

André Haave
Ole Halvor Simones
Marius Heggdal Olsen

Utvikling av porsjoneringsmaskin for næringsmiddelindustrien

Development of a Portioning Machine for the Food Industry

Bacheloroppgave i ingeniørfag, maskin
Veileder: Knut Sørby
Mai 2023

André Haave
Ole Halvor Simones
Marius Heggdal Olsen

Utvikling av porsjoneringsmaskin for næringsmiddelindustrien

Development of a Portioning Machine for the Food Industry

Bacheloroppgave i ingeniørfag, maskin
Veileder: Knut Sørby
Mai 2023

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for maskinteknikk og produksjon



Kunnskap for en bedre verden

Tittel

Utvikling av porsjoneringsmaskin for næringsmiddelindustrien

Title

Development of a Portioning Machine for the Food Industry

Prosjektnr: MTP-K-2023-14

Forfatter(e)

André Haave, Ole Halvor Simones, Marius Heggdal Olsen

Oppdragsgiver(e) eksternt**Veileder(e) internt**

Knut Sørby

Rapporten er ÅPEN/LUKKET

Dato levert

21.05.2023

Kort sammendrag

Denne oppgaven omhandler videreutvikling av en porsjoneringsmaskin laget for skånsom håndtering av kokte fiskeprodukter. I besvarelsen er det identifisert forbedringspotensialer ved konseptet, og kommet med forslag til utbedringer.

This thesis deals with further development of a portioning machine made for gentle handling of boiled fish products. In the response, potential areas for improvement have been identified within the concept, along with proposed suggestions for enhancements.

Stikkord:

- 3D - modellering
- Produktutvikling
- Produksjonsteknikk
- Næringsmiddelindustrien

Keywords:

- 3D - modelling
- Product development
- Production technique
- The food industry

Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet som avsluttende oppgave for studieprogrammet "Bachelor i ingeniørfag, maskin" innen studieretningen maskinkonstruksjon ved NTNU i Trondheim.

Prosjektets hensikt er å utbedre og videreutvikle ett nytt konsept innen porsjonering av fiskeprodukter. I løpet av dette arbeidet har prosjektgruppen utviklet sine kunnskaper innen produktutvikling, spesielt rettet mot næringsmiddelindustrien. Maskiner innen matproduksjon er underlagt strenge krav i forhold til ytelse og driftssikkerhet, noe som har gjort denne oppgaven både utfordrende og interessant.

Vi ønsker å takke vår veileder Knut Sørby for god oppfølging gjennom arbeidet med denne oppgaven. Prosjektgruppen retter også en takk til Kjell Opshaug for å ha gitt oss muligheten til å ta del i prosjektet, samt for å ha delt sine erfaringer og kunnskaper om næringsmiddelindustrien.

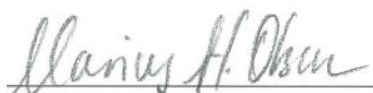
Dato: 21.05.2023



Ole Halvor Simones



André Håave



Marius Heggdal Olsen

Sammendrag

Denne oppgaven tar for seg utvikling og utbedring av et nytt konsept innen porsjonering av kokte fiskeprodukter. En bedrift som har spesialisert seg på produksjon av bacalao, kom opp med ideen som en løsning på problemet der fisken ble ødelagt i forbindelse med porsjonering av produktet. Bedriftens mål er å patentere denne maskinen og sette den inn i produksjonslinjen på fabrikken.

I besvarelsen er det identifisert forbedringspotensialer ved konseptet, og kommet med forslag til utbedringer. Disse utbedringene er gjort på bakgrunn av en kombinasjon av litteraturstudier, testing og observasjon av bedriftens testtrigg. I tillegg har bedriften bidratt med kunnskap ved å dele informasjon om deres behov og erfaringer. Dette har gitt prosjektgruppen en bedre forståelse av problemstillingen og vært til stor nytte for besvarelsen.

Opgaven inneholder relevant teori som må betraktes når det skal utvikles en maskin som skal brukes innen næringsmiddelindustrien. Videre presenteres fremgangsmåten og begrunnelser for valgene som er tatt. Det ble rettet særlig fokus på tetting av maskinen siden dette ikke var noe bedriften hadde hatt fokus på i sitt arbeid med konseptet. 3D-modelleringsprogrammet *Fusion 360* ble brukt for å designe de ulike komponentene, samt til å utføre styrkeberegninger for å identifisere eventuelle svakheter.

Abstract

This thesis deals with the development and improvement of a new concept for portioning cooked fish products. A company specializing in production of bacalao came up with the idea as a solution to the problem where the fish was being destroyed in the portioning process. The goal of the company is to patent this machine and put it into the production line at the factory.

In the thesis submission, the improvement potentials of the concept have been identified, and suggestions for improvements have been provided. These improvements have been made based on a combination of literature studies, testing and observation of the company's test rig. In addition, the company has contributed by sharing information about their needs and experiences. This has given the project group a better understanding of the problem and has been very useful for the thesis.

The thesis contains relevant theory that must be considered when developing a machine to be used in the food industry. Subsequently, the methodology employed and rationales for the decisions made are presented. Special attention was paid to the sealing of the machine as this was not an area of focus for the company in their work with the concept. The 3D modeling software *Fusion 360* was used to design the various components and perform strength calculations to identify possible weaknesses.

Innhold

Innledning	1
Bakgrunn.....	2
2.1 Problemstilling	2
2.1.1 Dagens løsning	3
2.1.2 Det nye konseptet	4
2.2 Oppgavens hensikt	6
2.3 Resultat - og effektmål	6
2.4 Avgrensning	6
Produktutvikling	7
3.1 Produktutviklingsprosessen.....	7
3.2 Maskiningeniørens rolle.....	9
Metode	10
4.1 Forskningsmetode	10
4.1.1 Litteraturstudie.....	10
4.1.2 Samarbeid med bedrift.....	11
4.2 3D-modellering og simulering	11
4.2.1 Modellering	11
4.2.2 Styrkeberegning	11
4.3 Prototyping	12
Hygienisk Design.....	13
5.1 Generelt om maskiner i matproduksjon/regelverk	13
5.2 Renhold og vedlikehold	14
5.2.1 CIP	17
5.2.2 COP	18
5.2.3 Manuell rengjøring	19
5.3 Materialer i matproduksjonsmaskiner	20
5.3.1 Rustfritt stål	20

5.3.2 POM.....	21
5.3.3 Aluminium.....	21
5.4 Ventiler.....	22
5.4.1 Solenoidventil.....	22
5.4.2 Butterflyventil.....	23
5.4.3 Kuleventil og pluggventil	23
5.4.4 Valg av ventil.....	24
Tetninger	25
6.1 Tetningstyper.....	25
6.1.1 O-ringer	25
6.1.2 Flytende pakninger	26
6.1.3 Tetning av roterende aksler	26
6.2 Tetting av stator.....	29
6.2.1 Bakgrunn	29
6.2.2 Akseltetning.....	30
6.3 Tetting av stempel.....	33
6.3.1 Bakgrunn	33
6.3.2 Stangtetning	34
Aktuatorer	35
7.1 Definisjon.....	35
7.1.1 Elektriske aktuatorer.....	35
7.1.2 Hydrauliske aktuatorer	36
7.1.3 Pneumatiske aktuatorer.....	37
7.2 Valg av aktuatorstype	38
Konseptutvikling.....	40
8.1 Konseptutvikling ved observasjon	40
8.2 3D-modellering av nytt konsept.....	42
8.2.1 Flens og reducer.....	42

8.2.2 Rotor	43
8.2.3 Stator.....	44
8.2.4 Stempel	45
8.2.5 Hylse.....	45
8.3 Renhold av maskinen	46
Diskusjon	47
9. 1 Hygienisk design	47
9.2 Produksjonsmetoder	49
Konklusjon.....	50
Bibliografi.....	51
Vedlegg.....	56
Vedlegg A: Maskintegning Stator.....	56
Vedlegg B: Maskintegning Rotor	57
Vedlegg C: Maskintegning 3.5" Tri-Clamp	58
Vedlegg D: Maskintegning Stempel	59
Vedlegg E: Maskintegning Hylse	60
Vedlegg F: Teknisk spesifikasjon Stangtetning	61
Vedlegg G: Korrekt installasjon av stangtetning	63
Vedlegg H: Teknisk Spesifikasjon Radialakseltetning	64
Vedlegg I: Tilgjengelige radialakseltetninger	66
Vedlegg J: Tverrsnitt.....	67
Vedlegg K: Styrkeberegning.....	68
Vedlegg L: Simulasjonsresultater opprinnelig design	70
Vedlegg M: Simuleringsresultater nytt design.....	74
Vedlegg N: Materialegenskaper	78
Vedlegg O: Sammenstilling av det nye designet	79

Figurer

Figur 1: Dagens porsjoneringsmaskin.	3
Figur 2: CAD-modell av 3-veis ventilen som styrer porsjeringen.....	3
Figur 3: Testtrigg uten rørkoblingen montert.	4
Figur 4: Testtrigg med rørkobling og ventil.....	4
Figur 5: Illustrasjon som viser hvordan produktet porsjeres i statoren.....	5
Figur 6: Rotor.....	5
Figur 7: Hovedkomponentene som inngår i konseptet.	5
Figur 8: Fasene i produktutviklingsprosessen.....	7
Figur 9: 3D-printet prototype av stator i målestokk 1:2.	12
Figur 10: Vasketid som funksjon av temperatur på vaskevann.	16
Figur 11: Virkemåte solenoidventil..	22
Figur 12: Virkemåte butterflyventil	23
Figur 13: Pluggventil	23
Figur 14: Pluggventil	23
Figur 15: Radialakseltetning.....	27
Figur 16: Leppetetning.....	27
Figur 17: Mekanisk tetning.....	27
Figur 18: Lekkasje mellom stator og rotor.	29
Figur 19: Akseltetning plassert i en "Open housing groove"	29
Figur 20: 90X110X10 HMS5 V Radialakseltetning fra SKF.....	30
Figur 21: Stator med radialakseltetning.....	30
Figur 22: 90 VA R, Leppetetning fra SKF.	32
Figur 23: Lekkasje mellom stempel og rotor.....	33
Figur 24: Tetninger i en hydraulisk sylinder.....	33
Figur 25: PTB-84X98X13.2-J1S Stangtetning fra SKF.	34
Figur 26: Rotor tilpasset stangtetning.	34
Figur 27: Stator med rotor sett ovenfra.....	40
Figur 28: Beregning av kammerets lengde ved bruk av en 3.5" Tri-Clamp.....	41
Figur 29: Beregning av kammerets lengde ved bruk av en 4" Tri-Clamp.....	41
Figur 30: Mulig plassering av reducer.	42
Figur 31: 3.5" - 3" Reducer.....	42
Figur 32: 3.5" Tri-Clamp.	42

Figur 33: Rotor med radialakseltetning.	43
Figur 34: Stator med radialakseltetning.	44
Figur 35: Tverrsnitt av stator og rotor.	44
Figur 36: Stempel.	45
Figur 37: Hylse.	45

Kapittel 1

Innledning

Næringsmiddelindustrien er en av de største industriene i verden, og er avgjørende for å opprettholde et sunt og variert kosthold for milliarder av mennesker over hele kloden. En stor del av denne industrien omhandler produksjon av fiskeprodukter, som er en viktig kilde til protein og omega-3-fettsyrer.

En viktig del av produksjonsprosessen er porsjonering av produktene. Porsjonering av fiskeprodukter kan imidlertid være en komplisert oppgave på grunn av de strenge kravene til mattrygghet og kvalitet som må oppfylles. Maskiner som brukes i næringsmiddelindustrien må derfor oppfylle strenge krav til ytelse og regelverk, i tillegg til å opprettholde høy produksjonseffektivitet. Forbrukerens preferanser spiller også en viktig rolle og bidrar til at produsentene leverer produkter av høy kvalitet.

Kapittel 2

Bakgrunn

I dette kapitlet skal valget av oppgave og problemstillingen den omhandler redegjøres. I tillegg vil oppgavens avgrensninger samt gruppens effekt – og resultatmål defineres.

I løpet av studiet har gruppens medlemmer tilegnet seg kunnskap innen 3D-modellering, produksjonsteknikk og materialteknologi med mer. Ett ønske om å bruke denne kunnskapen innen produktutvikling for å løse ett problem som gjenspeiler det man vil kunne møte på i arbeidslivet som maskiningeniør, gjorde at valget falt på nettopp denne oppgaven.

2.1 Problemstilling

En ferdigmatprodusent som har spesialisert seg på produksjon av fiskeretten bacalao har utviklet ett konsept for en maskin som skal porsjonere produktene før de pakkes i bokser. Dette arbeidet ble startet etter at bedriften hadde mottatt flere klager fra forbrukere om at fiskebitene i rettene var for små. Målet er derfor at den nye maskinen skal være mer skånsom mot produktet enn den maskinen de bruker i dag.

Maskinen hadde ikke blitt testet med produkt, og det var derfor usikkert om den ville innfri målet om å være mer skånsom mot produktet. I tillegg var det heller ikke planlagt hvordan lekkasjer skulle forhindres, noe som er essensielt for en maskin i matproduksjon. Bedriftens plan er å få produsert og patentert en maskin som kan settes inn i produksjonen i samarbeid med en produsent av maskiner for næringsmiddelindustrien.

Oppgaven omhandler videreutvikling av denne maskinen med hensyn på produksjonsteknikk og funksjonalitet. Gruppen vil utforske og evaluere ulike muligheter, samt ta beslutninger om hva som skal inkluderes i konseptet og hvordan det skal utføres. Målet med dette arbeidet er å identifisere forbedringspotensialer og komme frem til løsninger som innfrir de kravene som stilles til en maskin i matproduksjon.

2.1.1 Dagens løsning

Maskinen som brukes i dag er egentlig laget for porsjonering av flytende meieriprodukter, og er derfor ikke egnet for porsjonering av kokt fisk ettersom dette er ett svært skjørt produkt. Den består av 2" innløps - og utløpsrør, en 3-veis pluggventil, ett stempel og ett kammer. Volumet som porsjoneres bestemmes av stempelets slaglengde.

Den fungerer slik: Ventilen åpner innløpsrøret → stempelet trekkes tilbake → ventilen vris 90° for å stenge innløpsrøret og samtidig åpne utløpsrøret → stempelet presser produktet gjennom utløpet og produktet havner i bokser.

Problemet med denne maskinen er at noe av produktet havner i klem mellom stempelet, og den delen av ventilen som ikke er åpen. Sannsynligvis gjør de trange rørene at noe av produktet også blir knust både før og etter porsjoneringen.



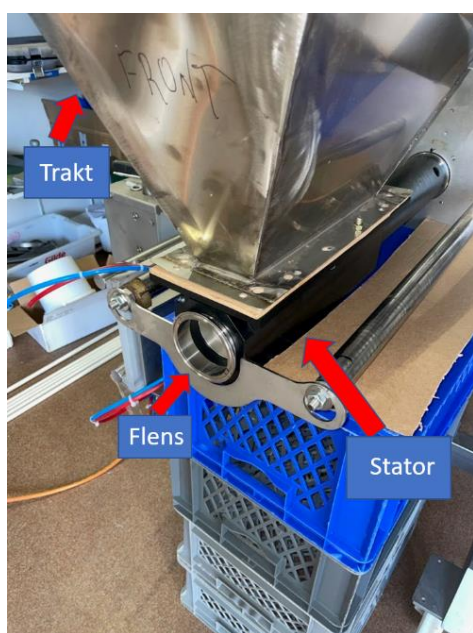
Figur 1: Dagens porsjoneringsmaskin.



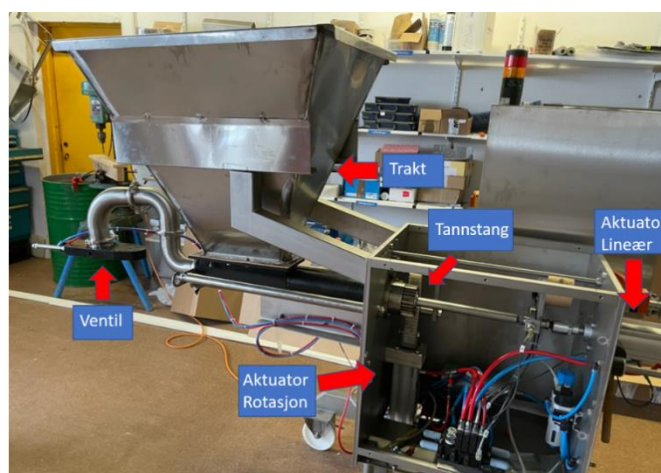
Figur 2: CAD-modell av 3-veis ventilen som styrer porsjoneringen.

2.1.2 Det nye konseptet

Det nye konseptet tar utgangspunkt i det samme prinsippet med ett kammer med ønsket volum, og ett stempel som presser produktet videre i emballasjen. For å unngå at produktet havner i klem blir det brukt en rotor for å porsjonere produktet. Maskinen fungerer ved at produktet fylles i en trakt. I bunnen av trakten er statoren festet. Dette er en blokk med en boring der rotoren er plassert inni. Syklusen starter med stempelet i fremre posisjon, og rotoren med åpningen pekende nedover. Deretter roterer rotoren 180° og stempelet trekkes tilbake slik at rotoren fylles opp med produktet som skal porsjoneres. Rotoren roterer tilbake 180° for å innkapsle det korrekte volumet, før stempelet presser produktet ut av rotoren og inn i en rørkobling som er koblet til statoren. Denne koblingen har en ventil i enden som lar produktet passere videre i bokser.



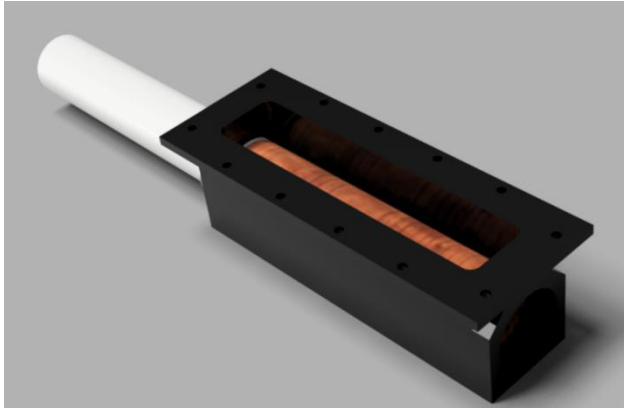
Figur 3: Testrigg uten rørkoblingen montert.



Figur 4: Testrigg med rørkobling og ventil.

Stempelet og rotoren drives ved hjelp av pneumatiske aktuatorer, og hele prosessen er PLS-styrt. Den ene aktuatoren sørger for lineær bevegelse i stempelet, og den andre sørger for at hylsen og rotoren kan rotere fritt ved hjelp av en tannstang.

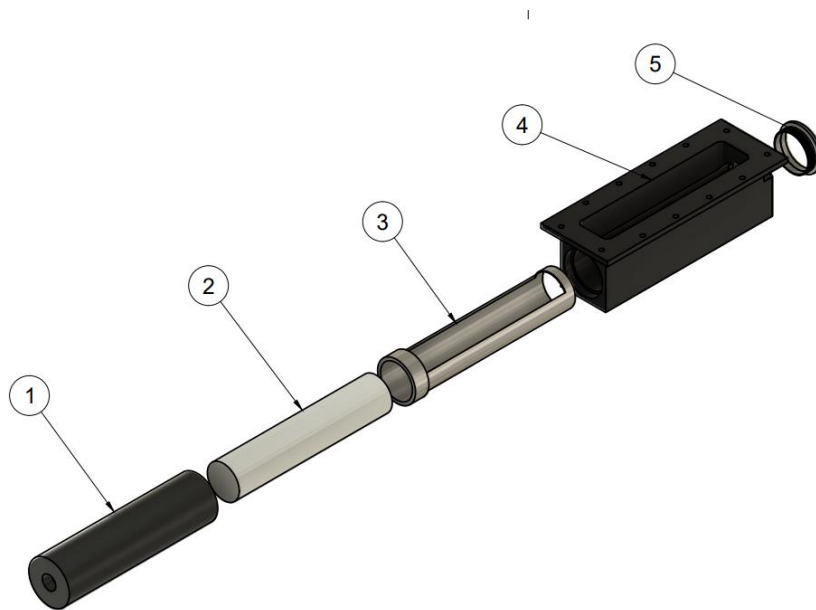
En stator er den stasjonære delen av en elektromotor, og den roterende delen kalles rotor. Blokken kalles stator av bedriften fordi den også består av en stasjonær og en roterende del, og benyttes derfor som navn på denne komponenten i oppgaven.



Figur 5: Illustrasjon som viser hvordan produktet porsjoneres i statoren.



Figur 6: Rotor.



Item	Qty	Item	Material
1	1	Hylse	POM
2	1	Stempel	POM
3	1	Rotor	AISI 304
4	1	Stator	POM
5	1	Tri-Clamp	AISI 304

Figur 7: Hovedkomponentene som inngår i konseptet.

2.2 Oppgavens hensikt

Hensikten med oppgaven er å utvikle ett design som vil være enklere å produsere, samt å evaluere ulike løsninger i forhold til valg av ventiler og aktuatorer. I tillegg vil det fokuseres på hvordan maskinen kan tettes. Disse punktene må innfris samtidig som at maskinen skal være skånsom mot fisken og innfri kravene som stilles til hygienisk design. Prosjektgruppen vil drøfte valg av tetninger og utarbeide 3D-modeller og maskintegninger i CAD programmet Fusion 360. Dette arbeidet skal legge til rette for produksjon av en funksjonell prototype.

2.3 Resultat - og effektmål

Gruppen har utarbeidet følgende resultatmål for prosjektet:

- Utarbeide en komplett 3D-modell av det valgte konseptet
- Maskinen er enkel å produsere
- Maskinen er skånsom mot produktet som skal porsjoneres
- Maskinen innfrir de krav som stilles til maskiner brukt i næringsmiddelindustrien

Gruppens effektmål er å utarbeide ett konsept som bedriften kan dra nytte av i fremtiden. Enten ved å ta i bruk vår prototype eller ved å ta i bruk noen av de løsningene som gruppen foreslår. Målet er at dette skal gjøres innenfor de rammene som er fastsatt.

2.4 Avgrensning

Oppgaven vil gjøre rede for forbedringspotensialer ved konseptet, samt hvordan disse kan implementeres med hensyn på å innfri kravene om hygienisk design.

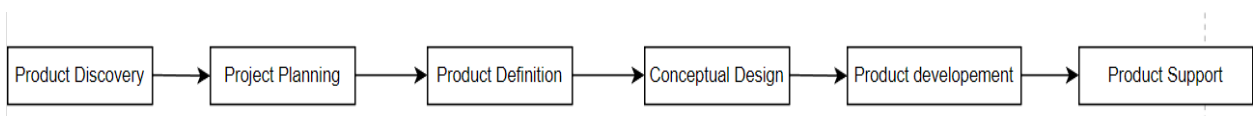
Kapittel 3

Produktutvikling

Produktutvikling er prosessen ved å skape nye eller forbedre eksisterende produkter. Det kan omfatte alt fra ide til lansering av produktet på markedet, og prosessen er vanligvis delt inn i flere faser som presenteres i dette kapittelet. En vellykket produktutvikling krever en kombinasjon av kreativitet, teknisk forståelse og effektiv prosjektledelse. Bedrifter som er i stand til å utvikle innovative og populære produkter kan oppnå konkurransefortrinn som igjen kan medføre økt inntjening (Ullman, 2010).

