

# SE-pumpe med nytt Suction Cover og mulighet for integreert Strainer

ANJA EIKEMO HAUGSVÆR  
MARTE KØHNE HOFF

Bacheloroppgave i Allmenn Maskinteknikk  
Bergen, Norge 2021



Høgskulen  
på Vestlandet



# SE-pumpe med nytt Suction Cover og mulighet for integrert Strainer

Anja Eikemo Haugsvær  
Marte Kønne Hoff

Institutt for Maskin- og Marinfag  
Høgskulen på Vestlandet  
NO-5063 Bergen, Norge

Høgskulen på Vestlandet  
Fakultet for Ingeniør- og Naturvitskap  
Institutt for maskin- og marinfag  
Inndalsveien 28  
NO-5063 Bergen, Norge

Omslag fotografi © Norbert Lümmer

*English title:* SE-Pump with new Suction Cover and  
with possibility of integrated Strainer

Forfattere, studentnummer: Anja Eikemo Haugsvær, 578130  
Marte Køhne Hoff, 578116

Studieprogram: Allmenn Maskinteknikk  
Dato: 05 2021  
Rapportnummer: IMM 2021-M09  
Veileder ved HVL: Svein Ole Opdahl, HVL ansatt  
Oppdragsgiver: FRAMO Flatøy  
Oppdragsgivers referanse: Henrik Andal Engelsen

Antall filer levert digitalt: 12

## Forord

Rapporten representerer en avsluttende hovedoppgave ved bachelorstudiet i allmenn maskinteknikk våren 2021. Utdanningen er gjennomført ved Institutt for Maskin- og Marinfag (IMM) ved Høgskulen på Vestlandet (HVL). Intern veileder for oppgaven er høyskolelektor Svein Ole Opdahl.

Problemstillingen er gitt av FRAMO Flatøy, og omhandler utvikling av et nytt Suction Cover på en av pumpene de produserer. Det ble sett nærmere på utfordringene med dagens produksjonsmetode. En løsning på problemet kan være til stor nytte for FRAMO, noe som gjorde oppgaven motiverende å jobbe med.

Vi vil gi en stor takk til vår interne veileder høyskolelektor Svein Ole Opdahl. En engasjert og kunnskapsrik mann som har gitt oss mange gode råd under prosjektet. Takk for at du alltid prioriterer tid til oss, alt du har lært oss og at du alltid gir det lille ekstra.

Vi vil gjerne takke vår eksterne veileder, avdelingsleder for roterende maskiner Henrik Andal Engelsen ved FRAMO Flatøy, for deling av kunnskap og erfaring, i tillegg til god veiledning og et stort engasjement gjennom hele prosessen. Takk for at du har tatt deg tid til oss og all hjelp vi har fått.

Vi vil også gjerne takke førsteamanuensis Hassan Momeni og førsteamanuensis Saeed Bikass ved HVL for god hjelp og gode råd ved styrkeberegning i Ansys. Til slutt vil vi gi en takk til prosjektplanlegger Dag Sudmann ved FRAMO Flatøy for hjelp med priskalkulasjon og gode tips til utforming av designet.



## Sammendrag

SE-pumpe er en sentrifugalpumpe der hovedfunksjonen er å pumpe sjøvann til et offshoreanlegg. Dette er et FRAMO-produkt. I samarbeid med FRAMO Flatøy skal det i denne oppgaven undersøkes en ny produksjonsmetode for innløpet til pumpen, kalt Suction Cover. I dag blir det støpt hos en leverandør, noe som har gitt problemer i forhold til at det er dyrt, tidskrevende og det kan lett oppstå støpefeil. Filteret til pumpen, kalt Strainer, skal også sees nærmere på. Det skal undersøkes om det er mulig å integrere Suction Cover og Strainer til en komponent.

Oppgaven baserer seg i hovedsak på å lage et nytt Suction Cover som er rimeligere og mulig å produsere i bedriften. Det må tas hensyn til ulike krav under utviklingen av designet. For å finne den rimeligste produksjonsmetoden, er det tatt utgangspunkt i de maskinene bedriften har tilgjengelig. Det er laget Creo modeller for å utvikle det nye designet og tilpasse det til pumpen. Det har blitt utført styrketester i Ansys og beregninger for å utvikle et optimalt design. Designet vil bestå av et valset rør med flenser i begge ender, som er tilpasset pumpen og Strainer. Innvendig vil det være en plastaksel, utformet med et Bellmouth-design, som vil føre en laminær vannstrøm inn til pumpen. Detaljer fra nåværende design, som størrelse- og geometriske toleranser ble ivaretatt. Integrering av Strainer ble ikke undersøkt videre i prosjektet, da det ble oppdaget at dette ikke er mulig, slik rutiner og oppbygging av pumpen er i dag.

For at det skal være aktuelt å ta i bruk det nye suction coveret, må det lønne seg med tanke på pris og produksjonstid. Det ble foretatt en prissammenligning av nåværende og nytt design, som viste at det nye designet er mest gunstig. Ved å produsere dette i bedriften, vil FRAMO bli mer uavhengig av leverandør, og dermed mer fleksibel i produksjonsprosessen. Ut fra resultatene av analyser og beregninger konkluderes det med at det nye designet oppfyller alle krav og er et godt alternativ til nåværende produksjonsmetode.

3D-printing er undersøkt som en alternativ løsning, der nåværende design beholdes. Det ble sett på og sammenlignet 3D-printere med ulike bearbeidingsmetoder og materialmuligheter. Dette vil være en mer fremtidsrettet løsning, med tanke på at teknologien er under utvikling.





## Abstract

An SE-pump is a centrifugal pump where the main function is to deliver seawater to an offshore installation. This is a product manufactured by FRAMO, and this report will in collaboration with FRAMO investigate a new method of manufacturing the inlet of the pump. Currently, the inlet is cast by a supplier, causing unnecessary expenses, time, and casting defects. Additionally, the filter of the pump, called Strainer, will be explored. The possibility of integrating the Suction Cover and the Strainer to one component will be researched.

This report is mainly based on creating a new Suction Cover that is cheaper than the current solution and that can be manufactured at FRAMO. Several demands are considered when developing the new design. To find the most inexpensive manufacturing method, the current machinery available to the company is used as a foundation. Creo models were made to further progress the new design and subsequently adapt it to fit the pump. Finite element tests were performed in Ansys, and calculations were executed to develop an optimal design. The design is comprised of a rolled pipe with flanges attached to each end. A plastic axel created using Bellmouth-design will be placed internally, resulting in laminar flow to the pump. Details from the current design, particularly size and geometric tolerances, are kept consistent. Integrating the Strainer was not feasible due to the current routines and the construction of the pump. This was discovered early in the project, and this aspect is therefore not further discussed.

For the new Suction Cover to be successful, it must be profitable both when considering price and manufacturing time. A price comparison between the current and new design showcases that the new design is favourable. By manufacturing the Suction Cover at the company, FRAMO becomes less dependent on suppliers, increasing their flexibility throughout the manufacturing process. Based on analytical results and calculations, it is concluded that the new design fulfils the demands and should therefore be considered as an alternative to the current method of production.

3D-printing will be researched as an alternative solution to the aspects where the present design is retained. Machines with different methods and possibilities will be compared. Ultimately, 3D-printing is a technology that is still evolving, meaning this method should be further considered in the future.



## Innholdsfortegnelse

Forord.....	V
Sammendrag.....	VII
Abstract.....	IX
Nomenklatur.....	XIII
1 Innledning.....	1
2 Teori.....	3
2.1 Sentrifugalpumpe-prinsippet.....	3
2.2 SE-400 pumpe.....	4
2.3 Suction Cover.....	5
2.4 Strainer.....	5
2.5 Asynkron elektromotor.....	6
2.6 Laminær strømning.....	6
2.7 Bernoulli-prinsippet.....	7
2.8 Kavitasjon.....	8
2.9 NPSH.....	9
2.10 Løftehøyde.....	10
2.11 Pumpekurve.....	11
2.12 Material.....	12
2.12.1 Rustfritt stål – Super Duplex.....	12
2.12.2 Plast.....	12
2.12.3 Konstruksjonsstål.....	13
2.13 Stykkeliste.....	14
2.14 Teknologi for 3D-printing.....	14
3 Utvikling av nytt design.....	16
3.1 Designkrav.....	16
3.2 Forberedelser.....	16
3.3 Utvikling av hver enkelt del.....	17
3.4 Sveising.....	18
3.4.1 Beregning av sveis.....	18
3.5 Maskinering.....	21
3.5.1 Dimensjonering av lekkasjehull.....	22
3.5.2 Dimensjonering av gjengestang.....	23
3.6 Bellmouth utforming.....	25
3.7 Montering.....	26
3.8 3D-modellering og styrkeberegning.....	26
3.8.1 Analyse av Suction Cover.....	26

3.8.2	Analyse av gjengestang.....	27
3.9	Prissammenligning av nåværende og nytt design .....	28
4	3D-printing som en alternativ produksjonsmetode .....	28
4.1	Krav til Suction Cover .....	29
4.2	Krav til 3D-printer.....	29
4.3	Rangering av egenskapene .....	29
4.4	Alternative metaller.....	30
4.5	Tre alternative 3D-printere.....	31
5	Valg av produksjonsmetode.....	31
6	Resultat.....	32
6.1	Kilsveis på flenser.....	32
6.2	Buttsveis på flenser.....	33
6.3	Buttsveis på langsøm .....	33
6.4	Lekkasjeberegning .....	34
6.5	Beregning av gjengestang.....	35
6.5.1	Håndberegning av gjengestang .....	35
6.5.2	Ansys simulering av gjengestangen .....	37
6.6	Styrkeberegning av Suction Cover.....	38
6.6.1	Resultat ved endring av elementstørrelse.....	38
6.6.2	Resultat ved sammenligning av materiale.....	39
6.6.3	Resultat ved bruk av symmetri .....	39
6.7	Resultat av beregning på Bellmouth utforming.....	40
6.8	Stykkliste til nytt Suction Cover.....	41
6.9	Prisberegning av nåværende og nytt design.....	42
7	Diskusjon .....	44
8	Konklusjon .....	45
	Referanser.....	46
	Liste over Figurer.....	47
	Liste over Tabeller.....	48
	Vedlegg 1 – Maskinerings-tegning.....	49
	Vedlegg 2 – Monteringstegning.....	50
	Vedlegg 3 – Sveisetegning .....	51
	Vedlegg 4 – Sveis- og maskinerings-tegning av hver enkelt del.....	52

## Nomenklatur

$v$  = Gjennomsnittlig strømningshastighet [m/s]  
 $d$  = Indre diameter [mm]  
 $\nu$  = Kinematisk viskositet i væsken [cSt]  
 $\eta$  = Dynamisk viskositet i væsken [Pa·s]  
 $\rho$  = Massetetthet til væsken [kg/m<sup>3</sup>]  
 $Re$  = Reynolds tall  
 $P$  = Trykk [MPa]  
 $h$  = Høyde [mm]  
 $P_{tot}$  = Total trykk [MPa]  
 $P_{stat}$  = Statisk trykk [MPa]  
 $P_{dyn}$  = Dynamisk trykk [MPa]  
 $n_s$  = Omdreiningstallet til statorfeltet [r/min]  
 $f$  = Frekvens [1/s]  
 $p$  = Polpar  
 $NPSH_{Tilgjengelig}$  = Tilgjengelig NPSH [m]  
 $NPSH_{Nødvendig}$  = Nødvendig NPSH [m]  
 $P_Q$  = Pumpas ytelse [MPa]  
 $g$  = Tyngdeakselerasjonen [m/s<sup>2</sup>]  
 $\dot{V}$  = Volumstrømmen [m<sup>3</sup>/h]  
 $F_G$  = Vekten til væske [N/s]  
 $\sigma_j$  = Jamføringspenning [MPa]  
 $\sigma_n$  = Nominell spenning [MPa]  
 $\sigma_1$  = Normalspenning som virker vinkelrett på a-målet [MPa]  
 $\tau_1$  = Skjærspenning som virker parallelt på sveisens a-mål [MPa]  
 $l$  = Effektiv sveiselengde [mm]  
 $L$  = Sveiselengde [mm]  
 $a$  = a-mål [mm]  
 $\sigma_2$  = Normalspenning som virker parallelt på a-mål [MPa]  
 $\tau_2$  = Skjærspenning som virker vinkelrett på a-mål [MPa]  
 $t$  = Platetykkelse [mm]  
 $\sigma_{flyt}$  = Flytegrense [MPa]  
 $m$  = Masse [kg]  
 $V$  = Volum [mm<sup>3</sup>]  
 $A_s$  = Spenningsareal [mm<sup>2</sup>]  
 $M_v$  = Vrimoment [Nm]  
 $\alpha$  = Stigningsvinkelen [grader]  
 $\epsilon$  = Friksjonsvinkelen [grader]  
 $\mu$  = Friksjonstall mellom skrue og mutter  
 $P$  = Stigningstall [mm]  
 $r$  = Radius [mm]  
 $A$  = Areal [mm<sup>2</sup>]  
 $\sigma_{tillatt}$  = Tillatt spenning [MPa]  
SF = Sikkerhetsfaktor  
 $d_2$  = Stor-diameter for metriske grovgjenger [mm]  
 $d_3$  = Lille-diameter for metriske grovgjenger [mm]  
 $\beta = 0,5 \cdot gjengens\ flankevinkel$  [Grader]  
 $a_{Bellmouth}$  = Minste akse i ellipse [mm]  
 $b$  = Største akse i ellipse [mm]  
 $c$  = lengde på enden til Bellmouth [mm]  
 $D$  = Ytre diameter [mm]



## 1 Innledning

I pumpeindustrien er det stort fokus på kvalitet, pris og leveranse. Det er et stort konkurransemarked. For å være konkurransedyktig er det viktig å utvikle produktene kontinuerlig. Det vil være mest lønnsomt for mange bedrifter å produsere flest mulige deler til pumpen internt. FRAMO er en ledene leverandør av pumper i maritim industri, der de blant annet produserer en elektrisk drevet nedsunken pumpe, heretter kalt SE-pumpe. Denne oppgaven skal ta for seg en SE400-pumpe, som vises i Figur 1. Beskrivelse av hvordan denne fungerer kommer i kapittel 2.2.



Figur 1 - SE400 pumpe [1]

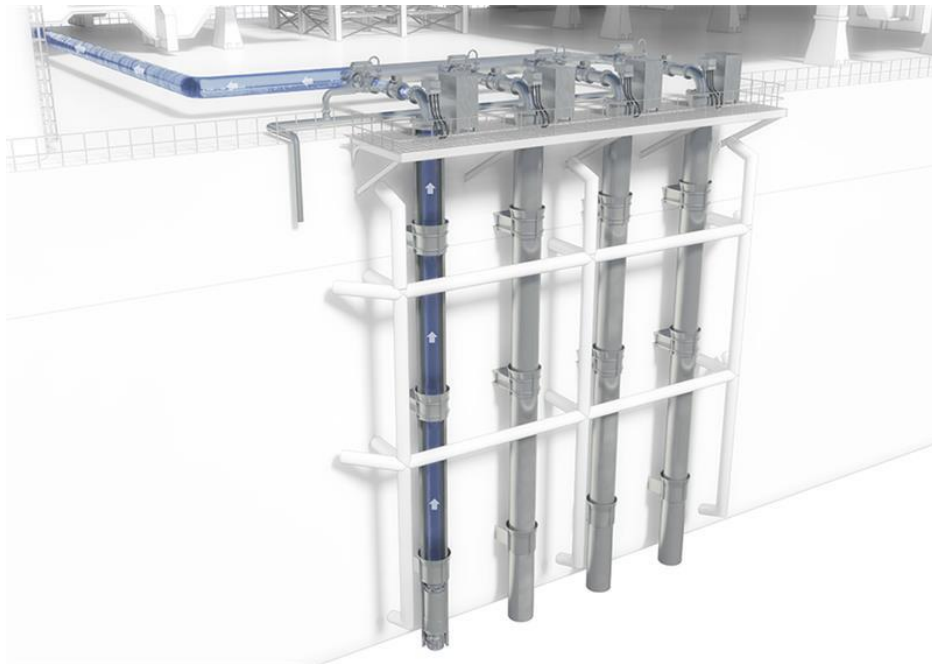
Formålet med oppgaven er å komme med forbedringsforslag til produksjon av pumpens innløp, heretter kalt Suction Cover. Det blir i dag støpt hos en leverandør etter FRAMO-spesifikasjoner, og deretter maskinert hos FRAMO. Denne produksjonsmetoden har vært utfordrende i lang tid, i og med at den er dyr, tidkrevende og i tillegg er det stor fare for støpefeil. Ved å finne en bedre, rimeligere og mer effektiv løsning, vil de bli mer attraktive for sine kunder. Det skal også sees nærmere på filteret til pumpen, kalt Strainer. Denne blir i dag produsert hos FRAMO, og det er et ønske om å få Suction Cover og Strainer sammen til en komponent. Nåværende design av Suction Cover og Strainer kan sees i Figur 2.

Suction Cover må tåle pumpens egenvekt, fordi pumpen skal kunne stå på suction coveret under montering. Det må være utformet med et bestemt design, for å få en optimal strømning inn i pumpen. I kapittel 2.3 blir utformingen av dette designet og dens funksjon forklart nærmere. For å unngå tetninger i rør og skader i pumpen, er det satt et krav til at større partikler ikke skal kunne trenge gjennom Strainer. Det må også være store nok hullåpninger i Strainer slik at det kommer nok væske inn i pumpen.



Figur 2 - Suction Cover og Strainer til dagens SE400 pumpe [2]

FRAMO AS startet som Frank Mohn AS i 1938, og har blitt drevet av familien Mohn frem til 2014. Da ble bedriften kjøpt opp av Alfa Laval, som er en stor produsent innen pumper, varmevekslere, ventiler, separasjoner og diverse annet. FRAMO har flere avdelinger i Norge og resten av verden. Vi skal fokusere på produksjonen hos FRAMO Flatøy, som ligger nord for Bergen. Her har vi selv deltatt i produksjonen under vår læretid, noe som gjør at vi har kjennskap til deres produkter. Bedriften er anerkjent for å designe, produsere og levere komplette pumpesystemer både Offshore og Onshore. SE-pumper ferdig installert i et slikt system kan sees i Figur 3. [3]



Figur 3 - Et komplett pumpesystem [4]



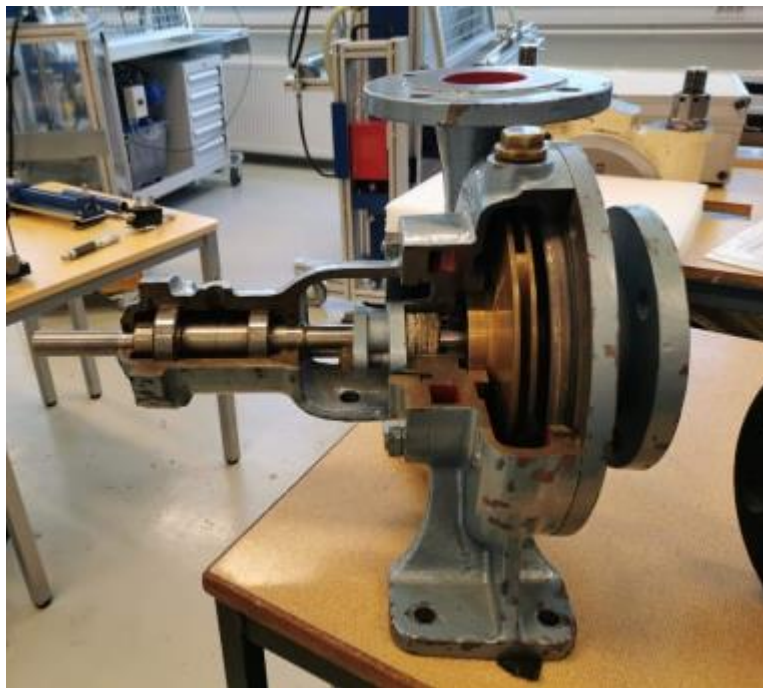
## 2 Teori

For å kunne utvikle et optimalt design, må teori knyttet til pumpen og dens virkemåte sees nærmere på. Det vil bli gjennomgått temaer som pumpens oppbygging, ulike faktorer som påvirker pumpen og viktige materialegenskaper.

### 2.1 Sentrifugalpumpe-prinsippet

I Figur 4 vises en sentrifugalpumpe, som kan bli drevet av en elektromotor. Pumpens jobb er å overføre energi og øke trykket i en væske. Når impelleren roterer i væsken, dannes det et negativt trykk i senter av impelleren. Dette gjør at væsken suges inn i innløpet. Det vil dannes en kraft radielt ut fra akselen som roterer impelleren, denne kalles sentrifugalkraften. Vannet blir slynget ut av impelleren og treffer veggen i pumpen. Da går en stor del av væskens bevegelsesenergi over til statisk trykkenergi. Her samles alle pumpestrømmene som kommer ut av skovlene og ledes mot et felles utløp. Diameteren øker mot utløpet, og dermed vil hastigheten igjen reduseres, noe som fører til at trykket øker ytterligere. Dette kan bevises av Bernoulli-prinsippet som er forklart i kapittel 2.7.

