

# Forbedring av individuell justering av brennstoffpumpe på dieselmotor

Jan Ove Arnesen  
Andreas Hufthammer  
Kristoffer Lunde Lyssand

Bacheloroppgave i Allmenn Maskinteknikk  
Bergen, Norge 2019





# Forbedring av individuell justering av brennstoffpumpe på dieselmotor

Jan Ove Arnesen  
Andreas Hufthammer  
Kristoffer Lunde Lyssand

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

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

Omslag fotografi © Norbert Lümmen

*English title:* Improvement of individual fuel pump adjustment on diesel engine

Forfatter(e), studentnummer: Jan Ove Arnesen h150139  
Andreas Hufthammer h181365  
Kristoffer Lunde Lyssand h181354

Studieprogram: Allmenn Maskinteknikk  
Dato: Mai 2019  
Rapportnummer: IMM 2019-M13  
Veileder ved HVL: Peter Edgar Koch  
Oppdragsgiver: Rolls Royce Bergen Engine AS  
Oppdragsgivers referanse: Håkon Dalland

Antall filer levert digitalt: 2

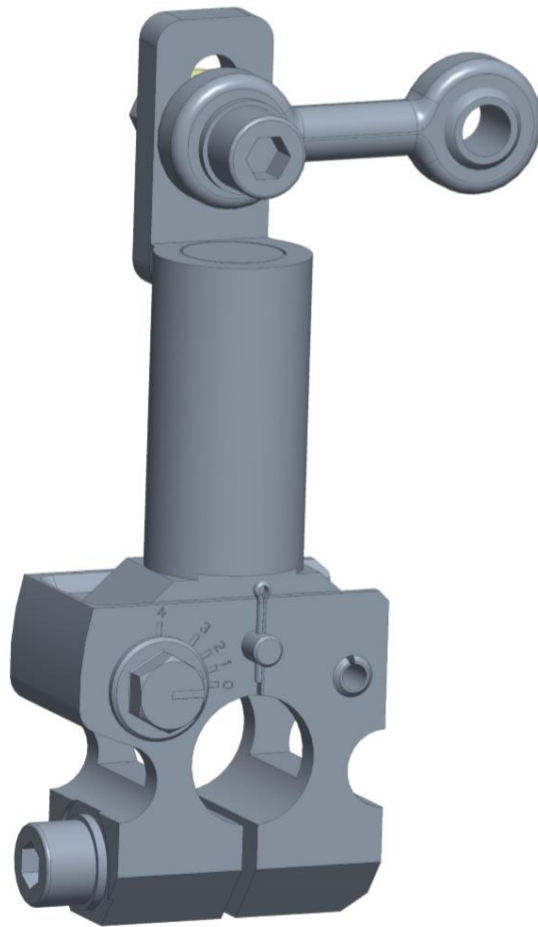


**Rolls-Royce**



Høgskulen  
på Vestlandet

# Forbedring av individuell justering av brennstoffpumpe på dieselmotor



Bacheloroppgave 2019

Jan Ove Arnesen, Andreas Hufthammer  
og Kristoffer Lunde Lyssand

16HMAM

Avdeling for ingeniørutdanning

Institutt for maskin- og marinfag

Arnesen, Hufthammer, Lyssand


## Forord

Oppgaven ble gitt av Rolls-Royce Bergen Engines høsten 2018, og har vært vårt bachelorprosjekt våren 2019. Oppgaven vil presenteres muntlig for veiledere 6.juni 2019. Oppgaven vil også fremvises under høgskolens EXPO-arrangement på Kronstad 13.juni.

Vi kom i kontakt med RRBE under fagdagen 2018 arrangert av linjeforeningene ved HVL. Her snakket vi med Håkon Dalland og Jos van der Plas som representerte bedriften. Under en hyggelig samtale delte de både informasjon og erfaringer om bedriften. De nevnte også at det kanskje var muligheter for samarbeid under bacheloroppgave, noe vi var veldig interessert i. Vi sendte straks mail til bedriften i håp om at de kunne finne noe til oss. Gleden ble stor da vi fikk positiv respons! Så dette er noe som settes utrolig stor pris på.

Oppgaven har vært utfordrende, men også lærerik og engasjerende. Den har gitt oss innblikk i hvordan det er å være ingeniør, både på godt og vondt. Den har styrket våre kunnskaper innenfor fagfelt som maskindeler, materiallære og 3D-modellering med flere.

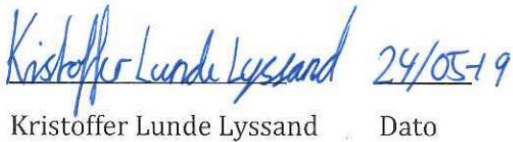
Det rettes en stor takk til våre veiledere; Håkon Dalland ved RRBE og Peter Edgar Koch, foreleser ved HVL. De har hjulpet oss gjennom hele oppgaven og har alltid vært tilgjengelig for oss ved behov. Håkon har gitt oss gode tips og veiledninger både over mail og ved besøk på Hordvikneset. Vi takker også Lars Magne Nerheim som har gitt ut gode råd og all informasjon vi har spurt om. Takk til Hassan Momeni som har hjulpet oss med å 3D-printe prototype av komponenten.

  
Jan Ove Arnesen

24/05-19  
Dato

  
Andreas Hufthammer

24/05-19  
Dato

  
Kristoffer Lunde Lyssand

24/05-19

Dato

Arnesen, Hufthammer, Lyssand



## Oppgavetekst



# Rolls-Royce

Forslag til studentoppgave - Våren 2019

**Tittel: Forbedring av individuell justering av brennstoffpumpe på dieselmotor**

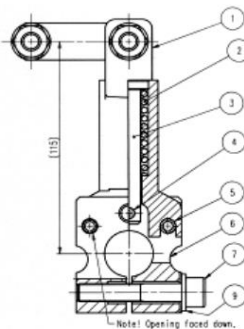
Ved innstilling av dieselmotorer med en brennstoffpumpe for hver sylinder, så er det krav til at hver pumpe kan justeres individuelt for at ytelsen på hver sylinder er jevn.

### Oppgave:

Oppgaven er av typen maskinkonstruksjon, og går ut på å se på eksisterende løsning og komme med konstruksjonsforslag til en forbedret løsning som er mer brukervennlig for operatørene. Kort fortalt går oppgaven ut på å lage en innretning som kan justere en lengde/avstand, men som ikke forandrer lengde når den blir tilsatt/skrudd fast. Som utgangspunkt for oppgaven brukes vår B3345L dieselmotor og eksisterende deler vil bli fremskaffet og funksjonen gjennomgått/demonstrert.

### Designkriterier:

- At løsning er enkel å montere.
- Robust mot vibrasjon.
- Økte produksjonskostnader holdes på et minimum.



### Innhold:

Vi ser for oss at oppgaven vil ha flere av følgende emner:

- Internettøk på løsninger som er i bruk for tilsvarende funksjon.
- Evaluering av eksisterende løsning.
- Konseptstudie der flere ulike løsninger vurderes.
- Lage forslag til foretrukket løsning. Ser for oss at det bør lages prototype som eventuelt kan testes på en motor (eventuelt «rapid prototype» i plastmateriale for monteringsstest).
- Lage produksjonstegninger for nytt design.

Kontaktperson:

Håkon Dalland, Bergen Engines AS  
Rolls-Royce Power Systems



Arnesen, Hufthammer, Lyssand

## Sammendrag

Oppgaven ble gitt av Rolls-Royce Bergen Engines AS, og har bestått av å redesigne eller nykonstruere en maskinkomponent som brukes av flere typer dieselmotorer hos bedriften. Oppgaven ble skapt på grunnlag av interne klager på hvordan dagens design fungerer.

Maskinkomponenten muliggjør individuell justering av brennstoffpumper på dieselmotorer, der dagens design anses å være mindre monteringsvennlig, med få justeringsmuligheter.

I denne oppgaven gjennomgås det blant annet ulike prinsipp, konsepter og løsninger som antas å kunne løse utfordringene på best egnet måte. Ut ifra dette har vi som gruppe valgt å redesigne maskinkomponenten med utgangspunkt i dagens design, og kommet frem til et resultat som antas å tilfredsstillе alle de punkter oppgaven ba om ved start.

Forbedringene antas å gi både bedre bruker- og monteringsvennlighet, i tillegg til bedre funksjonsevne.

I denne rapporten blir resultatet lagt frem med løsninger vi er kommet frem til, sammen med forslag til materialvalg. Det er utarbeidet 3D-modeller og arbeidstegninger, i tillegg til prosedyre for bruk av komponent.

Arnesen, Hufthammer, Lyssand

## Abstract

The task was given by Rolls-Royce Bergen Engines AS and has consisted of redesigning or constructing a new design for a machine component used by several types of diesel engines at the company. The task was created based on internal complaints about how the current design works.

The machine component enables individual adjustment of fuel pumps on diesel engines, where today's design is considered less installation-friendly, with few adjustment possibilities.

In this thesis, various principles, concepts and solutions that are expected to solve the challenges in the most suitable way are reviewed. Out from these reviews, we as a group have chosen to redesign the machine component based on the current design and reached a result that is supposed to satisfy all the points the task requested at start.

The improvements are believed to be more user- and installation friendly, as well as give better functional capabilities.

In this report, our results are presented with the solutions we came up with, as well as proposal for materials. 3D models and production drawings have been prepared, as well as installation instructions.

Arnesen, Hufthammer, Lyssand

## Innhold

Forord.....	3
Oppgavetekst.....	5
Sammendrag.....	7
Abstract.....	9
1. Introduksjon.....	15
1.1 Innledning.....	15
1.2 Om Rolls-Royce Bergen Engines.....	16
1.3 Ord og forkortelser.....	17
2. Bakgrunn .....	18
2.1 Problemer og mangler med dagens design.....	18
2.2 Regler og forskrifter .....	19
3. Hoveddel.....	22
3.1 Kravspesifikasjon.....	22
3.2 Analyse av eksisterende komponent.....	23
3.2.1 Base.....	23
3.2.2 Fjærretur.....	24
3.2.3 Pådragsarm.....	25
3.2.4 Overføring .....	25
3.3 Aktuelle løsningsprinsipp .....	26
3.3.1 Prinsipp for fastsetting av base .....	26
3.3.2 Finjustering.....	27
3.3.3 Stegvis justering.....	29
3.3.4 Overføring .....	30
3.4 Konseptanalyse.....	31
3.4.1 Internettsøk etter andre løsninger for tilsvarende funksjon .....	31
3.4.2 Egenproduserte konsepter.....	33
3.5 Valg av konsept.....	36
3.5.1 Konsept for fastsetting av base.....	36
3.5.2 Konsept for stegvis justering.....	37
3.5.3 Konsept for overføring.....	37
3.5.4 Konsept for finjustering.....	38
3.6 Design .....	39
3.6.1 Stegvis justering.....	39
3.6.2 Finjustering.....	42

3.6.3 Pådragsarm.....	45
3.6.4 Base.....	47
3.7 Materialvalg .....	53
4. Resultat.....	57
4.1 Illustrasjoner .....	57
4.2 3D-Print .....	58
5. Konklusjon .....	60
6. Vedleggsliste.....	61
Referanser.....	62
8. Vedlegg.....	65
Vedlegg 1: Forslag til innkjøp av overføring.....	65
Vedlegg 2: Sammenstillingstegning av pådrag .....	66
Vedlegg 3: Prosedyre for bruk av komponent .....	67



Figur 1 - Dagens design .....	15
Figur 2 - B33:45V .....	16
Figur 3 - Begreper brukt om designforslag .....	17
Figur 4 - Dagens base.....	23
Figur 5 - Illustrasjon over påført moment.....	23
Figur 6 - Sammenstilling av fjærretur .....	24
Figur 7 - Dagens pådragsarm .....	25
Figur 8 - Dagens overføring .....	25
Figur 9 – Halvmåneløsning [5] .....	26
Figur 10 – Knipeløsning [6] .....	27
Figur 11 – Eksenterbolt [7] .....	27
Figur 12 – Prismeløsning [8] .....	28
Figur 13 – Eksenterhylse [9] .....	28
Figur 14 - Faste posisjonshull.....	29
Figur 15 - Trinnløs justering med merking.....	29
Figur 16 – Strekkfisk [10] .....	30
Figur 17 – Kuleledd [11] .....	30
Figur 18 – Uniball [12] .....	30
Figur 19 – Gjengestag [13] .....	30
Figur 20 - Sammenstilling av Wartsiläs system [14].....	31
Figur 21 - Komponentoversikt [15] .....	31
Figur 22 - Sammenstilling av system fra en MaK 32 [16] .....	32
Figur 23 - Første konseptskisse .....	33
Figur 24 - Andre konseptskisse.....	33
Figur 25 - Konseptskisse av opplagring.....	34
Figur 26 - Hylse tilpasset faste posisjonshull.....	34
Figur 27 - Sammenstilling av første konseptskisse .....	35
Figur 28 - Forskyvningsvinkel alfa [17].....	37
Figur 29 - Dobbelttidig uniball "Dogbone" [18].....	37
Figur 30 - Forenklet systemskisse .....	39
Figur 31 - Forenklet skisse av system i nullposisjon.....	43
Figur 32 - Forenklet skisse av system ved 1.6mm løft .....	43
Figur 33 - Nord-lock illustrasjon [19].....	44
Figur 34 – Vinkelillustrasjon [20] .....	44
Figur 35 - Junker vibrasjonstest [20].....	44

Figur 36 - Illustrasjonsbilde pådragsarm .....	45
Figur 37 - Detaljbilde pådragsarm .....	45
Figur 38 - Detaljbilde dagens design.....	46
Figur 39 - Detaljbilde stegvis justering .....	46
Figur 40 -Illustrasjon av hull i base .....	47
Figur 41 – Vinkelutslag på henholdsvis 0° (venstre) og 30° (høyre) på eksenterbolt.....	48
Figur 42 – Forslagsoversikt over lasergraving på base (venstre) og eksenterbolt (høyre).....	48
Figur 43 - Deformasjonsanalyse av dagens design (Skalert x10) .....	49
Figur 44 - Illustrasjon av rotasjonsmål.....	50
Figur 45 - Illustrasjon av forsterkning med ytre og indre radius .....	50
Figur 46 - Illustrasjon av forsterkning med ytre radius .....	50
Figur 47 - Illustrasjon av forsterkning uten radius.....	50
Figur 48 - Deformasjonsanalyse av base med forsterkning (skalert x10) .....	51
Figur 49 - Designendringer base .....	52
Figur 50 - Deformasjonsanalyse av 6061 T651 (venstre) og A36 (høyre) (skalert x10) .....	54
Figur 51 - Materialforslag.....	56
Figur 52 - Resultat .....	57
Figur 53 - Sammenstilling 3D-print.....	58
Figur 54 - Deleoversikt 3D-print .....	58
Tabell 1 - Tabell over mekaniske egenskaper og relativ kost .....	53
Tabell 2 - Pugh-matrise over materialvalg for base .....	55
Tabell 3 - Pugh-matrise over materialvalg for pådragsarm .....	55

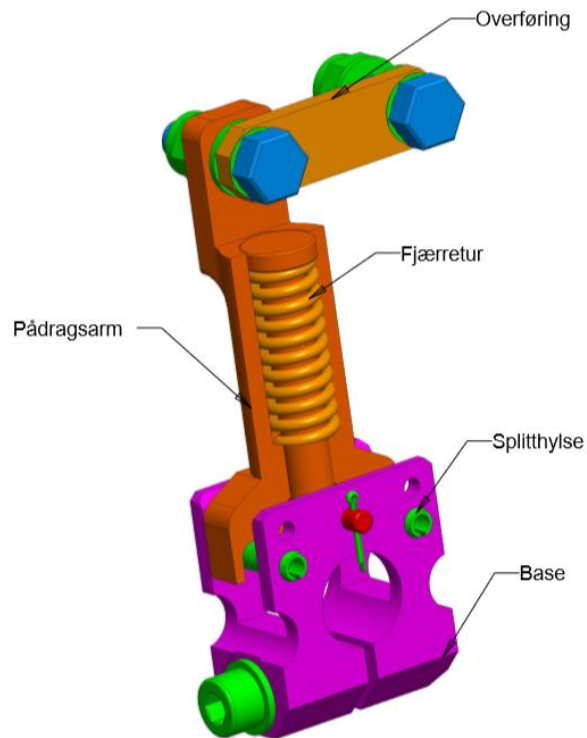
## 1. Introduksjon

### 1.1 Innledning

Som tidligere vist, tar oppgaven utgangspunkt i en eksisterende maskinkomponent som brukes på Rolls-Royce B-motorer. På disse dieselmotorene er det én brennstoffpumpe per sylinder, og denne maskinkomponenten har som oppgave å justere leveringsmengden til disse pumpene individuelt. Antall slike komponenter per motor avhenger da av sylindertall. Dette tilsier at komponenten masseproduseres. Det vil derfor være viktig å fokusere på at designet skal være enkelt, robust og billigst mulig.

Komponenten(e) ligger på rekke langs en pådragsaksling, og forbinder akslingen med pumpene. Hvordan dette ser ut i praksis, kan ses i sammenstillingstegningen i vedlegg 2. Dagens design er satt sammen av flere mindre komponenter. Den består av en base, en bevegelig arm som sitter fast i basen ved hjelp av en fjærretur, og et stykke flattjern som overføring. Armen benytter to stykk splitthylser som opplagringspunkt. Basen blir skrudd fast rundt pådragsaksling og vil da rotere sammen med denne. Når aksling roterer, vil armsammenstilling gi et direkte utslag på pumpeaksling. Figur 1 viser hvordan komponenten ser ut per dags dato.

Problemstillingen og bakgrunnen for denne oppgaven er at dagens design er tungvint i bruk. Når basen blir skrudd fast rundt pådragsakslingen vrir den seg ofte under fastsetting. Dette fører til at justeringen oppleves lite brukervennlig for operatøren. Problemet vil også eskalere når det skal justeres under drift. Slik komponenten er utformet må hele basen, og derav sammenstilling, løsnes for å muliggjøre justering. Dette anses som grunnlaget bak problemstillingen, og derav også oppgaven.



Figur 1 - Dagens design

## 1.2 Om Rolls-Royce Bergen Engines

Skipsverftet Bergen Mekaniske Verksted ble etablert i 1855 i Solheimsviken like utenfor Bergen. Dette var lenge et av Norges største skipsverft. Deres første egenproduserte motor ble levert i 1946, som var en to-takts dieselmotor med betegnelsen D-6. [1]

Motorproduksjonen ble i perioden 1968-71 flyttet til nye lokaler på Hordvikneset. Fabrikken ble trinnvis utbygget de første årene og hadde ca. 400 ansatte. Fabrikken ligger fremdeles på Hordvikneset den dag i dag, men med en henholdsvis dobling av de ansatte [2]. De har i dag eget støperi som står for svært mange av motorenes komponenter. [1]

Fra 1984 gikk bedriften under navnet BMV Maskin AS, som året etter ble en del av Ulstein-konsernet sammen med Bergens Jernstøperi AS. Det nye navnet ble da Bergen Diesel AS. Selskapet ble senere kjøpt av engelske Vickers, og solgt videre til Rolls-Royce samme året. Avdelingen fikk da navnet Engines-Bergen, som var underlagt Rolls-Royce Marine AS. Den dag i dag går fabrikken på Hordvikneset under navnet Bergen Engines AS. [1]

I 2018 ble det levert 75 motorer fra Hordvikneset [2]. Motorene er enkle å skille fra hverandre ut ifra bokstavkodene i typebetegnelsen. Det produseres i dag B- og C-serier hos bedriften. Oppgaven tar utgangspunkt i en B3345L motor, som da vil være en rekkediesel med 330mm boring og 450mm slaglengde. B-serien har vært i produksjon siden 1984 og fås med 6, 8 eller 9 sylindre, den fås også som V-motor.

Rolls-Royce tilbyr i dag et bredt og høyt økonomisk produktsortiment med en ledende nominell elektrisk virkningsgrad på opptil 50%. De tilbyr drivstoffeffektive og fleksible gass- og dieselmotorer fra 1.400 til 11.830 kWe med et mangfoldig utvalg av før- og etter-salgstjenester. Motorene anvendes både i marin sektor, til kraftproduksjon i tillegg til kombinert varme- og kraftproduksjon over hele verden. [3]



Figur 2 - B33:45V

### 1.3 Ord og forkortelser

Følgende ord og uttrykk er brukt i oppgaven og bør forklares:

RRBE – Rolls-Royce Bergen Engines AS

Dogbone – Dobbeltsidig uniball i fast lengde.

Pådragsarm – Står montert i basen og forbinder denne med «dogbone» og pumpeaksling.

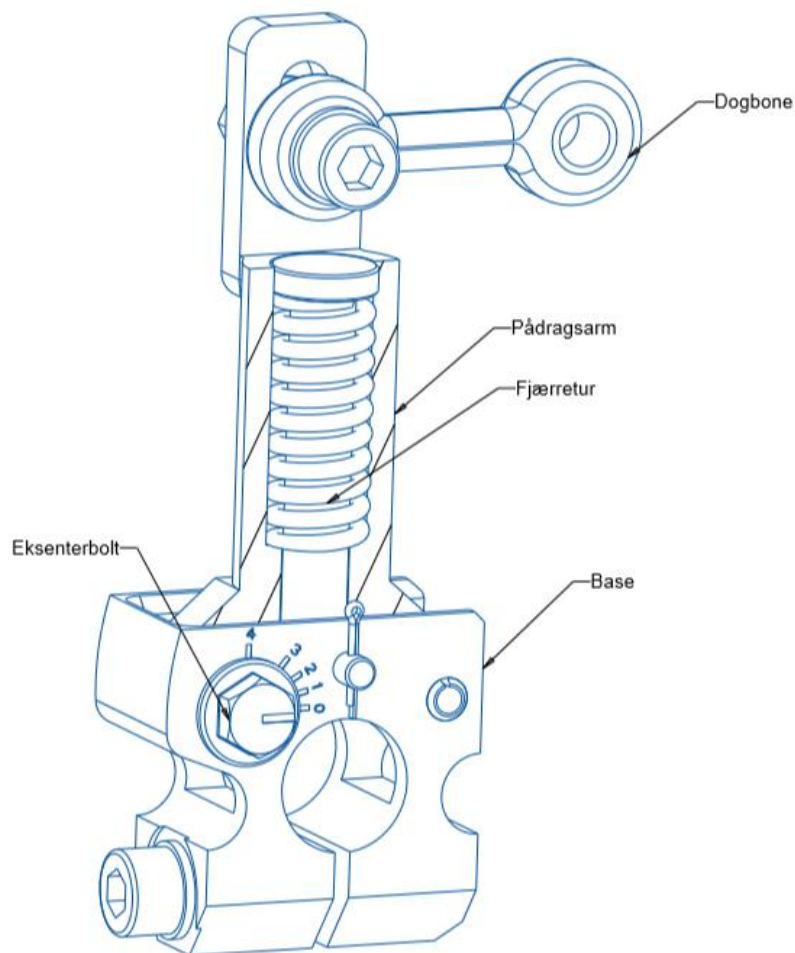
Pådragsaksling – Roterende aksling som ligger langs motoren. Basen blir satt fast rundt denne.

Pumpeaksling – Aksling ut fra brennstoffpumpe som direkte justerer levert dieselmengde.

Eksenterbolt – Eksentrisk bolt som brukes for justering

Base – Komponentens nedre del. Huser pådragsarm og eksenterbolt og sørger for fastsetting rundt pådragsaksling

Fjærretur – Se kapittel 3.2.2



Figur 3 - Begreper brukt om designforslag

## 2. Bakgrunn

### 2.1 Problemer og mangler med dagens design

Bedriften melder at den største utfordringen ved dagens design oppstår ved innjustering av komponenten. Dette begrunnes ut ifra det faktum at det har forekommet interne klager om hvordan komponenten fungerer i praksis. Dagens design har derfor forbedringspotensial innen felter som brukervennlighet og lettfatteligheit for operatørene under bruk.

Følgende problemer og utfordringer er registrert ved dagens modell:

1. *Montering og grovjustering.*
  - Hovedmålet til komponenten er å justere tilhørende brennstoffpumpe individuelt, på en enkel og velfungerende måte. Sett ut ifra dagens utforming, er det bare én justeringsmulighet, lokalisert i basen. Hele basen/knipeløsningen rundt pådragsaksling må løsnes og settes fast hver gang pumpene skal justeres, selv under minimale justeringer. Dette gjør at dagens prosess ofte blir unøyaktig og svært lite brukervennlig, da basen har lett for å vri seg ut av posisjon når den strammes til. Spesielt under drift vil disse problemene være store, da du har flere bevegelser å ta hensyn til.
2. *Tas ikke hensyn til forskjeller mellom ny og gammel pumpe.*
  - Etter hvert som brukstimene på motoren øker, vil hver enkelt brennstoffpumpe gjennomgå en form for bruksslitasje. Dette medfører at de enten må overhales, eller erstattes etter en viss tid. Leveringsmengden av brennstoff fra ny og gammel pumpe er ikke den samme, som medfører ulik lengdeforskyvning i pumpeaksling for å levere samme mengde brennstoff. Dette er noe operatørene mener bør tas hensyn til ved en slik komponent.
3. *Egen mulighet for finjustering.*
  - Etter at komponenten er satt fast på pådragsaksling, er det ingen mulighet for finjustering. Dette gjør at det kreves ytterst nøyaktighet ved montering for å få ønsket utslag på pumpeaksling. Slik komponenten er utformet i dag, er dette noe som er vanskelig og krever ofte flere forsøk.
4. *Låsning aksialt av base på pådragsaksling.*
  - Det finnes per dags dato ingen posisjonslåsning av base aksialt på pådragsaksling. Denne kan beveges fritt på aksling til den settes fast ved hjelp av dagens knipeløsning. Om ikke komponenten står på linje med aksling til brennstoffpumpe, er dette noe som kan medføre kniping i overføringer eller gå ut over funksjonaliteten.

## 2.2 Regler og forskrifter

Denne oppgaven er gjennomført og skrevet med hensyn på forskriften om maskiner («Maskinforskriften», heretter FOM) [4]. Forfatterne har etter beste evne fulgt det relevante regelverket. Med tanke på oppgavens tidsdimensjon og regelverkets omfang, gjøres leseren oppmerksom at det finnes forbehold om mangler på dekning av alle krav og forlegg.

Under oppsummeres de mest relevante *delene av regelverket* som reflekterer oppgavens innhold. Henvisning til de resterende punkter i [FOR-2009-05-20-544] finnes som referanse [4].

«Lovtekst

### § 1. Virkeområde

1. Denne forskriften gjelder ved konstruksjon, bygging og omsetning av følgende produkter:
  - a) maskiner

### § 2. Definisjoner

- a. Med maskin menes:
  - en enhet som er utstyrt med eller beregnet til å utstyres med et drivsystem, som ikke kommer fra direkte drivkraft fra mennesker eller dyr, og som består av sammensatte deler eller komponenter, hvor minst en del er bevegelig og som er sammensatt for et bestemt bruk,

### § 5. Konstruksjon og bygging av maskiner

Maskiner som konstrueres og bygges for å settes i omsetning og tas i bruk for første gang innenfor EØS-området, skal oppfylle kravene til vern mot skade på liv og helse i vedlegg I.

