Field, 2009; Johannesen, 2009).

Reelt vil man sjelden oppnå yttergrensene på ± 1 som har klare sammenhenger. For å forklare hva som kjennetegner sterk eller svak sammenheng sier Kinner og Gray, basert på Cohen (1988) følgende:

"A correlation less than .1 is trivial. If a correlation is between .1 and .3, the association is SMALL. Between 1% and 8% of the variance is shared. If a correlation is between .3 and .5, the association is MEDIUM. Between 9% and 25% of the variance is shared. If a correlation is .5 or greater, the association is LARGE. At least 25% of the variance is shared" (Kinner og Gray, 2010, s.401).

Videre advares det mot å stole blindt på tallets tale. Dersom en undersøkelse gir korrelasjonskoeffisient $r = 0.8$ er det ikke nødvendigvis en sammenheng. Dersom det er ukjente variabler i bildet kan forklaringen skyldes noe annet enn undersøkelsesobjektet (Kolman og Hill, 2008). Det betyr at det viktig å kartlegge undersøkelsens parametere og undersøke en variabel om gangen.

3 Metode

For å finne svaret på problemet er det nødvendig med en metode. Det må gjøres en rekke valg og beslutninger om hva som skal undersøkes og hvordan forskningen skal gjennomføres. Prosessen handler om å gå fra et teoretisk problemnivå og ned på et gjennomførbart nivå, typisk kalt empirisk nivå. Dette resulterer i ett forskningsdesign som vil kunne gi svar på problemstillingen (Halvorsen, 2008; Johannesen, Christoffersen og Tufte, 2011).

Når resultater har blitt skapt trekker man seg tilbake til et mer teoretisk nivå og analyserer resultatene. Deretter drøftes det hvorvidt resultater og forskningsdesignet er godt nok for å komme fram til en konklusjon som svarer på problemstillingen (Johannesen, Christoffersen, og Tufte, 2011).

KVANTITATIVE OG KVALITATIVE UNDERSØKELSESMETODER

I utformingen av et forskningsdesign er det hovedsakelig to hovedkategorier man velger undersøkelsesmetode ut ifra: kvantitativ og kvalitative metoder. Hvilken metode som er best avhenger av situasjonen. Kvantitative metoder handler om å besvare problem med målbare data som passer godt når problemstillingen er klar. Kvalitative metoder på sin side er velegnet til situasjoner hvor man ønsker å undersøke noe mer enn det som kan tallfestes. Denne metoden kan være å foretrekke ved undersøkelser av for eksempel følelser eller fenomener (Halvorsen, 2008; Johannesen, Christoffersen, og Tufte, 2011). For å kvantifisere virkningsgraden til SLC-dysene med stor sikkerhet er det bare en metode som fungerer godt - en kvantitativ metode.

TYPER UNDERSØKELSESMETODER

Basert på valgt hovedkategori finnes en rekke undersøkelsesmetoder, eksempelvis tidsserie-, eksperimentelle- og casestudier for å skreddersy forskningsdesignet til enhver situasjon. For oppgavens formål er det valgt å benytte eksperimentelle- og simuleringsstudier med utgangspunkt i teorien og den estimerte virkningsgraden. Eksperimentell undersøkelse kjennetegnes ved at man rigger et eksperiment til å ha gitte parametere, og deretter varierer en variabel om gangen. Simuleringsstudier på sin side er liknende, men en imitasjon av virkeligheten (Halvorsen, 2008; Johannesen, Christoffersen og Tufte, 2011).

TYPER DATA

Det skiller mellom to typer data avhengig av hvilken kilde man henter data til undersøkelsen sin fra: primær og sekundærdata. Primærdata henter man inn selv, eksempelvis ved å ta egne fartsmålinger av forbikjørende biler. Sekundærdata kommer fra eksterne kilder, eksempelvis en statistikkbank som tidligere har målt hastigheten til forbikjørende på en strekning (Johannesen, Christoffersen, og Tufte, 2011). I denne oppgaven benyttes det sekundærdata fra forskningsbasert litteratur til basisgrunnlaget, men hoveddelen av oppgaven baseres på primærdata fra egne undersøkelser.

EVALUERINGSKRITERIER: VALIDITET OG RELIABILITET

Selv om metoden gir en fremgangsmåte for å samle inn data er det ikke gitt at man kan svare på problemstillingen. Dersom det ikke samles inn riktig type data eller at det hentes relevant data fra en tvilsom kilde vil datagrunnlaget bli henholdsvis feil eller for svakt til å kunne benyttes. Det er da snakk om validitets- og reliabilitetsproblemer (Halvorsen, 2008).

Validitet splittes i intern og ekstern validitet. Intern validitet handler om hvor godt forskningsdesignet samsvarer med problemstillingen. Dersom det ikke er et samsvar betyr det at undersøkelsesopplegget ikke vil kunne gi svar på problemstillingen. Ekstern validitet handler om hvorvidt resultatene kan generaliseres eller overføres til andre liknende situasjoner (Halvorsen, 2008; Johannesen, Christoffersen, og Tufte, 2011). Reliabilitet handler om hvor pålitelig målingene er. Dersom man kan gjennomføre samme undersøkelsesopplegg flere ganger med tilnærmet identisk resultat vil reliabiliteten være god (Halvorsen, 2008).

Dette betyr at både validitet og reliabilitet må være på plass for å ha et godt forskningsdesign. Hele oppgavens metode og gjennomføring er gjort transparent, men evalueringskriteriene av forskningsdesignet tas først opp i kapittel 5 når resultatene foreligger.

3.1 Utviklingsprosessen av anvendt metode

Formålet med en transparent metode er først og fremst for å underbygge rapportens troverdighet, men det er også ment at leseren skal kunne gjennomføre denne eller liknende undersøkelser i ettertid. For å ivareta lesbarheten henvises det flere steder til vedlegg med utfyllende informasjon om man ønsker å nå ned til rapportens røtter. Dette gjelder spesielt beregninger.

3.1.1 Avgrensninger og forutsetninger

På bakgrunn av EAB Engineering sin interesse for oppgaven har det blitt satt tilnærmet ingen begrensninger. Hverken økonomi eller muligheter har vært et diskusjonstema. For å nærme oss SLCs bruksområde er det valgt å undersøke SLC-dysedesignet i alle hensiktsmessige diametre, som presenteres i 3.2. I tillegg tas det utgangspunkt i et maksimalt undersøkelsestrykk lik det som anses å være maksimalt arbeidstrykk for SLC - 300 bar.

Videre begrenses oppgaven til å undersøke en og en dyse isolert, da dysenes vanngjennomstrømning kan ses på hver for seg. Dette er fordi SLC har et sirkulært design som gir et jevnt vanntrykk i sylindere når stempelet treffer havbunnen. Dette anses ikke som en svakhet, men heller en styrke. Gjennomføring av tester med en komplett SLC ville medført en større fare for feilkilder og samtidig en større utfordring knyttet til uthenting av relevant data.

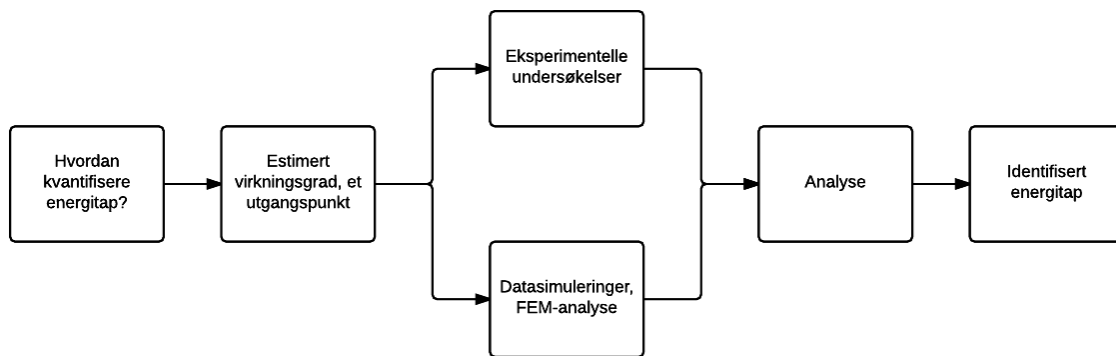
3.1.2 Overordnet fremgangsmåte

Arbeidet har vært en omfattende prosess, for å avklare korrekt virkningsgrad er det essensielt å ha presise metoder for datainnsamling. For å utvikle et anvendbart forskningsdesign er det lagt ned betraktelig mye tid i forarbeidet som vist i vedlegg 1, side 72. Videre for å sikre gjennomførbarhet har det blitt tatt utgangspunkt i prosjektets dagsplan, og gjennomført risikoanalyser for å avdekke prosjektets flaskehals, se vedlegg 2, 3 og 4, fra side 76.

Til det teoretiske grunnlaget var det i utgangspunktet ikke noe grunnlag å stå på, men med en grunnleggende innføring i Bernoullis likning og strukturell FEM-analyse fra henholdsvis emnene «Fysikk og kjemi» og «Elementmetoden», er det tatt veien videre inn i fagfeltet og avdekket relevant teori som er presentert i kapittel 2. Med dette som bakteppe har vi fått det nødvendige grunnlaget for å kunne utvikle en god metode. Vi har valgt å estimere virkningsgraden for å danne

Metode

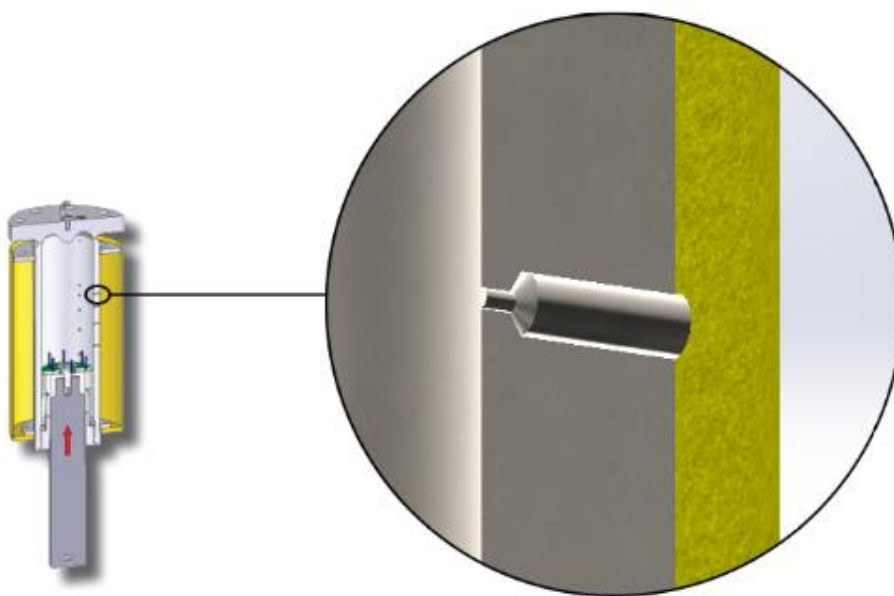
forståelse og et grunnlag for utvikling av de eksperimentelle- og simuleringsundersøkelsene. Overordnet ser metoden slik ut:



Figur 5. Flytskjema for metodegjennomføring

3.2 Rapportens ulike dysedesign

SLC-dysene er plassert i produktets sylindervegg, der godstykkelsen er typisk 20 mm. Vannet strømmer fra innsiden av sylinderen og ut. Dyseinnløpets diameter er i SLC varierende mellom 1 og 3 mm avhengig av SLCs spesifikasjoner. Dyselengden er 3 mm uavhengig av dysediameteren og dyseutløpsdiameter holdes av produksjonshensyn konstant til 6 mm med en bunnvinkel på ca 120°. Dagens dysedesign er først og fremst valgt på bakgrunn av produksjonskostnader. Designet lages med en totrinnsboring med først Ø6 mm og deretter ønsket dysediameter d . SLC-dysenes standardutforming går frem av utsnittet nedenfor.



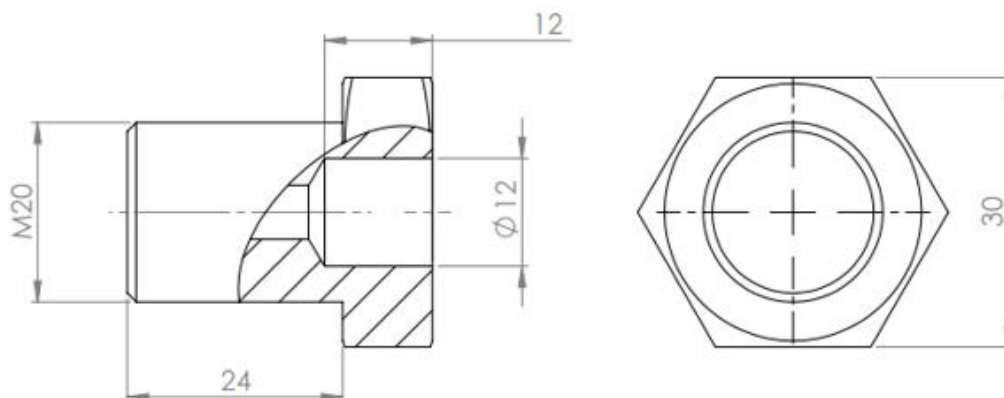
Figur 6. Dyseplassering i SLC

Metode

Produksjonsmessig er dette et enkelt design som det i utgangspunktet ikke er noen grunn til å gå bort fra da det ikke er et formål å gjøre dysene mer effektive. Det viktige er å identifisere hvor stor den faktiske virkningsgraden som forekommer er. For å kunne undersøke situasjonen godt er diameterintervallet utvidet til 4,5 mm. I tillegg har det blitt designet ekstra dyser for å undersøke om det finnes noen sammenhenger mellom dyseutforming og virkningsgrad.

TESTDYSE

Til de eksperimentelle undersøkelsene var det nødvendig å utvikle en løsning som innfrir tidsbegrensningen i oppgaven. For å ha utskiftbare testdyser som samtidig representerer SLC-dysene under bruk, tas det utgangspunkt i M20 skruer som bores til ønsket dysedesign. For å knytte det sammen med øvrig testsystem ble det utviklet en dyseadapter. Produksjonstegning av testsystemets dyseadapter er vedlagt rapporten se vedlegg 22, side 145, og hvordan adapteren er montert er vist i vedlegg 7, side 94.



Figur 7. Grunndesignet til testdysene

For å representere SLC-dysene på best mulig måte er grunndesignet lagd med en tretrinnsboring. Forklart fra venstre mot høyre er første boring dyseinnløpet der vann strømmer inn med høyest hastighet, andre nivå er dyseutløpet og tredje nivå er boret til Ø12. Det siste nivået finnes ikke i SLC men ble konstruert inn i testdysene for å opprettholde ønsket dyselengde. Dette gjør at testdysene kan skrues helt inn til sylinderveggen under testing. Ø12-boringen forventes ikke til å ha noen innvirkning på dysenes virkningsgrad.

DYSENUMMERERING

For å få et bedre datagrunnlag har det blitt utviklet flere dysediametere rundt SLC sitt standarddesign. Kombinert med de ekstra dysedesignene er det totalt 21 ulike dyser som undersøkes. På bakgrunn av dette er det innført et dysenummereringssystem som beskriver designet ved hjelp av tre til fire tall. Denne nummereringen er oppbygd som følgende: dysediameter-dyseutløpsdiameter-dyselengde-F (størrelse på fas), der tallene representerer geometriske dimensjoner i tiendels millimeter. Prinsippet er illustrert i tabellen nedenfor:

Tabell 1. Eksempel på dysenummerering

	Dyseinnløp d	Dyseutløp D	Dyselengde	Kommentar
20-80-30-F05:	2,0 mm	8,0 mm	3,0 mm	Fas 0,5 mm

UNDERSØKELSENS UTVALGTE DYSER:

Under følger en oversikt over utvalgte dyser, for nærmere forklaring er arbeidstegning til hver enkelt dyse presentert i vedlegg 22, side 145.

Tabell 2. Oversikt over testdyser

- 10-60-30
- 15-60-30
- 20-60-30
- 22-60-30
- 25-60-30
- 27-60-30
- 30-60-30
- 32-60-30
- 35-60-30
- 40-60-30
- 45-60-30
- 10-60-100
- 20-60-100
- 30-60-100
- 10-60-200
- 20-60-200
- 30-60-200
- 20-80-100
- 20-80-30-F05
- 20-80-30-F10
- 20-100-30

SAMMENHENGER SOM ER UNDERSØKT:

På bakgrunn av dysene presentert ovenfor er det satt opp fem ulike sammenhenger det er ønskelig å undersøke:

1. Virkningsgrad ved ulike trykknivå
2. Virkningsgrad ved forskjellige dysediametre
3. Virkningsgrad ved forskjellige dyselengder
4. Virkningsgrad ved fas på dyseinnløpet

5. Virkningsgrad ved endret dyseutløpsdiameter

Der det er lagt mest vekt på punkt 1 og 2.

1. *Virkningsgrad ved ulike trykknivå:*

For å undersøke hvordan trykket påvirker virkningsgraden ble dysene 10-60-30, 20-60-30 og 30-60-30 planlagt å testes eksperimentelt på 100, 200 og 300 bar, i tillegg til dysene 10-60-100 og 10-60-200 på 200 og 300 bar.

2. *Virkningsgrad ved forskjellige dysediametre:*

For å etablere sammenhengen mellom dysediameter og virkningsgrad for dagens SLC-dyser er disse dysene testet med diametre mellom 1,0 og 4,5 mm, det vil si dysene nummerert (10 til 45)-60-30. Antall dyser er bevisst valgt utover SLC sine typiske diametere, som er 1,0 til 3,0 mm, for å få et bedre datagrunnlag. Totalt er det undersøkt 11 dyser med samme grunndesign som benyttet i SLC hvor bare dysediameteren varierer. Disse standarddysene er undersøkelsens hovedpunkt, virkningsgraden for disse dysene er derfor også estimert, i tillegg til å være beregnet gjennom FEM-analyse.

3. *Virkningsgrad ved forskjellige dyselengder:*

For å undersøke sammenhengen mellom dyselengde og virkningsgrad er det tatt utgangspunkt i tre ulike dysediametre:

- d=1mm: Dyse 10-60-30, 10-60-100 og 10-60-200
- d=2mm: Dyse 20-60-30, 20-60-100 og 20-60-200
- d=3mm: Dyse 30-60-30, 30-60-100 og 30-60-200

4. *Virkningsgrad ved fas på dyseinnløpet:*

Alle dagens dyser har en skarp dyseinnngang uten noen form for fas eller avrunding. Dette er resultatet av enkel produksjon med ren boring fra utsiden og inn i SLC. På grunn av produksjonshensyn vil det være krevende å kunne fase dyseinnløpet. Allikevel ses det som interessant å teste dyser med fas for å etablere sammenhengen mellom fas og virkningsgrad. Til dette er dysene 20-80-30, 20-80-30-F05 og 20-80-30-F10 undersøkt.

Metode

5. Virkningsgrad ved forskjellige dyseutløpsdiametre:

Det ses også på som interessant å undersøke om eventuelt dyseutløpets diameter påvirker virkningsgraden. Til dette undersøkes dysene 20-60-30, 20-80-30 og 20-100-30.

3.3 Anvendt metode

3.3.1 Estimering av virkningsgrad

Videre følger fremgangsmåten for estimering av virkningsgrad med utgangspunkt i eksisterende litteratur. Fullstendig utregning er i dette kapittelet kun vist for dyse 20-60-30. Begrunnelse av fremgangsmåte og en komplett oversikt over estimeringer er lagt ved som vedlegg 5, side 78.

For estimering tas det i teorien utgangspunkt i K-verdier fra forskningslitteraturen som settes inn i formelen for virkningsgrad (10):

$$\eta = \frac{1}{1 + \sum K}$$

Dysenes totale energitap kan i hovedsak deles i to:

1. Tap omkring dyseinnløpet:

Dyseinngangen kan betraktes som en plate med et sirkulært hull i, uten noen form for avrundning. $K=0,5$ er derfor representativ for alle dyser unntatt dysene med fas, 20-80-30-F05 og 20-80-30-F10. (Janna, 1993)

2. Tap som følge ekspansjon:

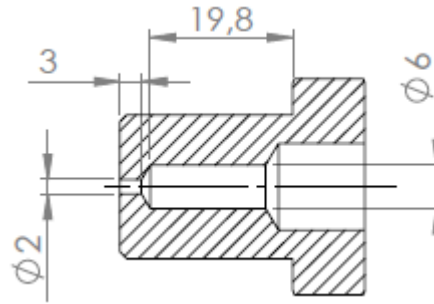
Dette tapet er avhengig av hvor stor diameterendringen er. K-verdier leses av i diagrammet gjeldende for «sudden expansion» (Janna, 1993, s. 250).

EKSEMPEL: Estimering av K-verdi og virkningsgrad for dyse 20-60-30:

Det forutsettes et tap ved dyseinngangen med tilhørende K-verdi lik 0,5 som følge av en ikke-avrundet dyseinngang, og et tap som følge av ekspansjon ved dysens utgang på 0,42 avlest diagrammet (Janna, 1993, s.250). Det forutsettes også at dysen er for kort til at det vil forekomme friksjonstap av betydning.

Metode

$$K_{invg} = 0,50$$
$$d/D = 2/6 = 0,33 \Rightarrow K_{eksp} = 0,42$$
$$\Sigma K = K_{invg} + K_{eksp} = 0,50 + 0,42 = 0,90$$
$$\eta_{dysse20-60-30} = \frac{1}{1 + \Sigma K} = \frac{1}{1 + 0,90} = \underline{\underline{0,53}}$$



Figur 8. Eksempel på estimert virkningsgrad

3.3.2 Eksperimentell undersøkelse

I utviklingsprosessen av testsystemet er det mange fallgruver i, metoden er et resultat av mye arbeid. Det har vært viktig å holde fokus på det viktige – virkningsgraden. På bakgrunn av dette er det tatt utgangspunkt i Bernoullis likning og vurdert ulike datainnsamlingsmåter for å beskrive vannstrømningen som kan eksempelvis være måling av volumstrøm, hastighet eller tid og posisjon. Det endelige testsystemet baseres på posisjon og tid og rundt dette har det blitt designet, produsert og montert et testsystem for eksperimentelle undersøkelser. De eksperimentelle undersøkelsene holder alle parametere konstante, bortsett fra én variabel, eksempelvis varierende dysediameter.

UTVIKLINGSPROSESS

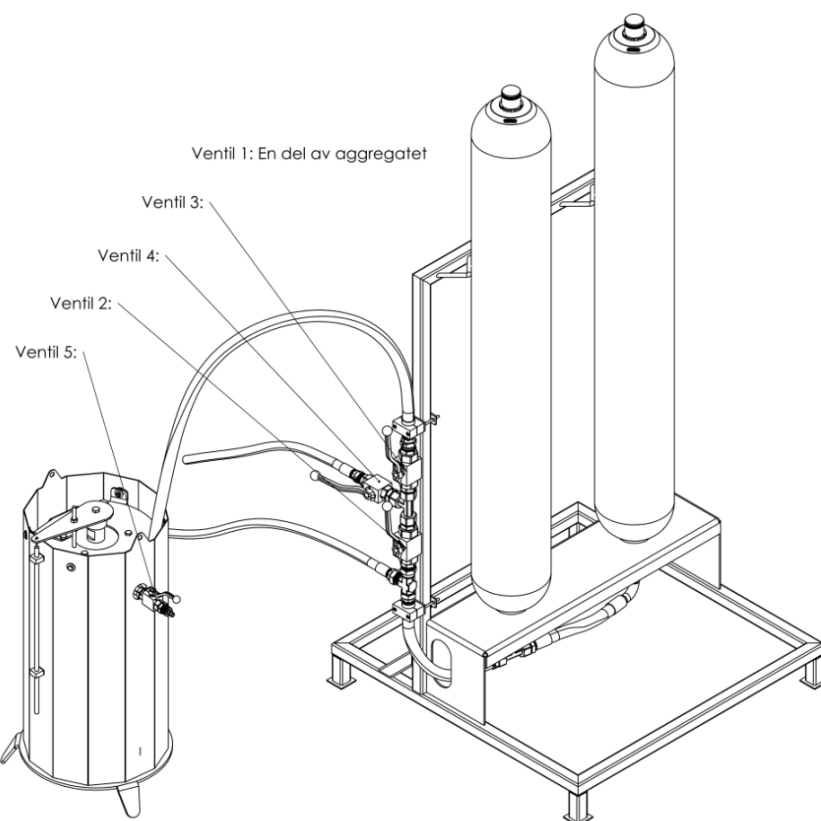
EAB startet å planlegge den eksperimentelle studien i grove detaljer for flere år siden, men det har på grunn av andre prosjekter med høyere prioritet blitt satt dette på vent helt til nå. Bachelorgruppen har gjenopptatt dette arbeidet og utviklet store deler av testsystemet fra bunnen av. EAB har fra starten av prosjektet holdt tilbake detaljer omkring hva de tidligere har kommet fram til og hva som er tilgjengelig av utstyr for å ikke påvirke kreativiteten i utviklingsprosessen. Det har medført en omfattende prosess for å overholde tidsrammen og få alle nødvendige forhåndsberegninger avklart i god tid, ettersom systemets komponenter er bestilt av eksterne parter. Til gjengjeld har dette gitt nyttig lærdom og resultater. Vedlegg 6, side 85 omfatter hele utviklingen av testsystemet og beregninger for å velge riktige komponenter. Dette resulterte i at testsystemet ble bestående av følgende komponenter:

Metode

Tabell 3. Liste over testsystemets komponenter

Komponent	Benyttet utstyr
Pumpe	Hydraulikkaggregat av ukjent merke, skulle levere minimum 250 bar oljetrykk.
Akkumulator	2 stk 50 liter blæreakkumulatorer, Hydac SB 330-50A1/112U-345A.
Hydraulikksylinder	DVGFRS 100/50-500 dobbeltvirkende hydraulikksylinder, levert av Klinkby Maskinfabrik A/S, se vedlegg 19, side 135.
Testbøtte	Konstruert av EAB, se vedlegg 20, side 138.
Akkumulatorramme	Egenkonstruert, se vedlegg 21, side 141.
Div hydraulikkutstyr	Se oversikt i vedlegg 7, side 94.
Posisjonssensor	1-WA/500MM-L, levert av HBM
Trykksensor	1-P8AP/500B-001 levert av HBM
Dataloggermodul	QuantumX MX840B, levert av HBM
PC til datalogger	Dell PC med software for QuantumX MX840B

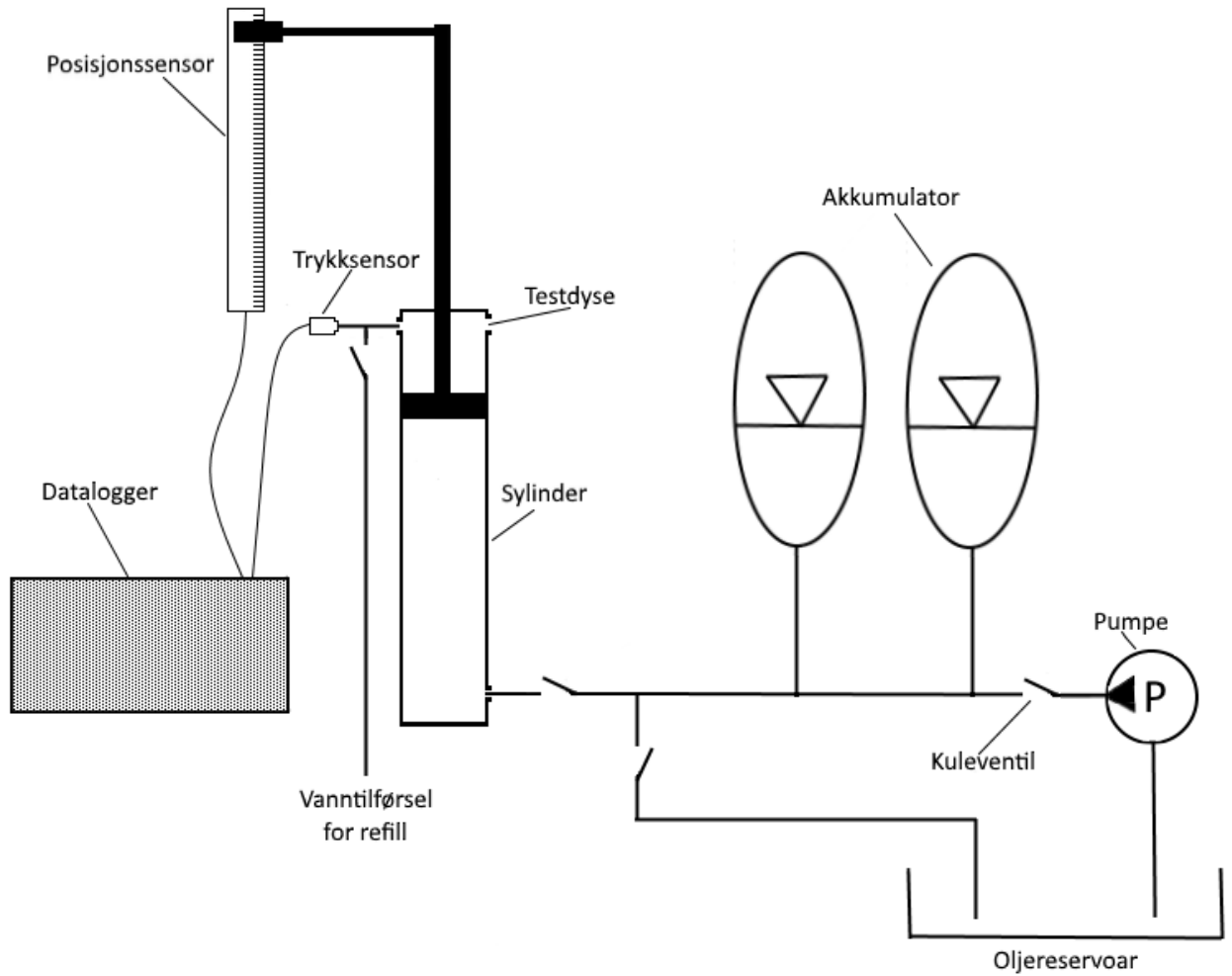
Testsystemet ble til slutt seende ut som vist under. Nærmere arbeidstegninger av testsystemets komponenter er vist i vedlegg 18, side 133.



Figur 9. Sammenstilt testsystem

Metode

Systemet styres av kuleventiler som opereres manuelt. Posisjonssensoren er påmontert bøtten og forbundet til stampelet ved hjelp av en toppplate på stempelet. De to løse hydraulikkslangene er tilførsel og retur mellom hydraulikkaggregatet og akkumulatorene.



Figur 10. Prinsippkisse av testsystem

Metode

Testsystemet ble det seende slik ut:



Figur 11. Monterert testsystem

Legg merke til påmontert styrestang. Ved kalibreringstester ble det observert at stempelstangen og topplata kunne vri seg, som kunne ført til at posisjonssensoren utsettes for sideveis belastning. For å hindre skade på posisjonssensoren ble det montert en solid stang i Ø12, som hindret sylindren i å kunne vri seg.

TESTSYSTEMETS VIRKEMÅTE

Designet er forenklet mest mulig for å redusere mulige påvirkninger hvert ledd påfører måleutstyret. Testsystemet virkemåte er beskrevet detaljert i den vedlagte testprosedyren vedlegg 10, side 105, kort fortalt fungerer systemet som følgende:

1. Hydraulikkaggregatet fyller systemet med olje og øker akkumulatortrykket til ønsket trykk.
2. Pumpa stoppes.
3. Datalogging startes.
4. Kuleventil foran stempelet åpnes, olje strømmer inn i hydraulikksylindren og bygger opp et trykk.
5. Stempelet settes i bevegelse av oljen og trykket, slik at vann presses ut av dysen. Samtidig loggføres stempelstangens posisjon samt vanntrykket i sylindren.
6. Når stempelet har nådd bunn avsluttes testen og data lagres.

Metode

Når posisjonssensoren tar målinger over tid kan dette benyttes til å beregne stempelstangens hastighet. Sammen med dysediameteren kan utløpshastigheten v_{dyse} beregnes. Trykksensoren måler vanntrykket P over tid med samme frekvens som posisjonssensoren, og ved å kombinere utløpshastighet og målt vanntrykk P kan virkningsgraden beregnes i hvert tidsintervall i måledataene.

BEREGNINGSMETODE FOR ENERGITAP

På bakgrunn av at måleutstyret måler med 50 Hz resulterer dette i store datamengder. Til håndtering er det hensiktsmessig å benytte dataverktøy som Excel. Utløpshastighet er i Excel-dokumentene beregnet gjennom følgende formel:

$$v_{dyse} = \frac{Pos2 - Pos1}{1/F} \cdot \frac{D^2 - d^2}{d_{dyse}^2} \quad (15)$$

Når dysens utløpshastighet er beregnet innsettes den i formelen for virkningsgrad (12) sammen med målt trykk i samme tidsintervall:

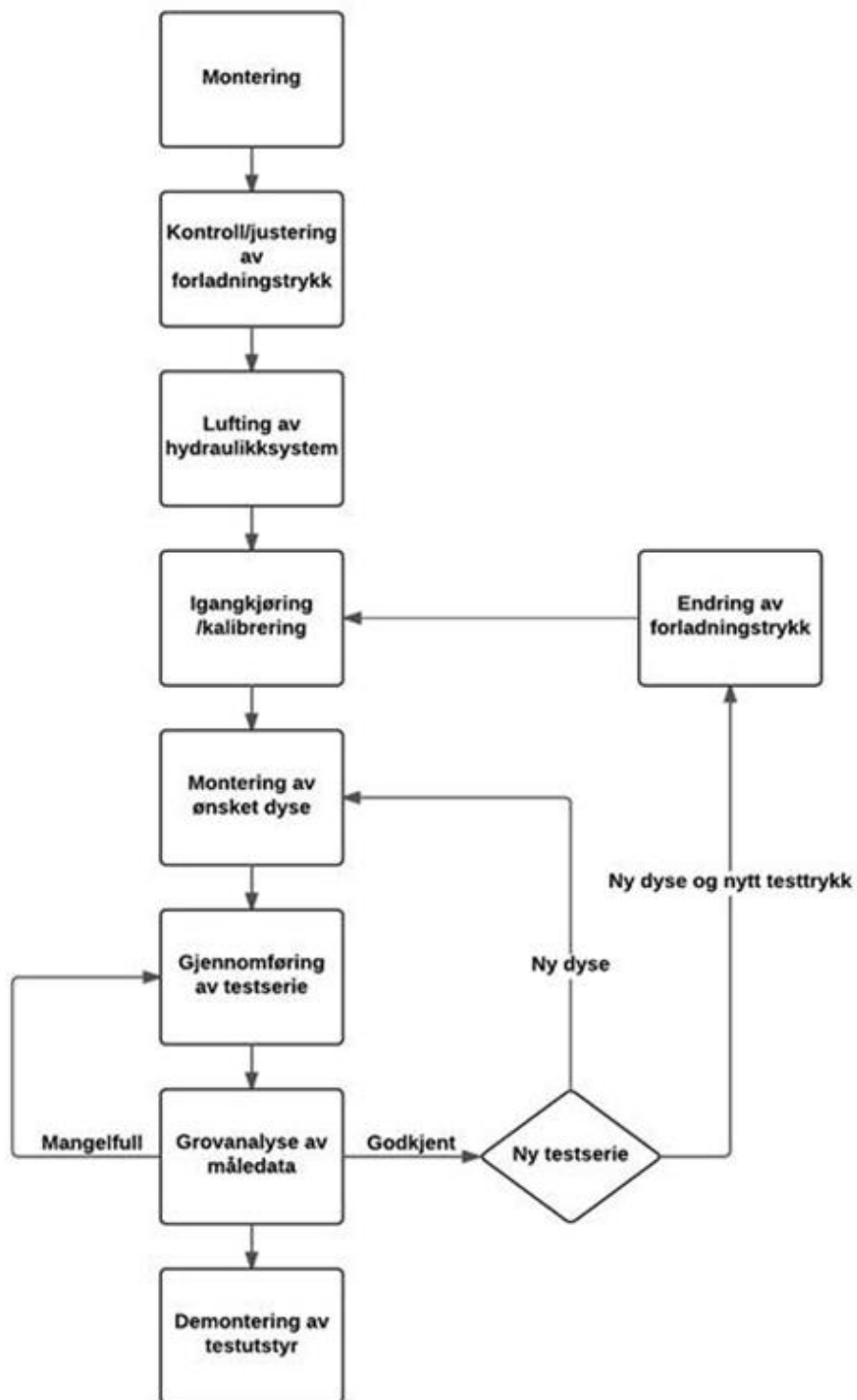
$$\eta = \frac{\rho v^2}{2P}$$

Utdypende forklaring er vist i vedlegg 11, side 117.

FLYTSKJEMA FOR TESTGJENNOMFØRING

Nedenfor følger oversiktsbilde for hvordan en testsekvens gjennomføres. Vedlagt i rapporten følger komplett testprosedyre, se vedlegg 10 side 105. I tillegg har det blitt gjennomført en SJA for å ivareta helse, miljø og sikkerhet. Denne analyserapporten følger også, se vedlegg 8, side 97.

Metode



Figur 12. Flytskjema for testgjennomføring

ANSLAG AV NØDVENDIG ANTALL TESTSEKVENSER

Til tross for at testsystemets komponenter er basert på krav fra beregninger vist i vedlegg 6 side 85, har det blitt gjort et anslag av hvor mange testsekvenser som må gjennomføres for å få et pålitelig datagrunnlag. Oppsummert tas det utgangspunkt i posisjonssensoren potensielle måleavvik supplert med andre faktorer knyttet til trykksensoren, vibrasjoner og trykkbølger i systemet og forstyrrelser på ledningene mellom måleutstyr og datalogger. Full beregning er vist i vedlegg 9, side 103.

Resultatet av anslaget ble minimum 9,55 tester for å få et 99,8% sikkert datagrunnlag. Det ble derfor valgt å gjennomføre 10 testsekvenser per testdyse.

3.3.3 Datasimulering

Når man skal støtte forskningsresultatene fra den eksperimentelle undersøkelsen med en FEM-analyse er dette en omfattende prosess. For FEM-analyse av fluider tas det utgangspunkt i komponenter designet i SolidWorks som videre er eksportert til ANSYS Fluent.

Den akademiske versjonen av ANSYS Fluent har en begrensning i antall tilgjengelige elementer. Dette skapte en begrensning i form av hvor store modeller som kunne simuleres. Det ble først planlagt å simulere alle dyser 3-dimensjonalt, men begrensningene i programvare-lisens gjorde det vanskelig å lage et fint nok nettverk. Det ble derfor besluttet å simulere dysene todimensjonalt, da de oppfyller kravet til akse-symmetri nevnt i kapittel 2.3.5.