Sentrifugalpumpen egner seg best til levering av relativt store væskemengder ved lave og middels store løftehøyder. Når sugehøyden til pumpen blir for stor, kan en benytte aksialdykkepumper. [5] [6]

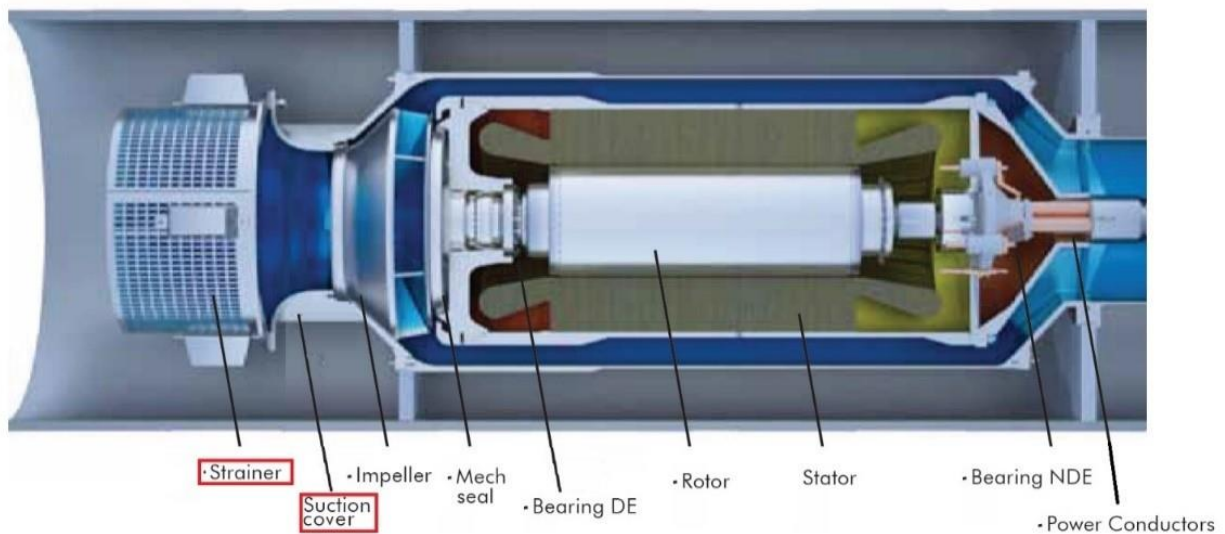


Figur 4 – Sentrifugalpumpe

## 2.2 SE-400 pumpe

SE-400 er en sentrifugalpumpe med direkte innsuging i bunn, som er utviklet av FRAMO. Pumpen har flere bruksområder, og blir blant annet brukt offshore som Sea Water Lift Pump, SWL, der den leverer sjøvann til f.eks. kjøling på båt eller plattform. Den er koblet til strømforsyningen på båten/plattformen, som ledes ned til pumpen gjennom kobberrør i rørsatser.

Oppbyggingen av pumpen vises i Figur 5. Den blir drevet av en asynkron elektromotor, og virkemåten til motoren forklares nærmere i kapittel 2.5. Pumpen har tre lagre som sørger for stabil drift. Det er ett aksiallager og to radiallager. Aksiallageret tar opp aksielle krefter under drift. Radiallagrene tar opp radielle krefter, spesielt under oppstart, og hjelper med å holde linje gjennom pumpen. Mellom motor og impeller er det en mekanisk tetning, som tetter mellom olje og vann. Impelleren er festet til rotoren og roterer i takt med denne. Impelleren slynger vannet ut i pumpehuden. Pumpehuden består av skovler og blir kalt diffusor. Her blir vannstrømmen ført videre opp i rørene. Suction Cover er utformet med et Bellmouth-design som sees nærmere på i kapittel 2.3. Mellom impeller og Suction Cover er det en slitering for å bevare pumpen som ny, ved å ta opp slitasje fra impeller. I enden av pumpen er det en Strainer, som sees nærmere på i kapittel 2.4. [7]



Figur 5 - Snitt av SE400 pumpe [7]

### 2.3 Suction Cover

Suction Cover som er innløpet til pumpen, er utformet med et Bellmouth-design som kan sees i Figur 6 - Suction Cover [7] . Designet er formet som en bjelle som gjør at uregelmessigheter i hastighetsfordelingen minimeres og det blir ført en laminær vannstrøm inn til impeller. Som nevnt i kapittel 1, blir Suction Cover produsert som en støpt komponent etter FRAMO spesifikasjoner, og videre maskinert av FRAMO. Den er spesial tilpasset til impelleren og dens sugediameter. Impelleren sin utforming varierer i forhold til den pumpekarakteristikken kunden krever. Dermed vil også utformingen til Suction Cover variere da denne er tilpasset impeller.

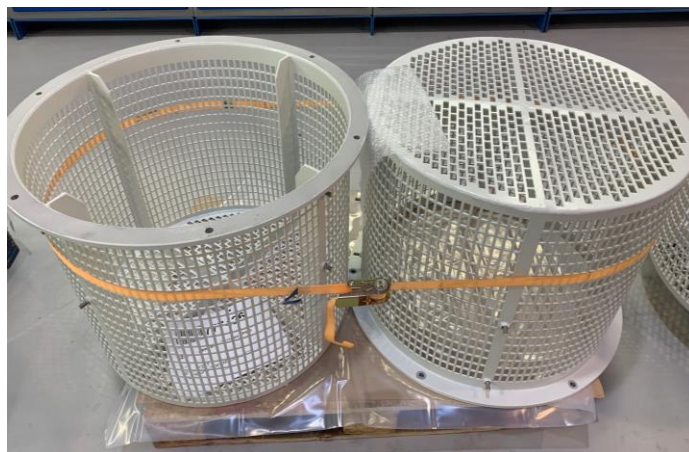


Figur 6 - Suction Cover [7]

### 2.4 Strainer

Strainer fungerer som et filter for pumpen og rørene, og dens funksjon er å hindre partikler i å bli sugd inn i pumpen og videre til vannkretsen på operatørens installasjon. Straineren som blir brukt på FRAMO sine pumper kan sees i Figur 7. Den har et krav om å hindre partikler større enn 12x25 mm. I tillegg skal det totale hullarealet på Strainer være minimum syv ganger så stort som innløpsareal til impelleren. Dette er viktig for å unngå kavitasjon i pumpen på grunn av for lite væskeinntak. Kavitasjon blir forklart nærmere i kapittel 2.8.

I dag blir Strainer produsert internt på FRAMO. Den består av plater med laserbrente hullåpninger og blir valset og sveist sammen i henholdt til FRAMO tegning. Strainer blir montert på Suction Cover når pumpen skal installeres.



Figur 7 - Strainer

## 2.5 Asynkron elektromotor

SE-400 pumpen blir drevet av en asynkron elektromotor. Den er bygget opp av to komponenter, en stator og en rotor. Statoren er den stasjonære delen, og rotoren er den bevegelige delen. Når det blir koblet på strøm, blir det dannet et magnetfelt som gjør at rotoren roterer. Elektromotoren som blir brukt i denne pumpen har ti poler, som gjør at den har 700 omdreininger per minutt.

Dette kan vises ut fra formelen for omdreiningstallet til statorfeltet:

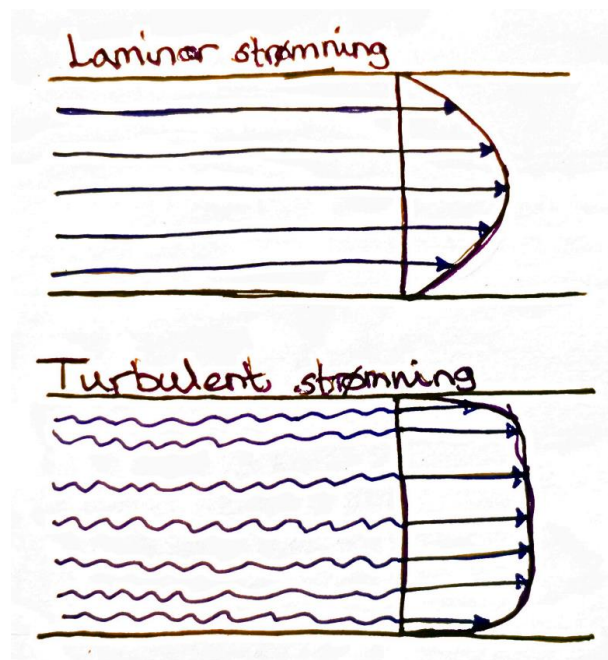
$$n_s = \frac{f \cdot 60}{p} = \frac{60 \cdot 60}{5} = 720 \text{ r/min} \quad (1)$$

Frekvensen,  $f$ , er på 60 Hertz, og  $p$  står for polpar. I dette tilfelle er det ti poler, og deler man det på to blir det fem polpar. Siden det er en asynkron motor, betyr det at omdreiningstallet til rotoren er forskjellig fra omdreiningstallet til statorfeltet. Rotoren dreier altså saktere enn statorfeltet. Forskjellen mellom disse to hastighetene kalles sakking. I dette tilfellet er den på 20 r/min, som utgjør en rotoromdreining på 700 r/min. [8]

## 2.6 Laminær strømning

Når en væske flyter langsomt og rolig, kalles det laminær strømning. Væskepartiklene glir i rettlinjjet bevegelse og blander seg ikke med hverandre. Hastigheten er størst i midten av røret og avtar ut mot rørveggen der det ikke er noe bevegelse. Dette kalles non-slip condition og gjør at hastighetsprofilen har form som en parabel, vist i Figur 8.

For å undersøke hvilken tilstand strømmingen har, bruker vi det dimensjonsløse Reynoldstall ( $Re$ ). Det skiller mellom laminær og turbulent strømning. Turbulent strømning oppstår ofte ved høye hastigheter. Her blander væskepartilene seg og hastighetsprofilen er tilnærmet lik uniform, anvist i Figur 8.



Figur 8 - Laminær og turbulent strømning

Formelen for Reynoldstallet er:

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\eta} \quad (2)$$

Der:

$v$  = Gj. strømningshastighet       $d$  = Indre diameter       $\nu$  = Kinematisk viskositet  
 $\eta$  = Dynamisk viskositet       $\rho$  = Massetetthet

Dersom  $Re < 2300$  er det laminær strømning og ved  $Re > 2300$  er det turbulent strømning. Det er et usikkert område når  $2000 < Re < 3000$ . [6]

## 2.7 Bernoulli-prinsippet

Bernoulli-prinsippet blir ikke direkte anvendt i oppgaven, men prinsippet og forståelsen bak er viktig for arbeidet videre. Bernoullis prinsipp beskriver forholdet mellom trykk og hastighet i en væske langs en strømlinje. Det totale trykket  $P_{tot}$  i røret vil være uendret og består av det statiske trykket  $P_{stat}$  og det dynamiske trykket  $P_{dyn}$ . Formler for beregning av total trykk vises under.

$$P_{tot} = P_{stat} + P_{dyn} = konstant \quad (3)$$

$$P_{stat} = P + \rho gh \quad (4)$$

$$P_{dyn} = \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (5)$$

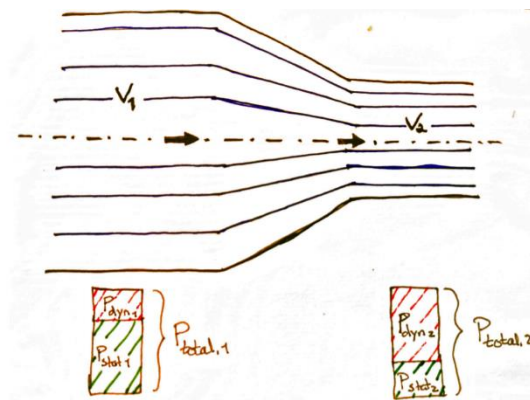
Ut fra disse formlene kan Bernoullis ligning utledes slik:

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

Der:

$P$  = Trykk       $h$  = Høyde       $P_{tot}$  = Total trykk  
 $P_{stat}$  = Statisk trykk       $P_{dyn}$  = Dynamisk trykk

Bernoullis ligning viser at dersom trykket øker i en væske, vil hastigheten avta og motsatt. Som vist i Figur 9, vil  $P_{tot1}$  være lik  $P_{tot2}$  fordi  $P_{dyn}$  og  $P_{stat}$  endrer seg proporsjonalt i forhold til hastighet og tverrsnitt. [6]



Figur 9 - Trykkfordeling i en rørledning med innsnevring



## 2.8 Kavitasjon

Kavitasjon er dannelse av gassbobler i en væske som imploderer under skifte fra lavt til høyt trykk. Figur 10 viser en laminær vannstrøm inn til pumpen uten kavitasjon. Når trykket i en væske synker til under damptrykket vil væsken begynne å koke og det dannes gassbobler. I Figur 11 ser vi dannelse av disse gassboblene. Dersom boblene blir utsatt for trykk som er høyere enn damptrykket, vil de implodere. Det gjør at boblene klapper sammen i et slag, og fører til lokale og heftige trykkøkninger. Dette kan lage både støy og vibrasjoner. Dersom maskindeler blir utsatt for de høye lokale trykkøkningene over lengre tid, vil det føre til korrosjon og i ekstreme tilfeller faller materiale av. Dette er med på å redusere effektiviteten til pumper og kompressorer. I verste fall kan kavitasjon føre til at rør knekker, funksjonen til ventiler blir svekket og roterende maskiner blir ødelagt.

Faktorer som påvirker kavitasjon er overflateruhet, forurensinger i væske og turbulens. Dersom noen av disse faktorene øker, vil også risikoen for kavitasjon øke. Kavitasjon kan oppstå ved innløpet til pumpen på grunn av det lave trykket her, kombinert med for høy akselerasjon eller trykkøkning. [9]



Figur 10 – Laminær vannstrøm uten kavitasjon



Figur 11 – Turbulent vannstrøm med kavitasjon

## 2.9 NPSH

Trykkenergien som trengs for å unngå dannelse av gassbobler kalles *Net Positive Suction Head*, NPSH. For optimal ytelse må man unngå kavitasjon ved pumpeinnløpet. Det nødvendige trykket for å unngå dette kalles for  $NPSH_{N\ddot{o}dvendig}$  og er en funksjon av pumpedesignet og dens rotasjons hastighet.  $NPSH_{Tilgjengelig}$  er absoluttrykket ved pumpens innløp. For å oppnå riktig pumpeytelse og unngå risikoen for kavitasjon må  $NPSH_{Tilgjengelig}$  være større enn  $NPSH_{N\ddot{o}dvendig}$ . [10]

$$NPSH_{Tilgjengelig} > NPSH_{N\ddot{o}dvendig} \quad (7)$$

For å unngå kavitasjon er det to faktorer som kan endres. Den første er  $NPSH_{Tilgjengelig}$ , som bestemmes av statisk løftehøyde, atmosfæretrykk, damptrykk og friksjonstap. Det blir sett på endringer som fører til at  $NPSH_{Tilgjengelig}$  øker:

- Heve tank eller nivå i tanken
- Senke pumpe
- Trykksette tank
- Kjøle ned væsken i tanken
- Endre røranlegget

Dersom dette ikke har noe effekt kan man redusere  $NPSH_{N\ddot{o}dvendig}$ . For å gjøre dette kan man [11]:

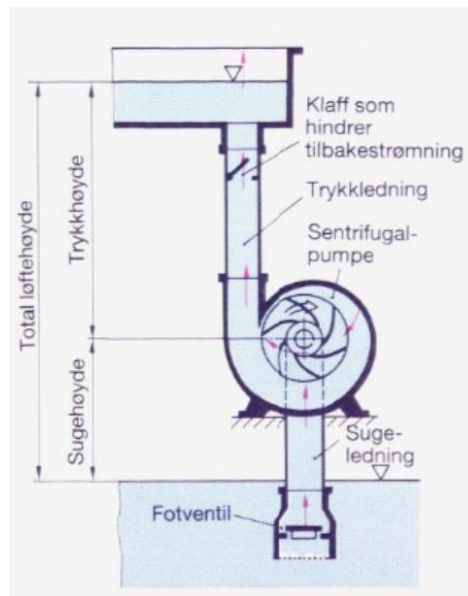
- Bruke impeller med dobbelt innløp
- Øke diameter på impeller
- Bruke pumper i parallell
- Bruke en «booster» pumpe som er koblet i serie
- Øke innløpet på impelleren. Ved å gjøre dette kan det oppstå et problem med resirkulasjon, og dette er derfor siste løsning man prøver
- Installere sugeinduserer. Få produsenter har dette på lager, så det er ikke den beste løsningen

## 2.10 Løftehøyde

For at en pumpe skal kunne frakte væske fra et lavreservoar til et høyreservoar må den ha nok kraft til å kunne overvinne både høyde- og trykkforskjellene i væsken. Den totale løftehøyden er høyden fra lavreservoar til innløpet av pumpen (sugehøyde), lagt sammen med høyden fra utløpet av pumpen til høydereservoaret (trykkhøyden). Sugetrykket kan maksimalt være lik lufttrykket, altså omtrent en bar. Dermed blir sugehøyden til pumpen begrenset til maksimalt ti meter (1bar = trykket av en 10 m høy vannsøyle). Den praktiske sugehøyden er begrenset til åtte meter, fordi det finnes flere faktorer som reduserer løftehøyden:

- Friksjon i sugeledning og pumpe
- Tettheten til væsken kan være større enn tettheten til vann
- Kavitasjon i impeller

For en sentrifugalpumpe som vist i Figur 12 er trykkhøyden avhengig av løpehjulets form og omdreiningstallet til pumpa. Den varierer mellom 10 m og 200 m, og kan være opptil 10 000 m for flertrinns-pumper.



Figur 12 - Løftehøyde for en sentrifugalpumpe [6]

Pumpens løftehøyde bestemmes av ytelsen til pumpen,  $P_Q$ , og vekten til væsken,  $F_G$ . Enheten blir målt i meter. Da får vi formelen [6]:

$$H = \frac{P_Q}{F_G} = \frac{P_Q}{\rho \cdot g \cdot \dot{V}} \quad (8)$$

Der:

$P_Q$  = Pumpas transportytelse  
 $g$  = Tyngdeakselerasjonen

$\rho$  = Væskens tetthet  
 $\dot{V}$  = Volumstrøm

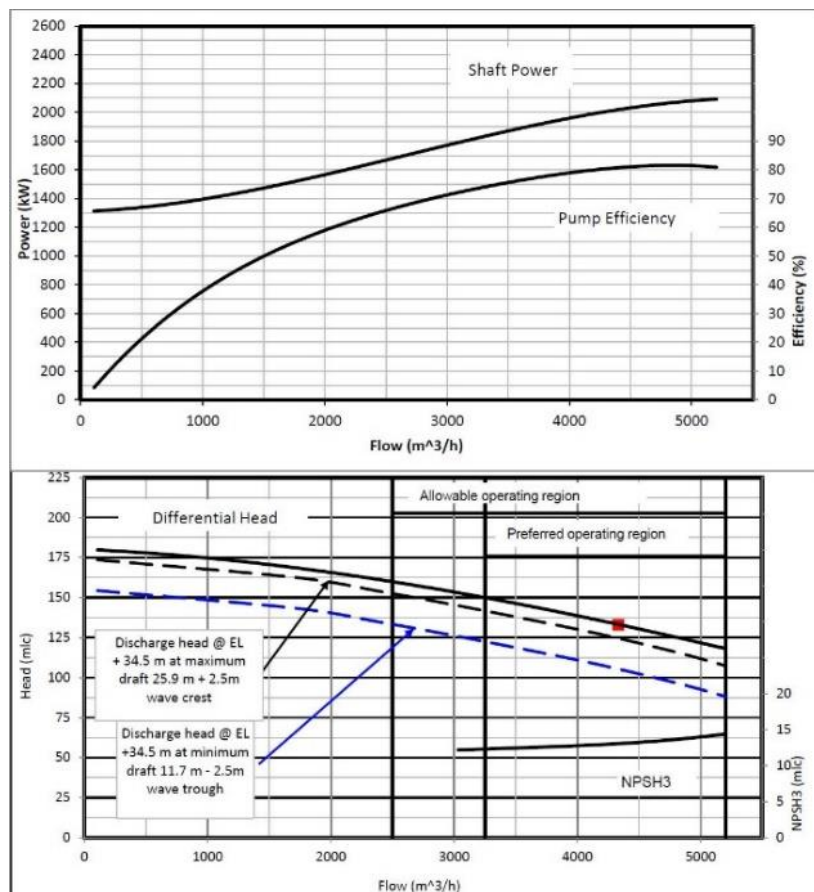


## 2.11 Pumpekurve

De karakteristiske verdiene for en pumpe er volumstrøm  $\dot{V}$ , målt i kubikkmeter per time ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) og løftehøyden  $H$ , målt i meter væskeøyde (mlc). Disse verdiene angir det væskevolumet pumpen transporterer per tidsenhet i forhold til høyden væsken blir løftet.

Figur 13 viser pumpekurven til en SE-400 pumpe. På øverste grafen kan man lese av effekt i kilowatt (kW) på y-aksen og volumstrøm på x-aksen. Effektkurven for pumpa viser at effekten øker når volumstrømmen øker. Grafen viser også hvordan pumpens virkningsgrad endrer seg, og kan avleses på y-aksen til høyre. Denne kurven viser at virkningsgraden øker når volumstrømmen øker.

På den nederste grafen kan volumstrøm avleses på x-aksen og løftehøyde på y-aksen. Den heltrukkede linjen viser at løftehøyden vil øke når volumstrømmen minker. Den røde prikken indikerer det optimale driftspunktet. Grafen viser også NPSH som er målt i mlc. Kurven viser hvilke NPSH som er nødvendig for å hindre kavitasjon.



Figur 13 - Pumpekurve SE400 pumpe [7]

## 2.12 Material

Materialene som blir brukt i oppgaven og deres egenskaper vil bli presenter i dette kapittelet.

