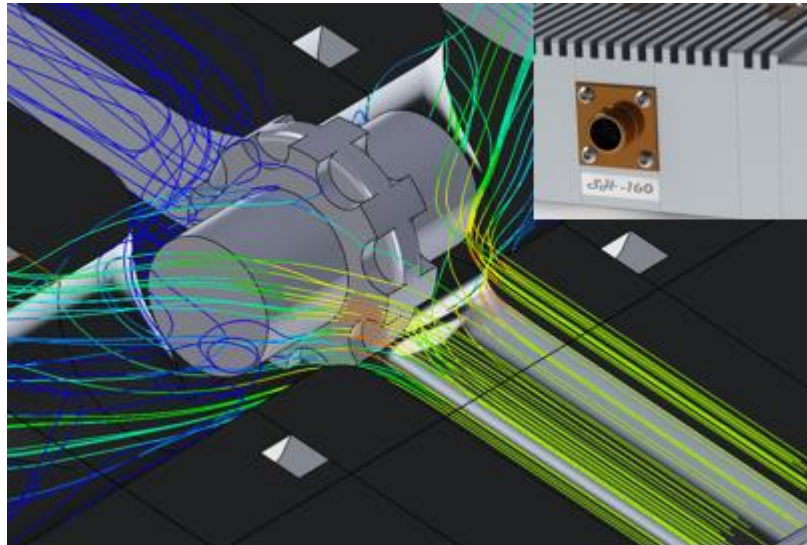




Konseptuell løsning av sandwichkonstruksjon for volumstrømdeler i høyfast aluminium



Av
Simen Hemstad



Mastergradsarbeid ved Norges miljø og biovitenskapelige universitet
Institutt for matematiske realfag og teknologi
Høsten 2015

Forord

Dette er en masteroppgave skrevet ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet ved Instituttet for matematiske realfag og teknologi. Oppgaven er utarbeidet etter ønske fra veileder og meg selv om en produktutviklingsoppgave av teknisk art. Med bakgrunn fra oppvekst på småbruk, og med bruk av maskiner i det daglige synes jeg det har vært spennende å få mulighet til å bruke praktiske egenskaper sammen med den teoretiske kunnskapen jeg har tilegnet meg fra universitet. Muligheten til å lære av en utviklingsprosess, og å utvikle noe som potensielt kan bli til virkelighet en dag, har vært til stor inspirasjon for meg.

Underveis har det vært noen utfordringer, og jeg vil gjerne benytte muligheten til å takke senioringeniør Bjørn Brenna på verkstedet ved IMT, for god hjelp med kostnadsoverslag og materialvalg. Senioringeniør Egil Stemsrud og Overingeniør Tore Ensby ved IMT for gode diskusjoner og hjelp. Studieassistent Ola S. Omberg på verkstedet har vært til stor hjelp med 3D-printing av en skalert modell av konseptet. Familie og gode venner for hjelp med korrekturlesing og motivasjon underveis i til dels krevende tider.

Sist men ikke minst vil jeg gjerne få takke min veileder, 1. amanuensis Jan Kåre Bøe ved IMT, for fremdragende hjelp med ulike problemstillinger og flaskehalser, samt gode bidrag i diskusjoner gjennom masterarbeidet.

Ås, 14.12.2015

.....
(Simen Hemstad)

Sammendrag

I moderne høytrykkshydraulikk for store volumstrømmer er ofte komponentene produsert i støpestål. I dette tilfellet er det snakk om en volumstrømdeler til bruk i mobilhydraulikk som skogsmaskiner, traktorer eller andre landbruksmaskiner. Ved havari inne i volumstrømdelene vil man måtte bytte ut hele komponenten. Generelt kan man si at de har høy vekt, høyt prisnivå ved havari og høye fraktkostnader. Ved å lage noe i aluminium vil man kunne spare store kostnader med tanke på frakt og servicekostnader.

Hensikten med oppgaven er å lage en konseptuell løsning for en volumstrømdeler i høyfast aluminium, konstruert i sandwichmoduler som skal tåle høyt arbeidstrykk. Her er noen av hovedutfordringen å konstruere noe som tåler oljetrykket, da det skal limes, samt å lage delingene mellom moduler slik at funksjonen ikke blir nedsatt.

Sammen med teorigrunnlag og bruk av grunnleggende produktutviklingsmetodikk som Pughs metode og Osborns metode har jeg kommet fra til en konseptuell løsning.

En sammenfatting av eksisterende løsninger og oppgaver om emnet gjør at en får et overblikk for utviklingsbehovet. Via ledd som konseptgenerering og produktspesifisering kommer man frem til skisser av potensielle delingsløsninger. Utfra dette danner man seg et bilde av hvordan det hele skal se ut. En kombinasjon av utvendig og innvendig design og ved å sette funksjoner på modulene ser man fort konturene av en løsning. Ved bruk av 3D- tegning ser man fort hva som fungerer og ikke, og man kan begynne med prosesser som danner grunnlag for legeringsvalg og beregninger.

Med programmet Solid Works er det laget 3D-tegninger av alle delene og satt de sammen til ferdig konsept. Ansys Workbench er brukt for å lage simulering av trykk for å analysere spenningsbildet og deformasjonen. I tillegg til dette har Solid Works et programtillegg med eget strømningssimuleringsverktøy. Dette gir gode indikasjoner på hvordan en væske oppfører seg i konstruksjonen. Ved å sammenligne resultater mellom håndberegninger og analyser, og diskutere prosessen for hvordan man kom frem til disse resultatene kan man konkludere.

Mitt mastergradsarbeid har kommet frem til det er mulig å lage en volumstrømdeler i høyfast aluminium.

SH-160 har følgende mål:

Ytre mål (lengde*dybde*høyde) er på 250*200*100 mm, og vekt på 11,9 kg. Den er dimensjonert etter arbeidstrykk på 45 MPa. Maks bøyepening fra håndberegning er 233,8 MPa med en sikkerhet mot flyt på 2,16. Den maksimale deformasjonen ut i fra håndberegninger er 0,05 mm. Den skal trykkstøpes i aluminium av typen 7075 T6.

Abstract

In modern high-pressure hydraulics, large flow dividers are often manufactured in cast steel. In this particular case, we are talking about a flow divider made of cast steel for use in mobile hydraulics, for example tractors and other agricultural machinery. If there is damage inside of the flow divider, its often necessary to replace the entire component. Generally, one can say that they have a high weight, high prices on repairs and high shipping costs. By developing something in aluminum, shipping and service costs will be reduced substantially.

The purpose of this project is to create a conceptual solution for a flow divider in high-strength aluminum, constructed in sandwich modules, which is able to withstand high working pressure. Some of the main challenge by doing this is to create something that can withstand oil pressure, even though the components are glued together, and to split the construction on the right places to avoid function loss inside the construction.

Along with the theoretical foundation and the use of basic product development methodology, like the Pugh method and Osborn method, I have created a conceptual solution.

A summarization of existing solutions on the subject gives an overview of the need for development. With concept generation and product specification one arrives at handmade sketches of potential solutions. Based on this you get a picture what the final product should look like. A combination of exterior and interior design and placement of function in each module, we see the outlines of a solution. With 3D drawing programs, you can see quickly what works and what doesn't. By this stage, one can begin to analyze the basic shape of the construction and choose witch alloy to use, and start with calculations.

With SolidWorks, 3D drawings of all the parts has been created and put together to see the finished concept. Ansys Workbench is used to make the simulations of the pressure distribution to analyze tension and deformation. In addition to this, SolidWorks has a plug-in program with its own flow simulation tools. This gives a good indication of how a liquid behaves in the construction. By comparing results between hand calculations and the analysis, and by discussing the process along the way, a conclusion can be made.

My master thesis shows that it is possible to create a flow divider in high-strength aluminum. SH-160 has the following dimensions:

External dimensions (length * depth * height) is 250 * 200 * 100 mm and the weight is 11.9 kg. It is designed for a working pressure of 45 MPa. Maximum bending stress from hand calculation is 233.8 MPa with a safety factor against yield of 2.16. The maximum deformation based on hand calculations is 0.05 mm. The production will be made with pressure casting, and it will be with the material aluminum 7075 T6.

Innhold

Side:

FORORD	II
SAMMENDRAG	III
ABSTRACT	IV
INNHold	V
1 INNLEDNING	1
1.1 BAKGRUNN	1
1.2 SANDWICH OG MODULBASERT KONSTRUKSJON	1
1.3 MATERIALEGENSKAPER	1
1.4 PROBLEMSTILLINGER OG FLASKEHALSER	2
1.4.1 Tekniske utfordringer	2
1.4.2 Utfordringer med design	2
1.4.3 Analyse og Forsøk	2
2 PROSJEKTPLAN	3
2.1 HOVEDMÅL	3
2.2 DELMÅL	3
2.3 ARBEIDS OG MILEPÆLPLAN	3
2.4 TIDLIGE BEGRENSNINGER	4
3 TERMINOLOGI	6
3.1 FORKORTELSER	6
3.2 BEGREPER OG DEFINISJONER	6
3.3 FORMELSYMBOLER OG ENHETER	8
3.4 FORMELBRUK	10
3.5 HYDRAULISKE SYMBOLER	11
4 METODEBESKRIVELSE	13
4.1 UTVIKLINGSMETODIKK	13
4.1.1 Integreert produktutvikling, IPD:	13
4.1.2 Pughs Metode	13
4.1.3 Osborn`s metode (S.C.A.M.P.E.R)	13
4.2 DATA OG ANALYSEVERKTØY	13
4.2.1 Generell programvare	13
4.2.2 FEM –analyse	14
4.3 LITTERATURSTUDIE	14
4.4 PROSESSKART IPD	15
5 TEORI OG TEKNOLOGIUTREDNING	16
5.1 HYDRAULIKK	16
5.2 HYDROSTATIKK	16
5.3 HYDRODYNAMIKK	17
5.3.1 Kontinuitetsligningen	17
5.3.2 Bernoullis ligning	18

V

5.3.3	Strømningsvarianter og Reynolds tall	19
5.3.4	Tap i lukkede kanaler	20
5.4	MATERIALER	21
5.5	FASTHETSLÆRE OG BEREKNINGSTEKNIKK	23
5.5.1	Trykk og jevnt fordelt last	23
5.5.2	Skruteori	24
5.5.3	Dimensjonering av skruer	24
5.5.4	Skruediagram	25
5.5.5	Spenning, tøyning og deformasjon	26
5.6	LIMETEKNIKK	28
5.6.1	Generelt om lim	28
5.6.2	Limtyper	29
5.7	TRYKKTETTING	30
6	TEKNOLOGISTATUS	32
6.1	TIDLIGERE ARBEID	32
6.1.1	Masteroppgaver (30 stp.)	32
6.1.2	Prosjektoppgaver (7,5 stp.)	32
6.2	KOMMERSIELLE LØSNINGER	33
6.3	TIDLIGVURDERING AV LØSNINGER	36
7	KONSEPTGENERERING	37
7.1	FUNKSJONSANALYSE	37
8	PRODUKTSPEISIFISERING	38
8.1	METRISKE GRENSESPEISIFIKASJONER	38
8.2	UTVENDIG DESIGN	39
8.2.1	Blokkdeling	39
8.2.2	Ventil og hullplassering	40
8.2.3	Vekting og valg av løsning	41
8.3	UTVENDIG DESIGN, EGENSKAPER OG FUNKSJONER	42
8.4	INNVENDIG DESIGN, EGENSKAPER OG FUNKSJONER	43
9	LEGERINGS OG MATERIALVALG	45
9.1	ALUMINIUM	45
9.1.1	Legering	45
9.2	O-RINGER	46
9.3	LIM	46
10	KONSEPTMODELLERING	47
10.1	HELHETSLØSNING	47
10.1.1	3D fremstilling	48
10.2	HOVEDELEMENTER	49
11	BEREGNINGER OG FEM-OPTIMERING	52
11.1	GRUNNLAGSBEREGNINGER	52
11.1.1	Spenninger i limfuge	52
11.1.2	Spenninger i lokk	53
11.1.3	Deformasjon	53

11.1.4	<i>Skrueberegninger</i>	54
11.1.5	<i>Flatetrykk i grunnmaterialet</i>	54
11.2	FEM- STYRKEANALYSER	54
11.2.1	<i>Deformasjonsplot</i>	55
11.3	SPENNINGSANALYSER	56
11.4	STRØMNINGSANALYSER	58
11.5	RESULTATOVERSIKT	60
12	RESULTATRENDERING	62
13	PROTOTYPEFREMSTILLING OG ØKONOMI	67
13.1	PRODUKSJONSANVISNINGER	67
13.2	ØKONOMI	69
14	PROSESSDISKUSJON	72
14.1	ARBEIDS –OG UTVIKLINGSPROSESS	72
14.2	BREGNINGER, ANALYSER OG VALGT LØSNING.	73
15	KONKLUSJON	74
15.1	RESULTATER OG ANBEFALINGER	74
15.2	VIDERE ARBEID	75
16	REFERANSER	76
	VEDLEGG	

1 Innledning

I denne innledningen vil bakgrunn for prosjektet, forklaring av sentrale elementer og definisjon av problemstillingen blir presentert. I siste del av kapittelet kommer også en vurdering av design og konstruksjonsmessige utfordringer.

1.1 Bakgrunn

For store maskiner, marine fartøy og hydrauliske stasjonæranlegg tilvirkes ventilhus nå i stålmaterialer. Disse blir helstøpt og bores, eller blir kappet til fra større emner.

Dette medfører at ventilhusene blir en kompakt enhet der kavitasjons- og sjokkventiler, sleider mv. monteres til en stor bolk. Materialbruk og konstruksjon gjør at disse hydrauliske ventilhusene får meget høy vekt, og blir tungvinne å håndtere. Ved feil eller havari inne i selve ventilhuset vil en reparasjon medføre bytting av hele huset, og ikke enkeltkomponenter eller som moduler. Ved å bruke aluminium, sandwichkonstruksjon og modulbygging gir dette store fordeler i forhold til stål, da man har betydelig lavere egenvekt. Ved havari kan man bytte ut enkeltdele ved å splitte sandwichkonstruksjonen, eller man kan bytte ut hele moduler. Teknikken er i noe grad tatt i bruk innenfor fly- og lavtrykkshydraulikk, men for større konstruksjoner, i for eksempel skogsmaskiner, er det fortsatt rom for utvikling av nye lettere ventilhus som vil ha fordeler både i konstruksjon, produksjon og ved reparasjon av installerte moduler.

1.2 Sandwich og modulbasert konstruksjon

Når man bruker begrepet sandwich forbinder man gjerne dette med et smørbrød der skivene er lagt sammen lag-for-lag som en form for byggesett. Man kan se på sandwichkonstruksjon på samme måte. I stedet for å bruke en helstøpt blokk til boring og fresing av ønsket funksjon, blir blokken delt opp før boring og fres, eller produsert i mindre deler fra starten av. Disse delene blir tilpasset basert på hvor de skal sitte og hvordan de skal bli koblet sammen med neste lag i sandwich. Hvert lag kalles en modul og har sine egenskaper. Man kan for eksempel lage moduler med hull til ventiler på ulike steder slik at de kan tilpasses individuelle til krav fra oppdragsgiver.

1.3 Materialeegenskaper

Ved å ta utgangspunkt i stål kan man også danne seg et bilde av egenskapene til aluminium. Egenvekten til konstruksjonsstål er 7800 kg/m^3 , mens for aluminium er man nede i 2700 kg/m^3 . Dette tilsvarer ca. en tredel. Sammenlignes smeltepunkt ligger aluminium på ca. $580 \text{ }^\circ\text{C}$, mens stål må opp til i overkant av $1500 \text{ }^\circ\text{C}$. [21] Tar man også med varmeutvidelsen til de ulike, er både den og varmeledningsevnen til aluminium større enn hos stål. [19] Man ser at det er betydelige forskjeller som kan utnyttes i produksjonsmetoder og konstruksjon, men valg av legering og sammensetting av konstruksjonen vil bli omtalt mer senere i rapporten.

1.4 Problemstillinger og flaskehals

” Problemstillingen er knyttet til ulike sider av å utrede og utvikle en konseptuell løsning for bruk av aluminium med høy fasthet til sandwich -og modulbaserte konstruksjonsløsninger for en type volumstrømdeler innen moderne oljehydrauliske høytrykksystemer.”

1.4.1 Tekniske utfordringer

- Plassering av de ulike ventilene slik at de blir minst mulig i veien for andre elementer der den skal monteres.
- Valg av sandwichdeling slik at det ikke blir konflikt med produksjonen.
- Limfugen må tåle belastningen fra trykket.
- Limeprosess generelt.

1.4.2 Utfordringer med design

- Deling av konstruksjonen slik at det ikke blir konflikter med funksjon.
- Dimensjonere slik at bolter ikke blir for fremtredende. Dette ser klumpete ut.
- Fordeling av belastning mellom bolter og limfuge.
- Få stort nok areal for å holde spenninger nede, mens fortsatt holde vekt og størrelse på et fornuftig nivå.

1.4.3 Analyse og Forsøk

- Stille inn programmer riktig slik at det blir nærmest mulig virkeligheten.
- Gjøre håndberegninger som er mest mulig likt virkeligheten.

2 Prosjektplan

Prosjektplanen danner på mange måter rammebetingelsene for rapportering og utviklingsarbeidet. Med en god og realistisk tidsplan, og med god planlegging av dette, vil arbeidet bli enklere å strukturere.

2.1 Hovedmål

Ved formulering av tydelige hovedmål vet man til enhver tid er på rett spor, og vet hvor masterarbeidet skal ende.

Følgende hovedmålsetning er formulert for dette masterarbeidet:

- Hovedmålet for prosjektet er å utrede og utvikle en konseptuell løsning for en hydraulisk volumstrømdeler basert på sandwich og /eller modulkonstruksjon, med bruk av høyfaste aluminiumslegeringer som vil kunne tåle store arbeidstrykk. Videre å rapportere de ulike trinnene av utviklingsarbeidet med anbefalinger og tekniske anvisninger.
- Ferdigstilling, trykking og levering av rapporten vil også være en naturlig og stor del av målsettingen.

2.2 Delmål

Hvert enkelt delmål vil være som et lite prosjekt hver for seg, og vil sammen danne grunnlaget for hovedmålet nevnt i kapittelet over. De ulike delmålene for masterarbeidet er formulert slik at de sammen skal ende i hovedmålsetningen.

- Gjennomgå, utrede og beskrive terminologi, utviklingsmetodikk samt teoretisk og praktisk grunnlag for senere beregninger og analyser.
- Gjennomgå tidligere arbeider på området, samt eksisterende teknologi for hydraulisk volumstrømdeling og regulering.
- Utvikling av teknisk konseptunderlag, med spesifisering, tidligskisser av løsningsforslag og underlag for tidlige konseptvalg.
- Følge opp med utvikling av 3D-modell for nødvendige beregninger og FEM-designanalyser og optimering med hensyn til styrke og strømningssegenskaper.
- Gjennomføre analyser, drøfte resultater, utforme anbefalinger og slutføre prosjektrapport for alle ledd i prosjektarbeidet med tilhørende vedlegg.

2.3 Arbeids og milepælplan

Arbeidsplanen med milepæler er utarbeidet etter hovedmål og delmålene, og er delt inn i uker. En milepælplan kommer frem av figur 2-1, mens datospesifisering av disse kommer frem i tabell 2-1.

	Aug	September				Oktober				November				Desember	
Uke	1	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2
Innledning															
Terminologi															
Metodebeskrivelse				▲											
Teori og teknologiutredning															
Teknologisk status									▲						
Legerings og materialvalg															
Konseptmodellering											▲				
Beregninger og FEM													▲		
Resultatrendring														▲	
Prototyp fremstilling															
Prosessdiskusjon															
Konklusjon															▲
Levering															▲

Figur 2-1: Arbeidsplan med røde trekkanter som representerer milepælene. De kan speiles fra tidstabellen under.

Tabell 2-1: Tidsplan over delmål som er vist i tabell 2-1.

Delmål	Frist
Terminologi, metode og teori	25. September
Teknologisk status og tidligere arbeid	30. Oktober
Konseptgenerering og tidlige løsningsalternativer	6. November
3D- modellering, beregninger og FEM-analyser	1. Desember
Resultater, drøfting og slutføring av rapport	12. Desember
Korrekturlesing og trykking	14. Desember
Levering av rapport	15. Desember

Som man ser av tabell 2-1 er det satt frist på delmålene slik at planen skal være enklere å følge.

2.4 Tidlige begrensninger

Av tidsmessige hensyns vil følgende ikke inngå i arbeidet med gjennomføring av prosjektet:

- Eksakte e-modulbetraktninger vil ikke bli gjort i teoridel for enklere å kunne sammenligne materialer på generelt grunnlag.
- Produksjonsmetode blir ikke gjennomgått i dybden, men det blir foreslått metode basert på design.
- Utvikling av verktøy til støpning blir ikke gjort rede for.

- Det blir ikke utført skrueberegninger eller helkonstruksjonsberegning i Ansys Workbench.
- Kanaler til kjølevæske blir ikke redegjort for.
- Vurdering av effekt til kjøleriller blir ikke redegjort for.
- Visse forenklinger gjøres med hensyn til eksisterende tilslutninger, indre funksjoner som styringsenhet for sperring mv.
- Det vil ikke bli utarbeidet spesifikke målsatte tegninger av hver enkelt komponent.

3 Terminologi

I de påfølgende delkapitlene kommer en oversikt over alle forkortelser, begreper og definisjoner, formelsymboler og enheter, samt formelbruk som er brukt i oppgaven. Det vil være en tabellbasert fremstilling slik at det skal være enkelt å holde oversikt.

3.1 Forkortelser

En tabellfremstilling av forkortelser brukt i rapporten. Her er tradisjonelle og faglige forkortelser brukt.

Tabell 3-1: Forkortelser brukt i rapporten.

Forkortelse/ Begrep	Betydning
NMBU	Norges Miljø og biovitenskapelige universitet
FEM/FEA	Finite Element Method/ Finite Element Analysis
WB	Workbench, fra Ansys Workbench
ift.	I forhold til
mv.	Med videre
div.	Diverse
Stp.	Studiepoeng

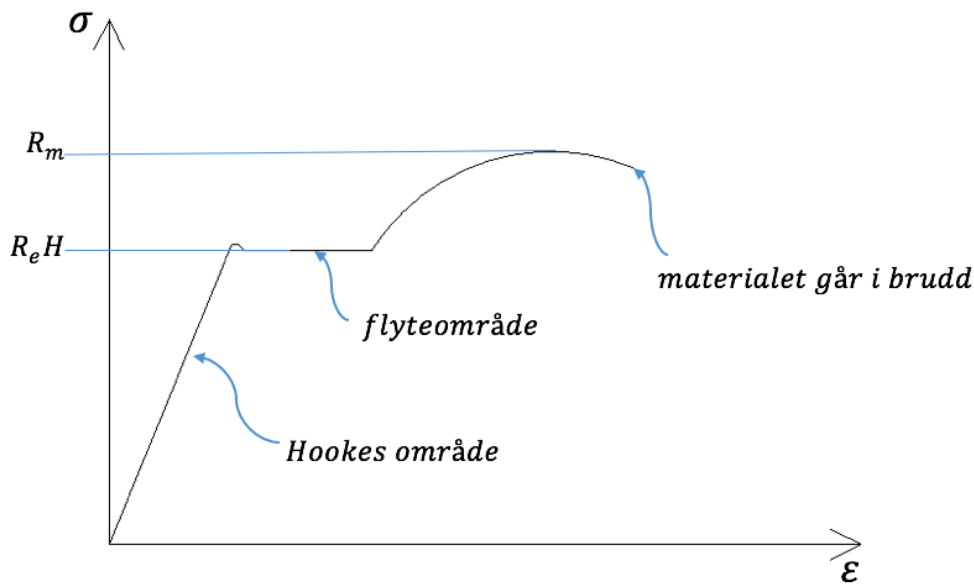
3.2 Begreper og definisjoner

Her kommer en oversikt over sentrale begreper i oppgaven som ikke forklarer seg selv bare ved hjelp av ordlyden. Det ligger ofte en mer teknisk forklaring bak ordet og dette er forklart i tabell 3-2.

Tabell 3-2: Begreper og definisjoner benyttet i rapporten.

Forkortelse/ Begrep	Betydning
Sandwichkonstruksjon	En konstruksjon av denne typen er satt består av to eller flere lag som er føyd sammen ved hjelp av lim, bolter eller andre festeanordninger. Prinsippet er at man skal kunne ta det ifra hverandre og utføre eventuelle reparasjoner på enkeltkomponenter uten å bytte ut hele konstruksjonen.
Modulbygging	En modul er en del av konstruksjonen som kan ha ulik utforming utfra hvor den skal monteres i konstruksjonen. Kan tilpasses individuelt til ulike typer konstruksjoner og ha forskjellige funksjoner.
Flyt	Når et materiale opplever så mye belastning at det kommer ut av Hookes området i et spenning-tøyingsdiagram vil det gå over i flyt, og varig deformasjon kan oppstå.

Materialflytegrense R_{eH}/R_{p0.2} og bruddgrense:	For materialer med et flyt-område i spenning-tøyningsdiagrammet vil flytegrensen være R _{eH} , mens for materialer som ikke har flyteområde, vil grensen for å gå over i denne tilstanden være R _{p0.2} . Flytegrensen er 0,2% varig tøying. Bruddgrensen eller R _m er den spenningen som forårsaker brudd i materialet. [10]
Hookes område	Området i spenning-tøyningsdiagrammet der materialet går tilbake til sin opprinnelige form etter belastning. Grafen har lineær stigning, og stigningstallet til grafen gir E-modulen til materialet. [10]
Høytrykks oljehydraulikk	I denne oppgaven definert som hydraulikk med trykkpulser opp med 45 MPa.
Densitet	Tettheten til et materiale. Måles i masse pr. volumenhet.
Viskositet	Motstandskrefter som oppstår mellom partikler i selve væsken kalles viskositet, eller væskens indre friksjon.
Kompressibilitet	En væskes evne til å motstå volumendring under trykk, kalles kompressibilitet.
Spennings- tøyningsdiagram	En graf som viser hvordan materialet oppfører seg ved spenningsbelastning. Se figur 3-1.
Flow	Flow er et engelsk begrep og oversettes til strømning. Brukes ofte om analyse av væsker i bevegelse (flow-analyse). For eksempel i en konstruksjon.
Singulariteter	Ved fortetning av mesh i FEM-analyser vil disse forårsake høye spenninger i dette området.
Mesh	Et nett man legger over konstruksjonen, hvilket man legger egenskaper på for beregninger.



Figur 3-1: Grafen viser forholdet mellom spenning og tøyning for typisk støpestål. R_m er bruddgrense, R_eH er flytegrense, Hookes- område er det lineærelastiske området, mens flyteområdet er det området materialet går i flyt og blir varig deformert. [10]

For å forklare noen av begrepene i tabell 3-2 noe bedre er dette illustrert i et spennings-tøyningsdiagram i figur 3-1.

3.3 Formelsymboler og enheter

De symbolene som er med i formlene og i teksten generelt er satt inn i tabell slik at de er enkle å finne betydningen av. Samtidig sparer også dette tid og letter systematiseringen da de slipper videre forklaring i teksten, ved bruk.

Tabell 3-3: Formelsymboler og enheter brukt i rapporten.

Symbol	Betydning	Enhet(SI)
p	Trykk	MPa*
Q	Volumstrøm	m^3/s
ω	Vinkelhastighet	rad/s
ρ	Densitet	kg/m^3
η	Absolutt viskositet	Ns/m^2
A	Areal	m^2
F	Kraft	N
v	Hastighet	m/s
v_m	middelhastighet	m/s

V	Volum	m^3
m	Masse	Kg
K	Kompressibilitet	N/m^2
z	Høyde	m
h	Høyde fra referanselinje	m
E	Elastisitetsmodul	MPa
ε	Tøyning	-
ν	Væskens kinematiske viskositet	Ns/m^2
F_i	Forspenningskraft skrue	N
F_L	Last pr skrue må tåle	N
F_a	Total belastning skrue	N
F_k	Klemkraft på pakning	N
F_p	Punktlast på bjelke	N
ξ	Tapkoeffisient	-
λ	Friksjonskoeffisient	-
d	diameter	m
ε_1	Friksjonsvinkel	-
P_g	Pitch, stigningstall til gjenge i bolt	-
φ	Stigningsvinkel til gjenger i skruen	$^\circ$
d_2	Midlere diameter skrue	m
r_m	$d_2/2$	m
d_1	Indre diameter for gjenger i skrue	m
δ_1	Forlengelse av skrue	m
δ_2	Kompresjon av pakning	m
t	Tykkelse til pakning	m
σ_{till}	Tillatt spenning	MPa
σ_{jf}	Jevnførende spenning	MPa
I	Treghetsmoment	m^4
h	høyde i rektangel	m
b	Bredde i rektangel	m

y	Avstand fra tverrsnittets tyngdepunkt til ytterste fiber	m
M	Moment	Nm
w _v	Motstandsmoment	mm ³

*1 MPa = 1 N/mm² = 10 bar.

3.4 Formelbruk

Da forrige kapittel tok for seg enheter og symboler, kommer nå formlene der de er brukt, og systematisk oversikt over dette. Det er bare listet opp hovedformler, og ikke hele utledningen som fører til den aktuelle formelen.

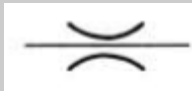
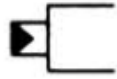


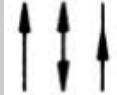

Tabell 3-4: Formler som er benyttet i rapporten, om ikke i faktiske beregninger, kan de brukes til forklaring.




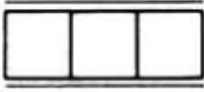
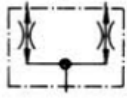
Navn	Formel	Nummer
Pascals lov	$p = p_0 + \rho g z$	(3.1)
Kraft fra trykk	$F = F_x = p * A$	(3.2)
Kontinuitetsligningen	$\sum Q_{inn} = \sum Q_{ut}$	(3.3)
Kompressibilitetsmodul	$K = -V * \frac{dp}{dV}$	(3.4)
Bernoullis ligning	$\rho \frac{v_1^2}{2} + p_1 + \rho g h_1 = \rho \frac{v_2^2}{2} + p_2 + \rho g h_2 + \Delta p_{tap}$	(3.5)
Reynolds tall	$Re = \frac{\rho v l}{\eta} = \frac{v l}{\nu}$	(3.6)
Kraft på flate fra trykk	$F_L = \frac{p \pi D^2}{4 * n}$	(3.7)
Spenning	$\sigma = \frac{F}{A}$	(3.8)
Tap i rette rør	$\sum \lambda \frac{l}{d} \rho \frac{v_m^2}{2}$	(3.9)
Tap i rørbend osv.	$\sum \xi \rho \frac{v_m^2}{2}$	(3.10)
Friksjonsvinkel gjenger	$\varepsilon_1 = \frac{\mu}{\cos 2\alpha}$	(3.11)
Stigningsvinkel gjenger	$\varphi = \frac{P_g}{\pi d_2}$	(3.12)
Vridemoment skrue	$M_v = F * r_m * \tan(\varphi + \varepsilon)$	(3.13)
Motstandsmoment skrue	$w_v = \frac{\pi * d_1^3}{16}$	(3.14)

Forlengelse av skrue	$\delta_1 = \frac{F_i * l}{E * A}$	(3.15)
Kompresjon av pakning	$\delta_2 = \frac{F_i * t}{E * A}$	(3.16)
Sikkerhetsfaktor	$SF = \frac{\sigma_{till}}{\sigma_{jf}}$	(3.17)
Bøyespennning	$\sigma_b = \frac{M}{I} y$	(3.18)
Treghetsmoment	$I = \frac{b * h^3}{12}$	(3.19)
Nedbøyning	$y = \frac{Fl^3}{48EI}$	(3.20)
Jevnførende spenning bolt	$\sigma_{till} = \sqrt{\left(\frac{F}{A_s}\right)^2 + 3 \left(\frac{M_v}{\frac{\pi * d_i^3}{16}}\right)}$	(3.21)
Trykk på flate fra bolt	$p_{flate} = \frac{F_{bolt}}{\frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)}$	(3.22)

3.5 Hydrauliske symboler

Tabell 3-5: Oversikt over hydrauliske symboler som er brukt i rapporten, og med hvilken betydning de har.