3.1 Produktutviklingsprosessen

Produktutviklingsprosessen er en systematisk tilnærming brukt av ingeniører for å lage og designe nye produkter. Den inkluderer en rekke steg som må følges for å sikre at sluttproduktet oppfyller nødvendige krav. David G. Ullman beskriver de ulike fasene i produktutvikling slik i boka *The Mechanical Design Process*:



Figur 8: Fasene i produktutviklingsprosessen.

- 1) Det første steget i produktutviklingsprosessen er produktoppdagelsesfasen. Denne fasen innebærer markedsundersøkelser og innhenting av informasjon om kunders og interessenters behov. I denne fasen defineres mål, grenser og funksjonskrav til produktet, som igjen gjøres om til målbare ingeniørfaglige parametere. Målet er å identifisere en produktide som møter et reelt behov hos brukerne og som har potensial til å være kommersielt levedyktig.
- 2) Prosjektplanlegging involverer allokering og styring av forretningsressurser, inkludert penger, ansatte og utstyr. Ullman presiserer i boken at det er viktig å lage en plan før man allokere ressurser. Planleggingen krever imidlertid at det må gjøres antagelser om ukjente faktorer, noe som gjør planlegging av et helt nytt produkt mer utfordrende enn å planlegge for ett produkt som ligner det forrige.
- 3) Defineringsfasen er en kritisk fase i designprosessen fordi den legger grunnlaget for resten av prosjektet. Formålet med dette arbeidet er å få en grundig forståelse av designproblemet. Dette innebærer å identifisere potensielle kunder, og forstå deres krav til produktet. Disse kravene danner grunnlag for kvaliteten og de tekniske spesifikasjonene.
- 4) Under konseptutviklingen brukes resultatene fra planleggings – og produktdefineringsfasene til å utvikle og evaluere produktkonsepter. Kundekravene danner grunnlaget for dette arbeidet. Denne funksjonelle tilnærmingen er avgjørende for å utvikle konsepter som til slutt gir produkter av høy kvalitet. Målet med konseptutviklingen er å skape en klar visjon og konsept for produktet som skal utvikles.
- 5) Etter å ha utviklet og evaluert ulike konsepter kan de best egnede utvikles til ferdige produkt. På dette tidspunktet må den tekniske dokumentasjonen som definerer produksjonsteknikk, montering og kvalitetskrav være fastsatt.
- 6) Produktstøtte forsikrer at produktet imøtekommer kravene til forbrukeren, og at det kan vedlikeholdes gjennom hele levetiden.

3.2 Maskiningeniørens rolle

Maskiningeniører spiller en viktig rolle i hele produktutviklingsprosessen. De bruker sin tekniske ekspertise til å lage designkonsepter og prototyper, i tillegg til å utføre analyser og testing. Dette sikrer at produktet oppfyller de nødvendige kravene til sikkerhet, ytelse og kostnadseffektivitet. Maskiningeniører bistår også produsenter gjennom produksjonsprosessen, og forsikrer at produktet er produsert i henhold til designspesifikasjoner. Deres ekspertise er avgjørende for å bringe produkter som møter behovene til kunder og interessenter på markedet (Ullmann, 2010).

Rollen til en maskiningeniør varierer avhengig av hvilken del av produktutviklingsprosessen man befinner seg i, størrelsen på prosjektet og hvilke typer produkter det dreier seg om.

Kapittel 4

Metode

Dette kapitlet gir en beskrivelse av de metodene som er benyttet i utviklingen av porsjoneringsmaskin for næringsmiddelindustrien. Metodene er tilpasset formålet med oppgaven. I dette arbeidet er det benyttet en kombinasjon av kvalitative og kvantitative metoder, som hver har sine styrker og begrensninger. De kvalitative metodene er brukt for å kartlegge bedriftens behov og ønsker, mens de kvantitative metodene er blitt benyttet for å teste og evaluere maskinens funksjonalitet.

I dette kapitlet vil det bli gitt en beskrivelse av hvordan disse metodene er anvendt.

4.1 Forskningsmetode

Forskningsmetodene er brukt for å finne relevant teori og forskning som er nødvendig for å besvare problemstillingen i oppgaven. Siden en prototype allerede har blitt utviklet av bedriften har det vært fokus på å evaluere denne for å finne mulige forbedringer.

Litteraturstudien, samarbeid med bedriften og kunnskap som gruppens medlemmer har tilegnet seg gjennom studiet har dannet grunnlag for dette arbeidet.

4.1.1 Litteraturstudie

For å evaluere og komme frem til de mest optimale løsningene har det blitt undersøkt relevant teori. Dette gjelder hovedsakelig akademiske verk som er tilgjengelige på internett eller litteratur som er foreslått av faglærere ved NTNU. I tillegg er det også benyttet nettbaserte leksikon som Store Norske Leksikon. Gruppen har hatt fokus på å bruke validerte kilder for å sikre kvaliteten på arbeidet.

4.1.2 Samarbeid med bedrift

Å samarbeide med bedriften har gitt en bredere forståelse av problemstillingen og hvordan man kan løse den. Deres kunnskap og erfaringer har vært essensielt for å kunne løse denne oppgaven. I tillegg har prosjektgruppen fått studere bedriftens testrigg visuelt og under drift for å kunne identifisere potensielle forbedringer.

4.2 3D-modellering og simulering

For å tegne, modellere og utføre simuleringer av konseptet ble det i denne oppgaven brukt CAD-programmet Fusion 360.

4.2.1 Modellering

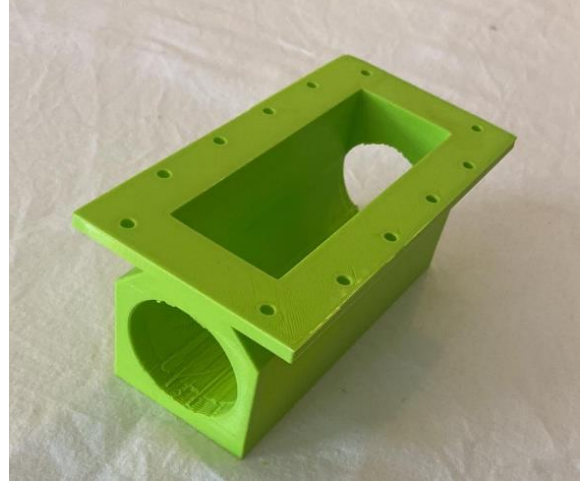
For å modellere konseptet ble det brukt både eksisterende deler og designet nye deler fra bunnen av. Delene ble designet med hensyn på at de vil kunne bli produsert på en enkel måte. 3D-modellering tillater designeren å visualisere konseptet på en kostnadseffektiv måte, i tillegg til at endringer i designet kan gjennomføres raskt og enkelt. For å forsikre at dimensjonene til de ulike delene stemte underveis ble det laget sammenstillinger.

4.2.2 Styrkeberegning

For å undersøke hvordan vekten av rørkoblingen og ventilen påvirker gjengene i statoren ble det gjennomført en styrkeberegning i Fusion 360. Momentet som oppstår i gjengene til statoren som følge av vekten til rørkobling og ventil ble beregnet til 17.5Nm og 22.5Nm for hhv. det gamle og det nye designet [Vedlegg K]. Dersom spenningene som oppstår ligger under flytegrensen til materialene, vil dette gi en sikkerhetsfaktor $FOS > 1$. Gjengene i statoren vil dermed i teorien ha tilstrekkelig styrke til å tåle vekten av en frittstående rørkobling og ventil.

4.3 Prototyping

Produksjonen av prototyper har foregått ved hjelp av 3D-printer. Dette har gitt prosjektgruppen rask mulighet til å kunne teste og evaluere den fysiske formen til de ulike komponentene og hvordan de passer sammen. Bruk av 3D-printer ble valgt til fordel for tradisjonelle metoder som støping og bearbeiding, som kan være både tidkrevende og kostbart. Gjennom veileder har gruppen fritt fått disponere en egen 3D-printer, noe som har gitt store tidsbesparelser.



Figur 9: 3D-printet prototype av stator i målestokk 1:2.

Til produksjon av prototyper har det blitt brukt PLA, som er en nedbrytbar termoplast laget av biologisk materiale som maisstivelse eller sukkerrør. PLA er mye brukt til 3D-printing fordi det er brukervennlig, uten at det avgir noen farlige gasser (TWI, 2023).

Kapittel 5

Hygienisk Design

I dette kapitlet presenteres relevant teori rundt temaet hygienisk design, med fokus på hvilke betraktninger som må gjøres når man designer en maskin for næringsmiddelindustrien.

5.1 Generelt om maskiner i matproduksjon/regelverk

Maskiner som brukes i næringsmiddelindustrien skal designes og produseres for å sikre trygg produksjon og trygghet for forbrukeren. Dette krever at produsenter og operatører overholder en rekke forskrifter og standarder som er spesifikke for matproduksjon og prosessering. Regelverket som må følges avhenger av hvilket land maskinen skal operere i, og Norge har egne regler og forskrifter som omhandler bruk og produksjon av maskiner i næringsmiddelindustrien. Disse reglene er i stor grad basert på EU-direktiv 2006/42/EC, som omhandler regelverk knyttet til alle maskiner som selges eller brukes i Europa (*Directive 2006/42/EC*, 2006). Den norske forskriften som regulerer maskiner i næringsmiddelindustrien er *Forskrift om næringsmiddelhygiene*, og har som formål «å sikre næringsmidlenes hygieniske kvalitet og forebygge produksjon og omsetning av helseskadelige næringsmidler» (*Næringsmiddelhygieneforskriften*, 2009).

Ellers kan man finne gjeldende regelverk hos FDA, US Food Safety and Inspection Service og European Hygienic Equipment Design Group (EHEDG), for hhv. USA og Europa. Bakgrunnen for regelverket er å «beskytte maten mot fysiske (biter av metall, materialer brukt i pakninger osv.), kjemiske og biologiske farer». For å holde seg i tråd med regelverket finnes det krav til maskiner og deler som er i direkte og indirekte kontakt med maten (Fellows, 2009a).

Overflatene som er i kontakt med produktet omfattes av flere regler og anbefalinger. Blant annet skal delene sjekkes at de er frie for sprekker slik at ingen mat eller væsker skal kunne lekket ut eller bli igjen over tid i selve sprekken, noe som øker faren for bakteriedanning. Overflatene skal heller ikke gå over en bestemt ruhet, $Ra \leq 0.8\mu\text{m}$ (EHEDG).

Overflatene må være korrosjonsbestandige og de kan ikke ha noen kjemisk reaksjon med produktet, og ikke avgi flekker eller lukter (ikke-forurensende) (Curiel, 2003). Videre er det viktig at materialet ikke tar til seg produktet (absorberer) eller på noen måte er gjennomtrengelig eller hullete/porøst. Mer spesifikt om materialer som egner seg til matproduksjon utgreies i kapittel 5.3.

Utformingen av utstyret bør gjøre det enkelt å rengjøre. Rengjøring kan skje med eller uten at utstyret må demonteres, der begge metodene bør fungere like bra og skal gi en ren maskin (Fellows, 2009, s.806).

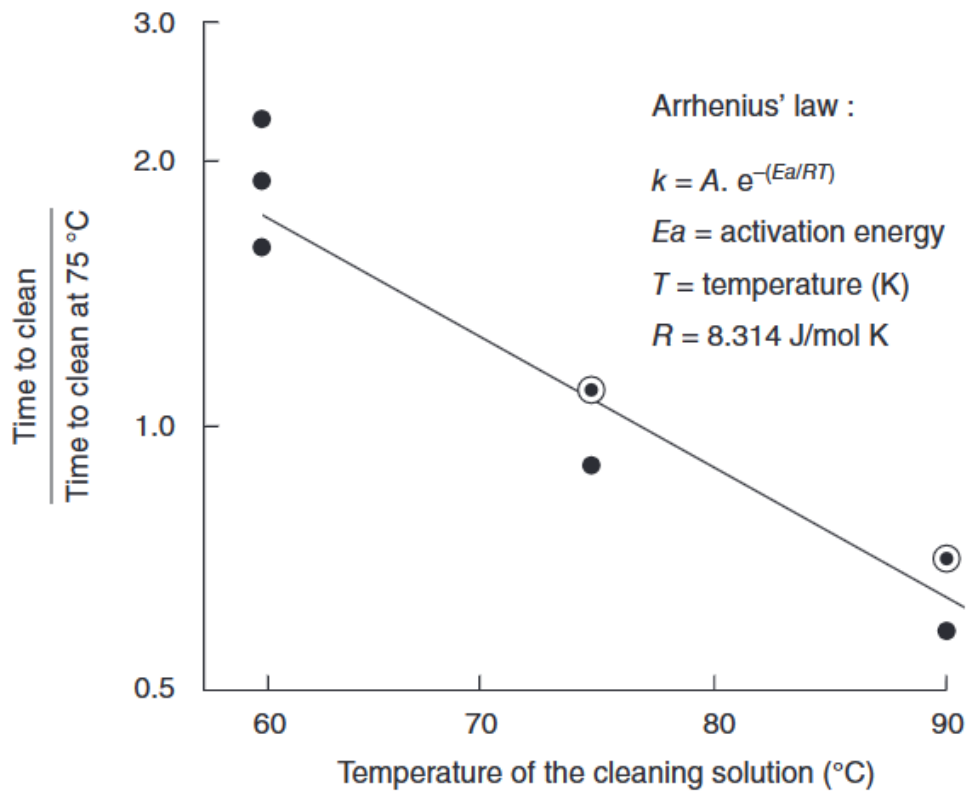
5.2 Renhold og vedlikehold

For å levere næringsmiddel som er trygt å spise er det nødvendig med jevnlig rengjøring. Renhold og vedlikehold er tett bundet opp mot hygienisk design, men siden hygienisk design handler om alt fra materialtyper, overflater og sveiser blir det i denne delen satt ekstra fokus på selve rengjøringsprosessen. Det skal sees på fordeler og ulemper tilknyttet metoden ved å vaske uten å demontere utstyret, «Clean in place» (CIP). Det skal også gås igjennom det motsatte systemet der man demonterer systemet for å vaske, «Clean out of place» (COP) og manuell vasking (Stier, 2020).

Det finnes egne regler til utforming og plassering som sørger for at maskinene er enkle å renholde. Reglene varierer avhengig om utstyret står montert på bord, vegg eller gulv. Selv om reglene varierer er tanken den samme at det enten skal være helt lukket og umulig for forurensninger å komme til, eller være god plass til å renholde. Utstyr skal enten kunne flyttes på en enkel måte eller ha god tilkomst fra alle sider for enkelt vedlikehold og renhold. Utstyr som står på gulvet skal ha bein som løfter det 15 cm eller høyere over gulvet og 10 cm ifra vegger, eller ha hjul slik at man kan flytte på utstyret for å renholde det. Dersom det er fastmontert på gulvet gjelder regelen om at det skal være forseglet og ikke slippe inn noen form for forurensning. Det samme gjelder dersom utstyret er montert på veggen. Utstyr montert oppå bord eller benk som ikke enkelt kan flyttes eller er forseglet skal stå 10 cm eller høyere over bordet (Fellows, 2009, s.808).

Overordnet er vaskeprosessen delt inn i å først fjerne rester og flekker, og etterpå påføre desinfeksjonsmiddel for å drepe og fjerne bakterier (Fellows, 2009b, s.808). Mer spesifikt kan vaskeprosessen deles inn i 4 deler, der den første vil være å ha på vaskemiddel, og avhengig av metoden man bruker for å vaske: sørge for at vaskemiddelet dekker restene/forurensningene man prøver å bli kvitt. Etterpå skal dette virke på de eventuelle flekkene, og avhengig av hva det er som skal fjernes tilsettes det ulike stoffer. Når det har fått virke på urenheter i maskinen kan man begynne å spyle med vann for å få oppløst flekkene, før man til slutt skal skylle ut restene med vann og eventuelt benytter desinfeksjonsmiddelet for å forhindre at noe ligger igjen eller fester seg på nytt (Fellows, 2009, s.809). Etter vasking burde delene kontrolleres for om det ligger igjen vann, såpe eller flekker.

Generelt sett vil høyere temperatur under vasking gi en mer effektiv prosess som gjør at vaskingen tar mindre tid, selv om det finnes unntak når det gjelder vaskemidler man skal bruke og hva man vasker. Proteiner er et eksempel på rester som man ikke bør bruke for høy temperatur på siden det denaturerer og legger igjen et sjikt som er vanskelig å vaske bort. Med høy temperatur menes 80 °C, og noen proteiner tåler heller ikke lavere enn denne temperaturen (Lelieveld *et al.*, 2014).



Figur 10: Vasketid som funksjon av temperatur på vaskevann (Timperley, Smeulders, 1988).

Det finnes noen egenskaper som kjennetegner gode vaskemidler. Gode egenskaper for et vaskemiddel er at det er lett oppløselig i vann og ikke hopper seg opp til en masse. Det skal heller ikke være giftig og ikke virke korrosivt. Det må ikke degraderes lett ved oppbevaring og burde være tilgjengelig å kjøpe til en rimelig pris. Kalsium og magnesium burde fjernes av vaskemiddelet for å forhindre hardt vann (Fellows, 2009, s.809). Hardt vann danner bunnfall som etterlater flekker og kan tette rør samt legge igjen avleiringer, og det gjør at vaskemiddel har vanskeligere for å oppløse seg i vannet slik man må bruke mer av det (Corrosionpedia, 2020).

5.2.1 CIP

Ved CIP-metoden kan man spare både penger og miljøet i lengden. Siden CIP er en automatisert vaskemetode som ikke krever at utstyret må vaskes manuelt sparer dette en bedrift for arbeidskraft, og dermed penger. Det er heller ikke nødvendig med like mange til stede under vasking siden utstyret ikke må demonteres. Vannet og vaskemidlene som brukes har systemer som gjør at enten deler av det eller alt samles opp igjen og kan brukes på nytt, noe som er mer miljøvennlig og billigere. En annen fordel med CIP er at selve vaskeprosessen går raskere, som betyr at utstyret raskere kan settes i drift igjen og får mindre nedetid. Det er også fordelaktig med tanke på HMS fordi personal ikke er utsatt for vaskeprosessen som kan inneholde høye temperaturer og sterke vaskemidler. Personalet trenger heller ikke å prøve å komme til på ugunstige plasser med stiger osv. og er dermed tryggere. Mellom 85 og 90 °C er hva en CIP prosess typisk kan ligge på, som ofte er en fordel fordi det tar mindre tid å vaske (Lelieveld *et al.*, 2014).

CIP-metoden har derimot en høy startkostnad. Det må programmeres via PLS og installeres for å passe akkurat den maskinen det gjelder. Dette kan medføre en høy kostnad siden man trenger noen med kompetanse innen programmering slik at systemet fungerer som ønsket.

Siden CIP- programmet tilpasses en bestemt maskin kan den ikke brukes andre steder på en enkel måte uten å måtte endres på. Det finnes løsninger på dette med CIP-systemer som kan flyttes rundt manuelt til utstyr som ikke trenger full automasjon til vasking. Automatiske programmer som CIP gjør bare de samme mekaniske bevegelsene/sekvensene hver gang, og er derfor ikke i stand til å vaske ekstra nøye på større flekker/matrester som sitter igjen. Hadde man vasket manuelt ville man pusset ekstra på de synlige flekkene som ligger igjen. Dette gjelder spesielt kjøttprodukter som kan ha større biter liggende igjen.

Det er derfor en mindre egnet metode for maskiner som brukes til å produsere kjøttprodukter. Litt avhengig av hvordan CIP-systemet er satt opp, f.eks. om det er pumper som driver vaskevannet, vil det kreve vedlikehold av pumpene (Lelieveld *et al.*, 2014, s.308).

5.2.2 COP

COP er en forkortelse for «Clean out of place», og er en prosess som i likhet med CIP kan automatiseres. Delene må demonteres og kan vaskes i en vasketank eller andre innretninger. Klemmer, slanger og ventiler er typiske deler som egner seg for COP. I en COP-prosess ved bruk av COP-tank blir alle delene som skal vaskes senket ned på ulike måter i tanken. I denne tanken er det vannstråler som spyles fra ulike vinkler for å sikre tilstrekkelig rengjøring. For at vaskingen skal bli mest mulig effektiv er det viktig at delene ikke ligger for tett eller oppå hverandre, og man bør også tenke på hvordan delene skal ligge for at vannstrålene skal komme best mulig til. Vaskevannets temperatur og mengden vaskemiddel som brukes kan justeres av maskinen avhengig av hvor automatisert prosessen er. Etter vasking med vann og vaskemiddel brukes gjerne desinfeksjonsmiddel. Tanken fylles opp med middelet som desinfiserer delene. Etter at delene er desinfisert er det viktig at de ikke kontamineres under frakt eller oppbevaring (Miller, 2023).

Fordelene med et COP-system kontra CIP er at startkostnaden kan ligge på under halvparten, noe som kan bety mye for en bedrift som akkurat har startet opp eller ikke ønsker å gjøre noen større investeringer. I tillegg er det noen deler som ikke egner seg for CIP-vasking, og da er dette en egnet måte å vaske de på uten å måtte gjøre det manuelt. Ulempen med COP er at det krever mer manuelt arbeid enn CIP, og siden delene må skrus fra hverandre og fraktes fra «vaskemaskinen» manuelt er det en viss fare for rekontaminering i denne prosessen (Beadle, 2021).

5.2.3 Manuell rengjøring

Manuell rengjøring egner seg for delene som COP ikke tar hånd om fordi de er for vanskelige å flytte på. Typiske deler som er ugunstig eller ikke mulig å flytte på er tetninger, eller deksler som er ment for å gi tilgang for mennesker inne i maskineriet. Ved manuell rengjøring benyttes ulike verktøy, ofte børste sammen med varmt vann i bøtte eller vannslange når utstyret er skrudd fra hverandre. Denne typen vasking krever arbeidskraft, noe som gjør dette til en mindre effektiv metode enn CIP og COP, selv om resultatet av vaskingen kan bli like bra (Miller, 2023). En svakhet med manuell vasking er at temperaturen ikke kan foregå ved høyere enn 45-50 °C (Lelieveld *et al.*, 2014, s.314). Ved høyere temperaturer er faren for skålding større, i tillegg til at det vanligvis er rundt 55 °C varmt vann man maksimalt får ut av tappekraner.

5.3 Materialer i matproduksjonsmaskiner

Materialer brukt i overflater som skal være i direkte kontakt med produktet bør være slitesterkt, korrosjonsdyktig og ha lite behov for vedlikehold (k., 2022). I denne delen vil det utgreies om noen materialer som egner seg for bruk i maskiner i næringsmiddelindustrien.

5.3.1 Rustfritt stål

Rustfritt stål er både korrosjonsbestandig og slitesterkt, og derfor godt egnet til bruk i matproduksjon (k., 2022). Stållegeringer med ulik andel av nikkel og krom gjør at man kan endre materialeegenskapene. Krom gjør at man blant annet kan endre korrosjonsbestandigheten, og andel nikkel gjør at man blant annet kan endre styrke og overflatehardhet (Fellows, 2009a). For at stålet skal kunne kalles rustfritt må legeringen inneholde 10,5% krom eller mer. I denne delen vil det blitt gått igjennom rustfritt stål 304 og rustfritt stål 316 siden disse er mest brukt i maskiner og deler som er i kontakt med mat. Forskjellen på 304 og 316 er innholdet av nikkel og krom, og at 316 stålet i tillegg har 2-3% molybden (Reliance Foundry Co. Ltd, 2020).