GRENSEBETINGELSER

Gode grensebetingelser i FEM-analysen er essensielt for gode resultater. Alle gjennomførte analyser har tre grensebetingelser: dyseinnløp, dyseutløp og dysevegger. På innløpet ble det satt en inngangshastighet som ble beregnet ut fra den ideelle Bernoullis likning med P lik 200 bar:

$$v_{ideell} = \sqrt{\frac{2P}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 200 \cdot 10^5 \text{ Pa}}{1000 \text{ kg/m}^3}} = 200 \text{ m/s} \quad (16)$$

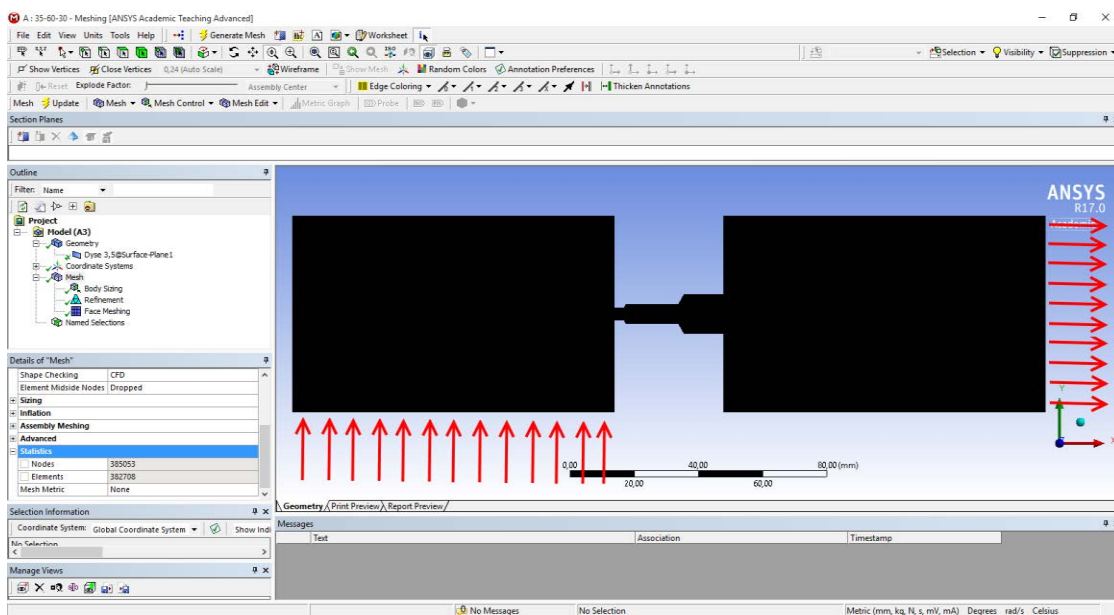
Dette gir hastigheten rett på utsiden av dyseutløpet, der diameteren er minst. Denne hastigheten må regnes om etter hvor stort innløpet er modellert. Utløpet ble satt til trykk-utløp med

Metode

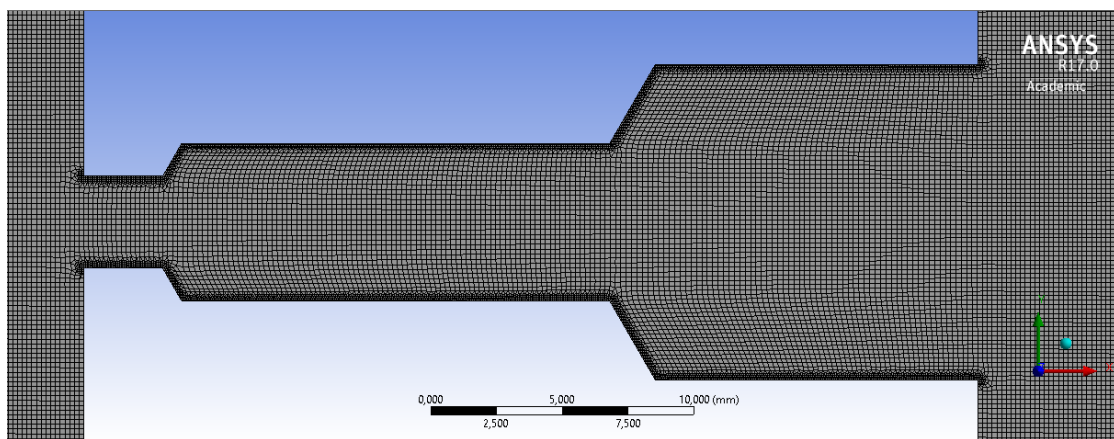
manometertrykk satt til 0, dette representerer virkeligheten på en god måte da trykket utenfor dysen vil være likt trykket på innsiden av sylinderen før stempellet er satt i bevegelse.

FREMGANGSMÅTE

Først ble alle dysene modellert i SolidWorks som surface-modeller, med ekstra areal på utsiden av både innløp og utløp på 100 x 60 mm for å få litt avstand fra grensebetingelsene til dysen. Dette gir et godt bilde av hvordan strømmingen vil gå gjennom dysene, samtidig er det mulig å danne et veldig fint nettverk med elementstørrelser $< 0,18$ mm og minste elementstørrelse 0,04 mm. Dette medførte at dysene ble delt opp i nesten 400.000 elementer. Innløpet ble satt på nedre kant av venstre del for å representere stempellet i sylinderen, og utløpet ytterste kant til høyre.



Figur 13. Mesh dyse 35-60-30 med grensebetingelser



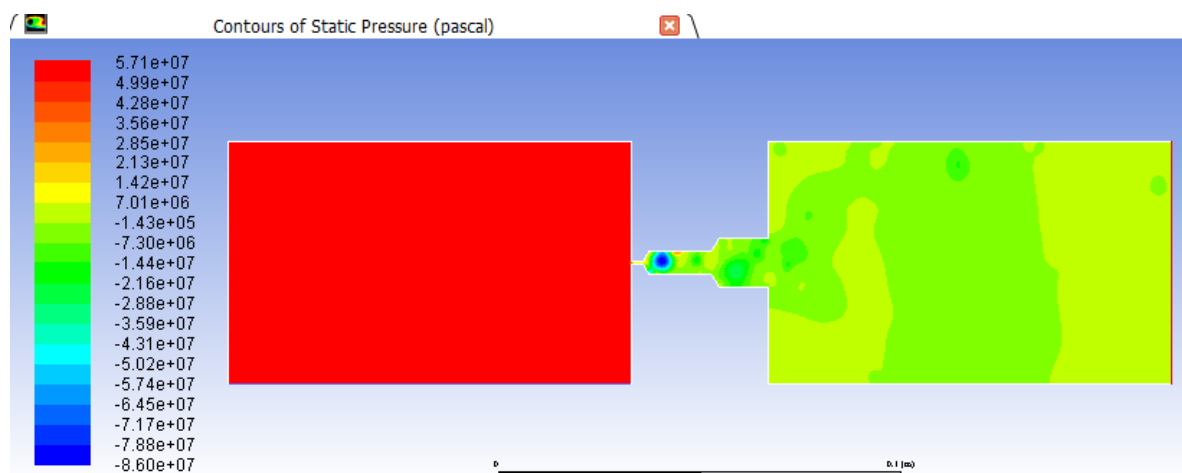
Figur 14. Nærbilde av mesh dyse 35-60-30

BEREGNINGSMETODE FOR ENERGITAP

Hver simulering har blitt dokumentert med et skjermbilde plottet med statisk trykk. Alle simuleringene har grensebetingelser som tidligere forklart, der hastigheten er bestemt ut fra Bernoullis likning uten tapsfaktorer. På grunn av tap som følge av motstand i dysen vil det dermed oppstå et høyere trykk på innsiden av dysen enn det trykket hastigheten ble bestemt ut fra. Det er dette trykket som leses av og brukes i beregning av virkningsgrad ved innsetting i formel (12).

Eksempel: Dyse 10-60-30 med dysediameter 1 mm og grensebetingelse $v_{ideell} = 200 \text{ m/s}$ ganget med korreksjonsfaktor for å finne riktig hastighet for grensebetingelsen velocity inlet:

$$v_{ideell} = 200 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \frac{1 \text{ mm}}{60 \text{ mm}} = 3,33 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (17)$$



Figur 15. Skjermbilde fra FEM-analyse

Trykket på innsiden av dysen avleses til $5,71 \text{ e}+07 \text{ Pa}$ som tilsvarer 571 bar.

Virkningsgraden η er så funnet ved innsetting av simulert statisk trykk sammen med dysens utløpshastighet i formel (12):

$$\eta = \frac{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot (200 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \cdot 571 \cdot 10^5 \text{ Pa}} = 0,3503$$

3.3.4 Analyse

Analysen omfatter de fem ulike sammenhengene beskrevet nedenfor, som undersøkes i tråd med begrunnelsen i kapittel 3.2. Metoden for hvordan hver sammenlikning analyseres er beskrevet under, hvor det påpekes at metoden er varierende etter grad av viktighet i forhold til problemstillingen. På grunn av tidsrammen ble kun SLC-dysene simulert i tillegg til estimater og målinger i testsystemet.

1. *Virkningsgrad ved ulike trykknivå.* Under analysen av virkningsgraden ved ulike trykknivå er kun resultatene fra den eksperimentelle studien benyttet, da det ut fra eksisterende litteratur ikke er funnet noen kilder som tilsier at virkningsgraden skal påvirkes betydelig av trykket. Her er måledata for respektive dyser som er testet ved ulike trykk satt direkte opp mot hverandre under analysen.
2. *Virkningsgrad ved forskjellige dysediametre.* Denne analysen er gjennomført gjennom sammenlikning av den eksperimentelle undersøkelsen, FEM-simuleringer og estimater, og er den mest omfattende analysen. Dette er også den viktigste i rapporten, da denne sammen med forrige analyse skal besvare oppgavens problemstilling. Her er måledata fra henholdsvis den eksperimentelle studien og FEM-simuleringen først analysert hver for seg ved hjelp av middelerverdi, standardavvik og korrelasjonskoeffisient. Disse dataene er så sammenliknet med estimatene i et felles diagram.
3. *Virkningsgrad ved forskjellige dyselengder.* Denne sammenhengen er undersøkt gjennom den eksperimentelle studien og estimatene. Hvordan virkningsgraden påvirkes av dyselengden og dysediameteren er undersøkt ved tre ulike diametre og tre dyselengder. Dette gir totalt ni datapunkter, men på tre dyselengdenivå. Dette er generelt sett for dårlig grunnlag til å kunne etablere en sammenheng, denne sammenlikningen er derfor gjennomført kun for å undersøke om det finnes klare tendenser, som eventuelt kan resultere i videre arbeid.
4. *Virkningsgrad med fas på dyseinnløpet.* Denne sammenhengen er undersøkt gjennom den eksperimentelle studien og estimatene. Denne er også kun gjennomført i tre steg på henholdsvis 0,0, 0,5 og 1,0 mm fas, og derfor kun nyttig for å undersøke om det antydning til tendenser.

Metode

5. *Virkningsgrad ved forskjellige dyseutløpsdiametre.* Samme begrunnelse som punkt fire gjelder også her. Hvor det undersøkes tre ulike dyseutløp diametre.

Det er bevisst valgt å ikke benytte FEM-analyse i analyseringen av alle sammenhengene av to grunner:

1. Det har blitt vurdert som ikke hensiktsmessig av bachelorgruppa, da tre av de ovenstående sammenlikningene ikke er hovedfokus i rapporten, men kun undersøkelser som er gjennomført for å finne eventuelle tendenser.
2. Begrensede ressurser omkring FEM-simuleringene, både i form av tidsforbruk og programvarebegrensninger som følge av akademisk versjon av ANSYS Fluent.

4 Resultat

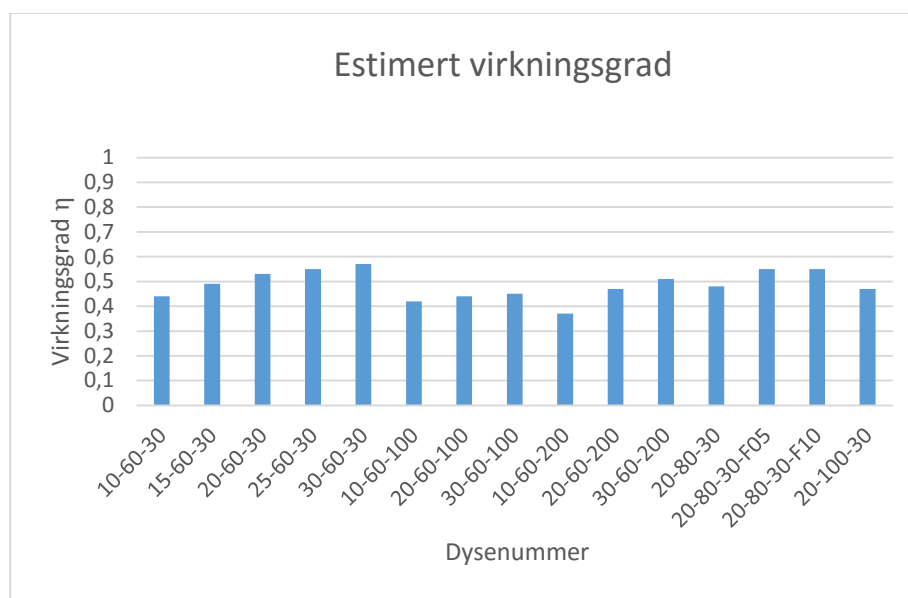
Virkningsgraden som presenteres gir et uttrykk for hvor mye vannet bremses ved vanngjennomstrømming i en dyse. Eksempelvis betyr en virkningsgrad på 0,3 at når vann strømmer gjennom en dyse blir 30 % av tilført arbeid overført til kinetisk energi, og de resterende 70 % overføres til varmeenergi gjennom friksjon og turbulens og betraktes som tap. Dysenummereringen er tidligere vist på side 30.

4.1 Estimert virkningsgrad

Estimeringene er basert på formlene som er presentert i 2.3.1. Under følger estimert virkningsgrad for alle dysene presentert i 3.2. Vedlegg 5, side 78 viser full beregning for alle dysene.

Tabell 4. Estimerte virkningsgrader.

Dysenummer	Virkningsgrad
10-60-30	0,45
15-60-30	0,49
20-60-30	0,53
25-60-30	0,55
30-60-30	0,57
10-60-100	0,41
20-60-100	0,44
30-60-100	0,45
10-60-200	0,37
20-60-200	0,47
30-60-200	0,51
20-80-30	0,48
20-80-30-F05	0,55
20-80-30-F10	0,55
20-100-30	0,47



Figur 16. Estimerte virkningsgrader

4.2 Eksperimentell undersøkelse

Før gjennomførelse var vi forberedt på store datamengder som følge av høy målefrekvens. Noen tester ble forsøkt målt på 200Hz og ga Excel-ark bestående av mer enn 5300 målinger etter å ha filtret ut ønsket tidsintervall. De fleste tester er gjennomført med målefrekvens på 50Hz, dette gir også mange målinger. Hvordan databehandlingsprosessen fra rådata til anvendbar data har foregått er vist i vedlegg 11, side 117. Selv etter databehandlingen er det snakk om store mengder data, totalt ble det utført over 310 testsekvenser (ekskludert kalibreringstester), derfor er dysenes resultat vedlagt som Excel-filer, se vedlegg 13, side 125.

Det kom frem under innledende testsekvenser at EAB sin pumpe ikke ga høyt nok trykk som følge av internfeil. Pumpen stoppet når den nådde et arbeidstrykk på omtrent 220 bar, som svarer til et vanntrykk på omtrent 270 bar. Derfor ble ingen dyser testet på 300 bar, dette ble vurdert som en ok løsning etter dialog med EAB Engineering. Analyse etter noen innledende testsekvenser viste også tendens til at trykknivået ikke påvirker virkningsgraden. Derfor er de fleste testsekvensene gjennomført med et vanntrykk på 100 bar. Analyse av trykket er vist under 4.4.1.

Testsystemet viste seg å skape testresultater i samme størrelsesorden konsekvent, under vises målt virkningsgrad for dysene basert på ett snitt av ti testsekvenser. Dataen er også vist visuelt, hvor hver stolpe utgjør en testsekvens. Totalt er det blitt gjennomført 310 testgjennomføringer ekskludert kalibreringstestene som gir 31 stopper i diagrammet under.

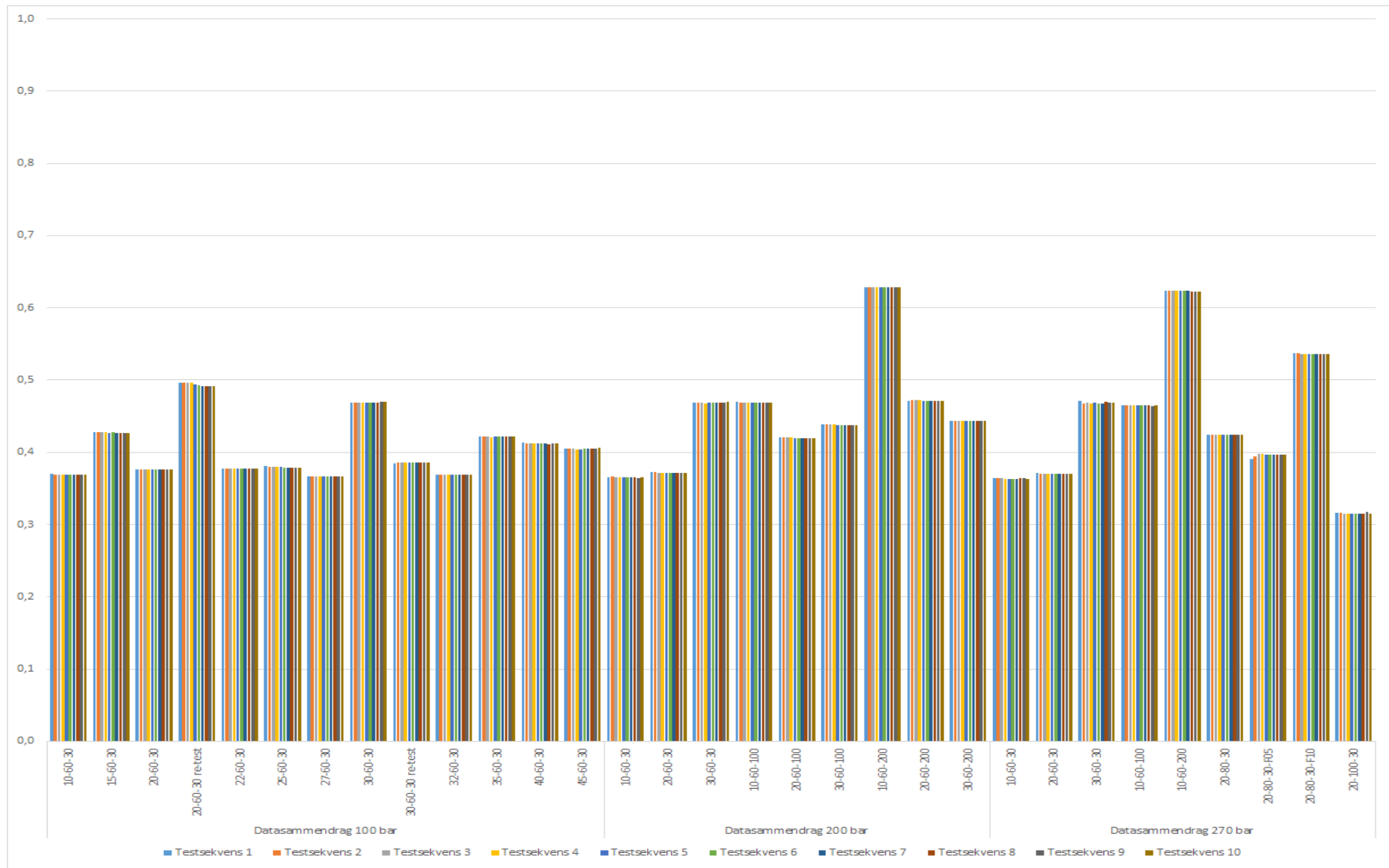
Resultat

4.2.1 Målt virkningsgrad for alle dysene

Tabell 5. Virkningsgrader fra eksperimentelle tester

Datasammendrag 100 bar													
Dysenummer	10-60-30	15-60-30	20-60-30	20-60-30 re-test	22-60-30	25-60-30	27-60-30	30-60-30	30-60-30 re-test	32-60-30	35-60-30	40-60-30	45-60-30
Testsekvens 1	0,3697	0,4273	0,3766	0,4959	0,3775	0,3810	0,3670	0,4689	0,3852	0,3695	0,4218	0,4129	0,4046
Testsekvens 2	0,3696	0,4273	0,3765	0,4964	0,3773	0,3798	0,3670	0,4691	0,3854	0,3695	0,4216	0,4121	0,4046
Testsekvens 3	0,3692	0,4274	0,3763	0,4965	0,3772	0,3795	0,3670	0,4691	0,3855	0,3695	0,4216	0,4119	0,4045
Testsekvens 4	0,3690	0,4273	0,3762	0,4961	0,3773	0,3795	0,3669	0,4691	0,3854	0,3694	0,4212	0,4124	0,4044
Testsekvens 5	0,3688	0,4271	0,3761	0,4942	0,3771	0,3793	0,3669	0,4692	0,3854	0,3695	0,4213	0,4117	0,4044
Testsekvens 6	0,3686	0,4273	0,3762	0,4928	0,3771	0,3792	0,3670	0,4690	0,3854	0,3695	0,4215	0,4125	0,4046
Testsekvens 7	0,3686	0,4270	0,3761	0,4921	0,3770	0,3791	0,3669	0,4692	0,3853	0,3695	0,4214	0,4117	0,4055
Testsekvens 8	0,3687	0,4270	0,3761	0,4917	0,3770	0,3791	0,3670	0,4693	0,3853	0,3695	0,4215	0,4116	0,4048
Testsekvens 9	0,3687	0,4270	0,3761	0,4916	0,3769	0,3791	0,3670	0,4696	0,3853	0,3693	0,4215	0,4120	0,4052
Testsekvens 10	0,3688	0,4270	0,3761	0,4914	0,3769	0,3791	0,3669	0,4697	0,3853	0,3694	0,4213	0,4120	0,4058
Middelverdi	0,3690	0,4272	0,3762	0,4939	0,3771	0,3795	0,3670	0,4692	0,3854	0,3695	0,4215	0,4121	0,4048
Datasammendrag 200 bar													
Dysenummer	10-60-30	20-60-30	30-60-30	10-60-100	20-60-100	30-60-100	10-60-200	20-60-200	30-60-200				
Testsekvens 1	0,3659	0,3721	0,4685	0,4694	0,4201	0,4384	0,6281	0,4716	0,4440				
Testsekvens 2	0,3661	0,3721	0,4683	0,4693	0,4206	0,4384	0,6283	0,4718	0,4440				
Testsekvens 3	0,3657	0,3719	0,4683	0,4689	0,4204	0,4382	0,6282	0,4720	0,4438				
Testsekvens 4	0,3654	0,3718	0,4681	0,4688	0,4201	0,4383	0,6282	0,4720	0,4438				
Testsekvens 5	0,3651	0,3719	0,4682	0,4686	0,4197	0,4380	0,6282	0,4717	0,4438				
Testsekvens 6	0,3650	0,3719	0,4685	0,4688	0,4193	0,4380	0,6284	0,4716	0,4436				
Testsekvens 7	0,3649	0,3719	0,4685	0,4688	0,4193	0,4378	0,6283	0,4715	0,4438				
Testsekvens 8	0,3649	0,3718	0,4688	0,4687	0,4192	0,4379	0,6284	0,4716	0,4436				
Testsekvens 9	0,3648	0,3719	0,4690	0,4687	0,4191	0,4379	0,6284	0,4716	0,4436				
Testsekvens 10	0,3649	0,3718	0,4696	0,4687	0,4190	0,4378	0,6283	0,4715	0,4436				
Middelverdi	0,3653	0,3719	0,4686	0,4689	0,4197	0,4381	0,6283	0,4717	0,4438				
Datasammendrag 270 bar													
Dysenummer	10-60-30	20-60-30	30-60-30	10-60-100	10-60-200	20-80-30	20-80-30-F05	20-80-30-F10	20-100-30				
Testsekvens 1	0,3645	0,3716	0,4708	0,4654	0,6240	0,4242	0,3902	0,5369	0,3157				
Testsekvens 2	0,3640	0,3705	0,4678	0,4650	0,6238	0,4242	0,3945	0,5368	0,3159				
Testsekvens 3	0,3639	0,3706	0,4682	0,4649	0,6234	0,4240	0,3976	0,5364	0,3155				
Testsekvens 4	0,3636	0,3706	0,4681	0,4648	0,6234	0,4239	0,3974	0,5363	0,3153				
Testsekvens 5	0,3634	0,3704	0,4682	0,4647	0,6233	0,4238	0,3971	0,5360	0,3153				
Testsekvens 6	0,3635	0,3705	0,4678	0,4646	0,6234	0,4239	0,3969	0,5359	0,3153				
Testsekvens 7	0,3634	0,3706	0,4680	0,4646	0,6233	0,4238	0,3968	0,5359	0,3151				
Testsekvens 8	0,3637	0,3707	0,4701	0,4646	0,6230	0,4239	0,3967	0,5359	0,3151				
Testsekvens 9	0,3637	0,3705	0,4684	0,4645	0,6229	0,4239	0,3967	0,5358	0,3178				
Testsekvens 10	0,3634	0,3707	0,4684	0,4646	0,6230	0,4237	0,3967	0,5358	0,3151				
Middelverdi	0,3637	0,3707	0,4686	0,4648	0,6234	0,4239	0,3961	0,5362	0,3156				

Resultat



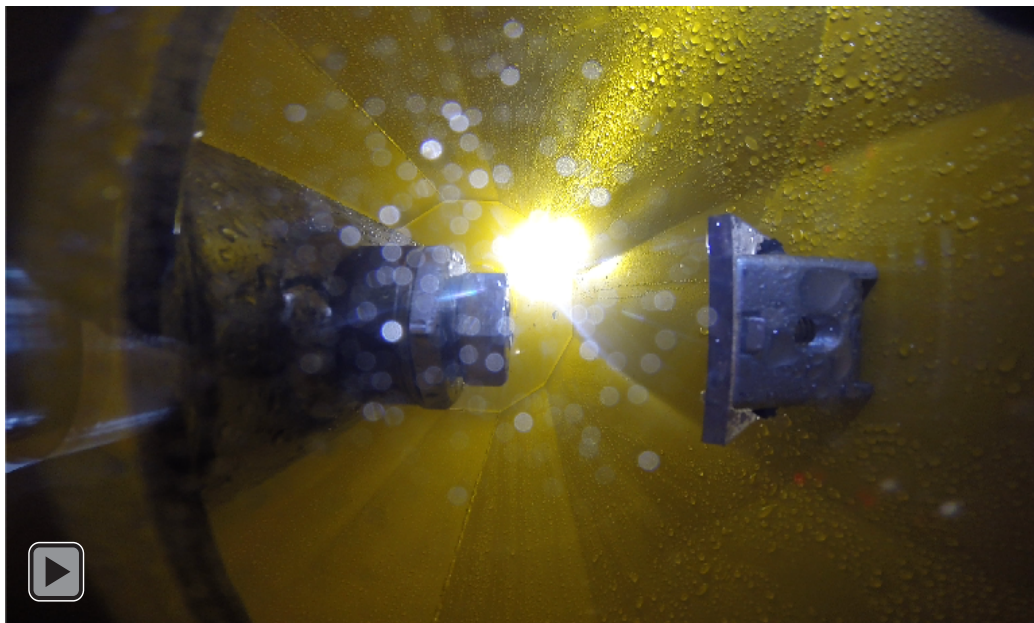
Figur 17. Komplet oversikt over eksperimentelle tester

Resultat

4.2.2 Video av testsekvens



Figur 18. Video 1 av testsekvens



Figur 19. Video 2 av testsekvens

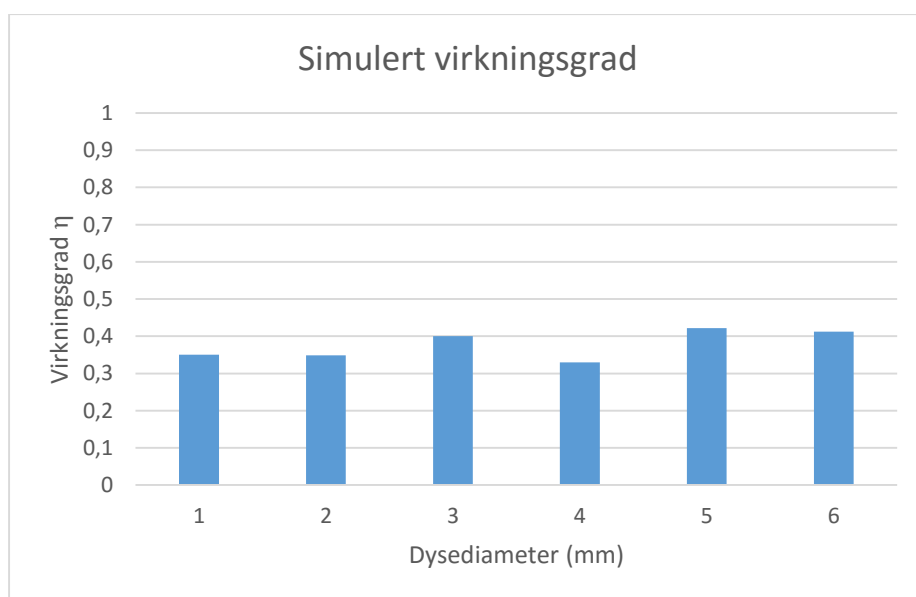
4.3 Datasimulering

Datasimuleringene i ANSYS Fluent viste seg å bli en stor utfordring med tanke på å sette korrekte betingelser, men ikke overraskende med tanke på hvor komplekst væsker i bevegelse oppfører seg. Under følger en tabell og ett diagram med virkningsgrad beregnet ut fra ANSYS Fluent simuleringene. Komplettestresultat med beregninger ligger i vedlegg 17, side 131. Metoden for å lese resultatene er presentert i metoden under 3.3.3. Som forklart i metoden er alle simuleringer forutsatt en gjennomsnittlig utløpshastighet lik 200 m/s.

Simulert virkningsgrad for utvalgte dyser er presentert nedenfor.

Tabell 6. Simulert virkningsgrad.

Dysediameter (mm)	Virkningsgrad
1,0	0,3503
1,5	0,3490
2,0	0,4008
2,5	0,3300
3,0	0,4219
3,5	0,4124



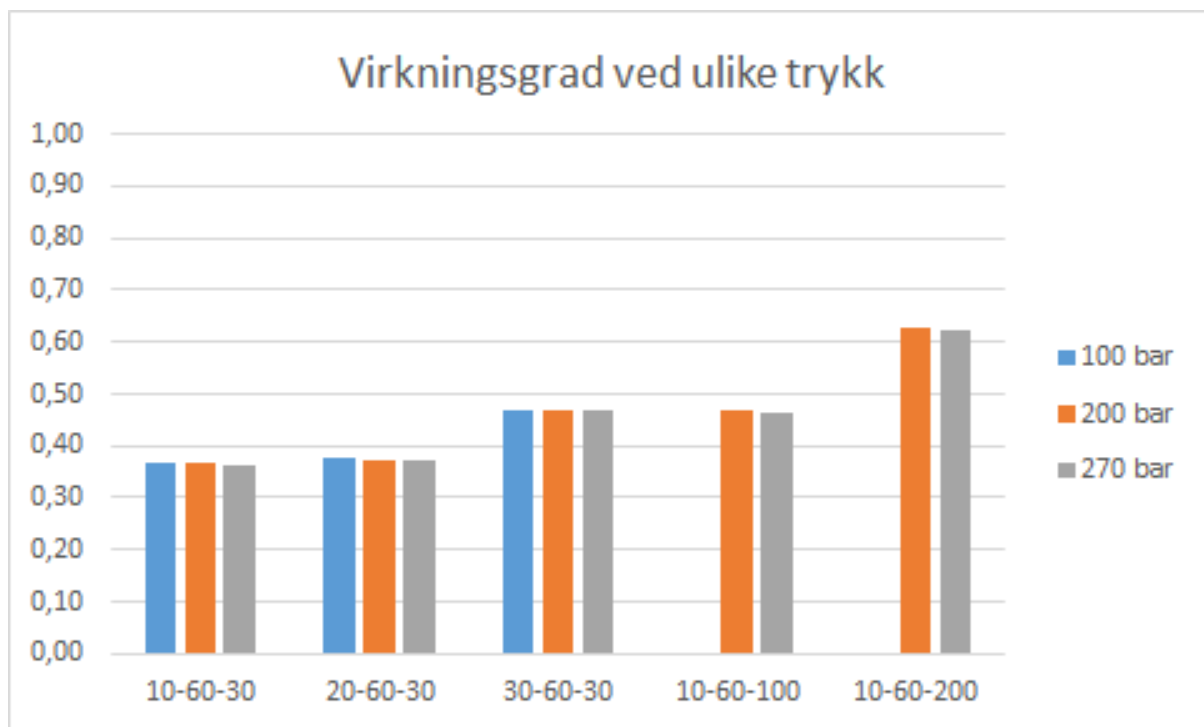
Figur 20. Simulert virkningsgrad

4.4 Analyse

4.4.1 Virkningsgrad ved ulike trykknivå

Grafen nedenfor viser en oversikt over eksperimentelle tester av fem forskjellige dyser, der det er gjennomført 10 testsekvenser av hver dyse på ulike trykknivå. Resultatene er presentert i form av stolper, der hver stolpe representerer gjennomsnittsverdien for 10 tester av en bestemt dyse ved ett trykknivå.

Som forventet ut fra teorien presentert i 2.3.1, ser det ikke ut til at trykket har noen innvirkning på virkningsgraden.

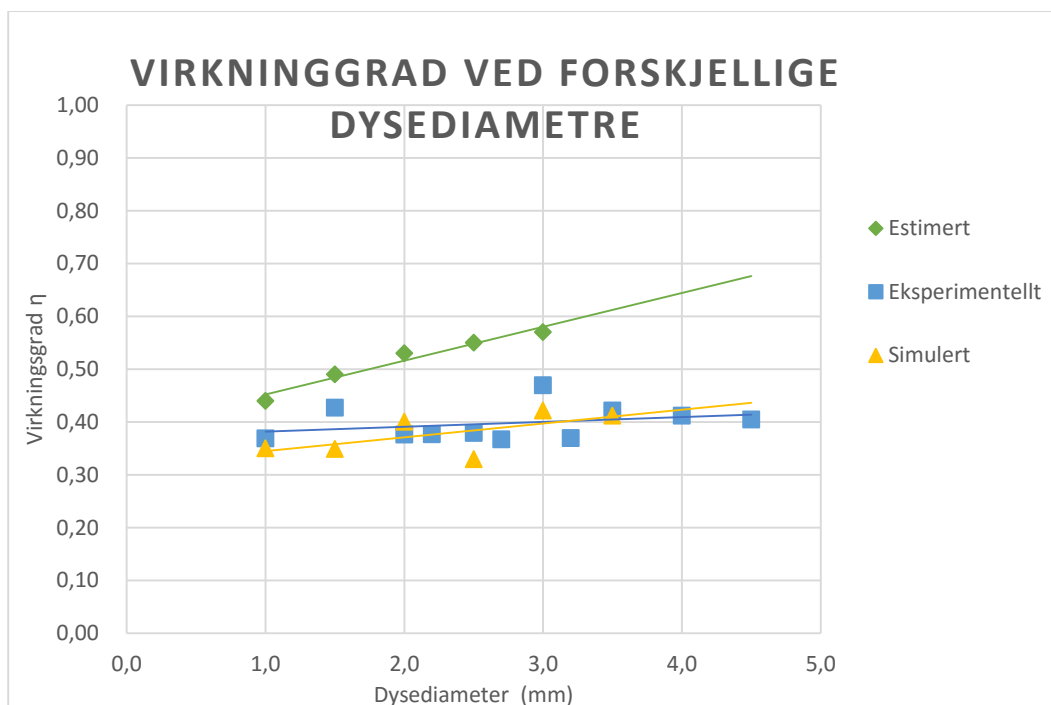


Figur 21. Virkningsgrad ved ulike vanntrykk

4.4.2 Virkningsgrad ved forskjellige dysediametre

Den viktigste sammenhengen i undersøkelsen er om, og eventuelt hvor mye, dysediameteren påvirker virkningsgraden til dysene. Det er derfor lagt mest vekt på denne sammenhengen i rapporten. I diagrammet nedenfor er resultatene fra den eksperimentelle undersøkelsen og FEM-analysen presentert sammen med estimatene.

Resultat



Figur 22. Dysediameterens effekt på virkningsgrad

Tabell 7. Virkningsgrad for SLC-dyser og korrelasjonsanalyse

Dysediameter (mm)	Virkningsgrad
1,0	0,3690
1,5	0,4272
2,0	0,3762
2,2	0,3771
2,5	0,3795
2,7	0,3670
3,0	0,4692
3,2	0,3695
3,5	0,4215
4,0	0,4121
4,5	0,4048
Middelverdi	0,3976
Standardavvik	0,0325
Korrelasjonskoeffisient	0,2939

Resultat

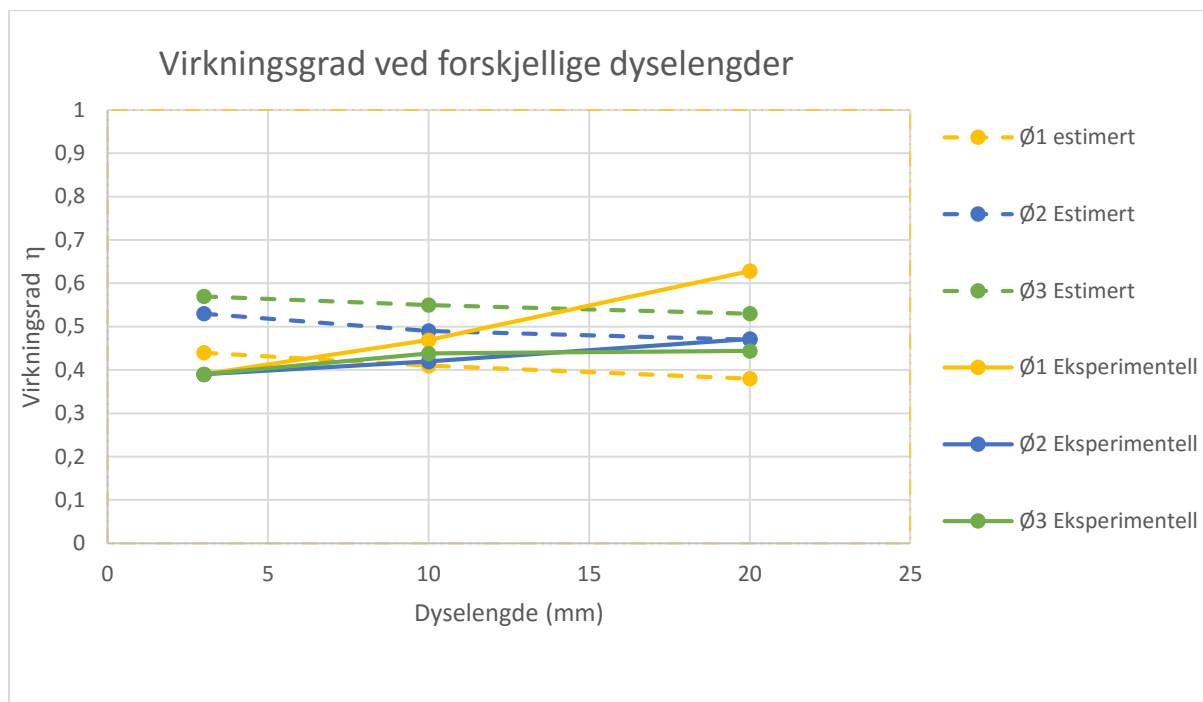
Av grafene ser man at estimatene taler for at virkningsgraden øker betraktelig med økt dysediameter. Testmålinger og datasimuleringer antyder det samme, men med vesentlig lavere helning. Helhetlig ses den eksperimentelle undersøkelsen på som det vitenskapelig korrekte datagrunnlaget for å undersøke virkningsgraden. FEM-analysen ligger i samme området, som er med på å bekrefte den eksperimentelle undersøkelsen sin validitet ovenfor formålet – kartlegging av forholdet mellom dysediameter og virkningsgrad.