Symbol	Betydning
	Struping.
	Trykkstyring, her; trykkøkning.
	Sammenkoblede ledninger.
	Stengt uttak.
	Angivelse av retning.
	Fjær.

	Hovedledning.
	Styreledning.
	Stengt kobling.
	Retningsventil med struping. (Kontinuerlig variabel struping i alle mellomstillinger)
	Strømningsdeler.

[1][29]

4 Metodebeskrivelse

I denne delen av rapporten kommer en utredning av de forskjellige metodene brukt i moderne produktutvikling. Først de tradisjonelle metodene, så data og analyseverktøy, samt en visualisering av IPD.

4.1 Utviklingsmetodikk

Herunder kommer beskrivelser av de ulike produktutviklingsmetodene brukt i oppgaven.

4.1.1 Integrert produktutvikling, IPD:

Det hele går ut på å følge trinnene som vist i figur 4-2. Etter simulering og analyser evalueres og revideres det. Er det bra nok går det videre til produksjonstegninger og teknisk beskrivelse. Faller konseptet gjennom på en evaluering går man tilbake til mekanisk analyse og funksjonsanalysen og ser hva man kan forbedre. Denne prosessen fortsetter til man har et tilfredsstillende resultat. [2]

4.1.2 Pughs Metode

Pughs metode er et produktutviklingsverktøy man bruker for å finne best mulig løsning for produktet ved å vekte ulike egenskaper ved produktet og gi disse poeng. Man setter disse egenskapene opp mot en referanseløsning, gjerne markedslederen, for å se om man kommer bedre, likt eller dårligere ut. [2]

Selve vekting og vurderingen gjøres best i en tabell slik at man ha god oversikt over de ulike løsningen og poengene.

4.1.3 Osborn`s metode (S.C.A.M.P.E.R)

Denne produktutviklingsteknikken, eller metoden for idemyldring har sitt utspring i USA fra Alex Osborn. Metoden er egentlig en sjekkliste for å undersøke potensialet til eksisterende produkter eller å skape nye produkter. De syv bokstavene som danner ordet S.C.A.M.P.E.R henviser til Substitute, Combine, Adapt, Magnify, Put to other use, Eliminate og Rearrange.

Ved å stille seg selv spørsmål som; -" Kan dette byttes ut?" -" Kan denne kombineres med noe annet?" -" Her kan vi tilpasse!" osv. På denne måten kan man få oversikt over gode løsninger, eller eliminere de dårlige. [24]

4.2 Data og analyseverktøy

En punktvis oversikt over de ulike programvarene som er brukt i oppgaven. Først en liste over tekstbehandlingsversjoner, og så en oversikt over de tekniske programmene som er brukt og en kort beskrivelse av FEM- analyse metoden det ene programmet bruker.

4.2.1 Generell programvare

Tekst og tallbehandling:

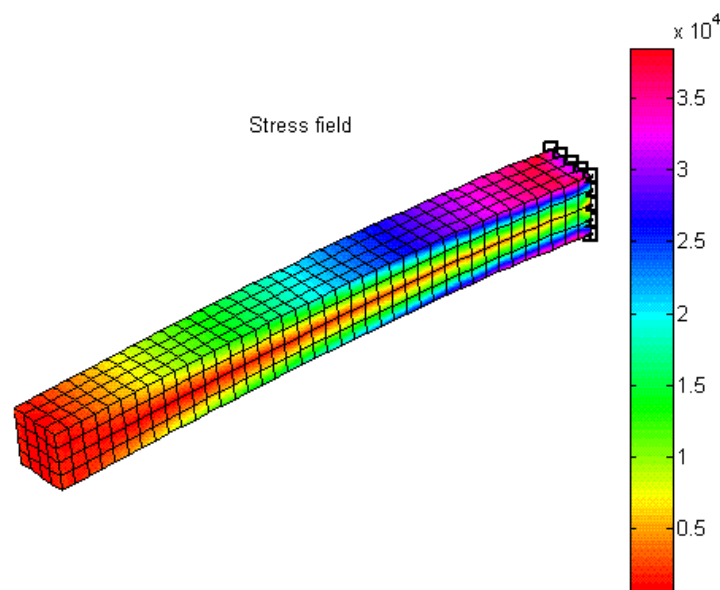
- Microsoft Word for Mac versjon 15.13.1 (150807)
- Microsoft Excel for Mac versjon 15.13.1 (150807)

Teknisk programvare:

- Ansys Workbench til FEM- analyser.
- Google SketchUp til design av figurer.
- Dassault Systems: SolidWorks 2014: 3D-modellering og flowsimulering.

4.2.2 FEM –analyse

FEM- analyse, eller Finite Element Method er datasimuleringsmetode for å prøve og forutse virkningen av virkelige påkjenninger på et produkt. Man kan se på variabler som varmemestrøm, fluide- simulering, vibrasjoner og krefter i alle retninger. Metoden går ut på å dele konstruksjonen opp i små deler der det blir gjort beregninger på hver eneste lille del, og programmet man bruker legger sammen de ulike delsummene og lager et bilde av hvordan for eksempel et spenningsbilde vil se ut for konstruksjonen. [13]



Figur 4-1: Viser spenningsbildet til en utkragerbjelke der elementene er delt inn i små kvadratiske mesh. Figur fra [25]

Ved NMBU er det vanlig med bruk av Ansys APDL og ANSYS workbench til utarbeidelse av FEM-analyser.

4.3 Litteraturstudie

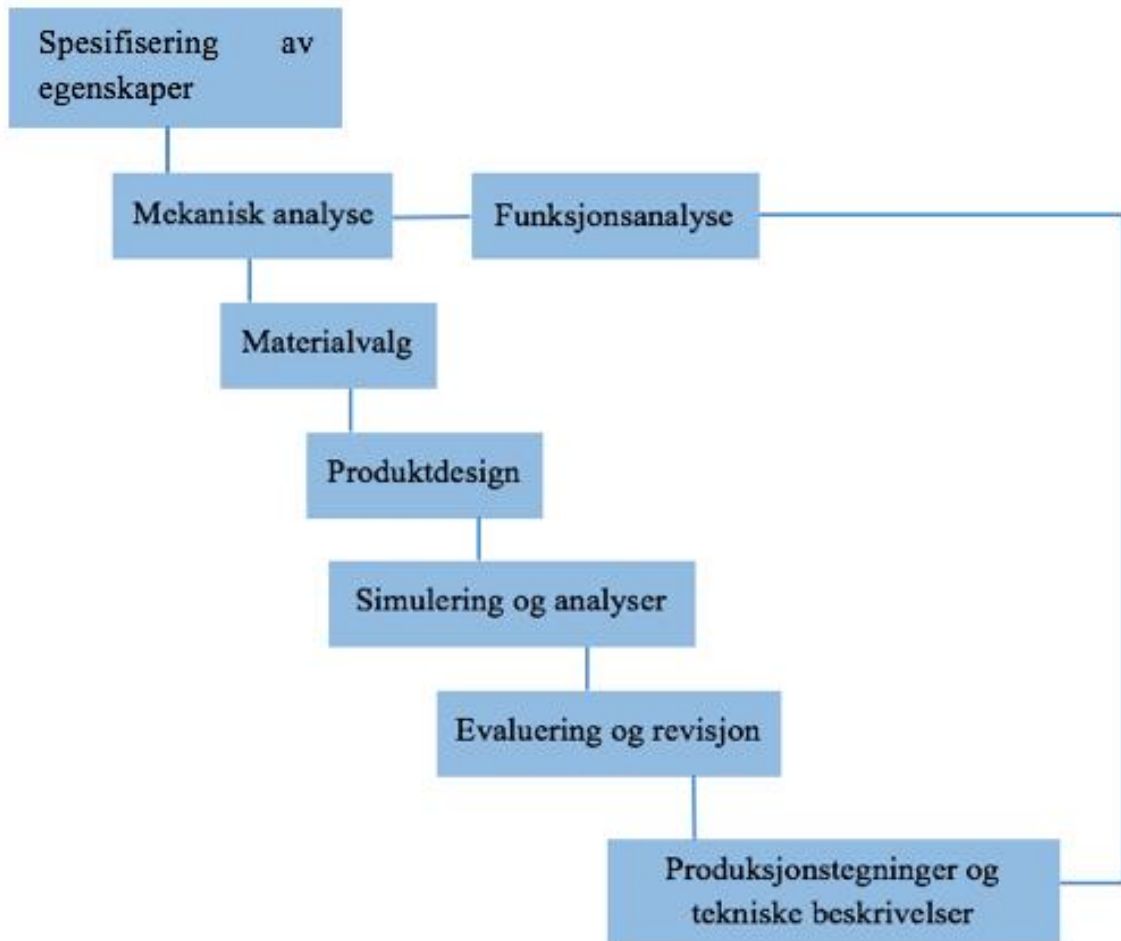
En litteraturstudie er en sammenfatting av litteratur om det man ønsker å studere. Her tar man for seg egenskaper og konklusjoner i litteraturen, som igjen blir satt i system slik at man kan få et grunnlag for videre arbeid innenfor området.

I denne oppgaven vil litteraturstudiet omhandle tidligere oppgaver som er skrevet ved NMBU og en sammenfattende undersøkelse om hva som finnes av produkter gjennom en undersøkelse i produktkataloger fra produsent.

En vurdering av potensialene blir gjennomført og det vil bli gitt anbefalinger for videre arbeid basert på disse studiene.

4.4 Prosesskart IPD

Nedenfor vises de forskjellige trinn innenfor integrert produktutvikling.



Figur 4-2: Illustrerer fremgangsmåten ved integrert produktutvikling. Omarbeidet etter [2]

Figur 4-2 illustrerer fremgangsmåten i arbeidsmetoden for videre rapportering. Steg for steg følges trinnene slik at det blir et best mulig resultat til slutt. Ved feil i evalueringen eller revisjonen går man tilbake til mekanisk analyse og funksjonsanalyse for å se om man kan gjøre noe annerledes. Prosessen går sin gang om man kommer igjen frem til teknisk beskrivelse, der man ender med resultatet.

5 Teori og teknologiutredning

Denne delen av rapporten omhandler grunnlag for beregninger og analyser gjort senere. Det vil bli gjort rede for emner innen væskefysikk, som hydrostatikk og hydrodynamikk, tap i rør, turbulent og laminær strømning, samt grunnleggende fasthetslære og beregningsteknikker som det er behov for i rapporten. Enten det er til beregning eller forklaring av resultater.

5.1 Hydraulikk

Grunndefinisjonen for hydraulikk kan uttrykkes på følgende måte:

”Hydraulikk er den del av hydrodynamikken som omfatter læren om væskers egenskaper og oppførsel, i ro eller i bevegelse, i forhold til tilgrensende overflater eller legemer.” [1]

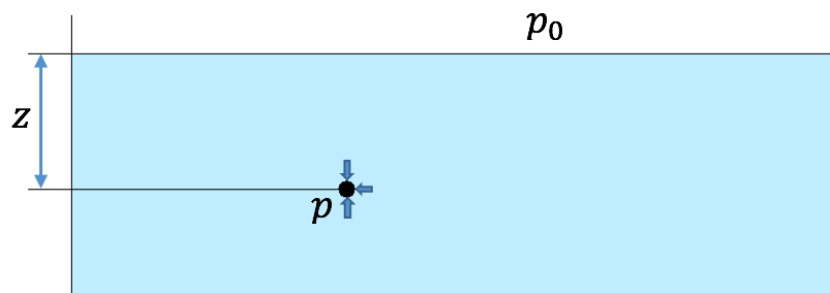
Sagt på en annen måte er hydraulikk væskers evne til å utføre et arbeid på omgivelsene.

5.2 Hydrostatikk

Energiomformingen skal skje ved hjelp av det statiske trykket i væsken. Væsken er i ro og er derfor i statisk likevekt. En løftejekk er et godt eksempel på hydrostatisk energioverføring.

Pascals lov:

”I en væske i ro er trykket i et punkt likt i alle retninger.” [1]



Figur 5-1: Pascals lov i praksis. I et åpent kar for en væske i ro er trykket i et punkt lik i alle retninger. Her er p_0 atmosfæretrykket, z er høydeforskjellen og p er trykket i et punkt
Figuren er modifisert etter figur 3.1 i [1].

$$p = p_0 + \rho g z \quad (1)$$

Likning (1) gjelder generelt for alle punkter i væsken, men kun i åpent kar, slik figur 5-1 viser. Vi ser bort fra $\rho g z$ -leddet når man regner på lukkede containere, fordi det må store høydeforskjeller til for at dette leddet skal utgjøre nevneverdig trykkforandringer. [1]

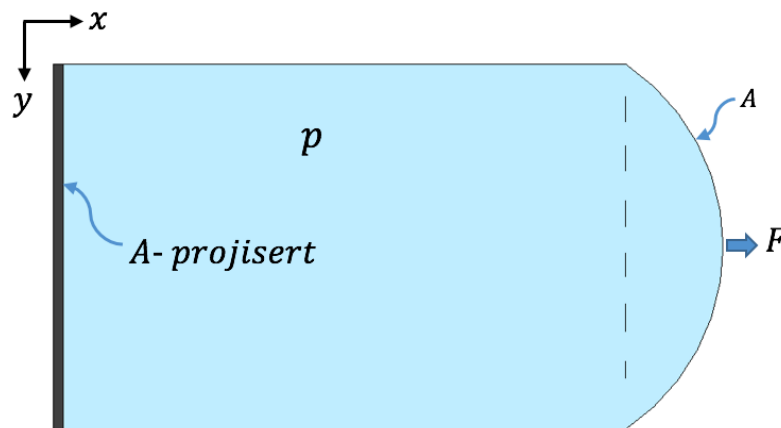
Krefter på flater:

Kraften fra trykk på en flate virker alltid vinkelrett på flaten og inn mot den. For krumme og plane flater vil kraften forårsaket av trykket i en valgt retning være lik kraften på en projeksjon av flaten. Se *figur 5-2*. Kraften F kan uttrykkes som:

$$F = \int p \, dA, \quad (2)$$

og siden $\rho g z$ delen av trykket p som er forårsaket av tyngdekraften, kan neglisjeres, setter vi:

$$F = p \int dA, \quad (3)$$



Figur 5-2: I en lukket kontainer kan man beregne kraften F , forårsaket av trykket p i et vilkårlig punkt ved hjelp av flaten A , som kaster en skygge på bakveggen og blir til flaten A -projisert. Figuren er omarbeidet etter figur i [1].

Dermed kan man finne kraften vinkelrett på et fast areal med formelen:

$$F = F_x = p * A \quad (4)$$

5.3 Hydrodynamikk

Denne delen av hydraulikken omhandler energiomforming som skjer ved hjelp av hastigheten til væsken. Et kraftverk der vann faller i rørsystemer før det treffer et skovlhjul er et eksempel på dette.

5.3.1 Kontinuitetsligningen

I et lukket kar med konstant volum V og densiteten ρ , med en volumstrøm Q , henholdsvis inn og ut av karet, kan man bruke denne formen av kontinuitetsligningen:

$$\sum Q_{inn} = \sum Q_{ut} \quad (5)$$

Vet man hastigheten v til væsken, og/eller tverrsnittets areal A , eller ønsker å finne en eller flere av variablene, kan ligning (5) skrives som:

$$\sum v_{inn} * A_{inn} = \sum v_{ut} * A_{ut} \quad (6)$$

Siden kontinuitetsligningen kan uttrykkes fra setningen om bevaring av masse, og man multipliserer *massestrøm* Q_m med densiteten ρ slik at man får volumstrøm, og at massen $m = \rho V$ får man:

$$\sum Q_{inn} - \sum Q_{ut} = \frac{dV}{dt} + \frac{V}{\rho} * \frac{d\rho}{dt} \quad (7)$$

Formelen for en væskes kompressibilitetsmodul K er:

$$K = -V * \frac{dp}{dV} \quad (8)$$

Setter man sammen (7) og (8) får man følgende uttrykk:

$$\sum Q_{inn} - \sum Q_{ut} = \frac{dV}{dt} + \frac{V}{K_R} * \frac{d\rho}{dt} \quad (9)$$

Ligning (9) tar på denne formen hensyn til, da K_R er en resultant-kompressibilitetsmodul, at væsken kan inneholde gassbobler, samt at materialet i veggene rundt kan være elastiske. [1]

5.3.2 Bernoullis ligning

Når man setter sammen de ulike energiformene som opptrer i en væske, kommer man frem til en energiligning basert på setningen om energiens konstans.

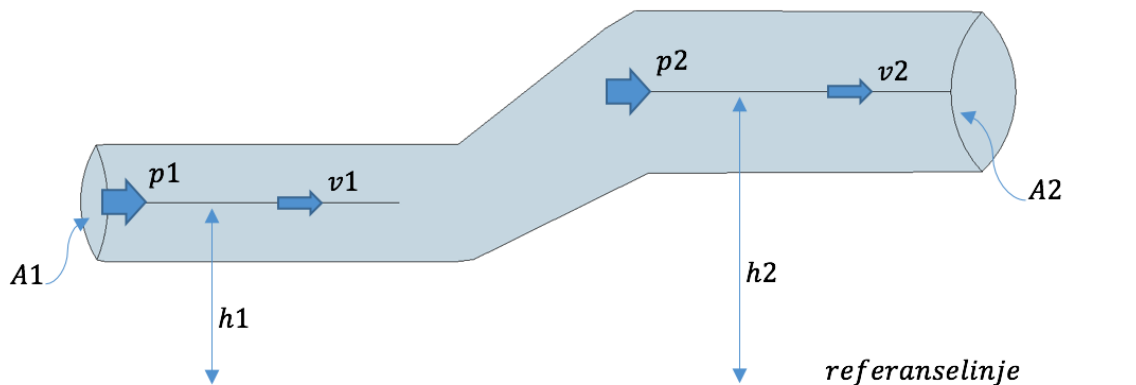
Her blir kinetisk energi, trykenergier og stillingsenergi satt sammen, og ser man bort fra endring i væskens indre energi.

$$\frac{v^2}{2} + \frac{p}{\rho} + gh = \text{konstant} \quad (10)$$

Ligning (10) kalles Bernoullis ligning på energiform, og gjelder for en ideell væske.

Anvender man ligning (10) i et system der man har høydeforskjeller og endring i tverrsnitt er ikke lenger ligning (10) = konstant og man får:

$$\frac{v_1^2}{2} + \frac{p_1}{\rho} + gh_1 = \frac{v_2^2}{2} + \frac{p_2}{\rho} + gh_2 \quad (11)$$



Figur 5-3: Viser et snitt av et lukket rør med endring i tverrsnittets areal og høyde fra referanselinjen. Dette er Bernoulli på energiform.

Ligning (11) er fortsatt på energiform. Gjør man om denne til trykkform får man en ligning som er mer anvendelig i lukkede systemer med endring i rørtverrsnitt. Bernoullis ligning på trykkform blir da:

$$\rho \frac{v^2}{2} + p + \rho gh = \text{konstant} \quad (12)$$

Skjærkrefter vil alltid oppstå i reelle væsker på grunn av viskositeten til væsken. Tar man dette i betraktning vil det også oppstå tap når tverrsnittet endres i figur 3.3-1. Ved å legge til et tapsledd i ligning (12) får man en mer realistisk form av Bernoullis ligning der man også har kontroll på tap:

$$\rho \frac{v_1^2}{2} + p_1 + \rho gh_1 = \rho \frac{v_2^2}{2} + p_2 + \rho gh_2 + \Delta p_{tap} \quad (13)$$

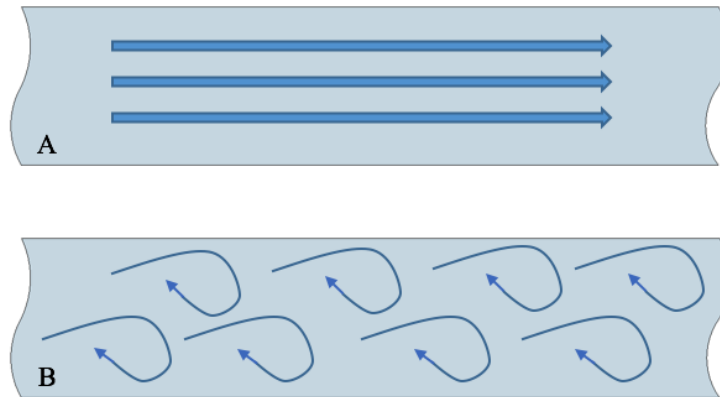
Har man ulike elementer i systemet som tilfører energi eller bruker energi, må disse leddene tilføres ligningen, slik at balansen er opprettholdt. Tilførselselementer som for eksempel en pumpe vil bli satt inn på venstre side av ligning (13), mens tap av energi i form av for eksempel en motor vil bli lagt til på høyere side av ligning (13). [1]

5.3.3 Strømningsvarianter og Reynolds tall

Som nevnt i kapittel 5.3.2 vil motstandskrefter, deriblant skjærkrefter, alltid oppstå i reelle væsker på grunn av den indre friksjonen til væsken. Væskens seighet, viskositeten, er et mål på væskepartiklenes motstand mot bevegelse seg i mellom, og mellom de ulike væskesjikt.

De to vanligste strømningsstypene som opptrer er laminær - eller turbulent strømning. Laminær strømning domineres av viskøse krefter og er en rolig, jevn og forutsigbar strømning som foregår i parallelsjikt.

Den turbulente strømmingen domineres av treghetskreftene i væsken og oppfører seg nærmest motsatt av laminær strømming, altså i ikke-parallele sjikt som er urolige og uforutsigbare. [1]



Figur 5-4: Viser to like snitt av et rør der figur A skisserer en laminær strøm, mens figur B skisserer en turbulent strøm.

Under teoretiske beregninger for disse ulike strømmingene bruker man ofte Reynolds tall. Dette er et tall uten benevning og er et mål på forholdet mellom væskens akselerasjon og dens friksjonskraft pr masseenh. Dette medfører at i de tilfeller viskøse krefter dominerer, får man lavt Reynolds tall og man har laminær strømming. Ved tilfeller der treghetskreftene er mest fremtredende får man en høy verdi for Reynolds tall og man har turbulent strømming. Matematisk regner man ut Reynolds tall ved hjelp av uttrykket:

$$Re = \frac{\rho v l}{\eta} = \frac{v l}{\nu} \quad (14)$$

Oftest ønskes det forholdet som er overgangen fra laminær til turbulent strømming. Dette kalles det kritiske Reynolds tall, Re_{kr} . En typisk verdi for Reynolds tall der man ser på et glattvegg, sirkulært rør er $Re_{kr} = 2300$. [1]

5.3.4 Tap i lukkede kanaler

Tap oppstår blant annet på grunn av friksjon, endringer i tverrsnitt, rørbøyninger, ventiler, filter osv. Man kan forenkle uttrykkene og sette opp det totale tapet slik:

$$\sum \Delta p_{tap} = \sum \Delta p_{tap A} + \sum \Delta p_{tap B} + \sum \Delta p_{tap C} \quad (15)$$

Her er tapsledd med indeks A, B og C, henholdsvis tap i rette rør, tap i rørbend, overganger og inn/utløp, og tap i ventiler filtre diverse andre komponenter. Deler man opp disse igjen kan se hva som påvirker de ulike tapene.

Tap i rette rør:

$$\sum \Delta p_{tap A} = \sum \lambda \frac{l}{d} \rho \frac{v_m^2}{2} \quad (16)$$

Ser man på hvilke faktorer som påvirker tap i rette rør vil dette avhenge av friksjonskoeffisienten λ , da man for Reynolds tall < 2300 har $\lambda = \frac{64}{Re}$.

Tap i rørbend, overganger og inn/utløp:

$$\sum \Delta p_{tap A} = \sum \xi \rho \frac{v_m^2}{2} \quad (17)$$

Men systemer med mange bender og inn og utløp vil den avgjørende faktoren være tapskoeffisienten ξ som har forskjellig verdi basert på vinkelen i rørbendene. Se tabell 5-1.

Tabell 5-1: Viser verdiendringer av ξ ved økende vinkel på rørbend.

Vinkel	30°	45°	60°	90°
ξ	0,1	0,3	0,5	1,2

Tap i ventiler:

Når det gjelder tap i ventiler blir dette betegnet som:

$$\sum \Delta p_{tap c} \quad (18)$$

Dette tapet er oppført i datablader for de enkelte komponenter og blir trukket direkte fra i tapsregnskapet. [1]

5.4 Materialer

Begreper som blir brukt for å si noe om fysiske og mekaniske egenskaper blir forklart, samt en sammenligning mellom stål og aluminium blir fremstilt.

Vickers hardhet:

Vickers hardhet er en metode for å måle overflatehardhet til et materiale ved at man presser et diamantstempel med pyramideform ned i materialet med en gitt kraft. Avtrykket blir målt nøyaktig, og satt inn i en likning der kraft, vinkel på diamantformen, og den gjennomsnittlige diagonallengden på avtrykket fra kvadratet er med. Verdien man får er i benevnning HV og sier noe om hvor hardt materialet er. For å konvertere verdien fra HV til MPa multipliseres verdien med 9,807. [17]

Brinell hardhet:

Denne metoden brukes ofte når overflateruheten er for grov. Metoder som Vickers vil bli vanskelig fordi diamantformen i Vickers metode er så liten, og med stor overflateruhet vil denne bli vanskelig å lese av. Brinell brukes derfor ofte der man driver med støpning eller smiing av materialer som stål eller jern. Fremgangsmåten er den samme som for Vickers, men Brinell bruker en ball, og mer kraft for å oppnå målbare avtrykk. En formel med balldiameter, avtrykksdiameter og kraft blir brukt til å beregne hardheten til materialet. [17]

Varmeutvidelseskoeffisient:

Når temperaturen i et materiale øker, utvider materialet seg. Har man en stav med lengde L og temperatur T og temperaturen endres, vil endringen i temperatur være proporsjonal med forholdet til endring i lengde dividert med original lengde L. [11]

Spesifikk varmekapasitet:

Kommer fra generell varmekapasitet som er definert som hvor mye endring i indre energi i materialet som skal til for å øke temperaturen med en grad celsius. Spesifikk varmekapasitet er varmekapasitet dividert med massen til materialet. [11]

Tabell 5-2: Viser oversikt over materialtekniske egenskaper til stål og aluminium.

Egenskap	Stål	Aluminium
E-modul	210000 MPa	70000 MPa
Densitet	$7800 \frac{kg}{m^3}$	$2700 \frac{kg}{m^3}$
Hardhet vickers	-	30*
Hardhet brinell	130	30*
Varmeutvidelseskoeffisient	$10 * 10^{-6} \alpha * \frac{1}{K}$	$24 * 10^{-6} \alpha * \frac{1}{K}$
Spesifikk varmekapasitet	$0,44 \frac{kJ}{kg * K}$	$0,9 \frac{kJ}{kg * K}$
Smeltepunkt	1535°C	660°C
Varmekonduktivitet	$76 \frac{W}{m^{\circ}C}$	$210 \frac{W}{m^{\circ}C}$

[18]

* Legering AA1050A. [26]

Hvis man setter noen av egenskapene fra tabell 5-2 inn i en ny tabell som viser forholdet mellom de to, er det lettere å se hvilke områder aluminium utgjør størst forskjell på, i forhold til stål.

Tabell 5-3: Forhold mellom aluminium og stål når det gjelder fysiske egenskaper kommer frem av tabellen.

Fysiske egenskaper	Forhold
Vekt	3*alu = 1*stål
Smeltetemperatur	1*alu = 2*stål
Varmeledningsevne	3*alu = 1*stål
Varmekapasitet	2*alu = 1*stål
Utvidelseskoeffisient	2*alu = 1*stål
E-modul	1*alu = 3*stål

Tabellen er omarbeidet etter tabell i heftet [5] og er en tilnærming, og ment for å illustrere.

5.5 Fasthetslære og beregningsteknikk

Innledningsvis omhandles hvordan man gjør forenklinger i beregningsteknikk. Fra jevnt fordelt trykk til punktlast. Videre følger avsnitt om skrueberegninger, skrueagram og siste del omhandler formelverk rundt spenning og deformasjoner.

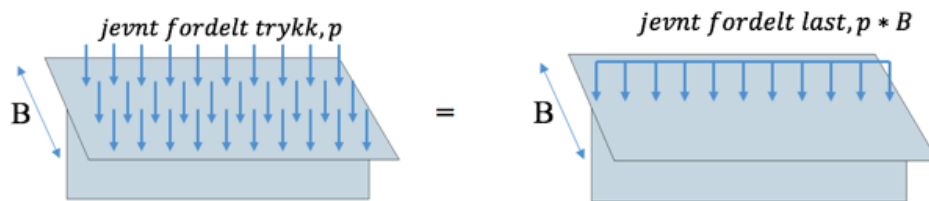
5.5.1 Trykk og jevnt fordelt last

Fra ligning (5) ser man at

$$F = p * A \quad (19)$$

for trykk i en lukket beholder. Man vet at dette gjelder for alle punkter i en beholder med likt trykk og da vinkelrett på flaten. Overfører man dette til en kjent areal i konstruksjonen, som for eksempel et lokk, vil man kunne se på dette som et jevnt fordelt trykk over et areal. Ved å multiplisere trykket p med bredden B til arealet, vil man ha en jevnt fordelt last. [22]

Se figur:



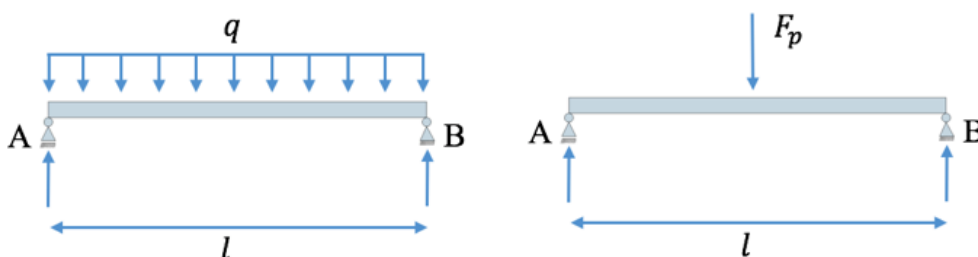
Figur 5-5: Viser forenklingen fra jevnt fordelt trykk over et areal til jevnt fordelt last over en linje. Figuren er omarbeidet etter figur på siden [22].