### 2.12.1 Rustfritt stål – Super Duplex

25 Cr Duplex, ofte kalt Super Duplex, er et rustfritt kvalitetsstål som inneholder 25 % krom, 6-8 % nikkel og 2,5-3 % molybden. Det er kjent for sin høye styrke, korrosjonsbestandighet og er designet for bruk i maritim industri. Det som skiller 25 Cr Duplex fra standard duplekskvaliteter er at det har et høyere innhold av molybden og krom som gjør at materialet er mer korrosjonsbestandig. I forhold til bruksområdet til Suction Coveret, er det ikke funnet noen ulemper ved bruk av dette materialet. Fordelene til materialet er listet opp under, og egenskapene vises i . [12]

#### Fordeler:

- Motstandsdyktigheten mot groper, erosjon, spaltekorrosjon og korrosjonsutmattelsen er meget høy
- Motstand mot spenningskorrosjon i kloridmiljøer er utmerket
- Høy motstand mot generell korrosjon i syrer
- Svært høy mekanisk styrke
- God sveisbarhet. Fester seg lett både til samme og andre materialer
- Høy varmeledningsevne
- Lav koeffisient for termisk ekspansjon

EGENSKAP	VERDI	ENHET
STREKKFASTHET	800	MPa
FLYTEGRENSE	550	MPa
FORLENGELSE	15	%
YOUNG'S MODULUS	200 000	MPa
POISSONS RATIO	0,27	
DENSITY	7800	kg/m <sup>3</sup>

Tabell 1 - Egenskaper for 25 Cr Duplex [12]

### 2.12.2 Plast

PA 6 G er et plastmateriale som blir produsert ved direkte polymerisering i former og har en delvis krystallinsk struktur. Støpeprosessen gir mulighet for å produsere de fleste former, og reduserer materialavfall og maskineringstid. Det har utmerket mekaniske egenskaper, som høy slitestyrke og god hardhet og stivhet på grunn av den høye krystalliniteten. Den kan bli produsert i fargene natur, svart og blå. Dette materialet blir ofte brukt til skiver, tannhjul, lagre, plater og generelt i industrien. Det er ikke funnet noen ulemper ved bruk av dette materialet i forhold til bruksområde. Fordelene til materialet er listet opp under og egenskapene kan sees i Tabell 2. [13]

**Fordeler:**

- Gode mekaniske egenskaper
- God kjemisk bestandighet
- Slagfastheten er god
- Høy slitestyrke
- Lang levetid
- Allsidig produkt
- Gode maskineringsegenskaper

EGENSKAP	VERDI	ENHET
STREKKFASTHET	75	MPa
FORLENGELSE	45	%
YOUNG'S MODULUS	3100	MPa
POISSONS RATIO	0,38	
DENSITY	1150	kg/m <sup>3</sup>

*Tabell 2 - Egenskaper for PA 6 G plast [14]*

**2.12.3 Konstruksjonsstål**

ST 52-3U er et lavkarbon konstruksjonsstål som er lett sveisbart og har god slagseighet. Dette materialet blir ofte levert ubehandlet eller i normalisert tilstand. Stålet har god mekanisk styrke, duktilitet og flytegrense. Vanlige bruksområder for stålet er i konstruksjoner, togbaner og tanker. En stor ulempe med ST52-3U er at det ikke er korrosjonsbestandig, og må dermed males dersom det skal være i fuktig klima. Fordelene til materialet er listet opp under og egenskapene er vist i Tabell 3. Dette materialet blir kun brukt til sammenligning i styrketesting i dette prosjektet. [15]

**Fordeler:**

- Mekanisk styrke
- Lett sveisbart
- Gode termiske egenskaper
- Duktilt

EGENSKAP	VERDI	ENHET
STREKKFASTHET	520	MPa
FLYTEGRENSE	355	MPa
FORLENGELSE	21	%
YOUNG'S MODULUS	206	GPa
POISSONS RATIO	0,3	
DENSITY	7850	kg/m <sup>3</sup>

*Tabell 3 - Egenskaper for ST 52-3U [16]*

### 2.13 Stykkliste

For at FRAMO skal ha oversikt over alle enkeltdeler i et prosjekt, og hvilke operasjoner disse inngår i, brukes dataprogrammet Multiplus. Programmet har en stamdatamodul, som også blir kalt stykkliste. Her kan en registrere/bygge stykkliste og forkalkulere materialkost og materialbehov. Det blir også lagt inn reservasjoner til en produksjonsordre.

Stykklistemodulen knytter sammen stykkliste og operasjoner. Den er bygget opp av nivåer som er basert på produksjonsprosessen. I Multiplus kan den bestå av maks 20 nivåer. Første prosessen i produksjonen vil være det nederste nivået, og det øverste nivået vil være ferdig produkt.

I en stykkliste får man informasjon om nivået, artikkelnummer, artikkelbeskrivelse, material, dimensjon, antall, varegruppe, posisjon og enhet. Alle komponenter har et unikt nummer, dette kalles artikkelnummer. I stykklisten blir alle nivåene lagt i en varegruppe, som beskriver hvilken operasjonsprosess som skal utføres. I Tabell 4 defineres varegruppene. [7]

VAREGRUPPE	DEFINISJON
210	PLATER - HØYLEGERT SYREFAST
410	EGENPRODUSERTE DELER - MASKINERING
420	EGENPRODUSERTE DELER - SVEIS
450	EGENPRODUSERTE DELER - SAMMENSATT
510	FESTEELEMENT - HØYLEGERT SYREFAST
691	INNKJØP - ETTER VÅR SPESIFIKASJON MASKINERING

Tabell 4 - Definisjon på varegruppe [7]

### 2.14 Teknologi for 3D-printing

I dette kapittelet vil det bli presentert tre forskjellige teknologimetoder for 3D-printing. De forskjellige metodene DLMS/SLM, LENS og EBAM, og de vil bli forklart nærmere her.

#### SLM/DMLS

DMLS står for *Direct metal laser sintering*, og er en industriell 3D-printing metode som lager funksjonelle deler i metall. Ut fra en tredimensjonal dataassistert konstruksjon (CAD) modell blir det produsert et ferdig produkt. Et lag med metallpulver blir fordelt utover, og DMLS maskinen starter sintringsprosessen ved at en laser mikrosveiser pulveret sammen. Dette repeteres frem til en har en ferdig komponent.

SLM som står for *Selective laser melting* og har store likhetstrekk til DMLS. I begge prosessene blir det brukt metallpulver, laser som smelter metallpartiklene og alle de andre interne prosessene blir gjort på samme måte. SLM prosessen varmer metallpulveret til det smelter. DMLS derimot, smelter ikke metallet og derfor bruker denne prosessen mindre energi. Det som i hovedsak skiller disse to er temperaturen som produseres ved overflaten til metallpulveret. SLM krever høyere temperaturer og derfor fungerer den best på rene metaller, DMLS derimot fungerer best på metalllegeringer. [17]

## **LENS**

Lens-systemet bruker en kraftig laser på det pulveriserte metallet for å lage en solid struktur ut fra en tredimensjonal CAD modell. Delen blir konstruert lag for lag, og blir overvåket av en programvare som kontrollerer at viktige parametere blir overholdt. For å unngå urenheter under prosessen, blir kammeret fylt med argon gass. Metallpulveret tilføres prosessen av et pulverforingssystem, som gjør at man kan tilsette små mengder pulver veldig presist. [18]

## **EBAM**

EBAM står for "Electron Beam Additive Manufacturing", og lager en komponent ut fra en tredimensjonal modell fra et CAD-program. Det blir brukt en elektrostråle pistol som avlegger metall lag for lag frem til delen er ferdig. Ved denne prosessen må komponenten maskineres etter printing. Dette er en rask og kostnadseffektiv produksjonsmetode som produserer store metaldeler av høy kvalitet. Det er mulig å kombinere flere forskjellige metall-legeringer i et smeltebad for å lage en ønsket legering. [19]

### 3 Utvikling av nytt design

Dette kapittelet presenterer hvilke metoder som kan benyttes for å løse problemstillingen. Det blir samlet kvalitative data gjennom intervju med fagkyndige personer på FRAMO, bedriftsbesøk og innholdsanalyser av forskjellige typer oppslagsverk. Det blir samlet kvantitative data gjennom simuleringer i Ansys og beregninger for hånd.

#### 3.1 Designkrav

FRAMO stiller ulike krav til design av Suction Cover. Det må produseres i et materiale som tåler å stå i sjøvann. Ved innløpet må Bellmouth-designet beholdes, for å oppnå mest mulig laminær strømning. Suction coveret må tåle pumpens egenvekt med en sikkerhetsfaktor på 1,5. Det er også viktig at suge- og diffusordiameter er fleksibel, da størrelsen på impeller kan variere fra hver pumpe. I tillegg er det ønsket å kunne produsere det nye suction coveret hos FRAMO. [7]

#### 3.2 Forberedelser

Vi vil komme med et forslag til et nytt design som gjør det mulig å produsere Suction Cover hos FRAMO. Det blir tatt utgangspunkt i en produksjonsmetode der det blir brukt maskiner som bedriften allerede har tilgjengelig. Gjennom et bedriftsbesøk får vi innblikk i hvilke maskiner som er egnet for vårt nye produkt og hvordan disse fungerer. Vi får også se pumpen i sin helhet og går gjennom viktige detaljer på Suction Cover som vi må ta med oss videre.

Det blir foretatt et besøk på Bergen Maritime sammen med veileder Svein Ole Opdahl, hvor sentrifugalpumpen, vist i Figur 14, blir testet. Pumpen blir drevet av en hydraulisk motor som gjør at vi får noen avvik ved utførelsen, men den gir oss likevel et innblikk i hvordan en sentrifugalpumpe fungerer. Testen blir utført for å få en bedre forståelse av hvordan kavitasjon, løftehøyde og en pumpekurve henger sammen. Gjennom testen blir det laget en pumpekurve ut fra verdier for løftehøyde og volumstrøm. Vi ser også på hvordan kavitasjon oppstår i systemet, og hvilke skader dette kan påføre maskindeler. På ig Figur 15 ser vi en impeller som har blitt utsatt for kavitasjon over lengre tid, det har ført til at det har blitt hull i skovlene. Dette er relevant for oss fordi det kan oppstå kavitasjon ved innløpet til pumpen, og designet til suction coveret påvirker effekten pumpen har. Disse faktorer er viktig å ta hensyn til for å utvikle et optimalt design.



Figur 14 - Sentrifugalpumpe med rig



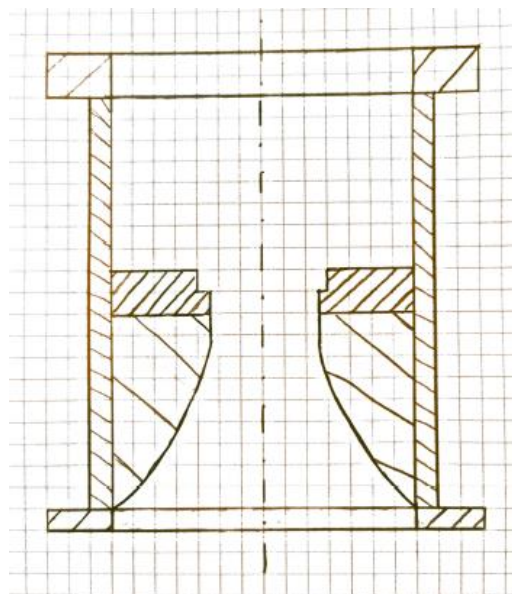
Figur 15 - Impeller utsatt for kavitasjon

### 3.3 Utvikling av hver enkelt del

Under utvikling av Suction Cover er det tatt hensyn til alle kravene som er satt. Hver enkelt del av produktet må undersøkes og beregnes før det settes sammen til en komponent. I tillegg er det lagt vekt på standardisering i forhold til produksjonsmetode, material og dimensjoner for å gjøre produksjonen rimeligere og mindre tidskrevende for FRAMO. Vi ønsker å beholde de målene og toleransene som er tilpasset resten av pumpen, for å unngå endringer andre komponenter.

Materialet som blir brukt på alle komponenter av stål er 25 Cr Duplex, da FRAMO bruker dette som standardmateriale for alt som er i direkte kontakt med sjøvann. På deler som ikke er av stål vil plastmaterialet PA 6 G bli brukt, da materiale har gode mekaniske egenskaper og lang levetid. I tillegg brukes det på andre komponenter til pumpen, og derfor standardisere vi dette.

Det vil bli gjort beregning på sveiser, bolter og styrke. De komponentene vi beholder uendret fra nåværende design har vi ikke sett noe grunn til å foreta beregninger av, da vi har tillit til FRAMO sitt arbeid. Det er en del av våre rammebetingelser.



Figur 16 - Skisse av nytt Suction Cover

Figur 16 viser en skisse av det nye designet, som vil bestå av et valset rør med to flenser i hver ende. Innvendig er det en flens med spor til en slitering, der denne detaljen er videreført fra nåværende design. Alle delene blir sveist sammen til en komponent og videre vil det bli maskinert ut detaljer som hull, spor og toleranser på komponenten. Til slutt vil det bli montert inn en plastaksel som er utformet med et Bellmouth-design. Denne blir festet med en låseplate skrudd til med gjengestenger og mutter. Videre vil hver enkelt del bli forklart nærmere.

#### **Flens mot diffusor**

Flens mot diffusor plasmabrennes ut fra 40 mm plate i 25 Cr Duplex, uten detaljer. Med tanke på at flensen er tilpasset og festet til diffusoren ønsker vi ikke å endre på diameter, styrekant og hull. Vi har endret på tykkelsen da komponenter som blir støpt ofte er tykkere enn nødvendig i forhold til styrken som kreves. For informasjon om målsetting, se tegning 596-342-3 i Vedlegg 4.

#### **Rør**

Røret brennes ut i laser av 10 mm plate i 25 Cr Duplex. Videre blir det valset til en sylindrisk form og plasmasveist i langsøm. Den vales på nytt etter sveising for å sikre at den sylindriske formen blir opprettholdt. For informasjon om målsetting, se tegning 596-341-2 i Vedlegg 4.



**Innvendig flens**

Flensen plasmabrennes ut fra 40 mm plate i 25 Cr Duplex, uten detaljer. For informasjon om målsetting, se tegning 596-343-3 i Vedlegg 4.

**Flens mot strainer**

Flens mot strainer laserbrennes ut fra 10 mm plate i 25 Cr Duplex, uten detaljer. Denne diameteren er tilpasset røret og dermed må flensen på straineren endres i forhold til denne for å kunne monteres på Suction Cover. For informasjon om målsetting, se tegning 596-345-3 i Vedlegg 4.

**Bellmouth-design**

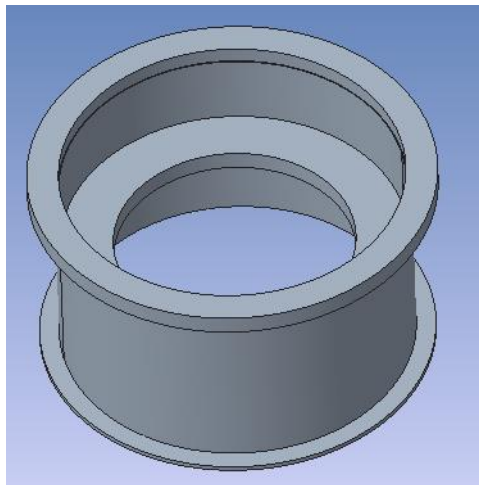
Denne delen blir kjøpt fra en leverandør med ferdig utformet Bellmouth i plastmaterialet PA 6 G. For informasjon om målsetting og utforming, se tegning 596-339-2 i Vedlegg 4.

**Låseplate for Bellmouth-design**

Låseplaten laserbrennes ut fra 10 mm plate i 25 Cr Duplex, uten detaljer. For informasjon om målsetting se tegning 596-340-2 i Vedlegg 4.

**3.4 Sveising**

I denne prosessen skal flens mot diffusor, rør, innvendig flens og flens mot strainer sveises sammen til en komponent, som vist i Figur 17. Posisjon og sveisemetode til hver del som skal sveises kan sees i tegning 596-338-2 i Vedlegg 3. Etter at komponenten er ferdig sveist, må det gjennomføres *Non Destructive Testing*, NDT, som er en ikke ødeleggende metode for å undersøke feil og svakheter i sveisen.



Figur 17 - Suction Cover ferdig sveist

**3.4.1 Beregning av sveis**

Det blir gjort beregninger på sveisene for å kontrollere at de tåler de spenningene som oppstår. Gjennom beregningene kommer vi frem til hvilke a-mål hver sveis krever. Her er det også tatt høyde for standardisering når det gjelder valg av a-mål. Grunnlaget for beregninger under er formlene hentet fra boken *Konstruksjonsteknikk*. [20]



### Kilsveis på flenser

For å beregne jamføringsspenninger i en sveis bruker vi formelen:

$$\sigma_j = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1\sigma_2 + 3\tau_1^2 + 3\tau_2^2} \quad (9)$$

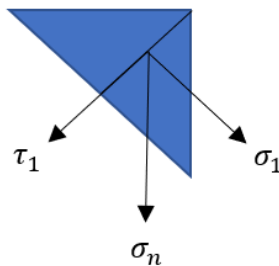
Siden flens mot diffusor og flens mot strainer blir utsatt for en trykkraft på grunn av pumpens egenvekt, vil det oppstå normalspenning i sveisen. Vi kan se vekk fra bøyesspenninger siden flensene ikke er utsatt for bøyemoment. Dermed kan formelen for jamføringsspenninger forkortes til:

$$\sigma_j = \sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau_1^2} \quad (10)$$

Den ytre kraften  $F$  danner en nominell spenning i sveisen  $\sigma_n$ . I Figur 18 blir den dekomponert i en normalspenning  $\sigma_1$  som virker vinkelrett på a-målet og en skjærspenning  $\tau_1$  som virker parallelt på sveisens a-mål. Grunnet symmetri blir:

$$\sigma_1 = \sigma_n \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \quad (11)$$

$$\tau_1 = \sigma_n \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \quad (12)$$



Figur 18 - Dekomponerte spenninger

Ut fra figuren får vi:

$$\sigma_n = \sigma_1 \cdot \cos 45 + \tau_1 \cdot \cos 45 = \sigma_1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} + \tau_1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \quad (13)$$

Siden  $\sigma_1 = \tau_1$  blir:

$$\sigma_n = 2 \cdot \sigma_1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = \sqrt{2} \cdot \sigma_1 \quad (14)$$

Jamføringsspenningen i sveisen blir da:

$$\sigma_j = \sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau_1^2} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_n}{\sqrt{2}}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{\sigma_n}{\sqrt{2}}\right)^2} = \sqrt{4 \cdot \frac{\sigma_n^2}{2}} = \sqrt{2} \cdot \sigma_n \quad (15)$$

Normalspenninger i sveis kan regnes ut fra formelen:

$$\sigma_n = \frac{F}{a \cdot l} \quad (16)$$

For å regne ut effektiv lengde av sveisen brukes:

$$l = L - 2 \cdot a \quad (17)$$

Da får vi at formel for a-mål blir:

$$a = \frac{\sqrt{2} \cdot F}{\sigma_n \cdot l} \quad (18)$$

### Buttsveis på flenser, V-fuge

Her blir flensene utsatt for samme trykkraft som ved beregning av kilsveisene, og dermed kan vi beregne jamføringsspenningene på samme måte, ved bruk av Formel 10.

Dekomponerte krefter som virker normalt på sveiseretning kan uttrykkes som:

$$\tau_1 = \sigma_1 = \frac{F}{a \cdot l} \quad (19)$$

Ut fra dette får vi at jamføringsspenningene blir:

$$\sigma_j = 2 \cdot \sigma_1 = \frac{2 \cdot F}{a \cdot l} \quad (20)$$

Ved å snu på formelen vil a-målet regnes ut slik:

$$a = \frac{2F}{\sigma_j \cdot l} \quad (21)$$

### Buttsveis på langsøm, V-fuge

Røret blir utsatt for trykkraft på grunn av pumpens egenvekt, dermed vil det oppstå normalspenninger i sveisen. Det kan sees vekk i fra bøyespenninger da det ikke oppstår et bøyemoment i røret. Jamføringsspenningene i sveisen kan da uttrykkes som:

$$\sigma_j = \sqrt{\sigma_2^2 + 3\tau_2^2} \quad (22)$$

Dekomponerte krefter som virker parallelt med lengderetning kan uttrykkes som:

$$\tau_2 = \sigma_2 = \frac{F}{t \cdot l} \quad (23)$$

Da får vi at jamføringspenningene blir:

$$\sigma_j = 2 \cdot \sigma_2 = \frac{2 \cdot F}{t \cdot l} \quad (24)$$

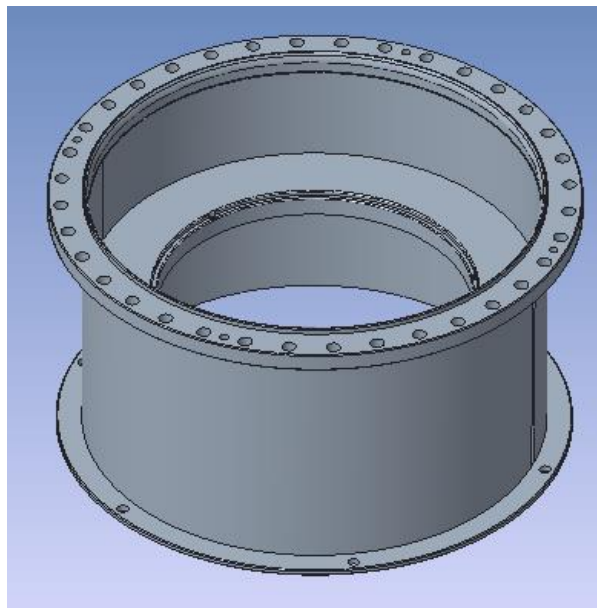
Ved to like platetykkelser blir a-målet lik platetykkelsen:

$$a = t \quad (25)$$

### 3.5 Maskinering

Det må maskineres detaljer etter at komponenten er ferdig sveist. Da vil hull, styrekant og spor til slitering maskineres likt som nåværende design for å tilpasses til pumpen. Det må tas hensyn til størrelse- og geometriske toleranser. Disse må maskineres i samme oppspenning og med samme referansepunkt, som er utvendig diameter på styrekant og plan mot diffusor.

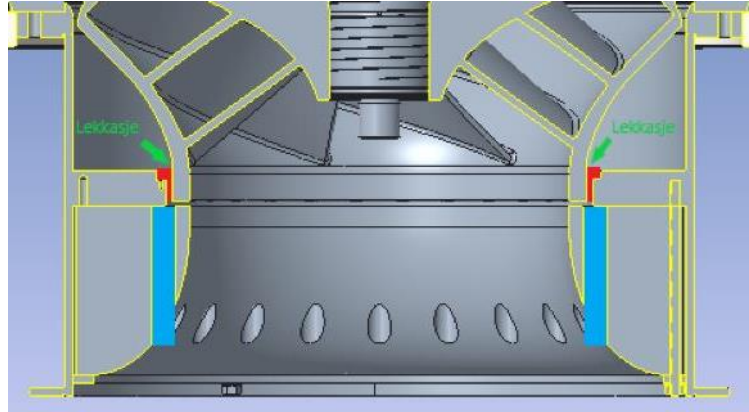
I det nye designet må det dimensjoneres og maskineres hull til lekkasje. Det må gjenges hull til gjengestang på undersiden av innvendig flens. Beregninger av dimensjon av gjengestang blir gjort i kapittel 6.5. Plassering av hull og andre maskineringsdetaljer kan sees på tegning 596-336-1 i Vedlegg 1. Et ferdig maskinert Suction Cover vises i Figur 19.