304 rustfritt stål består av rundt 18-20% krom, 8-10,5% nikkel, i tillegg til mangan og karbon. Legeringen til 316 er ganske lik 304, men med den ekstra tilsetningen av molybden blir denne legeringen enda mer beskyttet mot korrosjon, i tillegg er 316 stålet også dyrere. På grunn av at 316 inneholder mer nikkel samt molybden er prisen ca. 40% høyere enn for 304 (Geise, 2021). Fordelene med 304 stål blir da prisen og at det er mer formbart enn 316 stål, mens 316 stål har forbedrede egenskaper på korrosjonsresistans i miljøer med mye salt og i kloridholdige løsninger (Metal Supermarkets, 2018). I noen tilfeller vil det stå L bak 304 eller 316, som står for «Low» og referer til at legeringen har lavere enn 0,03% karboninnhold som gjør metallet bedre egnet til sveising (CPV Manufacturing, 2023). Egenskapene til legeringen vil ellers være ganske lik (Nordic Steel Group, u.å.).

5.3.2 POM

POM (Polyoksymetylen) er en type plast som er godkjent for direkte kontakt med næringsmiddel. POM har høy overflatehardhet og er slitesterkt. Materialet har gode egenskaper når det gjelder å beholde sin opprinnelige form i høy temperatur og fuktighet (dimensional stability på engelsk) (Astrup, 2023). Det absorberer veldig lite vann, spesielt POM-C, og det reagerer ikke lett med andre kjemikalier. Til produksjon er POM et velegnet materiale siden det gir gode resultater ved maskinering uten vansker, høy presisjon og gir vektreduksjon i forhold til metaller.

POM kommer i klassene POM-C og POM-H (copolymer og homopolymer), der POM-C er den vanligste i Europa (og Norge ettersom POM-C utgjør ca. 95% av POM som blir forbrukt) fordi denne tåler ekstrudering bedre ved at sjansen for porer i overflaten er mindre (Vink Norway AS, 2023). POM-H er mer slitesterk, hardere og har rundt 10 °C høyere smeltepunkt enn POM-C (Ensinger, 2023). Ifølge Astrup.no som selger POM-C kan det brukes på temperaturer opptil 140 °C.

5.3.3 Aluminium

Aluminium er ett lettmetall som er mye brukt i maskiner i næringsmiddelindustrien. En av hovedgrunnene er den høye varmeledningsevnen som muliggjør effektiv varmeoverføring og raskere bearbeidingstid. I tillegg gjør den lave tettheten (2,7 g/cm³) aluminium velegnet for maskiner og komponenter der lav vekt er kritisk (Pedersen og Kaland, 2023). Aluminium er også ett billigere alternativ enn for eksempel 304 rustfritt stål, målt i volum.

Til tross for flere fordeler, har aluminium også sine begrensninger når det kommer til bruk i matforedlingsmaskiner. En av ulempene er lav korrosjonsbestandighet i kontakt med sure og alkaliske produkter. Det stilles derfor krav om overflatebehandling dersom aluminium skal brukes i kontakt med mat (Fellows, 2009a, s.807). Aluminium er heller ikke egnet for bruk i komponenter som er utsatt for høyt trykk eller tung belastning, da det har lav styrke og hardhet sammenlignet med stål. Bruken av aluminium må derfor vurderes nøye for å sikre at den er i samsvar med forskrifter og standarder, og dets begrensninger når det gjelder styrke må betraktes når man velger materiale for en spesifikk komponent.

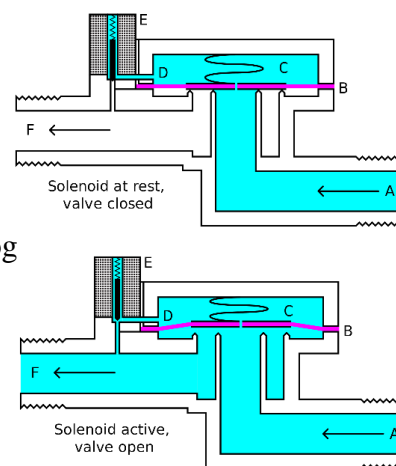
5.4 Ventiler

For å kunne levere kvalitetsprodukter i tillegg til å innfri hygieniske krav, er det viktig å velge ventiler som er designet for å imøtekomme disse kravene. Som resten av maskinen skal ventiler i næringsmiddelindustrien være laget av materialer som er trygge og godkjent for matproduksjon. I tillegg må ventilene være enkle å rengjøre og vedlikeholde for å unngå bakterievekst og forurensning.

Testriggen tok i bruk en skyvespjeldventil, som viste seg å være vanskelig å renholde. I dette kapittelet presenteres derfor teori rundt noen av de ventiltypene som er brukt i næringsmiddelindustrien, samt en diskusjon rundt hvilke ventiltyper som vil være egnet for porsjoneringsmaskinen.

5.4.1 Solenoidventil

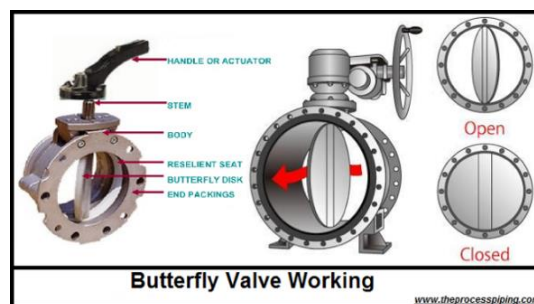
En solenoidventil styres av elektromagnetisme og er vanlig å bruke i rør som leder vann. En normalt åpen solenoidventil åpnes ved at magneten som blokkerer en smal passasje (D) løftes opp slik at en liten mengde væske får renne igjennom. Dette fører til en trykkforskjell som åpner opp stopperen (B) og lar væske renne fritt igjennom (Wikipedia, 2023d). I næringsmiddelindustrien brukes solenoidventiler til å kontrollere strømmen av flytende produkter som olje, melk og vann.



Figur 11: Virkemåte solenoidventil. (Gonzales, 2007).

5.4.2 Butterflyventil

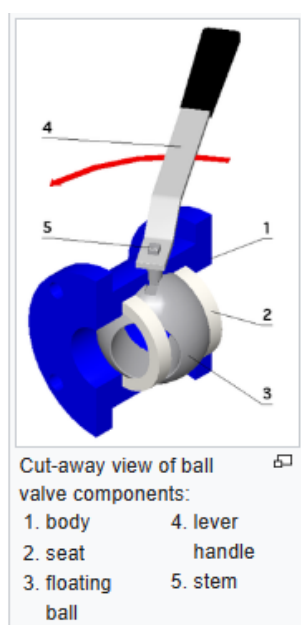
En butterflyventil (også kalt dreiespjeldventil) består av et sirkulært spjeld som roterer om en akse for å lukke og stenge strømmen i ett rørsystem. En stang går gjennom spjeldet og er koblet til en aktuator eller ett håndtak på utsiden. I motsetning til en kuleventil vil spjeldet blokkere noe av strømmen selv i åpen posisjon (Wikipedia, 2023b).



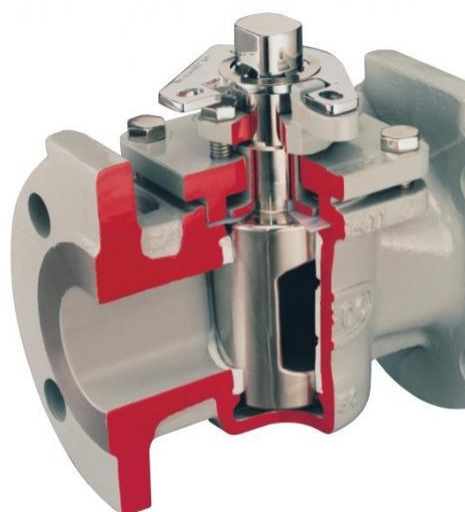
Figur 12: Virkemåte butterflyventil (The Process Piping, 2020).

5.4.3 Kuleventil og pluggventil

En kuleventil fungerer på lignende vis som en butterflyventil. Her er det i stedet en kule med åpning som tillater mediet å flyte igjennom. Det finnes også flere varianter av denne, en av de som er verdt å nevne er «full bore». Denne varianten har en forstørret kule og dermed også en større åpning som er like stor som røret, dette gjør at kuleventilen gir fri flyt når den er i åpen posisjon (Wikipedia, 2023a). En pluggventil er i prinsippet det samme, bare at ventilen er sylindrisk eller kjegleformet. Typisk krever også disse en kvart rotasjon for å åpne/lukke (Wikipedia, 2023c).



Figur 14: Kuleventil (Castelnuovo, 2006).



Figur 13: Pluggventil (Sigum Fagerberg AS, u.å.)

5.4.4 Valg av ventil

Ved valg av ventil må man ta for seg hygienisk design, hvor enkelt den kan vedlikeholdes, pris og størrelse. Ettersom den skal brukes i næringsmiddelindustrien er det hygienisk design og vedlikehold som er de viktigste punktene i dette tilfellet. En essensiell del er også at ventilen er skånsom mot matproduktet.

Solenoidventiler er svært vanlige i næringsmiddelindustrien, men de er ikke egnet for dette produktet. Væsken er svært tyktflytende og inneholder store biter som ikke skal knuses opp. Designet til en solenoidventil avhenger at væsken lett skal kunne flyte gjennom åpningen for å oppnå trykkforskjellen som åpner ventilen. Dette blir vanskelig å få til med en tykk væske og i tillegg kan det fort legges seg biter i åpningen slik at ventilen slutter å fungere som den skal. Disse trange passasjene og de rette vinklene gjør også ventilen svært vanskelig å rense tilstrekkelig. Den har i tillegg flere hjørner der rester av produktet kan bygge seg opp. En mulig løsning hadde vært å bruke en unormalt stor ventil, men selv da vedvarer problemene rundt ventilens renhold.

En butterflyventil har derimot et enklere design, noe som gjør den enkel å rense og eventuelt demontere ved vedlikehold. Den er også svært arealeffektiv og har lavere vekt enn pluggventil. Dette gjør den godt egnet til å montere på enden av rørkoblingen. En ulempe med butterflyventiler er at deler av matproduktet kommer i kontakt med ventilskiven. Dette kommer til å redusere skånsomheten mot produktet.

En kule- eller pluggventil kan da være et godt alternativ. Bruker man en «full bore»-variant er det ingen interferens med strømmen av produkt og disse kan skaffes i passende rørdimensjoner. Lengden og vekten til ventilen i sin helhet er derimot en del større enn butterflyventilen. En kuleventil krever ringer som kulen kan rotere i (markert som «seat» i figur 13). Dersom denne skal brukes må det velges ringer av materiale som er egnet for matproduksjon. En fordel ved pluggventilen er at den ikke trenger slike «seat»-ringer som kommer i kontakt med produktet, samt at den er litt kortere i lengde. Prosjektgruppen anbefaler derfor å ta i bruk en pluggventil.

Kapittel 6

Tetninger

En tetning har som hovedoppgave å skille to medier fra hverandre, og det skilles gjerne mellom akseltetninger og flenstetninger. Tetningens egenskaper avhenger av mediet det skal tettes mellom, og arbeidstemperatur og trykk påvirker valg av materiale og dets hardhet (NDLA, 2018).

Tetninger i næringsmiddelindustrien spiller en sentral rolle i å sikre at matvarer blir produsert på en trygg og effektiv måte. I tillegg til å forhindre lekkasjer, brukes de for å forhindre at forurensing og bakteriedannelse ødelegger matvarene. Dette sikrer at produktet beholder ønsket smak og kvalitet.

6.1 Tetningstyper

Generelt finnes det mange typer tetninger, hver med sitt unike design og bruksområde. Valget av tetning avhenger av de spesifikke kravene til installasjonen. I dette kapittelet presenteres teori rundt de mest brukte tetningstypene.

6.1.1 O-ringer

O-ringer er en av de mest brukte akseltetningene, og lages vanligvis av elastomer som er: «en fellesbetegnelse på polymerer som ved romtemperatur viser svært elastiske egenskaper». Eksempel på elastomer er gummi og silikon (Helseth, 2020).

Kobber, plast og rustfritt stål er også ofte brukt. Vanlige bruksområder er for eksempel tetting av hydrauliske systemer, skrulokk og flenser. De er designet for å passe inn i ett spor for å skape en tett forsegling og forhindre at o-ringen presses ut (Flitney, 2014).

6.1.2 Flytende pakninger

Flytende pakning (*på engelsk kalt FIP-seals som er en forkortelse for form-in-place seals*) påføres som flytende tetningsmasse på en av flensoverflatene før delene monteres. Når delene er montert og presses sammen vil tetningsmassen spre seg mellom flensene og fylle sprekker, riper og andre ujevnheter i overflaten. Deretter herder pakningen og skaper en tetning. Det finnes mange ulike typer flytende pakninger til ulike formål og det skilles mellom to hovedtyper:

1. Anaerobe pakninger for “stive” flenser. Dette er flenser hvor bevegelse må minimeres. Boltene er presset hardt sammen med en jevnt fordelt kraft noe som krever at pakningen kan herde uten lufttilførsel.
2. Silikon for fleksible og lettere fastklemte flenser, som brukes på flenser hvor bevegelse mellom flensene tolereres. Formålet med denne type pakning er vanligvis å forsegle, forhindre væskelekkasje eller å redusere støy.

6.1.3 Tetning av roterende aksler

Akseltetninger er ett samlebegrep for tetninger som brukes for å forhindre lekkasjer av væske eller gass mellom roterende komponenter. De brukes vanligvis i maskiner eller utstyr der en aksel eller spindel roterer inne i et stasjonært hus (boring), som for eksempel en sylindervegg. Vanlige bruksområder er pumper, motorer, girkasser og turbiner. De brukes også i økende grad innen kjemisk prosessindustri og matprosessering (Eclipse Engineering, 2020).

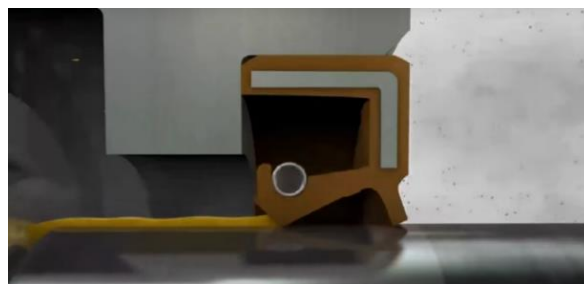
På grunn av de utallige bruksområdene finnes det også ett stort utvalg tetninger for roterende aksler på markedet, hvor hver tetning i ulik grad innfrir krav til dimensjoner, vekt, kostnad og pålitelighet.

De mest vanlige typene er:

Leppetetninger: Den mest brukte typen er leppetetninger som består av en leppe som presses mot akslingen. Leppetetninger er godt egnet for tetting av akslinger under både lineær og roterende bevegelse. Tetningen festes til den stasjonære delen av komponenten slik at akslingen kan rotere fritt. Leppetetninger forhindrer lekkasjer, i tillegg til å forhindre at støv, fukt og andre kontamineringer trenger inn i komponenten. Den fleksible leppen er utformet for å kunne tilpasse seg formen til akslingen og skaper dermed en tetning som forhindrer lekkasjer. Vanlige materialer er PTFE og elastomer.



Figur 16: Leppetetning (Clarke, 2016).



Figur 15: Radialakseltetning (Tribonet, 2017).

Radialakseltetninger: Disse ligner på leppetetninger, men har ett metalldeksel som beskytter tetningsleppen mot slitasje og skade. Det sylindriske dekslet tetter statisk mot husets boring, og tetningsleppen tetter dynamisk og statisk mot akslingen. Tetningsleppen er vanligvis fjærbelastet for å sikre et jevnt press. Radialakseltetninger er generelt kraftigere og gir bedre tetningsytelse over tid enn vanlige leppetetninger. De er imidlertid dyrere enn leppetetninger, og brukes derfor under mer krevende driftsforhold som for eksempel i pumper, girkasser og motorer.

Mekaniske tetninger: Disse er mer kompliserte i utforming og virkemåte enn vanlige leppetetninger og brukes i komponenter som opererer under høyt trykk og høy temperatur. De består av en stasjonær og en roterende del som presses sammen for å skape en tetning.



Figur 17: Mekanisk tetning (Leakpack, 2017).

Flatene på de to delene av en mekanisk tetning presses sammen under en kombinasjon av fjærbelastning og systemets trykk. Mekaniske tetninger har lenger levetid enn leppe – og radialakseltetninger, noe som gjør de godt egnet for bruk i industrielle komponenter der pålitelighet er kritisk. De er derimot dyrere og mer kompliserte å installere, og krever regelmessig vedlikehold for å sikre riktig ytelse.

Hentet fra (Flitney, 2014).

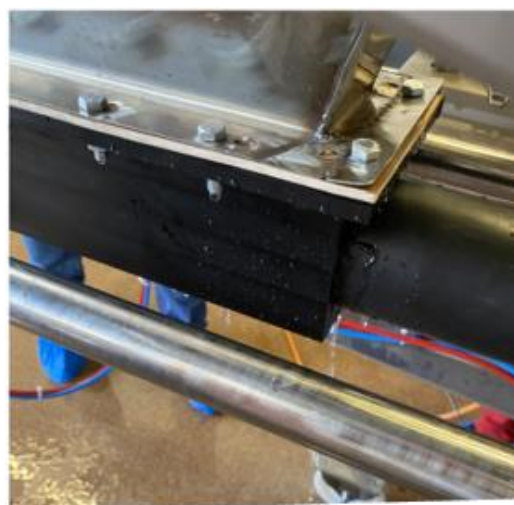
6.2 Tetting av stator

I dette kapitlet drøftes valg av tetninger i porsjoneringsmaskinen. Som nevnt i kapittel om hygienisk design er det essensielt for en maskin i næringsmiddelindustrien å unngå lekkasjer for å opprettholde kvaliteten til produktene.

6.2.1 Bakgrunn

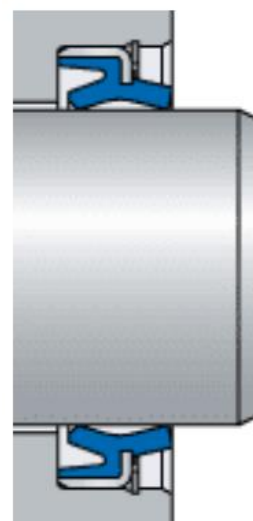
For å identifisere lekkasjer ble det gjennomført tester hvor bedriftens testtrigg ble tatt i bruk. Denne ble fylt med vann i stedet for bacalao for en ryddigere og enklere testing. I tillegg var ikke testtriggen koblet til resten av produksjonslinjen, noe som gjorde testing med produktet vanskelig.

Det ble i forbindelse med testing oppdaget lekkasje mellom rotoren og statoren. Den trange pasningen mellom disse komponentene (0.1 mm) gjør at det mest sannsynlig kun er olje fra produktet som er med på å smøre sylinderveggene som vil lekke ut her.



Figur 18: Lekkasje mellom stator og rotor.

For å tette mellom rotoren og statoren er det nødvendig å ta i bruk en tetning som er egnet for tetting mellom roterende komponenter. Rotorens dimensjoner må derfor justeres for å gi rom til en slik tetning. I tillegg må det lages en boring i statoren der akseltetningen kan plasseres. Denne type boring kalles “*Open housing groove*” og gjør at tetningen kan presses på plass uten å bli deformert. Dette er en god løsning dersom tetningens design, materiale eller komponentens utforming forhindrer bruken av et lukket spor som tetningen kan plasseres i (SKF, 2020).



Figur 19: Akseltetning plassert i en "Open housing groove".

6.2.2 Akseltetning

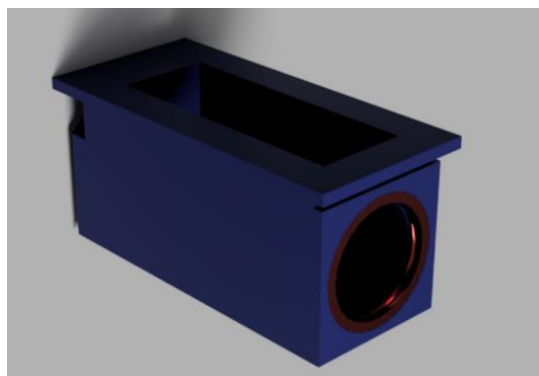
For å finne egnede akseltetninger for å tette mellom rotoren og blokken ble SKF sin instruksjonsmanual tatt i bruk (SKF, u.å.a). Denne manualen har til hensikt å veilede kundene fram til en tetning som har riktig design og materiale for den aktuelle anordningen. Faktorer som trykk, hastighet og type væske som skal tettes påvirker de nødvendige egenskapene tetningen må ha. I dette tilfellet er væsken som skal tettes fiskeproduktet bacalao, som inneholder mye vegetabilsk olje med en relativt lav viskositet. Dette gjør tettingen mer komplisert enn ved tetting av for eksempel fett. Ved tetting av oljer anbefaler SKF en fjærbelastet radialakseltefning for å sørge for nødvendig radiell belastning. Metalldekselet til radialakseltefningen vil i tillegg sørge for mer slitestyrke dersom det skulle oppstå kast i rotoren, eller feiljustering (misalignment) mellom rotoren og blokka.



Figur 20: 90X110X10 HMS5 V
Radialakseltefning fra SKF

Eksempler på radialakseltefninger fra SKF av denne typen er modellene HMS5 og CRW1. Forskjellen mellom disse er leppens utforming og at HMS5 har gummi rundt metalldekselet for å kompensere for avvik i boringens overflate. CRW1 bruker «Bore-Tite coating», som har samme funksjon som gummi. Disse modellene kommer i materialene NBR og FKM, som er godkjent for bruk i matproduksjon (SKF, u.å.c).

Radialakseltefninger monteres med leppen mot mediet som skal tettes. Dersom det er nødvendig med tetting mot forurensing fra omgivelsene anbefales en tetning med en utvendig leppe, i tillegg til den innvendige. I dette tilfellet er det liten fare for at partikler eller støv vil trenge seg inn i porsjoneringsmaskinen, siden fabrikklokalet blir renholdt daglig. Det kan derimot være nødvendig med tetting mot omgivelsene for å



Figur 21: Stator med radialakseltefning.

forhindre at vann trenger seg inn i tetningen i forbindelse med spyling av maskinen. Dette er en prosedyre som blir gjennomført ved slutten av arbeidsdagen for å holde maskinene rene.

Som nevnt er temperatur, trykk og rotasjonshastighet viktige faktorer å betrakte når det skal velges riktig tetning. Siden ventilen til porsjoneringsmaskinen åpner i det stempelet presser produktet ut av rotoren, vil det ikke oppstå stor økning i trykket.

Temperaturen til produktet ligger på rundt 80-85°C.

For å fastslå den optimale rotasjonshastigheten til rotoren kreves ytterligere testing, men ved å gjøre ett overslag kan det gjøres ett anslag:

I løpet av ett år produserer fabrikken ca. 500 tonn bacalao, og alt dette skal etter planen porsjoneres ved hjelp av denne maskinen. 1 kg porsjoneres for hver syklus, og ved å ta utgangspunkt i at hver syklus tar 4.5 sekund vil maskinen kunne porsjonere 800 kg/time.

$$1 \text{ syklus} = 4.5 \text{ s} \rightarrow 13.33 \frac{\text{kg}}{\text{min}} \rightarrow 800 \frac{\text{kg}}{\text{time}}$$

Siden maskinen må vaskes på slutten av dagen vil den ikke kunne være operativ en hel arbeidsdag. I tillegg vil det gå litt fra starten av arbeidsdagen til produktet når siste del av produksjonslinjen, som er porsjonering og pakking. Tar man utgangspunkt i at maskinen er i drift i gjennomsnitt 4 timer hver dag, vil den kunne porsjonere 500 tonn bacalao i løpet av 156.25 arbeidsdager.