Vedlegg 1:

1. Maskinprodusenten eller dennes representant skal sørge for at det blir gjennomført en risikovurdering for å fastslå hvilke krav til vern mot fare for liv og helse som knytter seg til den aktuelle maskinen. Det skal tas hensyn til resultatene av risikovurderingen når maskinen konstrueres og bygges.
  - I den gjentakende prosessen med risikovurdering og valg av risikoreducerende tiltak skal produsenten eller dennes representant:
    - bestemme maskinens grenser, både tilsiktet bruk og feilbruk som med rimelighet kan forutses
    - kartlegge de farer maskinen kan være opphav til og de farlige situasjoner som kan oppstå i tilknytning til maskinen
    - beregne risiko ved å ta i betraktning alvorlighetsgraden av en mulig skade på liv og helse og sannsynligheten for at dette kan inntreffe
    - vurdere beregnet risiko i forhold til de grunnleggende helse- og sikkerhetskrav i denne forskriften, for å avgjøre om det er nødvendig å redusere risikoen
    - fjerne farene eller begrense risiko i forbindelse med farene ved å bruke vernetiltak i den rekkefølge som er angitt i nr. 1.1.2.b.

#### 1.1.2. Prinsipper for integrering av sikkerhet

- a) Maskiner skal være konstruert og utformet slik at de kan fungere, innstilles og vedlikeholdes uten at personer utsettes for risiko når operasjonene blir utført under forhold produsenten har forutsatt, men også ved feil bruk som med rimelighet kan forutses. Formålet med tiltakene skal være å fjerne enhver risiko for skade på liv og helse som kan oppstå i løpet av maskinenes forventede levetid, også under transport, montering, demontering, frakobling og når maskinen blir skrotet.
- b) Ved valg av hensiktsmessige metoder skal produsenten eller dennes representant legge til grunn følgende prinsipper i denne rekkefølge:

- fjerne eller redusere risikoer så godt som mulig, dvs. at maskinen skal konstrueres og bygges på en måte som gjør at den er sikker i seg selv,
- treffe nødvendige vernetiltak overfor risikoer som ikke la seg fjerne,
- informere brukerne om gjenværende risikoer som er til stede når mulige vernetiltak er truffet, om det er påkrevd med spesialopplæring, og om det er nødvendig å bruke personlig verneutstyr.

- c) Ved konstruksjon og bygging av maskiner og ved utarbeiding av bruksanvisninger skal produsenten eller dennes representant ikke bare ta i betraktning maskinens forutsatte bruk, men også ta hensyn til eventuell rimelig forutsigbar feilbruk. Maskiner skal konstrueres og bygges slik at feilaktig bruk forhindres dersom slik bruk kan medføre fare. I de tilfeller erfaring viser at maskiner likevel kan brukes på feilaktige måter skal bruksanvisningen inneholde opplysninger om dette.
- d) Maskiner skal konstrueres og bygges slik at det tas hensyn til de hindringene operatøren blir utsatt for, som følge av den nødvendige eller forventede bruk av personlig verneutstyr.

#### 1.7.4. Bruksanvisning

Alle maskiner skal være utstyrt med en bruksanvisning. Bruksanvisningen skal utarbeides på et eller flere av de offisielle EØS-språkene i det medlemslandet som maskinen settes i omsetning eller tas i bruk.

Bruksanvisningen skal utarbeides i henhold til følgende prinsipper:

##### 1.7.4.1. Generelle prinsipper for utarbeidelse av bruksanvisning

- a) Bruksanvisningen skal utarbeides på ett eller flere offisielle EØS-språk. Påskriften «Original bruksanvisning» skal stå på den eller de språkutgaver som produsenten eller dennes representant påtar seg ansvaret for.
- c) Bruksanvisningens innhold skal ikke bare dekke maskinens tilsiktede bruk, men skal også ta høyde for enhver feilbruk som med rimelighet kan forutsees.

##### 1.7.4.2. Bruksanvisningens innhold

Alle bruksanvisninger skal minst inneholde følgende relevante opplysninger:

- a) produsentens firmanavn og fulle adresse, eventuelt navn og adresse på dennes representant
- b) maskinens betegnelse slik det framgår av selve maskinen, unntatt serienummeret (jf. nr. 1.7.3.)
- c) EF-samsvarserklæringen eller et dokument som gjengir innholdet av EF-samsvarserklæringen og maskinens kjennetegn, eventuelt uten serienummeret og underskriften
- d) en generell beskrivelse av maskinen
- e) tegninger, diagrammer, beskrivelser og forklaringer som er nødvendige for bruk, vedlikehold og reparasjon av maskinen og for å kontrollere om den fungerer korrekt
- f) en beskrivelse av den eller de arbeidsplasser hvor operatørene kan forventes å oppholde seg
- g) en beskrivelse av maskinens tilsiktede bruk
- h) advarsler om måter som maskinen ikke må brukes på, men som erfaringen viser kan forekomme
- i) instruksjoner for montering, oppstilling og tilkobling, herunder tegninger, diagrammer og festeinnretninger, og beskrivelse av den rammen eller installasjonen som maskinen skal monteres på
- j) instruksjoner om installasjon og montasje slik at støy og vibrasjoner kan reduseres
- k) instruksjoner for levering til bruk og bruk av maskinen og om nødvendig instruksjoner for opplæring av operatørene
- l) opplysninger om resterende risikoer som fortsatt består selv om tiltak for sikker konstruksjon, beskyttelsesinnretninger og supplerende vernetiltak er gjennomført
- m) instruksjoner om vernetiltak som brukeren skal gjennomføre, herunder eventuelt om personlig verneutstyr som skal stilles til rådighet



## Forbedring av individuell justering av brennstoffpumpe på dieselmotor

- n) *de viktigste kjennetegn for verktøy som kan monteres på maskinen*
- o) *hvilke vilkår som må være oppfylt for at maskinen oppfyller kravet om stabilitet under bruk, transport, montering, demontering når den er ute av bruk, under prøving eller ved forutsigbart havari*
- p) *instruksjoner for hvordan transport, håndtering og oppbevaring kan skje på en sikker måte, ved at maskinens og dens forskjellige delenes masse er angitt hvis maskinen og delene jevnlig skal transporteres hver for seg*
- q) *fremgangsmåte ved uhell eller havari. Hvis blokkering kan skje, så skal det fremgå hvordan maskinen kan settes i gang igjen på en sikker måte.*
- r) *angivelse av hvilke justerings- og vedlikeholdsoperasjoner som skal utføres av brukeren, samt hvilke forebyggende vedlikeholdstiltak som skal overholdes*
- s) *instruksjoner om hvordan justering og vedlikehold kan utføres på en sikker måte, herunder hvilke beskyttelsestiltak som skal gjennomføres under slike operasjoner*
- t) *spesifikasjoner for reservedeler som skal brukes dersom disse kan påvirke operatørens sikkerhet og helse*

### Vedlegg VII: Teknisk dokumentasjon for maskiner

#### A. Teknisk dokumentasjon for maskiner

Den tekniske dokumentasjonen skal gjøre det mulig å ta stilling til om maskinen er i samsvar med kravene i denne forskriften. Dokumentasjonen skal omfatte maskinens konstruksjon, produksjon og funksjon i det omfang som er nødvendig for samsvarsvurderingen. Den tekniske dokumentasjonen skal utarbeides på et eller flere av de offisielle språkene i EØS. For utarbeidelse av bruksanvisning for enkelte maskiner gjelder det særskilte krav, jf. vedlegg I, punkt 1.7.4.1.

#### 1. Den tekniske dokumentasjonen skal inneholde:

##### a) produksjonsdokumentasjon som omfatter:

- *en samlet beskrivelse av maskinen*
- *en sammenstillingstegning av maskinen og tegninger/diagrammer for styrestrømkretsene, samt beskrivelser og forklaringer som er nødvendige for å forstå hvordan maskinen virker*
- *detaljerte og komplette tegninger/diagrammer, vedlagt eventuelle beregningsnotater, prøvingsresultater, attester osv. som er påkrevd for å kunne kontrollere at maskinen er i samsvar med kravene til vern mot skade på liv og helse*
- *dokumentasjon for risikovurdering med beskrivelse av den framgangsmåten som er fulgt, herunder*

*i) kravene som gjelder for maskinen i denne forskriften*

*ii) beskrivelsen av de metoder som er valgt for å fjerne kjente farer eller begrense risiko, og eventuelt av hva slags farer som fortsatt er knyttet til bruk av maskinen*

- *standarder og andre tekniske spesifikasjoner som er benyttet, med beskrivelse av hvilke krav til vern mot skade på liv og helse disse standardene oppfyller*
- *alle tekniske rapporter som inneholder resultatene av de testene som er gjennomført, enten av produsenten selv eller av et organ som produsenten eller dennes representant har valgt*
- *et eksemplar av bruksanvisningen for maskinen*

*b) Ved serieproduksjon skal dokumentasjonen vise hvilke tiltak som vil bli truffet for å sikre at maskinen til enhver tid vil være i samsvar med bestemmelsene i denne forskriften. Produsenten skal foreta nødvendige undersøkelser og prøvinger av deler, tilbehør eller av hele maskinen, for å avgjøre om utforming og konstruksjon er slik at maskinen sikkert kan monteres og tas i bruk. Den tekniske dokumentasjonen skal omfatte alle relevante rapporter og resultater.»*

## 3. Hoveddel

### 3.1 Kravspesifikasjon

Ut ifra oppgavetekst og samråd med veileder hos RRBE, er følgende krav og kriterier utarbeidet:

- Komponenten må kunne låses uten at noe vrir seg
- Løsning må være enkel å montere
- Komponenten må være robust mot vibrasjoner
- Økte produksjonskostnader må holdes på et minimum
- Komponenten må kunne finjusteres slik at pumpeaksling får et utslag på ca 2-3mm
- Komponenten må kunne ta høyde for nye og gamle pumper, der pådragsgeometrien må kunne endres ca 8%
- Låsing aksialt og kanskje radialt på aksling slik at det ikke sklir og kniper i overføringer
- Komponenten bør bli lettere å justere under drift

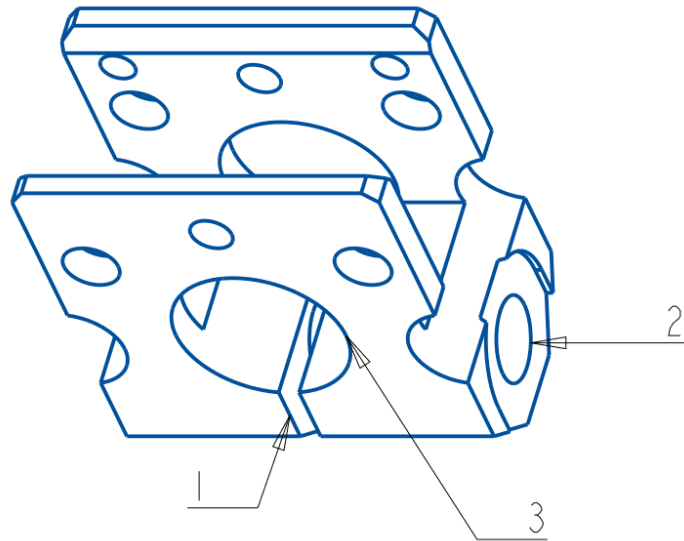
## 3.2 Analyse av eksisterende komponent

### 3.2.1 Base

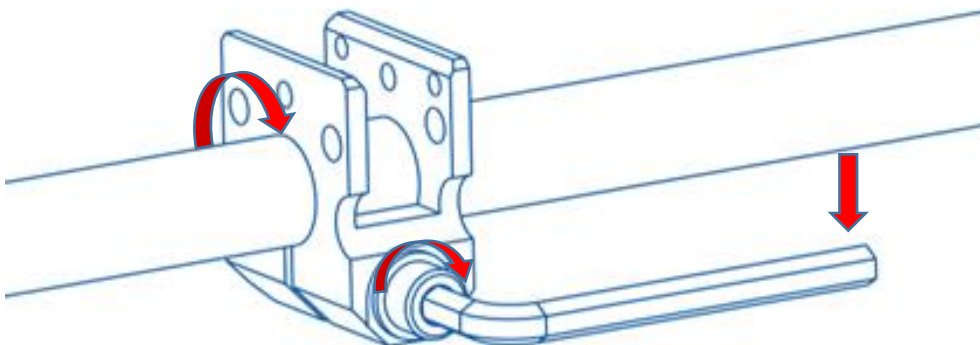
Som introdusert i kapittel 2 og 2.1, ligger et av de største problemene i basen. Grunnen til at dagens komponent ikke fungerer optimalt er at det kan være vanskelig å justere inn brennstoffpumpene korrekt. Man løsner hele basen fra pådragsaksling og justerer brennstoffpumpene ved å rotere hele komponenten rundt aksling. Etter man har justert inn ønsket leveringsmengde på pumpe, skrur man deretter basen fast ved hjelp av knipeløsning (1) og skrue (2).

Utfordringene dette drar med seg, er at det blir vanskelig å være nøyaktig når man setter fast basen. Operatøren har bare én hånd til å kontrollere basen, da han skal bruke den andre til å sette fast. Disse problemene blir desto verre når det skal justeres under drift, da det kan være både andre bevegelse og vibrasjoner å ta hensyn til.

Basens knipeløsning skrur bare fast ved hjelp av én skrue (2) i bunn. Ved tilstramming av knipeløsning på base, vil kraftpåførelsen på unbraconøkkelen utgjøre et moment på basen rundt pådragsaksel. Operatøren bruker én hånd for å skru til basen, og har derfor bare én hånd til å holde igjen dette momentet. Dette fører til unøyaktighet i det basen settes fast (se Figur 5), da dette momentet vil prøve å vri basen rundt pådragsaksling. Det er også lett for at det oppstår større friksjon på en av sidene i boringen (3), da det kan ligge både skit, smuss, olje, etc. på akslingen. Basens tyngdepunkt ligger også offset i forhold til senterboring, noe som gjør at friksjonens angrepspunkt vil flytte seg under justering. Sammen fører disse faktorene til at basen ofte vil vri seg under fastsetting.



Figur 4 - Dagens base



Figur 5 - Illustrasjon over påført moment

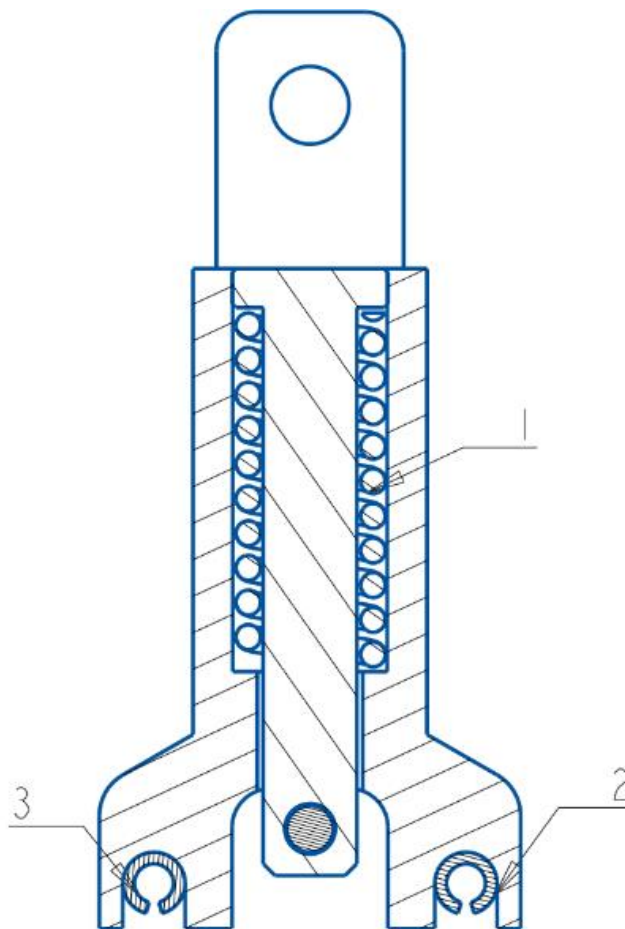
### 3.2.2 Fjærretur

Innledningsvis trengs det en forklaring på hvorfor denne maskinkomponenten består av en fjærretur. Fjærreturen er en kritisk del av hvordan ikke bare komponenten fungerer og er satt sammen, men som et sikkerhetstiltak rundt motorregulering.

Om en brennstoffpumpe skulle rive seg, vil dette resultere i at pumpeaksling står fast. Om komponenten bare hadde bestått av stive overføringer, ville det ikke vært mulighet for motorregulering under en slik hendelse.

Tidligere gikk mange motorer på tungolje-drift, med store variasjoner i drivstoffkvalitet. Noen kunne gå med tungolje under lengre «steady-state» perioder, før de ble slått over på dieseldrift. Slike scenarioer var vanlig i skipsmotorer, der de gikk med tungolje over lengre distanser og slo over på diesel under kaimanøvringer og lignende. Dette kunne føre til temperatursjokk i brennstoffpumpene, som igjen kunne medføre at pumpestempel rev seg. Det ble derfor utviklet en form for fjærretur, som også er i bruk den dag i dag. Denne muliggjør motorregulering, selv under et slikt scenario.

I et slikt tilfelle, vil basen prøve å rotere sammen med pådragsaksling under pådragsendring. Siden pumpeaksling står fast, må pådragsarm derfor løfte seg fra «setet» sitt for å muliggjøre rotasjonsendring. Fjæren (1) vil presses sammen, da den gir etter for motstanden i fra pumpeaksling. Dette gjør at pådragsarm fremdeles kan rotere, selv om pumpeaksling står fast. Armen vil da rotere rundt splitthylse (2) eller (3), avhengig av reguleringsretning. Ved bruk av en slik løsning kan da de resterende pumpene fungere som normalt. Etter samtaler med både ingeniører og mekanikere ved RRBE, sees det ingen direkte problemer med dagens fjærretur.

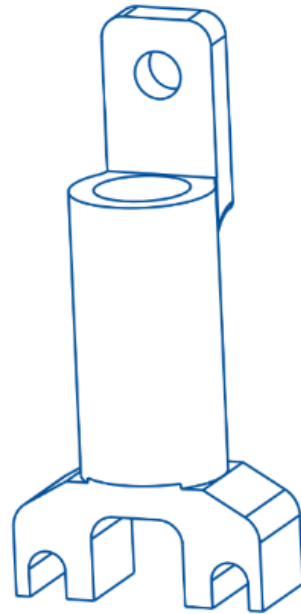


Figur 6 - Sammenstilling av fjærretur

### 3.2.3 Pådragsarm

Pådragsarmen er den komponenten som strekker seg fra basen og opp til selve overføringen til pumpeaksling. Den holdes på plass i basen ved hjelp av splitthylsene som den hviler på, og av press i fra fjærretur som er opplagret i basen ved hjelp av en låsepin. Den spiller også en direkte rolle i sammenstilling av fjærretur. Fjæren, og dens låsepin, beveger seg i armens gjennomgående boring i situasjoner dette er nødvendig (se kapittel 3.2.2). Det er også denne komponenten som vil løfte seg fra basen når torsjonsmomentet fra pådragsaksling blir for stort og fjæren presses sammen.

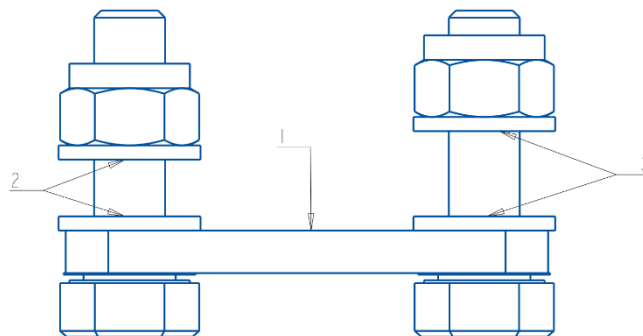
Da den er en kritisk komponent i hvordan fjærreturen fungerer og er utformet, sees det ingen direkte problemer ved dagens design.



Figur 7 - Dagens pådragsarm

### 3.2.4 Overføring

Denne delen av komponenten overfører rotasjonsbevegelse fra pådragsaksling til horisontal bevegelse på pumpeaksling. Her er det brukt et helt enkelt flatjern (1) i et selvsmørende materiale. Problemet med en slik løsning oppstår når man skal montere eller justere komponenten. Utfordringene ved basemonteringen, harmonerer med overføringen, da operatøren kan bevege hele basen aksialt langs pådragsaksling. Dette resulterer ofte i at komponenten ikke står på linje med pumpeaksling når den settes fast. Dette kan føre til kniping i flatjernsoverføringen ved boltegjennomføringer (2) og (3). I tilfeller dette skjer vil det oppstå større slitasje på delene, samtidig som funksjonen og bevegelsen blir lite optimal.



Figur 8 - Dagens overføring

### 3.3 Aktuelle løsningsprinsipp

I denne delen av oppgaven gjennomgås det ulike løsningsprinsipp som kan vurderes for å enten erstatte eksisterende løsninger, eller som et supplement for komponentens funksjon.

#### 3.3.1 Prinsipp for fastsetting av base

Hvordan basen blir utformet kan gjøres etter flere ulike prinsipp. Disse prinsippene varierer etter hvordan dem settes fast på aksling:

- a) Løsning som benytter seg av inngrep og modifikasjoner på pådragsaksling
- b) Halvmåneløsning
- c) Knipeløsning

##### a) Løsning som benytter seg av inngrep og modifikasjoner på pådragsaksling:

Som presentert i kapittel 3.1, er det gitt et designkrav fra RRBE om at base må kunne låses aksialt og kanskje radialt. Den mest innlysende måten å løse dette problemet på, er ofte å gjøre inngrep i aksling og boring, slik at disse passer sammen i en gitt posisjon. Dette kan gjøres ved å benytte seg av kiler og kilespor, settskruer, gjennomgående bolter etc.

Fordelen med slike løsninger er at basen vil blitt låst i en gitt, ønsket posisjon. Dette vurderes som både mindre tidkrevende, mer monteringsvennlig, i tillegg til å skape økt funksjonalitet. Dette begrunnes ut ifra det faktum at base og pumpeaksling alltid vil stå på linje, og minimere posisjonsvariasjoner på samtlige komponenter. Det er da ingen muligheter for at base skal forskyve seg aksialt på pådragsaksling.

Ulempen med slike løsninger er at det må maskineres i pådragsaksling. Dette er tidkrevende, dyrt og komplisert. Spesielt om pådragsaksling er maskinert i ett stykke.

##### b) Halvmåneløsning:

Det finnes en rekke ulike halvmåneløsninger på markedet. Disse er mye brukt som festemekanismer for både rør og akslinger, og kommer i mange størrelser og utforminger. Dette er to separate halvmåner som tres over akslingen og skrur fast (se Figur 9).

Fordelen med å bruke en slik løsning, er at disse kan monteres/byttes/inspiseres uten at pådragsaksling må fjernes. Disse trengs ikke å tres innpå fra ene siden på pådragsaksling for å dras i posisjon. Halvmånene kan derfor monteres/demonteres uavhengig.

Ulempen er at når halvmånene skal skrur fast i akslingen, kreves det nøyaktighet fra operatørens side for å klare å stramme samtlige skruer like mye for å oppnå uniformt flatetrykk rundt aksling. Dette kan anses som både tidkrevende og vanskelig. Lykkes man ikke med å skru dette fast på riktig måte kan man da risikere at det ikke sitter skikkelig fast. Man kan også få samme utfordring som ved dagens design, der komponenten vrir seg på pådragsaksling når skruene settes fast. Dette fører også til uønsket posisjonsendring på pumpeaksling.



Figur 9 – Halvmåneløsning [5]

### Knipeløsning:

Slik basen er utformet i dag, benyttes det en knipeløsning. Dette innebærer at den blir tredd inn på akslingen, før den blir klemmt rundt akslingen ved hjelp av en skrue som klemmer sammen boringen (se figur 10).

Fordelen med denne løsningen er at det bare er én komponent. Dette gjør montering lettere, så vel som kompleksiteten av antall deler reduseres. Basen kan holdes i posisjon med én hånd, mens man setter fast bolten med den andre. Det er også bare én skrue istedenfor to som i halvmånen, dette minimerer faren for feilmontering.

Ulempen med denne løsningen oppstår om basen skal byttes eller inspiseres, på grunn av dens simple design. Da må lagerbukker til pådragsaksling og samtlige pådragsarmer løses, før aksling kan tas av og det er mulig å fjerne basene fra akslingen. Selv om det er et enkelt prinsipp, fører løsningen med seg unøyaktighet ved montering, slik det er forklart i kapittel 3.2.1. Det er heller ikke gitt at friksjon og flatetrykk mellom aksel og knipeløsning er uniform hele veien rundt, som kan føre til vridning under montering.



Figur 10 – Knipeløsning [6]

### 3.3.2 Finjustering

I startfasen ble det vurdert flere plasseringer for å møte kravet om en form for finjustering av komponenten gitt i kapittel 3.1. En av disse plasseringene var basen. Den mest innlysende muligheten å gjøre dette på, er å benytte seg av eksentriske løsninger. Dette kan gjøres ved å erstatte ytterste opplagringspunkt som i dag er en splitthylse, med en eksenterløsning. Dette vil muliggjøre å løfte et av pådragsarmens opplagringspunkt, slik at den roterer rundt motsatt splitthylse. Dette vil gi et direkte utslag på pumpeaksling. I henhold til denne idéen for finjustering via basen, er det vurdert følgende prinsipp:

- a) Eksenterbolt
- b) Prismeløsning
- c) Eksenterhylse

#### a) Eksenterbolt:

Dette er en løsning som minner mye om en vanlig, konvensjonell bolt. Den skiller seg ut ved det at den er konsentrisk/eksentrisk (se Figur 11). Disse boltene er mye brukt som justeringsbolter, spesielt i anvendelser som krever finjustering. For eksempel i justering av camber i bilunderstell. Det at boltene er eksentriske betyr hovedsakelig at den har et område som ikke deler samme senter som selve boltene. Området er altså offset. Fordelen med en slik bolt er at det kreves lite ekstra arbeid sett i forhold til dagens løsning. Det må blant annet maskineres et ovalt hull i basen som tar høyde for det eksentriske området. Ulempen er at den må strammes ganske hardt for at den skal holde seg i fast posisjon ved slike vibrasjoner den kan bli utsatt for i dette miljøet.



Figur 11 – Eksenterbolt [7]



### b) Prismeløsning:

Denne løsningen minner mye om en tradisjonell eksenterbolt. Den skiller seg ut ved at den ikke har et eksentrisk område på selve bolten, men bolten står istedenfor offset i en tykk skive (se Figur 12). En slik eksenterbolt blir mye brukt i f.eks. understell på biler og som kjedestrammer på motorsykler. Ut ifra det faktum at bolten låses ved hjelp av prismeformede «tannhjul» i skivene som forhindrer rotasjon, trengs ikke bolten å strammes like mye som prinsipp a). Basen krever dog mer maskineringsarbeid og modifiseringer for å fungere med en slik løsning.