Figur 19 - Ferdig maskinert Suction Cover

### 3.5.1 Dimensjonering av lekkasjehull

Det vil oppstå en vannlekkasje over slitering og det må derfor ta høyde for det under utvikling av design. Lekkasken kan ikke blokkeres, men må ledes ut av pumpen. For å få dette til vil lekkasken gå gjennom borehull i Bellmouth og ned til innsug, som illustrert i Figur 20. Sliteringen er markert rødt, borehull i blått og grønt viser hvor lekkasken oppstår. Hullene må plasseres i senter av lekkasjepunktet. FRAMO har oppgitt at lekkasken vil ha en volumstrøm på ca. 80 m<sup>3</sup>/h. Ut fra dette kan vi beregne nødvendig diameter på hull.



Figur 20 - Illustrasjon av lekkasjehull

Hastigheten til vannet ut vil være konstant, derfor kan vi bruke denne formelen for å finne hastigheten:

$$v = \sqrt{2} \cdot g \cdot h \quad (26)$$

Arealet på tverrsnittet av hullet får vi fra formel:

$$A_{hull} = \pi r^2 \quad (27)$$

Volumstrøm kan beregnes med formelen:

$$Q = Av = \pi r v \quad (28)$$

Setter vi formelen for areal og volumstrøm sammen, får vi at formelen for radiusen til hullet vil være:

$$r = \sqrt{\frac{Q}{\pi v}} \quad (29)$$

Ved beregning får vi et tall på hva det totale hullarealet må være for å ta unna lekkasken. Det må også tas hensyn til hulrom mellom Bellmouth og impeller. Arealet til hulrommet må være mindre enn det totale hullarealet slik at lekkasken velger den letteste veien ut. FRAMO har satt en sikkerhetsfaktor på 1,5. Dermed må det gjøres en sammenligning av totalarealet beregnet fra volumstrøm,  $A_{hull}$ , og arealet i hulrommet,  $A_{hulrom}$ , for å finne den optimale dimensjonen og antall hull som kreves. [7]

Arealet for hulrom mellom Bellmouth og impeller kan beregnes slik:

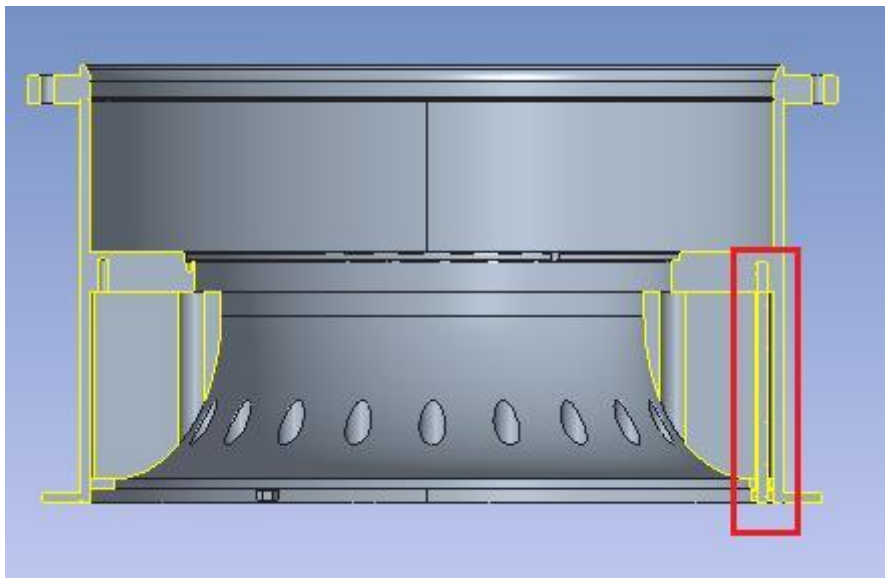
$$A_{hulrom} = 2\pi r h \quad (30)$$

Med sikkerhetsfaktor 1,5 kreves det at:

$$A_{hull} > 1,5 \cdot A_{hulrom} \quad (31)$$

### 3.5.2 Dimensjonering av gjengestang

For å feste Bellmouth-designet vil det bli brukt gjengestenger som går gjennom låseplaten, Bellmouth og blir skrudd opp i innvendig ring, dette vises i Figur 21, markert i rødt. Gjengestangen vil være i direkte kontakt med sjøvann og skal derfor lages i 25 Cr Duplex. Sikkerhetsfaktor for varig deformasjon av gjengestangen er satt til 2.



Figur 21 - Bellmouth design montert med gjengestenger i Suction Cover

For å beregne tillatt spenning i gjengestangen, brukes formelen:

$$\sigma_{tillatt-gjengestang} = \frac{\sigma_{flyt}}{SF} \quad (32)$$

Ved utgangspunkt i lasten og jamføringspenningene hvor vi får med strekk- og vrispenning, kan det utledes et uttrykk hvor både skruens strekkraft og tillatt spenning blir brukt til å estimere skruedimensjon:

$$\frac{F}{\sigma_{tillatt}} \quad (33)$$

For å beregne kraften, F, må vi beregne egenvekten til platene som skrueforbindelsen skal holde på plass.

For å beregne massen må volumet av delene først beregnes, ved bruk av formelen:

$$V = (A_{YD} - A_{ID}) \cdot h \quad (34)$$

Deretter finner man massen til de ulike delene ved formelen:

$$m = d \cdot V \quad (35)$$

Til å beregne kraften som virker på gjengestangen brukes Newtons 2. lov:

$$F = m \cdot g \quad (36)$$

Ved beregning av kraften må massen til Bellmouth og låseplate tas med:

$$F = g \cdot (m_{\text{Bellmouth}} + m_{\text{låseplate}}) \quad (37)$$

Når vi har beregnet et estimat for hvilken dimensjon som skal bli brukt, må det sjekkes om strekk- og skjærspenninger er lavere enn tillatte spenninger.

Gjengestangen blir utsatt for en strekkraft, og får dermed en strekkspenning lik:

$$\sigma = \frac{F}{A_s} \quad (38)$$

For å finne spenningsarealet brukes:

$$A_s = \frac{\pi \cdot (d_2 + d_3)^2}{4 \cdot 2} \quad (39)$$

Skjærspenningene oppstår på grunn av et vrimoment og beregnes ut fra formelen:

$$\tau = \frac{M_v}{\frac{\pi \cdot d_3^2}{16}} \quad (40)$$

For å finne vrimomentet brukes:

$$M_v = F \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \tan(\alpha + \varepsilon) \quad (41)$$

Stigningsvinkelen baseres på midlere diameter og beregnes slik:

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{P}{\pi \cdot d^2}\right) \quad (42)$$

Friksjonsvinkelen beregnes i grader og uttrykkes ved:

$$\varepsilon = \tan^{-1} \left( \frac{\mu}{\cos \beta} \right) \quad (43)$$

Til slutt brukes strekk- og skjærspenningene til å beregne jamføringsspenninger i gjengestangen:

$$\sigma_j = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \quad (44)$$

Det må kontrolleres at jamføringsspenningene er lavere enn tillatt spenning for at denne dimensjonen kan brukes:

$$\sigma_j < \sigma_{tillatt} \quad (45)$$

### 3.6 Bellmouth utforming

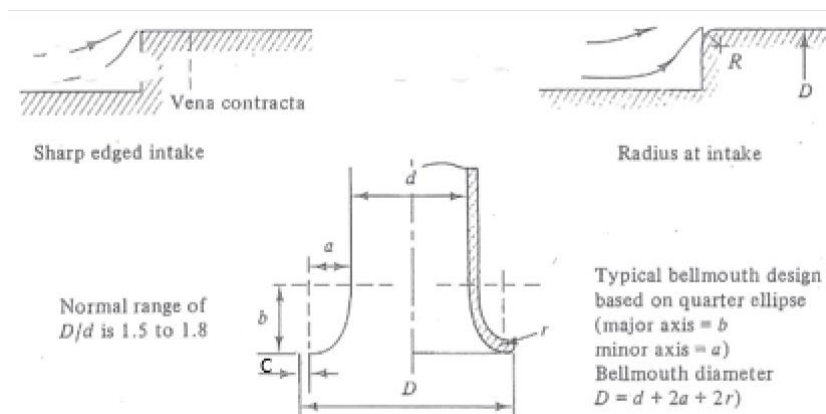
Som nevnt i kapittel 3.3 blir Bellmouth utformet hos en leverandør etter FRAMO spesifikasjoner. Det blir bestemt at mål som påvirker strømmingen beholdes, da FRAMO har utført beregninger på dette med tanke på laminær strømming, kavitasjon og pumpekaraktistikk. I Figur 22 vises viktige mål og formler for beregning av Bellmouth-formen. Mål som beholdes fra nåværende design er  $a_{Bellmouth}$ ,  $b$  og  $d$ . For å tilpasse formen til det nye designet, må det gjøres nye beregninger for  $D$  og  $c$ .

Fra Figur 22 velges en faktor for å tilpasse de nåværende målene:

$$\frac{D}{d} = 1,595 \quad (46)$$

$c$  beregnes ut fra formelen:

$$c = \frac{D - d - 2a_{Bellmouth}}{2} \quad (47)$$



Figur 22 - Beregning av Bellmouth [7]

### 3.7 Montering

Komponenten blir sandblåst, beiset og malt før Bellmouth blir montert for å få en optimal maleprosess. Under monteringsprosessen vil Bellmouth festes til suction coveret ved hjelp av gjengestenger og en låseplate i bunn. Gjengestengene blir skrudd opp i innvendig ring og festet med LOCTITE 2701. Låseplaten blir skrudd til med en skive og mutter festet med LOCTITE 243. Loctite er et gjengelåsemiddel som brukes ved festing av skruer, muttere og pinnebolter. I tillegg skal gjengene klinkes etter at mutter er skrudd til. Dette er en metode som blir brukt for å ødelegge gjengene, slik at det ikke er mulig for mutter å løsne. Monteringstegning 596-337-2 i Vedlegg 2.

### 3.8 3D-modellering og styrkeberegning

3D-modelleringsprogram blir brukt til å lage en modell av designet, som brukes for å lage tegninger. Det blir lagd maskineringsstegninger, sveisetegninger og tegninger av hver enkelt del. En brennemal blir lagt ved på tegningene av de delene som skal laserbrennes eller plasmaskjæres. Grunnen til at det blir laget en brennemal er at produksjonen overfører filen rett til maskinen, hvor den blir lest av og programmerer seg selv. Dette fører til en mer effektiv prosess.

Under studiene har vi fått opplæring i Creo Parametric, og derfor vil dette programmet bli brukt under utviklingen av det nye designet. Det blir laget skisser for hånd før 3D-modelleringen, og med utgangspunkt i samtaler med erfarne fagfolk kan vi gjøre gode antagelser og grovberegning av dimensjoner og styrke. Bruk av Creo gjør det enkelt å endre designet underveis i utviklingsprosessen.

Modellen vil også bli brukt til styrkeberegning i Ansys Workbench. Det er et simuleringsprogram som gjør det mulig å utføre strukturelle mekaniske analyser og teste modellen for kreftene den vil bli utsatt for. I Ansys er det mulig å innhente en sammensatt Creo-fil. Simuleringen fungerer slik at det settes på krefter og andre grensebetingelser på modellen, i tillegg til at det bestemmes hvilke materialer de ulike komponentene har. Når simuleringen er utført vil resultatet vise et spenningsbilde, samt total deformasjon av komponenten.

#### 3.8.1 Analyse av Suction Cover

Ved simulering av suction coveret i Ansys blir det brukt tre forskjellige metoder for å få det mest nøyaktige resultatet. For at programmet skal klare simuleringen, blir det laget en forenklet modell. Derfor brukes sveisemodellen, da det er disse delene av designet som bærer pumpens vekt. Felles for de ulike metodene er grensebetingelsene som blir satt. Det blir brukt fixed support på undersiden av flens mot strainer, fordi denne flaten vil være fast mot gulvet under montering. En kraft settes på flens mot diffusor, da denne bærer pumpens vekt. Kraften beregnes ut fra pumpens egenvekt multiplisert med tyngdeakselerasjon, deretter multipliseres kraften med en sikkerhetsfaktor på 1,5. Dette er et krav satt av bedriften og tas opp i kapittel 3.1. Resultatet av simuleringen vil vise total deformasjon og Equivalent von-Mises Stress. Equivalent von-Mises Stress forteller om komponenten vil tåle spenningene som oppstår i materialet eller om det vil gi etter.

#### Ending av elementstørrelse

Endring av elementstørrelse er den første simuleringsmetoden som blir utført. Elementstørrelsen er størrelsen på arealet det blir tatt utgangspunkt i ved beregning av styrke og deformasjon. Jo mindre elementstørrelsen blir, desto mer nøyaktige beregninger får vi. Størrelsene som blir simulert er 10 mm, 8 mm og 6 mm.



### Forskjellige materialer

Den andre metoden går ut på å teste komponenten i forskjellige materialer. Metoden brukes som en sikkerhet for å kontrollere at simuleringen er rett gjennomført og at riktig data er satt inn. I testen brukes materialet ST52-3U for å sammenligne resultatet fra 25 Cr Duplex med 10 mm elementstørrelse. Egenskapene til materialene vises i Tabell 5 og Tabell 6.

A	B	C
Property	Value	Unit
Material Field Variables	Table	
Density	7850	kg m <sup>-3</sup>
Isotropic Elasticity		
Derive from	Youn...	
Young's Modulus	2,1E+05	MPa
Poisson's Ratio	0,3	
Bulk Modulus	1,75E+11	Pa
Shear Modulus	8,0769E+10	Pa
Tensile Yield Strength	310	MPa
Tensile Ultimate Strength	520	MPa

Tabell 5 - Materialeegenskaper til 25 Cr Duplex [12]

	A	B	C
	Property	Value	Unit
1	Material Field Variables	Table	
2	Density	7850	kg m <sup>-3</sup>
3	Isotropic Elasticity		
4	Derive from	Young...	
5	Young's Modulus	2,06E+05	MPa
6	Poisson's Ratio	0,3	
7	Bulk Modulus	1,7167E+11	Pa
8	Shear Modulus	7,9231E+10	Pa
9	Tensile Yield Strength	355	MPa
10	Tensile Ultimate Strength	520	MPa
11			

Tabell 6 - Materialeegenskaper til ST52 [21]

### Symmetri

For å utføre den tredje metoden for simulering blir komponenten delt opp i flere symmetriplan. Dette gjøres for at elementstørrelsen kan reduseres. Det kan oppstå feilkoder og resultatene kan bli unøyaktig, dersom det blir brukt for liten elementstørrelse på store deler med mye detaljer. Ved å bruke symmetriplan blir resultatene mer nøyaktig, og denne metoden vil gi de beste resultatene.

#### 3.8.2 Analyse av gjengestang

For å kontrollere at gjengestangen er dimensjonert riktig, utføres det en simulering av den. Det blir laget en forenklet modell av hvordan gjengestangen blir festet. Den blir utsatt for en forspenningskraft på 608,2 N som er beregnet for hånd i kapittel 6.5.1. Det brukes fixed support på den delen som er sveist fast. Gjengestangen er laget i materialet 25 Cr Duplex og elementstørrelsen er satt til 5 mm, noe som vil gi et nøyaktig nok resultat for denne simuleringen.

### 3.9 Prissammenligning av nåværende og nytt design

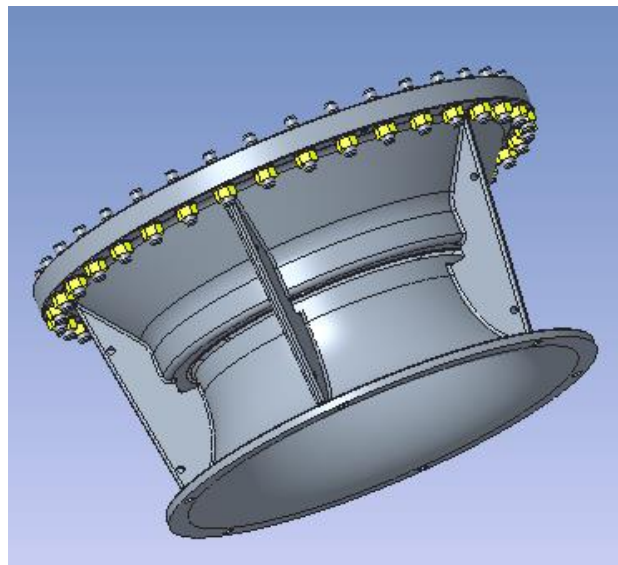
For å beregne pris på det nåværende designet blir kostnadene for støpt form og komponent fra leverandør tatt med. Det må også tas hensyn til produksjonskostnaden for det arbeidet som blir gjort hos FRAMO. Her regnes det på produksjonstid, ressursforbruk og lønn.

Ved beregning av det nye designet blir produksjonstid, ressursforbruk, lønn, materialkost og leverandørkost tatt med. For å se om produksjonen av det nye designet lønner seg, blir det gjort en sammenligning av total kostnaden til de to ulike suction coverene.

## 4 3D-printing som en alternativ produksjonsmetode

Som en alternativ produksjonsmetode av Suction Cover vil vi se på 3D-printing som en mulighet. 3D-printing er en additiv tilvirkningsmetode som ble utviklet i 1983 av ingeniøren Chuck Hull. Det er en metode som bygger tredimensjonale modeller ved å legge materialet lag på lag. Produksjonsmetoden kan erstatte de tradisjonelle formene for produksjon som maskinering, valsing, knekking, støping, sveising osv. 3D-printing gjør det mulig å produsere komponenter med en indre og ytre geometrisk kompleksitet som ikke har vært mulig å produsere med de tradisjonelle produksjonsmetodene. Flere materialer kan brukes i additiv tilvirkning som polymerer og plaststoffer, legeringer, keramer, metaller og flere andre. I dette prosjektet skal bruken av metaller i 3D-printing undersøkes. 3D-printede komponenter har høyere styrke og hardhet, og er ofte mer fleksible enn komponenter som er fremstilt ved en tradisjonell metode. De er derimot utsatt for mer utmattelse. [22]

For valg av 3D-printer som egner seg til produksjonen, tas det hensyn til krav og egenskaper til Suction Cover, 3D-printer og materiale. Ved bruk av 3D-printing som produksjonsmetode vil vi kunne bruke det nåværende designet, vist i Figur 23.



Figur 23 - Nåværende design av Suction Cover

#### 4.1 Krav til Suction Cover

- Må ha samme eller bedre kvalitet enn nåværende Suction Cover
- Må tåle pumpens egenvekt med en sikkerhetsfaktor på 1,5
- Må kunne maskineres etter 3D-printing for å få nøyaktige pasninger og geometriske toleranser
- Må beholde Bellmouth-formen
- Overflaten må være fin slik at det ikke oppstår turbulent strømning. Krav om laminær strømning

#### 4.2 Krav til 3D-printer

- Må ha et byggevolum større enn 454 x 840 mm
- Må kunne printe materiale som har høy styrke og er korrosjonsbestandig
- Må ha kort produksjonstid, slik at det lønner seg i forhold til nåværende produksjonsmetode
- 3D-printing som metode må ha være lønnsomt sikt
- Må printe god nok overflatekvalitet

#### 4.3 Rangering av egenskapene

I Tabell 7 blir egenskaper til Suction Cover rangert. Den gir oversikt over hvilke egenskaper som må tas hensyn til under produksjon. Tallene for rangering er forklart under i Figur 24.



Figur 24 - Rangering av tall

Egenskap	Rangering	Begrunnelse
Styrke	5	Må tåle vektkrav
Nøyaktighet	3	Skal finmaskinere pasninger og andre viktige toleranser
Fin overflate	4	Vil unngå å finmaskinere hele Suction Cover. Fin overflate er også viktig i forhold til laminær strømning inn til impeller
Korrosjonsbestandig	5	Skal stå i sjøvann, må derfor være korrosjonsbestandig

Tabell 7 - Egenskaper til Suction Cover

I Tabell 8 blir 3D-printeren sine egenskaper rangert. Den gir oversikt over hvilke egenskaper som er ønsket ved valg av 3D-printer.

Egenskap	Rangering	Begrunnelse
Pris	4	Lav pris er en veldig viktig faktor for å være konkurransedyktig på markedet
Kvalitet	5	Høy kvalitet er en meget viktig faktor for å ha et anerkjent og godt produkt
Tid	3	Det er viktig at produksjonstiden er kortere enn hva den er i dag
Materialmuligheter	5	Må være mulig å produsere ønsket materiale
Størrelse på 3D-printer	5	Må være plass til å produsere Suction Cover

Tabell 8 - 3D-printerens egenskaper

#### 4.4 Alternative metaller

De tre materialene som er vist i Tabell 9, er egnet for maritim industri og er mulig å 3D-printe. Som nevnt i kapittel 3.3 vil FRAMO standardisere bruk av materiale og ønsker derfor å bruke 25 Cr Duplex. Dette er et veldig korrosjonsbestandig og slitesterkt materiale, noe som er viktig.

