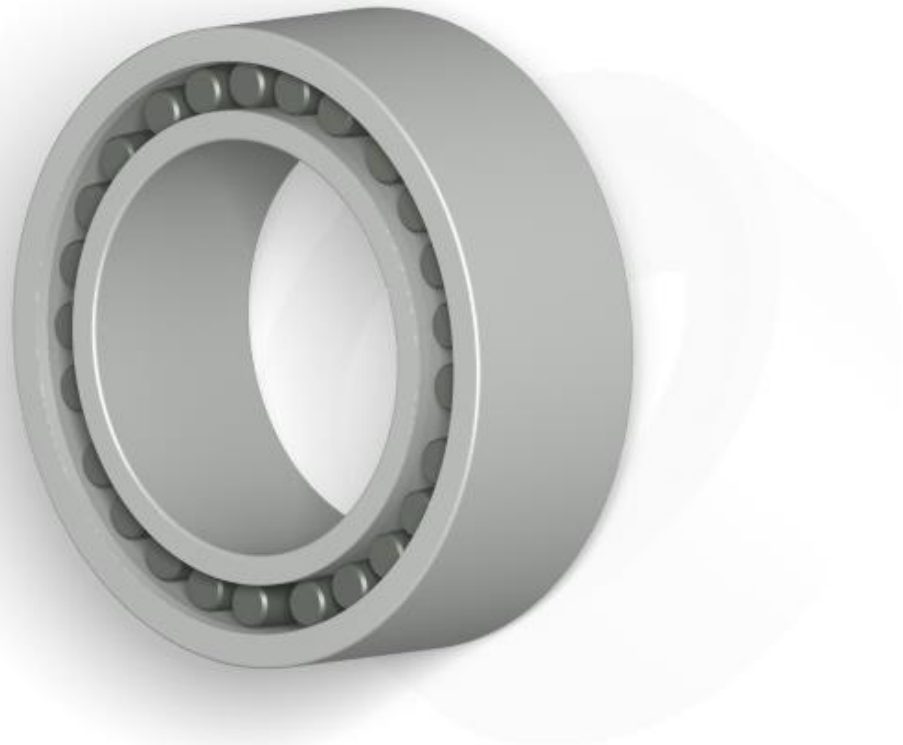




CHALMERS



Monteringsjigg för CARB toroidrullager

Assembly jig for CARB toroidal roller bearing

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet maskinteknik

Nicklas Egger

Institutionen för Produkt- och produktionsutveckling

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2015

Examinator: Göran Gustafsson

Förord

Följande är en rapport av ett examensarbete vid maskiningenjörsprogrammet på Chalmers tekniska högskola. Arbetet har utförts åt SKF Sverige och bedrivits på avdelningen för teknik & utveckling i Göteborg. Jag vill rikta ett tack till Rickard Lindström min handledare på SKF som gav mig möjligheten att utföra arbetet. Tack även till,

Göran Gustafsson

Institutionen för Produkt- och produktionsutveckling, Chalmers tekniska högskola.

Sven Ekered

Institutionen för Produkt- och produktionsutveckling, Chalmers tekniska högskola.

Kjell Melkersson

Institutionen för Produkt- och produktionsutveckling, Chalmers tekniska högskola.

Sammanfattning

Uppgiften i detta arbete har varit att utreda och ta fram en lösning för att underlätta monteringen av CARB toroidrullager C 4022 MB i produktionskanal E2. Ett toroidrullager är ett rullager med endast en rad med rullar istället för två som i ett sfärisk rullager.

Uppdragsgivare var avdelningen för teknik och utveckling på SKF Sverige i Göteborg. Avdelningen jobbar mot produktionskanalerna med underhåll, förbättringar och utveckling.

Det finns idag bara en ”hemmabyggt” monteringsjigg för att underlätta monteringen av lagret, denna lösning fungerar inte bra och kan skada lagret vid montering. SKF har för avsikt att säkra kvalitén och förenkla arbetet vid monteringen av lagret. Detta projekt kommer därför att handla om att ta fram en metod för hur lagret ska monteras och ett eventuellt koncept på en monteringsjigg som metoden kan appliceras på. För att utreda möjligheterna till att montera ihop lagret studerades lagrets geometrier, efter detta användes praktiska tester och simuleringar i CAD-verktyget Catia. Detta resulterade i konstaterandet att ringarna i lagret måste vinklas för att möjliggöra montering, samt en lämplig vinkelkombination ringarna emellan för utförandet. Vinkelkombinationerna låg sedan till grund för konceptutvecklingen. För att arbeta fram ett koncept användes systematiska metoder, där en kravspecifikation, delfunktioner och dellösningar generades. Dessa sattes sedan ihop till totallösningalternativ, där de utvärderades och eliminerades tills endast ett koncept kvarstod. Utvärderingen genererade ett koncept som kan liknas den nuvarande lösningen men där funktionen anses helt optimerad för att säkerställa kvalitén och förenkling av monteringen.

Abstract

The task of this thesis was to investigate and develop a solution to facilitate the assembly of the CARB toroidal roller bearing C 4022 MB in the production channel E2. A toroidal roller bearing is a roller bearing with only one row of rolls instead of two as in a spherical roller bearing. The client was the department of Technology and Development at SKF Sweden in Gothenburg. The department is working towards production channels with maintenance, improvement and development.

There is at this point just a "home-built" mounting jig to facilitate the assembly of the bearing. This solution does not work well and can damage the bearing during assembly. SKF has the intention of ensuring quality and simplify work in the assembly of the bearing. This project will therefore involve developing a method and creating a concept of a mounting jig which the method can be applied to. To investigate possible ways to assemble the bearing, the geometry of the bearing was studied and after that practical tests and simulations in the CAD-tool Catia was used. This resulted in the finding that the rings must be angled to make it possible to fit the roller in the bearing, and a suitable angle combination in between the rings to optimize the assembly. This angle combination was later the basis for developing a concept of a mounting jig.

To create a concept, systematic methods were used where a specification of requirements, sub functions and sub solutions were generated. These sub solutions were then combined into different total solution alternatives that were evaluated and eliminated until only one concept remained. The evaluation generated a concept that can be compared to the current solution but where the function is considered fully optimized to ensure the quality and simplifying the assembly.

Innehållsförteckning

Beteckningar och termer.....	1
1 Inledning.....	2
1.1 Bakgrund	2
1.2 SKF	3
1.3 Syfte.....	3
1.4 Avgränsningar.....	3
1.5 Precisering av frågeställning.....	4
2 Teoretisk referensram.....	5
2.1 CARB toroidrullager	5
2.2 Minsta möjliga vinkel.....	6
2.3 Nuvarande lösning.....	7
3 Metod.....	8
3.1 Informationsinsamling/Informationssökning.....	8
3.2 Simuleringar och praktiska tester.....	8
3.2.1 Praktiska tester.....	8
3.2.2 Simuleringar i CAD.....	8
3.2.3 Slutliga praktiska tester	9
3.3 Kravspecifikation	9
3.4 Breddning och abstrahering av problemet	9
3.5 Funktionsanalys.....	9
3.6 Dellösningar.....	10
3.7 Morfologisk analys	10
3.8 Pughs relativa beslutsmatris	10
3.9 Kesselrings metod	10
4 Utredning av möjliga sätt att montera lagret.....	12
4.1 Lagrets geometri.....	12
4.2 Praktiska tester.....	15
4.2.1 Praktiskt utförande av tester.....	18
4.2.2 Resultat/diskussion av de praktiska testerna.....	28
4.3 Simuleringar i CAD.....	29
4.3.1 Simuleringar i skissverktyget	29
4.3.2 Simuleringar med solidmodeller	33
4.3.3 Resultat/diskussion av simuleringar.....	36

4.4 Slutliga simuleringar	37
4.4.1 Resultat/diskussion av samtliga simuleringar	40
4.5 Slutliga praktiska tester	41
4.5.1 Resultat/diskussion av de slutliga praktiska testerna (test F & G)	44
4.6 Slutgiltig vinkel	44
5 Konceptgenerering	45
5.1 Framtagning kravspecifikation	45
5.2 Breddning och abstrahering av problemet	47
5.3 Funktionsanalys	48
5.4 Framtagning av lösningar till delfunktionerna	50
5.4.1 Funktion 1	50
5.4.2 Funktion 2	52
5.5 Framställning av totallösningalternativ	56
6 Utvärdering och val av koncept.....	58
6.1 Relativ beslutsmatris enligt Pugh	58
6.2 Kriterieviktmatris enligt Kesselring	63
7 Diskussion	65
8 Slutgiltigt koncept.....	66
9 Slutsats	69
Referenser	70
Bilagor.....	71

Beteckningar och termer

Här nedan följer en del beteckningar och termer som används i rapporten.