Fra figur 5-5 ser man at jevnt fordelt last q blir:

$$q = p * B \quad (20)$$

Jevnt fordelt last over en linje kan overføres til en jevnt fordelt last på en bjelke. Med en fritt opplagret bjelke med lengde l , og jevnt fordelt last q , kan lasten sees på som en punktlast:

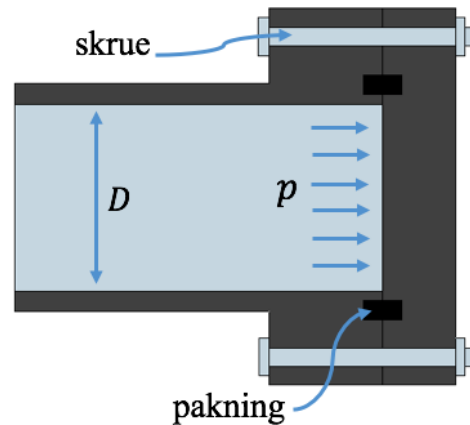
$$F_p = q * l \quad (21)$$



Figur 5-6: Skissen til venstre i figuren viser en jevnt fordelt last på en bjelke, mens skissen til høyre viser den jevnt fordelte lasten multiplisert med lengden av bjelken slik at man kan se på denne som en punktlast. Figuren er omarbeidet etter figur på siden [22]

5.5.2 Skrueteori

Trykkpåkjennte konstruksjoner som inneholder pakninger og skruer må ha en forspenning i bolten F_i . Dette for å unngå lekkasje i pakningen når det blir satt belastning på konstruksjonen.



Figur 5-7: Viser tverrsnittet av en trykkbeholder der skruene og pakningene vises. Trykket p innvendig og indre diameter D vises også. Omarbeidet fra side 89 i [12].

I en beholder med lokk og innvendig trykk slik figur 5.5-3 viser er lasten skruene må stå imot F_L blir:

$$F_L = \frac{p\pi D^2}{4 * n} \quad (22)$$

Her er n lik antall skruer, og D er indre diameter på lokket. For å estimere forspenning F_i basert på F_L kan man si: For myke pakninger skal $F_i = F_L$ og for harde pakninger kan F_i estimeres til å være $1,3 * F_L$. Skal det ikke være noen pakning må $F_i = 1,5 * F_L$. [6]

5.5.3 Dimensjonering av skruer

Fasthetsklasser for skruer:

- Ved fasthetsklasse 8.8 kan man si at den nominelle strekkfastheten til bolten vil være $8 * 100 \text{ N/mm}^2 = 800 \text{ N/mm}^2$
- Flytegrense får vi: $8 * 8 * 10 \text{ N/mm}^2 = 640 \text{ N/mm}^2$. Samme fremgangsmåte gjelder for andre fasthetsklasser. For eksempel 12.9 har en nominell strekkfasthet på $12 * 9 * 10 = 1080 \text{ N/mm}^2$. [6]

For et grov utgangspunkt for strekkspenning i skruen kan man snu formelen:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (23)$$

Og løse denne med hensyn på A. For en skrue er spenningsarealet lik:

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \quad (24)$$

Løser formel (23) innsatt (24) med hensyn på d får vi:

$$d = \sqrt{\frac{4 * F}{\pi * \sigma}} \quad (25)$$

Hvis nå σ er tillatt spenning i skruen får man en diameter som man kan ta som utgangspunkt for videre dimensjonering. For å dimensjonere tilstrekkelig må man ta hensyn til både strekkspenning og torsjonsspenning. Den jevnførende spenningen i en skrue kan skrives som:

$$\sigma_{jf} = \sqrt{\sigma_d^2 + 3\tau_v^2} \quad (26)$$

Her står d for diameter i spenningsarealet, og v strå for vridning. $\tau_v = \frac{M_v}{w_v}$, der M_v står for vridemomentet i skruen og w_v er motstandsmomentet $\frac{\pi * d_i^3}{16}$, og $\sigma_d = \frac{F}{A_s}$.

M_v er vridningsmomentet i skruen. Dette kan uttrykkes som:

$$M_v = F * r_m * \tan(\varphi + \varepsilon) \quad (27)$$

Utrykket inne i parenteser til \tan er:

$$\varepsilon = \frac{\mu}{\cos 2\alpha} \quad (28)$$

Og

$$\varphi = \frac{P}{\pi d_2} \quad (29)$$

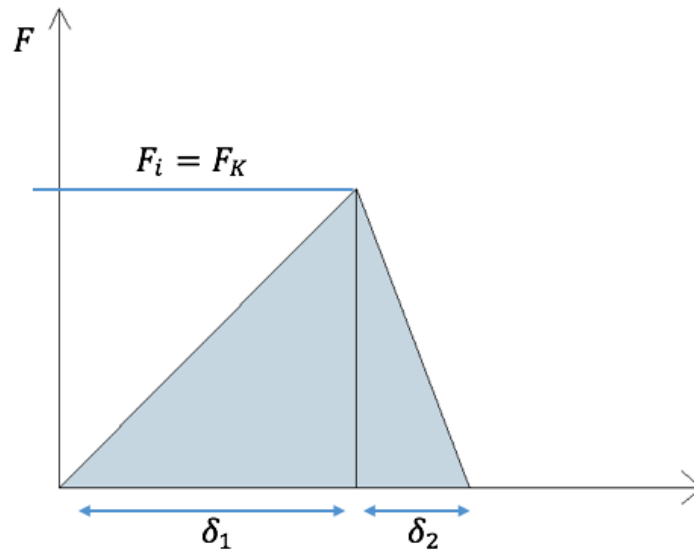
Setter man inn uttrykket for M_v og motstandsmomentet ender man med et uttrykk som sier:

$$\sigma_{till} = \sqrt{\left(\frac{F}{A_s}\right)^2 + 3 \left(\frac{M_v}{\frac{\pi * d_i^3}{16}}\right)} \quad (30)$$

Hvis σ_{till} fra utregning $< \sigma_{till}$ for materialet i bolten, er den sterk nok. [6]

5.5.4 Skruediagram

Et skruediagram er en figur som viser forholdet mellom kraft i bolten og forlengelse av den, samt sammentrykking av pakningen imellom. Basert på geometrien i trekantene kan man regne seg frem til de totale kreftene i bolter og pakninger.



Figur 5-8: Viser en enkel fremstilling av et skruediagram. Her er forspenningen F_i lik klemkraften F_k . δ_1 og δ_2 er forlengelsen til hhv. skrue og pakning.

Basert på formelverk kan man finne δ_1 og δ_2 ved følgende formel:

$$\delta_1 = \frac{F_i * l}{E * A} \tag{31}$$

Her er E , A og l , henholdsvis E-modulen til bolten, tverrsnittets arealet og lengden til skruen. Ser man på uttrykket for kompresjonen i pakningen er dette:

$$\delta_2 = \frac{F_i * t}{E * A} \tag{32}$$

Utrykket er identisk med det for skrueforlengelsen, men man bytter ut lengden, med tykkelsen til pakningen t , og E-modul og tverrsnittets areal for pakningen.[6]

5.5.5 Spenning, tøying og deformasjon

Symbolet for spenning generelt er σ , men spenning har ofte retningsbestemte underprefikser. For eksempel σ_x , σ_y eller σ_{\perp} . Strekkspenning uttrykkes med formelen:

$$\sigma_{\perp} = \frac{F}{A} \tag{33}$$

Ser man på de tilfelle der bøyenspenning også opptrer brukes ofte:

$$\sigma_b = \frac{M}{I} y \tag{34}$$

I uttrykket er I treghetsmomentet som for rektangulære profiler er betegnet som:

$$I = \frac{b * h^3}{12} \tag{35}$$

Ved å sette inn hele uttrykket for I , samt $\frac{h}{2}$ for y i uttrykket for σ_b får vi:

$$\sigma_b = \frac{M}{\frac{b * h^3}{12}} * \frac{h}{2} = \frac{M}{\frac{b * h^2}{6}} \quad (36)$$

Her er nevneren i siste leddet i uttrykket det som kalles for motstandsmoment, w . Dermed:

$$\sigma_b = \frac{M}{w} \quad (37)$$

[22]

Deformasjon:

For en fritt opplagret bjelke med punktlast F midt på, finner man nedbøyning y på midten, med formelen:

$$y = \frac{Fl^3}{48EI} \quad (38)$$

Der l er lengen på bjelken og E og I er henholdsvis E-modul og treghetsmoment.[22]

Flatetrykk i grunnmaterialet:

For å finne flatetrykket p_{flate} i grunnmaterialet forårsaket av skruehodet kan man bruke:

$$p_{flate} = \frac{F_{bolt}}{\frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)} \quad (39)$$

I dette uttrykket er D nøkkelvidden i bolten og d er hulldiameteren.[6]

Deviasjonshypotesen (von-mises):

Ved å bruke de ulike retningsbestemte spenningene for de aktuelle tilfellene kan man bruke deviasjonshypotesen for å finne jevnførende spenning:

$$\sigma_{jf} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{xy}^2} \quad (40)$$

Jevnførende spenning er den tilnærmingen som kommer nærmest virkeligheten. [7]

Hookes lov og tøying:

Spenning og tøying er proporsjonale med hverandre og kan beskrives vha Hookes lov:

$$\sigma = E\varepsilon \quad (41)$$

I ligning (14) er E elastisitetsmodulen, mens ε er tøying og kan uttrykkes som:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (42)$$

[10]

Sikkerhetsfaktor:

For å være på sikker side i forhold til beregninger brukes sikkerhetsfaktor SF. Denne finner man ved formel:

$$SF = \frac{\sigma_{till}}{\sigma_{jf}} \quad (43)$$

SF bør være over 1. Og helst rundt 2.

[7]

5.6 Limeteknikk

Det blir her redegjort for forhold som har innvirkning på selve limeprosessen og hvordan denne bør foregå. Videre følger litt om forskjellige limtyper.

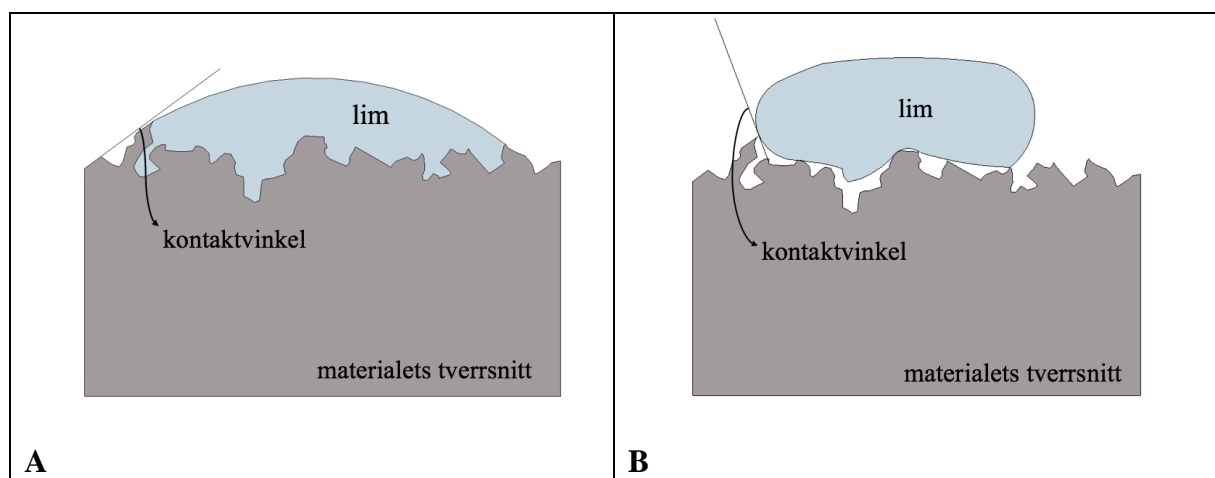
5.6.1 Generelt om lim

Liming av ulike komponenter i forskjellige industrier er mer og mer vanlig. Liming av konstruksjoner kan i mange tilfeller erstatte bolter, skruer og sveising. Spesielt ved tynne platekonstruksjoner er lim egnet, da sveising av disse ofte er vanskelig på grunn av den høye varmeutviklingen. Når det er snakk om adhesiver, lim brukes i det daglige, er det stort sett organiske polymere og silikonpolymere det er snakk om. For at limet skal få ønsket heft til materialet må det være i flytende form slik at fuktingen av hele overflaten blir god. [3]

Ved lim som er for hardt vil ikke molekylene i limet ligge tett nok med overflatemolekylene i materialet slik at den bindingen som er påkrevd for god hefting blir utilstrekkelig. Skal limet fukte godt må det også være en så liten kontaktvinkel mellom limet og materialet som mulig. Dette har med overflatespenningen i materialet å gjøre, og man ønsker å velge et lim som har lav overflatespenning i forhold til materialets slik at limet flyter godt ut.

Man kan sammenligne med et tekstil som er behandlet med et middel som gjør at det er vannavstøtende, eller hydrofobt. Man ønsker et materiale som er hydrofilt i forhold til lime, slik at det lett lar seg hefte. Altså et materiale som ikke er væskeavstøtende. [4]

Tabell 5-9: Figur A viser en god fukting, der limet har lavere overflatespenning enn materialet. Figur B viser det motsatte, og er et hydrofobt materiale. [4][3]



Før liming:

For forbindelser med mindre påkjenninger kreves ikke omfattende forberedelse av overflaten som skal limes. Tape er en typisk limeprosess som krever minimalt med forberedelse, og det er heller ikke snakk om veldig store krefter tapen skal holde. Når det gjelder forbindelser som skal tåle store krefter må overflaten som oftest gjennom en prosess for å gjøre overflaten optimalisert til liming, slik at man får god hefting og unngår overraskelser med fremmede stoffer i overflaten som kan ha uheldig innvirkning på limeprosessen. Den potensielle energien i overflatematerialet er større en kjernematerialet og vil derfor reagere lettere med omgivelsene. For eksempel aluminium vil oksidere ved kontakt med oksygenet i luften rundt, og dermed danne et oksidlag Al_2O_3 . [4] I limeprosessen er det viktig å ha kontroll på de ulike stoffene. I oksidlaget har det mest sannsynlig kommet forurensing fra omgivelsene i form av luftforurensing, absorbering av svovel, nitrogen og halogen fra atmosfæren, eller lokal tilsmusning som oljesøl og lignende. For andre typer materialer vil en primer være fordelaktig å bruke. Denne blir påført materialet for å få bedre heft mellom adhesive og materialet, eller som beskyttelse av en porøs overflate. Primer kan til tider også erstatte en overflatebehandling for å styrke en overflate med svake bindinger. [3]

Brudd i liming:

Ved liming slik *tabell 5-9, figur B* viser vil man kunne få et adhesjonsbrudd. Dette er en type brudd som kommer fordi det er dårlig heft mellom lim og materialet. Om derimot heftet mellom lim og materialet er godt, vil man kunne få brudd i enten selve limet, eller selve materialet. Dette kalles for kohesjonsbrudd. [3]

5.6.2 Limtyper

Felles for alle limtyper er at de går igjennom en faseforandring fra flytende til fast for at man skal kunne utnytte limets egenskaper. I tillegg har man kun kontaktflaten til limet at det kan overføres krefter. Den mest brukte kategorien brukt for lim er konstruksjonslim, som igjen blir delt inn i ulike typer basert på hvordan de herder eller tørker.

Kjemisk reaktive lim:

Deles inn i to hovedgrupper; en-komponent og to-komponent. En-komponent der alt er i samme beholder, mens to-komponent, der man må blande forholdet selv. Silikon er en typisk en-komponent lim som trenger fukt for å herde, og egner seg godt for tetning mot ulike typer væsker.

Evaporasjon- og diffusjonslim:

Organiske løsninger og vann er hovedelementene i disse limtypene. Disse inneholder et løsemiddel som holder limet flytende, og når limet blir påført overflaten som skal limes, vil løsemiddelet fordampe og dermed herde. Limet som fester et plaster til huden er et eksempel på dette. Man bruker plaster fjerner som løsemiddel for å løse opp igjen limet.

Smeltelim:

Polyamider og polyestere er typiske termoplaster og vil bli myke ved økt temperatur, og flytende ved høy nok temperatur. De derfor bare delvis klassifisert som konstruksjonslim og tåler ikke store belastninger.

Film-lim:

Ensidig og tosidig tape kommer under denne kategorien og mange av disse krever oppbevaring innenfor spesielle temperaturspektre. Disse limtypene består av to typer polymerere, der den ene er såkalt høymolekylær og gir styrke til limet, men den andre er en herdekatalysator.

Trykksensitivt lim:

Kan sammenlignes med film-lim der tapen trenger lett trykk for å oppnå god heft og dermed bedre kapasitet. Som med tape kommer disse med eller uten et ikke-heftende lag mens limet i seg selv er enten naturgummi eller annen type gummi.

[3]

5.7 Trykktetting

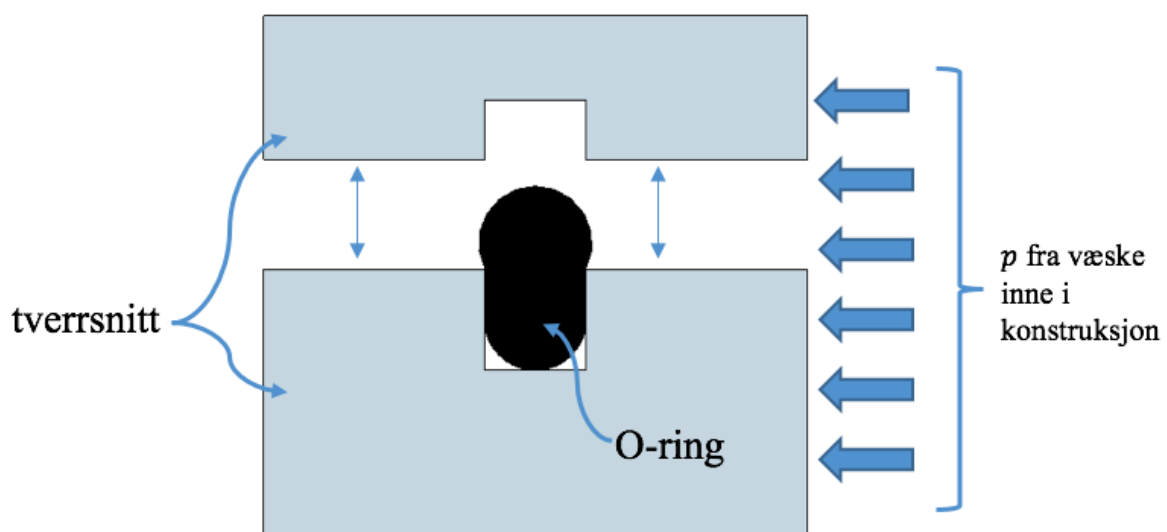
Ved mekaniske sammenkoblinger som skal holde på væsker under trykk som eksempelvis olje vil det ofte være nødvendig med ulike typer tetninger eller pakninger. Disse kan være av ulik utforming og av forskjellige materialer.

O-ringer:

Denne typen pakninger har sirkulært tverrsnitt og som oftest sirkulær form, men kan også brukes over lengre strekker som ikke er sirkulære.

O-ringer lages stort sett i gummimateriale eller PTFE (teflon), eller metall der forholdene krever det. Disse tetningene er gunstige for statisk innbygning da det ikke vil oppstå lekkasje, så sant leverandørens retningslinjer er fulgt under montering.

Materialet som anvendes i o-ringer varierer, men som regel blir NBR (nitril) eller FPM(viton) brukt. Felles for materialvalget er at det har høy seighet, nesten som en væske med høy viskositet. [20]



Figur 5-10: Prinsippet med en O-ringteting. Ringen er litt større en hullet den skal tette. Det indre trykket i ringen vil dermed alltid være større en det påførte trykket.

Som vist i figur 5-10 vil o-ringen fylle hulrommet i firkanthullet når den blir utsatt for trykk. Den vil da få tilnærmet likt trykk i alle retninger. Trykket som oppstår er dermed stort nok til å hindre lekkasje fordi når trykket utenfra øker, øker også trykket innvendig i o-ringen. Hvis oljen skulle komme helt inn til o-ringen i figur 5-10 vil det økte trykket på o-ringen føre til enda bedre tetning enn det trykket fra materialet rundt vil gi. Tetningstrykket vil dermed alltid være høyere enn trykk utenfra. For o-ringer med liten snortykkelse vil denne ha lettere for å vri seg. [20] For bruksområder med stor bevegelse og vibrasjoner i belastningene burde man derfor bruke størst mulig snortykkelse slik at tetningen blir mer stabil. Den runde formen til o-ringen er gjør at den har god evne til å gå tilbake til sin originale form etter påkjenning. Denne egenskapen gjør det godt egnet til tetning. For trykk inntil 160 bar vil det være aktuelt med, for Otto Olsens o-ringer, med hardhet på 70 Shore A. Denne har temperatur fra -30°C til 100°C for mineralolje. [20]

6 Teknologistatus

I denne delen av oppgaven vil det bli samlet en litteraturstudie og undersøke hvor standarden er i dag på en typiske strømningsdeler, samt se litt på hva som er gjort tidligere både fra oppgaver på NMBU og teknologisk status i markedet.

Basert på funn her vil dette bli tatt videre til tidligvurdering av løsninger og konseptgenerering.

6.1 Tidligere arbeid

I dette kapitlet blir det sett på hva som er skrevet fra NMBU sine studenter, og man setter dette inn i et system, der det blir gjort opp en mening om hva om mangler i de ulike oppgavene, samt ser på muligheten for egen løsning. I kapittel 6.2 vil det komme en gjennomgang av enkelte eksisterende løsninger som vil danne grunnlaget for videre konseptgenerering.

6.1.1 Masteroppgaver (30 stp.)

Fra NMBUs side er det skrevet kun en masteroppgave som omhandler sandwichkonstruksjon av et ventilhus i aluminium. Oppgaven er skrevet av Morten Kløvstad i 1999 og har tittel: *"Konstruksjon og designløsninger for komplekse hydraulikkventiler i aluminium"*, [9] og kan lånes på hovedbiblioteket til NMBU i tårnbygningen.

Oppgaven tar for seg muligheten til å dele opp en ventilblokk for høytrykkshydraulikk i to eller flere deler og lage ulike moduler ut av dette, samt at sammenføyningsmetoden er liming og skruing. Konklusjonen til oppgaven er deling i det horisontale planet og da kun i to deler. I tillegg blir det satt på endelokk i stål. [9]

I oppgaven til Kløvstad er det ikke sett på tetting mellom strømningskanaler før limefugen. Det er heller ikke gjort dynamiske simuleringer slik at man kan si noe om belastning over tid.

6.1.2 Prosjektoppgaver (7,5 stp.)

Når det gjelder oppgaver som ikke er masteroppgaver, men semesteroppgaver har jeg funnet to stykker. En av de er en direkte videreutvikling av oppgaven til Kløvstad fra 1999. Semesteroppgaven er skrevet av Per Resaland med tittel *"Styrkeberegninger for volumstrømdeler i aluminium"*. Oppgaven tar for seg beregninger for en volumstrømdeler i aluminium som er delt inn i sandwichmoduler i to blokker. Det er gjort beregninger på sprengtrykk og operasjonstrykk men ikke dynamiske bevegelser. I denne oppgaven har trykketninger blitt tatt med, og det er gjort deformasjonsanalyser i grunnmaterialet slik at man vet at disse forblir tette ved oppgitt belastning. [14]

Den andre oppgaven, som for øvrig også er en videreføring av oppgaven til Kløvstad, er Jon Einar Holums. Her har studenten gjort en enkel løsning ved at selve blokken aldri ble delt opp, men boret for de hull som skulle være med i konstruksjonen. De eneste delene som kan nærme seg sandwichkonstruksjon endte med å være to endelokk som fungerte som tetting for olje ved sleideboringene. Formålet med oppgaven var å lage en variant som var lettere en stål, og som tålte trykket til oljen i Kløvstads oppgave. I tabell 6-1 følger en oversikt over oppgavene med fokusområde og potensiale.

Tabell 6-1: Oversikt over tidligere oppgaver skrevet ved NMBU, med fokusområde og potensiale.

Oppgave	Fokusområde	Potensiale
Kløvstad (1999)	-Delt i horisontal retning, to deler + endelukk. -Kraftpåvirkning av limet. -Beregnet til å tåle 735 bar i sprengtrykk med Al-7108. -Fresing av kanalspor	-Alt av dynamiske analyser, slik som flowsimulering og krefter som virker ved strømming. -Kan deles på flere andre måter, og dermed gi mange flere modulariseringer. -Tetting mellom olje og limfuge.
Resaland (2002)	-Styrkeberegning i Al-7108. -Deformasjon i forhold til orringer. -Freste kanalspor. -Delt i vertikalplanet, to deler.	-Tetting av hull for ventiler, av type ermetokobling. -Flere snitt og flere moduler. -Dynamiske simuleringer.
Holum (2001)	-Boring av stor blokk i aluminium -Beregning av trykkpåkjenninger.	-stort potensiale for deling. -Begrenset og enkel, muligheter for å gå i dybden.

Ved å se igjennom katalogen til Rexroth, finnes heller ingen med sandwichkonstruksjon, og lite av typen som er utgangspunkt. [16] Dermed ser er potensiale for en variant i aluminium og delt i sandwich godt.

6.2 Kommersielle løsninger

Bosch Rexroth har en eksisterende løsning for en strømningsdeler som blir brukt som utgangspunkt for min konstruksjon. Utgangspunktet er for øvrig den samme som Kløvstad brukte i sin oppgave fra 1999. I dette kapitlet vil det bli sett på hvordan denne er satt sammen med oversikt over dimensjoner, samt et hydraulisk skjema for denne. Når denne er lagt frem vil det bli gjort en vurdering derfra og vist et potensiale i en variant laget av aluminium.

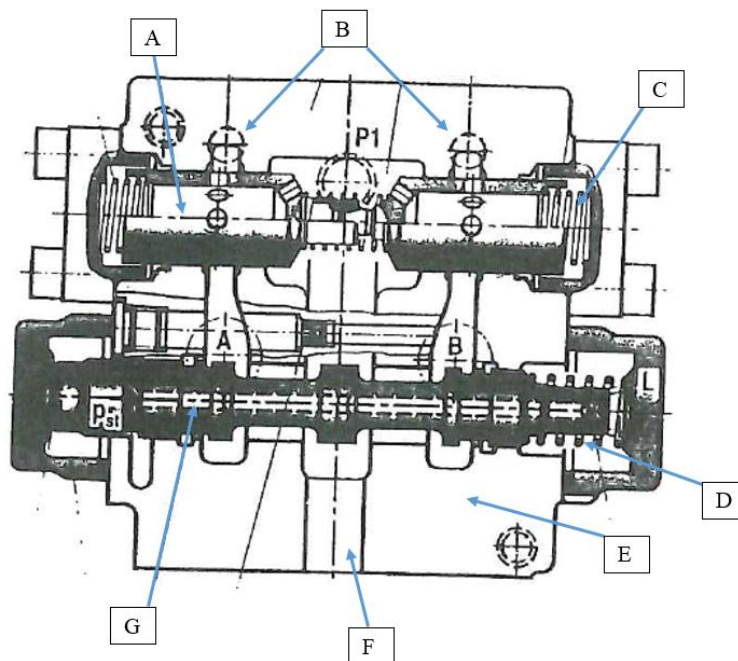
Utgangspunkt:

Det som tidligere var Mannesmann Rexroth, nå Bosch Rexroth har en volumstrømdeler med produktbeskrivelse MH2FAHR22DA4X/HA10V111 er mitt utgangspunkt når det gjelder koblingsskjema og funksjon. Denne varianten er en lukket konstruksjon i støpestål og er boret fra utsiden for innvendige oljekanaler. Den er ikke mulig å splitte, men basert på tegning fra en hovedoppgaveoppgave fra NLH av Thor-Erik Varsla kan man få tegnet den slik at det indre systemet blir tilnærmet identisk. [15] Ytre mål på Rexroth-modellen er 155*108*149mm og den veier ca. 16 kg. Operasjonstrykket er på 420 bar og maks volumstrøm er 220 l/min.



Figur 6-1: Viser volumstrømdeleren til Mannesmann Rexroth i støpestål, der alle hull er boret. Foto: Simen Hemstad

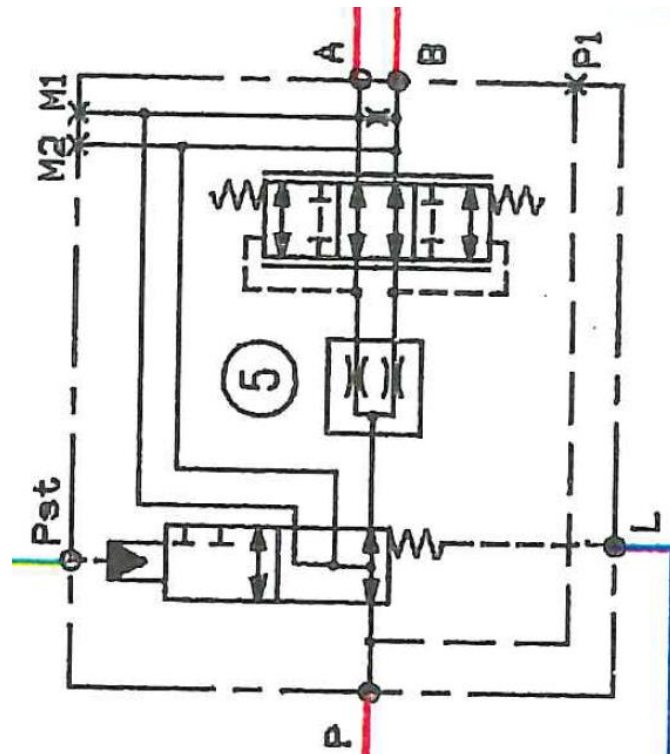
I figur 6-1 ser man volumstrømdeleren MH2FAHR22DA4X/HA10V111 fra Mannesmann Rexroth. På bildet vil oljen komme inn i porten P i fremkant av blokken og bli delt rett etter ankomst av en delesleide. Videre i bakkant på siden av blokken sitter det også en sikkerhetsleide som sørger for at trykkeskjellen mellom delsleidekammeret og de to ut-portene på toppen av blokken er lik null. Ved forskjellig trykk, vil kontrollsliden slå ut og regulere slik at det innvendige trykket i blokken er i balanse. Dette medfører lik volumstrøm ut på venstre og høyre side.



Figur 6-2: Oversiktsbilde av Rexroth-modellen. Her er: A; Kontrollslide, B; målepunkt for trykksjokk, C; sentrerende fjær, D; returfjær, E; ventilhuset, F; inngående volumstrømport P, G; delesleide. A og B midt inne i figuren er utgående volumstrømport. Figur omarbeidet fra [15].