Material	25 Cr Duplex	Inconel	Rustfritt stål 17-4 PH
<b>Beskrivelse</b>	50% ferritt og 50% austenitt	Nikkel, krom og molybdenlegering tilsatt niob	Martensitt, krom-nikkel-kobber utfellingsherdbart rustfritt stål
<b>Fordeler</b>	Sterkt, duktilt, veldig korrosjonsbestandig, kostnadseffektivt	Korrosjonsbestandig, Sterk ved høye temperaturer, oksidasjonsbestandig, stor krypmotstand, enkelt å 3D-printe	Gode sveise- og maskineringsegenskaper, gode mekaniske egenskaper, korrosjonsbestandig, kostnadseffektivt, enkelt å 3D-printe
<b>Ulemper</b>	Slagseigheten er dårlig ved lave temperaturer	Dyrt, vanskelig å maskinere, vanskelig å bearbeide	Når stor hardhet ikke er et krav, velges 300-serien fremfor denne grunnet materialkostnader
<b>Bruksområder</b>	Maritim industri	Sjøvanns-varmevekslere i raffinerier, kraftverk, maritim industri, gassturbiner	Maritim industri, turbin blader

Tabell 9 - Tre alternative materialer [12] [23] [24]

#### 4.5 Tre alternative 3D-printere

Det blir sett på tre ulike 3D-printere som kan egne seg til produksjon av Suction Cover. I Tabell 10 blir material, størrelse, pris, nøyaktighet og metode sammenlignet. Hver maskin bruker forskjellig teknologimetode og de er forklart i kapittel 2.14.

Basert på våre sammenligninger og krav, vil 3D-printeren Addcreator Adira egne seg best da den er rimeligst, mest nøyaktige og kan produsere komponenter i materialet 25 Cr Duplex.

Modell	Addcreator Adira	LENS CS 1500	SCIAKY'S EBAM 110
			
<b>Material</b>	Stainless steel, Maraging steel, Nickel based alloys	Inconel Alloys, Stainless Steels, Titanium alloys	Titanium alloys, Inconel 718, 625, 4130/4135 Steel, Stainless Steel (300 Series)
<b>Byggevolum</b>	1000 x 1000 x 500 mm	900 x 1500 x 900 mm	1778 x 1194 x 1600 mm
<b>Pris</b>	850 000 – 2 150 000 NOK	> 2 150 000 NOK	> 2 100 00 NOK
<b>Nøyaktighet</b>	± 0.05 mm	± 0.186 mm	
<b>Teknologi</b>	SLM/DMLS	LENS	EBAM

Tabell 10 - Sammenligning av 3 forskjellige 3D-printere [18] [25] [26]

### 5 Valg av produksjonsmetode

3D-printing som produksjonsmetode vil ikke bli undersøkt nærmere, da denne metoden er under utvikling og er mer fremtidsrettet. En annen stor faktor for å ikke velge denne metoden er at det blir en stor investering da maskinen ikke er tilgjengelig i bedriften.

Den mest dagsaktuelle produksjonsmetoden vil være å utvikle et nytt design som produseres i tilgjengelige maskiner i bedriften. Prosessen vil foregå slik som beskrevet i kapitler om sveis, maskinering og montering. Gjennom utviklingsprosessen av produktet vil det bli brukt verktøy som Creo og Ansys. Under vil resultatene fra disse analysene bli presentert.

## 6 Resultat

Vi har utført simuleringer og beregninger, og nå presenteres våre resultat på grunnlag av metodene som ble presentert i kapittel 3.1 til kapittel 3.9.

### 6.1 Kilsveis på flenser

Flenser i topp og bunn av røret, vil bli sveist på utsiden med kilsveis. Innvendig flens vil bli sveist både over og under med kilsveis. Sveisene er anvist på sveisetegning 596-338-2 i Vedlegg 3. Formler brukt i dette kapitlet er utledet i kapittel 3.4.1.

For kilsveiser stilles det krav til minimum og maksimum størrelse på a-mål:

$$3 \text{ mm} \leq a \leq \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \text{minste platetykkelse} \quad (48)$$

Det settes også krav til minimum lengde på sveisen:

$$l \geq \begin{cases} 40 \text{ mm} \\ 7 \cdot a \end{cases} \quad (49)$$

Tillatte spenninger beregnes med formelen:

$$\sigma_{\text{tillatt}} = 0,7 \cdot \sigma_{\text{flyt}} = 385 \text{ MPa}$$

Bruker Formel 17 for å finne effektiv lengde av sveisen:

$$l = 2 \cdot \pi \cdot \frac{730}{2} - 2 \cdot 4 = 2285 \text{ mm}$$

For å finne minimum a-mål brukes Formel 18:

$$a_{\text{min}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 8000 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2}{385 \text{ Mpa} \cdot 2285 \text{ mm}} = 0,126 \text{ mm}$$

Resultatet viser at minste a-målet som kreves ut fra spenningene er på 0,125mm. Ut fra Formel 48 er det et krav om at a-mål må være større eller lik 3 mm. FRAMO ønsker å standardisere a-mål på 4 mm dersom det lar seg gjøre, og siden dette samsvarer med beregningene velges et a-mål på 4 mm for kilsveisene.

## 6.2 Buttsveis på flenser

Flenser i topp og bunn vil bli sveist innvendig med buttsveis i en V-fuge.

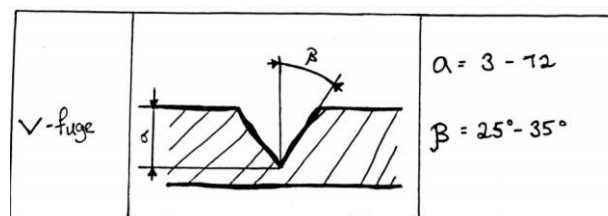
Det regnes ut tillatte spenninger:

$$\sigma_{tillatt} = 0,7 \cdot \sigma_{flyt} = 385 \text{ MPa}$$

For å regne ut minimum a-mål brukes Formel 21 i kapittel 3.4.1:

$$a_{min} = \frac{2 \cdot 8000 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2}{385 \text{ Mpa} \cdot 2285 \text{ mm}} = 0,178 \text{ mm}$$

Tabell 11 viser at a-mål må være minimum 3 mm og maksimum 12 mm, derfor velges det et a-mål på 4 mm for å standardisere. Det bestemmes også at vinkelen på fugen skal være 30°.



Tabell 11 - V-fuge

## 6.3 Buttsveis på langsøm

Langsøm vil bli plasmasveist etter at røret er valset. Den vil ha en V-fuge. Formler brukt i dette kapitlet er utledet i kapittel 3.4.1.

Det regnes ut tillatte spenninger for sveisen:

$$\sigma_{tillatt} = 0,7 \cdot \sigma_{flyt} = 385 \text{ Mpa}$$

For å finne jamføringspenningene i sveisen brukes Formel 24:

$$\sigma_j = \frac{2 \cdot 8000 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2}{10 \text{ mm} \cdot 419 \text{ mm}}$$

$$\sigma_j = 37,5 \text{ Mpa} \leq \sigma_{tillatt} \rightarrow OK$$

Det velges a-mål fra Formel 25:

$$a = t = 10 \text{ mm}$$

Resultatet viser at dersom a-målet har samme størrelse som platetykkelsen vil det være stort nok til å tåle de spenningene sveisen blir utsatt for. Dermed velges et a-mål på 10 mm.

## 6.4 Lekkasjeberegning

Det må dimensjoneres hull til lekkasje. Alle formlene brukt i dette kapittelet er utledet i kapittel 3.5.1. Vi beregner først hastigheten til vannet ved bruk av Formel 26:

$$v = \sqrt{2} \cdot 9.81 \frac{m}{s^2} \cdot 0,15 = 2,08 \text{ m/s}$$

Deretter kan radius til hullet beregnes ut fra Formel 29:

$$r = \sqrt{\frac{80 \frac{m^3}{h}}{\pi \cdot 2,08 \frac{m}{s}}} = 0,058 \text{ m} = 58 \text{ mm}$$

Fra beregningene vil dette bli et stort hull og derfor vil det være bedre å fordele det totale hullarealet utover flere mindre hull. Det vil være en fordel med tanke på å beholde styrken til Bellmouth og at vannstrøm som kommer inn heller skal velge minste motstands vei. I dette tilfellet vil det være inn til impeller. Som nevnt i kapittel 3.5.1, må det også kontrolleres at arealet på hulrommet mellom Bellmouth og impeller er mindre enn hullarealet, med en sikkerhetsfaktor på 1,5.

For å beregne arealet på hulrommet brukes Formel 30:

$$A_{hulrom} = 2\pi \cdot 240 \text{ mm} \cdot 5 \text{ mm} = 7539,82 \text{ mm}^2$$

Med en sikkerhetsfaktor på 1,5, blir resultatet:

$$A_{sikkerhet} = 1,5 \cdot 7539,82 \text{ mm}^2 = 11309,73 \text{ mm}^2$$

$$A_{hull} > A_{sikkerhet}$$

Ut fra beregningene med  $A_{sikkerhet}$  er det minste totalarealet man kan ha 11309,73 mm. For å beregne radius på hull, velges det at arealet blir fordelt på 20 hull. Minste arealet per hull blir da:

$$A_{hull} = \frac{11309,73}{20} = 565,49 \text{ mm}^2$$

Da kan man beregne minste tillatte radius med Formel 27:

$$r_{hull} = \sqrt{\frac{565,49}{\pi}} = 13,42 \text{ mm}^2$$



Resultatet viser at når man tar hensyn til både volumstrømberegningen og beregning på areal, må det totale hullarealet være 11309,73 mm<sup>2</sup> eller større. Minste tillatte radius blir da 13,42 mm dersom det fordeles på 20 hull. Vi velger å fordele det på 20 hull og runder opp til radius 13,5 mm.

## 6.5 Beregning av gjengestang

### 6.5.1 Håndberegning av gjengestang

Gjengestangen må dimensjoneres i forhold til at den skal kunne feste Bellmouth. Alle formlene i dette kapittelet er utledet i kapittel 3.5.2. Egenskapene til 25 Cr Duplex som brukes i beregningene er vist i Tabell 1 i kapittel 2.12.1, hvor strekkfastheten er 800 MPa og flytegrensen er 552 MPa. Tillatt spenning i gjengestangen beregnes ut fra Formel 32:

$$\sigma_{\text{tillatt-bolter}} = \frac{552 \text{ MPa}}{2} = 276 \text{ MPa}$$

For å finne kraften F må egenvekten til de ulike delene beregnes. I Tabell 12 blir det listet opp viktige faktorer for denne beregningen.

Materiale	Tetthet [d]	Innerdiameter [ID]	Ytterdiameter [YD]	Høyde [H]
PA 6 G	1,14 g/cm	420 mm	710 mm	40 mm
25 Cr Duplex	7785 kg/m <sup>3</sup>	660 mm	710 mm	10 mm

Tabell 12 - Viktige mål for beregning

Ved beregning av masse og volum av Bellmouth, blir det gjort en forenkling av denne. Det blir tatt utgangspunkt i at det er en aksel med hull i midten. Først blir volumet beregnet ut fra Formel 34:

$$V = (\pi \cdot 355^2 - \pi \cdot 210^2) \text{ mm}^2 \cdot 195 \text{ mm}$$

$$V_{\text{Bellmouth}} = 50188120,7 \text{ mm}^3 = 50188,1 \text{ cm}^3$$

Deretter beregnes massen til delen ut fra Formel 35:

$$m = 1,14 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot 50188,1 \text{ cm}^3$$

$$m_{\text{Bellmouth}} = 57214,5 \text{ g} = 57,2 \text{ kg}$$

Ved beregning av volumet til låseplate av Bellmouth blir Formel 34 brukt:

$$V = (\pi \cdot 355^2 - \pi \cdot 330^2) \text{ mm}^2 \cdot 10 \text{ mm}$$

$$V_{\text{Låseplate}} = 537997,7 \text{ mm}^3 = 5,4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

Videre beregnes massen til platen ved bruk av Formel 35:

$$m = 7785 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 5,4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$m_{\text{Låseplate}} = 4,2 \text{ kg}$$

For å beregne kraften,  $F$ , brukes Formel 37:

$$g = 9,81 \frac{m}{s^2}$$

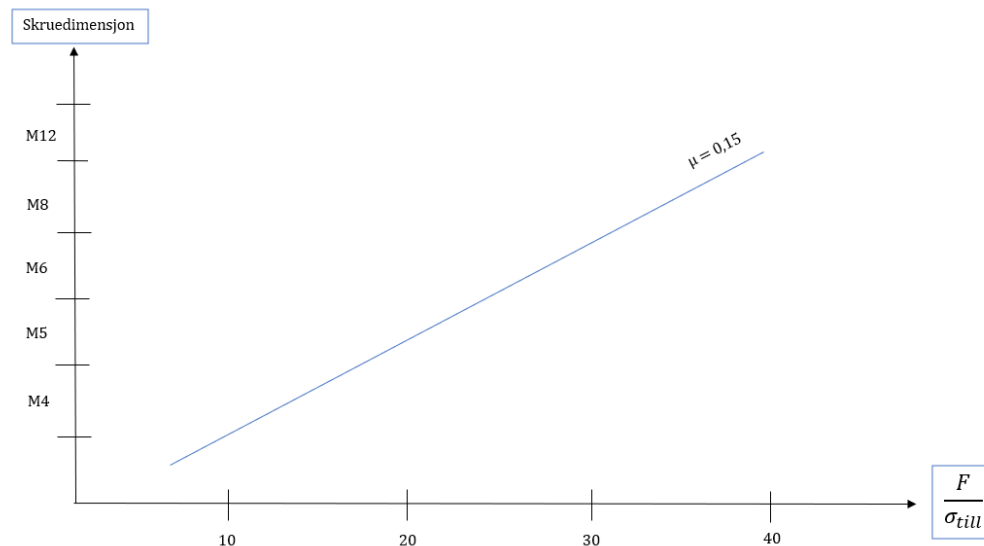
$$F = 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot (57,8 + 4,2) kg$$

$$F = 608,2 N$$

Ved dimensjonering av gjengestangen brukes Formel 33:

$$x = \frac{608,2 N}{276 MPa} = 2,19 mm^2$$

Resultatet av beregningene brukes når vi velger dimensjon i Figur 25. Den velges ut fra friksjonskoeffisient som er  $\mu=0,15$  og forholdet mellom kraften og tillatt spenning. I dette tilfellet kan man se at minste tillatte boltedimensjon er M4, men med tanke på at lengden på gjengestangen er 250 mm blir det valgt å bruke M12. Videre vil det bli kontrollert at denne dimensjonen tåler de strekk- og skjærspenningene de blir utsatt for.



Figur 25 - Diagram for dimensjonering av skruer

For å beregne spenninger som oppstår i gjengestangen er det nødvendig med følgende data for M12:

$$d_2 = 10,853 mm$$

$$d_3 = 9,853 mm$$

For å kontrollere at gjengestangen tåler spenningene den blir utsatt for, brukes Formel 38:

$$\sigma = \frac{608,2 N}{\frac{\pi}{4} \cdot \left( \frac{10,853 mm + 9,853 mm}{2} \right)^2} = 7,2 MPa$$

### Skjærspenning:

Ved utregning av skjærspenninger må stigningsvinkel og friksjonsvinkel først beregnes ut fra Formel 42 og 43:

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{1,75 \text{ mm}}{\pi \cdot 10,853 \text{ mm}}\right) = 2,94$$

$$\epsilon = \tan^{-1}\left(\frac{0,15}{\cos 30^\circ}\right) = 9,83$$

Skjærspenningene kan da beregnes ut fra Formel 40:

$$\tau = \frac{608,2 \text{ N} \cdot \frac{10,853 \text{ mm}}{2} \cdot \tan(2,94 + 9,83)}{\frac{\pi \cdot 9,853^3 \text{ mm}^3}{16}}$$

$$\tau = 3,9 \text{ MPa}$$

Til slutt brukes strekkspenningene og skjærspenningene i Formel 44 for beregning av jmføringspenningen:

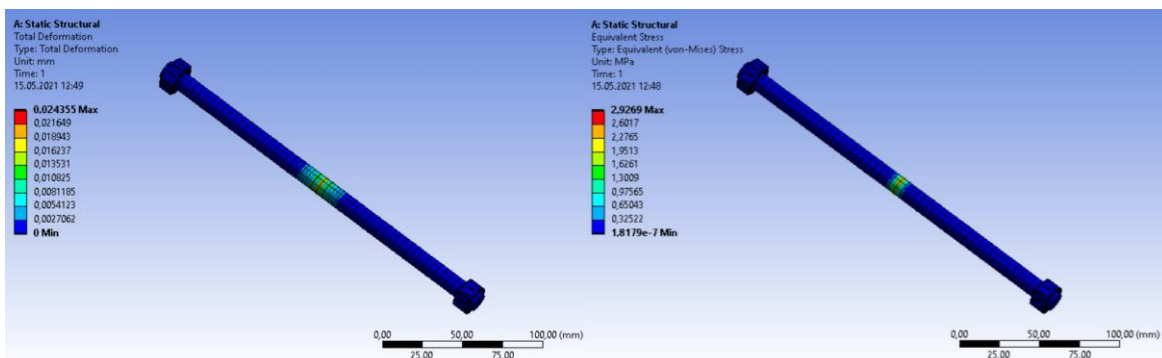
$$\sigma_j = \left(\sqrt{7,2^2 + 3 \cdot 3,9^2}\right) \text{ MPa} = 9,9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_j < \sigma_{\text{allowed}}$$

Ut fra resultatene vises det at dimensjonen M12 kan brukes med tanke på strekk- og skjærspenninger den vil bli utsatt for.

### 6.5.2 Ansys simulering av gjengestangen

Det blir utført en simulering i Ansys for å gjøre mer nøyaktige beregninger på styrken til gjengestangen. I håndberegningene er det ikke tatt hensyn til lengden og det er derfor nødvendig å teste dette. Etter å ha simulert styrkeberegningen på gjengestangen, ser vi i Figur 26 at den vil bli utsatt for en total deformasjon på 0,024355 mm og en Equivalent von-Mises Stress på 2,9269 MPa. Resultatene er godt innenfor tillatt spenning ved bruk av en gjengestang på M12x250. Det blir bestemt å bruke tre M12x250 gjengestenger for å feste Bellmouth opprettet mot flensen. Det må monteres en hylse utenpå gjengestangen slik at låseplaten har noe å spennes opp mot, da plasten endrer seg over tid. Uten hylser vil forspenningen på bolteforbindelsen tapes og vil til slutt løsne.



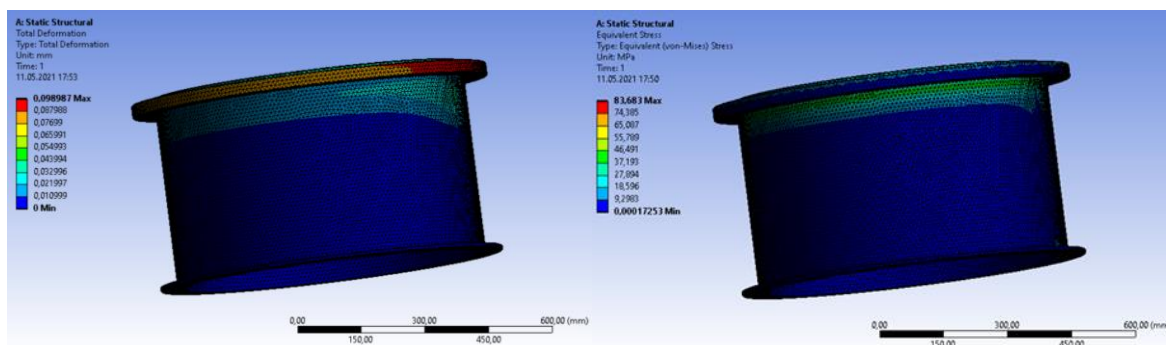
Figur 26 - Total deformasjon og Equivalent von-Mises Stress på gjengestang

## 6.6 Styrkeberegning av Suction Cover

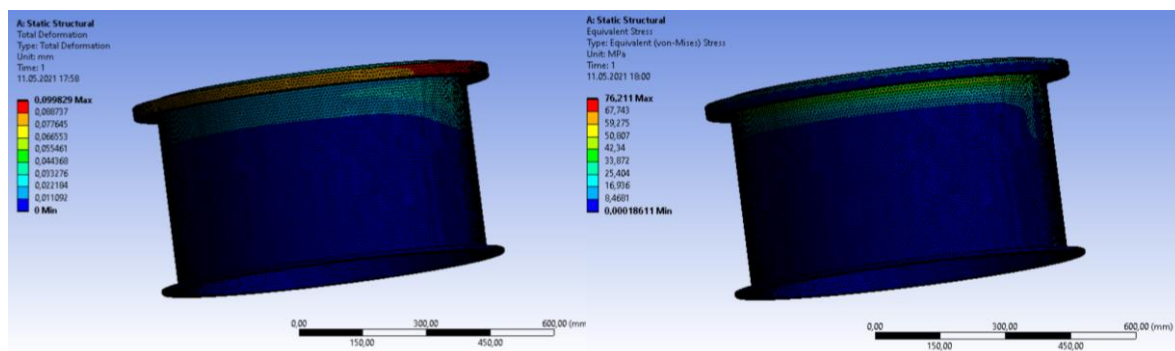
Styrkeberegningene er utført ved å lage en forenklet simulering i Ansys.

### 6.6.1 Resultat ved endring av elementstørrelse

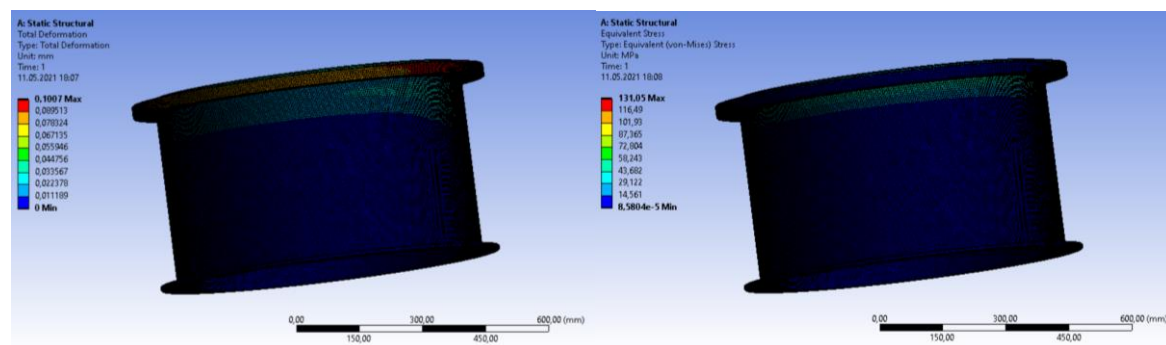
Ved å kjøre tre forskjellige simuleringer med ulik elementstørrelse viser resultatene i Figur 27 til Figur 29, at valg av elementstørrelse er avhengig av komponenten som testes. Når elementstørrelsen blir for liten, får programmet problemer med å gjøre nøyaktige utregninger. Analysen viser at en elementstørrelse på 6 mm blir for lite, og vi får derfor de mest nøyaktige resultatene ved bruk av 8 mm.