Toroidrullager = CARB (SKFs varumärke för toroidrullager)

Ringarna = både ytter- och innerring

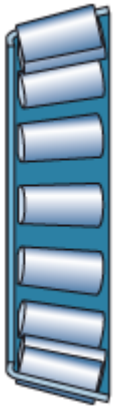
Hållare = komponent som fixerar rullarna i lagret

Lager = alla komponenter i lagret, d.v.s. yttering, innerring, hållare och rullarna.

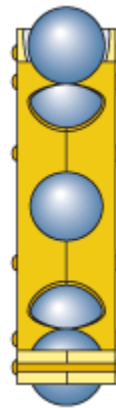
1 Inledning

1.1 Bakgrund

I SKF:s CARB-lagerkanal E2 produceras endast CARB-lager i ett antal olika varianter. CARB är SKF:s varumärke för toroidrullager. Lagret kombinerar funktionen av ett cylindriskt rullager och ett sfäriskt rullager, det kan således ta upp krafter i radiell riktning, tillåter snedställning och axiell förskjutning. I princip alla typer som tillverkas i kanal E2 monteras på två olika sätt där det ena är ett lager som monteras utan någon hållare för rullarna, ett s.k. fullrullelager. På det andra sättet monteras lagret med en s.k. fönsterhållare, se figur 1.1 nedan tillverkad i stålplåt där hållarens primära uppgift är att hindra rullarna från att komma i kontakt med varandra. Ett lager utan hållare har högre bärförmåga medan ett lager med hållare tål högre varvfrekvens. Utöver dessa finns en lagertyp som även monteras på ett tredje vis, detta med en mässingshållare, se figur 1.2 nedan. Denna lagertyp tillverkas i ytterst liten omfattning och är ett komplement till det normala sortimentet. Mässingshållaren i denna typ är delad i två delar, mellan delarna sitter distanser och detta skruvas ihop efter att alla rullarna kommit på plats i lagret. Idag har SKF ingen riktig lösning på hur lagret ska monteras, vid tillverkning tas denna typ ur processen för att monteras ihop då monteringen sker på en ”hobbysnickrad” monteringsjigg. Detta kräver ett speciellt handlag, är tidskrävande och kan skada lagret. Anledningen till att en jigg används är för att ringarna måste snedställas för att det ska vara möjligt att kunna montera rullarna i lagret. Dagens lösning är inte optimal och SKF vill ha en ny lösning för montering av lagret.



Figur 1.1. Fönsterhållare.



Figur 1.2. Delad mässingshållare utan distanser.

1.2 SKF

AB SKF är en stor leverantör av produkter och tjänster inom lager och tätningar. I Sverige bedriver SKF verksamhet på ett tiotal orter, och i Göteborg tillverkar företaget främst rullager. Produktionen sker i ett antal olika kanaler där kanalerna är anpassade för att tillverka en viss mängd olika typer av lager.

1.3 Syfte

Syftet med uppgiften i examensarbetet är att hitta en bra metod för att montera ihop toroidrullagret C 4022 MB och ta fram ett koncept av en monteringsjigg som metoden kan appliceras på. Ett andra mål i uppgiften är att generera en färdig lösning av monteringsjiggen.

1.4 Avgränsningar

Arbetet avser att hitta en fungerande vinkelkombination mellan komponenterna i lagret och att ta fram en lösning för montering av endast lagret C 4022-MB.

1.5 Precisering av frågeställning

Nedan följer de frågor arbetet avser att ge svar på.

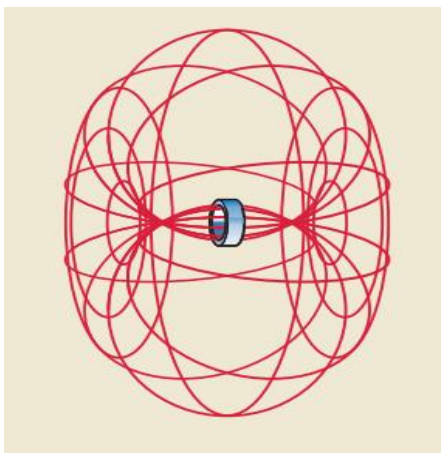
- Behöver inner- och yttering vinklas för att det ska vara möjligt att montera lagret?
- Hitta en bra fungerande vinkel mellan inner- och yttering för att montera ihop C4022-MB?
- Behövs en monteringsjigg för att kunna montera lagret?
- Hur skall en monteringsjigg utformas för att kunna snedställa inner- och yttering?

2 Teoretisk referensram

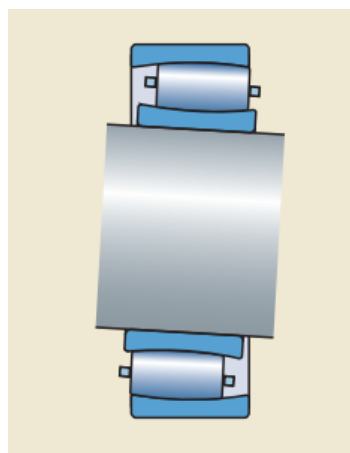
Kapitlet beskriver bakgrunden till toroidrullaget och beräkningar om monteringsvinklar samt nuvarande och en liknande lösning för montering av lagret.

2.1 CARB toroidrullager

CARB toroidrullager är en relativt ny typ av rullager som SKF introducerade på marknaden 1995 under varumärket CARB. Rullagertekniken ses som ett av de mest viktigaste genombrotten de senaste 60 åren då lagret har en del unika egenskaper. Namnet toroid kommer ifrån att ytterringens löpbanegeometri bygger på en torus, se figur 2.1 nedan. CARB är ett enradigt rullager med något bomberade (valvformad lutning från mitten ut mot kanterna) och ganska långa rullar, där löpbanorna i ytter- och innerring har motsvarande symmetri som rullarna. Utformningen av lagret gör att det kombinerar det sfäriska rullagrets självinställande förmåga med det cylindriska rullagrets förmåga att ta upp axiell förskjutning samt att det har en väldigt hög bärförmåga. Då lagret är självinställande gör att det kan klara en snedställning på upp till 0,5 grader mellan ringarna vilket gör att det kan kompensera för tillverknings- och monteringsfel, exempelvis att en axel böjer sig, se figur 2.2 nedan. Lagrets tillåtelse till axiell förskjutning gör att ytterringen kan förskjutas ca 10 procent av lagrets bredd ifrån innerringen, det kan däremot inte ta upp axiell last, därför måste lagret kombineras med ett styrlager. Den höga bärförmåga lagret bemästrar beror på utformningen av ringarna och rullarna, att rullarna är långsmala gör att det får plats väldigt många och detta ger den höga bärförmågan. Lagret tillverkas i två utförande ett med hållare och ett utan, där den förstnämnda tillåter högre varvfrekvens men fortfarande med relativt hög bärförmåga. Lager utan hållare tål då inte lika hög varvfrekvens men det har en högre bärförmåga p.g.a. det får plats fler rullar. Den absolut vanligaste hållaren SKF har i sitt standardsortiment är en s.k. fönsterhållare tillverkad i stålplåt. Det finns även andra typer av hållare och en av dessa är en mässinghållare som är en s.k. skräddarsydd lösning ifrån SKF, en sådan lösning gör att lagret tål en högre varvfrekvens än en standardhållare och kan motstå eller förebygga exempelvis allmänna korrosionsproblem, spänningskorrosion, förslitning och smörjmedelsförsämring. Det finns även bl.a. lager som är tillverkade av plast, även stålplåt med speciella beläggningar finns att tillgå (SKF(1); SKF(2); SKF-koncernen).



Figur 2.1. Torusen.