Dersom syklusen tar 4.5 sekund totalt, antas det at stempelbevegelsen (frem og tilbake) tar 4 sekunder, og rotasjonsbevegelsen (åpne og stenge) tar 0.5 sekund. Hver rotasjonsbevegelse er på en halv omdreining (180°). Dette gir en rotasjonshastighet på 0.565 m/s.

$$\text{Vinkelhastighet: } \omega = \frac{\pi}{\Delta t} = \frac{\pi}{0.25 \text{ s}} = 12.566 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\text{Hastighet: } v = \omega * r = 12.566 \frac{\text{rad}}{\text{s}} * 0.045 \text{ m} = 0.565 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Alle faktorene som påvirker valget av akseltetning, ligger godt innenfor kravene til de tilgjengelige radialakseltetningene fra SKF [Vedlegg H].

Marginene er så store at det kan være tilstrekkelig å ta i bruk en vanlig leppetetning. Dette er ett billigere alternativ som er enklere å installere. Prosjektgruppen vil uansett anbefale å frese ett tetningshus i statoren tilpasset radialakseltetning, i tilfelle en vanlig leppetetning ikke forhindrer lekkasjer. Det er i tillegg knyttet større usikkerhet til leppetetninger fordi den tekniske spesifikasjonen ikke inneholder øvre grenser for faktorene temperatur, trykk og rotasjonshastighet. Testing er derfor nødvendig for å finne den mest optimale løsningen.



Figur 22: 90 VA R, Leppetetning fra SKF.

6.3 Tetting av stempel

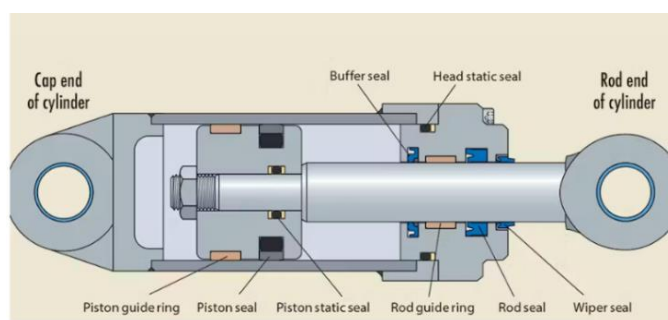
I dette kapittelet drøftes valg av løsning for å tette mellom rotoren og stempelet.

6.3.1 Bakgrunn

Under testing oppsto det også lekkasjer mellom stempelet og rotoren. Vannet fulgte stempelet bakover til det rant ut gjennom et dreneringshull i hylsa. Disse komponentene har både lineær- og rotasjonsbevegelse, noe som gjør tettingen av disse komponentene mer komplisert.



Figur 24: Lekkasje mellom stempel og rotor.



Figur 23: Tetninger i en hydraulisk sylinder (SKF, u.å.b)

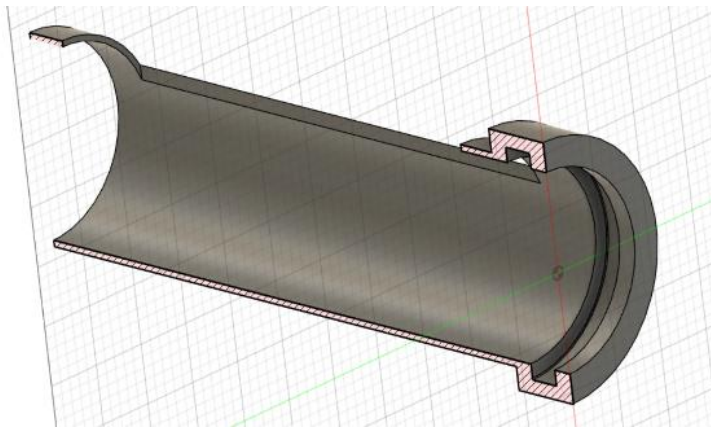
For å sikre dynamisk og statisk tetting mellom stempelet og rotoren er det nødvendig å ta i bruk en stangtetning (Rod seal). Denne må i liket med akseltettingen plasseres i ett tetningshus som er dimensjonert for den aktuelle tetningen. Tetningshuset kan dreies ut innvendig i rotoren og må dimensjoneres ut ifra leverandørens spesifikasjoner. Ideen er at porsjoneringsmaskinen kan tettes på lignende måte som en hydraulisk sylinder.

Avhengig av bruksområdet kan et stangtetningssystem kombinere både stangtetning og buffertetning, eller kun stangtetning. En kombinasjon brukes vanligvis dersom belastningen er svært høy (SKF, u.å.b). Viskertetningen (Wiper Seal) forhindrer støv, fukt og andre forurensinger å trenge inn i systemet. Den fungerer ved å rense av forurensinger som har lagt seg på stempelet på returbevegelsen. Som nevnt i kapittel 5.2.2 vil maskinen operere i ett renholdt miljø, i tillegg til at hylsen vil skjerme stempelet. Det anses derfor ikke som nødvendig å ta i bruk en viskertetning.

Vanligvis brukes det stempeltetninger eller stempelringer for å opprettholde kontakt mellom et stempel og en sylinderboring. Dette kan være en nødvendig løsning også i dette konseptet, men noen ulemper kan oppstå. En tett pasning mellom stempelet og rotoren kan føre til at biter av produktet som blir skrapet av sylinderveggene på returbevegelsen samler seg opp og blir liggende rundt stangtetningen. I tillegg kan utskjæringen i rotoren skape høy slitasje på stempeltetningen. Ytterligere testing med produkt er nødvendig for å undersøke dette.

6.3.2 Stangtetning

En stangtetning er nødvendig for å forhindre lekkasjer mellom rotoren og stempelet. Denne plasseres i et tetningshus i rotoren. Tetningens datablad inneholder spesifikasjoner for boringens dimensjoner for den spesifikke tetningen. Det er disse dimensjonene som er brukt i det endelige konseptet. Denne tetningen er egnet for tetningshus i henhold til ISO 5597 [Vedlegg F]. Stangtetningen plasseres i tetningshuset ved hjelp av ett spesialverktøy for å unngå skade på tetningen under montering [Vedlegg G].



Figur 26: Rotor tilpasset stangtetning.



Figur 25: PTB-84X98X13.2-J1S Stangtetning fra SKF.

Kapittel 7

Aktuatorer

I dette kapitlet presenteres teori rundt ulike typer aktuatorer, samt en diskusjon rundt valg av aktuatorstype for posjoneringsmaskinen.

7.1 Definisjon

En aktuator er en mekanisk eller elektro-mekanisk innretning som konverterer energi om til bevegelse eller forskyvning. Energien kan være i form av elektrisk, hydraulisk eller pneumatisk kraft. Aktuatorer er brukt til mange formål innen industrien, som for eksempel automasjon og robotikk, hvor de kan brukes til å kontrollere ventiler og posisjonere mekaniske komponenter (Rosvold, 2023).

7.1.1 Elektriske aktuatorer

Elektriske aktuatorer kan programmeres til å kjøre i forskjellig hastighet og akselerasjon. I tillegg har de høy nøyaktighet i posisjonering av stempelet, noe som gjør de velegnet til oppgaver som krever høy presisjon. Siden elektriske aktuatorer konverterer elektrisk energi direkte til mekanisk energi, har de høyere energieffektivitet enn hydrauliske og pneumatiske aktuatorer (elektriske aktuatorer kan ha opptil 80% virkningsgrad). I tillegg kan de ved hjelp av en lås holde stempelets posisjon uten å bruke energi, i motsetning til pneumatiske og hydrauliske systemer som krever at væske- eller lufttrykket opprettholdes av en kompressor eller en pumpe (Zaske, 2021). I tillegg til å være energieffektive er de nesten fri for vedlikehold (Klemetson and Eitel, 2022). Kostprisen for denne typen derimot er relativt høy sammenlignet med de andre alternativene (McKinnon, u.å.).

7.1.2 Hydrauliske aktuatorer

Hydrauliske aktuatorer tar i bruk væske som medium ofte i form av olje eller glykol. De består av et stempel plassert i en sylinder med en hydraulisk væske som beveges ved hjelp av pumper. Ventiler tas i bruk for å styre retningen av stempelbevegelsen. Slike aktuatorer brukes vanligvis med trykk fra 1 til 35 MPa (Electronics Coach, 2020). Væskelekkasjer kan oppstå hos hydrauliske aktuatorer, noe som fører til urenheter på selve maskinen. Avhengig av maskinens plassering kan dette føre til forurensing av omgivelsene. Lekkasje kan også føre til forurensing av mediet, noe som kan redusere aktuatorens levetid (SKF, 2021).

For å unngå lekkasjer er man avhengig av riktig installasjon, vedlikehold, og å finne pakninger som passer til denne typen bruk. Det må sjekkes at tetningene kan brukes sammen med det spesifikke mediet som er inne i sylindern (SKF, 2021).

Preventivt vedlikehold gjøres ved å se etter lekkasjer og skifte hydraulikkoljen etter produsentens oppgitte intervall. Det er viktig å sjekke at sylinderstangen koblet på aktuatoren har en fin overflate som ikke er korrodert. Denne overflaten på sylinderstangen kan være utsatt for korrosjon ved fukt fra omgivelsene eller ved at oljen inne i aktuatoren selv forurennes (med f.eks. vann). Konsekvenser av å bruke aktuatoren med ujevn overflate/korrosjon er at det sliter på tetninger og reduserer levetiden (Hydraulics Online, 2023).

7.1.3 Pneumatiske aktuatorer

For å utføre den lineære og rotasjonsbevegelsen er pneumatisk aktuator et godt egnet alternativ. Pneumatiske aktuatorer er pålitelige og slitesterke over tid, sammenlignet med elektriske aktuatorer. En pneumatisk aktuator er fordelaktig med tanke på sikkerhet over elektrisk da den bruker lufttrykk til å drive operasjoner og ikke har fare for elektriske gnister. Aktuatoren kan lagre trykkluften og siden det bare er komprimert luft er det ikke brannfarlig og det slippes heller ikke ut noen farlige gasser i prosessen (Process Industry Forum, 2023).

Levetiden til en pneumatisk aktuator avhenger av flere faktorer. Det avhenger av hvor store belastninger den er utsatt for, vedlikehold og smøring, driftstemperaturer og avstanden stempelet går inn og ut. Oppgitt levetid er derfor gjerne oppgitt som avstanden den har tilbakelagt, istedenfor antall sykluser (BIMBA, 2023). De pneumatiske aktuatorene som brukes i industriell sammenheng ligger på rundt 0,5-1 MPa (Worlifts Ltd, 2017). Den har også få bevegelige deler, noe som gjør den mer slitesterk (McRae Engineering, 2021).

Det er viktig å tidvis inspisere sylindren og sylindrestangen visuelt for å forsikre at det ikke oppstår luftlekkasje som følge av ødelagte tetninger. Det er også viktig å sørge for at det er smøring slik at sylindrestang og tetninger fungerer optimalt. Samme prinsipp gjelder som hos en hydraulisk aktuator ved at man må sjekke overflaten på sylindrestangen for korrosjon, urenheter og sikre at den er riktig justert (Branham, 2017).

7.2 Valg av aktuatorstype

Studien understøtter bedriftens valg av pneumatisk aktuator. Det ble brukt en aktuator til rotasjon og en til lineær bevegelse som under testing fungerte bra. Stempel og rotor gikk rolig frem og tilbake uten rykk og napp ved hjelp av struping av luften. Det er fordeler ved en pneumatisk aktuator siden den har lang levetid og god pålitelighet ettersom den har få bevegelige deler. En hydraulisk aktuator kan lekke væske på annet utstyr eller gulv som ikke er ønskelig. En slik lekkasje kan oppstå ved at sylindrestangen blir utsatt for krefter som ikke er lineære langs sylindrens aksiale retning. Da kan sylindrestangen bli bøyd og feiljustert (Korane, 2015). Lekkasje av væske unngår man ved en pneumatisk aktuator da det kun er trykkluft.

I samtaler med bedriften ble det kjent at de har god erfaring med pneumatiske aktuatorer fra før av. De bruker kun trykkluft til å drive de andre maskinene, og bedriften mener at de elektriske versjonene ikke er godt egnet til deres bruk. Dette kommer av at det ikke er ønskelig å ha elektronikk på selve maskinen da denne er i jevnlig kontakt med fukt. Derav kommer fordelene med å ha kompressoren til en pneumatisk aktuator i et annet rom. Inne i bedriften er det allerede installert trykkluft rundt om i bygningen som gjør at det heller ikke blir noen stor initial kostnad. At bedriften er kjent med pneumatiske aktuatorer er også en stor fordel fordi bedriften vet hvordan vedlikeholdet gjøres, og enten ved at de leier inn noen til å gjøre det eller selv er kjent med installeringsprosessen.

I denne studien har det ikke blitt testet annet enn pneumatiske aktuatorer, og resten av anbefalingene er basert på teori om de ulike aktuatortypene. For å styrke studien kunne det vært verdifullt å teste de to andre typene: elektrisk og hydraulisk for å se hvordan disse fungerer i denne typen industri. At de to andre typene ikke er testet i praksis (og hvordan de fungerer over tid) i dette miljøet kan ha ført til tidligere forkastning som gode anbefalinger enn det de fortjener. I videre studie kunne det vært interessant å se nærmere på elektrisk aktuator. Denne er den mest energieffektive aktuatortypen og den krever minst infrastruktur for å brukes. Om dette kunne gi en energibesparing med tanke på strøm og hvordan den fungerer i et miljø med mye fukt fra vaskeprosesser burde drøftes videre.

En interessant løsning som prosjektgruppen anbefaler bedriften å undersøke nærmere, er å ta i bruk en aktuator som kombinerer translasjon og rotasjon. Det vil da kun være nødvendig med en aktuator for å styre både stempel og rotor. For at dette skal være mulig må det lages en mekanisme som gjør at kraften fra aktuatoren kan bli overført til både stempelet og rotoren, uavhengig av hverandre.

Kapittel 8

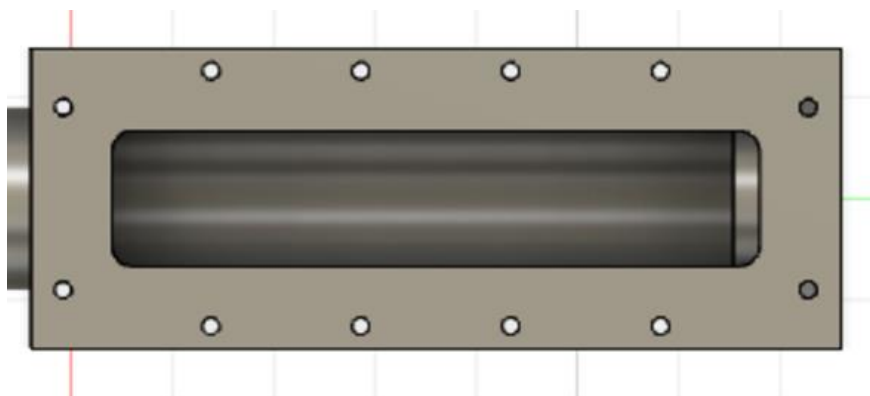
Konseptutvikling

Som nevnt i kapittel 4 er konseptutviklingen gjennomført på grunnlag av en kombinasjon av testing og observering av konseptet, i tillegg til informasjon om bedriftens behov. Dette kapittelet presenterer fremgangsmåten som er brukt ved utvikling av konseptet og begrunner de valgene som er tatt.

8.1 Konseptutvikling ved observasjon

Siden en prototype av maskinen allerede var produsert kunne denne studeres nærmere for å identifisere mulige forbedringer. Rotoren var ikke optimalt tilpasset statoren, og det oppsto derfor en kant som forhindrede noe av produktet å falle ned i kammeret. Dette kunne føre til at noe av produktet ble liggende oppå kanten og i verste fall skape unødvendig skade på produktet.

I tillegg hadde rotoren fått en skade i forbindelse med produksjon. Den smale veggtykkelsen så ut til å gjøre produksjonen av denne komponenten vanskelig. Dette kan unngås ved å øke veggtykkelsen, eller ta i bruk en annen metode for å skjære ut åpningen i rotoren. Økt veggtykkelse vil gi veggen mer styrke og minske sannsynligheten for at den kollapser på grunn av spenninger som oppstår i forbindelse med utskjæring.



Figur 27: Stator med rotor sett ovenfra.

Gruppen fikk også en ide om at maskinen ville være enda mer skånsom mot produktet dersom diameteren til kammeret ble økt. Tanken bak var at mindre produkt ville komme i kontakt med sylinderveggene samtidig som slaglengden på stempelet ble kortere. Kortere slaglengde vil også korte ned tiden maskinen bruker på å utføre en syklus, og dermed effektivisere prosessen. Siden levetiden til en aktuator måles i tilbakelagt distanse stempelet har forflyttet seg, kan kortere slaglengde også gi økt levetid for aktuatoren. I tillegg kreves det ikke bruk av like lange verktøy i forbindelse med boring av sylindere i blokken. Dette kan forhindre at det oppstår ujevnheter i overflaten på grunn av kast i boret.

Disse betraktningene ble implementert i konseptet, og for å forenkle produksjonsprosessen dimensjoneres modellen ut ifra hvilke deler som kan bestilles ferdig fra leverandør. Dette gjør at færre deler må bli spesiallaget. Den første prototypen som ble produsert tok i bruk en «3" Tri-Clamp» fra Alfa Laval. Denne blir skrudd inn i blokken og definerer derfor boringens dimensjoner. For å forhindre at noe av produktet havner i klem begrenset dette indre diameter i rotoren til 70.8 mm (samme indre diameter som Tri-Clamp).

Denne koblingen kommer vanligvis i dimensjoner for hver hele tomme, slik at neste dimensjon ble 4". Dette ville eventuelt gitt en ny lengde på kammeret på ca. 154 mm. Dette ble ansett som en lite hensiktsmessig løsning fordi det var ønskelig hos bedriften at enden av utløpsrøret hadde en dimensjon på maksimalt 3", og det må derfor kombineres med en relativt kraftig reduksjonskobling. Dette er for å forhindre søl i forbindelse med fylling av bokser. 3.5" Tri-Clamp er ikke en vanlig dimensjon, men kan bestilles fra blant annet ABS-Commercial.

$$3.5": V = \pi * r^2 * L \leftrightarrow L = \frac{V}{\pi * r^2} = \frac{1\,250\,000 \text{ mm}^3}{\pi * (42.5 \text{ mm})^2} \approx 220.3 \text{ mm}$$

Figur 28: Beregning av kammerets lengde ved bruk av en 3.5" Tri-Clamp.

$$4": V = \pi * r^2 * L \leftrightarrow L = \frac{V}{\pi * r^2} = \frac{1\,250\,000 \text{ mm}^3}{(\pi * 50.8 \text{ mm})^2} \approx 154.2 \text{ mm}$$

Figur 29: Beregning av kammerets lengde ved bruk av en 4" Tri-Clamp.

Kammerets lengde ble funnet ved å bruke formelen for volum av sylinder.

8.2 3D-modellering av nytt konsept

Etter å ha undersøkt tilgjengelige deler og tetninger kunne 3D-modelleringen av det endelige konseptet begynne. I dette kapitlet presenteres de ulike komponentene.

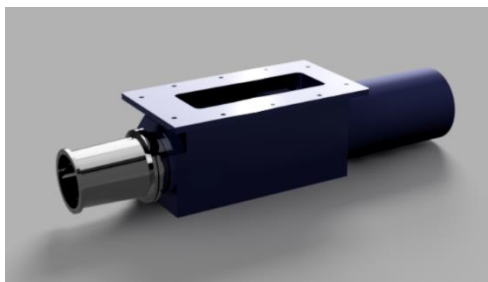
8.2.1 Flens og reducer

Ideen var å øke diameteren til kammeret for å redusere belastningen på produktet. Det ble derfor brukt en 3.5" Tri-Clamp, i stedet for 3" som ble brukt på bedriftens testtrigg. Dette er en flenskobling som kan skrus inn i blokken og kobles på ett rør ved hjelp av en rørklamme. Den aktuelle delen har en indre diameter på 84.9 mm. For å unngå at produktet havner i klem mellom rotoren og flenskoblingen dimensjoneres rotoren med en indre diameter på 85 mm.

Flenskoblingen som ble skrudd inn i statoren på testtriggen var 21.5 mm høy, noe som begrenset hvor langt inn den kunne bli skrudd. Vekten av ventilen, rørkoblingen og produktet vil skape belastninger på gjengene. For å gi gjengene mer styrke og redusere sannsynligheten for brudd ble det valgt en høyere flenskobling (50 mm) som kan skrus lenger inn i blokken.



Figur 32: 3.5" Tri-Clamp.



Figur 30: Mulig plassering av reducer.

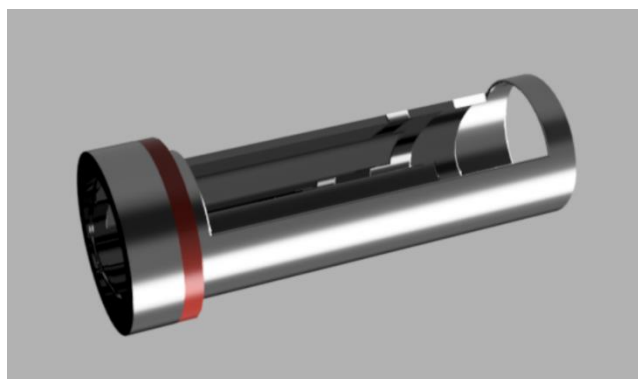


Figur 31: 3.5" - 3" Reducer.

For å unngå søl i forbindelse med fylling av bokser hadde bedriften ett ønske om at enden av rørkoblingen over ventilen maksimalt var 3". Derfor brukes en reducer for å innfri dette kravet. Denne kan monteres enten på flenskoblingen i statoren, eller rett over ventilen.

8.2.2 Rotor

Rotorens diameter, sammen med stempelets slaglengde avgjør volumet som blir porsjonert. Valget falt på en radialakseltetning for å tette mellom rotor og stator, og det er derfor hensiktsmessig at rotoren har en ytre diameter som er forenelig med ett bredt utvalg tetninger. De fleste akseltetninger fra produsentene SKF og Trelleborg leveres i dimensjoner for hver 5. mm. Siden rotorens indre diameter ble satt til 85 mm er det hensiktsmessig med en ytre diameter på 90 mm. Ett stort antall tetninger er tilgjengelig i denne dimensjonen hos SKF [Vedlegg I]. Dette gir en veggtykkelse i rotoren på 5 mm. Kammerets lengde ble i kapittel 8.1 beregnet til 220 mm for å gi det ønskede volumet på 1.25 liter, og er dermed lengden til åpningen som må skjæres ut i rotoren.



Figur 33: Rotor med radialakseltetning.

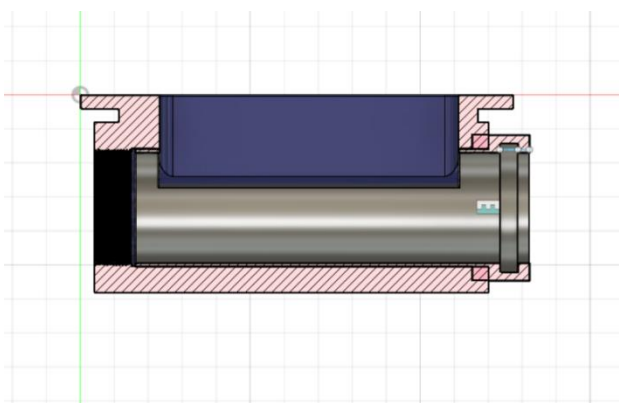
Siden valget falt på en stangtetning for å tette mellom rotoren og stempelet, må rotoren tilpasses dette. Ett tetningshus for stangtetningen kan dreies ut innvendig i rotoren, og installeres som vist i Vedlegg G.