Av 110 eksperimentelle målinger er det beregnet en korrelasjonskoeffisient på 0,29. Dette tyder på at det er en svak sammenheng mellom dysediameter og målt virkningsgrad (Cohen, 1988). Dette betyr at bare en liten del av variasjon i virkningsgrad kan forklares med endret dysediameter. Betraktet i sammenheng med stigningen til den blå trendlinjen, som er veldig lav. Det kan derfor hevdes at eventuell sammenheng er neglisjerbar overfor virkningsgraden, fordi innenfor vårt diameterintervall er virkningsgraden tilnærmet konstant 0,40.

På bakgrunn av dette kan det hevdes at virkningsgraden kan presenteres som en middelverdi. Dette drøftes i neste kapittel før det tas en endelig avgjørelse.

4.4.3 Virkningsgrad ved forskjellige dyselengder

Hvordan dyselengden påvirker virkningsgraden er presentert i diagrammet nedenfor, det er undersøkt flere dysediametre med ulik dyselengde. Diagrammet viser estimerer med stiplet linje og målte resultater med heltrukken linje.

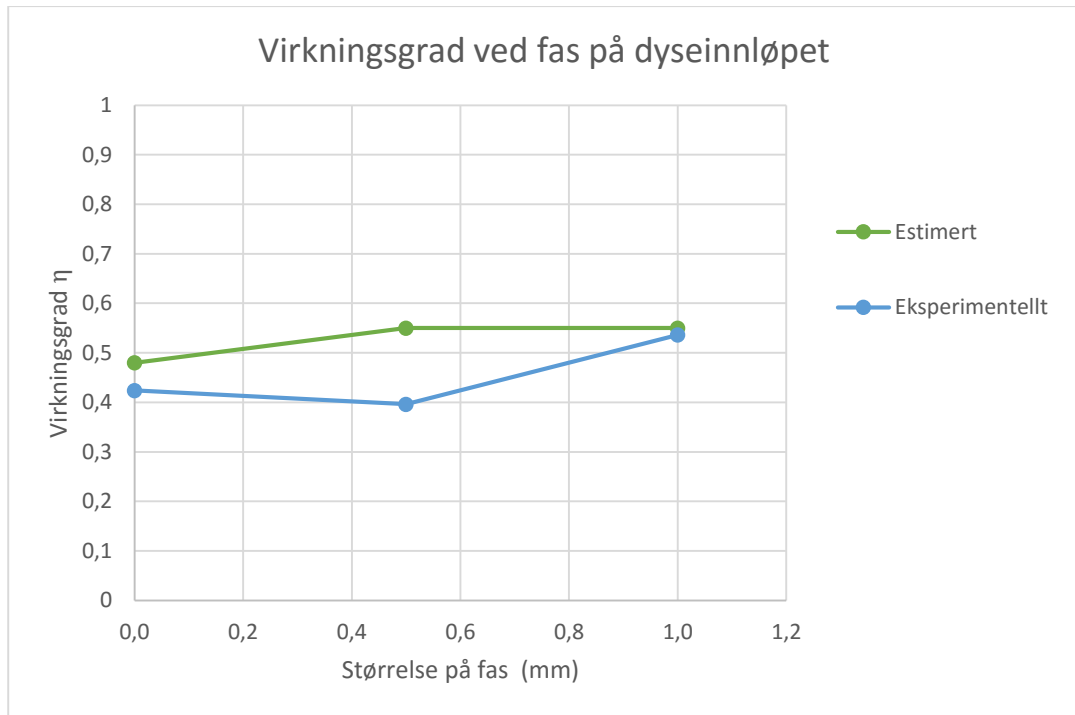


Figur 23. Virkningsgrad for forskjellige dyselengder.

Av grafene kan det leses av at det teoretisk skulle tilsi at virkningsgraden synker med økt dyselengde. Eksperimentelle undersøkelser avkrefter dette derimot hvor ni datapunkter basert på 90 målinger taler for at virkningsgraden tenderer til å øke svakt med økt dyselengde. Basert på kun ni datapunkter fra 90 testsekvenser er det derimot ikke mulig å hevde noe med stor sikkerhet.

4.4.4 Virkningsgrad ved fas på dyseinnløpet

Nedenfor er testresultatene som viser hvordan en fas ved dyseinngangen påvirker virkningsgraden presentert, i form av resultater fra fysiske tester og estimer.

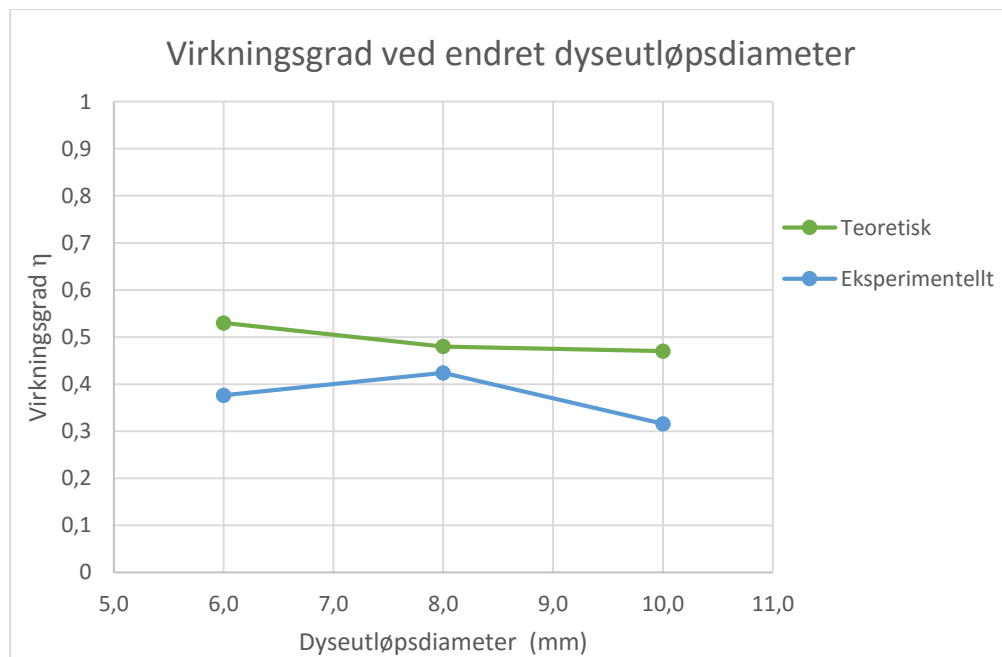


Figur 24. Virkningsgrad som følge av faset dyseinnløp.

Av grafene ser vi at det teoretisk skulle tilsi en økning i virkningsgraden desto større dyseinnløpets fas er. Eksperimentelle undersøkelser med tre datapunkter basert på 30 målinger viser også en tendens til økning i virkningsgrad, derimot et usikkert datagrunnlag å trekke noen sikre meninger fra.

4.4.5 Virkningsgrad ved forskjellige dyseutløpsdiametre

Hvordan forskjellige diametre etter dyseutløpet påvirker virkningsgraden er presentert nedenfor.



Figur 25. Virkningsgrad som følge av økt diameter etter dyseutløp.

Av grafene kan man lese at virkningsgraden ifølge estimatene burde avta med økt diameter på dyseutløpet. Eksperimentelle undersøkelser med tre datapunkter basert på 30 målinger viser også en tendens til reduksjon av virkningsgrad, dette er derimot et for usikkert datagrunnlag å trekke noen sikre slutninger fra.

4.5 Oppsummering

Etter å ha analysert resultatene har det blitt observert følgende:

1. Trykket ser ut til å ha neglisjerbar effekt på virkningsgrad.
2. Mellom dysediameter 1 og 4,5 mm er virkningsgraden tilnærmet konstant.
3. Økt dyselengde observeres til å gi en tendens til svak økning i virkningsgrad.
4. Faset dyseinnløp observeres til å gi en tendens til svak økning i virkningsgrad.
5. Økt diameter på dyseutløpet observeres til å gi en svak reduksjon i virkningsgrad.

Flere av funnene åpner for diskusjon, om datagrunnlaget er troverdig drøftes derfor i neste kapittel.

5 Diskusjon

Når resultatene foreligger er det naturlig å trekke seg tilbake til et mer teoretisk nivå og åpne blikket for mer enn det resultatene og analysen taler for. I dette kapitlet tar vi med oss det teoretiske grunnlaget og drøfter resultatene, i tillegg til at vi ser tilbake på vår forskning fra et kritisk ståsted, før vi fullfører med å gi svar på problemstillingen:

“Hva er virkningsgraden til dysene i Soft Landing Cylinder?”

"Målet med drøftingen er å si ut alt som ikke er solid fundert, slik at konklusjonen framstår mest mulig entydig og klar" (Rognsaa, 2015, s.92).

5.1 Drøfting av intern validitet og reliabilitet

5.1.1 Estimert virkningsgrad

VALIDITET

Estimeringene er basert på forskningen som ble presentert i 2.3.1. Teorien omkring energitap i væskesystemer i faglitteraturen er utarbeidet for større dimensjoner, og med et større antall ventiler og koblinger. I litteraturen er det derimot ikke noe som tilsier at metoden ikke er gjeldende ved små diametre. En annen faktor som kan anses å påvirke validiteten er at man ikke nødvendigvis finner representativ K-verdi i litteraturen, og av denne grunn får et misvisende resultat. På den andre siden er det begrenset hvor mye det har å si for oppgaven, estimatene benyttes som utgangspunkt for resten i oppgaven og ikke til å besvare problemstillingen. Det ses derfor ikke på som kritisk at validiteten er noe svak i forhold til SLC-dysene når dette kun skal brukes som en pekepinn.

RELIABILITET

Estimatene er basert på en veldig standardisert prosess med vanskelighet for å gjøre annet enn tilfeldige tastefeil. Dette ses ikke på som en risiko, da estimatene er kontrollert av alle rapportens forfattere. Det som anses som kritisk for de teoretiske estimatenes reliabilitet er unøyaktig avlesning av diagrammer. Allikevel gjelder samme begrunnelse som ovenfor i validiteten. Estimaterne skal kun benyttes som en pekepinn, slik at små avvik har liten betydning for formålet.

5.1.2 Eksperimentell undersøkelse

VALIDITET

Grad av produksjonsnøyaktighet på dysene

Når databehandlingen startet ble det tidlig avdekket at noen av målingene var svært avvikende fra øvrige målinger. På bakgrunn av dette ble dysene kontrollmålt. I vedlegg 15, side 128 vises det en komplett oversikt over kontrollmålinger av dysediametre gjort med måleprojektor. På bakgrunn av funn ble det gjort nærmere beregninger vist i vedlegg 14, side 127, beregninger viser at dersom man forutsetter en testdyse med dysediameter lik 1,0 mm, men i virkeligheten tester en dysediameter lik 1,1 mm, vil den beregnede virkningsgraden bli 46% høyere. Etter å ha korrigert diameteravviket i beregninger ble resultatene mer troverdige.

På bakgrunn av dette ses det ikke bort ifra at en del av resultatenes variasjon skyldes små diameteravvik, men dette forsvares med flere datapunkter utover de typiske SLC-diametrene.

Antall datapunkter

I utgangspunktet ble standarddysene designet med diameter 1, 2 og 3 mm. På bakgrunn av et tynt datagrunnlag med uklar sammenheng i tillegg til potensielle feilkilder i forbindelse med produksjon av dyser som forklart ovenfor, ble det videre gjennomført flere dysetester med andre diametre. Eksisterende dyser ble boret opp til større diametre i fresemaskin av en person med fagbrev og erfaring med å operere en fresemaskin. I tillegg ble dysene kontrollmålt med digitalt skyvelære med en målenøyaktighet $\pm 0,02$ mm og avlesning 0,01 mm før montering i testsystemet. Disse målingene er ikke dokumentert skriftlig.

Effekten av sylindertesting med vann på innsiden og luft utenfor dysen

I SLC vil dysene og området rundt alltid være fylt med vann. Testene er derimot gjennomført med vann på innsiden av dysen og luft på utsiden, slik at vann strømmer rett ut i friluft. Luft har en lavere massetetthet enn vann, så det kan derfor tenkes at virkningsgraden på havbunnen ville vært noe lavere enn det testsystemet måler, som følge av at vannmolekyler krever mer energi for å settes i bevegelse. Det er ikke funnet kilder som tilsier at dette påvirker vårt tilfelle. På bakgrunn av dette anses validiteten som noe begrenset, med forbehold om svakt teorigrunnlag. Vi mener at effekten vil være ubetydelig når den ekstra motkraften som følge av økt friksjon mellom vannmolekyler vil først skje på utsiden av dysen slik at de fysiske forholdene på innsiden av dysen ikke endres. Derfor

Diskusjon

hevder vi at vår vann-luft situasjon vil representere den virkelige vann-vann situasjonen på havbunnen.

Bruk av ferskvann kontra saltvann

Arbeidsmediet til SLC er i praksis saltvann, som i likhet med ferskvann kan ses på som en inkompressibel væske. Massetettheten for saltvann er omkring 1028 kg/m^3 ved temperaturen 0°C , forutsatt et saltinnhold på 3,5 % (Sælen, 2014). For ferskvann er massetettheten 1000 kg/m^3 ved samme temperatur (Perlman, 2016). Slik blir forskjellen minimal, både estimerer, målinger og simuleringer benytter ferskvann som arbeidsmedium da dysenes virkningsgrad ikke vil bli påvirket i noen særlig grad av differansen i massetetthet.

Temperaturpåvirkning

På bakgrunn av at massetettheten til vann endres med temperaturen kan virkningsgraden potensielt påvirkes av temperatur. I litteraturen har vann ved 0°C massetetthet lik 1000 kg/m^3 Çengel (2010). Dersom temperaturen øker til 20°C endres massetettheten til 998 kg/m^3 basert på temperaturtabell fra Çengel (2010). Allikevel kan det diskuteres hvorvidt testsystemet skaper en liten feilkilde for virkningsgraden. Testsekvensene gjennomføres rett etter hverandre og på grunn av friksjon i hydraulikksystemet vil varme oppstå. På grunn av varmeoverføring som følge av termodynamikkens 2. lov vil den genererte varmen overføres til de kaldere omgivelsene for å tilstrebe likevekt (Çengel, 2010). For testsystemet betyr dette at varme overføres fra olje til stempelstanga som videre øker vannets temperatur.

Under testing ble det holdt et øye med oljetemperaturen i hydraulikkaggregatets oljereservoar, temperaturen oversteg aldri 40°C . I tillegg er en testsekvens forholdsvis kort og mellom hver testsekvens, fylles testsylinderen med nytt vann. Det anses ikke som sannsynlig at oljen skal rekke å øke vanntemperaturen i særlig grad på grunn av de korte testsekvensene.

Vurdering av geometri i sylindrens vannkammer

I vedlegg 18, side 133 fremkommer det at er dysene plassert i samme kammer som stempelstangen i hydraulikksylinderen. På grunn av dette kan det tenkes at stempelet til en viss grad vil påvirke strømningslinjene innvendig i sylinderen som kan gi misvisende strømningslinjer sammenliknet med SLC. Det er i vedlegg 6, side 85 beregnet at stempelstangen under testing vil oppnå en maksimal hastighet lik $0,29 \text{ m/s}$ gitt en dysediameter d lik $4,5 \text{ mm}$ og vanntrykk P lik 100 bar . Ved

Diskusjon

denne hastigheten har vannet lav kinetisk energi. En hastighet så lav at det ses ingen grunn til å tro det vil forekomme energitap på grunn av stempelstangens plassering.

Innsamlet data sin representativitet overfor oppgaven

Basert på testsystemets måleutstyr registrerer dataloggeren både tid, hastighet og trykk. For å kunne beregne virkningsgraden er dette tilstrekkelig informasjon, som er i tråd med problemstillingen.

RELIABILITET

Alt måleutstyr som er benyttet er levert av HBM, og holder høy presisjon slik at rådataene holder høy kvalitet ved riktig bruk. Det må derimot ses i en sammenheng med komplett testsystem. Det ble i metodekapitlet gjort et anslag for antall tester som var nødvendig for å skape et pålitelig datagrunnlag fra testsystemet. Anslaget tok hensyn til ukjente sikkerhetsfaktorer som blant annet vibrasjoner og trykkbølger. Resultatet ble at 9,55 tester var nødvendig for å oppnå et 99,8% sikkert resultat.

Vedlegg 12, side 125 viser virkningsgradene med standardavvik, med øyemål kan man se at det er lav variasjon for hver dyse. Dette kan også undersøkes statistisk ved å lage et konfidensintervall basert på student t-fordelingen (Løvås, 2013). For lesbarhetens skyld vises kun beregningen til én aktuell dyse. Vedlegg 16, side 128 viser full beregning for SLC-dysene med dysediameter 1, 2 og 3 mm, men konklusjonen er den samme uavhengig av hvilket trykk og dyse som undersøkes.

Med et konfidensintervall tas det utgangspunkt i kvantitative tall fra en undersøkelse, det beregnes sikkerhetsmarginer virkningsgraden kan svinge mellom med ønsket sannsynlighet. Det beregnes som følgende for dyse 10-60-30 ved 270 bar, basert på formler fra samlingen til Hornæs (2007):

Diskusjon

Tabell 8. Middelerdi og standardavvik for dyse 10-60-30

Testsekvens	Virkningsgrad (middelverdi)
1	0,3697
2	0,3696
3	0,3692
4	0,3690
5	0,3688
6	0,3686
7	0,3686
8	0,3687
9	0,3687
10	0,3688
Total middelverdi	0,3690
Standardavvik	0,000402906

$$\left(0,3690 - t_{99,8\%/2, n-1} \cdot \frac{0,000402906}{\sqrt{10}}, 0,3690 + t_{99,8\%/2, n-1} \cdot \frac{0,000402906}{\sqrt{10}} \right)$$
$$\left(0,3690 - t_{0,0110-1} \cdot \frac{0,000402906}{\sqrt{10}}, 0,3690 + t_{0,0110-1} \cdot \frac{0,000402906}{\sqrt{10}} \right)$$
$$\left(0,3690 - 2,821 \cdot \frac{0,000402906}{\sqrt{10}}, 0,3690 + 2,821 \cdot \frac{0,000402906}{\sqrt{10}} \right)$$
$$(0,3686, 0,3694)$$

Konfidensintervallet på (0,3686 - 0,3694) setter samme kravet til testsekvensene som ble gjort i anslaget av antall tester, det vil si et 99,8% konfidensintervall. Dersom målt middelverdi er innenfor grensene kan man si at påliteligheten til målingen er meget god. Sammenliknes målingene i tabellen presentert ovenfor ser vi at 8 av 10 tall er innenfor grensene, og at de to siste er utenfor med to og tre tusendeler. Oppsummert viser testsystemet statistisk høy grad av reproduserbarhet. Dersom systemet benyttes i en senere anledning er det stor grunn til å forvente tilnærmet samme resultat.

5.1.3 Datasimulering

VALIDITET

FEM-analysen tar utgangspunkt i en enfasemodell med kun vann som arbeidsmedium. På en side vil dette representere SLC godt, men på den andre siden vil det representere eksperimentet dårligere ettersom den har luft på utsiden av dysen. Allikevel anses dette å være en god ulikhet, fordi hensikten med FEM-analysen er å underbygge testsystemets troverdighet ovenfor virkeligheten. På bakgrunn av grensebetingelsene som ble presentert i metodekapitlet anses analysen å være gyldig for formålet.

En annen faktor i FEM-analysen er turbulens. Det finnes mange forskjellige turbulensmodeller man kan bruke i ANSYS Fluent. Mye tid og forsøk ble lagt ned i å finne riktig turbulensmodell, men det ble ikke funnet noen som passet til vårt tilfelle, eller som gav fornuftige resultater. Derfor ble simuleringene kjørt med laminær modell. Allikevel har testene ivaretatt sitt formål ettersom de er anvendbare til sammenlikninger med testsystemet. Når samme dyser testes eksperimentelt og simulert vil man kunne se om endringer i samme parametre gir tendens til samme effekt, og derav er ANSYS Fluent bra for å danne forståelse rundt ulike mønstre omkring virkningsgraden for ulike dysedesign.

RELIABILITET

ANSYS Fluent som er en av markedets kraftigste programvarer i sitt felt anvendes av mange seriøse aktører i industrien, blant annet av fly- og bilprodusenter, hvor det aller meste kan simuleres, arbeidet ligger i betingelsene som må tas for å simulere virkeligheten riktig. Reliabiliteten anses som veldig god, da dette er en anerkjent og kraftig programvare. Når riktige grensebetingelser er satt vil analyseresultater gi statisk trykk på innsiden av sylindere som omregnes til virkningsgrad ved hjelp av Bernoullis likning modifisert til å inkludere virkningsgrad, som er i tråd med oppgavens problemstilling.

En annen faktor som påvirker resultatet direkte er hvor god kvalitet man har på nettverket. NTNU gir studenter tillatelse til å benytte 512.000 elementer i ANSYS Fluent. For å utnytte denne begrensningen best mulig ble kun sentrale deler designet i SolidWorks slik at det i utgangspunktet ble færre deler å meshe. I tillegg har området rundt analyseobjektet, dysen, blitt tatt ekstra hensyn til gjennom forfining av nettverk.

Diskusjon

Videre for å gjøre nettverket enda bedre, er simuleringene utført 2-dimensjonalt fremfor 3-dimensjonalt. I denne undersøkelsen hvor man har en dyse med symmetrisk sirkulært design, vil et snitt av dysens analyseområde gi et korrekt bilde og dataen som trengs, basert på et meget fint nettverk (Lewis, Nithiarasu og Seetharamu, 2004).

5.1.4 Analyse

VALIDITET

Til analysen er det hovedsakelig den eksperimentelle undersøkelsen som er blitt vektlagt. FEM-analysen kommer inn som et støtteapparat for å underbygge testsystemets troverdighet overfor virkeligheten, mens teorien er benyttet som et referansepunkt. Dette betyr at analysen baseres hovedsakelig på den eksperimentelle undersøkelsen, og anses å være valid overfor problemstillingen basert på tidligere validitetsvurdering av testsystemet.

RELIABILITET

For å kunne gi et godt svar på problemstillingen må analysen være troverdig. Her er det en rekke faktorer som spiller inn. I første omgang må datagrunnlaget være troverdig, dette anses som å være godt forklart i vurderingen av testsystemets reliabilitet. Videre er det derimot diskutabelt hvor godt vi klarer å analysere dataene.

Til analysen benyttes Microsoft Excel for å kunne håndtere datamengden og redusere mulige menneskelige feil. Slik holdes fokuset på tallenes tale. Gjennom kartlegging av virkningsgrad og standardavvik settes de ulike dysene opp mot hverandre, en etter en situasjon. For SLC-dysene er også korrelasjonskoeffisienten beregnet, da det var en akseptabel mengde datapunkter å ta utgangspunkt i.

5.2 Drøfting av resultatet

5.2.1 Virkningsgrad ved ulike trykknivå

Som det går frem av resultatanalysen i kapittel 4.4.1 ser det ut til at trykket ikke påvirker dysenes virkningsgrad. Dette går også frem av teorien presentert i kapittel 2.3.1. Derfor kan det med stor sikkerhet hevdes at trykkets påvirkning overfor virkningsgraden har neglisjerbar effekt. Dette støtter derfor de andre undersøkelenes validitet som hovedsakelig er testet på 100 bar.

5.2.2 Virkningsgrad ved forskjellige dysediametre

En grunn til avviket mellom de teoretiske estimatene og den eksperimentelle undersøkelsen kan være at de benyttede K-verdiene i utgangspunktet ikke er utarbeidet for å gjelde så små diametre som denne oppgaven omfatter. Det er også grunn til å tro at det har oppstått kavitasjon, og eventuelt hydraulisk flipp, som kan medføre lavere virkningsgrad.

Årsaken til at virkningsgraden er tilnærmet konstant i våre undersøkelser, forblir ukjent. Vår undersøkelse ga en korrelasjonskoeffisient på 0,29. Resultatet tyder det på at dysediameteren har lite å si for virkningsgraden innenfor vårt diameterintervall. Cohen (1988) støtter dette med å si at dersom man har korrelasjonskoeffisient $r = 0.3$ vil variabelen kunne forklare 9% av variasjonen til målt effekt. For oppgavens formål anses dette derimot som videre arbeid å forklare årsaken, dersom det er av interesse.

Selv om analysen baseres på et relativt lite utvalg datapunkter empirisk sett, er det et faktum at testsystemet er presist og har høy grad av reproduserbarhet. På bakgrunn av totalt 110 testsekvenser fordelt over 11 ulike dysediametre, hvor stigningstallet er så lavt at virkningsgraden blir tilnærmet konstant, hevder vi at virkningsgraden for SLC-dysedesignet er 0,40 uavhengig av dysediameter mellom 1,0 og 4,5 mm.

5.2.3 Virkningsgrad ved alternative dysedesign

Tendensene drøftet nedenfor baseres ikke på like mange datapunkter som SLC-dysene, da de er hovedfokuset i oppgaven, mens de alternative designene er biprodukter av testsystemets muligheter for testing. Dette er på bakgrunn av EAB og bachelorgruppas interesser, hvor det har vært nødvendig å kutte ned på antall datapunkter for å ivareta oppgavens gjennomførbarhet. Totalt sett er det blitt gjennomført 310 testersekvenser ekskludert kalibreringstestene som ble gjennomført før de loggførte testsekvensene.

Økt dyselengde:

På forhånd var det tenkt at økt dyselengde skulle gi en liten friksjonseffekt og derav lavere virkningsgrad. I følge resultatene fra den eksperimentelle undersøkelse ser det ut til at en økt dyselengde gir svak økning i virkningsgrad. Vi har ikke funnet forskning som tyder på at dette stemmer. Derfor tror vi at den økende virkningsgraden er et resultat av at forutsatt dysediameter i

Diskusjon

beregningsgrunnlaget ikke samsvarer med reell dysediameter. Dysene med økt dyselengde, og diameter 1 og 2 mm ble ikke kontrollmålt i profilprojektor. På bakgrunn av dette grunnlaget har vi hverken grunnlag til å påstå eller avkrefte effekten.

Faset dyseinnløp:

I følge resultatene fra den eksperimentelle undersøkelsen ser det ut til at en fas ved dyseinnløpet vil øke dysenes virkningsgrad, noe som støttes oppunder av det teoretiske grunnlaget. Dette kan sannsynligvis forklares med at brå overganger er en kilde for brå retningsendringer og derfor føre til turbulent strømming.

Økt diameter på dyseutløp:

I følge resultatene fra den eksperimentelle undersøkelsen ser det ut til at en økt diameter ved dyseutløpet fører til en redusert virkningsgrad. Dette støttes også oppunder av det teoretiske grunnlaget, Janna (1993) forklarer at ved brå ekspansjon ved dyseutløpet vil det oppstå et tap, men teorien tar utgangspunkt i rørsystemer som er helt oppfylt av vann. Nærmere undersøkelse viser at dette er effekten av at i overgangsfasen, vil vann i ytterkanten sirkulere og derav redusere bevegelsesenergi. Dette anses derimot ikke som relevant da det bremser hastigheten etter dysen. Derfor forblir virkningen ukjent ettersom vi ikke har klart å finne annen litteratur som kan forklare virkningen.

5.2.4 Ekstern validitet: Generaliserbarhet og overførbarhet

Innledningsvis i metodekapitlet ble ekstern validitet nevnt, hvor det da siktes til hvorvidt forskningsresultatene er generaliserbare eller overførbare til andre liknende situasjoner (Johannesen, Christoffersen og Tufte, 2011). Når det gjelder generaliserbarhet av funn, er det i utgangspunktet mulig å overføre resultatene direkte dersom man benytter lignende dyser. Når det gjelder våre funn er det derimot kun varierende trykk og dysediameter som er av interesse. Resterende funn er for svakt begrunnet til at man skal kunne påstå noen virkninger. Dette betyr at hvis en annen har tilsvarende dyser i lignende forhold er det stor grunn til å anta at varierende trykk og dysediameter har lite å si for virkningsgraden.

På bakgrunn av høy grad av nøyaktighet og reproduserbarhet til testsystemet som vist i vedlegg 16, side 12, betyr dette at det er mulig å overføre det utviklede testsystemet til andre situasjoner som

Diskusjon

benytter dyser, hvor man ønsker å studere hastigheten og trykket til væsken. Formålet kan være kvalitetssikring eller eksempelvis undersøkelse av ulike dysers effektivitet.

Områder testsystemet kan tenkes å overføres til er andre væsketester der det kreves høy væskestrømning ved et høyt trykk over en kort tidsperiode. Det ses ingen grunn til at testsystemet ikke skal kunne benyttes ved testing av andre væsker enn vann.

5.3 Konklusjon

Avslutningsvis ser vi tilbake på prosjektets problemstilling:

“Hva er virkningsgraden til dysene i Soft Landing Cylinder?”

Selv om studiet er basert på et relativt lite utvalg datapunkter empirisk sett, er det et faktum at testsystemet er presist og har høy grad av reproduserbarhet. Datagrunnlaget som er presentert i rapporten tyder på at virkningsgraden er lavere enn estimert. På bakgrunn av totalt 110 testsekvenser fordelt over 11 ulike dysediametre hevder vi at virkningsgraden for SLC-dysedesignet er 0,40 uavhengig av dysediameter mellom 1,0 og 4,5 mm.

Resultatet ga en korrelasjonskoeffisient på 0,29. På en side tyder det på at virkningsgraden avhenger lite av dysediameteren. Cohen (1988) underbygger dette med egne studier som tilsier at med en korrelasjonskoeffisient $r = 0.3$ vil variabelen kunne forklare 9% av variasjonen til målt virkningsgrad. På den andre siden vil ikke konklusjonen endres dersom det var en sammenheng, fordi stigningen er så lav i vårt diameterintervall, at virkningsgraden kan anses som tilnærmet konstant lik 0,40. Til tross for en del litteratursøk er det ikke avklart årsak til sammenhengen. Dette er allikevel utenfor oppgavens formål.

Med tanke på de andre dysedesignene som har vært undersøkt parallelt, viser analysen tendens til at endret dyselengde, fas på dyseinnløp og dyseutløpsdiameter ser ut til å påvirke virkningsgraden, derimot i liten grad. Her kan ingenting påstås med god sikkerhet på grunn av datagrunnlaget med få datapunkter.

6 Litteraturliste

ANSYS Inc (2016) *ANSYS 17 Fluent user guide*. Kapittel 6.3.4 og 6.3.8.

ANSYS Inc (2006) *Boundary Conditions*. Tilgjengelig fra:

http://www.southampton.ac.uk/~nwb/lectures/GoodPracticeCFD/Articles/BCs_Fluent-v6.3.04.pdf (Hentet: 12. mai 2016).

Bretscher, O. (2009) *Linear algebra with applications*. 4. utg. Upper Saddle River, N.J.: Pearson/Prentice Hall.

Çengel, Y. A. (2010) *Thermodynamics: an engineering approach*. 7. utg. Singapore: Mc-Graw-Hill.

CFD-online Discussion Forum. Tilgjengelig fra: <http://www.cfd-online.com/Forums/> (Hentet 13. mai 2016).

Cohen, J. (1988) *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. 2. utg. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.

EAB Engineering AS. *Our Background and Resources*. Tilgjengelig fra:

<http://eabeng.no/?page=2>, (Hentet: 11. mai 2016).

EAB Engineering AS. *Soft Landing Cylinders*. Tilgjengelig fra:

<http://eabeng.no/?page=4&show=47> (Hentet: 11. mai 2016).

Field, A. (2009) *Discovering statistics using SPSS : (and sex drugs and rock 'n' roll)*. 3. utg. Los Angeles: SAGE.

Hall, N. (2015) *Navier-Stokes Equations*. Tilgjengelig fra <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/nseqs.html> (Hentet: 11. mai 2016).

Halvorsen, K. (2008) *Å forske på samfunnet*. 5. utg. Oslo: Cappelen akademisk.

Litteraturliste

- Hartvigsen, Lorentsen, Michelsen, Seljevoll (2012) *Verkstedhåndboka*. 6. utg. Oslo: Gyldendal Norsk Forlag AS, s. 27
- Holtebekk, T. (2009) *Viskositet*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/viskositet> (Hentet: 12. mai. 2016).
- Hornæs, H.P. (2007) *Formelsamling for statistikk, HiG*. Gjøvik: Høgskolen i Gjøvik.
- Hydac AS (2013) *Sizing Accumulators*. Tilgjengelig fra: <http://www.hydac-na.com/sites/hydac-na/SiteCollectionDocuments/AOSS-%20accumulators.pdf>, (Hentet: 11. mai 2016).
- Hydraulics&Pneumatics (2007) *Accumulators*. Tilgjengelig fra: <http://hydraulicspneumatics.com/other-technologies/chapter-16-accumulators> (Hentet: 12. mai 2016)
- Janna, W. S. (1993) *Introduction to Fluid Mechanics*. 3. utg. Boston: PWS Publ.
- Johannesen, A. (2009) *Introduksjon til SPSS*. 4. utg. Oslo: Abstrakt forlag.
- Johannesen, A., Christoffersen, L. og Tuft P.A. (2011) *Forskningsmetode for økonomisk-administrative fag*. 3. utg. Oslo: Abstrakt forlag.
- Kinner, P. R., Gray, C. D. (2010) *PASW statistics 17 made simple*. Hove: Psychology Press.
- Kolbein, B. (2009) *Elementmetoden*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/elementmetoden> (Hentet: 11. mai 2016).
- Kolman, B., Hill, D. R. (2008) *Elementary linear algebra with applications*. 9. utg. Upper Saddle River, N.J.: Pearson Education.
- Lewis, Nithiarasu og Seetharamu (2004) *Fundamentals of the Finite Element Method for Heat and Fluid Flow* England: John Wiley & Sons Ltd.

Litteraturliste

Løvås, G.G (2013) *Statistikk for universiteter og høyskoler*. 3. utg. Oslo: Universitetsforlaget.

Madill, W., Hulaas, H. (1985) *Fluidmekanikk*. 1. utg. Rud: NKI-forlaget.

NRK (2016) *Fra fyrstikker og taubane til offshoresuksess*. Tilgjengelig fra: <http://www.nrk.no/ho/xl/fra-fyrstikker-og-taubane-til-offshoresuksess-1.12783146> (Hentet: 11. mai 2016).

Perlman, H. (2016) *Water density*. Tilgjengelig fra: <http://water.usgs.gov/edu/density.html> (Hentet: 12.05.2016).

Rognsaa, A. (2015) *Bacheloroppgaven*. 1. utg. Oslo: Universitetsforlaget.

Sælen, O.H. (2014) *hav*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/hav> (Hentet: 12. april 2016)

Tafreshi, H. V., Pourdeyhimi, B. (2004) Cavitation and Hydraulic Flip. *Fluent NEWS*, s.38.

Youtube (2013) *The Largest Submarine in The U.S. Navy*. Tilgjengelig fra: <https://www.youtube.com/watch?v=UxB11eAl-YE> (Hentet: 14. april 2016).

7 Vedlegg

Vedlegg 1. Vitenskapelig metode	73
Vedlegg 2. Aktivitets- og ressursplan	77
Vedlegg 3. Risiko – Grovanalyse	77
Vedlegg 4. FMEA	78
Vedlegg 5. Estimering av virkningsgrad	79
Vedlegg 6. Utvikling av testsystem	86
Vedlegg 7. Monteringsanvisning for testsystem	95
Vedlegg 8. SJA for testgjennomføring	98
Vedlegg 9. Anslag av nødvendig antall testser	104
Vedlegg 10. Testprosedyre	106
Vedlegg 11. Testresultat: Behandling av rådata	118
Vedlegg 12. Testresultat: Datasammendrag	126
Vedlegg 13. Testresultat: Rådata og beregninger	126
Vedlegg 14. Avvikende dysediameter	128
Vedlegg 15. Kontrollmåling av testdyser	129
Vedlegg 16. Beregning av testsystemets reproduserbarhet	129
Vedlegg 17. Resultater fra FEM-analyse	132
Vedlegg 18. Sprengskisser av testsystem	134
Vedlegg 19. Arbeidstegning: Dobbeltvirkende sylinder	136
Vedlegg 20. Arbeidstegning: Testbøtte	138
Vedlegg 21. Arbeidstegning: Akkumulatorramme	140
Vedlegg 22. Arbeidstegning: Dyser og adapter	144

Vedlegg 1. Vitenskapelig metode

Tema

Dysetest.

Foreløpig problemstilling

Kvantifisere energitapet som oppstår ved vanngjennomstrømning i én dyse.

Definisjoner brukt i metoden

- Kvantifisere: Uttrykke i målbare størrelser
- Energitap: Energi som ikke overføres til kinetisk energi ved vanngjennomstrømning
- Vanngjennomstrømning: Vann strømmer ut gjennom dysen
- Dyse: Et sirkulært hull med en gitt tverrsnittsgeometri
- Tverrsnittsgeometri: Hvordan dysen ser ut i et tverrsnitt langs lengderetningen.

Objekt:

Energitapet

Teoretiske variabler

1. Gjennomstrømningshastighet i dyse
2. Dyseutforming

Forskningsskisse

Kvantifisere energitapet som oppstår ved vanngjennomstrømningen i én dyse som følge av trykket som oppstår i sylindren ved havbunnkontakt og dysens diameter, tverrsnittsgeometri og overflateruhet.

Empiriske variabler

1. Gjennomstrømningshastighet i dyse
 1. Volumendring i sylinder
 2. Beregninger gjennom elementmetoden
2. Dyseutforming
 1. Dysediameter
 2. Tverrsnittsgeometri

3. Overflateruhet

Validitet

Vannet skal strømme gjennom en veldig liten dyse på kort tid som følge av stor trykkforskjell mellom utsiden og innsiden av sylindere. Gjennomstrømningshastigheten er vanskelig å måle direkte under slike ekstreme forhold, derfor har vi valgt å måle denne ved hjelp av en omvei via volumendring i sylindere og tid.

Videre tenkes det å styrke resultatene ved hjelp av ANSYS. Beregninger gjennom elementmetoden kan representere virkeligheten på en god måte, så lenge man har tilstrekkelig datakraft til å simulere tilstrekkelig antall noder og angir hensiktsmessige grensebetingelser. Men også da må man godta visse forenklinger av virkeligheten i simuleringene, så validiteten til simuleringene er ikke god nok i seg selv, men brukt sammen med resultater fra reelle empiriske tester vil det gi en god indikasjon om resultatene vi kommer frem til ligger i riktig område.

Validiteten til de tre variablene under dyseutforming er meget god, da disse har direkte tilknytning til utformingen av dysen og vil være med påvirke energitapstørrelsen.

Datavariabler

1. Gjennomstrømningshastighet i dyse
 1. Volumendring i sylindere
 1. Posisjonssensor på sylindrestang
 2. Derivasjon av posisjonsdata for å finne hastigheten til stampelet
 3. Trykksensor ved dysen
 4. Beregning på samme tidsintervall for ønsket trykk med tilhørende hastighet
 2. Beregninger gjennom elementmetoden
 1. Simulering i ANSYS samme situasjon med samme betingelser
2. Dyseutforming
 1. Dysediameter
 1. Målt med måleur med 1/100 mm nøyaktighet
 2. Tversnittsgeometri
 1. Målt med skyvelære og eventuelt radielære
 3. Overflateruhet

1. Medberegnes teoretisk

Reliabilitet

Volumendringen i sylindringen måles ved hjelp av en sensor som registrerer posisjonen til stempelstangen, dette registreres gjennom en datalogger, og vi kan hente ut en graf med posisjon- og tidsakse. Gjennom geometriregning finner vi gjennomstrømningshastigheten gjennom dysen da dysen er eneste åpning vannet slipper gjennom. Reliabiliteten til resultatene avhenger av nøyaktigheten og målefrekvensen til sensorene og programvaren, denne skal være veldig god i tillegg til at reliabiliteten vil forsterkes ved at testene gjentas flere ganger og resultatene sammenlignes. For å kontrollere at testen gjennomføres under mest mulig realistiske forhold vil trykket i sylindringen også logges og overvåkes under testen, slik at vi kan hente ut testresultater fra tidsintervall med riktig trykkforhold i sylindringen.