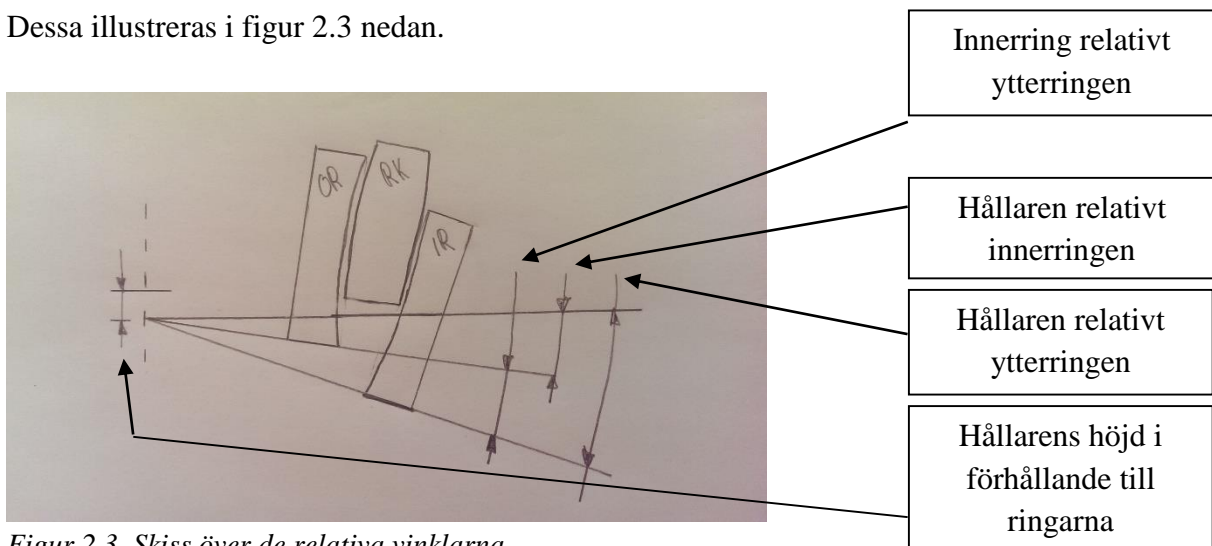
Figur 2.2 självinställande/snedställning.

2.2 Minsta möjliga vinkel

Då löpbanegeometri i toroidrullagrets yttering bygger på en torus är det inte lika simpelt att montera som ett sfärisk rullager, där innerring med hållare och rullar enkelt kan sfäras ut ur yttringen. SKF har därför gjort beräkningar på vad den minsta möjliga vinkel mellan de tre enligt SKF påverkade komponenterna i lagret. Beräkningar med ekvationer kommer bara beskrivas övergripande i detta stycke. De tre påverkade komponenterna är ytter-, innerring och hållaren (rullarna är placerade i hållaren och erhåller då samma vinkel). Och mellan dessa komponenter har man tagit fram vinklar som ska göra det möjligt att montera lagret och dessa vinklar är

- Innerring relativt yttringen
- Hållaren relativt yttringen
- Hållaren relativt innerringen

Dessa illustreras i figur 2.3 nedan.

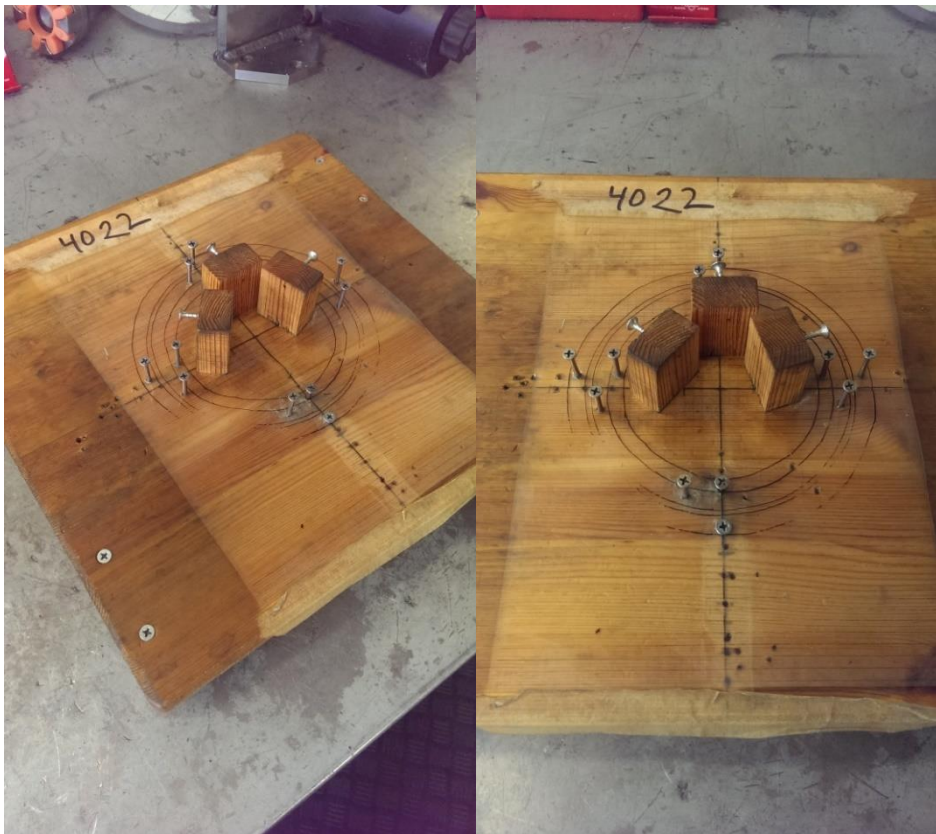


Vinklarna tas sedan fram med hjälp av en iteration i vars formel där ett visst antal mått först definierats bl.a. avståndet mellan ringarna och rullen, det största måtten mellan centrum och yttringens löpbana samt innerringens löpbana, banradiecentrum för innerringen och koordinater på respektive ring. Iden är att innerringens löpbana roterar runt sitt banradiecentrum och när måtten mellan de koordinaterna på respektive ring är tillräckligt stort fås vinkeln.

2.3 Nuvarande lösning

Den nuvarande lösningen för att montera lagret 4022 MB syns nedan i figur 2.4. den benämns vidare i rapporten som träjiggen. Den består av en träskiva med tre stycken träklossar och ett x antal skruvar. De tre träklossarna i mitten har som funktion att agera som mothåll mot innerringen och på dessa sitter det skruvar för att mer exakt kunna justera avståndet mellan ring och mothåll. Lagret vinklas med hjälp av ett x antal skruvar som är justerade i olika höjder för att på så sätt skapa en vinkel för respektive ring.

Höjderna på skruvarna kommer ursprungligen från de vinklar SKF har beräknat fram, dessa vinklar ska vara de minsta möjliga för att kunna montera lagret. Med tiden har skruvarna blivit justerade och flyttade på, allt efter varje enskild operatörs tycke och smak. Resultatet av detta har blivit att ringarna inte längre har någon exakt vinkel och monteringen av lagret kräver en hel del trixande och handlag då man idag vickar ringarna upp och ner för att i blindo försöka hitta rätt vinkel mellan ringarna för att kunna montera rullarna.



Figur 2.4: Nuvarande monteringsjigg för lagret C 4022 MB.

Produktionsavdelningen tillverkar även en annan lagertyp med en s.k. MB hållare. Detta lager hade från början en liknande monteringslösning som träjiggen för lagret C 4022 MB, ett försök till en ny jigg har skapats för detta lager, vilken anses fungera bättre än sin föregångare, men den är inte helt användarvänlig och fungerar inte optimalt. På jiggen har också SKFs beräknade vinklar applicerats, jiggen är också tillverkad i stål vilket gör att den kan repa ringarna. Funktionsmässigt kan lagret vinklas och ligga plant på samma plats, då endast halva ytan är vinklad, detta leder till att lagret är svårt att hålla på plats då det hela tiden måste tryckas ner för att antingen ligga plant eller i vinkel.

3 Metod

I detta kapitel beskrivs de faser projektet har innefattat och de metoder som har använts i respektive fas.