8.2.3 Stator

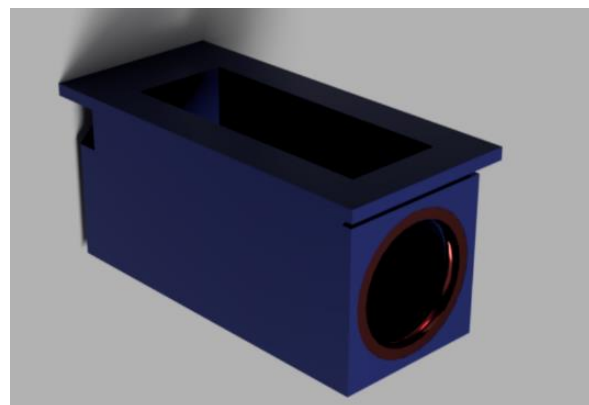
For å finne den mest gunstige pasningen mellom rotoren og statoren kreves det ytterligere testing med produkt. Bedriftens testtrigg hadde en klaring på 0.1 mm mellom rotor og stator, og prosjektgruppen valgte å ta utgangspunkt i det samme. Denne klaringen lar rotoren rotere fritt, samtidig som olje fra produktet kan renne mellom og smøre sylinderveggene. Dette gir en indre diameter i statoren på 90.1 mm. Åpningen på toppen av statoren har samme lengde og bredde som åpningen i rotoren.

For at denne komponenten skal innfri kravet om hygienisk design, må alle innvendige hjørner rundes av. Det samme gjelder utvendige kanter og hjørner for å forenkle renholdet av maskinen.

Tetningshuset for radialakseltetningen bores ut i statoren i henhold til produsentens spesifikasjoner. SKF sine kataloger viste ett stort utvalg tetninger i dimensjonen 90x110x12, hvor 110 og 12 står for hhv. tetningshusets diameter og tetningens bredde målt i millimeter. Bredden til tetningshusets boring ble satt til 12 mm, for å kunne passe til ett stort antall tetninger. Da kan man ta i bruk tetninger med dimensjonene 90x110x10 og 90x110x12.



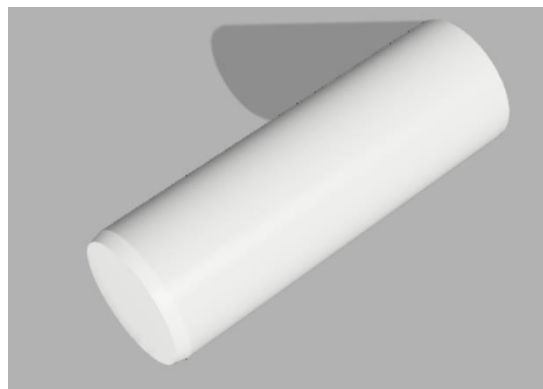
Figur 35: Tverrsnitt av stator og rotor.



Figur 34: Stator med radialakseltetning.

8.2.4 Stempel

Stempelets funksjon er å presse produktet ut av rotoren etter at det korrekte volumet er innkapslet. Stempelet er koblet på aktuatoren som sørger for lineær bevegelse. Det er kritisk at denne er justert riktig slik at stempelet ikke skraper ujevnt mot rotoren og skaper unødvendig slitasje og ujevnt press mot stangtetningen, noe som kan føre til lekkasjer. I tillegg kan produktet i rørkoblingen begynne å koke fordi trykket senkes dersom stempelet går for langt inn i lengderetningen.

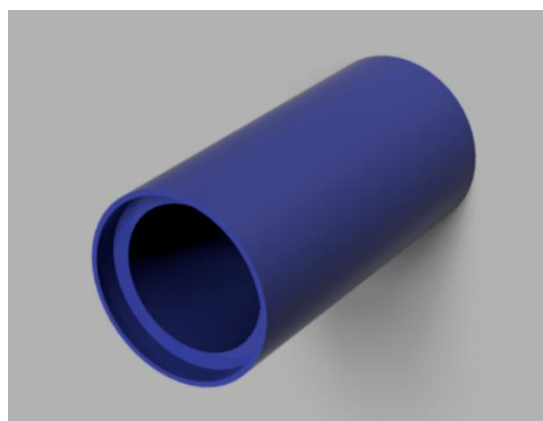


Figur 36: Stempel.

Vinkelen som er lagt inn i bakkant av stempelet er i henhold til SKF sine spesifikasjoner [Vedlegg H]. Dette anbefales for å forenkle montering av stempelet inne i rotoren, i tillegg til å minske faren for at det oppstår skader på tetningen i forbindelse med sammenstilling.

8.2.5 Hylse

Hylsen er festet i rotoren i den ene enden og tannstangen i den andre enden. Den fungerer dermed som en kraftoverføring fra aktuator til rotor. Hylsen og rotoren roterer fritt om stempelet som kun beveger seg i horisontal retning. Hylsen skjærer i tillegg stempelet fra omgivelsene når stempelet er i bakre posisjon.



Figur 37: Hylse.

8.3 Renhold av maskinen

Til vasking vil gruppen anbefale CIP som metode da dette gir mest effektiv vask både mtp. resultat da den kan bruke høy temperatur som generelt gir bedre resultater, og det er mest effektivt mtp. arbeidskraft siden det ikke må vaskes manuelt eller demonteres. Avhengig av hva slags CIP system som installeres, kan vann som brukes til å skylle maskinen etter vask eller selve vaskevannet med såpe brukes om igjen som er mer bærekraftig for miljøet og økonomisk gunstig for bedriften. Til tross for de høyeste initiale kostnadene mener gruppen det er den beste løsningen som også setter bærekraft sammen med økonomisk lønnsomhet samt HMS-fordeler. Bedriften hadde allerede tanker om en vaskeløsning der stemplet blir kjørt frem og tilbake mens systemet blir skylt gjennom med vann. Denne løsningen støttes av gruppen, men det er nødvendig å teste hvor godt det fungerer. Om det ligger igjen matrester f.eks. i gjengene til statoren eller bak stempelet, hvor det kan være nødvendig med manuell vasking.

Kapittel 9

Diskusjon

I dette kapittelet blir de løsningene som er presentert oppsummert og drøftet.

9.1 Hygienisk design

Hovedmålet til bedriften er at den nye porsjoneringsmaskinen skal være mer skånsom mot produktet enn den maskinen bedriften bruker i dag. Dette må innfris samtidig som at maskinen innfris de kravene som stilles til en maskin i forhold til hygienisk design. Ved å først sette seg inn i regelverket og de kravene som stilles til maskiner i næringsmiddelindustrien har prosjektgruppen drøftet ulike løsninger. Siden det ikke foreligger fysisk testing av disse løsningene, er det vanskelig å si noe om hvordan de vil fungere over tid. Dette gjelder for eksempel identifisering av punkter som kan være utsatt for slitasje, og om tetningene innfris kravene.

En svakhet som muligens må utbedres er klaringen som oppstår mellom Tri-Clamp og rotor [Vedlegg J]. Disse delene kan ikke være i direkte kontakt med hverandre fordi det da vil oppstå gnisninger og slitasje. I verste fall kan det føre til at biter av metall havner i produktet. Trolig vil dette mellomrommet fylles med biter av produktet som vil bli liggende over tid frem til det skylles bort i forbindelse med vasking av maskinen. En mulig løsning på problemet kan være å ta i bruk en o-ring som kan dekke dette tomrommet. Testing er nødvendig for å kunne undersøke om dette er ett problem som vil oppstå, og for å eventuelt finne den beste løsningen på problemet.

Alle CIP vaskesystem må spesialbestilles og programmeres for det enkelte behovet. Dette gjør at prisen og utformingen på et slikt system kan variere mye, og denne studien har ikke gått i dybden på hvordan et vaskesystem kunne blitt utformet i porsjoneringsmaskinen. I videre studie for å utforme et passende vaskesystem ville det vært nødvendig å se på muligheter for gjenbruk av vann og kjemikalier, programmering av passende vaskesekvenser og hva et slikt system ville kostet. Det er viktig å vite hva bedriften ønsker å investere ettersom det kan bli store kostnader. Vaskemidler og kjemikalier som fungerer til produktet antas det at bedriften allerede har god kunnskap om. Beslutninger om vasking og utstyr har tidligere blitt tatt på forhånd ettersom det er et gammelt meieri som har blitt kjøpt opp. Der var det fra før tilpassede løsninger for vasking på maskinene.

Ved videre testing ville det vært verdifullt å se hvordan vaskeordningen som blir valgt fungerer for maskinen. Ett usikkerhetsmoment er om tetningene holdes tilstrekkelig rene, i tillegg til gjengene i statoren. For å forhindre at væske fra produktet blir liggende i gjengene kan det være nødvendig å ta i bruk lim eller gjengetape.

9.2 Produksjonsmetoder

Valget om å øke diameteren til stator og rotor, og dermed gjøre disse delene kortere, var basert på to faktorer. Den første var en teori om at dersom en mindre andel av produktet kom i kontakt med sylinderveggene ville maskinen være mer skånsom mot produktet. Den andre var at dette ville forenkle produksjonen av stator og rotor.

Statoren kan freses ut av en massiv POM-bolt som må ha en diameter på minst 230 mm for å gi ønsket størrelse. Den økte diameteren i boringen i statoren ga en kortere lengde enn prototypen som var blitt laget for bedriften (80 mm kortere boring). Forskjellen ble mindre enn først planlagt på grunn av valget om å ta i bruk en radialakseltetning (12 mm bredde), samt valget om å skru flensen lenger inn i blokken for å gi økt styrke og stabilitet. Produksjon av denne prototypen vil uansett kreve kortere bor enn ved den forrige, noe som minsker sannsynligheten for at det oppstår ujevnheter i overflaten. I tillegg kan boret kjøres inn fra begge sider for å halvere den nødvendige lengden.

For å lage rotoren tas det utgangspunkt i et stålrør, som blir dreid innvendig og utvendig til ønskede dimensjoner. Den smale veggtykkelsen krever høy presisjon under produksjon, og det hadde oppstått problemer når det skulle lages en prototype for bedriftens testrigg. Da oppsto det vibrasjoner i rotoren under rundsliping, og ideen til prosjektgruppen var derfor å øke veggtykkelsen, samt å øke diameteren for å redusere lengden til rotoren. Den nye lengden ble satt til 290 mm, 70 mm kortere enn den første rotoren som ble produsert. I tillegg ble veggtykkelsen økt fra 1.95 mm til 2.5 mm. Målet er at dette vil gi økt styrke og stabilitet i rotoren, samt minske sannsynligheten for at det vil oppstå vibrasjoner under sliping. Sliping er nødvendig for å oppnå riktig overflateruhet ($< 0.8 \mu\text{m}$). Røret som brukes som utgangspunkt må ha en ytre diameter større enn 110 mm og en indre diameter mindre enn 85 mm. Som utgangspunkt har gruppen funnet at standard rør med 81,79 mm indre diameter og ytre diameter 114,30 mm kan brukes og dreies ned til riktige dimensjoner (Unified Alloys, 2023).

Kapittel 10

Konklusjon

Målet med denne prosjektoppgaven var å videreutvikle og finne forbedringspotensialer ved konseptet, med særlig fokus på designets produksjonsvennlighet og skånsomhet mot produktet. Tidsbegrensinger gjorde at en ny prototype ikke ble produsert, og det var derfor ikke mulig å teste løsningene som er blitt presentert. Målet om å utarbeide nye maskintegninger til en utgave av maskinen med økt diameter ble derimot innfridd, slik at en ny prototype er klar for produksjon. Denne er tilpasset spesifikke tetninger valgt på bakgrunn av en grundig litteraturstudie. At maskinen er tett er ett svært viktig krav som må innfris før den kan settes i drift i næringsmiddelindustrien.

Et av resultatmålene til gruppen var at maskinen skulle være enkel å produsere. Basert på hvordan delene til prototypen ble produsert har gruppen gjort endringer i designet. Disse endringene inneholder forbedringer for å unngå de problemene som oppstod under produksjon av testtriggen. Dette, i tillegg til drøftinger rundt valg av ventiler, tetninger og aktuatorer vil legge til rette for produksjon av en funksjonell prototype.

Mot slutten av dette prosjektet gjennomførte bedriften tester med produktet med sin testtrigg. Testingen viste at den nye maskinen er mer skånsom enn den gamle, og dermed en bekreftelse på at konseptet er verdt å gå videre med. Denne oppgaven har gitt bedriften flere mulige løsninger som bør betraktes i det videre arbeidet før den endelige utgaven av maskinen produseres. Siden produksjon av denne vil medføre betydelige kostnader for bedriften, er de tjent med å drøfte flere ulike løsninger og designalternativer.

Bibliografi

Astrup (2023) *PA / POM / PET*. Available at: <https://astrup.no/Materialer-Produkter/Materialer/Plast-Teknisk/PA-POM-PET> (Accessed: 21 March 2023).

Autodesk (u.å.) *Fusion 360 Help | Structural analysis results | Autodesk*. Available at: <https://help.autodesk.com/view/fusion360/ENU/?guid=GUID-296056DA-ED8C-4EBF-8E3A-2209B1DE9AEE> (Accessed: 19 May 2023).

Beadle, D. (2021) 'CIP vs. COP: Which is Right for Your Facility', *RODEM*, 22 February. Available at: <https://rodem.com/blog/cip-vs-cop-which-is-right-for-your-facility/> (Accessed: 1 May 2023).

BIMBA (2023) *Cylinder Life Expectancy*. Available at: https://airinc.net/wp-content/uploads/2014/08/Original-Line-Cylinder_Life_Expectancy-1.pdf (Accessed: 9 March 2023).

Branham, T. (2017) *4 Preventive Measures to Avoid Pneumatic Cylinder Repair*. Available at: <https://blog.wcbranham.com/4-preventative-measures-to-avoid-pneumatic-cylinder-repair> (Accessed: 16 April 2023).

Castelnuovo, R. (2006) *English: Cutaway of a simple manual ball valve*. Available at: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ball.PNG> (Accessed: 3 May 2023).

Clarke, C. (2016) *What is a Lip Seal? | Radial Seals vs Rotary Seals, Martins Rubber*. Available at: <https://www.martins-rubber.co.uk/blog/what-is-a-lip-seal/> (Accessed: 3 May 2023).

Corrosionpedia (2020) *What is Water Softening? - Definition from Corrosionpedia, Corrosionpedia*. Available at: <http://www.corrosionpedia.com/definition/1163/water-softening> (Accessed: 1 May 2023).

CPV Manufacturing (2023) *Everything You Need to Know: 316L Stainless Steel*. Available at: <https://www.cpvvmfg.com/news/i-is-for-low-carbon-all-about-316l-stainless-steel/> (Accessed: 28 March 2023).

Curiel, R. (2003) *Hygienic Design of Equipment in Food Processing | Food Safety*. Available at: <https://www.food-safety.com/articles/4350-hygienic-design-of-equipment-in-food-processing> (Accessed: 13 February 2023).

Directive 2006/42/EC (2006). Available at: <https://osha.europa.eu/en/legislation/directives/directive-2006-42-ec-of-the-european-parliament-and-of-the-council> (Accessed: 22 March 2023).

Eclipse Engineering (2020) 'Your Guide to Choosing The Best Rotary Shaft Seal', *Eclipse Engineering inc.*, 1 September. Available at: <http://eclipseseal.com/blog/seals/matching-rotary-lip-seals-to-shaft-characteristics-for-optimum-performance/> (Accessed: 10 April 2023).

Electronics Coach (2020) 'Hydraulic Actuator', *Electronics Coach*, 14 July. Available at: <https://electronicscoach.com/hydraulic-actuator.html> (Accessed: 12 April 2023).

- Ensinger (2023) *POM Acetal plastic*. Available at: <https://www.ensingerplastics.com/en-us/shapes/engineering-plastics/pom-acetal> (Accessed: 21 March 2023).
- Fellows, P. (2009a) 'Food processing technology: principles and practice', in. Boca Raton, Fla.: CRC Press [u.a.], p. 807.
- Fellows, P. (2009b) 'Food processing technology: principles and practice', in. Boca Raton, Fla.: CRC Press [u.a.], p. 808.
- Flitney, R. (2014) *Seals and sealing handbook*. 6th edn. Amsterdam: Butterworth-Heinemann, an imprint of Elsevier.
- Geise, S. (2021) *Know the Differences Between 304 Stainless Steel vs 316*. Available at: <https://www.kloecknermetals.com/blog/304-stainless-steel-vs-316/> (Accessed: 28 March 2023).
- Gonzales, A. (2007) *Solenoid Valve* [Image/png]. Available at: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Solenoid_Valve.png (Accessed: 30 April 2023).
- Helseth, L.E. (2020) *Elastomer*, *Store norske leksikon*. Available at: <https://snl.no/elastomer> (Accessed: 1 March 2023).
- Hydraulic vs. Electric Linear Actuator: Which is Best?* (u.å.) Columbus McKinnon. Available at: <https://www.columbusmckinnon.com/en-us/resources/duff-norton-blogs/choosing-between-hydraulic-and-electric-linear-actuators/> (Accessed: 10 May 2023).
- Hydraulics Online (2023) 'Hydraulic Cylinder Maintenance and Repairs', *Hydraulics Online*. Available at: <https://hydrauliconline.com/technical-knowledge-hub/about-hydraulic-cylinders/hydraulic-cylinder-maintenance-and-repairs/> (Accessed: 12 April 2023).
- JHFOSTER (2021) *What Are The Advantages And Disadvantages Of Using Electric Actuators?* Available at: <https://jhfooster.com/products/automation/electrical/electric-actuators/> (Accessed: 11 April 2023).
- k., U. (2022) *The Definitive Guide to Sanitary and Hygienic Design for Food Equipment Manufacturers*. Available at: <https://www.linkedin.com/pulse/definitive-guide-sanitary-hygienic-design-food-equipment-kartal> (Accessed: 25 March 2023).
- Kat (2020) *The Two-Stage Cleaning Process: Immediate prevention and Long-Term Protection*. Available at: <https://www.paragongroup.co.uk/the-two-stage-cleaning-process/> (Accessed: 1 May 2023).
- Klemetson, R. and Eitel, L. (2022) *Part 1 of 2: Electric actuators as an alternative to hydraulic cylinders*. Available at: <https://www.motioncontroltips.com/part-1-of-2-electric-actuators-as-an-alternative-to-hydraulic-cylinders/> (Accessed: 11 April 2023).
- Korane, K. (2015) *Hydraulic Cylinder Problems: Side loads*. Available at: <https://www.fluidpowerworld.com/how-do-hydraulic-cylinders-fail-side-loads/> (Accessed: 13 April 2023).
- Leakpack (2017) *What is the use of mechanical seals?* Available at: <https://leakpack.com/use-mechanical-seals/> (Accessed: 3 May 2023).
- Lelieveld, H.L.M. *et al.* (eds) (2014) *Hygiene in food processing: principles and practice*. Second edition. Oxford ; Philadelphia: Woodhead Publishing.

McRae Engineering (2021) '4 Advantages Of Pneumatic Actuators', *McRae Engineering*. Available at: <http://www.mcraeeng.com/blog/4-advantages-of-pneumatic-actuators> (Accessed: 19 May 2023).

Metal Supermarkets (2018) *The Difference Between 304 and 316 Stainless Steel*. Available at: <https://www.metalsupermarkets.com/the-differences-between-304-and-316-stainless-steel/> (Accessed: 28 March 2023).

Miller, G. (2023) *Dairy equipment cleaning: CIP vs. COP | Dairy Foods*. Available at: <https://www.dairyfoods.com/articles/95600-dairy-equipment-cleaning-cip-vs-cop> (Accessed: 1 May 2023).

Næringsmiddelhygieneforskriften (2009) *Forskrift om næringsmiddelhygiene (næringsmiddelhygieneforskriften)*. Available at: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2008-12-22-1623?q=Forskrift%20om%20n%C3%A6ringsmiddelhygiene> (Accessed: 22 March 2023).

NDLA (2018) *Tetninger*. Available at: <https://ndla.no/article/10472> (Accessed: 10 April 2023).

Nordic Steel Group (u.å.) *Forskjellen på 304, 304L, 316 og 316L: De viktigste kjemiske og mekaniske forskjellene*. Available at: <https://www.nordicsteel.no/fagartikler/forskjellen-pa-304-304l-316-og-316l> (Accessed: 2 May 2023).

Pedersen, B. and Kaland, T. (2023) *aluminium, Store norske leksikon*. Available at: <https://snl.no/aluminium> (Accessed: 18 May 2023).

Process Industry Forum (2023) 'What is a Pneumatic Actuator and how do they work?', *Process Industry Forum*. Available at: <https://www.processindustryforum.com/article/what-is-a-pneumatic-actuator> (Accessed: 9 March 2023).

Recommendations for easy mounting and dismounting | SKF (no date). Available at: <https://www.skf.com/group/products/plain-bearings/spherical-plain-bearings-rod-ends/principles/design-of-bearing-arrangements/recommendations> (Accessed: 1 May 2023).

Reliance Foundry Co. Ltd (2020) *Which is better? 304 vs 316 Stainless Steel*. Available at: <https://www.reliance-foundry.com/blog/304-vs-316-stainless-steel> (Accessed: 26 March 2023).

Rosvold, K.A. (2023) *aktuator, Store norske leksikon*. Available at: <https://snl.no/aktuator> (Accessed: 15 April 2023).

Sigum Fagerberg AS (u.å.). Available at: <https://www.sigumfagerberg.no/sv/bransje/aluminiumindustri/> (Accessed: 19 May 2023).

SKF (2020) 'Seal installation guide: Part 2 - Industrial Seals Expert', 3 April. Available at: <https://industrialselexpert.skf.com/seal-installation-guide-part-2/> (Accessed: 3 May 2023).

SKF (2021) *Eliminating common causes of hydraulic leaks, SKF RecondOil*. Available at: <https://recondoil.com/eliminating-common-causes-of-hydraulic-leaks/> (Accessed: 12 April 2023).

SKF (u.å.a) *Design and material*. Available at: <https://www.skf.com/uk/products/industrial-seals/power-transmission-seals/principles/seal-design-and-material> (Accessed: 19 April 2023).

SKF (u.å.b) *Rod and buffer seals* / SKF. Available at: <https://www.skf.com/group/products/industrial-seals/hydraulic-seals/rod-and-buffer-seals> (Accessed: 19 May 2023).

SKF (u.å.c) *Sealing materials* / SKF. Available at: <https://www.skf.com/group/products/industrial-seals/power-transmission-seals/principles/sealing-materials> (Accessed: 20 May 2023).

Stier, R.F. (2020) *The basics of cleaning and sanitation in food plants*. Available at: <https://www.foodengineeringmag.com/articles/98657-the-basics-of-cleaning-and-sanitation-in-food-plants> (Accessed: 20 March 2023).

The Process Piping (2020) *Butterfly Valve Working* [Digital Picture]. Available at: <https://www.theprocesspiping.com/introduction-to-butterfly-valves/> (Accessed: 30 April 2023).

Timperley, D.A. and Smeulders, C.N.M. (1988) 'Cleaning of dairy HTST plate heat exchangers: optimization of the single-stage procedure', *Print*, 41(1), pp. 4–7.

Tribonet (2017) *After the Mystery of Rotary Lip Seals - About Tribology*. Available at: <https://www.tribonet.org/news/after-the-mystery-of-rotary-lip-seals/> (Accessed: 3 May 2023).

TWI (2023) *What is PLA? (Everything You Need To Know)*. Available at: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-pla.aspx> (Accessed: 27 February 2023).