Programvaren vi skal bruke til å simulere testen, ANSYS, er noe av det beste som fins på markedet til elementberegninger. Begrensningen vil heller være kompetansen til personen som bruker programvaren. Om personen har tilstrekkelig kompetanse til å sette opp en så virkelighetsnær simulering som mulig, vil denne simuleringen gi en god reliabilitet. For at simuleringsresultatene skal være pålitelige er det også viktig at de tolkes av kompetente personer. For å sikre god reliabilitet vil vi underveis rådføre oss med personer med høy kompetanse på området.

Reliabiliteten til målingene av dysediameter vil bli svært god, da vi planlegger å benytte måleur med nøyaktighet 1/100 mm og avlesning 1/1000 mm. Vi tror ikke vi vil få tilgang til nøyaktig målemaskin for å måle innvendig geometri, så her vil vi benytte skyvelære og radielære for å kontrollere at tverrsnittsgeometrien er i henhold til planen/tegninger. Derfor blir reliabiliteten til kontroll av tverrsnittsgeometri noe dårligere.

Overflateruhet i dysen tas med i de teoretiske beregningene, mens i virkeligheten vil det bli vanskelig å måle overflaten inne i én dyse på en til tre millimeter. Derfor vil vi ikke benytte noe nøyaktig måleinstrument for å måle overflaten, men vi vil benytte overflatemaler og maskinere dysene med optimale skjærhastigheter. Slik at vi har kontroll over overflateruheten og sikrer et pålitelig svar.

Forskningsdesign

Målet med prosjektet er å identifisere energitapet som oppstår ved vanngjennomstrømning i én dyse, for å kunne forklare i hvilken grad dyseutformingen bremser vanngjennomstrømning i en Soft Landing Cylinder (SLC). Det skal utvikles en nøyaktig testmetode som representerer dysene i SLC i bruk. Hvor det i reell situasjon er snakk om at SLC møter havbunnen og et stempel presser vannet i sylindren innover med et høyt trykk, dette vannet skal gjennom dysene. Videre skal det gjennomføres dysetester og simuleres samme situasjon med elementmetoden for å kunne benytte metodetriangulering. Dette skal gi bedriften en bedre SLC produktforståelse hvor resultatet er kvalitetssikret.

Grunnlaget for kvantifisering av energitapet baseres på en systematisk test hvor det logges volumendring og trykk. Dette kan brukes til å beregne tapskonstanten når man sammenligner virkeligheten opp mot den idealistiske Bernoullis likning uten tap. Denne testmetoden vil også simuleres likt i ANSYS, hvor resultatet benyttes i metodetriangulering.

Endelig problemstilling

Hva er energitapet som oppstår når vann strømmer ut gjennom én dyse? Hvor kvantifiseringen skjer gjennom metodetriangulering basert på fysisk- og teoretisk test.

Vedlegg 2. Aktivitets- og ressursplan

Klikk på ikonet for å åpne Excel-filen med prosjektets Aktivitets- og ressursplan:

Vedlegg 3. Risiko – Grovanalyse

Milepæl	Utfordring	Skala 1-10, hvor 1 er lav og 10 er høy		S x K = R
		Sannsynlighet	Konsekvens	
1.Grov prosjektplan	Gjennomført	0	3	0
2. Identifisert virkemåte av produkt	Gjennomført	0	9	0
3. Avklart tapsfaktorer som eksisterende i dys	Gjennomført	0	10	0
4. Skissert testmetode	Gjennomført	0	5	0
5. Komplettest prosjektplan	Gjennomført	0	6	0
6. Bestemt testmetode:	Gjennomført	0	10	0
7. Simulert endelig testmetode i ANSYS:	Tolkning av resultater	5	8	40
8. Gjennomført fysisk testmetode:	Uforutsette problemer oppstå	7	7	49
9. Fullført metodetriangulering:	Uklar korrelasjon	4	6	24
10. Rapport: Første utkast:	Ikke tid til bearbeiding	3	5	15
11. Rapport: Endelig versjon:	Ikke tid til bearbeiding	3	10	30

Vedlegg 4. FMEA

Nr	Aktivitet	Feilmodi	Årsak	Konsekvens	Po	Pd	S	RPN	Risikoreduserende tiltak	Merknad
7	Simulert endelig testmetode i ANSYS									
7.1	Design av testsystemet i SolidWorks for å representere testmetoden	Feildesign	Slurv	Uklar analyse	3	2	9	54	Hele gruppa gjennomfører designet	
7.2	Litteraturstudie for å forstå fluidmekanikk pakken i ANSYS	Overser detaljer	Ikke systematisk gjennomgang	Simulerer urealistisk situasjon	6	8	10	480	Dele manualen i 3, lese hver vår del, lage tankekart av relevant stoff, grundig gjennomgang av alle på utvalgte punkter	
7.3	Avklart grensebetingelser for å simulere samme testmetode	Kobler ikke teori og virkelighet	Mangelfulle ferdigheter	Simulerer urealistisk situasjon	4	7	8	224	Diskusjon med veileder	Mye hjelp å få
7.4	Analyse av testresultater	Feilaktig tolkning	Resultatene er for komplekse ift. kunnskapsnivå	Ikke noe grunnlag for metodetriangulering	3	2	8	48	Diskusjon med veileder og EAB	Mye hjelp å få
8	Gjennomført fysisk testmetode									
8.1.1	Produksjon av rammeverk	Mangler rammeverk til testen	Dårlig planlegging ift. produksjonstid	Testen utsettes	3	1	6	18	Bestill utstyrstid og sett av tid til produksjon	Enkelt rammeverk
8.2.1	Innsamling av testutstyr	Bestiller utstyr sent	Dårlig planlegging	Testen utsettes	4	4	8	128	Avklar kravspesifikasjon tidlig	
8.2.2	Innsamling av testutstyr	Forsinket leveranse	Dårlig logistikk hos leverandør	Testen utsettes	2	2	5	20	Bestill fra kjent leverandør	Kan bestille ekspress fra andre leverandører v/mangel på lager
8.2.3	Innsamling av testutstyr	Feil/defekt utstyr	Mangelfull kvalitetskontroll hos leverandør	Testen utsettes	2	4	7	56	Bestill fra kjent leverandør	Snakk om få deler
8.3.1	Montering og klargjøring for test	Komponenter passer ikke	Brukt for lite tid på konstruksjon	Testen utsettes	7	4	7	196	Grundig gjennomgang av alle før det bestilles samt diskusjon med EAB	
8.3.2	Montering og klargjøring for test	Utilgjengelig testhall	Allerede i bruk	Testen utsettes	2	2	5	20	Bestill testhall tid	Sjeldent i bruk veldig lenge
8.3.3	Montering og klargjøring for test	Uforutsette komponent mangler	Brukt for lite tid på konstruksjon	Testen utsettes	5	4	8	160	Sett av tid til uforutsette hendelser.	
8.4.1	Testgjennomføring	Lite brukervennlig testsystem	For lite tid på planlegging	Økt tidsbruk, mindre representative resultater	4	8	7	224	Lag en god testprosedyre	
8.4.2	Testgjennomføring	Underdimensjonering, komponenter ryker under testing	For lite research	Testen utsettes	3	6	8	144	Benytte en sikkerhetsfaktor når testutstyr dimensjoneres	Høy konsekvens når det nærmer seg rødedager
8.5.1	Grovanalyse for å se om vi har nok representative data	Avslutter testen for tidlig	Godtar uklare resultater	Tap av tid pga. utstyr demonteres	3	9	8	216	Følg testprosedyren til punkt og prikke	Mye hjelp å få til grovanalyse
8.5.2	Grovanalyse for å se om vi har nok representative data	Data er ikke representative	Testmetode må endres eller kjøres flere ganger	Ny test utsettes	6	6	10	360	Planlegge den originale testen godt	Stort tidspress gir høy konsekvens
8.6.1	Demontering og rydding	Utstyr ødelegges under demontering	Uforsiktighet	Økte kostnader for EAB	2	2	4	16	Samarbeid på dyre komponenter	
8.7.1	Analysering av testen	Lite brukervennlig datalogging resultater	Mangelfulle ferdigheter	Økt tidsbruk, lesing av manual & litteratur	5	3	7	105	Les manualen	
8.7.2	Analysering av testen	Svak sammenheng mellom resultatene	Dårlig reliabilitet på måledata	Oppgaven skaper ingen merverdi	4	5	10	200	Sikre at målemetoden er reliabel	

Vedlegg 5. Estimering av virkningsgrad

Dyse 10-60-30

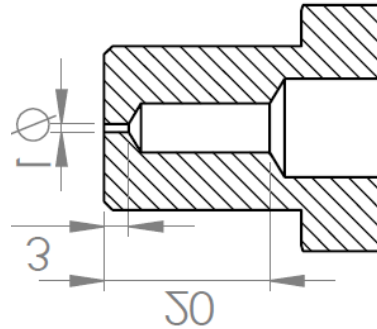
Det forutsettes et tap ved dyseinngangen som følge av en ikke avrundet dyseinngang, og et tap som følge av ekspansjon ved dysens utgang. Dysen er for kort til at det vil forekomme friksjonstap av betydning. Dette gjelder til og med dyse 30-60-30.

$$K_{innng} = 0,50$$

$$d/D = 1/6 = 0,17 \Rightarrow K_{eksp} = 0,70$$

$$\Sigma K = K_{innng} + K_{eksp} = 0,50 + 0,70 = 1,20$$

$$\eta_{dyse10-60-30} = \frac{1}{1 + \Sigma K} = \frac{1}{1 + 1,20} = \underline{\underline{0,45}}$$



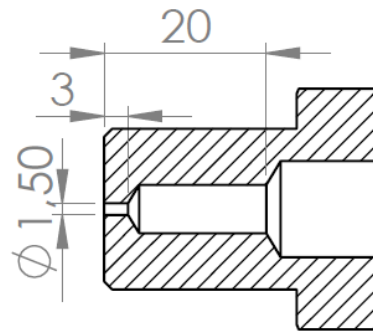
Dyse 15-60-30

$$K_{innng} = 0,50$$

$$d/D = 1,5/6 = 0,25 \Rightarrow K_{eksp} = 0,55$$

$$\Sigma K = K_{innng} + K_{eksp} = 0,50 + 0,55 = 1,05$$

$$\eta_{dyse15-60-30} = \frac{1}{1 + \Sigma K} = \frac{1}{1 + 1,05} = \underline{\underline{0,49}}$$



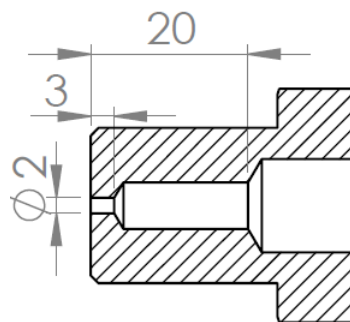
Dyse 20-60-30

$$K_{innng} = 0,50$$

$$d/D = 2/6 = 0,33 \Rightarrow K_{eksp} = 0,42$$

$$\Sigma K = K_{innng} + K_{eksp} = 0,50 + 0,42 = 0,90$$

$$\eta_{dyse20-60-30} = \frac{1}{1 + \Sigma K} = \frac{1}{1 + 0,90} = \underline{\underline{0,53}}$$



Vedlegg

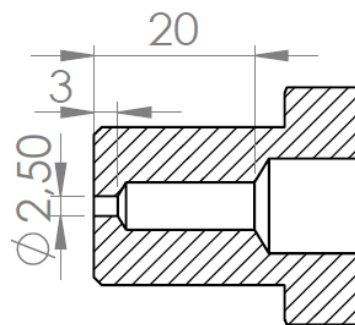
Dyse 25-60-30

$$K_{inng} = 0,50$$

$$d/D = 2,5/6 = 0,42 \Rightarrow K_{eksp} = 0,32$$

$$\Sigma K = K_{inng} + K_{eksp} = 0,50 + 0,32 = 0,82$$

$$\eta_{dyse25-60-30} = \frac{1}{1 + \Sigma K} = \frac{1}{1 + 0,82} = \underline{\underline{0,55}}$$



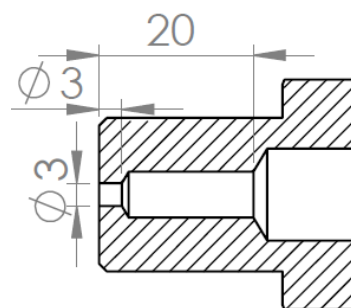
Dyse 30-60-30

$$K_{inng} = 0,50$$

$$d/D = 3/6 = 0,50 \Rightarrow K_{eksp} = 0,24$$

$$\Sigma K = K_{inng} + K_{eksp} = 0,50 + 0,24 = 0,74$$

$$\eta_{dyse30-60-30} = \frac{1}{1 + \Sigma K} = \frac{1}{1 + 0,74} = \underline{\underline{0,57}}$$



Tap som følge av friksjon

For dysene med lengde lik henholdsvis 10 og 20 mm, altså dysene der nummereringen ender med ..-60-100 og ..-60-200, er det fornuftig å anta at det vil forekomme et friksjonstap på grunn av dysens lengde. Som forklart i 2.3.1 kan dette beskrives som en K-verdi ved følgende likning:

$$K_{friksjon} = f \frac{L}{d}$$

Der alle tre variablene vil variere avhengig av dysens utforming. For å holde estimeringen av K-verdiene mest mulig ryddig og oversiktlig beregnes friksjonskoeffisienten f på forhånd, for hver respektiv dysediameter. Det er under 2.3.2 beregnet at for alle aktuelle dyser vil dysegjennomstrømningen være turbulent. I følge Janna (1993) må derfor friksjonskoeffisienten f bestemmes ved hjelp av et Moody-diagram. Det tas utgangspunkt i at vanntrykket P er 200 bar, som gir følgende utløpshastighet for dysen:

$$v = \sqrt{\frac{2P}{\rho(1+K)}} = \sqrt{\frac{2 * 200 * 10^5 \text{ Pa}}{1000 \text{ kg/m}^3 (1+0,9)}} = 145 \text{ m/s}$$

Vedlegg

Reynolds tall øker når dysediameteren øker. Reynolds tall beregnes derfor for respektive dysediametre:

$$P=200 \text{ bar}$$

$$v=145 \text{ m/s}$$

$$\mu=1,519 \cdot 10^{-3} \text{ Ns/m}^2$$

$$\text{Re}_{d=1\text{mm}} = \frac{\rho v D}{\mu} = \frac{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 145 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0,001\text{m}}{1,519 * 10^{-3} \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2}} \approx 95500$$

$$\text{Re}_{d=2\text{mm}} = \frac{\rho v D}{\mu} = \frac{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 145 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0,002\text{m}}{1,519 * 10^{-3} \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2}} \approx 191000$$

$$\text{Re}_{d=3\text{mm}} = \frac{\rho v D}{\mu} = \frac{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 145 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0,003\text{m}}{1,519 * 10^{-3} \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2}} \approx 286500$$

I følge Moody-diagrammet på side 229 i «Introduction to Fluid Mechanics» av W. Janna (1993) må det gjøres en forutsetning angående overflateruhet for å bestemme friksjonsfaktoren f . Når dysehullene maskineres i SLC benyttes et vanlig spiralbor. Det er grunn til å anta dysehullene gjennomgår noe finere bearbeiding enn normalt. Det forutsettes derfor at overflateruheten er lik grenseverdien mellom normal og finbearbeiding for boring definert av Hartvigsen (et. al. 2012), overflateruheten ε settes derfor lik $1,6 \mu\text{m}$.

Friksjonsfaktoren beregnes så for hver respektive dysediameter, 1, 2 og 3 mm:

- $d=1 \text{ mm}$, $\varepsilon=1,6 \mu\text{m}$ og $\text{Re} = 95\ 000 \Rightarrow \varepsilon/d=1,6 \cdot 10^{-3} \Rightarrow f=0,023$
- $d=2 \text{ mm}$, $\varepsilon=1,6 \mu\text{m}$ og $\text{Re} = 191\ 000 \Rightarrow \varepsilon/d=0,8 \cdot 10^{-3} \Rightarrow f=0,021$
- $d=3 \text{ mm}$, $\varepsilon=1,6 \mu\text{m}$ og $\text{Re} = 286\ 000 \Rightarrow \varepsilon/d=0,5 \cdot 10^{-3} \Rightarrow f=0,019$

Som vist gir endret dysediameter veldig lite utslag på friksjonskoeffisienten f . Det velges allikevel å inkludere denne i estimeringen av K -verdi for de lengre dysene der nummereringen ender med ..-60-100 og ..-60-200.

Dyse 10-60-100

Det forutsettes et tap ved dyseinngangen som følge av en ikke avrundet dyseinngang, og et tap som følge av ekspansjon ved dysens utgang. Denne dysen inkludert de 2 neste har en lengde lik 10 mm, og det forutsettes at det vil forekomme tap som følge av friksjon. Det er funnet en friksjonsfaktor f med utgangspunkt i et Reynolds tall for vanntrykket P lik 200 bar.

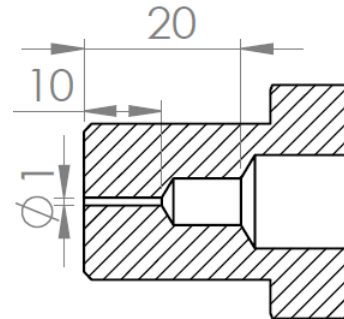
$$K_{innng} = 0,50$$

$$d/D = 1/6 = 0,17 \Rightarrow K_{eksp} = 0,70$$

$$K_{friksj} = f \frac{L}{d} = 0,023 * \frac{10mm}{1mm} = 0,23$$

$$\Sigma K = K_{innng} + K_{eksp} + K_{friksj} = 0,50 + 0,70 + 0,23 = 1,43$$

$$\eta_{dyse10-60-100} = \frac{1}{1 + \Sigma K} = \frac{1}{1 + 1,43} = \underline{\underline{0,41}}$$



Dyse 20-60-100

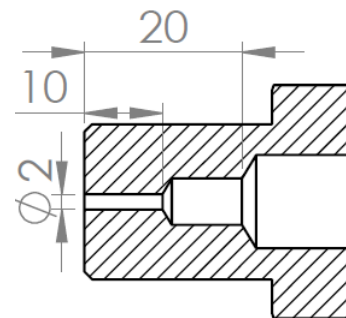
$$K_{innng} = 0,50$$

$$d/D = 2/6 = 0,33 \Rightarrow K_{eksp} = 0,42$$

$$K_{friksj} = f \frac{L}{d} = 0,021 * \frac{10mm}{2mm} = 0,10$$

$$\Sigma K = K_{innng} + K_{eksp} + K_{friksj} = 0,50 + 0,42 + 0,10 = 1,02$$

$$\eta_{dyse20-60-100} = \frac{1}{1 + \Sigma K} = \frac{1}{1 + 1,02} = \underline{\underline{0,49}}$$



Dyse 30-60-100

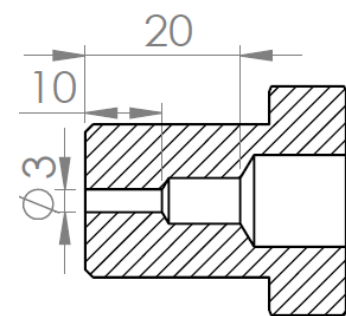
$$K_{innng} = 0,50$$

$$d/D = 3/6 = 0,5 \Rightarrow K_{eksp} = 0,24$$

$$K_{friksj} = f \frac{L}{d} = 0,019 * \frac{10mm}{3mm} = 0,06$$

$$\Sigma K = K_{innng} + K_{eksp} + K_{friksj} = 0,50 + 0,24 + 0,06 = 0,80$$

$$\eta_{dyse30-60-100} = \frac{1}{1 + \Sigma K} = \frac{1}{1 + 0,80} = \underline{\underline{0,55}}$$



Dyse 10-60-200

Det forutsettes et tap ved dyseinngangen som følge av en ikke avrundet dyseinngang, og et tap som følge av ekspansjon ved dysens utgang. Denne dysen inkludert de 2 neste har en lengde lik 20 mm, og det forutsettes at det vil forekomme tap som følge av friksjon. Det er funnet en friksjonsfaktor f med utgangspunkt i et Reynolds tall for vanntrykket P lik 200 bar.

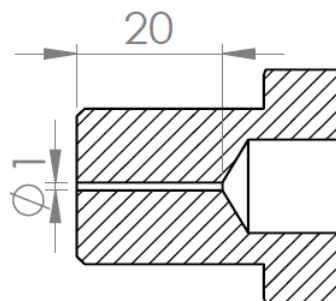
$$K_{inng} = 0,50$$

$$d/D = 1/6 = 0,17 \Rightarrow K_{eksp} = 0,70$$

$$K_{friksj} = f \frac{L}{d} = 0,023 * \frac{20mm}{1mm} = 0,46$$

$$\Sigma K = K_{inng} + K_{eksp} = 0,50 + 0,70 + 0,46 = 1,66$$

$$\eta_{dyse10-60-200} = \frac{1}{1 + \Sigma K} = \frac{1}{1 + 1,66} = \underline{\underline{0,38}}$$

**Dyse 20-60-200**

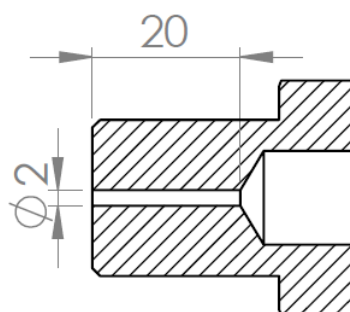
$$K_{inng} = 0,50$$

$$d/D = 2/6 = 0,33 \Rightarrow K_{eksp} = 0,42$$

$$K_{friksj} = f \frac{L}{d} = 0,021 * \frac{20mm}{2mm} = 0,21$$

$$\Sigma K = K_{inng} + K_{eksp} = 0,50 + 0,42 + 0,21 = 1,13$$

$$\eta_{dyse20-60-200} = \frac{1}{1 + \Sigma K} = \frac{1}{1 + 1,13} = \underline{\underline{0,47}}$$

**Dyse 30-60-200**

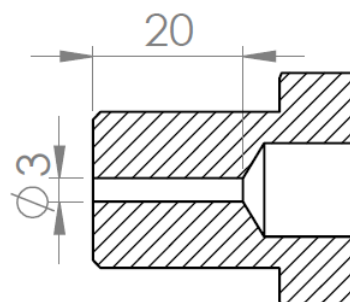
$$K_{inng} = 0,50$$

$$d/D = 3/6 = 0,50 \Rightarrow K_{eksp} = 0,24$$

$$K_{friksj} = f \frac{L}{d} = 0,019 * \frac{20mm}{3mm} = 0,13$$

$$\Sigma K = K_{inng} + K_{eksp} = 0,50 + 0,24 + 0,13 = 0,87$$

$$\eta_{dyse30-60-200} = \frac{1}{1 + \Sigma K} = \frac{1}{1 + 0,87} = \underline{\underline{0,53}}$$



Vedlegg

Dyse 20-80-30

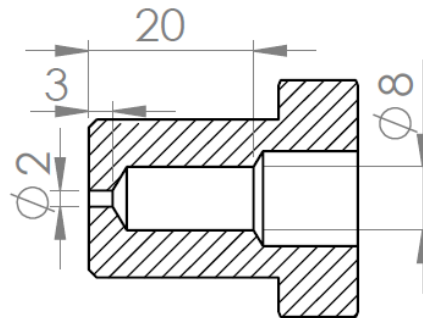
Det forutsettes et tap ved dyseinngangen som følge av en ikke avrundet dyseinngang, og et tap som følge av ekspansjon ved dysens utgang. Dysen er for kort til at det vil forekomme friksjonstap av betydning. Dette gjelder for denne dysen i tillegg til dyse 20-100-30.

$$K_{inng} = 0,50$$

$$d/D = 2/8 = 0,25 \Rightarrow K_{eksp} = 0,60$$

$$\Sigma K = K_{inng} + K_{eksp} = 0,50 + 0,60 = 1,10$$

$$\eta_{dyse20-80-30} = \frac{1}{1 + \Sigma K} = \frac{1}{1 + 1,10} = \underline{\underline{0,48}}$$



Dyse 20-80-30-F05

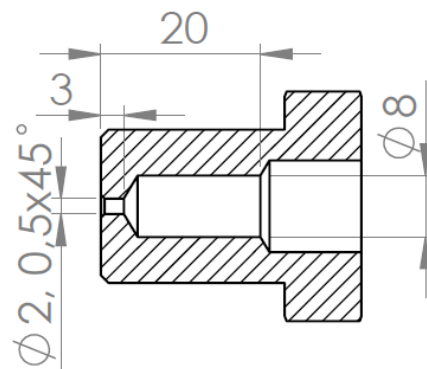
Det forutsettes et tap ved dyseinngangen som følge av en dyseinngang med fas lik $0,5 \times 45^\circ$, og et tap som følge av ekspansjon ved dysens utgang. Dysen er for kort til at det vil forekomme friksjonstap av betydning.

$$K_{inng} = 0,23$$

$$d/D = 2/8 = 0,25 \Rightarrow K_{eksp} = 0,60$$

$$\Sigma K = K_{inng} + K_{eksp} + K_{friksj} = 0,23 + 0,60 = 0,83$$

$$\eta_{dyse20-80-30-F05} = \frac{1}{1 + \Sigma K} = \frac{1}{1 + 0,83} = \underline{\underline{0,55}}$$



Vedlegg

Dyse 20-80-30-F10

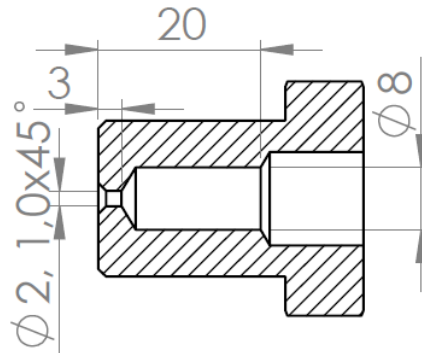
Det forutsettes et tap ved dyseinngangen som følge av en dyseinngang med fas lik $1.0 \times 45^\circ$, og et tap som følge av ekspansjon ved dysens utgang. Dysen er for kort til at det vil forekomme friksjonstap av betydning.

$$K_{inng} = 0,23$$

$$d/D = 2/8 = 0,25 \Rightarrow K_{eksp} = 0,60$$

$$\Sigma K = K_{inng} + K_{eksp} = 0,23 + 0,60 = 0,83$$

$$\eta_{dyse20-80-30-F10} = \frac{1}{1 + \Sigma K} = \frac{1}{1 + 0,83} = \underline{\underline{0,55}}$$

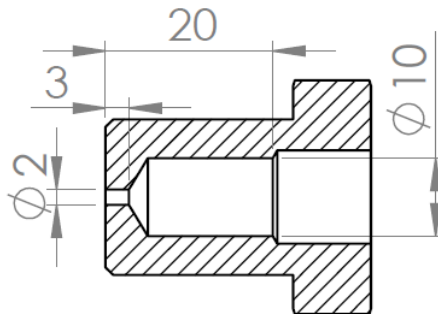


Dyse 20-100-30

$$d/D = 2/10 = 0,20 \Rightarrow K_{eksp} = 0,65$$

$$\Sigma K = K_{inng} + K_{eksp} = 0,50 + 0,65 = 1,15$$

$$\eta_{dyse20-100-30} = \frac{1}{1 + \Sigma K} = \frac{1}{1 + 1,15} = \underline{\underline{0,46}}$$



Vedlegg 6. Utvikling av testsystem

For å kunne bestemme hvordan testsystemet skulle bygges opp og hvilke komponenter som skulle benyttes ble det satt opp en kravspesifikasjon, i hovedsak basert på maksimal dysestørrelse som skulle testes og maksimalt testtrykk som skulle benyttes. Det var da to testforutsetninger som måtte undersøkes for å bestemme hvilken som krevde kraftigst komponenter. Lengden på en testsekvens sees på som kritisk under dimensjonering. Det beregnes derfor hvilken av de to forutsetningene som fører til en kortest testsekvens, og settes derfor som dimensjonerende.

Forutsetning 1:

- Dysediameter: 3 mm
- Testtrykk: 300 Bar

Forutsetning 2:

- Dysediameter: 4,5 mm
- Testtrykk: 100 bar

Det ble tidlig satt som et krav at en dyse med dysediameter d lik 3 mm skulle testes ved 300 bar, da dette er største diameter og høyeste trykk som er aktuelt for SLC. Det ble allikevel sett på som ønskelig å teste dyser med større diameter, for å skape et sikrere empirisk beslutningsgrunnlag.

For å bestemme hvilken forutsetning som var dimensjonerende ble det tatt utgangspunkt i den noe modifiserte Bernoullis likning (9) i 2.3.1:

$$v = \sqrt{\frac{2P}{\rho(1+K)}}$$

Dysens volumgjennomstrømning er uttrykt ved følgende likning:

$$\dot{V} = vA = v \frac{\pi}{4} d_{dyse}^2$$

Vedlegg

Likning (9) settes inn for v i likningen ovenfor, dette gir følgende:

$$\dot{V} = \frac{\pi}{4} \sqrt{\frac{2P}{\rho(1+K)}} d_{dyse}^2$$

Der $P = 300 \text{ bar} = 300 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ og $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$. K velges ut fra estimatet gjort i vedlegg (X.X) for dyse 30-60-30, og det forutsettes at K er lik for dysediameter 3 mm og 4,5 mm.

Insatt verdier for henholdsvis forutsetning 1 og 2 i likning (21) gir:

$$\dot{V}_{3,0mm} = \frac{\pi}{4} \sqrt{\frac{2 \cdot 300 \cdot 10^5 \text{ Pa}}{1000 \text{ kg/m}^3 (1 + 0,74)}} \cdot (0,003\text{m})^2 = \underline{\underline{89 \text{ l/min}}}$$

$$\dot{V}_{4,5mm} = \frac{\pi}{4} \sqrt{\frac{2 \cdot 100 \cdot 10^5 \text{ Pa}}{1000 \text{ kg/m}^3 (1 + 0,74)}} \cdot (0,0045\text{m})^2 = \underline{\underline{102 \text{ l/min}}}$$

På grunnlag av beregningene ovenfor ble forutsetning 2 dimensjonerende bestemt å være dimensjonerende, da denne forutsetningen krever en størst volummengde tilført vann per tid. Derfor ble systemets krav til vanngjennomstrømning satt til 102 liter per minutt ved et vanntrykk P likt 100 bar.

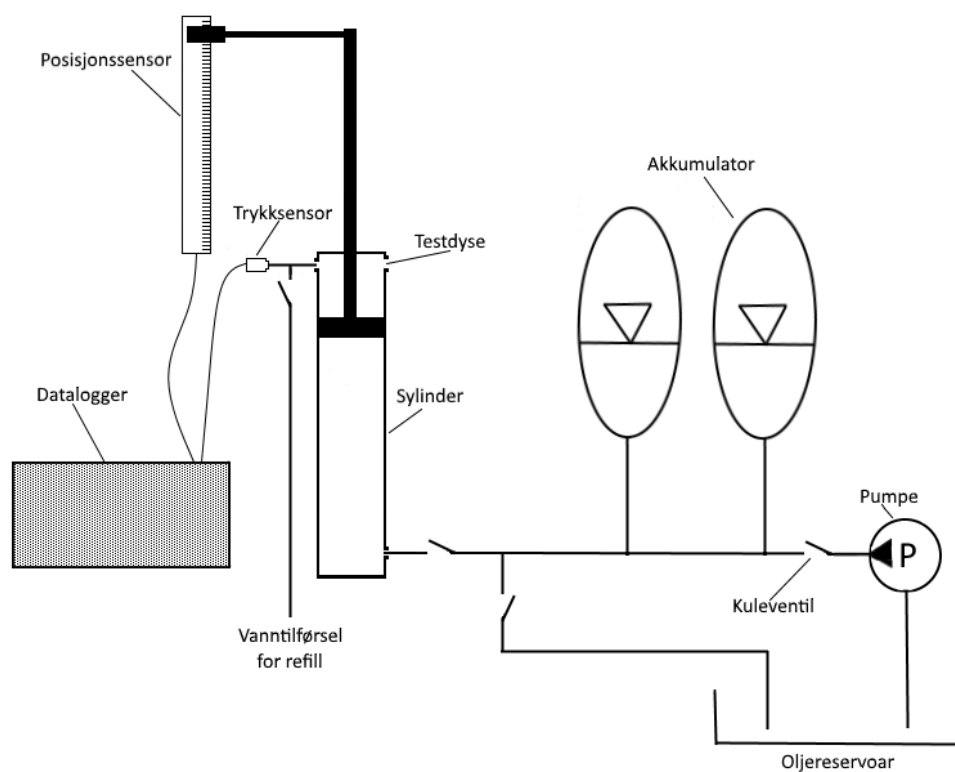
VURDERING AV LØSNINGER

Det ble videre vurdert ulike løsninger for å oppfylle dette kravet. Første løsning som ble sett på var å benytte en høytrykks vannpumpe. Denne løsningen ble forholdsvis tidlig vurdert til å ikke være gjennomførbar i praksis, da en slik Pumpe koster typisk flere hundre tusen. Hele systemet ville også blitt dyrt og komplisert, som gjør at også risikoen omkring prosjektet øker.

Et annet alternativ som ble vurdert var å benytte en hydraulikkpumpe, for så å overføre trykket fra oljen til vannet på en eller annen måte. Det å finne en hydraulikkpumpe som leverer 102 liter per minutt ved 100 bar viste seg også å være en dyr utfordring. Det ble også sett på som et problem at hydraulikkpumpen ikke nødvendigvis ville klare å holde oljetrykket stabilt gjennom en hel testsekvens, noe som kunne gi varierende og unøyaktige måleresultater.

Vedlegg

Etter mange runder med idemyldring og veiledningsmøter med kontaktpersoner hos EAB ble det sett på som en mulighet å overføre væsketrykket fra olje til vann gjennom en dobbeltvirkende hydraulikkylinder, og å lagre nødvendig oljemengde for én testsekvens i en hydraulikkakkumulator. Dette ville gjøre at hydraulikkpumpen kun benyttes for å fylle akkumulatoren med olje til et gitt trykk oppnås, slik at kun akkumulatoren forsyner den dobbeltvirkende sylindren med olje gjennom testen. Dette førte frem til en prinsippskisse for testsystemet som vist nedenfor.



TILGJENGELIG UTSTYR

Akkumulatorens virkemåte er forklart under teorikapittelet. En begrensing ved å benytte akkumulator som oljekilde er at man må tillate et visst trykkfall etterhvert som akkumulatoren utlades. Det var derfor nødvendig å sette et krav til hvor stort dette trykkfallet kunne være. Dette ble sammen med forutsetning angående nødvendig oljemengde per testsekvens benyttet til å beregne hvor store akkumulatorene som ville være nødvendige.

Vedlegg

Etter nok et veiledningsmøte med EAB ble det lagt fram hva de hadde tilgjengelig av utstyr, som ble bestilt når de startet planleggingen for flere år siden. Dette var følgende:

- Dobbeltvirkende hydraulikksylinder, produsert i rustfritt stål, stempeldiameter D lik $\text{Ø}100$ mm, stempelstangdiameter d lik $\text{Ø}50$ mm og en slaglengde L_{syl} lik 500 mm. Denne hadde en port i bunn og to porter på stempelstangensiden. Arbeidstegning i vedlegg 19.
- 2 stk 50 liters blæreakkumulatorene, med maks tillatt arbeidstrykk på 335 bar.
- Hydraulikkaggregat som leverer minimum 250 bar oljetrykk
- Bøtte til montering av hydraulikksylinder, designet slik at sylinderen peker rett ned i bøtta med stempelstanga oppover. Testdysen plasseres i sylinderens minste kammer og spruter i bøtta for å hindre unødvendig vannsprut i testområdet. Videre føres oljekabel fra akkumulatorene og hydraulikkaggregatet ned i bøtta og kobles til sylinderens største kammer for stempelvirkning. Arbeidstegning av bøtta finnes i vedlegg 20.
- Datalogger og trykkmåler fra HBM

Det ble så vurdert i hvilken grad dette utstyret ville være egnet til testsystemet eller om noe nytt måtte bestilles. De avgjørende faktorene for om utstyret kunne benyttes ble vurdert til å være følgende:

1. Testesekvensens varighet: Vil testsekvensen være lang nok til at trykket stabiliseres og målingene blir nøyaktige?
2. Akkumulatorenes volum: Er det totale akkumulatorvolumet stort nok til å gjennomføre testen med lavere trykkfall enn maksimalt tillatt?

For å bestemme om innkjøpte komponenter var egnede ble det satt opp en enkel kravspesifikasjon:

- Dysediameter d_{dyse} lik 4,5 mm og vanntrykk P lik 100 bar er beregnet å sette største krav til volumstrøm, disse forutsetningene er derfor dimensjonerende.
- Vanntrykket får ikke falle mer enn 40 bar ($4 \cdot 10^6$ Pa) under testsyklusene

Vedlegg

Testsekvensens varighet

Dysens utløpshastighet kan som det går frem av likning (9) uttrykkes slik:

$$v_{dyse} = \sqrt{\frac{2P}{\rho(1+K)}}$$

Gitt en dysediameter d_{dyse} lik 4,5 mm, et vanntrykk P lik 100, K lik 0,7 og massetetthet ρ lik 1000 kg/m^3 gir dette innsatt i likningen for utløpshastighet følgende:

$$v_{dyse} = \sqrt{\frac{2 * 100 * 10^5 \text{ Pa}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} (1 + 0,74)}} = 107 \text{ m/s}$$

Arealforholdet mellom hydraulikksylinderen og dysen gir følgende forhold mellom stempelstanghastigheten $v_{stempel}$ og dysens utløpshastighet v_{dyse} :

$$v_{stempel} = v_{dyse} * \frac{d_{dyse}^2}{D^2 - d^2}$$

En dysediameter d_{dyse} lik 3 mm, sylinderens stempeldiameter D lik 100 mm, stempelstangdiameter d lik 50 mm og en dysehastighet v_{dyse} lik 107 m/s innsatt i likningen gir dette følgende stempelhastighet:

$$v_{stempel} = 107 \text{ m/s} * \frac{4,5^2}{100^2 - 50^2} = 0,29 \text{ m/s}$$

Sylinderens slaglengde L_{slag} er som det går fram av vedlegg 19 0,5 meter. Som det går fram av likningen vil stempelstangen maksimalt bevege seg med en hastighet 0,29 m/s. Det forutsettes videre at denne hastigheten er tilnærmet konstant, som er en god tilnærming. Testsekvensens varighet er da gitt ved:

$$t = \frac{L_{slag}}{v_{stempel}}$$

Vedlegg

Innsatt slaglengde (L_{slag}) lik 0,5 m og stempelhastigheten (v_{stempel}) lik 0,29 m/s gir:

$$t = \frac{0,5m}{0,29m/s} = 1,7s$$

Den korteste testsekvensen vil ha en estimert varighet lik 1,7 sekunder.