3.1 Informationsinsamling/Informationssökning

Först gjordes en grundlig informationsinsamling genom att studera processen för montering av olika typer av CARB-lager och den specifika typen 4022 MB. CARB-lagret och dess ingående komponenter studerades dels genom samtal med operatörer från produktionskanal E2 och med personal från SKF:s utvecklingscenter med flera, dels genom dokumentation och befintliga beräkningar. Ritningarna studerades också ingående för att få en god förståelse för lagrets komplexa geometri. Den nuvarande monteringsmetoden undersöktes, samt om det användes eller hade använts andra metoder för att montera samma lagertyp.

3.2 Simuleringar och praktiska tester

Efter informationssökningen studerades lagrets geometri mer ingående och arbetet påbörjades med att utreda möjliga sätt att montera ihop lagret. Sedan tidigare hade lagret monterats genom att dess ytter- och innerring vinklades, och ganska tidigt konstaterades att det bara fanns en möjlig väg att gå för att kunna montera ihop lagret. Därefter påbörjades praktiska monterings tester och simuleringar i ett CAD-verktyg, därav kan detta kapitel delas upp i tre faser som följer nedan.

3.2.1 Praktiska tester

Inledningsvis påbörjades en konstruktion av en justerbar monteringsjigg med syftet att kunna utföra x antal tester med att montera ihop lagret. Testjiggen bestod av en träfiberskiva och på denna fästes x antal skruvar, höjden på dessa kunde då justeras för att ge önskad vinkel på ringarna, höjderna på skruvarna uppmättes med hjälp av ett digitalt skjutmått. Dessa första tester hade som syfte att ge mig en bättre möjlighet att förstå komplexiteten och handlaget som krävdes för att montera lagret. Vinklarna som testerna utgick ifrån var därför inte, i detta första skede, framtagna med någon större eftertanke utan baserades på redan befintliga ”minsta möjliga vinkel”. Fem stycken testrundor genomfördes med ca 10 olika försök i varje test.

3.2.2 Simuleringar i CAD

Efter de praktiska testerna och med den ytterligare informationen som tillkommit vid dessa tester påbörjades arbetet med simuleringar i CAD-verktyget Catia. Som ett första skede i simuleringarna användes skissläget i programmet för att utreda möjliga monteringsvinklar. Här skissades tvärsnitten av ytter- och innerring samt rullen upp, på dessa fästes sedan en axel som också fixerades i centrum. Härifrån kunde vinklarna enkelt justeras och möjliga lösningar utredas, i skissläget fokuserades det främst på de minsta möjliga vinklarna. I det andra skedet i simuleringar användes solidmodellering för att vidare utreda möjliga monteringsvinklar då de i skissläget inte fanns möjligheter att utreda de maximalt möjliga monteringsvinklarna. Ytter- och innerring samt rullen caddades upp i en s.k. solidmodell och därefter utfördes simuleringar där ringarna roterades och när det uppstod kontakt mellan rullarna, inner- eller ytterringen stoppade programmet rotationen och vinkeln mättes upp. I det tredje skedet samlades all ny information ihop som framkommit av de utförda simuleringarna och de

tidigare praktiska testerna, och med hjälp av det kunde sökområdet för vilka möjliga vinklar som fanns minskas ned. Efter detta återgick arbetet till skissläget, detta för att återigen minimera antal möjliga vinklar och försöka få fram de bäst lämpade.

3.2.3 Slutliga praktiska tester

När simuleringarna var avklarade gjordes de slutliga praktiska testerna på de möjliga vinkelkombinationer som framkommit med hjälp av simuleringarna. Vinkelkombinationerna testades flertalet gånger för att säkerställa att rätt bedömningar gjordes, en annan part togs också in för utföra de praktiska testerna och detta för att minimera risken för en subjektiv bedömning. Slutligen valdes den vinkelkombination som ansågs bäst för applicering på det fortsatta arbetet.

3.3 Kravspecifikation

Med SKFs behovsbeskrivning och åsikter ifrån Kanal E2 s produktionspersonal samt åsikter ifrån avdelningen för teknik och utveckling framställdes en kravspecifikation och till detta användes Olssons kriteriematris. Det är ett hjälpmedel för att upprätta en produktspecifikation, en s.k. checklista som säkerställer att samtliga faser i produktens livscykel ses över. De kriterieområden som tas hänsyn till är uppställda i en matris där produktens livscykel utgör den vänstra raden och de aspekter som ska beaktas bildar kolumnerna, på detta sätt tar varje aspekt hänsyn till respektive livscykelfas. Varje cell mellan dessa bildar sedan ett möjligt kriterium till kravspecifikationen, man går sedan metodiskt igenom varje cell och formulerar ett lämpligt kriterium. Efter detta bestämdes om kriteriet var ett krav eller önskemål och ifall det var ett begränsande eller funktionellt kriterium. Till sist viktades önskemålen med viktfactorer 1-5 (Johannesson et.al. 2004).

3.4 Breddning och abstrahering av problemet

För att göra det möjligt att hitta mer generella lösningar abstraheras och breddas problemet i detta första steg i konceptgenereringen. De detaljerade och kvantitativa punkter i specifikationen omformuleras till breda och kvalitativa beskrivningar som ökar antalet möjliga lösningar. Beskrivningarna sammanfattas sedan för att användas i funktionsanalysen (Johannesson et.al. 2004).

3.5 Funktionsanalys

Nästa steg i konceptgenereringen innebär att alla produktens funktioner struktureras för att skapa en överskådlighet och påvisa hur dessa samverkar med varandra. Funktioner kan definieras på flertalet olika sätt, men de definieras ofta som ”transformerade funktioner”. Med det menas att en funktion omvandlar en operand från ett tillstånd till ett annat.

Sammanfattningen som gjordes i föregående steg blir nu den funktionen och den ses som en ”black box” i vilken omvandlingen sker. Resultatet blir en lättöverskådlig struktur där produktens delfunktioner synliggörs, vilket underlättar för framtagningen av den totala lösningen av problemet genom att dela upp den i dellösningar för varje delfunktion (Johannesson et.al. 2004).

3.6 Dellösningar

Det finns två huvudgrupper av metoder för att generera dellösningar: kreativa och rationella. Den mest kända kreativa metoden är brainstorming där en grupp individer med olika kompetenser samarbetar för att komma fram till ett antal kreativa lösningsförslag. Gruppen rationella metoder är omfattande och kan till exempel innebära intervjuer eller söka efter lösningar i litteraturen. Dessa två huvudgrupper kan även kombineras för generera de mest optimala lösningarna (Johannesson et.al. 2004). I detta arbete valdes den kreativa metoden brainstorming.

3.7 Morfologisk analys

De dellösningar som nu framkommit placeras i en morfologisk matris för att skapa totallösningalternativ. Dellösningarna kombineras på olika sätt, exempelvis med polygoner i matrisen eller genom multiplicera de olika alternativen vilket ger samtliga möjliga lösningar. Genom detta kan rimliga och orimliga totallösningar sorteras ut, utifrån perspektiv såsom teknik, ekonomi och ergonomi (Johannesson et.al. 2004). Här valdes multiplikation, då antalet lösningar ansågs hanterbart. Om antalet dellösningar hade varit många och dessa multiplicerats hade antalet totallösningalternativ snabbt blivit svårt att hantera.

3.8 Pughs relativa beslutsmatris

För att ytterligare kunna sortera bland lösningsalternativen är Pughs relativa beslutsmatris ett bra verktyg. Här ställs kriterierna från kravspecifikationen, som är önskemål, upp i matrisen för att användas till att jämföra lösningsalternativen med ett referensobjekt. En referens kan exempelvis vara en redan existerande lösning eller en konkurrerande. Man kan även lägga till kriterier som är s.k. överuppfyllda krav om önskemålen inte anses tillräckligt (Johannesson et.al. 2004). Som referens valdes i detta arbete att använda träjiggen. Jämförelse sker genom att lösningsalternativen bedöms enligt + (bättre än), 0 (lika bra som) eller - (sämre än) mot referensen utifrån varje enskilt kriterium. Lösningsalternativens resultat summeras och rangordnas sinsemellan och sorteras därefter ut och går vidare till nästa steg om de presterat bättre eller lika bra som referensen (Johannesson et.al. 2004).