Figur 12 – Prismeløsning [8]

### b) Eksenterhylse

Den siste formen for eksenterjustering som vurderes er eksenterhylse, som minner mye om de overnevnte. Denne typen består derimot av et eksentrert, gjennomgående hull (se Figur 13), og ikke en bolt. Fordelen er at det ikke kreves like mye maskinering som ved en prismeløsning, og den er enkel i bruk. Ulempen i det scenarioet den skal brukes i, er at hylsen er lite plassbesparende. Senterhullet er av mindre dimensjon enn utsiden av hylsen, som tilsier et større hull i basen. Bolten som brukes i kombinasjon med denne må også strammes mye for å unngå en eventuell uønsket posisjonsendring av hylse.



Figur 13 – Eksenterhylse [9]



### 3.3.3 Stegvis justering

For å ta hensyn til at gamle og nye pumper skal operere om hverandre, må det være mulighet for å justere avviket i leveringsmengden mellom dem. Dette må gjøres når det byttes pumper, eller når pumpene slites og leveringsmengden deretter endres. Som gitt i kapittel 3.1, oppgis det som et krav fra bedriften om at en slik løsning må kunne endre pådragsgeometrien ca. 8%. Denne geometrien kan endres ved å bruke ulike utvekslinger på momentarmer. Dette vil si at det vertikale angrepspunktet mellom overføring og pådragsarm endres, slik at pådragsgeometri forandres.

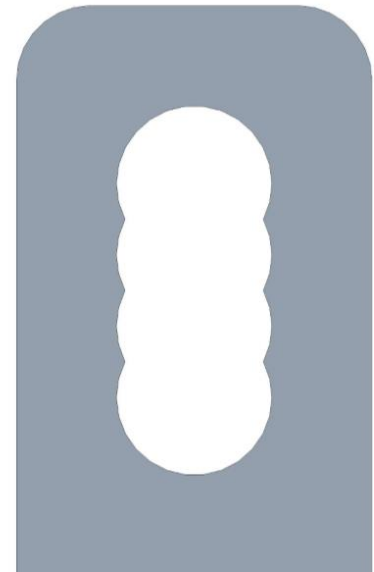
Muligheten for stegvis justering kan utføres på følgende vis:

- a) Faste posisjonshull
- b) Trinnløs justering med merking

#### a) Faste posisjonshull

Et av prinsippene dette kan gjøres etter, er faste posisjonshull i pådragsarmen som overføringen flyttes mellom. Slike hull er ofte brukt i justeringsanretninger i industrien. Ved å flytte overføring mellom slike hull, vil utvekslingen endres, og utslaget på pumpene likeså. Hvordan slike hull ser ut vises i Figur 14

Fordelen med en slik løsning er at utvekslingen kan kjapt og enkelt byttes mellom gitte verdier for leveringsmengden.

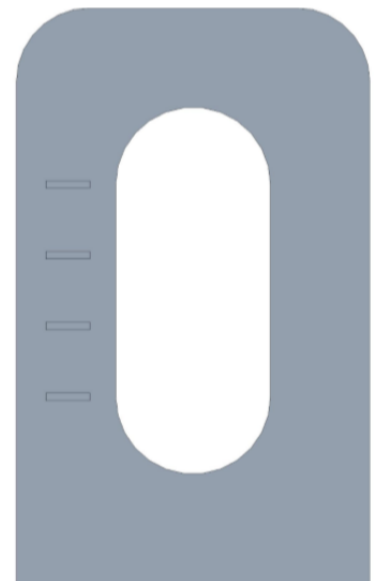


Figur 14 - Faste posisjonshull

#### b) Trinnløs justering med merking

Et annet prinsipp som kan løse denne oppgaven, er et lengre ovalt hull i pådragsarmen som endrer utvekslingen på samme måte som beskrevet i a). Dette kan kombineres med lasergravering eller konvensjonell merking, som viser prosentvis endring i leveringsmengde i gitte posisjoner. Hvordan dette ser ut er vist i Figur 15.

Fordelen med trinnløs justering, er den økte justeringsfriheten av utveksling. Dette gjør at pumpene kan finjusteres ved hjelp av utveksling enda mer individuelt.



Figur 15 - Trinnløs justering med merking

### 3.3.4 Overføring

I startfasen ble også overføringen sett på som en god mulighet for finjustering. Om flatjernet kan byttes ut med en enkel, ferdigprodusert komponent, kan dette være et enkelt, billig og robust forslag. Da kan mesteparten av den nåværende komponenten beholdes, samtidig som flere av hovedproblemene vil bli løst. Slike deler er hyllevare, og finnes i flere varianter:

- a) Strekkfisk
- b) Kuleledd
- c) Uniball
- d) Gjengestag/settskrue

#### a) Strekkfisk

Ved å ta i bruk en strekkfisk (se Figur 16), anses dette som en sikker og god overføring kombinert med finjustering. En strekkfisk brukes til å finjustere strekkrefter, normalt med øyeskrue eller «gafler» e.l. i hver ende. Den ene enden er motsatt gjenget av den andre (links), som begge skrues i enten en form for hylse eller mutter. Denne er dreibar, og vil da kunne justere lengden på selve strekkfisken uten at overføring må demonteres. Ved bruk av en slik løsning vil den nåværende pådragsarmen kunne brukes, uten modifiseringer.



Figur 16 – Strekkfisk [10]

#### b) Kuleledd

Det finnes også flere varianter av kuleledd (se Figur 17) på markedet. Kuleledd er et ledd med form som en større eller mindre del av en halvkule. Disse har tre bevegelsesakser og kan derfor beveges i alle retninger. En slik løsning består av et enkelt kuleledd i hver ende av overføringen, som bindes sammen av et justerbart stag mellom dem.



Figur 17 – Kuleledd [11]

#### c) Uniball

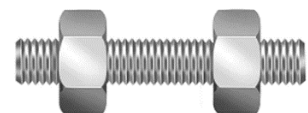
Uniballs (se Figur 18) er også noe som populært brukes i mekaniske overføringer. Disse består av et øye-formet hode med et sfærisk glidelager liggende i boringen, som kan skrues fast i komponenten. Dette gir gode roterende og oscillerende egenskaper under bevegelse. Uniballs fås både som «hun/han» og høyregjengede/venstregjengede, som muliggjør at de kan monteres i hverandre ved hjelp av en låsemutter. Dette anses som en god og solid løsning, som gir minimalt med slakk i overføring.



Figur 18 – Uniball [12]

#### d) Gjengestag/settskrue

Gjengestag (se Figur 19) er også en mulighet for å justere en lengde/avstand. Dette er helgjengede stag som fås i valgfri lengde og eventuelt med innvendig unbrako/torx e.l. i den ene enden. Justeringen kan f.eks. gjøres ved å kombinere staget med mutrer og festeløsninger i endene. Dette gjør at staget kan låses i en mengde posisjoner etter ønske.



Figur 19 – Gjengestag [13]

### 3.4 Konseptanalyse

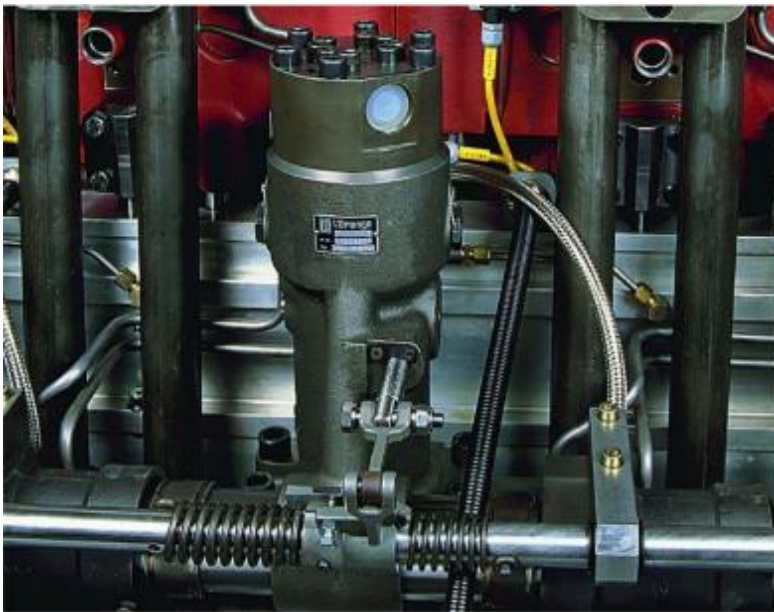
Ved start ble det gjennomgått flere forskjellige typer konsepter og idéer for å finne den best egnede løsningen. Den skal tilfredsstille de designkriterier som er gitt fra bedriften på best mulig måte.

#### 3.4.1 Internettetsøk etter andre løsninger for tilsvarende funksjon

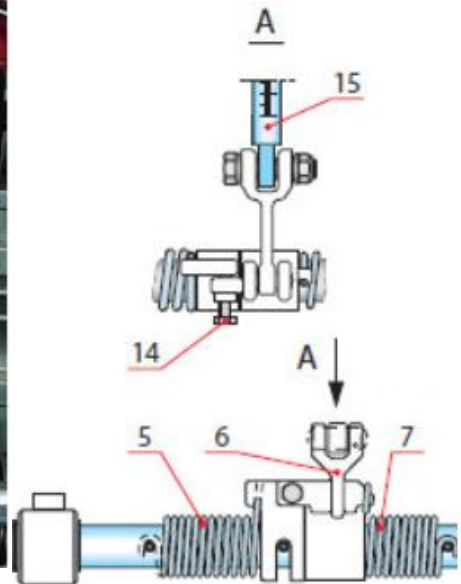
Det ble blant annet gjennomført internettetsøk om hvilke løsninger andre produsenter har benyttet seg av, i tillegg til informasjonsheiting i fagbøker. Det ble også mye erfaringsbasert diskusjon med flere personer på HVL som kunne sitte på kunnskap om emnet. Det ble etter hvert tydelig at dette er ganske spesifikk informasjon å dele fra produsentenes side.

Under vises et utvalg av løsninger som er funnet, og deres virkemåte.

##### 3.4.1.1 Wärtsilä



Figur 20 - Sammenstilling av Wärtsiläs system [14]



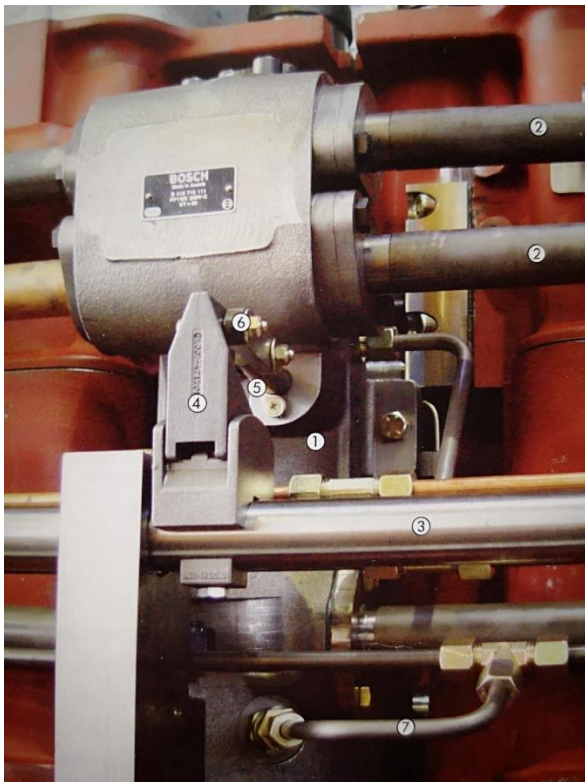
Figur 21 - Komponentoversikt [15]

- 5. Returfjær
- 6. Pådragsarm
- 7. Returfjær
- 14. Skruer for finjustering
- 15. Pumpeaksling

#### Virkemåte:

I Wärtsiläs system overføres rotasjonsbevegelse fra pådragsaksel til pumpeaksel gjennom en todelt, justerbar pådragsarm (6), heretter base og pådragsarm. Denne sitter med glidepasning rundt pådragsaksel og forbindes med pumpeaksling gjennom en overføring. Det finnes tapper i pådragsaksel, som både torsjonsfjærer og base er oppspennet i. Disse fjærene er motsatt rettet, som sørger for returfunksjon i begge retninger. Basen har et flatjern, som pådragsarmen kan justeres etter ved hjelp av en justeringsskrue (14). Om pumpen skal stå fast i på-posisjon, vil torsjonsfjær (5) muliggjøre videre regulering av de andre pumpene. Torsjonsfjær (7), muliggjør regulering om en av pumpene skulle stå fast i av-posisjon [15].

### 3.4.1.2 Caterpillar MaK



Figur 22 - Sammenstilling av system fra en MaK 32 [16]

#### Virkemåte:

Caterpillar overfører rotasjonsbevegelse fra pådragsaksel (3) til pumpeaksel (5) gjennom en fastskrudd base og pådragsarm (4) på sin MaK 32. Caterpillar benytter seg i likhet med Wärtsilä av maskineringsinngrep i pådragsaksling for å posisjonslåse basen. Basen er skrudd i fast posisjon på pådragsaksel ved hjelp av en gjennomgående bolt. For å justere leveringsmengdene på pumpene er det en justeringsmulighet mellom overføring (6) og pådragsarm (4). Pådragsarmen inneholder også en form for fjærretur.

### 3.4.1.3 Oppsummering

Hovedtrekkene ved både Caterpillars og Wärtsiläs system anses som relativt like dagens design fra RRBE. De består av en base som er skrudd på pådragsakselen, med tilhørende arm og overføring som omgjør rotasjonsbevegelse til horisontal bevegelse på pumpeaksling. Samtlige har også en form for fjærretur og justeringsmulighet. Den åpenbare forskjellen er at både Caterpillar og Wärtsilä gjør inngrep i pådragsaksel for å posisjonslåse enten base eller hele sammenstilling.

RRBE benytter seg ikke av en slik løsning. Det finnes også forskjeller i justeringsanordninger, der Caterpillar og Wärtsilä anses som å ha et begrenset område for justering. RRBE har ingen begrensninger for justering på grunn av bruk av fri base med knipeløsning rundt aksel. Caterpillar benytter seg i likhet med RRBE, av en intern fjærretur, der Wärtsilä bruker en åpen ved hjelp av torsjonsfjærer langs pådragsaksling.

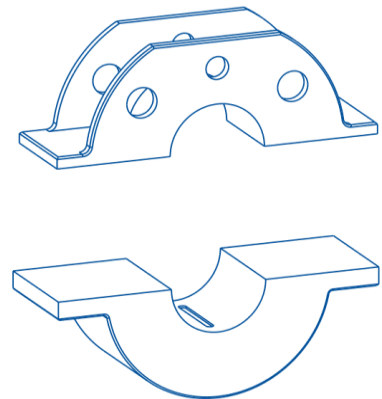
### 3.4.2 Egenproduserte konsepter

Det ble kontinuerlig modellert ulike løsninger og enkle skisser i starten av oppgaven. Disse ble konstruert både ut ifra de prinsipp og konsept presentert i kapittel 3.3 og 3.4, i tillegg til egenproduserte konsepter. Disse ble enten vurdert som fullverdige løsninger i seg selv, eller i kombinasjon med hverandre. Hele denne prosessen har vært kritisk i hvordan sluttresultatet ble nådd.

#### 3.4.2.1 Halvmåne med kilespor

Som forklart i kapittel 3.2.1 er justeringsnøyaktigheten i baseutformingen mindre tilfredsstillende. Ut ifra de ulike baseprinsippene presentert i kapittel 3.3.1, ble det utarbeidet flere ulike kombinasjoner for å komme frem til ulike løsningsforslag.

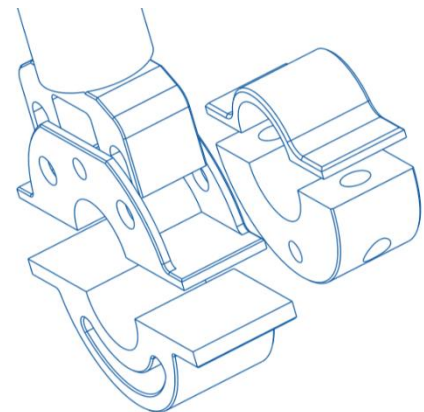
Den første konseptskissen som ble modellert, ble laget for å se på muligheten for aksial posisjonslåsing, kombinert med en halvmåneløsning (se kapittel 3.3.1 a) og b)). Dette muliggjør hurtig montering/demontering, samtidig som behovet for posisjonslås er løst. I den ene halvmånen er det maskinert spor for kile, som harmonerer med tilsvarende spor i aksling. Pådragsarm vil bli montert som vanlig i topp. En slik løsning vil derimot ikke fungere slik den er vist i Figur 23, da den ikke har noen form for justeringsmulighet. Designet ble derfor jobbet videre med for å se på videre løsninger.



Figur 23 - Første konseptskisse

Det ble sett på muligheten for å kombinere første konseptskisse sammen med en form for justeringsmulighet. Om pådragsarm monteres i en halvmåneløsning som ikke settes direkte fast rundt aksling, er dette mulig. Denne halvmånen roterer fritt rundt aksling via en glidepasning. Den inneholder et spor som vil stå for selve justeringen av armen, som huser en gjennomgående bolt.

Bolten vil så skrues fast i halvmåneløsning fra første konseptskisse, etter ønsket posisjon er nådd, denne står fastmontert på pådragsaksling ved bruk av kiler (Se Figur 24).



Figur 24 - Andre konseptskisse

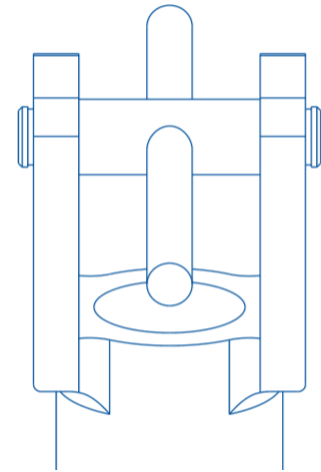


### 3.4.2.2 Kombinasjon av gjengestag og faste posisjonshull

Noen av prinsippene som ble presentert i kapittel 3.3 er stegvis justering og gjengestag. Ved å ta i bruk et gjengestag, vil dette gi mulighet for både grov- og finjustering i samme overføring. Det blir da sett på muligheten for å kombinere prinsippene med konseptskisse fra 3.4.2.1.

Ved å designe pådragsarmen på en slik måte at den har to opplagringspunkt for en eventuell overføring, er det mulig å bruke et gjengestag både som overføring og justering (se Figur 25).

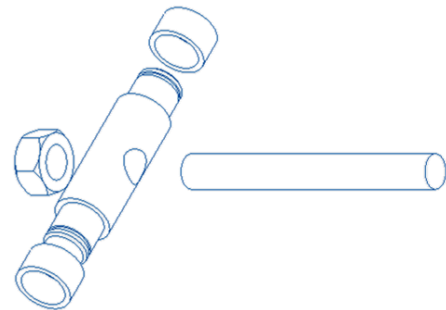
Dette kan gjøres ved å bruke en aksling som roterer i armens borer. Ved å ha et frihull i akslingen som gjengestaget kan tres gjennom, ses dette på som en stødig og justeringsvennlig mulighet. Gjengestag kan f.eks. kombineres med innvendig unbrako i enden i tillegg til kontramutter. Dette gjør at gjengestaget kan enkelt opereres for å justere komponenten i ønsket posisjon. Fordelen med en slik løsning, er at det skal henholdsvis lite maskinering til, samtidig som det oppnås stor justeringsmulighet. Akslingen vil bli låst ved hjelp av låseshims i endene, slik at denne fremdeles kan rotere.



Figur 25 - Konseptskisse av opplagring

Konseptet blir så videreutviklet for å muliggjøre en kombinasjon med stegvis justering. Om konseptet skal kombineres med prinsipper for faste posisjonshull presentert i kapittel 3.3.3, foreslås det derfor en konseptendring. Slik konseptet først ble utformet, måtte man da ha skrudd ut hele gjengestaget for å flytte hylsen nedover i sporene, før man kunne ha skrudd gjengestaget inn igjen. Dette ses på som tungvint, og ødelegger det faktum at den stegvise justeringen skal være enkel og lettfatelig i bruk.

For å muliggjøre en kombinasjon av disse prinsippene, må aksling modifiseres slik at overføringen kan flyttes raskt og enkelt mellom de gitte posisjonene. Det blir da fremlagt et forslag om å dreie ned endene på akslingen, slik at det kan brukes to mindre hylser som kan fjernes for å flytte akslingen opp eller ned i de faste posisjonshullene (se Figur 26).

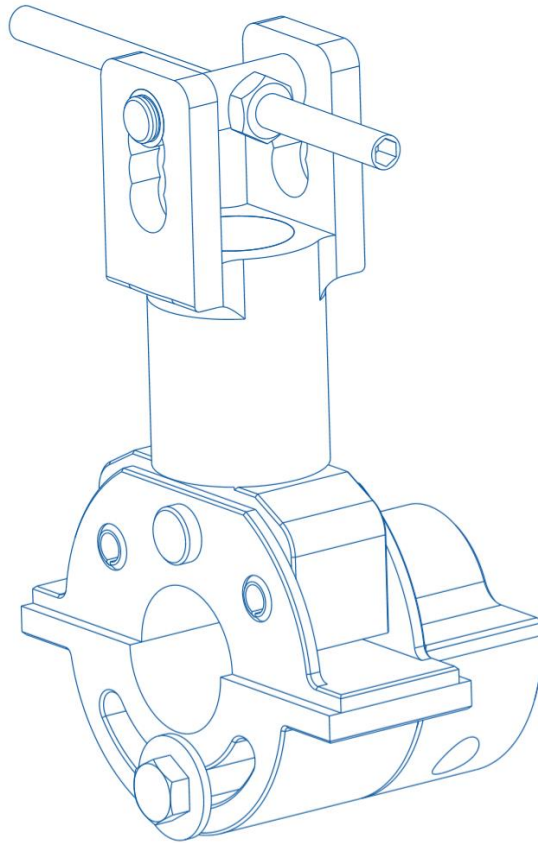


Figur 26 - Hylse tilpasset faste posisjonshull

Problemet med en slik løsning er mengden maskinering som trengs for å produsere de ulike komponentene.

### 3.4.2.3 Sammenstilling av de ulike konseptene

Ut fra de ulike konseptskissene presentert for både fastsetting av base og overføring i kapittel 3.4.2.1 og 3.4.2.2, er det utarbeidet en sammenstilling om hvordan dette kan fungere sammen.



Figur 27 - Sammenstilling av første konseptskisse

Et slikt forslag som er lagt frem i Figur 27, antas å løse flere av de krav oppgitt i kapittel 3.1. Ved å bruke en slik base som presentert i 3.4.2.1, vil det oppnås en aksial posisjonslås. Denne suppleres så med en ny base som inneholder selve sammenstillingen av komponenten. Dette er også en halvmåneløsning, som muliggjør hurtig montering/demontering. Denne innehar grovjustering i nedre halvdel. Den vil kombineres med konsept i fra 3.4.2.2, som muliggjør både stegvis- og finjustering i topp. Fjærretur er beholdt slik den er i dag.

I samråd med veileder fra RRBE, ble konseptet gjennomgått. Det kom da frem at pådragsaksling er i ett stykke, noe som vil resultere i store maskineringskostnader dersom det skal gjøres inngrep i denne. Dette er lite optimalt, og bør unngås om mulig, da kostnadene for selve delene vil komme i tillegg. Designet anses også som komplisert, da det innebærer blant annet mange flere deler enn det som er i dag.

### 3.5 Valg av konsept

På grunnlag av de prinsipp og konsept i kapittel 3.3 og 3.4, blir de best egnede løsninger lagt frem. Dette gjøres blant annet ut ifra de erfaringer som er opparbeidet seg under valgprosessen, sammen med de krav gitt i kapittel 3.1.

Fjærreturen ses på som selve kjernen i sammenstillingen av komponenten. Den opptrer ytterst viktig i komponentens funksjonalitet og virkemåte. Slik den er designet i dag, er det ikke rapportert om hverken klager eller mangler ved utformingen. Ut ifra hvor kritisk den er, har det ikke vært hensiktsmessig fra forfatterens side å forandre på dagens design.

Dagens fjærretur vil dermed videreføres slik den er i dag.

På grunnlag av at fjærreturen skal beholdes slik den er, fører dette med seg flere andre avgjørelser. Utformingen av pådragsarmen må da i hovedsak også beholdes. Unntak finnes i topp og bunn av arm, der det gjøres mindre designendringer (se kapittel 3.6.2 og 3.6.5).

Dagens hovedprinsipp for pådragsarm vil dermed videreføres slik det er i dag.

#### 3.5.1 Konsept for fastsetting av base

Ut ifra det faktum at fjærretur og pådragsarm i hovedsak forblir uendret, vil dette også påvirke utformingen av base. Da disse delene av komponenten er med på å påvirke hverandre i stor grad, vil også basen forbli relativt lik. Som presentert i kapittel 3.3.1, 3.4.1 og 3.4.2 ble det vurdert flere ulike varianter av både fastsetting og utforming.

De aktuelle konseptene for basen er, som beskrevet i kapittel 3.3.1, enten en løsning som benytter seg av a) Inngrep og modifikasjoner på pådragsaksling, b) Halvmåneløsning eller c) Knipeløsning, slik som dagens base.

Førstnevnte gir mange fordeler, blant annet at komponenten(e) alltid vil befinne seg i en fast, gitt posisjon. Dette fører til at samtlige komponenter har en uniform nullposisjon, som kan gjøre det enklere for operatørene å justere inn hver enkelt pumpe etter en gitt standard. Bakdelen er at man mister justeringsmuligheten rundt pådragsaksling, som fører til at denne må re-lokaliseres. Denne justeringsmuligheten vil man kunne ha i både halvmåneløsning og knipeløsning, men da mister man igjen den faste posisjonen.

På den andre siden vil alle inngrep i pådragsaksling kreve mye maskinering, tid og penger. Dette fører til at konseptene presentert i 3.4.1 og 3.4.2 faller bort, da disse er avhengig av dette. Dette begrunnes ut ifra det faktum at pådragsaksling er produsert i ett stykke, som gjør inngrep utrolig dyrt og tidkrevende. Pris, lettfattelighet, brukervennlighet og antall deler tatt i betraktning rundt de ulike prinsippene, antas knipeløsningen til å være det beste valget. Dette begrunnes ut ifra at den er best egnet i kombinasjon med de ulike løsningene som er valgt. Selv om den medfører mindre nøyaktighet under fastsetting, vil komponenten suppleres med en form for finjustering.

Hovedprinsippet for fastsetting av base vil da beholdes slik det er i dag, men basen vil gjennomgå mindre designendringer (se kapittel 3.6.3).



### 3.5.2 Konsept for stegvis justering

De to prinsippene for stegvis justering presentert i kapittel 3.3.3 er relativt like. Trinnløs justering vil øke muligheten for individuell justering av pumpene, men det antas også at prosessen vil kompliseres med økte valgmuligheter. Prinsippet fører også med seg en viss usikkerhet i nøyaktighet, da det kan bli mer krevende å treffe ønsket posisjon.