Figur 6-2 viser volumstrømdelerens tverrsnitt der olje kommer inn ved F. Delesleiden fordeler olje, og avhengig om sperren P_{st} ikke er aktiv vil oljen fordele seg jevnt utover. Kontrollsliden A, holder orden på trykkregnskapet og justerer ved uregelmessigheter. Lekkoljen fra L går ut til tank.

For å si litt om hvordan denne vil se ut i et koblingsskjema kan man i figur 6-3 se dette. Her er alle komponenter med og bildet er hentet fra koblingsskjema til en komplett hydraulisk differensial. [15] Her hjelper volumstrømdeleren til med fordeling av hastighet på hjul, samt at man kan få differensialsperre ved å bruke P_{st} porten.

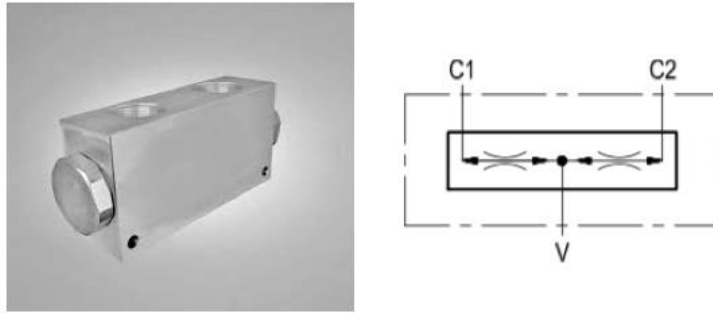


Figur 6-3: Koblingsskjema for volumstrømdeleren til Rexroth. Figur er omarbeidet fra [15]

Av koblingsskjema i figur 6-3 går grønn ledning fra P_{st} til kontrollmodul for sperring av differensial. L går tilbake til tank, mens A og B går videre i systemet. 5 er bare nummerert fra skjemaets side og har ikke noe med figuren å gjøre.

Flowdivider, aluminium:

Det finnes allerede volumstrømdelere i aluminium. Disse blir brukt i mindre anlegg der trykk og volumstrøm ikke er for stor. Som man ser av figur 6-4, at denne er støpt i konstruksjonen og de er boret. Ser man på koblingsskjemaet til modellen i figur 6-4, er dette veldig enkelt. Her sitter det en sleide som fordeler volumstrømmen mellom port C1 og C2, mens oljen kommer inn i port V. Denne er passiv og uten mulighet til sperre slik den omtalt i figur 6-2. Maks volumstrøm her er 95 l/min og maksimalt trykker 210 bar. Dermed er denne vesentlig mindre og beregnet for mindre trykk en vår variant. [23]



Figur 6-4: Viser en enkel passiv strømningsdeler i aluminium og dens koblingsskjema. Produsent er Bosch Rexroth. [23]

6.3 Tidligvurdering av løsninger

Her kommer en vurdering av de ulike løsningene som jeg tar utgangspunkt ifra. Faktorer fra litteraturstudien, og de ulike funn samt mitt utgangspunkt fra Mannesmann Rexroth vil til slutt ende opp i et prioritert forslag til endring eller løsning på konstruksjonen.

Oppgavene som er skrevet for NMBU:

- Tetting rundt liming med o-ringer er ikke gjort på en tilfredsstillende måte.
- Det er ikke gjort dynamiske analyser med FEM- verktøy.
- Man kan se på ermeto-koblinger for festet til sleidehull.
- Blokken er blitt delt i to deler, det kan deles på flere måter.

Volumstrømdeler i aluminium:

- Finner ingen som er laget i sandwichkonstruksjon.
- Finnes noe i modulbasert, men ikke i kombinasjon med sandwich.
- Muligheter for liming av aluminium.

Ved å ta med seg punktene over og vurdere disse sammen vil man få en guide mot hva man skal oppnå videre i prosessen. Punktene blir tatt med videre og tatt med i vurderingene for potensiale til ny løsninger.

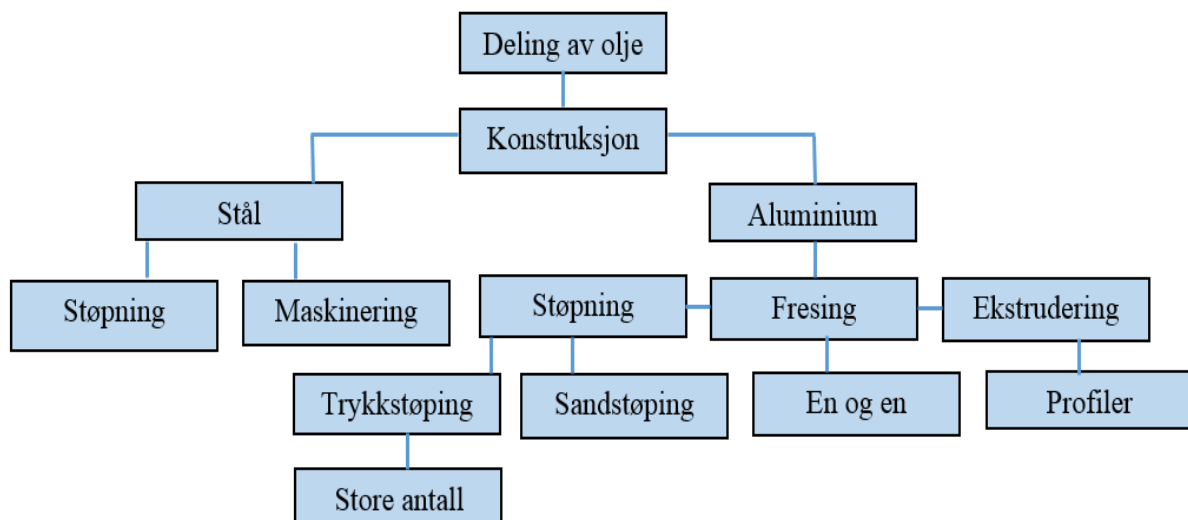
7 Konseptgenerering

En sandwichkonstruert strømningsdeler vil fylle bruksområder blant annet innenfor mobilhydraulikk og bør ha egenskaper som enkel produksjonsmetode eksempelvis støpning, stansing eller ekstrudering. Ved å dele opp konstruksjonene oppnår man flere fordeler.

- **Lav vekt:** Enkeltdele og totalvekt er betydelig mindre med bruk av aluminium i stedet for stål.
- **Billigere frakt:** Med lavere vekt blir fraktkostnadene også betydelig mindre. I tillegg gjør modulbasert konstruksjon at man kan bytte ut enkelte moduler heller enn hele konstruksjonen. Dermed mindre volum i fraktøyemed.
- **Service:** Med lav vekt er det også gunstig for servicepersonell som skal utføre service og vedlikehold. Enklere å håndtere 1/3 av vekten til stål. Enklere ved skift av komponent da disse er mindre og håndterlige.
- **Symmetri:** Ved bruk av symmetri i konstruksjonen vil muligens produksjonskostnadene bli noe lavere da man slipper verktøy for hver del som skal støpes.

7.1 Funksjonsanalyse

I denne sammenheng blir funksjonsanalysen litt bundet fordi funksjonen av volumstrømdeleren er bestemt på forhånd. Den skal dele oljestrømmen den blir matet med. Det som ikke er bestemt er hva den skal lages av og hvordan. Blokkdiagrammet under illustrerer hvordan man kan tenke når man går frem.



Figur 7-1: Blokkdiagram som viser veien for mulige valg av produksjonsmetode ved deling av ventilhuset.

Ved å velge trykkstøpning får man produsert de antall man ønsker og det går fint i forhold til potensiell hardhet i materialet. Man vet at det må høyfast aluminium til og store antall.

8 Produktspesifisering

Det finnes mange ulike måter å gjøre inndelingen av ventilhuset slik at man får forskjellige funksjoner og måter å sette de sammen på. Ved å dele disse inn i alternativer og sette de opp mot hverandre får man kombinasjoner av funksjon og design. Før konkretisering av produktet kommer først en oversikt over metriske grensespesifikasjoner, og deretter litt grovere anslag av metriske spesifikasjoner. Det velges, og man har et anslag hvor man skal ligge størrelsesmessig.

8.1 Metriske grensespesifikasjoner

Med utgangspunkt i eksisterende løsning i støpestål fra Rexroth, vil det bli satt hensiktsmessige maks og min verdier for størrelse på ny løsning.

Tabell 8-1: Oversikt over minimum, optimalt og maksimum mål av volumstrømdeleren. Valgte verdier er merket grønn.

Komponent	Min (mm)	Optimalt (mm)	Maks (mm)
Ytre mål bredde	200	235	270
Ytre mål dybde	150	180	220
Ytre mål høyde	80	95	120
Lenge delesleide	160	175	190
Diameter delesleide	23	25	27
Lengde kontrollsluide	140	147	155
Diameter kontrollsluide	28	32	35

Målene er valgt basert på at det skal være plass inne i hver modul til de funksjonene man ønsker. Maks verdi er den verdien som anses å være størst fysisk størrelse. Det er heller ikke noe poeng å lage noe som er mye større enn det som finnes i dag. Der med blir målene litt større en optimalt tabellverdi. Grovspeifisering følger av neste tabell.

Tabell 8-2: Oversikt maksimum og minimums mål for modellen. Diameter på sleidene vil være faste da de som finnes fra før blir brukt.

Komponent	Min (mm)	Maks (mm)
Ytre mål bredde	245	255
Ytre mål dybde	215	225
Ytre mål høyde	190	210
Lengde delesleide	175	180
Diameter delesleide	25	25
Lengde kontrollsluide	145	155
Diameter	32	32

Tallene snevres nå inn for å komme nærmere optimale verdier for størrelse. Det blir ikke spesifisert mer nå før produktet er klart til målsetting.

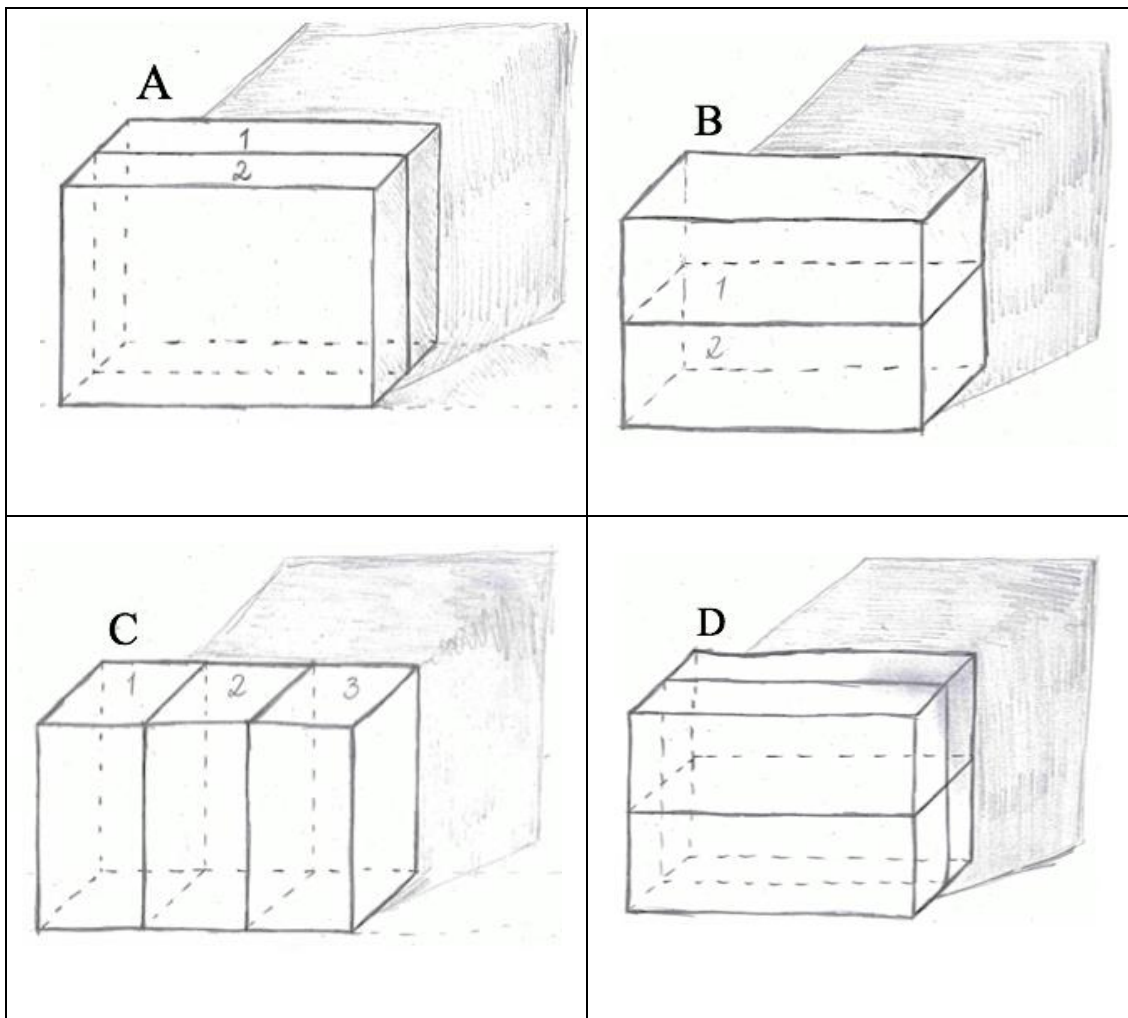
8.2 Utvendig design

Dette kapittelet omhandler først på den utvendige delen av konstruksjonen med plassering av skruer, ventiler, samt vurdering av ulike tilkoblingsvarianter og generelt de ytre designet av ventilhuset. Deretter vil det indre av konstruksjonene bli omhandlet. Forlag til o-ringer og spor til disse, samt plassering av bolter vil bli foreslått.

8.2.1 Blokkdeling

Tabell 8-3 viser figurer med alternativer til inndeling av ventilhuset. Basert på hva som er inne i ventilhuset og hvilke funksjoner man ønsker i de ulike modulene kan man dele inn forskjellig. Horisontalt, vertikalt eller begge deler. Man ser for seg at alle figurer er sett forfra og det er Rexroth modellen som er utgangspunkt.

Tabell 8-3: Viser ulike alternativer for inndeling av moduler og dermed forskjellige varianter av sandwichkonstruksjonen.



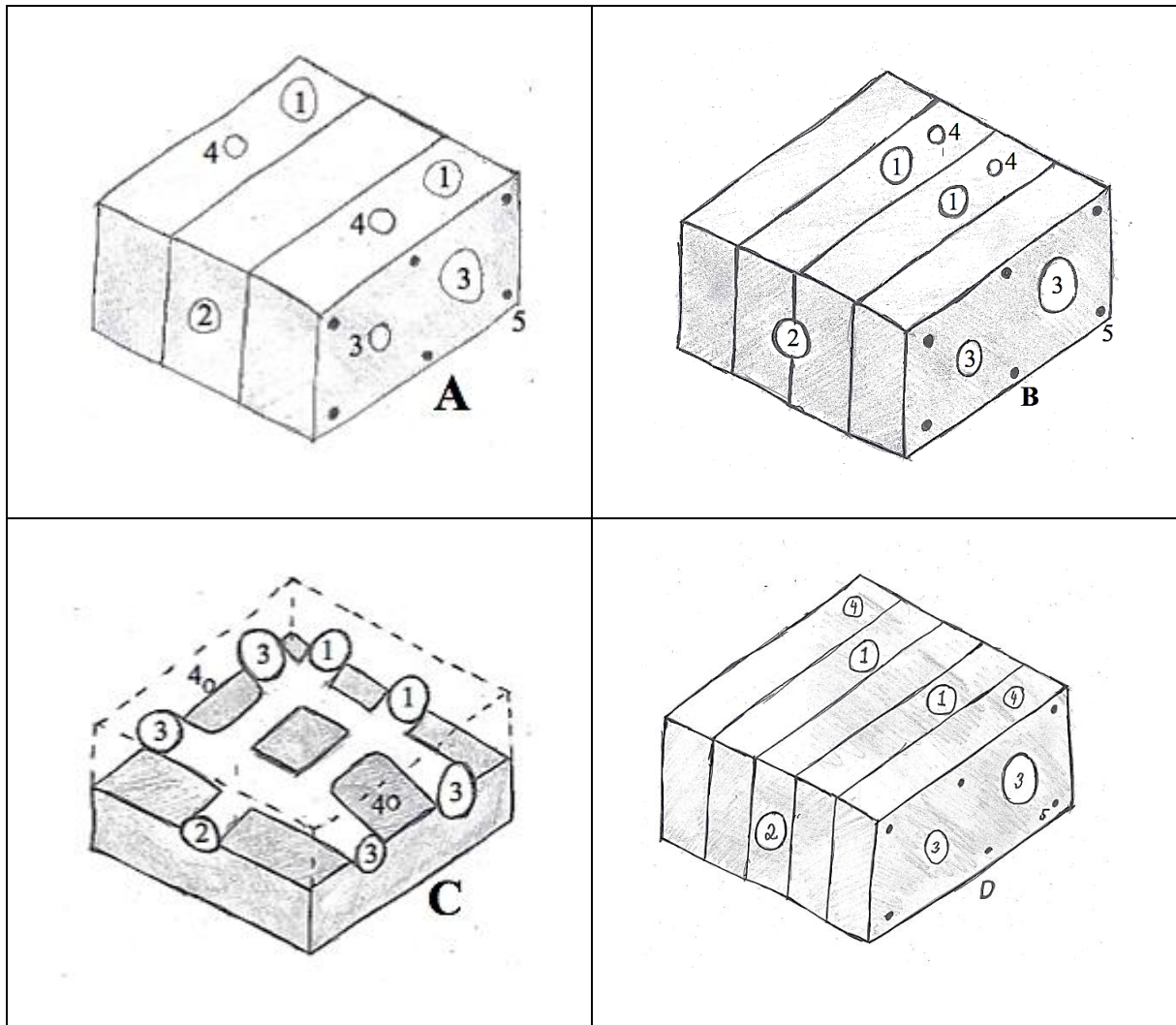
Figur A i tabell 8-3 viser en deling vertikalt, mens B viser en deling horisontalt. C viser tre delinger vertikalt og D en deling horisontalt og en vertikalt. Her kan man kombinere de ulike alternativene, men med tanke på at det skal limes sammen vil det være fornuftig å ha delinger

som ikke gjør at funksjonsalternativene blir unødvendig begrenset. Symmetri gir fordeler i produksjon og det vil være fordel med deling slik at liming ikke kommer i konflikt med tetninger inne i konstruksjonen. Det er en fordel om man unngår skjøter i kanaler innvendig ift. tetninger og liming.

8.2.2 Ventil og hullplassering

Med ulike typer moduler og deling av sandwichen kan man få forskjellige egenskaper etter hvilke kriterier man ønsker å ha med i de enkelte ventilhusene. Ved plassmangel og andre forhold ved montering vil det være gunstig for maskinprodusenten å ha mulighet til å tilpasse modulene for den konkrete situasjonen. Nedenfor kommer noen eksempler på delinger og ventilplasseringer.

Tabell 8-4: Alternativer til plasseringer av hull og ventiler, i forhold til delingsalternativer.



I tabell 8-4 ser man følgende:

A: Viser et vertikaldelt ventilhus i tre deler. Portene for utgående volumstrøm sitter på de ytre elementene, mens inngående volumstrøm sitter i midtre element. Her unngår man deling i skjøter, men kanskje litt lite plass for alle funksjoner innvendig.

B: Også vertikaldelt, men her i fire deler. Utgående volumstrøm sitter på de to midtre elementer, mens inngående sitter i midtposisjon i front. God plass til funksjoner innvendig, men kan være problematisk med skjøt midt mellom to moduler.

C: Viser et horisontaldelt ventilhus. Her sitter utgående porter i bakkant av modellen, mens inngående er i front. Ventiler for kavitasjon og trykksjokk sitter på siden. Denne løsningen er den samme som Kløvstad brukte. Problemet her er veldig stort areal for trykket til å utøve kraft på delingen og dermed stor sjans for lekkasje og sprekk i lim.

D: Vertikal delt slik som B, men med en deling til, slik at det blir totalt fem delinger. Med denne varianten unngår man konfliktene i B men skjøt midt i kanalen, og man får mer separate moduler.

For alle figurene i tabell 8-4 gjelder nummerering:

- 1: Volumstrøm ut.
- 2: Volumstrøm inn.
- 3: Hull for delesleide og kontrollsluide.
- 4: Hull til ventiler av type kavitasjon eller trykksjokk.
- 5: Bolter

8.2.3 Vekting og valg av løsning

For å finne hvilken variant av delingen man skal gå videre med, blir egenskaper som er viktig for funksjon og egnethet i produksjon, samt montering, satt i system og vektlagt i forhold til hverandre. For tabell 8-3 der figuren ikke har fått noen egenskaper enda, velges helt enkelt figur C til å være den varianten av deling man går videre med. Det betyr ikke at det blir valgt tre delinger, men vertikaldelt og flere enn to deler er bestemt. Dette medfører at figur C i tabell 8-4 automatisk faller litt igjennom, men den blir tatt med i vektingen av resterende løsning for å få bedre perspektiv av vurdering.

I vektingen er det lagt vekt på følgende kriterier:

- **Kraft** fra trykk inne i konstruksjonen. Man vet at formel (3.7) gir mye kraft ved stort areal.
- **Montering** av delene vil ha betydning for valg. Er det for mange profiler som skal passe sammen er dette noe negativt.
- **Produksjonsenkelhet** er også et kriterium. Foregår produksjonen med få ledd er dette positivt.
- Symmetri og **enkelhet** i sin helhet er også et kriterium.

Vektingssystemet er slik at best karakter er +3, mens dårligst er -3. Ved å veldig bra eller veldig dårlige egenskaper kan dobbelt poengsum gis, for å sette et eksempel om veldig bra eller veldig dårlig løsning. Ved å summere vil det alternativet som får høyest poeng blir valgt med videre i prosessen.

Tabell 8-5: Tabelloversikt for vekting av egenskaper. Figurene omtalt i tabellen er hentet fra tabell 8-4.

	Kriterier for vekting				
Figur	Kraft	Montering	Produksjon	Enkelhet	SUM
A	+3	+2	-2	+2	5
B	-3	-2	+2	+2	-1
C	-6	+3	+1	+2	0
D	+3	+1	+1	0	5

Fra tabell 8-5 ser man at figur D og A i tabell 8-4 kommer best ut. Figur C er gitt poeng -6 for å poengtere hvor utsatt denne er for kraften fra trykket. Alt på grunn av stort areal gjennom røret i konstruksjonen.

Figur D:

Her blir kraften som virker på utsatt areal liten fordi det er kun arealet til sleidehull som er utsatt. Med tanke på montering er denne ikke optimal, men boltene vil gi en del styring. Produksjonen vil bli støpning siden kanalene innvendig er vanskelig å komme til med tanke på maskinering. Enkelheten er hverken eller da den må støpes, men det er allikevel ikke for mange funksjoner i hver modul.

Figur A:

Denne har mange av de samme egenskapene som figur D, men innenfor kriteriet produksjon scorer denne mindre bra da det er mange komponenter på hvor modul. Derfor velges figur D.

8.3 Utvendig design, egenskaper og funksjoner

Deling:

For at inndeling i sandwichmoduler skal bli så riktig som mulig er det viktig å ta hensyn til selve funksjonen inne i ventilhuset. For en produsent kan man dele inn etter ønsket bruksområde, men for denne oppgavens del vil det være fornuftig å dele med utgangspunkt fra tidligere konstruksjoner eller oppgaver. Dermed vil det bli tatt utgangspunkt i Mannesmann Rexroth modellen omtalt i kapittel 6.2. Det vil bli brukt samme sleider og tilnærmet lik utforming innvendig som Mannesmann Rexroth modellen (heretter kalt originalen). Modellen vil bli gjort litt bredere enn originalen slik at man kan legge inn flere funksjoner i de ytre delene. Eksempler på dette kan være oljekjølingskanaler, kjøleriller eller kanaler til oppvarming av ventilhuset for å unngå kald start av et hydraulisk anlegg.

- For enkel tetting med o-ringer, og tidligere argumentasjon for å unngå delingskonflikter vil modellen bli delt i fem deler.

Plassering av hull til ventiler:

Når deling er bestemt kan man se på hvor man ønsker plassering av de ulike ventilene. Her vil det bli laget plass til kavitasjonsventiler og trykksjokkventiler.

- I modellen vil ventilene bli satt i samme sandwichdel som port for utgående volumstrøm.

Dermed kan midtre del være tilgjengelig for kanaler for oljekjøling eller forvarming, samt riller for kjøling.

Slanking av konstruksjonene:

Basert på en trykktest fra Ansys Workbench, vil spenninger i konstruksjonen komme frem. Ut i fra dette vil man kunne si noe om det er mulig å slanke konstruksjonen for å spare materialer. De områdene som viser seg blå i resultatplottet er områder med veldig lave spenninger, mens der det rødt er det høye spenninger. Teoretisk sett kan man fjerne områder som er blå, men det kommer an på hvilke metoder for festing man har for blokken. Man må velge med omhu hvor man fjerner materiale.

Plassering av boltehull:

Plassering av bolter for å holde konstruksjonene samlet vil være intuitivt da de ikke skal komme i konflikt med indre forhold i modellen eller ytre fester, ventiler mm. Belastningen på boltene vil være aksielt, slik at det ikke vil være fare for utrivning i grunnmaterialet. Man bør derimot ta høyde for flyt i grunnmaterialet og gjøre beregninger rundt bolthodet, slik av man unngår problematikk med myk aluminium mot harde bolthoder som er strekkbelastet. Må sørge for å ha stort nok areal på bolthodet eller ved bruk av skive, slik at man slipper at hodet graver seg ned i aluminiumen.

Valg av bolter:

Dette valget vil være basert på dimensjonering med utgangspunkt i en tiltenkt trykkbelastning i konstruksjonene. Hvor mye må boltene, sammen med limet, holde igjen med for å holde konstruksjonene samlet.

Tilleggsfunksjoner i moduler:

Man kan legge til riller for kjøling utvendig, indre kanaler til forvarming eller egne fester som oppfyller spesielle krav fra oppdragsgiver. Her står man fritt til å velge tilleggsfunksjon basert på hvor maskinen skal brukes, eller i hvilket miljø. Det vil ikke bli gjort spesifikke vurdering på dette området, da hovedfokus vil være deling og dimensjonering av lim og bolter.

8.4 Innvendig design, egenskaper og funksjoner

Profilvalg oljekanaler:

Innvendig profil av oljekanal vil være av standard utforming fra boring og støpning av konstruksjonen. Det bør være avrunding rundt hjørnene slik at tapet ikke blir for stort her. [1]

O-ringer:

O-ringer, slik omtalt i kapitlet om teori, vil bli bestilt fra Otto Olsen, i forhold til trykk og deformasjon. O-ring må tåle belastning det er tiltenkt. Oljekjemikalier mv.

Limefuge:

Skal tåle hele belastningen. Vil bli limt slik at limefuge ikke kommer i konflikt med o-ringer og bolter, men samtidig ha tilstrekkelig stort spenningsareal for limet.

9 Legerings og materialvalg

Styrke, produksjonsmetode, reaksjoner med andre materialer, deriblant olje. Valg av legering er viktig i disse sammenhengene, da type legering har stor betydning for produksjonsmetoder, styrkeegenskaper osv.

9.1 Aluminium

Ser man på hvilke grunnstoffer som er mest representert i naturen kommer aluminium på en tredje plass, med sine 8% av jordskorpen. Aluminium er ikke et rent stoff man kan grave ut av jorden, men det kan utvinnes fra Bauxitt ved hjelp av en prosess som kalles Bayer prosessen. Etterspørselen etter aluminium er hvert år på ca. 29 millioner tonn. [26]

9.1.1 Legering

Ubearbeidet aluminium har alle de egenskapene det er kjent for. Duktilitet, korrosjonsbestandig, og høy elektrisk ledningsevne er noen av de. Styrke derimot er ikke aluminiums mest kjente egenskap ut fra sin originale form. Det er fordi det må mikses med andre metaller for å oppnå høyere styrke. Dette kalles legeringer. Ved å blande inn materialer som kopper, sink, magnesium mv. kan man designe de egenskapene man ønsker for aluminiumslegeringen. [26]

Et system er utarbeidet for å klassifisere legeringene etter hvilke legeringsmateriale som er brukt. Det er laget slik at de med lavest serienummer er de mykeste. Eksempler:

- 1000 – serien som mer 99% ren aluminium. Denne har de klassiske egenskapene som elektrisk ledningsevne og god varmeledningsevne, men den har lav fasthet og er vanskelig å maskinere fordi den er myk. [2]

Går man høyere opp i serie, for eksempel 3,4 og 5000- seriene øker generelt de egenskapene 1000 serien har. Kommer man opp til 6000- serien får man også varmeherdbare materialer.

- Både 6000 og 7000 serien er varmeherdbare og man får stor fasthet, gode sveiseegenskaper og generelt god formbarhet. [2]

I tillegg har disse seriene mulighet til varmeutherding. T4, T5 og T6 er de aktuelle variantene.

- T6; Innherdet ved pressen og blir varmeutherdet og kunstig aldret.

Tabell 9-1: Nøkkeldata for Aluminium 7075 T6 [27].


Aluminium 7075 T6	
Flytegrense R_{eH}	503 MPa
Bruddgrense R_m	572 MPa
Hardhet HV	175

9.2 O-ringer

Ved valg av materiale i o-ringene som skal hindre oljelekkasje ut til limfugen, er det 4 (3) forhold som må være klare.

Driftstemperatur, trykk og hvilken oljetype som skal tettes for er viktige faktorer når man skal velge materiale. Den fjerde viktige faktoren er periferihastigheten til væsken, men o-ringene i vårt system er ikke i kontakt med direkte med strømmende væske. Som nevnt i kapittel 5.7 er Nitril (NBR) et vanlig materiale å bruke i tetninger.

Tabell 9-2: Oversikt over hvilke forhold o-ringene gjelder for og hvilke temperaturstadier den tåler.

Trykk	Hardhet	90 Shore A NBR (nitril)	
0-160 Bar	70 Shore A		Temperatur
Over 160 Bar	90 Shore A	Nedre temperatur	-30
		Øvre temperatur	
		Mineralolje	+ 100
		Vann	+ 80
		Luft	+ 90

[20][28]

Som vist i tabell 9-2 vil man ende opp med en o-ring som tåler mer en 160 bar og må derfor velge 90 Shore A fra Otto Olsen AS.

9.3 Lim

Ved valg av lim må man ved siden av strekkfastheten til limet, også ta hensyn til selve prosessen av limingen. Herdetid, elastisitetsmodul til limet, og tykkelse av limfugen har mye å si for resultat. I tillegg er det viktig å ha et lim som tåler de arbeidstemperaturene i som opptrer i både materialet og miljøet rundt. Om man skal bruke to-komponent eller en-komponentslim er også en faktor å ta hensyn til. [30]

Loctite EA 9497 er et lim som egner seg godt til liming av aluminium. Dette er et 2-komponent epoxy lim som har en strekkfasthet på inntil 15 MPa på børstet aluminium. Det vil si oksidbelegget er fjernet før liming. Ved herding innenfor gitte temperaturer har dette limet reststyrke på opptil 90% ved 80°C. {3} Her er det viktig å fjerne oksidbelegg før liming og rengjøre limearealet grundig. Da man har stort trykk inne i konstruksjonen må man være sikker på at limet tåler den antatte belastningen. Limet som er foreslått er basert på datablad i {3} og bør testes i forsøk før man anbefaler dette videre i en serieproduksjon.