3.9 Kesselrings metod

Som avslutande utvärdering används en kriterieviktmatris där lösningsalternativen utvärderas mot en "ideallösning" som uppfyller alla kriterier till fullo. Kriterierna väljs ut på samma sätt som vid utvärderingen med den relativa beslutsmatrisen förutom att här tas inga s.k. överuppfyllda krav med som kriterier utan endast önskemål. För att i största möjligaste mån försöka göra utvärderingskriterierna så objektiva som möjligt viktas dessa med hjälp av en viktbestämningmatris. Detta sker genom att kriterierna läggs in i en matris och ska där utgöra både raderna och kolumnerna, sedan jämförs kriterierna parvis genom att låta dem dela på värdet 1. Om kriteriet är mer viktigt än det andra får det värdet 1, om det är mindre viktigt värdet 0, om det är lika viktiga delar de på värdet, d.v.s. 0,5 vardera. Värdena summeras sedan radvis och kriteriet med den högst summan är den som viktats högst. För att skapa vikt faktorer kan sedan summorna för respektive kriterium divideras med alla summors totalvärde och då fås normaliserande summan. Istället för att använda de normaliserade

summavärdena som viktfaktorer, kan en viktskala från exempelvis 1 till 10 användas och denna skapas genom att det normaliserade summavärdet (σ_i) divideras med det maximala normaliserade summavärdet (σ_{imax}). Detta multipliceras sedan med den maximala viktfaktor (w_{imax}) och ur detta fås en skalad viktfaktor (w_i) som avrundas till närmaste heltal, alltså:

$$w_i = \left(\frac{\sigma_i}{\sigma_{imax}} \right) \times w_{imax}$$

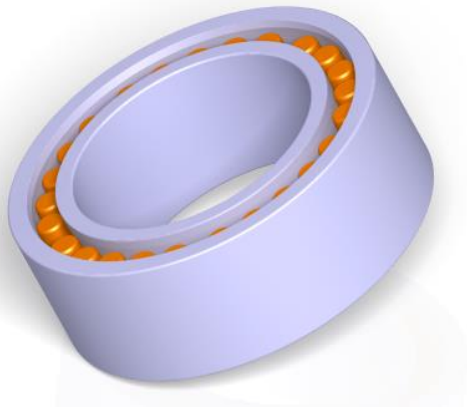
Kriterierna med de nu skalade viktfaktorer placeras sedan i matrisen tillsammans med lösningarna, i detta skede betygsätts också lösningar utefter hur bra de uppfyller varje kriterium. Betygsskalan kan väljas godtyckligt, exempelvis mellan 1 till 5 eller 1 till 100. Den slutliga utvärderingen kan nu utföras genom att betygen multipliceras med viktfaktorerna och sedan summeras för respektive lösningsförslag. Respektive summa divideras därefter med ideallösningens summa för att skapa en faktor och ideallösningen får ju då faktorn 1 vilket jämförs mot lösningsalternativens faktorer. Det alternativet som har faktorn närmast 1 rangordnas då högst (Johannesson et.al. 2004). I detta arbete valdes viktskalan 1 till 10 och betygsskalan 1 till 5.

4 Utredning av möjliga sätt att montera lagret

Detta kapitel är det första av rapportens sex huvudkapitel och beskriver den initiala fasen i arbetet med att utreda möjliga sätt att montera ihop lagret.

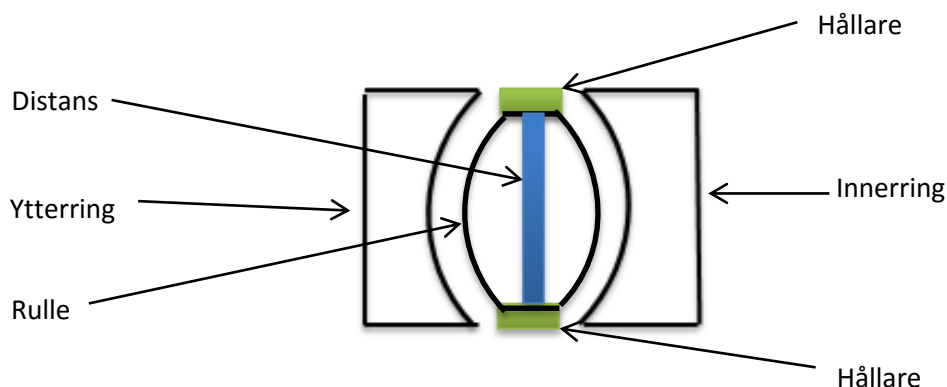
4.1 Lagrets geometri

Lagret C 4022 MB består av en yttering, en innerring, 25 st. rullar och en hållare i materialet mässing vilken är delad i två delar en övre- och en nedre del, dessa skruvas ihop med hjälp av 5 distanser som placeras i ett utrymme mellan rullarna, se figur 4.1 nedan. Slutbeteckningen MB betyder att lagret har den speciella mässingshållaren.



Figur 4.1. Lager C 4022 MB (utan hållare).

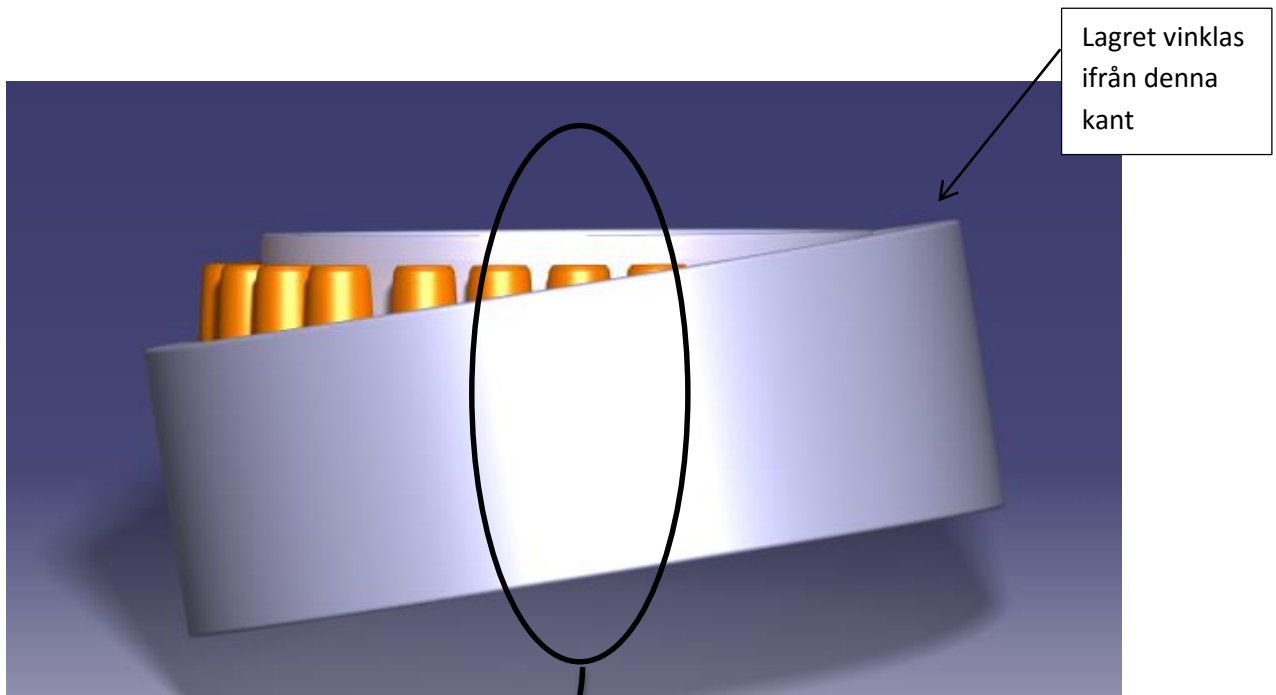
En genomskärning av lagret och dess delar visas i figur 4.2 nedan. Radien på yttringens löpbana är betydligt större än radien på yttringen i ett sfäriskt lager, detta gör att lagret inte kan sfäras ut till fullo som ett sfäriskt rullager kan. Yttringen på lagret är alltså inte sfärisk utan har bara en mindre krökning som är anpassad till rullarna och anledning till detta är att lagret då får önskvärda egenskaper, men det blir svårare att montera ihop.