Figur 27 - Total deformasjon og Equivalent von-Mises Stress ved 10 mm mesh



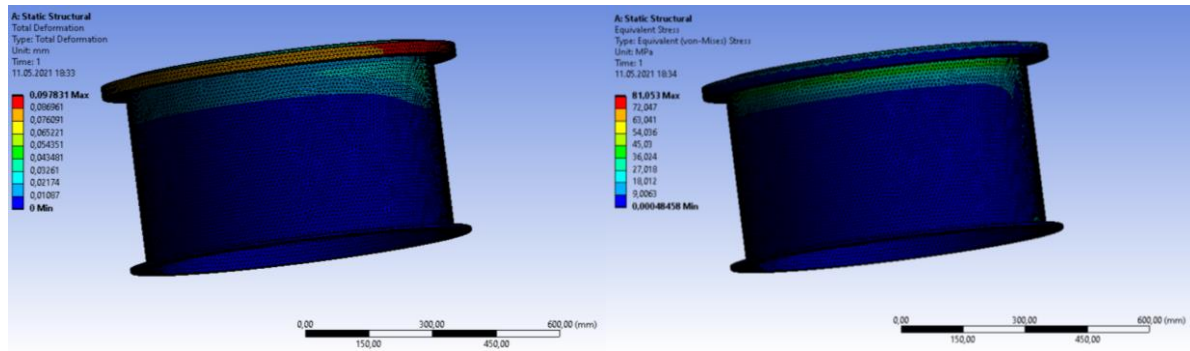
Figur 28 - Total deformasjon og Equivalent von-Mises Stress ved 8 mm mesh



Figur 29 - Total deformasjon og Equivalent von-Mises Stress ved 6 mm mesh

### 6.6.2 Resultat ved sammenligning av materiale

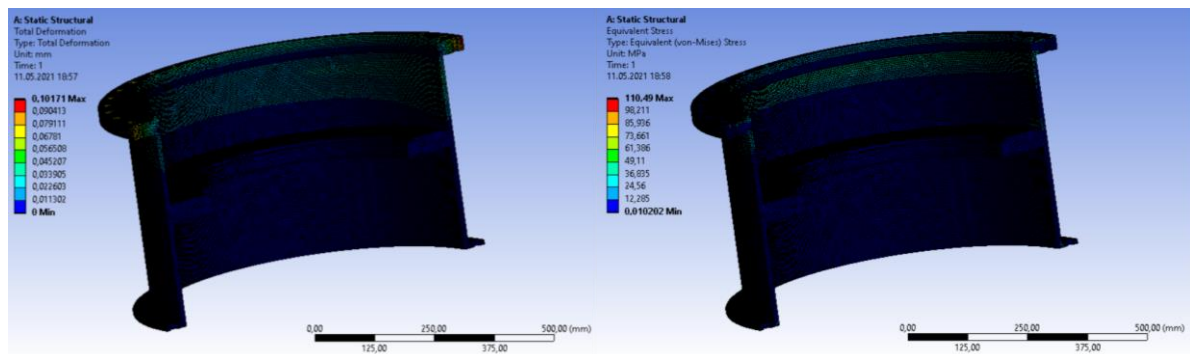
Denne analysen forteller om arbeidet er riktig utført. Når resultatet for simuleringen ved bruk av materialet ST52-3U i Figur 30, sammenlignes med simuleringen til 25 Cr Duplex i Figur 27, blir resultatene relativt like. Det er fordi det er liten deformasjon, lite spenninger og E-modulen og Poissons ratio er relativt like. Ut fra denne analysen vet vi at utførelsen av arbeidet er gjort riktig.



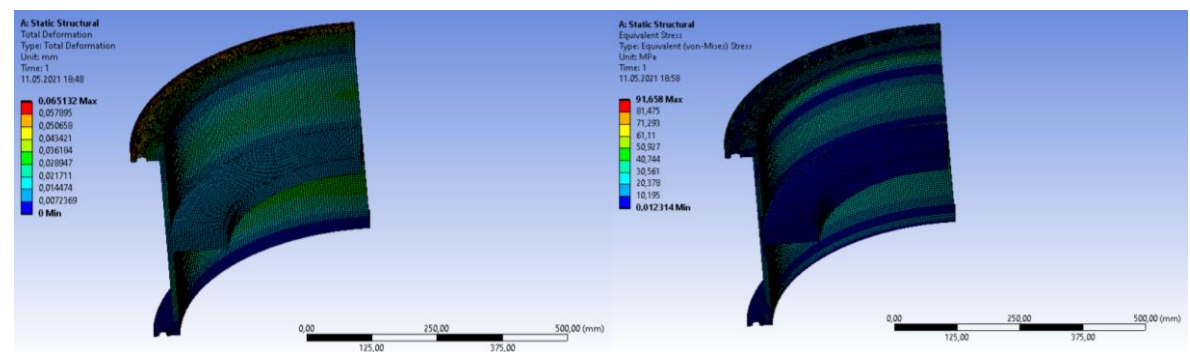
Figur 30 - Total deformasjon og Equivalent von-Mises Stress ved bruk av materialet ST52

### 6.6.3 Resultat ved bruk av symmetri

Denne analysen gir de mest nøyaktige resultatene, da elementstørrelsen kan reduseres ved at komponenten deles opp i mindre deler. I Figur 31 er modellen delt opp i ett symmetriplan. For å få enda mer nøyaktige resultater er det også utført simuleringer hvor modellen er delt i to symmetriplan. Ut fra resultatene i Figur 32 vises det at den største total deformasjonen som komponenten utsettes for er 0,065 mm, det er lite og ubetydelig i denne sammenheng. Figuren viser også at den største spenningen som oppstår er 91,7 MPa. Det er akseptabelt da dette er mindre enn tillatte spenninger til materialet.



Figur 31 - Total deformasjon og Equivalent von-Mises Stress ved ett symmetriplan



Figur 32 - Total deformasjon og Equivalent von-Mises Stress ved to symmetriplan

## 6.7 Resultat av beregning på Bellmouth utforming

Som nevnt i kapittel 3.6, blir målene på  $a_{\text{Bellmouth}}$ ,  $b$  og  $d$  beholdt lik som nåværende design.

$$a_{\text{Bellmouth}} = 113 \text{ mm}$$

$$b = 170 \text{ mm}$$

$$d = 440 \text{ mm}$$

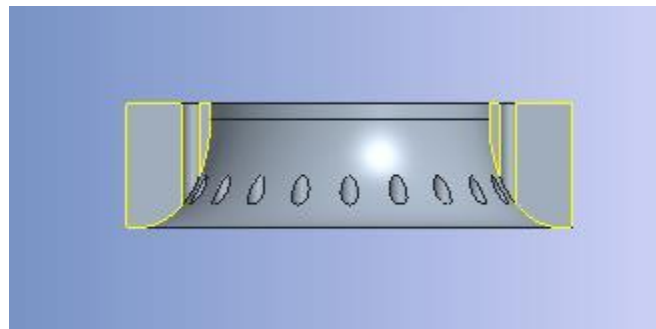
Fra Formel 46 beregnes ytterdiameter slik:

$$D = 440 \text{ mm} \cdot 1.595 \approx 702 \text{ mm}$$

Ved å bruke Formel 47 beregnes  $c$  til å være:

$$c = \frac{702 \text{ mm} - 440 \text{ mm} - 2 \cdot 113 \text{ mm}}{2} = 18 \text{ mm}$$

Resultatet viser at det er ytterdiameter  $D$  og lengde  $c$  som må forandres i det nye designet, som kan sees i Figur 33. Disse to faktorene vil ikke ha noe betydning i forhold til vannstrømmen ved innløpet. Det vil fremdeles føres en laminær strømning inn til pumpen som gjør at verdier for løftehøyde og NPSH vil være lik. Pumpekurven i Figur 13, kapittel 2.11, vil da være uforandret.



Figur 33 - Snitt av Bellmouth

## 6.8 Stykkliste til nytt Suction Cover

For å få en god oversikt over operasjonene som skal utføres og alle delene som inngår i det nye designet, blir det laget en stykkliste. Denne kan sees i Tabell 13. Øverste nivå er den siste operasjonen som blir utført, i vårt tilfelle vil det være monteringen av Bellmouth som er siste operasjon. Undernivåene til monteringen er maskineringsnivået og diverse deler som skal brukes til montering. Under maskineringsnivået kommer et sveisenivå, hvor alle delene som skal sveises inngår. Stykklisten informerer også om materialvalg, dimensjoner, artikkelnummer og varegruppe.

Nivå	Artikkelnr.	Artikkelbet.	Material	Dimensjon	Antall	Varegruppe	Pos.	Enhet
1	596337201	COVER SUCTION ASSY BELLMOUTH	25 Cr Duplex		1	450	1	STK
1,1	596336101	COVER SUCTION MACH	25 Cr Duplex	SD 440	1	410	1	STK
1,1,1	596338201	COVER SUCTION WELD	25 Cr Duplex	SD 440	1	420	1	STK
1,1,1,1	596342301	FLANGE UPPER SUCTION COVER	25 Cr Duplex		1	410	1	STK
1,1,1,1,1	F206	PLATE	25 Cr Duplex	PL 40	0,52	210	1	M2
1,1,1,2	596341201	HOOD SUCTION COVER	25 Cr Duplex	Ø 730 x 389	1	420	2	STK
1,1,1,2,1	F247	PLATE	25 Cr Duplex	PL 10	1,03	210	1	M2
1,1,1,3	596343301	FLANGE F/ WEAR RING	25 Cr Duplex		1	420	3	STK
1,1,1,3,1	F206	PLATE	25 Cr Duplex	PL 40	0,4	210	1	M2
1,1,1,4	596345301	FLANGE F/STRAINER	25 Cr Duplex		1	420	4	STK
1,1,1,4,1	F247	PLATE	25 Cr Duplex	PL 10	0,52	210	1	M2
1,2	596339201	BELLMOUTH	PA 6 G	SD 440	1	691	2	STK
1,3	596340201	PLATE LOCK BELLMOUTH	25 Cr Duplex		1	410	3	STK
1,3,1	F247	PLATE	25 Cr Duplex	PL 10	0,4	210	1	M2
1,4	596346301	BOLT THREADED	25 Cr Duplex	M12 X 250	3	410	4	STK
1,4,1	F5909	BOLT THREADED	25 Cr Duplex	M12 X 1000	1	510	1	STK
1,5	F25266	WASHER FLAT	25 Cr Duplex	12	3	510	5	STK
1,6	2017309	NUT HEX	25 Cr Duplex	M12	3	510	6	STK

Tabell 13 - Stykkliste for nytt Suction Cover



## 6.9 Prisberegning av nåværende og nytt design

Tabell 14 gir en oversikt over pris på støpt del og støpeform fra leverandør. I Tabell 15 får vi en oversikt over produksjonskostnadene ved bearbeiding av suction coveret på FRAMO. Tid brukt per operasjon og pris per time blir funnet i interne systemer. For å finne totalpris på det nåværende designet, legges materialkost fra leverandør sammen med produksjonskostnadene. Da får vi en totalpris på 153 188 norske kroner.

BESKRIVELSE	INNkjØP	PRIS (NOK)
CST COVER SUCTION	LEVERANDØR	47 000 kr
PATTERN COVER SUCTION	LEVERANDØR	69 000 kr
		= 106 000 kr

Tabell 14 - Materialkost for nåværende Suction Cover [7]

BESKRIVELSE	TID BRUKT	PRIS PER TIME	PRIS (NOK)
GROVMASKINERE	11,4 t	2 260 kr/t	25 764 kr
NDT	1,0 t	1 280 kr/t	1 280 kr
SVEISEREP	2,0 t	1 280 kr/t	2 560 kr
FINMASKINERE	2,8 t	2 260 kr/t	6 328 kr
BORE RIBBER	1,5 t	2 260 kr/t	3 390 kr
NDT 100% DPI	1,0 t	1 280 kr/t	1 280 kr
KONTROLL	1,0 t	1 060 kr/t	1 060 kr
BEISE	1,5 t	1 228 kr/t	1 842 kr
MALE	3,0 t	1 228 kr/t	3 684 kr
			= 47 188 kr

Tabell 15 - Produksjonstid for nåværende Suction Cover [7]

I Tabell 16 får vi en oversikt over materialkost for nytt design. For å beregne prisen må vi vite antall og pris per enhet. Her blir også pris fra leverandør tatt med. Tabell 17 gir en oversikt over produksjonskostnadene ved de ulike bearbeidingene. Tid brukt per operasjon er en usikker faktor i prisberegningen, da dette bare vil være et estimat. Det må foretas nye beregninger at det er produsert, for å få en nøyaktig pris av produksjonen. Pris per time blir funnet i interne systemer. For å finne totalpris på det nye designet, legges materialkost og produksjonskost sammen. Da får vi en totalpris på 118 689 norske kroner. Under tabellene blir det til slutt gjort en sammenligning av nåværende og nytt design

BESKRIVELSE	MATERIALE	ARTIKKEL NR	ANTALL	ENHET	PRIS PER ENHET	PRIS (NOK)
PL 10	25 CR DUPLEX	F247	1,95	M <sup>2</sup>	4 765,80 kr/m <sup>2</sup>	9 293,31 kr
PL 40	25 CR DUPLEX	F206	0,92	M <sup>2</sup>	19 358,25 kr/m <sup>2</sup>	17 809,59 kr
BOLT THREADED	25 CR DUPLEX	F5909	1	M	240 kr/m	240 kr
WASHER FLAT	25 CR DUPLEX	F25266	1	STK	27,04 kr/stk	27,04 kr
NUT HEX LOCK	25 CR DUPLEX	F31745	1	STK	117,38 kr/stk	117,38 kr
BELLMOUTH	PA 6 G	596339201	1	STK	LEVERANDØR	15 932 kr
						= 43 419,32 kr

Tabell 16 - Materialkost for nytt design [7]



BESKRIVELSE	TID BRUKT	PRIS PER TIME	PRIS (NOK)
LASER	0,66 t	1 280 kr/t	844,8 kr
PLASMABRENNING	1 t	1 280 kr/t	1 280 kr
VALSING	0,5 t	1 280 kr/t	640 kr
SVEISE FUGE	0,5 t	1 280 kr/t	640 kr
PLASMA SVEIS	1,5 t	1 280 kr/t	1 920 kr
VALSING	0,5 t	1 280 kr/t	640 kr
SVEIS	27,5 t	1280 kr/t	35 200 kr
NDT	0,5 t	1 280 kr/t	640 kr
MASKINERE	11,4 t	2 260 kr/t	25 764 kr
KONTROLL	1,0 t	1 060 kr/t	1 060 kr
BEISE	1,5 t	1 228 kr/t	1 842 kr
MALE	3,0 t	1 228 kr/t	3 684 kr
MONTERING	1,0 t	1 115 kr/t	1 115 kr
			= 75 269,8 kr

Tabell 17 - Produksjonstider for nytt Suction Cover [7]

Det er en prisforskjell på 34 499 norske kroner, og kan beregnes slik:

$$\text{Prisforskjell i kr} = (106\,000 + 47\,188) - (43\,419,32 + 75\,269,8) = 34\,498,8 \text{ kr}$$

Beregning av prisforskjell i prosent, gjøres slik:

$$\text{Prisforskjell i \%} = \frac{153\,188 - 118\,689}{153\,188} \cdot 100\% = 22,5\%$$

Ut fra prisberegningresultatene ser vi at det vil være mest lønnsomt å produsere det nye designet sammenlignet med nåværende. Det vil være en besparelse på 34 499kr, som utgjør 22,5% og fører til store besparelser når det kommer til produksjon av Suction Cover. [7]

## 7 Diskusjon

I industrien er 3D-printing noe man har startet å utforske. Noen bruker dette aktivt, men det er mange bedrifter som ikke er klar for en fullskala produksjon ved hjelp av 3D-printere. Denne produksjonsmetoden er i dag bare et supplement og ikke en erstatning for tradisjonell produksjon. Fremdeles trengs det en videreutvikling for at anvendelsesområdene skal bli flere og at materialutvalget over hva som kan printes blir større. [27]

I designprosessen av Bellmouth-formen var vi innom to forskjellige løsninger. Den første løsningen som er beskrevet i kapittel 3.6, er å bestille en ferdig maskinert del av en hel plastaksel fra leverandør. Det andre alternative er å bestille flere ferdig utskåret plastplater fra leverandør, hvor disse må presses og låses fast i Suction Cover. Deretter må Bellmouth formen maskineres ut. Det blir en mye mer omfattende produksjonsprosess da platen må demonteres før maling, for så å monteres igjen. Det er også problematisk å maskinere plast og stål samtidig, med tanke på avfallssortering. Innkjøp av en ferdig maskinert del vil være mindre kostbart enn å kjøpe flere plastplater. I tillegg vil det lønne seg med tanke på at det er mer besparende tidsmessig. Dermed ser vi at det er kun fordeler med å bruke hel aksel ovenfor plastplater, og derfor valgte vi å gå videre med denne løsningen.

Stykklisten ble i dette prosjektet ført inn i Excel, selv om FRAMO hadde et ønske om at den skulle føres i deres interne system Multiplus, som ble forklart i kapittel 2.13. Det ble ikke prioritert, men det ble gjort en avtale med ekstern veileder om at han tar seg av dette.

FRAMO hadde et ønske om at det ble laget et design uten anoder, med tanke på at antall anoder er prosjektavhengig og forskjellig ut fra kundens krav. Faktorer som påvirker behovet for anoder er materialvalg, hvor salt vannet er og om det er høy eller lav sjøvannstemperatur. Det er satt krav til at anodene må holde i minst fem år, til pumpen skal overholdes. På det nye Suction Coveret kan anodene festes på samme måte som på Strainer. Det må tilpasses på hvert prosjekt og er derfor ikke tatt med i våre tegninger.

En del av problemstillingen var å se på muligheten for integrering av Suction Cover og Strainer. Tidlig i oppgaven ble det oppdaget at det ikke er mulig. Slik transportrutinene er i dag, er ikke Strainer montert under transportering. Det er fordi et låseverktøy monteres i bunn av Suction Cover for å låse de roterende delene i pumpen ved transport. I tillegg stilles det krav til kunden om å preservere pumpen hver tredje måned, ved å rotere rotor slik at alle o-ringer sentreres og o-ringer, mekanisk tetning og andre komponenter blir smurt. Derfor er det nødvendig med tilkomst innvendig i Suction Cover, og dermed er det ikke mulig å integrere Strainer slik disse prosessene blir utført i dag. Det er en stor jobb å løse denne problemstillingen, og omfattende nok til å bli et eget prosjekt. Det er derfor ikke gjort noen videre undersøkelser for integrering av Strainer i dette prosjektet.

Som følge av det som har blitt tatt opp i diskusjonen, valgte vi å se vekk fra 3D-printing etter undersøkelser som ble gjort angående dette. Vi gikk heller videre med å utforme et nytt design med en Bellmouth utformet av en hel aksel.

## 8 Konklusjon

Gjennom prosessen med å finne et forbedringsforslag til Suction Cover har vi undersøkt flere muligheter. Slik det nåværende designet er utformet, er det ikke mulig for FRAMO å produsere det selv. Derfor må det utvikles et nytt design for å kunne bruke de maskinene som er tilgjengelig.

Det nye suction coveret opprettholder alle designkrav som FRAMO har satt. Underveis i prosessen ble det utført styrkeberegninger i Ansys og håndberegninger for dimensjonering. Det skal produseres i materialet 25 Cr Dupelx, da det er et standardmateriale FRAMO bruker på alle komponenter som er i kontakt med sjøvann. Innløpet vil bli formet med et Bellmouth design som fører en laminær vannstrøm inn i pumpen, og den blir bestilt fra en leverandør i plastmaterialet PA 6 G. Ved prissammenligning av nytt og nåværende design, konkluderes det med at det nye designet er mer økonomisk lønnsomt da det er en prisforskjell på 22,5 %. Det vil også være mer besparende tidsmessig med tanke på at komponenten kan bli produsert i bedriften, noe som gjør de mye mer fleksibel. FRAMO blir mindre avhengig av leverandør, og dermed blir lang leveringstid unngått og de kan kvalitetssikre eget produkt under produksjonsprosessen.

Det har blitt laget komplette produksjonstegninger til alle deler og operasjoner, slik at komponenten er klar til å produseres og testes. Tegningene er blitt kvalitetssjekket av FRAMO og ligger som vedlegg. Når det nye suction coveret skal tas i bruk og stå i sjø over lengre tid, må det bli montert hylser utenpå gjengestengene som fester Bellmouth for å sikre lang levetid og forspenning på platen og bolteforbindelsen.

Veien videre for prosjektet er å tilpasse Strainer til nytt Suction Cover. Diameteren til Strainer må bli større, dermed kan lengden kortes ned, samtidig som kravet til totalhullareal opprettholdes. Integrering av Strainer vil også være en prosess som kan tas videre. Det bør sveises på et løfteøre utvendig på Suction Cover, da vi ut fra erfaring vet at det er en krevende prosess å snu pumpen under produksjonen.