På grunnlag av at det er ønskelig med en enkel, robust og brukervennlig enhet, anses faste posisjonshull som best egnet til oppgaven. Ved faste, gitte verdier å forholde seg til, vil dette medføre økt brukervennlighet og forståelse for operatørene, samtidig som det spares tid under montering.

Faste posisjonshull foreslås derfor som å være det beste valget for stegvis justering.

### 3.5.3 Konsept for overføring

Slik designet i overføringen er utformet i dag, oppleves kniping ved boltegjennomføringer som den største utfordringen. Dette oppstår som forklart i kapittel 3.2.4. Når komponenten forskyves aksialt langs pådragsaksling under montering, vil ikke komponenten stå på linje med pumpeaksling. Lenge var det ønskelig å kombinere overføring med mulighet for finjustering, slik at resten av komponenten kunne beholdes uforandret. Hovedutfordringen ved et slikt konsept, er den korte, horisontale avstanden i fra topp av pådragsarm til pumpeaksling, som er 50mm.

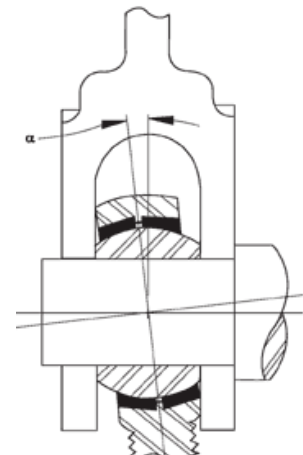
Å kombinere overføring med justering på denne distansen blir ansett som vanskelig, foruten om konsept presentert i 3.4.2.3. Konseptet med gjengestag har dog ikke mulighet til å ta opp den eventuelle aksiale vandringen, noe som er nødvendig etter avgjørelsen tatt i 3.5.1. Etter prinsippene for overføring presentert i 3.3.4, er det bare en kuleløsning som vil løse denne utfordringen.

Ved bruk av uniballs kan derfor komponenten fungere tilnærmet optimalt, selv om den ikke står på linje med pumpeaksel. Grunnen til dette er at opplagringen i uniballs fungerer som en roterende kule. En slik lengdeforskyvning vil gi utslag ved opplagring som en vinkel  $\alpha$ , som vist i Figur 28. Hvor stor vinkel en uniball kan operere med, avhenger blant annet av størrelse, produsent og type.

Ulempen med uniballs er at disse er relativt mye dyrere enn løsningen som eksisterer i dag. Mengden slike komponenter per motor gjør at totalprisen på komponenten vil merkbart øke.

Opprinnelig ble det foreslått å kombinere to stk uniballs som ville skrues i hverandre med en kontramutter, som også ville muliggjøre finjustering i overføring. Pris tatt i betraktning, sammen med løsning for finjustering som blir presentert i kapittel 3.5.4, foreslås det å bruke en annen form for uniballs enn det som opprinnelig var tiltenkt.

Det nye forslaget faller fremdeles under definisjonen av uniballs, bare i en annen utførelse. Disse finnes i fast, dobbeltsidig størrelse og kalles populært for «Dogbones». Denne løsningen eliminerer behovet for å skru sammen en «han» og en «hun», i tillegg til mutter. Ved bruk av en slik utførelse vil det spares kostnad og antall deler brukt for å utføre samme oppgave.



Figur 28 - Forskyvningsvinkel alfa [17]



Figur 29 - Dobbeltsidig uniball "Dogbone" [18]

Arnesen, Hufthammer, Lyssand

Dette blir derfor vurdert som den beste løsningen for overføring. Kuleledd presentert i 3.3.4 b), deler mange av de samme egenskapene, men uniballs anses som mer kompakte og solide løsninger. Med tanke på antall slike overføringer som trengs på en gitt motor, er det også positivt at de fås i vedlikeholdsfrie løsninger.

Forslag til produkt for innkjøp ligger i vedlegg 1.

#### 3.5.4 Konsept for finjustering

Ut ifra de avgjørelser og forslag gitt i kapittel 3.5.3, medfører dette at finjusteringen må gjøres fra base. Ulike prinsipper på hvordan dette kan gjøres, ble presentert i 3.3.2. Samtlige forslag er basert på en eksentrisk metode. Dette muliggjør gradvis justering av et opplagringspunkt ved hjelp av rotasjonsbevegelse. På bakgrunn av dette anses eksentriske alternativ som anerkjente og gode finjusteringsalternativer i industrien.

Prinsipp b), prismeløsning, er en løsning som benytter seg av flere, små prismetenner for å låse den i ønsket posisjon. Dette er positivt i forhold til de vibrasjoner som kan oppstå i det miljøet komponenten befinner seg i. Prinsippet krever derav ikke like høyt tiltrekkingsmoment som a) og c). Det kreves derimot mye maskinering til for å implementere dette i basen, i tillegg til at det er lite plassbesparende. For å ha muligheten til å benytte seg av dette prinsippet må det derfor gjøres større designendringer. Dette gjelder også prinsipp c), eksenterhylse, som trenger mye godspåleggelse på base for å kunne brukes. Den er dog enkel i bruk.

Prinsipp a), eksenterbolt, anses derfor for å være det beste alternativet for eksenterjustering. Hovedsakelig på grunnlag av at det kreves lite maskinering for at en slik løsning skal kunne brukes, i tillegg til at den er enkel og lettfattelig i bruk.

### 3.6 Design

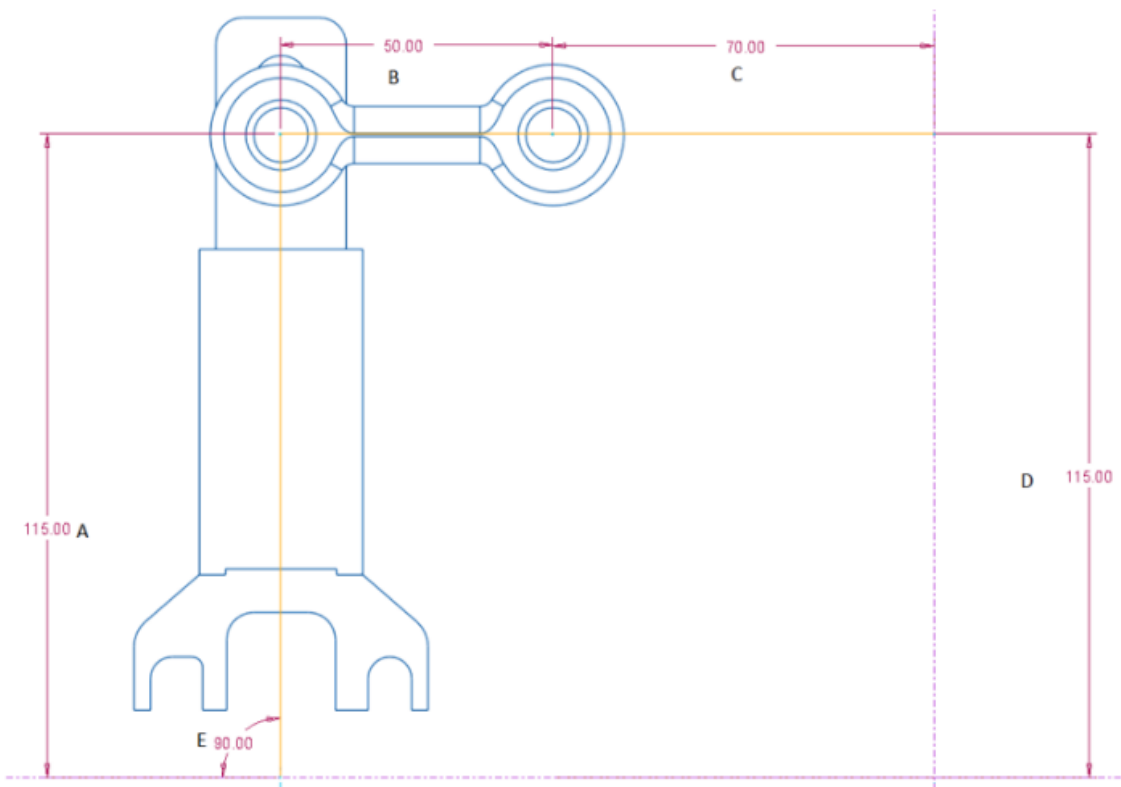
Med tanke på at dagens hovedprinsipper rundt utformingen av maskinkomponenten beholdes, kreves det lite nykonstruksjon av deler. Ut ifra de konsept og prinsipp som er valgt i kapittel 3.5, medfører dette derimot noen mindre designendringer.

#### 3.6.1 Stegvis justering

Etter hvert som brennstoffpumpene blir eldre, blir de stadig mindre effektive. RRBE ønsker derfor å ha flere faste posisjoner for å ha en standard på hvordan nye og gamle pumper justeres i forhold til hverandre. I samråd med RRBE er det utarbeidet et krav om å ha en total justeringsmulighet på ca. 8% av dagens totale vandring.

For å komme frem til riktig avstand mellom justeringshull, vil første skritt være å finne total vinkelendring på pådragsaksling. Under en visitt hos RRBE ble vinkelendring på pådragsaksling målt ved fullt pådrag kontra nullposisjon. Dette vinkelutslaget ble målt til  $17,5^\circ$ . Sammen med denne informasjonen er også lengden på overføring kjent. Disse verdiene er kritisk når det gjelder å kunne regne ut 8% utslag på pumpeaksling

For å illustrere utregningsprosessen på en enkel og forståelig måte, skisseres scenarioet i tegneprogrammet PTC Creo.



Figur 30 - Forenklet systemskisse

Over i Figur 30, ser vi en enkel skisse av systemet bestående av pådragsarm og overføring. Mål A er lengden i fra senter pådragsaksling til senter overføring (dagens posisjon). Mål B og D er konstante og vil aldri endres. Disse representerer henholdsvis den faste lengden på overføring, og vertikal avstand mellom senter pumpeaksling og senter pådragsaksling. Mål C er et relativt mål som brukes til å lese av vandring på pumpeaksling. Mål E representerer vinkelutslag på pådragsaksling, her satt til  $90^\circ$  som symboliserer nullposisjon. I nullposisjon er C satt til  $70.00\text{mm}$ .

Arnesen, Hufthammer, Lyssand

Ved å endre E fra  $90^\circ$  til  $90-17.5=72.5^\circ$ , kan C leses av på nytt. C viser da en lengde på  $104.87\text{mm}$ , som kan brukes til å regne ut total vandring på pumpeaksling og videre finne 8% utslag.

$$104,87\text{mm} - 70,00\text{mm} = 34,87\text{mm} \quad \text{total vandring på pumpeaksling}$$

$$34,87\text{mm} * 0,08 = 2,7896\text{mm} \quad 8\% \text{ av total vandring}$$

I designprosessen ved stegvis justering, er det kritisk å finne total avstand fra øverste til nederste posisjon. Denne avstanden skal som vist over, tilsvare  $2,7896\text{mm}$  i vandring på pumpeaksling. Dette vil også gi avstanden mellom hvert av justeringshullene.

Verdier for de ulike variablene A og E plottes inn, for å oppnå ønsket verdi for mål C. I dagens posisjon er C satt til  $70\text{mm}$  ved A på  $115\text{mm}$ .

Fremgangsmåten er å endre A til en gitt avstand for å representere de ulike posisjonene. Mål E vil så endres til  $72.5^\circ$  før mål C blir avlest. Lengde på pumpeaksling blir trukket fra, noe som gir vandring på pumpeaksling ved ny posisjon. Denne fremgangsmåten blir repetert frem til ønsket resultat er nådd.

#### 5mm mellom senter i hvert justeringshull:

$$115\text{mm} - 5\text{mm} = 110\text{mm} \quad \text{Avstand fra senter på pådragsaksel til senter av nederste hull.}$$

$$115\text{mm} + 2 * 5\text{mm} = 125\text{mm} \quad \text{Avstand fra senter på pådragsaksel til senter av øverste hull}$$

$$103,86\text{mm} - 70,00\text{mm} = 33,86\text{mm} \quad \text{Vandring på pumpeaksling ved nederste hull}$$

$$106,76\text{mm} - 70,00\text{mm} = 36,76\text{mm} \quad \text{Vandring på pumpeaksling ved øverste hull}$$

$$36,76\text{mm} - 33,86\text{mm} = 2,9\text{mm} \quad \text{Differanse på pumpeaksling fra øverste til nederste hull}$$

$$\frac{2,9\text{mm}}{34,87\text{mm}} = 0,0831 = 8,31\% \quad \text{Prosentvis endring fra øverste til nederste hull}$$

#### 4,7mm mellom senter i hvert justeringshull:

$$115\text{mm} - 4,7\text{mm} = 110,3\text{mm} \quad \text{Avstand fra senter på pådragsaksel til senter av nederste hull.}$$

$$115\text{mm} + 2 * 4,7\text{mm} = 124,4\text{mm} \quad \text{Avstand fra senter på pådragsaksel til senter av øverste hull}$$

$$103,92\text{mm} - 70,00\text{mm} = 33,92\text{mm} \quad \text{Vandring på pumpeaksling ved nederste hull}$$

$$106,65\text{mm} - 70,00\text{mm} = 36,65\text{mm} \quad \text{Vandring på pumpeaksling ved øverste hull}$$

$$36,65\text{mm} - 33,92\text{mm} = 2,73\text{mm} \quad \text{Differanse på pumpeaksling fra øverste til nederste hull}$$

$$\frac{2,73\text{mm}}{34,87\text{mm}} = 0,0783 = 7,83\% \quad \text{Prosentvis endring fra øverste til nederste hull}$$

## Forbedring av individuell justering av brennstoffpumpe på dieselmotor

### 4.8mm mellom senter i hvert justeringshull:

$115mm - 4,8mm = 110,2mm$  Avstand fra senter på pådragsaksel til senter av nederste hull.

$115mm + 2 * 4,8mm = 124,6mm$  Avstand fra senter på pådragsaksel til senter av øverste hull

$103,90mm - 70,00mm = 33,90mm$  Vandring på pumpeaksling ved nederste hull

$106,69mm - 70,00mm = 36,69mm$  Vandring på pumpeaksling ved øverste hull

$36,69mm - 33,90mm = 2,79mm$  Differanse på pumpeaksling fra øverste til nederste hull

$\frac{2,79mm}{34,87mm} = 0,0800 = 8,00\%$  Prosentvis endring fra øverste til nederste hull

En avstand på 4,8mm mellom hvert hull gir en total avstand på 14.4mm fra øverste til nederste posisjon, og 8% justeringsmulighet.

### 3.6.2 Finjustering

I starten av oppgaven ble det gitt et krav om finjustering, som minimum tar høyde for et avviksområde på 2-3mm. Dette vil si at om operatøren bommer med de angitte millimeter under justering, vil avviket være mulig å hente inn igjen ved bruk av løsningsforslaget. Dette kravet ble senere endret til 4mm i samråd med veileder fra RRBE, da det med fordel kunne økes. Etter valg av konsept for finjustering i kapittel 3.5.4, blir det foreslått å bruke en konvensjonell eksenterbolt.

For å beholde mest mulig av dagens baseutforming, foreslås det å erstatte det ytterste opplagringspunktet for pådragsarm med en slik løsning. I dag består dette av en 8mm splitthylse. Når eksenterbolten da vris, vil det forhøyede område gjøre at pådragsarm løfter seg ytterst, som igjen påvirker pumpeaksling. Akslingen vil slippes tilbake, som gjør både utslag og leveringsmengde mindre.

Det er da kritisk å regne ut hvor mye løft det kreves på bolten for å nå designkravet. Dette gjøres ved å bruke enkel forholdsregning på momentarmer, da mellom rotasjonscenter og senter for overføring. Utrengninger gjøres henholdsvis med overføring satt i dagens posisjon.

Ved eventuelle løft på eksenterbolt, vil den resterende splitthylsen opptre som rotasjonscenter for bevegelsen. Mål fra rotasjonscenter til eksenterbolt er 40mm.

Lengden fra rotasjonscenter til senter i overføring kan enkelt finnes ved å bruke Pytagoras læresetning:

$$\sqrt{(20mm)^2 + (100mm)^2} = 101,98093mm$$

Forhold mellom disse to avstandene:

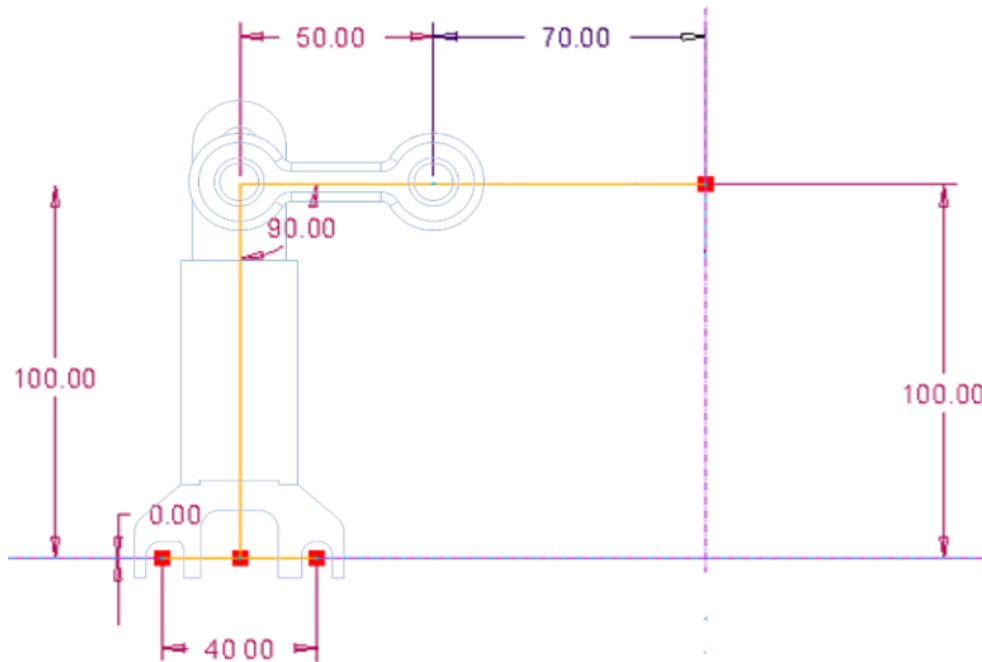
$$\frac{101,98039mm}{40mm} = 2,5495$$

Dette gjør at pumpeaksel vil bevege seg 2,5495 ganger lenger enn løftet på eksenterbolt.

$$4mm \text{ utslag på pumpeaksel} \rightarrow \frac{4mm}{2,5495} = 1,5689mm \text{ løft på eksenterbolt} \quad \text{Rundes av til } 1,6mm$$

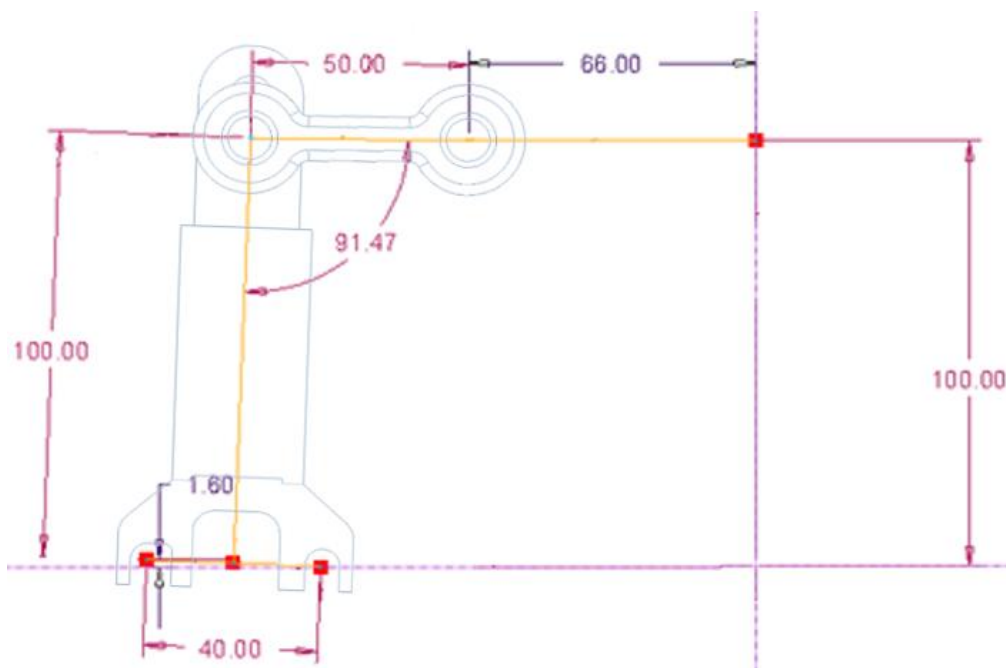
## Forbedring av individuell justering av brennstoffpumpe på dieselmotor

Under i Figur 31, ser vi en forenklet skisse om hvordan dette ser ut i praksis. Skissen er lagd i PTC Creo, for å øke forståelsen av hvordan dette fungerer for leseren. Målet på 70mm er satt for å illustrere pumpeaksling og dens utslagspåvirkning. Målet er ikke korrekt, men brukt som en relativ referanse, da utslaget blir det samme i praksis.



Figur 31 - Forenklet skisse av system i nullposisjon

Ved å endre målet på pumpeaksling fra 70mm til 66mm, illustrerer dette et pumpeutslag på 4mm, som er maksimalt avvik. Dette vil utgjøre et vertikalt løft på 1.6mm ved ytterste opplagring på arm, som illustrerer nødvendig løft på eksenterbolt.



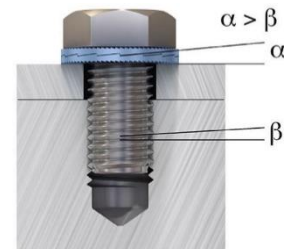
Figur 32 - Forenklet skisse av system ved 1.6mm løft

Ved de vibrasjoner denne komponenten kan utsettes for, er det viktig at eksenterbolt skrues skikkelig fast. Om bolten skulle løsne, vil dette kunne påvirke motorens ytelse om bolten lå med aktivt løft før løsrivelse. Bolten er gjennomgående og vil skrues med mutter på baksiden. Det foreslås derfor å bruke Nord-Lock låseskiver. Disse låseskivene fokuserer på å sikre bolter med spenning og ikke friksjon. Slik skivene er designet, vil ikke bolten løsne ved riktig montering, da disse skaper en kilende effekt under mutteren.

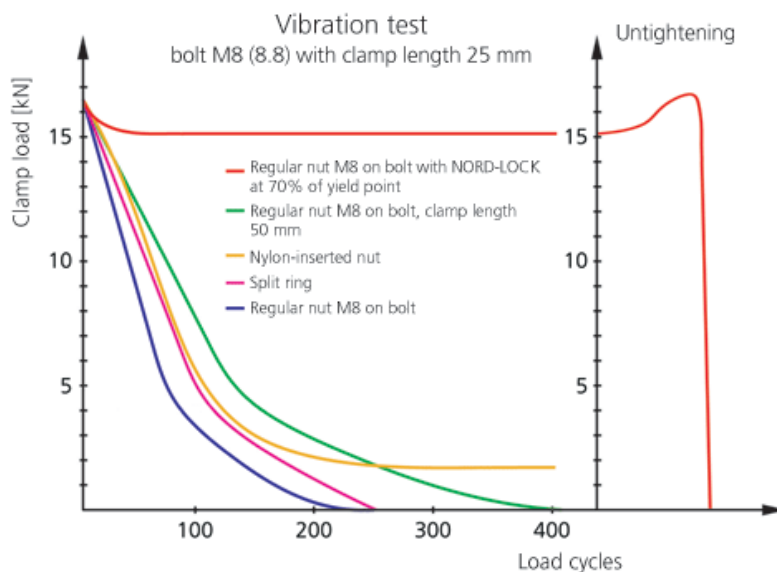


Figur 33 - Nord-lock illustrasjon [19]

Slik systemet fungerer, er det henholdsvis to skiver som brukes i par. Skivene består av kammer på ene siden, og radiale tenner på andre siden. Når bolten da strammes, griper tennene seg fast i paringsflatene. Disse blir da låst fast, og en eventuell bevegelse vil bare muliggjøres mellom disse. Dette kan forklares ut ifra figur 34, der kamvinkelen « $\alpha$ » er større enn vinkel for gjengestigning, « $\beta$ ». Ved en potensiell løsrivelse, vil Nord-Lock skivene da utvide seg mer enn den tilsvarende langsgående bevegelsen av bolten. Tykkelsen på Nord-Lock sammensetningen vil da øke og lage en selvkilende effekt mellom bolt og underlag [20]. Dette er bevist ved Junker vibrasjonstest (se Figur 35), som er en anerkjent vibrasjonstest for boltede tilkoblinger.



Figur 34 - Vinkelillustrasjon [20]



Figur 35 - Junker vibrasjonstest [20]

På grunnlag av figuren over, vil ikke klemmekraften forsvinne over tid på grunn av de vibrasjoner som kan oppstå. Det vil derfor ikke kreves etterstramming av eksenterbolt. Selv om Nord-lock låseskiver anses som dyrere enn vanlige skiver vil effekten den har lønne seg. Om eksenterbolt skulle løsne, kan det få store konsekvenser for motorens ytelse.



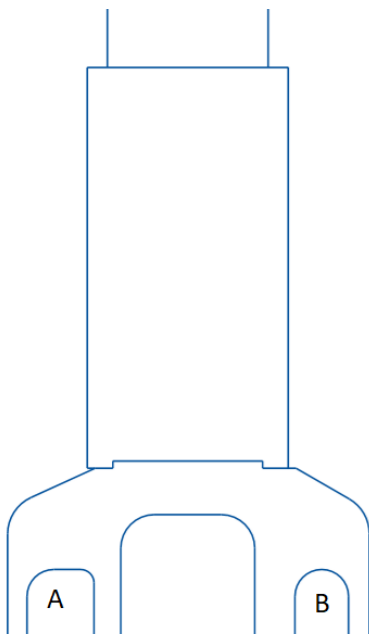
### 3.6.3 Pådragsarm

Som forklart innledningsvis i kapittel 3.5, blir det ikke gjort store designendringer på pådragsarmen, hovedtrekkene forblir de samme. Forskjellene ligger i de hensyn som må tas med tanke på å ta i bruk de løsninger som foreslås i kapittel 3.5.3 og 3.5.4. Dette er henholdsvis faste posisjonshull og eksenterbolt.

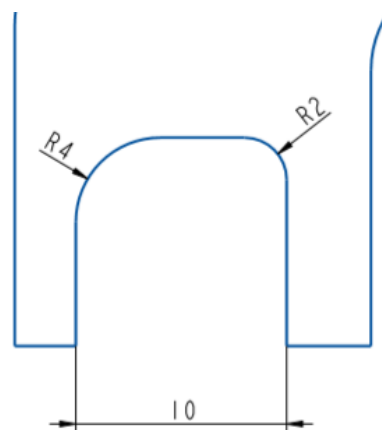
I dagens design består opplagringspunktene for pådragsarm av 2stk, 8mm splithylser i henholdsvis punkt A og B (se Figur 36). Splithylse i punkt A skal nå byttes ut med eksenterbolt for finjustering, som fører med seg noen få designendringer. Utsparingen i punkt A må utvides slik at eksenterbolt kan rotere. Eksenterbolten er designet slik at den beholder basismålet på 8mm med en eksenteravstand på 1,6mm. Utsparingen må derfor være *minst* 9,6mm. Senter-senter målet fra punkt A til B beholdes slik det er i dag.