Ullman, D.G. (2010) *The Mechanical Design Process*. 4th edn. New York: McGraw-Hill.

Ullmann, D.G. (2010) 'The Mechanical Design Process', in. New Yourk: McGraw-Hill, p. 68.

Unified Alloys (2023) *Stainless Steel Pipe Chart - Unified Alloys*. Available at: <https://www.unifiedalloys.com/p/stainless-steel-pipe-data> (Accessed: 19 May 2023).

Vink Norway AS (2023) *POM Polyoxymetylen Ertacetal-C®*. Available at: <https://vink.no/produkter/industri/konstruksjonsplast/pom> (Accessed: 21 March 2023).

Wikipedia (2023a) 'Ball valve', *Wikipedia*. Available at: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Ball_valve&oldid=1142178798 (Accessed: 19 May 2023).

Wikipedia (2023b) 'Butterfly valve', *Wikipedia*. Available at: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Butterfly_valve&oldid=1154497288 (Accessed: 19 May 2023).

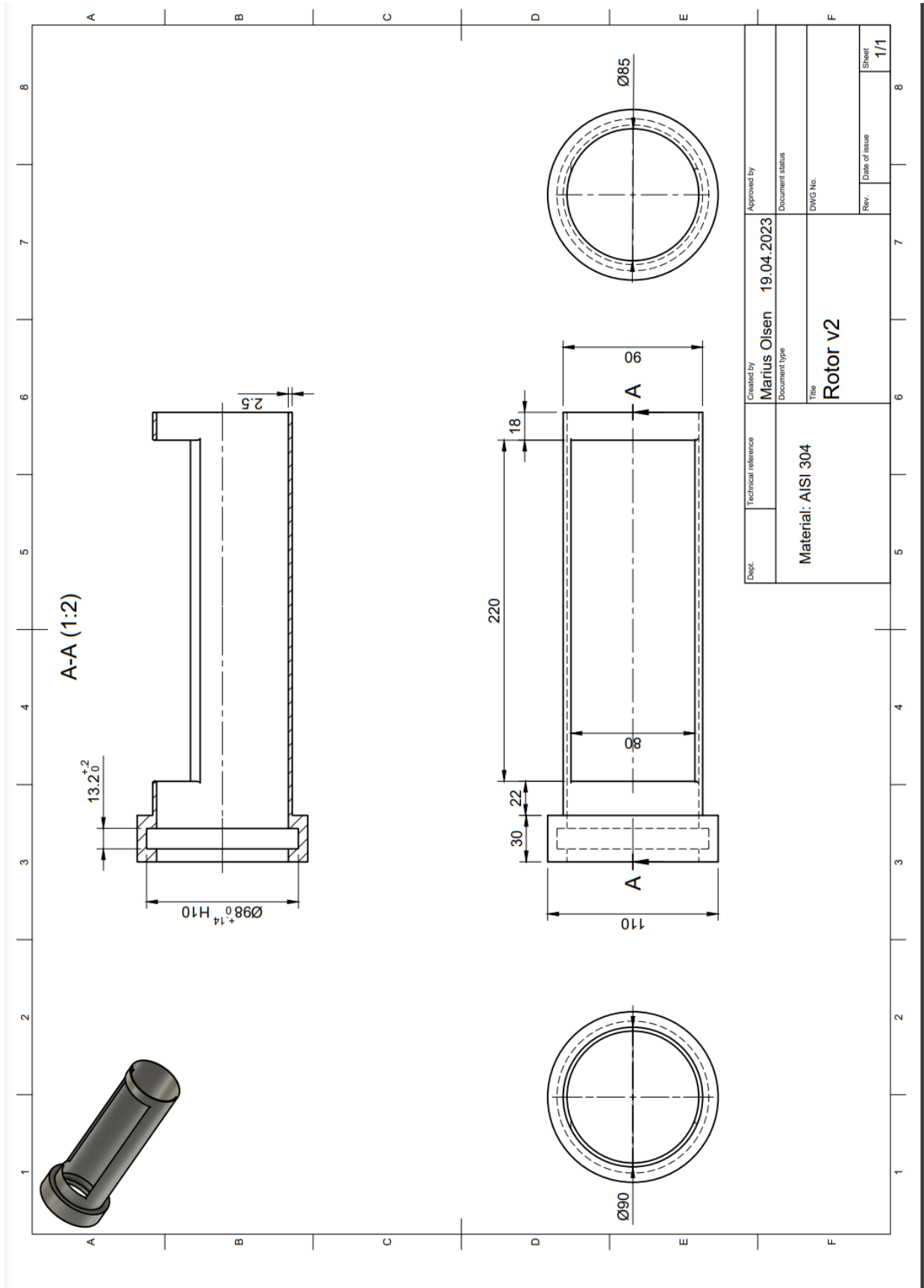
Wikipedia (2023c) 'Plug valve', *Wikipedia*. Available at: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Plug_valve&oldid=1135868154 (Accessed: 19 May 2023).

Wikipedia (2023d) 'Solenoid valve', *Wikipedia*. Available at: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Solenoid_valve&oldid=1149079578 (Accessed: 19 May 2023).

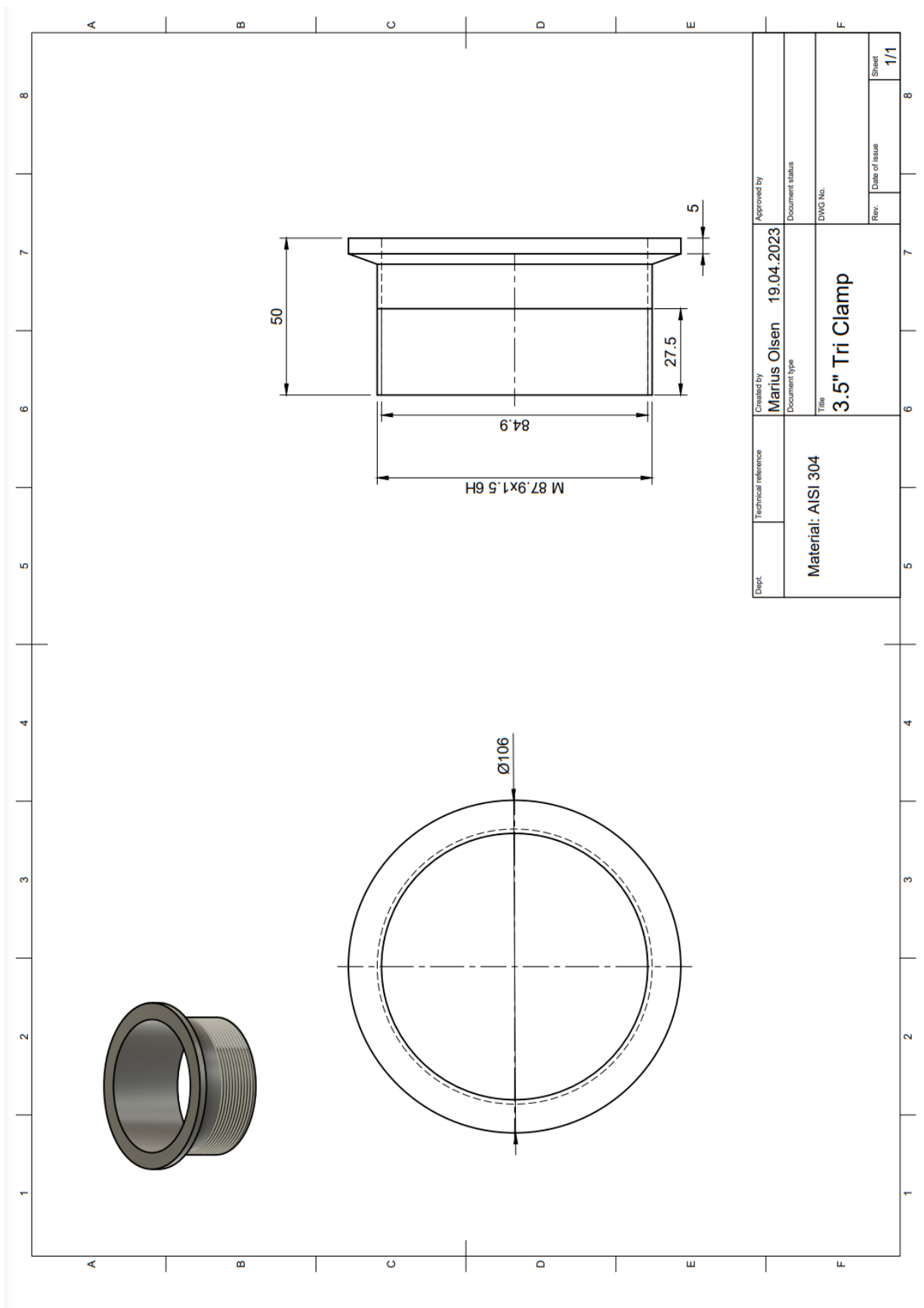
Worlifts Ltd (2017) 'Hydraulics and Pneumatics — what's the difference, and why the confusion?', *Medium*, 13 January. Available at: https://medium.com/@Lifting_Equip/hydraulics-and-pneumatics-whats-the-difference-and-why-the-confusion-ab593b1d4345 (Accessed: 22 March 2023).

Zaske, A. (2021) *Comparing Electric and Fluid-Power Actuators*, *Power & Motion*. Available at: <https://www.powermotiontech.com/technologies/cylinders-actuators/article/21163135/comparing-electric-and-fluidpower-actuators> (Accessed: 10 May 2023).

Vedlegg B: Maskintegning Rotor

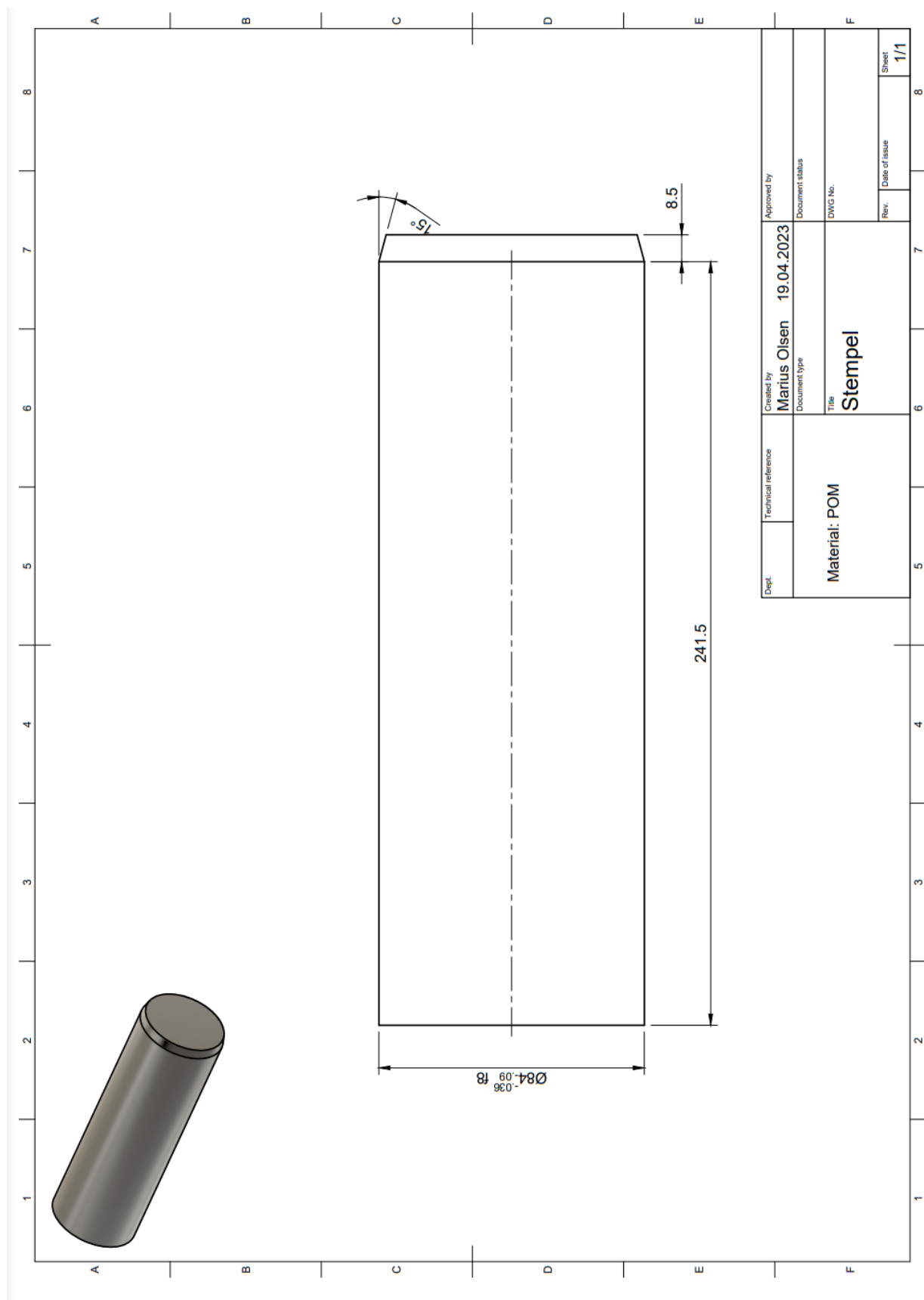


Vedlegg C: Maskintegning 3.5" Tri-Clamp



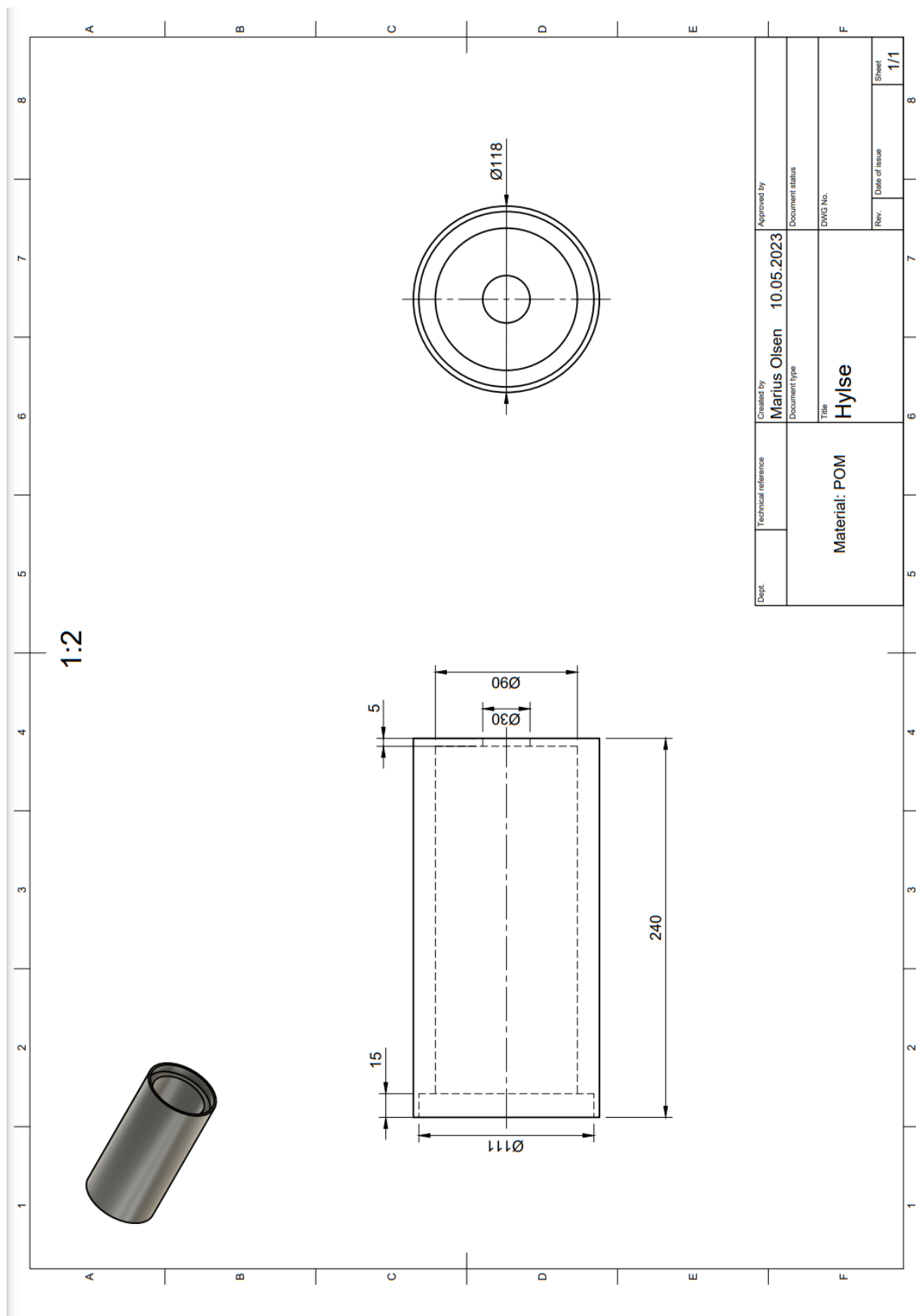
Dept.	Technical reference	Created by	Approved by
	Material: AISI 304	Marius Olsen	19.04.2023
		Document type	Document status
		Title	DWG No.
		3.5" Tri Clamp	
		Rev.	Date of issue
			Sheet
			1/1

Vedlegg D: Maskintegning Stempel



Dept.	Technical reference	Created by Marius Olsen	Approved by
		19.04.2023	Document status
		Document type	DWG No.
		Title Stempel	Rev.
			Date of issue
			Sheet 1/1

Vedlegg E: Maskintegning Hylse



Dept.	Technical reference	Created by Maritus Olsen	Approved by 10.05.2023	Document status
		Document type		
		Title Hylse	DWG No.	
		Material: POM	Rev.	Date of issue
				Sheet 1/1

Vedlegg F: Teknisk spesifikasjon Stangtetning



DZ-85X100X13.8-E2F



Hydraulic rod seal, with primary and secondary sealing rings

These hydraulic rod seals consist of a nitrile rubber primary sealing ring and a LUBRITHANE thermoplastic polyurethane secondary sealing ring. The nitrile rubber primary lips provide improved long-term sealing performance and a greater capability to track larger radial deflections between the rod and the head.

- Excellent low-temperature and low pressure sealing performance
- Accommodate pressures up to 400 bar (5 800 psi)
- Excellent radial rod deflection tracking capability
- Available in metric and inch sizes

Overview

Dimensions

Housing groove diameter	100 mm
Housing groove width	13.8 mm
Rod diameter	85 mm

Performance

Pressure limit, maximum	40 N/mm
-------------------------	---------

Properties

Compound 2	Nitrile Rubber (NBR A-8504)
Design	DZ
Primary sealing element	Polyurethane (TPU U-1003)

Pressure	max. 400 bar
Speed	max. 1 m/s

Operating temperature

T_6 120 °C	Extreme upper temperature limit
T_5 110 °C	Reduced performance upper temperature limit
T_4 100 °C	Upper operating temperature limit
T_3 -50 °C	Lower operating temperature limit
T_2 -55 °C	Reduced performance lower temperature limit
T_1 -60 °C	Extreme lower temperature limit

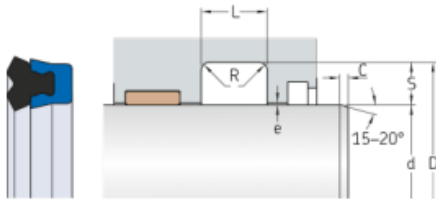
Maximum values of application parameters (e.g. pressure, speed, temperature) should not be applied continuously nor simultaneously.



Materials

Primary sealing element	Polyurethane (TPU U-1003)
Additional element	Nitrile Rubber (NBR A-8504)

Technical Specification



Dimensions

d	85 mm	Rod diameter
D	100 mm	Housing groove diameter
L	13.8 mm	Housing groove width
S	7.5 mm	Radial depth
R	max. 0.5 mm	Groove radius
C	min. 8.5 mm	Lead-in chamfer length

Tolerances

tol d	-0.036 mm	Upper limit deviation
	-0.09 mm	Lower limit deviation
f8		Tolerance class for rod diameter
h9		Alternative tolerance class for rod diameter
tol D	0.14 mm	Upper limit deviation
	0 mm	Lower limit deviation
H10		Tolerance class for housing groove diameter
tol L	0.2 mm	Upper limit deviation
	0 mm	Lower limit deviation

Maximum extrusion gap

Reference temperature for extrusion gap		60 °C
Extrusion gap at 160 bar	e	0.5 mm
Extrusion gap at 250 bar	e	0.3 mm
Extrusion gap at 400 bar	e	0.15 mm

Vedlegg G: Korrekt installasjon av stangtetning

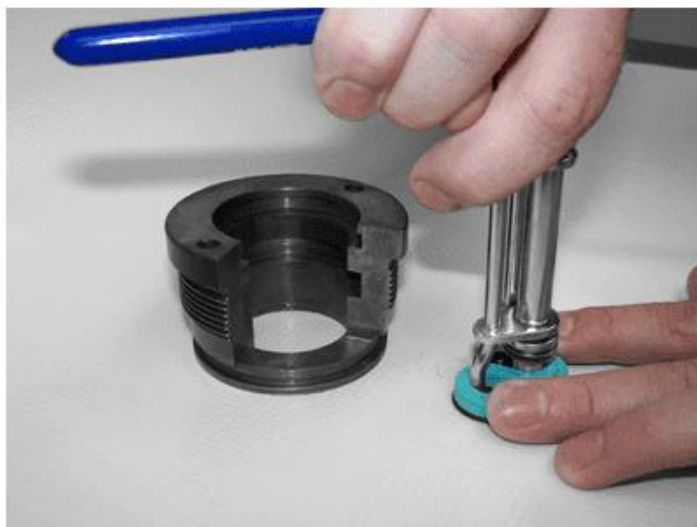


fig. 5

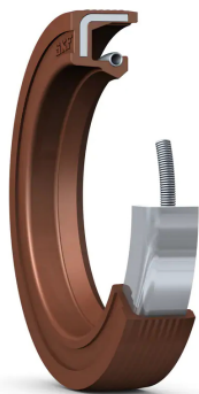


fig. 6



fig. 7

Vedlegg H: Teknisk Spesifikasjon Radialakseltetning



Overview

90X110X10 HMS5 V



Radial shaft seal with rubber outside diameter and single sealing lip, for oil or grease

Radial shaft seals are used between rotating and stationary machine components, or between components in relative motion. HMS5 seals are designed with a rubber outside diameter. They have a conventional sealing lip made of elastomer with a garter spring to maintain the right radial load.