## Referanser

- [1] «Framo oil and gas pumping systems». [https://www.framo.com/globalassets/pdf-files/fra\\_010\\_oil\\_gas\\_pumping\\_systems\\_korr193.pdf](https://www.framo.com/globalassets/pdf-files/fra_010_oil_gas_pumping_systems_korr193.pdf) (åpnet mai 03, 2021).
- [2] «Framo – Submersible pumps – Oil and gas pumping systems – Oil and gas solutions», *Framo*. <https://www.framo.com/oil-and-gas-pumping-systems/oil-and-gas-solutions/> (åpnet mai 03, 2021).
- [3] R. Bryhn, «Alfa Laval», *Store norske leksikon*. des. 29, 2020. Åpnet: mai 18, 2021. [Online]. Tilgjengelig på: [http://snl.no/Alfa\\_Laval](http://snl.no/Alfa_Laval)
- [4] «Framo – Submersible pumps – Oil and gas pumping systems – Seawater lift pumps», *Framo*. <https://www.framo.com/oil-and-gas-pumping-systems/products/seawater-lift-pumps/> (åpnet mai 03, 2021).
- [5] G. Bye, *Pumper*, 1. Universitetsforlaget, 1967.
- [6] E. Ignatowitz, *Prosesskjemi*, Bokmål[utg. Oslo: Yrkesopplæring, 1994. Åpnet: feb. 23, 2021. [Online]. Tilgjengelig på: [https://urn.nb.no/URN:NBN:no-nb\\_digibok\\_2009021904019](https://urn.nb.no/URN:NBN:no-nb_digibok_2009021904019)
- [7] FRAMO, «Intern dokumentasjon hos FRAMO». 2021.
- [8] K. A. Rosvold, «asynkronmotor», *Store norske leksikon*. jan. 26, 2021. Åpnet: mai 12, 2021. [Online]. Tilgjengelig på: <http://snl.no/asynkronmotor>
- [9] «Hvordan oppstår kavitasjon?», *Bagges AS*, mar. 15, 2016. <https://www.bagges.no/hvordan-oppstar-kavitasjon/> (åpnet mai 03, 2021).
- [10] R Andrew Springer, «What is NPSH (Net Positive Suction Head) and Why Does it Matter?», *Springer Pumps*, mar. 13, 2017. <https://www.springerpumps.com/productnews/npsh-net-positive-suction-head-matters/> (åpnet mai 03, 2021).
- [11] Todd Sears, *Centrifugal pump cavitation and NPSH*, (2020). Åpnet: feb. 23, 2021. [Online Video]. Tilgjengelig på: [https://www.youtube.com/watch?v=F0AT\\_RdqYjM](https://www.youtube.com/watch?v=F0AT_RdqYjM)
- [12] «SUPER DUPLEX • UNS S32750 • WNR 1.4410». [www.finetubes.co.uk/products/materials/duplex-stainless-steel-tubes/super-duplex-uns-s32750-wnr-1-4410](http://www.finetubes.co.uk/products/materials/duplex-stainless-steel-tubes/super-duplex-uns-s32750-wnr-1-4410) (åpnet mai 12, 2021).
- [13] «PA 6 G». <https://www.smithmetal.com/pdf/plastics/cast-nylon.pdf> (åpnet mai 12, 2021).
- [14] «PA 6 G | Wefapress». <https://www.wefapress.com/en/engineering-plastics/material-pa-6/pa-6-g> (åpnet mai 13, 2021).
- [15] «S355JO Plates, Structural and Offshore Steel Plates En 10025-2 S355JO Plates». <https://www.csteelindia.com/s355jo-plates-supplier-exporter.html> (åpnet mai 14, 2021).
- [16] M. S. P.- [www.murraysteelproducts.com](http://www.murraysteelproducts.com), «S355JO Structural Steel & Steel Plate», *Murray Steel Products*. <https://www.murraysteelproducts.com/products/s355jo> (åpnet mai 14, 2021).
- [17] «Introduction to metal 3D printing», *Hubs*. <https://www.hubs.com/knowledge-base/introduction-metal-3d-printing/> (åpnet mai 13, 2021).
- [18] «Lenz 1500». [https://optomec.com/wp-content/uploads/2018/11/LENS-1500-AM-CA\\_WEB1018.pdf](https://optomec.com/wp-content/uploads/2018/11/LENS-1500-AM-CA_WEB1018.pdf) (åpnet mar. 25, 2021).
- [19] «Sciaky EBAM110». <https://www.sciaky.com/images/pdfs/product-sheets/Sciaky-EBAM-110.pdf> (åpnet mai 16, 2021).
- [20] K. Johannessen, *Konstruksjonsteknikk*, 4. Bergen: Fagbokforlaget, 2016.
- [21] H. Hartvigsen, R. Lorentsen, K. Michelsen, og S. Seljevoll, *Verksted Håndboka*, 6. Tromsø: Gyldedal, 2006.
- [22] L. Mæhlum, «3D-printing», *Store norske leksikon*. jan. 09, 2020. Åpnet: mar. 24, 2021. [Online]. Tilgjengelig på: <http://snl.no/3D-printing>
- [23] «Direct Metal Laser Sintering [DMLS] Parts On Demand», *Stratasys*. <https://www.stratasysdirect.com/technologies/direct-metal-laser-sintering> (åpnet mai 16, 2021).
- [24] «Inconel vs Stainless Steel», *Markforged*. <https://markforged.com/resources/blog/inconel-vs-stainless-steel> (åpnet mai 16, 2021).
- [25] «Adira 3D printer». [https://adira.pt/wp-content/uploads/AddCreator-AC210\\_EN.pdf](https://adira.pt/wp-content/uploads/AddCreator-AC210_EN.pdf) (åpnet mar. 25, 2021).
- [26] «Sciaky EBAM 110 Series review - industrial 3D printer (large volume)», *Aniwaa*. <https://www.aniwaa.com/product/3d-printers/sciaky-ebam-110-series/> (åpnet mai 20, 2021).
- [27] «3D-printing og fremtidens industriproduksjon», *Teknologirådet*, des. 31, 2012. <https://teknologiradet.no/3d-printing-og-fremtidens-industriproduksjon/> (åpnet mai 15, 2021).

## Liste over Figurer

Figur 1 - SE400 pumpe [1].....	1
Figur 2 - Suction Cover og Strainer til dagens SE400 pumpe [2].....	1
Figur 3 - Et komplett pumpesystem [4] .....	2
Figur 4 – Sentrifugalpumpe .....	3
Figur 5 - Snitt av SE400 pumpe [7].....	4
Figur 6 - Suction Cover [7] .....	5
Figur 7 - Strainer .....	5
Figur 8 - Laminær og turbulent strømning .....	6
Figur 9 - Trykkfordeling i en rørledning med innsnevring.....	7
Figur 10 – Laminær vannstrøm uten kavitasjon.....	8
Figur 11 – Turbulent vannstrøm med kavitasjon.....	8
Figur 12 - Løftehøyde for en sentrifugalpumpe [6].....	10
Figur 13 - Pumpekurve SE400 pumpe [7] .....	11
Figur 14 - Sentrifugalpumpe med rig.....	16
Figur 15 - Impeller utsatt for kavitasjon .....	16
Figur 16 - Skisse av nytt Suction Cover.....	17
Figur 17 - Suction Cover ferdig sveist.....	18
Figur 18 - Dekomponerte spenninger .....	19
Figur 19 - Ferdig maskinert Suction Cover .....	21
Figur 20 - Illustrasjon av lekkasjehull .....	22
Figur 21 - Bellmouth design montert med gjengestenger i Suction Cover .....	23
Figur 22 - Beregning av Bellmouth [7].....	25
Figur 23 - Nåværende design av Suction Cover.....	28
Figur 24 - Rangering av tall.....	29
Figur 25 - Diagram for dimensjonering av skruer.....	36
Figur 26 - Total deformasjon og Equivalent von-Mises Stress på gjengestang.....	37
Figur 27 - Total deformasjon og Equivalent von-Mises Stress ved 10 mm mesh .....	38
Figur 28 - Total deformasjon og Equivalent von-Mises Stress ved 8 mm mesh .....	38
Figur 29 - Total deformasjon og Equivalent von-Mises Stress ved 6 mm mesh .....	38
Figur 30 - Total deformasjon og Equivalent von-Mises Stress ved bruk av materialet ST52 .....	39
Figur 31 - Total deformasjon og Equivalent von-Mises Stress ved ett symmetriplan .....	39
Figur 32 - Total deformasjon og Equivalent von-Mises Stress ved to symmetriplan.....	39
Figur 33 - Snitt av Bellmouth .....	40

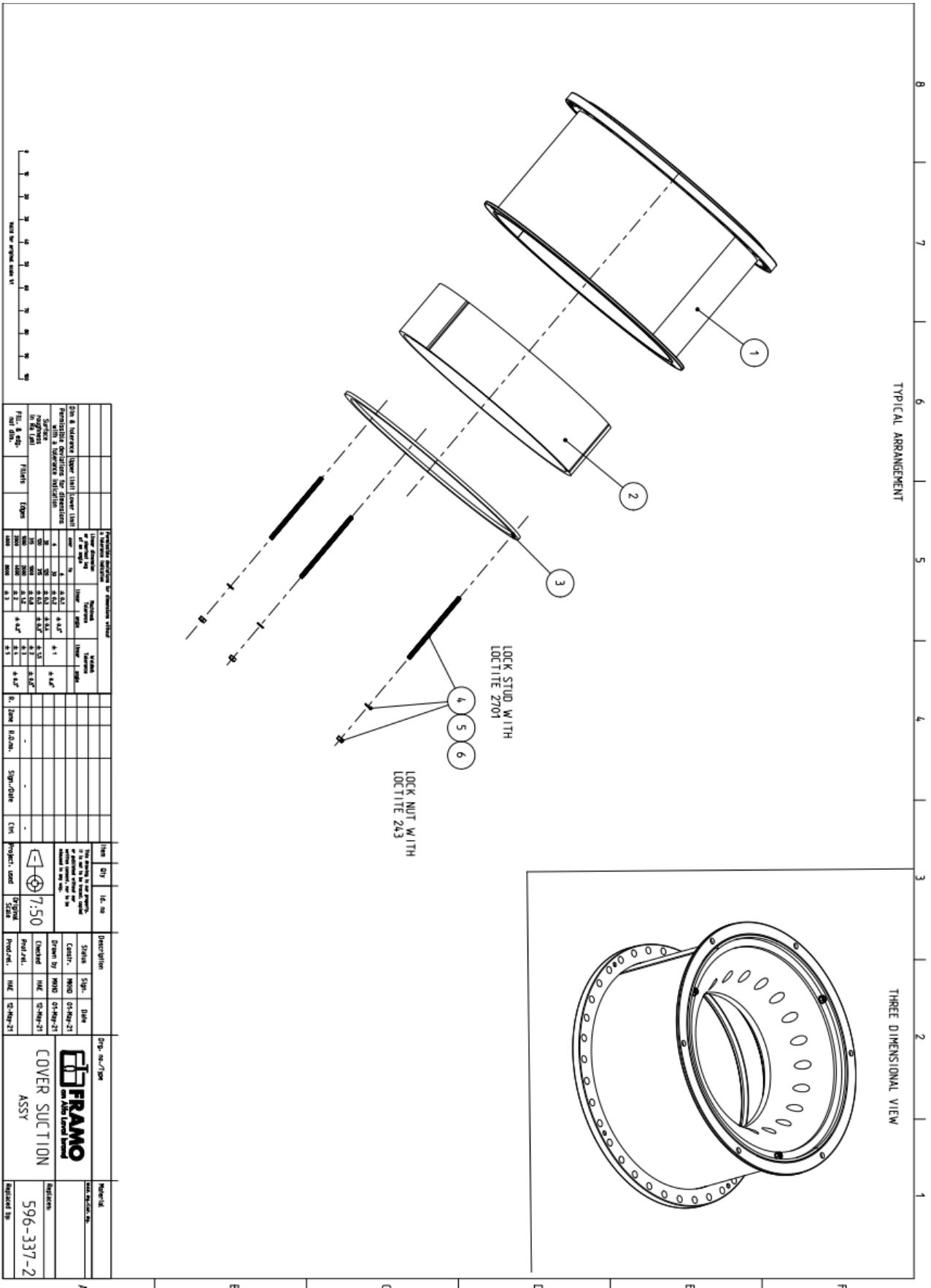
## Liste over Tabeller

Tabell 1 - Egenskaper for 25 Cr Duplex [12] .....	12
Tabell 2 - Egenskaper for PA 6 G plast [14] .....	13
Tabell 3 - Egenskaper for ST 52-3U [16] .....	13
Tabell 4 - Definisjon på varegruppe [7] .....	14
Tabell 5 - Materialeegenskaper til 25 Cr Duplex [12] .....	27
Tabell 6 - Materialeegenskaper til ST52 [21] .....	27
Tabell 7 - Egenskaper til Suction Cover .....	29
Tabell 8 - 3D-printerens egenskaper .....	30
Tabell 9 - Tre alternative materialer [12] [23] [24] .....	30
Tabell 10 - Sammenligning av 3 forskjellige 3D-printere [18] [25] [26] .....	31
Tabell 11 - V-fuge .....	33
Tabell 12 - Viktige mål for beregning .....	35
Tabell 13 - Stykkliste for nytt Suction Cover .....	41
Tabell 14 - Materialkost for nåværende Suction Cover [7] .....	42
Tabell 15 - Produksjonstid for nåværende Suction Cover [7] .....	42
Tabell 16 - Materialkost for nytt design [7] .....	42
Tabell 17 - Produksjonstider for nytt Suction Cover [7] .....	43



## Vedlegg 2 – Monteringsteining

(Feil målestokk grunnet A2 til A4 ark, se vedlagte PDF-filer for riktig målestokk)