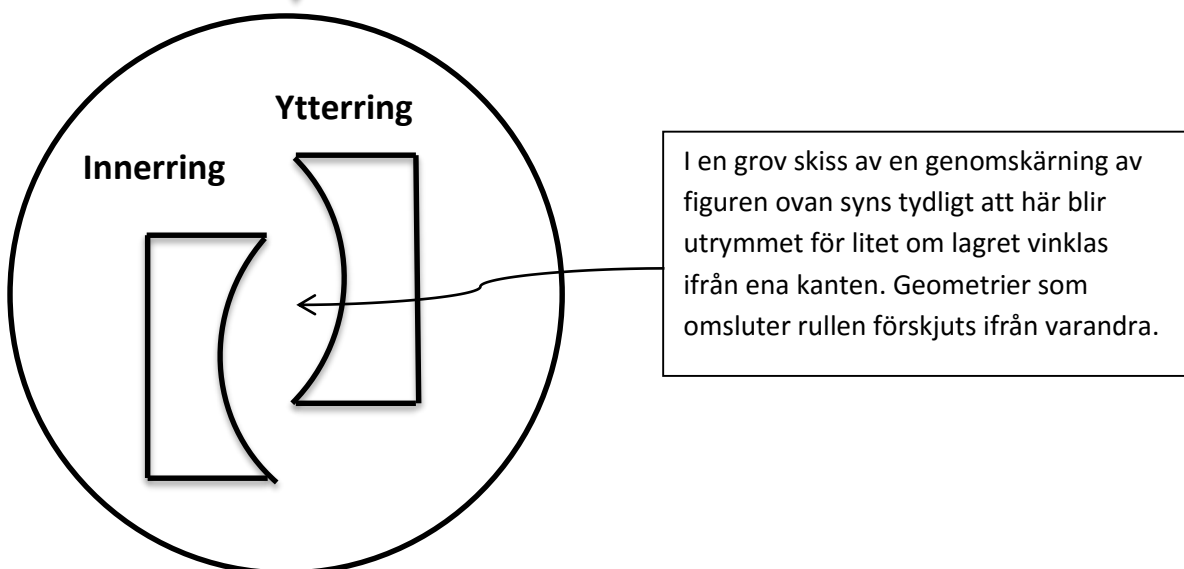
Figur 4.2. Genomskärning av lagret med ingående delar.

Det går inte att montera rullen genom att bara skjuta in den mellan ringarna då den ovala rullen är tjockare än mellanrummet mellan ringarnas ytterkanter. Alltså måste ringarna på något sätt vinklas för att skapa ett större utrymme mellan ringarnas ytterkanter

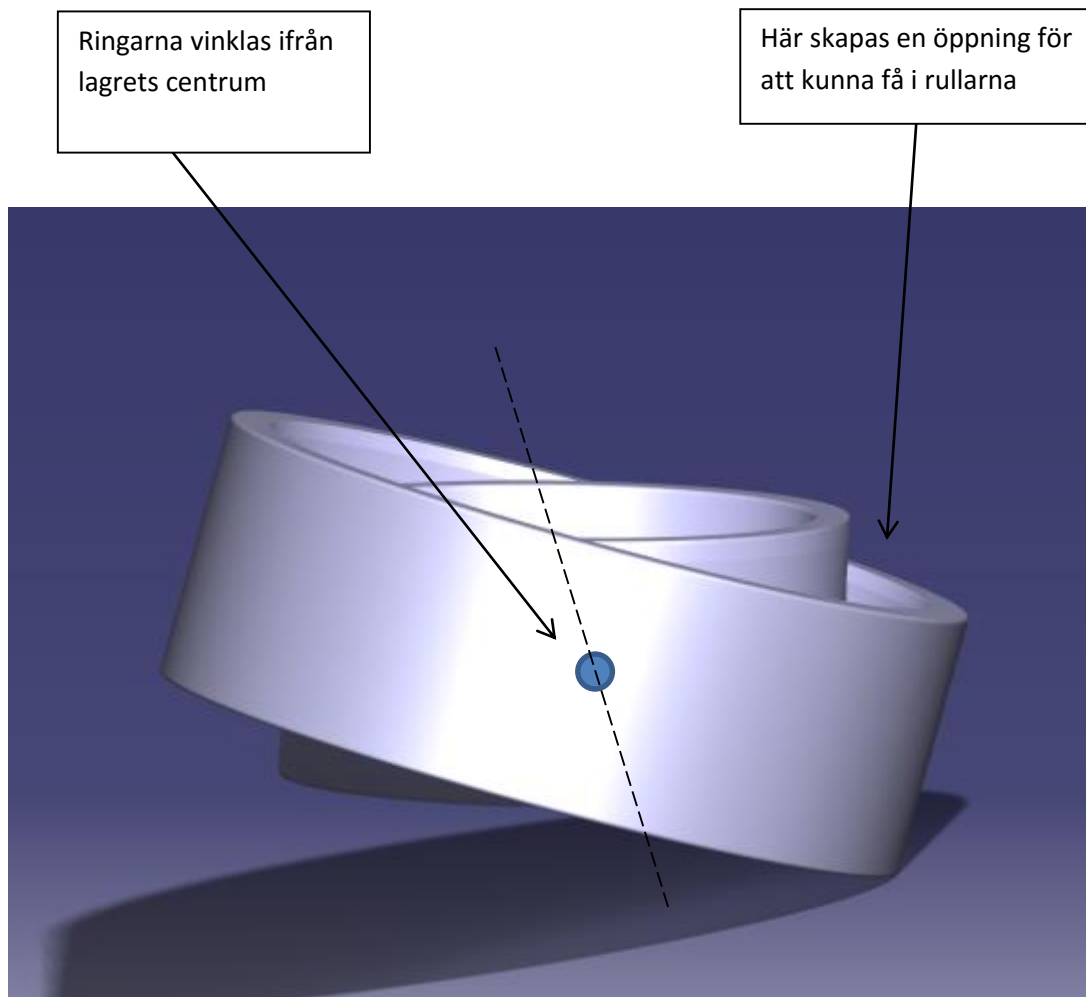
Om lagret skulle vinklas ifrån ena kanten skulle man få en öppning i andra kanten som är bredare än rullen beroende på hur mycket den ena ringen vinklas ifrån den andra, se figur 4.3 nedan. Men utrymmet i det markerade området i figuren nedan skulle bli alldeles för litet för att rullen ska få plats. Detta p.g.a. att ringarnas geometrier skulle förskjutas ifrån varandra, se figur 4.3 nedan.



Figur 4.3. Vy från sidan när lagret är vinklat ifrån kanten.



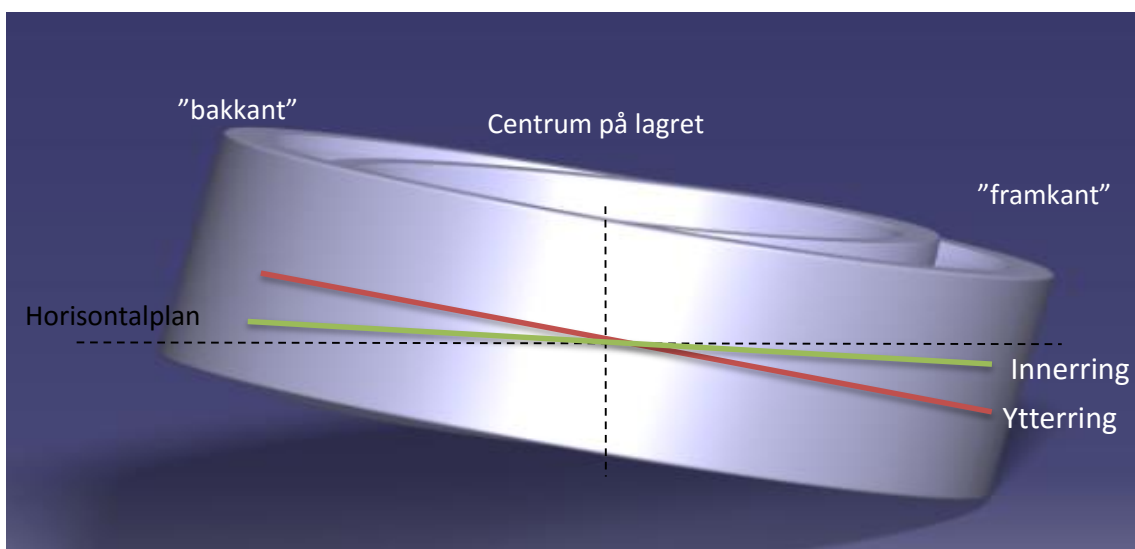
För det ska vara möjligt att skapa en öppning stor nog så rullen går emellan ringarnas ytterkanter och för att geometrierna som omsluter rullen inte ska förskjutas ifrån varandra måste lagret vinklas ifrån centrum på ringen, på detta sätt skapas en öppning i fram- och bakkant av lagret och geometrierna som omsluter rullen förskjuts inte ifrån varandra, se figur 4.4 nedan. Kommande tester för att hitta en bra fungerade vinkel att montera ihop lagret kommer därför att utgå ifrån att ringarna vinklas ifrån centrum av lagret och rullarna fixeras horisontellt. Att rullarna fixeras horisontellt innebär också att hållaren fixeras horisontellt.