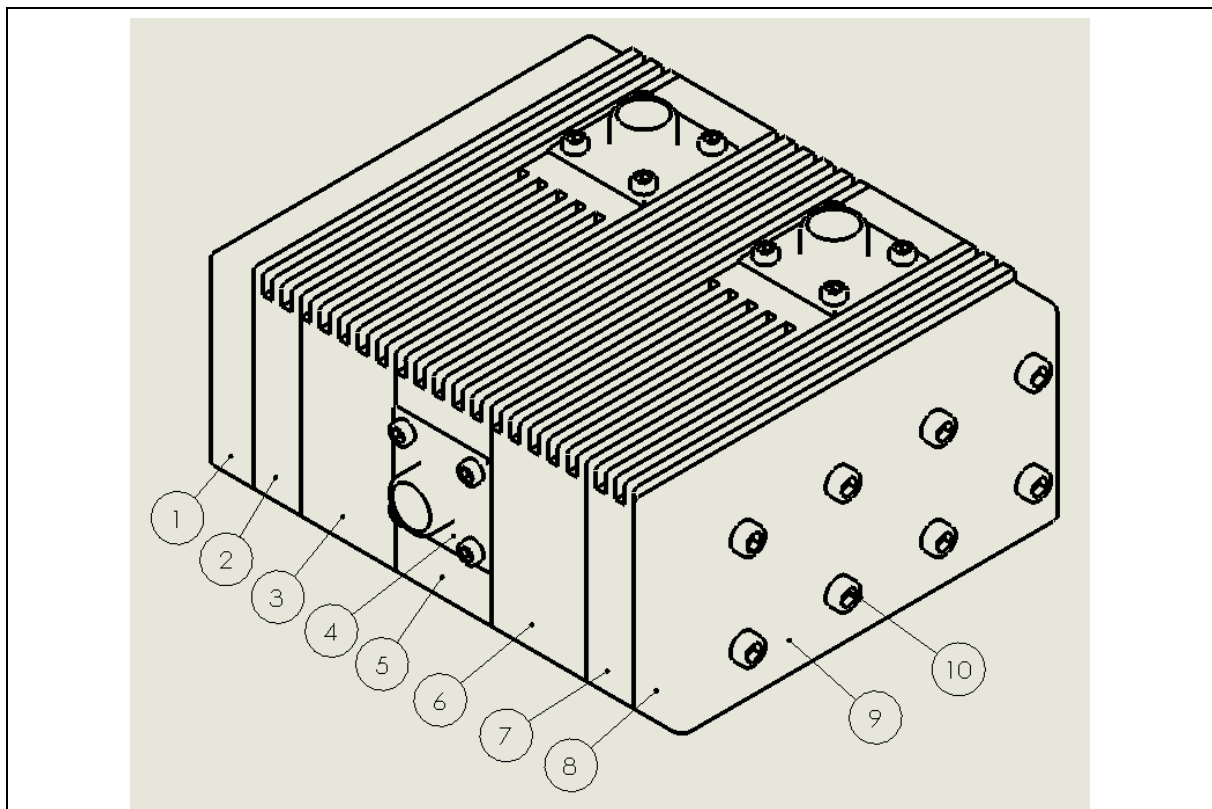
10 Konseptmodellering

Dassault Systems Solid Works er et mye brukt 3D-tegningsprogram til bruk i industri og produktutvikling, og det er dette programmet som er blitt brukt for å fremstille modellen etter skisser for hånd til ferdige konseptuelle tegninger.

10.1 Helhetsløsning

Den helhetlige presentasjonen vil først komme som en sort hvit fremstilling med nummererte deler slik at man får oversikt. Deretter vil det bli presentert hele konseptet i 3D sett fra alle kanter.

Tabell 10-1: Viser oversikt over helhetsløsning med nummering og moduler.

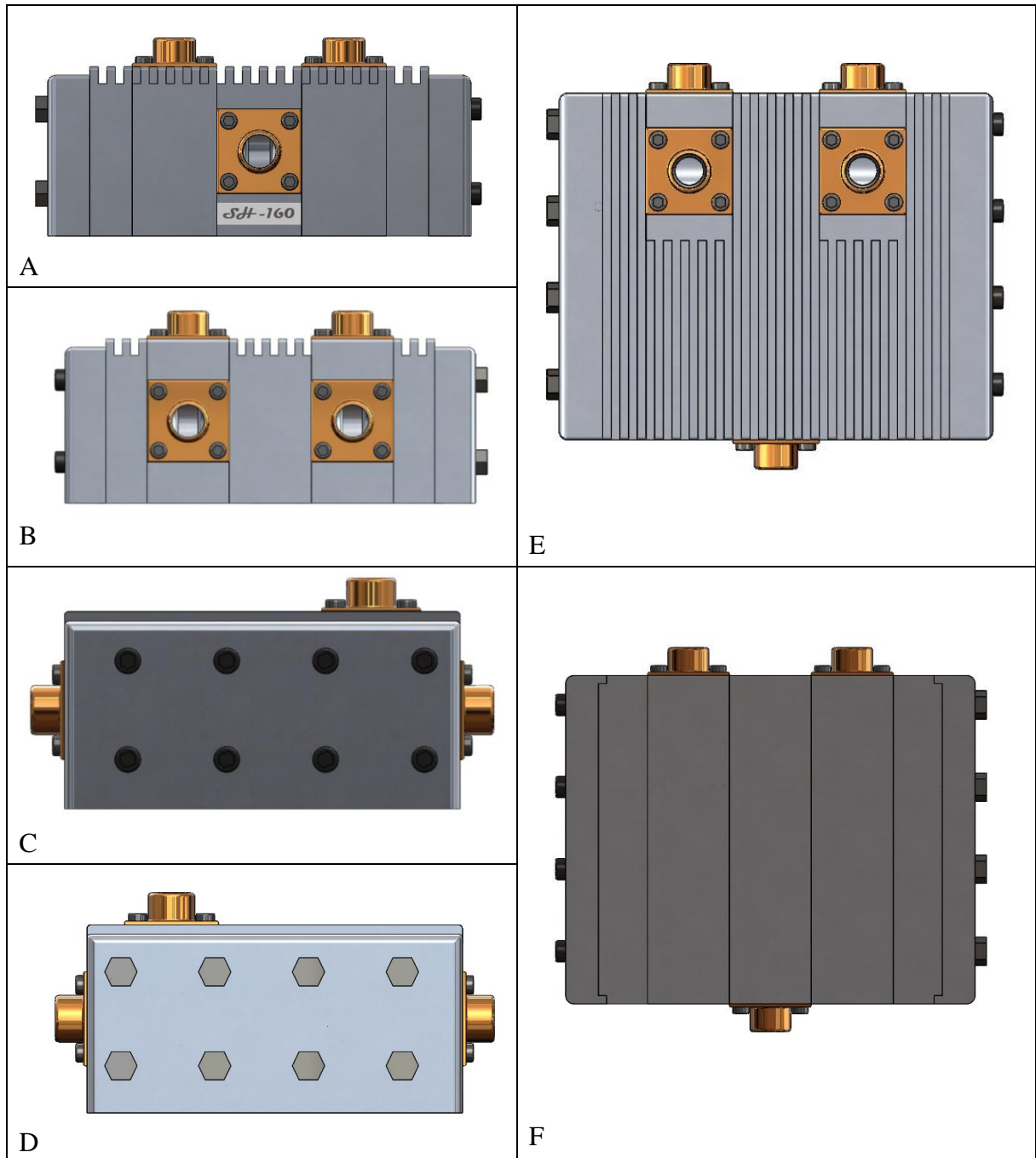


Nr.	Navn	Stk.
1	Venstre deksel med mutter til skrue i bakkant	1
2	Venstre endedel	1
3	Venstre strømningskanal med kavitasjonsventilutløp	1
4	Festeanordning slange inn	5
5	Midtdel med innløp volumstrøm	1
6	Høyre strømningskanal med kavitasjonsventilutløp	1
7	Høyre endedel	1
8	Høyre deksel	1
10	Bolter	8

10.1.1 3D fremstilling

Helhetsfremstilling i farger og sett fra alle sider.

Tabell 10-2: Viser hele konstruksjonen sett fra alle sider. Hver figur er adressert med bokstaver. Se forklaring i tekst.

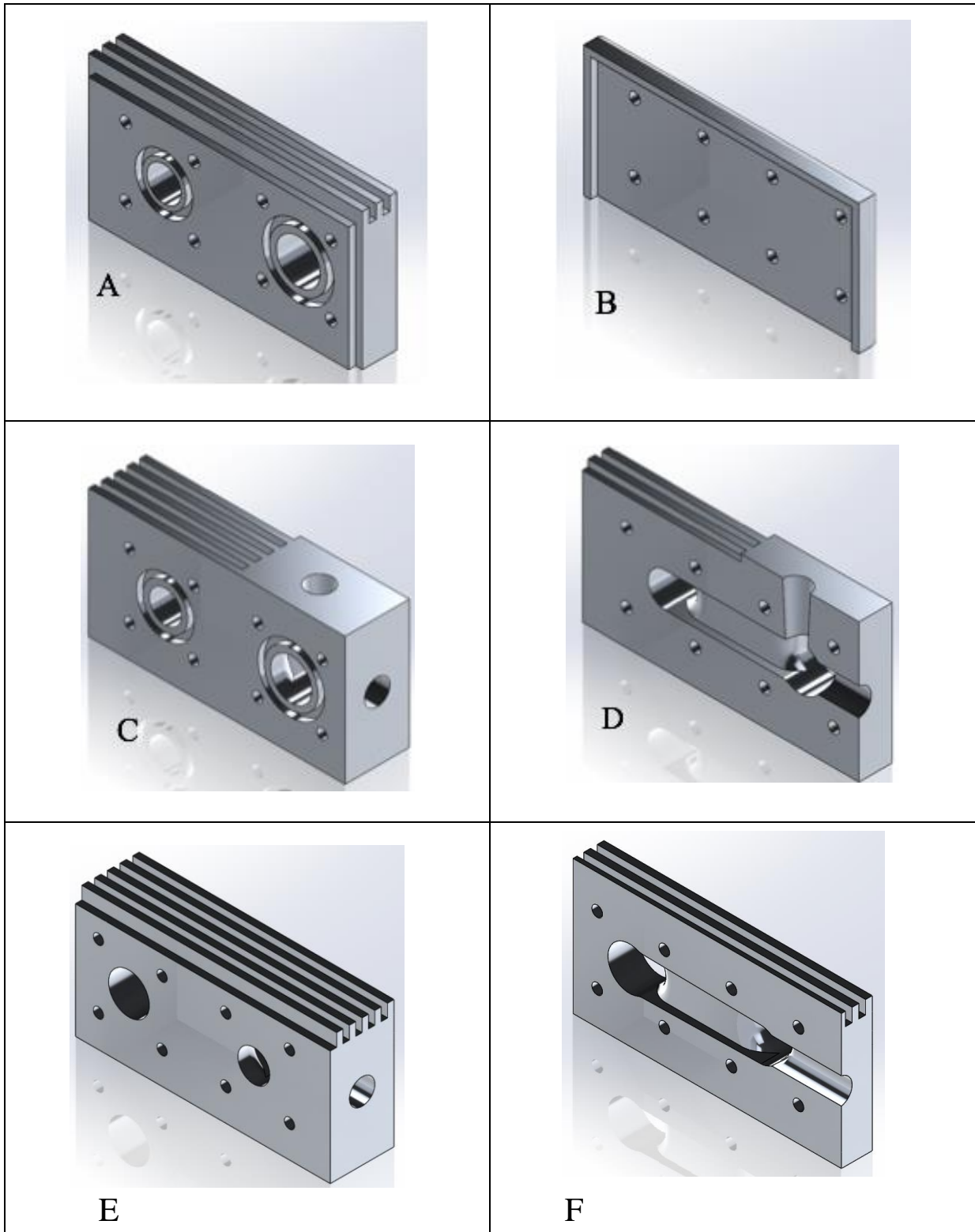


Tabell 10-2 er inndelt i figurer. Her er figur A sett forfra, B bakfra, C fra høyre, D fra venstre og E og F er henholdsvis sett ovenfra og fra undersiden. Forenklinger er bli gjort i forhold til ermetotilslutningene vist i tabell 10-2. Disse vil bli kjøpt inn som tilkoblingsmekanisme og er derfor ikke med videre for fremvisning i detaljform.

10.2 Hovedelementer

I dette kapitlet kommer en oversikt over hovedelementene i konstruksjonen. De ulike delen fra kapittel 10.1 er nå skilt fra hverandre slik at man ser de mer detaljert.

Tabell 10-3: Viser de ulike inndelingene i konstruksjonene.

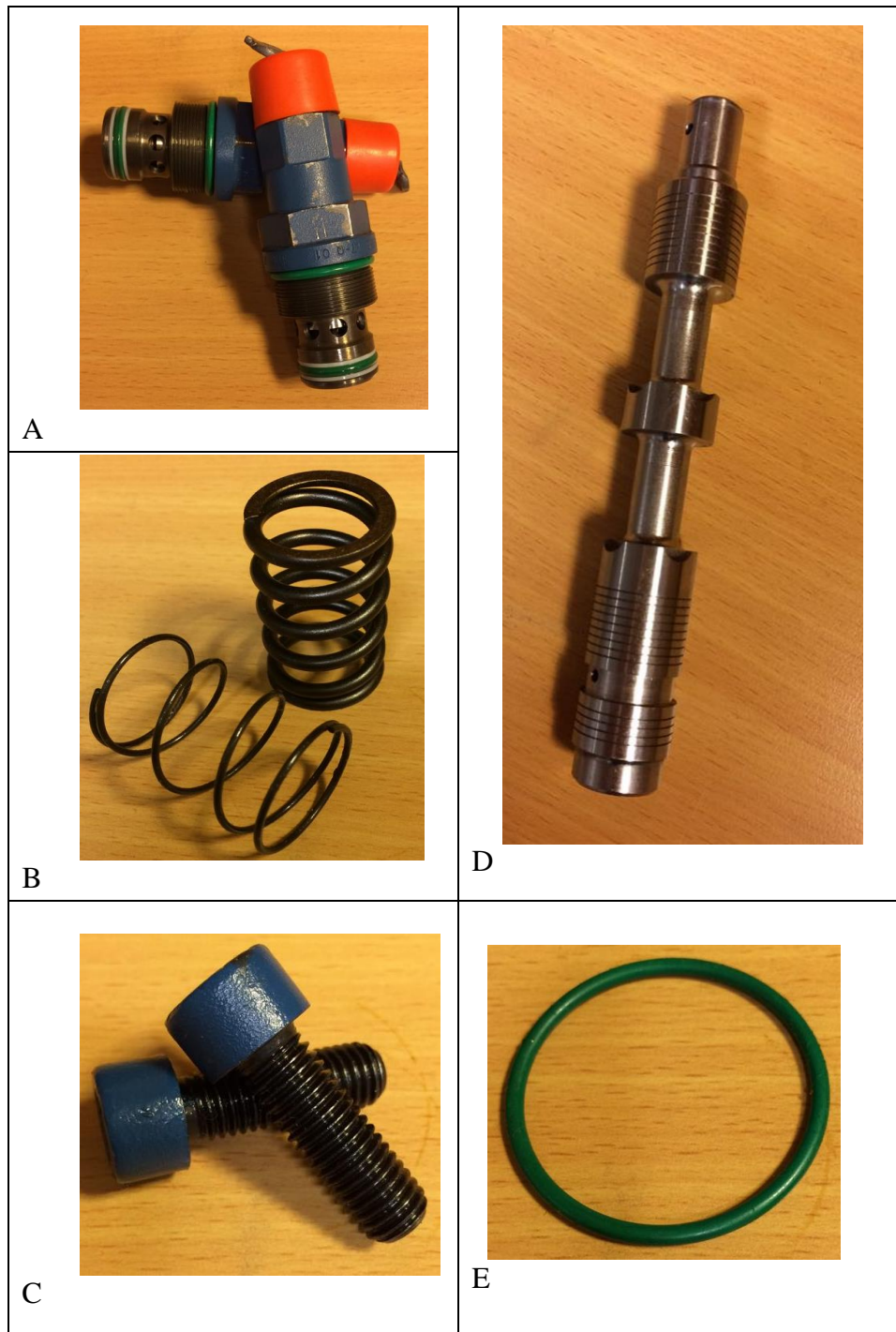


For tabell 10-3 gjelder følgende:

- Figur A: To stykker, speilvendt.
- Figur B: Deksel, skal være to stykker, men disse er identiske skal kun speilvendes.
- Figur C: To stykker, identiske.
- Figur E: En stykk.

En del komponenter som skal kjøpes inn. Disse vises i tabell 10-4.

Tabell 10-4: Oversikt over de ulike komponentene som må kjøpes inn.



Figurene i tabell 10-4 er representert alfabetisk og er komponenter som skal kjøpes inn. Disse er som følger:

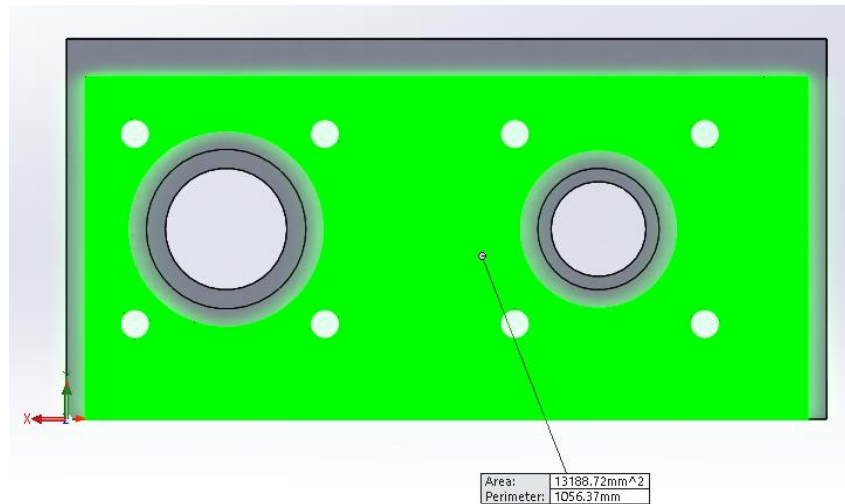
- Figur A: Kavitasjons – og trykksjokksventiler.
- Figur B: Sentreringsfjærer til kontrollsløide returfjær til delesløide.
- Figur C: Bolter til gjennomgående styring, og festing av ermetotilkoblingen.
- Figur D: Delesløide for deling av volumstrømmen.
- Figur E: O-ringer for tetting mellom moduler og ved dekslet.

11 Beregninger og FEM-optimering

I dette kapittelet kommer håndberegninger som omhandler spenning i arealet limet skal ta opp, bøyespenning i deksel, deformasjon i deksel og dimensjonering av bolter.

11.1 Grunnlagsberegninger

I denne delen vil alle nødvendige beregninger blir gjort. Kraften forårsaket av statisk trykk blir beregnet, og derfra vil det også bli gjort beregning av spenningen limfugen skal tåle. Det vil også bli gjort en enkel dimensjonering av boltene, gitt at de skal ta opp alle krefter fra trykket. Arealet som brukes i beregningene kommer fra tegninger i Solid Works. Se figur 11.1-1.



Figur 11-1: Arealberegning av indre flate på lokk fra figur B i tabell 10.1-1. Limarealet er trukket fra diameter til hull, samt areal til o-ring og skruediameter. Merket med grønt er 13188,72 mm².

Limarealet vil være noe mindre enn det grønne feltet i figur 11-1. Limet vil ikke dekke helt inntil hullet, eller inntil o-ringene. Limarealet estimeres derfor til 12000 mm². Kraften som ligger til grunn for beregningene kommer fra det indre statiske trykket nevnt i innledningen, som er 25-45 MPa. Det blir brukt 45 MPa.

Fra formel (3.7) finner man kraften skruene må tåle, men dette er den samme kraften limet må stå imot. På samme måte er dette grunnlaget for spenninger i deksel og deformasjonen i konstruksjonen. Diameteren som blir brukt i formel(3.7) er opprinnelig hullets diameter. For å ta høyde for at limfugen ikke dekker helt inntil hullet, vil diameteren som brukes for beregning av kraften økes. Hullenes diameter er 32 mm og 25 mm. Disse økes til 42 mm og 35 mm slik at kraften blir mer realistisk. I tillegg er tykkelse til lokket på 20 mm. Materialet brukt i beregninger er aluminium 7075 T6. [27]

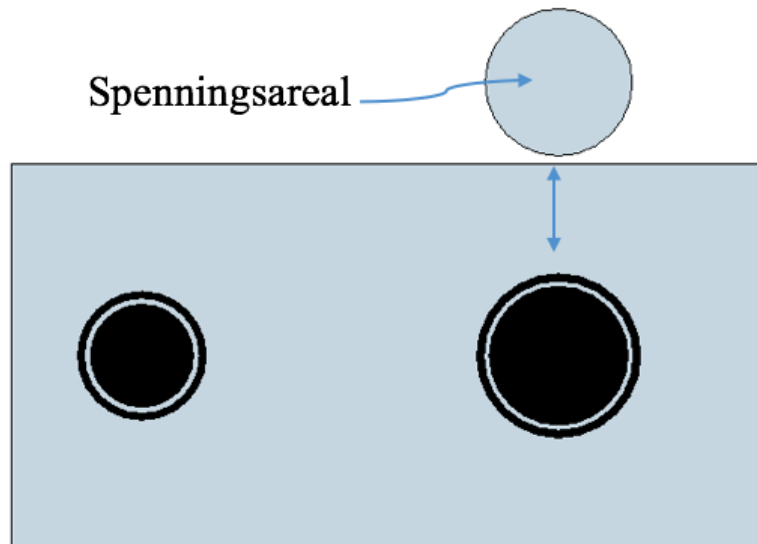
11.1.1 Spenninger i limfuge

Fra formel (3.7) og (3.8) vil spenningen limet må motstå være: **8,8 MPa**

Basert på formel (3.17), blir sikkerhetsfaktoren SF ift. strekkfastheten i limet lik **SF=1,7**.

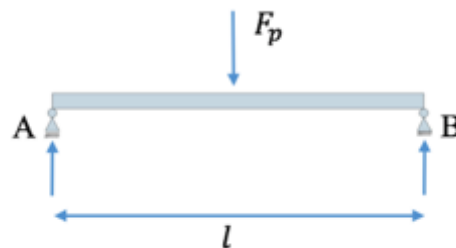
11.1.2 Spenninger i lokk

For å beregne spenningen i materialet forenkles belastningstilfellet til å være en punktlast på midt på et lokket som dekker arealet over hull til kontrollslide og arealet til o-ringen. Ved å se på arealet til sirkelskiven kan man gjøre en konservativ beregning av spenningen i lokket. Se figur 11-2.



Figur 11-2: Viser utsnitt fra dekselet til konstruksjonen. Arealet til lokket som er snittet ut brukes til å beregne.

Ser man på tverrsnittet av lokket kan man se på denne som en bjelke med en punktlast F_p .



Figur 11-3: Viser tverrsnitt av lokket med punktlast på midten. l i dette tilfellet vil være diameter $d = 42\text{mm}$.

Ved å bruke formel (3.18) for bøyespennning innsatt $b = \text{diameter } d$ og $h = \text{tykkelse } t$ i formel (3.19) og (3.20) får vi:

- $\sigma_b = \underline{233,8\text{MPa}}$
- Gitt av formel (3.17) blir $SF = 2,16$

11.1.3 Deformasjon

Ser man på samme lokk som i kapittel 11-2, og bruker samme krefter og mål, får man ved formel (3.20):

- Derformasjon $y = 0,05\text{ mm}$

11.1.4 Skrueregninger

I konstruksjonen skal det sette 8 skruer. Ser kun på fire bolter rundt det største hullet i figur 11-2.

- Basert på formel (3.7) den n er lik 4, blir kraften hver skrue skal tåle: **15586,2 N**.

Ved å velge fasthetsklasse 8.8 for boltene får man flytegrense på 640 MPa. [6] Ved å sette dette som tillatt spenning kan man regne seg frem til et areal skruen må ha.

- Ved formel (3.8) får man **$d = 5,56 \text{ mm}$** .

Velger derfor M8. Fra Vedlegg {1} finner man data for M8 metrisk bolt. Dette brukes i;

- Formel (3.21) og man får en jevnførende spenning pr bolt antatt at $\mu = 0,2$, til å være **451,1 MPa**.
- Brukes formel (3.17) får man en **SF = 1,42**.
- Når det gjelder forspenning av skruen finner man den basert på teori om F_L fra formel(3.7) og får **$F_t = 1,3 * 15586,2 = 20262 \text{ N}$** .

Når det gjelder skruediagrammet for denne konstruksjonene vil det være slik at δ_2 fra formel (3.16) vil være veldig liten. Pakningen vil være helt sammentrykt når skruen er forspent. Det vil da være minimal fjæring i o-ringen.

11.1.5 Flatetrykk i grunnmaterialet

Basert på formel (3.22) kan flatetrykket i grunnmaterialet forårsaket av boltene beregnes. Innsatt nøkkelvidde fra vedlegg {2} samt øvrige data gir:

- **Flatetrykk = 188,9 MPa**.

Fra formel (3.17) blir sikkerhetsfaktoren mot flyt i grunnmaterialet:

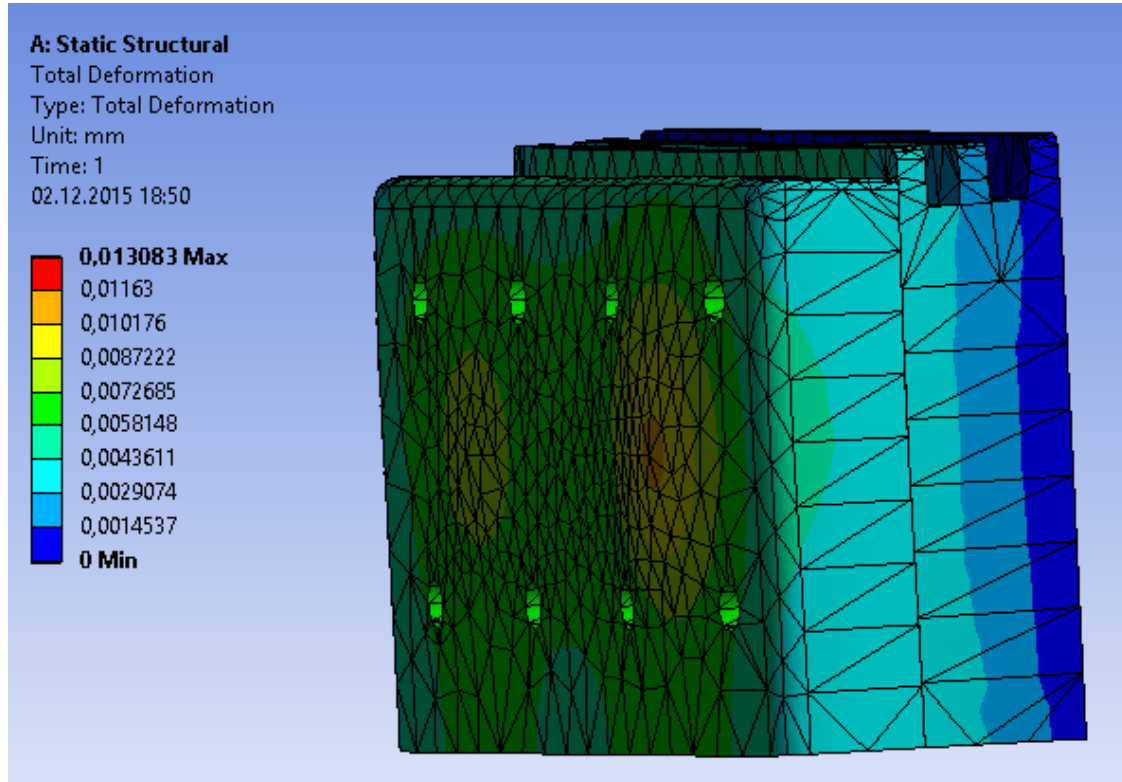
- **SF = 2,6**

11.2 FEM- styrkeanalyser

For å se om det er samsvar mellom beregningene gjøre styrkeanalyser og deformasjonsanalyser med Ansys Workbench. I tillegg er det gjort en simulering av væskeflyten i konstruksjonen. Dette er gjort med Solid Works egen flowsimulation.

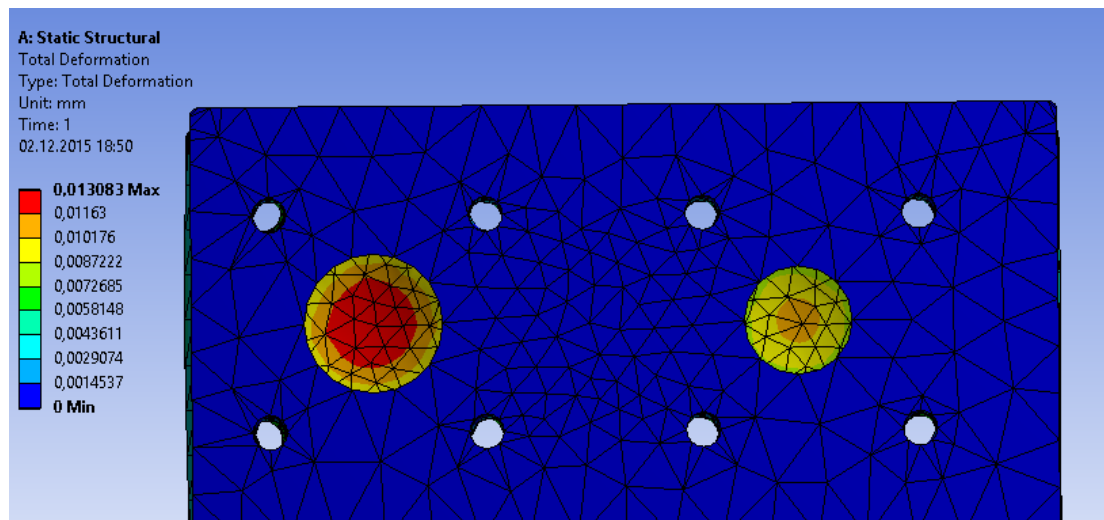
11.2.1 Deformasjonsplot

I Ansys Workbench brukes strukturanalyseverktøyet og tegningen blir importert direkte fra Solid Works. Delen blir fastlåst der limet skal sitte, samt en underlagsstøtte blir lagt på slik at det blir simulert at den står stødig.