Den nye utsparingen er designet slik at eksenterbolten vil ligge ut mot ytterkanten av pådragsarmen, med det eksentriske området liggende horisontalt inn mot senter av armen ved nullposisjon. Dette gjøres for å forhindre at eksenterbolten kan rotere 360°. Det ses på som unødvendig å ha 180° justeringsmulighet, da det bare trengs 90° for å justere mellom null og fullt utslag.

Siden eksenterbolten vil være en gjennomgående bolt som skal skrus med mutter fra baksiden, må det også tas høyde for at utsparing vil fungere som en form for frihull. Standard frihulldiameter for M8 er 8,4mm for en fin frihulldiameter [21]. Dette velges derfor for å oppnå minst mulig slakk i systemet. Sammen med eksenterområdet tilsvarer dette 10mm (se Figur 37). For at angrepspunktet for eksenterbolt under rotasjon skal oppstå i topp av utsparing og ikke i radius, er det også viktig å velge en mindre radius på innsiden av utsparingen.



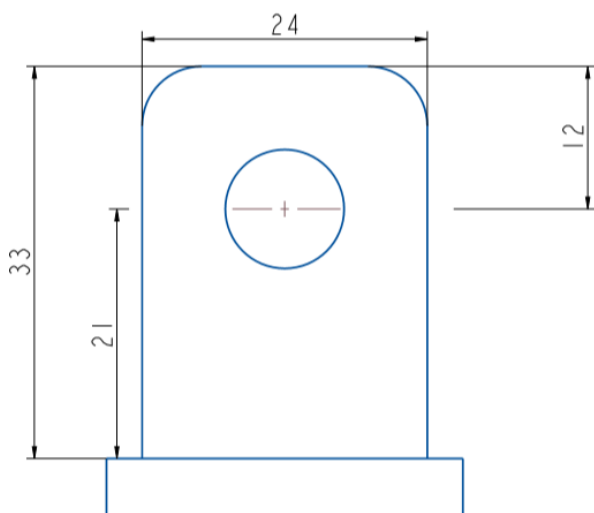
Figur 36 - Illustrasjonsbilde pådragsarm



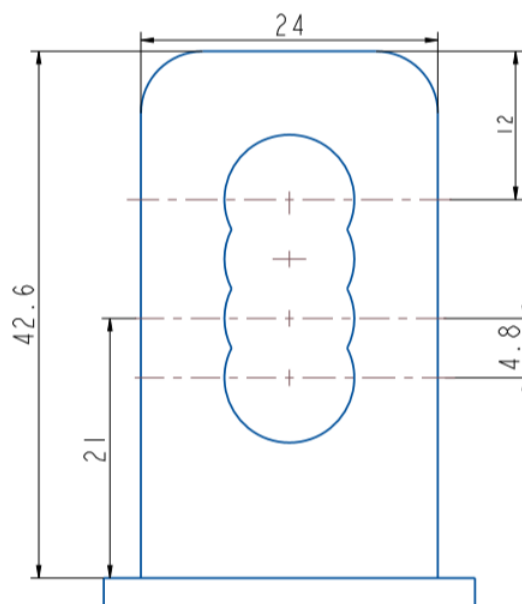
Figur 37 - Detaljbilde pådragsarm

Som kapittel 3.6.1 tar for seg er det utarbeidet et forslag for stegvis justering. Denne justeringen er lokalisert i flatjernet i toppen av pådragsarm. Denne vil ha 4 forskjellige posisjoner. Disse fire posisjonene har en senter-senter-avstand på  $4,8\text{mm}$ , noe som tilsvarer  $14,4\text{mm}$  fra topp til bunn. Det andre hullet fra bunn er standard posisjon, og har samme funksjon og pumpeutslag som ved dagens design. Om en pumpe blir slitt eller byttes ut og det er behov for endring i utslaget, flytter man overføring til ønsket posisjon. Som en konsekvens av disse hullene, er flatjernet gjort lengre for å beholde samme tykkelse på gods.

Det foreslås å bruke samme boltdimensjon som i dag, altså M10. For å redusere muligheter for slakk i overføring, foreslås en fin frihullspasning, altså  $10,5\text{mm}$  [21].



Figur 38 - Detaljbilde dagens design



Figur 39 - Detaljbilde stegvis justering

### 3.6.4 Base

#### 3.6.4.1 Eksenterbolt

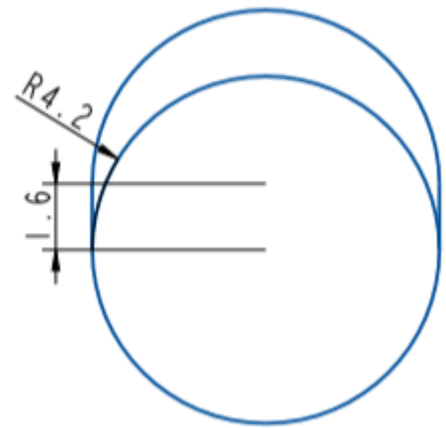
Som forklart i kapittel 3.5.1, vil hovedprinsippet bak basen videreføres slik det er i dag. Det må dog tas hensyn til de forslag som er gitt for finjustering, som er bruk av eksenterbolt. Slik dagens design er utformet, fungerer to gjennomgående splitthylser som opplagring for pådragsarmen. Den ytterste hylsen skal nå erstattes med eksenterbolt.

Det eksentrerte området må tas høyde for. Det velges derfor å gjøre hullet ovalt, med en senteravstand som reflekterer eksenterbolten. Dette gjøres bare på den ene side av basen, slik at bolten bare kan monteres én vei. Dette øker lettfatteligheten ved løsningen og vil redusere faren for feilmontering.

Ovaliteten rettes vertikalt med forhøyelsen opp. Dette vil forhindre en eventuell mulighet for horisontal vandring under drift.

Fjærspenn i fra fjærretur vil hindre bolten i fra å bevege seg vertikalt.

Det må også tas høyde for frihullsdiameter, slik at bolten skal kunne monteres gjennom hullet. Det velges derfor en fin frihullsdiameter på  $8,4\text{mm}$  for å minimere sjansen for slakk i systemet [21]. Hullet forstørres ikke ut fra senter, da opplagingsposisjon ville endret seg. Det blir derfor designet slik at nedre bunnpunkt forblir det samme, for å unngå geometriending på pådragsarm.



Figur 40 -Illustrasjon av hull i base

#### 3.6.4.2 Lasergravering

I kapittel 3.6.2 vises det hvor mye løft som kreves av bolten for å påvirke pumpeutslaget  $4\text{mm}$ . For å gjøre designet lettfattelig i bruk, anses det som en nødvendighet å dele pumpeutslag opp i hver hele millimeter i fra  $0\text{mm} \rightarrow 4\text{mm}$ . Det foreslås derfor å lasergravere anvisninger på base i henhold til pumpeutslag.

Utregninger for pumpeutslag i forhold til eksenterløft, på grunnlag av metode vist i 3.6.2:

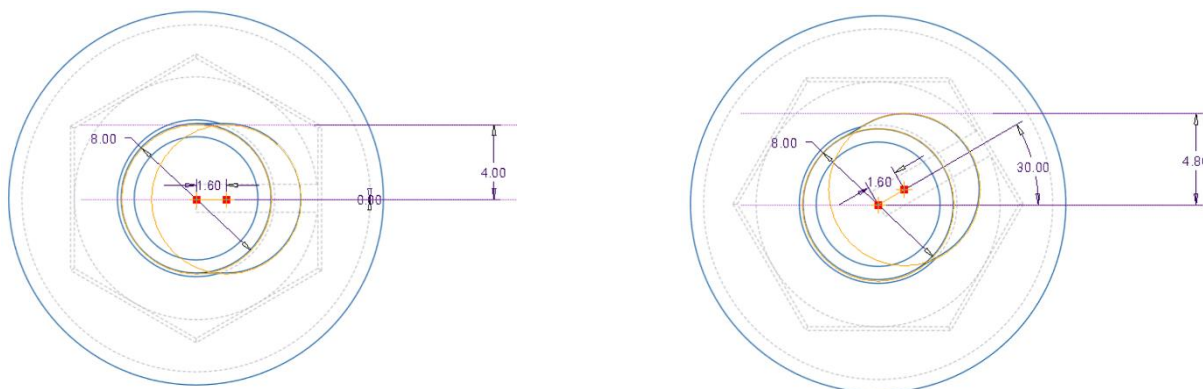
$1\text{mm}$ utslag på pumpeaksel = $0,3922\text{mm}$ løft på eksenterbolt	Rundes av til $0,4\text{mm}$
$2\text{mm}$ utslag på pumpeaksel = $0,7845\text{mm}$ løft på eksenterbolt	Rundes av til $0,8\text{mm}$
$3\text{mm}$ utslag på pumpeaksel = $1,1767\text{mm}$ løft på eksenterbolt	Rundes av til $1,2\text{mm}$
$4\text{mm}$ utslag på pumpeaksel = $1,5689\text{mm}$ løft på eksenterbolt	Rundes av til $1,6\text{mm}$

Som vist over, vil hver millimeter utslag på pumpeaksling, tilsvare  $0,4\text{mm}$  løft på eksenterbolt. Ved å bruke disse verdiene, er det mulig å regne ut vinkelutslaget som trengs for å nå de ulike løftene. Siden eksenterbolt ikke vil ha et aktivt løft før den roteres over horisontalplanet, vil vinklene derfor regnes ut ifra dette.

Slike vinkler i eksentrerte sirkler kan finnes ved enkel geometriregning.

Eksempel 0,8mm løft:  $\sin(\alpha) = \frac{0,8mm}{1,6mm} \Rightarrow \alpha = \sin^{-1}\left(\frac{0,8mm}{1,6mm}\right) \Rightarrow \alpha = 30^\circ$

Denne fremgangsmåten blir repetert frem til samtlige vinkler er funnet. Eksempelet er skissert i Figur 41.



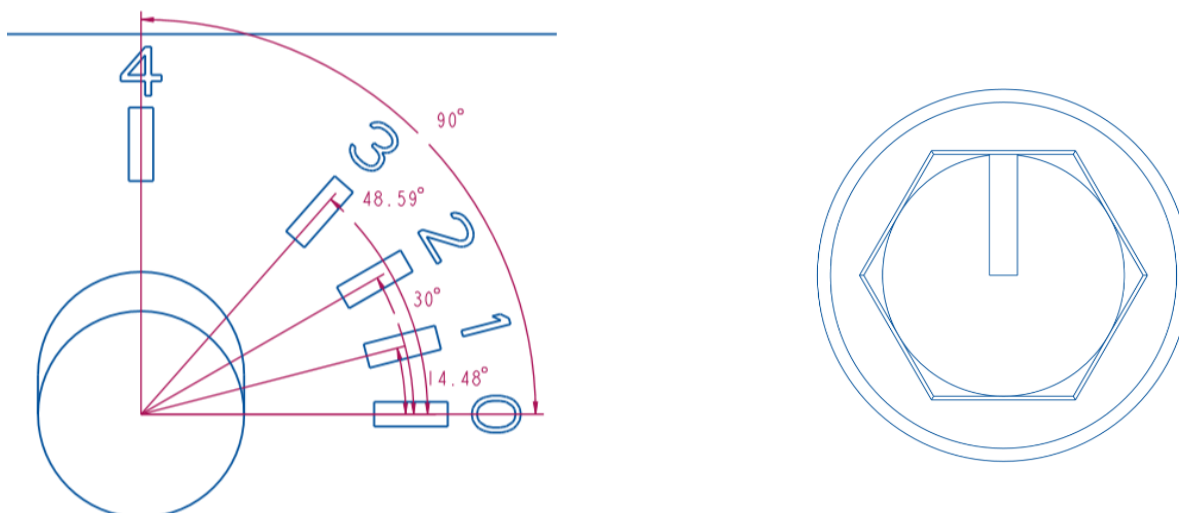
Figur 41 – Vinkelutslag på henholdsvis 0° (venstre) og 30° (høyre) på eksenterbolt

Dette gir et resultat på:

- 1mm vandring på pumpeaksling tilsvarer 14,48° på eksenterbolt
- 2mm vandring på pumpeaksling tilsvarer 30,00° på eksenterbolt
- 3mm vandring på pumpeaksling tilsvarer 48,59° på eksenterbolt
- 4mm vandring på pumpeaksling tilsvarer 90° på eksenterbolt

Det foreslås derfor å lasergravere antall millimeter utslag på pumpeaksling på base, som stemmer overens med de gitte vinkelutslag.

Utover de forslag som er gitt i kapittel 3.6.2 om eksenterbolt, foreslås det dermed også å lasergravere posisjonsanvisning over maksimalt løft på denne (se figur 42).

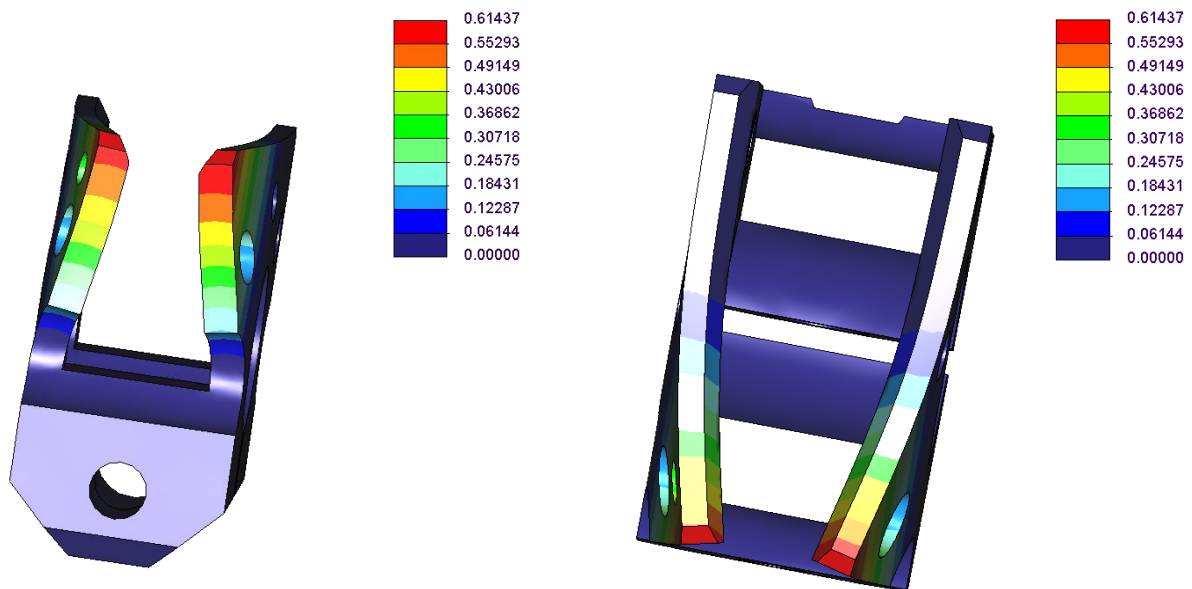


Figur 42 – Forslagsoversikt over lasergravering på base (venstre) og eksenterbolt (høyre)

### 3.6.4.3 Forsterkning av base

På grunnlag av at det foreslås å bruke en eksenterbolt som finjustering presentert i kapittel 3.6.2, oppstår det en potensiell mulighet for bøyning av base. Denne skal erstatte dagens ytre splitthylse og monteres i base. I henhold til de vibrasjonspåkjenninger maskinkomponenten kan utsettes for, blir det foreslått å kombinere eksenterbolt med Nord-Lock skiver. Selv om dette reduserer muligheten for løsrivelse, må denne fremdeles strammes til etter tabell. Faren dette medfører, er at basen gir etter og vil deretter klemme pådragsarm. Fjærreturens funksjon vil da falle bort. På grunnlag av dette undersøkes det derfor om dagens base vil tåle en slik påkjenning.

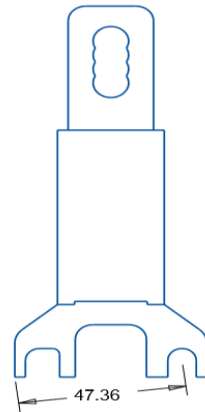
Det blir da nødvendig å finne ut hvor stort utslag kreftene fra eksenterbolt vil påvirke basematerialet. Det tas utgangspunkt i anbefalt tiltrekningsmoment og forspenningskraft i henhold til utregning [20]. Denne velges for å oppnå en teoretisk strekkspenning på 70% av flytegrense. For en M8 bolt, i 8.8 fasthetsklasse, er dette henholdsvis 26,6Nm og 17,1kN. Disse dataene blir så brukt i analyseprogrammet PTC Creo Simulate. Det mest kritiske i denne situasjonen er å finne den potensielle deformasjonen av basegodset. Materialet blir satt til vanlig karbonstål, A36. Resultatet av denne analysen ble som følger:



Figur 43 - Deformasjonsanalyse av dagens design (Skalert x10)

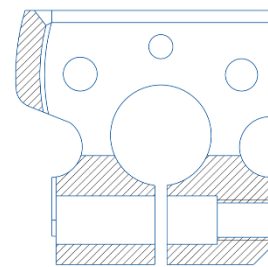
Ut ifra analysen blir det fastslått at slik dagens base er utformet, blir denne for svak til bruk av eksenterbolt. Basen opplever en total deformasjon på ca. 1,2mm, noe som vil utgjøre stor klemningsfare. Godset rundt eksenterbolt må derfor forsterkes, da dette anses som det mest kritiske området.

Forsterkningen legges mellom de to sidene for å ta opp kreftene på best mulig måte. Det må da tas hensyn til pådragsarm, i tillegg til fjærreturens funksjon. Om en situasjon skulle oppstå der fjærreturen gir etter, er det viktig at den nye forsterkningen ikke blokkerer dens løftebane. Ut ifra Figur 44 kan man se at det lengste målet fra rotasjonssenter er  $47,36mm$ . For å ta hensyn til det faktum at det kan ligge seg skit og smuss mellom pådragsarm og base, må avstanden fra rotasjonssenter til forsterkning derfor være lengre enn  $47,36mm$ .



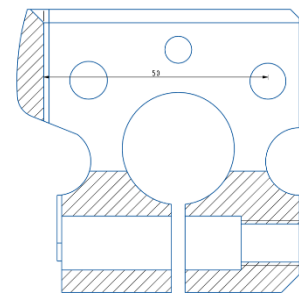
Figur 44 - Illustrasjon av rotasjonsmål

På grunnlag av dette, bestemmes det at avstand fra rotasjonssenter til forsterkning settes til  $50mm$ . Det ble i første omgang lagt frem et forslag til innsideradius på  $50mm$ , i tillegg til utsideradius på  $56mm$ , sett fra rotasjonssenter. Dette ble gjort for å beholde en uniform godstykkelse og for mest mulig fleksibilitet i basen, da denne skal knipes rundt aksling.



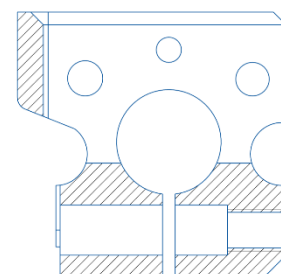
Figur 45 - Illustrasjon av forsterkning med ytre og indre radius

Etter veiledning fra CNC-operatør ble innsideradius fjernet for å lette maskineringsprosessen. Det ble også lagt til radiuser for fasefres i topp, samt for pinnefres på innside. Utsideradius ble beholdt for å beholde styrke i forsterkningen. Ved å benytte seg av en utsideradius vil fleksibiliteten i større grad beholdes, noe som var ønskelig frem til en eventuell prototype ble testet.



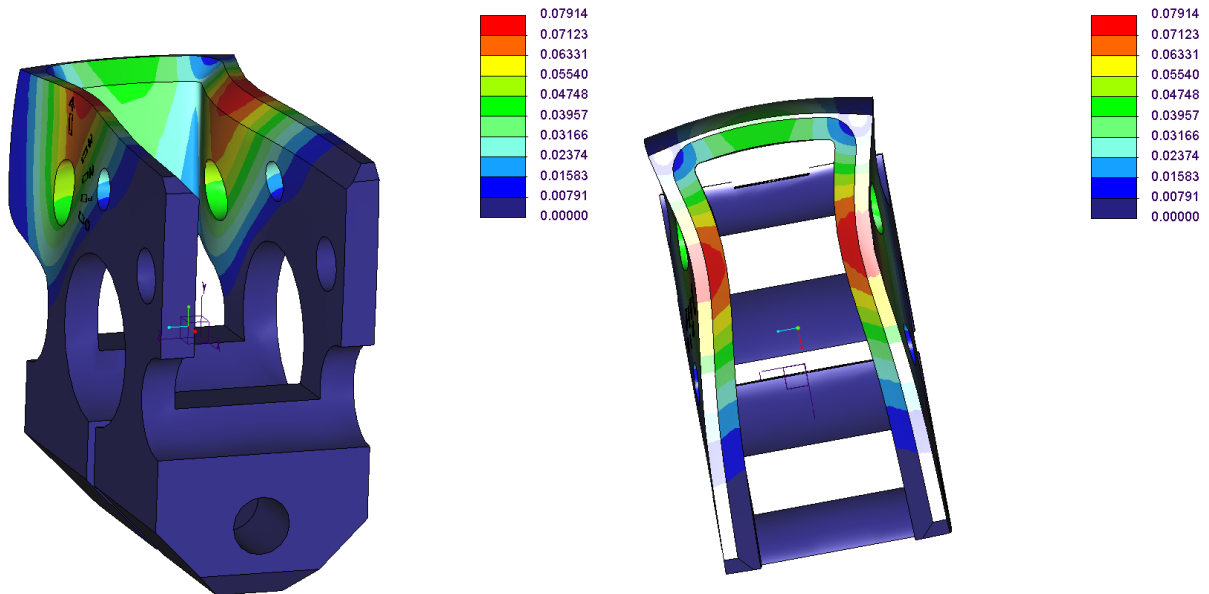
Figur 46 - Illustrasjon av forsterkning med ytre radius

Om fleksibilitet og stivhet viser seg å være god, kan basen gjøres enda mer maskineringsvennlig. Dette gjøres ved å fjerne utsideradius. Om gods legges til, vil fleksibiliteten svekkes. På den andre siden vil forsterkning svekkes om det fjernes for mye gods. Det er derfor ønskelig å foreta en vurdering av dette punktet etter en velfungerende prototype er blitt produsert og testet. Ettersom en slik prototype ikke har blitt produsert ved oppgavens slutt, beholdes forsterkningen slik som vist i Figur 46 .



Figur 47 - Illustrasjon av forsterkning uten radius

Komponenten ble så analysert på ny, med henholdsvis samme krefter og materiale. Resultatet ble som følger:



Figur 48 - Deformasjonsanalyse av base med forsterkning (skalert x10)

Ut ifra analysen, opplever basen en total deformasjon på ca. 0,16mm. Dette er en reduksjon på ca.1,04mm sett i forhold til dagens base.

På grunnlag av denne analysen, bestemmes det derfor at dybdemål på nedre del av pådragsarm også må forandres, i tillegg til de endringer gjort i kapittel 3.6.3. Dette gjøres for å redusere klemmingsfaren. På bakgrunn av usikkerhet i støpekvaliteter på pådragsarm, velges en sikkerhetsfaktor på 3.

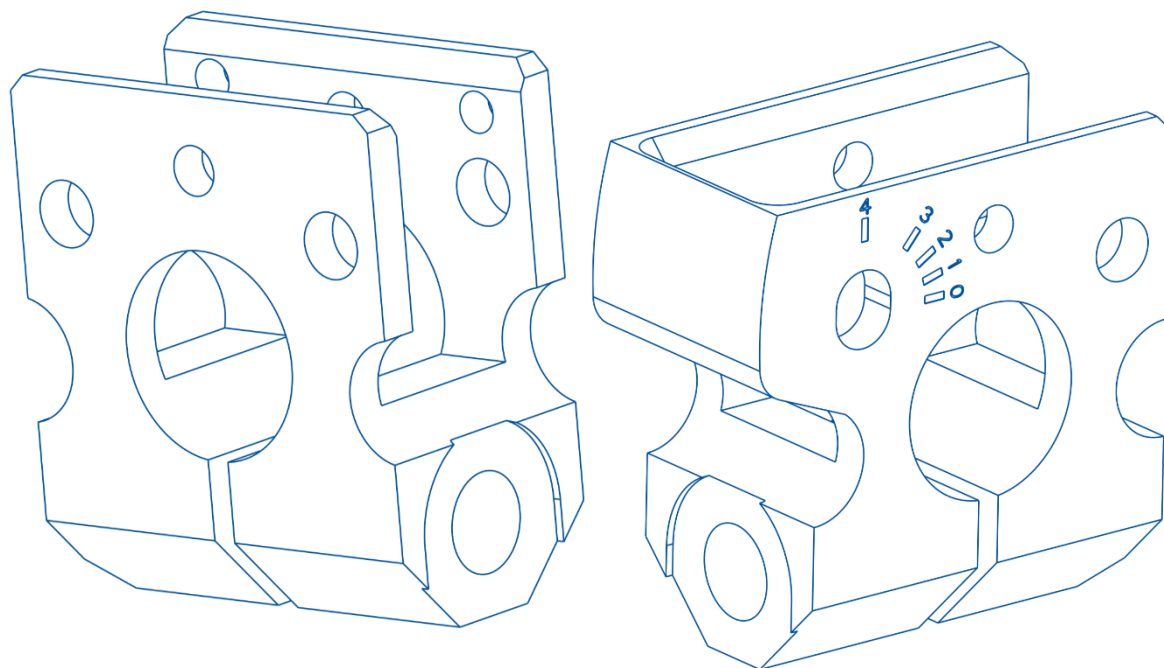
Total deformasjon på 0.16mm, tilsvarer 0.08mm per side. Ved sikkerhetsfaktor på 3, vil da anbefalt klaring være:

$$0,08mm * 3 = 0,24mm$$

Foreslår derfor å redusere nedre dybdemål på pådragsarm med 0.25mm per side.

### 3.6.4.4 Oppsummering

På bakgrunn av avgjørelse tatt i 3.5.4, om bruk av eksenterbolt, er det utarbeidet nødvendige designendringer på base. Dette er henholdsvis et ovalt hull, lasergravering for posisjonsanvisning og en forsterkning.



Figur 49 - Designendringer base



### 3.7 Materialvalg

Oppgaven tar for seg materialvalg, og kommer med forslag til hvilke materialer som kan brukes i komponenten.

Som nevnt i kapittel 3.1 oppgis det som et oppgavekrav fra RRBE om at produksjonskostnader skal holdes på et minimum, i tillegg til at komponenten skal være enkel og robust. Disse faktorene anses som kritiske fra forfatterens side. Sammen med det faktum at bedriften har sitt eget støperi på Hordvikneset, opptrer disse faktorene som svært sentrale i prosessen for materialvalg.