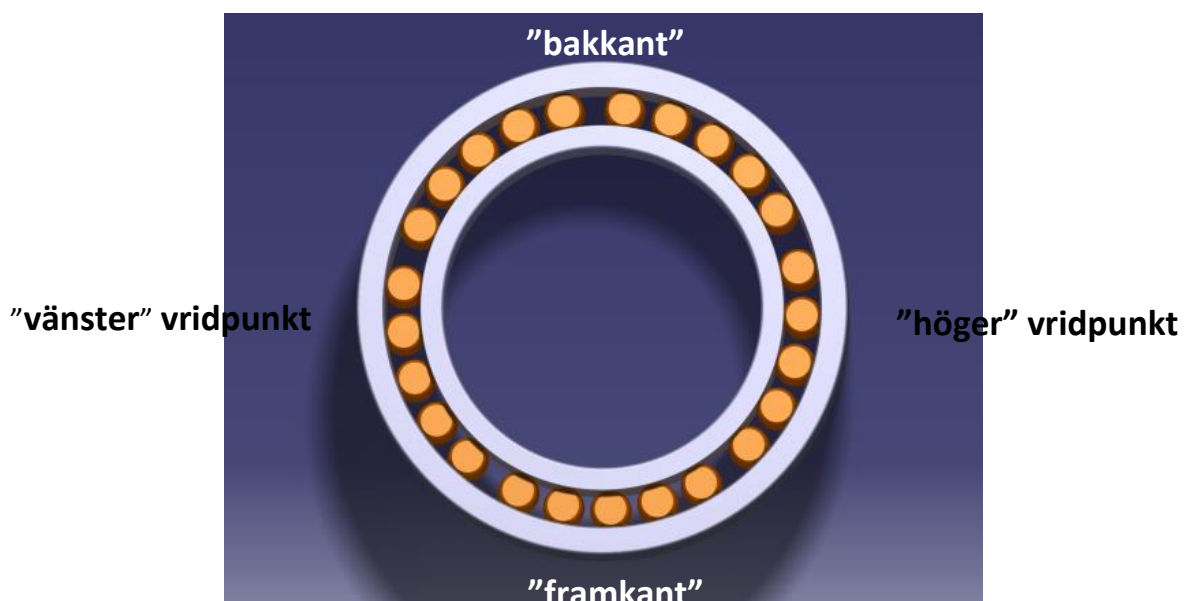
Figur 4.4. Lagret med ringarna vinklat ifrån lagrets centrum.

4.2 Praktiska tester

De här testerna avser att hitta en bra vinkel mellan ytter-, innerring och hållaren på toroidrullagret C 4022 MB. Dessa första tester hade som syfte att ge mig en bättre möjlighet att förstå komplexiteten och handlaget som krävdes för att montera lagret. Vinklarna som testerna utgick ifrån var därför inte, i detta första skede, framtagna med någon större eftertanke utan baserades på redan befintliga ”minsta möjliga vinkel”. Testerna utfördes i en jigg uppbyggd på ett liknande sätt som kanalens nuvarande lösning. Jiggen består av en träfiberskiva som ett x antal skruvar är uppsatta på, idén är att justera skruvarna upp och ner i fram och bakkant av lagret för att ställa in önskad vinkel. Med utgångspunkt i geometrin av lagret måste vinkeln som lagret sfäras ut, utgå ifrån centrum av innerring och ytterring, läs ”lagrets geometri”. I dessa tester kommer därför vinklarna som lagret sväras ut utgå ifrån centrum av lagret. Nedan i figur 4.5 & 4.6 ses lagret med markerade benämningar som används i testerna för att beskriva positionerna. Fem olika testrundor utfördes, de är littererade test A till E och följer nedan.



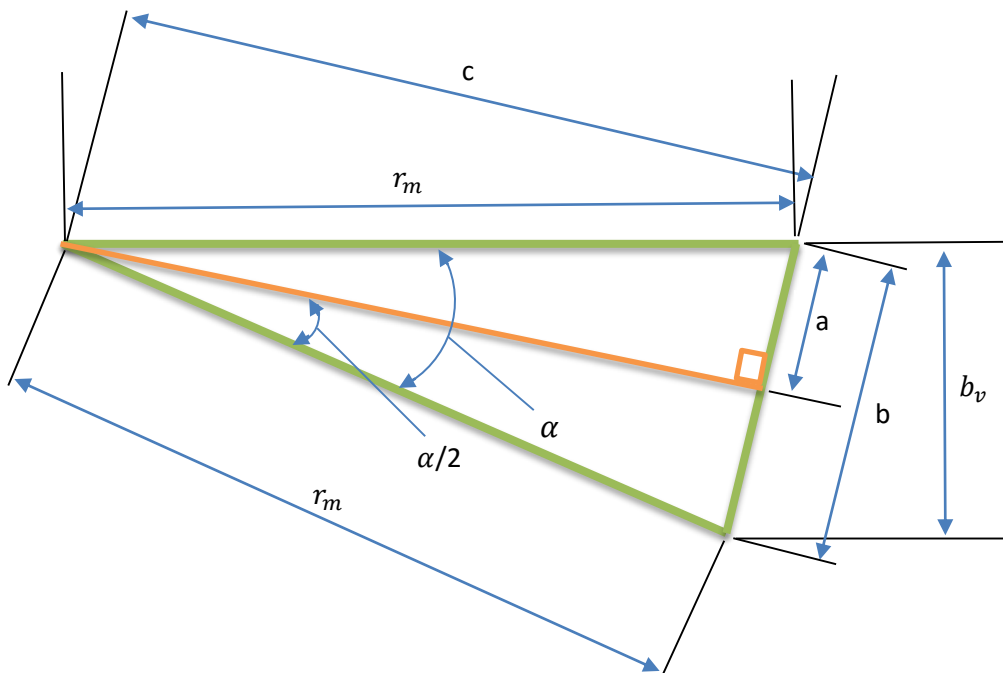
Figur 4.5. Vy från sidan.



Figur 4.6: Vy ovanifrån

Ekvationer

Nedan framgår de ekvationer som användes för att beräkna höjder till respektive skruv i testjigen, dessa höjder motsvarade den önskade testvinkeln på ringarna.



Figur 4.7. Beteckningar till ekvationer för respektive mått och vinklar.

$$r_{medel} = \frac{r_{max} + r_{min}}{2} \quad \text{där } r_{max} = \text{ringens största radie och } r_{min} = \text{ringens minsta radie}$$

$$c = \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) * r_m$$

$$a = c \times \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

$$b = 2 \times a$$

$$b_v = b \times \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

α är vinkel innerring eller yttering relativt horisontalplanet ifrån centrum på ringen, d.v.s. ringen vinklar upp lika mycket i ena kanten som den vinklar ner i andra kanten.