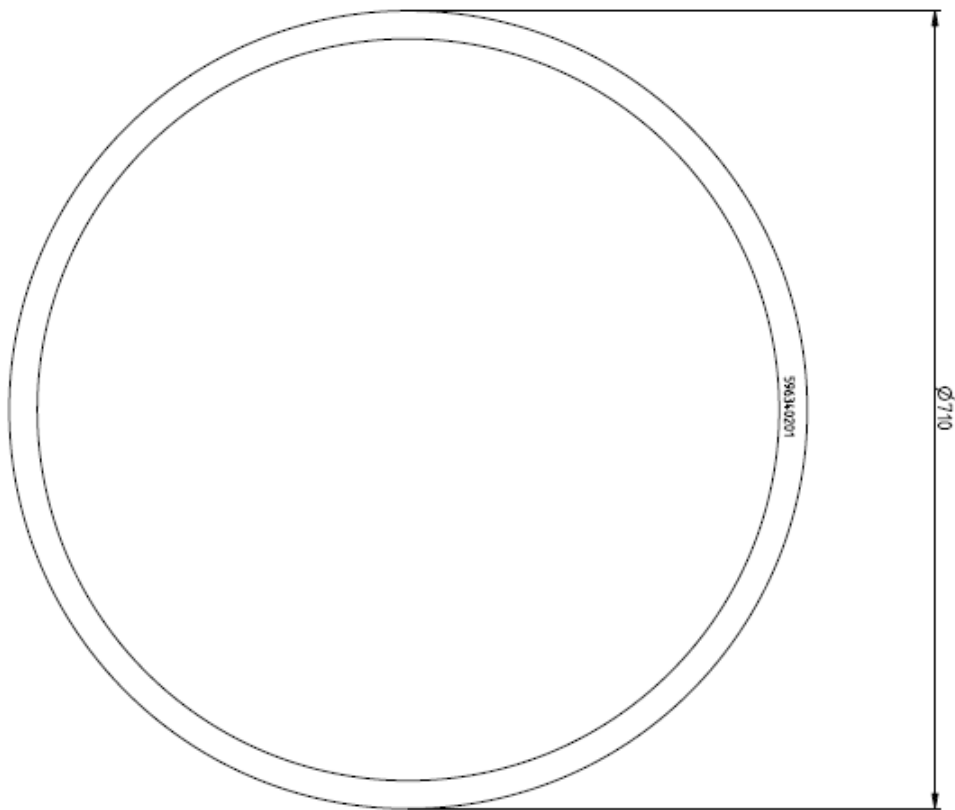




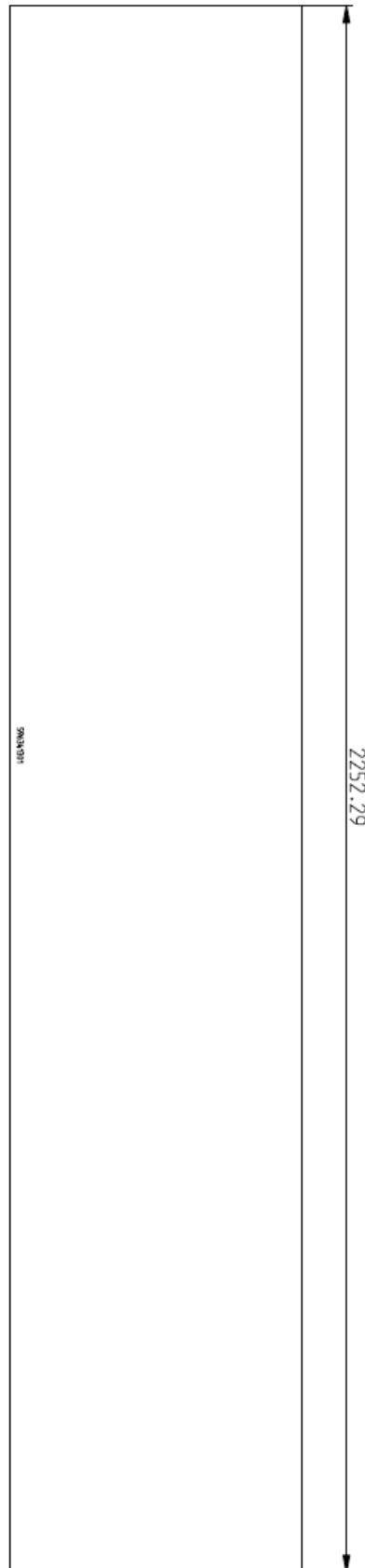


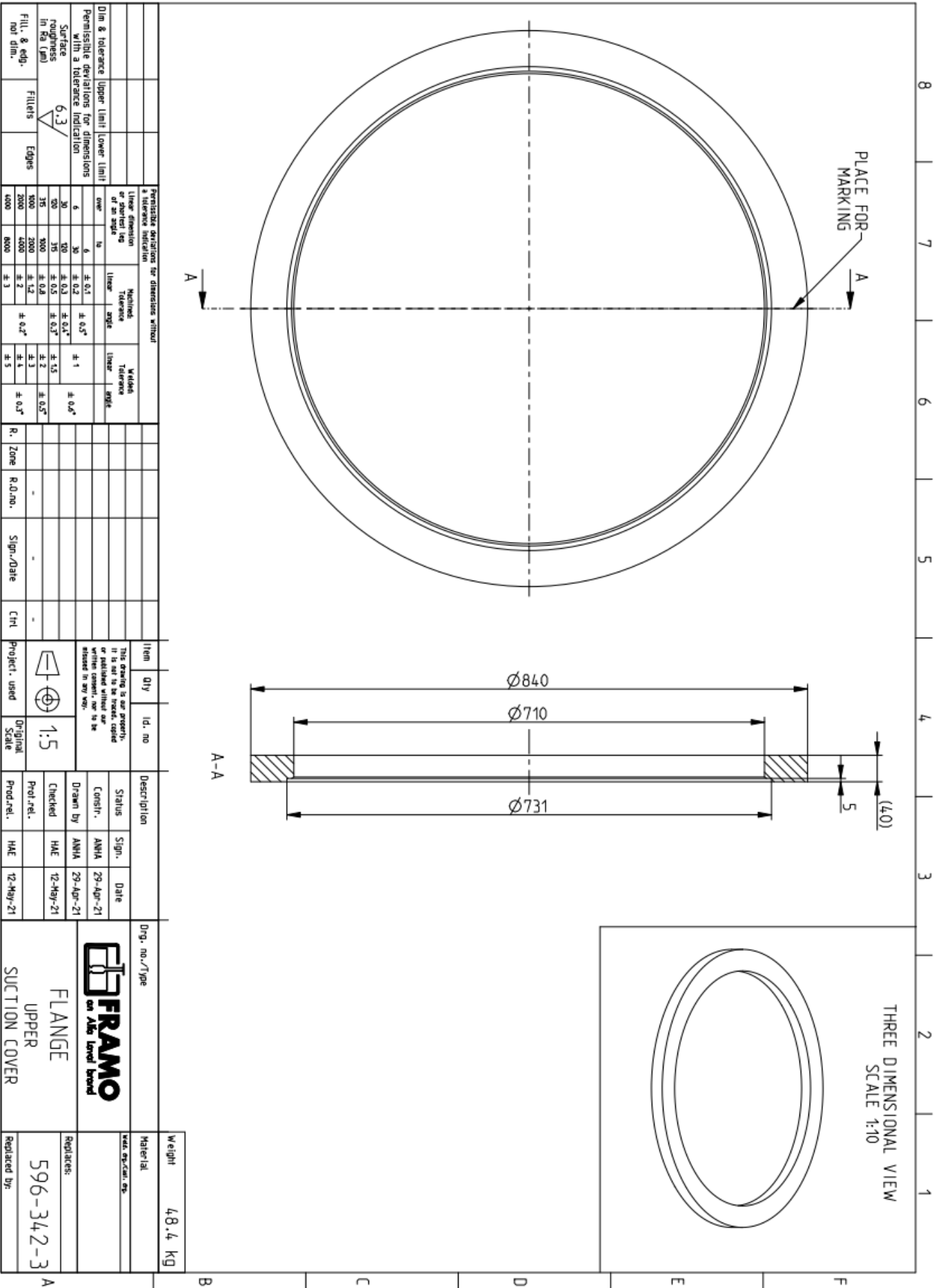












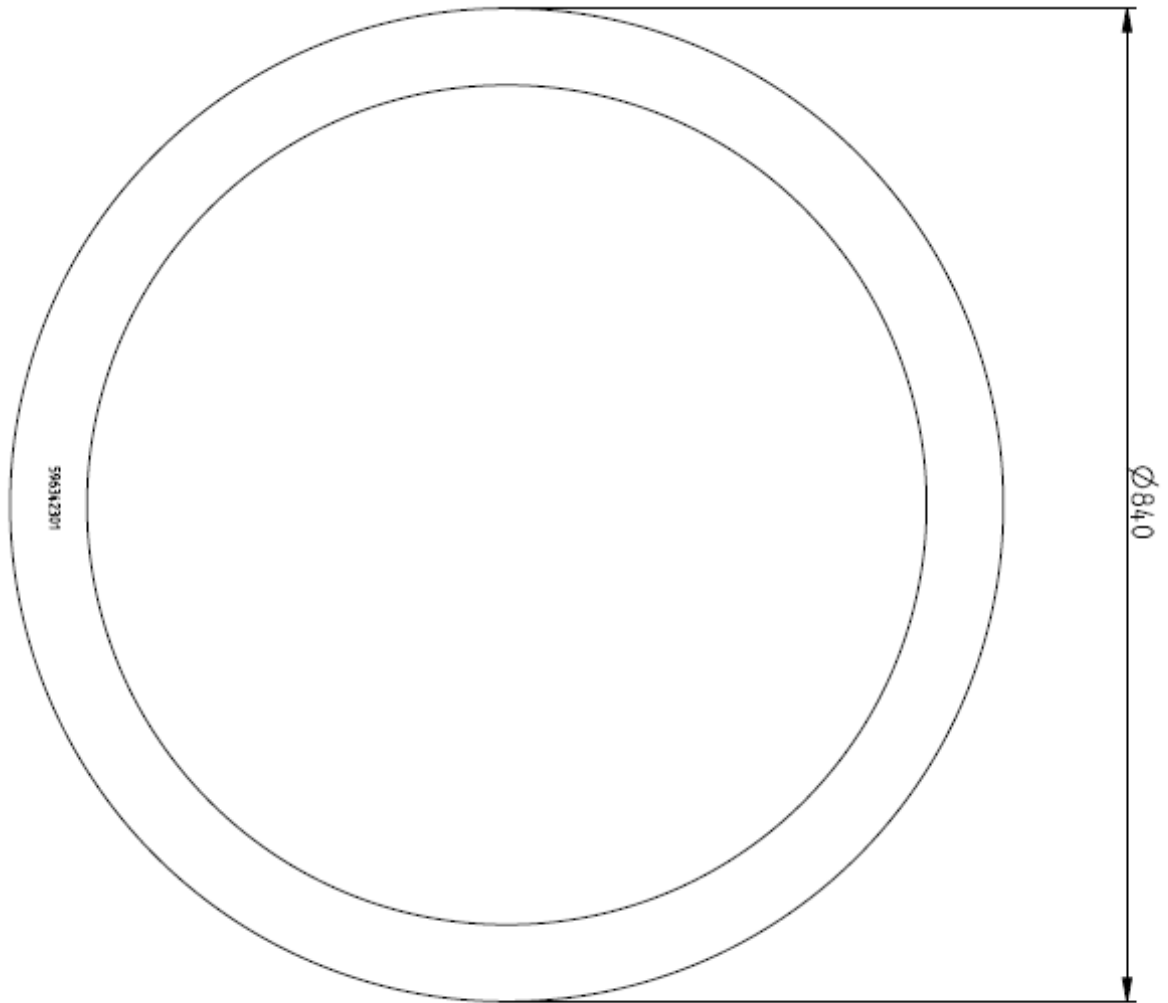
Dim & tolerance		Upper limit	Lower limit	Permissible deviations for dimensions without a tolerance indication		Line element or shortest leg		Machine Tolerance		Welding Tolerance		R. Zone	R.0.no.	Sign./Date	Crtl.	Projct. used	Id. no	Item Qty
with a tolerance indication				over	to	Line	angle	Line	angle	Line	angle							
Permissible deviations for dimensions with a tolerance indication																		
Surface roughness in Ra (µm)		6.3		30	100	± 0.1	± 0.5°	± 1	± 0.6°									
Fill. & edg. not dim.				35	100	± 0.2	± 0.5°	± 1.5	± 0.5°									
Edges				500	1000	± 0.3	± 0.5°	± 2	± 0.5°									
Fillers				2000	4000	± 0.4	± 0.5°	± 3	± 0.5°									
Edges				4000	8000	± 0.5	± 0.5°	± 5	± 0.5°									

Description				Date	Date	Date	Date	Date
Status	Sign.	Sign.	Sign.					
Consr.	ANHA	ANHA	ANHA	29-Apr-21	29-Apr-21	29-Apr-21	29-Apr-21	29-Apr-21
Checked	HAE	HAE	HAE	12-May-21	12-May-21	12-May-21	12-May-21	12-May-21
Prod.rel.	HAE	HAE	HAE	12-May-21	12-May-21	12-May-21	12-May-21	12-May-21

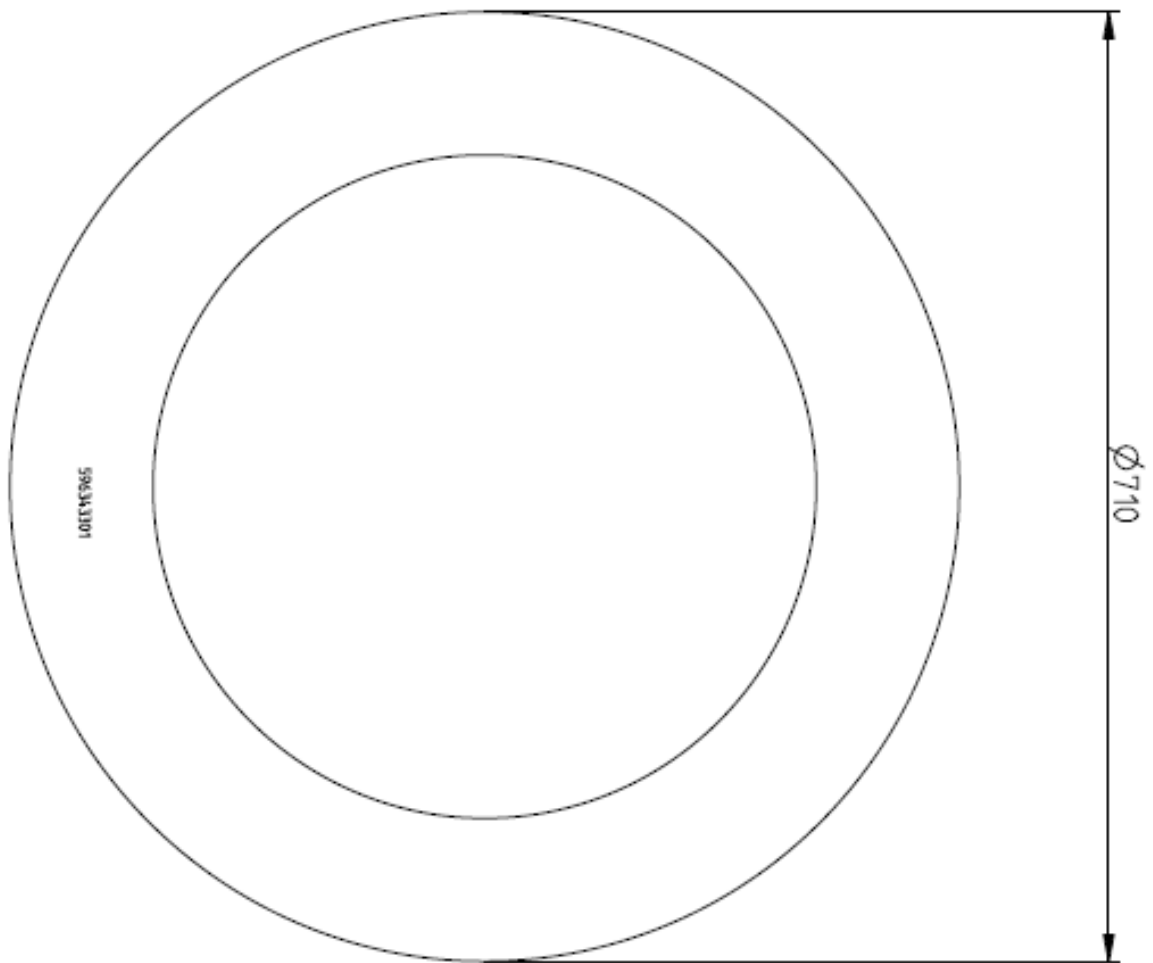
  

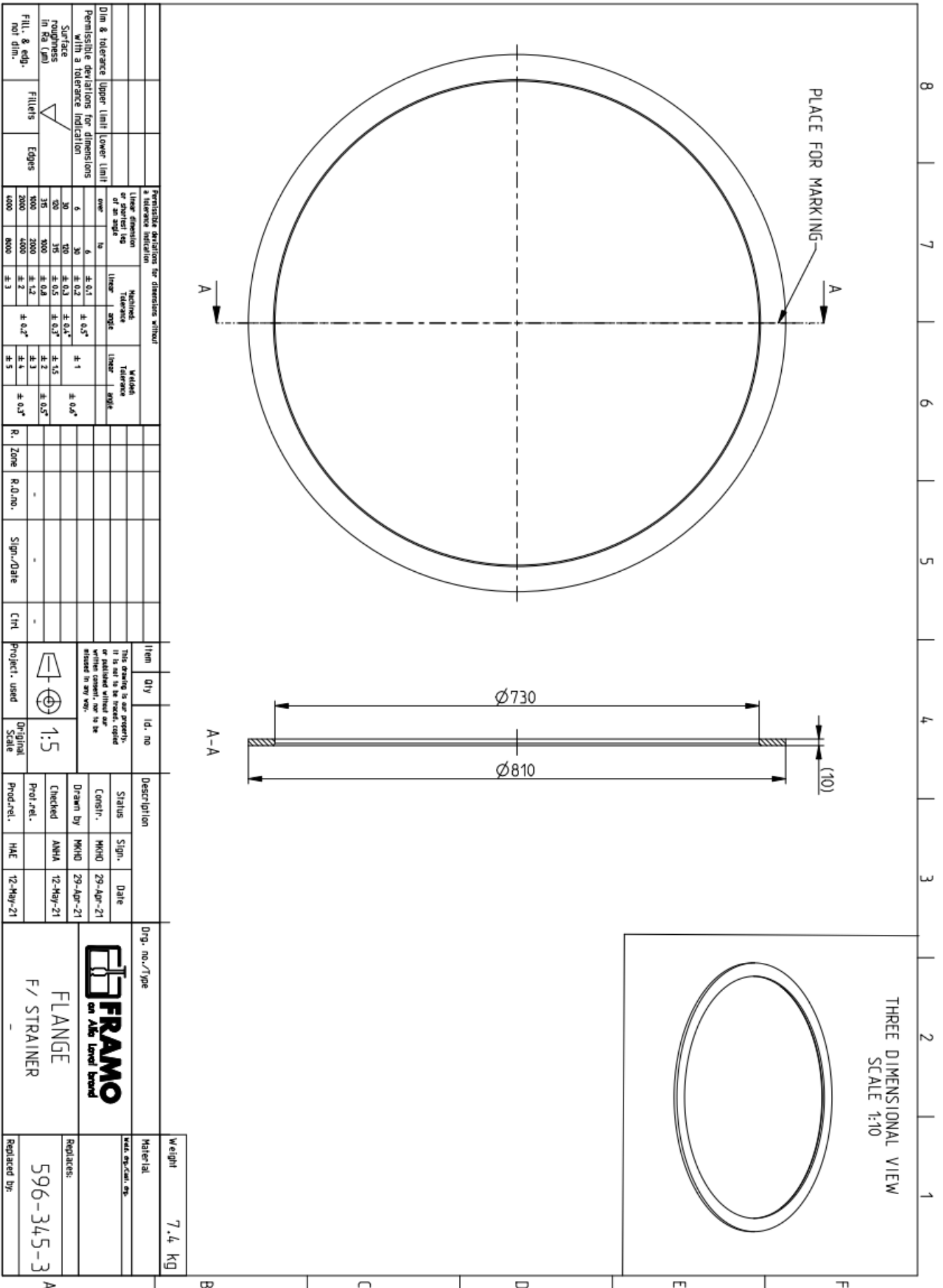
Org. no./Type	FRAMO on Abo level brand
Weight	48.4 kg
Material	
Material spec.	
Replaces:	596-342-3
Replaced by:	



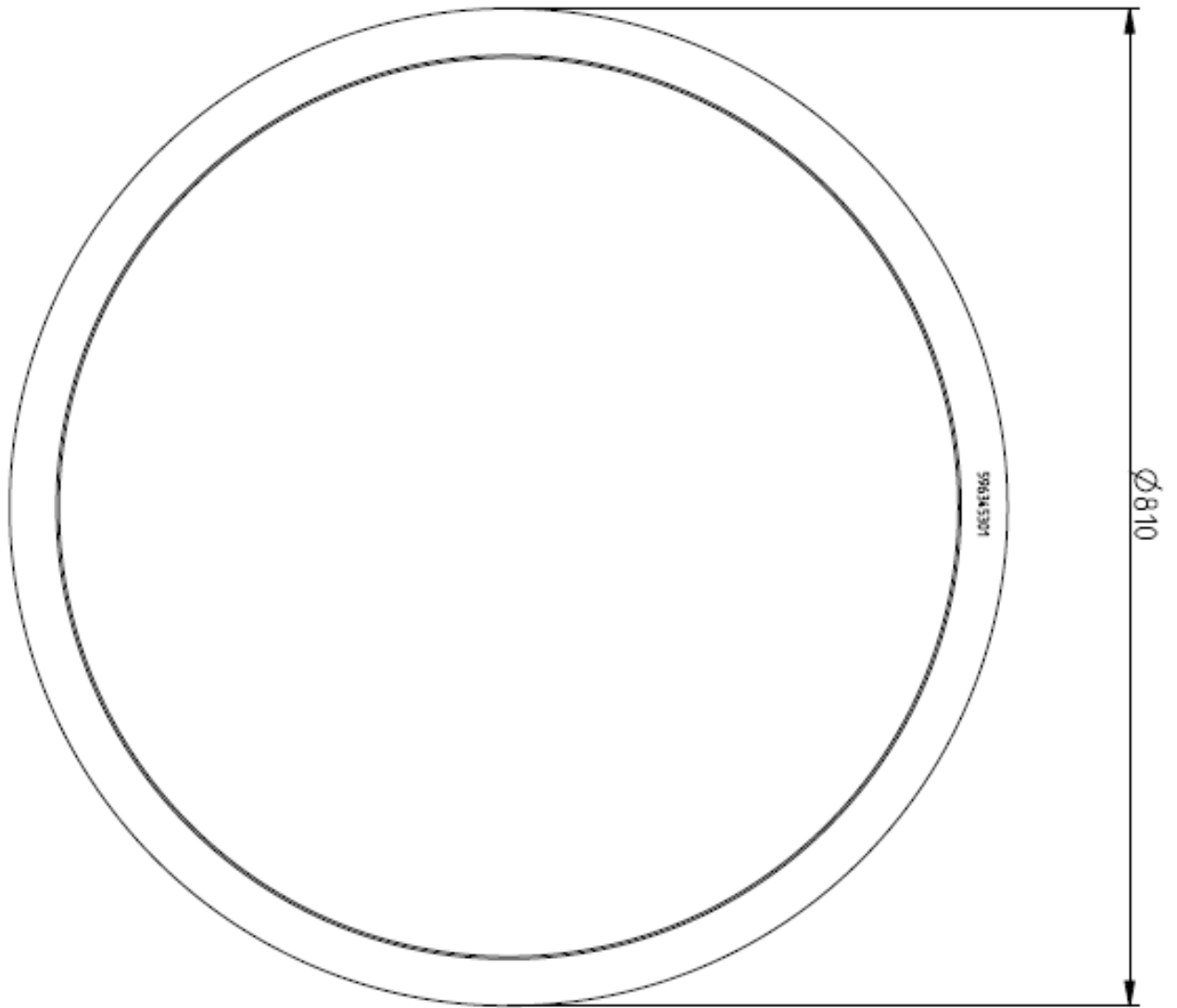


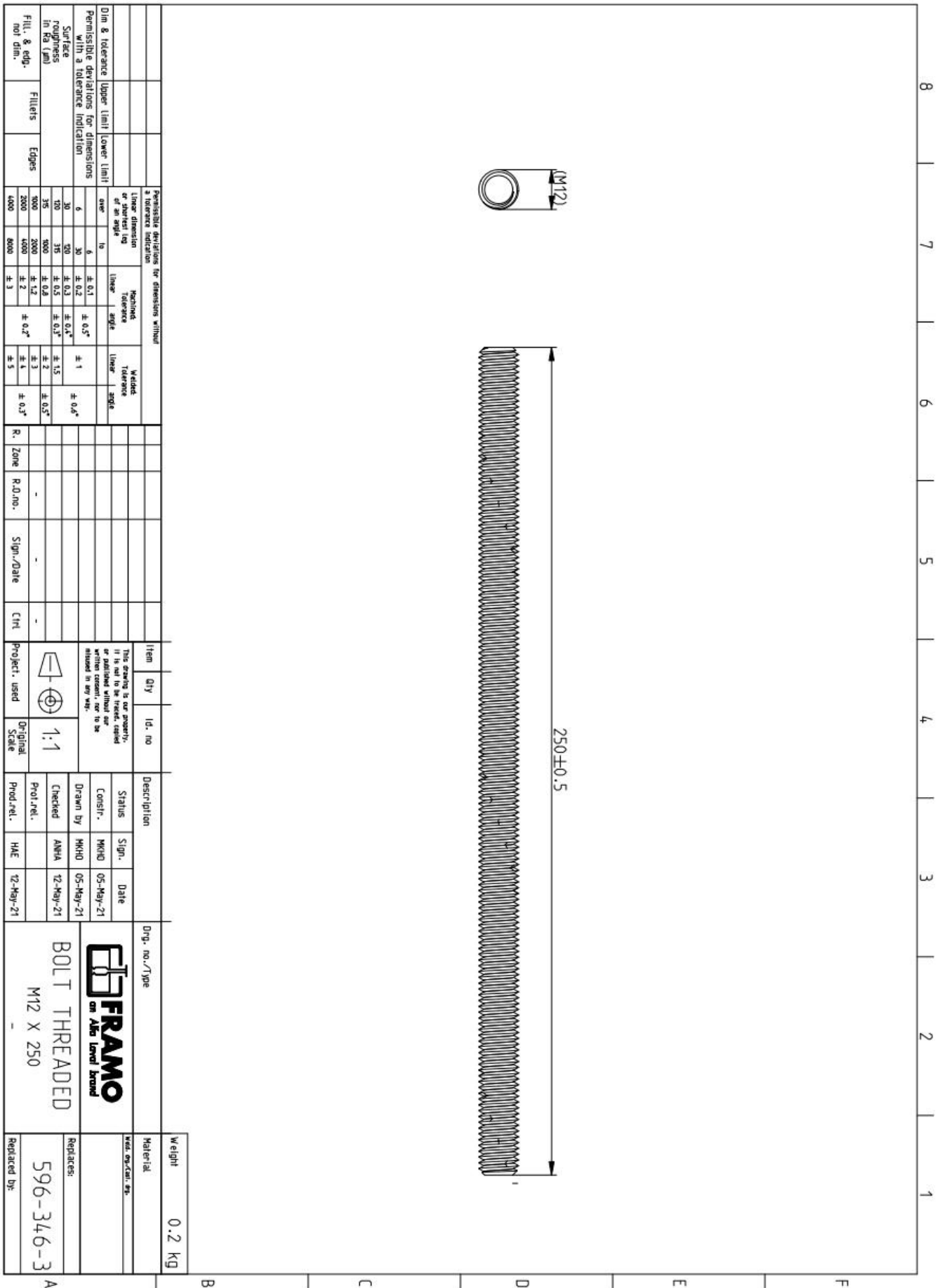






Permissible deviations for dimensions without tolerance indication		Linear dimension of length		Mechanical tolerance		Welding tolerance		R. Zone		R.D.no.		Sign./Date		C/rl.		Item		Description		Org. no./Type		Weight	
Dim	8 & tolerance upper limit   lower limit	over	to	linear	angle	linear	angle										QTY	id. no.	Status	Sign.	Date	Material	Weight
Surface roughness in Ra (µm)	6	30	6	± 0.1	± 0.5°	± 1	± 0.5°												Const.	MKHQ	29-Apr-21	FRAMO	7.4 kg
Permissible deviations for dimensions with a tolerance indication	30	300	30	± 0.2	± 0.4°	± 1.5	± 0.6°												Checked	MKHQ	29-Apr-21	FRAMO	
Fill. & radii not dim.	300	3000	300	± 0.5	± 0.3°	± 2	± 0.5°												Prod./rel.	AMHA	12-May-21	FRAMO	
	2000	2000	2000	± 1.2	± 0.2°	± 3	± 0.5°												Prod./rel.	HAE	12-May-21	FRAMO	
	4000	4000	4000	± 2	± 0.2°	± 4	± 0.5°																
	8000	8000	8000	± 3	± 0.2°	± 5	± 0.5°																





Permissible deviations for dimensions without a tolerance indication		Linear dimension of all angles		Hole and angle		Welded tolerance		R. Zone		R.Q.no.		Sign./Date		Ctrl		Item Qty		Id. no		Description				Dwg. no./Type		Material									
Dim & tolerance	Upper limit	Lower limit	one	to	Linear	angle	Linear	angle	R.	Zone	R.Q.no.	Sign./Date	Ctrl	Project. used	Dr./Initial	Scale	Prod./rel.	HAE	Date	Sign.	Date	Status	Consfr.	Drawn by	Checked	Prod./rel.	HAE	Date	Sign.	Date	Weight	0.2 kg			
Permissible deviations for dimensions	6	30	± 0.1	± 0.2	± 0.2	± 0.2	± 0.2	± 0.2	± 1	± 0.4°																									
With a tolerance indication	30	70	± 0.3	± 0.4	± 0.3	± 0.4	± 0.3	± 0.4	± 1.5	± 0.4°																									
Surface roughness in Ra (µm)	30	70	± 0.5	± 0.8	± 0.5	± 0.8	± 0.5	± 0.8	± 2	± 0.2°																									
Fill. & edg. not dim.	1000	2000	± 1.2	± 2	± 1.2	± 2	± 1.2	± 2	± 3	± 0.2°																									
Fill. & edg. not dim.	4000	8000	± 3	± 5	± 3	± 5	± 3	± 5	± 5	± 0.2°																									


  
**FRAMO**
  
 on Also Level Brand

**BOLT THREADED**
  
 M12 X 250

Replaces:
   
 596-346-3

Replaced by:

