

Aiden Alexander  
Henrik Fenstad  
Simen Vestnes

## Produktutvikling av et verktøy for elektriske sparkesykler

Product Development of a Tool for Electric Scooter

Bacheloroppgave i ingeniørfag, maskin

Veileder: Evangelos Tyflopoulos

Medveileder: Eirik Johannesen

Mai 2022



Aiden Alexander  
Henrik Fenstad  
Simen Vestnes

# **Produktutvikling av et verktøy for elektriske sparkesykler**

Product Development of a Tool for Electric Scooter

Bacheloroppgave i ingeniørfag, maskin  
Veileder: Evangelos Tyflopoulos  
Medveileder: Eirik Johannesen  
Mai 2022

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



Kunnskap for en bedre verden



## RAPPORT BACHELOROPPGAVEN

**Tittel**

Produktutvikling av et verktøy for elektriske sparkesykler

**Title**

Product Development of a Tool for Electric Scooters

**Prosjektnummer:** MTP-K-2022-01

**Forfattere:** Aiden Veronish Santhiyogu Alexander, Simen Kvalsvik Vestnes, Henrik Fenstad

**Oppdragsgiver eksternt:** Bydue AS

**Veileder internt:** Evangelos Tyflopoulos

Rapporten er **ÅPEN**

**Dato levert:** 20.05.2022

**Sammendrag**

Denne oppgaven er skrevet for Bydue AS som driver med privat salg av elsparkesykler. Oppgaven omhandler utviklingen av et nytt verktøy for Bydues elsparkesykler som skal brukes for å stramme en skrue mellom rattstammen og framgaffelen på elsparkesyklene. Konseptene som blir generert skal modelleres i 3D-programmet *Solidworks*, deretter analyseres ved sammenligninger av teoretiske styrkeberegninger og simuleringer. Til slutt skal et endelig konsept velges ut og bli optimalisert før en kan produsere verktøyet i en bestemt kvantitet.

**Summary**

This thesis has been written for Bydue AS, a company that sell electrical scooters for private use. The thesis deals with the development of a new tool for Bydue's electric scooters that will be used to tighten a screw between the steering column and the front fork of the electric scooters. The concepts that are generated will be modeled in the 3D software Solidworks, then analyzed by comparisons of theoretical strength calculations and simulations. Finally, a final concept will be selected and optimized before one can produce the tool in a certain quantity.

**Stikkord:**

- Elektriske sparkesykler
- Konseptutvikling
- 3D-modellering
- Prototyping
- Styrkeberegning
- Simulering

**Keywords:**

- Electric scooters
- Concept development
- 3D-modeling
- Prototyping
- Strength calculations
- Simulation

## Forord

Denne oppgaven er skrevet i forbindelse med emnet MAST2900 "Bacheloroppgave Maskin". Oppgaven er utarbeidet av tre maskiningeniørstudenter våren 2022 i samarbeid med Bydue AS og NTNU Trondheim.

Først og fremst vil gruppen starte med å takke veileder Evangelos Tyflopoulos som virkelig har hjulpet gruppen med å komme i mål. På tross av at Evangelos skrev doktorgradsavhandling i samme periode som denne oppgaven ble skrevet, fant han alltid tid til å veilede gruppen ved behov. Dette er noe vi som gruppe er svært takknemlig for. Uten hans formidling av kunnskap, veiledning og støtte ville ikke noe av dette vært mulig.

Deretter ønsker vi å takke universitetet. NTNU har i løpet av noen måneder støttet gruppen ved å la oss disponere deres ressurser som grupperom, skrivere og 3D-printere. Dette er noe vi som gruppe er svært takknemlig for, ettersom det hadde vært meget krevende å oppnå lignende resultater uten deres bidrag.

Å gjennomføre denne oppgaven har vært spennende, men også utfordrende. Det har vært spennende fordi oppgaven har gitt gruppen muligheten til å ta i bruk teorien man har lært over tre år, noe som blant annet har bidratt til ny kunnskap og ikke minst økt interessen hos samtlige gruppemedlemmer for det man har lært i løpet av bachelorgraden ved NTNU. Oppgaven har vært utfordrende fordi det har tatt mye tid og krevd mye innsats av både teoretisk og praktisk arbeid.

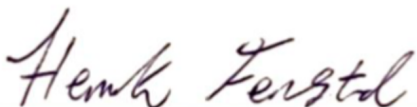
Til slutt vil vi takke Bydue AS som var villig til å la gruppen skrive en oppgave for dem og for ressursene de har bidratt med. Uten Bydues positivitet og engasjement ovenfor oppgaven ville man ikke klart å realisere alt arbeidet som er blitt gjort i oppgaven.

Dato: 20/05/2022



---

**Simen Kvalsvik Vestnes**



---

**Henrik Fenstad**



---

**Aiden Alexander**

## Sammendrag

Denne oppgaven er skrevet for Bydue AS som driver med privat salg av elsparkesykler. Oppgaven omhandler utviklingen av et nytt verktøy for Bydues elsparkesykler som skal brukes for å stramme en skrue mellom rattstammen og framgaffelen på elsparkesyklene. Konseptene som blir generert skal modelleres i 3D-programmet *Solidworks*, deretter analyseres ved sammenligninger av teoretiske styrkeberegninger og simuleringer. Til slutt skal et endelig konsept velges ut og bli optimalisert før en kan produsere verktøyet i en bestemt kvantitet.

I besvarelsen ble det aller først definert hensikt og satt ulike mål og avgrensninger som skal brukes for evalueringen av hele oppgaven. Når dette var gjort ble det fremstilt ulike teorier innen relevante tema som toolmaking, prototyping, produktutvikling og produksjon. Teorien som man fremstilte ble så brukt til videre anvendelse av metoder som ble benyttet for å løse problemstillingen.

Ulike konsepter av verktøyet ble designet i 3D-programmet *Solidworks*. Deretter ble disse konseptene presentert med spesifikasjoner før en utførte styrkeberegninger av utvalgte konsepter og skruen verktøyet skal brukes på. Årsaken til at man utførte styrkeberegninger på skruen var for å finne ut hvor store belastninger skruen tåler. Man kunne da definere at konseptene hadde nok kapasitet dersom konseptene tåler større belastninger enn skruen. Resultatene fra de teoretiske styrkeberegningene og resultatene man fikk i *Solidworks* ble sammenlignet for å bekrefte at beregningene ble gjort riktig. Ettersom skruens kapasitet avgjorde den minste kapasitet verktøyet kunne ha var største belastning på skruen før flyt et av de viktigste resultatene.

Etter at man sammenlignet resultatene for de ulike konseptene og kom frem til et endelig konsept utførte man en styrkeoptimalisering. Hensikten med denne optimaliseringen var å teste om noen endringer i dimensjoner kunne gjøre det endelige konseptet mer robust. Til slutt tok man kontakt med lokale produsenter for å bestille fysiske eksemplarer av det endelige konseptet.

I løpet av oppgaven har man anvendt relevant teori for å utføre analyser, teoretiske beregninger, simuleringer, 3D-modellering, og fremstilling av de ulike resultatene. Ved å se tilbake på resultatmålene og hensikten kan det konkluderes med at oppgaven har vært vellykket.

## Summary

This thesis has been written for Bydue AS, a company that sell electrical scooters for private use. The thesis deals with the development of a new tool for Bydue's electric scooters that will be used to tighten a screw between the steering column and the front fork of the electric scooters. The concepts that are generated will be modeled in the 3D software *Solidworks*, then analyzed by comparisons of theoretical strength calculations and simulations. Finally, a final concept will be selected and optimized before one can produce the tool in a certain quantity.

At first the purpose was defined, then various goals and boundaries to be used were set for the evaluation of the thesis. When this was done, relevant theories in topics such as toolmaking, prototyping, product development and production were presented. The theory that was presented was then used for further application of methods that were used to solve the problem.

Various concepts of the tool were designed in the 3D software *Solidworks*. Subsequently, these concepts were presented with specifications, then strength calculations of selected concepts and the screw were performed. The reason for performing strength calculations on the screw was to find out how much load the screw can withstand. One could then define that the concepts had enough strength if the concepts can withstand greater loads than the screw. The results from the theoretical strength calculations and results obtained in *Solidworks* simulation were compared to confirm that the calculations were done correctly. As the capacity of the screw determined the smallest capacity the tool could have, the largest load on the screw before yield was one of the most important results.

After comparing the results for the different concepts and choosing a final concept, an optimization was performed. The purpose of this optimization was to test if some changes in dimensions could make the final concept more robust. In the end, local manufacturers were contacted to order production of the final concept.

During the thesis, relevant theory has been used to perform analyzes, theoretical calculations, simulations, 3D modeling, and various results have been presented. By looking back at the results, objectives and purpose of the thesis, it can be concluded that this thesis has been successful.



## Forkortelser

<b>Forkortelser</b>	<b>Definisjon</b>
3D	Tredimensjonal.
DAK/CAD	Dataassistert konstruksjon / Computer Aided Design
FEM	Finite Element Method, også kalt FEA (Finite Element Analysis)
FN	De forente nasjoner
SWOT	Streghths, weaknesses, opportunities and threats
PU	Produktutvikling
FFE	Fuzzy Front End
FMECA	Failure, Mode, Effects and Criticality Analysis
ProtoLab	Prototype Laboratoriet
ASKRO	Asbjørn Krogstad AS
NOMEK	Norsk Mekanisk verksted
VEPA	Verkstedpartner
NTNU	Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
SINTEF	Selskapet for industriell og teknisk forskning ved Norges tekniske høgskole
BIMASKIN	Bachelor maskiningeniør
CMO	Chief Mechanical Officer
AISI	American Iron and Steel Institute
FOS	Factor of Safety
hhv.	Henholdsvis
mhp.	Med hensyn på
iht.	I henhold til
dvs.	Det vil si

# Tabeller

2.1	Resultatmålene for bacheloroppgaven . . . . .	6
3.1	Flategeometri . . . . .	19
3.2	Skrueberegninger . . . . .	23
4.1	Intervjuobjekter . . . . .	26
5.1	Endelig matrise for SWOT-analysen . . . . .	38
5.2	Systemdefinisjon . . . . .	40
5.3	Tidsplan . . . . .	40
5.4	Systembeskrivelse . . . . .	44
5.5	Brukerkravspesifikasjon - Hakenøkkel . . . . .	51
5.6	Produktkravspesifikasjon - Hakenøkkel . . . . .	52
5.7	Brukerkravspesifikasjon - Muttertrekkerverktøy . . . . .	57
5.8	Produktkravspesifikasjon - Muttertrekkerverktøy . . . . .	58
5.9	Produktkravspesifikasjoner - Endelig verktøy . . . . .	64
5.10	Initialverdier Skrue . . . . .	65
5.11	Resultater Spenning i skruen . . . . .	66
5.12	Initialverdier Verktøy . . . . .	66
5.13	Resultater Spenning i Verktøyet . . . . .	67

6.1	Sammenligning av verktøy . . . . .	75
6.2	Sammenligning av resultater fra styrkeberegning . . . . .	76
7.1	Konklusjon av resultatmålene . . . . .	78

# Figurer

1.1	Bydue S1 [2]	1
2.1	Test av bakskjerm	4
2.2	Dagens løsning	5
3.1	Promotørmodellen [5]	9
3.2	Rapid prototyping [6]	10
3.3	Diverge and converge method [13]	12
3.4	De seks fasene av en PU-prosess	13
3.5	Støping av fastnøkkel [14]	15
3.6	Illustrasjon av spon skjæring [15]	16
3.7	Trådgnistning [17]	16
3.8	3D-printing av prototype	17
3.9	Flategeometri [22]	19
3.10	Eksempel	20
3.11	Annet arealmoment og Tverrsnittsmodul [23]	21
4.1	Ståstedsanalyse [28]	27
4.2	FMECA Risikomodell [32]	32

5.1	SWOT-faktorer for denne oppgaven . . . . .	37
5.2	Tidsplan - Utvikling av verktøy . . . . .	41
5.3	Design & Proses FMECA . . . . .	46
5.4	Risikoanalyse . . . . .	47
5.5	Prototype - Hakenøkkel . . . . .	49
5.6	3D-printet prototype - Hakenøkkel . . . . .	50
5.7	Konseptene for Hakenøkkel . . . . .	53
5.8	Prototype - Muttertrekker . . . . .	56
5.9	3D-printet prototype - Muttertrekkerverktøy . . . . .	56
5.10	Konseptene for Muttertrekkerverktøy . . . . .	59
5.11	Endelig konsept . . . . .	62
5.12	Endelig konsept - Plantegning . . . . .	63
5.13	Skruedimensjoner . . . . .	65
5.14	Spenninger og FOS på skruen . . . . .	68
5.15	Spenninger og FOS på verktøyet . . . . .	69
5.16	Mål for design studie . . . . .	69
5.17	Resultater av design studie . . . . .	69
5.18	Spenninger og FOS i endelig konsept etter design studie . . . . .	70
6.1	FNs bærekraftmål nr. 11 og 13 [35] . . . . .	77
7.1	Risikovurderingdiagram . . . . .	85
7.2	Revidert risikovurderingsdiagram . . . . .	87

# Innhold

Forord . . . . .	ii
Sammendrag . . . . .	iii
Summary . . . . .	iv
Forkortelser . . . . .	v
<b>1 Innledning</b>	<b>1</b>
<b>2 Bakgrunn</b>	<b>3</b>
2.1 Problemstilling . . . . .	3
2.2 Hensikten med oppgaven . . . . .	6
2.3 Deltakere . . . . .	6
2.4 Resultat- og effektmål . . . . .	6
2.5 Avgrensning . . . . .	7
<b>3 Teori</b>	<b>8</b>
3.1 Toolmaker . . . . .	8
3.1.1 Rollen til en toolmaker . . . . .	8
3.2 Prototyping . . . . .	10
3.2.1 Prototyping ved observasjon . . . . .	10
3.2.2 Prototyping ved testing . . . . .	12

3.2.3	Prototyping ved ødeleggelse . . . . .	13
3.3	Produktutvikling . . . . .	13
3.4	Produksjonsmetoder . . . . .	15
3.4.1	Støping . . . . .	15
3.4.2	Maskinering . . . . .	16
3.4.3	Trådgnistning . . . . .	16
3.4.4	Additiv tilvirkning . . . . .	17
3.5	Materialer . . . . .	17
3.5.1	Verktøystål . . . . .	17
3.5.2	Støpestål . . . . .	18
3.5.3	Legert stål . . . . .	18
3.5.4	Rustfritt stål . . . . .	18
3.6	Styrkeberegning . . . . .	18
3.6.1	Beregning . . . . .	18
3.6.2	FEM-analyse . . . . .	24
<b>4</b>	<b>Metode</b>	<b>25</b>
4.1	Forskningsmetode . . . . .	25
4.1.1	Intervju . . . . .	25
4.1.2	Litteraturstudie . . . . .	26
4.2	Ståstedsanalyse . . . . .	27
4.2.1	Utfordring . . . . .	28
4.2.2	Nåsituasjonen (SWOT-analyse) . . . . .	28
4.2.3	Ønsket fremtidsbilde . . . . .	29
4.2.4	Handlingsplan . . . . .	29
4.2.5	Måling . . . . .	30

4.3	Pålitelighetsanalyse . . . . .	30
4.3.1	Planlegging . . . . .	30
4.3.2	Gjennomføring . . . . .	31
4.3.3	Bruk . . . . .	33
4.4	3D-modellering og simulering . . . . .	33
4.4.1	Modellering . . . . .	33
4.4.2	Styrkeberegning . . . . .	33
4.4.3	Design Studie . . . . .	34
4.5	Prototyping . . . . .	34
<b>5</b>	<b>Resultater</b>	<b>35</b>
5.1	Ståstedsanalyse . . . . .	35
5.1.1	SWOT-analyse . . . . .	35
5.1.2	Ønsket fremtidsbilde . . . . .	38
5.1.3	Handlingsplan . . . . .	39
5.2	Pålitelighetsanalyse . . . . .	39
5.2.1	Planlegging . . . . .	39
5.2.2	Gjennomføring . . . . .	43
5.3	Konseptutvikling . . . . .	48
5.3.1	Hakenøkkel . . . . .	48
5.3.2	Muttertrekkerverktøy . . . . .	55
5.3.3	Produksjon og kostnader av konseptene . . . . .	61
5.3.4	Endelig konsept: 6-kant koblingsverktøy . . . . .	62
5.4	Styrkeberegning . . . . .	65
5.4.1	Beregninger . . . . .	65
5.4.2	FEM-analyse . . . . .	67



<b>6</b>	<b>Diskusjon</b>	<b>71</b>
6.1	Toolmaker . . . . .	71
6.2	Ståstedsanalyse . . . . .	72
6.3	Pålitelighetsvurdering . . . . .	72
6.4	Produksjonsmetoder og materialer . . . . .	73
6.5	Konseptanalyse . . . . .	75
6.6	Styrkeberegning . . . . .	76
6.7	Forbedringspotensiale og bærekraft . . . . .	76
<b>7</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>78</b>

# Kapittel 1

## Innledning

Norge er et land som har stor fokus på bærekraft. Som følge av dette har en rekke tiltak de siste ti årene blitt implementert for å sørge for at utslippene i norske byer reduseres. For eksempel har regjeringen innført lavere bompenger for passeringer av bydeler med autopass for elektriske biler. I tillegg har det blitt bygget et stor nettverk av ladestasjoner for el-biler gjennom hele landet. Slike tiltak viser et behov og ønske for en overgang til mer bærekraftig transport. Dette ønsket om en bærekraftig utvikling har ført til at elektriske sparkesykler i løpet av noen år har blitt et kjent syn i de fleste norske byer.

Elektriske sparkesykler representerer en ny type mikromobilitet i byer. Denne transporttypen er effektiv ettersom den krever liten plass, er lett tilgjengelig og har null utslipp under bruk. Elsparkesykler kan avlaste trafikken, supplere kollektiv trafikk og være med på å redusere behovet for biler i bybildet. Dermed kan det føre til en reduksjon i trafikanter på norske veier og føre til redusert utslipp. Slike muligheter har ført til at elektriske sparkesykler har blitt en spennende og raskt voksende bransje med store muligheter til å forbedre.



Figur 1.1: Bydue S1 [2]

Den 10. april 2018 endret Regjeringen Solberg *Forskrift om krav til sykkel* til å også inkludere små elektrisk drevne kjøretøy for én person [1]. Dette førte til en massiv økning i elektriske sparkesykler der både utleie og salgsmarkedet gikk fra å være små nisje marked for spesielt interesserte til store selskaper som dominerte bybildet i flere norske byer allerede sommeren 2019.

Helt siden sparkesyklene ankom norske byer har det vært blandet respons blant folket. Mange ønsker de elektriske sparkesyklene velkommen som et godt alternativ til både bil og kollektiv transport. Særlig er bruken stor blant unge mennesker som bor sentralt i byene og trenger et transportmiddel for å lett komme seg gjennom trange byområder.

Det finnes også kritikere. Spesielt utleiemarkedet har fått mye kritikk som følge av elsparkesykler parkert uten hensyn i byene. Som et helt nytt marked finnes det veldig lite reguleringer for bruk og drift av elsparkesykler. Dette har ført til flere useriøse aktører i markedet der inntekten til utleier har blitt prioritert over kvalitet og påvirkningen på fremkomst for mennesker med nedsatt funksjonsevne. Til tross for motstand hos noen er elsparkesykler et velkomment tillegg i samfunnet som bidrar til muligheten for bilfrie byer.

Lovendringen i 2018 [1] gjorde elektriske sparkesykler til en mer lønnsom bransje, og i august 2018 startet Espen Rønneberg bedriften Bydue AS som driver med salg av elsparkesykler. Ved å importere elsparkesykler fra Kina for salg i Norge allerede i 2018 klarte Bydue å etablere seg i markedet og har siden starten i 2018 vokst raskt. Bydue har nå butikk og verksted i Oslo, Bergen og Trondheim med salgstall som vokser for hvert år og ambisjoner om fortsatt vekst i årene fremover.

Med den raske veksten følger også et behov for å stadig utvikle seg slik at man kan feste et enda større grep i markedet. Bydue lanserer dermed ofte nye modeller med stadig nye utfordringer. Gjennom denne rapporten skal gruppen prøve å finne gode løsninger på en eller flere av disse utfordringene.

# Kapittel 2

## Bakgrunn

I dette kapittelet skal det redegjøres for hvilken bakgrunn man har for elektriske sparkesykler og hvordan denne bakgrunnen har bidratt til å finne en relevant problemstilling for oppgaven. Ellers vil ulike mål som resultat- og effektmål bli satt samt avgrensninger for oppgaven.

Gjennom erfaringer med elsparkesykler ved jobb i Ryde og Bydue har man gode kunnskaper om fordeler og ulemper ved elsparkesyklene. Som følge av dette ble det valgt å forhøre seg med Bydue om mulighetene for å skrive en bacheloroppgave for dem. Bydue driver med salg av elsparkesykler og var meget positive til en potensiell forbedring av produktet deres. Virksomheten tildelte dermed en åpen oppgave der en selv kunne velge hvilke aspekter av elsparkesykkelen man ønsket å forbedre.

### 2.1 Problemstilling

Som følge av at man fikk en åpen oppgaven ble det valgt å se på forbedringspotensialer på modellen "Bydue S1". Denne modellen er relativt ny og har dermed en lengre anslått varighet på markedet. Det ble da sett på spesifikke deler på denne modellen som kunne optimaliseres.

I den initierende fasen av prosjektet ble flere deler diskutert som mulige alternativer med forbedringspotensialer, blant annet framgaffel, styret og rammekonstruksjon. Etter vurderinger på tidsperspektivet som kreves for hver enkelt del ble det spisset ned til å se på en del, og heller gå i dybden på denne. Fra virksomhetens anbefalinger og egne erfaringer ble bakskjermen et utgangspunkt for videre arbeid, med muligheter for utvikling og testing av flere potensielle prototyper.



Figur 2.1: Test av bakskjerm

Gjennom erfaring og diskusjon med virksomheten kom en frem til at vannsprut på fører var et mulig problem og at dette kunne forbedres. Tidlig i prosessen ble det gjennomført testing av bakskjermen for å visualisere problemet og få en bedre oversikt over forbedringspotensialet. Testresultatene viste til at det oppstod minimale mengder med vannsprut, noe som førte til at forbedringspotensialet i komponenten ble betraktelig mindre. Dette var en kjent risiko identifisert i en tidlig risikoanalyse presentert i *vedlegg A: Risikoanalyse*. Som følge av konsekvensene ved en slik risiko ble det besluttet å ikke gå videre med denne komponenten og heller se på et annet aspekt av elsparkesykkelen.

Etter en ny idemyldringsfase ble det konkludert at det heller skulle fokuseres på vedlikeholdsprosessen av elsparkesykkelen og hvordan denne prosessen kan optimaliseres. I rammekonstruksjonen på elsparkesykkelen er det en skrue som er festet til framdemperen, problemet med denne skruen er at det per i dag ikke eksisterer et egnet verktøy som kan stramme den aktuelle skruen.

Samtaler med mekanikere på Bydue viste til at mekanikerne må improvisere for å løse den nevnte skruen. Videre ble det diskutert med Bydue om utvikling av et slikt verktøy er en aktuell oppgave å ta for seg. Det var virksomheten positiv til, men det var ønskelig at det skulle designes et verktøy som kunne brukes manuelt og et tilsvarende verktøy som kunne benyttes på en muttertrekker.

Dermed ble det bestemt at det skulle utvikles et nytt produkt i form av et verktøy som kan stramme skruen i rammekonstruksjonen og bidra til å optimalisere vedlikehold av "Bydue S1".



Figur 2.2: Dagens løsning

Siden et verktøy som passer perfekt til stramming av den gitte skruen ikke eksisterer har mekanikerne hos Bydue laget et midlertidig verktøy av restkapp fra ødelagte sykler. Dette ble produsert av et styre fra en gammel elsparkesykkel men holdt ikke lenge. De to største problemene med denne løsningen var materialet og produksjonsmetoden.

Problemet med den kompliserte skruen dukket opp da det ble oppdaget slark i de nye sparkesyklene som gikk ut til kunder. For å finne en hurtig løsning ble det brukt tilgjengelig materiale og verktøy, aluminium og vinkelsliper. Ved bruk ble det tydelig at aluminium var for svakt til å tåle belastningen. I tillegg viste det seg svært utfordrende å produsere verktøyet med den nødvendige nøyaktigheten ved bruk av vinkelsliperen. Alt dette førte til at man så et behov for et bedre produsert verktøy.

Den konkrete problemstillingen for denne oppgaven er dermed:

*Utvikle et nytt produkt i form av et verktøy som kan stramme skruen i rammekonstruksjonen og bidra til å optimalisere vedlikehold av "Bydue S1".*

## 2.2 Hensikten med oppgaven

I oppgaven skal det designes og utvikles et nytt verktøy for Bydue. Ved produktutvikling av et slikt verktøy vil man kunne bidra til at verksteder med modellen "Bydue S1" kan ta i bruk verktøyet, og dermed effektivisere den mekaniske vedlikeholdsprosessen ved service av denne modellen. Mekanikere kan da mer effektivt og hensiktsmessig gjøre service når den aktuelle skruen må strammes.

## 2.3 Deltakere

Opgaven skrives i samarbeid med bedriften Bydue AS, og det er deres sparkesykkel som trenger et bedre verktøy. Representanten fra bedriften som skal veilede oppgaven er Eirik Johannesen som er Chief Mechanical Officer for Bydue.

NTNU er også en viktig aktør for oppgaven ettersom universitetet bidrar med mindre ressurser som gjør det mulig å utføre prosjektet. NTNUs veileder for oppgaven er Evangelos Tyflopoulos som er ansatt ved institutt for maskinteknikk og produksjon. Oppgaven blir i helhet skrevet av Aiden Alexander, Simen Vestnes og Henrik Fenstad som er BIMASKIN-studenter på NTNU. Samtlige medlemmer jobber som deltidsmekanikere for Bydue/Ryde og har dermed et godt utgangspunkt for gjennomføring av oppgaven.

Ettersom prosjektet omhandler utviklingen av et nytt verktøy vil målgruppen primært være mekanikere som jobber med "Bydue S1". Verktøyet vil også kunne brukes av kunder som ønsker å reparere sin egen elsparkesykkel.

## 2.4 Resultat- og effektmål

Problemstillingen skal løses med hensyn på resultatmålene i tabell 1.1 som er utarbeidet i samarbeid med veileder Evangelos Tyflopoulos og Bydue.

Tabell 2.1: Resultatmålene for bacheloroppgaven

1	Man har en ferdig prototype av utvalgte konsept.
2	Verktøyet har en lav produksjonskostnad.
3	Verktøyet har høyere kapasitet enn skruen.
4	Verktøyet er brukervennlig
5	FEM analyser med fokus på styrke og design.

I tillegg til resultatmålene over ble det også definert effektmål. Ettersom det i denne oppgaven skal utvikles og produseres verktøy for en elsparkesykkel er målet å optimalisere vedlikeholdsprosessen av elsparkesykkelen "Bydue S1". Oppgaven vil kunne defineres som vellykket dersom konseptene fra rapporten blir implementert på verkstedene til Bydue og sørger for mer tidseffektiv vedlikehold av "Bydue S1".

## 2.5 Avgrensning

Oppgaven vil omfatte hele prosessen for produktutvikling, fra idé til ferdig utviklet produkt. Problemstillingen i oppgaven vil derfor være spisset til utvikling av et verktøy for bruk på en elsparke-syssel. Fra bedriften er det satt noen føringer og anbefalinger som er ønskelig at gruppen skal følge. Derfor er det blitt satt begrensninger som skal bidra til at man kommer i mål med en god besvarelse innen tidsfristen:

- Konseptutviklingen vil bestå av en idémyldring med flere potensielle konsept som kan bygges videre på.
- Minimere kompleksiteten i konseptene for hensiktsmessig videreutvikling og produksjon.
- Det vil videreutvikles maks to konsept, ett som kan benyttes for hånd og ett som kan festes på en muttertrekker.

Det har i dette kapitlet blitt gjennomgått hvilket problem som skal løses og hvilke mål man vil oppnå i løpet av denne oppgaven. I neste kapittel følger dermed relevant teori som kan bidra til å få en forståelse av hvordan de satte målene skal oppnås og bidra til å løse problemstillingen.



# Kapittel 3

## Teori

I dette kapitlet skal det bli gjennomgått relevant teori for oppgaven. Dette innebærer generelle beskrivelser av prosesser innen toolmaking og produktutvikling. Deretter følger beskrivelser av relevante produksjonsmetoder og materialer. Til slutt skal det redegjøres for teorien som innebærer i styrkeberegninger.

### 3.1 Toolmaker

”Toolmaker” vil direkte oversatt være verktøylager, noe som er veldig relevant for denne oppgaven som tar for seg utviklingen av et verktøy for elsparkesykler. Ved et teoretisk innblikk i toolmakerens rolle og ulike prototypings-metoder kan teorien benyttes i praksis og simplifisere PU-prosessen.

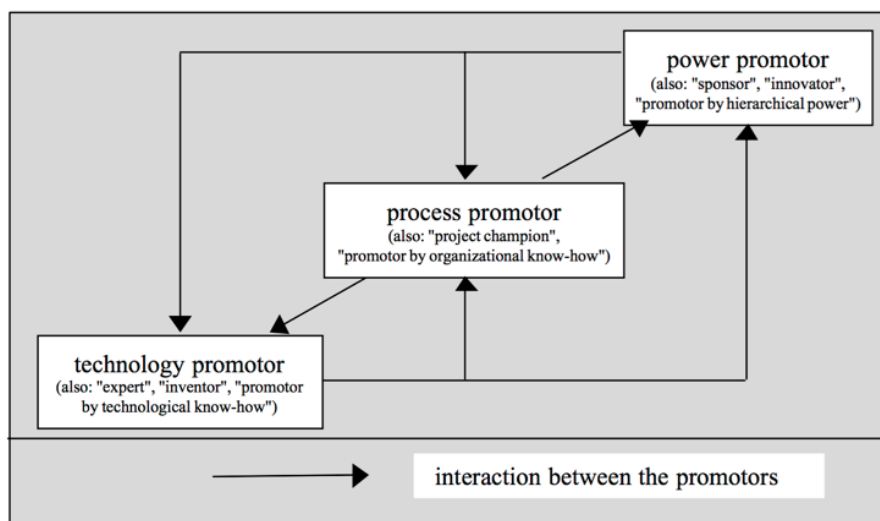
#### 3.1.1 Rollen til en toolmaker

En toolmaker er ikke bare en person men et fysisk sted hvor flere deltakere kan møte hverandre og diskutere ideer for utviklingen av et produkt. Toolmakere har friheten til å bygge, utforske og implementere nye oppfinnelser uten noen administrative hindringer som for eksempel budsjetttrammmer. Dette kan være en god måte å få ut det ypperste av hver deltaker i en toolmaker gruppe som har frie tøyler, kan benytte sin kreative side og skape noe i samarbeid.

Rollen til toolmakere går ut på å besvare spørsmålene til hvordan og hvorfor det aktuelle problemet skal løses. Man bør derfor se om det gir gevinst for bedriften å utvikle produktet og komme med overbevisende begrunnelse på hvorfor og hvordan dette skal gjøres. Avhandlingen av Carlo Kriesi - ”Wayfaring in the Biomedical Sector” [3] viser at toolmakere passer inn under *Product Champion model* og viser at de er interne promotører som setter seg selv på spill for en tvilsom idé.

For at toolmakere skal promotere ideer som løsninger og utvikle det ønskede produktet må de ha støttespillere som kan jobbe sammen og gjøre hverandre gode. Gode kunnskaper til både markedet og firmaet er viktig slik at toolmakere forstår hensikten med verktøyet, både hvem brukeren er og hva bedriften ønsker. *Promotørmodellen* [4] forklarer hvordan innovasjon oppstår når promotører presser for en idé i forskjellige retninger og bidrar dermed til å fremme innovasjonsprosessen og fremgangen i prosjektet. Ulike promotører legger press på toolmakere og skaper fremgang eller endring innenfor ulike områder.

Hovedpromotørene innen promotørmodellen er Prosesspromotøren, Kunnskapspromotøren ("Fachpromotor") og Maktpromotøren ("Machtpromotor") som bidrar på hvert sitt område. Prosesspromotørene vil være bindeleddet mellom kunnskaps- og maktpromotøren og har hovedansvaret for fremgangen i prosjektet. Kunnskapsfremmere kan også kalles teknologi promotører og bidrar med sin kunnskap innen et fagfelt og hjelper toolmakere til å få en bredere forståelse ved et spesifikt tema. Kunnskapsfremmere kan påvirke endringsprosessen gjennom sin tekniske og metodiske kunnskap, men toolmakere kan selv velge å ta til seg dette da denne promotøren ikke har makt til å overtale. Maktfremmere påvirker endring- eller innovasjonsprosessen i prosjektet på grunn av sin overordnede posisjon. Maktfremmere sin hovedoppgave er overtalelse og entusiasme, enten det gjelder store endringer eller å gå i en annen retning. En relasjon mellom promotørene og begrepene knyttet til hver av dem er skildret i 3.1



Figur 3.1: Promotørmodellen [5]

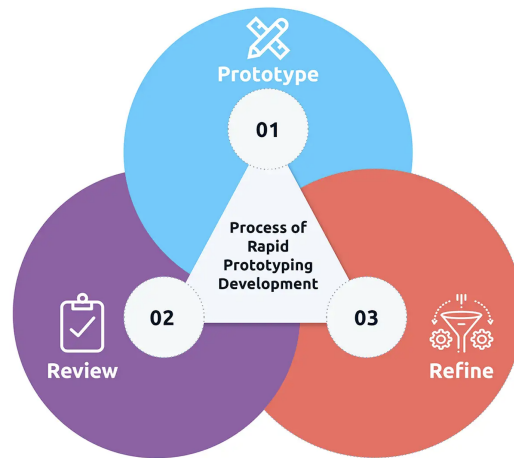
Ved hjelp av god kommunikasjon og samarbeid med flere promotører innen ulike fagfelt vil det bli enklere å generere konsepter og dermed fremme innovasjonsprosessen. På denne måten innhentes flere tilbakemeldinger om konsepter og prototyper. Som videre kan gi et bredere perspektiv og kan brukes for å velge et godt alternativ for et ferdig utviklet produkt.

## 3.2 Prototyping

Ved hjelp av promotører blir det observert at det kan genereres konsept av kunnskapsrike og innflytelsesrike fagkyndige. Det er vanlig i de fleste PU-prosesser å lage prototyper for å videreutvikle produktets design, dette gjøres samtidig som mangler og forbedringspotensiale kartlegges. Det er flere metoder som kan tas i bruk når prototyper lages, under blir det skrevet om relevante metoder.

### 3.2.1 Prototyping ved observasjon

Det er viktig å ha en brukersentrert PU-prosess hvor krav og behov identifiseres tidlig i prosessen. Brukeren vil ha kjennskap til lignende produkter og kan ved hjelp av tidligere observasjoner og opplevelser komme med løsninger og innspill. Dette kan bidra til en prototype av høyere kvalitet. Ved tett samarbeid med brukeren vil man få en bedre kjennskap til produktets funksjonalitet og kan derfor utrede et bredere spekter av forslag som kan utfylle den gitte funksjonen.



Figur 3.2: Rapid prototyping [6]

”Rapid prototyping” er en metode som går ut på å tidlig få satt i gang prototypebygging av et konsept. Slik at et fysisk eksemplar kan testes til den aktuelle brukssituasjonen. På denne måten identifiseres fordeler og ulemper ved prototypen og utføre endringer som styrker det ferdige eksemplaret. For å begrense investeringen vil det også være økonomisk gunstig å komme opp med en prototype før en investeringsplan er iverksatt [7]. Det bør uansett gjøres forarbeid med å generere en mengde konsepter og vurdere disse opp mot hverandre. Dette trenger ikke være ferdige prototyper, men kan være design enten på papir eller som 3D-modell i et CAD-program.

CAD-program bidrar til å fremme den mekaniske designprosessen på fire måter [8, s.84]:

- Som avanserte tegneverktøy
- Gjennom å bistå med visualisering av maskinvare og data
- Ved å forbedre dataorganisering og kommunikasjon
- Gjennom bruk som forprosess for maskinbaserte analyseteknikker som FEM-,vekt og masseanalyse

Når det designes konsepter ved hjelp av CAD-program er det enkelt å få en god visualisering av produktet og kjøre relevante simuleringer. Disse konseptene kan måles opp mot hverandre ved å sammenligne resultatene fra simuleringene.

En konseptutviklingsmetode som går ut på å tidlig få identifisert mulighetene for så å generere konsepter kalles ”Fuzzy Front End” (FFE) [9]. Beskrivelsen ”Fuzzy” betyr diffus eller uklar og gir en litt uverdig beskrivelse. Det kan betegnes som at den lineære PU-prosessen ikke nødvendigvis er i rutinemessig rekkefølge. Siden konseptutvikling og prototypebygging kommer tidlig i prosessen er den ordnet usekvensielt sammenlignet med den lineære rekkefølgen i en PU-prosess [10].

Ved utviklingen av mange ulike konsepter er det ønskelig å sammenligne og vurdere de opp mot hverandre. Dette designarbeidet kan utføres ved hjelp av forskjellige typer modeller, da kan variasjonsmetoder være av høy betydning. Kombinasjoner av variasjonsmetoder er vanlig, slik ser man forskjellen innen flere områder. Likevel er det urealistisk å anvende alle metoder på alle elementer i et produkt [11, s.89].

En av metodene er strukturvariasjon hvor oppbyggingen av elementer og deler i sammenstillingen varierer. Variasjonen går ikke ut på å endre delene, men kan være endring av plassering av disse i en komplisert sammenstilling.

Den andre metoden er variasjonen av funksjonell overflate. Det kan være hvordan konseptet interakter med et objekt, hånden til et menneske eller hvilke overflater på deler i sammenstillingen som er i kontakt med hverandre. Det kan gi store utslag på simuleringer dersom området for fastholdninger og påføring av krefter endres. Ved kraftpårte konsept vil også sammenføyninger mellom deler være et viktig element innenfor variasjon av funksjonelle overflater. Koblingen mellom deler er ofte et svakt punkt i en konstruksjon, men sammenføyninger bidrar til styrke og kan gjøre konstruksjonen robust. Derfor kan denne variasjonsmetoden være avgjørende ved overføring av krefter.

Den tredje er formvariasjonsmetoden hvor formen til produktet varierer. Her blir det sett på den totale formen av et produkt eller på detaljnivå. Det er ikke nødvendig å ta for seg hele produktet, men hver del kan også formes som ulike variasjoner. Flere av disse variasjonsmetodene er tett relatert og benyttes ofte om hverandre. Variasjonsmetoder er gode verktøy for å få et bredere perspektiv på mulighetene til produktutvikleren. Det vil implementeres i forbindelse med idémyndringsprosessen hvor mange konsept skal legges frem og diskuteres.

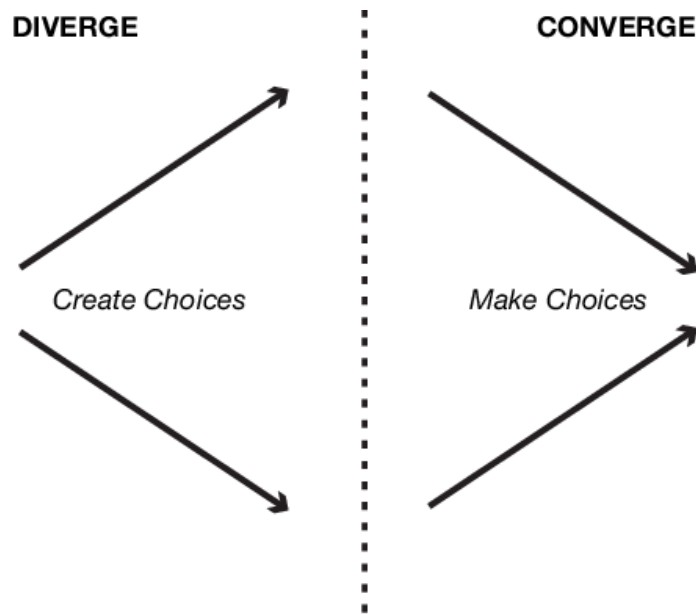
### 3.2.2 Prototyping ved testing

Én måte å utføre prototyping på er å gjøre det ved testing. Generelt er prototyping ved testing en av de vanligste måtene å drive med prototyping. Da konstrueres det en prototype som blir testet, og forbedringspotensialer blir identifisert. Deretter endres prototypens design for å lage en ny og forbedret versjon. Slik fortsetter man til prototypen er av god nok kvalitet til at det kan produseres et endelig produkt.

Hvilke prototyper som konstrueres er avhenger av hva målet med prototypen er. Dersom målet er å teste formen til designet kan det 3D-printes et ferdig eksemplar og testes. Hvis hensikten er å teste styrken til konseptet er det ønskelig med en prototype som har lignende materialeegenskaper og form som det ferdige produktet.

Årsaken til at prototyping ved testing kan være en god løsning er at kun observasjoner ikke gir et fullstendig grunnlag for vurdering av konsept. Dette kan føre til at potensielle problemer ved et konsept overses. Det finnes spesifikke metoder som kan bli brukt for slik prototyping [3].

”The Diverge and converge metode” [12] er et eksempel på en metode som ofte er brukt under prototyping ved testing. Denne metoden består prinsipielt av to faser. En divergerende fase der medlemmene i et team jobber selvstendig og kommer med individuelle ideer. Den andre fasen er en konvergerende fase der det samlet diskuteres ideene fra den divergerende fasen for å ta en samlet beslutning på hva det skal arbeides videre med.



Figur 3.3: Diverge and converge method [13]

Fordelene ved å bruke denne metoden er at man i den initierende fasen får muligheten til å fokusere på oppgaven uten distraksjoner, raskt samle data, analysere informasjon i eget tempo, og motvirke gruppetenkning. Når ideene blir diskutert i det konvergerende steget bidrar dette til å identifisere mønstre, avdekke nye perspektiver og bygge en felles forståelse av problemet som skal løses.

Denne metoden passer til scenarioer som innsamling og analyse av forskningsresultater, kartlegging, og oppgaver som krever design-orientert tenking. ”The Diverge and converge method” gir som oftest et bedre resultat enn det som ville ha resultert fra å kun komme med én god idé og jobbe videre med den ene ideen.

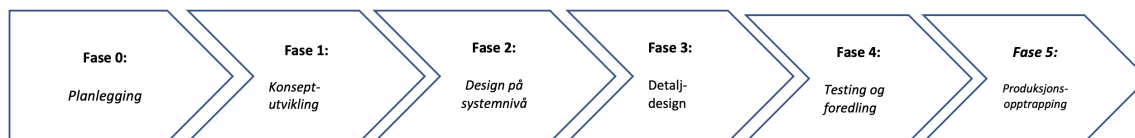
### 3.2.3 Prototyping ved ødeleggelse

I tillegg til prototypingmetodene som er nevnt over finnes det en annen form for prototyping. Der de fleste andre metodene tester prototypen i normale brukssituasjoner er prototyping ved ødeleggelse en metode der nye konsepter og ideer testes til bristepunktet for å finne en maksimal tålegrense [3].

Et godt eksempel på dette er egg-dropp utfordringen hvor deltagerne får i oppgave å beskytte et rått egg slik at det skal tåle et fritt fall. Her slippes egget fra økende høyder helt til det knuser og dermed testes konstruksjonen til maksimal tålegrense er nådd. En slik metode vil være relevant for produkt som skal brukes helt til tålegrensen eller der det er ønskelig å definere en tålegrense for å holde seg innenfor en ønsket sikkerhetsfaktor.

## 3.3 Produktutvikling

Produktutviklingsprosessen kan bli beskrevet som en lineær prosess bestående av flere steg eller faser, men hvordan denne prosessen blir utført er avhengig av hvilken produktutviklingsmetode som blir benyttet. I dette kapitlet skal det følge en generell beskrivelse av hva som innebærer i de ulike produktutviklingsfasene og tar utgangspunkt i Ulrich, Eppinger og Yang [10] sin modell. Denne modellen kan være relevant for verktøyproduksjon fordi det er en modell som bygger på en systematisk fremgangsmåte. Ulrich, Eppinger og Yang modellen legger stor vekt på dekomponering av konseptet i delsystem slik at det kan jobbes strukturert mot å forbedre konseptene før testing og eventuell produksjon.



Figur 3.4: De seks fasene av en PU-prosess

## **Fase 0: Planlegging**

Denne fasen blir kalt for fase 0 eller steg 0. Dette er fordi planleggingen tar ofte sted før selve prosjektet er blitt godkjent og før PU-prosessen har startet. Fase 0 går ut på å oppdage et problem eller en mulighet i samspill med en bedrifts strategier. Et følgende resultat av planleggingsfasen er målsetting for prosjektet der målmarkedet for produktet, forretningsmål, sentrale forutsetninger og begrensninger blir spesifisert.

## **Fase 1: Konseptutvikling**

I konseptutviklingsfasen identifiseres behovet til målgruppen, alternative konsept blir dannet og vurdert, og en eller flere av konseptene blir så valgt for videreutvikling og testing. Et konsept er en beskrivelse av funksjon, form og detaljer av et produkt. Konseptene som blir generert følger også vanligvis med spesifikasjoner, økonomisk grunnlag og analyser av konkurrerende produkter.

## **Fase 2: Design på systemnivå**

Fase 2 innebærer blant annet definisjon av produktarkitektur og dekomponering av produktet til delsystemer og komponenter. Midlertidig design av nøkkelkomponenter og tildeling av detalj-designansvar til både interne og eksterne ressurser blir også utført i denne fasen. Når denne fasen er ferdig står man vanligvis igjen med et geometrisk oppsett av produktet, spesifikasjoner av hvert undersystem, og et prosess-flyt diagram for monteringsprosessen.

## **Fase 3: Detaljdesign**

Detaljdesign er den fjerde fasen i PU-prosessen og innebærer fullstendige spesifikasjoner av material, geometri og toleranser for alle delene av produktet. Det er også vanlig at det følger med en identifisering av alle standard deler som skal kjøpes fra leverandører. Ved utgang av fase 4 skal kontrolldokumentasjon for produktet være på plass. Dette innebærer blant annet tegninger som gir en beskrivelse av geometri for hver del, spesifikasjoner for kjøpte deler og prosessplaner for montering og fabrikasjon av produktet. Når denne fasen er over skal produksjonskostnader, materialvalg og robusthet være fastsatt.

## **Fase 4: Testing og foredling**

Test- og foredlingsfasen involverer konstruksjon og evaluering av flere prototyper. Mange av prototypene pleier å være konstruert med samme geometri og materialegenskaper som det ferdigutviklede produktet. Dette er ikke nødvendigvis produsert gjennom de samme prosessene som er planlagt å bruke i produksjon av det endelige produktet. Såkalte alfa-prototyper blir testet for å se om produktet fungerer slik det er designet, og om det tilfredsstillende kundens viktigste behov.

I ettertid blir beta-prototyper bygget med deler som er blitt konstruert med tiltenkte produksjonsprosesser, men kan ikke sammenstilles på samme måte som den påtenkte slutt-monteringsprosessen. Oppgaven til en beta-prototype er å identifisere nødvendige endringer for sluttproduktet som krever ingeniørarbeid og å svare på spørsmål om pålitelighet og ytelse.

### Fase 5: Produksjonsopptrapping

Siste fase er produksjonsopptrapping. Her blir produktet produsert ved bruk av planlagte prosesser og systemer. Hensikten med denne fasen er å lære bort arbeidsrutiner til arbeidere for produksjon av produktet, og løse eventuelle problemer som er gjenværende i produksjonsprosessene. Produkter som blir produsert i denne fasen pleier noen ganger å bli levert til utvalgte kunder og blir evaluert for å oppdage gjenværende feil. Overgangen fra denne fasen til pågående produksjon pleier å være gradvis og på et tidspunkt i løpet av denne overgangen blir produktet lansert. Kort tid etter lansering kan det utføres en gjennomgang av prosjektet der kan utføres en teknisk og kommersiell vurdering av prosjektet. Slike gjennomganger blir ofte gjort for å identifisere forbedringspotensialer i selve utviklingsprosessen med hensyn på fremtidige prosjekt.

## 3.4 Produksjonsmetoder

I dette kapitlet blir det stegvis gjennomgått teorien rundt de relevante produksjonsmetodene for denne oppgaven.

### 3.4.1 Støping

Støping er en av de eldste produksjonsmetodene og har utviklet seg mye gjennom årene. Denne metoden går prinsipielt ut på å helle flytende material over i en form der materialet størkner til en fast tilstand, og dermed får en fasing bestemt av formen. Støping kan deles inn i to kategorier.

Den ene kategorien er hvor formene som brukes for støping er gjenbrukbare, mens den andre kategorien tar for seg ikke gjenbrukbare former. Som oftest ved masseproduksjon av et produkt med god kvalitet er det gjenbrukbare former som blir tatt i bruk. Disse formene har høyere økonomiske startkostnader, men det vil lønne seg over tid ved masseproduksjon. Støping ville derfor vært relevant for masseproduksjon av verktøy som illustrert i figur 3.5 der TV-programmet "How it's made" [14] tar for seg produksjonen av fastnøkler.



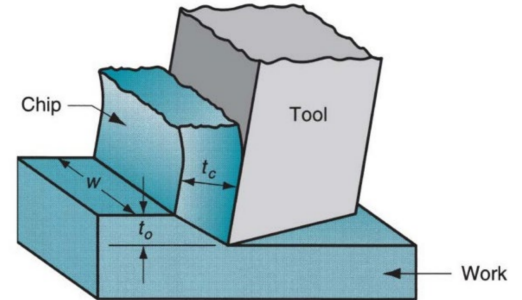
Figur 3.5: Støping av fastnøkkel [14]



### 3.4.2 Maskinering

Maskinering er et samlebegrep som omhandler flere subtraktive produksjonsmetoder der et produkt produseres ved hjelp av stegvis kutting ned til en ønsket form som illustrert i figur 3.6.

Fresing og dreining er to metoder som inngår i maskinering. Disse to metodene er relativt like ettersom det i begge tilfeller starter med et arbeidstykke som skjæres frem til man har den formen og dimensjonene som det er ønskelig for produktet. Forskjellen er at man ved dreining har et roterende arbeidstykke, mens i fresing er arbeidstykket i ro og det er skjæreverktøyet som roterer.

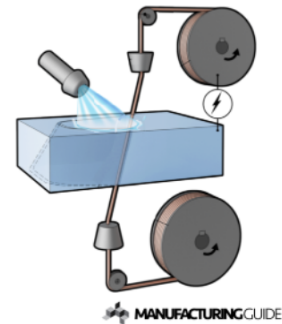


Figur 3.6: Illustrasjon av spon skjæring[15]

### 3.4.3 Trådgnistning

Trådgnistning er en kontrollert prosess som blir brukt for å fjerne metall. Dette gjøres ved hjelp erosjon fra en elektrisk gnist. I en trådgnistnings-prosess brukes en elektrisk gnist som skjæreverktøy for å erodere arbeidsstykket og produsere et ferdig produkt i ønsket form.

En pulserende elektrisk ladning ledes av høyfrekvent strøm gjennom en elektrode på et arbeidsstykke som illustrert i figur 3.7. Ved å gjøre det eroderes små metallstykker fra et arbeidstykke ved en kontrollert hastighet. Trådgnistning er godt egnet for produksjon av deler med kompleks geometri som kan være problematisk å maskinere, for eksempel ved utforming av innvendige firkanthull [16].

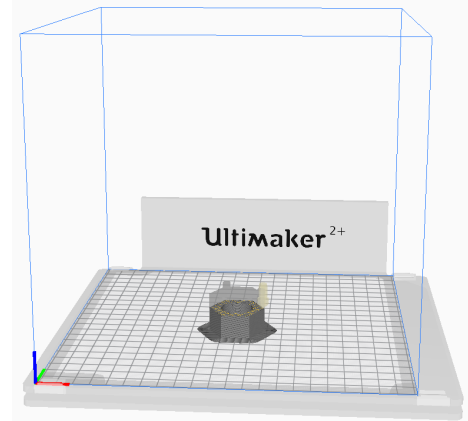


Figur 3.7: Trådgnistning [17]

### 3.4.4 Additiv tilvirkning

Additiv tilvirkning er en av de nyere produksjonsmetodene og er dermed i stadig utvikling. Denne prosessen har vært revolusjonerende for produktutvikling i samspill med CAD-program. Ved hjelp av denne metoden kan det enkelt produseres en prototype uten å bruke store kostnader. Dette bidrar til et bedre visuelt eksemplar på hvordan produktet kommer til å ta form. I figur 3.8 vises et utklipp fra 3D-printing av en prototype i denne oppgaven ved bruk av programvaren Ultimaker Cura.

I dag har teknologien i additiv tilvirkning kommet så langt at det kan produseres deler for krevende sektorer ved bruk av avanserte materialer som blant annet er stive og motstandsdyktige. Det betyr at man kan produsere kompliserte maskindeler på en enklere, mer bærekraftig måte uten at det senker standarden på kvaliteten til produktet [18].



Figur 3.8:  
3D-printing av prototype

## 3.5 Materialer

Valget av materialet i denne oppgaven vil være viktig for styrken til det endelige verktøyet. Derfor skal det i dette kapittelet bli sett på materialegenskapene til de relevante materialene i denne oppgaven.

### 3.5.1 Verktøystål

Verktøystål består hovedsakelig av karbon, wolfram, krom og mindre mengder av andre legerings-elementer. Sammenstillingen av verktøystålet kan også variere for å dekke ulike bruksområder.

Kromvanadium-stål er en ståltypen som ofte brukes i verktøy. Denne ståltypen er mer seigbestandig og har bedre utmattingssegenskaper enn rent krom-stål. Karboninnholdet i stålet bidrar til at det dannes karbider som er meget harde, og dermed oppnår stålet god strekkfasthet. Denne ståltypen kan blant annet brukes for produksjon av akslinger, diverse verktøy og smigods til lokomotiv.

Nikkelkrom-stål er også et materiale som kan brukes i verktøy. Denne ståltypen kombinerer fordelene med nikkel og krom i legeringer. Dette gir et stål med høy styrke, god herdbarhet og god slipebestandighet [19].

### 3.5.2 Støpestål

Støpestål er en ståltipe som er godt egnet for støping, sveising og maskinering. Det fins både høylegerte støpestål og rustfrie støpestål. Høylegerte støpestål har generelt god strekkfasthet, seighet og kan anvendes i miljøer der det er krav om god motstand mot oksidasjon. Rustfrie støpestål har derimot gode korrosjonsegenskaper, men har også god seighet og fasthet. [20]

### 3.5.3 Legert stål

Legert stål inneholder legeringselementer av ulike materialer som f.eks. aluminium, krom og nikkel i varierende mengder slik at stålets egenskaper kan bli manipulert. Slike egenskaper kan blant annet være styrke, herdbarhet, duktilitet og formbarhet [19].

### 3.5.4 Rustfritt stål

Først og fremst må det nevnes at ingen ståltyper er rustfri, men noen typer stål er mer rustbestandig enn andre. Rustfritt stål er altså en betegnelse for legeringstyper med høy rustbestandighet og hovedlegeringselementet i rustfritt stål pleier vanligvis å være krom. Dersom det tilsettes over 11 prosent krom i en legering vil ståltypen være 200 ganger mer bestandig mot korrosjon enn mildt stål. Rustfritt stål kan deles inn i tre hovedtyper, austenittisk, ferritisk og martensittisk. Tre eksempler på vanlige ståltyper innen disse gruppene er henholdsvis AISI 304, 430 stainless steel og 410 stainless steel [19].

## 3.6 Styrkeberegning

For å beregne styrke i et hvilket som helst legeme vil det ofte ha sammenheng med spenningen. Man ønsker å ta for seg en spesifikk del, punkt eller tverrsnitt og beregne spenningene som oppstår der. Styrken kan beregnes ved hjelp av for eksempel håndberegninger og simuleringer. Det skal gjennomgås teori for hvordan man kommer frem til styrke ved disse metodene.

### 3.6.1 Beregning

Spenningsberegninger avhenger av hvilken spenning det regnes på, men benevnes som en kraft i Newton delt på tverrsnittets areal i  $mm^2$  eller MPa. Det skal vises til hvordan det beregnes på ulike flate-geometritilfeller for å finne arealsenter, annet arealmoment og tverrsnittsmodul. Det vil også vises hvordan spenningene for strekk, bøy, skjær og torsjon beregnes. Spenningene nevnt kan så benyttes for å finne jevnførende spenning og deretter sikkerhetsfaktoren.

## Flategeometri

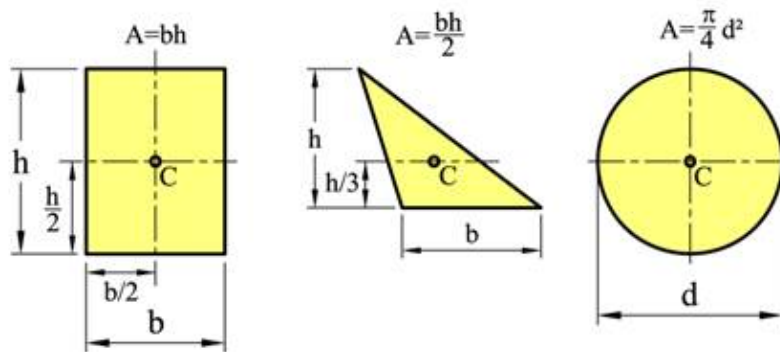
Flategeometri omhandler beregninger på et flateareal og tar for seg areal, arealsenter, annet arealmoment og tverrsnittsmodul [21]. I tabell 3.1 vil vanlige benevninger som benyttes i flategeometri med tilhørende forklaring og enhet presenteres.

Tabell 3.1: Flategeometri

Benevning	Forklaring	Enhet
$h$	Høyden til flaten	mm
$b$	Bredden til flaten	mm
$d$	Diameteren til sirkelflaten	mm
$r$	Radius til sirkelflaten	mm
$A$	Areal til flaten	$mm^2$
$y_C$	Vertikal høyde fra bunn av flaten til arealsenter	mm
$x_C$	Horisontal bredde fra side av flaten til arealsenter	mm
$I_y$	Annet arealmoment om horisontal nøytralakse	$mm^4$
$I_x$	Annet arealmoment om vertikal nøytralakse	$mm^4$
$W_y$	Tverrsnittsmodul om horisontal nøytralakse	$mm^3$
$W_x$	Tverrsnittsmodul om vertikal nøytralakse	$mm^3$

### Arealsenter

Arealsenteret vil være det samme som tyngdepunktet når man ser på det to-dimensjonale planet. Det er nødvendig å finne sentrum av det respektive arealet for videre beregninger. Nedenfor kommer en innføring i vanlige tilfeller for beregning av arealsenter.



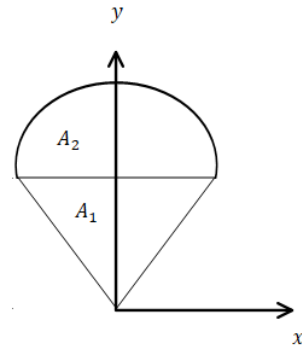
Figur 3.9: Flategeometri [22]

Nøytralaksene vil plasseres gjennom arealsenteret, ofte representert med horisontal akse lik  $x$  og vertikal akse lik  $y$ . I helsymmetriske tverrsnitt som en sirkel eller et kvadrat kan sentralaksen plasseres midt på flaten. Hvis det beregnes på arealsenter til usymmetriske eller sammensatte tverrsnitt kan det bli mer komplisert. I figur 3.10 vises et eksempel på arealsenter for sammensatte tverrsnitt.

### Eksempel: Arealsenter av sammensatt tverrsnitt

Et sammensatt tverrsnitt er utformet av en likesidet trekant med høyde  $h$  og areal  $A_1$  og en halvsirkel med radius  $r$  og areal  $A_2$ . Finn arealsenteret.

Til å begynne med kan man se at tverrsnittet er symmetrisk om horisontal akse. Dermed vil nøytralakse ligge midt på tverrsnittet. Det vertikale arealsenteret vil dermed være bredden delt på to. For beregning av den horisontale lengden opp til det sammensatte arealsenteret må man først beregne høyden på arealsenteret til trekanten  $y_{C1}$  og deretter for halvsirkelen  $y_{C2}$ .



Figur 3.10: Eksempel

Fra figur 3.9 vil trekantens arealsenter være høyden delt på 3, men siden trekanten er opp ned vil den være [21, s.248]:

$$y_{C1} = \frac{2h}{3} \quad (3.1)$$

Arealsenteret i høyderetning til en halvsirkel er gitt ved formelen [21, s. 242]:

$$y_{C2} = \frac{4r}{3\pi} \quad (3.2)$$

Det sammensatte arealsenteret kan finnes ved hjelp av formelen [21, s.239]:

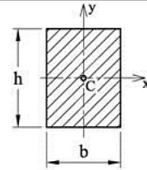
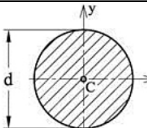
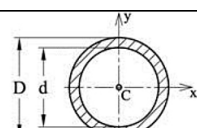
$$y_C = \frac{y_{C1} * A_1 + y_{C2} * A_2}{A_1 * A_2} \quad (3.3)$$

### Annet arealmoment og tverrsnittsmodul

Annet arealmoment ble tidligere kalt tverrsnittets treghetsmoment, men en mer passende beskrivelse er arealtreghetsmoment [21, s.245]. Tverrsnittsmodulen betegnes ofte også som motstandsmomentet. Ved hjelp av annet arealmoment og arealsenteret kan det beregnes tverrsnittsmodulen ved hjelp av formelen:

$$W = \frac{I}{y_C} \quad (3.4)$$

Ved beregninger på bøyespenningen kan annet arealmoment eller tverrsnittsmodulen benyttes. Ved vridning vil man se på den sirkulære bevegelsen av flaten med polarkoordinater. Ved slike beregninger brukes polart annet arealmoment og polar tverrsnittsmodul. For å finne felles annet arealmoment eller tverrsnittsmodul til et sammensatt tverrsnitt, summeres disse sammen. Dette er gitt at bøyning eller vridning foregår rundt en felles nøytralakse.

Snittflate	Annet arealmoment	Motstandsmoment	Polart arealmoment
	$I_x = \frac{bh^3}{12}$ $I_y = \frac{hb^3}{12}$	$W_x = \frac{bh^2}{6}$ $W_y = \frac{hb^2}{6}$	$I_p = \frac{bh}{12}(h^2 + b^2)$
	$I_x = I_y = \frac{\pi d^4}{64}$	$W_x = W_y = \frac{\pi d^3}{32}$	$I_p = \frac{\pi d^4}{32}$
	$I_x = I_y = \frac{\pi}{64}(D^4 - d^4)$	$W_x = W_y = \frac{\pi}{32} \frac{D^4 - d^4}{D}$	$I_p = \frac{\pi}{32}(D^4 - d^4)$

Figur 3.11: Annet arealmoment og Tverrsnittsmodul [23]

## Spenninger

### Strekkspenning

Strekkspenning blir også gitt som normalspenning, der en vertikal kraft virker normalt på en overflate. Strekkspenninger oppstår når materialet strekkes i lengderetning. Tilsvarende oppstår det en trykkspenning når materialet trykkes i lengderetning. For beregning av strekkspenningen trengs kraften  $F$  som virker på flaten, og arealet  $A$  av flaten [24, s.1.1].

$$\sigma_{strek} = \frac{F}{A} \quad (3.5)$$

### Bøyespenning

Bøyespenning vil oppstå når et legeme bøyes ut av sin egen opprinnelige posisjon eller akse. Det kan enkelt representeres med et stupebrett hvor en vertikal kraft virker i enden på et horisontalt stupebrett og dermed bøyes. Bøyespenninger oppstår når en kraft virker utenfor et fast opplagret punkt i konstruksjonen, derav oppstår momentet av momentligningen som er gitt ved:

$$Moment(M) = Kraft(F) * Arm(a) \quad (3.6)$$

Momentet kan så benyttes i kombinasjon med enten annet arealmoment og arealsenter eller ved hjelp av tverrsnittsmodulen [24, s.1.1]:

$$\sigma_{bøyy} = \frac{M}{I_x} * y_C = \frac{M}{W_x} \quad (3.7)$$

### Skjærspenning

Skjærspenninger vil oppstå når en kraft virker horisontalt med flaten. Det kan sammenlignes med å skjære et brød, hvor kraften fra kniven skjærer over brødet. Tverrsnittet av flatearealet vil da være med i beregningene av skjærspenningen [24, s.1.1].

$$\tau_{skjær} = \frac{F}{A} \quad (3.8)$$

### Torsjonspenning

Torsjonspenning blir også gitt som vridningsspenning og skjer når et legeme roteres rundt sin egen akse med et moment. Torsjonsmomentet vil være gitt som  $T$  og kan i tilfeller ved skrueberegninger beregnes som tiltrekningsmoment.

Tiltrekningsmomentet ved skrueberegninger kan finnes ved å addere tiltrekningsmomentet mellom gjengene og tiltrekningsmomentet mellom hode (mutter) og underlag. Formelen for tiltrekningsmoment på en skruen er gitt ved [24, s.8.9]:

$$T_t = F_a * \tan(\alpha + \epsilon_1) * \frac{d_2}{2} \quad (3.9)$$

Det totale tiltrekningsmomentet uten mutter er dermed  $T = T_t$ . Dersom skruen har en mutter vil denne også være med i beregningen av det totale tiltrekningsmomentet. Tiltrekningsmomentet mellom mutter og underlag er gitt ved:

$$T_u = \mu' * F_a * r_m \quad (3.10)$$

Det totale tiltrekningsmomentet om mutter er koblet til skruen vil være:

$$T = T_t + T_u \quad (3.11)$$

Torsjonsspenningen som oppstår av tiltrekningsmomentet kan dermed beregnes ved hjelp av formelen [14, s.1.1]:

$$\tau_{vrid} = \frac{T}{W_p} \quad (3.12)$$

Verdiene som trengs ved beregning av tiltrekningsmoment på skrue kan finnes i tabell 3.2, med formler hentet fra [24, s.8.1-8.17].

Tabell 3.2: Skrueberegninger

<b>Tiltrekningsmoment gjenger</b>			
<b>Forklaring</b>	<b>Benevning</b>	<b>Formel / beskrivelse</b>	<b>Enhet</b>
Ytre diameter	d	Ytre diameter til gjengene	mm
Gjengestigning	P	Lengden mellom hver gjengetopp	mm
Indre diameter	$d_1$	Indre diameter til gjengene	mm
Midtdiameter	$d_2$	Diameteren mellom indre og ytre gjenger	mm
Stigningsvinkel	$\tan \alpha$	$\tan \alpha = \frac{P}{\pi * d_2}$	radianer
Friksjonskoeffisient	$\mu$	Avhenger om gjengetetning brukes	
Flankevinkel	$\phi$	Vinkelen mellom gjengene	radianer
Friksjonsvinkel	$\tan \epsilon_1$	$\tan \epsilon_1 = \frac{\mu}{\cos \phi/2}$	radianer
Stigning og friksjon	$\tan \alpha + \epsilon_1$	$\tan \alpha + \epsilon_1 = \frac{\alpha + \epsilon_1}{1 - \alpha * \epsilon_1}$	radianer
<b>Tiltrekningsmoment mutterhode og underlag</b>			
Friksjonskoeffisient	$\mu'$	Avhenger om locktite mutter/underlag brukes	
Nøkkelvidde	N	Nøkkelvidde på mutter	mm
Frihull	$d_h$	Diameter på hullet	mm
Friksjonsradius	$r_m$	$r_m = \frac{N + d_h}{4}$	mm

Når de ulike spenningene som oppstår er funnet kan den sammensatte spenningen ofte også omtalt som jevnførende spenning beregnes. Den jevnførende spenningen er gitt ved formelen:

$$\sigma_j = \sqrt{\sigma_{strek}^2 + \sigma_{bøy}^2 + 3 * (\tau_{skjær}^2 + \tau_{vrid}^2)} \quad (3.13)$$

Videre kan sikkerhetsfaktoren ved den gitte belastningen finnes. Sikkerhetsfaktoren kan enten beregnes mot flyt eller mot brudd. Det vanligste tilfelle vil være mot flyt (FOS), der materialets flytegrense  $f_y$  divideres på den jevnførende spenningen  $\sigma_j$ , gitt ved [24, s.1.2]:

$$FOS = \frac{f_y}{\sigma_j} \quad (3.14)$$



### 3.6.2 FEM-analyse

”Finite Element Method” (FEM) er en simuleringsmetode som brukes for å analysere ulike design i ønskelige brukssituasjoner. En FEM-analyse er en numerisk analyse av en CAD-modell. Basert på materialegenskaper, valgte belastninger og fastholdninger kan man gjøre ulike typer analyser av CAD-modellen. For å gjennomføre analysen lages det et elementnett av CAD-modellen som består av mange finite elementer. De kalles finit ettersom de er små men ikke uendelig små, altså ikke infinitesimal i størrelsen [25]. Etter elementnettet er lagt til kan analysen løses numerisk og gi resultater som kan vurderes opp mot kravene til designet. I denne oppgaven ble *Solidworks* benyttet til analysene, og derfor gjelder all teori angående analysene spesifikt for dette programmet.

#### Styrkeberegning

I denne oppgaven er det ønskelig å se på styrken til det aktuelle verktøyet ved en statisk analyse. En slik analyse tar utgangspunkt i grunnleggende mekanikk der det antas at materialet er lineært og belastningene er statiske. Dette vil si at spenninger er proporsjonal i analysen, noe som ikke samsvarer med virkeligheten hvor plastisk deformasjon og maksimale spenninger er begrenset av flyt eller brudd. Med statiske belastninger menes at de påførte belastningene er konstantene under hele analysen. Ved å sette inn fastholdninger, materialegenskaper, belastninger og elementnettet i CAD-modellen kan man dermed gjøre en forenklet analyse av styrken til designet i en brukssituasjon.

#### Design studie

En design studie er en simuleringsmetode i *Solidworks* der programmet kjører flere analyser på kort tid for å finne en god løsning mhp. variabler og begrensninger som er satt. En design studie kan deles inn i to hovedgrupper, evaluering og optimalisering. Ved en evalueringsprosess spesifiseres flere verdier som det er ønskelig at simuleringsobjektet skal ha. Deretter velges begrensninger og tislutt kjører programmet analyser av de spesifikke verdiene og rapporterer svarene fra samtlige analyser [26].

Ved en optimaliseringsprosess spesifiseres verdier innen et bestemt intervall, velger begrensninger og mål. Disse målene kan være å for eksempel minimere massen til simuleringsobjektet innen verdiintervallet som er valgt, eller å minimere spenningene i hele objektet. En slik studie kan brukes for å optimalisere styrken til et konsept. Ved å utføre en slik studie i *Solidworks* kan det for eksempel gjennom endringer av bestemte dimensjoner øke kapasiteten på et utvalgt konsept.

Det er gjennomgått en generell beskrivelse av relevant teori som blant annet produksjonsmetoder, materialer, ulike prosesser innen prototyping og aktuell teori om styrkeberegning. Dermed skal det i neste kapittel redegjøres for hvordan deler av denne teorien er anvendt i metodene.

# Kapittel 4

## Metode

I dette kapitlet vil det følge en generell beskrivelse av relevante metoder som er blitt brukt for denne oppgaven. Dette innebærer forskningsmetode der det blir redegjort for fremgangsmåtene som er brukt for å finne kilder til kunnskap og forskning. Deretter følger beskrivelser av ståsted- og pålitelighetsanalyser. Det blir også nevnt hvilke metoder som er brukt for å modellere og simulere ulike konsepter i CAD-program. Tilslutt kommer det en beskrivelse av hvilken fremgangsmåte som er blitt brukt under prototyping.

### 4.1 Forskningsmetode

Dette kapitlet omhandler fremgangsmetodene som er brukt for å finne kilder til kunnskap og forskning nødvendig for å besvare problemstillingen. Ettersom det skulle produseres et helt nytt produkt ble det fokusert på å hente informasjon fra fagpersoner innen relevante felt, og diverse litteratur om produktutvikling.

#### 4.1.1 Intervju

Intervju var en av de kvalitative metodene som ble brukt for å besvare resultatmålene i oppgavene. På disse intervjuene har man rådført seg med fagpersoner innen ulike fagfelt. I tabell 4.1 følger en oversikt over intervjuobjekt, stilling og fagfeltet deres.

Det var viktig å hente så mye kunnskap og informasjon fra hvert enkelt intervju som mulig, derfor ble det tatt notater underveis som i ettertid ble analysert og trukket konklusjoner ut av. Med hjelp fra intervjuobjektene ble det gitt tilgang til ressurser som artikler, bøker og avhandlinger. Dette er litteratur som intervjuobjektene mente kunne være til hjelp for videre arbeid med oppgaven.

Tabell 4.1: Intervjuobjekter

Intervjuobjekt	Stilling	Bedrift	Fagfelt
Eirik Johannesen	Chief Mechanical Officer	Bydue	El-sparkesykler
Arnt Erik Hovda	Mekaniker	Bydue	El-sparkesykler
Detlef Blankenburg	Førsteamanuensis	NTNU	Produksjonsmetoder
Christer Westum Elverum	Førsteamanuensis	NTNU	Produktutvikling
Anders Flaten	Seniorkonsulent	Protolab	Prototyping
Olav Kopperud	Industrimekaniker	NTNU	Verkstedarbeid
Frode Aasgård	Daglig leder	NOMEK AS	Endelig produksjon
Odd-Henrik Krogstad	Daglig leder	ASKRO AS	Endelig produksjon
Per Kolbjørn Hårstad	Daglig leder	VEPA AS	Endelig produksjon

I tillegg bidro flere av intervjuobjektene med nyttig kunnskap innen sitt fagområde. Flere av intervjuobjektene ga sin egen vurdering om hvordan designet kunne produseres. På den måten kunne man tilegne seg et bredere perspektiv av løsninger på hvordan oppgaven kunne gjennomføres.

#### 4.1.2 Litteraturstudie

I tillegg til litteraturen som ble foreslått av intervjuobjektene ble det systematisk utført søk i søkemotorer som kan kategoriseres som pålitelige kilder. Ved hjelp av systematisk oversikt ønsker man å finne, vurdere og sammenfatte funn som er relevante for prosjektet med gjennomtenkte metoder. Underveis i oppgaven har diverse litteratur blitt benyttet for å skaffe nødvendig kunnskap innen både kjente og ukjente fagområder.

Til å finne relevant litteratur er det brukt søkemotorer for akademisk litteratur som Nasjonalbiblioteket, Google Scholar og NTNUOpen. I søket på relevant litteratur har en fulgt følgende oppskrift [27]:

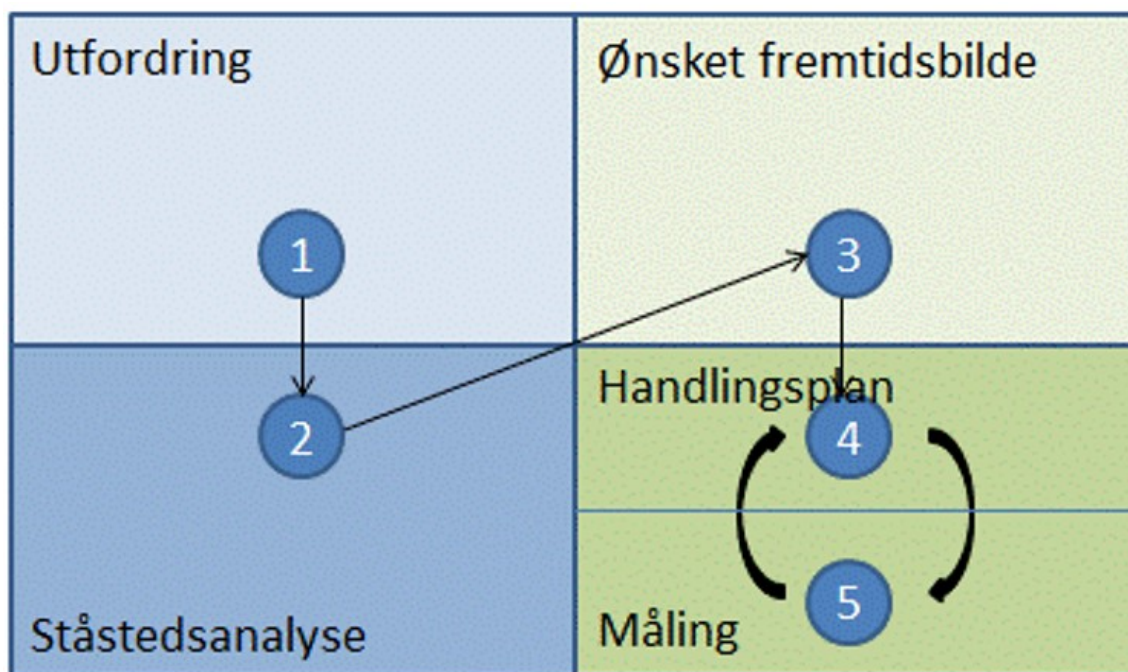
- Definere spørsmålet eller ønsket kunnskap
- Beskrive og utføre et søk etter relevant litteratur
- Definere eksklusjonskriterier og velge litteratur ut fra disse
- Hente ut fagstoff på en systematisk måte
- Sammenfatte og presentere informasjonen på en kort og lett forståelig måte

I tillegg til litteraturen nevnt tidligere er det også benyttet nettbasert leksikon som Store Norske Leksikon. Dersom ønsket informasjon ikke ble funnet, ble det utført et bredt søk i søkemotoren Google og påliteligheten til kilden ble vurdert.

Det har vært problematisk å finne en god strukturell oppskrift på en ståstedsanalyse. Derfor har en oppskrift av en ståstedsanalyse blitt benyttet fra et blogginnlegg. Blogginnlegget er skrevet av privatpersoner som ikke kan defineres som en pålitelig kilde. Informasjonen har blitt validert i etterkant, og derfor har man valgt å bruke blogginnlegget som en referanse.

## 4.2 Ståstedsanalyse

For dette prosjektet var det ønskelig å forbedre vedlikeholdsprosessen hos bedriften Bydue. Siden dette gjøres gjennom endringsarbeid ved utvikling av nytt verktøy utføres det en ståstedsanalyse for å kartlegge nåsituasjonen med mål om å oppnå et ønsket fremtidsbilde som illustrert i Figur 4.1 [28].



Figur 4.1: Ståstedsanalyse [28]

### 4.2.1 Utfordring

Utgangspunktet for at denne ståstedsanalysen gjennomføres vil være problemstillingen som denne oppgaven ønsker å løse. Det gjennomføres en analyse for å bestemme hvordan det å utvikle et nytt produkt i form av et verktøy som kan stramme skruen i rammekonstruksjonen og bidra til å optimalisere vedlikehold av "Bydue S1" kan gjøres på en god måte.

### 4.2.2 Nåsituasjonen (SWOT-analyse)

For å få en god oversikt over hvordan problemet med den løse skruen påvirker bedriften blir det gjort en stegvis SWOT-analyse av styrker, svakheter, muligheter og trusler som problemet skaper [29].

Ved å gjennomføre en SWOT-analyse vil man kunne få en bedre forståelse av nåsituasjonen i bedriften med hensyn på problemstillingen til denne oppgaven. Ettersom den aktuelle modellen ble lansert på markedet våren 2021, merket man problemet tydelig. Etterhvert som kunder bruker elsparkesykkelen mer vil det være naturlig å anta at dette er et problem som bare vil vokse frem til det finnes en løsning.

#### Steg 1: Identifisere interessenter

For en SWOT-analyse er det viktig å identifisere mange interessenter for å få et godt resultat. Det må da tenkes på hvilken kontekst analysen skal brukes og sørge for å involvere interessenter fra alle de ulike avdelingene som det gjeldende prosjektet påvirker.

#### Steg 2: Generere SWOT-analysen

For å sikre en god SWOT-analyse er det viktig at deltakerene i analysen har en god forståelse av de fire SWOT-faktorene.

- Styrke: en intern ressurs eller kompetanse som bedriften kan bruke for å utnytte muligheter i markedet
- Svakheter: en intern mangel på ressurser eller kompetanse som reduserer bedriftens prestasjon i markedet
- Mulighet: en ekstern mulighet som bedriften kan utnytte for å få en fordel
- Trussel: en ekstern faktor som har potensiale til å redusere bedriftens prestasjon i markedet

### **Steg 3: Kategorisere SWOTs**

Oppgaven til en SWOT-analyse er å stille to enkle spørsmål rundt driften av en bedrift: ”Er denne faktoren en fordel eller ulempe?” og ”Er denne faktoren intern eller ekstern?”. For å kunne måle de ulike faktorene er det ønskelig å undersøke påvirkningen de har på hverandre. Dette gjøres ved å kategorisere de etter SWOT-faktorer i tillegg til å rangere de etter viktighet for oppgaven. Ved å involvere interessentene som ble definert i steg 1 i denne kategoriseringen, økes sannsynligheten for å finne en god løsning på problemet som alle interessenter er fornøyde med.

### **Steg 4: Vurdering av analysen**

En ferdig SWOT-analyse skal kunne hjelpe bedriften å konkret se hvordan de kan gjøre et problem med ulike svakheter og trusler om til en mulighet for å forbedre sin posisjon i markedet. Ved å gjøre en kategorisering av SWOT-faktorene kan man bruke resultatene fra SWOT-analysen til å gjøre dette.

Prosjektlederen vil da kunne se på viktigheten til de ulike faktorene og vurdere de opp mot implikasjonene de vil ha på driften. Videre brukes denne informasjonen til å sette opp en handlingsplan for hvordan bedriften kan begrense svakheter og trusler, samtidig som styrker og muligheter maksimeres.

#### **4.2.3 Ønsket fremtidsbilde**

Målet med en ståstedsanalyse vil være å gå fra en nåsituasjon som har flere svakheter og trusler til en fremtidig situasjon der svakheter og trusler i bedriften er redusert eller fjernet. For å oppnå dette vil det være kritisk å tidlig og tydelig definere et ønsket fremtidsbilde. Dette fremtidsbildet skal definere hvordan bedriften ønsker å være gjennom definerte mål og visjoner. Videre skal formålet med visjonen og målene identifiseres. Gjennom å forstå hvorfor bedriften ønsker seg dit vil deltakerne kunne bidra bedre til å nå det ønskede fremtidsbilde.

#### **4.2.4 Handlingsplan**

Ved å se på en god analyse av nåsituasjonen i kombinasjon med ønsket fremtidsbilde kan det settes opp en konkret handlingsplan. Denne planen vil beskrive hvordan bedriften kommer seg fra nåsituasjonen til det ønskede fremtidsbildet. Målet vil da være at gjennomføringen av denne planen skal føre til en god løsning som reduserer eller fjerner svakheter og trusler som ble identifisert i steg 2 og 3.

### 4.2.5 Måling

Ettersom bedrifter er i kontinuerlig utvikling er det viktig å gjennomføre målinger underveis i ståstedanalysen. Spesielt når handlingsplanen blir utført er det ønskelig med hyppige målinger for å forsikre at bedriften beveger seg i den ønskede retningen. Ved hjelp av slike målinger vil handlingsplanen justeres og sørge for en kontinuerlig utvikling i den ønskede retningen.

## 4.3 Pålitelighetsanalyse

En pålitelighetsanalyse har til hensikt å systematisk kartlegge pålitelighet til en komponent eller et system. I en slik analyse går man ned på komponentnivå for å avgjøre den helhetlige påliteligheten til systemet. Analysen kan grovt deles inn i 3 faser; planlegging, gjennomføring og bruk [30]. Resultatene av pålitelighetsanalysen presenteres i kapittel 5.2: Pålitelighetsanalyse.

### 4.3.1 Planlegging

En pålitelighetsanalyse er begrenset av tilgjengelige ressurser, tidsfrister og tilgang til data. En omfattende pålitelighetsanalyse vil være basert på store mengder data hvor kritiske hendelser er observert. I stedet for å se på data for kritiske hendelser som ikke er en tilgjengelig ressurs for øyeblikket, vil analysen være basert på resultater fra simuleringer og erfaringer fra mekanikere. På denne måten kan konsepter måles opp mot hverandre i form av kritiske komponenter eller deler av verktøyet i simuleringsresultater. I tillegg kan kritiske hendelser bli identifisert av erfaringsbasert kunnskap som forbindes med den gitte funksjonen produktet skal oppnå. Resultatene fra analysen vil brukes i pålitelighetsvurderingen som beslutningsgrunnlag for valg av ulike designalternativer i konseptutviklingen.

Formålet med pålitelighetsanalysen:

- Identifisere kritiske hendelser eller komponenter.
- Identifisere effekten av tiltak.
- Sammenligne ulike konsepter opp mot hverandre med hensyn til pålitelighet.
- Dokumentasjon på at produktet har en akseptabel pålitelighet med hensyn på funksjon.

I planleggingsdelen defineres systemet som skal pålitelighetsanalyseres med tilordnede avgrensninger og driftstilstanden til systemet. Videre ordnes en oversikt over organisering av arbeidet og en tidsplan som viser fremgangen i oppgaven.

### 4.3.2 Gjennomføring

Ved begynnelsen av gjennomføringen vil systemet beskrives og betydningen for analysen etableres. Med betydningen menes alle relevante forhold som kan innebære tekniske, menneskelige, miljømessige og organisatoriske forhold. Omfanget og grad av detaljering av systembeskrivelsen vil være knyttet til formålet av pålitelighetsanalysen, hvilken prosjektfase den utføres i, tilgjengelig data og begrensninger.

I gjennomføringsfasen vurderes potensielle risikoer som kan oppstå knyttet til oppgaven. Videre vil det utføres handlinger for å minimere disse risikoene. Gjennomføringen av pålitelighetsanalysen vil være en beskrivelse av systemet, definisjon av systemfeil som kan oppstå under bruk og som skal analyseres ved hjelp av en årsaksanalyse.

Årsaksanalyser kartlegger de hendelser som fører til systemfeil. Dersom årsaksforholdene er kompliserte kan det være aktuelt med mer spesielle årsaksanalyse-teknikker. En slik teknikk er Feilmode, effekt og kritikalitetsanalyse (FMECA). Det finnes flere måter å etablere en risikoanalyse som FMECA på. Design FMECA utføres for å eliminere feil under designprosessen og tar hensyn til feil gjennom produktets livsløp. Prosess FMECA fokuserer på problemer som oppstår under produksjon, vedlikehold og betjening. System FMECA ser etter potensielle problemer i større prosesser [31].

Kritikaliteten kan bestemmes ved å multiplisere sannsynligheten (Occurrence) med konsekvensen (Severity) [32]. Ut ifra kritikaliteten klassifiseres systemfeilene etter prioritetsgrad. På den måten dannes et bedre bilde på hvilken av risikoene som er mest kritisk og bør prioriteres. I figur 4.2 beskrives risikomodellen og prioritetsgraden som blir representert med farger og tilhørende anbefalt handling.



Severity (S) Measure of potential damage caused by finding-related incident	Occurrence (O) Likely Timeline of Incident Occurring	Occurrence (O)					
		1	2	3	4		
1. Forced outage, extensive damage, imminent safety concern 2. Moderate to extensive damage, significant economic impact 3. Minor to moderate damage, reduced efficiency, moderate economic impact 4. Minimal to no damage, small economic impact	1. Already occurring or highly likely to occur before the next outage. 2. Likely to occur within the next 24 months. 3. Likely to occur within the next 6 years. 4. Very unlikely or observation only	Severity (S)	1	100	71	43	14
			2	71	51	31	10
			3	43	31	18	6
			4	14	10	6	2

Priority Ranking	Recommendation
<b>Priority 1</b> (Criticality > 70)	<b>Current Outage Recommendation:</b> Action is recommended immediately to prevent substantial damage, for imminent safety reasons or for the purpose of significant economic benefit.
<b>Priority 2</b> (Criticality > 30 or Good Practice)	<b>Current Outage if Possible:</b> Action is recommended before restarting if resources are available. Otherwise near-term action is recommended to prevent damage or for safety reasons or for the purpose of economic benefit. "Good practice" recommendations are included in this category.
<b>Priority 3</b> (Criticality >= 10)	<b>Address this Issue per the Recommended Schedule:</b> Future action is recommended. This need not be addressed immediately either because the parts and labor are not available or because the developing issue has not progressed to the point of requiring immediate action.
<b>Priority 4</b> (Criticality < 10)	<b>Recommendation to Monitor:</b> The finding does not require action now or in the immediate future. The finding should be monitored for further deterioration.

Figur 4.2: FMECA Risikomodell [32]

Videre i gjennomføringen av en pålitelighetsanalyse fokuseres det på å begrense systemfeilene som er presentert i årsaksanalysen. Det er ønskelig å begrense sannsynligheten for at feilene oppstår og da bør disse analyseres grundig. Dette kan gjøres ved hjelp av en dataanalyse, der hver feil bakgrunnssjekkes og tiltak gjennomføres som forhindrer eller reduserer sannsynligheten for at feilene oppstår. I forbindelse med konseptutvikling og feileliminering under designprosessen vil det være av stor nytte med FEM-analyser av designet. Analysen kan simulere kritiske deler på design med angitte lasttilfeller og fastholdninger. Andre studier for reduksjon av risiko kan være knyttet opp mot produksjon. For at det endelige produktet faktisk blir slik det er tenkt kan det være en fordel å ha 3D-printet designet og testet det for den aktuelle bruken. Resultatene av gjennomføringen vil kunne danne et grunnlag for beslutninger vedrørende valg av designalternativer og systemmodifikasjoner.

### 4.3.3 Bruk

I bruken av pålitelighetsanalysen skal beslutningene tas og begrunnes med godt fremstilte bevis fra analysen. Handlingene som er utført iløpet av pålitelighetsanalysen vil vurderes, og endringer som er gjort for å styrke påliteligheten vil ettersjekkes. Dette gjøres ved hjelp av en pålitelighetsvurdering der ulike alternativer settes opp mot hverandre og resultatene sammenlignes. I tillegg drøftes det hvilken effekt tiltakene som er gjennomført hadde på det endelige resultatet. Bruk av pålitelighetsanalyse er presentert i Kapittel 6.3: Pålitelighetsvurdering.

## 4.4 3D-modellering og simulering

For modellering og simulering av verktøyet blir det i denne oppgaven benyttet *Solidworks*, et 3D-modellering og simuleringsprogram som gruppen har tilgang til gjennom universitetet.

### 4.4.1 Modellering

Ved bruk av 3D-modelleringsprogrammer som *Solidworks* kan det lages tredimensjonale modeller av ulike konsepter. I produktutviklingsprosessen kan modellering være et viktig virkemiddel som gir mulighet til å visualisere ulike design og konsept i 3D uten kostnadene som kan komme ved prototypeproduksjon.

### 4.4.2 Styrkeberegning

For å beregne hvor mye verktøyet skal tåle blir det tatt utgangspunkt i flytegrensen til skruen. De maksimale spenningene som oppstår i skruen brukes videre for å teste styrken til verktøyet. Ved å påføre et moment lik 100Nm og se på sikkerhetsfaktoren til skruen i dette tilfellet regner man seg fram til momentet som gir en FOS lik 1.

Momentet som gir FOS lik 1 brukes dermed videre for simulering av verktøyet. Denne simuleringen viser hvordan verktøyet vil tåle den maksimale belastningen skruen kan overføre. Ved å se på maksimal spenning og minimal FOS for verktøyet i dette tilfellet kan det defineres hvorvidt skruen har en tilstrekkelig styrke. Hvis FOS er større enn 1 kan det konkluderes med at verktøyet har høyere kapasitet enn skruen, og resultatmål 3 er oppfylt.

### 4.4.3 Design Studie

Når styrkeberegninger og simuleringer på konseptene er utført og det er fastslått et endelig konsept kan det gjennomføres en design studie i *Solidworks*. Formålet med denne studien er å optimalisere styrken til konseptet ved å endre dimensjoner som ikke er begrenset av skruens geometri.

Aktuelle dimensjoner velges som variabler i en design studie, og studien kobles mot en statisk studie som er brukt for styrkeberegninger av konseptet. Den statiske studien blir koblet mot design studien slik at formålet med design studien er å oppnå ønskelige endringer i resultatene av den statiske studien. I dette tilfelle er det å minimere spenningene som oppstår i konseptet og maksimere FOS.

## 4.5 Prototyping

Metoden som blir benyttet for prototyping i denne oppgaven er 'prototyping ved testing' som er beskrevet i kapittel 3.2.2: Prototyping ved testing. Her blir prototyper av utvalgte konsept konstruert og det testes hvordan prototypens form og funksjonalitet er. Ved å gjøre dette kan uforutsette feil oppdages i designet og dermed kan det gjøres endringer på konseptets design som kan løse disse utfordringene. En slik metode kan også bli brukt for å avgjøre hvilke produksjonsteknikker som er en god løsning for de utvalgte konseptene og eventuelt eliminere produksjonsteknikker som ikke gir gode resultater. Når det er konstruert og testet nok prototyper samt endret design til det ikke oppdages flere urovekkende feil, kan det vurderes å fastslå et endelig konsept som kan sendes til produksjon.

I Kapittel 4 er det redegjort for hvilke metoder som benyttes i oppgaven og hvordan disse metodene er blitt brukt. Dermed skal de endelige resultatene ved bruk av gitte metoder fremstilles i neste kapittel.

# Kapittel 5

## Resultater

I dette kapitlet skal det gjennomgås resultater for de ulike analysene som er gjennomført i løpet av denne oppgaven. Deretter blir resultatene fra konseptutviklingen fremstilt samt endelig konsept, spesifikasjoner og beregninger. Til slutt presenteres resultatene for FEM-analysen av konseptet.

### 5.1 Ståstedsanalyse

I hele kapittel 5.1 blir resultatene av ståstedsanalysen fremvist for å evaluere hvordan utfordringen presentert i kapittel 4.2.1 har blitt løst.

#### 5.1.1 SWOT-analyse

Tidligere ble metoden for en SWOT-analyse presentert, dermed skal det i dette kapitlet bli fremstilt resultater av SWOT-analysen for denne oppgaven.

##### Steg 1

I denne oppgaven er det en liten gruppe interessenter ettersom målet er å forbedre vedlikeholdsprosessen av elsparkesyklene i bedriften. Dette involverer derfor bare de som utfører vedlikeholdsarbeidet og de som tjener på at vedlikeholdsarbeidet blir mer effektivt. Dermed kan interessenter defineres som mekanikere, CMO, utviklerne av det nye verktøyet, kundebehandlerne som har kundekontakt i bedriften og kunder som har kjøpt sparkesykkelen.

## Steg 2

Flere interne og eksterne faktorer vil påvirke denne oppgaven, under er disse faktorene definert.

### Interne faktorer

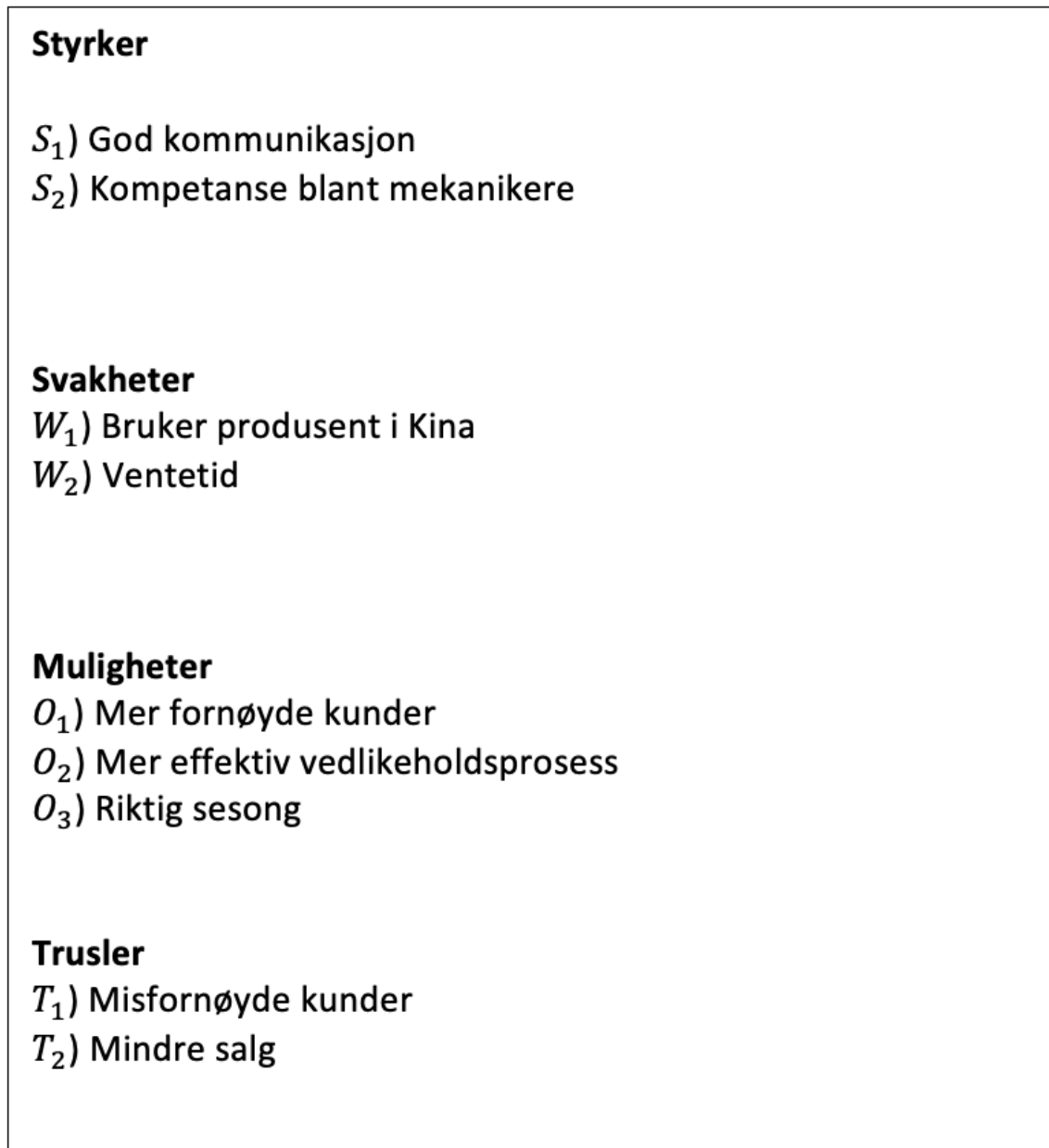
- God kommunikasjon: Det er generelt god kommunikasjon med kontaktperson i bedriften, noe som fører til at progresjonen i oppgaven ikke blir negativt påvirket av dette. Dårlig kommunikasjon kunne for eksempel ført til at man ikke hadde fått nødvendig informasjon eller ressurser og kunne dermed kanskje ikke gått videre i arbeidet.
- Kompetanse blant mekanikere: Mange mekanikerne hos Bydue har tilstrekkelig teknisk kunnskap gjennom utdanning og erfaring, og har dermed tidligere prøvd å løse utfordringen som skal løses i denne oppgaven på egenhånd. Det gjør at denne kunnskapen kan utnyttes og lære av det som har blitt gjort tidligere. På denne måten dannes et bilde av hva som ikke fungerer, og hva som kan bygges videre på.
- Bruker produsent i Kina: Bedriften bruker per i dag en fabrikkprodusent i Kina for å produsere sine elsparkesykler. Dermed møter man på komplikasjoner ved forespørsel av viktig informasjon som dimensjoner, initialverdier og annen teknisk informasjon. Produsenten kan også i noen tilfeller ikke være villig til å dele teknisk informasjon ettersom det blir sett på som bedriftshemmeligheter.
- Ventetid: Det at det ikke eksisterer et verktøy som kan stramme den aktuelle skruen fører til at mekanikerne på Bydue bruker lengre tid på vedlikehold av elsparkesyklene deres.

### Eksterne faktorer

- Mer fornøyde kunder: Dersom man klarer å utvikle et verktøy som tatt for seg i denne oppgaven kan det føre til at reparasjon av elsparkesyklene foregår i et høyere tempo enn tidligere, og dermed blir kundene fornøyde.
- Mer effektiv vedlikeholdsprosess: Som nevnt tidligere kan verktøyet føre til et økt tempo på reparasjoner og dermed gjøre vedlikeholdsprosessen mer effektiv.
- Riktig sesong: Dersom alt går som planlagt vil det være utviklet et ferdig produkt i løpet av sommeren 2022. Da er det høysesong for elsparkesyklister og behovet for høy effektivitet ved vedlikehold er stor. Det vil være viktig å holde effektiviteten høy for å opprettholde en god kunderelasjon.
- Misfornøyde kunder: Det at det ikke eksisterer et verktøy per i dag fører til at vedlikehold kan gå tregere enn det kunden ønsker, og dermed vil det bli misfornøyde kunder.
- Mindre salg: Dersom verktøyet som kan fikse problemet ikke blir produsert i oppgaven vil det som nevnt føre til lavere vedlikeholdstempo, som igjen fører til misfornøyde kunder. Dette vil resultere i mindre salg for bedriften.

### Steg 3

I figur 5.1 blir de ulike faktorene kategorisert



Figur 5.1: SWOT-faktorer for denne oppgaven

## Steg 4

I steg 4 blir den endelige analysen vurdert og i tabell 5.1 dannes det en oversikt over prosjektets styrker, muligheter, svakheter og trusler.

Tabell 5.1: Endelig matrise for SWOT-analysen

INTERNE FAKTORER	
STYRKER (+)	SVAKHETER (-)
<ul style="list-style-type: none"><li>• God kommunikasjon</li><li>• Kompetanse blant mekanikere</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Bruker produsent i Kina</li><li>• Ventetid</li></ul>
EKSTERNE FAKTORER	
MULIGHETER (+)	TRUSLER (-)
<ul style="list-style-type: none"><li>• Mer effektiv vedlikeholdsprosess</li><li>• Kompetanse blant mekanikere</li><li>• Riktig sesong</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Mindre salg</li><li>• Mindre fornøyde kunder</li></ul>

### 5.1.2 Ønsket fremtidsbilde

For dette prosjektet er det ønskede fremtidsbildet en mer effektiv vedlikeholdsprosess av elsparesykler. Ved å gjøre dette bidrar det til at kundene til Bydue blir mer fornøyd som følge av bedre service, og det kan føre til en positiv utvikling av omdømmet til Bydue blant forbrukere.

I dag er god service minst like viktig som god kvalitet på et produkt. Derfor henger arbeidet som blir lagt ned i denne oppgaven direkte sammen med Bydues visjon, som er å både ha og opprettholde en status som Norges ledende distributør av elsparesykler i den private sektoren. For at dette skal være mulig må bedriften hele tiden finne områder å forbedre, slik at forbrukerne sine behov til en hver tid er dekket.

### 5.1.3 Handlingsplan

For å nå det ønskede fremtidsbilde for denne oppgaven må PU-prosessen nevnt i kapittel 3.2 bli fulgt. Dersom dette gjøres på en vellykket måte vil det være utviklet to typer verktøy som kan bidra til å fjerne trusler som mindre salg og mindre fornøyde kunder. Samtidig kan det sørge for at ventetiden på reparasjon av elsparkesykler blir redusert og dermed eliminere den svakheten som ble identifisert i SWOT-analysen.

## 5.2 Pålitelighetsanalyse

I kapittel 5.2 vil prosessen for pålitelighetsanalyse bli utført med planlegging og gjennomføring. Formålet med pålitelighetsanalysen vil være å identifisere systemfeil som kan oppstå og gjennomføre handlinger som vil redusere forekomsten av feilene.

### 5.2.1 Planlegging

Planleggingen vil gi en oversikt over systemet som skal analyseres med en kort beskrivelse av systemet, avgrensninger og driftstilstand. Plan for framdrift med aktiviteter forbundet med tidsperspektiv er en del av planleggingsfasen.

#### Systemdefinisjon

Systemet som skal analyseres er et verktøy bestående av en eller flere deler i en sammenstilling. Verktøyets funksjon vil være stramming av en spesiell type skrue. Skruen har tre tilordnede spor fra ytre ring som er skjært inn for å stramme den. Disse utskjæringene vil være kontaktflater for verktøyets overføring av kraft. Det skal utvikles to typer verktøy, en hakenøkkel og et muttortrekker-verktøy. Avgrensningene er to-delt for å spesifikt liste de opp mot det aktuelle verktøyet.



Tabell 5.2: Systemdefinisjon

	<b>Hakenøkkel</b>	<b>Muttertrekker-verktøy</b>
Avgrensninger	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tre pinner for kraftoverføring som passer i en Ø5 halvsirkel i skruhodet</li> <li>• Vinkel mellom arbeidsstykket og håndtak bør være mellom 10° og 30°</li> <li>• Må ha åpning i enden av arbeidsstykket</li> <li>• Godt grep på håndtaket</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tre spor med Ø5 halvsirkel og toppflaten av skruen er kontaktflater for kraftoverføring</li> <li>• Verktøyet kan være en sammenstilling av 3 deler; pinner, en disk og en kopp til muttertrekker</li> <li>• Koppen til muttertrekkeren må passe til en 1/2" muttertrekker</li> </ul>
Driftstilstand	Under normal bruk av manuell håndkraft	Under normal bruk av påkoblet kraftforsynet muttertrekker maskin

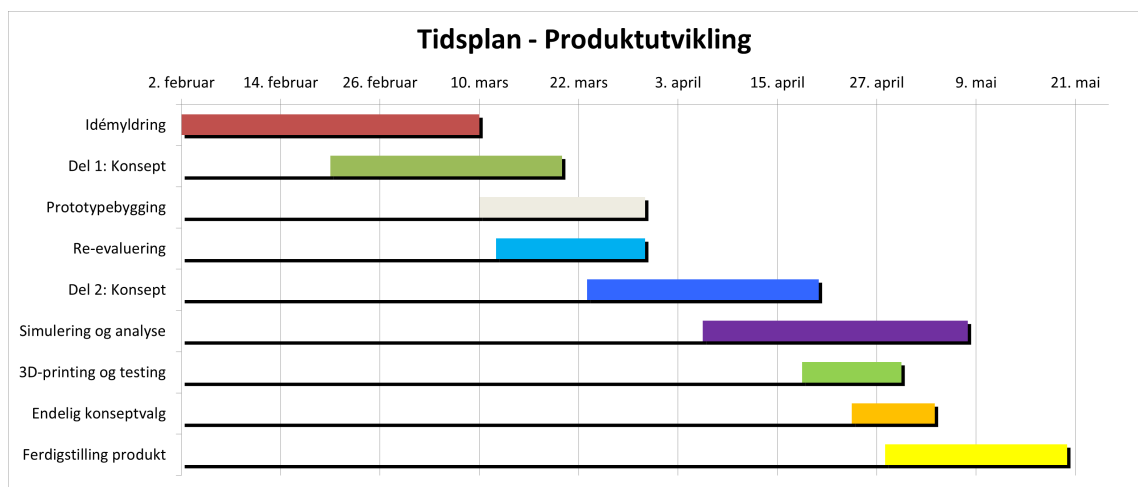
### Organisering og tidsplan

Prosjektdeltakerne består av tre maskiningeniørstudenter som skriver oppgaven om verktøyene som skal utvikles. Studentene har kunnskaper om pålitelighetsanalytiske metoder og god innsikt i systemet som skal analyseres. De nevnte deltakerne innehar spesiell forståelse for elektriske sparkesykler siden samtlige jobber innenfor denne bransjen.

For å gjennomføre en god pålitelighetsanalyse med sikre resultater som fører til en riktig beslutning i valg av konsept er det utviklet en tidsplan. Tidsplanen er rettet mot selve produktutviklingen hvor man går hele veien fra idé til et ferdig produkt. Planen innebære aktiviteter, fordeling av oppgaver, faglig framdrift, milepæler og eventuelle rapporteringer. Oppstarten av utviklingen av et verktøy ble satt i gang den 2. februar. Det var ved denne datoen gruppen sammen med veileder gjorde valget om å rette oppgaven mot produktutvikling av verktøy.

Tabell 5.3: Tidsplan

Aktivitet	Start	Slutt	Varighet
Idémyldring	02.02.2022	10.03.2022	36
Del 1: Konsept	20.02.2022	20.03.2022	28
Prototypebygging	10.03.2022	30.03.2022	20
Re-evaluering	12.03.2022	30.03.2022	18
Del 2: Konsept	23.03.2022	20.04.2022	28
Simulering og analyse	06.04.2022	08.05.2022	32
3D-printing of testing	18.04.2022	30.04.2022	12
Endelig konseptvalg	24.04.2022	04.05.2022	10
Ferdigstilling produkt	28.04.2022	20.05.2022	22



Figur 5.2: Tidsplan - Utvikling av verktøy

### Idémyldring

Idémyldringen starter til å begynne med i en PU-prosess. I denne delen ble det utført en samlet diskusjon slik at det felles kunne komme fram til et utvalg av ideer som kunne bygges videre på. Samtlige var engasjert og kom fram til en rekke gode ideer. Disse ideene ble tegnet opp på ark og gått videre med som konsepter.

### Del 1: Konsept

Den første delen av konseptutviklingen handlet om å generere konsepter for utvikling av en prototype. Det var viktig å komme opp med en rekke potensielle konsepter som var realistiske å lage som prototyper. En deltaker hadde hovedansvaret for utviklingen av konsepter i *Solidworks*, og resterende deltakere kom med forslag og innspill. I tillegg hadde gruppen i denne perioden intervjuer med Detlef Blankenburg og Anders Flaten som nevnt i kapittel 4.1.1. Begge bidro med gode løsninger på hvordan Muttertrekker-verktøyet kunne utformes. Disse var enkle løsninger som kunne produseres med tilgang til verksted.

### Prototypebygging

Prototypebyggingen var en spennende periode hvor de foreløpige konseptene kunne realiseres ved produksjon på verksted. Aktivitetene gikk ut på å finne verksted og materiale som kunne brukes, kjøpe inn produkter etter behov, produsere prototypene og dokumentere prosessen. Disse oppgavene ble jevnt fordelt blant samtlige. I tillegg ble det gitt bistand av industrimekaniker Olav Kopperud som var verkstedansvarlig. Framdriften var lovende ettersom to ferdige prototyper ble produsert.

### Re-evaluering

Re-evalueringen gikk ut på å teste de ferdige prototypene og se etter forbedringspotensialer hos disse. Det ble raskt oppdaget at en hakenøkkel bør være vinklet mellom  $10^\circ$  og  $30^\circ$  slik at nøkkelen

kan dreies uten hindringer. I tillegg måtte det ganske mye større krefter til og dermed ble det aktuelt med lengre arm. Denne prosessen ble hovedsakelig utført av den deltakeren som arbeider på Bydne. Rapporteringen for bruken av disse prototypene ble tatt i betraktning til den neste fasen i produktutviklingen som vil være en ny konseptutvikling.

## Del 2: Konsept

I denne delen ble forbedringspotensialene tatt i bruk i nye modeller i *Solidworks*. Her var det ønskelig å kombinere ulike funksjoner som for eksempel at hakenøkkelen er hengslet med enten fast eller teleskoparm. På den måten kan det sammenlignes hvilke av konseptene som gir bedre resultater i analysene senere. Det var også viktig å ha i bakhodet at det skulle være enkelt å produsere på verksted slik at det ikke blir store problemer og tar lengre tid under produksjon av produktet.

## Simuleringer og analyse

I denne delen vil pålitelighetsanalysen være aktuell der kritiske punkter på konseptet kan identifiseres og det skal analyseres hvilke tiltak som er egnet til å ta i bruk. Det er ønskelig at verktøyet har høy holdbarhet, ikke blir sløv og tåler store laster, dette krever god kapasitet i design og material. Påliteligheten vil da være basert på resultatene fra simuleringer som angir de kritiske delene av verktøyet. Siden verktøyene vil bli benyttet som kraftoverføring vil det oppstå kritiske eller svake områder av designet. En del av analysen er rettet mot å få riktige initialverdier i simuleringene og dermed støtte opp under bruk av disse. Det skjer ved å trekke gode konklusjoner ved bruk av beregninger som kan plottes inn i simuleringer. Simuleringer og analyse er en omfattende jobb som krever at samtlige bistår med sin kunnskap og sammenfatter en felles konklusjon på hvilken endelig løsning som velges.

## 3D-printing og testing

Det neste steget i prosessen var å utvikle konseptene som 3D-printede versjoner og teste disse. Hensikten med dette steget var å ha alt klart til en ferdigstilling av produktet. Det var da nødvendig å teste om pinnene i både hakenøkkelen og muttertrekkerverktøyet passet til skruen. I tillegg var det nødvendig å sjekke om muttertrekkerverktøyet passet i en 1/2" skrallkobling. Når ikke 3D-printen passet på første forsøk ble det gjort endringer og testet på nytt igjen helt til prototypen fikk god sammenkobling.

## Endelig konseptvalg

Det endelige konseptvalget er et utfall som kommer av hele prosessen i oppgaven. Det er viktig at dette konseptet er grundig testet og analysert slik at det ikke er risiko for at den feiler med å utføre sin funksjon. Det endelige konseptvalget foregår ved diskusjon innad i gruppen i tillegg til innspill fra intervjuobjekter og veiledere. Valget baseres også på resultater fra blant annet pålitelighetsanalysen.

## Ferdigstilling av produkt

Til slutt er målet å ha ferdige verktøy som kan leveres til Bydue for bruk. Her skal produktet konstrueres enten ved hjelp av en tredjepart eller gjennom tilgang på verksted. Da kan det være aktuelt å ha kontakt med bedrifter og personer som kan være behjelpelig med den endelige produksjonen. Til dette har protolab og Anders Flaten vært av høy betydning. Møtet med protolab bidro til at man fikk gode tilbakemeldinger og informasjon om bedrifter som kan være aktuelle mtp. produksjon av verktøy. Aktiviteter i denne endelige delen vil være å komme i kontakt med bedriftene og høre om pris på produksjon og estimert leveringstid. Det er også viktig og ha dialog med Bydue som bistår med økonomisk støtte for produksjon av verktøyene.

### **5.2.2 Gjennomføring**

Gjennomføringen av pålitelighetsanalysen tar for seg en beskrivelse av systemet. Hovedaktivitetene i gjennomføringsdelen vil være årsaksanalysen og dataanalysen. Resultatene fra disse analysene er representert med modeller og tabeller fra kjente metoder gitt i Kapittel 4.3.

### **Systembeskrivelse**

Systembeskrivelsen i tabell 5.4 angir alle funksjonelle, menneskelige, organisatoriske og miljømessige forhold som har betydning for analysen. Den angir i tillegg behov innenfor betjening, produksjon, design og sikkerhet. Ved gjennomføringen av oppgaven er beskrivelsen av systemet en oversiktlig måte å ha kontroll på om punktene som er definert er oppnådd eller ikke. Systembeskrivelsen er videreutviklet og kartlagt som måleparametre og krav i tabellene for produktkravspesifikasjoner 5.6 og 5.8 fremvist i kapittel 5.3 Konseptutvikling.

Tabell 5.4: Systembeskrivelse

<b>Systembeskrivelse</b>	
<b>Hakenøkkel</b>	<b>Muttertrekkerverktøy</b>
<b>Funksjonelt</b>	
Verktøyet skal passe den aktuelle skruen	
Kan vris minst en halv omdreining	Kan klikkes på en $\frac{1}{2}$ " muttetrekker
Man kan enkelt løsne skruen ved håndkraft	Tåler kreftene som muttetrekkeren utsetter verktøyet for
Tåler det aktuelle momentet som skruen er tiltrekket med	
<b>Betjening</b>	
Være enkel å ta i bruk	
Betjenes av opplært personell	
Mekaniker slipper å fjerne indre ledninger	Mekaniker må fjerne indre ledninger
<b>Produksjon og miljø</b>	
Produseres av arbeidere med fagbrev	
Lavt utslipp ved produksjon	
Lave produksjonskostnader	
Produksjon av ett ferdig eksemplar av hvert verktøy før 20. Mai er ønskelig	
Produksjon av fem enheter av hvert verktøy, ett per Bydue Verksted i Norge	
<b>Design</b>	
Har åpning i enden	Designes for å utnytte overflater som kraftoverføring
Behagelig håndtak	
Vinklet mellom arbeidsstykket og håndtak	Robust konstruert som en eller flere deler og eventuelle sammenføyninger
Kan henges opp på verktøyveggen	
<b>Sikkerhetskrav</b>	
Ingen skarpe kanter	
Neglisjerbare antall skader over tid på personell under bruk	
<b>Teknisk</b>	
Materialvalget baseres på lave produksjonskostnader og høy styrke	
Vekten bør være under 2 kg	Vekten bør være under 0,5 kg

## Systemfeil og Årsaksanalyse

Årsaksanalysen som er benyttet er *Design & Prosess FMECA*. I figur ?? er analysen fremstilt med de systemfeilene som inngår og tilhørende potensielle feil-modus og effekter. Deretter er vurderingene for sannsynligheten og konsekvensen av den gitte systemfeilen angitt på en skala fra 1 til 4. Når disse målene er angitt vil årsakene av systemfeilen presenteres, hvilke tilgjengelig kontroller som finnes for å minke fremkomsten og til slutt blir det presentert hvilke anbefalte og utførte handlinger som er tatt for seg. Design & Prosess FMECA er en forstudie til konseptutviklingen som blant annet kan gi gode løsninger for designalternativ og redusere risiko for systemfeil. Samtidig vil analysen forhindre uforutsette problemer som kan oppstå under produksjon og betjening.

Til slutt i analysen er kritikaliteten oppgitt som produktet av sannsynligheten og konsekvensen av systemfeilen. Deretter kategoriseres risikoene i en risikoanalyse etter hvor kritiske disse er. Nummeret på den angitte systemfeilen oppgitt i FMECA er plottet inn i matrisen 5.4 etter graden av kritikalitet. I representasjonen presenteres tallet på kritikaliteten og dens angitte plass i systemet. I resultater fremstilles prioritetsrekkefølgene og resultatene av analysen.

Design & Proses FMECA						
#	Produkt navn	Systemfeil	Potensiell feilmodus	Potensielle feileffekter	SEVERITY (S) Konsekvens (1 - 4)	OCCURRENCE (O) Sannsynlighet (1 - 4)
Nr.	Hvilket produkt skal analyseres?	På hvilken måte feiler produktet med å utføre den ønskelige funksjon?	Hva kan være årsaken til feilen?	Hva er konsekvensen for kunden hvis denne feilen ikke forhindres eller korrigeres?		
1	Hakenøkkel	Verktøyet tilfører ikke nok krefter	Verktøyets design er ikke tilpasset den aktuelle belastningen	Mekaniker får ikke løsnet skruen	3	1
2	Hakenøkkel & muttertrekker-verktøy	Verktøyet tåler ikke skrue- belastningen	Verktøyets materiale, sammenføyning eller design er for svak	Verktøyet kan svikte under bruk	4	2
3	Hakenøkkel & muttertrekker-verktøy	Pinnene som overfører kraften "hopper ut" av sporene i skruen	Man har et lite område i form av tre spor i skruen som verktøyet må passe inn i	Verktøyet (og skruen) blir sløv, slitt og ubrukelig om problemet vedvarer	3	3
4	Muttertrekker verktøy	Verktøyet tåler ikke kreftene maskinen utsetter den for	Verktøyets kobling mellom kopp og maskin er ikke tilpasset kraften muttertrekkeren avgir	Maskinen som verktøyet kobles på kan skape større skade enn forventet	2	2
#	Potensielle årsaker	Gjeldende kontroller	Anbefalte handlinger	Handlinger utført	CRITICALITY = S • O Kritikaliteten (1 - 16)	
Nr.	Hva får trinnet, endringen eller funksjonen til å gå galt?	Hvilke kontroller finnes som enten forhindrer eller oppdager feilen?	Hva er de anbefalte handlingene for å redusere forekomsten av årsaken eller forbedre deteksjonen?	Hvilke handlinger ble eller vil bli utført for å redusere/forhindre forekomsten?		
1	Feile antakelser og beregninger på tiltrekningskraften	Design study i Solidworks	Grundig sjekk og beregning av tilgjengelig data på lignende skruer	Design study som optimaliserer ulike dimensjoner ved riktig belastning	3	
2	Svakt verktøy, materialet eller kritisk belastning på deler i designet	FEM-analyse i Solidworks	Simuleringer med nøyaktige valg av initialverdier og aksepterte materialer	Presis bruk av riktige lasttilfeller på FEM-Analyser	8	
3	Designet av påkoblingen mellom verktøy og skrue er ikke optimalt	Kontrollsjekk med bruk av 3D-printet modell	3D-printing av modellen og testing gir indikasjon på om det passer skruen	3D-printing og testing av endelig konseptvalg	9	
4	Kreftene en muttertrekker avgir er større enn antatt	Grundig kontrollering og faktasjekk av maskinens ytelse	Finne ut av hvilken muttertrekker maskin som skal benyttes på verktøyet og simuler hendelsen	Sjekk om verktøyet tåler momentet ved muttertrekkerens maksimale ytelse	4	

Figur 5.3: Design & Proses FMECA

Representasjon					
Konsekvens	4	4	8	12	16
	3	3	6	9	12
	2	2	4	6	8
	1	1	2	3	4
		1	2	3	4
		Sannsynlighet			

Resultater					
Konsekvens	4		2		
	3	1		3	
	2		4		
	1				
		1	2	3	4
		Sannsynlighet			

Figur 5.4: Risikoanalyse

## Dataanalyse

I gjennomføringen av dataanalysen vil det bli utført eller vises til handlinger som er gjort for å redusere hver av systemfeilene nevnt i årsaksanalysen. Som illustrert i risikoanalysen er det mest kritisk med systemfeil nr. 2 og 3. For disse systemfeilene bør det gjøres preventive handlinger for å unngå at feilen oppstår. Det er derfor lagt mest vekt på å forhindre at disse oppstår til fordel for systemfeil nr. 1 og 4.

Den første systemfeilen som ble presentert var at hakenøkkelen ikke tilfører nok krefter. Belastningen vil da være for høy for en mekaniker slik at personen ikke får strammet skruen. Dette har sammenheng med at kraften som påføres håndtaket på hakenøkkelen ikke overstiger tiltrekningsmomentet til skruen. For å redusere risiko for at en slik feil kan oppstå bør det gjøres grundige beregninger og designe lengden på håndtaket etter disse. Beregningene som er gjort er beskrevet i kapittel 5.3.6: Beregninger.

Systemfeil nr. 2 var av høy kritikalitet og er derfor et viktig punkt å ta for seg. Feilen går ut på at verktøyet kan svikte under bruk og derfor bli ubrukelig til senere bruk. For å redusere svikt under bruk er det gjort beregninger i kapittel 5.4.1 på skruens maksimale tiltrekningsmoment og det samme er gjort i FEM-analysen i kapittel 5.4.2. Analysen skal vise at verktøyet er sterkere enn skruen og vil derfor ikke svikte før skruen svikter. Beregninger og statiske FEM-analyser er systematisk beskrevet i hhv. *vedlegg K: Beregninger* og *vedlegg L: Teknisk rapport*.



I likhet med systemfeil nr. 2 er feil nr. 3 av vesentlig kritikalitet, og handlinger er derfor grundig foretatt. 3D-printede versjoner av verktøyene ble produsert og testet i kapittel 5.3.1: Hakenøkkel og 5.3.2: Muttertrekker-verktøy. Det ble avklart at alle designkonsepter som kan være aktuelle for endelig produksjon er passende til bruk. Dette vil forhindre forekomsten av systemfeilen siden man vet at verktøyet passer. Likevel er det en sjanse for at verktøyet vil bli tæret på og sløv under bruk. Dette kan forekomme ved at for eksempel kanter og hjørner på verktøyet blir avrundet ved bruk og over tid vil det slites ut. Det avhenger av selve bruken av verktøyet og den eneste måten å redusere en slik risiko er å følge opp at verktøyet blir brukt på en hensiktsmessig måte.

Den siste systemfeilen er at verktøyet ikke tåler kreftene som utsettes på den av muttertrekkeren. For å analysere om dette kan være et problem er det vesentlig å vite ytelsene til muttertrekkeren. Det er funnet ut at muttertrekkeren som det skal gås til innkjøp av er en Makita 18-volts muttertrekker. Fra tekniske spesifikasjoner har muttertrekkeren et maks moment på 70 Nm - 120 Nm [33]. Det vil gjøres simuleringer og beregninger på om dette momentet er innenfor tålegrensen til det endelige konseptet.

## 5.3 Konseptutvikling

I sammenheng med teorien presentert i kapittel 3 vil konseptutviklingen bestå av en kombinasjon av utvikling ved observasjon og testing. "Rapid prototyping" er iverksatt for å få en oversikt tidlig over hvordan et verktøy blir påvirket av bruksmåten den blir utsatt for. På denne måten kan det tidlig identifiseres styrker og svakheter med konseptet.

### 5.3.1 Hakenøkkel

Hakenøkkelen er et verktøy som skal gjøre det raskt for en mekaniker å få strammet skruen for å fikse slark. Med hakenøkkelen trengs det bare å åpne låsen og deretter er det tilgang til skruen. Brukeren av hakenøkkelen vil være mekanikere hos Bydue som trenger å stramme skruen. I dette kapitlet vil hele konseptutviklingen av hakenøkkelen bli presentert.

#### Bruksmåte og brukssituasjon

Måten verktøyet brukes på vil være som en vanlig fastnøkkel. Verktøyet skal være formet slik at man får et naturlig grep ved bruk og skal være en tilpasset størrelse. Man må også ta hensyn til tiltrekningsmomentet på skruen ettersom det kan oppstå skader i gjengene om dette blir for stort. Derfor må styrken på verktøyet analyseres. I tillegg er det forutsatt at mekanikeren har styrken til å stramme og løsne skruen med et tilstrekkelig momentet. Her vil også armen til verktøyet spille en rolle for momentet som påføres. Som et alternativ for en slik situasjon hvor det kan være utfordrende å løsne skruen er muttertrekker-verktøyet et bedre alternativ. Ved slark i framgaffel kan problemet løses ved å åpne låsen slik at skruen blir mulig å stramme. Brukssituasjonen for dette verktøyet er ved stramming av skruen uten at frakobling av ledninger er nødvendig.

## Prototyping og testing

Den første prototypen av hakenøkkelen ble konstruert av en fastnøkkel som ble modifisert. Videre ble det boret tre hull i fastnøkkelen som traff åpningene i skruen. To av hullene ble boret hadde en diameter på ca. 6mm mens det siste hullet hadde en diameter på 5mm. Grunnen til at man hadde ulik diameter på hullene var fordi det var ønskelig å teste ut både å sveise pinnene til fastnøkkelen og ha en presspasning i samme prototype. Det ble brukt tre pinner kuttet fra en 5mm Unbraco-nøkkel, hvorav to ble sveist til fastnøkkelen og en ble presset på plass.

Formålet med denne prototypen var å teste om både sveis og presspasning var gode løsninger for festing av pinnene. det var også ønskelig å visualisere den nødvendige fysiske størrelsen, brukervennligheten og styrken på det endelige produktet.



Figur 5.5: Prototype - Hakenøkkel

Resultatene for testingen av prototypen var lovende. Som nevnt ble pinnene både sveist og presset på plass, begge viste seg å være gode løsninger for videre utvikling av konseptet.

Brukervennligheten av produktet var ikke slik man hadde påtenkt. Hakenøkkelen i seg selv var behagelig å holde, og enkel å bruke, men plasseringen på skruen og komponentene rundt skuren gjorde at man vurderte å endre på designet for å få en bedre brukervennlighet av produktet.

Når prototypen ble tatt i bruk måtte deler av elsparkesykkelen bli holdt ned av noen andre enn vedkommende som brukte proto typen. Dette viste til at dersom det endelige produktet hadde blitt designet som prototypen, ville to personer vært nødvendig for å utføre arbeidet til en person. Da ble det sett at det kunne være et behov for å innføre en vinkel på hakenøkkelen slik at det samme problemet som oppstod under testingen kan unngås.

Nærmere produksjonstart ble det også laget nye prototyper med formål om å teste formen til verktøyet i brukssituasjon. Den første prototypen viste et behov for en vinklet hakenøkkel for bedre brukervennlighet. Dette ble implementert i to nye konsepter med en vinklet hakenøkkel og en hengslet hakenøkkel som ble 3D-printet i plast for testing.



Figur 5.6: 3D-printet prototype - Hakenøkkel

## Spesifikasjoner

Ved utviklingen av et produkt følger det gjerne med krav og behov som må tilfredsstilles. Flere aktører bør ta del i prosessen slik at brukeren av verktøyet blir fornøyd med kvaliteten. Derfor er det listet opp brukerkrav i tabell 5.5 der aktører har gitt en karakter mellom 1 og 6 hvor vidt de anser viktigheten til kravene som er oppgitt.

Tabell 5.5: Brukerkravspesifikasjon - Hakenøkkel

Brukerkrav - Hakenøkkel		Relativ viktighet (1-6)		
Nivå 1	Nivå 2	Produsent	CMO	Mekaniker
<b>Funksjonskrav</b>	Lav vekt	2	3	4
	Sikker funksjon	6	4	5
	Lite vedlikehold	6	6	6
	Høy styrke	6	6	6
<b>Omgivelseskrav</b>	Korrosjonsmotstandig	4	2	2
	Tåler slag	4	3	3
	Ikke bli sløv	6	5	5
	Lang levetid	5	6	5
<b>Operasjonelle krav</b>	Behagelig håndtak	6	5	5
	Kan vries en halv omdreining	1	4	5
	Lett å bruke	5	5	5
	Minimere forarbeidstiden	1	3	5
<b>Sikkerhetskrav</b>	Ikke utsett personell for skade	6	3	3
	Driftsikker	6	6	6
	Fail-safe	5	4	4
<b>Dokumentasjonskrav</b>	Brukermanual	1	3	1
<b>Kostnader</b>	Lave utviklingskostnader	3	4	4
	Lave produksjonskostnader	4	3	4

Med hensyn på de karakterene som er gitt av brukerkravspesifikasjonen ble det utformet produktkravspesifikasjoner for verktøyet i tabell 5.6. Brukerbehov er også her i fokus men er mer teknisk spesifisert. Spesifikasjonene angir en presis beskrivelse av hvilke kriterier verktøyet skal og bør oppnå. Dette er viktige punkter som skal sette grunnlaget for videre utvikling og bør ikke revideres gjennom PU-prosessen.

Tabell 5.6: Produktkravspesifikasjon - Hakenøkkel

Nr.	Beskrivelse	Verdi	Skal	Bør
1.	<b>Funksjonskrav</b>			
1.1.	Vekt	$< 2kg$	x	
1.2.	Passer den aktuelle skruen		x	
2.	<b>Markedskrav</b>			
2.1.	Være enkel å ta i bruk		x	
3.	<b>Operasjonelle krav</b>			
3.1.	Betjenes av opplært personell			x
4.	<b>Standardkrav</b>			
4.1.	Følge forskrift om utførelse av arbeid [34]		x	
5.	<b>Produksjonskrav</b>			
5.1.	Produseres av arbeidere med kursbevis			x
5.2.	Antall produserte enheter per 20/05/2022	3	x	
5.3.	Antall produserte enheter totalt	5	x	
6.	<b>Designkrav</b>			
6.1.	Ha åpning i enden		x	
6.2.	Behagelig håndtak			x
6.3.	Kan henges opp på verktøyveggen		x	
7.	<b>Brukerkrav</b>			
7.1.	Tåle det aktuelle momentet	323Nm	x	
7.2.	Mekaniker slipper å demontere framgaffel		x	
8.	<b>Sikkerhetskrav</b>			
8.1.	Ingen skarpe kanter		x	
8.2.	Personskader fra enheten	$< 1skade/år$		x
9.	<b>Materialkrav</b>			
9.1.	Materialvalg (korrosjonshastighet)	$< 0,01mm/år$		x
9.2.	Flytegrense	$> 550Mpa$	x	
9.3.	Overflatebehandling			x
10.	<b>Miljøkrav</b>			
10.1.	Lavt utslipp ved produksjon			x
11.	<b>Kostnadskrav</b>			
11.1.	Produksjonskostnader	$< 1000kr$		x
12.	<b>Dokumentasjonskrav</b>			
12.1.	Inneholder brukermanual			x
13.	<b>Produktlivkrav</b>			
13.1.	Levetidsgaranti	$> 5år$		x

## Konseptanalyse

I figur 5.7 presenteres de ulike genererte konseptene for hakenøkkelen, plantegningene for alle konseptene er presentert fra *vedlegg B* til og med *vedlegg E*.



Figur 5.7: Konseptene for Hakenøkkel

### Konsept 1: Hakenøkkel

Det første konseptet som ble generert var en standard hakenøkkel med tre pinner som passer til hullene på den aktuelle skruen. Testing ved prototyper viste at det var nødvendig med en vinkel på hakenøkkelen som nevnt under prototyping og testing i kapittel 5.3.1. Dermed ble det konkludert at dette konseptet ikke var verdt å gå videre med.

## Konsept 2: Vinklet hakenøkkel

Etter det første konseptet ble det utviklet en vinklet hakenøkkel. Dette konseptet virket lovende, og var lenge ansett som en godt valg av konsept for produksjon. Etter å ha diskutert med Odd-Henrik Krogstad fra ASKRO fikk man et innblikk i produksjonen av verktøyet fra en produsent sitt ståsted. Produksjon av en slik hakenøkkel hadde blitt gjort gjennom sponfraskillende produksjonsmetoder og det hadde ført til store mengder med bortkastede materialer. Dette er noe som ikke hadde vært bærekraftig eller økonomisk fornuftig og dermed ble det konkludert at dette konseptet ikke skulle bli produsert.

## Konsept 3: Teleskop-hakenøkkel

Det tredje konseptet som ble generert var en teleskop-hakenøkkel. Dette konseptet inneholdt et teleskop håndtak som innebærer justering av lengden på armen av hakenøkkelen. Dette konseptet inneholdt også en hengsel på enden av hodet til hakenøkkelen slik at vinkelen mellom arm og arbeidsstykket kan justeres mellom 0 til ca. 60 grader. Teleskopmekanismen var for avansert til at dette konseptet kunne bli valgt ut for endelig produksjon.

## Konsept 4: Hengslet hakenøkkel

Tilslutt vurderes en hengslet hakenøkkel bestående av tre deler i en sammenkobling. Armen til hakenøkkelen, hodet, og en pinne som forbinder armen og hodet på hakenøkkelen i en hengsletmekanisme. Dermed er dette konseptet en kombinasjon av konsept 1 og konsept 3 med unntak av teleskopmekanismen som gjør at armens lengde kan justeres. Det vil si at ved bruk av dette konseptet kan vinkelen justeres på hakenøkkelen, men samtidig unngår ulempene ved produksjon som i konsept 2.

### 5.3.2 Muttertrekkerverktøy

I tillegg til en hakenøkkel var det et ønske fra bedriften å utvikle et verktøy som kan benyttes med muttertrekker. For å bruke dette verktøyet kreves det mer jobb for en mekaniker siden alle innvendige ledninger som stikker ut av skruen må frakobles. Brukeren av muttertrekkerverktøyet er mekanikere på Bydue som trenger å få demontert skruen. I dette kapittelet vil hele konseptutviklingen av muttertrekkerverktøyet bli presentert.

#### Bruksmåte og brukssituasjon

Muttertrekkerverktøyet skal utvikles med riktige mål slik at den enkelt kan festes på en muttertrekker som en hvilken som helst annen kopp til muttertrekker. Pipen vil kreve høy styrke på grunn av kreftene den blir utsatt for fra muttertrekkeren. Fordelen med dette konseptet er at man ikke behøver anstrengelse ved stramning av skruen, da en maskin utfører arbeidet.

Situasjonen dette verktøyet vil bli brukt er når skruen sitter for hardt fast til at hakenøkkel kan brukes eller når skruen må løsnes helt av. Når skruen er frakoblet kan framgaffel demonteres fordi den er koblingselementet mellom rattstamme og gaffel. Det er da altså nødvendig å frakoble alle ledninger i rattstammen siden ledningene stikker ut fra et hull på gaffelen. Ved enkelte tilfeller kan skruen være for hardt tilstrammet eller gjengene være smurt på med mye gjengelåsning. Det kan da være problemer med å få løsnet skruen, og ved disse situasjonene er mutterverktøyet et godt verktøy å ha tilgjengelig.

#### Prototyping og testing

For å teste form, funksjon og nødvendig styrke for muttertrekkerverktøyet ble det produsert en prototype på verksted. Som en enkel og hurtig utviklet prototype ble den produsert ved å sveise tre pinner på en stålplate. For å forsikre om god passform ble det så sveiset fast en gammel 1/2" pipe til stålplaten som videre kunne kobles på muttertrekker for testing.

Som vist i figur 5.8 ble ikke produksjonen av den prototypen god nok til å tåle styrken påført ved testing. Ved forsøk på å bruke prototypen oppstod det brudd i sveisen. Med tanke på kvaliteten av sveisen kan det uansett antas at en bedre produksjonsprosess vil føre til at dette konseptet tåler belastningen. Til tross for mislykket testing viste prototypen at form og funksjon var god. Dermed kan det konkluderes at dette vil være et godt konsept å videreutvikle.





Figur 5.8: Prototype - Muttertrekker

Etter problemene ved den første prototypen ble det gjort oppdateringer på designet og det vurderes å produsere verktøyet i en del. Dette kan fjerne svakheter i sammenføyning og føre til at hele verktøyet kan maskineres. Konseptet ble produsert ved 3D-printing for å teste form og funksjon. Dette ga gode resultater og det ble besluttet å gå videre med dette konseptet.



Figur 5.9: 3D-printet prototype - Muttertrekkerverktøy

## Spesifikasjoner

Tabell 5.7: Brukerkravspesifikasjon - Muttertrekkerverktøy

Brukerkrav - Muttertrekkerverktøy		Relativ viktighet (1-6)		
Nivå 1	Nivå 2	Produsent	CMO	Mekaniker
<b>Funksjonskrav</b>	Lav vekt	2	3	4
	Lite vedlikehold	5	6	6
	Sikker funksjon	6	6	5
	Høy styrke	6	6	6
<b>Omgivelseskrav</b>	Korrosjonsmotstandig	3	2	2
	Tåler slag	4	3	3
	Ikke bli sløv	6	5	5
<b>Operasjonelle krav</b>	Lang levetid	6	6	6
	Tåler belastningen fra maskinen	6	6	6
	Lett å bruke	5	5	5
	Minimere forarbeidstiden	1	3	5
<b>Sikkerhetskrav</b>	Ikke utsett personell for skade	6	3	3
	Driftsikker	6	6	6
	Fail-safe	5	4	4
<b>Dokumentasjonskrav</b>	Brukermanual	1	3	1
<b>Kostnader</b>	Lave utviklingskostnader	3	4	4
	Lave produksjonskostnader	4	3	4

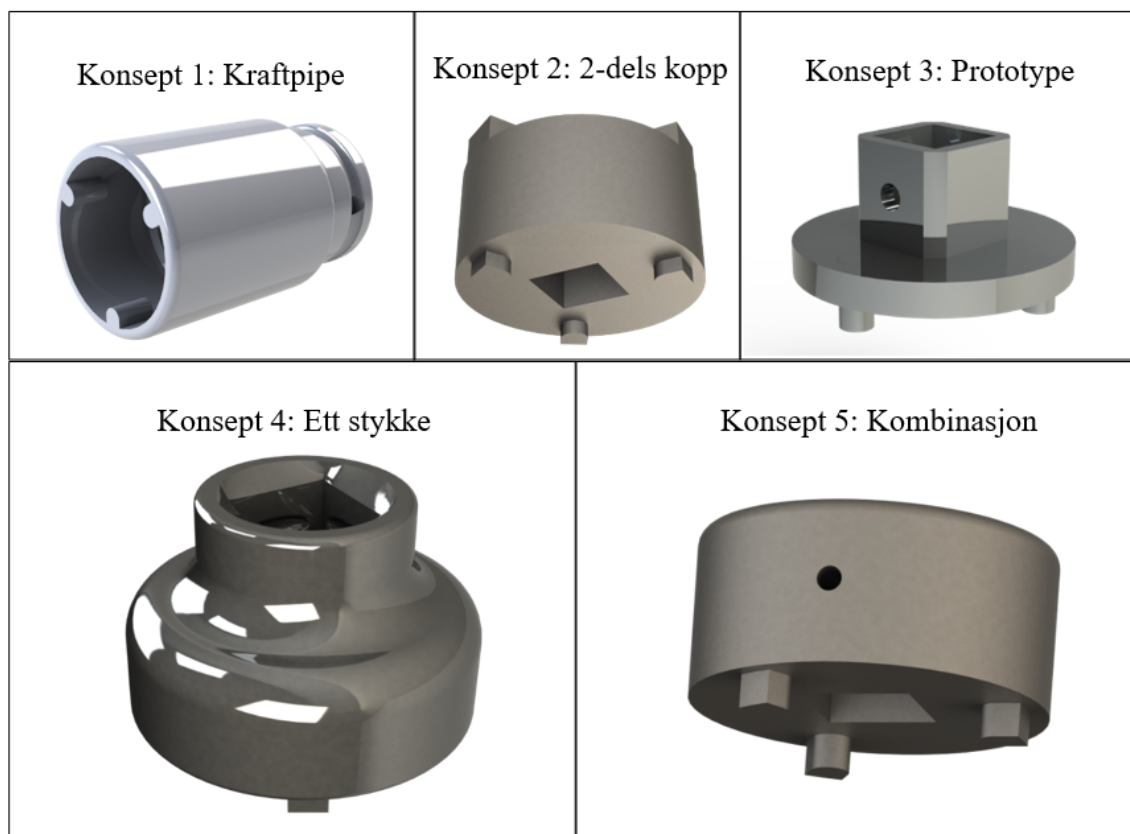
På samme måte som i spesifikasjonene av hakenøkkelen ble det utformet produktkravspesifikasjoner for muttertrevkerkerverktøyet i tabell 5.8 av videreutviklede spesifikasjoner hentet fra tabell 5.7.

Tabell 5.8: Produktkravspesifikasjon - Muttertrekkerverktøy

Nr.	Beskrivelse	Verdi	Skal	Bør
1.	<b>Funksjonskrav</b>			
1.1.	Vekt	$< 0,5kg$	x	
1.2.	Passer den aktuelle skruen		x	
1.3.	Klikkes på en muttertrekker		x	
2.	<b>Markedskrav</b>			
2.1.	Være enkel å ta i bruk		x	
3.	<b>Operasjonelle krav</b>			
3.1.	Betjenes av opplært personell			x
3.2.	Tåler kreftene muttertrekkeren utsetter den for	330Nm	x	
4.	<b>Standardkrav</b>			
4.1.	Følger forskrift om utførelse av arbeid [34]		x	
5.	<b>Produksjonskrav</b>			
5.1.	Produseres av arbeidere med fagbrev			x
5.2.	Antall produserte enheter per 20.05.2022	1	x	
5.3.	Antall produserte enheter totalt	5	x	
6.	<b>Designkrav</b>			
6.1.	Passe til den aktuelle muttertrekkeren		x	
7.	<b>Brukerkrav</b>			
7.1.	Tåle det aktuelle momentet	323Nm	x	
7.2.	Mekaniker må demontere framgaffel		x	
8.	<b>Sikkerhetskrav</b>			
8.1.	Ingen skarpe kanter		x	
8.2.	Personskader fra enheten	$< 1skade/år$		x
9.	<b>Materialkrav</b>			
9.1.	Materialvalg (korrosjonshastighet)	$< 0,01mm/år$		x
9.2.	Flytegrense	$> 550Mpa$	x	
9.3.	Overflatebehandling			x
10.	<b>Miljøkrav</b>			
10.1.	Lavt utslipp ved produksjon			x
11.	<b>Kostnadskrav</b>			
11.1.	Produksjonskostnader	$< 1000kr$		x
12.	<b>Dokumentasjonskrav</b>			
12.1.	Inneholder brukermanual			x
13.	<b>Produktlivkrav</b>			
13.1.	Levetidsgaranti	$> 5år$		x

## Konseptanalyse

I figur 5.10 presenteres de ulike genererte konseptene for muttetrekkerverktøyet, plantegningene for alle konseptene er presentert i vedlegg F til og med vedlegg J.



Figur 5.10: Konseptene for Muttetrekkerverktøy

### Konsept 1: Kraftpipe

For muttetrekkerverktøyet var oppgaven fra bedriften å utvikle et verktøy som kunne brukes på en 1/2" muttetrekker. Det første konseptet hentet derfor mye inspirasjon fra en vanlig pipe som brukes på muttetrekker. Dette konseptet vil fungere dårlig ettersom formen og plasseringen til skruen gjorde det vanskelig å bruke et slikt design. Rundt skruen er det begrenset med plass og det vil være utfordrende å lage en pipe som er tynn nok til å få plass samtidig som den er sterk nok til å tåle kreftene.

### Konsept 2: 2-dels kopp

Etter samtaler med Anders Flaten hos Protolab ble konsept 2 designet med et formål om å være enkelt og solid. Ved å sveise tre pinner fast i et rundt stålstykk vil det gi et enkelt design med god funksjonalitet. Dette vil også være svakheten i designet, da en sammenføyning alltid vil være en risiko for et svakt punkt.

### Konsept 3: Prototype

I konsept 3 ble det sett på muligheten for å produsere muttertrekkerverktøyet ved andre produksjonsmåter enn maskinering. Etter råd fra Detlef Blankenburg hos NTNU ble konsept 3 designet med et mål om å få produsert en prototype samtidig som det ble utforsket nye variasjoner av designet. Designet passer godt som en enkel prototype produsere selv på et verksted, men som ferdig produkt kan konseptet bli svak med høye krefter inkludert. Til tross for at det ble produsert en prototype lik dette designe ble det konkludert med at det ikke var et godt nok konsept da skarpe kanter og mange sammenføyninger gir et verktøy med mange kritiske punkt.

### Konsept 4: Ett stykke

Sent i oppgaven ble det tatt kontakt med flere potensielle produsenter av verktøyet. Frode Aasgård hos NOMEK kom da med en anbefaling om å lage et konsept i en del. Dette vil gjøre verktøyet sterkere og enklere å produsere dersom man har tilgang til det nødvendige utstyret. Det ble dermed laget konsept 4 i en solid del som må produseres ved komplisert maskinering.

### Konsept 5: Kombinasjon

Etter analyse av de ulike konseptene ble det tydelig at konsept 4 var et godt konsept å videreutvikle mot produksjon. Spesielt ideen om å produsere verktøyet i en solid del var ønskelig å gå videre med. Etterhvert som man nærmet seg produksjon så man og fordelene i et enkelt design og det ble besluttet å gå over til et konsept som kombinerer simplisiteten til konsept 2 og det solide designet i konsept 4.

### 5.3.3 Produksjon og kostnader av konseptene

Som følge av den komplekse geometrien på konseptene og manglende tilgang på nødvendig utstyr ble det tatt kontakt med flere potensielle produsenter da endelig konsept skulle bestemmes. I møtene med ASKRO, NOMEK og VEPA ble det fastsatt hvilke produksjonsmetoder som var nødvendig. Et prisanslag på produksjon av muttertrekkerverktøyet ble gitt av VEPA AS til 2 460,- per enhet noe som var over budsjettet gitt i tabell 5.8. I tillegg kommer utgiftene med fremskaffelse av emne med ønsket materiale til produksjon.

Hovedgrunnene til at verktøyet vil komme på denne prisen var produksjonsmetoden og arbeidstidene som blir utført hos produsent. Alle konseptene for muttertrekkerverktøyet krevde trådnist for koblingen mellom verktøyene og muttertrekkeren. Denne produksjonsmetoden er ikke økonomisk forsvarlig i iht. produktkravspesifikasjonene. For å minimere kostnader på verktøyene ble det jobbet med en løsning som ikke innebærer trådnistning som produksjonsmetode.

Et prisanslag for produksjon av hengslet hakenøkkel ble satt til 2 716,- per enhet, som var over budsjettet satt tidlig i tabell 5.6. Dette prisanslaget gjelder også uten materialkostnad. Med hakenøkkel vil det være nødvendig med et stort og langt emnestykke for produksjon av håndtaket. Det ville derfor blitt et større tillegg i prisen for fremskaffelse av emner.

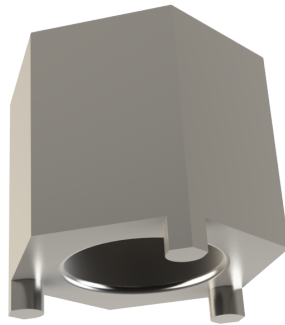
Produksjon av hakenøkkel ville krevd sponfraskillende prosesser der store mengder material må fjernes. Det kunne også vært nødvendig å bruke flere prosesser for å sammenstille hakenøkkel ettersom flere av konseptene bestod av flere deler. Fra en produsent sitt ståsted ville dette ha krevd mye manuelt arbeid og oppfølging, som hadde resultert i store økonomiske utgifter. Dermed ville heller ikke produksjon av hakenøkkel vært økonomisk forsvarlig.

Samtlige produsenter bidro med egne ideer og løsninger på hvordan konseptene kunne forbedres med tanke på kompleksitet ved produksjon. Spesielt viktig ble møtet med NOMEK hvor det ble konkludert at konseptene for hakenøkkel og muttertrekkerverktøyet kunne kombineres. Dermed produseres det ett produkt som kombinerer bruksmetodene for de tidligere verktøyene i ett konsept. Ved å designe et slikt konsept kan produksjonskvantiteten halveres og kostnader reduseres. Dermed ble det konkludert at det skulle designes et endelig konsept der hakenøkkel- og muttertrekkerverktøyene kombineres.

### 5.3.4 Endelig konsept: 6-kant koblingsverktøy

Det endelige konseptet ble påtenkt som en kombinasjon av både muttertrekkerverktøyet og hakenøkkelen med utvalgt design som tilfredsstillende de angitte kravene for begge verktøy. Det ble påtenkt å lage en kobling mellom skruen og kopp til muttertrekker som har 6-kant utvendig form slik at den passer inne i koppen. Samtidig kan fastnøkkel benyttes som en arm for manuell strømming av skrue.

På grunn av at ledningene er til stede er det utformet et hull i midten av koblingsverktøyet. I hullet kan ledninger stikkes inn ved å føre koblingen ovenfra og ned. Mekanikerene må altså gjøre en ekstra jobb ved å skru ut 6 skruer og løsne bremsewire og en ledning. Dette tilfører mer jobb for en mekaniker enn hva en hakenøkkel hadde bidratt med, men reduksjonen av kostnaden på verktøyet veier opp for dette.



Figur 5.11: Endelig konsept

### Produksjon og kostnad

Fra produsent ble koblingsverktøyet prissatt til kun 422,- per enhet ved kjøp av fem slike verktøy. Det var en drastisk reduksjon av pris i forhold til tidligere tilbud på de to andre verktøyene. Dette kommer av at verktøyet er mindre i fysisk størrelse og at designet er mindre komplekst. Samtidig hadde produsenten et 6-kant stål av riktige dimensjoner på lager i AISI-304, dermed ble materialet som verktøyet skal produseres i AISI-304. Som kvalitetsjekk av det endelige konseptet i AISI-304 ble det utført simuleringsanalyser av verktøyet i *Vedlegg L: Teknisk rapport av utvalgte konsepter og skrue*.





Tabell 5.9: Produktkravspesifikasjoner - Endelig verktøy

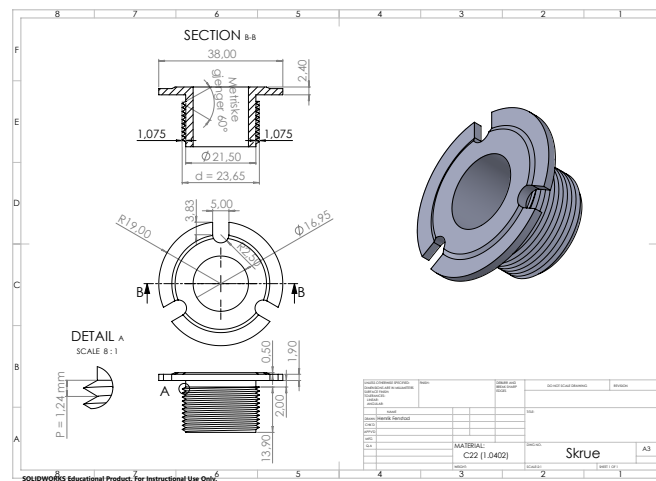
Nr.	Beskrivelse	Verdi	Skal	Bør	Resultat
<b>1.</b>	<b>Funksjonskrav</b>				
1.1.	Vekt	< 0,2 kg	x		70 gram
1.2.	Passer den aktuelle skruen		x		Ja
1.3.	Passer en 32mm pipe til muttetrekker		x		Ja
1.4.	Passer en 32mm fastnøkkel		x		Ja
<b>2.</b>	<b>Markedskrav</b>				
2.1.	Være enkel å ta i bruk		x		Ja
<b>3.</b>	<b>Operasjonelle krav</b>				
3.1.	Betjenes av opplært personell			x	Følges opp
3.2.	Er sterkere enn skruen den skal løsne	> 65 Nm	x		Ja
<b>4.</b>	<b>Strandardkrav</b>				
4.1.	Følger forskrift om utførelse av arbeid [34]		x		Ja
<b>5.</b>	<b>Produksjonskrav</b>				
5.1.	Produseres av arbeidere med fagbrev			x	Ja
5.2.	Antall produserte enheter per 20/05/2022	1	x		Ja
5.3.	Antall produserte enheter totalt	5	x		Ja
<b>6.</b>	<b>Brukerkrav</b>				
6.1.	Mekaniker må løsne ledninger før bruk		x		Ja
<b>7.</b>	<b>Sikkerhetskrav</b>				
7.1.	Ingen skarpe kanter		x		Ja
7.2.	Personskader fra enheten	< 1 skade / år		x	Følges opp
<b>8.</b>	<b>Materialkrav</b>				
8.2.	Materialvalg (korrosjonshastighet)	< 0,01 mm/år		x	Ja
8.3.	Flytegrense	> 170 Mpa	x		206 MPa
8.4.	Overflatebehandling			x	Nei
<b>9.</b>	<b>Miljøkrav</b>				
9.1.	Lavt utslipp ved produksjon			x	Ja
<b>10.</b>	<b>Kostnadskrav</b>				
10.1.	Produksjonskostnader	< 1000 kr/stk		x	422/stk
<b>11.</b>	<b>Dokumentasjonskrav</b>				
11.1.	Inneholder brukermanual			x	Nei
<b>12.</b>	<b>Produktlivkrav</b>				
12.1.	Levetidsgaranti	> 5 år		x	Følges opp

## 5.4 Styrkeberegning

Under skal resultatene av styrkeberegningene som er blitt gjort for hånd presenteres. Deretter skal resultatene fra FEM-analysen legges frem.

### 5.4.1 Beregninger

I beregningen vil det benyttes et tiltrekningsmoment på 100 Nm for så å finne den jevnførende spenningen som oppstår i det svakeste punktet på skruen. Deretter finnes sikkerhetsfaktor ved å dele denne spenningen på flytegrensen til skruemateriale. Derav kan man finne det momentet som oppstår ved en sikkerhetsfaktor på 1. Dette momentet benyttes til videre beregninger av kapasiteten til verktøyet. I tabellene 5.11 og 5.13 blir disse resultatene presentert. Fullstendig utregning av resultatene presenteres i *Vedlegg K: Beregninger*.



Figur 5.13: Skruedimensjoner

Tabell 5.10: Initialverdier Skruer

Forklaring	Benevning	Verdi	Enhet
Initialmoment	$M_i$	100,00	Nm
Ytre diameter gjenger	$d$	23,65	mm
Indre diameter gjenger	$d_1$	21,50	mm
Midtre diameter	$d_2$	22,58	mm
Stigning	$P$	1,24	mm
Hulldiameter	$d_h$	16,95	mm
Flytegrense	$f_y$	210	MPa

Initialverdiene i tabellen 5.10 er hentet fra dimensjonene på skruen som vist på figur 5.13. Disse initialverdiene brukes i videre beregninger på skruen og resultatene er vist i tabell 5.11.

Tabell 5.11: Resultater Spenning i skruen

Forklaring	Benevning	Verdi	Enhet
Spenningsareal	$A_s$	137,40	mm
Arm	a	9,61	mm
Skjærkraft	V	10,40	kN
Skjærspenning	$t_s$	75,71	MPa
Polar tverrsnittsmodul	$W_p$	1197,57	$mm^3$
Torsjonspenning	$t_v$	83,50	MPa
Forspenningskraft	$F_a$	35,52	kN
Strekkspenning	s	258,49	MPa
Jevnførende spenning	$\sigma_j$	323,93	MPa
Sikkerhetsfaktor	FOS	0,65	
Maksimalt moment	$M_{max}$	65	Nm

Ut fra disse beregningene kom man frem til at sikkerhetsfaktor er lik 1 ved et moment på 65 Nm. Dette momentet brukes til videre styrkeberegninger av det endelige konseptet.

Tabell 5.12: Initialverdier Verktøy

Forklaring	Benevning	Verdi	Enhet
Moment	M	65,00	Nm
Høyde rektangel	$h_r$	1,29	mm
Høyde trekant	$h_t$	1,30	mm
Radius halvsirkel	r	2,25	mm
Radius verktøy	R	18,48	mm
Høyde pinne	$h_p$	3,00	mm
Høyde skrue	$h_s$	2,40	mm
Areal trekant	$A_1$	2,93	$mm^2$
Arealsenter	$y_{c1}$	0,87	mm
Areal rektangel	$A_2$	5,81	$mm^2$
Arealsenter	$y_{c2}$	1,95	mm
Areal halvsirkel	$A_3$	7,95	$mm^2$
Arealsenter	$y_{c3}$	3,54	mm
Tverrsnittsmodul 1	$W_{y1}$	1,10	$mm^3$
Tverrsnittsmodul 2	$W_{y2}$	4,35	$mm^3$
Tverrsnittsmodul 3	$W_{y3}$	9,80	$mm^3$

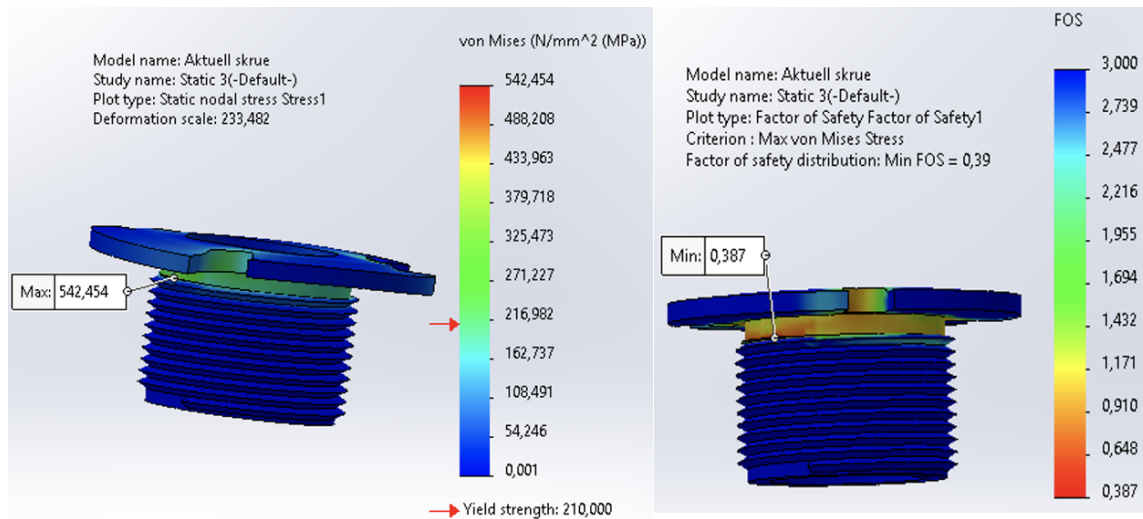
Initialverdiene på verktøyet viser flategeometrien for verktøyets tre pinner som er i kontakt med skruen og overfører kraften. Flategeometrien er beregnet med dimensjoner fra figur 5.12 gitt av teorien beskrevet i Kapittel 3.6.1: Beregning - Flategeometri. Videre vil disse verdiene benyttes for å finne spenningene som oppstår i pinnene. Resultatene av spenningsberegningene på verktøyet er vist i tabell 5.13.

Tabell 5.13: Resultater Spenning i Verktøyet

Forklaring	Benevning	Verdi	Enhet
Spenningsareal	$A_s$	16,68	$mm^2$
Felles arealsenter	$y_c$	2,52	mm
Arm skjær	$a_s$	15,96	mm
Skjærkraft	V	4,07	kN
Skjærspenning	$t_s$	81,37	MPa
Resultantkraft	$F_R$	1,36	kN
Arm bøy	$a_b$	1,80	mm
Bøyemoment	$M_b$	2,44	kNmm
Tverrsnittsmodul	$W_y$	15,25	$mm^3$
Bøyespenning	b	160,21	MPa
Jevnførende spenning	$\sigma_j$	213,38	MPa
Flytegrense	$f_y$	206,80	MPa
Sikkerhetsfaktor	FOS	0,97	

### 5.4.2 FEM-analyse

I dette kapitlet skal hovedpunktene fra FEM-analysen av det endelige konseptet legges frem. FEM-analysen vil først og fremst inneholde plott som viser hvor stor last man kan ha på skruen før den oppnår flyt. Deretter brukes denne lasten til videre analyse av konseptet for å se om verktøyet tåler mer enn skruen. Den fullstendige rapporten som FEM-analysen er hentet fra er vist i *vedlegg L: Teknisk rapport*.

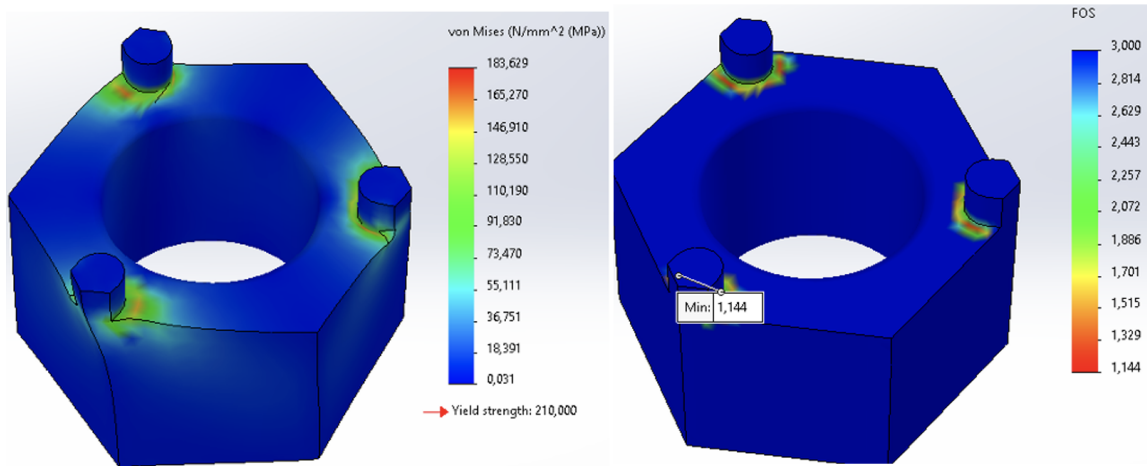


Figur 5.14: Spenninger og FOS på skruen

Som i beregningene gjort tidligere brukes det 100 Nm som utgangspunkt for å finne nødvendig moment som gir en sikkerhetsfaktor lik 1. Figur 5.14 viser til at den maksimale spenningen er på 542,5 MPa. Dette tilsvarer en FOS på 0,39 og maks moment blir da 39 Nm. Etersom maks moment i beregningene ble 65 Nm brukes denne verdien i videre simuleringer av verktøyet for å få konservative resultater.

### Statisk studie av konsept

Figur 5.18 viser at verktøyet tåler belastningene på 65 Nm, dermed uføres det en design studie med hensikt å optimalise verktøyet kapasitet.



Figur 5.15: Spenninger og FOS på verktøyet

### Design studie av konsept

Målet for design studien er å minimere spenninger og maksimere FOS ved å endre høyden til verktøyet. Konseptet hadde en initiell høyde på 20 mm. Det er ønskelig med så stor høyde som mulig, slik at arealet er tilstrekkelig ved bruk av en fastnøkkel.

Run  Optimization Total active scenarios: 18

**Variables**

Hayde	Range with Step	Min: 18mm	Max: 35mm	Step: 1mm
<a href="#">Click here to add Variables</a>				

**Constraints**

[Click here to add Constraints](#)

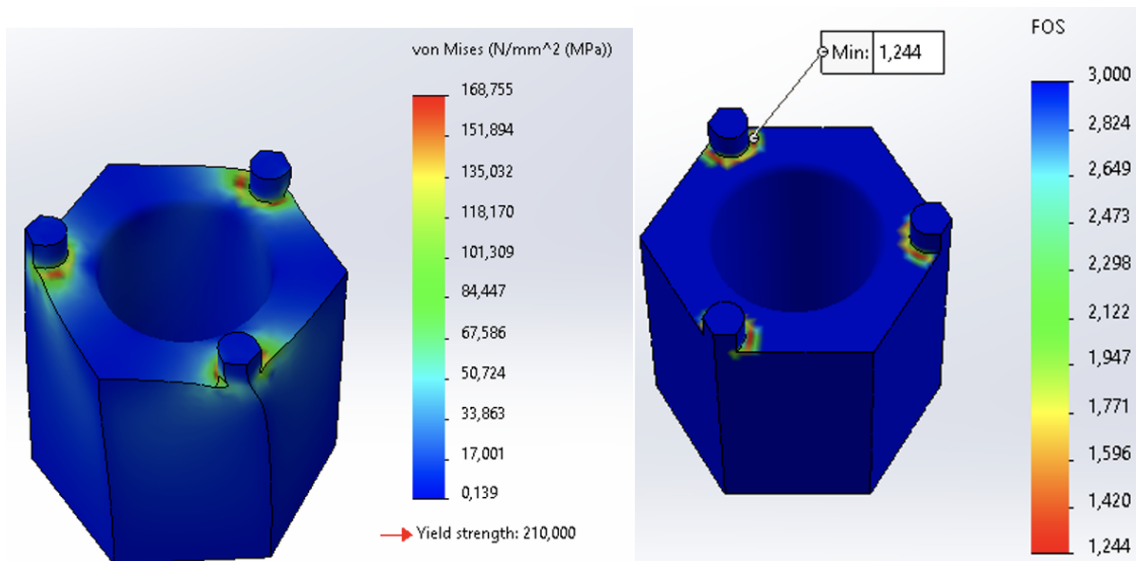
**Goals**

Stress2	Minimize	Weight: 5,00	Static 2
Minimum Factor of Safety2	Maximize	Weight: 5,00	Static 2
<a href="#">Click here to add Goals</a>			

Figur 5.16: Mål for design studie

		Current	Initial	Optimal (7)	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5	Scenario 6	Scenario 7	Scenario 8	Scenario 9
Hayde		28mm	28mm	24mm	18mm	19mm	20mm	21mm	22mm	23mm	24mm	25mm	26mm
Stress2	Minimize	168.53 N/mm <sup>2</sup>	168.53 N/mm <sup>2</sup>	166.3 N/mm <sup>2</sup>	170.52 N/mm <sup>2</sup>	172.6 N/mm <sup>2</sup>	186.24 N/mm <sup>2</sup>	162.4 N/mm <sup>2</sup>	186.85 N/mm <sup>2</sup>	172.71 N/mm <sup>2</sup>	166.3 N/mm <sup>2</sup>	163.47 N/mm <sup>2</sup>	179.23 N/mm <sup>2</sup>
Minimum Factor of Safety2	Maximize	1.246089	1.246089	1.262748	1.231534	1.216657	1.127560	1.151323	1.123899	1.215924	1.262748	1.144632	1.171707

Figur 5.17: Resultater av design studie



Figur 5.18: Spenninger og FOS i endelig konsept etter design studie

Resultatene fra design studien presentert i figur 5.17 viser at en høyde på 24mm er den optimale løsningen. Figuren viser også at en høyde på 28mm gir ca. tilsvarende spenninger. Dermed velges 28 mm som den nye høyden for konseptet slik at brukervennligheten av verktøyet blir bedre samtidig som kapasiteten øker.

Ved å utføre en design studie har høyden blitt endret fra 20 mm til 28 mm, dette har ført til at FOS har økt fra 1,144 til 1,244, altså en økning på 10 prosent i kapasitet. Det har også bidratt til en økning i brukervennlighet pga. tilstrekkelig areal ved bruk av en fastnøkkel.

Nå som resultatene i oppgaven er fremstilt skal det i neste kapittel diskuteres hva disse resultatene betyr. Det skal reflekteres over resultatene for å avgjøre om de er tilfredsstillende eller ikke. Neste kapittel vil også inneholde en diskusjon av relevant teori fra kapittel 3.

# Kapittel 6

## Diskusjon

Dette kapitlet inneholder drøfting og oppsummering av blant annet resultatene i denne oppgaven. Første diskusjonstema er toolmaker, deretter skal resultatene fra ståsteds- og pålitelighetsanalysene diskuteres. En skal også drøfte fordeler og ulemper ved produksjonsmetodene og materialene som ble presentert i kapittel 3. Følgende skal resultatene fra konseptutviklingen og FEM-analysen diskuteres før man tilslutt drøfter forbedringspotensiale og bærekraft for konseptet.

### 6.1 Toolmaker

I løpet av oppgaven er det blitt holdt møter og diskutert ideer for utviklingen av et produkt. Hver deltaker har bidratt på sitt område med kunnskaper for å løse den aktuelle problemstillingen. Det ble gitt en åpen oppgave uten begrensninger på hvilke problem som skulle løses. Dermed fikk deltakerne muligheten til å benytte sin kreative side, både ved å finne potensielle forbedringer og fremskaffe løsninger for det valgte problemet. I starten av oppgaven ble det oppdaget et problem, bedriften hadde ikke tilgang til et verktøy som kunne stramme en spesiell skrue i rammekonstruksjonen på elsparkesykkelmodellen Bydue S1.

Som toolmaker vil man se på om utviklingen av produktet gir en gevinst for bedriften. Gevinsten for bedriften ved utviklingen av verktøyet er det lagt stor vekt på gjennom hele prosessen. Fra konseptutviklingen ble det fokusert på ett verktøy som bidro til å minimere forarbeidstiden i form av en hakenøkkel. I tillegg et verktøy som hadde større styrke som kunne brukes med en muttertrekker. Når endelig konsept skulle velges ut for å gå videre til produksjon ble det kontaktet produsenter. Sammenligninger av deres pris, materiale og leveringstid ble utført. For å minimere utgiftene for bedriften og antall produserte enheter ble det konkludert med at verktøyene kombineres. Gevinsten for bedriften øker da betraktelig om det leveres et verktøy som har lave produksjonskostnader samtidig som det har god nok styrke til å utføre jobben.



Som nevnt i teori bidrar promotører til å fremme innovasjonsprosessen i produktutviklingen. Makt-promotøren i denne oppgaven har vært Evangelos Tyflopoulos, veilederen fra NTNU. Veilederen bidrar med god begrunnelse om det bør gjøres endringer i oppgaven og vil derfor føre til realistiske og gode resultater. Kunnskapspromotørene vil være alle kontaktpersonene som har bidratt med egne ideer og løsninger på hvordan problemet skal løses. Hele listen med intervjuobjekter i tabell 4.1 er derfor kunnskapspromotørene. Prosesspromotørene vil være studentene som har gjennomført oppgaven bestående av Henrik, Simen og Aiden.

## 6.2 Ståstedsanalyse

I kapittel 4.2 og 5.1 blir det gjennomgått en ståstedsanalyse. Denne har som mål å løse problemstillingen i oppgaven ved å analysere nåsituasjonen og sette opp en handlingsplan for å oppnå et ønsket fremtidsbilde.

Underveis i oppgaven ble det gjort ulike målinger og vurderinger av handlingsplanen for å forsikre at det alltid ble jobbet mot det ønskede fremtidsbildet. Med tanke på at dette var en relativt liten oppgave med få deltakere og en produksjonsmengde på 5-10 verktøy forventet man lite endringer i handlingsplanen underveis. Dette ble bekreftet av målingene og man fikk gode resultater av ståstedsanalysen uten behov for store endringer i den opprinnelige handlingsplanen.

## 6.3 Pålitelighetsvurdering

I pålitelighetsvurderingen vil det vurderes hvordan handlingene som er utført har gitt grunnlag til beslutninger. Selv om det ble konkludert med å gå for en kombinasjon av hakenøkkelen og muttertrekkerverktøyet er systemfeilene gitt i Design & prosess FMECA fortsatt gjeldende. Handlingene er gjort for å maksimere påliteligheten til det endelige konseptet. Det er blitt sett på hvordan man kan designe og produsere et verktøy som er pålitelig for det momentet som blir påført under bruk.

I forbindelse med systemfeil nr. 1 er det utført en design studie. Dette er gjort for å optimalisere kapasiteten til verktøyet. Denne handlingen var viktig for å produsere et verktøy som var så sterkt som mulig. Når man sammenligner de andre dimensjonene gitt i design studien av verktøyet *Vedlegg L: Teknisk rapport* kan man se at den maksimale spenningen vil variere ved endring av verktøyets høyde. Derfor vil den optimale høyden bidra til å gjøre verktøyet sterkere og øke påliteligheten.

Som nevnt i dataanalysen i Kapittel 5.2.2: Gjennomføring, er det gjort grundige beregninger og simuleringer slik at systemfeil nr. 2 minimeres. Disse handlingene vurderes som viktige for at verktøyet innehar den styrken som er nødvendig. I tillegg er også kritikaliteten til feilen høy, som underbygger viktigheten av handlingene.

Til systemfeil nr. 3 er det utført testing av 3D-printede design. De første 3D-printene ble designet til eksakte like dimensjoner som på skruen. Etter testing kom man fram til at det var påkrevd med mindre dimensjoner på pinnene for å få klaring mellom pinnene og skruen. Dermed er det utført viktige endringer på det endelige konseptets design før ferdigstilling.

Kritikaliteten på systemfeil nr. 4 er ikke av vesentlig grad, men det er likevel utført handlinger som øker påliteligheten for å redusere sannsynligheten for at feilen oppstår. Handlingene som er gjort for å begrense denne systemfeilen er å utføre simuleringer og beregninger på det maksimale momentet på muttertrekkeren (70-120 Nm). Som følge av skruens kapasitet vil det ikke være nødvendig å ta for seg et så høyt moment.

## 6.4 Produksjonsmetoder og materialer

For produksjon av verktøy fins det flere relevante produksjonsmetoder. Noen metoder er mer økonomisk forsvarlig, andre er bedre for miljøet og noen metoder er best egnet for kvalitet. Utfordringen med å produsere et produkt i dag er at det forventes å oppnå alle fordelene nevnt ovenfor. Det er ønskelig å produsere et produkt som er miljøvennlig, har lave kostnader, og ikke minst av god kvalitet. For dette prosjektet er maskinering, støping, trådnistring og additiv tilvirkning relevante produksjonsmetoder.

Støping er potensielt en enkel metode for produksjon av et slikt verktøy, og hadde vært et godt alternativet dersom produktet skulle masseproduseres. Siden det i denne oppgaven kun skal produseres i en liten kvantitet vil ikke dette være økonomisk forsvarlig grunnet kostnadene for å lage en god støpeform.

Maskinering er et bredt uttrykk, spesifikt vil fresing og dreining være de primære produksjonsmetodene for denne oppgaven. Fresing vil kreve mest arbeid og tid, men er et billigere alternativ dersom man har tilgang til et verksted og rett utstyr. Dreining kan være et godt alternativ for verktøyet ettersom den er rotasjonssymmetrisk.

Årsaken til at maskinering generelt er mer økonomisk forsvarlig er at høye startkostnader som ved støping unngås dersom de nevnte ressursene er tilgjengelig. Med tanke på ressursbruk og miljø er verken fresing eller dreining et godt alternativ. Dette er fordi man starter med et arbeidstykke som består av mer materiale enn nødvendig og maskinerer til man har fått den formen og størrelsen som er ønskelig. Dermed sløses det med materialer ved bruk av slike produksjonsmetoder.

Mengden material som blir fjernet kan reduseres ved endringer i design. For eksempel sylindriske emner på verksted kommer ofte i diametere på runde, hele tall. Dvs. at dersom et produkt skal produseres med en diameter på 41mm blir et emne med diameter på 50mm brukt, 9mm med material blir dermed fjernet. Men hvis styrken til produktet tilsier at diameteren kan endres til 39mm vil et emne med diameter på 40mm bli brukt, dermed vil det kun være nødvendig å fjerne 1mm fra hovedemnet. Slike valg resulterer i mindre materialsvinn og mindre arbeid for produsenten. På denne måten reduseres materialsvinn ved bruk av maskinering samtidig som kostnadene reduseres for produksjon av produktet.

Det kan også benyttes additiv tilvirkning som en produksjonsmetode for verktøyet. Da det er snakk om mer teknologisk avanserte additive tilvirkningsmetoder, der verktøyet kan produseres i noe annet enn plast. Dette kan blant annet bli gjennomført ved bruk av ion-printere, som kan føre til at det er mulig å printe verktøyet i materialer som har god nok styrke til å håndtere lastene verktøyet blir belastet med.

Dersom produktet skulle masseproduseres ville dette ikke vært økonomisk forsvarlig ettersom prisen for avanserte additive tilvirkningsmetoder er høy. Siden det kun skal produseres et lavt antall produkter er denne metoden økonomisk forsvarlig. Med tanke på bærekraft er additiv tilvirkning også et bedre alternativ sammelignet med de andre nevnte metodene. Det brukes bare den nødvendige mengden av material dersom den additive tilvirkningen blir gjort på en god måte.

Trådgnistning er et godt alternativ for produksjon av deler med kompleks geometri. Slik geometri innebærer firkanthull eller lignende, og kan være problematisk å produsere uten en trådgnistningsmaskin. Denne metoden kan være en god løsning mhp. både tid og kvalitet. Ulempen med bruken av trådgnist er at det har høy kostnad og er dermed ikke en god løsning med tanke på økonomi.

Når det utvikles et produkt er valg av materiale kritisk. Materialvalg henger sammen med formen og funksjonen til produktet. Det bestemmer blant annet styrken til produktet, og andre egenskaper som for eksempel smeltepunkt. Særlig for et verktøy er materialegenskaper som flytegrense og smeltepunkt viktig, ettersom produktet er utsatt for store mekaniske og i noen tilfeller termiske belastninger.

Rustfritt stål er som nevnt tidligere et begrep for stållegeringer med høy rustbestandighet. Fordelen generelt med rustfritt stål er at legeringene kan være av god kvalitet og styrke. Prisen på rustfritt stål er også generelt moderat og kan dermed også være økonomisk forsvarlig. Til sammenligning er støpestål et godt egnet material for ulike produksjonsmetoder som støping, sveising og maskinering, men som kan være av litt lavere kvalitet og dermed en lavere kostnad.

Begge disse materialene er godt egnet for produksjon av verktøy og kunne vært en god løsning i denne oppgaven. Ettersom det i denne oppgaven skal produseres en lav kvantitet av produktet, er rustfritt stål et godt alternativ. Dette er fordi produktet blir produsert i et material med god styrke og lave kostnader grunnet den lave produktkvantiteten. Dersom produktet skulle masseproduseres kunne støpestål vært en bedre løsning fra ett økonomisk ståsted, men det kan ha ført til andre problemer, som en påkrevd endringer i design.

## 6.5 Konseptanalyse

Tabell 6.1: Sammenligning av verktøy

Kvalitet	Stykkpris	Forarbeid	Vekt	Max spenning	Konklusjon
Enhet	kr. a. 5 stk.	Sekunder	Gram	MPa	
<b>Initialverdier</b>					
Hengslet hakenøkkel	3 016	10	845,5	209,5	
Muttertrekkerverktøy	2 660	1800	172,9	107,2	
Koblingsverktøy	422	240	129,6	168,8	
<b>Brukerkravspesifikasjoner</b>					
Data med relativ viktighet representert med verdier fra 1 til 6					
	Kostnader	Forarbeidstiden	Vekt	Høy styrke	
<b>Produsent</b>	4	1	2	6	
<b>CMO</b>	3	3	3	6	
<b>Mekaniker</b>	4	5	4	6	
<b>Gjennomsnitt</b>	3,7	3,0	3,0	6,0	
<b>Resultater = Initialverdier * Gjennomsnittlig brukerkrav</b>					
Minste summerende tall vil være det ønskelige verktøyet					<b>Sum</b>
Hengslet hakenøkkel	11058,7	30,0	2536,5	1257	14882,2
Muttertrekkerverktøy	9753,3	5400,0	518,7	643,2	16315,2
Koblingsverktøy	1547,3	720,0	388,8	1012,8	<b>3668,9</b>

Tabell 6.1 viser en sammenligning av verktøyene med initialverdier av utvalgte kvaliteter verktøyet innehar. Den første kvaliteten er stykkpris med materialemne ved kjøp av fem verktøy. Stykkpris ble gitt av VEPA AS og emnepris ble satt til en samlet verdi på 500 kr av ASKRO AS. Forarbeidstiden i sekunder for hvert verktøy ble testet og er satt inn i tabellen. Vekt og maksimal von Mises spenning er funnet og begrunnet i *Vedlegg L: Teknisk rapport for utvalgte konsept og skrue*. Alle disse kvalitetene er ønskelig å minimere for å gjøre verktøyet mer robust og brukervennlig.

Siden produsent, CMO og mekaniker vil være påvirket av kvalitetene nevnt i tabellen ble det også benyttet verdier fra tabellene 5.5 og 5.7 for brukerkravspesifikasjoner som inngangsverdier i sammenligningen. Hver av aktørene som har vært en del av prosessen har gitt en karakter, disse verdiene er det beregnet et gjennomsnitt av, og er blitt brukt videre i beregningen. Brukerkravverdiene angir viktigheten av kvaliteten på en skala 1-6.

Resultatene i hvert steg på nedre del av tabell 5.9 viser de representative initialverdiene for hver kvalitet som er multiplisert med gjennomsnittlig brukerkrav. Grunnen til at brukerkravverdiene multipliseres i regnestykke er fordi desto høyere viktigheten er desto større innvirkning har det på det endelige resultatet. For hvert verktøy er disse resultatene summert til høyre hvor den minste verdien for det respektive verktøyet er den mest brukervennlige. Sammenligningen i tabell 6.1 viser at koblingsverktøyet vil være det beste av de tre alternativene.

## 6.6 Styrkeberegning

For styrkeberegningen av verktøyet ble det først sett på kapasiteten til skruen. Resultatene ble så brukt videre for å verifisere at verktøyet har en høyere kapasitet enn skruen. I tabell 6.2 presenteres de viktigste resultatene fra kapittel 5.4 for å gi et oversiktlig bilde på resultatene fra både beregninger og FEM-analyse.

Tabell 6.2: Sammenligning av resultater fra styrkeberegning

Styrke ved beregninger og FEM-analyse				
Forklaring	Benevning	Beregning	FEM-analyse	Enhet
Jevnførende spenning i skruen	$\sigma_j$	323,9	542,45	MPa
Sikkerhetsfaktor i skruen	FOS	0,65	0,39	
Maksimalt moment	$M_{max}$	65	39	Nm
Jevnførende spenning i verktøyet ved 65 Nm	$\sigma_j$	213,4	168,8	MPa
Sikkerhetsfaktor i verktøy	FOS	0,97	1,24	

Tabell 6.2 viser at FOS i beregningene er lik 0.97, som er lavere enn kravet fra produktkravspesifikasjonene. Det kan derimot sies at dette er akseptabelt ettersom FEM-analyse gir en FOS lik 1.24 og at FOS er så nære 1 ved en belastning som er større enn den reelle brukssituasjonen. Som følge av skruens form vil bøyningen som skruen kan oppleve føre til en maksimal deformasjon på 0.5mm, også dette støtter opp om at en FOS på like under 1 kan være akseptabel med hensikt om å få produsert verktøy til en akseptabel kostnad og tid.

For å verifisere resultatene sammenlignes resultatene fra FEM-analysen og beregningene. Ettersom FEM-analysen får med alt av krefter er det logisk at det vil gi en høyere jevnførende spenning. For beregning og analyse av verktøyet videre ble det valgt å bruke det største av momentene funnet ved styrkeberegning av skruen. Dette gjøres for å få sammenlignbare resultat av den største belastningen. Som vist i tabell 6.2 er resultatene relativt like. Det kan da sies med stor sannsynlighet at resultatene er realistiske og at verktøyet har tilstrekkelig kapasitet.

## 6.7 Forbedringspotensiale og bærekraft

Grunnet begrensninger som tid og ressurser var det flere ideer man ønsket å implementere men ikke fikk muligheten til. Først og fremst hadde konseptet som ble valgt et simpelt design slik at produksjon av konseptet var rimelig mhp. produksjonstid og økonomi.

Et aspekt av konseptet som kan forbedres er styrken til verktøyet. Dersom tid og ressurser ikke hadde begrenset oppgaven kunne det blitt gjort endringer i designet av konseptet som hadde gjort det endelige verktøyet mer robust. En måte å gjøre verktøyet mer robust på hadde vært å endre materialet til et material med høyere flytegrense, som for eksempel legert stål. Dette hadde også ført til en betydelig økning i kostnad.

Brukervennligheten til produktet er også mulig å forbedre. Ved bruk av det endelige konseptet må en mekaniker demontere ledninger i rattstammen før vedkommende tar i bruk verktøyet. Selv om dette kun tar få minutter hadde det vært mer brukervennlig med et design der det ikke var behov for å demontere de nevnte ledningene. Ulike konsepter for hakenøkler som ble nevnt tidligere i oppgaven kunne brukes uten å demontere ledningene i rattstammen, men var ikke økonomisk forsvarlig å produsere, og krevde endringer i design før det kunne sendes til produksjon.

Gjennom oppgavens gang har ikke bærekraft vært et tema. Det er fordi produksjonskvantumet for verktøyene som skal utvikles er lav og dermed blir utslipp neglisjerbart. Når det er sagt, betyr ikke det at bærekraft er irrelevant for oppgaven. Gjennom utvikling av konsept har bærekraft vært prioritert ved å designe konseptet slik at materialsvinn ved produksjon blir redusert. Bydye som bedrift har også et ønske om å bidra til at verden blir med bærekraftig ved å tilby et alternativt transportmiddel til privatbiler.



Figur 6.1: FNs bærekraftsmål nr. 11 og 13 [35]

”Hvis man får flere til å erstatte bilturen med en tur på elsparkesykkel, vil det være en stor gevinst for miljøet, de tar mindre plass i trafikken og forurensner mindre.” [36] konkluderer SINTEF i sin artikkel om klimapåvirkningene til elsparkesykler.

Konklusjonen til SINTEF tilsier at Bydye kan være med på å oppnå FNs bærekraftsmål nummer 13 og 11; å stoppe klimaendringene, i tillegg til bærekraftige byer og lokalsamfunn. Dette kan gjøres ved å tilby den norske befolkningen et mer miljøvennlig transportalternativ enn privatbiler. Dette bidrar til å gjøre byene mer bærekraftig og redusere utslipp. Ved å produsere verktøyet denne oppgaven tar for seg blir vedlikehold av elsparkesyklene til Bydye mer effektivt. Mer effektivt vedlikehold kan føre til fornøyde kunder, bedre omdømme og flere kunder. Dermed kan potensielt flere elsparkesykler være ute i offentligheten og det kan være med på å redusere klimautslipp.

Ettersom det i dette kapitlet har blitt diskutert resultater og andre viktige punkter fra oppgaven, kan det i kapittel 7 konkluderes om resultatene har bidratt til å nå resultatmålene og om problemstillingen har blitt løst.

# Kapittel 7

## Konklusjon

I dette kapitlet skal det bli tatt utgangspunkt i resultatene og diskusjonene fra kapittel 5 og 6 for å konkludere om målene satt i kapittel 2 har blitt nådd og om problemstillingen har blitt løst på en vellykket måte.

Tabell 7.1: Konklusjon av resultatmålene

	Resultatmål	Konklusjon
1	Man har en ferdig prototype av utvalgte konsept.	Produsert ved både 3D-print og på verksted.
2	Verktøyet har en lav produksjonskostnad.	422kr/per enhet, under halvparten av produktkravet.
3	Verktøyet har høyere kapasitet enn skruen.	Verktøyet har en FOS lik 1,24 i forhold til skruen.
4	Verktøyet er brukervennlig	Kan brukes etter kravene fra bruker- og produkt-kravspesifikasjonene.
5	FEM analyser med fokus på styrke og design.	Gjennomført FEM-analyser med resultat som samsvarer med beregninger.

Med formål om å kunne teste ulike konsepter for å unngå kritiske feil, ble det satt som et resultatmål å produsere prototyper underveis. Det ble først produsert prototyper i stål ved ulike produksjonsmetoder. Dette førte til at man kunne konkludere at et verktøy produsert ved maskinering med færrest mulig komponenter vil være en god løsning. Nærmere produksjonstart ble det også produsert prototyper i plast ved 3D-printing som bidro til en bedre innsikt i funksjonaliteten til de ulike designene. Det kan konkluderes med at man har klart å produsere prototyper som har spilt en viktig rolle i utviklingen av det endelige verktøyet.

For at verktøyet skulle bli produsert var det viktig for bedriften at kostnaden ble lav. I tabell 5.9 defineres en maksimal pris per enhet. Det ble sendt forespørsel til flere potensielle produsenter om prisanslag for de ulike konseptene. Etter vurdering av design og materiale endte man med å bestille verktøy hos VEPA til en pris på 422kr per enhet, noe som er en akseptabel pris for Bydue.

Utgangspunktet til problemstillingen i denne oppgaven var at dagens løsning hadde for lav kapasitet i forhold til skruen. Det ble dermed viktig å designe og produsere et verktøy som har høyere kapasitet enn skruen. Ved hjelp av styrkeberegningene presentert i kapittel 5.4 kan det konkluderes med at det endelige verktøyet oppfyller dette kravet og vil tåle belastningene i en bruksituasjon.

Verktøyet blir utviklet med et mål om å effektivisere vedlikeholdsprosessen hos Bydue. Dette kan bare oppnås ved å produsere et verktøy som mekanikere hos Bydue faktisk ønsker å bruke. Derfor vil det være kritisk at verktøyet er brukervennlig. Som følge av dette ble det i samarbeid med mekanikere og CMO hos Bydue definert brukerkravsspesifikasjoner for hvordan verktøyet burde være i brukssituasjoner. Ved å se på de spesifikasjonene opp mot det endelige verktøyet kan det konkluderes med at det har blitt produsert et brukervennlig verktøy.

Som nevnt i resultatmål 2 ønsket bedriften å holde kostnader nede, og i en oppgave som dette vil den største andelen av kostnader komme ved produksjon. Det ble derfor gjennomført FEM-analyser av både styrke og design før verktøyet ble sendt til produksjon. Etersom FEM-analysene ble gjennomført med gode resultat samsvarende med beregninger kan det med stor sikkerhet fastslås at verktøyet tåler belastningene. Dette vil sørge for at man kun trenger å sende ett design til produksjon og at kostnadene holdes lave.

For å oppsummere oppgaven blir det sett på hvordan det har blitt svart på problemstillingen: *Utvikle et nytt produkt i form av et verktøy som kan stramme skruen i rammekonstruksjonen og bidra til å optimalisere vedlikehold av "Bydue S1".*

- Det har blitt utviklet et nytt verktøy som tåler belastningene det kommer til å bli utsatt for under stramming av den aktuelle skruen.
- Verktøyet kan brukes med en standard 32mm fastnøkkel og en muttertrekker med 32mm pipe slik Bydue forespurte.
- Vedlikeholdsprosessen av "Bydue S1" er blitt optimalisert.

Som nevnt hadde ikke bedriften et verktøy for å stramme skruen, ved å utvikle dette verktøyet har problemstillingen mekanikerne på Bydue møter når den aktuelle skruen må strammes blitt eliminert. Det har dermed bidratt til å optimalisere vedlikehold av "Bydue S1". Etersom man har nådd samtlige resultatmål og løst problemstillingen kan det konkluderes med at oppgaven har blitt utført på en vellykket måte og har gitt gode resultater.



# Bibliografi

- [1] Rabben, M. B. Elektrisk sparkesykkel [Internett]. [Oppdatert 16. mai 2021; hentet 3. Mars 2022]. Tilgjengelig fra: [https://snl.no/elektrisk\\_sparkesykkel](https://snl.no/elektrisk_sparkesykkel)
- [2] Figur 1.1: Bydue S1. Tilgjengelig fra: <https://www.bydue.no/products/bydue-s1>
- [3] Kriesi, C. Wayfaring in the Biomedical Sector [Doktorgradsavhandling]. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology; 2018.
- [4] Shavinina, L.V. The International Handbook on Innovation. Oxford: Elsevier Science Ltd.; 2003 [hentet 5. april 2022].
- [5] Figur 3.1: Promotørmodellen. Hauschildt, J. og Kirchmann E. Teamwork for innovation - the 'troika' of promoters. Kiel: The Blackwell Publishers Ltd.; 2001. Figur 1, The 'Troika'-model of innovation promoters; s. 42.
- [6] Figur 3.2: Rapid prototyping. Mitzkus, S. Rapid Prototyping – Techniques, Benefits, Tools & Softwares. Figur 2, Rapid Prototyping Process. Tilgjengelig fra: <https://digitalleadership.com/blog/prototyping/>
- [7] Reinertsen, D.G. Taking the Fuzziness Out of the Fuzzy Front End. Research-Technology Management. 27. januar 2016; 42(6):25-31.
- [8] Ullman, D.G. The Mechanical Design Process. Highstown: McGraw-Hill Inc.; 1992.
- [9] Kim, Y. & Wilemon, D. Focusing the fuzzy front-end in new product development. Korea: Blackwell Publishers Ltd.; 2002
- [10] Ulrich, K.T. & Eppinger, S.D & Yang M.C. Product Design and Development. 7. Utg. New York: McGraw-Hill Education; 2020
- [11] Tjalve, E. Systematic Design of Industrial Products. Denmark: Institute for Product Development, IPU; 2003
- [12] Fessenden, T. , The Diverge-and-Converge Technique for UX Workshops [Internett]. Nielsen Norman Group; 15. desember 2019. [hentet 4. april 2022]. Tilgjengelig fra: <https://www.nngroup.com/articles/diverge-converge/>

- [13] Figur 3.3: Diverge and converge method. Thoring, K og Müller, R.M. Understanding the Creative Mechanisms of Design Thinking: An Evolutionary Approach. Figure 4: Diverging and converging in design thinking, adapted from Brown; s. 5.
- [14] Figur 3.5: Støping av fastnøkkel. Snap-on Tools featured on How It's Made - Combination Wrenches [Video]; 16. jan 2013. Tilgjengelig fra: <https://www.youtube.com/watch?v=J4ZM7LwUPJc>
- [15] Figur 3.6: Illustrasjon av sponskjæring, Kalpakjian, S. og Schmid, S. Manufacturing Engineering & Technology in SI Units. 7. Utg. Modesto: Pearson Education Centre; 2020.
- [16] Gnisting – Gnisting – Erodering – Trådnist [Internett]. Imenco - Smart Solutions [hentet 25. april 2022]. Tilgjengelig fra: <https://imenco.no/nor/product/gnistning-gnistning-erodering>
- [17] Figur 3.7: Trådnistning. Trådnistning [Internett]. Manufacturing Guide [hentet 22. april 2022]. Tilgjengelig fra: <https://www.manufacturingguide.com/sv/tradgnistning>
- [18] The History of 3D Printing: 3D Printing Technologies from the 80s to Today [Internett] Sculpteo [hentet 10. februar 2022]. <https://www.sculpteo.com/en/3d-learning-hub/basics-of-3d-printing/the-history-of-3d-printing/>
- [19] Industriskolen og Hove, H. De ulike ståltypene [Internett], [oppdatert 02. oktober 2019; hentet 17. februar 2022]. Tilgjengelig fra: [shorturl.at/sQWX6](http://shorturl.at/sQWX6)
- [20] Ulike typer stål og materialgrader [Internett]. Bryne: Nordic Steel Group. [hentet 3. mai 2022]. Tilgjengelig fra: <https://www.nordicsteel.no/fagartikler/ulike-typer-stal-og-materialgrader>
- [21] Bell, K., Konstruksjonsmekanikk, Del 1 Likevektslære. 2 utg. Bergen: Fagbokforlaget; 2015.
- [22] Figur 3.9: Flategeometri. Flategeometri - Areal & Arealsenter [Internett]. Meccanica. <http://meccanica.no/fasthet/areal.htm>
- [23] Figur 3.11: Annet arealmoment og Tverrsnittsmodul. Johannessen, J. Tekniske tabeller. 2. Utg. Latvia: J.W. Cappelens Forlag A/S; 2002. Figur: Annet arealmoment og tverrsnittsmodul ved bøyning og vridning; s.63-64.
- [24] Dørum, A. Pensumhefte Maskindeler 1. Trondheim: Akademika; 2019.
- [25] Kurowski, P. M. Engineering Analysis with SolidWorks Simulation Mission: SDC Publications; 2017.
- [26] Design Studies in SOLIDWORKS [Internett]. Waltham: Dassault Systèmes SolidWorks Corporation. [Oppdatert 22. september 2021; hentet 2. mai 2022 ]. Tilgjengelig fra: <https://bit.ly/3N43yNQ>
- [27] Universitetet i Oslo. Litteraturstudie [Internett]. Blindern: Universitetet i Oslo. [publisert: 21. Oktober 2016; hentet: 2. April 2022]. Tilgjengelig fra: <https://www.uio.no/studier/emner/medisin/med/MED5090/retningslinjer-prosjektoppgaven/litteraturstudier.pdf>
- [28] Ledelsesspire [Internett]. Hva er en ståstedsanalyse? [publisert: 7. april 2014; hentet 6. april 2022]. Tilgjengelig fra: <https://bit.ly/3DJogPr>

- [29] Pershing, J.A. Handbook of Human Performance Technology. 3. Utg. San Francisco: Pfeiffer; 2006
- [30] Aven, T. Pålitelighets- og Risikoanalyse. 2. Utg. Oslo: Universitetsforlaget; 1998.
- [31] Rausand, M. Risk Assessment: Theory, Methods and Applications. 1. Utg. New Jersey. John Wiley & Sons Inc., Hoboken; 2011.
- [32] HRST's Criticality Determination – FMECA [Internett]. Eden Prairie: HRST, Inc. [hentet: 21. April 2022] Tilgjengelig fra: <https://www.hrstinc.com/services/inspection/fmeca/>
- [33] Makita muttertrekker 18v 1/2" [Internett]. Trondheim: Megafis. [Hentet 25. April 2022]. Tilgjengelig fra: <https://bit.ly/396PUe4>
- [34] Forskrift om utførelse av arbeid, bruk av arbeidsutstyr og tilhørende tekniske krav (forskrift om utførelse av arbeid). LOV-2005-06-17-62-§1-4-, -§3-1,-§4-4 og -§4-5 [publisert: 2011; Hentet 17. februar 2022]. Tilgjengelig fra: [https://lovdata.no/dokument/LTI/forskrift/2011-12-06-1357/KAPITTEL\\_1-1KAPITTEL\\_1-1](https://lovdata.no/dokument/LTI/forskrift/2011-12-06-1357/KAPITTEL_1-1KAPITTEL_1-1)
- [35] Figur 6.1: FNs bærekraftsmål nr. 11 og 13. FN-Sambandet. FNs bærekraftsmål [Internett]. Oslo: FN-sambandet; 2020 [oppdatert: 11. mai 2022; hentet 15. April 2022]. Tilgjengelig fra: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal>
- [36] Rambæk, I. Dette gjør elsparkesykler med byene våre. 4. Mai 2021. Tilgjengelig fra: <https://www.sintef.no/siste-nytt/2021/dette-gjor-elsparkesykler-med-byene-vare/>

# Vedlegg

## Vedlegg A: Risikoanalyse

En risikoanalyse ble tidlig gjennomført og var hovedgrunnen til at gruppen valgte en ny oppgave å skrive om. Risikoanalysen beskriver hvordan prosessen foregikk og hvorfor det ble valgt å endre problemstillingen.

### Risikoidentifisering i forprosjekt

I forprosjektet var den opprinnelige bacheloroppgaven å optimalisere en del på elsparkesykkelmodellen Bydue S1. Delen som risiko er beskrevet ut fra er optimalisering av bakskjermen. Identifisert risiko og preventiv arbeid for å redusere forekomsten av disse er beskrevet under.

### Tidkrevende oppgavevalg

I et slikt prosjekt kan tidlige valg ha konsekvenser for hvordan fremgangen i prosjektet vil utfolde seg. Om man har kjennskap til produktet som skal utbedres er det lettere å finne komponenter som kan analyseres og forbedres. I forbindelse med ulike deler på en elsparkesykkel varierer arbeidsmengden etter hvilken del som skal forbedres. Derfor kan det ha konsekvenser for prosjektet om man tar for seg oppgaver som er tidkrevende og mer omfattende enn først tiltenkt.

For å redusere en slik risiko ble det tidlig i prosjektet valgt å fokusere på én enkelt komponent. Da kan man heller se på flere potensielle løsninger på den spesifikke delen, sammenligne løsningene og produsere en prototype. Ut i fra arbeidserfaring, samtaler med veileder og bedriften ble det konkludert at bakskjermen ville være det beste valget.

## Begrenset forbedringspotensiale

Det kan også være oppgaver der man risikerer å ikke finne tilstrekkelige løsninger, noe som kan føre til at man må starte forfra med en ny vurdering. Velger man en komponent som ikke har behov for oppgradering vil det være utfordrende å optimalisere komponenten.

For å minimere en slik risiko bør man ha en del erfaring med hvordan fremkomstmiddelet er oppbygd og hvilke komponenter som innehar svakheter av ulike slag. Gruppen hadde kjennskap til delenes funksjoner samtidig som man kunne peke ut fordeler og ulemper med komponentene, noe som gjorde utvelgelsen lettere. Det ble da trekt fram et kjent problem med bakskjermen, som innebar at ved kjøring på vått underlag kan vannet sprute utenfor skjermens rekkevidde og treffe føreren av elsparkesykkelen.

## Ung bransje

Ved en slik oppgave vil det være betryggende å kunne sammenligne med tilsvarende oppgaver og forhøre seg med ingeniører som har jobbet med lignende problemstillinger i fagfeltet. I en relativt ung og voksende bransje som el-sparkesykler er den muligheten liten. Derfor vil det følge en risiko ved valget av denne oppgaven for at støtten og kunnskapen man trenger for gjennomføring av prosjektet ikke er tilstrekkelig.

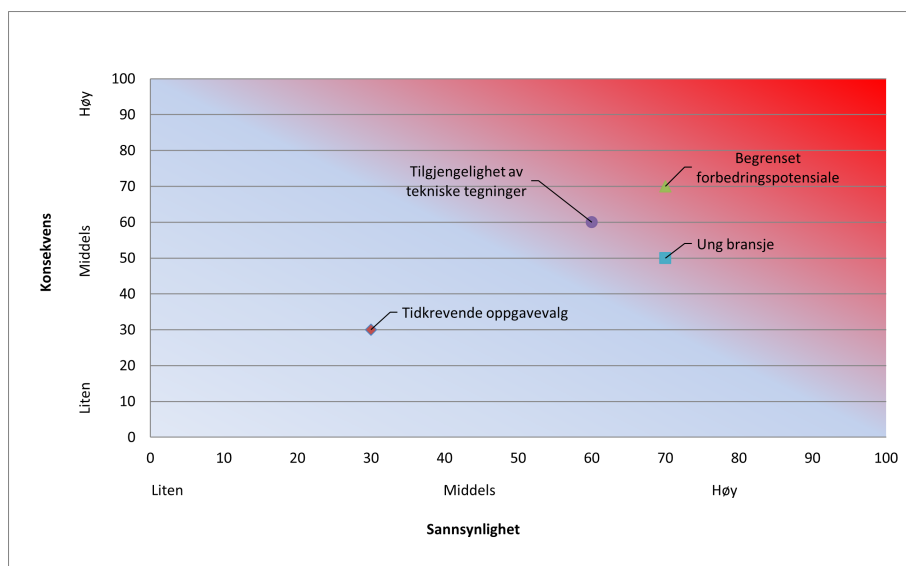
Med en veileder i bedriften som ikke har ingeniørutdanning kan det oppstå utfordringer som veileder ikke har kompetanse til å bistå med, til tross for omfattende kompetanse innen el-sparkesykler. Det ble derfor valgt en veileder fra universitetet som har kompetanse innen de ingeniørfaglige utfordringene som kan oppstå i prosjektet. I kombinasjon med arbeidserfaringen til gruppe medlemmene og kompetansen til veileder fra bedriften vil den samlede kompetansen i prosjektet være tilstrekkelig for å løse utfordringene som kan oppstå.

## Tilgjengelighet av tekniske tegninger

Det er også en risiko for at bedriften ikke kan tilby tekniske tegninger på deler som er etterspurt for optimalisering, og innhente data som dimensjoner av komponentene. Dette er blant annet fordi Bydue bruker produsenter i Kina til produksjon av sparkesyklene deres. Av den grunn er det fabrikken i Kina som innehar tegninger av deler og har dermed eierskap i disse dokumentene. Det kan derfor være en risiko for at fabrikken ikke ønsker å dele dokumenter med teknisk data av "Bydue S1".

Med tanke på en slik risiko ble det tidlig i prosjektet prioritert å identifisere og etterspør de tegningene som er nødvendige for gjennomføringen av prosjektet. Dersom tegningene ikke er mulig å oppdrive er det tenkt å modellere komponenten selv. Det vil da bli en omfattende jobb med modellering av delene, og det er da en større sannsynlighet for at delene blir feildimensjonert.

## Risikovurdering



Figur 7.1: Risikovurderingdiagram

## Risikohåndtering

Tidlig i prosjektet ble risikoene identifisert, og fortløpende vurdert etter hvilken risiko som var relevant i initiasjonsfasen. Det ble da oppdaget at to av de fire identifiserte risikopunktene i forprosjektet måtte håndteres før en kunne gå videre i prosjektet.

### Tilgjengelighet av tekniske tegninger

Tilgjengeligheten av tekniske tegninger ble tidlig oppfattet som et problem på grunn av komplikasjoner med fabrikken i Kina. Fabrikken ønsket ikke at andre elsparkesykkel-firma fikk tilgang til yrkeshemmeligheter innen design og spesifikke egenproduserte løsninger. Derfor var produsenten skeptiske til å dele tegninger av komponenter på modellen og overlevere spesifikasjoner som ble etterspurt. I tillegg ble det ikke aktuelt fra fabrikken å innhente data fra simuleringer og andre analyser som kunne vært relevante om man skulle ha tatt for seg levetids-beregninger på modellen.

## **Begrenset forbedringspotensiale**

Som nevnt var problemstillingen opprinnelig optimalisering av en komponent på en elsparkesykkel. Fra erfaringer og tilbakemeldinger virket det som bakskjermen var en potensiell komponent som kunne optimaliseres. For å håndtere og undersøke om det var en risiko for at bakskjermen ikke behøvde forbedring ble det iverksatt testing. Testing av bakskjermen var en kritisk del av fremgangen i prosjektet, da det viste seg at problemet ikke var tilstrekkelig. Begrenset forbedringspotensiale på bakskjermen ble derfor en viktig årsak til å gjøre en endring på problemstillingen.

## **Redefinering av risiko**

Siden to av risikoene ga store konsekvenser for prosjektets fremgang ble det gjort en helomvending på prosjektets problemstilling. Det ble sett på andre mulige problemstillinger. Valget falt på utvikling av et verktøy, ettersom man var bevisst på at mekanikere på Bydue etterspurte dette. Utviklingen av et verktøy for en spesifikk skrue ble den endelige problemstillingen. Når den nye problemstillingen var i boks ble det sett på redefinert risiko innenfor denne prosjektoppgaven som kan gi konsekvenser for prosjektets fremgang.

## **Feilberegninger**

Feilberegninger ved utvikling og produksjon er en risiko man ofte bør være oppmerksom på, og er noe som kan gi store konsekvenser når produktet er ferdigutviklet. Det kan være feilberegninger innen dimensjonering, materialstyrke og kraftmålinger. Om man eksempelvis måler feil på skruen som verktøyet brukes på, vil ikke verktøyet passe etter at det er blitt produsert og man sitter igjen med et ufunksjonelt verktøy. For å få en pekepinne på hvordan påkjenningene på verktøyet blir, vil simuleringer vise de mest realistiske resultatene. Derfor er det viktig at initialbetingelser for styrkeberegninger er angitt på riktig måte i simuleringene.

## **Komplikasjoner ved produksjon**

Komplikasjoner ved produksjon er en risiko som man bør prøve å unngå siden man allerede er kommet langt i produktutviklingsprosessen. Det kan innebære feil bruk av produksjonsmetode, menneskelig feil ved produksjon, mangel på ressurser og kompleks design. Dette bør man tenke på gjennom hele prosessen og ha i bakhodet ved design av konsepter. Det kan være drastisk om man ikke kan benytte den ønskede produksjonsmetoden noe som også bør planlegges tidlig slik at det ikke blir et problem. Når en kjenner til produksjonsprosessen er det lettere å tilpasse geometrien til disse for å redusere utfordringene [1].

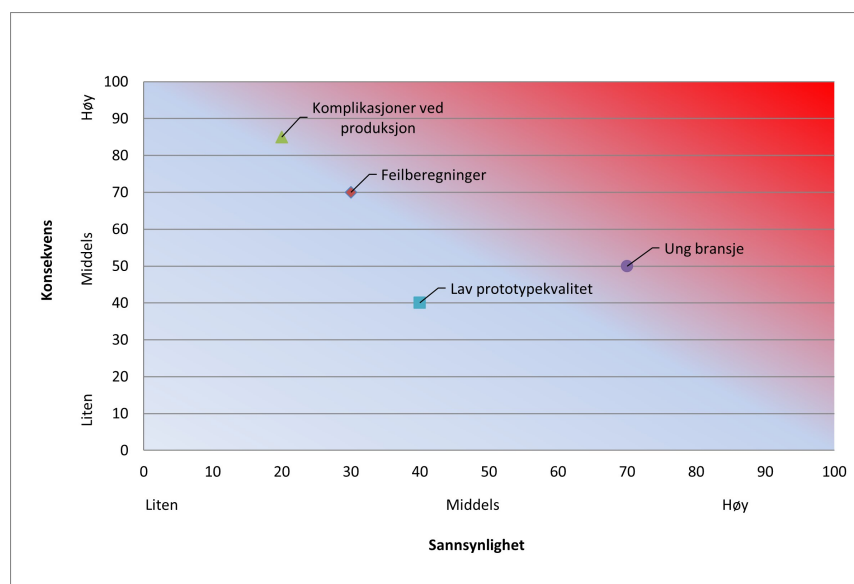
## Lav prototypekvalitet

Prototype-drevet innovasjonsmetode representerer hurtige løsninger på design av en modell. Prototypen vil bare angi en del av det ferdige produktets funksjon og vil ikke representere alle aspekter ved den utviklede modellen. Da er det en risiko for at en prototype ikke er i nærheten av kvaliteten på det endelige produktet. Dette vil mest sannsynlig gå på bekostning av materialets styrke og tetthet. Årsaken til det vil være at en prototype mest sannsynlig blir produsert i form av en 3D-print i plastpolymer, som er betydelig svakere enn et stålprodusert produkt. Dette må man ta hensyn til ved utviklingen og man må være forberedt på konsekvensene for å minimere risikoen.

## Ung bransje

Som nevnt tidligere er elsparkesykkel-bransjen ung i form av at det er et relativt nytt fremkomstmiddel på markedet. Dette medfører at man har begrenset med erfaring innen fagfeltet og dermed begrenset kunnskap. I tillegg vil det være et fåtall fagkyndige ingeniører som kan dekke de teoretiske aspektene ved oppgaven. Man må derfor belage seg på at spørsmål om selve elsparkesykkelen bør være rettet opp mot et visst nivå og ikke på ekspertnivå når det gjelder konstruksjon og belastninger på komponenter.

## Revidert risikovurdering

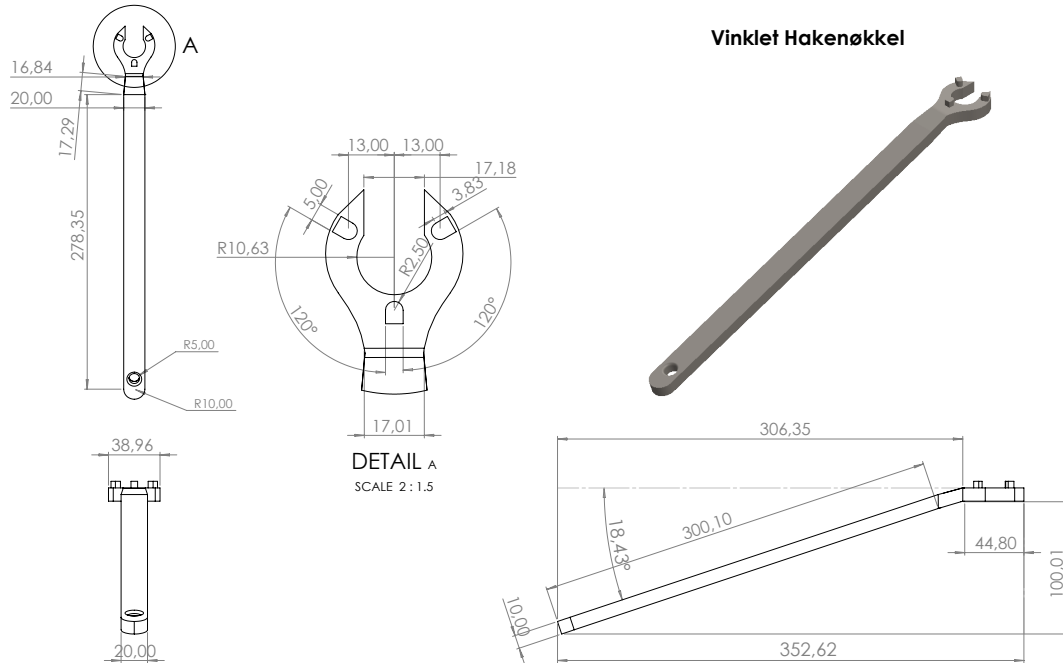


Figur 7.2: Revidert risikovurderingsdiagram





# Vedlegg C: Plantegning Vinklet hakenøkkel

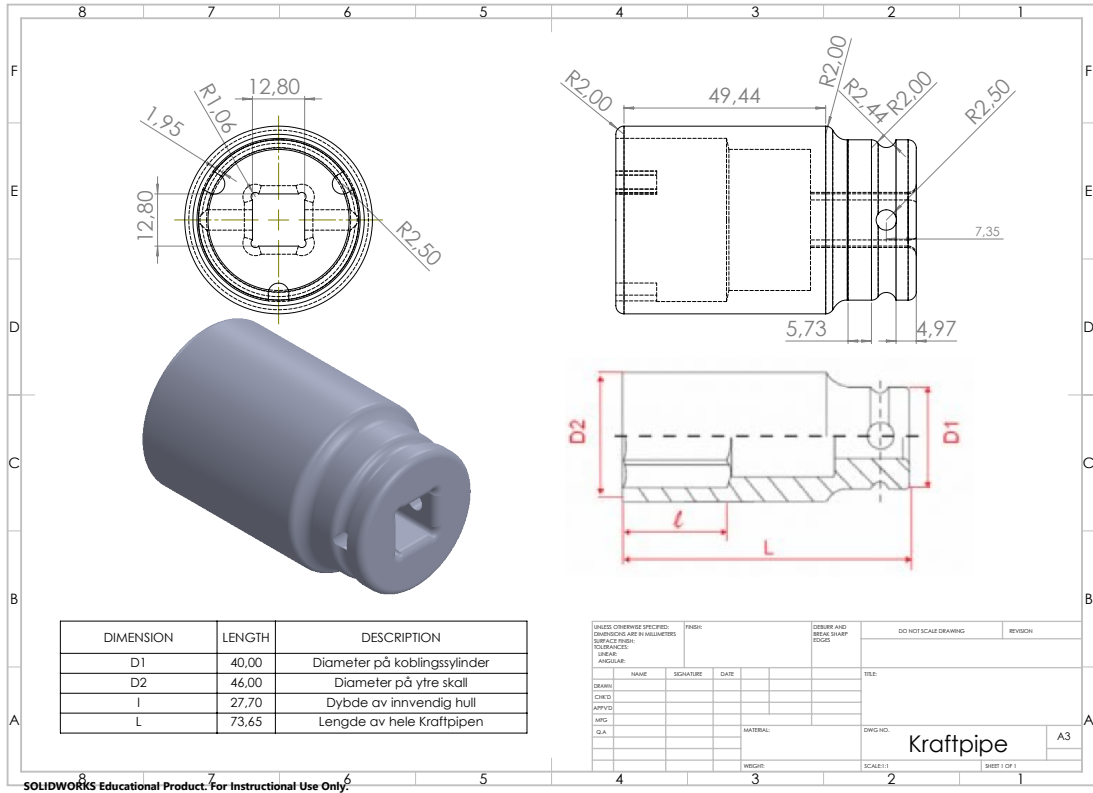


SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

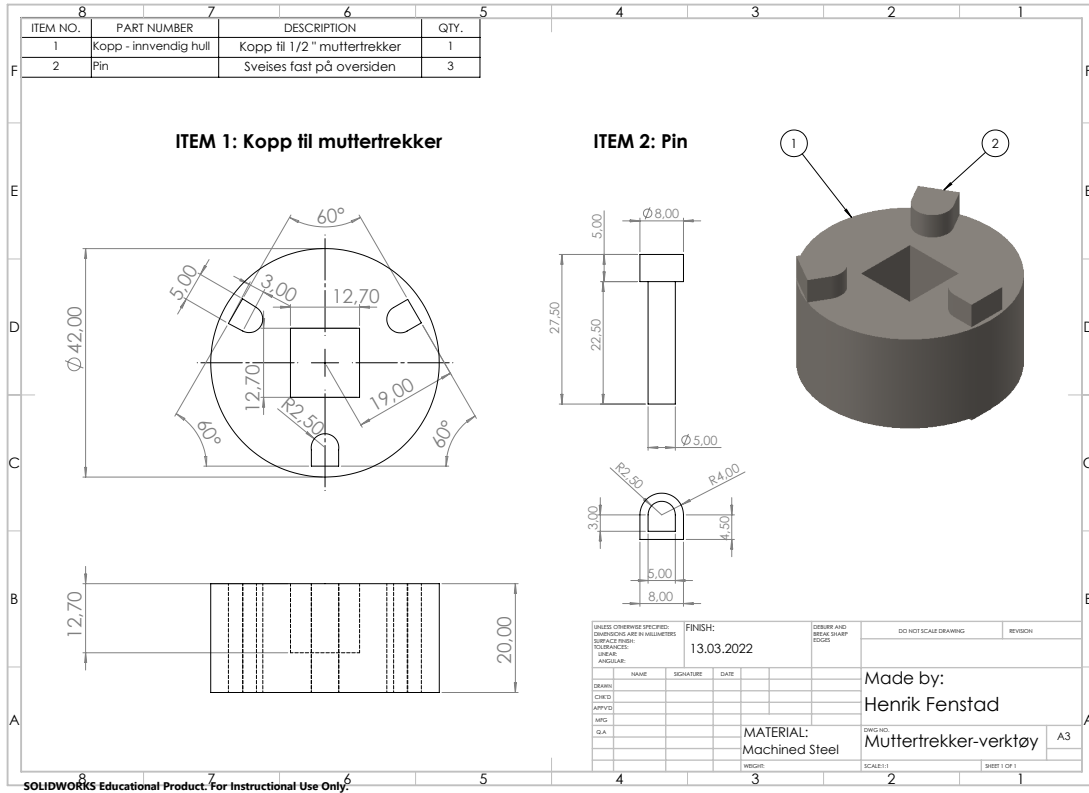




# Vedlegg F: Plantegning Kraftpipe

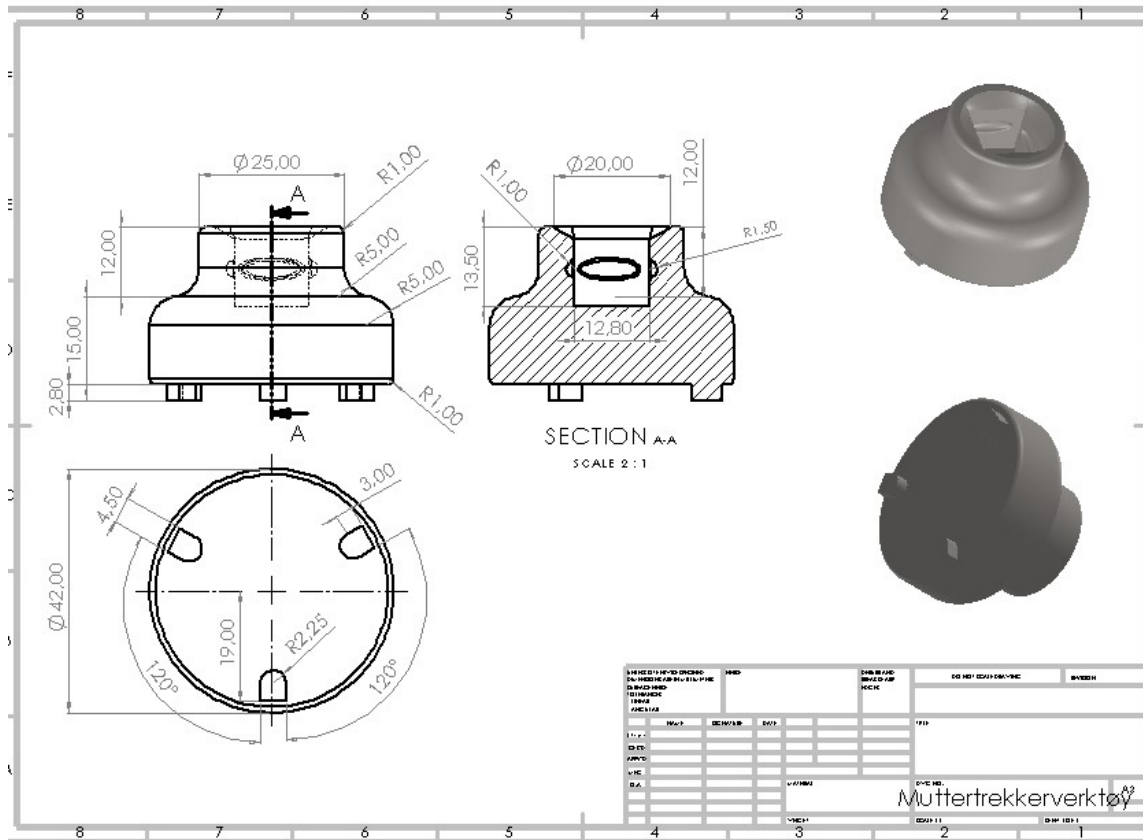


# Vedlegg G: Plantegning Muttertrekkerverktøy i 2 deler



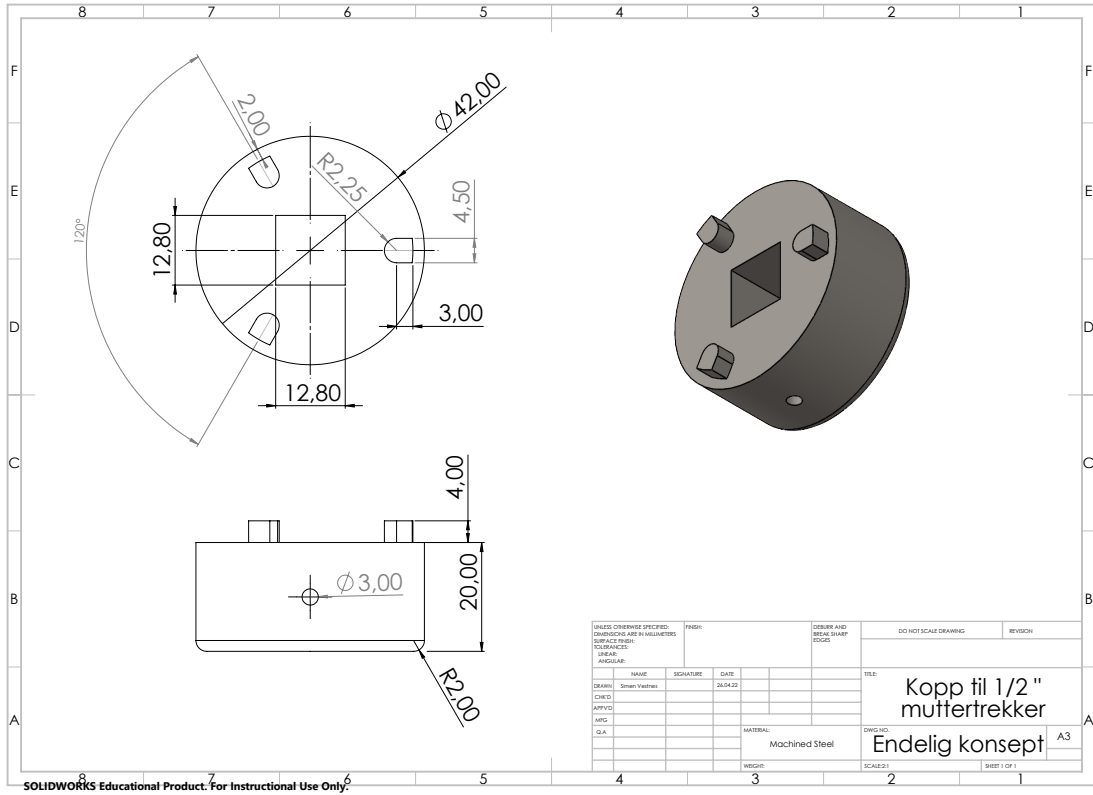


# Vedlegg I: Plantegning Muttertrekkerverktøy i en del





# Vedlegg J: Plantegning Muttertrekkerverktøy kombinert



## Vedlegg K: Beregninger

# Beregninger av Skrue og Verktøy

### Innholdsfortegnelse

Innledning .....	2
1. Spenningsberegninger på skrue .....	2
1.1. Skjærspenning .....	3
1.2. Torsjonsspenning .....	4
1.3. Strekkspenning .....	4
1.4. Jevnførende spenning og Sikkerhetsfaktor .....	5
2. Spenningsberegninger på verktøyet .....	6
2.1. Skjærspenning i pinnene .....	7
2.2. Bøyepening i pinnene .....	9
2.3. Jevnførende spenning og sikkerhetsfaktor .....	10
Konklusjon .....	11
Referanser .....	12
Figurliste .....	12
Bibliografi .....	12

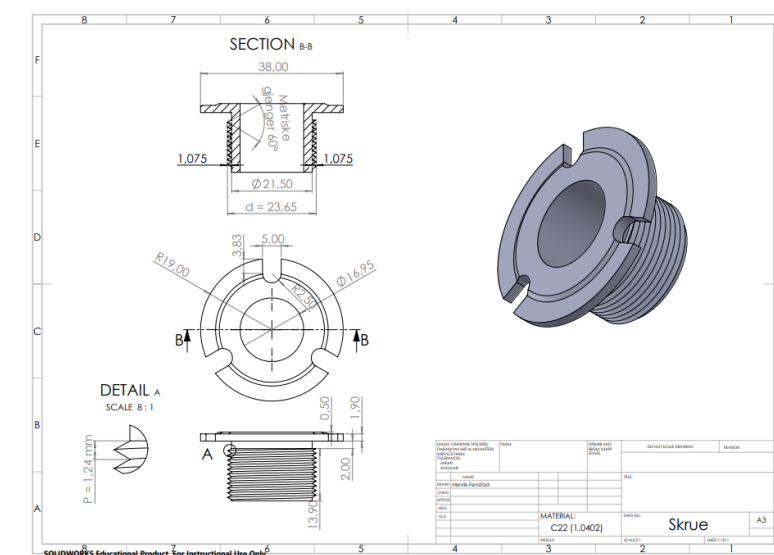
# Innledning

I beregningen vil det benyttes en tiltrekningskraft på 100 Nm for så å finne den jevnførende spenningen som oppstår i det svakeste punktet på skruen. Dermed kan man finne sikkerhetsfaktor ved å dele denne spenningen på flytegrensen til skruemateriale. Derav kan man finne det momentet som oppstår ved en sikkerhetsfaktor på 1. Dette momentet benyttes til videre beregninger av kapasiteten til verktøyet.

## 1. Spenningsberegninger på skruer

Til å begynne med vil man beregne spenningene som oppstår i det svakeste punktet på skruen. Siden fastholdningen til en skruer er gjengene og momentet påføres på skruhodet vil det svakeste punktet på den aktuelle skruen være i overgangen mellom gjengene og sylinderflaten opp mot skruhodet (**Se Detail A figur 1**).

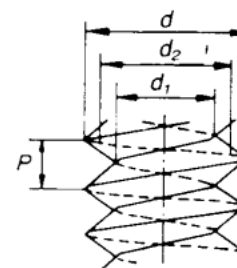
I skruen vil det hovedsakelig oppstå skjærspenning, vridning og strekkspenning. Det er derfor gjort spenningsberegninger med eksakte dimensjoner målt med skyvelær av skruen. (**Se figur 1**).



Figur 1: Dimensjonering av skruer

Tabell 1: Initialverdier

Forklaring	Benevning (formel)	Verdi	Enhet
Initialmoment	$M_i$	100 000	Nmm
Ytre diameter gjenger	$d$	23,65	mm
Indre diameter gjenger (Basis lillediameter)	$d_1$	21,5	mm
Midtre diameter	$d_2 = \frac{d - d_1}{2}$	22,575	mm
Stigning	$P$	1,24	mm
Hulldiameter	$d_h$	16,95	mm



Figur 2: Gjengeprofil

## 1.1. Skjærspenning

Det oppstår skjærkraft av momentet som påføres skruehode siden skruesylinderen er fastholdt gjengene. Denne kan beregnes vha. skjærkraft  $V$  og tverrsnittsareal  $A$ :

$$\tau_{skjær} = \frac{V}{A}$$

Siden fastholdningen til en skrue er gjengene og momentet påføres på skruehodet vil det svakeste punktet på den aktuelle skruen være i overgangen mellom skruehode og gjenger.

Skruesylinderen mellom gjengene og skruehodet har en diameter på:

$$d_1 = 21,5 \text{ mm}$$

Diameteren på hullet er:

$$d_h = 16,95 \text{ mm}$$

Tverrsnittsarealet i overgangen mellom skruehode og skruesylinder er:

$$A = \pi \cdot \left( \left( \frac{d_1}{2} \right)^2 - \left( \frac{d_h}{2} \right)^2 \right) = \pi \cdot \left( \left( \frac{21,50}{2} \right)^2 - \left( \frac{16,95}{2} \right)^2 \right) = 137,40 \text{ mm}^2$$

Initialmoment:

$$M_i = 100 \text{ Nm}$$

Skjærkraften  $V$  vil virke midt på den ringformede sylinderen med en arm fra sentrum til midten av ringen, denne radiuslengden  $l$  er gitt ved:

$$l = \frac{D + d}{4} = \frac{21,50 + 16,95}{4} = 9,6125 \text{ mm}$$

Ved hjelp av momentligningen beregnes skjærkraften til:

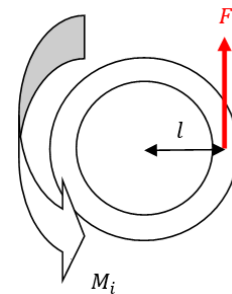
$$M = V \cdot l \rightarrow V = \frac{M}{l} = \frac{100\,000 \text{ Nmm}}{9,6125 \text{ mm}} = 10403 \text{ N}$$

Skjærspenningen kan man så finne:

$$\tau_{skjær} = \frac{V}{A} = \frac{10403 \text{ N}}{137,40 \text{ mm}^2} = 75,714 \text{ N/mm}^2$$



Figur 3: Den aktuelle skruen



Figur 4: Tverrsnittsareal med påførte krefter

## 1.2. Torsjonsspenning

Av vridningen som påføres skruen vil det også oppstå torsjonsspenning i tverrsnittet.

Torsjonsspenning:

$$\tau_{vridning} = \frac{T}{W_p}$$

Tiltrekningsmomentet her vil være vårt initielle moment tilført skruen, som er satt til:

$$T = M_i = 100 \text{ Nm}$$

På grunn av vridningen av det utsatte tverrsnittet mellom sylindere og gjenger vil det også oppstå torsjon, og til det må man finne polar tverrsnittsmodul av seksjonen [1]

$$W_p = \frac{\pi}{16} \cdot \left( \frac{D^4 - d^4}{D} \right) = \frac{\pi}{16} \cdot \left( \frac{21,50^4 - 16,95^4}{21,5} \right) = 1197,57 \text{ mm}^3$$

Torsjonsspenningen er dermed:

$$\tau_{vridning} = \frac{T}{W_p} = \frac{100\,000 \text{ Nmm}}{1197,57 \text{ mm}^3} = 83,50 \text{ N/mm}^2$$

## 1.3. Strekkspenning

Strekkspenningen oppstår på grunn av forspenningskraften. Dette er den kraften som skruen blir presset ned mot underlaget på av tiltrekningsmomentet.

Ved å snu på formelen for tiltrekningsmomentet finner man forspenningskraften:

$$T_t = F_a \cdot \tan \alpha \cdot \tan(\alpha - \epsilon_1) \cdot \frac{d_2}{2} \rightarrow F_a = \frac{2 \cdot T}{\tan \alpha \cdot \tan(\alpha + \epsilon_1) \cdot d_2}$$

Dermed må man ha Stigningsvinkel ( $\alpha$ ) og friksjonsvinkel ( $\epsilon_1$ ):

Stigningsvinkel:

$$\tan \alpha = \left( \frac{P}{\pi \cdot d_2} \right) = \left( \frac{1,24}{\pi \cdot 22,575} \right) = 0,017484131$$

Trenger friksjonskoeffisienten mellom gjengene på skruen og hull:

Tabell 2: Friksjonskoeffisient

Friksjonskoeffisient for gjenger	
For ubehandlede skruer og muttere:	
Usmurte flater:	$\mu = 0,18 - 0,35$
Smurte flater:	$\mu = 0,14 - 0,26$
Det er benyttet lock-tite på skruen det skal beregnes på. Derfor vil koeffisienten være for smurte flater.	
Valgt friksjonskoeffisient:	
$\mu = 0,14 - 0,26 \rightarrow \mu = 0,20$	

Friksjonsvinkel:

Siden skruen har metriske grove gjenger og stigningsvinkel 60°:

$$\rightarrow \varphi = 60^\circ = \cos\left(\frac{\varphi}{2}\right) = \cos\left(\frac{\pi}{6}\right) = 0,866$$

$$\mu_1 = \tan \epsilon_1 = \frac{\mu}{\cos\left(\frac{\varphi}{2}\right)} = \frac{0,2}{0,866} = \frac{0,2}{0,866} = 0,230947$$

For å sette inn i formelen benyttes formelen:

$$\tan(\alpha + \epsilon) = \frac{\tan \alpha \tan(\epsilon) + \tan(\epsilon)}{1 - \tan \alpha \tan(\epsilon)} = \frac{0,017484131 + 0,230947}{1 - 0,017484131 * 0,230947} = 0,24943834$$

Forspenningskraften:

$$F_a = \frac{2 * T}{\tan \tan(\alpha + \epsilon_1) * d_2} = \frac{2 * 100\,000 \text{ Nmm}}{0,204729 * 22,575} = 35\,517,2 \text{ N}$$

Tverrsnittet som strekkspenningen utsetter skruen på vil være det samme som gitt i (1.1. Skjærspenning):

$$A = \pi \cdot \left( \left( \frac{d_1}{2} \right)^2 - \left( \frac{d_h}{2} \right)^2 \right) = \pi \cdot \left( \left( \frac{21,50}{2} \right)^2 - \left( \frac{16,95}{2} \right)^2 \right) = 137,40 \text{ mm}^2$$

Dermed kan man finne strekkspenningen:

$$\sigma_{strek} = \frac{F_a}{A} = \frac{35\,517,2 \text{ N}}{137,40 \text{ mm}^2} = 258,5 \text{ N/mm}^2$$

#### 1.4. Jevnførende spenning og Sikkerhetsfaktor

Sikkerhetsfaktoren beregnes ved å dele flytegrensen til materiale på den jevnførende spenningen på.

Jevnførende spenning:

$$\sigma_j = \sqrt{\sigma_{strek}^2 + \sigma_{bøy}^2 + 3 * (\tau_{skjær}^2 + \tau_{vridning}^2)}$$

Siden det ikke oppstår bøyespenning i tverrsnittet som man beregner spenninger på vil ikke denne være med.

$$\sigma_j = \sqrt{\sigma_{strek}^2 + 3 * (\tau_{skjær}^2 + \tau_{vridning}^2)} = \sqrt{258,49^2 + 3 * (75,714^2 + 83,50^2)} = 323,93 \text{ MPa}$$

Av produsenten i Kina ble det innhentet informasjon om at skruen er laget av materiale C22 (1.40202)

Property	Value	Units
Elastic Modulus	210000.0031	N/mm <sup>2</sup>
Poisson's Ratio	0.28	N/A
Shear Modulus	79000	N/mm <sup>2</sup>
Mass Density	7800	kg/m <sup>3</sup>
Tensile Strength	410	N/mm <sup>2</sup>
Compressive Strength		N/mm <sup>2</sup>
Yield Strength	210	N/mm <sup>2</sup>

Figur 5: Skruens materialegenskaper

Av **Figur 5** ser man at materiale har en flytegrense på:

$$f_y = 210 \text{ MPa}$$

Sikkerhetsfaktor:

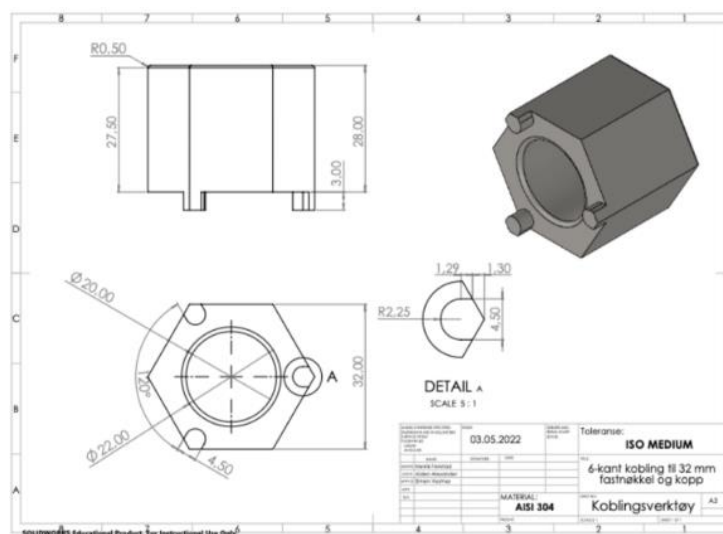
$$FOS = \frac{f_y}{\sigma_j} = \frac{210}{323,93} = 0,6483 \approx 0,65$$

Dermed tåler ikke skruen det initielle momentet, og den maksimal tiltrekningsmoment vil være på:

$$M = FOS * M_i = 100 \text{ Nm} * 0,65 = 65 \text{ Nm}$$

## 2. Spenningsberegninger på verktøyet

For å sjekke om verktøyet tåler det maksimale tiltrekningsmomentet blir det gjort spenningsberegninger på verktøyet.



Figur 6: Plantegning Koblingsverktøy

Siden kraftoverføringen skjer ved kontakten mellom verktøyet skruen vil det beregnes spenninger på pinnene. I **tabell 3** er initialverdier oppført med aktuelle dimensjoner for beregningen er hentet fra **Figur 6** og det aktuelle momentet hentet fra tidligere beregninger i **Avsnitt 1.4: Sikkerhetsfaktor**.

Tabell 3: Initialverdier Verktøy

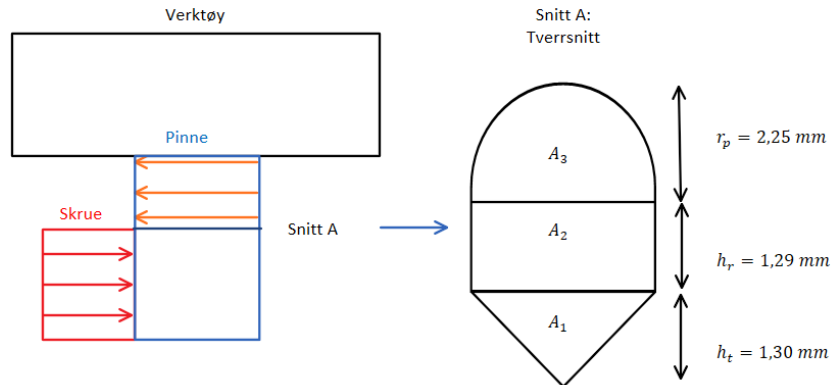
Forklaring	Benevning	Verdi	Enhet
Moment	$M$	65 000	Nmm
Pinne			
Høyde rektangel	$h_r$	1,29	mm
Høyde trekant	$h_t$	1,3	mm
Radius sirkel	$r_p$	2,25	mm
Verktøy			
Radius verktøy	$r_v$	18,48	mm

Spenningene som oppstår i pinnene, vil være skjærspenning ( $\tau_{skjær}$ ) og bøyespenning ( $\sigma_{bøy}$ ).



## 2.1. Skjærspenning i pinnene

Skjærspenning oppstår på grunn av at skruen skjærer tvers over tverrsnittet på pinnene. Skjærkraften og tverrsnittet som skjærkraften angriper på er illustrert i **figur 7** nedenfor.



Figur 7: Skjærspenning og tverrsnitt

Deler opp tverrsnittet i tre deler som vist i illustrasjonen over og finner arealsenteret for tverrsnittet hvor kraften fra momentet angriper på.

### A<sub>1</sub> - Trekant

Areal:

$$g = 2 * r_p = 2 * 2,25 = 4,5 \text{ mm}$$
$$h = h_t = 1,30 \text{ mm}$$
$$A_1 = \frac{g * h}{2} = \frac{1,30 * 4,50}{2} = 2,925 \text{ mm}^2$$

Arealsenter:

$$y_{c1} = \frac{2}{3} * h_t = \frac{2}{3} * 1,30 \approx 0,867 \text{ mm}$$

### A<sub>2</sub> - Rektangel

Areal:

$$b = 2 * r_p = 4,5 \text{ mm}$$
$$h = h_r = 1,29 \text{ mm}$$
$$A_2 = b * h = 4,5 * 1,29 = 5,805 \text{ mm}^2$$

Arealsenter:

$$y_{c2} = h_t + \frac{h_r}{2} = \frac{1,29}{2} = 1,30 + 0,645 = 1,945 \text{ mm}$$

### A<sub>3</sub> – Halvsirkel

Areal:

$$A_3 = \frac{\pi * r_p^2}{2} = \frac{\pi * 2,25^2}{2} = 7,95 \text{ mm}^2$$

Arealsenter:

$$y_{c3} = h_t + h_r + \frac{4r_p}{3\pi} = 1,30 + 1,29 + \frac{4 * 2,25}{3 * \pi} = 3,545 \text{ mm}$$

### Sammensatt tverrsnitt:

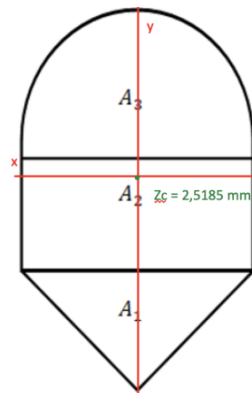
Felles areal:

$$A = A_1 + A_2 + A_3 = 2,925 + 5,805 + 7,95 = 16,68 \text{ mm}^2$$

Felles arealsenter:

$$y_c = \frac{y_{c1} * A_1 + y_{c2} * A_2 + y_{c3} * A_3}{A_1 + A_2 + A_3} = \frac{0,867 * 2,925 + 1,945 * 5,805 + 3,545 * 7,95}{2,925 + 5,805 + 7,95} = 2,5185 \text{ mm}$$

Definerer felles nøytralakser.



Figur 8: Pinnens nøytralakser

Skjærkraften virker gjennom arealsenteret derfor trengs det å vite lengden fra sentrum av verktøyet og ut til arealsenteret på pinnen.

$$\text{arm: } l = r_v - z_c = 18,48 - 2,5185 = 15,9615 \text{ mm}$$

Momentet fordeles over tre pinner:

$$M = \frac{65\,000 \text{ Nmm}}{3} = 21\,666,7 \text{ Nmm}$$

Finner så skjærkraften (V) av momentligningen:

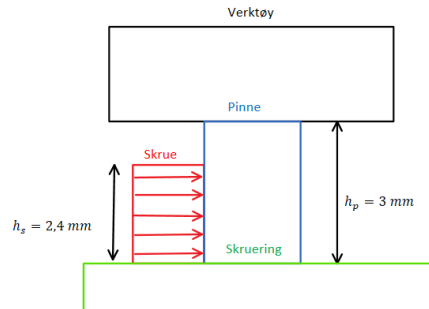
$$\text{Moment (M)} = \text{Kraft(V)} * \text{arm(l)} \rightarrow V = \frac{M}{l} = \frac{21\,666,7 \text{ Nmm}}{15,9615 \text{ mm}} = 1357,433 \text{ N}$$

Dermed kan skjærspenningen finnes:

$$\tau_{skjær} = \frac{V}{A} = \frac{1357,433 \text{ N}}{16,68 \text{ mm}^2} = 81,38 \text{ MPa}$$

## 2.2. Bøyespenning i pinnene

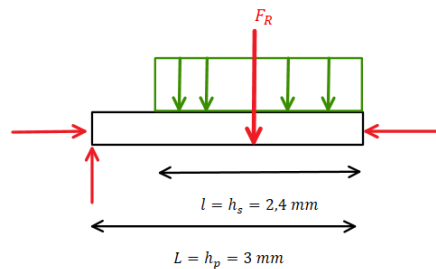
Bøyespenningen oppstår på grunn av at pinnene bøyes ved enden.



Figur 9: Bøyespenning

Pinnen er fastholdt opp mot verktøyet og lasten som blir påført fra skruen. For enkelhets skyld vil det beregnes som en jevnt fordelt last på siden en av verktøyets pinner.

Denne kraften vil være lik skjærkraften funnet tidligere delt på tre for å se på en pinne:



Figur 10: Bjelkeillustrasjon

Det stedet hvor det oppstår høyest spenninger vil være der resultantkraften ( $F_R$ ) angriper, som er midt på den fordelte lasten.

$$F_R = 4072,3 \text{ N} / 3 = 1357,4 \text{ N}$$

Momentet som oppstår i punktet hvor resultantkraften angriper vil være:

$$M = F_R * \left( L - \frac{l}{2} \right) = 1357,4 \text{ N} * (3 \text{ mm} - 1,2 \text{ mm}) = 2443,32 \text{ Nmm}$$

Finner så tverrsnittsmodul for tverrsnittet:

$A_1$  – Trekant:

$$W_{y1} = \frac{1}{24} h_t * b^2 = \frac{1}{24} * 1,30 * 4,5^2 = 1,096 \text{ mm}^3$$

A<sub>2</sub> – Rektangel:

$$W_{y2} = \frac{1}{6} h_t * b^2 = \frac{1}{6} * 1,29 * 4,5^2 = 4,35 \text{ mm}^3$$

A<sub>3</sub> – Halvsirkel:

$$I_{y3} = \frac{\pi}{8} * r_p^4 = \frac{\pi}{8} * (2,25)^4 = 10,06 \text{ mm}^4$$

$$W_{y3} = \frac{I_{y3}}{y_{c3}} = \frac{10,06}{1,0265} = 9,8 \text{ mm}^3$$

Sammensatt tverrsnittsmødul:

$$W_y = W_{y1} + W_{y2} + W_{y3} = 1,096 + 4,35 + 9,8 = 15,25 \text{ mm}^3$$

Bøyespenning:

$$\sigma_{bøyy} = \frac{M}{W_y} = \frac{2443,32 \text{ Nmm}}{15,25 \text{ mm}^3} = 160,22 \text{ MPa}$$

### 2.3. Jevnførende spenning og sikkerhetsfaktor

Skjær og bøyy:

$$\sigma_j = \sqrt{\sigma_{bøyy}^2 + 3 * (\tau_{skjær}^2)} = \sqrt{160,22^2 + 3 * (81,38^2)} = 213 \text{ MPa}$$

Materiale er AISI 104 med egenskaper hentet fra Solidworks:

Property	Value	Units
Shear Modulus	75000	N/mm <sup>2</sup>
Mass Density	8000	kg/m <sup>3</sup>
Tensile Strength	517.017	N/mm <sup>2</sup>
Compressive Strength		N/mm <sup>2</sup>
Yield Strength	206.807	N/mm <sup>2</sup>

Figur 11: Verktøyets materialegenskaper

Flytegrensen for materiale:

$$f_y = 206,8 \text{ MPa}$$

Sikkerhetsfaktor:

$$FOS = \frac{f_y}{\sigma_j} = \frac{206,8}{213} = 0,97$$

## Konklusjon

Som man kan se av beregningene over får man en sikkerhetsfaktor på 0,97. På tross av at FOS er under én, kan det være forsvarlig å gå videre med produktet dersom simuleringene gir tilsvarende eller bedre resultater. Ettersom lasttilfelle er ved verst tenkelig scenario som er langt over lastene man får ved en brukssituasjon kan det argumenteres for at spenningene vil være mye lavere enn i beregningene. Dermed kan det konkluderes at beregningene er tilfredsstillende.

## Referanser

### Figurliste

Figur 1: Dimensjonering av skrue .....	1
Figur 2: Gjengeprofil .....	1
Figur 3: Den aktuelle skruen .....	2
Figur 4: Tverrsnittsareal med påførte krefter .....	2
Figur 5: Skruens materialegenskaper .....	5
Figur 6: Plantegning Koblingsverktøy .....	6
Figur 7: Skjærspenning og tverrsnitt .....	7
Figur 8: Pinnens nøytralakser .....	8
Figur 9: Bøyespennning .....	9
Figur 10: Bjelkeillustrasjon .....	9
Figur 11: Verktøyets materialegenskaper .....	10

### Bibliografi

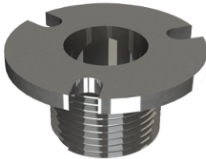
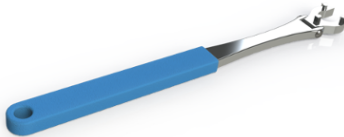
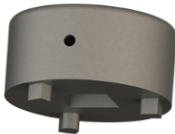
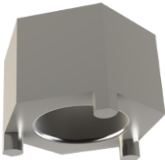
[1] Johannessen, J., 2018. *Tekniske Tabeller*. 2 red. Latvia: J.W. Cappelens Forlag A/S.

[2] Dørum, A., 2019. *Pensumhefte Maskindeler 1*. Trondheim: Akademika.

[3] Bell, K., 2015. *Konstruksjonsmekanikk, Del 1 Likevektslære*. 2 red. Bergen: Fagbokforlaget.

## Vedlegg L: Teknisk rapport

# Teknisk rapport av Utvalgte konsept og aktuell skrue

<p>Skrue</p> 	<p>Hengslet hakenøkkel</p> 
<p>Muttertrekkerverktøy</p> 	<p>Koblingsverktøy</p> 

## Innhold

1	Innledning.....	3
1.1	Hensikt .....	3
2	Styrkeberegning av skrue.....	4
2.1	Bestemmelse av lasttilfelle .....	4
2.2	Metode .....	6
2.2.1	Randbetingelser.....	6
2.2.2	Geometri, fastholdninger og laster .....	7
2.2.3	Elementtype .....	8
2.3	Resultater.....	9
2.3.1	Fremstilling av elementnett .....	9
2.3.2	Plott som viser største von Mises spenning .....	9
2.3.3	Plott som viser forskyvninger .....	10
1.1.1	Plott som viser FOS.....	10
3	Styrkeberegning av hengslet hakenøkkel .....	11
3.1	Metode .....	11
3.1.1	Randbetingelser.....	11
3.1.2	Geometri, fastholdninger og laster .....	12
3.1.3	Elementtype .....	14
3.2	Resultater.....	15
3.2.1	Fremstilling av elementnett .....	15
3.2.2	Plott som viser største von Mises spenning .....	16
3.2.3	Plott som viser forskyvninger .....	17
3.2.4	Plott som viser FOS.....	18
4	Styrkeberegning av muttertrekker verktøy .....	19
4.1	Metode .....	19
4.1.1	Randbetingelser.....	19
4.1.2	Geometri, fastholdninger og laster .....	20
4.1.3	Elementtype .....	21
4.2	Resultater.....	22
4.2.1	Fremstilling av elementnett .....	22
4.2.2	Plott som viser største von Mises spenning .....	23
4.2.3	Plott som viser forskyvninger .....	24
4.2.4	Plott som viser FOS.....	25



5	Styrkeberegning av koblingsverktøy .....	26
5.1	Metode .....	26
5.1.1	Ranbetingelser.....	26
5.1.2	Geometri, fastholdninger og laster .....	27
5.1.3	Elementtype .....	28
5.2	Resultater.....	29
5.2.1	Fremstilling av elementnett .....	29
5.2.2	Plott som viser største von Mises spenning .....	30
5.2.3	Plott som viser forskyvninger .....	30
5.2.4	Plott som viser FOS.....	31
6	Sammenligning av resultatene.....	32
6.1	Vekt.....	32
6.2	Fullstendig sammenligning .....	33
7	Design studie av endelig konsept.....	34
7.1	Nye resultater .....	35
8	Diskusjon og konklusjon.....	36

# 1 Innledning

Denne rapporten er skrevet som et vedlegg for bacheloroppgaven. I rapporten skal det utføres styrkeberegninger av utvalgte konsept fra bacheloroppgaven. Man har tidligere kontaktet potensielle produsenter som kan produsere et endelig konsept og fått tilbud om å produsere verktøyet i materialet i AISI 304. Dermed gjenstår det å utføre simuleringer for å finne ut om det er aktuelt å produsere et endelig konsept i dette materialet.

## 1.1 Hensikt

Man har tidligere gjennom beregninger funnet ut at skruen tåler et tiltrekningsmoment på maks 65 Nm. Dette skal nå verifiseres i *Solidworks*. Dermed skal det testes ulike laster i styrkeberegningen på skruen og deretter bruke sikkerhetsfaktoren man får for disse lastene til å finne hvilket moment skruen maks tåler før den oppnår brudd.

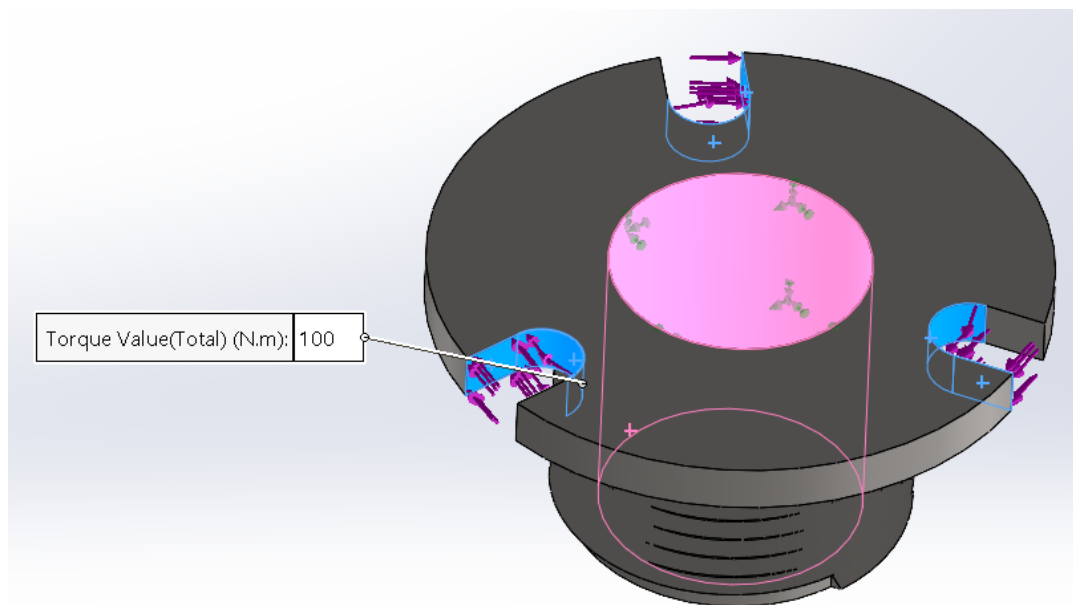
Maks momentet man finner i styrkeberegningen av skruen blir da brukt for videre styrkeberegninger. Årsaken til at det er en god vei å gå er fordi hvis verktøyet tåler mer enn det skruen tåler så har verktøyet tilstrekkelig kapasitet. Hensikten med denne rapporten er da å utføre styrkeberegninger av utvalgte konsept. Man ønsker da å se om verktøyet tåler spenningene som oppstår, og om det dermed kan bli produsert i materialet AISI 304. Til slutt vil resultatene av de ulike konseptene sammenlignes slik at man kan velge ut én god løsning som man utfører en design studie på og prøver å optimalisere.

## 2 Styrkeberegning av skrue

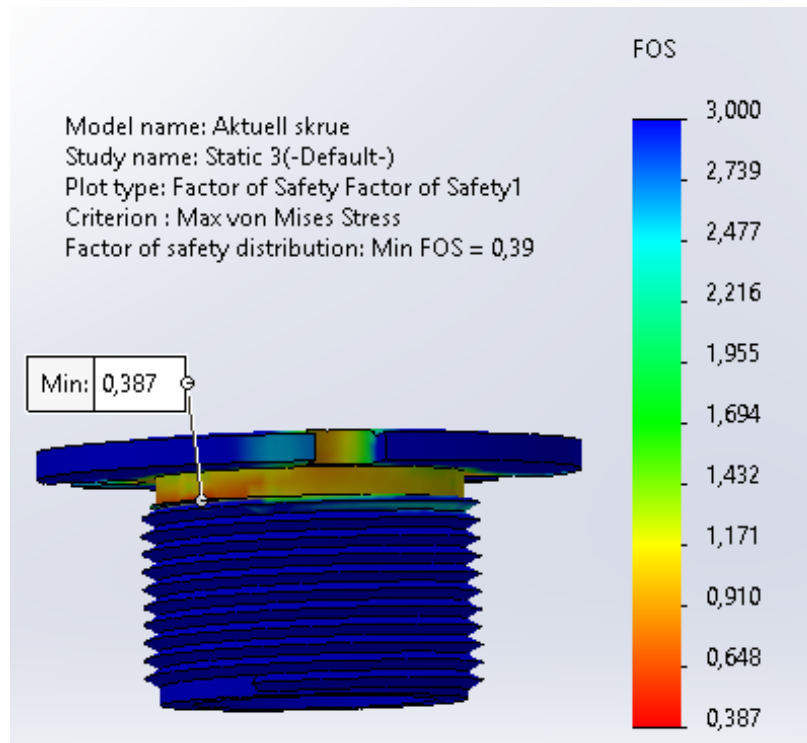
I dette kapitlet skal en finne ut hvilken last som kreves for at skruen oppnår brudd, deretter skal skruen bli simulert med dette lasttilfellet for å validere at det stemmer.

### 2.1 Bestemmelse av lasttilfelle

Det brukes en last på 100Nm som initialverdi for å enkelt omforme denne lasten til bruddlasten ved å se på FOS.



Figur 1: Valg av lasttilfelle



Figur 2: FOS ved 100 Nm

Ser fra figur 2 at man får en FOS på 0.387 ved en last på 100Nm, får da at maks moment før skruen oppnår brudd er:

$$100Nm * 0.387 = 38.7 = 39 Nm$$

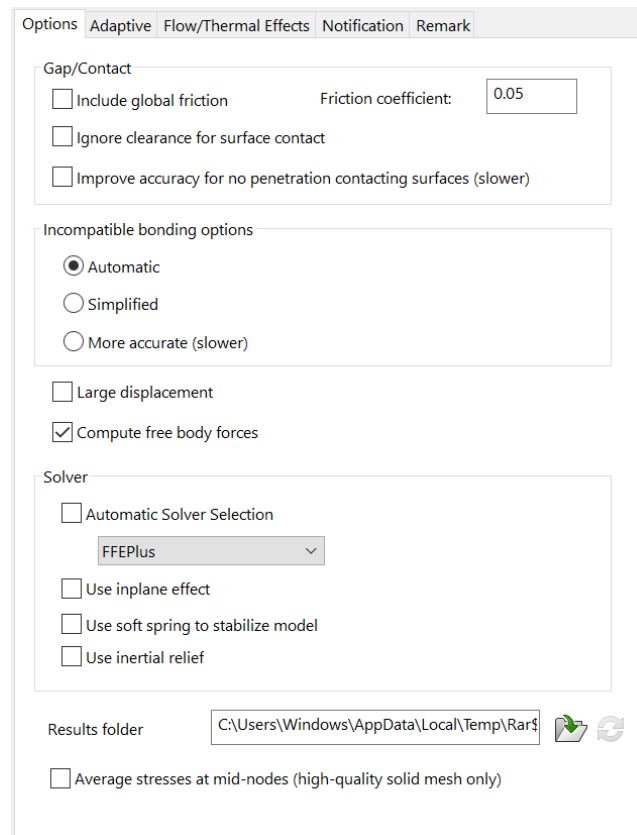
Validerer da om dette stemmer ved å kjøre en styrkeberegning av skruen når den blir tilført en last på 39 Nm

## 2.2 Metode

I dette kapitlet følger en beskrivelse og begrunnelse av fremgangsmetoden for denne simuleringen.