Komponenten skal produseres i stort kvantum. Støpevennlige materialer vil da være å foretrekke, da dette kan spare bedriften for store kostnader. Det kan støpes flere komponenter i samme omgang, som også er tidsbesparende. Det anses derfor som ønskelig, og som en førsteprioritet å vurdere støpbare materialer.

Det er ikke oppgitt som oppgavekrav at det må tas spesifikke hensyn til ytre belastninger, slik som termiske påkjenninger og lastbegrensninger. Det anses også fra forfatterens side at komponenten ikke gjennomgår nevneverdige belastninger. På grunnlag av dette er det derfor ikke kjørt strekk- bøy- og utmattelsesanalyser i forhold til materialvalg, foruten om som følge av deformasjon av base, presentert i 3.6.4.3.

I henhold til basens kompleksitet, må denne undergå en del maskinering. Sammen med forslag for forsterkning gitt i kapittel 3.6.4, må stivheten være god for å unngå at materialet skal gi etter ved tilstramming av eksenterbolt. Dette er kritisk i forhold til komponentens virkemåte. Materialforslaget på base må da inneha god stivhet, være maskineringsvennlig, i tillegg til billig og robust. På grunnlag av disse faktorene, vurderes ikke støpbare materialer på base.

Pådragsarmen har ikke et like komplekst design som basen og kan i mye større grad støpes komplett. Maskinering er nødvendig, men i mye mindre grad enn basen. Å anse stivhet som et avgjørende kriterium under mindre belastninger anses derfor ikke som nødvendig. På bakgrunn av dette vil det i stor grad fokuseres på støpbare materialer i bruk på pådragsarm.

I samråd med ansatte ved HVL, med utdanning innen produksjon og materiallære, er det i hovedsak fire forskjellige materialer som har blitt vurdert. Disse er presentert i tabellen under med viktige mekaniske egenskaper. Det ses hovedsakelig på strekkfasthet, E-modul og relativ kost for å avgjøre hvilke materialer som kan foreslås for de ulike delene. Smeltepunktet blir dog vurdert i hensyn til støpbarheten. Ved høyere smeltepunkt, kreves det mer energi for å oppnå ønsket temperaturområde for støpning. Dette anses som mer kostbart og tidkrevende.

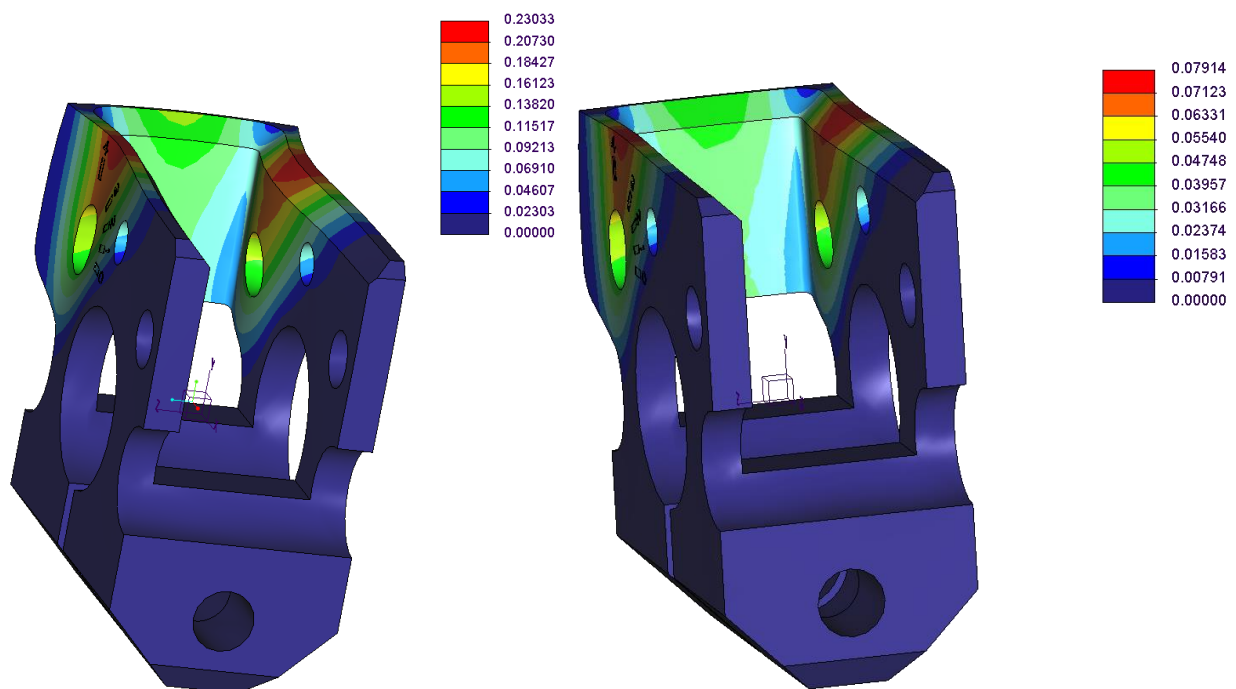
Materialnavn	Grått støpejern	Aluminium	Støpt Aluminium	Karbonstål
Betegnelse	G3000	6061 T651	A356	A36
Flytespenning (MPa)		276	124	220-250
Strekkfasthet (MPa)	207	310	164	400-500
Smeltepunkt (°C)	1127-1204	463-671	660	1425-1540
E-modul (GPa)	100	69	72,4	207
Relativ kost (KR)	1,7	5,0	2,4	1

Tabell 1 - Tabell over mekaniske egenskaper og relativ kost [22][23]

Aluminium 6061 er en av de mest brukte aluminiumslegeringene i industrien. Brukes blant annet mye i kjøretøy og i flyindustrien. Materialet er korrosjonsbestandig og i temperert utgave er styrken relativt god. I forbindelse med de undersøkelser utført i 3.6.4.3, ble også denne legeringen vurdert som en materialmulighet for base. Dette hovedsakelig på grunnlag av gode maskineringssegenskaper, i tillegg til korrosjonsbestandighet.

Vanlig konstruksjonsstål ses også på som et innlysende material å vurdere. Dette er et av de vanligste materialene å bruke i konstruksjonsanretninger i industrien. Det er billig, sterkt og maskineringsvennlig. Det er dog ikke korrosjonsbestandig uten noen form for behandling.

Materialene ble først og fremst sammenlignet i en deformasjonsanalyse av basen for å se på mulig klemningsfare ved bruk av eksenterbolt.



Figur 50 - Deformasjonsanalyse av 6061 T651 (venstre) og A36 (høyre) (skalert x10)

Resultatet fra denne analysen ble som forventet, ettersom at E-modul kan ses på som et direkte mål på stivheten til et materiale [24]. Aluminium har mye lavere E-modul enn stål og vil derfor ha en mye større deformasjon. I dette tilfellet er det ca. 3 ganger så stor.

Materialene blir likevel vurdert ut ifra de ulike kriteriene som er gitt innledningsvis, i tillegg til sine mekaniske egenskaper. Dette gjøres ved å sette opp en Pugh-matrise, der materialene gis poeng ut ifra de gitte kriterier.

## Forbedring av individuell justering av brennstoffpumpe på dieselmotor

### For base:

	Aluminium 6061	Karbonstål
Vibrasjonsbestandig	+	+
Stivhet	-	+
Maskineringsvennlig	+	+
Pris	-	+
Total	0	4

Tabell 2 - Pugh-matrise over materialvalg for base

På grunnlag av poengsummen i Pugh-matrise for base, ser vi at vanlig A36 karbonstål scorer høyest. Dette begrunnes hovedsakelig ut ifra høy E-modul, gode maskineringssegenskaper og lav kostnad.

Det foreslås dermed å produsere basen i A36 Karbonstål.

### For pådragsarm:

Grått støpejern er det mest brukte støpematerialet basert på vekt. Det brukes mye i produksjon av industrielle komponenter, der det har suverene maskineringssegenskaper sett ut ifra andre støpematerialer. Det skyldes flakstrukturen til grafittandelen i materialet. Det krever dog høye smeltetemperaturer [25].

A356 er en aluminiumslegering ment for støpning. Dette er en sammensetning av aluminium, silisium og mangan, med en henholdsvis mengde på 90.7, 7.0 og 0.3 (oppgitt i wt%). Andel silisium er tilsatt for å øke materialets støpeevne. Legeringen innehar svært gode maskineringssegenskaper, i tillegg til å være korrosjonsbestandig. Den blir ofte brukt i flydeler, pumpehus og i konstruksjonsdeler der høy styrke er nødvendig [22].

Disse materialene blir også satt inn i en Pugh-matrise for sammenligning.

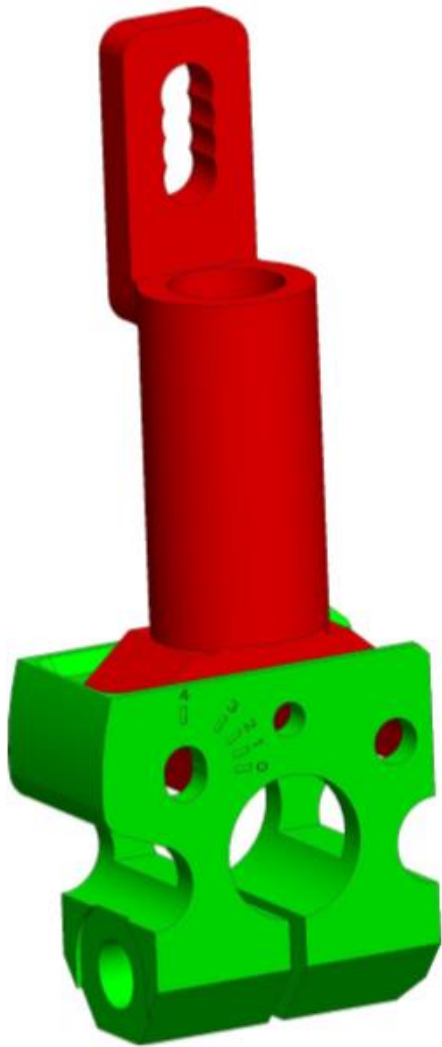
	Grått støpejern	Aluminium A356
Vibrasjonsbestandig	+	+
Støpbarhet	+	+
Maskineringsvennlig	+	+
Pris	+	0
Smeltepunkt	-	+
Total	3	4

Tabell 3 - Pugh-matrise over materialvalg for pådragsarm

I Pugh-matrisen for pådragsarm, anses aluminiumslegeringen A356 som det beste valget ut ifra resultat. Dette begrunnes hovedsakelig ut ifra mengden energi som trengs for å støpe de to materialene. Selv om begge materialer anses som gode støpematerialer, antas det at pådragsarm vil være billigere å produsere i A356, selv om materialet kan ha høyere innkjøpspris.

Det foreslås dermed å produsere pådragsarm i A356 Aluminium.

Det er ikke lagt frem forslag om materialbruk på eksenterbolt, da det antas at denne kjøpes.



Aluminium [A356]

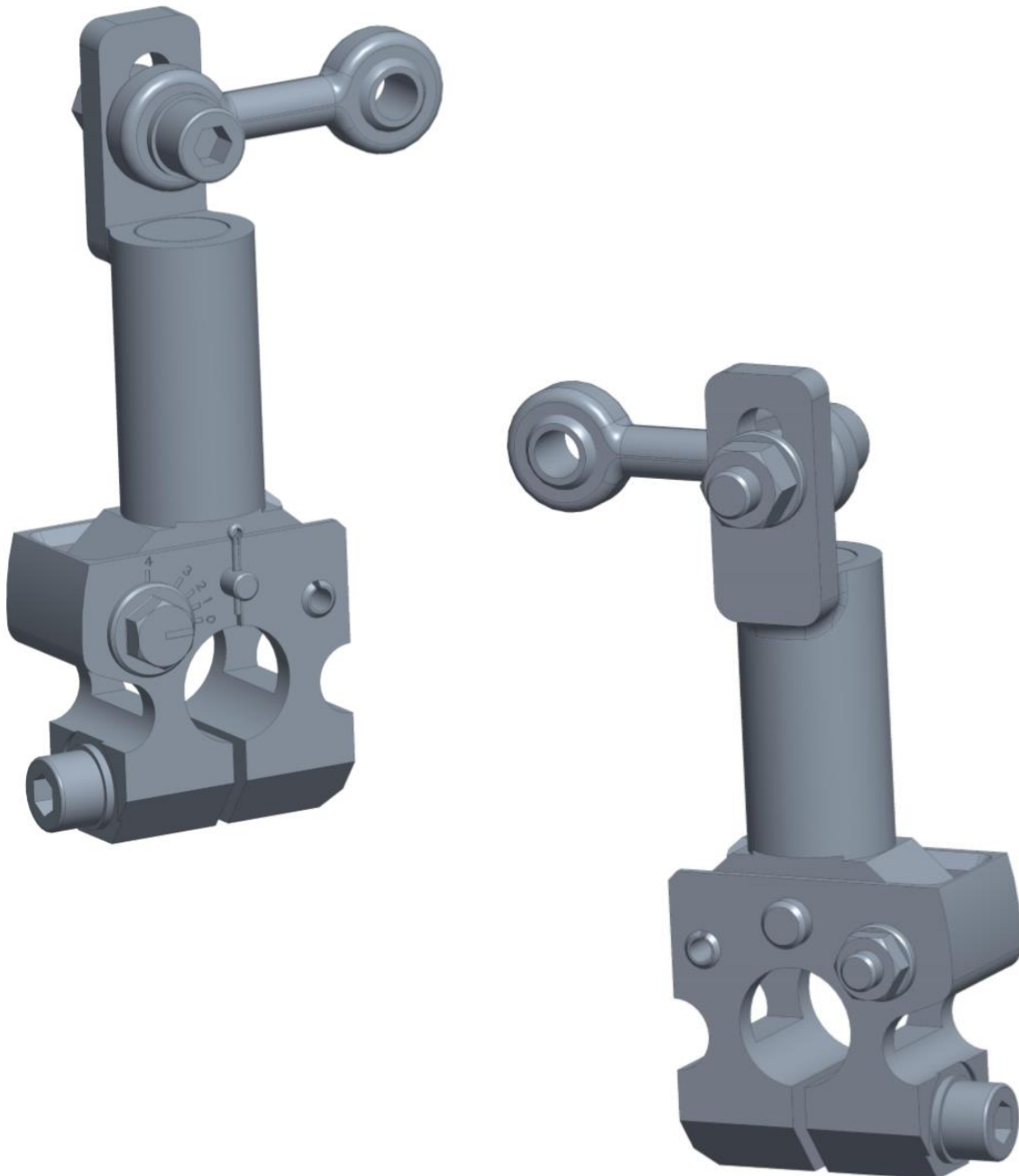
Karbonstål [A36]

*Figur 51 - Materialforslag*

## 4. Resultat

Ut fra de designkriterier og endringer som er ønsket fra RRBE, er det i henhold til disse utarbeidet et forslag til en modifisert maskinkomponent. Konseptene som vi konkluderte med i 3.5, sammen med designendringer i 3.6, er satt sammen til en komponent. Resultatet er som følger:

### 4.1 Illustrasjoner



Figur 52 - Resultat

## 4.2 3D-Print

Underveis i oppgaven var det ønskelig å lage en prototype av hovedkonseptet. Dette på grunnlag av at virkemåten og funksjonaliteten burde gjennomgås for å bekrefte at teorien stemte i praksis. Valget falt dermed på å 3D-printe en prototype i samarbeid med HVL, i 1:1 skala.

Resultatet ble som følger:



*Figur 53 - Sammenstilling 3D-print*



*Figur 54 - Deleoversikt 3D-print*

Kommentar til 3D-print:

Noen av delene kom dessverre ikke med i printen. Slik som låsepinnene til fjærretur. Dette var ikke kritisk for å teste finjustering ved eksenterbolt, men likevel uheldig. Et annet problem som viste seg, var kvaliteten på sirkulære konturer på komponenten. Hullene ble derfor ikke runde, mer sekskantede. Det var derfor nødvendig å borre disse opp for å få prøvd konseptet.

Etter at printen var bearbeidet slik at komponenten kunne settes sammen, ble den deretter testet under enkle, uprofesjonelle forhold. Virkemåten til eksenterbolt så ut til å fungere, så det ble bestemt å strebe etter en bedre print, slik at komponenten kunne testes skikkelig.

Modelleringsfilene ble derfor gjennomgått. Problemet viste seg å ligge i selve «meshen» på filene som brukes under 3D-printing, kalt STL (Stereolithography). Etter flere mislykkede forsøk på å fikse dette, ble RRBE spurt om hjelp. De hadde dessverre problemer med printerens sin, så en «rapid prototype» kunne ikke produseres derifra.

Ved oppgavens slutt jobbes det fremdeles med å få laget en bedre prototype som kan vises frem på høgskolens EXPO-arrangement og prosjektets hovedpresentasjon.

## 5. Konklusjon

Forslaget som er utarbeidet antas fra forfatterens side å oppfylle alle krav som var satt til komponenten, på en enten direkte eller indirekte måte.

- Komponenten må kunne låses uten at noe vrir seg
- Løsning må være enkel å montere
- Komponenten må være robust mot vibrasjoner
- Økte produksjonskostnader må holdes på et minimum
- Komponenter må kunne finjusteres slik at pumpeaksling får et utslag på ca 2-3mm
- Komponenter må kunne ta høyde for nye og gamle pumper, der pådragsgeometrien må kunne endres ca 8%
- Låsing aksialt og kanskje radialt på aksling slik at det ikke sklir og kniper i overføringer
- Komponenter bør bli lettere å justere under drift

Kriteriene gitt fra RRBE er behandlet og løst på denne måten:

Med eksenterbolten er det nå mulig å finjustere slik at pumpeakslingen får et utslag på opp til 4mm. Denne justeringen gjør at det ikke er behov for samme nøyaktighet ved montering. Derfor er vridningen som skjer ved låsing av komponenten ikke et like stort problem, da du kan hente inn avviket ved hjelp av finjustering. Selv om designet har samme monteringsløsning som tidligere, anses justering som mer brukervennlig.

Den stegvise justeringen tar høyde for ny og gammel brennstoffpumpe. Det er laget flere faste posisjoner for å ha en standard på hvordan disse justeres i forhold til hverandre. På grunnlag av informasjonen gitt i kapittel 3.6.5, antas det at dette designkravet er oppfylt. Pådragsgeometrien kan nå endres 8%. I kombinasjon med eksenterbolt for finjustering, antas det at komponenten vil være lettere å justere, også under drift.

Det foreslås i oppgaven å bruke dobbeltsidige uniballs, kalt dogbones, i overføringen. På grunnlag av informasjonen gitt i kapittel 3.5.4, antas det at alle knipeutfordringer i overføring forsvinner. Ved bruk av en slik løsning, vil også avviket for aksial vandring før fastsetting bli større, og derav behovet for aksial posisjonslås bli mindre.

Det er utarbeidet arbeidstegninger av delene som skal produseres, i tillegg til digitale 3D-filer av alle delene komponenten består av. Det er også laget forslag for prosedyre av hvordan komponenten brukes, som senere kan brukes som en instruksjonsanvisning for operatørene.

Totalt sett vurderes komponenten til å være mer brukervennlig, som hovedsakelig løser de utfordringer og kriterier gitt av RRBE. Ut ifra de designendringer som er gjort, i tillegg til de materialer som er foreslått, vurderes komponenten til å være enkel og robust, samtidig som produksjonskostnader er holdt nede. Oppgaven anses dermed som løst på en tilfredsstillende måte, og resultatet vil forhåpentligvis være til nytte for RRBE.



## 6. Vedleggsliste

1. Forslag til innkjøp av overføring
2. Sammenstillingstegning av pådrag
3. Prosedyre for bruk av komponent
4. Arbeidstegninger

## Referanser

- [1] Bergen byleksikon, «Bergens Mekaniske Verksteder,» [Internett]. Available:  
<https://www.bergenbyarkiv.no/bergenbyleksikon/arkiv/1424520>
- [2] Sysla, April 2019. [Internett]. Available:  
[https://sysla.no/maritim/ar-siden-hadde-en-av-fire-ansatte-fatt-sparken-na-har-rolls-royce-bergen-nesten-like-mange-pa-lonningslisten-som-krisen/?fbclid=IwAR1Q7CFtY35bZ8eUlK8Nrx6q0BoYIeSv6NSKAmN\\_a7ihpaNLD3C1TVax3](https://sysla.no/maritim/ar-siden-hadde-en-av-fire-ansatte-fatt-sparken-na-har-rolls-royce-bergen-nesten-like-mange-pa-lonningslisten-som-krisen/?fbclid=IwAR1Q7CFtY35bZ8eUlK8Nrx6q0BoYIeSv6NSKAmN_a7ihpaNLD3C1TVax3)
- [3] Rolls-Royce Bergen Engines, [Internett]. Available:  
<https://bergen.rolls-royce.com>
- [4] Lovdata, September 2009. [Internett]. Available:  
[https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2009-05-20-544?fbclid=IwAR2IQa508Df7PgkNtlgtgkHjrTM5U\\_Iapf4luRdEHyXrkBB015rRdcheXEs8#KAPITTEL\\_13](https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2009-05-20-544?fbclid=IwAR2IQa508Df7PgkNtlgtgkHjrTM5U_Iapf4luRdEHyXrkBB015rRdcheXEs8#KAPITTEL_13)
- [15] Electrical engineering blog, «Basic speed control mechanism with speed governor in a diesel engine system,» [Internett]. Available:  
[https://eblogbd.com/basic-control-mechanism-with-governor-in-a-diesel-engine-system/?fbclid=IwAR3v7kj0Fq8vLtjA51NsnaqiL\\_hf5V6ebnc6rjwF07rl5so10s8zB60tP7U](https://eblogbd.com/basic-control-mechanism-with-governor-in-a-diesel-engine-system/?fbclid=IwAR3v7kj0Fq8vLtjA51NsnaqiL_hf5V6ebnc6rjwF07rl5so10s8zB60tP7U)
- [20] Nord-Lock Inc, «Nord-Lock washers,» [Internett]. Available:  
[http://www.swfastener.com/pdf/Nord-Lock Washers.pdf](http://www.swfastener.com/pdf/Nord-Lock%20Washers.pdf)
- [21] K. Johannessen, Konstruksjonsteknikk, Vigmostad & Bjørke AS, 2001.
- [22] W. D. C. & D. G. Rethwisch, Materials Science and Engineering Eight Edition, John Wiley and Sons, 2010
- [23] All Metals & Forge Group, «MELTING POINT OF METALS & ALLOYS,» [Internett]. Available:  
[https://www.steelforge.com/literature/metal-melting-ranges/?fbclid=IwAR08nR7\\_sKMhR7H\\_RV3teLr023arEy\\_s1T31R5ZaX5IA0kahgamheeayXIg](https://www.steelforge.com/literature/metal-melting-ranges/?fbclid=IwAR08nR7_sKMhR7H_RV3teLr023arEy_s1T31R5ZaX5IA0kahgamheeayXIg)
- [24] Wikipedia, «Young's Modulus,» [Internett]. Available:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Young%27s\\_modulus](https://en.wikipedia.org/wiki/Young%27s_modulus)
- [25] Science Direct, «Gray Cast Iron,» [Internett]. Available  
[https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/gray-cast-iron?fbclid=IwAR1uR\\_ia5zPP0PC7kufNAlI0N4f98AhAMTiu4Dyn-uIngF1AnhTJUJmAo5s](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/gray-cast-iron?fbclid=IwAR1uR_ia5zPP0PC7kufNAlI0N4f98AhAMTiu4Dyn-uIngF1AnhTJUJmAo5s)

Bildehenvisninger

- [5] Homedepot, [Internett]. Available:  
<https://www.homedepot.com/p/Climax-1-in-Bore-Black-Oxide-Coated-Mild-Steel-Clamp-Collar-2C-100/203024967>
- [6] Fastenal, [Internett]. Available:  
<https://www.fastenal.ca/counterBook/Power%2BTransmission/Collars%2C%2BCouplings%2C%2BAnd%2BComponents/Shaft%2BCollars/603515?pm=28475&catId=603515>
- [7] Creative Bus Sales, [Internett]. Available:  
<https://parts.creativebussales.com/eccentric-bolt.html>
- [8] Flyin' Miata, [Internett]. Available:  
<https://www.flyinmiata.com/eccentric-lock-kit.html>
- [9] Overstock, [Internett]. Available:  
<https://www.overstock.com/Home-Garden/Specialty-Products-Company-23183-3-4-Camber-Caster-Sleeve/15659945/product.html>
- [10] Westsystem Norge AS, [Internett]. Available:  
<https://www.westsystem.no/p/3868/strekkfisk-metrisk---blue-wave>
- [11] Classic carbs, [Internett]. Available:  
<https://no.classiccarbs.co.uk/produkt/weber-forgasser-gass-binding-stang-sammenstillingen-72mm>
- [12] Exracing, [Internett]. Available  
<https://www.cxracing.com/ROD-ENDS-M5~M20-M-F-LT>
- [13] Jens-S Transmisjoner AS, [Internett]. Available:  
<http://www.jens-s.no/produkter/madler/trapes-og-splineaksel/gjengestang-muttere/>
- [14] M. Kaarakainen, «Spare part optimization for w32 fuel injection equipment,» Wärtsilä Technical Service W32 Department., 2015. [Internett]. Available:  
[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/90576/Kaarakainen\\_Mikko.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/90576/Kaarakainen_Mikko.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- [15] Electrical engineering blog, «Basic speed control mechanism with speed governor in a diesel engine system,» [Internett]. Available:  
[https://eblogbd.com/basic-control-mechanism-with-governor-in-a-diesel-engine-system/?fbclid=IwAR3v7kj0Fq8vLtjA51NsnaqiL\\_hf5V6ebnc6rjwFO7rl5so10s8zB60tP7U](https://eblogbd.com/basic-control-mechanism-with-governor-in-a-diesel-engine-system/?fbclid=IwAR3v7kj0Fq8vLtjA51NsnaqiL_hf5V6ebnc6rjwFO7rl5so10s8zB60tP7U)
- [16] K. Kuiken, Diesel engines part 1, Target global energy training, 2008.
- [17] RBC Bearing, « Misalignment,» [Internett]. Available:  
<http://www.rbcbearings.com/rodends-industrial/misalignment.htm>
- [18] Fish 4 Parts, «DB-SA-067 Double Ended Rod Ends (Dog Bones),» [Internett]. Available:  
<http://www.fish4parts.co.uk/db-sa-067-double-ended-rod-ends-dog-bones->

Arnesen, Hufthammer, Lyssand

- [19] Nord Lock Group, «Nord-Lock originale låseskiver,» [Internett]. Available: <https://www.nord-lock.com/nb-no/nord-lock/produkter/washers/>
- [20] Nord-Lock Inc, «Nord-Lock washers,» [Internett]. Available: [http://www.swfastener.com/pdf/Nord-Lock Washers.pdf](http://www.swfastener.com/pdf/Nord-Lock%20Washers.pdf)

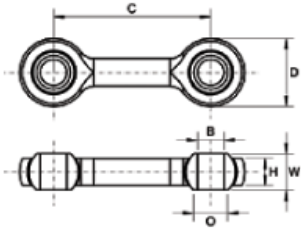
## 8. Vedlegg

### Vedlegg 1: Forslag til innkjøp av overføring

#### MALE ROD ENDS



#### DB SERIES: MAINTENANCE FREE DOG BONE ROD ENDS (IMPERIAL)



**Housing:** Steel 230M07Pb, Zinc Plated and Clear Trivalent Passivate  
**Race:** GR-Nylon, LV-3H  
**Ball:** Bearing Steel 100Cr6, Hardened and Electro-less Nickel Plated



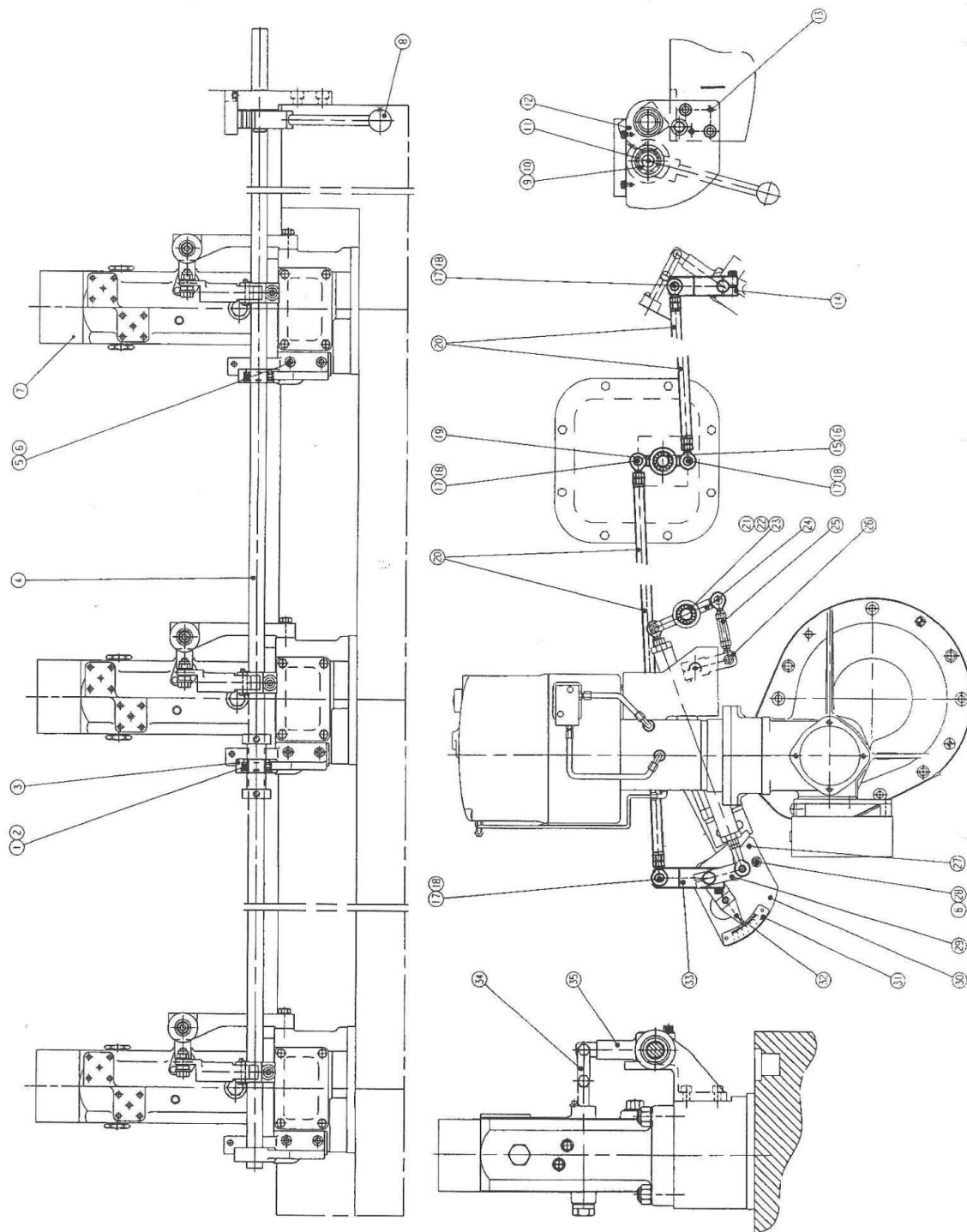
Part No.	Bore Size	C	W	H	D	O	Liner	Static Load Rating (Newtons) Radial
DB-SA-076	5/16	60.0	0.437	0.344	0.875	0.447	GR-NYLON	6,880
DB-SA-158	5/16	75.0	0.437	0.344	0.875	0.447	GR-NYLON	12,010
DB-SA-067	5/16	80.0	0.437	0.344	0.875	0.447	GR-NYLON	12,010
DB-SA-128	5/16	82.5	0.437	0.344	0.875	0.447	GR-NYLON	12,010
DB-SA-162	3/8	50.0	0.500	0.406	1.000	0.516	GR-NYLON	12,830
DB-SA-156	3/8	60.0	0.500	0.406	1.000	0.516	GR-NYLON	12,830
DB-SA-205	3/8	60.0	0.500	0.415	1.000	0.516	SINTERED BRONZE	13,640
DB-SA-159	3/8	65.0	0.500	0.406	1.000	0.516	GR-NYLON	16,900
DB-SA-195	3/8	70.0	0.500	0.406	1.000	0.516	GR-NYLON	16,900
DB-SA-206	3/8	85.0	0.500	0.406	1.000	0.516	GR-NYLON	16,900
DB-SA-155	3/8	100.0	0.500	0.406	1.000	0.516	GR-NYLON	16,900
DB-SA-168	3/8	120.0	0.500	0.406	1.000	0.516	GR-NYLON	16,900
DB-SA-157	3/8	124.0	0.500	0.406	1.000	0.516	GR-NYLON	16,900
DB-SA-207	3/8	175.0	0.500	0.406	1.000	0.516	GR-NYLON	16,900

#### DB SERIES: MAINTENANCE FREE DOG BONE ROD ENDS (METRIC)

Part No.	Bore Size	C	W	H	D	O	Liner	Static Load Rating (Newtons) Radial
DB-SA-074	8	60.0	12	9.0	22	10.4	GR-NYLON	12,775
DB-SA-173	8	75.0	12	9.0	22	10.4	GR-NYLON	12,775
DB-SA-169	8	80.0	12	9.0	22	10.4	GR-NYLON	12,775
DB-SA-170	8	82.5	12	9.0	22	10.4	GR-NYLON	12,775
DB-SA-175	10	50.0	14	10.5	26	12.9	GR-NYLON	16,960
DB-SA-060	10	60.0	14	10.5	26	12.9	GR-NYLON	16,960
DB-SA-200	10	60.0	14	10.5	26	12.9	SINTERED BRONZE	16,960
DB-SA-174	10	65.0	14	10.5	26	12.9	GR-NYLON	16,960
DB-SA-196	10	70.0	14	10.5	26	12.9	GR-NYLON	16,960
DB-SA-160	10	85.0	14	10.5	26	12.9	GR-NYLON	16,960
DB-SA-171	10	100.0	14	10.5	26	12.9	GR-NYLON	16,960
DB-SA-059	10	120.0	14	10.5	26	12.9	GR-NYLON	16,960
DB-SA-172	10	124.0	14	10.5	26	12.9	GR-NYLON	16,960
DB-SA-180	10	175.0	14	10.5	26	12.9	GR-NYLON	16,960
DB-SA-355	12	151.0	16	12.0	30	15.4	SINTERED BRONZE	22,900

The above list shows our current production programme of Dog Bone rod ends. Please enquire for any item not shown.

Vedlegg 2: Sammenstillingstegning av pådrag



Draw. no. 866/38 Governing the fuel injection pumps

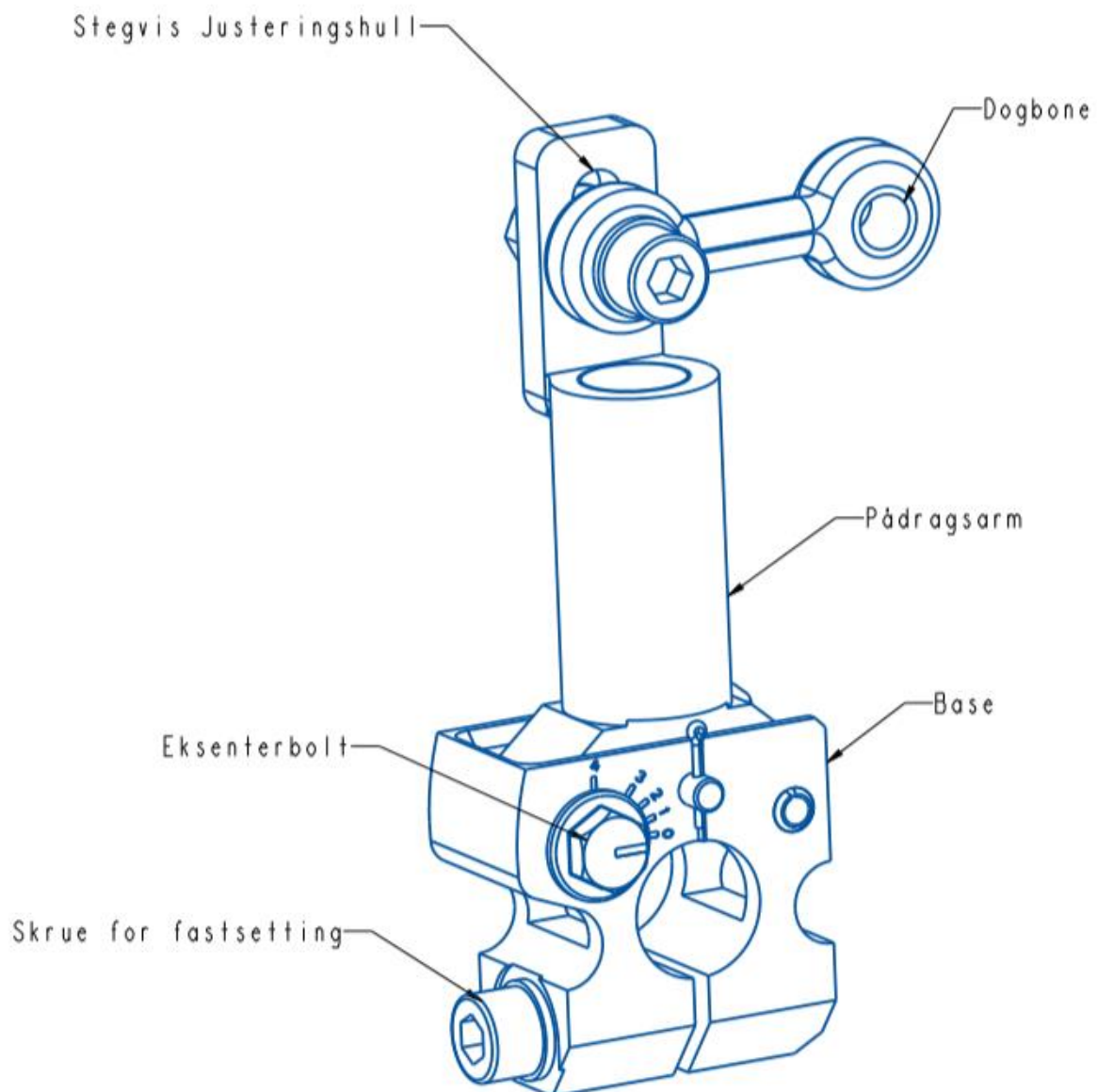
5301  
BVM-O 0398

Relevante komponenter: Overføring [34], Pådragsarm [35]

Vedlegg 3: Prosedyre for bruk av komponent

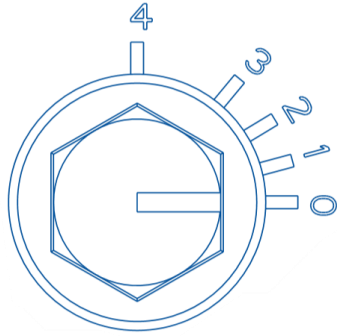
På bakgrunn av FOM §5, vedlegg 1, punkt 1.7.4, er det utarbeidet en prosedyre for bruk av komponenten. Det antas at prosedyren kan brukes for å lage en bruksanvisning på et senere tidspunkt. Arbeidstegninger av alle komponenter er vedlagt i full størrelse og bedre kvalitet.

Generell beskrivelse av komponenten:

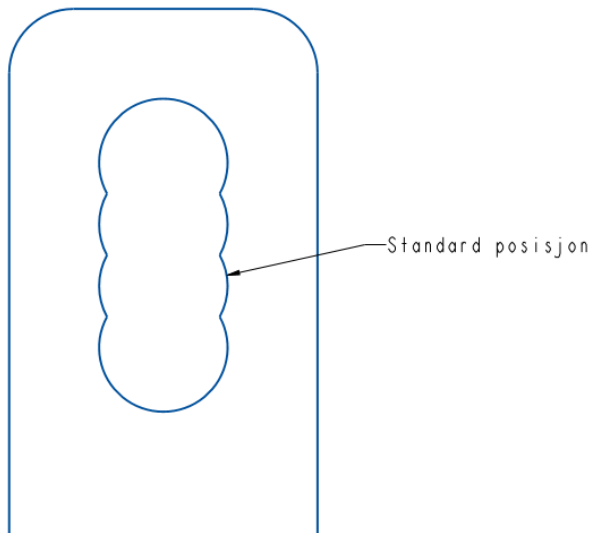


Fastspenning og innjustering av komponent:

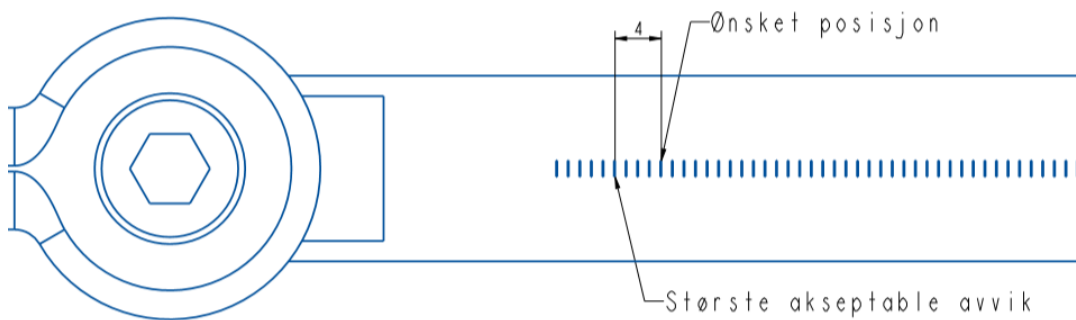
1. Juster eksenterbolten til graveringen på hodet peker på null.



2. Standard posisjon på overføring er i andre hull fra bunn. Monter overføring her med mindre annen posisjon er ønskelig.

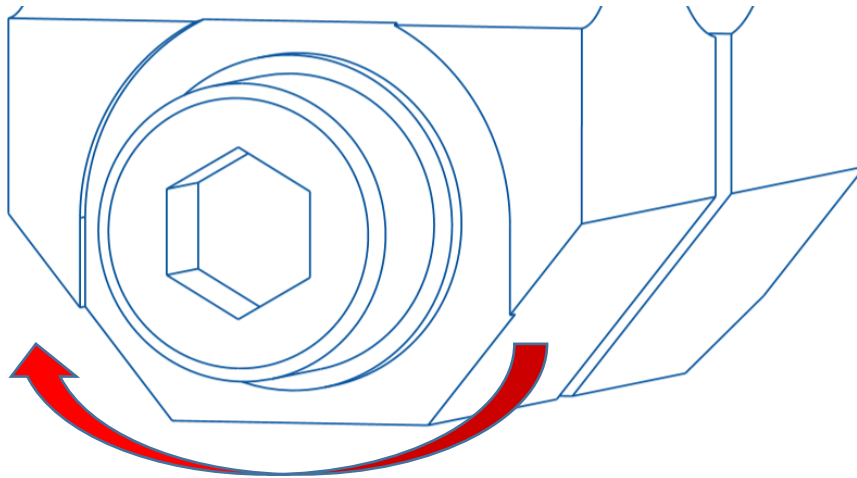


3. Vri komponenten til ønsket posisjon. Juster så nøyaktig som mulig. Et avvik på opptil 4mm ut fra pumpen er akseptabelt.

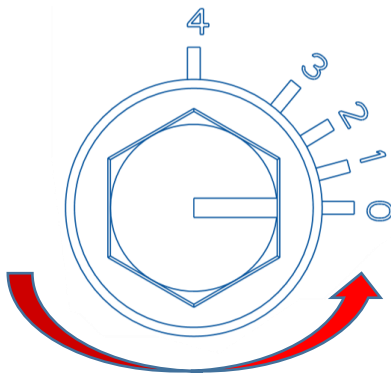




4. Sett deretter fast skrue for fastsetting av base med [sett inn moment her].



5. Kontroller pumpeutslag. Mål hvor mange millimeter det er ønskelig å justere inn. Om målet overstiger 4mm repeter punkt 3. og 4.
6. Skru eksenterbolt til gravering som tilsvarer mål fra punkt 5.

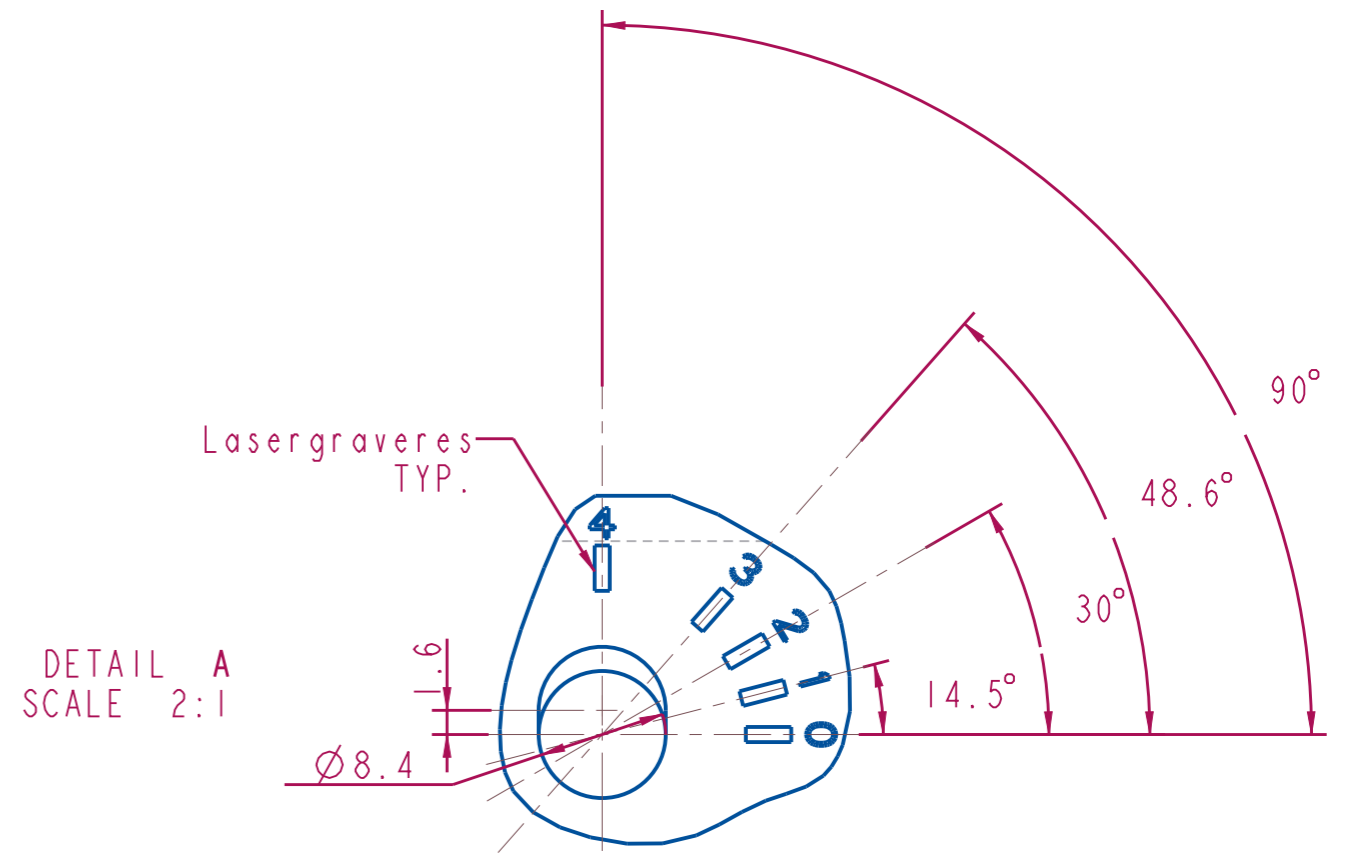
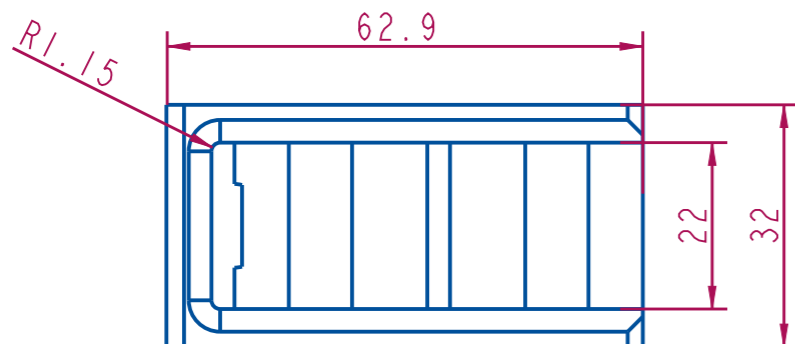
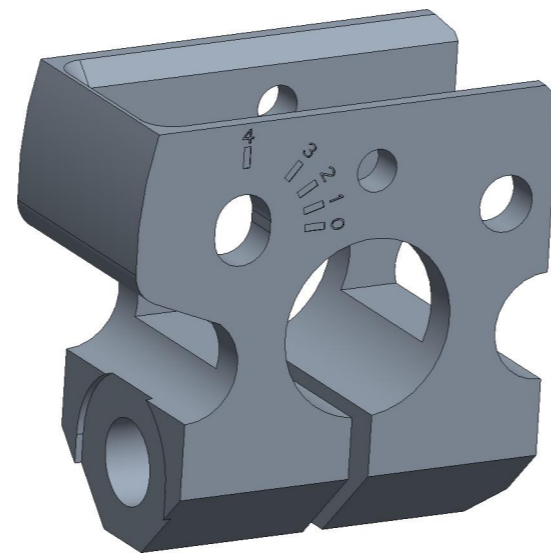
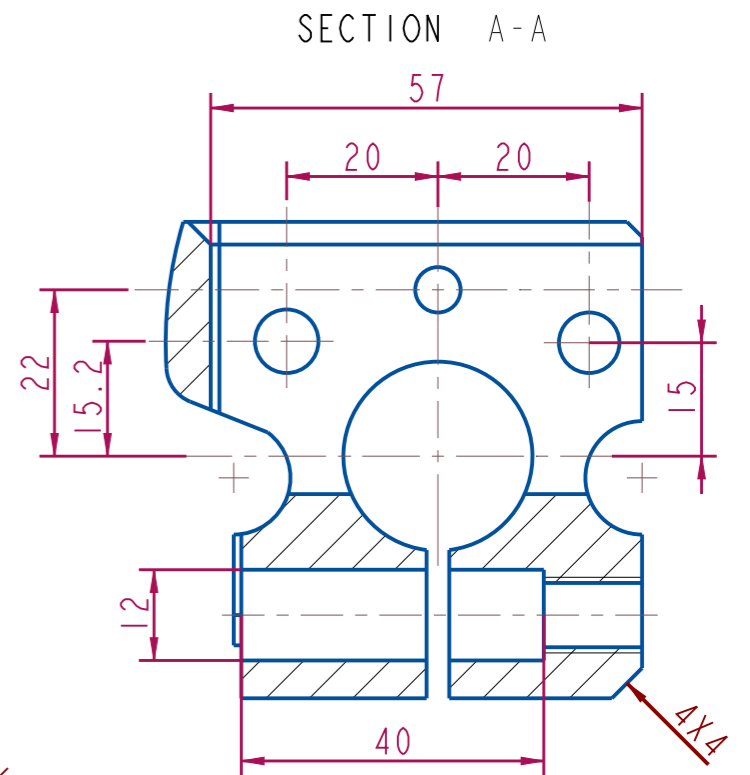
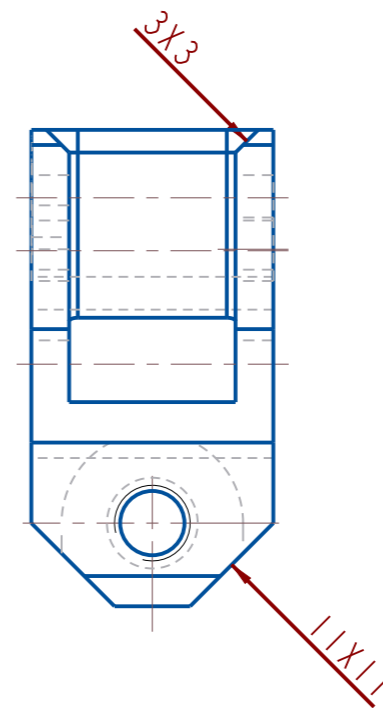
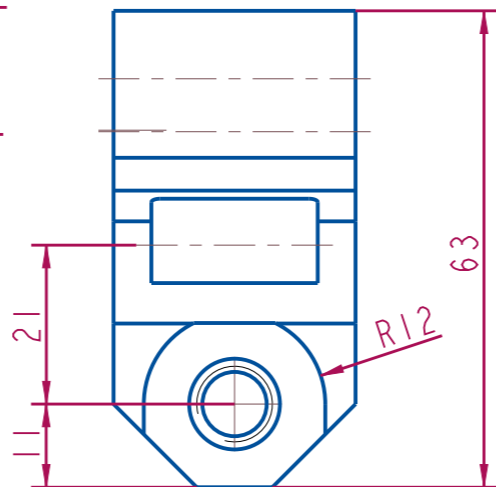
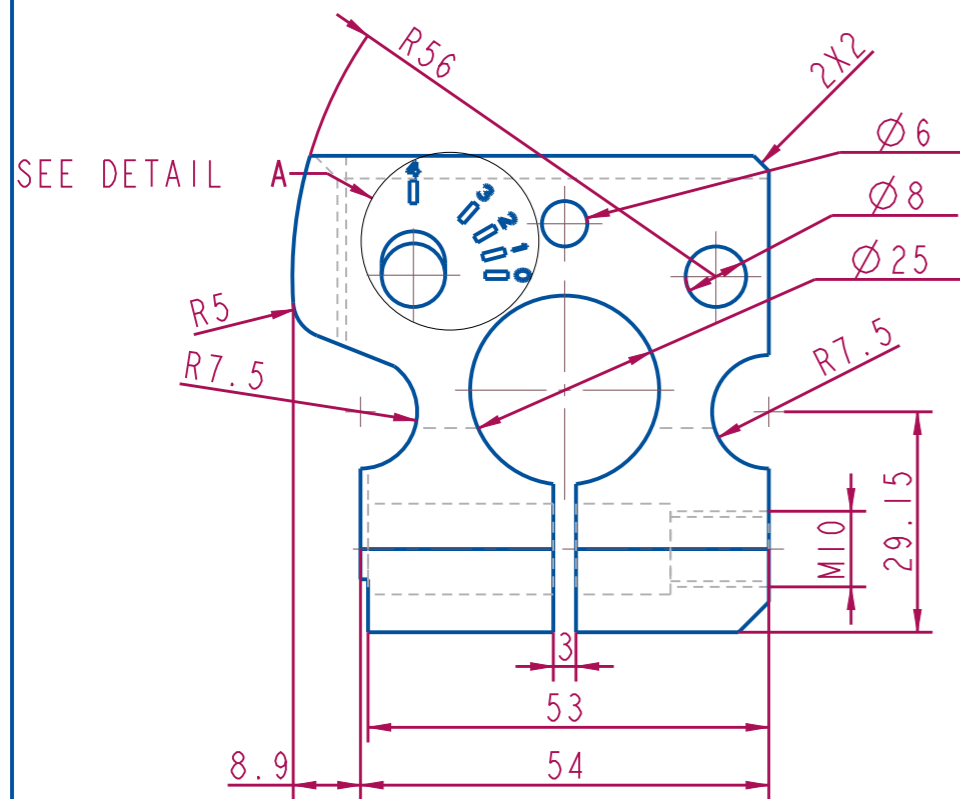


7. Hold eksenterbolt fast med tilhørende verktøy. Sett fast mutter med [sett inn moment her]. NB! Eksenterbolt må alltid skrues fast med tilhørende Nord-Lock skiver.
8. Kontroller pumpeutslag.