Basert på dette ble det foretatt en vurdering om en varighet på 1,7 sekunder er godt nok for å få stabile målinger. Siden både olje og vann er inkompressible væsker anses energitapet i form av å sette disse væskene i bevegelse som lite. Måleutstyret skulle være veldig nøyaktig, det ble planlagt å gjøre målingene med en målefrekvens på 50 Hz, det vil si 85 målinger i løpet av et 1,7 sekunder langt tidsintervall. Dette anses som godt nok til å få gode resultater, og det ble på grunnlag av dette besluttet at sylindere var egnet til testsystemet.

AKKUMULATORENES VOLUM

For å beregne trykkfallet gjennom en testsyklus forutsettes det at utladningen av akkumulatoren skjer så raskt at den kan betraktes som adiabatisk, det vil si at det ikke forekommer varmeoverføring til omgivelsene (Çengel, 2010). Totalt nødvendig akkumulatorvolum V_0 er da gitt ved likning (14), i 2.3.4:

$$V_0 = \frac{\Delta V}{\left(\frac{P_0}{P_1}\right)^{0,714} - \left(\frac{P_0}{P_2}\right)^{0,714}}$$

Der:

ΔV = nødvendig oljevolum

P_0 = Akkumulatorenes forladningstrykk

P_1 = Minimumskrav til oljetrykk under testen

P_2 = Maksimumskrav til oljetrykk under testen

Vedlegg

Nødvendig oljevolum ΔV er kjent, og er lik volumet av hydraulikksylinderens største kammer. Dette er gitt ved:

$$\Delta V = V_{syl} = \frac{\pi}{4} D^2 L$$

Innsatt hydraulikksylinderens stempeldiameter D lik 0,1 m i likning (X.X) gir:

$$\Delta V = \frac{\pi}{4} * (0,1m)^2 * 0,5m = 3,9l$$

Totalt akkumulatorvolum V_0 er også kjent, og er 100 liter.

Ukjent er da P_0 , P_1 og P_2 . For å finne disse er det nødvendig å sette krav til disse trykkene. Det er da nødvendig å sette en forutsetning angående forladningstrykket P_0 . P_0 settes vanligvis som en andel av minimumstrykket P_1 . I denne testen var det ønskelig med et lavest mulig trykkfall. For å få til dette må minimumstrykket være veldig likt forladningstrykket. Forladningstrykket ble på bestemt til å være 90 % av minimumstrykket, altså $P_0=0,9P_1$. Denne likningen settes inn for P_0 i likning (14).

Det var ønskelig at testtrykket som skulle testes befant seg midt i testintervallet. Følgende likning ble derfor etablert:

$$\bar{P}_{vann} = \frac{100^2}{100^2 - 50^2} * \frac{P_1 + P_2}{2} = \frac{4}{3} * \frac{P_1 + P_2}{2}$$

Likningen uttrykt med hensyn på P_1 gir:

$$P_1 = \frac{3}{2} \bar{P}_{vann} - P_2$$

Vedlegg

Dette gir følgende:

$$V_0 = \frac{\Delta V}{\left(\frac{0,9P_1}{P_1}\right)^{0,714} - \left(\frac{0,9\left(\frac{3}{2}\bar{P}_{vann} - P_2\right)}{P_2}\right)^{0,714}} = \frac{\Delta V}{0,9^{0,714} - \left(1,35\frac{\bar{P}_{vann}}{P_2} - 0,9\right)^{0,714}}$$

Uttrykt med hensyn på P_{vann} gir:

$$P_2 = \frac{1,35\bar{P}_{vann}}{\sqrt[0,714]{0,9^{0,714} - \frac{\Delta V}{V_0} + 0,9}}}$$

Innsatt verdiene $P_{vann}=300$ bar, $\Delta V=3,9$ liter og $V_0=100$ liter gir:

$$P_2 = \frac{1,35 * 300 * 10^5 Pa}{\sqrt[0,714]{0,9^{0,714} - \frac{3,9l}{100l} + 0,9}} = 232bar$$

$P_2=232$ bar innsatt i likningen for P_1 gir så:

$$P_1 = \frac{3}{2} * 300bar - 232bar = 218bar$$

Trykkfallet foran dysen gjennom en testsekvens ved 300 bar er da lik differansen mellom P_2 og P_1 ganget med en faktor for å korrigere mellom vann- og oljetrykk:

$$\Delta P_{test} = (P_2 - P_1) * \frac{100^2}{100^2 - 50^2}$$

Ved å sette inn P_1 og P_2 gir dette:

$$\Delta P_{test} = (232bar - 218bar) * \frac{100^2}{100^2 - 50^2} = 19bar$$

Vedlegg

Det vil altså forekomme et trykkfall på 19 bar gjennom en testsyklus ved et gjennomsnittlig testtrykk lik 300 bar. Antatt testtrykk ved start vil altså være omkring 310 bar, og trykket ved testsekvensens slutt vil være omkring 290 bar. Det er tidligere beregnet at dette trykkfallet vil skje gjennom et tidsintervall på omtrent 1,7 sekunder. Det tilsvarer et trykkfall på 12 bar/sek. Ved en testfrekvens på 50 Hz vil det altså bli gjort 50 målinger mens trykket faller 10 bar, Det gjøres altså målinger per 0,24 bar. Dette ansees som tilstrekkelig nøyaktig. Det konkluderes med dette at akkumulatorene er tilstrekkelig store.

VALG OG BESTILLING AV RESTERENDE KOMPONENTER

Etter at det var avklart at akkumulatorer og hydraulikksylinder var egnet for testen ble resten av testsystemet designet. Akkumulatorrammeverket og testdysene inkludert dyseadapter er vedlagt rapporten som selvstendige vedlegg. De ble egendesignet og produsert av en produksjonsbedrift i nærheten. Dyseadapteren var nødvendig for å kunne montere testdysene i hydraulikksylinderen og enkelt skifte de ut.

Det ble valgt å benytte en induktiv posisjonssensor med betegnelsen HBM WA L 500mm for å loggføre stempelstangens posisjon. Denne ble anbefalt av HBM, som hadde levert det øvrige loggingsutstyret. Dette sikret kompatibilitet mellom loggingskomponentene.

Den endelige utstyrsliste ble seende slik ut:

Komponent	Benyttet utstyr
Pumpe	Hydraulikkaggregat av ukjent merke, skulle levere minimum 250 bar oljetrykk
Akkumulator	2x 50 liter blæreakkumulator, Hydac SB 330-50A1/112U-345A
Hydraulikksylinder	DVGFRS 100/50-500 dobbeltvirkende hydraulikksylinder, levert av Klinkby Maskinfabrik A/S, se vedlegg 19.
Stempelbøtte	Konstruert av EAB, se vedlegg 20.
Rammeverk	Egenkonstruert, se vedlegg 21.
Testdyser inkl. adapter	Egenkonstruert, se vedlegg 22.
Div hydraulikkutstyr	Se sprengskisser i vedlegg 18.
Posisjonssensor	1-WA/500MM-L, levert av HBM
Trykksensor	1-P8AP/500B-001 levert av HBM
Dataloggermodul	QuantumX MX840B, levert av HBM
PC til datalogger	Dell PC med software for QuantumX MX840B

Vedlegg 7. Monteringsanvisning for testsystem

TESTSYSTEMETS KOMPONENTER:

- Hydraulikkaggregat med maks arbeidstrykk på minimum 240 bar
- 2 stk 50-liters blæreakkumulatorer
- Akkumulatorstativ for vertikal montering
- 2 stk små jekkestropper/spennbånd for å låse akkumulator
- Hydraulikksylinder, D=100mm, d=50mm, l=500mm, syrefast
- Bøtte som sylinder monteres i
- Monteringsbeslag bøtte-sylinder
- Stopper for å begrense sylinderens slaglengde (M10 skrue, lengde ca 100 mm)
- Beskyttelsesdeksel over dyseutløp
- Brakett stempelstang-posisjonssensor
- Dyseadapter
- De ulike dysene som skal testes
- Trykksensor
- Posisjonssensor, HBM art.nr 1-WA/500MM-L
- Rørklemmer for montering av posisjonssensor mot bøtte
- Dataloggermodul, inkludert ledninger/koblinger til sensorer
- Laptop til måleravlesninger med egnet software (med COM-port, hvis ikke trengs USB-COM adapter)
- Diverse festemateriell, i hovedsak metriske bolter i mindre dimensjoner

Hydraulikk:

- 2 stk 2-veis kuleventil, G 1" tilkobling, art.nr 8001-16-16 (Hydroscand)
- 1 stk 2-veis kuleventil, G ¾" tilkobling, art.nr 8001-12-12(Hydroscand)
- 1 stk 2-veis kuleventil, G ½" tilkobling, art.nr 8001-08-08(Hydroscand)
- 2 stk T-ansats, G 1", F-F-F, art.nr 7402-16-16 (Hydroscand)
- 1 stk T-ansats, G 1", F-M-M, art.nr 7404-16-16 (Hydroscand)
- 1 stk T-ansats, G ½", F-F-F, art.nr 7402-08-08
- 2 stk 90-grader ansats, art.nr 7203-16-16
- 5 stk rett ansats, art.nr 7002-16-16
- 1 stk rett ansats, art.nr 7002-12-16

Vedlegg

- 1 stk rett ansats, art.nr 7002-12-12
- 3 stk rett ansats, art.nr 7002-08-08
- 1 stk overgang til trykksensor
- 1 stk vanlig Gardena hageslangetilkobling, hann, G ½"
- 2 stk rørklemmer

NØDVENDIG VERKTØY/UTSTYR:

- Traverskran for montering av akkumulatorer
- Løftestropper for montering av akkumulatorer
- Diverse fastnøkler/skiftnøkler til hydraulikkoblinger (i hovedsak G ½" - G 1") og diverse metriske skruer (NV 10 - 19 mm)
- Verktøy for fylling av nitrogengass (Alt tilknyttet gassfylling settes bort til Tess)

MONTERING:

- 1) Akkumulatorene heises på plass i akkumulatorstativet ved hjelp av traverskran og løftestropper, og festes først i toppen med en stropp festet i stroppefestene rundt hver akkumulator, og festes i bunn med den store mutteren i bunn av akkumulatoren.
- 2) Monter festebraketten på sylindere, denne festes med 4 stk M8x30.
- 3) Plasser sylindere vertikalt i bøtten, med stempelstangen pekende loddrett opp.
- 4) Sentrer sylindere slik at avstanden mellom brakettens festeører og bøttens vegger er tilnærmet lik ved alle 4 ørene.
- 5) Benytt så en tusj, og merk av hvordan hullene i bøttens vegg må plasseres for at de 4 skruene skal monteres som vist på skissen til høyre.
- 6) Fjern så sylindere, og benytt et bor i dimensjon Ø12 for å bore hullene i de avmerkede punktene.
- 7) Merk opp og bor hull til gjennomføring av kuleventil i henhold til illustrasjon. Benytt Ø40 hullsag.
- 8) Spon fjernes fra bøtten, og sylindere plasseres i bøtten igjen.
- 9) Braketten monteres på toppen av testsylindere.
- 10) Videre monteres alle hydraulikkomponenter og trykksensor som vist i sprengskissen nedenfor.
- 11) Posisjonssensoren monteres også med samme prinsipp som på sprengskissen, men her må det foretas en enkel kalibrering. Dette gjøres på følgende måte:
 - a) Monter sensoren som vist på sprengskissen, men ikke trekk til festeklemmene.

Vedlegg

- b) Når hydraulikksylinderens stempelstang er plassert i indre posisjon, lag et merke på stempelstangen langs kanten av sylindereens tetting, slik at du ser stempelstangens indre posisjon avmerket.
- c) Plasser så sylindereen i fullstendig utløpt posisjon ved å åpne ventil **3** og **4**, og dra stempelstangen ut til ytre posisjon. Det er en fordel om vandysen ikke er montert når dette gjøres. Påse at sylindereen holder seg i ytre posisjon.
- d) Plasser også posisjonssensoren i ytre posisjon, og trykk den sammen 10 mm. I denne posisjonen klemmes posisjonssensoren fast i bøtta ved å trekke til festeklemmene.
- e) Trykk hydraulikksylinderens stempelstang mot startposisjonen, men ikke fullstendig sammen. Tusjstreken på stempelstangen skal nå ligge 20 mm ovenfor hydraulikksylinderens tetning.

Vedlegg 8. SJA for testgjennomføring

	<h1>SAFE JOB ANALYSIS</h1>	Project: Nozzle test Rev.: B Date : 04.03.2016 Page : 1 of 6
-----------------------------------------------------------------------------------	----------------------------	-----------------------------------------------------------------------

Project/Activity Ref. documents: Present: SJA Process steps:	<p style="text-align: center;">Nozzle test</p> <p>Test Procedure 1.0.0</p> <p>Ref. attendance record attached at the back</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. General 2. Review of risks for typical activities 3. Area of operation 4. Equipment and plant interface 5. Other activity 6. Personnel involved 7. Any other business 8. Summary w/conclusion 	Location: Date: SJA compiled by: Protective equipment and/or safety equipment required:	<p>EABs test hall, Gjøvik</p> <p>04.03.2016</p> <p>Gjestvang, Haukås and Kvalsvik</p> <ul style="list-style-type: none"> • Safety shoes • Helmet • Glasses • Protective gloves • Protective see-through wall • Hearing protection
Outline	<ul style="list-style-type: none"> • This SJA covers safety issues related to the procedure "Measurement of energy loss due waterflow through a nozzle" 		
GENERAL	EAB lead: Michael Sætvedt Test manager: Carl H. B. Haukås Test personnel: Petter A. Kvalsvik, Andreas Gjestvang HSE engineer: <u>Christian Amundsen</u>		

 EAB ENGINEERING A OneSubsea Company	<h2>SAFE JOB ANALYSIS</h2>	Project: Nozzle test Rev.: B Date : 04.03.2016 Page : 2 of 6
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------	-----------------------------------------------------------------------

No	Step / Activity description	Potential hazards	Action required	Resp.	Deadline
1	Housekeeping	<ul style="list-style-type: none"> Blocking escape routes 	<ul style="list-style-type: none"> Work areas are maintained in a clean, clear and orderly manner. Work and test areas to be inspected and evaluated prior to test <u>start-up</u> with focus on escape routes. Focus on good housekeeping and free escape routes at all times. 	Test hall responsible	Before start-up and during work
1		<ul style="list-style-type: none"> Slips / trips / falls / eye damage 	<ul style="list-style-type: none"> Work and test areas are maintained in a clean, clear and orderly manner. Test equipment / tooling to have dedicated storage to prevent damage and be fit for purpose. All material spillages shall be cleaned up as soon as possible. Spill / clean up kits to be located in close proximity to test area. Always wear protective glasses. 	Test manager	Before start-up
2	Moving heavy equipment	<ul style="list-style-type: none"> Equipment tips over Back pain Squeezed feet 	<ul style="list-style-type: none"> Secure the equipment before moving with pallet straps. Use pallet jack or forklift. Use protective footwear. 	Operator	During work
2	Mounting the accumulators into the rack using travelling crane	<ul style="list-style-type: none"> Accumulator slipping out of strap during lifting Squeezed fingers 	<ul style="list-style-type: none"> Trained crane/forklift operators only. All personnel must wear helmet/hard hat during lifting operations. Secure the accumulator with an extra pallet strap. Keep hands clear of the accumulator and rack unless absolutely necessary. 	Crane operator	During work
2	Drilling holes in the bucket	<ul style="list-style-type: none"> Metal chips in eyes 	<ul style="list-style-type: none"> Use safety glasses during drilling. Clean up after drilling. 	Operator	During work

 EAB ENGINEERING A OneSubsea Company	<h2>SAFE JOB ANALYSIS</h2>	Project: Nozzle test Rev.: B Date : 04.03.2016 Page : 3 of 6
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------	-----------------------------------------------------------------------

2	Service on hydraulic system (ex fixing oil leaks)	<ul style="list-style-type: none"> Test personnel can be hit from diverging fittings because of remaining pressure in hyd. system during service on the system 	<ul style="list-style-type: none"> Make sure there is no pressure in the hydraulic system during service. Open valve in the following order: 4, 3, 2, 1 (valves in test procedure "Måling av <u>energitap</u> ved vanggjennomstrømning i dyse") and then check manometre by the pump. 	Test manager	Before start-up
2	System maintenance	<ul style="list-style-type: none"> Hoses disconnect from framework 	<ul style="list-style-type: none"> Tighten screws and bolts. 	Test manager	After changing nozzle or 10 tests
2	Testing	<ul style="list-style-type: none"> Exploding hydraulic hose during operation 	<ul style="list-style-type: none"> Check the hoses for rifts and damages. 	Test manager	Before startup and during work
	Moving cylinder piston rod during testing	<ul style="list-style-type: none"> Personnel getting hit by the piston rod 	<ul style="list-style-type: none"> Make sure that all test personnel is standing clear of the hydraulic cylinder while a test sequence is carried. The exception is the person operating the hydraulic valves, who have to stand beside the accumulator rack. 	Test manager	Before each test sequence
3	Area of operation	<ul style="list-style-type: none"> Other activities interfering this test 	<ul style="list-style-type: none"> Make sure the test area is clear from both unwanted activities and persons. See appendix 1 "Test Area" 	Test manager	Before startup and during work
4	Equipment and plant interface	<ul style="list-style-type: none"> Lifting equipment fails during use Safe equipment 	<ul style="list-style-type: none"> Make sure all lifting equipment in use is certified, and check for visible damages on the equipment. Buy equipment from certified suppliers. 	Crane operator	Before startup and during work
5	Other activity				
6	Personnel involved	<ul style="list-style-type: none"> Lack of knowledge 	<ul style="list-style-type: none"> All parties involved in testing are involved in the development of the SJA and also informed about the test procedure. 	Test manager	Before startup

	<h2>SAFE JOB ANALYSIS</h2>	Project: Nozzle test Rev.: B Date : 04.03.2016 Page : 4 of 6
-----------------------------------------------------------------------------------	----------------------------	-----------------------------------------------------------------------

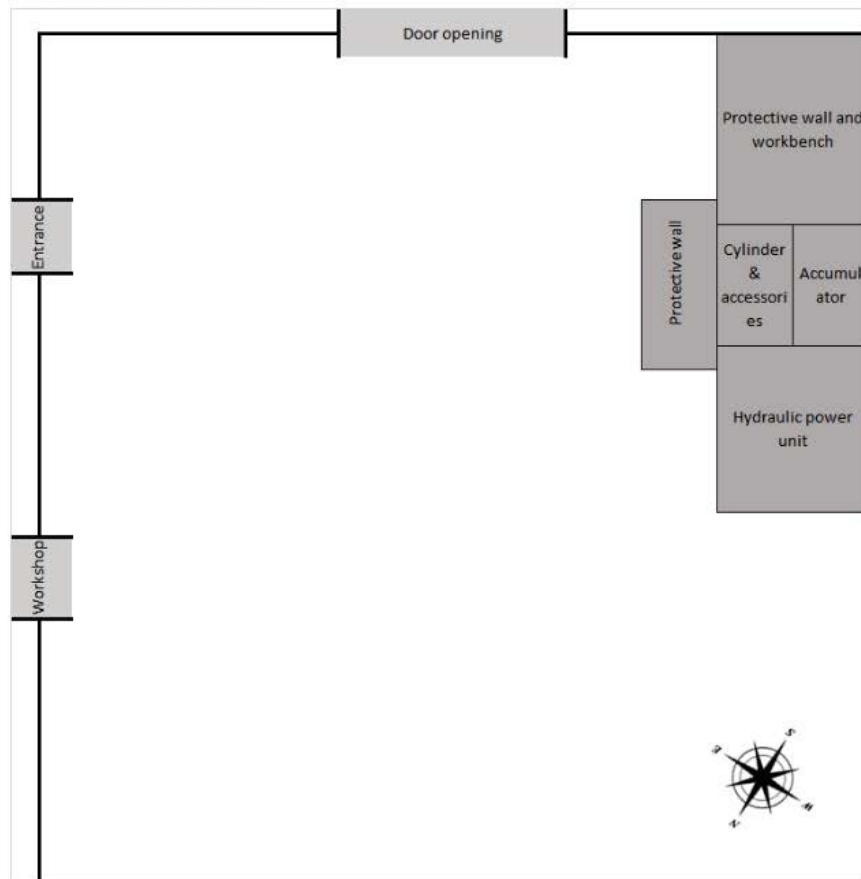
7	Any other Business	<ul style="list-style-type: none"> • Damage on equipment making usage unpredictable 	<ul style="list-style-type: none"> • At the end of the workday put borders around the equipment. 	Test manager	After work
8	SUMMARY WITH CONCLUSION Risk level is within acceptable boundaries through application of mitigations defined in this SJA.				

 EAB ENGINEERING A OneSubsea Company	SAFE JOB ANALYSIS	Project: Nozzle test Rev.: B Date : 04.03.2016 Page : 5 of 6
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------	-----------------------------------------------------------------------

Name	Function	Company	E-mail address <i>participants from other companies than EAB Engineering</i>
Carl Helge Bacus Haukås	Test manager	NTNU i Gjøvik	carl.haukas@stud.ntnu.no
Petter Andreas Kvalsvik	Test personnel	NTNU i Gjøvik	petter.kvalsvik@hig.no
Andreas Gjestvang	Test personnel	NTNU i Gjøvik	andreas.kvalsvik@hig.no
Michael Sætvedt	Test supervisor	EAB Engineering AS	
Caroline Engan Johansen	Test supervisor	EAB Engineering AS	
<u>Christian</u> Amundsen	Test hall responsible	EAB Engineering AS	

 <p>EAB ENGINEERING A OneSubsea Company</p>	<h2>SAFE JOB ANALYSIS</h2>	<p>Project: Nozzle test Rev.: B Date : 04.03.2016 Page : 6 of 6</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------	---------------------------------------------------------------------------------

APPENDIX 1. Test Area



Vedlegg 9. Anslag av nødvendig antall testser

I testsystemet som har blitt utarbeidet på bakgrunn av beregnet kravspesifikasjon skal vi være sikre på at vi får et pålitelig datagrunnlag til tross for at komponentene er valgt basert på beregninger. Derfor er det foretatt et anslag av hvor mange tester som må gjennomføres for å få et sikkert grunnlag for å se om tidligere beregninger gir en fornuftig nøyaktighet til den eksperimentelle undersøkelsen. Dersom systemet ikke er tilstrekkelig nøyaktig kreves det mange testsekvenser for å skape et godt datagrunnlag, eventuelt måtte komponenter byttes ut med høyere kvalitet.

Basert på testsystemets oppbygning og dataen vi trenger, tar anslaget utgangspunkt i posisjonssensorens målinger over tid. For å ivareta reliabilitet tas det hensyn til andre småfaktorer knyttet til trykksensoren, vibrasjoner, trykkbølger i systemet og forstyrrelser på ledningene mellom måleutstyr og datalogger for å innkalkulere alle småbidrag som sammen kan gjøre et utslag.

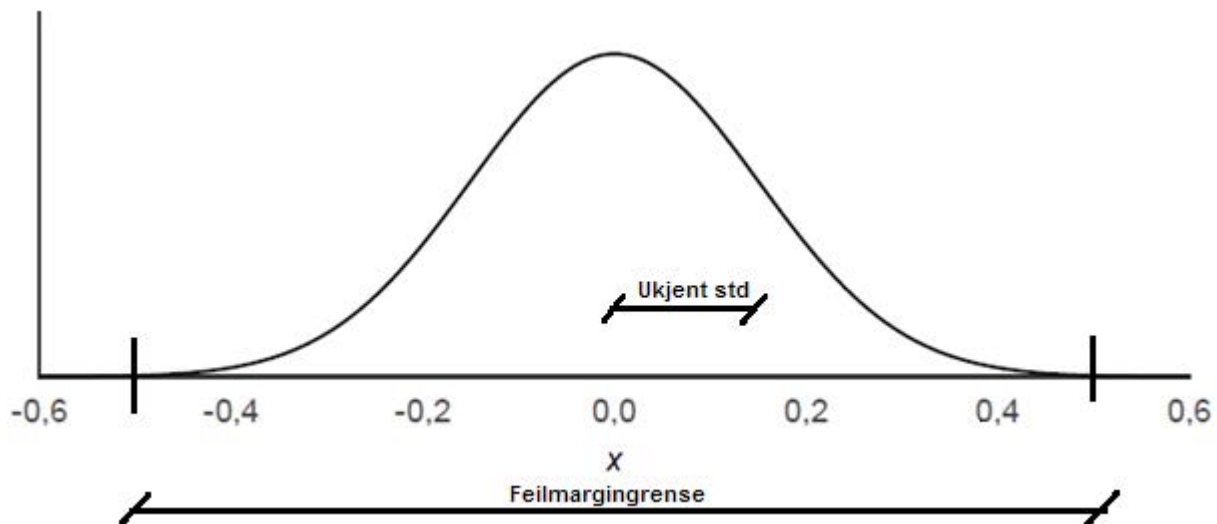
HENSIKT MED STATISTISK BEREGNING:

«Hvordan kan man være sikker på at datagrunnlaget som skal brukes i beregningene er pålitelig?»

MODELLVALG

Posisjonssensoren har over sin egen funksjonslengde en feilmargingrense på +/- 0,5 mm rundt standarden 0 mm avvik for målingene den gjør. Feilmargingrensene er bekreftet av leverandøren HBM, men ikke utgitt offisielt grunnet produkthemmeligheter. På bakgrunn av dette er posisjonssensorens standardavvik ukjent ettersom vi bare kjenner til grensene, men allikevel er dette et brukbart utgangspunkt. Modellen vår bruker hele feilmargingrensen på +/- 0,5 mm noe som er i utgangspunktet unødvendig stort ettersom feilmargingrenser ofte er satt på tre standardavvik, men da dette IKKE utgis av HBM har vi heller valgt å inkludere hele grensen som standardavvik for å innkalkulere småbidrag fra testsystemet som vi ellers kunne oversett.

Oppsummert benyttes 0,5 som et sikkerhetsnett. Dette vil potensielt resultere i noen flere tester enn nødvendig. Hensikten bak dette valget er at vi vil sikre oss fremfor å ta en sjanse på datagrunnlaget når hele oppgaven hviler på trygg data.



KONFIDENSINTERVALL

For å sikre reliabilitet settes konfidensintervall til 99,8% sikkerhet, det vil si $\alpha = 0,2\%$. Dette betyr at i vår tosidige test settes det et krav til at 99,8% av testresultatene skal havne innenfor valgt α grenseverdi på 3,091 (Hornæs 2007).

ANSLAG AV NØDVENDIGE ANTALL TESTSEKVENSER PER DYSE

Hvis vi ønsker å være 99,8% sikre innenfor et konfidensintervall med lengde på 1mm betyr dette at vi tillater posisjonssensoren for over sin fulle lengde 500mm å måle +/- 0.5mm. Basert på dette kan vi beregne hvor mange målinger vi trenger basert på formler fra Løvås sin bok «Statistikk for universiteter og høyskoler» (2013):

$$n \geq \left(\frac{2 \cdot Z_{\alpha/2} \cdot \sigma}{L} \right)^2$$

$$n \geq \left(\frac{2 \cdot Z_{0,2\%/2} \cdot \sigma}{L} \right)^2$$

$$n \geq \left(\frac{2 \cdot 3,091 \cdot 0,5\text{mm}}{1\text{mm}} \right)^2$$

$$n \geq 9,55$$

VALGT ANTALL TESTSEKVENSER

Det gjennomføres 10 testsekvenser for hvert dysedesign for å sikre et 99,8% sikkert datagrunnlag.

Vedlegg 10. Testprosedyre

1. INNLEDNING

Denne testprosedyren er utarbeidet på grunnlag av dysetestene som skal gjennomføres for EAB Engineering våren 2016. Denne prosedyren beskriver hele den praktiske delen av testen på en detaljert og oversiktlig måte, og fungerer på denne måten som støttelitteratur under selve testgjennomføringen. Prosedyren tar også hensyn til HMS-aspektet ved testen.

Før man starter testgjennomføringen skal denne prosedyren gjennomgå av alle som er involvert i den praktiske delen av testen. Eventuelle uklarheter skal avklares før man starter det praktiske arbeidet. Om uklarheter, misforståelser eller avvik skulle oppstå underveis, skal dette avklares eller løses øyeblikkelig blandt testpersonalet.

2. FORMÅL MED TESTEN

Testen skal verifisere energitapet som oppstår ved vanngjennomstrømning i spesifiserte dyser montert i en sylindervegg ved et gitt trykk. Testen dokumenterer at dette stemmer med teoretisk grunnlag, som er basert på Bernoullis likning. Testen er utformet på en enkel måte for å sikre brukervennlighet, pålitelige resultater og lave gjennomføringskostander.

Man skal kvantifisere energitapet som forekommer i testdysen når vann strømmer ut av dysen ved et spesifisert trykk. Dette trykkes bygges opp av et hydraulikkaggregat, som lagres i 2 stk akkumulatorer. Oljetrykket overføres til vannet ved hjelp av en hydraulikksylinder med olje på ene siden og vann på den andre. Oljetrykket påfører sylinderstempelet et trykk som skaper en presskraft, som setter sylinderstempelet i bevegelse og overfører oljetrykket til vanntrykk. Vanntrykket i cylinderen loggføres sammen med sylindereens bevegelse, disse dataene brukes videre til å beregne væskestrømmen ut av dysen, som sammenlignes mot den teoretiske Bernoullis likning. Differansen uttrykker da energitapet. Dette tapet skal det utarbeides en korreksjonsfaktor for, som skal settes inn i den teoretiske Bernoullis likning.

Testmediet som benyttes er rent vann. Testen skal gjennomføres ved romtemperatur, 20 °C. Testutstyret skal lagres i denne temperaturen i minimum 24 timer før testen skal gjennomføres. Liste over alle testsystemets komponenter ligger vedlagt.

3. HELSE, MILJØ OG SIKKERHET

3.1. Personlig verneutstyr

Alt opphold i testhallen skal foregå med personlig verneutstyr med minimum vernesko og beskyttelsesbriller. Under testene vil det oppstå mye støy, personell som oppholder seg i testhallen under testene skal dermed benytte hørselsvern.

Hydraulikkolje er giftig, og skal vaskes vekk fortest mulig ved hudkontakt. Ikke la det tørke inn i huden.

3.2. Kranarbeid

Under kranarbeid skal alle som oppholder seg i testhallen benytte hjelm/hard-hat. Man skal aldri oppholde seg under hengende last. Det skal sikres at personen som kjører kranen har tilstrekkelig kompetanse. Løfteutstyr som benyttes skal være godkjent for løfteoparasjonene de benyttes til. Løftestropper skal alltid sjekkes for rifter og øvrig slitasje før bruk. Om dette finnes, skal stroppene kastes øyeblikkelig.

3.3 Arbeid på hydraulikksystem

Om det skal utføres arbeid på hydraulikksystemet, for eksempel utbedring av oljelekkasjer, skal det kontrolleres at det ikke er oljetrykk i systemet. Hvis det er trykk i systemet, fjern dette ved å åpne ventil **2**, **3** og **4** (se vedlagt systemskisse), i tillegg til å sørge for at hydraulikkaggregatet er avslått.

4. FORBEREDELSE

4.1. Testsystemets komponenter:

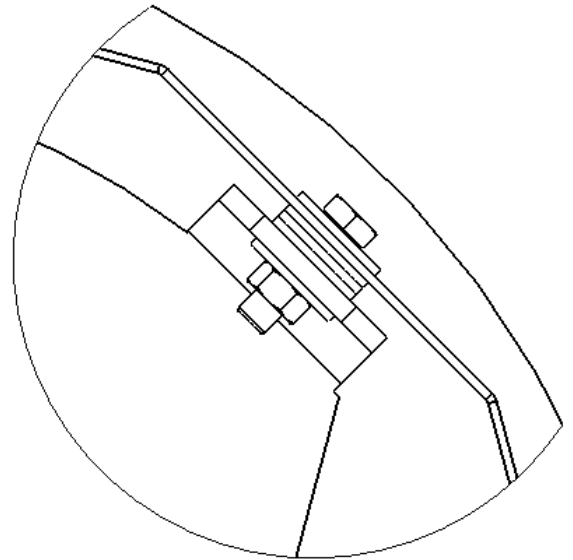
En oversikt over alle testsystemets komponenter ligger vedlagt i form av sprengskisser med stykklister. I tillegg ligger en egen utstyrsliste vedlagt, der det er listet opp krav til de ulike komponentene og hva utstyret vi har tilgjengelig faktisk presterer.

4.2. Nødvendig verktøy/utstyr:

- Traverskran for montering av akkumulatorer
- Løftestropper for montering av akkumulatorer
- Batteridrill
- Metallbor (Ø6 - Ø13)
- Hullsag Ø40
- Diverse fastnøkler/skiftnøkler til hydraulikkoblinger og diverse for metriske skruer (NV 10, 13, 17 og 19 mm)

4.3. Montering:

1. Akkumulatorene heises på plass i akkumulatorstativet ved hjelp av traverskran og løftestropper. De festes først i toppen med en stropp mellom stroppefestene rundt hver akkumulator, og festes i bunn med den store mutteren i bunn av akkumulatoren.
2. Hydraulikkomponenter monteres i rekkefølgen som vist på de vedlagte sprengskissene.
3. Monter festebraketten på sylindren, denne festes med 4 stk M8x30.
4. Plasser sylindren vertikalt i bøtten, med stempelstangen pekende loddrett opp.
5. Braketten monteres som vist på skissen til høyre. Her er noe tilpasning nødvendig i form av å bore nye hull og justere avstand med skiver som vist til høyre. Braketten monteres med 4 stk M8x30.
6. Videre monteres alle hydraulikkomponenter og trykksensor som vist i sprengskissen nedenfor.
7. Posisjonssensoren monteres som vist på sprengskissen. Det må kontrolleres at sylindren og posisjonssensoren befinner seg i indre posisjon samtidig. Posisjonssensorens arbeidsområde er avmerket på sensoren, det kontrolleres at hydraulikksylindrens indre og ytre posisjon befinner seg innenfor dette området.
8. Koble til hageslange inn på ventil 5, denne må ha vanntrykk.
8. Monter returslangen på nippelen i bunn av bøtten, og sørg for at vannet utløper i et sluk. Bruk også her hageslange, i lik dimensjon som trykkslangen.



4.4. Kontroll av forladingstrykk og fylling av nitrogengass

På grunnlag av at forladingstrykket P_0 skal være lik 90 % av minste arbeidstrykk P_1 , er forladingstrykket satt til å være 66 % av gjennomsnittlig vanntrykk. Under de tre trykkforutsetningene denne testen skal utføres ved, 100, 200 og 300 bar, er følgende forladingstrykk bestemt:

$$P_{vann} = 300 \text{ bar} \Rightarrow P_0 = 198 \text{ bar}$$

$$P_{vann} = 200 \text{ bar} \Rightarrow P_0 = 132 \text{ bar}$$

$$P_{vann} = 100 \text{ bar} \Rightarrow P_0 = 66 \text{ bar}$$

Gasstilkobling på akkumulator: $\frac{7}{8}$ -14UNF

Vedlegg

Måling av forladningstrykk og fylling av nitrogengass gjøres av Tess. Tess skal kontaktes minimum 3 virkedager før fyllingen ønskes utført.

Akkumulatorene skal være lagret i romtemperatur minimum 1 døgn før fylling skal utføres for å sikre riktig temperatur og korrekt trykkavlesning. Uavhengig om akkumulatorene ved fyllingstidspunktet er montert i stativet eller ikke, skal de være plassert slik at akkumulatorene enkelt kan fylles, uten unødvendig bry og ekstraarbeid for personen som skal utføre fyllingen. NB: **AKKUMULATORENE MÅ VÆRE FULLSTENDIG TOMME FOR OLJE UNDER FYLLING!** Dette for å sikre korrekt forladningstrykk.

De første testene skal kjøres med et vanntrykk på 300 bar. På dette trykket skal det gjennomføres flest tester. Videre skal det gjøres et færre antall tester ved 200 og 100 bar.

Etter å ha gjennomført de første testseriene, omkring 3 stk, skal man ha tilstrekkelig oversikt for å med stor sikkerhet kunne estimere når det er behov for å endre akkumulatorenes forladningstrykk. Ny trykkjustering kan da bestilles for å unngå ventetid.

4.5. Lufting av hydraulikksystemet

Når systemet er montert som beskrevet må systemet fylles med olje og luftes for å hindre at luftlommer i systemet gjør resultatene upålitelige. Dette gjøres på følgende vis:

1. Sørg for at en dyse er montert i sylindren.
2. Sørg for at alle ventilene **1-5** er stengt.
3. Sørg for at hydraulikksylindren er sammentrykt og fylt med vann. Om den skulle stå i ytre posisjon, åpne ventilene **3** og **4**, før ventil **5** åpnes, og sylindren trykkes sammen ved hjelp av vanntrykk. Når sylindren er sammentrykt, lukk først ventil **5**, så ventilene **3** og **4**. Alle ventiler skal nå være lukket.
4. Åpne ventil **1**, og start hydraulikkaggregatet. Når manometeret på aggregatet viser ønsket oljetrykk, lukk ventil **1** og stopp aggregatet.
5. Foreta en visuell lekkasjekontroll ved koblingene rundt akkumulatorene.
6. Åpne først ventil **2**, så ventil **3** forsiktig, slik at sylindrestangen beveges sakte utover.
7. Når sylindrestangen er fullt utløpt, steng ventil **2**, åpne ventil **4**.
8. Åpne så ventil **5**, slik at vanntrykket presser sylindren tilbake i startposisjon.
9. Steng så ventil **5**, før ventilene **3** og **4** stenges.
10. Gjenta punktene **4-9** to ganger.
11. Foreta en visuell lekkasjesjekk omkring alle hydraulikkoblinger.
12. Om det finnes lekkasjer, vurder størrelsen av disse. I utgangspunktet om det har oppstått en lekkasje, kontroller om koblingene er trukket til med riktig moment. Eventuelt ettertrekk disse. Om det (**I**) kun er antydning til fukt, og det ikke sees på som noen risiko

at lekkasjene skal bli større, ikke gjør noe videre med disse. Om det (2) er større lekkasjer, demonter koblingene, finn lekkasjeårsaken og utbedre lekkasjen.

13. Om det ikke er særlig grunn til å tro at det fortsatt er luft i systemet, er systemet ferdig luftet. Om det av ulike årsaker mistenkes at det fortsatt befinner seg luft i systemet, gjenta punktene 4-9 ytterligere 3 ganger. Om det fortsatt skulle være luft i systemet, må tiltak iverksettes. Sannsynligheten for at dette vil skje anses å være minimal, det utarbeides derfor ikke tiltak før problemet eventuelt skulle oppstå.
14. Hydrauliksystemet skal nå være ferdig luftet.

4.6. Utskiftning av dyse:

(Nødvendig utstyr: Dyse som skal monteres og fastnøkler: NV 13, 30 og 42 mm)

1. Løsne først beskyttelsesplaten over dysen ved å løsne de 4 skruene denne er festet i.
2. Fjern så platen, og legg denne til side.
3. Løsne så dysen, ved å holde igjen adapteren med en fastnøkkel mens dysen løsnes.
4. Finn frem den nye dysen som skal monteres, monter denne som den forrige var montert og trekk til med ca 50 Nm.
5. Monter så beskyttelsesplata, og trekk til de fire skruene som låser denne med ca 30 Nm.