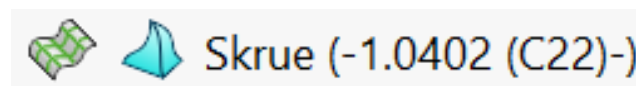
### 2.2.1 Randbetingelser

For denne analysen blir en FFEPlus solver valgt.



Figur 3: Valg av solver

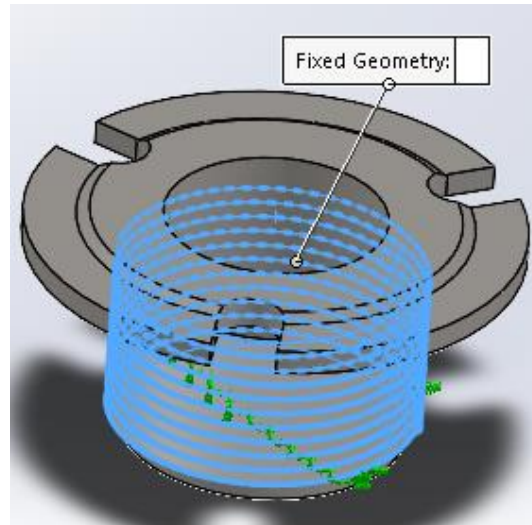
Materialet som blir brukt for skruen er den man har fått oppgitt fra produsentfabrikken i Kina, altså C22



Figur 4: Valg av material

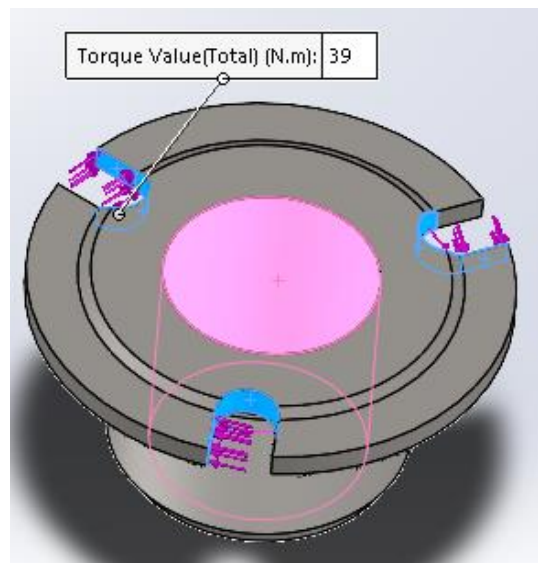
## 2.2.2 Geometri, fastholdninger og laster

Geometrien på verktøyet kan man se på forsidebildet av rapporten. Fastholdningene er blitt plassert i gjengene for å låse bevegelsen til skruen.



Figur 5: Valg av fastholdninger

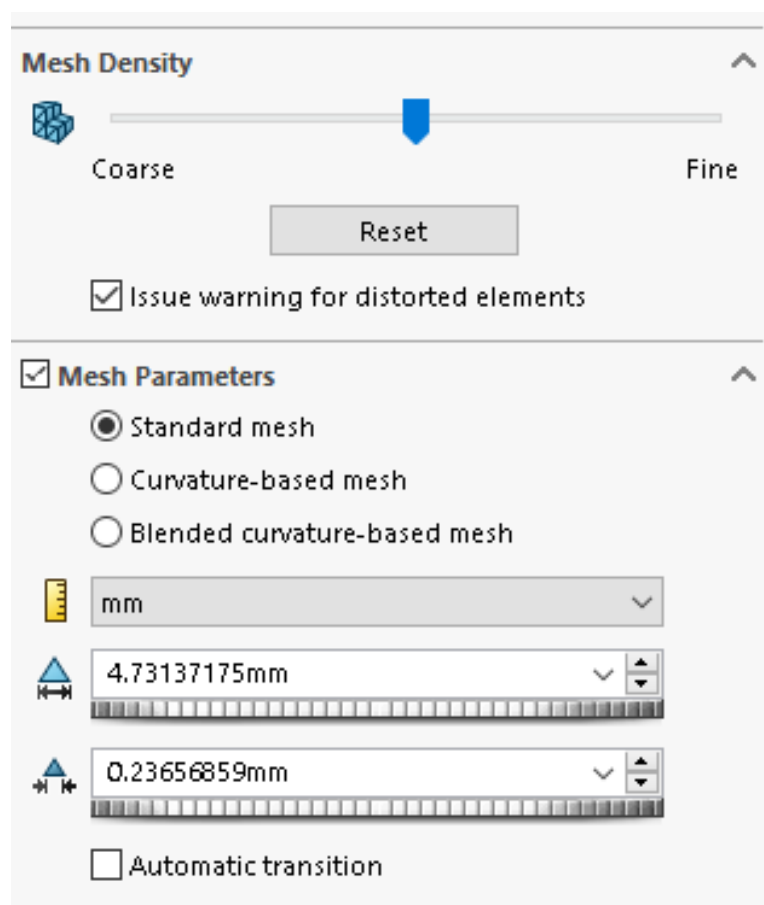
Belastningene blir her påført i flatene der verktøyet vil ha kontakt med skruen for å simulere brukssituasjonen til skruen og har en verdi på 39 Nm.



Figur 6: Valg av last

### 2.2.3 Elementtype

Det ble brukt en standard mesh for denne analysen

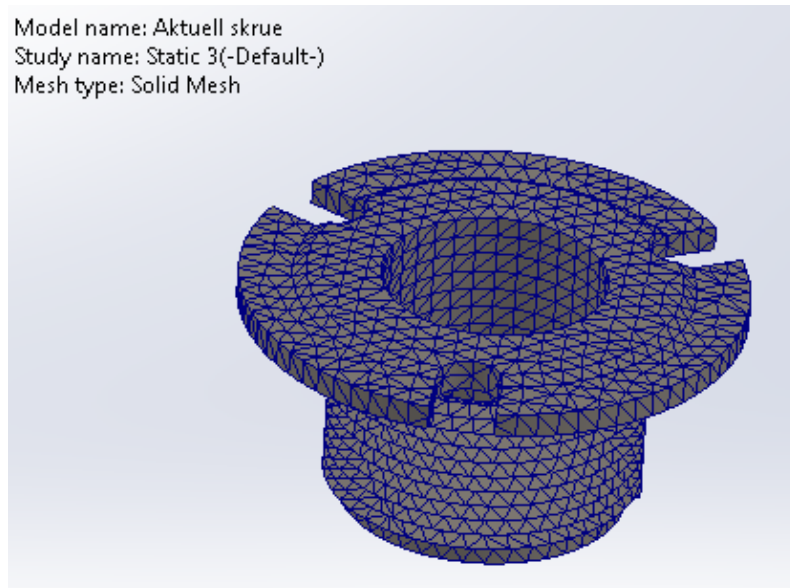


Figur 7: Valg av elementnett

## 2.3 Resultater

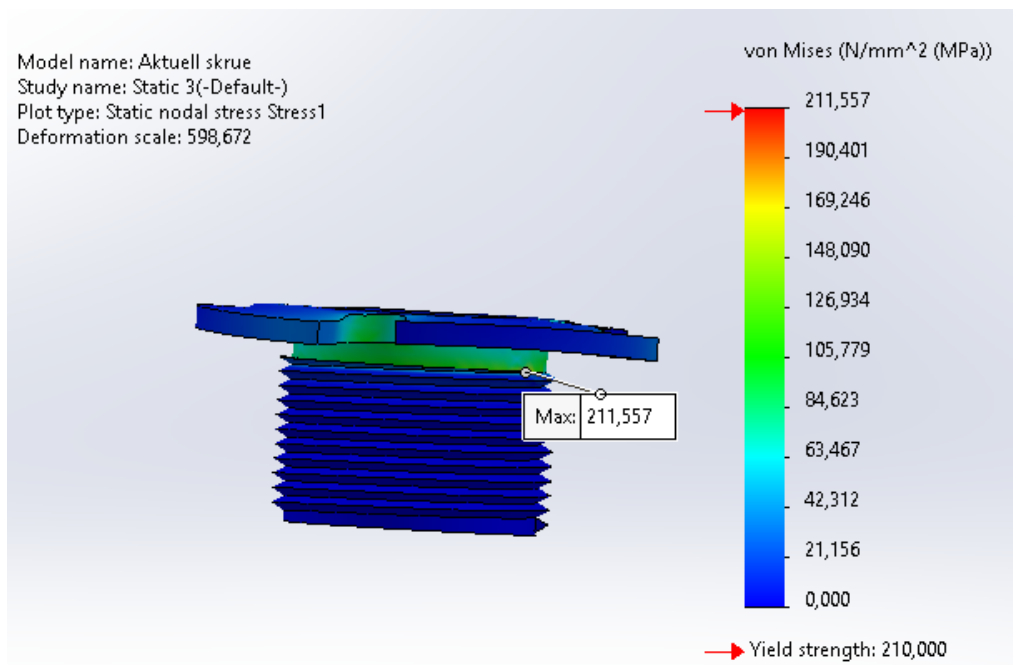
Under følger figurer som viser resultatene fra simuleringen

### 2.3.1 Fremstilling av elementnett



Figur 8: Fremstilling av elementnett

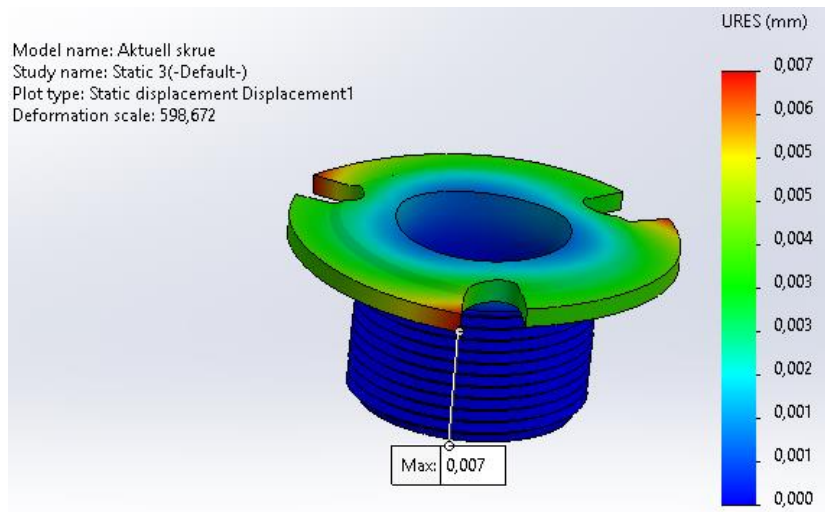
### 2.3.2 Plott som viser største von Mises spenning



Figur 9: Plott som viser von Mises spenning

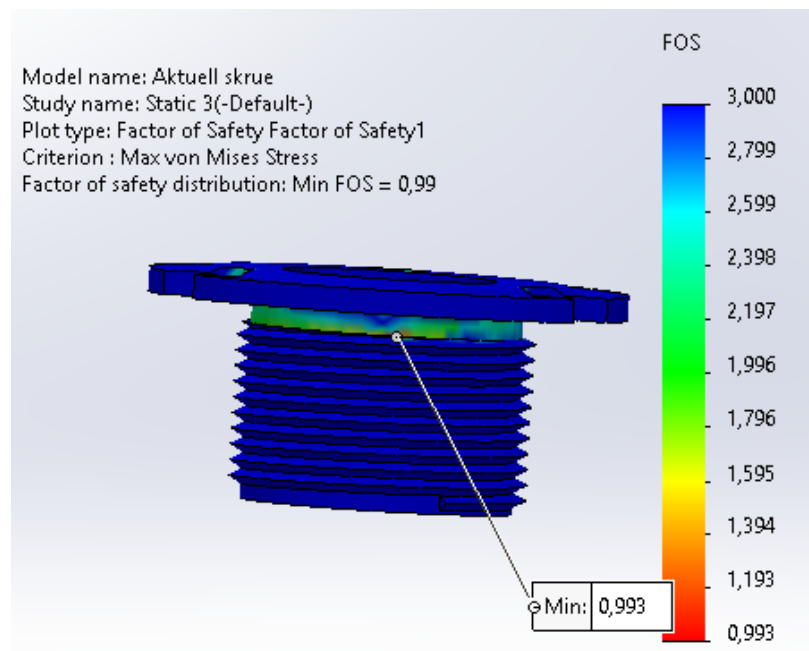


### 2.3.3 Plott som viser forskyvninger



Figur 10: Plott som viser forskyvninger

### 1.1.1 Plott som viser FOS



Figur 11: Plott som viser FOS

Ser her at ved et moment på 39Nm oppnår man en FOS på ca. 1. Ettersom man fikk et maks moment på 65 Nm ved beregninger brukes dette videre for styrkeberegningene av verktøyene. Hvis verktøyene tåler lasten på 65 Nm kan man si at de har tilstrekkelig med kapasitet.

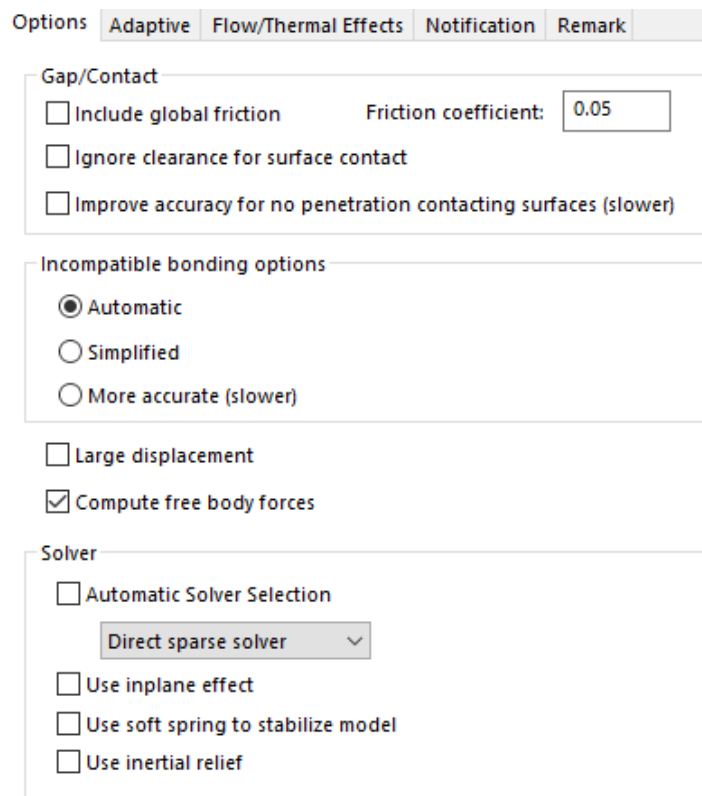
## 3 Styrkeberegning av hengslet hakenøkkel

### 3.1 Metode

I dette kapitlet følger en beskrivelse og begrunnelse av fremgangsmetoden for denne simuleringen.

#### 3.1.1 Randbetingelser

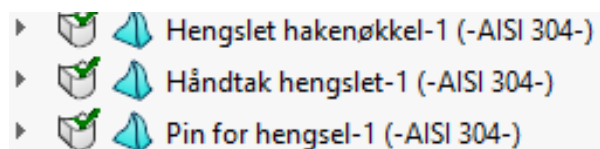
Bruken en Direct sparse solver for denne simuleringen



The image shows a software interface for setting simulation options. It features a tabbed menu at the top with 'Options', 'Adaptive', 'Flow/Thermal Effects', 'Notification', and 'Remark'. The 'Options' tab is active. Below the tabs are three main sections: 'Gap/Contact', 'Incompatible bonding options', and 'Solver'. In the 'Gap/Contact' section, there are three checkboxes: 'Include global friction' (unchecked), 'Ignore clearance for surface contact' (unchecked), and 'Improve accuracy for no penetration contacting surfaces (slower)' (unchecked). A 'Friction coefficient' field is set to '0.05'. In the 'Incompatible bonding options' section, there are three radio buttons: 'Automatic' (selected), 'Simplified' (unchecked), and 'More accurate (slower)' (unchecked). Below this are two checkboxes: 'Large displacement' (unchecked) and 'Compute free body forces' (checked). In the 'Solver' section, there is a checkbox for 'Automatic Solver Selection' (unchecked) and a dropdown menu currently showing 'Direct sparse solver'. Below the dropdown are three checkboxes: 'Use inplane effect' (unchecked), 'Use soft spring to stabilize model' (unchecked), and 'Use inertial relief' (unchecked).

Figur 12: Valg av solver

Materialet på hele verktøyet er AISI 304

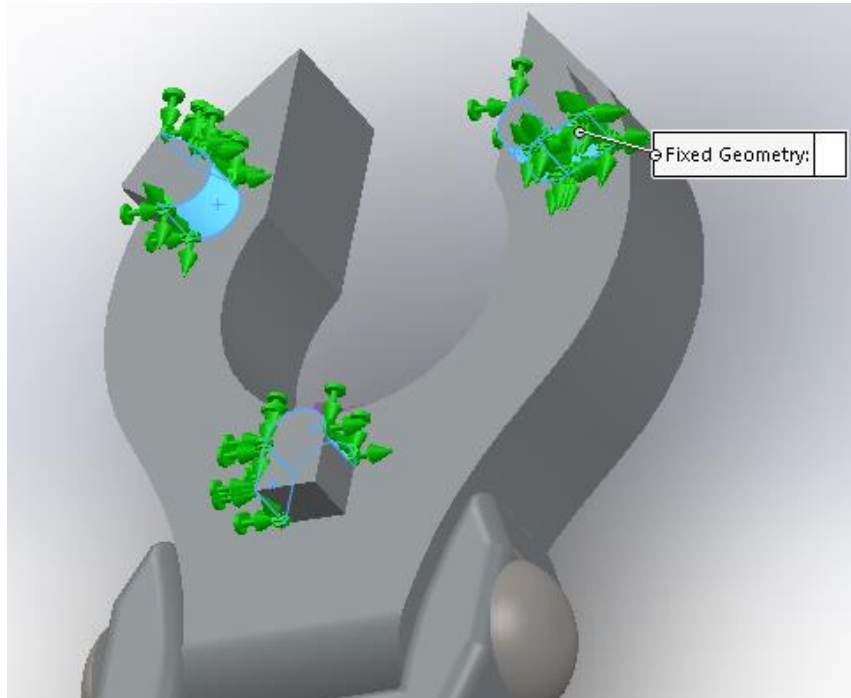


Figur 13: Valg av material

### 3.1.2 Geometri, fastholdninger og laster

Geometrien for verktøyet kan man se på forsidebildet.

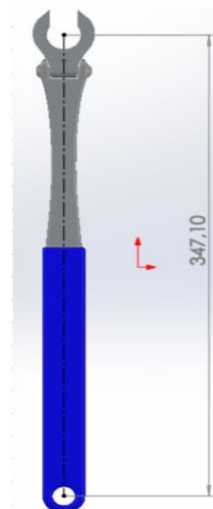
Fastholdningene er blitt plassert i områdene som blir presset mot skruen når verktøyet blir belastet med et moment.



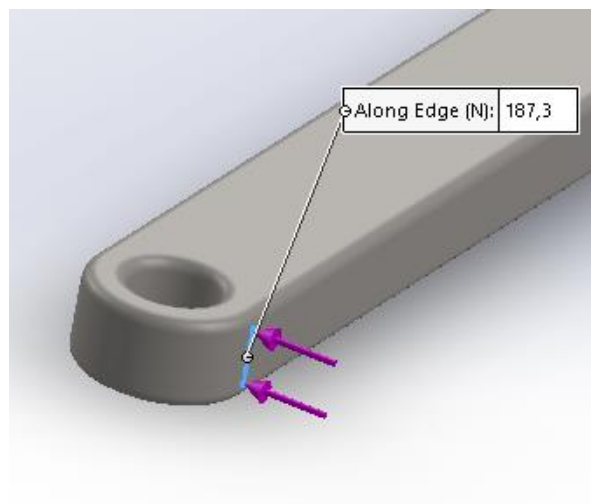
Figur 14: Valg av fastholdninger

For å finne kraften et moment på 65 Nm utgjør har man delt momentet på armen til verktøyet, dermed kom man frem til at lasten som virker i enden av håndtaket på verktøyet har en verdi på 187,3 N.

Tiltrekningsmoment:		Arm
65 Nm		347,1 mm
65 000 Nmm		
Kraft = Moment/arm	187,3 N	



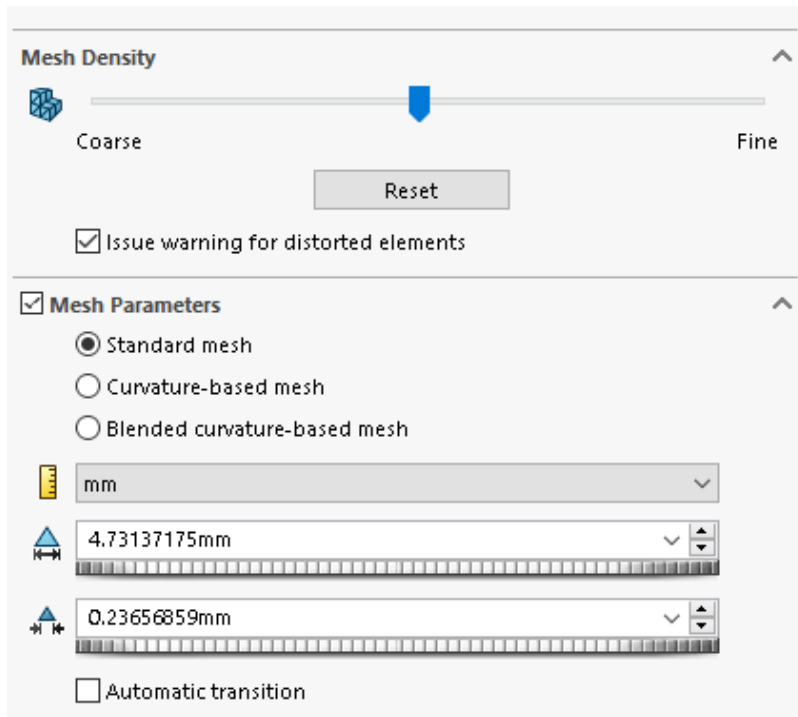
Figur 15: Lengde på arm



Figur 16: Plassering av last

### 3.1.3 Elementtype

Det blir brukt et standard elementnett.



Figur 17: Valg av elementnett

## 3.2 Resultater

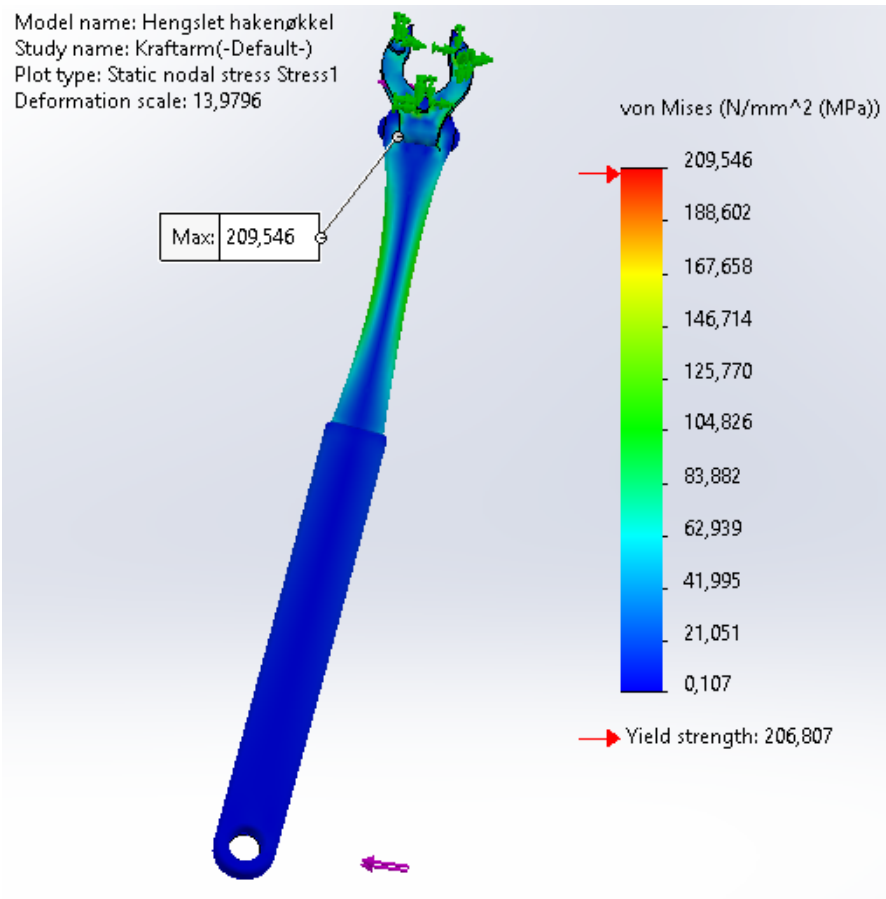
I dette kapitlet blir resultatene av styrkeberegningen for hakenøkkelen fremstilt.

### 3.2.1 Fremstilling av elementnett



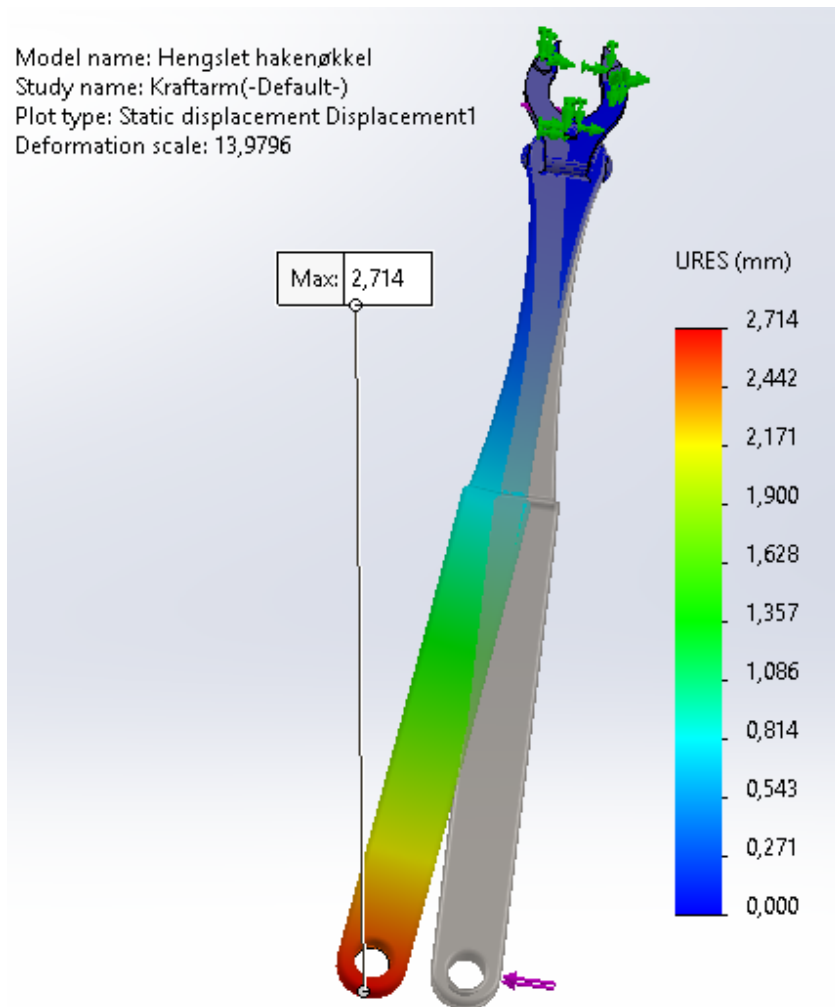
*Figur 18: Fremstilling av elementnett*

### 3.2.2 Plott som viser største von Mises spenning



Figur 19: Plott som viser von Mises spenning

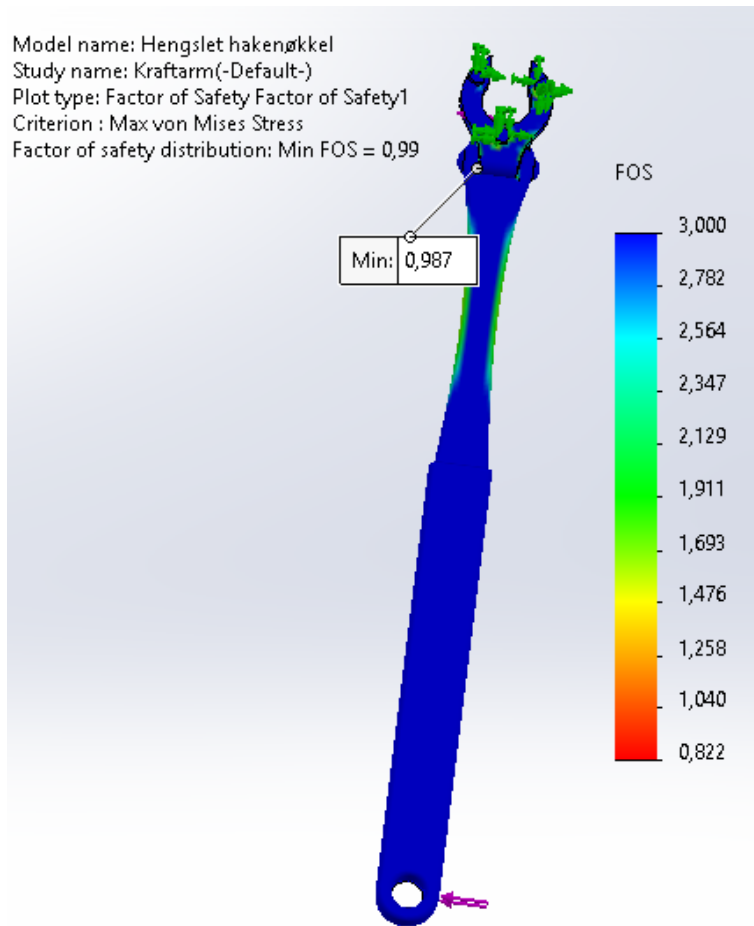
### 3.2.3 Plott som viser forskyvninger



Figur 20: Plott som viser forskyvninger



### 3.2.4 Plott som viser FOS



Figur 21: Plott som viser FOS

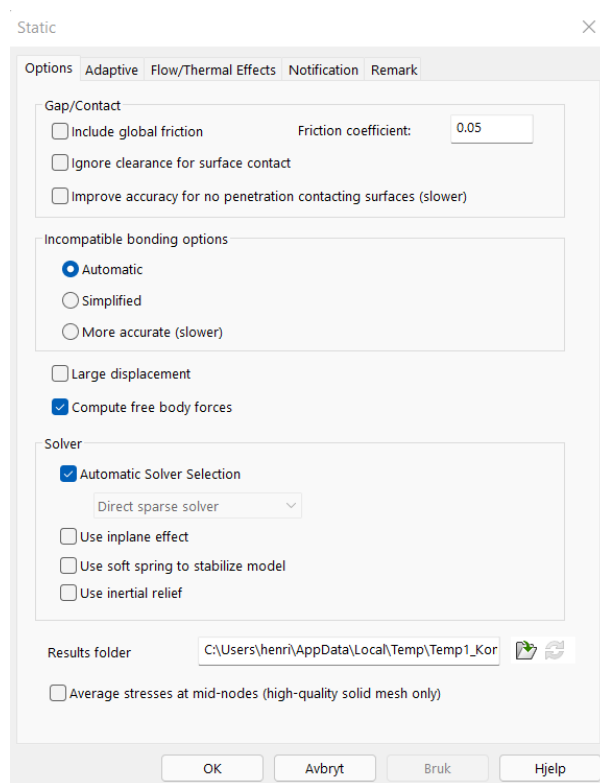
## 4 Styrkeberegning av muttertrekker verktøy

### 4.1 Metode

I dette kapittelet følger en beskrivelse og begrunnelse av fremgangsmetoden for denne simuleringen.

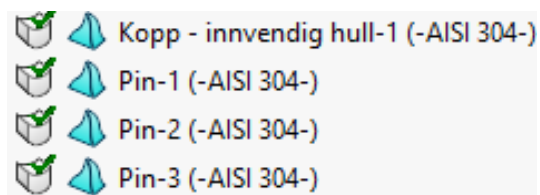
#### 4.1.1 Randbetingelser

En direct sparse solver er blitt brukt for denne analysen.



Figur 22: Valg av solver

Materialer på muttertrekkerverktøyet er AISI 304

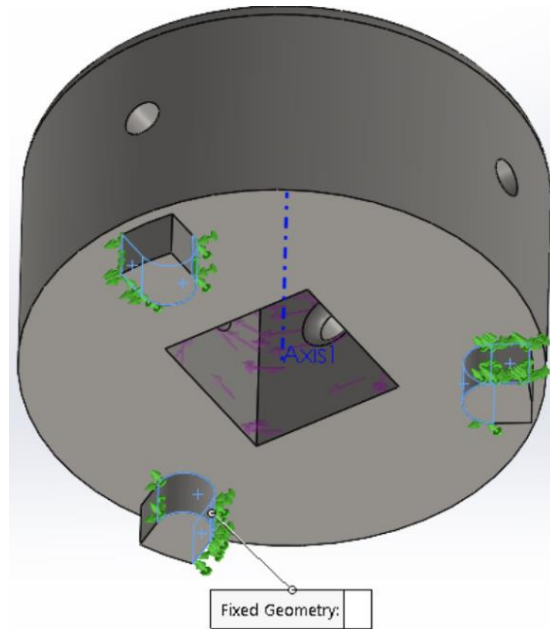


Figur 23: Valg av material

#### 4.1.2 Geometri, fastholdninger og laster

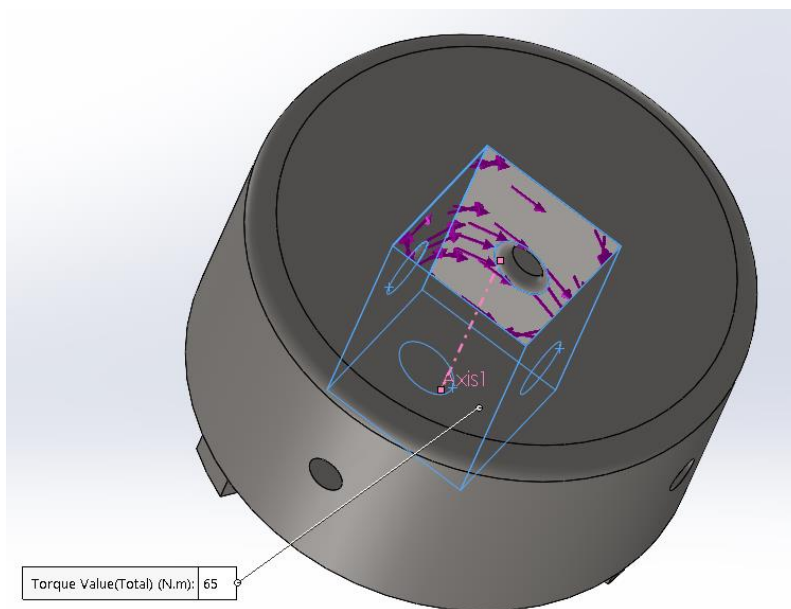
Geometrien på muttertrekkerverktøyet kan man se på forsidebildet.

Fastholdningene blir plassert i områdene på de tre pinnene som presses mot skruen når verktøyet blir belastet med et moment.



Figur 24: Valg av fastholdninger

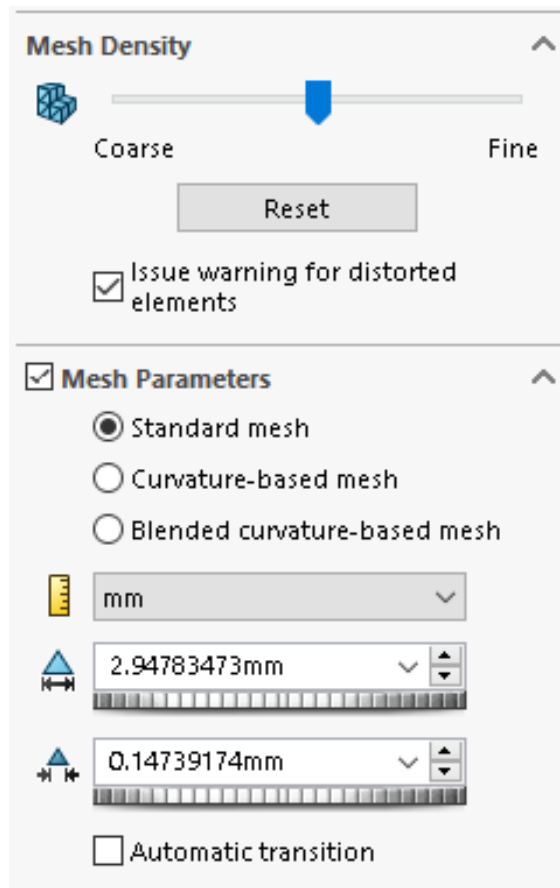
Lasten på 65 Nm blir plassert på innsiden av koppen ettersom det er der momentet fra en muttertrekker vil virke på verktøyet.



Figur 25: Valg av laster

### 4.1.3 Elementtype

Det blir valgt en standard mesh for denne simuleringen.

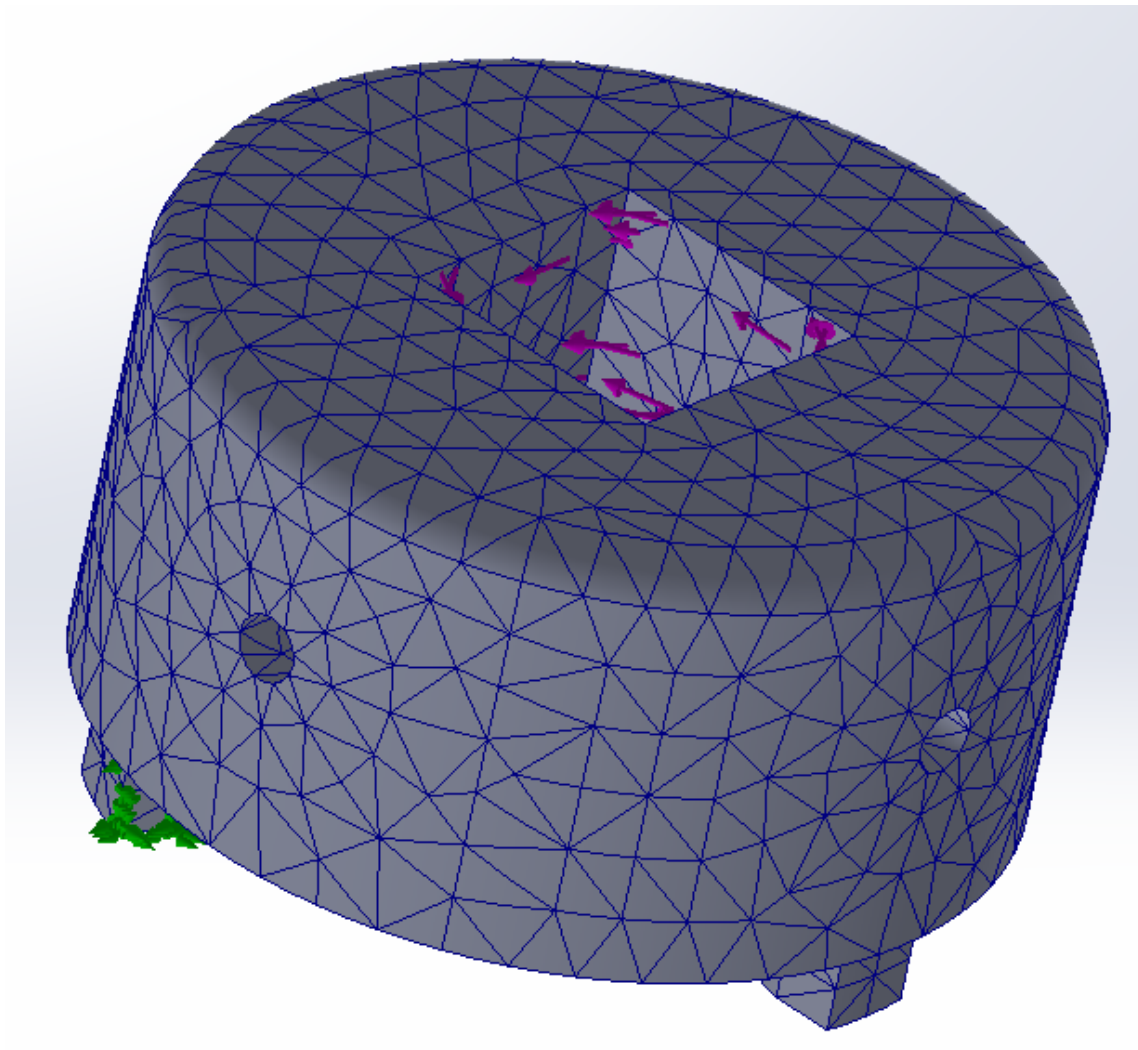


Figur 26: Valg av elementnett

## 4.2 Resultater

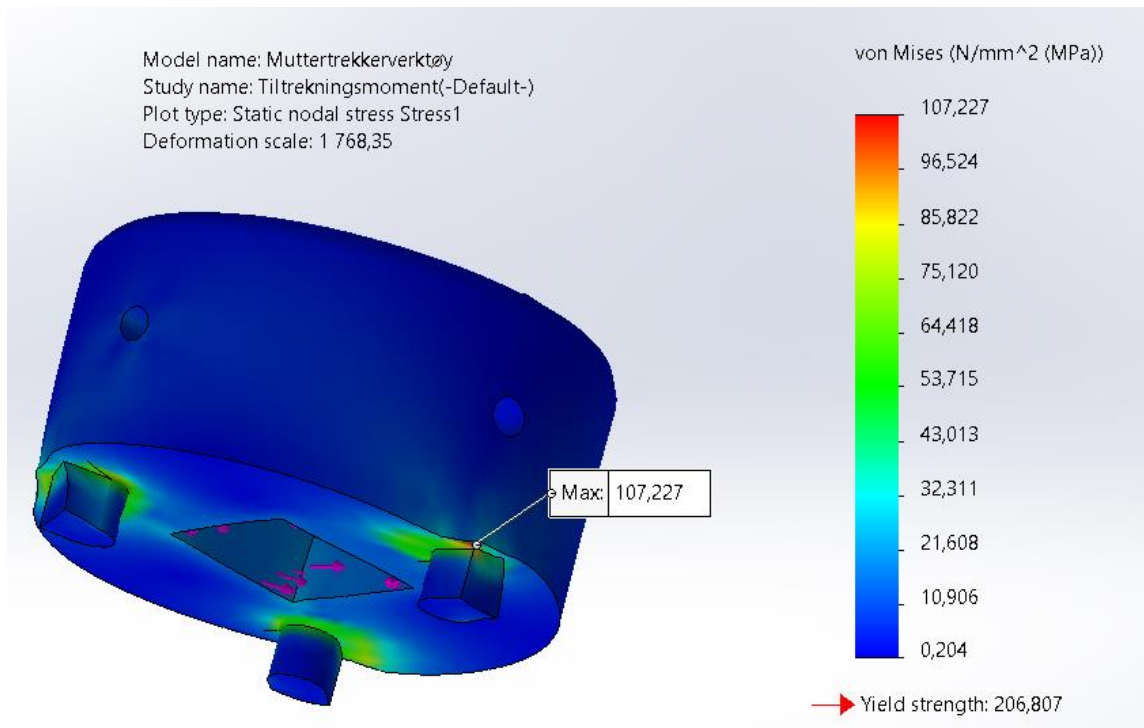
Under følger figurer som viser resultatene fra analysen