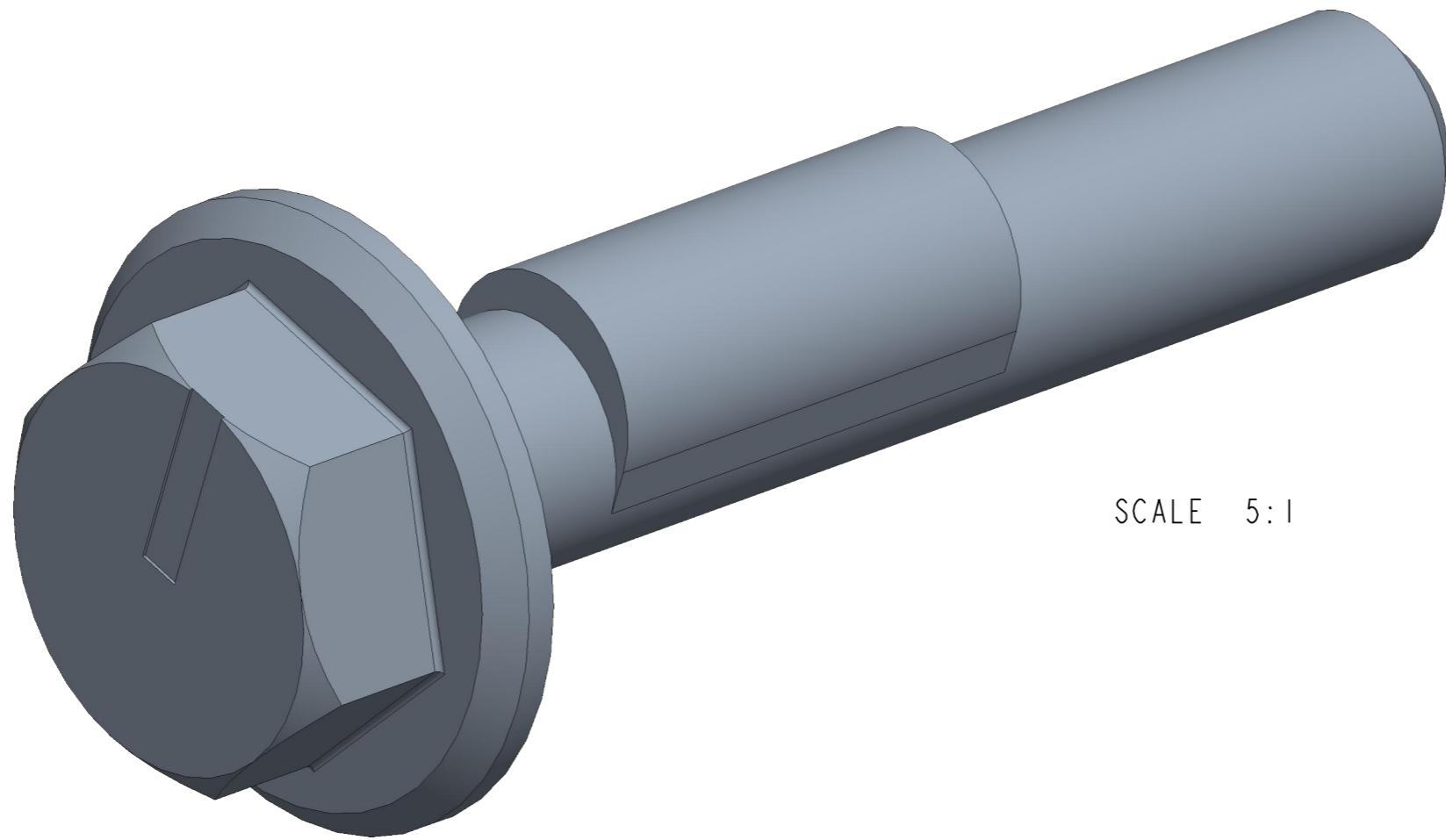
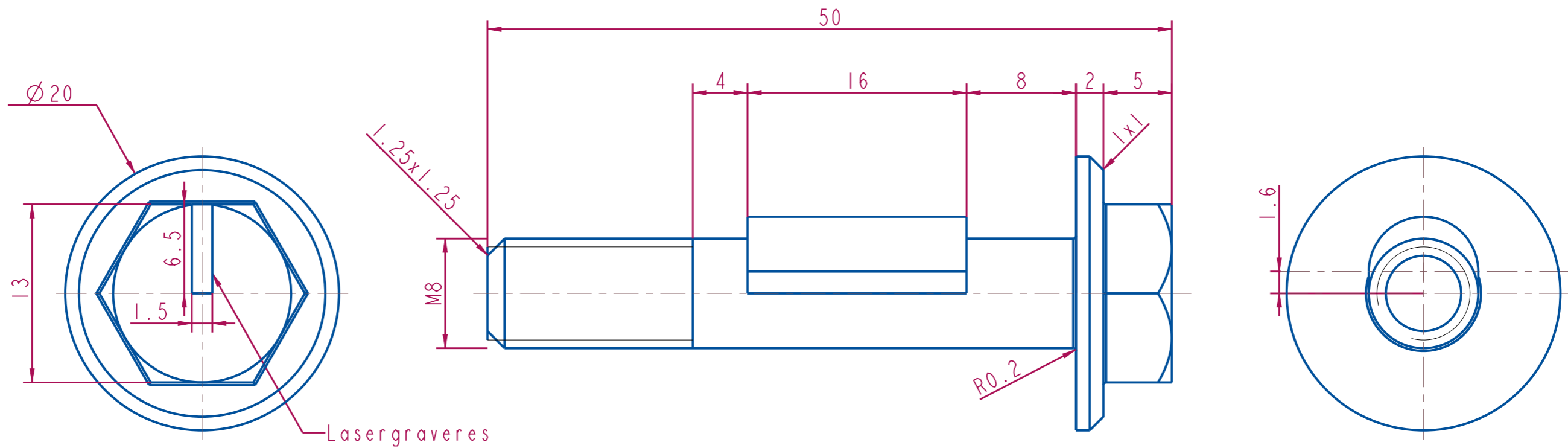
Arnesen, Hufthammer, Lyssand

## Vedlegg 4: Produksjonstegninger

Alle mål og dimensjoner er basert ut ifra de digitale filene utgitt fra RRBE.

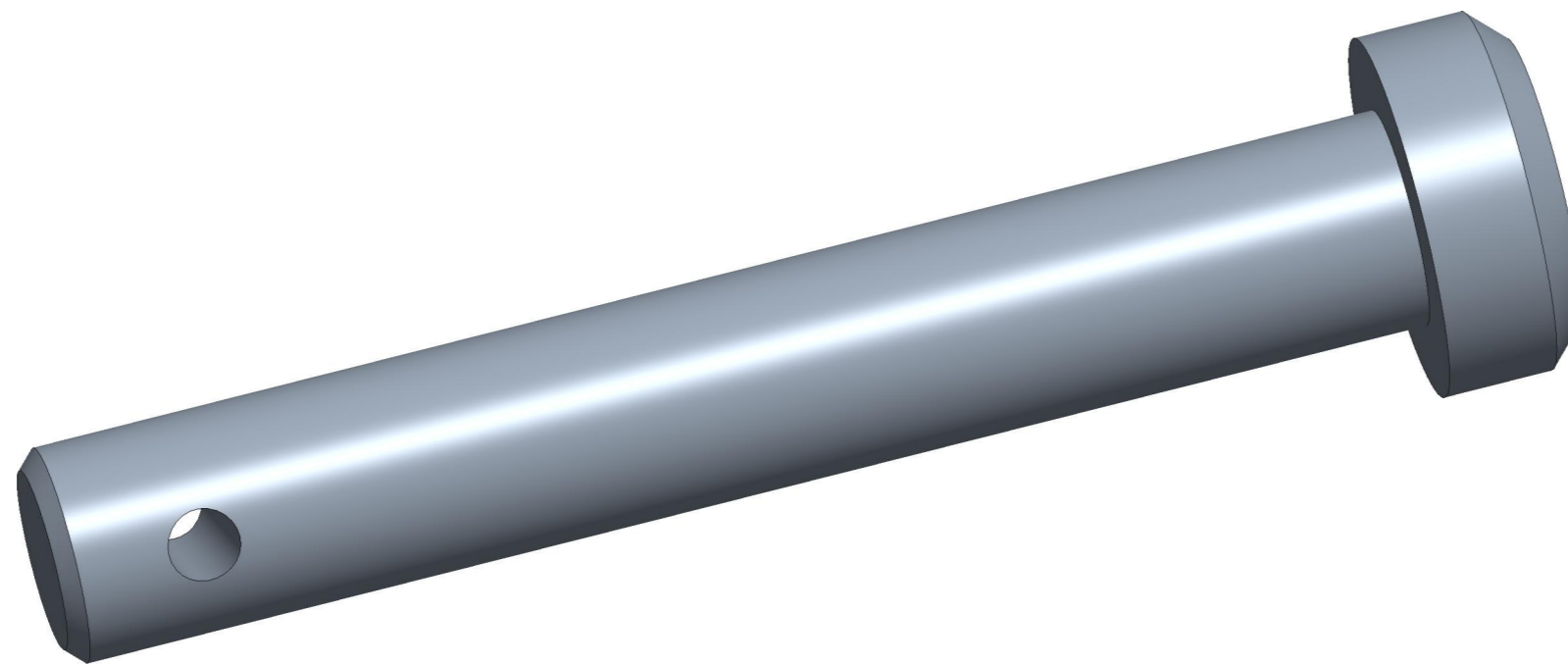
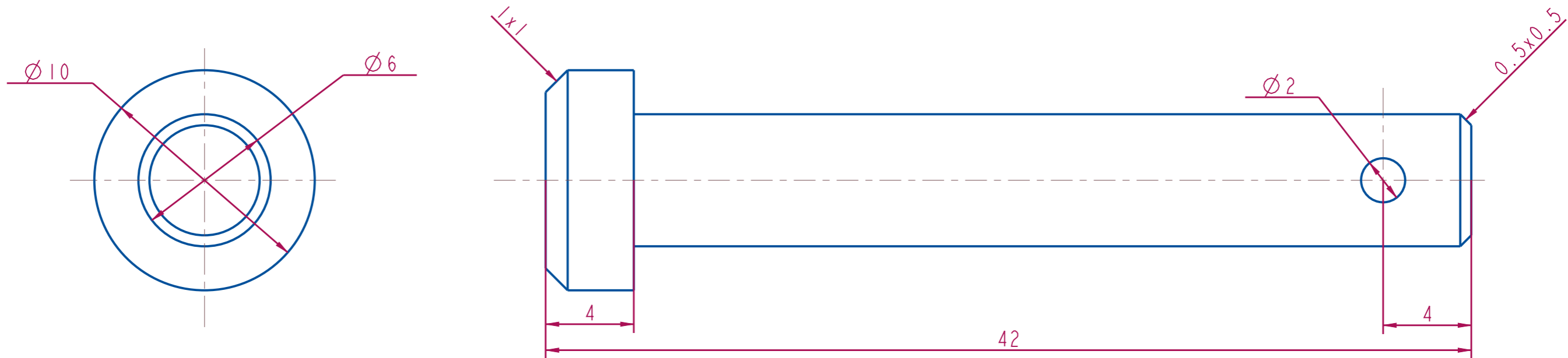


Pos	Ant	Artikkel/Modell	Beskrivelse	Materiale	Dimensjon
Konstr	Tegnet	Revisjon	Vekt	Skala	Format
	Arnesen			1:1	A3
Høgskulen på Vestlandet		Artikkel/Modell		Dato	
IMM		BASE		07-May-19	
Beskrivelse				Tegning	
				BASE	

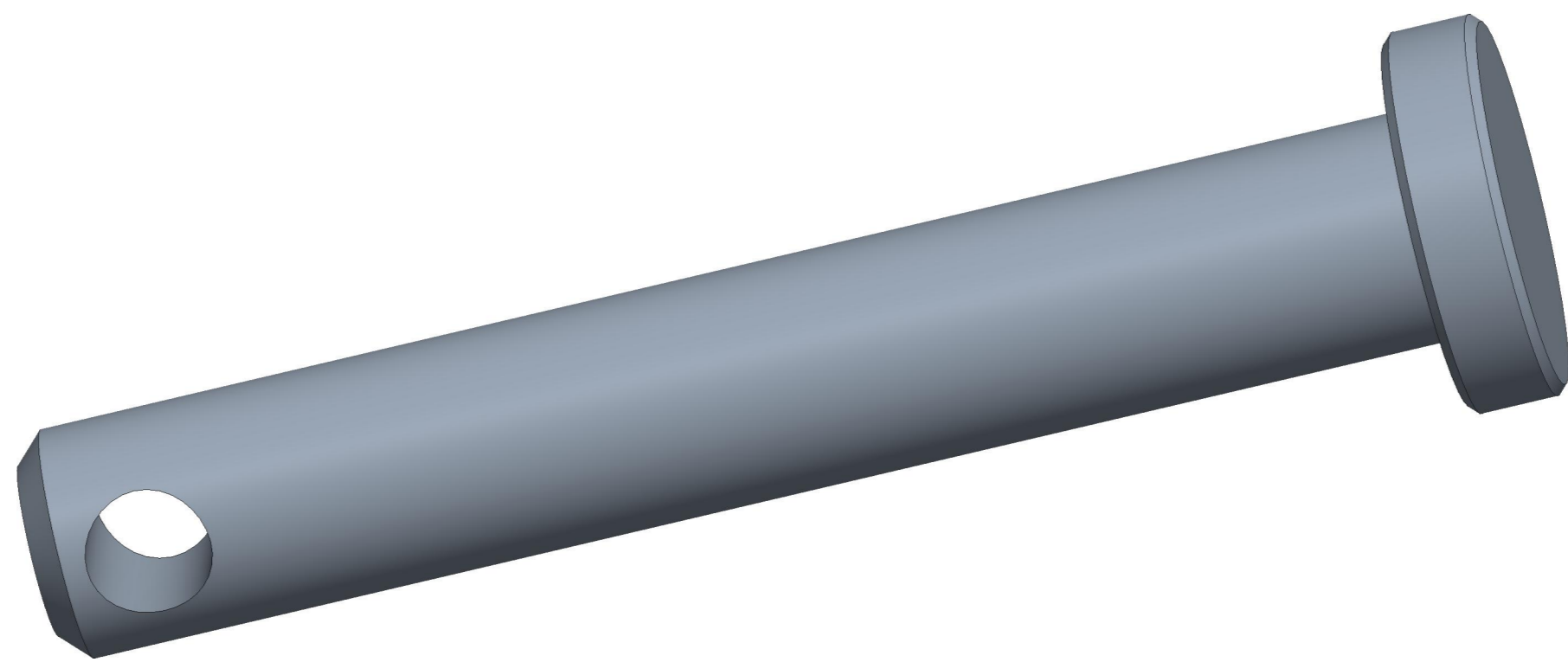
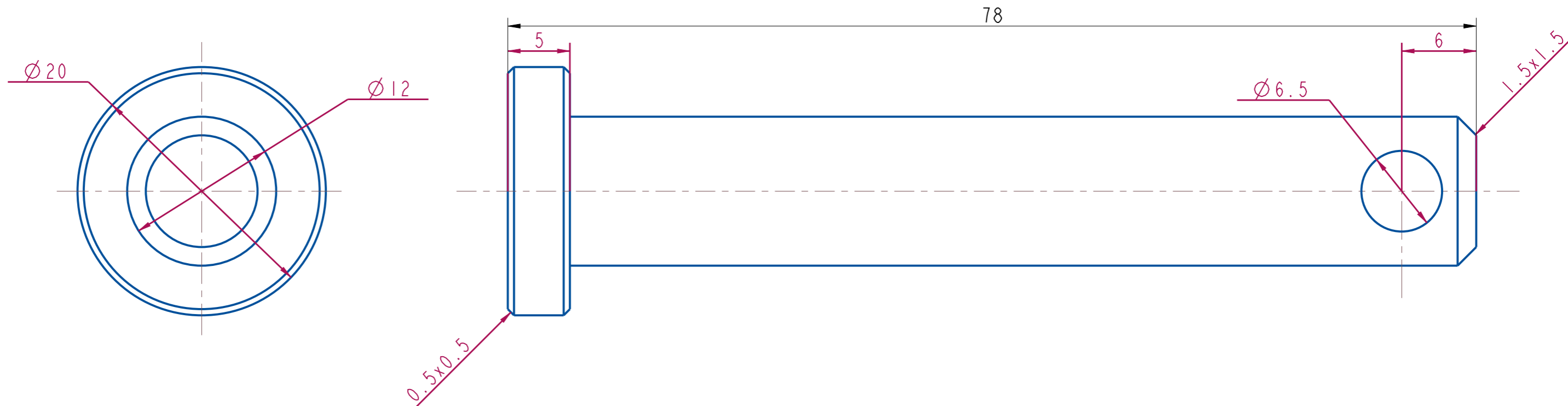


SCALE 5:1

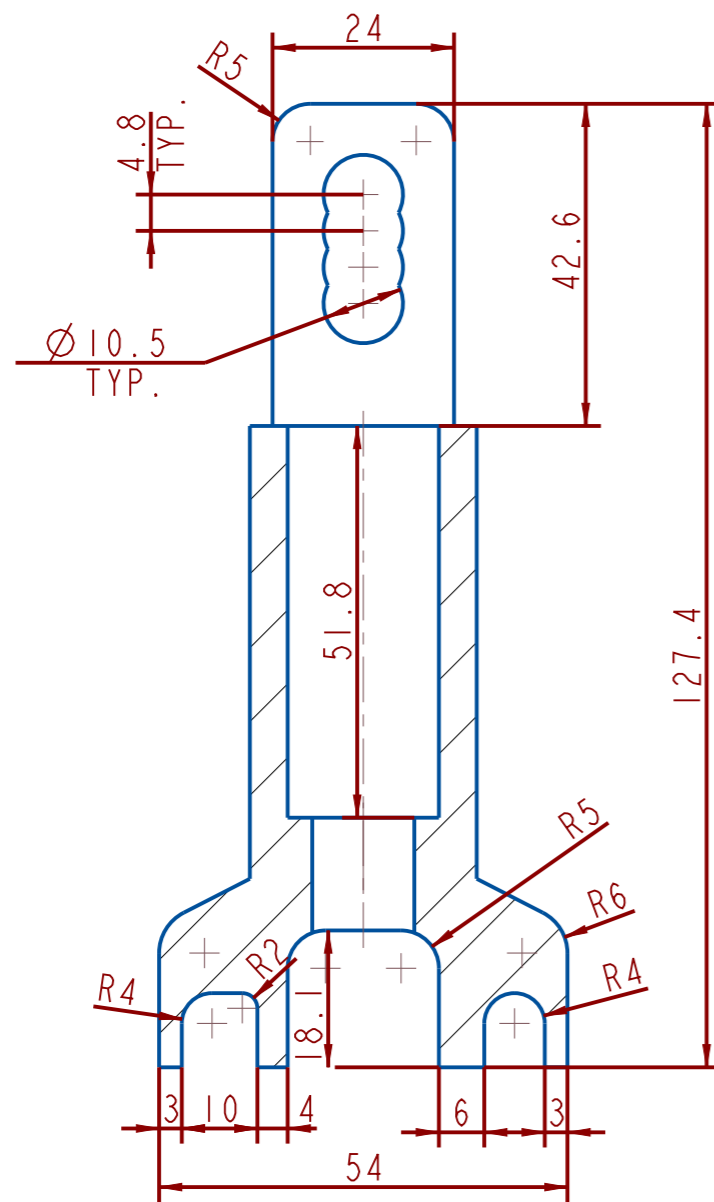
Pos	Ant	Artikkel/Modell	Beskrivelse	Materiale	Dimensjon
Konstr	Tegnet	Revisjon	Vekt	Skala	Format
	A.E.H			3:1	A3
Høgskulen på Vestlandet		Artikkel/Modell		Dato	
IMM		EKSENTERBOLT		23-May-19	
		Beskrivelse		Tegning	
				EKSENTERBOLT	



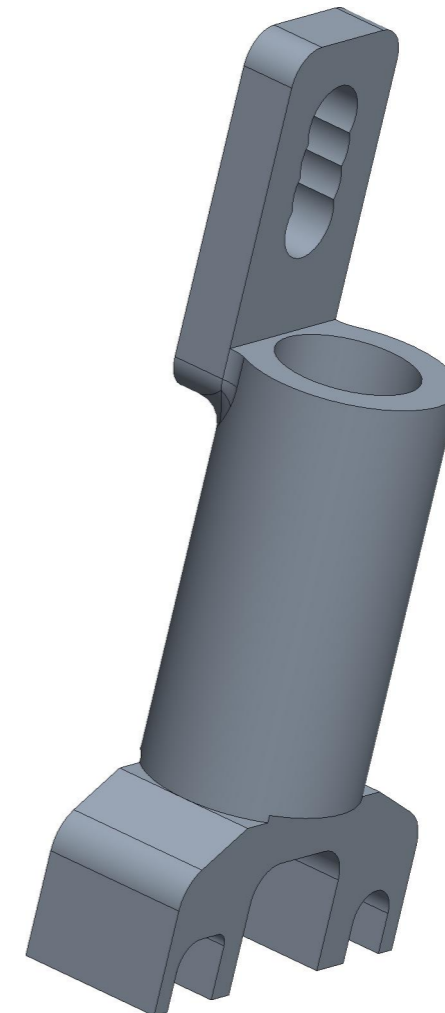
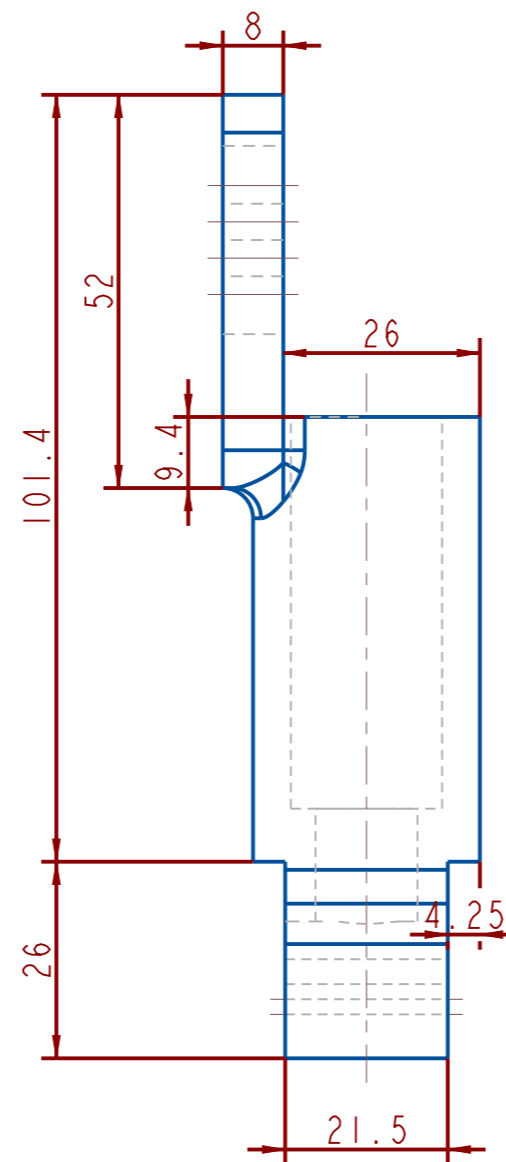
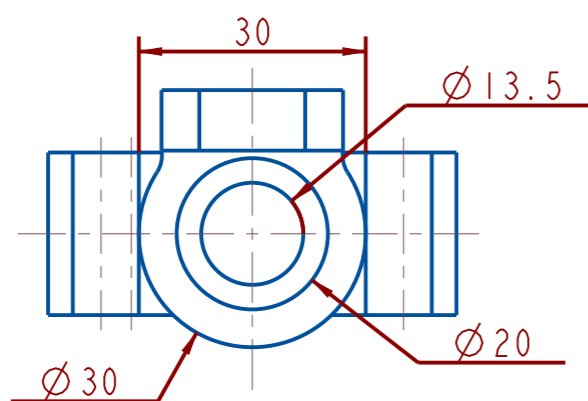
Pos	Ant	Artikkel/Modell	Beskrivelse	Materiale	Dimensjon
Konstr	Tegnet	Revisjon	Vekt	Skala	Format
	A.E.H			5:1	A3
Høgskulen på Vestlandet		Artikkel/Modell		Dato	
IMM		LAASEPIN		21-May-19	
Beskrivelse				Tegning	
				LAASEPIN	



Pos	Ant	Artikkel/Modell	Beskrivelse	Materiale	Dimensjon
Konstr	Tegnet	Revisjon	Vekt	Skala	Format
	A.E.H			3:1	A3
Høgskulen på Vestlandet		Artikkel/Modell		Dato	
IMM		LAASEPIN_FJAER		22-May-19	
		Beskrivelse		Tegning	
				FJAER_LAASEPIN	



SECTION A-A



Pos	Ant	Artikkel/Modell	Beskrivelse	Materiale	Dimensjon
Konstr	Tegnet	Revisjon	Vekt	Skala	Format
	A.E.H			1:1	A3
Høgskulen på Vestlandet		Artikkel/Modell		Dato	
IMM		PAADRAGSARM		23-May-19	
Beskrivelse				Tegning	
				PAADRAGSARM	