4.7. Igangkjøring/kalibrering:

Det er nødvendig å kalibrere maksimalt oljetrykk mot det faktiske trykket i vannet under testgjennomføringen. Dette må gjøres ved hver av de 3 ulike testtrykkene, men det er ikke nødvendig å gjennomføre denne kalibreringen ved de ulike dyseutformingene. Kalibreringen gjennomføres ved å utføre følgende punkter:

1. Kontroller først og fremst at riktig dyse er montert. Hvis dette ikke er tilfelle, monter riktig dyse ved å følge framgangsmåten beskrevet i avsnitt **4.6.1 - 4.6.5**.
2. Sørg for at stempelstangen befinner seg i startposisjon. Om den ikke gjør det, åpne ventilene **3** og **4**, før ventil **5** åpnes, og sylindere trykkes sammen ved hjelp av vanntrykk. Når sylindere er sammentrykt, lukk først ventil **5**, så ventilene **3** og **4**. Alle ventiler skal nå være lukket.
3. En kalibrering av testtrykket må nå gjennomføres. Kalibreringen skjer ved å først kjøre en testsekvens med et oljetrykk gitt av likning (1).
4. Første testsekvens kjøres ved å gjennomføre punktene **5.1.1 -5.1.12**, der P er gitt ved formel (1).
5. Det gjennomsnittlige vanntrykket, vanntrykket ved testsekvensens midtpunkt, leses av analytisk fra loggfilen etter første testsekvens. Man må da vurdere i hvilket testintervall man har representative målinger, og lese av det faktiske testtrykket midt i dette intervallet. Det kan tillattes et avvik +/- 1 % av ønsket vanntrykk uten å korrigere vanntrykket.
6. Om dette trykket er høyere enn ønsket, må oljetrykket senkes. Om trykket er lavere, må oljetrykket økes. Det nye maksimale oljetrykket er gitt ved **likning (2)**.

Vedlegg

7. Punktene **5.1.1 - 5.1.12** gjentas med det nye oljetrykket. Det gjennomsnittlige vanntrykket kontrolleres på nytt som beskrevet i punkt **4.7.4**. Om nødvendig gjennomføres en kalibreringsekvens til.

Likninger:

$$(1): P_{maks, arb} = 0,78 P_{gj, vann}$$

$$(2): P_{maks, korrigert} = P_{maks, kalib} + \frac{3}{4} * (P_{gj, vann} - P_{gj, vann, faktisk})$$

5. GJENNOMFØRING

5.1. Testsekvensens forløp:

1. Kontroller at alle ventiler **1-5** er stengt.
2. Sørg for at stempelstangen befinner seg i startposisjon og at hydraulikksylinderen er fylt med vann. Hvis dette ikke er tilfelle, åpne ventil **3** og **4**. Åpne så ventil **5**, og stempelstangen presses tilbake ved hjelp av vanntrykk. Når stempelstangen er presset tilbake i startposisjon, lukk først ventil **5**, så ventil **3** og **4**.
3. Start hydraulikkpumpen, og åpne forsiktig ventil **1**.
4. Følg med på hvordan trykket øker ved å avlese manometeret på aggregatet. Når dette trykket nærmer seg ønsket trykk P, som går fram av **likning (2)** avsnitt **4.7**, lukk gradvis ventil **1**, slik at oljetrykket får tid til å stabilisere seg. Når ønsket trykk er nådd skal ventil **1** være fullstendig stengt.
5. Start dataloggingen.
6. Åpne ventil **2**.
7. Åpne så ventil **3** raskt og bestemt.
8. Når stempelet har nådd ytre posisjon, steng ventil **2** og åpne ventil **4**.
9. Stopp dataloggingen.
10. Åpne ventil **5**, og stempelstangen presses tilbake i startposisjonen.
11. Steng så ventil **5**, **3** og **4**.
12. En ny testsekvens gjennomføres ved å gjennomføre punktene **3-11** på nytt.
13. Når en testserie er gjennomført, samles alle måledata i form av logg-filer i et oversiktlig mappesystem på test-laptopen. Foreta hensiktsmessig sikkerhetskopi på f.eks minnepenn.
14. Etter endt testserie skal også resultatene overføres til Microsoft Excel, plottes sammen i kurvediagram, og en visuell grovanalyse foretas for å kontrollere at måledataene er pålitelige. Dette gjøres ved å sammenlikne kurvene mot hverandre og visuelt vurdere størrelsen av avvikene mellom hver enkelt test.

6. FORVENTET RESULTAT

Data som leses av og lagres i loggfilen er målt vanntrykk, målt sylinderposisjon og ved hvilken tid målingen er foretatt. Fra disse dataene regnes sylinderens fart ut, som brukes til å beregne hvor stor vannmengde som flyttes per tid i sylindren, som er lik dysens avgitte vannmengde. Ut fra denne vannmengden beregnes farten ut av dysen. Trykket brukes direkte i Bernoullis likning, som forkortet ser slik ut når en medberegner dysens virkningsgrad:

$$\eta P = \frac{1}{2} \rho v^2$$

Der:

η = Dysens virkningsgrad

P = Trykk i sylinder

ρ = Væskens massetetthet

v = Væskens gjennomsnittlige utløpshastighet ut av dysen

Kun konstanten er ukjent, og kan uttrykkes slik:

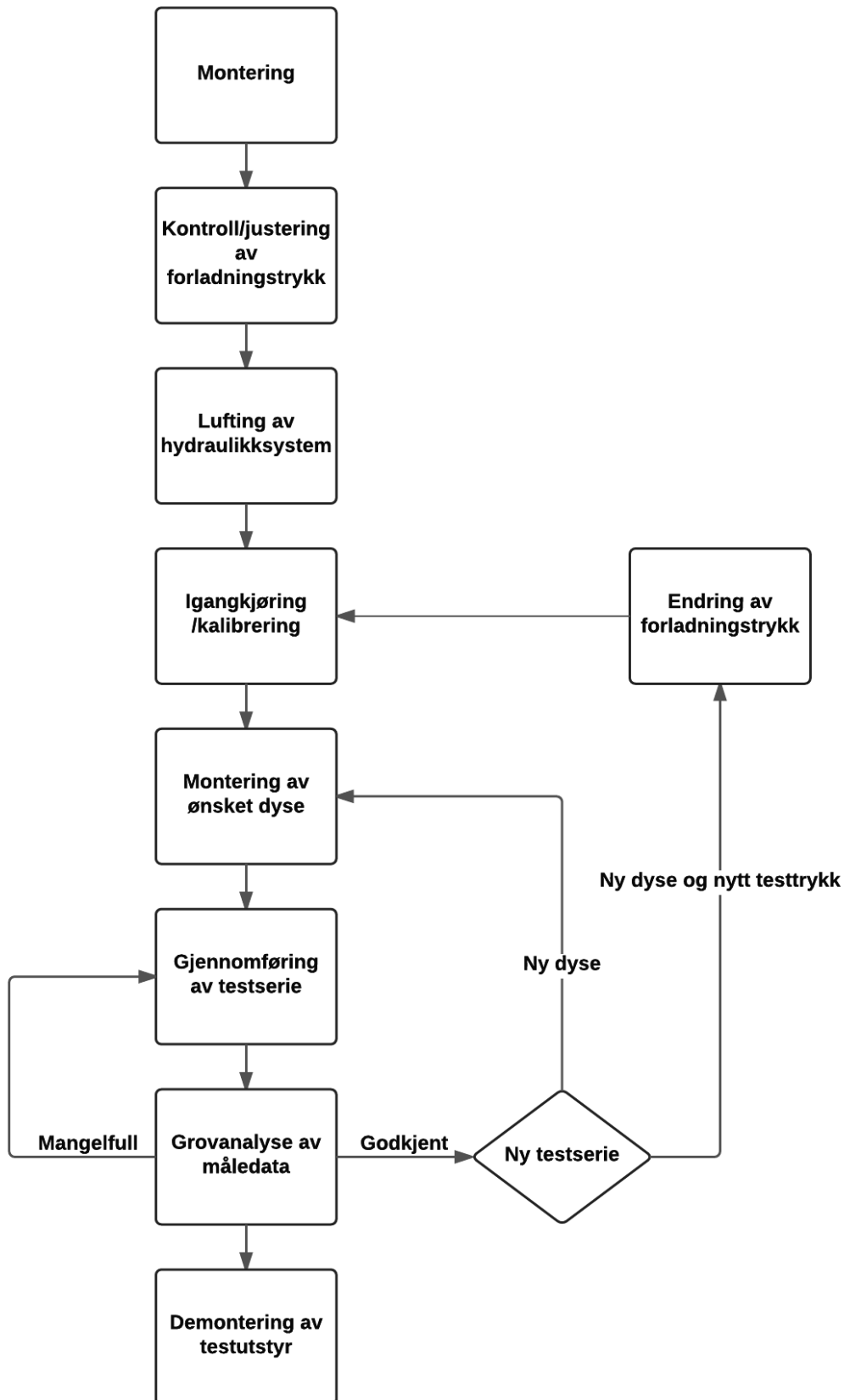
$$\eta = \frac{\rho v^2}{2P}$$

Utfra måledataene kan da beregnes for de respektive testene. Videre arbeid i denne oppgaven er da å analysere om, og eventuelt hvordan denne virkningsgraden varierer mellom ulike dysedesign og væsketrykk. Hypotesen er at denne faktoren ikke påvirkes i stor grad av designet, og at ganske standard virkningsgrader er eksakt nok. Det er derfor trolig at denne faktoren kan være en konstant som gjelder for ulike design, der virkningsgrad velges utfra en serie standard tverrsnittsskisser.

7. VEDLEGG*7.1 Utstyr*

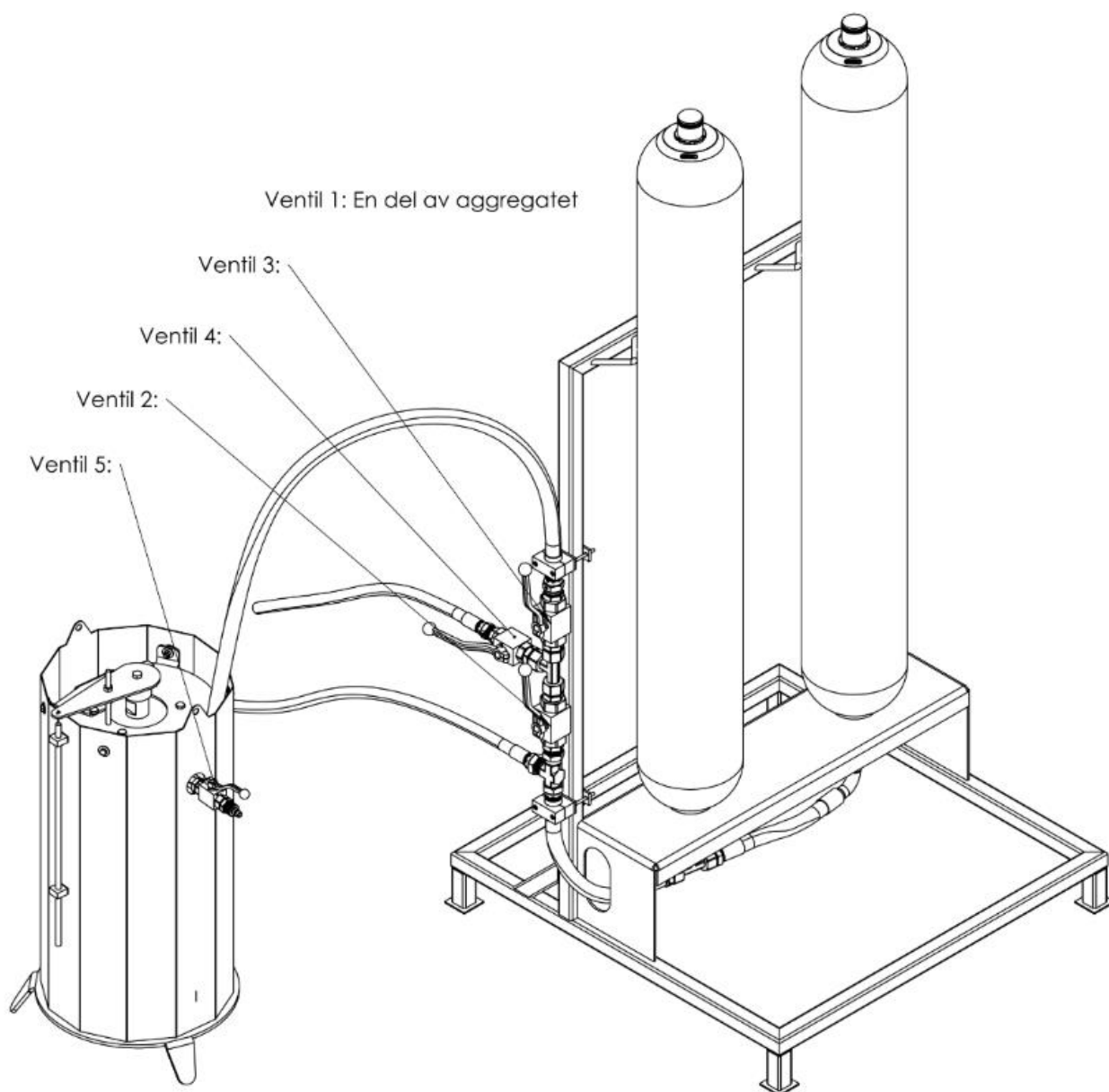
Kravspesifikasjon	Krav	Utvalgt
Pumpe	250 bar	EAB har pumpe som leverer 350 bar
Akkumulator	100L, 250 bar	2x Blæreakkumulator 50L fra Hydac, type SB 330-50A1/112U-345A
Hydraulikksylinder	D = Ø100 mm, d = Ø50mm, slaglengde 500 mm, materiale: syrefast 316	DVGFRS 100/50-500, syrefast, levert av Klinkby Maskinfabrik A/S
Stempelbøtte	Hydraulikksylinder monteres i bøtten	Konstruert av EAB
Rammeverk	Akkumulatorer skal monteres vertikalt	Egenkonstruert
Olje til pumpe	Standard hydraulikkolje	F.eks. Rando HD 22 / 150
Div hydraulikkutstyr	300 bar	Se vedlagte sprengskisser
Posisjonssensor	Nøyaktig innenfor 1 %, måledistanse 0-500 mm, målefrekvens minst 200 Hz	1-WA/500MM-L, levert av HBM
Trykksensor	Nøyaktig opptil 400bar	1-P8AP/500B-001 levert av HBM
Datalogger	Kompatibel med sensorer	QuantumX MX840B, levert av HBM
PC til datalogger	Software installert	EAB har en pc med software

7.2 Flytskjema

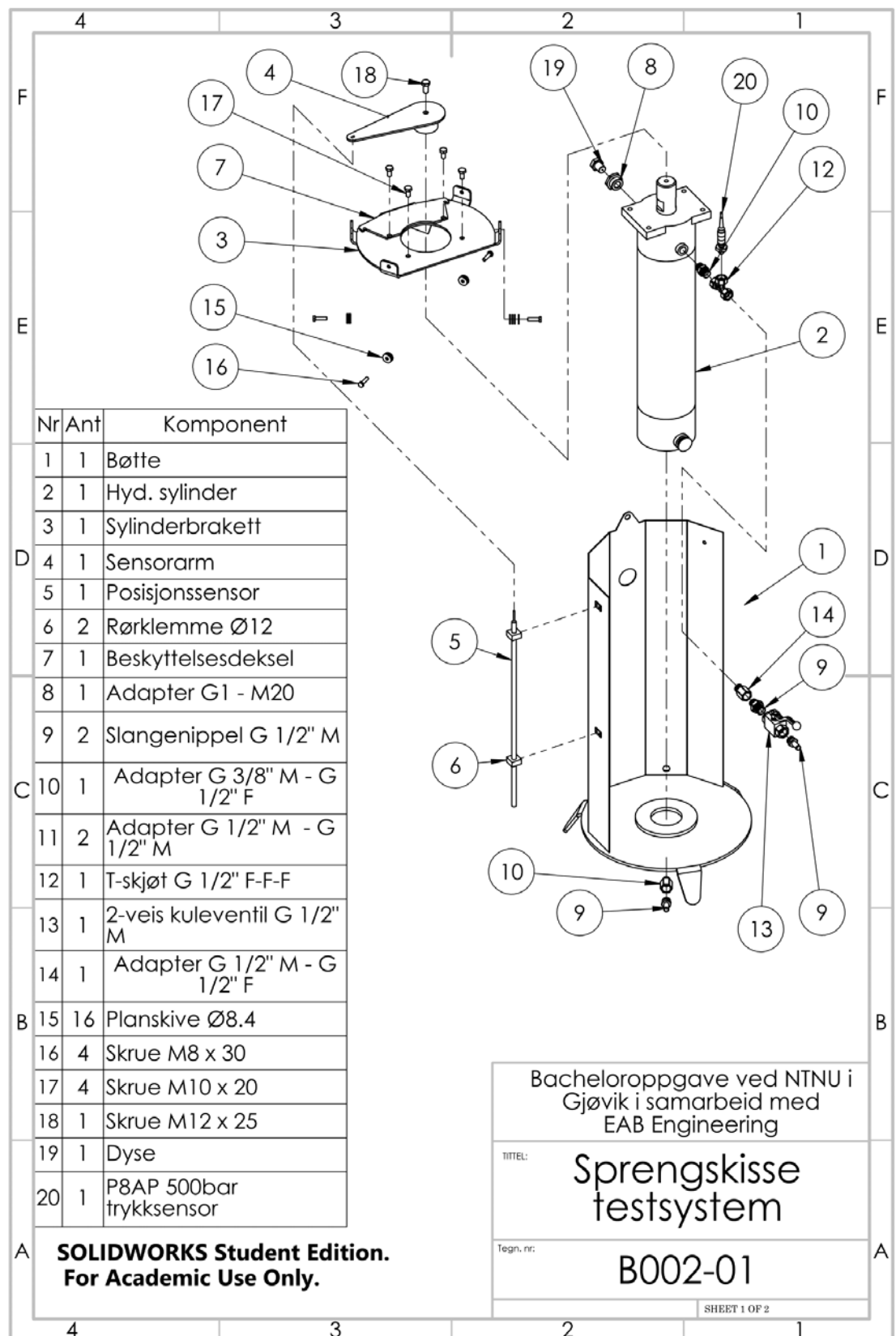


Vedlegg

7.3 Systemskisse



7.4 Sprengskisse 1



**SOLIDWORKS Student Edition.
For Academic Use Only.**

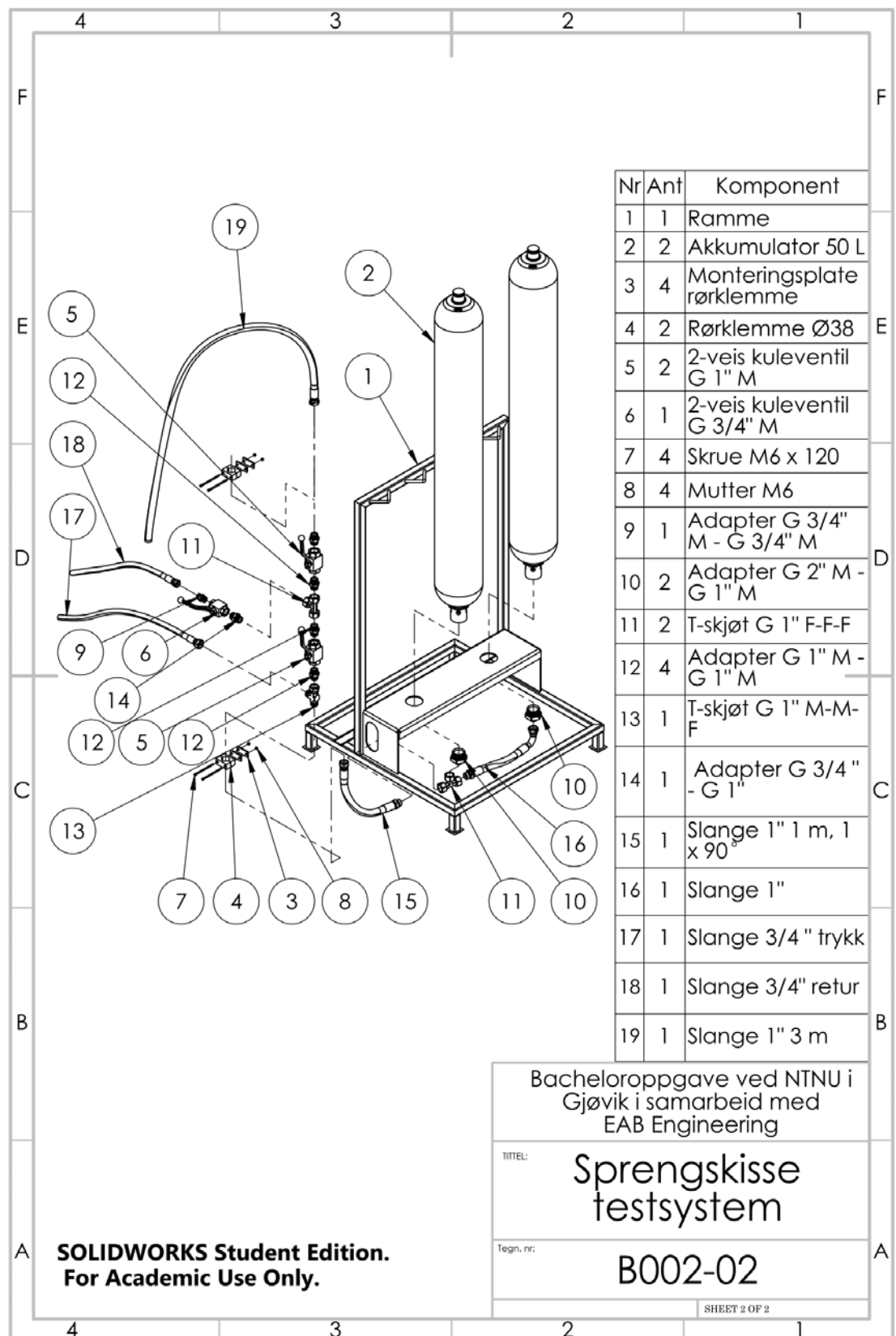
Bacheloroppgave ved NTNU i
Gjøvik i samarbeid med
EAB Engineering

TITEL: **Sprengskisse
testsystem**

Tegn. nr: **B002-01**

SHEET 1 OF 2

7.5 Sprengskisse 2



Vedlegg

Vedlegg 11. Testresultat: Behandling av rådata

Vedlegg

Det kom frem i dataloggerens Excel-filer at vi fikk enorme mengder rådata å bearbeide, disse er i sin helhet presentert i egne vedlegg. Under følger et utsnitt av hvordan rådataen ser ut og hvordan man går frem for å håndtere det ved hjelp av programvarer som Excel eller Google Sheets.

RÅDATAENS FASONG:

Gitt dataloggeren HBM QuantumX og tilkoblede trykk- og posisjonssensor får vi følgende data:

File comment:			
Time 1 - default sample rate	Position	Pressure	TYPE MÅLING
s	mm	bar	ENHET
01.04.16 14:49:08	01.04.16 14:49:08	01.04.16 14:49:08	
20,00 ms (50 Hz)	20,00 ms (50 Hz)	20,00 ms (50 Hz)	MÅLEFREKVENSS
Hardware channel:0	Hardware channel:1	Hardware channel:2	
Serial No. (Electronics / CP): N.A.	Serial No. (Electronics / CP): 9E5006D88	Serial No. (Electronics / CP): 9E5006D88	
Sensor:	Sensor: WA 500mm	Sensor: P8AP 500bar	
Sensor T-ID:	Sensor T-ID: HBM_WA_500mm	Sensor T-ID: HBM_P8AP_500bar	
Amplifier type:N.A.	Amplifier type:MX840A	Amplifier type:MX840A	
Connector plate:N.A.	Connector plate:N.A.	Connector plate:N.A.	
Transducer type:N.A.	Transducer type:Inductive full bridge	Transducer type:SG full bridge	
Measuring range:N.A.	Measuring range:120	Measuring range:5	
	Hardware scaling P1:0 ; 0	Hardware scaling P1:0 ; 0	
	Hardware scaling P2:80 ; 500	Hardware scaling P2:2 ; 500	
Native unit	Native unit:mV/V	Native unit:mV/V	
Engineering unit:	Engineering unit:mm	Engineering unit:bar	
Nominal range: -4,316021E+08	Nominal range: 750 mm	Nominal range: 1250 bar	
catman Scaling:External hardware	catman Scaling:External hardware	catman Scaling:External hardware	
Excitation:N.A.	Excitation:2.5 V excitation	Excitation:2.5 V excitation	
Filter characteristics:N.A.	Filter characteristics:Bessel lowpass	Filter characteristics:Bessel lowpass	
Filter frequency:N.A.	Filter frequency:5 Hz	Filter frequency:5 Hz	
Zero balancing:0 s	Zero balancing:484,7647 mm	Zero balancing:16,91162 bar	
Tare value:0 s	Tare value:484,7647 mm	Tare value:16,91162 bar	
Software zero: 0 s	Software zero: 0 mm	Software zero: 0 bar	
Signal measured:N.A.	Signal measured:N.A.	Signal measured:N.A.	
Amplifier input:N.A.	Amplifier input:N.A.	Amplifier input:N.A.	
Gage factor:0,00000	Gage factor:0,00000	Gage factor:0,00000	
Bridge factor:0,00000	Bridge factor:0,00000	Bridge factor:0,00000	
N.A.	N.A.	N.A.	

Vedlegg

FILTRERING AV DATA TIL ØNSKET TRYKKNIVÅ:

Før testsekvensen kan startes må dataloggeren være på. Derfor vil flere sekunder bestå av stillestående målinger. I tillegg vil det være en fase hvor trykket bygges opp til ønsket trykknivå og en nedgangsfase avslutningsvis hvor trykket fallet. Slik at dette filtreres bort og man blir sittende igjen med riktig datagrunnlag for videre beregninger. I første omgang ser dataen slik ut:

File comment:			
Time 1 - default sample rate	Position	Pressure	
s	mm	bar	
0	-0,075390287	0,045016136	
0,020000001	-0,075125374	0,042860989	
0,040000002	-0,075019412	0,045999888	
0,060000003	-0,074489594	0,047340993	
0,080000004	-0,073959775	0,047851495	
0,100000005	-0,073747844	0,048175734	
0,120000006	-0,073906794	0,049446471	
0,140000007	-0,074542575	0,04936507	
0,160000008	-0,074383631	0,045585968	
0,180000009	-0,073800832	0,04584536	
0,200000009	-0,073429957	0,046571102	
0,22000001	-0,073482938	0,048814554	
0,240000011	-0,074118719	0,048687618	
0,260000012	-0,074595556	0,049738977	
0,280000013	-0,074436612	0,051176663	
0,300000014	-0,074277669	0,049969394	
0,320000015	-0,074489594	0,048648983	

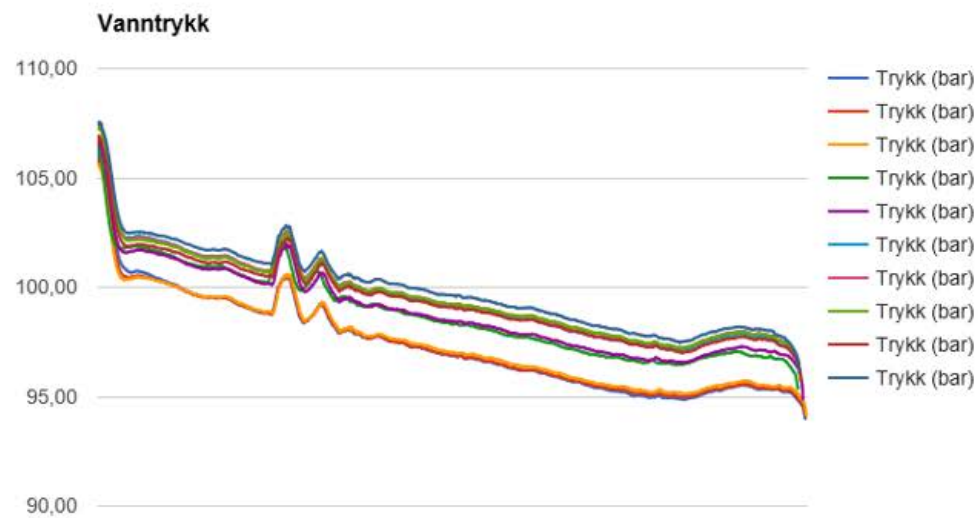
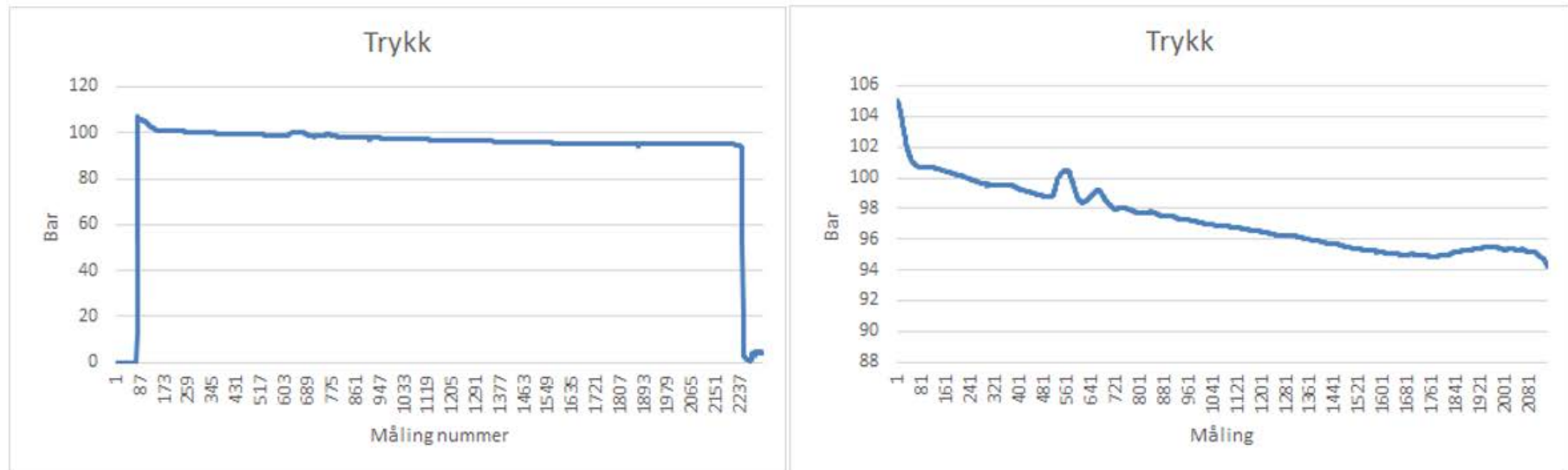
Vedlegg

Når uønskede målinger er filtrert bort står man igjen med følgende:

File comment:			
Time 1 - default sample rate	Position	Pressure	
s	mm	bar	
1,60000076	-6,836994171	105,6706543	
1,62000077	-7,072975636	105,8221741	
1,64000078	-7,30344677	105,7910004	
1,66000079	-7,5351367	105,8601685	
1,6800008	-7,760892868	105,7745819	
1,70000081	-7,989244461	105,8143158	
1,72000082	-8,213411331	105,7355118	
1,74000083	-8,444465637	105,7448883	
1,76000084	-8,671969414	105,6828995	
1,78000085	-8,898572922	105,6519165	
1,80000085	-9,125547409	105,5923615	
1,82000086	-9,352733612	105,5392914	
1,84000087	-9,578436852	105,4942703	
1,86000088	-9,802126884	105,4285202	
1,88000089	-10,02910137	105,3790665	
1,9000009	-10,25612831	105,3176117	
1,92000091	-10,48273182	105,2690353	
1,94000092	-10,70917702	105,2071304	
1,96000093	-10,93646908	105,1514435	

Vedlegg

Utvalget av data skjer manuelt, hvor de nevnte fasene filtreres bort og at man blir sittende igjen med trykkområdet som skal undersøkes.



Vedlegg

BEREGNING AV HASTIGHET OG DERA AV ENERGITAP:

Med filtrert rådata kan man innsette følgende formler:

$$\text{Hastighet: } =(((B5-B4)/1000)/0,02)*(((0,1^2)-(0,05^2))/(0,001^2))*(-1) \text{ basert på } V = \frac{\text{Pos2} - \text{Pos1}}{1/f} \cdot \frac{0,1^2 - 0,05^2}{(D_{dise})^2}$$

$$\text{Virkningsgrad: } =(1000*D4^2)/(2*C4*10^5) \text{ basert på } \eta = \frac{\rho v^2}{2P}$$

File comment:				
Time 1 - default sample rate	Position	Pressure	Hastighet	Virkningsgrad
s	mm	bar	m/s	
1,98000009404495	-11,1629667282104	105,092140197753	(((B5-B4)/1000)/0,02)*(((0,1^2)-(0,05^2))/(0,001^2))*(-1)	=(1000*D4^2)/(2*C4*10^5)
2,0000000949949	-11,3888282775878	105,033287048339		
2,02000009594485	-11,6157503128051	104,969482421875		
2,0400000968948	-11,8430423736572	104,901092529296		
2,06000009784474	-12,0714473724365	104,831497192382		
2,08000009879469	-12,2998523712158	104,75650024414		
2,10000009974464	-12,5280990600585	104,674087524414		
2,12000010069459	-12,7565565109252	104,585708618164		
2,14000010164454	-12,9854917526245	104,494117736816		
2,16000010259449	-13,2146911621093	104,401344299316		
2,18000010354444	-13,4449501037597	104,307434082031		
2,20000010449439	-13,674521446228	104,212051391601		
2,22000010544434	-13,9040384292602	104,109146118164		
2,24000010639429	-14,1351985931396	103,997322082519		
2,26000010734423	-14,3653526306152	103,884788513183		
2,28000010829418	-14,5959825515747	103,773796081542		
2,30000010924413	-14,8271951675415	103,665046691894		
2,32000011019408	-15,0576667785644	103,552780151367		
2,34000011114403	-15,2877140045166	103,43650817871		
2,36000011209398	-15,5185565948486	103,326110839843		
2,38000011304393	-15,7509880065917	103,220008850097		

Vedlegg

BEREGNING AV HELE DOKUMENTETS HASTIGHET OG VIRKNINGSGRAD:

Ved å markere formlene som vist på bildet under kan det dras nedover for å få alt beregnet ved at Excel gjenkjenner mønsteret.

File comment:				
Time 1 - default sample s	Position mm	Pressure bar	Hastighet m/s	Virkningsgrad
1,980000094	-11,16296673	105,0921402	84,69808102	0,341308347
2,000000095	-11,38882828	105,033287	85,09576321	0,344714001
2,020000096	-11,61575031	104,9694824	85,23452282	0,346049333
2,040000097	-11,84304237	104,9010925	85,65187454	0,349674319
2,060000098	-12,07144737	104,8314972	85,65187454	0,34990646
2,080000099	-12,29985237	104,7565002	85,59250832	0,349671737
2,1000001	-12,52809906	104,6740875	85,67154408	0,350593621
2,120000101	-12,75655651	104,5857086	85,85071564	0,352359107
2,140000102	-12,98549175	104,4941177	85,94977856	0,35348231
2,160000103	-13,21469116	104,4013443	86,34710312	0,35707501
2,180000104	-13,4449501	104,3074341	86,08925343	0,355265165
2,200000104	-13,67452145	104,2120514	86,06886864	0,355421952
2,220000105	-13,90403843	104,1091461	86,68506145	0,360885674
2,240000106	-14,13519859	103,9973221	86,30776405	0,358135671
2,260000107	-14,36535263	103,8847885		
2,280000108	-14,59598255	103,7737961		
2,300000109	-14,82719517	103,6650467		
2,32000011	-15,05766678	103,5527802		
2,340000111	-15,287714	103,4365082		
2,360000112	-15,51855659	103,3261108		
2,380000113	-15,75098801	103,2200089		
2,400000114	-15,98267746	103,1113586		
2,420000115	-16,21261978	103,0022659		



Vedlegg

BEREGNING AV MIDDELVERDI OG STANDARDAVVIKET PÅ VIRKNINGSGRAD:

Når alle hastigheter og virkningsgrader er beregnet kan man innsette følgende formler for å beregne middelværdi og standardavvik i Excel:

Middelværdi: =GJENNOMSNIITT(E4:E2145)

Standardavvik: =STDAV.P(E4:E2145)

Hvor E4 er første beregnet virkningsgrad og E2145 den siste.

Time 1 - default sample rate	Position	Pressure	Hastighet	Virkningsgrad
44,4000021088868	-491,1142578125	94,8374099731445	=(((B2126-B2125)/1000)/0,02)*	=(1000*D2125^2)/(2*C2125*10^4)
44,4200021098367	-491,334991455078	94,8230895996093	=(((B2127-B2126)/1000)/0,02)*	=(1000*D2126^2)/(2*C2126*10^4)
44,4400021107867	-491,555450439453	94,8106460571289	=(((B2128-B2127)/1000)/0,02)*	=(1000*D2127^2)/(2*C2127*10^4)
44,4600021117366	-491,775421142578	94,7944107055664	=(((B2129-B2128)/1000)/0,02)*	=(1000*D2128^2)/(2*C2128*10^4)
44,4800021126866	-491,994995117187	94,7750396728515	=(((B2130-B2129)/1000)/0,02)*	=(1000*D2129^2)/(2*C2129*10^4)
44,5000021136365	-492,215087890625	94,7547760009765	=(((B2131-B2130)/1000)/0,02)*	=(1000*D2130^2)/(2*C2130*10^4)
44,5200021145865	-492,43569946289	94,7383346557617	=(((B2132-B2131)/1000)/0,02)*	=(1000*D2131^2)/(2*C2131*10^4)
44,5400021155364	-492,657196044921	94,7194519042968	=(((B2133-B2132)/1000)/0,02)*	=(1000*D2132^2)/(2*C2132*10^4)
44,5600021164864	-492,878936767578	94,6971206665039	=(((B2134-B2133)/1000)/0,02)*	=(1000*D2133^2)/(2*C2133*10^4)
44,5800021174363	-493,099945068359	94,6751098632812	=(((B2135-B2134)/1000)/0,02)*	=(1000*D2134^2)/(2*C2134*10^4)
44,6000021183863	-493,320648193359	94,6566314697265	=(((B2136-B2135)/1000)/0,02)*	=(1000*D2135^2)/(2*C2135*10^4)
44,6200021193362	-493,540954589843	94,6388626098632	=(((B2137-B2136)/1000)/0,02)*	=(1000*D2136^2)/(2*C2136*10^4)
44,6400021202862	-493,761932373046	94,6191177368164	=(((B2138-B2137)/1000)/0,02)*	=(1000*D2137^2)/(2*C2137*10^4)
44,6600021212361	-493,983276367187	94,5979919433593	=(((B2139-B2138)/1000)/0,02)*	=(1000*D2138^2)/(2*C2138*10^4)
44,6800021221861	-494,204010009765	94,5739059448242	=(((B2140-B2139)/1000)/0,02)*	=(1000*D2139^2)/(2*C2139*10^4)
44,700002123136	-494,424926757812	94,5443267822265	=(((B2141-B2140)/1000)/0,02)*	=(1000*D2140^2)/(2*C2140*10^4)
44,720002124086	-494,646087646484	94,511604309082	=(((B2142-B2141)/1000)/0,02)*	=(1000*D2141^2)/(2*C2141*10^4)
44,7400021250359	-494,86669921875	94,477928161621	=(((B2143-B2142)/1000)/0,02)*	=(1000*D2142^2)/(2*C2142*10^4)
44,7600021259859	-495,087219238281	94,4338912963867	=(((B2144-B2143)/1000)/0,02)*	=(1000*D2143^2)/(2*C2143*10^4)
44,7800021269358	-495,307556152343	94,3538970947265	=(((B2145-B2144)/1000)/0,02)*	=(1000*D2144^2)/(2*C2144*10^4)
44,8000021278858	-495,527313232421	94,241355895996	=(((B2146-B2145)/1000)/0,02)*	=(1000*D2145^2)/(2*C2145*10^4)
			Middelværdi	=GJENNOMSNIITT(E4:E2145)
			Standardavvik	=STDAV.P(E4:E2145)

Denne middelværdien og standardavviket vil deretter beregnes på samme måte for alle testsekvenser, før det middelværdier samles i ett eget Excel-ark for videre beregninger og undersøkelser.