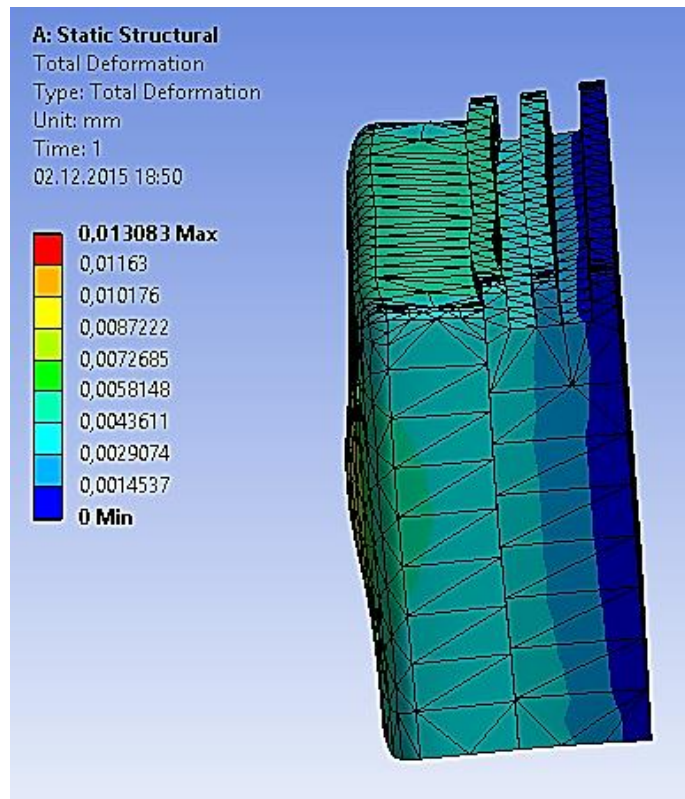
Figur 11-4: Deformasjonsplot av deksel med påsatt trykk. Maks deformasjon er 0,013 mm forårsaket av 45 MPa trykk.

Som vist i figur 11-4 er maks deformasjon i konstruksjonen 0,013 mm. Det er lagt på 45 MPa trykk på innsiden av dekselet og på veggene inne i konstruksjonen.



Figur 11-5: Deformasjonsplottet sett fra innsiden. Størst deformasjon i midten av det største hullet.

Når man ser på innsiden av deformasjonsplottet i figur 11-5 ser man tydelig at det røde området hvor den største deformasjonen opptrer, er midt i det store hullet.

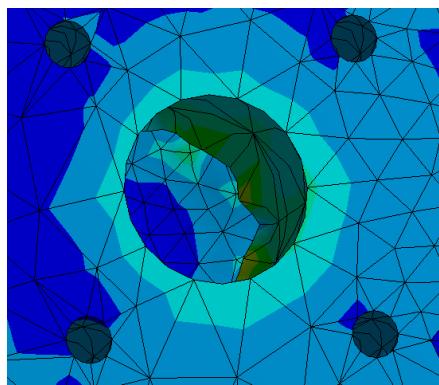


Figur 11-6: Profilvisning av et overdrevet deformasjonsplottet. Maks deformasjon er 0,013 mm.

Det betydelig overdrevne deformasjonsplottet viser hvordan deformasjonen påvirker konstruksjonen i grove trekk. Man ser tydelig buedannelse i kjølerillene på toppen.

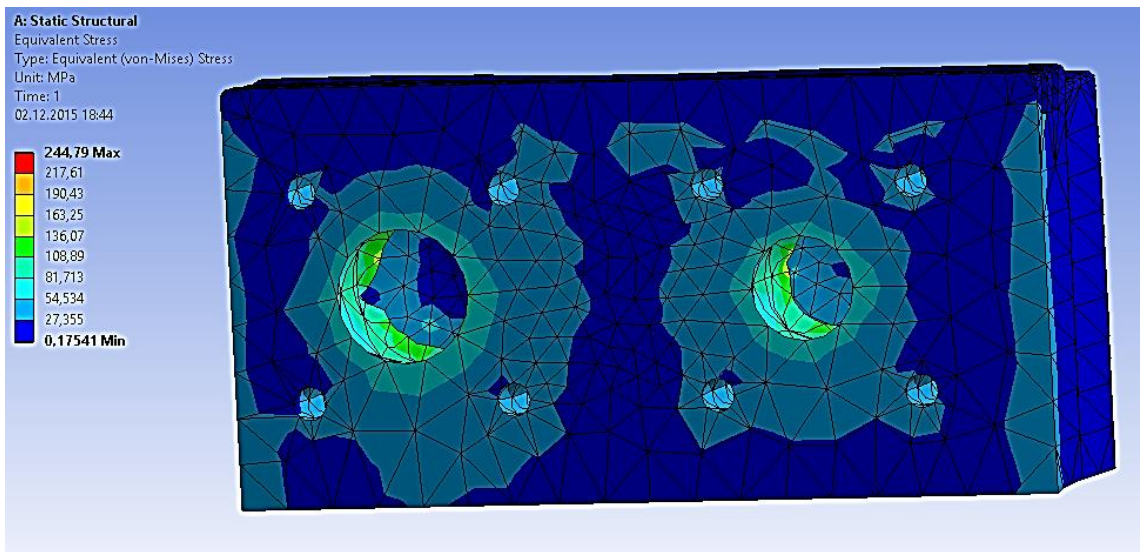
11.3 Spenningsanalyser

For å beregne spenninger med Ansys Workbench brukes samme innstillinger som for deformasjonsplottet, men nå ser man på den jevnførende spenningen utarbeidet fra deviasjonshypotesen. Denne er også kalt von-mises spenningen.



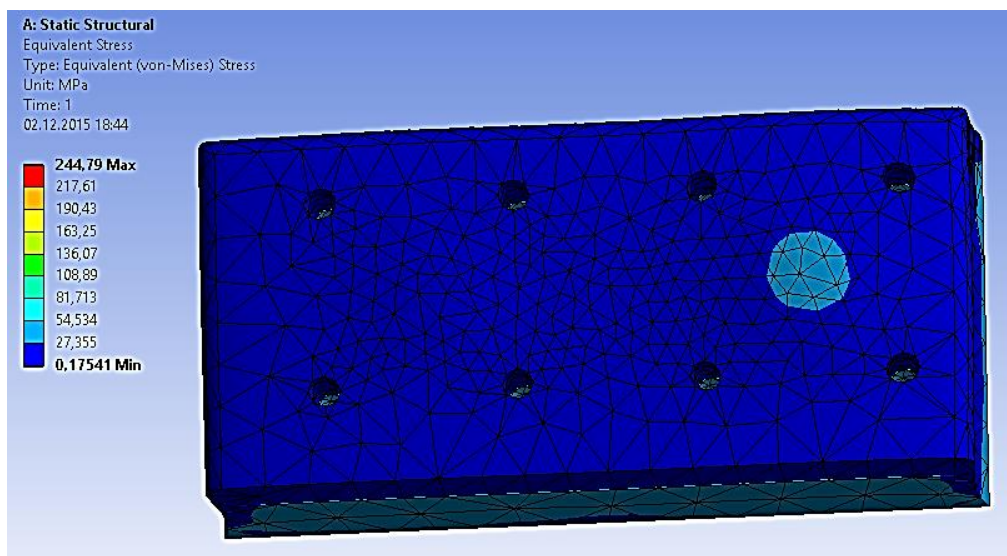
Figur 11-7: Forstørret bilde av den jevnførende spenningen. Maks spenning er 244,8 MPa.

Plottet som vises i figur 11-7 er med standard mesh, som Ansys Workbench legger på automatisk. Man ser tydelig hvor de største spenningene opptrer. Det røde og gule i plottet er det med størst spenning. Blått er lav spenning.



Figur 11-8: Spenningsplottet til konstruksjonen påført 45 MPa trykk fra innsiden. Maks spenning er 244,8 MPa.

Mesh på konstruksjonen er fra standard innstillinger og figur 11-8 viser spenningsplottet fra innsiden av konstruksjonen. Man ser tydelig at størst spenning opptrer innerst i hullet mot lokket, og på lokket. Maks spenning er 244,8 MPa.



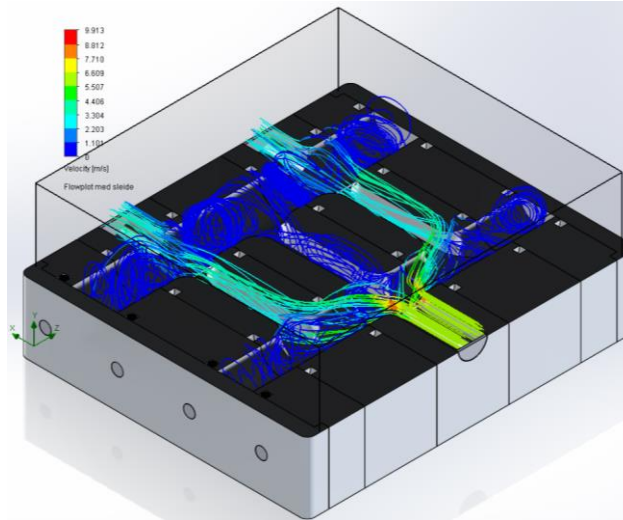
Figur 11-9: Spenningsplottet vist fra utsiden av deksel. Maks spenning 244,8 MPa, men dette opptrer på innsiden av dekselet.

I plottet vist i figur 11-9 er det samme type mesh som i forrige figur, og man ser her at det er moderate spenninger i utsiden av dekselet. Eneste spenning over 100 MPa er i det største hullet til konstruksjonen. Maks spenning er 244,8 MPa.

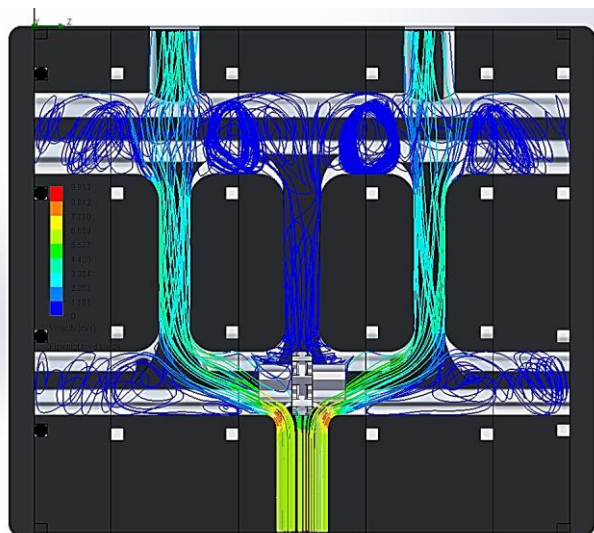
11.4 Strømningsanalyser

Fra simuleringsmetodikk beskrevet tidligere får man disse hastighetsplottene av strømning i konstruksjonen. Simuleringene er gjort med vann, og det er to forskjellige varianter. En med en variant av delesleide og en uten.

Med deling:



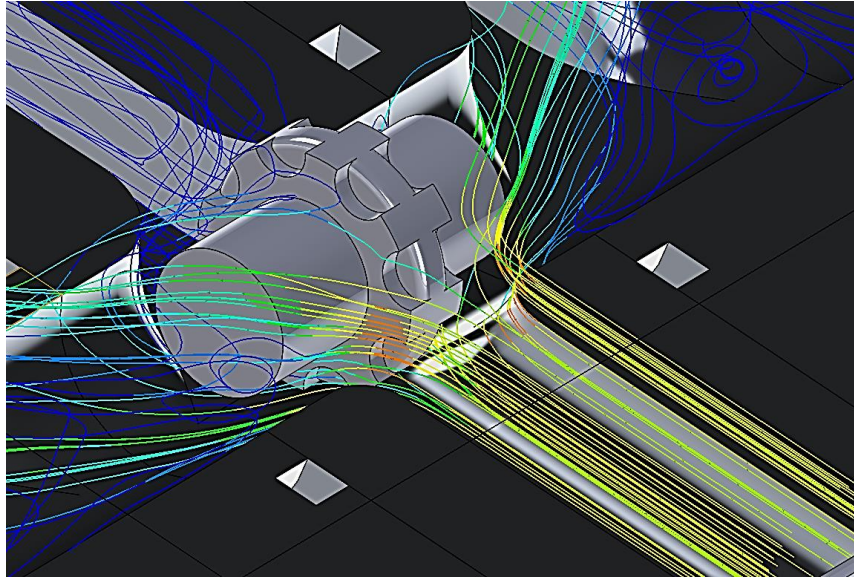
Figur 11-10: Med flowsimuleringsfunksjonen til Solid Works får man dette plottet. Det viser tydelig av delesleiden fungerer som den skal og deler volumstrømmen godt ut i de to sidekanalene. Maks hastighet er 6 m/s.



Figur 11-11: Figuren viser plottet fra figur 11.4-1 sett rett ovenfra. Her ser man mer fordeling av volumstrømmen, og at mengden tydelig samles i den delen av konstruksjonen som skal huse kontrollsliden som regulerer fordelingen mellom portene. Maks strømning her er 6 m/s.

Med delesleide ser man tydelig hvordan volumstrømmen deler seg og fordeles til kammeret bak i konstruksjonen. Det er her kontrollsliden skal sitte. Blå farge er lav hastighet, og rød farge er maks hastighet. Denne er også utgangshastigheten som er 6 m/s. Man ser tydelig at

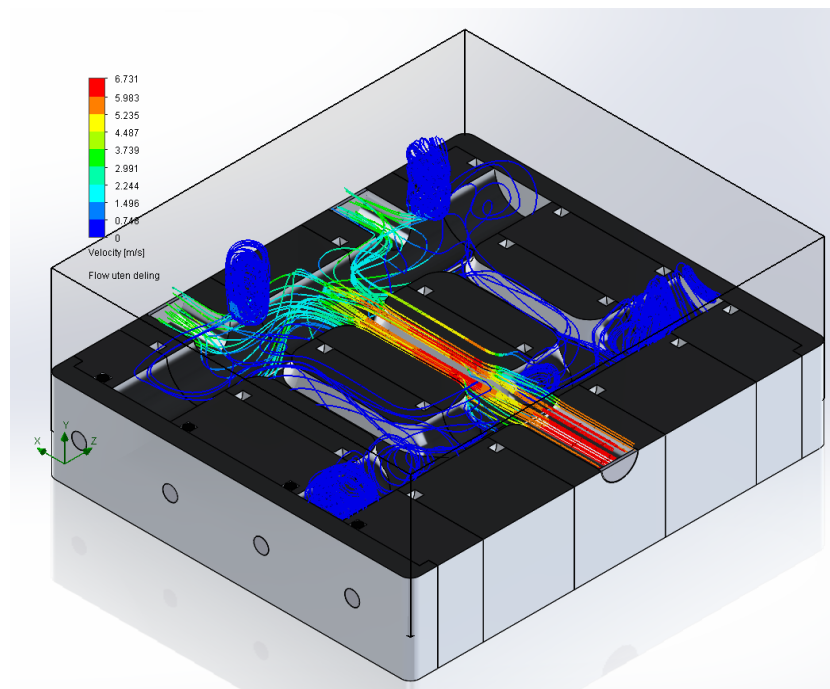
hastigheten på væsken går ned når den kommer til kammeret bak i konstruksjonen. I tillegg sees noe turbulent strømning på høyre og venstre side i forkant, samt store deler av bakre del.



Figur 11-12: Detaljbilde av strømningsdeler. Her ser man at delesleiden deler volumstrømmen.

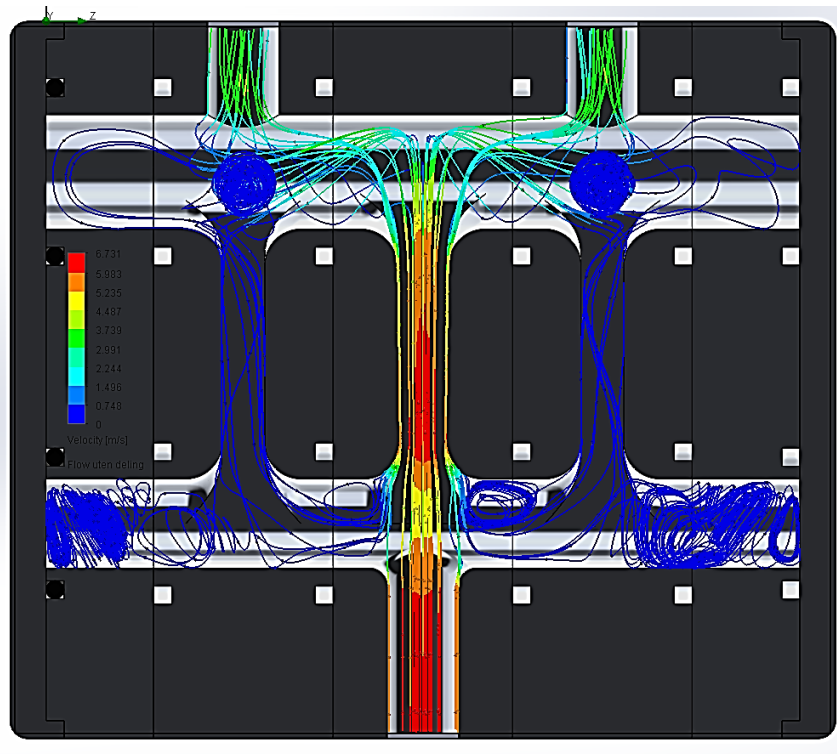
I plottet figur 11-12 viser, ser man hvordan væsken fordeler seg rundt delesleiden og går ut til sidene. Man ser antydning til rød farge på strømningslinjene ved delesleiden. Så fort væsken er passert ser man at hastigheten går noe ned igjen.

Uten deling:



Figur 11-13: Figuren viser plott av volumstrøm uten delesleide. Maks hastighet er 6,7 m/s.

I figuren over ser man hastighetsplottet uten delesleiden. Det går tydelig fra av figur 11-13 at hastigheten er veldig høy og går rett inn til kammeret bak, uten å fordele seg nevneverdig til de to kanalene på siden. Man ser også turbulens opp i kanalen til ventilene som sitter i toppen.



Figur 11-14: Viser oversiktsbilde av hastighetsplott uten delesleide. Maks hastighet er 6,7 m/s.

Utfra figur 11-14 kan man se turbulent strømming og store ansamlinger av væske i fremre del av konstruksjonen. Væsken går først rett til kammeret bak, for der etter å returnere til kammeret i front. Derfra går det frem i kanalene på siden. Hastigheten er klart størst i midten og ut av rørene bak, lav i sidekanaler og fremre kammer. Maks hastighet er 6,7 m/s og minimum hastighet er 0,7 m/s.

11.5 Resultatoversikt

En oversikt over alle resultatene både fra håndberegning og simulering er lagt inn i en tabell under.

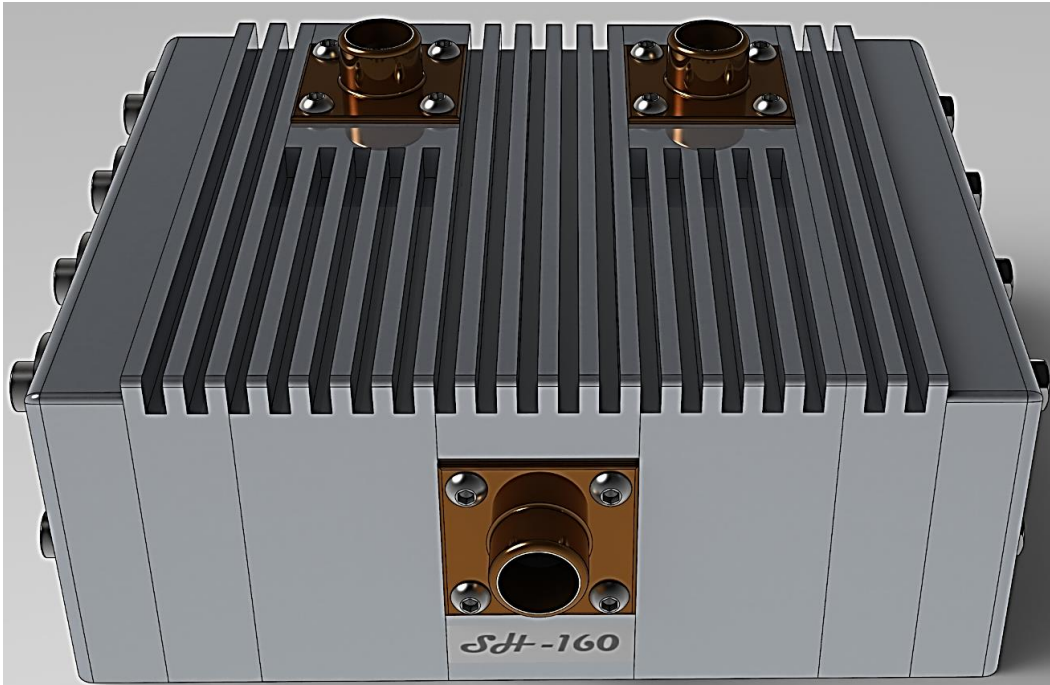
Tabell 11-1: Oversikt over alle resultater fremvist i kapitlene over.

Resultat for:	Håndberegning	Simulering
Spenning lim	8,8 MPa	
Spenning deksel	233,8 MPa	244,8 MPa (vm)
Deformasjon deksel	0,05 mm	0,013 mm
Dimensjonert skruediameter	5,56 mm	-
Spenning i skrue	451,9 MPa	-
SF skrue	1,42	-
Flatetrykk skruehode	188,9 MPa	-

SF flatetrykk	2,6	-
Hastighet væske u/deling	-	6,7 m/s
Hastighet væske m/deling	-	6 m/s

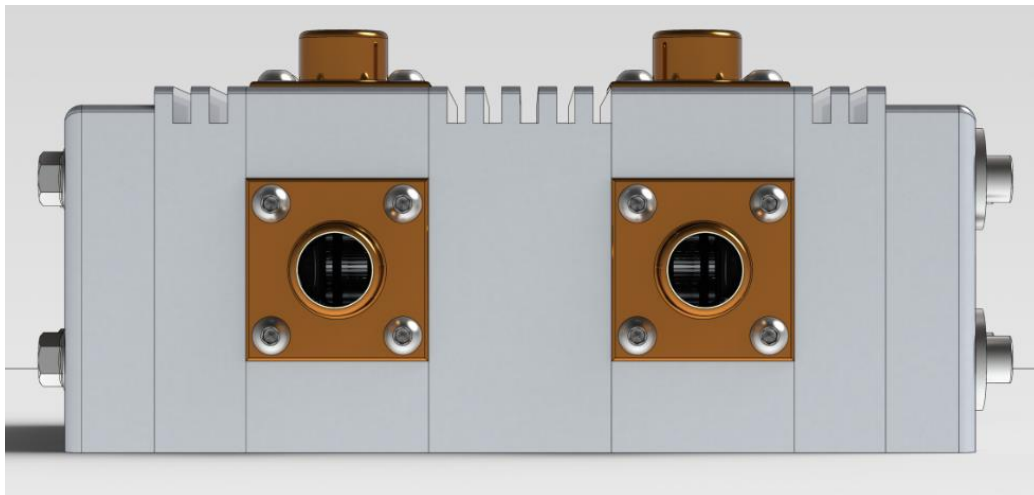
12 Resultatrendrering

Fremstilling av rendrerte bilder av modellen med navn SH-160 vil inneholde bilder av alle sider, samt noen detaljbilder av konstruksjonsmessige finesser. De er laget slik at ved produksjon av et salgsprospekt skal dette kunne brukes.



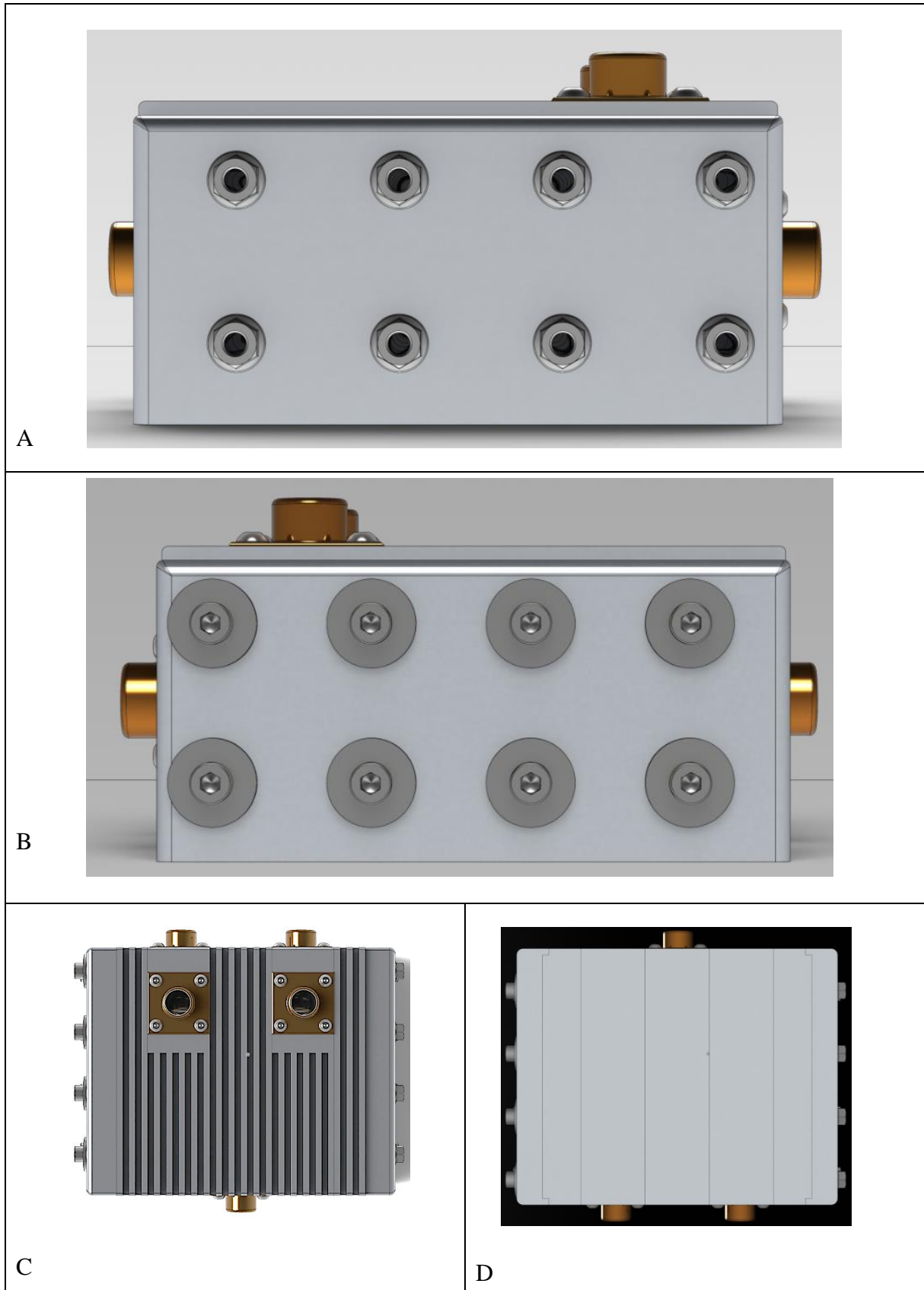
Figur 12-1: Helhetsbilde av volumstrømdeleren SH-160 sett fra front.

I front av figur 12-1 ser man en forenkling av en ermetokobling som er festet med fire skruer. I bakkant av figuren sitter det to like ermetotilkoblinger, og ved å snu 180 grader rundt ser man de koblingen som sitter bak også. Se figur 12-2.



Figur 12-2: Viser SH-160 sett bakfra. Man ser antydning til boltrekken på sidene, samt den gylne ermetovarianten.

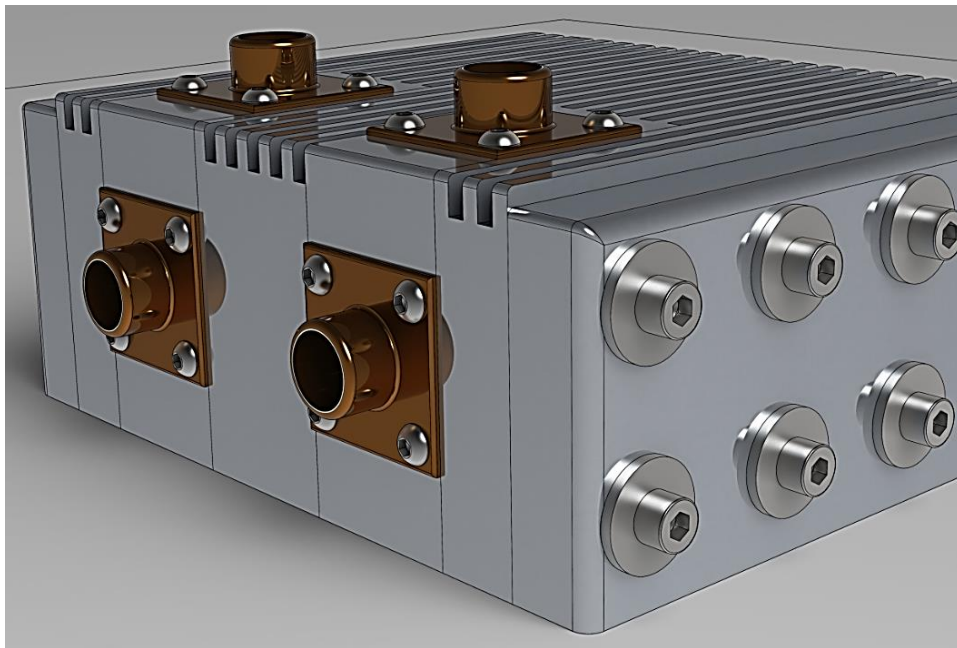
Tabell 12-1: Viser SH-160 fra alle sider bortsett fra fremside og bakside. Forklaring av figurene kommer i teksten.



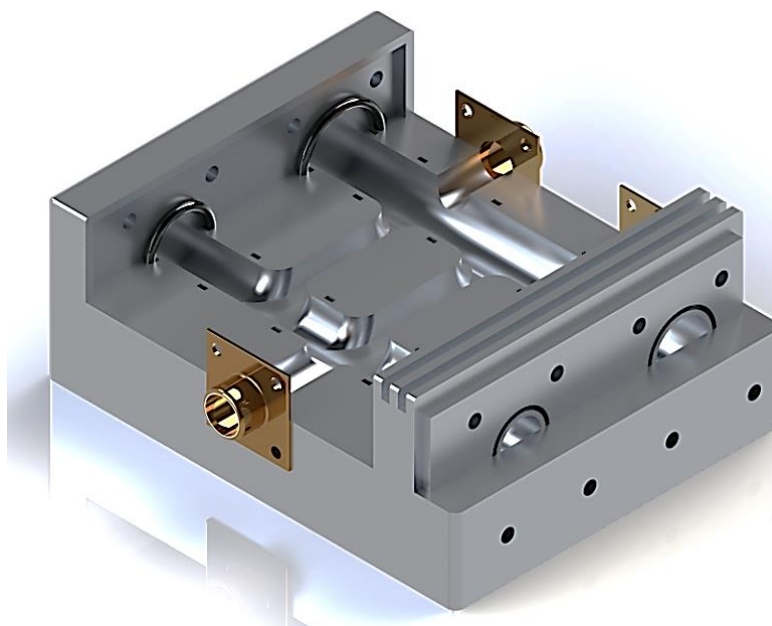
I tabell 12-1 ser man figurene A-D av SH-160 med utgangspunkt sett forfra. Her er:

- A: Høyre side, med mutter for gjennomgående bolter.
- B: Venstre side, med unbrakbolter og skiver.
- C: Sett ovenfra med fronten av SH-160 i bunnen av figuren. Her vises også festepunkt for kavitasjonsventiler og kjølerillene i konstruksjonen.
- D: Sett fra undersiden, med fronten av SH-160 i toppen av figuren.