### 4.2.1 Fremstilling av elementnett



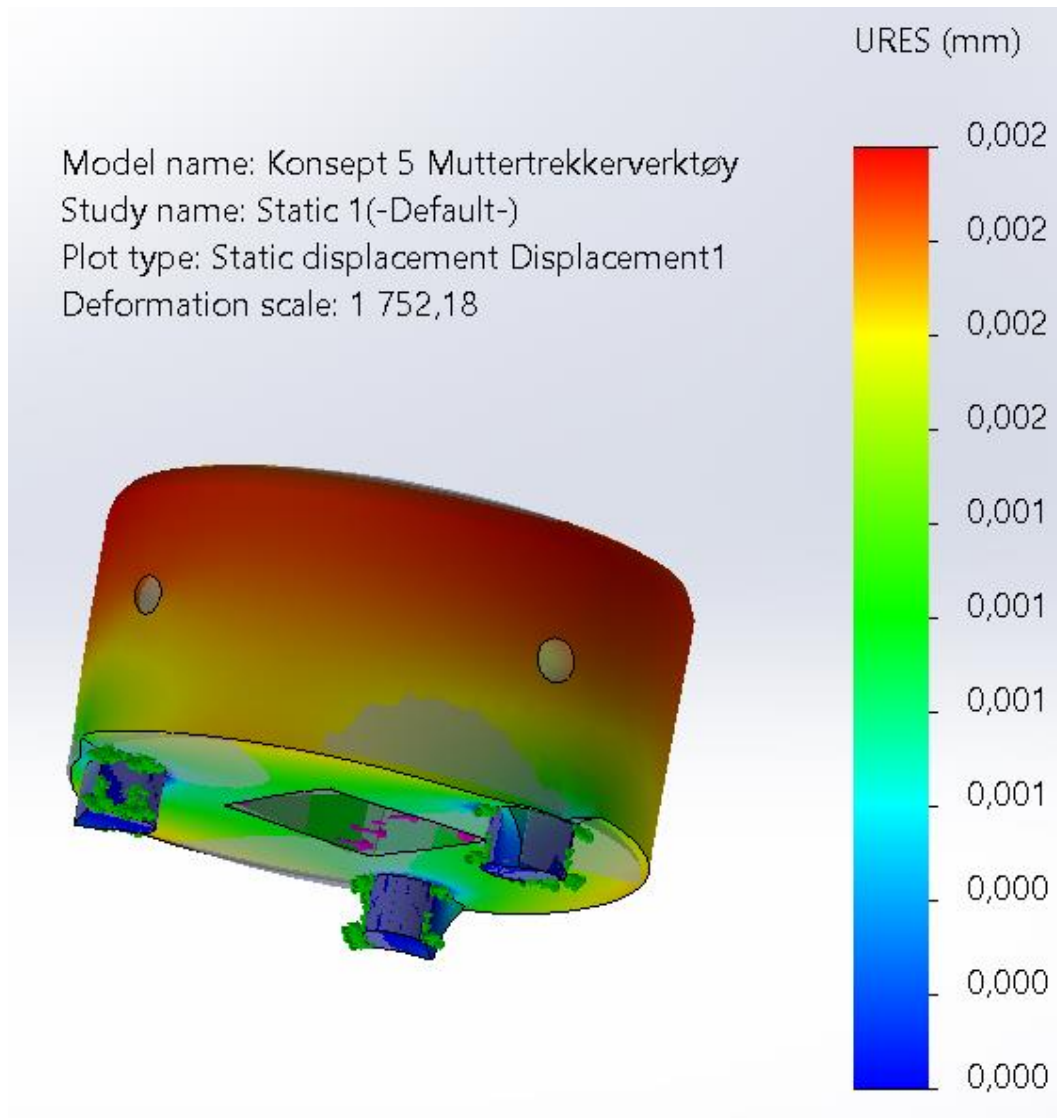
Figur 27: Fremstilling av elementnett

#### 4.2.2 Plott som viser største von Mises spenning



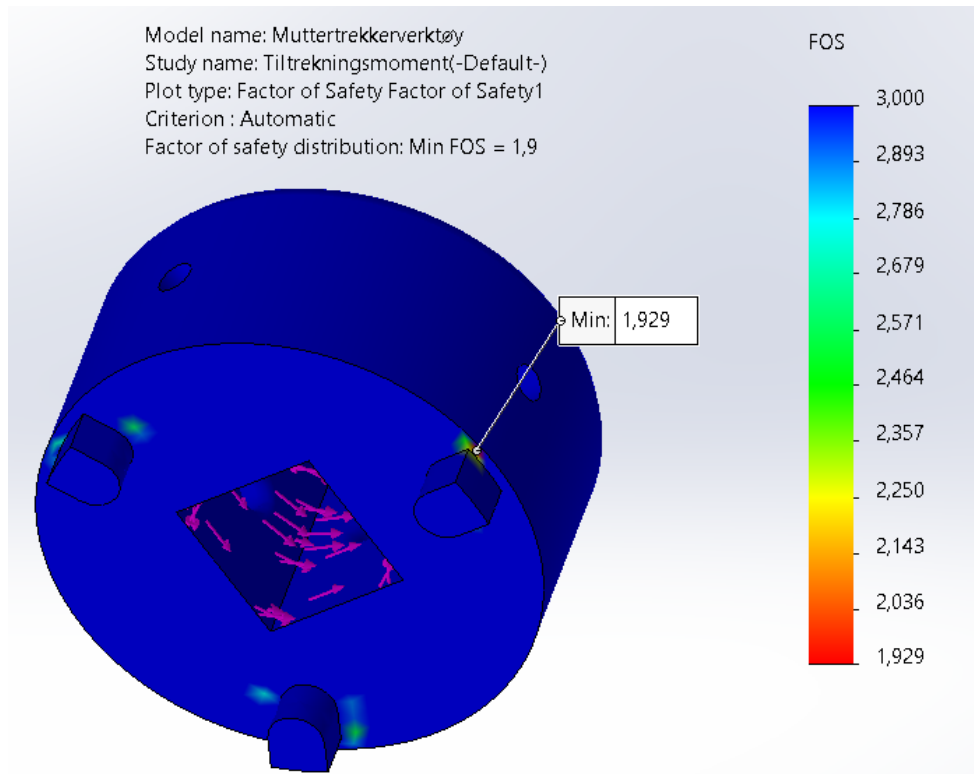
Figur 28: Plott som viser største von Mises spenning

#### 4.2.3 Plott som viser forskyvninger



Figur 29: Plott som viser forskyvninger

#### 4.2.4 Plott som viser FOS



Figur 30: plott som viser FOS



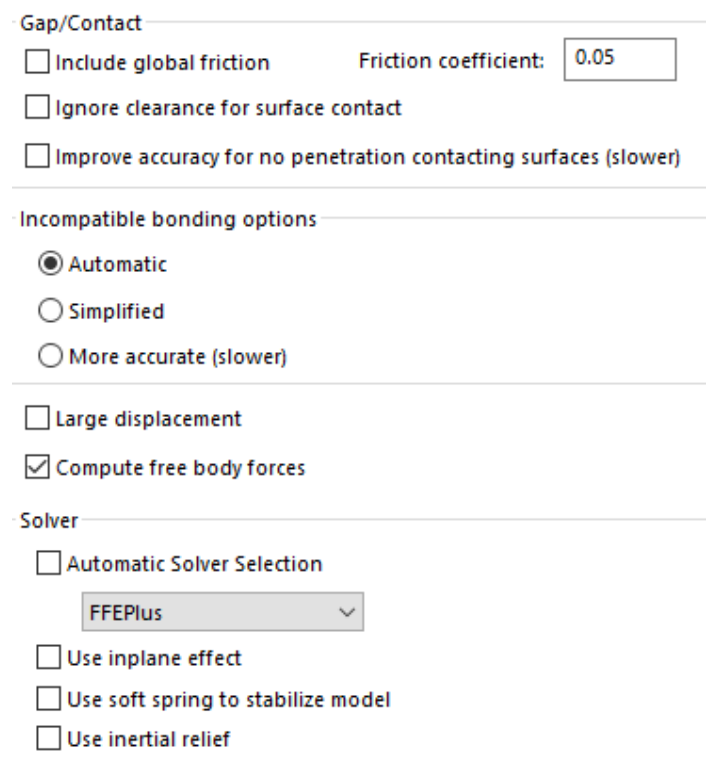
## 5 Styrkeberegning av koblingsverktøy

### 5.1 Metode

I dette kapittelet følger en beskrivelse og begrunnelse av fremgangsmetoden for denne simuleringen.

#### 5.1.1 Randbetingelser

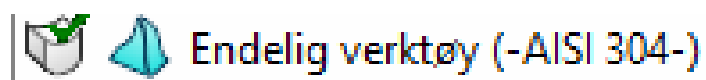
For denne analysen blir en FFEPlus solver valgt.



The image shows a screenshot of the simulation settings in SolidWorks, specifically the 'Solver' and 'Gap/Contact' sections. The 'Gap/Contact' section includes three checkboxes: 'Include global friction' (unchecked), 'Ignore clearance for surface contact' (unchecked), and 'Improve accuracy for no penetration contacting surfaces (slower)' (unchecked). The 'Friction coefficient' is set to 0.05. The 'Incompatible bonding options' section has three radio buttons: 'Automatic' (selected), 'Simplified' (unchecked), and 'More accurate (slower)' (unchecked). Below this are two checkboxes: 'Large displacement' (unchecked) and 'Compute free body forces' (checked). The 'Solver' section has a checkbox for 'Automatic Solver Selection' (unchecked), a dropdown menu set to 'FFEPlus', and three checkboxes: 'Use inplane effect' (unchecked), 'Use soft spring to stabilize model' (unchecked), and 'Use inertial relief' (unchecked).

Figur 31: Valg av solver

Velger deretter materialet i *Solidworks* som konseptet skal produseres i.

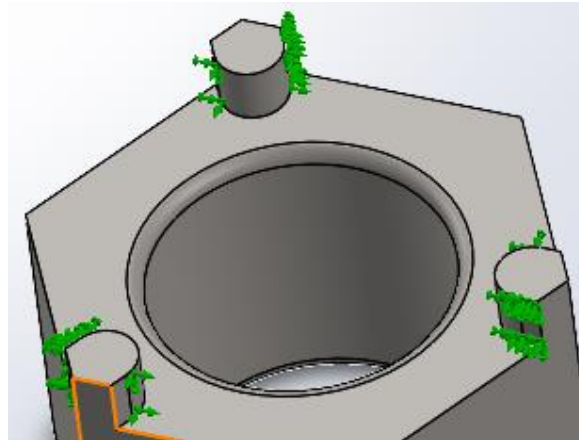


Figur 32: Valg av material

### 5.1.2 Geometri, fastholdninger og laster

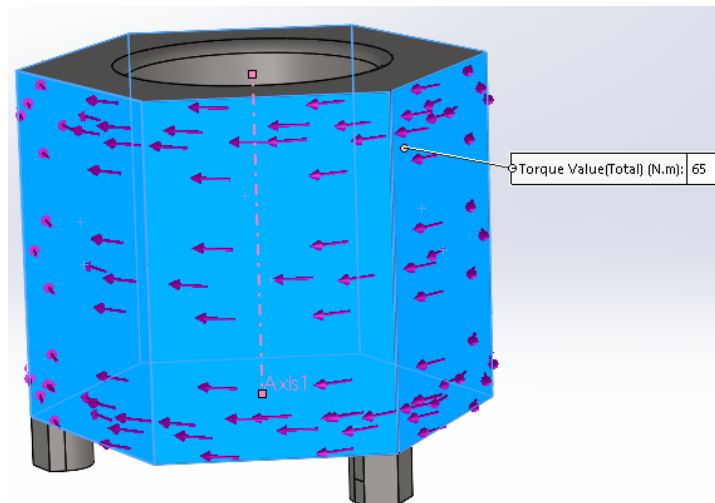
Geometrien på verktøyet kan man se på forsidebildet av rapporten.

Fastholdningene som er valgt er fixed geometry, disse har blitt plassert på overflatene som blir presset mot skruen når verktøyet blir belastet med et moment.



Figur 33: Plassering av fastholdninger

I en reell situasjon vil momentet virke på de utsiden av verktøyet, men slik verktøyet er designet nå vil pinnene også bli tilført et moment, derfor må det opprettes splines slik at kun de ytre veggene av verktøyet blir belastet med lastene.

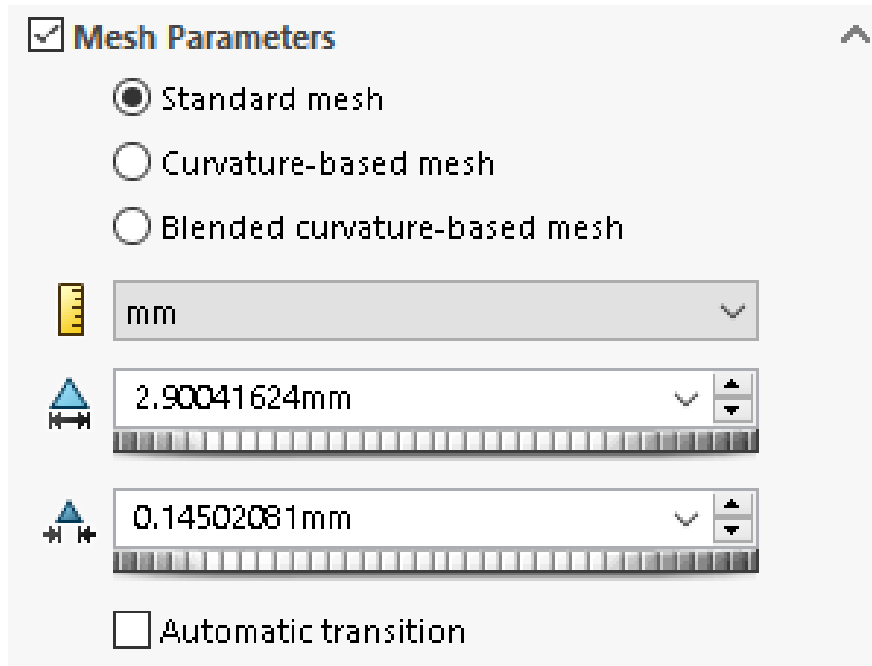


Figur 34: Plassering av last

Som man kan se i figur 31 blir et moment plassert på utsiden av verktøyet ettersom det er her momentet oppstår ved bruk av en kopp eller fastnøkkel.

### 5.1.3 Elementtype

Det ble brukt en standard mesh for denne simuleringen.

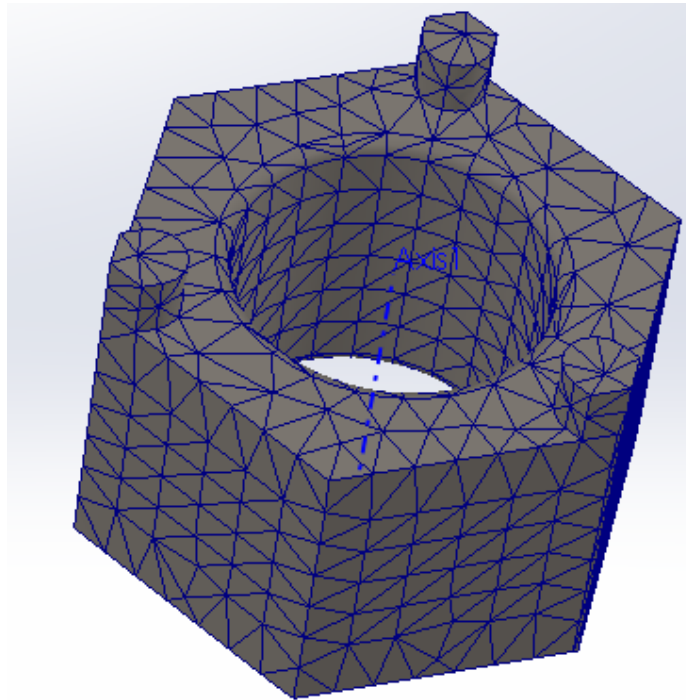


Figur 35: valg av elementnett

## 5.2 Resultater

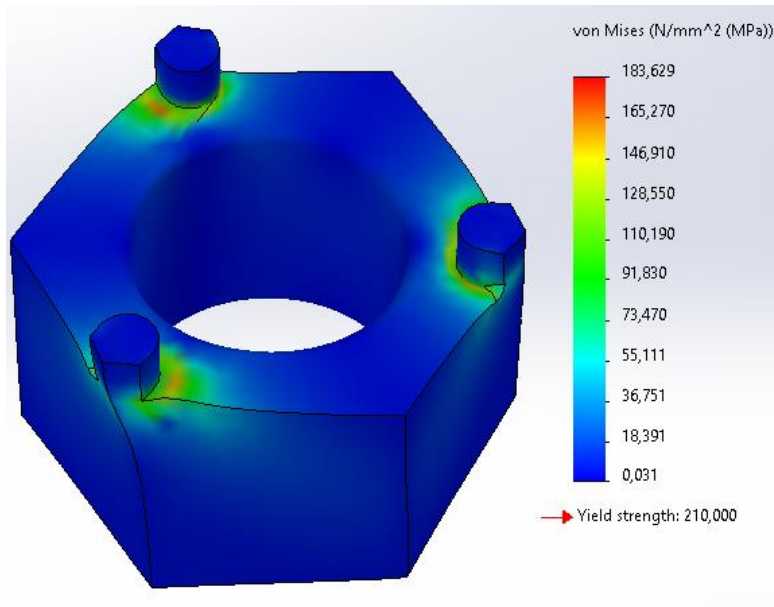
Under følger figurer som viser resultatene fra styrkeberegningen

### 5.2.1 Fremstilling av elementnett



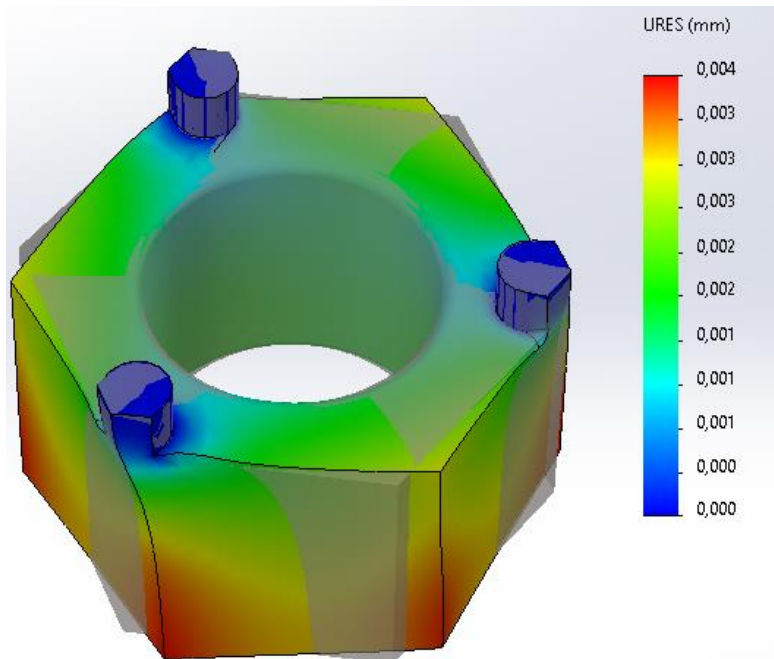
*Figur 36: fremstilling av elementnett*

### 5.2.2 Plott som viser største von Mises spenning



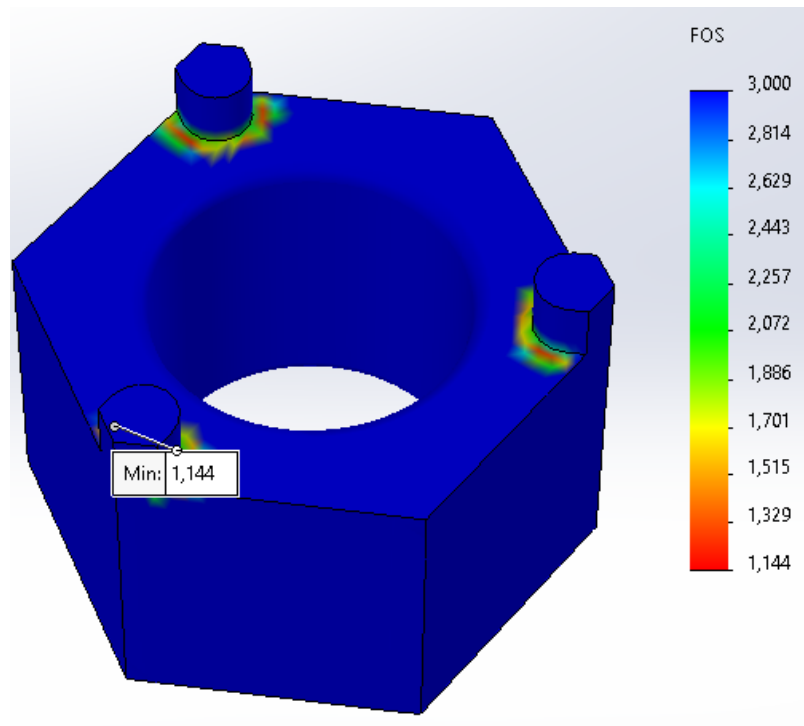
Figur 37: Plott som viser maks von Mises spenning

### 5.2.3 Plott som viser forskyvninger



Figur 38: Plott som viser største forskyvninger

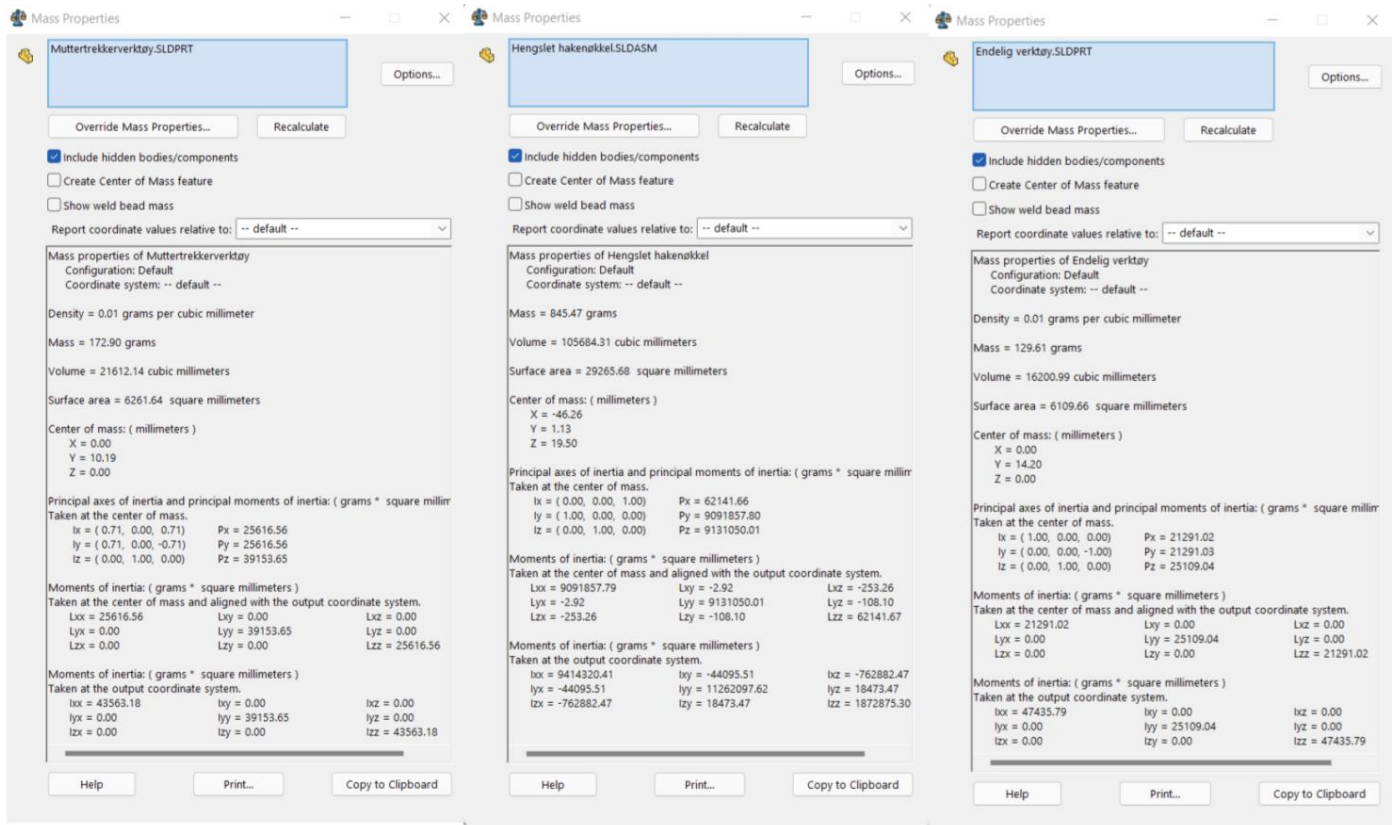
### 5.2.4 Plott som viser FOS



Figur 39: Plott som viser FOS

## 6 Sammenligning av resultatene

### 6.1 Vekt



Figur 40: Vekt av henholdsvis muttertrekkerverktøy, hakenøkkel og koblingsverktøy

## 6.2 Fullstendig sammenligning

For å sammenligne konseptene blir de viktigste resultatene fra studiene, forarbeid som en mekaniker må gjøre for å ta i bruk verktøyet, vekt og produksjonspris plottet inn i en tabell.

Funksjon	Enhet	Hengslet Hakenøkkel	Muttertrekkerverktøy	Koblingsverktøy
<b>Stykkpris med emne</b>	kr. Ved kjøp av 5 stk	3 016	2 660	422
<b>Forarbeid</b>	sekunder	10	1800	240
<b>Vekt</b>	gram	845.5	172.9	130
<b>Maksimal spenning</b>	MPa	209.5	107.2	183.6
<b>Minste FOS</b>		0.99	1.93	1.14

Tabell 1: Sammenligning av konseptene

Som man kan se av verdiene i tabellen er hakenøkkel ikke et reelt alternativ ettersom den ikke tåler belastningene som blir tilført. Muttertrekkerverktøyet er et godt alternativ hvis man kun tar hensyn til resultatene fra simuleringene. Men forarbeidet en mekaniker må gjøre for å ta i bruk dette verktøyet er mye større enn de to andre konseptene. Dersom en skulle gått for muttertrekkerverktøyet måtte en også produsert fem versjoner av en hakenøkkel som tåler belastningene påført, noe som betyr at man måtte totalt kjøpt ti verktøy.

Koblingsverktøyet derimot kan brukes av en muttertrekker og en standard fastnøkkel. Det vil si at det ikke er nødvendig med mer enn fem eksemplarer av koblingsverktøyet, dermed halverer man produksjonskvantiteten og reduserer kostnadene drastisk. Dette kombinert med den lave vekten, og nødvendig forarbeid gjør at koblingsverktøyet er et godt alternativ for et endelig konsept. Dermed går man videre med koblingsverktøyet til en design studie for å optimalisere dette konseptet.



## 7 Design studie av endelig konsept

Høyden av verktøyet er den eneste dimensjonen som kan endres uten at det påvirker at verktøyet passer skruens dimensjoner, dermed skal det kjøres en design studie med høyden som variabel, med mål om å redusere spenninger og øke FOS.

Run  Optimization Total active scenarios: 18

Variables

Høyde	Range with Step	Min: 18mm	Max: 35mm	Step: 1mm
<a href="#">Click here to add Variables</a>				

Constraints

[Click here to add Constraints](#)

Goals

Stress2	Minimize	Weight: 5.00	Static 2
Minimum Factor of Safety2	Maximize	Weight: 5.00	Static 2
<a href="#">Click here to add Goals</a>			

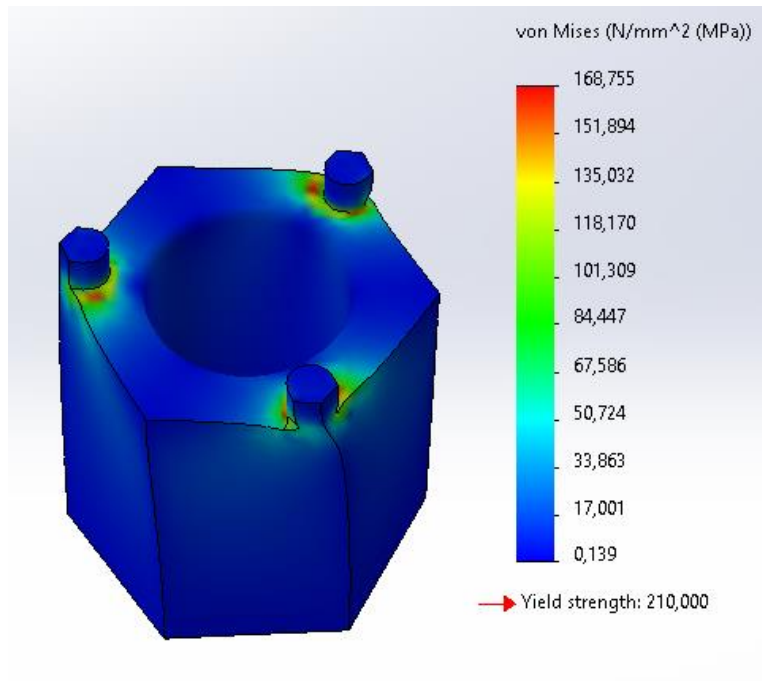
Figur 42: Randbetingelser for design studie

Finner da at en høyde på 24mm er den optimale løsningen, men grunnet geometriske begrensninger velger man 28mm.

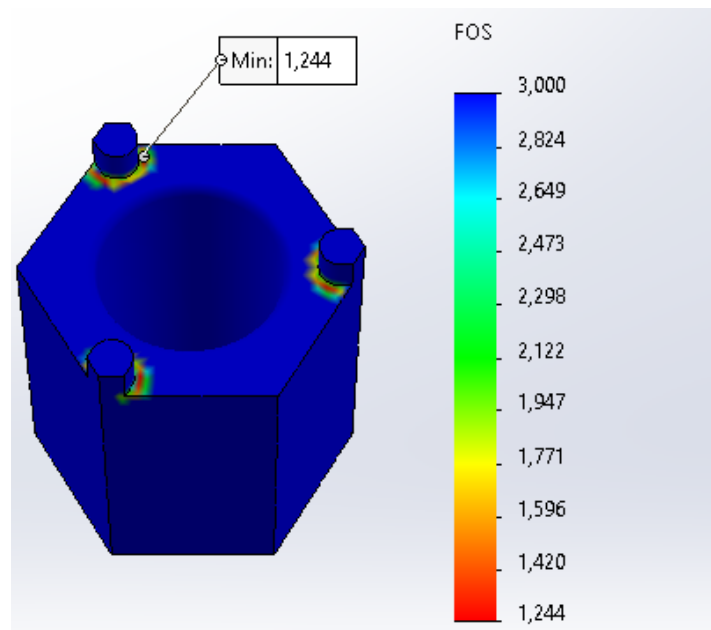
		Current	Initial	Optimal (7)	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5	Scenario 6	Scenario 7	Scenario 8	Scenario 9
Høyde		28mm	28mm	24mm	18mm	19mm	20mm	21mm	22mm	23mm	24mm	25mm	26mm
Stress2	Minimize	168.53 N/mm <sup>2</sup>	168.53 N/mm <sup>2</sup>	166.3 N/mm <sup>2</sup>	170.52 N/mm <sup>2</sup>	172.6 N/mm <sup>2</sup>	186.24 N/mm <sup>2</sup>	182.4 N/mm <sup>2</sup>	186.85 N/mm <sup>2</sup>	172.71 N/mm <sup>2</sup>	166.3 N/mm <sup>2</sup>	183.47 N/mm <sup>2</sup>	179.23 N/mm <sup>2</sup>
Minimum Factor of Safety2	Maximize	1.246089	1.246089	1.262748	1.231534	1.216657	1.127560	1.151323	1.123899	1.215924	1.262748	1.144632	1.171707

Figur 43: Resultatene fra design studie

## 7.1 Nye resultater



Figur 41: spenninger i optimalisert versjon



Figur 42: Nye FOS

## 8 Diskusjon og konklusjon

Det har altså blitt brukt det største lasttilfellet som referanse i simuleringen ved å bruke lastene skruen maksimalt tåler. Man kan da si at dersom verktøyet tåler disse lastene vil det være godt nok.

Som man kan se fra figurene i kapittel 7.1 er resultatene positiv. De største spenningene som oppstår på verktøyet er i området mellom verktøy og skrue, og er på ca. 168 MPa. Det er altså 24% under flytegrensen og man får dermed en minste FOS på ca. 1.24.

Hadde dette vært den reelle lasten verktøyet er utsatt for og man hadde fått samme resultater, ville resultatene og vært positive, men man måtte nok ha gjort noen endringer i design for å øke kapasiteten til verktøyet ytterligere. I og med at dette er en simulering av verst tenkelig scenario, og verktøyet allikevel tåler lastene kan man konkludere med at den optimaliserte versjonen av koblingsverktøyet har god nok kapasitet til å tåle lastene den vil bli utsatt for. Dermed blir dette det endelige konseptet som skal bli produsert.

## **Vedlegg M: Møtereferat**

### **Møtereferat 14.01.22**

Samtlige gruppemedlemmer er tilstede.

Prosjektplan: I løpet av dette møtet har gruppen idemyldret om hvilke deler av elsparkesykkelen en kan optimalisere, og man har hatt et møte med veileder fra Bydue for å høre hva som er aktuelt.

Neste Møte: 17.01.22

Til neste gang: Sette seg inn i hva forprosjektet skal inneholde

### **Møtereferat 17.01.22**

Samtlige gruppemedlemmer er tilstede.

Prosjektplan: I løpet av dette møtet har gruppen jobbet sammen med forprosjektet og har kommet godt i gang med denne prosessen. Samarbeidsavtalen er laget og signert, bacheloravtalen er sendt ut til nødvendige parter for signering, og det har blitt avtalt et møte med veileder fra instituttet

Neste Møte: 19.01.22

Til neste gang: Fullføre forprosjektet og gjøre bacheloravtalen klar for levering

### **Møtereferat 19.01.22**

Samtlige gruppemedlemmer er tilstede.

Prosjektplan: I løpet av dette møtet har gruppen jobbet sammen med å fullføre forprosjektet og har snart fullført den oppgaven. Det eneste som mangler nå er små detaljer som er avhengig av andre parter som f.eks. signaturer på bacheloravtalen.

Neste Møte: 20.01.22

Til neste gang: Forberede seg til møte med veileder.

## Møtereferat 20.01.22

Samtlige gruppemedlemmer er tilstede.

Prosjektplan: I løpet av dette møtet har gruppen hatt et møte med veileder for å få avklart noen punkter i forbindelse med oppgaven. Det ble kommet frem til at bakskjermen skulle være fokus i denne oppgaven.

Neste Møte: 24.01.22

Til neste gang: Tenke over hvordan man kan teste problemet” med komponenten.

## Møtereferat 24.01.22

Samtlige gruppemedlemmer er tilstede.

Prosjektplan: I løpet av dette møtet har gruppen testet problemet med bakskjermen for å se om dette er noe man kan jobbe med og eventuelt forbedre. Konklusjonen en kom frem til etter testing var at bakskjermen ikke hadde et like stort problem som først antatt og gruppen måtte dermed finne en ny komponent å optimalisere. Kom frem til at en ny oppgave kan være å lage et verktøy for stramming av framgaffel. Det ble også avtalt et møte med veileder.

Neste Møte: 27.01.22

Til neste gang: Tenke over hvilke andre komponenter man kan bygge oppgaven rundt. Møte med veileder for å snakke om nye oppgaver å bygge videre på, hovedsaklig høre om et verktøy kan være et utgangspunkt.

## Møtereferat 03.02.22

Samtlige gruppemedlemmer er tilstede.

Prosjektplan: I løpet av dette møtet har gruppen kommet frem sammen med veileder at en ny oppgave kan være å lage et verktøy for stramming av framgaffel. Forprosjektet er levert og arbeidet med bachelor-oppgaven har offisielt kommet i gang.

Neste Møte: 04.02.22

Til neste gang: Sette seg inn i hva det innebærer å være en tool-maker” og gjøre en liten litteratur-analyse.

## **Møtereferat 04.02.22**

Samtlige gruppemedlemmer er tilstede.

Prosjektplan: I løpet av dette møtet har gruppen begynt å skrive på selve bacheloroppgaven. Gruppen har kommet godt i gang, funnet relevant informasjon om produksjonsprosessen av et verktøy og har et generelt godt utgangspunkt for resten av arbeidsprosessen.

Neste Møte: 09.02.22

Til neste gang: Lese gjennom hele rapporten og komme med innspill.

## **Møtereferat 09.02.22**

Samtlige gruppemedlemmer er tilstede.

Prosjektplan: I løpet av dette møtet fortsetter gruppen å skrive på selve bacheloroppgaven. Gruppen har fått bekreftet et møte med en professor på NTNU på institutt for maskinteknikk og produksjon, og skal dermed forberede seg for dette møtet.

Neste Møte: 10.02.22

Til neste gang: Forberede seg til møte med professor.

## **Møtereferat 10.02.22**

Samtlige gruppemedlemmer er tilstede.

Prosjektplan: I løpet av dette møtet fortsetter gruppen å skrive på selve bacheloroppgaven. Møtet med professoren på NTNU ble utsatt grunnet sykdom, dermed blir det mer fokus på rapportskrivning.

Neste Møte: 16.02.22

Til neste gang: Forberede seg til møte med professor.

## **Møtereferat 16.02.22**

Samtlige gruppemedlemmer er tilstede.

Prosjektplan: I løpet av dette møtet har gruppen snakket med professor Christer Elverum, og har fått noen innspill om hvordan produktutviklingsfasen foregår

Neste Møte: 02.03.22

Til neste gang: Forberede seg til møte med professor.

## **Møtereferat 02.03.22**

Samtlige gruppemedlemmer er tilstede.

Prosjektplan: I løpet av dette møtet har gruppen snakket med professor Detlef Blankenburg, og har fått litteratur og noen innspill om hvilke endringer som kan foretas for å forbedre oppgaven.

Neste Møte: 03.03.22

Til neste gang: Lese seg opp på litteraturen gitt av professor.

## **Møtereferat 03.03.22**

Samtlige gruppemedlemmer er tilstede.

Prosjektplan: I løpet av dette møtet har gruppen startet med en veldig tidlig prototype for å visualisere hvordan løsningen skal fungere.

Neste Møte: 04.03.22

Til neste gang: Finne ut av hvordan man får tilgang til NTNU verksteder.

## **Møtereferat 04.03.22**

Samtlige gruppemedlemmer er tilstede.

Prosjektplan: I løpet av dette møtet har gruppen jobbet med rapporten, og funnet ut av hvordan man kan få tilgang til verkstedet.

Neste Møte: 10.03.22

Til neste gang: Lage prototype.

## **Møtereferat 10.03.22**

Samtlige gruppemedlemmer er tilstede.

Prosjektplan: I løpet av dette møtet har gruppen fått tilgang til veksted på NTNU, og har konstruert en prototype av hakenøkkelen.

Neste Møte: 11.03.22

Til neste gang: Teste prototype.

## **Møtereferat 11.03.22**

Samtlige gruppemedlemmer er tilstede.

Prosjektplan: I løpet av dette møtet har gruppen vært innom Bydues verksted og fått testet den første prototypen. Testen var positiv, men man oppdaget også noen forbedringspunkter. Gruppen tar nå en liten pause for å øve til eksamen i INGT2300 og jobber dermed ikke med oppgaven før om 2 uker.

Neste Møte: 24.03.22

Til neste gang: Forberede Poster og presentasjon.



## **Møtereferat 24.03.22**

Samtlige gruppemedlemmer er tilstede.

Prosjektplan: I løpet av dette møtet har gruppen jobbet med og fått levert inn obligatoriske arbeidskrav som poster og presentasjon. Gruppen har også blitt enig om å begynne å konstruere en prototype av kopp til muttertrekker.

Neste Møte: 29.03.22

Til neste gang: Forberede seg til å lage prototype.

## **Møtereferat 29.03.22**

Samtlige gruppemedlemmer er tilstede.

Prosjektplan: I løpet av dette møtet har gruppen vært på NTNU sitt verksted og fått produsert en prototype av kopp til muttertrekker.

Neste Møte: 30.03.22

Til neste gang: Forberede seg til å presentasjon.

## **Møtereferat 30.03.22**

Samtlige gruppemedlemmer er tilstede.

Prosjektplan: I løpet av dette møtet har gruppen presentert oppgaven for veileder og andre relevante professorer ved instituttet. Man fikk da gode tilbakemeldinger for forbedringer. Neste Møte: 31.03.22

Til neste gang: Forberede seg til møte med veileder.

## **Møtereferat 31.03.22**

Samtlige gruppemedlemmer er tilstede.

Prosjektplan: I løpet av dette møtet har gruppen hatt et møte med veileder og fått gode tilbakemeldinger for hvordan veien videre kan se ut. Man har også tatt turen innom bedriftens verksted for å teste nødvendig moment, torsjon og kraft som trengs for å justere bolten slik at man kan begynne å simulere spenningene som virker på bolten.

Neste Møte: 05.04.22

Til neste gang: Ingen oppgaver til neste gang.

## **Møtereferat 05.04.22**

Samtlige gruppemedlemmer er tilstede.

Prosjektplan: I løpet av dette møtet har gruppen fordelt arbeidsoppgaver som skal gjøres i påsken

Neste Møte: 20.04.22

Til neste gang: Gjøre fordelte oppgaver.

## **Møtereferat 21.04.22**

Samtlige gruppemedlemmer er tilstede.

Prosjektplan: I løpet av dette møtet har gruppen kontaktet potensielle produsenter av verktøyene som er blitt designet. Man har også hatt et møte med veileder og gjennomgått strukturen på oppgaven. Har bestemt at det nå skal jobbes hver arbeidsdag frem mot innleveringsfristen og dermed skal møtetene refereres en gang i uken fremover med en oppsummering av hva som er blitt gjort hver uke.

Neste Møte: 25.04.22

Til neste gang: Skrive videre på oppgaven og avvente svar fra produsenter.

## **Møtereferat 25.04.22**

Samtlige gruppemedlemmer er tilstede.

Prosjektplan: I løpet av dette møtet har gruppen snakket med produsenter fra Askro som virket positiv til å produsere produktene i oppgaven. Desverre etter å ha tatt en grundigere kikk på designene av konseptene kunne ikke Askro produsere produktet allikevel. Derimot sa de at de kunne lage emner til produksjon som kan brukes av en annen produsent når produktene skal produseres.

Neste Møte: 02.05.22

Til neste gang: Skrive videre på oppgaven og begynne simulering.

## **Møtereferat 02.05.22**

Samtlige gruppemedlemmer er tilstede.

Prosjektplan: I løpet av denne uken har man fått gjort beregninger slik at man kunne begynne på simuleringene av verktøyet. Simuleringene fikk meget positive resultater. Deretter sendte man rapporten av simuleringene og en nedlastet versjon av hele oppgaven så langt til veileder og venter nå på tilbakemeldinger.

Neste Møte: 09.05.22

Til neste gang: Skrive videre på oppgaven.

## **Møtereferat 09.05.22**

Samtlige gruppemedlemmer er tilstede.

Prosjektplan: I løpet av denne uken har man gjort endringer på oppgaven etter tilbakemeldinger fra veileder og har kommet ganske nær ferdigstilling av oppgaven. Det har også blitt sendt bestilling til produsenter for å produsere det endelige konseptet

Neste Møte: 19.05.22

Til neste gang: Skrive videre på oppgaven.

## Møtereferat 19.05.22

Samtlige gruppemedlemmer er tilstede.

Prosjektplan: I løpet av denne uken har oppgaven blitt ferdigstilt og man har sendt flere ferdige versjoner til veileder. Har tatt hensyn til tilbakemeldingene fra veileder, endret på nødvendige punkter og kommet frem til en fullstendig ferdig oppgave som er klar for levering.