Vedlegg 12. Testresultat: Datasammendrag

Klikk ikonet for å åpne Excel-fil:

Vedlegg 13. Testresultat: Rådata og beregninger

Dyse 10-60-30 på 100 bar. Klikk ikonet for å åpne Excel-fil:



Dyse 10-60-30 på 200 bar. Klikk ikonet for å åpne Excel-fil:



Dyse 10-60-30 på 270 bar. Klikk ikonet for å åpne Excel-fil:



Dyse 15-60-30 på 100 bar. Klikk ikonet for å åpne Excel-fil:



Dyse 20-60-30 på 100 bar. Klikk ikonet for å åpne Excel-fil:



Dyse 20-60-30 på 200 bar. Klikk ikonet for å åpne Excel-fil:



Dyse 20-60-30 på 270 bar. Klikk ikonet for å åpne Excel-fil:



Dyse 22-60-30 på 100 bar. Klikk ikonet for å åpne Excel-fil:



Dyse 25-60-30 på 100 bar. Klikk ikonet for å åpne Excel-fil:



Dyse 27-60-30 på 100 bar. Klikk ikonet for å åpne Excel-fil:



Dyse 30-60-30 på 100 bar. Klikk ikonet for å åpne Excel-fil:



Dyse 30-60-30 på 200 bar. Klikk ikonet for å åpne Excel-fil:



Dyse 30-60-30 på 270 bar. Klikk ikonet for å åpne Excel-fil:



Vedlegg

Dyse 32-60-30 på 100 bar. Klikk ikonet for å åpne Excel-fil:



Dyse 35-60-30 på 100 bar. Klikk ikonet for å åpne Excel-fil:



Dyse 40-60-30 på 100 bar. Klikk ikonet for å åpne Excel-fil:



Dyse 45-60-30 på 100 bar. Klikk ikonet for å åpne Excel-fil:



Dyse 10-60-100 på 200 bar. Klikk ikonet for å åpne Excel-fil:



Dyse 10-60-100 på 270 bar. Klikk ikonet for å åpne Excel-fil:



Dyse 10-60-100 på 200 bar. Klikk ikonet for å åpne Excel-fil:



Dyse 10-60-100 på 270 bar. Klikk ikonet for å åpne Excel-fil:



Dyse 20-60-200 på 200 bar. Klikk ikonet for å åpne Excel-fil:



Dyse 30-60-200 på 200 bar. Klikk ikonet for å åpne Excel-fil:



Dyse 20-80-100 på 270 bar. Klikk ikonet for å åpne Excel-fil:



Dyse 20-80-30-F05 på 270 bar. Klikk ikonet for å åpne Excel-fil:



Dyse 20-80-30-F10 på 270 bar. Klikk ikonet for å åpne Excel-fil:



Dyse 20-100-30 på 200 bar. Klikk ikonet for å åpne Excel-fil:



Vedlegg 14. Avvikende dysediameter

For å illustrere hvor mye et diameteravvik påvirker beregnet virkningsgraden om den ikke tas høyde for er det tatt utgangspunkt i en ønsket dysediameter lik 1 mm og et diameteravvik tilsvarende 0,1 mm, slik at faktisk dysediameter d_{dyse} er lik 1,1 mm. Dysens utløpshastighet v_{dyse} uttrykkes som en funksjon av stempelhastigheten $v_{stempel}$ ved hjelp av følgende likning:

$$v_{dyse} = v_{stempel} * \frac{D^2 - d^2}{d_{dyse}^2}$$

Der sylinderdiameteren D er 100 mm og stempelstangdiameteren d er 50 mm. Som man kan se vil nevneren alltid være veldig lav i forhold til telleren. På grunn av dette vil et avvik på dysediameteren føre til en potensiell stor feil i databehandlingen om denne ikke tas høyde for.

Et diameteravvik lik 0,1 mm, som gjør at d_{dyse} endrer seg fra 1,0 til 1,1, vil da føre til at nevneren d_{dyse} endres fra $1,0^2=1,0$ til $1,1^2=1,21$. Dette er da en prosentvis økning lik

$$\frac{1,1^2 - 1,0^2}{1,0^2} = 0,21 = 21\%$$

Dette fører så til at den beregnede utløpshastigheten, v_{dyse} , øker tilsvarende i forhold til virkeligheten, 21 %. Virkningsgraden er som det går fram av vedlegg (X.X) side (Y.Y) gitt ved følgende likning:

$$\eta = \frac{\rho v^2}{2P}$$

Der virkningsgraden η som man kan se øker eksponensielt med hastigheten om vanntrykket P er uforandret. Den beregnede hastighetsendringen som følge av avvikende dysediameter vil derfor påvirke virkningsgraden eksponensielt. Virkningsgraden vil derfor avvike med $1,21^2=1,46$, altså 46 %.

Altså, for en dyse med diameter lik 1 mm og et diameteravvik likt 0,1 mm, vil dette medføre at den beregnede virkningsgraden vil være 46 % høyere enn den faktisk er, noe som er meget kritisk for resultatenes troverdighet.

Vedlegg 15. Kontrollmåling av testdyser

Kontrollmålinger av dysene oppgitt nedenfor ble gjennomført med skolens måleprojektor, en Mitutoyo Ph3500 profil-projektor. Denne har en oppløsning på 0,001 mm, og en forstørrelse-nøyaktighet på 0,1%. Det ble gjennomført 2 målinger der dysene ble vridd 90° før måling 2.

Dysenr	Diameter (mm)	Måleresultat (mm)		Gjennomsnitt (mm)
		Måling 1	Måling 2	
1	1,00	0,99	0,99	0,99
2	2,00	1,89	1,90	1,90
3	3,00	3,12	3,09	3,11
4 (mod. 3 mm)	3,00	2,98	2,98	2,98
5 (mod. 3 mm)	3,00	2,99	3,01	3,00
6	2,00	1,87	1,87	1,87
7	2,00	1,95	1,96	1,96

Vedlegg 16. Beregning av testsystemets reproduserbarhet

KONSTRUKSJON AV KONFIDENSINTERVALL

Når standardavviket er ukjent kan man ta utgangspunkt i det empiriske standardavviket og benytte en Student-t fordeling. T-fordelingen ble utledet av William Searly Gosset, men publisert under pseudonymet Student i 1876 (Løvås 2013). Formlene hentes fra formelsamlingen til Hans Petter Hornæs (2007).

Når standardavviket er ukjent får vi følgende fordeling:

$$T = \frac{\bar{X} - \mu}{S} \sqrt{n} \sim T_{n-1} \quad (\text{Students T-fordelt med } n - 1 \text{ frihetsgrader})$$

Hvor det kan anvendes til å lage konfidensintervall som følgende:

$$\left(\bar{x} - t_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}}, \bar{x} + t_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} \right)$$

Vedlegg

Beregningene tas basert på 10 testsekvenser for dyse 10-60-30, 20-60-30 og 30-60-30. Bakgrunnen for dysevalg er at disse er EAB sine dysetyper som benyttes i Soft Landing Cylinder. Hvor beregningene tar utgangspunkt i beregnet middelvei for hver testsekvens og beregnet en ett nytt snitt basert på 10 snitt. Det empirisk standardavviket beregnes fra samme datagrunnlag og benyttes til å sette opp konfidensintervall som følgende:

DYSE 10-60-30 VED 100 BAR:

Testsykel	10-60-30	
	Middelvei	
1	0,3697	$\left(0,3690 - t_{99,8\%/2,n-1} \cdot \frac{0,000402906}{\sqrt{10}}, 0,3690 + t_{99,8\%/2,n-1} \cdot \frac{0,000402906}{\sqrt{10}} \right)$
2	0,3696	
3	0,3692	$\left(0,3690 - t_{0,0110-1} \cdot \frac{0,000402906}{\sqrt{10}}, 0,3690 + t_{0,0110-1} \cdot \frac{0,000402906}{\sqrt{10}} \right)$
4	0,3690	
5	0,3688	$\left(0,3690 - 2,821 \cdot \frac{0,000402906}{\sqrt{10}}, 0,3690 + 2,821 \cdot \frac{0,000402906}{\sqrt{10}} \right)$
6	0,3686	
7	0,3686	
8	0,3687	$(0,3686, 0,3694)$
9	0,3687	
10	0,3688	
Tot MV:	0,3690	
Std:	0,000402906	

DYSE 20-60-30 VED 100 BAR:

Testsykel	20-60-30	
	Middelvei	
1	0,3766	$\left(0,3762 - t_{99,8\%/2,n-1} \cdot \frac{0,000182878}{\sqrt{10}}, 0,3762 + t_{99,8\%/2,n-1} \cdot \frac{0,000182878}{\sqrt{10}} \right)$
2	0,3765	
3	0,3763	$\left(0,3762 - t_{0,0110-1} \cdot \frac{0,000182878}{\sqrt{10}}, 0,3762 + t_{0,0110-1} \cdot \frac{0,000182878}{\sqrt{10}} \right)$
4	0,3762	
5	0,3761	$\left(0,3762 - 2,821 \cdot \frac{0,000182878}{\sqrt{10}}, 0,3762 + 2,821 \cdot \frac{0,000182878}{\sqrt{10}} \right)$
6	0,3762	
7	0,3761	
8	0,3761	$(0,3760, 0,3764)$
9	0,3761	
10	0,3761	
Tot MV:	0,3762	
Std:	0,000182878	

DYSE 30-60-30 VED 100 BAR:

Testsykel	30-60-30	
	Middelverdi	
1	0,4689	$\left(0,4692 - t_{99,8\%/2, n-1} \cdot \frac{0,000252982}{\sqrt{10}}, 0,4692 + t_{99,8\%/2, n-1} \cdot \frac{0,000252982}{\sqrt{10}} \right)$
2	0,4691	
3	0,4691	$\left(0,4692 - t_{0,0110-1} \cdot \frac{0,000252982}{\sqrt{10}}, 0,4692 + t_{0,0110-1} \cdot \frac{0,000252982}{\sqrt{10}} \right)$
4	0,4691	
5	0,4692	$\left(0,4692 - 2,821 \cdot \frac{0,000252982}{\sqrt{10}}, 0,4692 + 2,821 \cdot \frac{0,000252982}{\sqrt{10}} \right)$
6	0,4690	
7	0,4692	$(0,4690, 0,4694)$
8	0,4693	
9	0,4696	
10	0,4697	
Tot MV:	0,4692	
Std:	0,000252982	

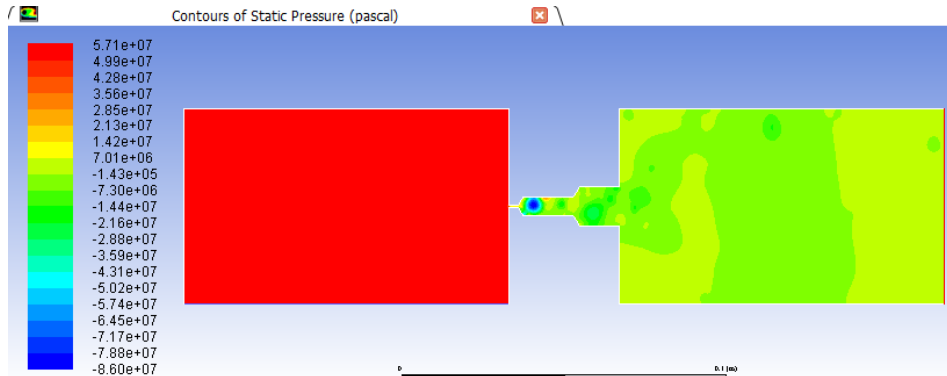
KONKLUSJON:

Disse konfidensintervallene setter samme strenge krav til testsystemet som det ble gjort i anslaget av antall testsekvenser dvs. et 99,8% konfidensintervall og dersom målte middelverdier havner innenfor grensene kan man si at påliteligheten til testen er 99,8% sikker. Ovenfor ser man at standardavvikene er på tusendeler og 24 av 30 målinger havner innenfor konfidensintervallene. De siste seks er utenfor med mindre enn 4 tusendeler. Noe som i denne sammenhengen har svært lite å si for testresultatet. Det viktige poenget er at testsystemet har høy grad av reproduserbarhet. Påliteligheten til testsystemet konkluderes å være god.

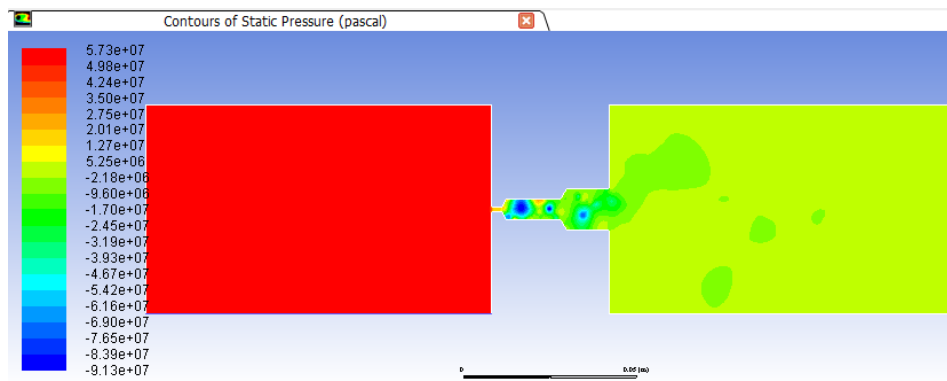
Vedlegg 17. Resultater fra FEM-analyse

For å kalkulere virkningsgrad ut fra analysene setter man inn høyeste avleste statisk trykk for P i formelen (kapittel 2.3.1):

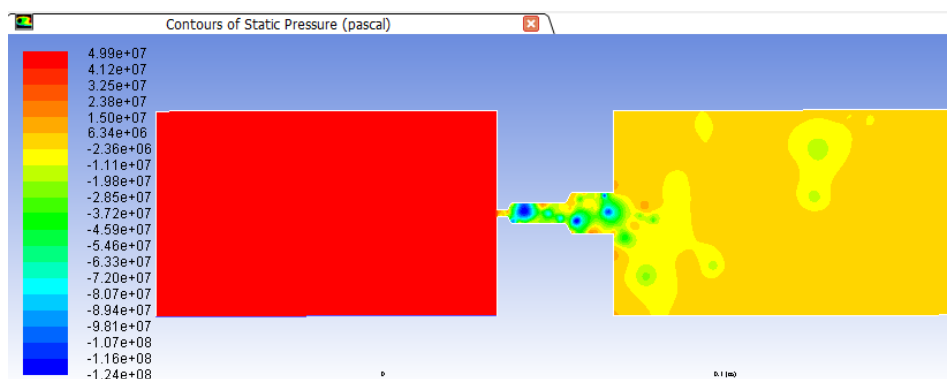
$$\eta = \frac{\rho \cdot v^2}{2 \cdot P} = \frac{1000 \text{ kg} / \text{m}^3 \cdot (200 \text{ m} / \text{s})^2}{2 \cdot P}$$



Dyse 10-60-30
P = 5,71e7 Pa
 $\eta = 0,3503$

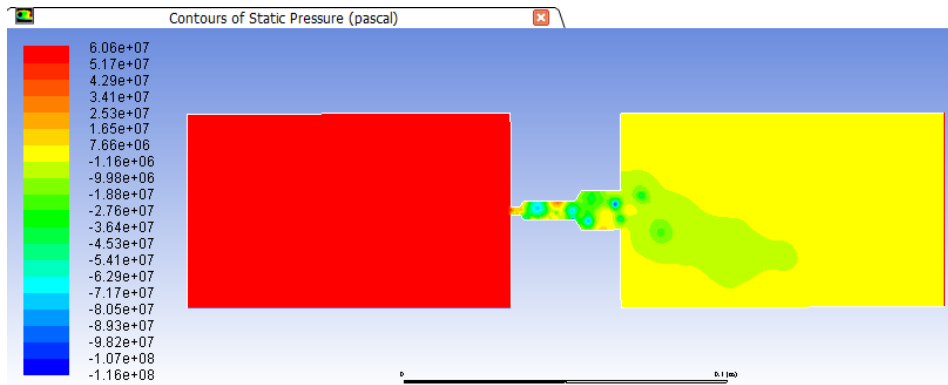


Dyse 15-60-30
P = 5,73e7 Pa
 $\eta = 0,3490$

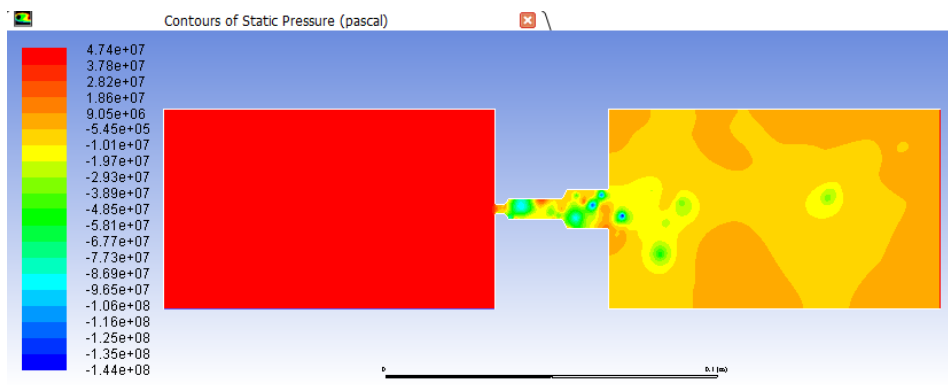


Dyse 20-60-30
P = 4,99e7 Pa
 $\eta = 0,4008$

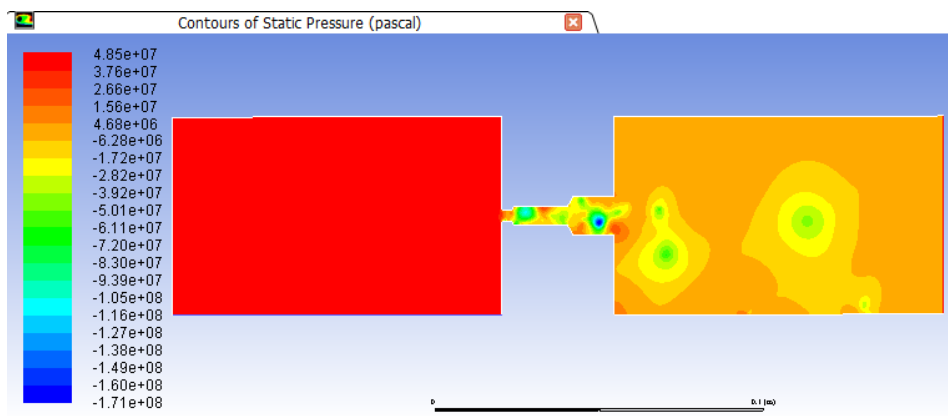
Vedlegg



Dyse 25-60-30
 $P = 6,06e7$ Pa
 $\eta = 0,3300$



Dyse 30-60-30
 $P = 4,74e7$ Pa
 $\eta = 0,4219$



Dyse 35-60-30
 $P = 4,85e7$ Pa
 $\eta = 0,4124$

Vedlegg 18. Sprengskisser av testsystem

Nr	Ant	Komponent
1	1	Bøtte
2	1	Hyd. sylinder
3	1	Sylinderbrakett
4	1	Sensorarm
5	1	Posisjonssensor
6	2	Rørklemme Ø12
7	1	Beskyttelsesdeksel
8	1	Adapter G1 - M20
9	2	Slangenippel G 1/2" M
10	1	Adapter G 3/8" M - G 1/2" F
11	2	Adapter G 1/2" M - G 1/2" M
12	1	T-skjøt G 1/2" F-F-F
13	1	2-veis kuleventil G 1/2" M
14	1	Adapter G 1/2" M - G 1/2" F
15	16	Planskive Ø8.4
16	4	Skrue M8 x 30
17	4	Skrue M10 x 20
18	1	Skrue M12 x 25
19	1	Dyse
20	1	P8AP 500bar trykksensor

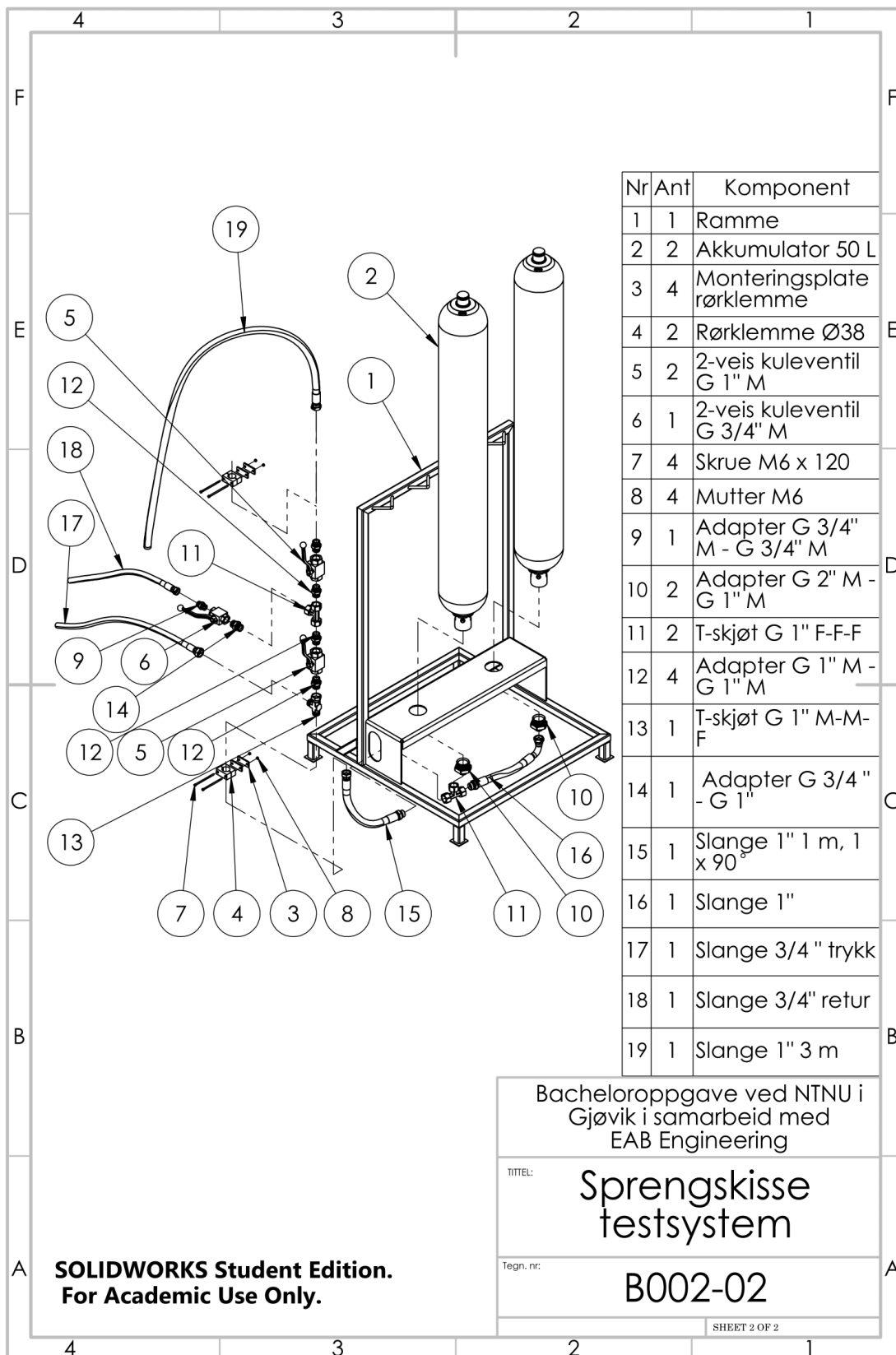
Bacheloroppgave ved NTNU i Gjøvik i samarbeid med EAB Engineering

TITEL: **Sprengskisse testsystem**

Tegn. nr: **B002-01**

SHEET 1 OF 2

SOLIDWORKS Student Edition. For Academic Use Only.



Nr	Ant	Komponent
1	1	Ramme
2	2	Akkumulator 50 L
3	4	Monteringsplate rørklemme
4	2	Rørklemme Ø38
5	2	2-veis kuleventil G 1" M
6	1	2-veis kuleventil G 3/4" M
7	4	Skrue M6 x 120
8	4	Mutter M6
9	1	Adapter G 3/4" M - G 3/4" M
10	2	Adapter G 2" M - G 1" M
11	2	T-skjøt G 1" F-F-F
12	4	Adapter G 1" M - G 1" M
13	1	T-skjøt G 1" M-M-F
14	1	Adapter G 3/4" - G 1"
15	1	Slange 1" 1 m, 1 x 90°
16	1	Slange 1"
17	1	Slange 3/4" trykk
18	1	Slange 3/4" retur
19	1	Slange 1" 3 m

Bacheloroppgave ved NTNU i
Gjøvik i samarbeid med
EAB Engineering

TITTEL:

**Sprengskisse
testsystem**

Tegn. nr:

B002-02

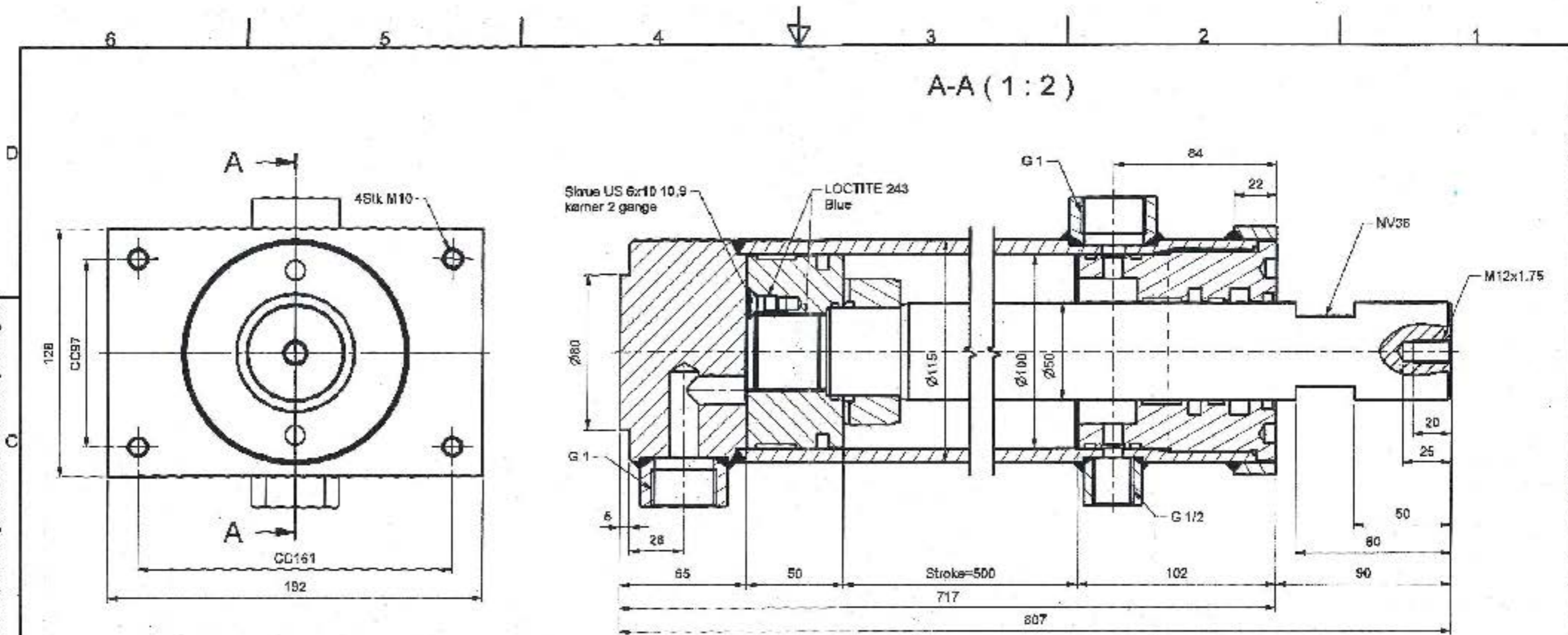
**SOLIDWORKS Student Edition.
For Academic Use Only.**

SHEET 2 OF 2

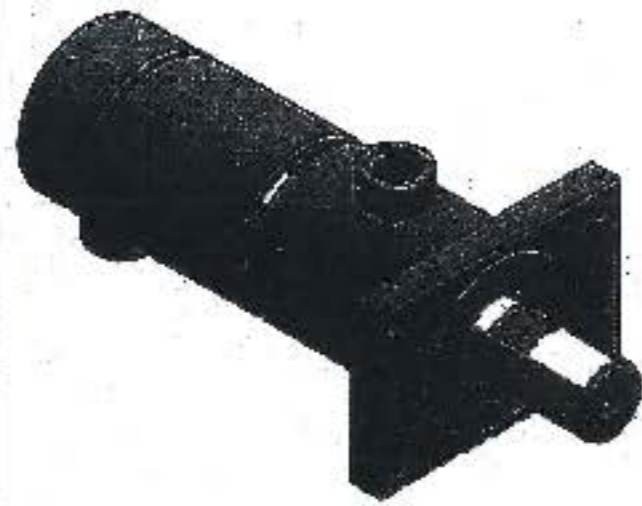
Vedlegg

Vedlegg 19. Arbeidstegning: Dobbeltvirkende sylinder

This drawing is the property of Klinkby Maskinfabrik A/S and protected in accordance with prevailing law.



Stang : 742
Rør : 647



	Tryk/ Push	Træk/ Pull
Max Working pressure	400	400
Test pressure	520	
Building safety acc. to DNV No.201	SF >= 4,0	
Max allowable speed	0,5 m/s	
Operating oil temperature	-30°C to +80°C	
Pressure medium	Mineral oil/Water	

Dato: 14.10.09
 ATT: Idr. Chellen
TEGNING TIL GODKENDELSE
 Tegning BKAL reservede godkendt for videre
 sagsbehandling
 Godkendt: *[Signature]*
 M.V.H. Bo S. Hansen

Edgs tolerance: ISO 13715

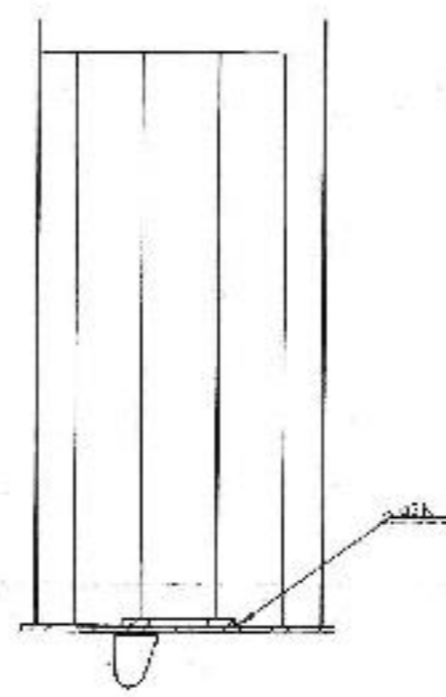
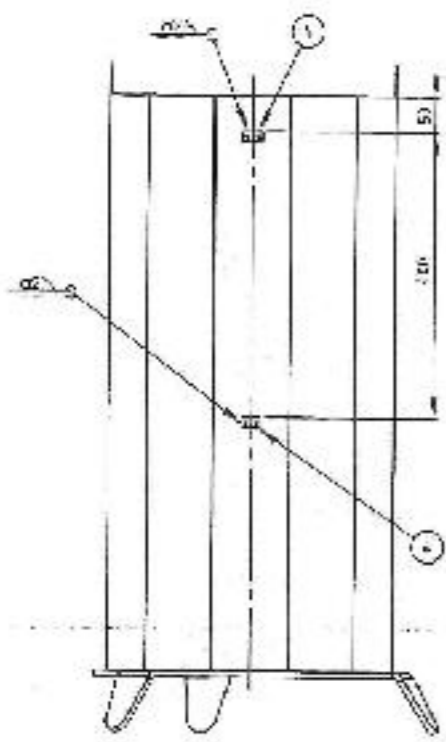
Stempelstang : W1.4418 m 25 μ ±0,5 chrom
 Rør: Honet rør: W1.4418

	Dimension:	Material:	Dimension without tolerance after:	Weight	Scale	Drawn
			ISO 2768: Middel	38,78 kg	1:2	cd
Klinkby Maskinfabrik A/S Sønderbyvej 6, Klinkby DK-7620 Lønavig Tlf. 14597836599 Fax. 14597836009			Name DVGFRS 100/50-500 Damping		Approved	
			Date:	Drawing No.:	Rev. No.:	
			14-10-2009	100-2601-03	0	

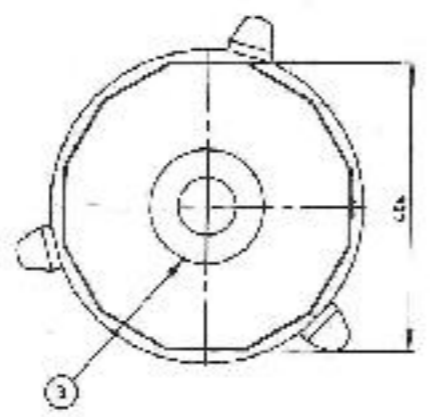
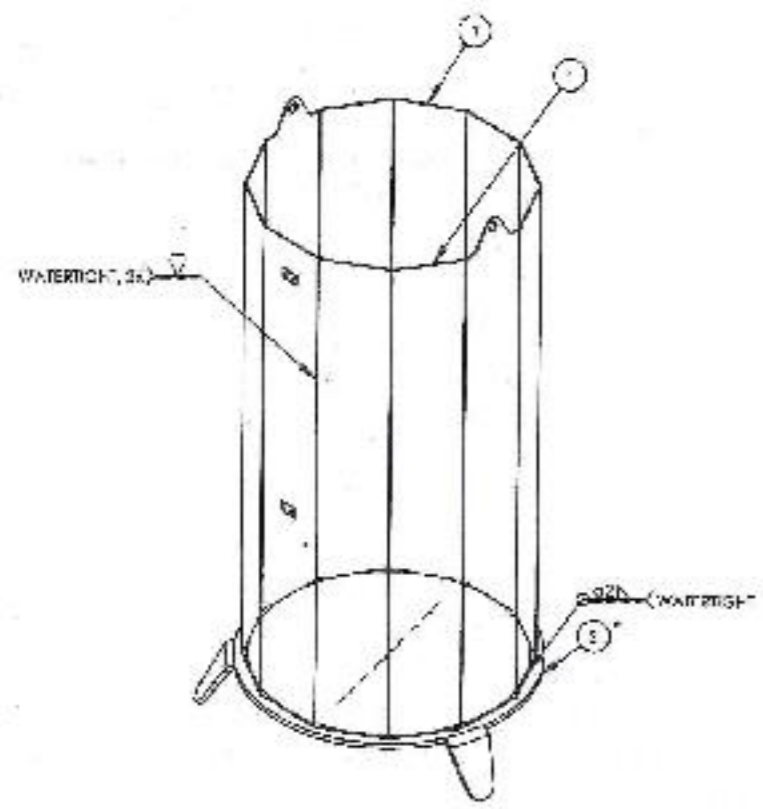
Vedlegg

Vedlegg 20. Arbeidstegning: Testbøtte

No.	Rev.	Date	By	Chk.	Appr.	Drawn
1						
2						



SECTION A-A



- NOTES
1. TOLERANCES UNLESS SPECIFIED: AS PER ISO 2868-1
 2. UNLESS NOTED OTHERWISE, ALL SHARP EDGES TO BE CHAMFERED / ROUNDED AS SHOWN.
 3. TOTAL WEIGHT OF 1 OFF UNIT AS DRAWN: - IN AIR: 20 KG
 4. PART YELLOW
 5. DIMENSIONS ARBITRARY

4	WATER TIGHT PLATE FOR TEST	5			
1	PLATE 100x100	1	5335		
5	PLATE 100x100	1	5335		10
1	PLATE 100x100	1	5335		8

Scale	1:1	1:2	1:5	1:10	1:20	1:50	1:100
Material	Steel	Aluminum	Copper	Brass	Cast Iron	Stainless Steel	Other
Surface	Polished	Matte	Painted	Coated	Other		

EAB ENGINEERING
SUBSEA SOLUTIONS

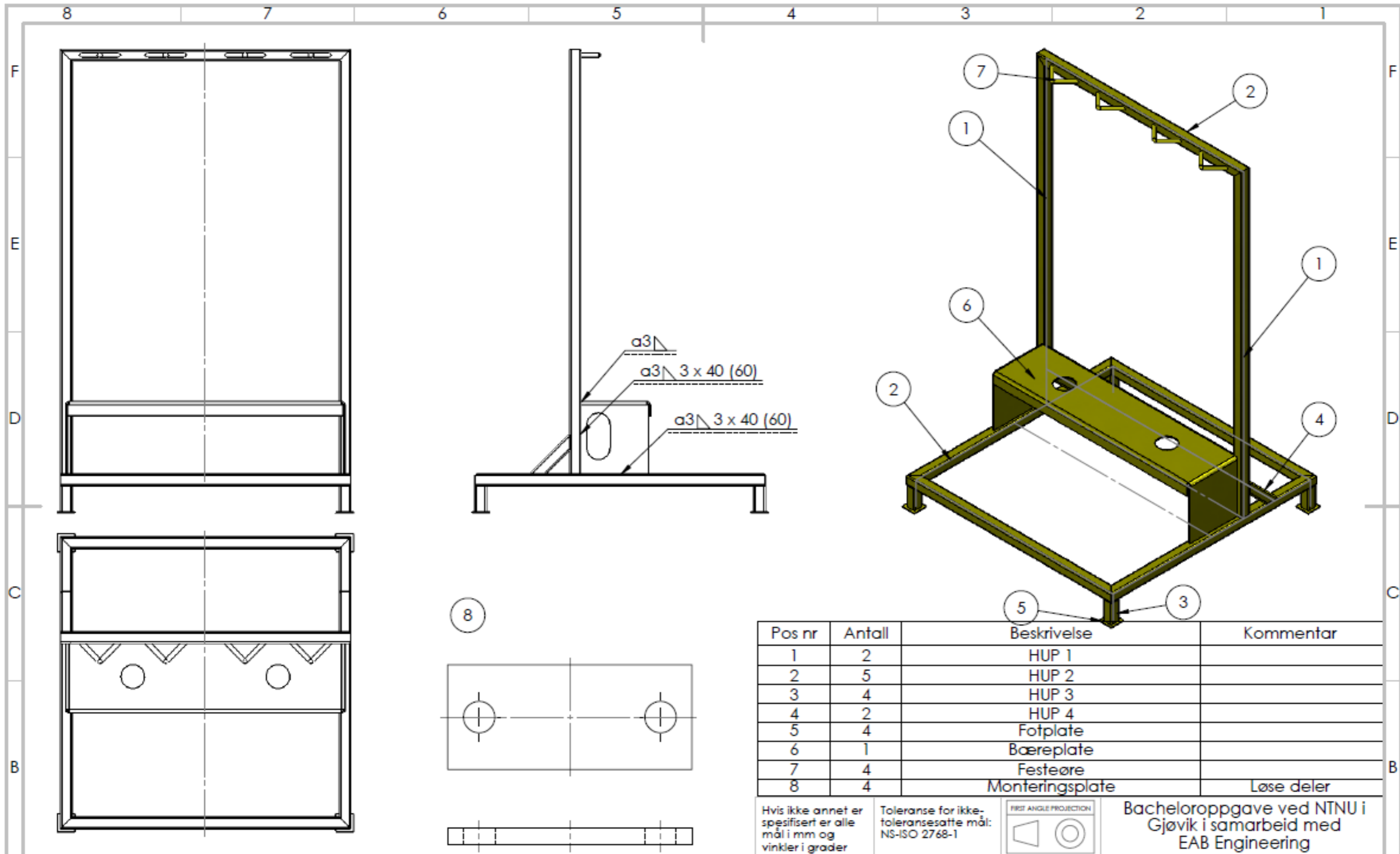
Phone: +47 51 20 21 00 | Fax: +47 51 20 21 01
EAB@EAB.NO | WWW.EAB.NO