Tabell 12-2: Viser detaljbilder av SH-160 sett fra forskjellige sider. Det er fjernet en del komponenter i figur B for å vise innsiden av konstruksjonen.



A

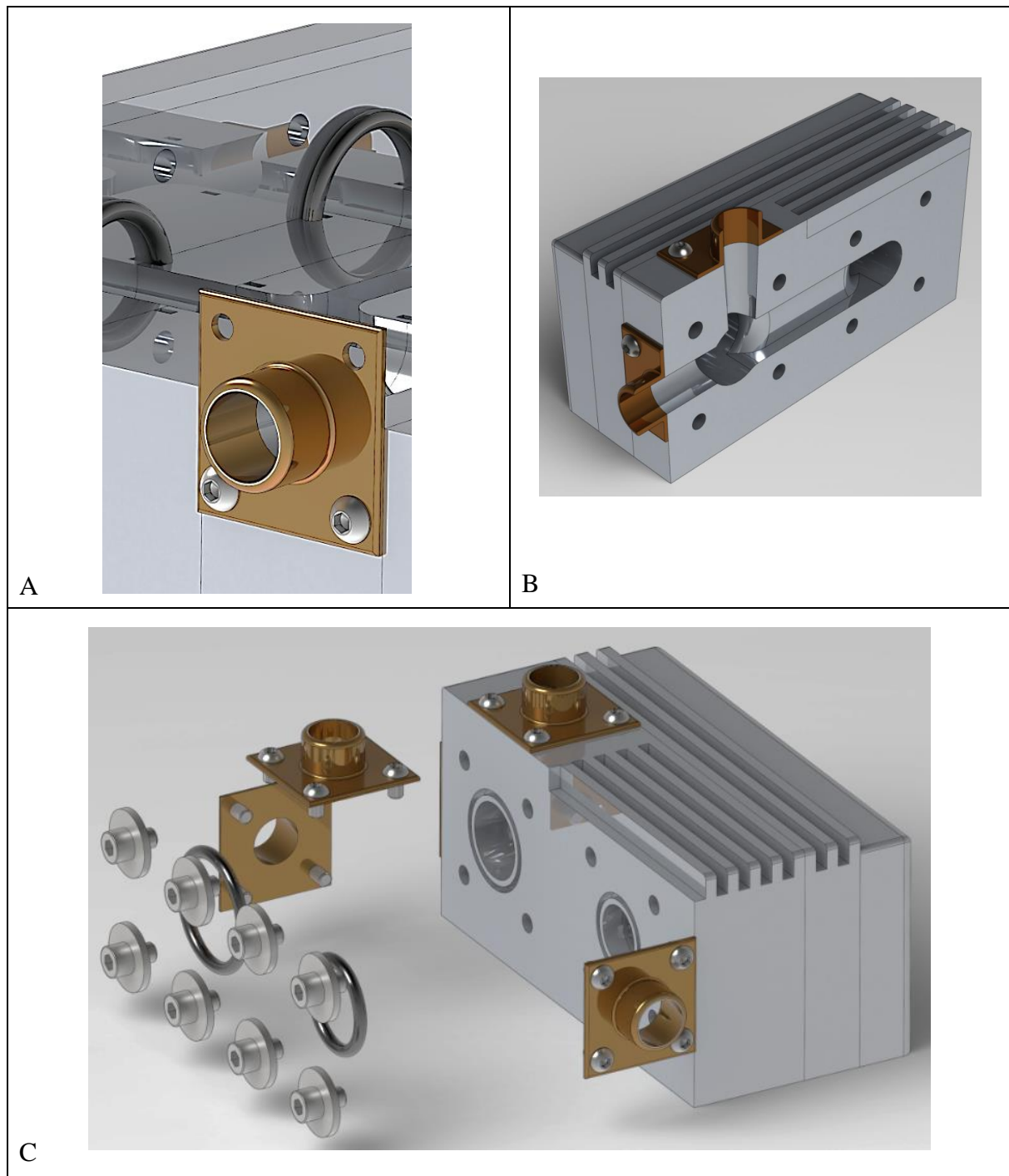


B

Tabell 12-2 inneholder to figurer, A og B, av SH-160. Disse figurene viser:

- A: Sett skrått bakfra med unbrakobolter og skiver. Kjølerillene vises også tydelig.
- B: Her er figuren snittet, men to av modulene samt o-ringer er fortsatt synlig. Legg merke til avrunding inne i kanalene for å redusere tap.

Tabell 12-3: Detaljbilder av SH-160 representert med figur A, B og C.



Fra tabell 12-3 ser man de tre figurene A, B og C. Her er:

- A: Zoom av figur B i tabell 12-2 der detaljene er mer tydelige.
- B: Seksjonssnitt av modul der man ser innsiden av kanalene.
- C: Detaljbilde av SH-160 men noen moduler fjernet slik at man ser mer av alle detaljer.

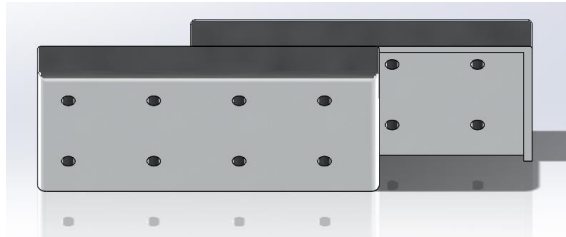
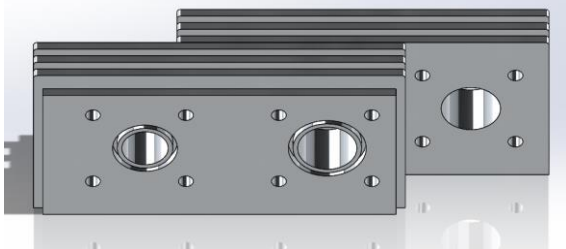
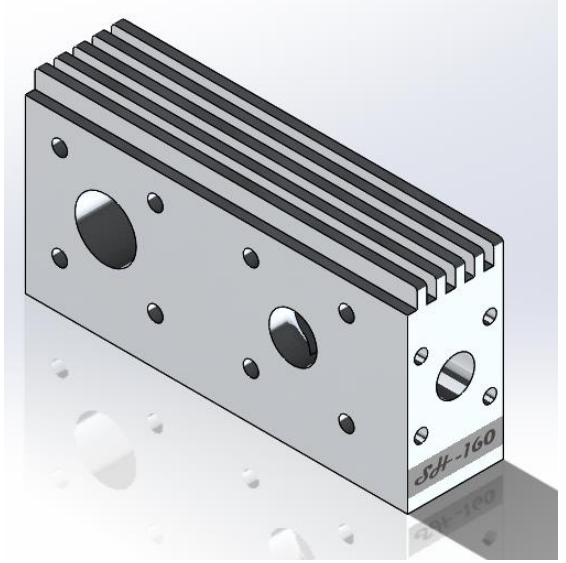
13 Prototypefremstilling og økonomi

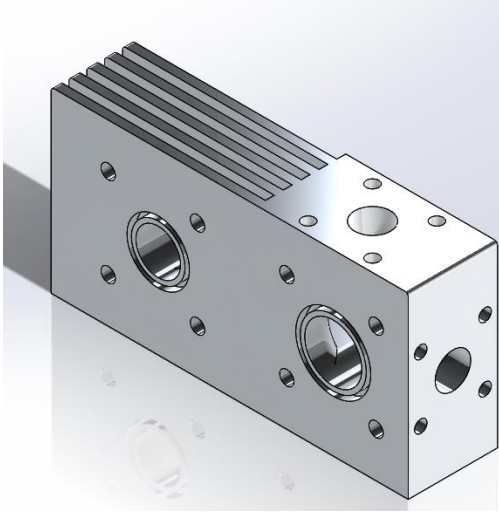
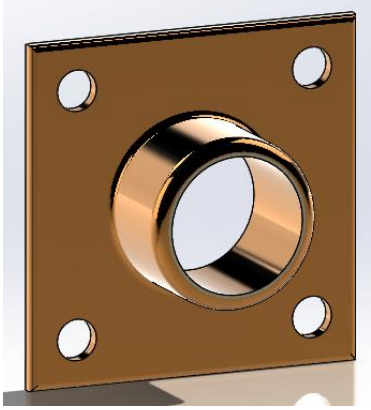
For å få frem gode løsninger i produksjonen er det viktig at de ulike delene er presentert på en fornuftig måte, slik at produksjonspersonalet skjønner hva som skal lages og hvordan. Dette er også viktig i et økonomisk perspektiv, da fremtidige investorer ønsker et estimat på hva det hele vil komme til å koste.

13.1 Produksjonsanvisninger

Nedenfor følger en oversikt over hvordan de enkelte moduler skal produseres og hvilke deler som eventuelt skal bestilles i tillegg til ordinær produksjon.

Tabell 13-1: Produksjonsanvisning for SH-160.

Produksjonsmetode	Komponent
<p>Figur A, Lokk: SH-160 skal ha to lokk, og disse skal trykkstøpes i form. Lokkene er identiske, men de må være speilvendte av hverandre. Hull skal bores etter støpning. Materiale: 7075 T6 Aluminium</p>	 <p>A</p>
<p>Figur B, Endemodul: SH-160 skal ha to endestykker som skal trykkstøpes i form. Endestykkene er identiske, men de må skal også være speilvendt av hverandre. Hullene skal bores etter støpning. Materiale: 7075 T6 Aluminium</p>	 <p>B</p>
<p>Figur C, Midtmodul: SH-160 skal også ha en midtmodul. Denne skal også trykkstøpes i form med de andre modulene. Hullene skal bores etter støpning. Materiale: 7075 T6 Aluminium</p>	 <p>C</p>

<p>Figur D, Ventilmodul: SH-160 skal ha to stykker av ventilmodulen. De to er helt identiske og skal trykkstøpes i form. Hullene skal bores etter støpning. Materiale: 7075 T6 Aluminium</p>	 <p>D</p>
<p>Figur E, Slangetilkobling: Denne varianten av en ermetotilslutning er ikke endelig bestemt designmessig og skal kjøpes inn som tilleggskomponent til produksjonen. Det samme gjelder for bolter o-ringer og lim, samt ventiler som skal beskytte mot trykksjokk og kavitasjon.</p>	 <p>E</p>

I tabell 13-1 vises hver modul enkeltvis for produksjon ved hjelp av trykkstøping. Her kan en stor form produseres for å støpe flere av hver modul slik at produksjonskostnadene kan komme så langt ned som mulig. Boring av riktig hulldimensjon for sleide vil bli gjort etter støpning fordi det er viktig med riktig toleranser for sleidene.

13.2 Økonomi

Kostand for en prototypefremstilling vil avhenge av materialpriser, timespris for utviklingsarbeid samt pris for arbeid utført av produksjonspersonal. Nedenfor kommer et overslag for hva utvikling, produksjon av prototype samt et anslag på en serieproduksjonskostnad.

Tabell 13-2: Viser oversikt over estimerte kostnader til konseptutvikling der totalsummen blir 490 800 kroner.

Konseptutvikling			
	Timer	Pris	Kr
Planlegging og utvikling	138	600	82800
Design og konseptgenerering	152	600	91200
3D modellering	178	600	106800
Prototypetegninger	88	600	52800
Rapportering	262	600	157200
SUM	818		490 800

Men ser utfra tabell 13-2 at totalkostnadene for konseptutviklingen er estimert til å bli 490 800 kroner. Her er min egen timelønn estimert til 600 kr pr time. Timene er fordelt etter hva jeg mener er blitt brukt mest tid på.

Tabell 13-3: Viser oversikt over estimert kostnad til prototypefremstilling. Totalsum blir 366 000 kroner.

Prototype				
(Arbeid og verktøy)	Kvanta	Timer	Pris	SUM(NOK)
Konstruksjon av støpeform	1		350000	350 000
Støpning av moduler og lokk	1	2	800	1600
Boring av hull	14	4	800	3200
Pussing og tilpassing	1	10	800	8000
Liming og montering	1	4	800	3200
				366 000

Tabell 13-3 viser et kostnadsoverslag til prototypefremstilling. Prisene er basert på estimater i timelønn, samt fra estimat av Senioringeniør Bjørn Brenna og 1.amanuensis Jan Kåre Bøe. Fjernes konstruksjonskostnaden for støpeformen vil man sitte igjen med den totale arbeidskostnaden for en enhet. Regnestykket blir som følger:

Tabell 13-4: Viser oversikt over estimert kostnad av arbeidskostnader. Totalsum er 16 000 kroner.

Arbeidskostnader				
	Kvanta	Timer	Pris	SUM(NOK)
Støpning av moduler og lokk	1	2	800	1600
Boring av hull	14	4	800	3200
Pussing og tilpassing	1	10	800	8000
Liming og montering	1	4	800	3200
				16 000

Tabell 13-4 gir en fremstilling av arbeidskostnadene pr enhet produsert for en prototype av SH-160.

Tabell 13-5: Viser oversikt over estimert kostnad til prototypefremstilling, der kostnaden her er for materialer og verktøy. Totalsum 6368

Prototype			
(Materialer og deler)	Kvanta	Pris	SUM(NOK)
Aluminium 6082 T6	5 kg	150	750
Skruer	8 stk	60	480
Lim	2 * 450 mL	669	1338
O-ringer	12 stk	150	1800
Kontrollsleide	1 stk	1000	1000
Delesleide	1 stk	1000	1000
			6368

Prisene i tabell 13-5 er basert på estimater fra verksmester Bjørn Brenna og fra [30] når det gjelder limet. I en serieprodusert variant vil dette koste vesentlig mindre, da det er snakk om betydelig større mengder av hver del. På andre siden er dette heller ikke der de store utgiftene ligger, noe figuren på neste side sier noe om.

Tabell 13-6: Viser totalt kostnadsoverslag til utvikling av prototype. Totalsum er 863168 kr.

Totalt kostnad prototype	NOK
Konseptutvikling	490 800
Prototype (arbeid og verktøy)	366 000
Prototype (materialer og deler)	6368
SUM(NOK)	863 168

For å se hvordan kostnadene fordeler seg kan man se på figuren under og få en grafisk fremstilling.



Figur 13-1: Viser fordeling av kostnaden. 1: Konseptutredning 490 800 NOK, 2: Prototype (arbeid og verktøy) 366 000 NOK, 3: Prototype (materialer og deler) 6368 NOK.

Som man ser utfra figur 13-1 har konseptutredning og første prototype veldig stor kostnad. Disse utgjør hele 99% av kostnadene. Ved en eventuell serieproduksjon vil disse kostnadene fordeles over mange flere enheter og dermed falle betydelig.

Tabell 13-7: Viser estimat av serieproduksjonskostnad pr enhet. For 10 000 enheter er enhetskostnaden på 6454 NOK.

Serieproduksjonsestimert				
Antall enheter	100	500	1000	10000
Konseptutvikling og prototypeverktøy	856800	856800	856800	856800
Arbeidskostnader	636800	3184000	6368000	63680000
Total kostnad pr enhet	14936	8082	7225	6454

Fra figur 13-7 vises kostnadsutviklingen for serieproduksjonen. På 100 enheter er den nede i 15268 kroner, samt for 10000 enheter er den nede i 6457 kroner. Her har man en noe høy produksjonskostnad per enhet, men dette er bare et estimat, slik at den reelle prisen vil nok betydelig lavere. I dette estimatet er det blant annet tatt priser direkte fra prototypeprisingen og dermed vil en pris på 60 kroner pr skruer være veldig høyt. Må man produsere skruer kun til bruk i en enhet prototype vil nok skruene koste omtrent dette. Slike vurderinger må gjøres for alle delene, og et verktøy for støpning vil nok kunne produsere ganske mange enheter pr time. Kostnadene vil dermed falle ganske dramatisk.

14 Prosesdiskusjon

Fra start til ferdig oppgave er det mye som skjer, både med oppgaven og i det personlige liv. Uforutsette ting oppstår og det er umulig å ta høyde for alt. Det er mer prøving og feiling enn denne rapporten viser, men det blir satt opp noen punkter som beskriver en del av det.

14.1 Arbeids –og utviklingsprosess

Med ønske fra starten om en produktutviklingsoppgave fremfor en tung beregningsoppgave ble dette en fin løsning for meg. Kort oppsummert følger erfaringer som er gjort innledningsvis og underveis:

- Burde startet tidligere med stort arbeidstempo for å hindre følelse av å ikke ha nok tid.
- Brukte for lang tid i starten på definering av oppgaven tydelig slik at målet var klart.
- Kunne gjort mer avanserte beregninger.

Metodikken innenfor produktutvikling er tilsynelatende rett frem, men her er det mange fallgruver og det er fort gjort å gå i disse. For eksempel under utviklingsprosesser ser man gjerne for seg løsningen litt diffus i det fjerne, og man går rett på med det man tror er riktig løsning.

- Fort gjort å gå rett på det man mener er riktig løsning, med for lite undersøkelse av alternative løsninger.
- Ved å følge metodikken på en god måte kommer man frem til den gode løsningen. Dette burde jeg sett tidligere. Jeg hastet litt på slutten for å få frem argumentasjonen.

Når det gjelder selve prosessen med valg av løsning gav dette seg selv ganske tidlig. Det var utfordrende:

- Å fordele tidsbruk mellom teori og metodebruk utover, slik at løsninger kom tidligere. Teori fikk mer tid en metode og utviklingstrinn.
- Å komme frem til en god funksjonsanalysen av produktet da funksjonen allerede var gitt. Fokus på produksjonsmetode og materiale i stedet. Usikker på om det ble bra nok.
- Å gjøre materialvalg som oppfylte krav til både belastning og produksjonsmetode.

På den positive siden:

- Helhetsløsningen er god, med smarte løsninger ift. deling.

- Forenklinger er gjort i beregningsdelen. Dette var nødvendig for å ikke gjøre ting for komplisert.

14.2 Beregninger, analyser og valgt løsning.

Det er gjort en del antagelser basert på skjønn og logikk med tanke på limingen og produksjonsmetodene. I tillegg ble det gjort en del forenklinger i beregninger og analyser.

- Mindre limareal: Fra 13166 mm^2 i figur 11-1 ble limarealet estimert til 12000 mm^2 . Påvirker spenningen i limfuge, og med omtalt lim må dette testes i laboratoriet for å konkludere. Generelt må mer arbeid legges ned i valg av lim.
- Jeg har bare sett på den spenningen som opptrer i et element av hele spenningsarealet. Vi ønsker å komme ut på konservativ side i forhold til virkeligheten. Dette gjelder også for nedbøyning, da vi ser på det tilfellet som ville gitt mest nedbøyning, teoretisk sett.
- Burde definert tydeligere hvilke parametere som ligger til grunn for skrueberegninger. For eksempel friksjonskoeffisienten i gjengene til skruen.
- Burde sett på flere alternativer for innstillinger av mesh i Ansys Workbench da dette kunne påvirket spenningsresultatet mer i form av redusert singularitetsproblematikk.
- Burde gjort mer undersøkelser for produksjonsmetode, da modellen må støpes grunnet delingsløsningen.
- Jeg er fornøyd med løsning ift. tetningsproblematikken. Slipper konflikt med delingen i selve kanalene.
- Kunne tatt ut og isolert enkeltdeler for beregningssammenligning. Ville kanskje blitt mer sammenlignbart med Ansys Workbench.
- Økonomisk sett mener jeg prisen er relativt fornuftig, spesielt med tanke på prototypeproduksjonen. Vil se annerledes ut med mindre kostnad pr enhet, men det er fortsatt utviklingen som koster penger.
- Interessant med flow-plottet som viser hvordan en væske beveger seg i konstruksjonen. Her burde simulering med olje i stedet for vann blitt gjort for mer realistisk strømningsbilde. Her kunne jeg også plukket ut og isolert enkeltelementer i moduler for å se på strømning rundt enkelte hjørnet for å sammenligne mer med tapsteori.
- Det er ikke utarbeidet toleranser for hull til sleider mv. Som konsekvens er det heller ikke satt toleranser på tegninger som er vedlagt.

15 Konklusjon

Masterarbeidets hovedmål har vært å utvikle en konseptuell løsning for hydraulisk volumstrømdeler med sandwich –og/eller modulkonstruksjon. Løsningen skulle være i høyfast aluminium og det skulle tåle store hydrauliske trykk. Dette er blitt gjort. De ulike utviklingstrinnene er rapportert underveis og det er vedlagt tekniske anvisninger med hovedmål.

15.1 Resultater og anbefalinger

Utviklingsarbeidet har resultert i en konseptuell fem-delt løsning av volumstrømdeler med navn SH-160, laget i aluminium 7075 T6, men følgende beregningsdata og anbefalinger:

- Fysiske hovedmål i mm (bredde*dybde*høyde): **250*200*100**
- Total vekt i kg: **11,9 kg**.
- Total kostnad for en prototype: **863168 NOK, mens 10000 enheter gir enhetspris på 6454 NOK.**

Statisk trykk innvendig på 45 MPa gir:

- Bøyepenning i deksel: $\sigma_b = \mathbf{233,8 \text{ MPa}}$
- Jevnførende spenninger i deksel fra Ansys WB: **244,8 MPa**
- Spenninger som lim må ta opp: **8,8 MPa**

- Maks deformasjon i deksel: **Deformasjon $y = 0,05 \text{ mm}$**
- Maks deformasjon i deksel fra Ansys WB: **0,013 mm**

- Skruedimensjon er: **5,56 mm som medfører bolt M8**
- Jevnførende spenning i M8 bolt med fasthetsklasse 8.8: **451,1 MPa**
- Flatetrykk i grunnmaterialet forårsaket av bolt: **188,9 MPa**

Sikkerhetsfaktorer:

- Mot flyt i deksel basert på håndberegninger: **SF = 2,6**
- Mot flyt i bolten: **SF = 1,42**
- Mot flyt i grunnmaterialet på grunn av bolt: **SF = 2,7**
- Sikkerhet ift strekkfasthet i lim: **1,7**

Anbefalinger:

- Med disse resultatene er det mulig å lage en volumstrømdeler i aluminium 7075 T6 som tåler 45 MPa arbeidstrykk.
- Det anbefales å trykkstøpe modulene i samme form.
- Det anbefales å dele konstruksjonen som vist, grunnet tetningsfordeler.

15.2 Videre arbeid

For at SH-160 skal bli et fullverdig produkt som skal produseres i store antall gjenstår det en del arbeid.

- Det bør utbedres forslag til modul med kjølekanal for SH-160, og redegjøres for bruk av kjøleriller. Samt simulering med disse.
- Det må redegjøres produksjonsmetode og utvikles produksjonsverktøy.
- Det må gjøres mer avanserte simuleringer, gjerne fullskala, med bedre mesh, både i Ansys Workbench og Flow simulation i Solid Works slik at de resultatene man får derfra er enda sikrere. I Ansys Workbench bør man gjøre simulering uten studentlisens da antall noder begrenser noe.
- Gjøre fysiske tester av konstruksjonen i lab der man undersøker at bolter og pakninger holder, men først og fremst finne ut eksakt om limet holder.
- Kostnadsberegninger må utredes for, og det må innhentes reelle priser for mer presist estimat.
- Utredning av tilkoblingsvarianter, samt spesifisere innhold i konstruksjonen ift. Rexroth modellen må gjøre. Styringsenhet for sperring mv.
- Det er knyttet usikkerhet til sikkerhetsfaktorer som kan være lave. Dette må testes i laboratoriet.
- Presisere toleranser for sleidehull mv. i konstruksjonen.

16 Referanser

Skriftlige kilder:

- [1] Brautaset, Knut, *Innføring i oljehydraulikk*, Universitetsforlaget, Oslo, 1983, 340 sider, ISBN:8200283259
- [2] Bøe, Jan Kåre, *Konsept –og produktrealisering*, NMBU, Ås, 2014, 218 sider.
- [3] Andersen, Johan, *Liming av aluminium labøvelse i emnet TBM200*, IMT/NMBU, Ås, 2012, 23 sider.
- [4] International Handbook Committee, *Engineered Materials Handbook; Adhesives and Sealants vol 3*. USA, USA, 1990, 893 sider.
- [5] Johansen, Henning, *Aluminium*, Høgskolen i Gjøvik, Gjøvik, 2009, 33 sider.
- [6] Johansen, Henning, *Styrkeberegninger: skrueforbindelser*, Høgskolen i Gjøvik, Gjøvik, 2012 endret 2014, 43 sider.
- [7] Johansen, Henning, *Styrkeberegninger: grunnlag*, Høgskolen i Gjøvik, Gjøvik, 2012, 43 sider
- [8] Terjesen, Geir, *Utmattning av bolter/skruer TMP 301*, NMBU/IMT, Ås, 2014, 25 sider.
- [9] Kløvstad, Morten, *Konstruksjon og designløsninger for komplekse hydraulikkventiler i aluminium*, Norges Landbrukshøgskole, Ås, 1999, 83 sider.
- [10] Callister, William D, og Rethwisch, David G, *Materials Science and Engineering, 8.edition*, John Wiley & Sons Inc, USA, 2011,885 sider, ISBN: 9780470505861.
- [11] Tipler, Paul A & Mosca, Gene, *Physics For Scientists and Engineers,6.utgave*, Susan Finnemore, New York, 2008, 1412 sider.
- [12] Dahlvig, Gunnar et al., *Konstruksjonselementer*, Yrkesopplæring, Oslo, 1991, 486 sider, ISBN: 9788258507007
- [13] Reddy, Junuthula Narasimha. *An introduction to the finite element method*. Mcgraw-Hill, New York, 1993, 423 sider.
- [14] Resaland, Per. *Styrkeberegninger for volumstrømdeler i aluminium*. NMBU, Ås, 2002. 27 sider.
- [15] Varsla, Thor-Erik. *Hydrauliske systemer på Lett Basismaskin*. NLH, Ås, 1995.
- [16] Rexroth Hydraulics. *Hydraulic components for industrial applications, 1. hydraulic valves and power units*. Mannesmann Rexroth AG, Lohr a. Main, Tyskland. 914 sider.

Nettkilder:

- [17] Brinell og Vickers Hardhet testing, Ametek.com, www.hardnesstesters.com
- [18] Stål og aluminium sammenligning, University of Liverpool, <http://aluminium.matter.org.uk>
- [19] Kastning og metallproduksjon, varmeutvidelse mv, Foreningen SNL, www.snl.no
- [20] Tetninger og o-ringer, tekniske spesifikasjoner mv, Otto Olsen AS, www.oo.no
- [21] Metaller, egenvekt og smeltepunkt, Stålservice AS, www.stalservice.no

- [22] Fasthetslære og grunnleggende beregningsteknikk, Universitetet i Tromsø, <http://site.uit.no/meccanica>
- [23] Bilde, samt flowdivider, combiner til BoschRexroth, Bosch Rexroth Oil Control S.p.A, apps.boschrexroth.com (pdf, flow divider, combiner)
- [24] Osborns sjekklister for produktutvikling. Manual Thinking, www.manualthinking.com
- [25] Figur for illustrasjon av FEM-analyse. Codedevelopment.net. www.codedevelopment.net
- [26] Aluminiums egenskaper for forskjellige legeringer. aZoM.com. www.azom.com
- [27] Data for Aluminium 7075 T6, matweb.com, www.matweb.com
- [28] Bildet i tabell 9-2. Delta Faucet Company. www.dealtafaucet.com
- [29] Symbolbilder i tabell 3-5. Hydraulics Online. www.hydraulicsonline.com

Personlige meddelelser:

- [30] Salgssjef distrikt, Ken-Terje Nordhus, Henkel Norden AB Oslo, Lim og datablad for liming. Mail den 04.12.15

Vedlegg

Liste med vedlegg	
Vedlegg {1}	Skruedata hentet fra [12]
Vedlegg {2}	Skruedata fra kilde [6]
Vedlegg {3}	Datablad lim fra kilde [30]
Vedlegg {4}	Eksplasjonstegning med stykke liste av SH-160
Vedlegg {5}	Sammenstillingstegning SH-160 med hovedmål.

VEDLEGG {1}

NS 1873 – ISO 724
Side 3

Tabell
Table

Mål i mm
Dimensions in mm

Nominell diameter = Stordiameter Nominal diameter = Major diameter D, d	Stigning	Midt-diameter	Lille-diameter
	Pitch P	Pitch diameter D_2, d_2	Minor diameter D_1, d_1
1	0,25	0,838	0,729
	0,2	0,870	0,783
1,1	0,25	0,938	0,829
	0,2	0,970	0,883
1,2	0,25	1,038	0,929
	0,2	1,070	0,983
1,4	0,3	1,205	1,075
	0,2	1,270	1,183
1,6	0,35	1,373	1,221
	0,2	1,470	1,383
1,8	0,35	1,573	1,421
	0,2	1,670	1,583
2	0,4	1,740	1,567
	0,25	1,838	1,729
2,2	0,45	1,907	1,713
	0,25	2,038	1,929
2,5	0,45	2,207	2,013
	0,35	2,273	2,121
3	0,5	2,675	2,459
	0,35	2,773	2,621
3,5	0,6	3,110	2,850
	0,35	3,273	3,121
4	0,7	3,545	3,242
	0,5	3,675	3,459
4,5	0,75	4,013	3,688
	0,5	4,175	3,959
5	0,8	4,480	4,134
	0,5	4,675	4,459
5,5	0,5	5,175	4,959
	1	5,350	4,917
6	0,75	5,513	5,188
	1	6,350	5,917
7	0,75	6,513	6,188
	1,25	7,188	6,647
8	1	7,350	6,917
	0,75	7,513	7,188
9	1,25	8,188	7,647
	1	8,350	7,917
10	0,75	8,513	8,188
	1,5	9,026	8,376
10	1,25	9,188	8,647
	1	9,350	8,917
10	0,75	9,513	9,188

Tabell fortsatt
Table continued

Mål i mm
Dimensions in mm

Nominell diameter = Stordiameter Nominal diameter = Major diameter D, d	Stigning	Midt-diameter	Lille-diameter
	Pitch P	Pitch diameter D_2, d_2	Minor diameter D_1, d_1
11	1,5	10,026	9,376
	1	10,350	9,917
	0,75	10,513	10,188
12	1,75	10,863	10,106
	1,5	11,026	10,376
	1,25	11,188	10,647
	1	11,350	10,917
14	2	12,701	11,835
	1,5	13,026	12,376
	1,25	13,188	12,647
14	1	13,350	12,917
	1,5	14,026	13,376
15	1	14,350	13,917
	2	14,701	13,835
16	1,5	15,026	14,376
	1	15,350	14,917
17	1,5	16,026	15,376
	1	16,350	15,917
18	2,5	16,376	15,294
	2	16,701	15,835
	1,5	17,026	16,376
	1	17,350	16,917
20	2,5	18,376	17,294
	2	18,701	17,835
	1,5	19,026	18,376
	1	19,350	18,917
22	2,5	20,376	19,294
	2	20,701	19,835
	1,5	21,026	20,376
	1	21,350	20,917
24	3	22,051	20,752
	2	22,701	21,835
	1,5	23,026	22,376
	1	23,350	22,917
25	2	23,701	22,835
	1,5	24,026	23,376
	1	24,350	23,917
26	1,5	25,026	24,376
27	3	25,051	23,752
	2	25,701	24,835
	1,5	26,026	25,376
	1	26,350	25,917
28	2	26,701	25,835
	1,5	27,026	26,376
	1	27,350	26,917

VEDLEGG {2}

Mål i mm
Dimensions in millimetres

Gjengediameter Thread diameter <i>d</i>	Nøkkelvidde Width across flats <i>s</i>			
	Serie Series		Produkter med flens Flanged products	
	Normal	Stor Large	Skruer Bolts	Muttere Nuts
1,6	3,2	—	—	—
2	4	—	—	—
2,5	5	—	—	—
3	5,5	—	—	—
4	7	—	—	—
5	8	—	7	8
6	10	—	8	10
7	11	—	—	—
8	13	—	10	13
10	16	—	13	15
12	18	21	15	18
14	21	24	18	21
16	24	27	21	24
18	27	30	—	—
20	30	34	27	30
22	34	36	—	—
24	36	41	—	—
27	41	46	—	—
30	46	50	—	—
33	50	55	—	—
36	55	60	—	—
39	60	65	—	—



Technical Data Sheet

LOCTITE® EA 9497™

Known as Hysol 9497
October 2014

PRODUCT DESCRIPTION

LOCTITE® EA 9497™ provides the following product characteristics:

Technology	Epoxy
Chemical Type	Epoxy
Appearance (Resin)	White liquid ^{1MS}
Appearance (Hardener)	Gray liquid ^{1MS}
Components	Two component - requires mixing
Mix Ratio, by volume - Resin : Hardener	2 : 1
Mix Ratio, by weight - Resin : Hardener	100 : 50
Cure	Room temperature cure
Application	Bonding

LOCTITE® EA 9497™ is a medium viscosity, two component, room temperature curing epoxy adhesive that bonds a wide variety of materials making it suitable as a general purpose adhesive. LOCTITE® EA 9497™ is ideal for heat dissipation applications such as bonding metal sheets for high heat transfer and potting electrical components. It is good for high compression strength applications, as well as high Tg applications with demanding hot strength requirements.