- High pumping rate
- With garter spring
- Accommodate misalignment

Dimensions

Housing bore diameter	110 mm
Seal width	10 mm
Shaft diameter	90 mm

Performance

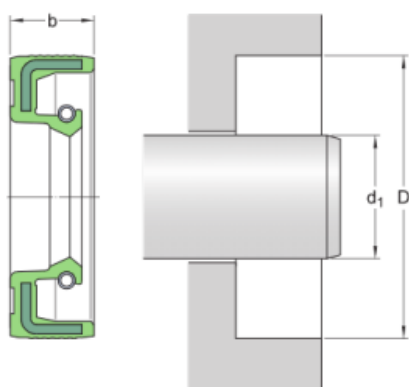
Maximum operating temperature	200 °C
Minimum operating temperature	-20 °C
Permissible circumferential speed	31.79 m/s
Rotational speed	6 720 r/min

Properties

Auxiliary lip	No
Design	HMS5
Sealing lip material	Fluoro rubber (FKM)
Type of outside diameter	Rubber metal reinforced
Unit system	Metric

Technical Specification

Type of outside diameter	Rubber metal reinforced
Lip material	Fluoro rubber (FKM)
Seal design	HMS5
Compliance with standard	ISO 6194, DIN 3760



Dimensions

d_1	90 mm	Shaft diameter
D	110 mm	Housing bore diameter
b	10 mm	Seal width

Application and operating conditions

Operating temperature	min. -20 °C
Operating temperature	max. 200 °C
Operating temperature, short periods	max. 200 °C
Circumferential speed	max. 31.79 m/s
Rotational speed	max. 6 720 r/min
Pressure differential	0.03 N/mm

Associated products

SKF Speedi-Sleeve	99352
-------------------	-------

Vedlegg I: Tilgjengelige radialakseltetninger fra SKF

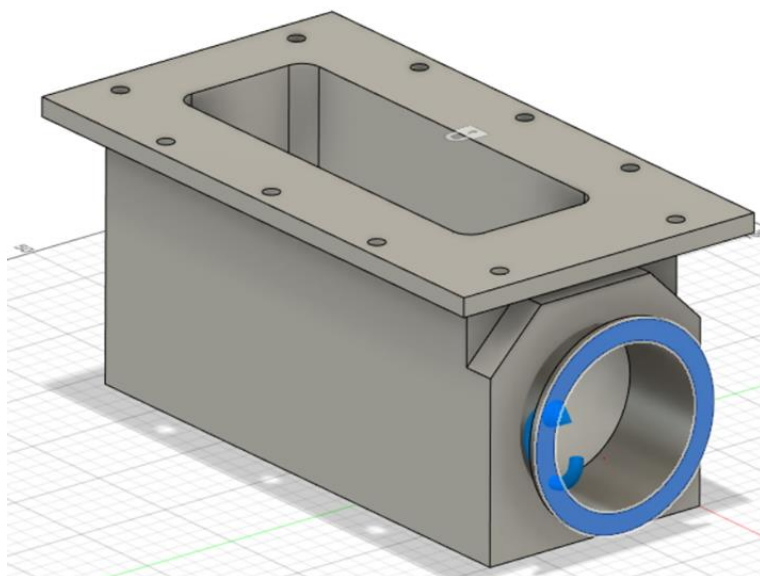
Designation	Dimensions			Lip material	Seal design	
	Shaft		Bore			Seal width
	d_1 [mm]	t_{\downarrow}	D [mm]			b [mm]
90X110X10 HMS5 RG	90		110	10	Nitrile rubber (NBR)	HMS5
90X110X10 HMS5 V	90		110	10	Fluoro rubber (FKM)	HMS5
90X110X10 HMSA10 RG	90		110	10	Nitrile rubber (NBR)	HMSA10
90X110X10 HMSA10 V	90		110	10	Fluoro rubber (FKM)	HMSA10
90X110X12 CRW1 R	90		110	12	Nitrile rubber (NBR)	CRW1
90X110X12 CRW1 V	90		110	12	Fluoro rubber (FKM)	CRW1
90X110X12 HMS5 RG	90		110	12	Nitrile rubber (NBR)	HMS5
90X110X12 HMS5 V	90		110	12	Fluoro rubber (FKM)	HMS5
90X110X12 HMSA10 RG	90		110	12	Nitrile rubber (NBR)	HMSA10
90X110X12 HMSA10 V	90		110	12	Fluoro rubber (FKM)	HMSA10

Vedlegg K: Styrkeberegning

Simuleringen i Fusion er en «static stress study» som ble gjort for å teste om koblingen mellom stator og Tri-Clamp-flensen tåler lasten av rørene som skal kobles på. Hver rørdel veier cirka 0,75kg, pluss vekten av rørklemmene. Rørkoblingen består av 3 slike hvor vekten ble rundet opp til 2,5kg. Ventilen veier cirka 1kg. Vi må også ta vekten av matproduktet i betraktning, rørene rommer omtrent én porsjon som er 1kg. For å være på den sikre siden runder vi dette opp til en totalvekt på 5kg. Tyngdepunktet er også en del lenger ut enn midtpunktet av rørene, dette er på grunn av ventilen som er montert på enden. Antar derfor tyngdepunktet til å være omtrent 35cm ut fra flensen. Anser vi 1kg til å være 10N får vi altså $50\text{N} \times 350\text{mm}$ som blir et moment på 17500 Nmm. Som følge av reduseren blir tyngdepunktet litt lenger ut for det nye designet, det legges derfor på 10cm som fører til et moment på 22500 Nmm.

Formålet med dette er å kunne utelukke at noen skade kan skje på statoren som følge av rørenes vekt. Dersom det er tegn på svikt, kan det bli nødvendig å lage en støtte for å holde rørene oppe. Styrkeberegningen er også en god måte for å teste om det nye designet tåler lasten bedre enn det gamle.

Simuleringen utføres slik at momentet plasseres på fronten av flensen (markert i blått) og fastholdningen på toppen av statoren antas å være fastlåst i Z-retning. Innsiden av skruehullene er fastlåst i alle retninger. Det ble brukt ett enkelt mesh der det eneste som ble justert var «Model Based Size» som ble satt til 4% ved det opprinnelige designet, og 10% ved det nye. Dette førte til et noe finere mesh på selve statoren, men ved gjengene har meshet en høy oppløsning på begge design.



Materialet som ble brukt på statoren var «Acetal Resin», som er det samme som POM-C. For Tri-Clamp ble det brukt «Stainless Steel AISI 304» [vedlegg N].

Resultater fra simulering

Resultater for designet i sin helhet er presentert her, for de individuelle delene se Vedlegg L og Vedlegg M. For en nærmere forklaring av resultatparameterne se Autodesk's nettside for «Structural analysis results» (Autodesk, u.å.).

Maksverdier for:	Displacement	Strain ($\times 10^{-4}$)	Stress	Safety Factor
Første design	0.01334mm	8.004 eq.	77.82MPa	Min.: 2.763 Maks.: 15
Nytt design	0.009058mm	8.213 eq.	26.07MPa	Min.: 8.248 Maks.: 15

Diskusjon av resultater

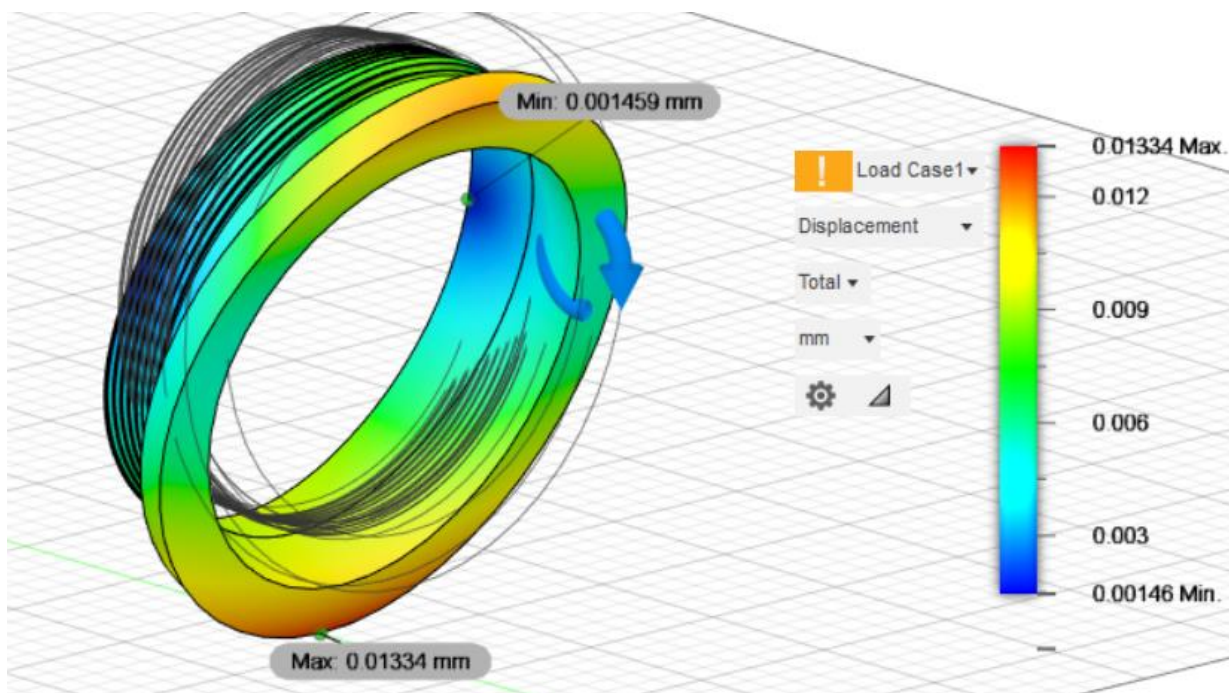
Styrkeberegningen i Fusion 360 viser svært lite displacement på begge design, men det kommer frem at det nye designet har betydelig bedre sikkerhetsfaktor i forhold til det første. Det er altså trygt å si at det nye designet tåler lasten av rørene som skal kobles på, da lasten i simulasjonen er basert på tall som er noe høyere enn det som er reelt. Dersom en aktuator skal monteres direkte på ventilen på enden av rørkoblingen, bør denne styrketesten kjøres på nytt med økt moment. Det forventes at denne kommer til å kreve en støtte ettersom en vektøkning på enden av rørkoblingen kommer til å gi et betydelig forstørret moment.

Fusion kommer med advarsel på sikkerhetsfaktoren på det første designet (markert med «!» i [vedlegg L]). Dersom det gamle designet skal tas i bruk bør det derfor benyttes en form for støtte på rørkoblingen.

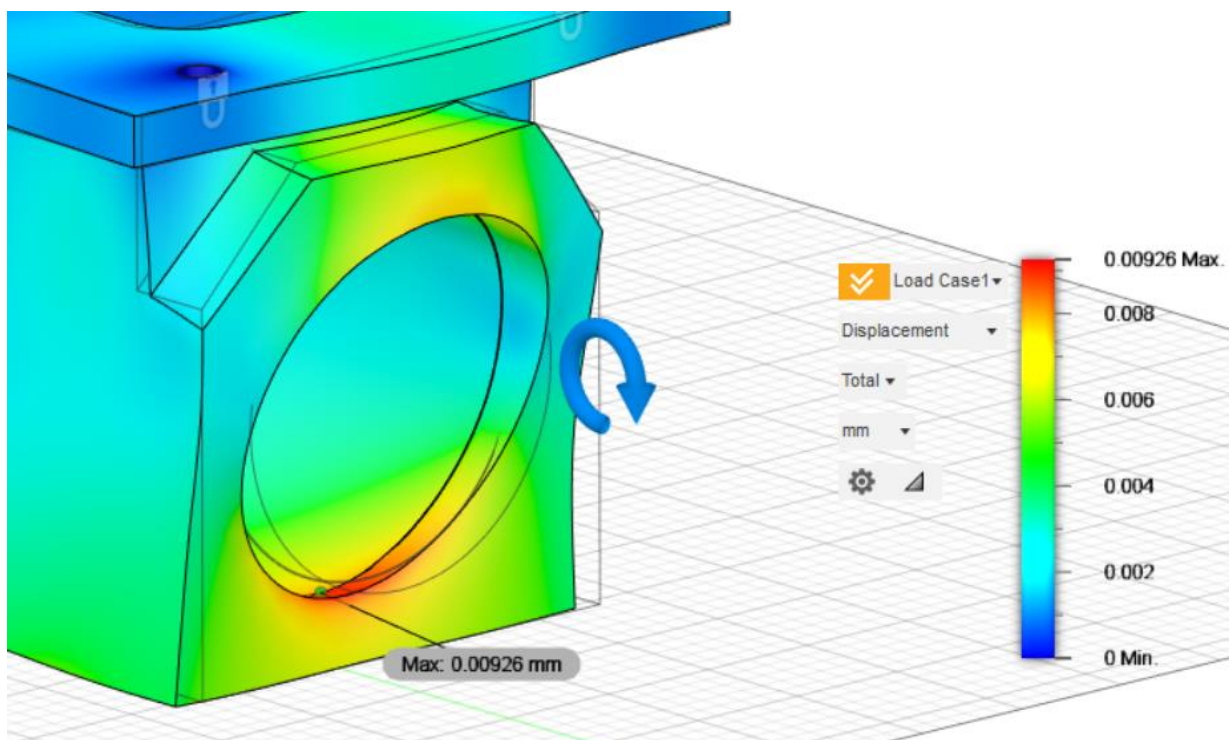
Vedlegg L: Simulasjonsresultater opprinnelig design

Opprinnelige design:

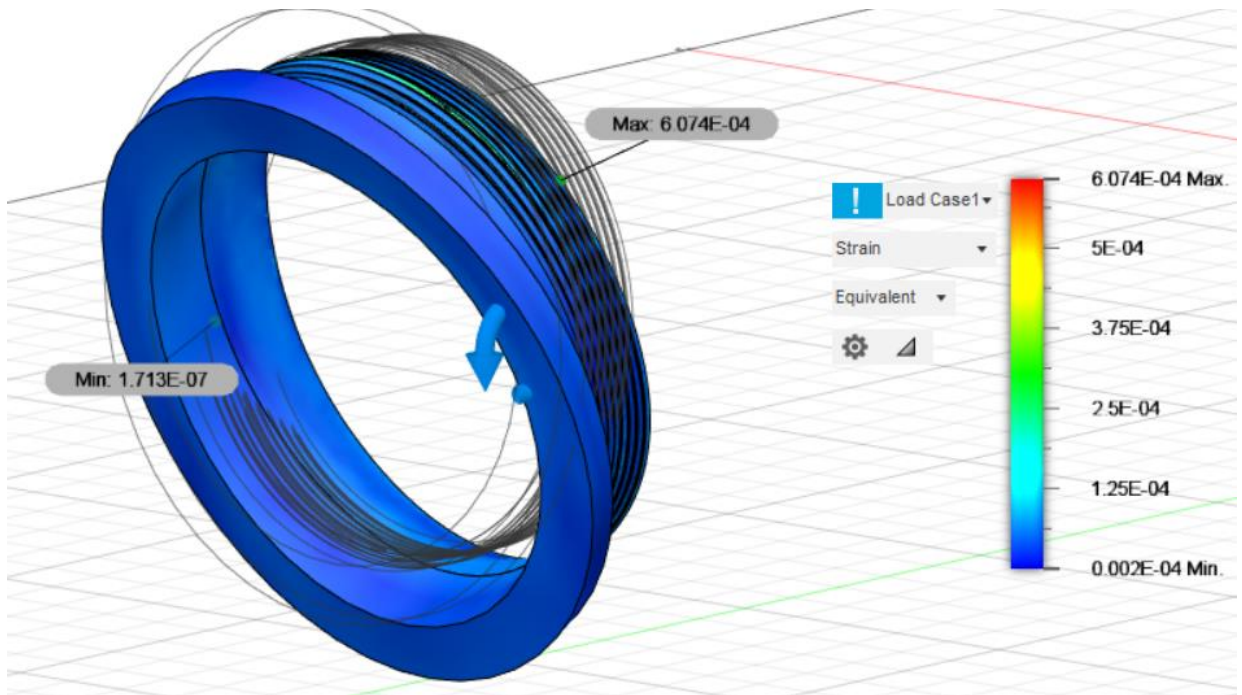
Displacement Tri-Clamp



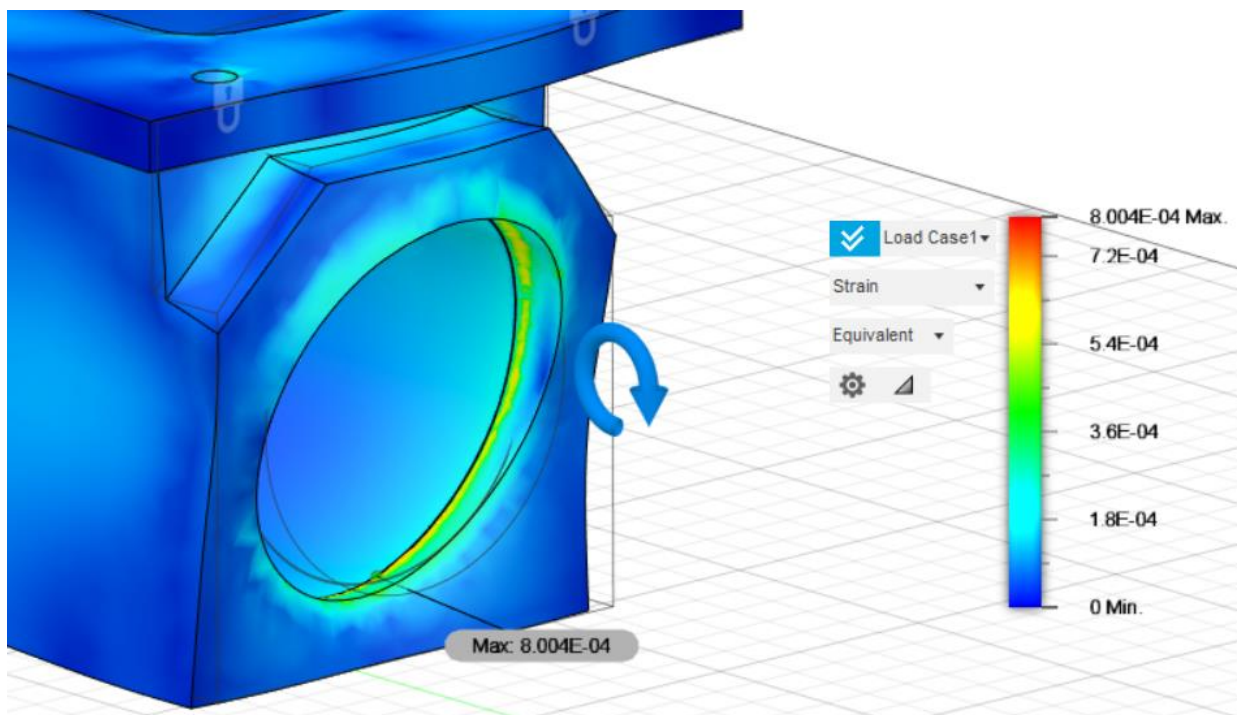
Displacement Stator



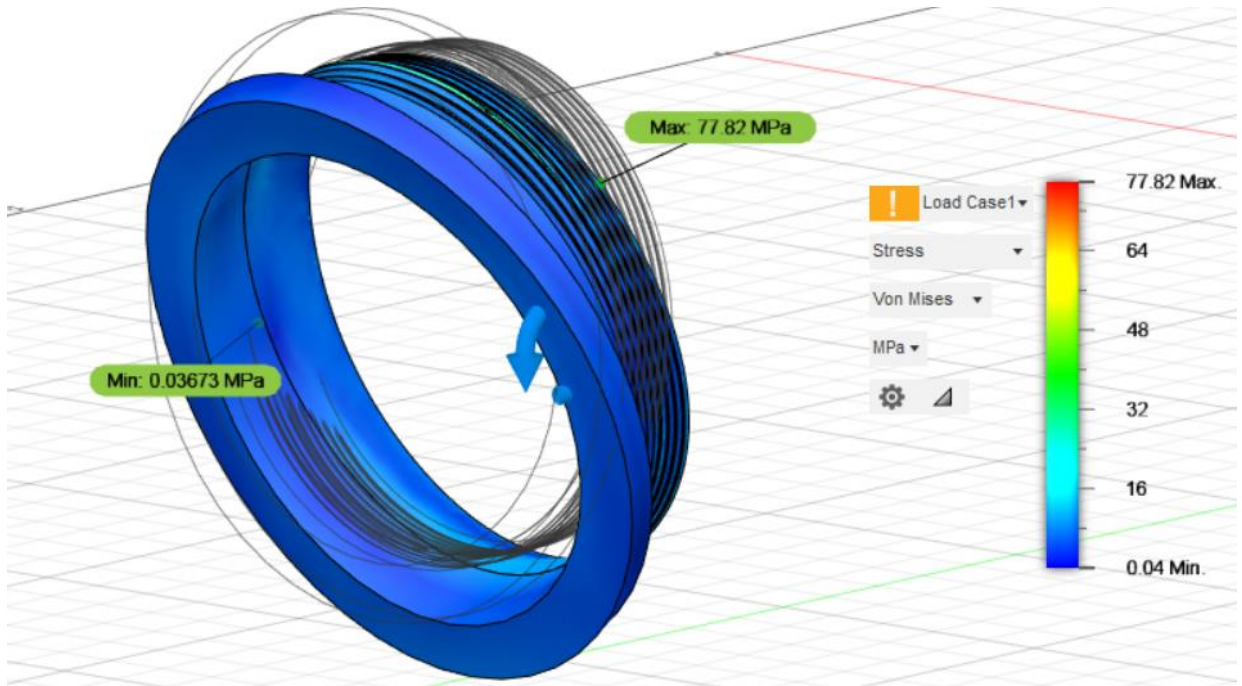
Strain Tri-Clamp



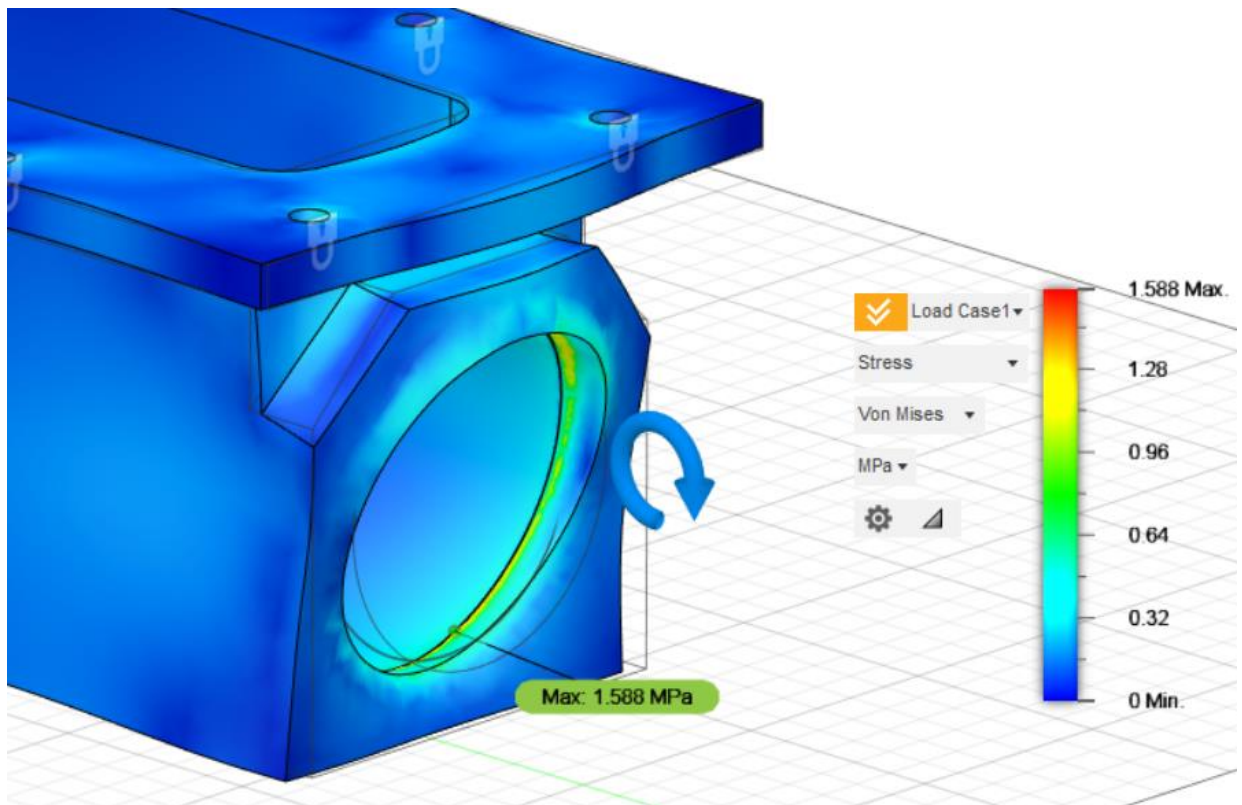
Strain Stator



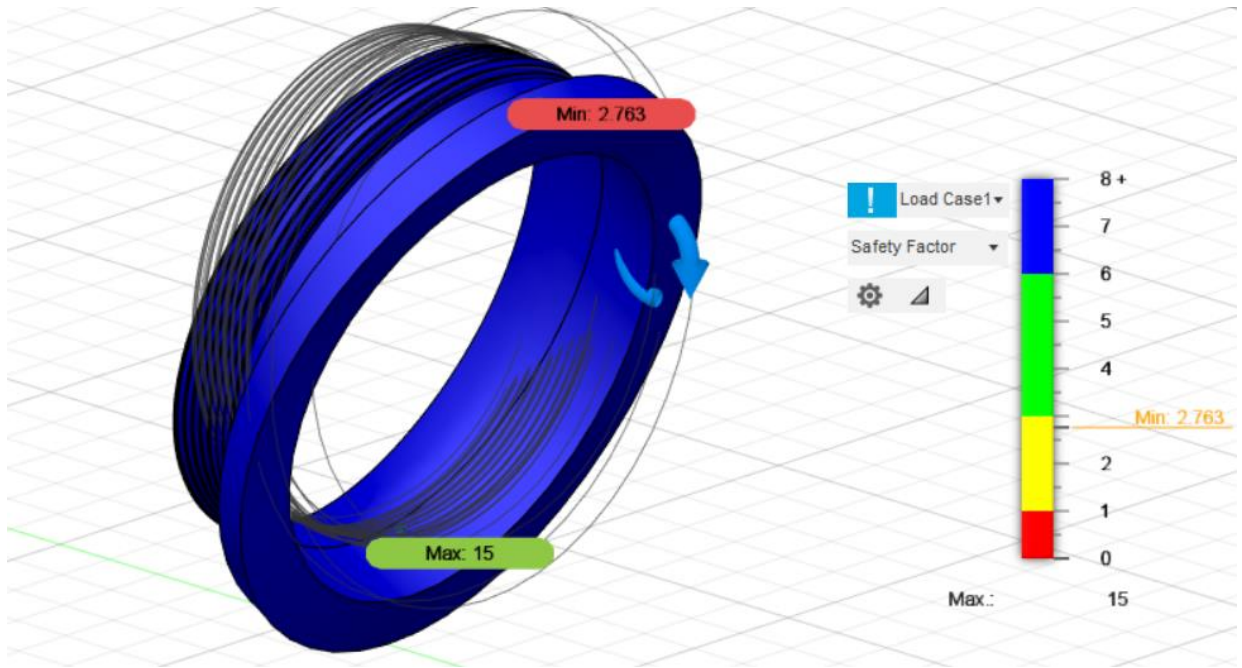
Stress Tri-Clamp



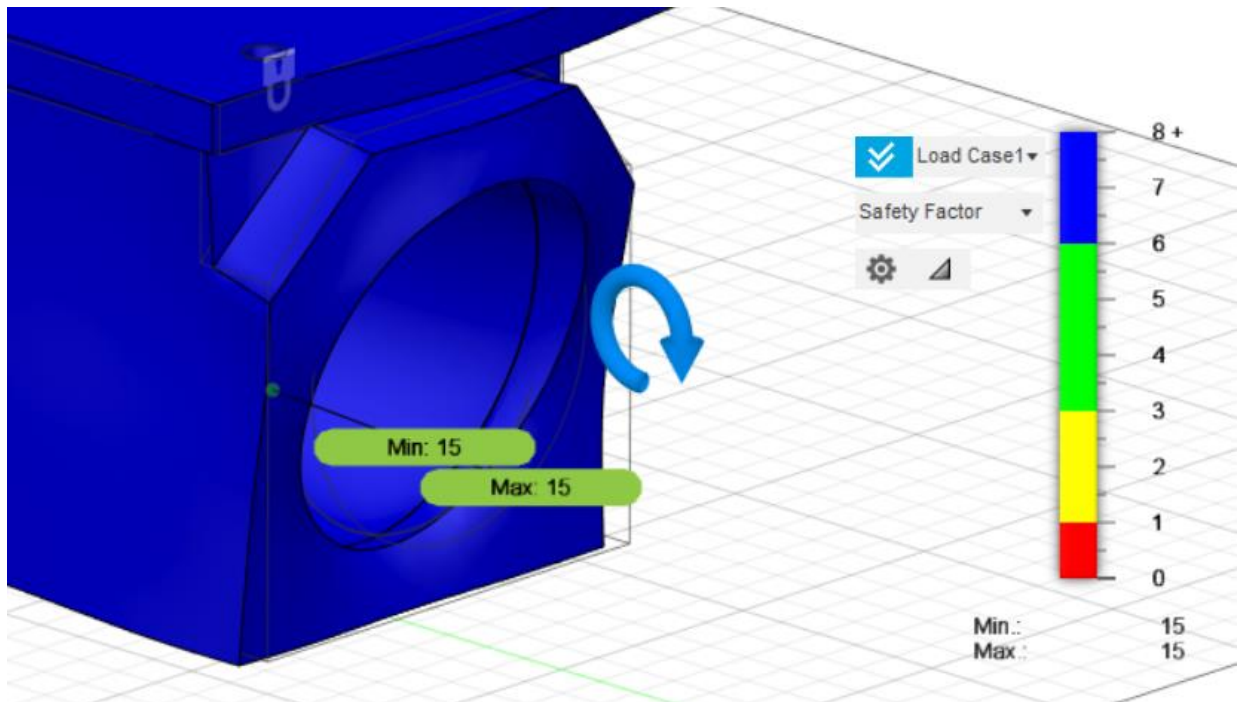
Stress Stator



Safety Factor Tri-Clamp

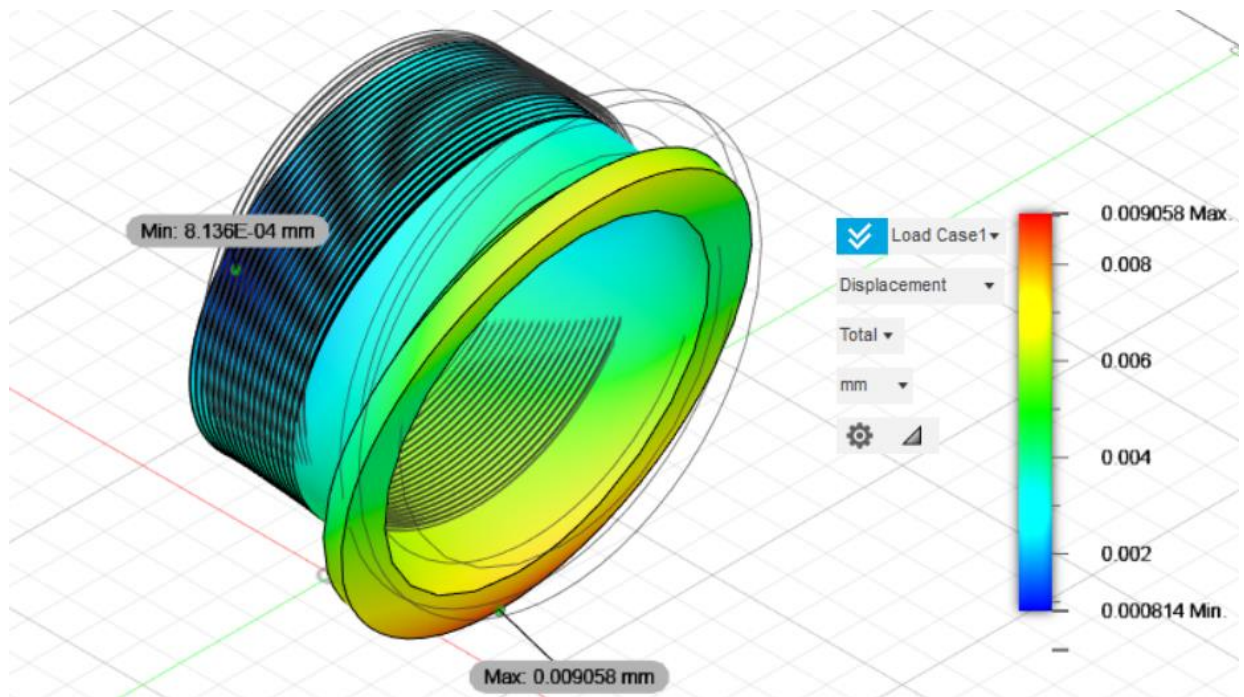


Safety Factor Stator

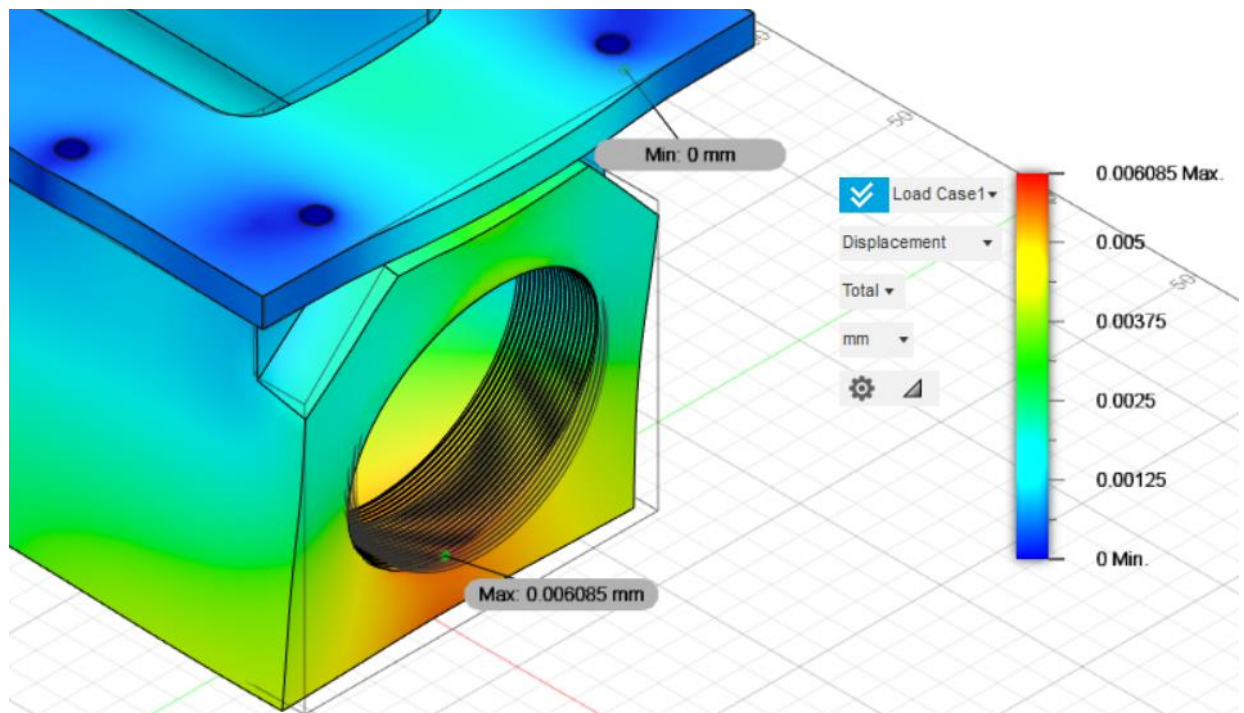


Vedlegg M: Simuleringsresultater nytt design

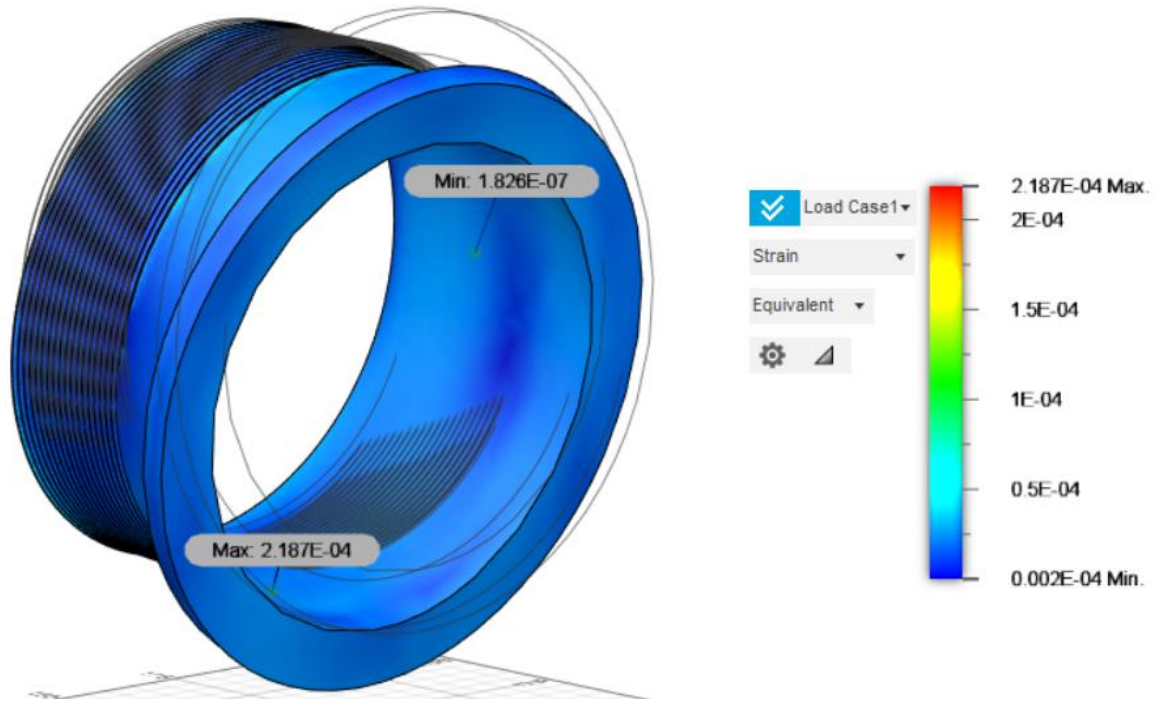
Displacement Tri-Clamp



Displacement Stator



Strain Tri-Clamp



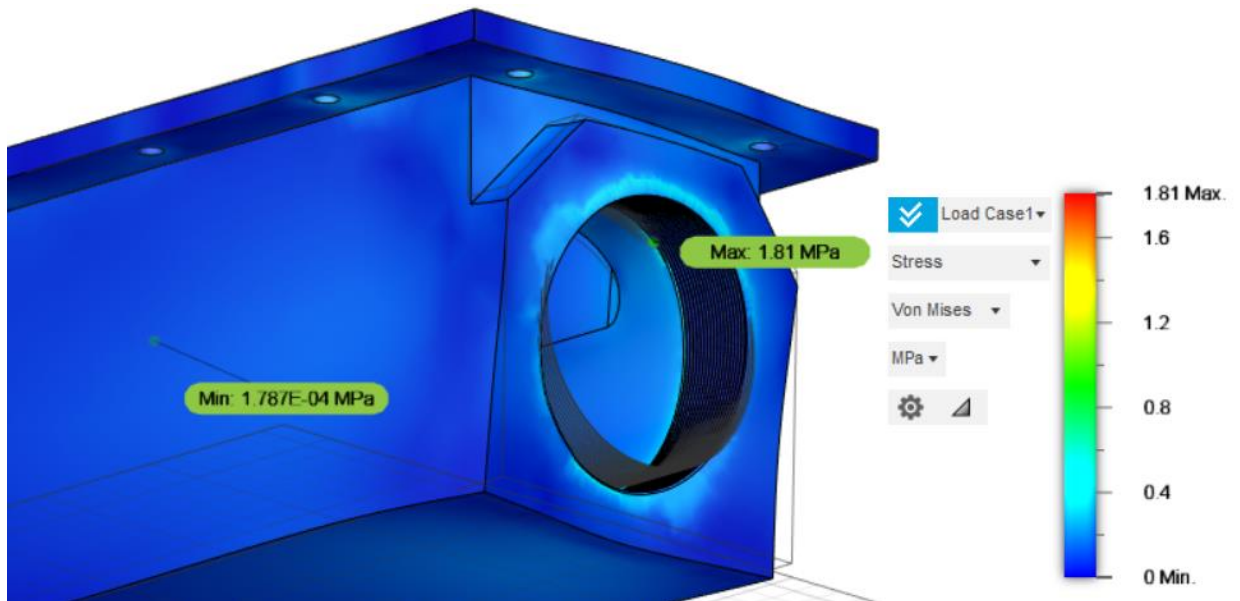
Strain Stator



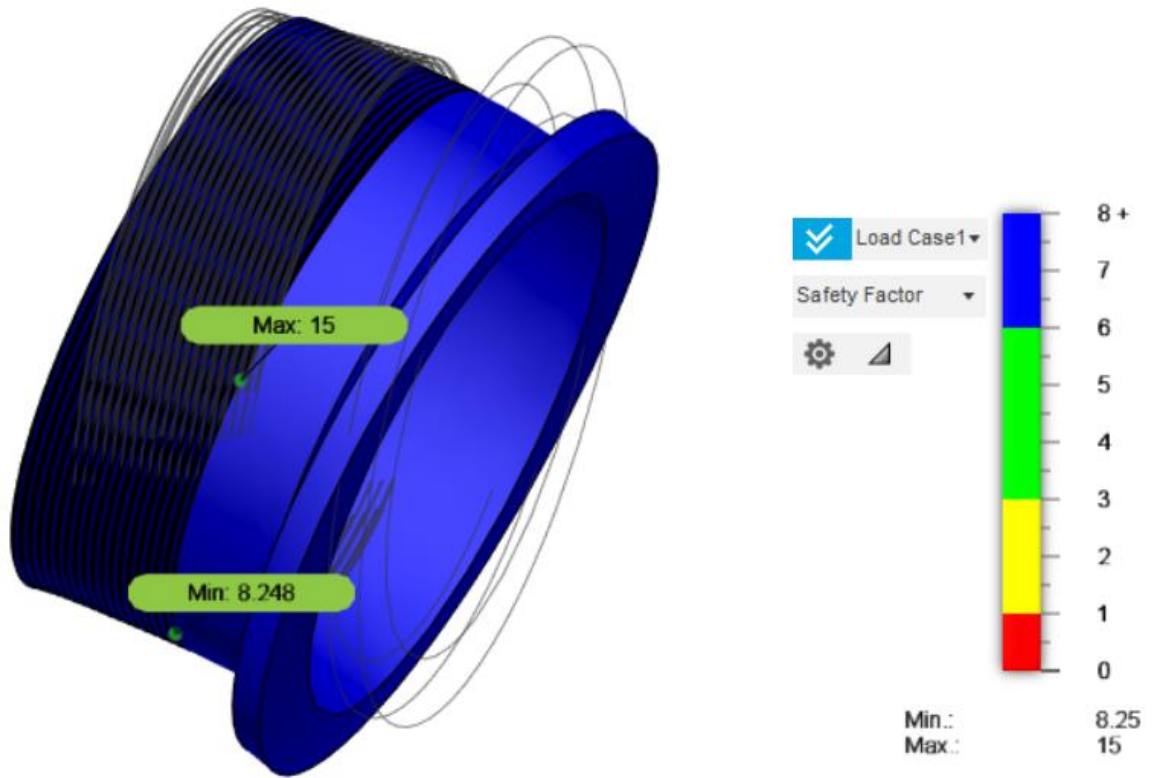
Stress Tri-Clamp



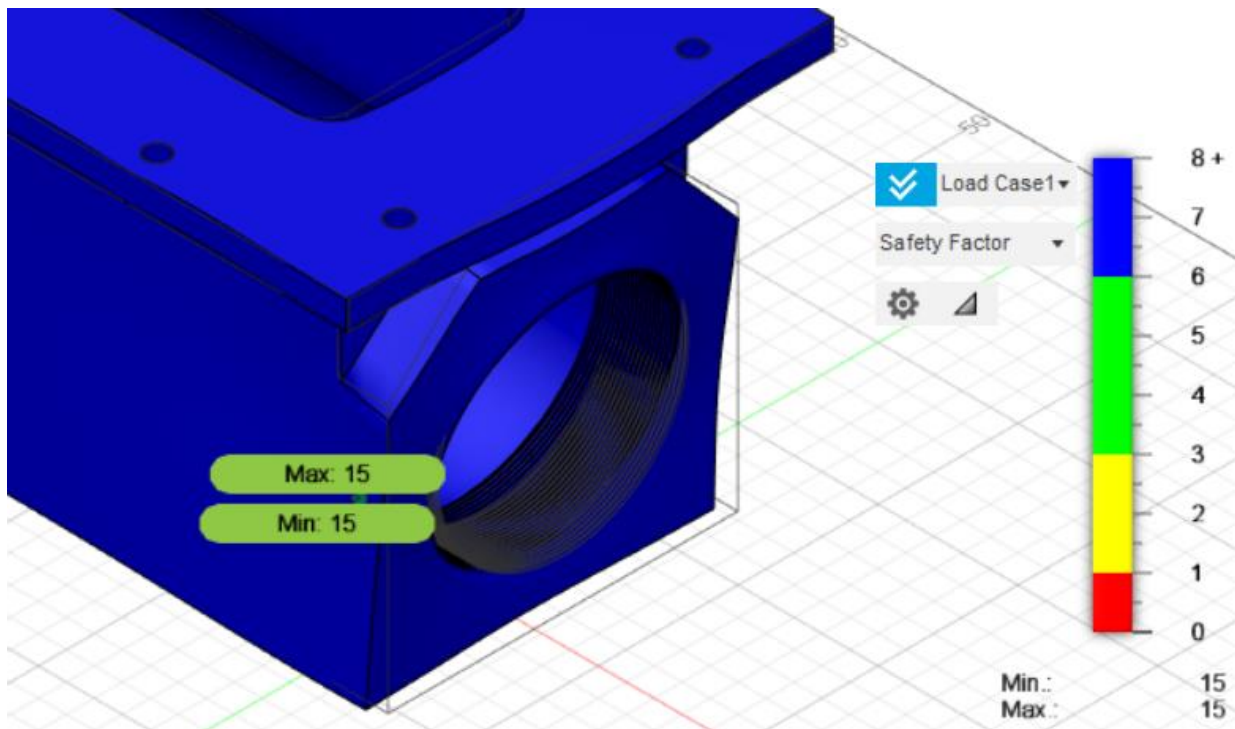
Stress Stator



Safety Factor Tri-Clamp



Safety Factor Stator



Vedlegg N: Materialegenskaper

Stainless Steel AISI 304

MATERIAL PROPERTIES	
Material	Stainless Steel AISI 304
Density	8E-06 kg / mm ³
Young's...	195 GPa
Poisson...	0.29
Yield St...	215 MPa
Ultimate...	505 MPa
Thermal...	0.0162 W / (mm C)
Thermal...	1.73E-05 / C
Specific...	500 J / (kg C)

Acetal Resin

MATERIAL PROPERTIES	
Material	Acetal Resin, Black
Density	1.425E-06 kg / mm ³
Young's...	2.9 GPa
Poisson...	0.39
Yield St...	68.21 MPa
Ultimate...	68.21 MPa
Thermal...	1.6E-04 W / (mm C)
Thermal...	1.1E-04 / C
Specific...	1465 J / (kg C)

Vedlegg O: Sammenstilling av det nye designet