NOZZLE TEST
BUCKET, ASSEMBLY

18881

Vedlegg

Vedlegg 21. Arbeidstegning: Akkumulatorramme



Pos nr	Antall	Beskrivelse	Kommentar
1	2	HUP 1	
2	5	HUP 2	
3	4	HUP 3	
4	2	HUP 4	
5	4	Fotplate	
6	1	Bæreplate	
7	4	Festeøre	
8	4	Monteringsplate	Løse deler

Hvis ikke annet er spesifisert er alle mål i mm og vinkler i grader

Toleranse for ikke-toleransesatte mål: NS-ISO 2768-1

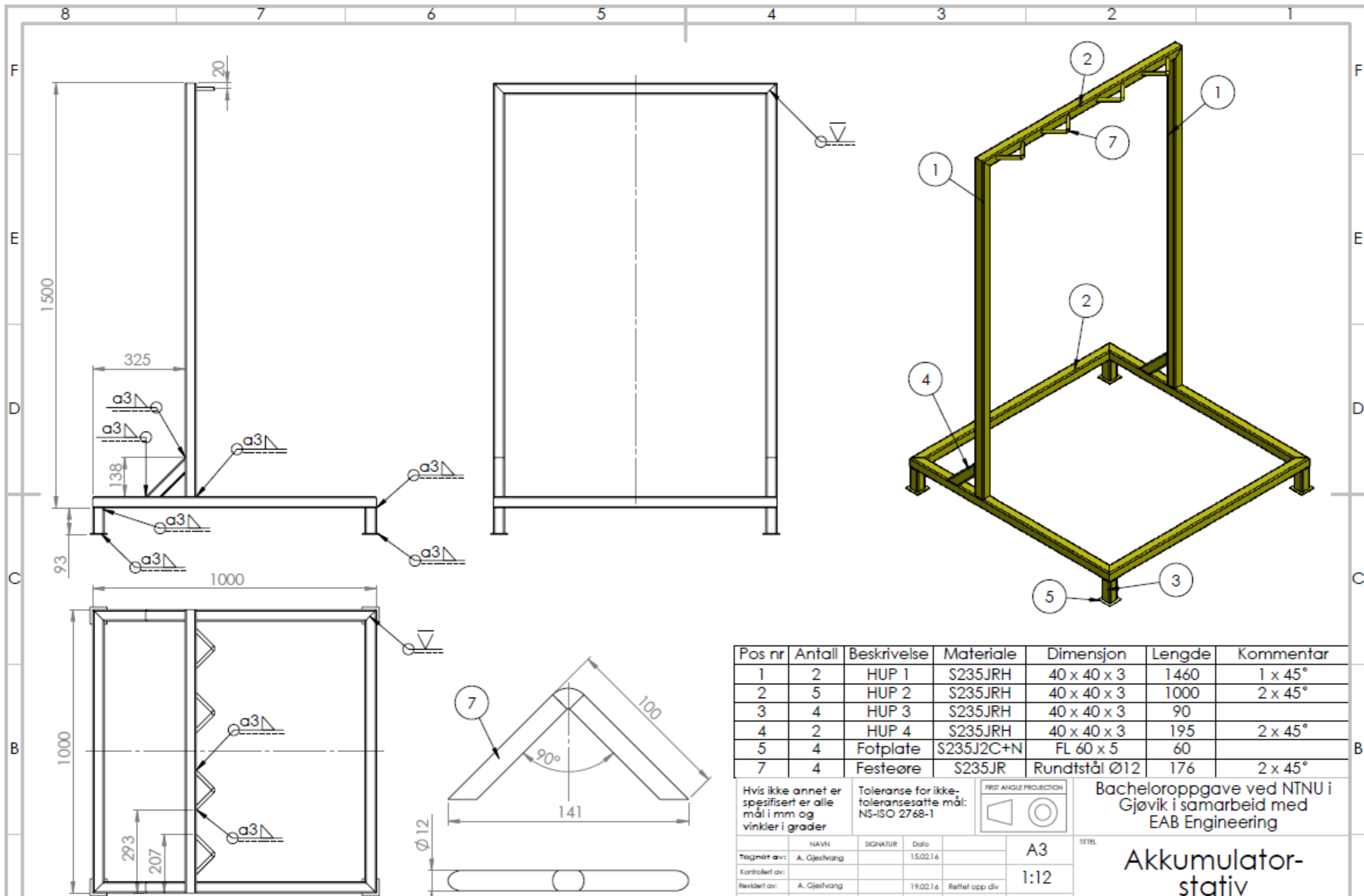


Bacheloroppgave ved NTNU i Gjøvik i samarbeid med EAB Engineering

NAVN	SIGNATUR	Dato	
Tegnet av: A. Gjestvang		15.02.16	A3
Kontrollert av:			1:12
Revidert av: A. Gjestvang		19.02.16	Rettel opp div
A. Gjestvang		22.02.16	Endret høyde

TITTEL
Akkumulatorstativ

tegn. nr.
B001-00



Pos nr	Antall	Beskrivelse	Materiale	Dimensjon	Lengde	Kommentar
1	2	HUP 1	S235JRH	40 x 40 x 3	1460	1 x 45°
2	5	HUP 2	S235JRH	40 x 40 x 3	1000	2 x 45°
3	4	HUP 3	S235JRH	40 x 40 x 3	90	
4	2	HUP 4	S235JRH	40 x 40 x 3	195	2 x 45°
5	4	Fotplate	S235J2C+N	FL 60 x 5	60	
7	4	Festeøre	S235JR	Rundtstål Ø12	176	2 x 45°

Hvis ikke annet er spesifisert er alle mål i mm og vinkler i grader

Toleranse for ikke-toleransesatte mål: NS-ISO 2768-1

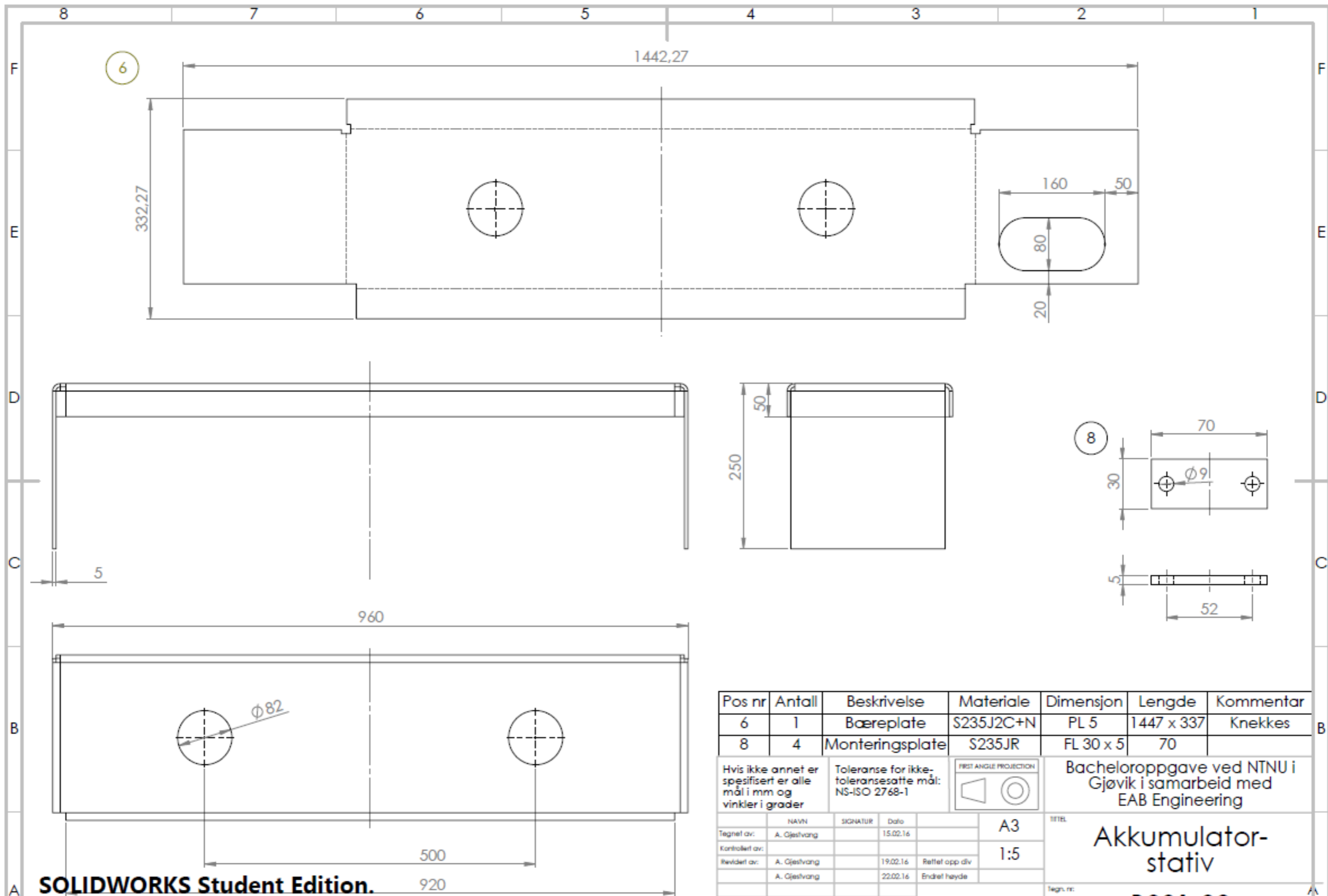
FIRST ANGLE PROJECTION

Bacheloroppgave ved NTNU i Gjøvik i samarbeid med EAB Engineering

TITTEL: Akkumulatorstativ

Tegn. nr: B001-01

NAVN	SIGNATUR	Dato		A3
Tegnet av: A. Gjeslvang		15.02.16		1:12
Kontrollert av:				
Revidert av: A. Gjeslvang		19.02.16	Rettet opp div	
A. Gjeslvang		22.02.16	Endret høyde	



Pos nr	Antall	Beskrivelse	Materiale	Dimensjon	Lengde	Kommentar
6	1	Bæreplate	S235J2C+N	PL 5	1447 x 337	Knekkes
8	4	Monteringsplate	S235JR	FL 30 x 5	70	

Hvis ikke annet er spesifisert er alle mål i mm og vinkler i grader

Toleranse for ikke-toleransesatte mål: NS-ISO 2768-1

FIRST ANGLE PROJECTION

Bacheloroppgave ved NTNU i Gjøvik i samarbeid med EAB Engineering

NAVN	SIGNATUR	Dato	
Tegnet av: A. Ojesvang		15.02.16	
Kontrollert av:			
Revidert av: A. Ojesvang		19.02.16	Rettet opp div
	A. Ojesvang	22.02.16	Endret høyde

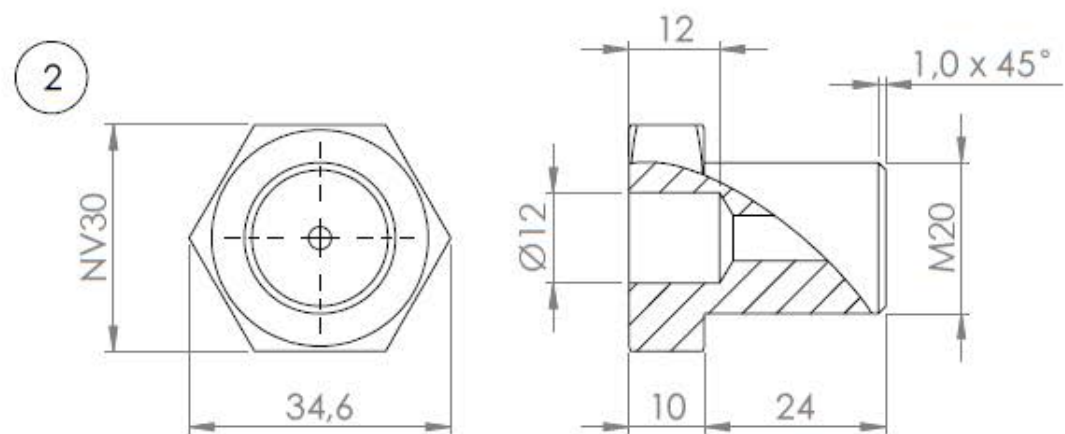
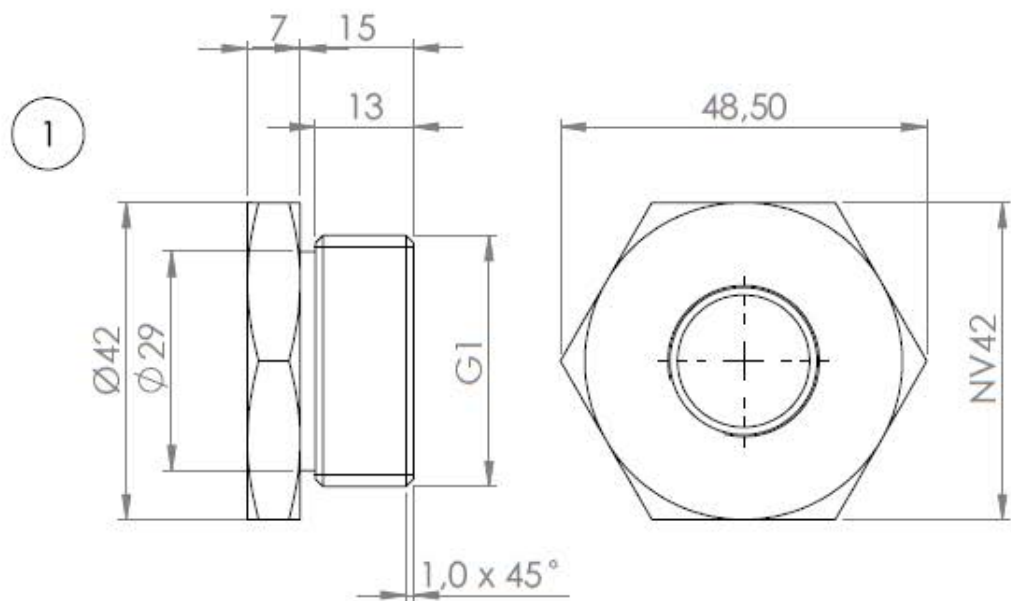
TITTEL

Akkumulatorstativ

Tegn. nr:

Vedlegg

Vedlegg 22. Arbeidstegning: Dyser og adapter



Pos nr	Ant	Beskrivelse	Materiale
1	1	Dyseadapter G1 - M20	AISI 316
2	21	Generelt dyse design - Maskineres med utgangspunkt i M20 bolt - A2	A2

Hvis ikke annet er spesifisert er alle mål i mm og vinkler i grader

Toleranse for ikketoleransesatte mål:
NS-ISO 2768-1



Bacheloroppgave ved NTNU i Gjøvik i samarbeid med EAB Engineering

NAVN	SIGNATUR	DATO
Tegnet av: A. Qestvang		05.04.16
Kontrollert av:		
Revidert av:		

Målestokk 1:1

TITTEL:

Testdyser

SOLIDWORKS Student Edition.
For Academic Use Only.

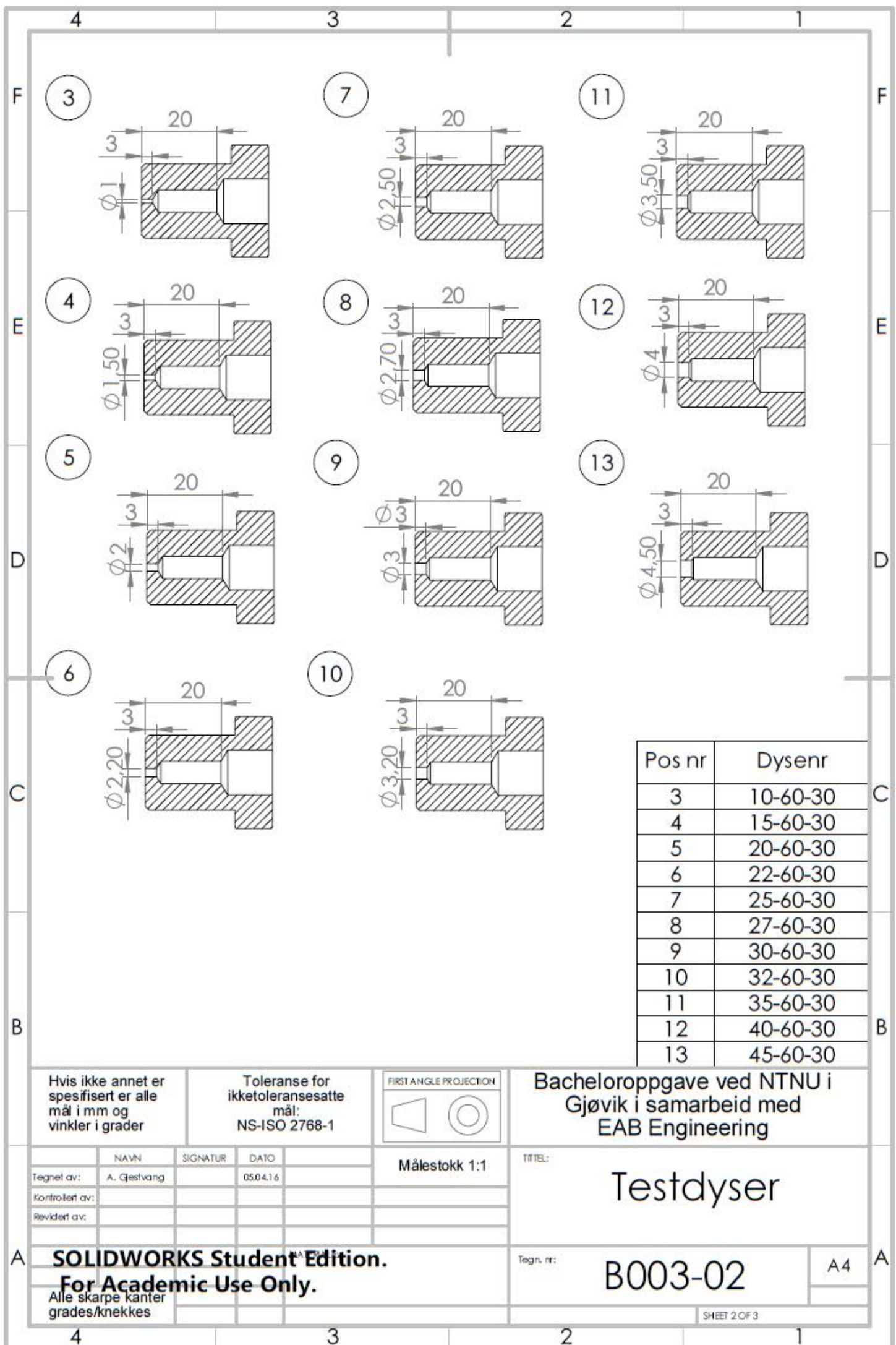
Alle skarpe kanter grader/knekkes

Tegn. nr:

B003-01

A4

SHEET 1 OF 3



Pos nr	Dysenr
3	10-60-30
4	15-60-30
5	20-60-30
6	22-60-30
7	25-60-30
8	27-60-30
9	30-60-30
10	32-60-30
11	35-60-30
12	40-60-30
13	45-60-30

Hvis ikke annet er spesifisert er alle mål i mm og vinkler i grader

Toleranse for ikketoleransesatte mål:
NS-ISO 2768-1



Bacheloroppgave ved NTNU i Gjøvik i samarbeid med EAB Engineering

NAVN	SIGNATUR	DATO
Tegnet av: A. Gjestvang		05.04.16
Kontrollert av:		
Revidert av:		

Målestokk 1:1

TITTEL:

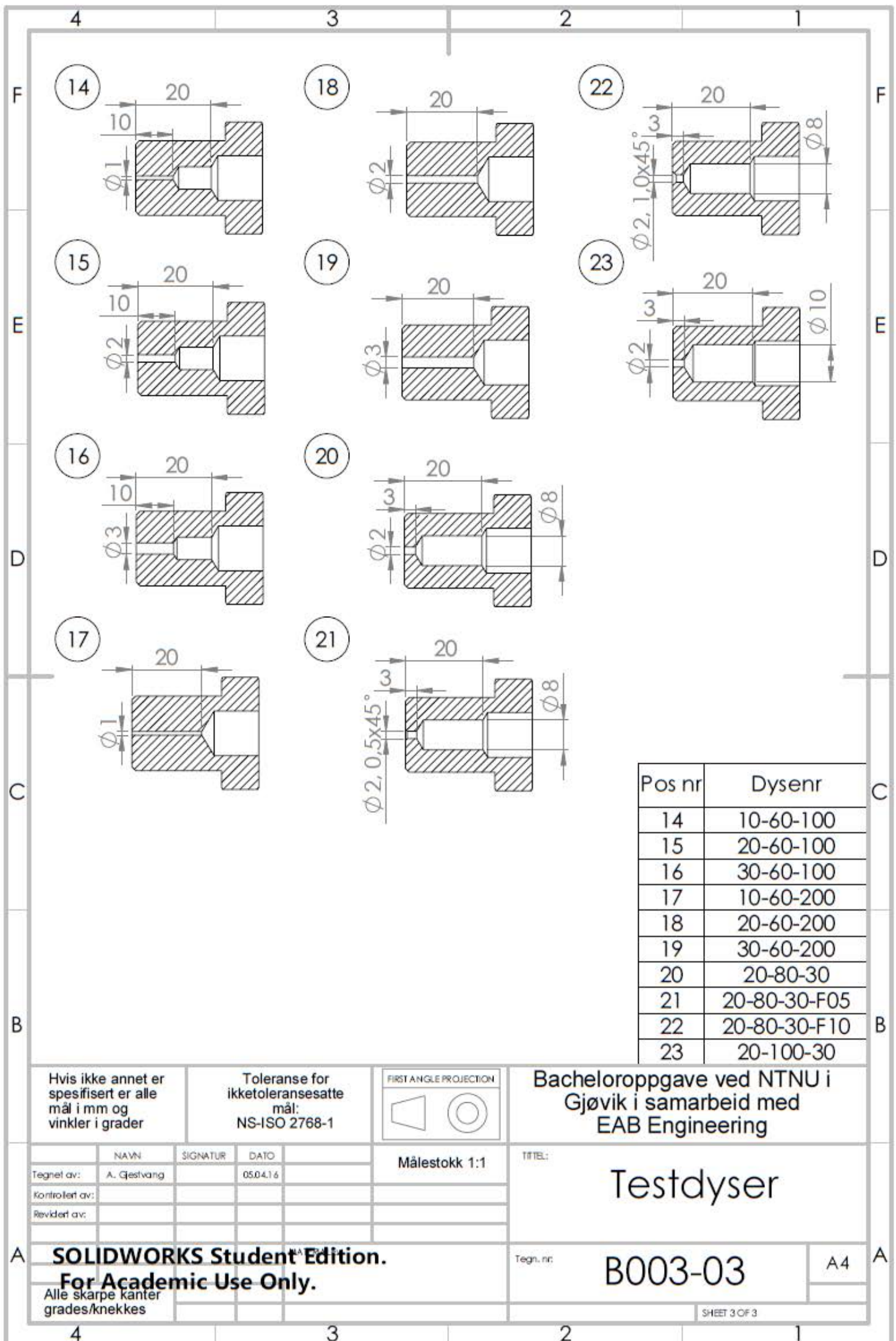
Testdyser

SOLIDWORKS Student Edition.
For Academic Use Only.
Alle skarpe kanter grades/knekkes

Tegn. nr:

B003-02

A4



Pos nr	Dysenr
14	10-60-100
15	20-60-100
16	30-60-100
17	10-60-200
18	20-60-200
19	30-60-200
20	20-80-30
21	20-80-30-F05
22	20-80-30-F10
23	20-100-30

Hvis ikke annet er spesifisert er alle mål i mm og vinkler i grader

Toleranse for ikketoleransesatte mål:
NS-ISO 2768-1



Bacheloroppgave ved NTNU i Gjøvik i samarbeid med EAB Engineering

NAVN	SIGNATUR	DATO
Tegnet av: A. Gjestvang		05.04.16
Kontrollert av:		
Revidert av:		

Målestokk 1:1

TITTEL:

Testdyser

SOLIDWORKS Student Edition.
For Academic Use Only.

Alle skarpe kanter grades/knekkes

Tegn. nr.

B003-03

A4

LOGG

VIRKNINGSGRAD TIL DYSER BENYTTET I SOFT LANDING CYLINDER

ANDREAS GJESTVANG, CARL HELGE BACUS HAUKÅS
OG PETTER ANDREAS KVALSVIK

GJØVIK, 18.05.16

Andreas Gjestvang
Petter A. Kvalsvik
Carl Helge B. Haukås

Dato	Aktivitet	Carl	Andreas	Petter	Kommentar + Sum totalt
14.10.2015	Finne aktuelle bedrifter	3	3	3	
21.10.2015	Ringe aktuelle bedrifter	3	3	3	
23.10.2015	Følge opp noen bedrifter	1,5	1		
28.10.2015	Forberedelse til EAB møte	0,5	0,5	0,5	
29.10.2015	EAB møte	1	1	1	
30.10.2015	Valg av oppgave samt innlevering av prosjekt-tema og gruppesammensetning	0,5	0,5	0,5	
02.11.2015	Påbegynt vitenskapelig metode	2	2	2	
05.11.2015	Lage fremdriftsplan og vitenskapelig metode	2	2	2	
09.11.2015	Utarbeide forslag til testmetode samt avtale møte med EAB	2	2	2	
10.11.2015	Fullført testmetode forslag og lagd utkast til innlevering 2 (foreløpig prosjektforslag)	1	1	1	
16.11.2015	EAB møte og fullføring av innlevering 2	2	2	2	
05.01.2016	Diskusjon av metode, fremdriftsplan, møte med Terje om veien videre	4	4	3,5	
06.01.2016	Litteraturstudie	4	3	4	
07.01.2016	Testmetode arbeid	1,5	1,5	1,5	
07.01.2016	Litteraturstudie: Bernoulli's likning generelt	1,5			
08.01.2016	Litteraturstudie, metode, innledning	4,5	5	4,5	
11.01.2016	EAB møte + testmetode arbeid	4	4,5	4,5	Forslag 1 til testmetode var for vagt og urealistisk mtp. gjennomførbarhet
12.01.2016	Testmetodeforslag		5	5	
13.01.2016	Research omkring pumpe og retningsventil til testutstyret		3		
14.01.2016	Tegnet opp sjema over testmetodeforslaget			1,5	
14.01.2016	Møte med Terje + diskusjon etter møte	1,5	1,5	1,5	
15.01.2016	Møte EAB, Vitenskapelig metode, start på ny testmetode(igjen)	5	6,5	6,5	Forslag 2 til testmetode var for vanskelig og samtidig for simpelt
18.01.2016	Research omkring teststyr (datalogging, hydraulikkylinder og retningsventil)		5	7	
18.01.2016	Generelt om bachelorplanen videre + statusoppdatering	0,5			
19.01.2016	Utarbeide prinsippskisser og modeller til testmetode og testdyser			6	Forslag 3 til testmetode skal være representativt ift. virkeligheten og gjennomførbar
19.01.2016	Funnet nødvendig akkumulatorstørrelse, fortsatt med prosjektplan		5		
19.01.2016	Funnet sylinder og fortsatt med prosjektplan	5			
20.01.2016	Opplingsmøte med EAB, formelstudie ang. akkumulator dimensjonering		3,5	4	Forslag 3 var bra, mangler småting
21.01.2016	Sett etter testkomponenter			2	
21.01.2016	Sett på matematisk sammenheng i testmetoden		2		
21.01.2016	Fortsatt på metode og prosjektplan	3			
25.01.2016	Fullført aktivitetsplan	6			
25.01.2016	Sett på matematisk sammenheng i testmetoden		6		
25.01.2016	Skrevet validitet/reliabilitet i metoden, begynt på å lage et program for utregninger			7	Begynte i Visual Studio, men fant ut at det var lettere å benytte Maple
26.01.2016	Fullført ressursplan og grovanalyse	3			
26.01.2016	Fortsatt på matematisk sammenh., i hovedsak dim. av akkumulator		3	3	
28.01.2016	EAB møte om vår og deres testmetode,	2	2	2	Mottatt kontrakt
29.01.2016	Fullføring av prosjektplanen	6,5	6,5	6	
01.02.2016	Funnet posisjonsgiver og avklart publisering av oppgaven	2,5			
01.02.2016	Prøvd å finne trykkendr. over tid i testen + Modellert enkeltkomp. til test i SW		5	5	
02.02.2016	SW design + litt div	4			
02.02.2016	Laget et program for å regne akkumulatorstr. med varierende P + div			7	
02.02.2016	3D-modellert ymse testkomponenter		6,5		
03.02.2016	3D-modellert ymse testkomponenter		2		
04.02.2016	EAB Møte på det som begynner å bli endelig testmetode	1	1	1	
05.02.2016	Videre 3D-modellering + div utledning av trykkutvikling med hensyn på tid og volum		5	5	
08.02.2016	Testpapir til fysiske testen	0,5			
08.02.2016	Litteraturstudie / utforskning i Ansys Fluid Flow			5	
09.02.2016	Nettside	2			
09.02.2016	Videre utforskning av Ansys Fluid Flow. Og laget format til 2d tegninger			3	
09.02.2016	3D-modellering		5		
10.02.2016	Startet på 2D-tegninger + Utforskning av Ansys fluidsimulering		4		
11.02.2016	Møte med EAB, sett på hydraulikkdel + div + tavlearbeid i atri	6	6	6	
12.02.2016	Videre 3D-modellering og fortsatt med 2D-tegninger		5		
12.02.2016	Utforskning av ansys fluent			3,5	
15.02.2016	Presentasjon og dyseutforming	3			
15.02.2016	Diverse		7	7	
16.02.2016	Testpapir, dyseutforming, ansys, engelsk presentasjon arbeidskrav	6	7	7	
17.02.2016	3D-modellering: hydraulikk/vann		3		
19.02.2016	Møte med EAB: Prod. tegninger, hydraulikk, fremdrift + div	1	1	1	
19.02.2016	3D-modellering + revidering av prod. tegninger		5		
22.02.2016	Beregning av antall dysetester	3			
22.02.2016	Ansys beregninger			5	
22.02.2016	Testprosedyre + fundering omkring målesikkerhet		3,5		
23.02.2016	Testprosedyre: Begynt på detaljert fremgangsmåte		4		
23.02.2016	Antall dysetester og litt div på akkumulator fyllingsutstyr	5			
25.02.2016	EAB møte	2	2	2	
26.02.2016	Antall dysetester	4			
26.02.2016	Ansys beregninger			4	
26.02.2016	Sett på trykktap i hydraulikksystemet og nødvendig forladingstrykk		5,5		
29.02.2016	Testprosedyre: forladingstrykk + div		6		
29.02.2016	Ansys beregninger +div			5	
01.03.2016	Jobbet med testprosedyre		5,5	5	
02.03.2016	Testprosedyre, exploded view		3		
03.03.2016	Fullført antall dysetester	3			
04.03.2016	Møte + SJA	5	6	6	
05.03.2016	Flowchart, finpuss av antall dysetester	2,5			
07.03.2016	Utforskning av dataloggingsutstyr		2		
08.03.2016	SJA og testprosedyre	3	6	6	
09.03.2016	Testmontering		7	7	
10.03.2016	Testmontering og påbegynt kalibrering	7	7	7	
11.03.2016	Ferdig med tilpassing og kalibrering, påbegynt gjennomføring	6,5	6,5	6,5	Pumpa klarer ikke 300bar, vi tester max 270bar i sylindere
31.03.2016	Gjort ferdig høytrykkstester (270 bar)	6	6	6	
01.04.2016	Gjennomført tester ved 100 og 200 bar	7	7	7	

04.04.2016	Demontert utstyr, påbegynt behandling av måledata	8	6	6	
05.04.2016	Behndaling av måledata, hovedsaklig 100- og 200 bars tester		6		
05.04.2016	Revidert tegningssett av dyser og kjørt fere analyser i ansys			5	
06.04.2016	Behandling av måledata (beregnet middelverdier og standardavvik)		3		
07.04.2016	Dataanalyse og klargjøring til morgendagens møte	6	6	6	
08.04.2016	Statusoppdateringsmøte, litteraturstudie ang laminær/ikke-laminær strømning	5,5	5,5	5,5	
11.04.2016	Sammenlikning av dysevegtykkelse og virkningsgrad	5,5	6	6	
12.04.2016	Påbegynt rapportskrivning, ansys			7	
12.04.2016	Research ang tap i dyse 1 og 5, rapportskrivning	7	7		
14.04.2016	Ansys-simulering og rapportskrivning (teoretisk grunnlag)		7	7,5	
14.04.2016	Rapportskriving + div forum/mail	4,5			
15.04.2016	Rapportskriving: Knytning av teoretisk grunnlag opp mot oppgaven		7	6	
15.04.2016	Rapportskriving: Innledning/metode	4			
16.04.2016	Rapportskriving: Metode	4,5			
18.04.2016	Rapportskriving: Knytning av teor. gr. mot oppg. + kontrollmåling av dyser		6,5		
18.04.2016	Rapportskriving: Kavitasjon	4,5			
18.04.2016	Rapportskriving: div			6,5	
19.04.2016	Rapportskriving: Hydraulisk flipp, kollimator, coanda effekt, evalueringskriterier	4			
19.04.2016	Rapportskriving: Akkumulator. Ansys simuleringer		6,5	7	
20.04.2016	Rapportskriving: Sammendrag, evalueringskriterier, blogg og div excel/pdf	6			
20.04.2016	Ansys-simuleringer (klunder og heft)		7,5		
21.04.2016	Rapportskriving: Antall dysetester, statistikken i hele oppgaven	6			
21.04.2016	Ansys simulering og research rundt viskositet og turbulens		9,5	7,5	
22.04.2016	Rapportskriving: Evalueringskriterier, resultat, statistikk(#dysetester)	6			
22.04.2016	Ansys-simuleringer + rapportskrivning: beregning av K-verdier		6,5	6,5	
23.04.2016	Rapportskriving: Overordnet struktur og omskriving av sammendrag, innledning og litt metode	7,5			
24.04.2016	Rapportskriving: Teoristruktur og kapittelinnledning	4			
25.04.2016	Rapportskriving: Beregning av K-verdier + noe Ansys		7		
25.04.2016	Ansys simulering og research rundt viskositet og turbulens			7,5	
25.04.2016	Rapportskriving: Overordnet struktur, metode og diskusjon	4,5			
26.04.2016	Lagt ppt til Terje, Rapportskriving: Metode og veiledningsmøte med Terje	6			
26.04.2016	Veiledningsmøte, Ansys, rapportskrivning: teor. beregn. og startet på å begrunne valg av dyser		7	7	
27.04.2016	Statistikk, rapportskrivning: struktur, resultat, sammendrag, diskusjon (litt sporadiske innlegg)	6			
27.04.2016	Ansys + rapport: begrunnelse av dysevalg, startet å lese gjennom rapport		5,5		
27.04.2016	Rapport, Ansys-simuleringer og research			9	
28.04.2016	Etterprøving statistisk + forord + EAB testrigging	6			
28.04.2016	Rigget opp testutstyr hos EAB		7	7	
29.04.2016	Rapport: Etterprøving statistikk + EAB testgjennomføringer	5			Forbedring av troverdighet for SLC dyser
29.04.2016	Gjennomført nye tester ved 100 bar		4,5	4,5	
30.04.2016	Rapport: Oppgavestruktur	3			
30.04.2016	Behandlet nye måledata + sett på ny dysenummerering		5		
30.04.2016	Ansys-simuleringer og research			11	Heftig økt (Y) -Carl
01.05.2016	Ansys-simuleringer og research			6	
02.05.2016	Tittel og planlegging for veien videre + litt struktur	5,5			
02.05.2016	Begynt å gå gjennom rapport, veiledningsmøte + tittel		8		
02.05.2016	Ansys, veiledningsmøte, tittel			8	
03.05.2016	Gj.ført siste tester + begynt å behandle disse resultatene + noe rapportskrivning		7		
03.05.2016	Rapportskriving	4,5			
03.05.2016	Testgjennomføringer hos EAB, ansys, rapportgjennomgang			12	(mye dødtid hos EAB og venting på ansys-kjøringer)
04.05.2016	Rapportskriving overalt	5,5			
04.05.2016	Lagt inn alle nye målinger + rapportskrivning her og der + noe ansys		9,5		
04.05.2016	Ansys + gjennomgang av rapport			8	
05.05.2016	Rapportskriving: litt diskusjon + noe finpuss her og der, lagd foreløpige samm.likn.diag. + litt ansys		10		
05.05.2016	Ansys og gjennomlesing og finpussing på mye av metodekapittelet			9	
05.05.2016	Rapportskriving: metode, resultater	8			
06.05.2016	Rapportskriving: Litt her og der, hovedsakelig diskusjon + metode	8,5	7	8,5	
07.05.2016	Rapportskriving: litt her og der + vedlegg fiksing	7			
08.05.2016	Rapportskriving: Hovedsakelig metode + litt div		1,5		
08.05.2016	Rapportskriving: Alt mulig fiksing	6,5			
09.05.2016	Veiledningsmøte med Terje, Rapportskriving: Flyttet teoretiske beregninger til vedlegg + litt div		7		
09.05.2016	Veiledningsmøte med Terje + møtereferat skrivning, Rapportskriving: Alt mulig fiksing	7			
09.05.2016	Veiledningsmøte med Terje + rapportskrivning			7	
10.05.2016	Gjort ferdig beregn.av K-verdier, flyttet mye beregninger i metoden til vedlegg		7		
10.05.2016	Rapportskriving: alt mulig fiksing	7			
11.05.2016	Rapportskriving: litt teori, fortsatt med å flytte beregn. ut fra metode, litt diskusjon + litt her og der		10,5		
11.05.2016	Rapportskriving: Konkretisering av rapport	8			
11.05.2016	Rapportskriving: Ansys teori, terminologi, diverse konkretisering og finpussing			8,5	
12.05.2016	Rapportskriving: Konkretisering av rapport + kildehenvisning + møte med terje og møtereferatskrivning	8,5			
12.05.2016	Rapportskriving: Diverse finpuss og forkorting/omskrivning		8,5	6	
13.05.2016	Rapportskriving: Finpussing	9,5	7	7	
14.05.2016	Rapportskriving: Finpussing	10	8	8	
15.05.2016	Rapportskriving: Finpussing	10	11	11	
16.05.2016	Rapportskriving: Finpussing og innføring i word	9	11	11	
17.05.2016	Rapportskriving: Finpussing og formattering + korrekturlesning	9	5	10	
18.05.2016	Korrekturlesning og øvrig finpuss	5	5	5	
	Sum timer	392,5	473,5	451	1317