TYPICAL PROPERTIES OF UNCURED MATERIAL

Resin Properties

Specific Gravity @ 25 °C	2.05 to 2.13 ^{1MS}
Casson Viscosity, Cone & Plate Rheometer, Pa·s: Temperature: 25 °C, Shear Rate: 0 to 40 s ⁻¹	5 to 16 ^{1MS}
Flash Point - See SDS	

Hardener Properties

Specific Gravity @ 25 °C	2.02 to 2.1 ^{1MS}
Casson Viscosity, Cone & Plate Rheometer, Pa·s: Temperature: 25 °C, Shear Rate: 0 to 40 s ⁻¹	8 to 24 ^{1MS}
Flash Point - See SDS	

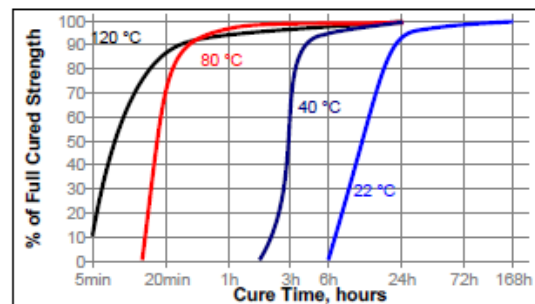
Mixed Properties

Pot Life @ 25 °C, minutes: 267 g resin / 133 g hardener	165 to 255 ^{1MS}
--	---------------------------

TYPICAL CURING PERFORMANCE

Cure Speed vs. Time/Temperature

The rate of cure will depend on the ambient temperature. The graph below shows the shear strength developed with time on grit blasted steel lap shears at different temperatures and tested according to ISO 4587.



Fixture Time

Fixture time is defined as the time to develop a shear strength of 0.1 N/mm².

Fixture Time, ISO 4587, @ 22 °C, hours 8

TYPICAL PROPERTIES OF CURED MATERIAL

Cured for 7 days @ 22 °C

Physical Properties :

Coefficient of Thermal Conductivity, ISO 8302, W/(m·K)	1.4
Coefficient of Thermal Expansion ISO 11359-2, K ⁻¹ :	
Below Tg	50×10 ⁻⁶
Above Tg	104×10 ⁻⁶
Linear Shrinkage, ISO 1675, %	0.73
Tensile Strength, ISO 37	N/mm ² 52.6 (psi) (7,640)
Tensile Modulus, ISO 37	N/mm ² 2,420 (psi) (351,000)
Compressive Strength	N/mm ² 112.5 (psi) (16,300)
Elongation, ISO 37, %	2.9
Shore Hardness, ISO 868, Durometer D	83
Glass Transition Temperature, ISO 11359-2, °C	67

Electrical Properties:

Dielectric Constant / Dissipation Factor, IEC 60250:	
1 kHz	5.5 / 0.038
1 MHz	5.0 / 0.001
10 MHz	2.5 / 0.983



Volume Resistivity, IEC 60093, Ω-cm 41×10¹⁵
 Surface Resistivity, IEC 60093, Ω 75×10¹⁵

Cured for 24 hours @ 22 °C followed by 30 minutes @ 80 °C.

Physical Properties :

Glass Transition Temperature ISO 11359-2, °C 97

Cured for 24 hours @ 22 °C followed by 15 minutes @ 120 °C.

Physical Properties :

Glass Transition Temperature ISO 11359-2, °C 116

TYPICAL PERFORMANCE OF CURED MATERIAL

Cured for 7 days @ 22 °C

Lap Shear Strength , ISO 4587:

Mild Steel (grit blasted)	N/mm ²	20
	(psi)	(2,900)
Stainless Steel	N/mm ²	9
	(psi)	(1,300)
Aluminum	N/mm ²	7
	(psi)	(1,000)
Aluminum (abraded)	N/mm ²	15
	(psi)	(2,170)
Brass	N/mm ²	5
	(psi)	(750)
Copper	N/mm ²	5
	(psi)	(750)
Zinc dichromate	N/mm ²	5
	(psi)	(750)
ABS	N/mm ²	8
	(psi)	(900)
Polycarbonate	N/mm ²	4
	(psi)	(700)
Polymethylmethacrylate	N/mm ²	1
	(psi)	(150)
Glass Fiber Reinforced Epoxy	N/mm ²	8
	(psi)	(1,200)
Hardwood (Teak)	N/mm ²	12
	(psi)	(1,700)
Softwood (Deal)	N/mm ²	8
	(psi)	(1,200)

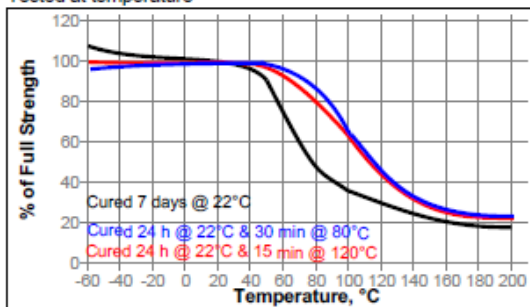
TYPICAL ENVIRONMENTAL RESISTANCE

Cured for 7 days @ 22 °C

Lap Shear Strength , ISO 4587:

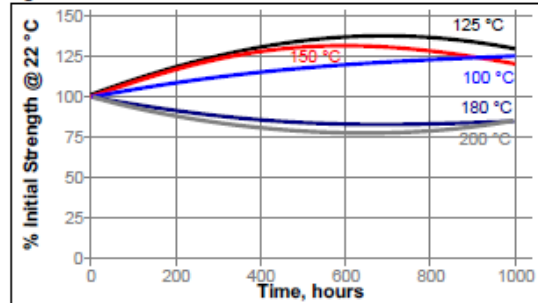
Mild Steel (grit blasted)

Hot Strength
 Tested at temperature



Heat Aging

Aged under conditions indicated and tested at 22 °C.



Chemical/Solvent Resistance

Aged under conditions indicated and tested at 22 °C

Environment	°C	% of initial strength	
		500 h	1000 h
Water	60	100	110
Water	90	135	135
Motor oil	40	105	105
Acetone	22	115	110
98% RH	40	125	120
Unleaded gasoline	22	90	95
Sodium Chloride, 7.5%	22	105	100
Water/glycol 50/50	87	110	120
Acetic Acid, 10%	22	85	100
Sodium hydroxide, 4%	22	105	80

GENERAL INFORMATION

This product is not recommended for use in pure oxygen and/or oxygen rich systems and should not be selected as a sealant for chlorine or other strong oxidizing materials.

For safe handling information on this product, consult the Material Safety Data Sheet, (MSDS).

Directions for use

1. For best performance surfaces for bonding should be clean, dry and free of grease. For high strength structural bonds, special surface treatments can increase the bond strength and durability.
2. To use, resin and hardener must be blended. Using bulk containers, mix thoroughly by weight or volume in the proportions specified in the Product Description Matrix. For hand mixing, weigh or measure out the desired amount of resin and hardener and mix thoroughly. Mix approximately 15 seconds after uniform color is obtained.
3. Do not mix quantities greater than 4 kg in mass as excessive heat build-up can occur. Mixing smaller quantities will minimize the heat build-up.
4. Apply the adhesive as quickly as possible after mixing to one surface to be joined. For maximum bond strength apply adhesive evenly to both surfaces. Parts should be assembled immediately after mixed adhesive has been applied.

Americas
 +860.571.5100

Europe
 +49.89.320800.1800

Asia
 +86.21.2891.8863

For the most direct access to local sales and technical support visit: www.henkel.com/industrial

5. Working life of the mixed adhesive is 3 to 4 hours @ 22 °C. Higher temperature and larger quantities will shorten this working time.
6. Keep the assembled parts from moving during cure. The joint should be allowed to develop full strength before subjecting to any service loads.
7. Excess uncured adhesive can be wiped away with organic solvent (e.g. Acetone).
8. After use and before adhesive hardens, mixing and application equipment should be cleaned with hot soapy water.

Loctite Material Specification^{LMS}

LMS dated November 22, 2007 (Resin) and LMS dated December 07, 2007 (Hardener). Test reports for each batch are available for the indicated properties. LMS test reports include selected QC test parameters considered appropriate to specifications for customer use. Additionally, comprehensive controls are in place to assure product quality and consistency. Special customer specification requirements may be coordinated through Henkel Loctite Quality.

Storage

Store product in the unopened container in a dry location. Storage information may be indicated on the product container labeling.

Optimal Storage: 8 °C to 21 °C. Storage below 8 °C or greater than 28 °C can adversely affect product properties.

Material removed from containers may be contaminated during use. Do not return product to the original container. Henkel Corporation cannot assume responsibility for product which has been contaminated or stored under conditions other than those previously indicated. If additional information is required, please contact your local Technical Service Center or Customer Service Representative.

Conversions

(°C x 1.8) + 32 = °F
 kV/mm x 25.4 = V/mil
 mm / 25.4 = inches
 N x 0.225 = lb
 N/mm x 5.71 = lb/in
 N/mm² x 145 = psi
 MPa = N/mm²
 MPa x 145 = psi
 N·m x 8.851 = lb·in
 N·m x 0.738 = lb·ft
 N·mm x 0.142 = oz·in
 mPa·s = cP

Disclaimer

Note:

The information provided in this Technical Data Sheet (TDS) including the recommendations for use and application of the product are based on our knowledge and experience of the product as at the date of this TDS. The product can have a variety of different applications as well as differing application and working conditions in your environment that are beyond our control. Henkel is, therefore, not liable for the suitability of our product for the production processes and conditions in respect of which you use them, as well as the intended applications and results. We strongly recommend that you carry out your own prior trials to confirm such suitability of our product.

Any liability in respect of the information in the Technical Data Sheet or any other written or oral recommendation(s) regarding the concerned product is excluded, except if otherwise explicitly agreed and except in relation to death or personal injury caused by our negligence and any liability under any applicable mandatory product liability law.

In case products are delivered by Henkel Belgium NV, Henkel Electronic Materials NV, Henkel Nederland BV, Henkel Technologies France SAS and Henkel France SA please additionally note the following:

In case Henkel would be nevertheless held liable, on whatever legal ground, Henkel's liability will in no event exceed the amount of the concerned delivery.

In case products are delivered by Henkel Colombiana, S.A.S. the following disclaimer is applicable:

The information provided in this Technical Data Sheet (TDS) including the recommendations for use and application of the product are based on our knowledge and experience of the product as at the date of this TDS. Henkel is, therefore, not liable for the suitability of our product for the production processes and conditions in respect of which you use them, as well as the intended applications and results. We strongly recommend that you carry out your own prior trials to confirm such suitability of our product.

Any liability in respect of the information in the Technical Data Sheet or any other written or oral recommendation(s) regarding the concerned product is excluded, except if otherwise explicitly agreed and except in relation to death or personal injury caused by our negligence and any liability under any applicable mandatory product liability law.

In case products are delivered by Henkel Corporation, Resin Technology Group, Inc., or Henkel Canada Corporation, the following disclaimer is applicable:

The data contained herein are furnished for information only and are believed to be reliable. We cannot assume responsibility for the results obtained by others over whose methods we have no control. It is the user's responsibility to determine suitability for the user's purpose of any production methods mentioned herein and to adopt such precautions as may be advisable for the protection of property and of persons against any hazards that may be involved in the handling and use thereof. In light of the foregoing, Henkel Corporation specifically disclaims all warranties expressed or implied, including warranties of merchantability or fitness for a particular purpose, arising from sale or use of Henkel Corporation's products. Henkel Corporation specifically disclaims any liability for consequential or incidental damages of any kind, including lost profits. The discussion herein of various processes or compositions is not to be interpreted as representation that they are free from domination of patents owned by others or as a license under any Henkel Corporation patents that may cover such processes or compositions. We recommend that each prospective user test his proposed application before repetitive use, using this data as a guide. This product may be covered by one or more United States or foreign patents or patent applications.

Trademark usage

Except as otherwise noted, all trademarks in this document are trademarks of Henkel Corporation in the U.S. and elsewhere. ® denotes a trademark registered in the U.S. Patent and Trademark Office.

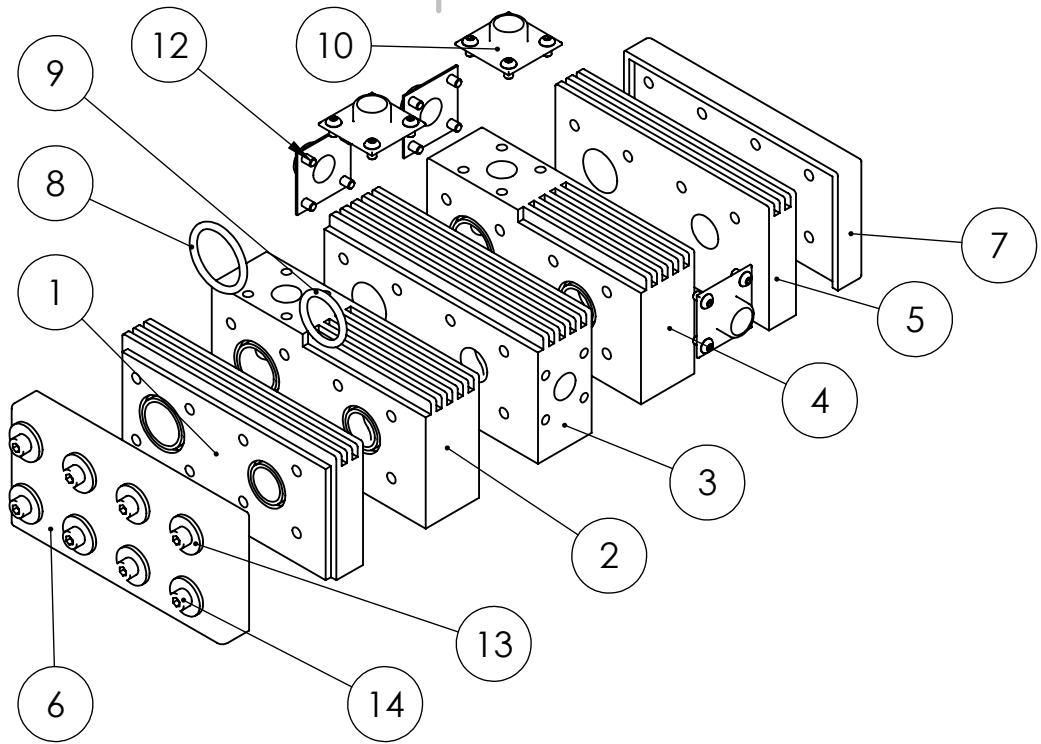
Reference 0.2

Americas
 +860.571.5100

Europe
 +49.89.320800.1800

Asia
 +86.21.2891.8863

For the most direct access to local sales and technical support visit: www.henkel.com/industrial



Alle deler uten nummer 8, 9, 12, 13 og 14 skal lages i beskrevet materiale.

ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	Endemodul venstre		1
2	Ventilmodul		1
3	Midtmodul		1
4	Ventilmodul		1
5	Endemodul høyre		1
6	Deksel venstre		1
7	Deksel høyre		1
8	O-ring		1
9	O-ring_liten		1
10	Slangetilslutning		5
11	Hexagon Flange Nut ISO - 4161 - M8 - N		8
12	ISO 7380 - M6 x 10 --- 10N		20
13	Washer ISO 7094 - 8		8
14	ISO 4762 M8 x 12 --- 12N		8

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:
Standard finish fra støpning

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN S.Hemstad		10.12.15
CHK'D		
APPV'D		
MFG		
Q.A		

TITLE:

Volumstrømdeler SH-160

MATERIAL:
Aluminium 7075 T6

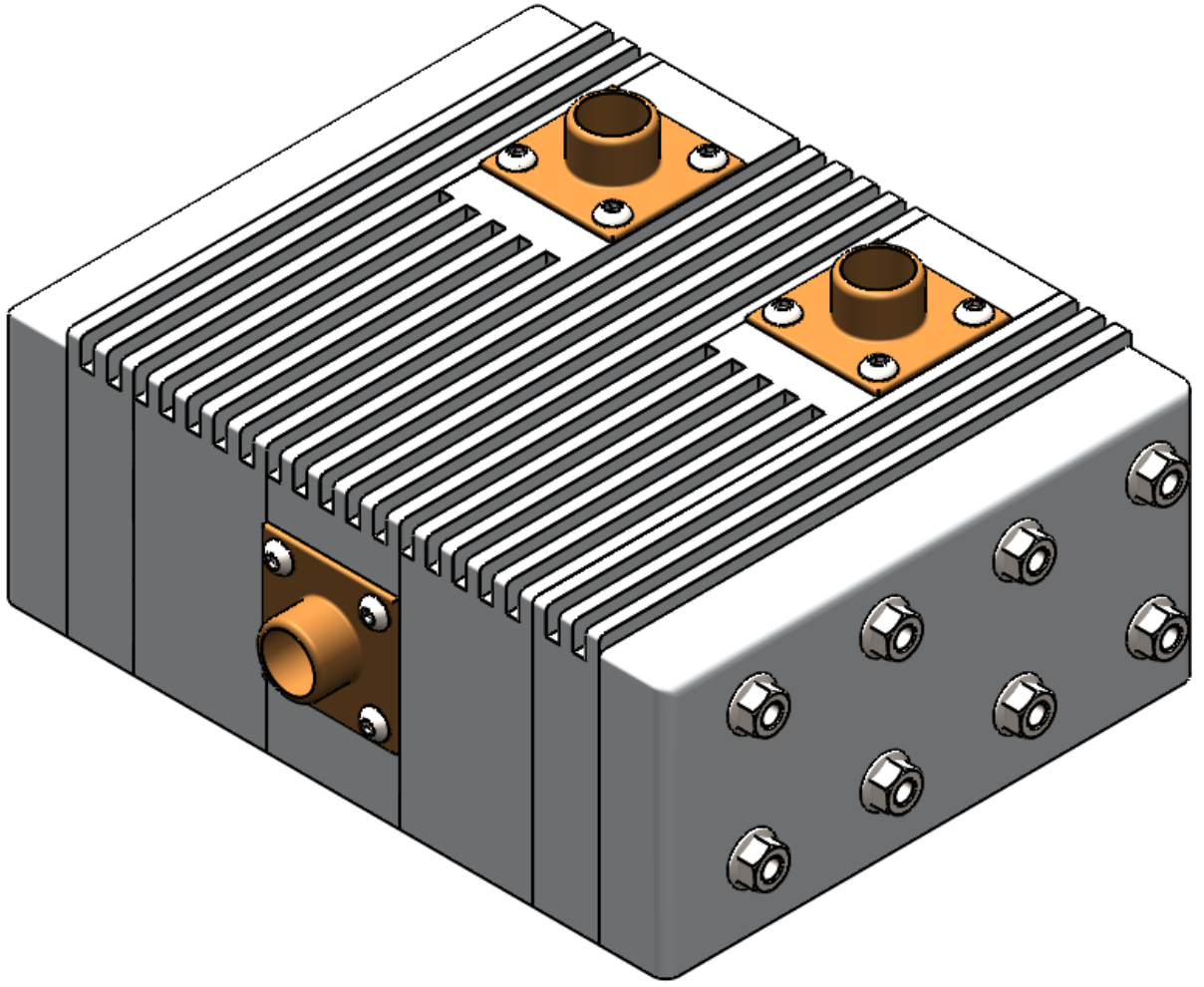
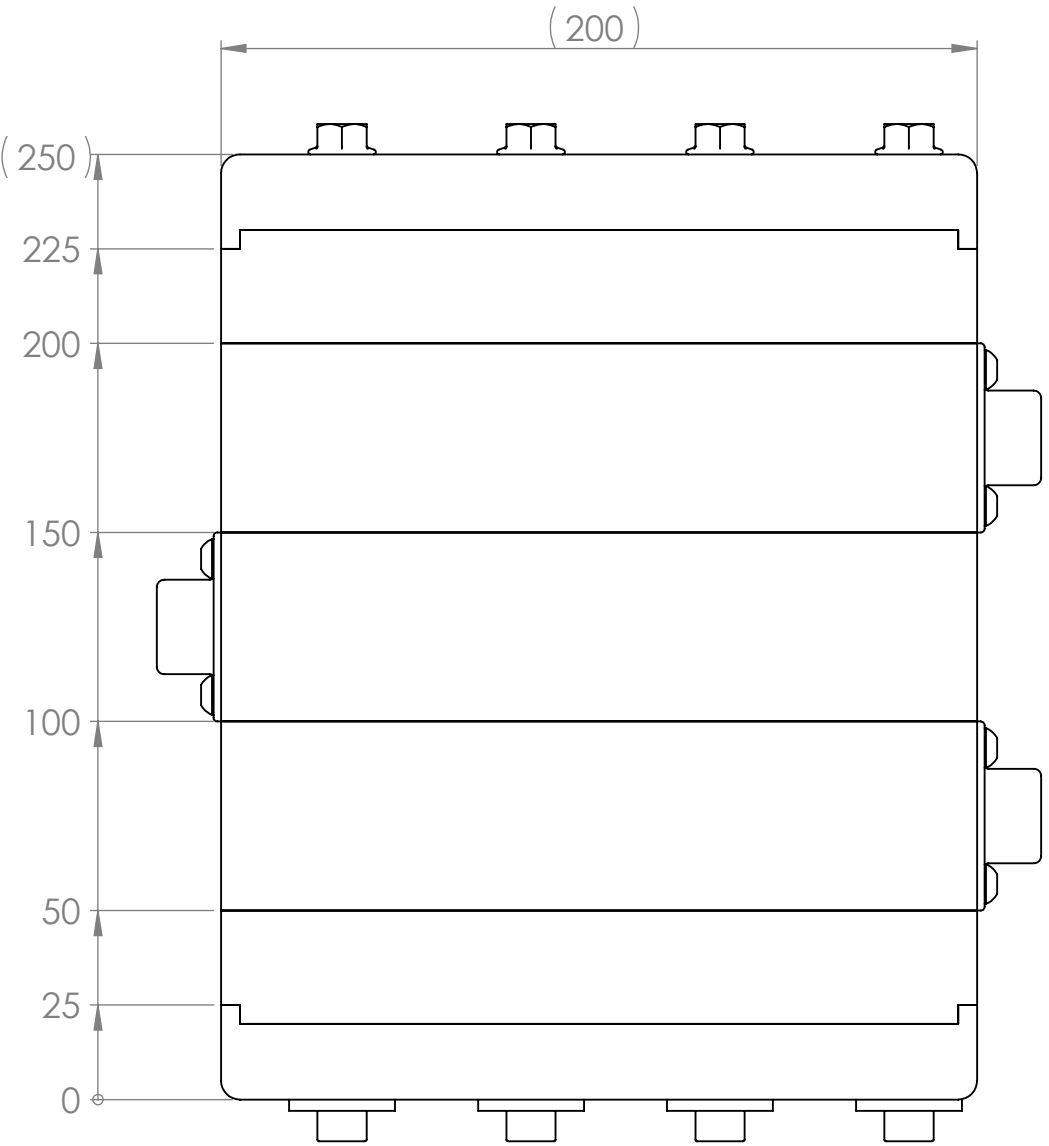
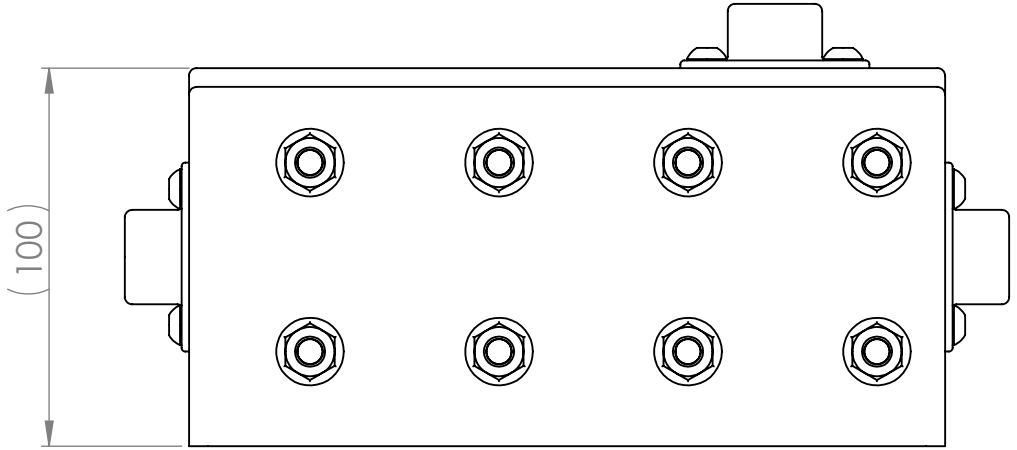
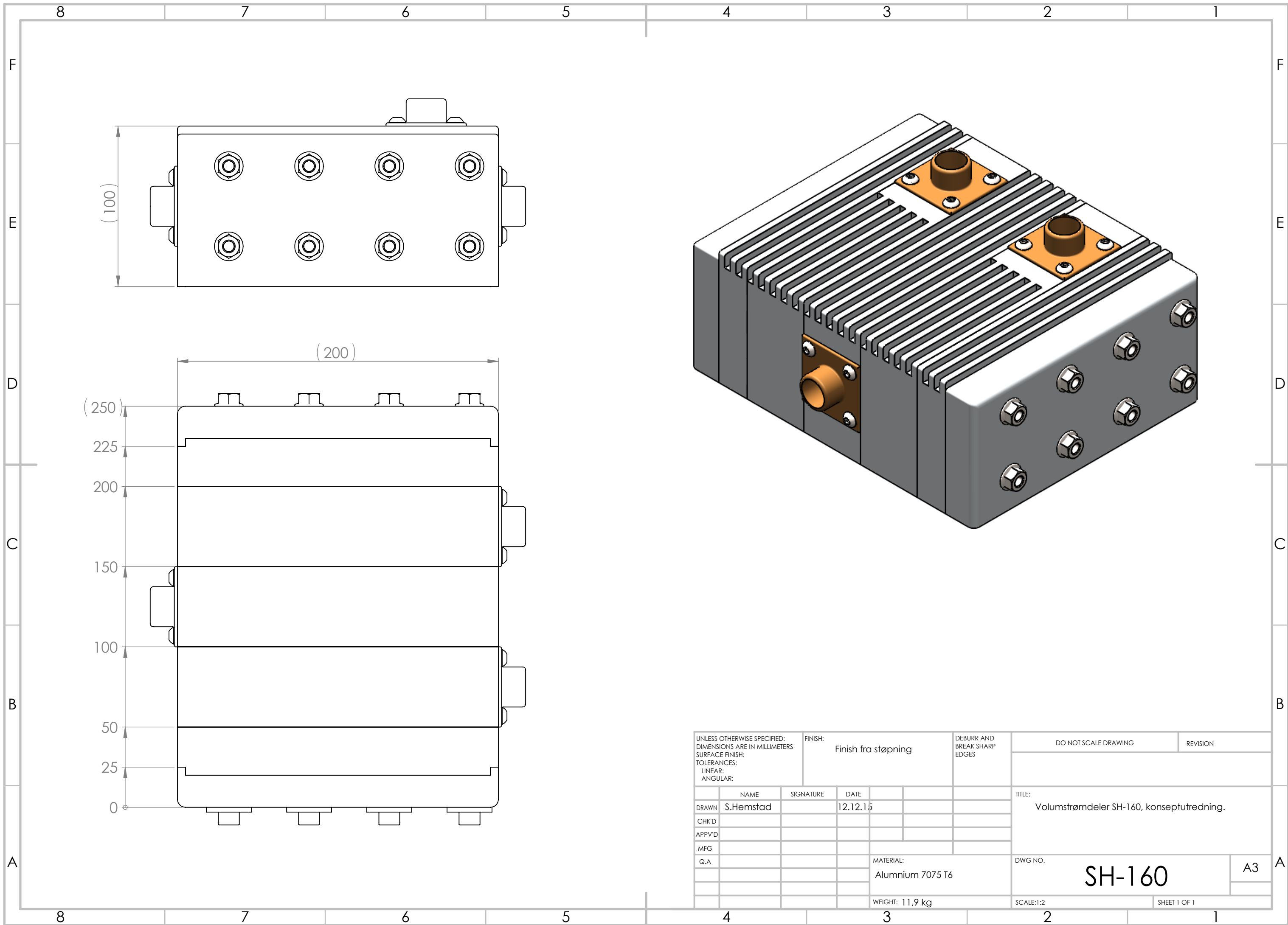
DWG NO.

Eksplosjon SH-160 A4

WEIGHT: 11,9 kg

SCALE:1:5

SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH: Finish fra støpning		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN	S.Hemstad	SIGNATURE		DATE	12.12.15	TITLE: Volumstrømdeler SH-160, konseptutredning.			
CHK'D									
APPV'D									
MFG									
Q.A						MATERIAL: Aluminium 7075 T6		DWG NO. SH-160	
						WEIGHT: 11,9 kg		SCALE:1:2	
								SHEET 1 OF 1	
								A3	



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Postboks 5003
NO-1432 Ås
67 23 00 00
www.nmbu.no