Exempel:

Innerring = 6,4° Relativt horisontalplanet

$$\alpha = 6,4^\circ$$

$$\frac{\alpha}{2} = 3,2^\circ$$

$$r_m = 59 \text{ mm}$$

$$c = \cos(3,2^\circ) * 59 = 58,9 \text{ mm}$$

$$a = 58,9 \times \tan(3,2^\circ) = 3,3 \text{ mm}$$

$$b = 2 \times 3,3 = 6,6 \text{ mm}$$

b_v anses försumbart på innerringen

Yttering = 10,8° Relativt horisontalplanet

$$\alpha = 10,8^\circ$$

$$\frac{\alpha}{2} = 5,4^\circ$$

$$r_m = 80 \text{ mm}$$

$$c = \cos(5,4^\circ) \times 80 = 79,64$$

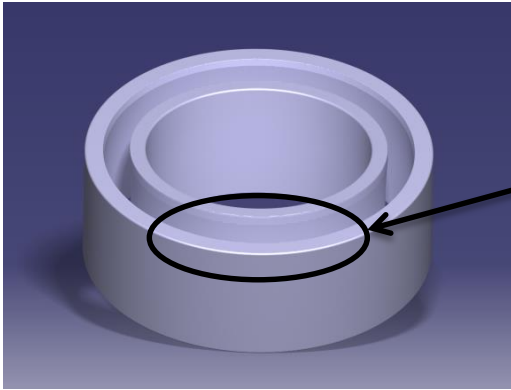
$$a = 79,6 \times \tan(5,4^\circ) = 7,53 \text{ mm}$$

$$b = 2 \times 7,53 = 15,06 \text{ m}$$

$$b_v = 15,06 \times \cos(5,4) = 14,99 \text{ mm}$$

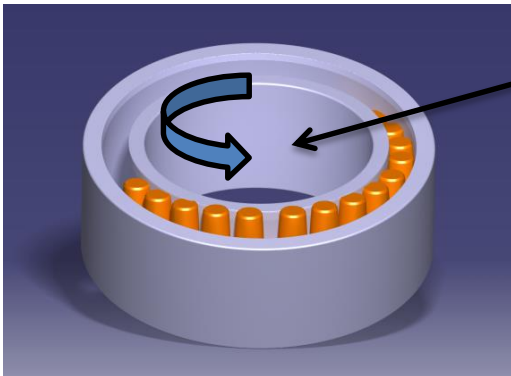
4.2.1 Praktiskt utförande av tester

Nedan i figur 4.8 t.o.m. figur 4.10 beskrivs i tre steg hur rullarna monteras i lagret.



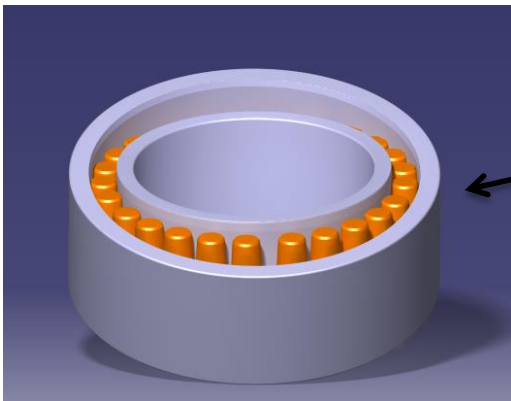
Figur 4.8. Steg 1.

1: Först placeras den nedre delen av hållaren, ytter- och innerring i testjiggen, sedan monteras rullar i det markerade området i framkant på lagret. Det är i detta område som öppningen är som störst mellan yttering och innerring. Hållaren syns ej i dessa bilder då den ligger längst ner mellan innerring och yttering.



Figur 4.9. Steg 2.

2: För att optimera antalet "laddningar" monteras så många rullar som möjligt vid varje laddning innan man roterar på hållaren med de monterade rullarna. Rotationen görs för att positionera de tomma platserna i hållaren till öppningen mellan yttering och innerring.

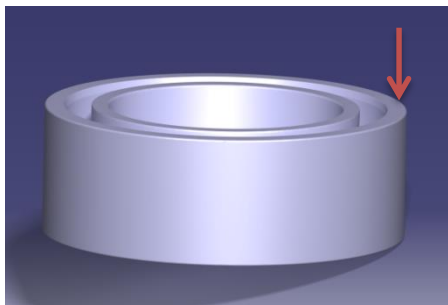


Figur 4.10. Steg 3

3: Efter ett visst antal laddningar är slutligen alla platser i hållaren fyllda med rullar. Därefter monteras distanserna och den andra delen av hållaren

Test A

I detta test hålls vinkeln innerring och horisontalplanet konstant och vinkel mellan det horisontella planet och yttering ökas, d.v.s. endast yttering vinklas och vinkeln yttering relativt innerring ökar, se figur 4.11 nedan. Kommentarer och värden går att utläsa i figur 4.12 nedan. Testet utgår ifrån innerring = 0° och yttering = 0°



Figur 4.11. Illustrering av lagret, pilen markerar vilken ring som vinklas och i vilken riktning.

Försök nr:	Innerring relativt horisontella planet	Yttering relativt innerringen	Kommentar
1	0°	0,5°	-
2	0°	1°	Det går endast att montera 11 rullar, vid montering av rulle nummer 12 fastnar denna mellan ringarna p.g.a. utrymmet blir för litet
3	0°	1,5°	-
4	0°	2°	Det går endast att montera 12 rullar, vid montering av rulle nummer 13 fastnar denna mellan ringarna p.g.a. utrymmet blir för litet
5	0°	2,5°	-
6	0°	3°	Det går endast att montera 12 rullar, vid montering av rulle nummer 13 fastnar denna mellan ringarna p.g.a. utrymmet blir för litet
7	0°	3,5°	↓
8	0°	4°	
9	0°	4,5°	
10	0°	5°	
11	0°	5,5°	
12	0°	6°	
13	0°	7°	Det går endast att montera 12 rullar, vid montering av rulle nummer 13 fastnar denna mellan ringarna p.g.a. utrymmet blir för litet
14	0°	8°	Det går endast att montera 12 rullar, vid montering av rulle nummer 13 fastnar denna mellan ringarna p.g.a. utrymmet blir för litet

Figur 4.12. Tabellvärden och kommentarer till test A.

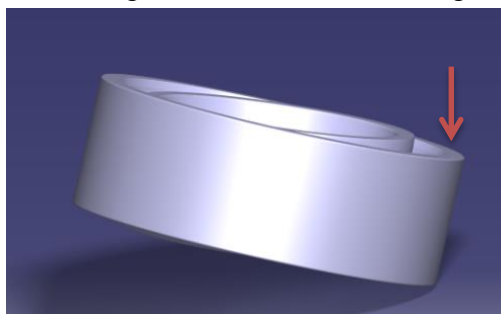
Sammanfattning av test A

Generellt för alla försök i test A så släppte ringarna ifrån sina inställda vinklar när man monterade rullarna. Anledningen till detta var att utrymmet mellan yttering och innerring vid rullens minsta radie d.v.s. i rulländan blev för liten och på så vis tvingades ringarna ur vinkeln. Lagret fastnade(nyper) också i höger respektive vänster vridpunkt. Utav de testade

vinklarna var 12 rullar de mesta antalet som gick att få i lagret innan det fastnade eller att ringarna tvingades ur de inställda vinklarna. Som en slutsats av detta test märktes det relativt tydligt att båda ringar måste vinklas för att utrymmet skulle bli tillräckligt stort för att rullen skulle få plats och att geometrierna sinsemellan de tre skulle stämma. I de första försöken märktes också att vinkeln mellan lagren egentligen inte var tillräcklig utan att glappet som uppkom mellan komponenterna gjorde att öppningen mellan ytter- och innerring blev tillräckligt stort för att få i rullarna.

Test B

I detta test hålls vinkeln mellan innerring och horisontalplanet konstant och vinkeln mellan det horisontella planet och yttering ökas, se figur 4.13. Kommentarer och värden går att utläsa i figur 4.14 nedan. Testet utgår ifrån innerring = $6,4^\circ$ och yttering = $10,8^\circ$



Figur 4.13. Illustrering av lagret, pilen markerar vilken ring som vinklas och i vilken riktning.

Försök nr:	Yttering relativt horisontella planet	Yttering relativt innerringen	Kommentar
1	$10,8^\circ$	$4,4^\circ$	Alla rullar går att montera men för att montera de sista åtta rullarna behövdes viss kraft.
2	$11,4^\circ$	5°	Alla rullar går i utan kraft, men utrymmet mellan ringarna är bara marginellt större än rullen.
3	$11,9^\circ$	$5,5^\circ$	Alla rullar går i lätt, det går i fler rullar per laddning. Rullarna roterar med vid rotation av innerringen, vilket upplevs underlätta monteringen.
4	$12,4^\circ$	6°	Som försök 3 ovan fast lite fler rullar per laddning.
5	$12,9^\circ$	$6,5^\circ$	Som försök 4 men eventuellt en tendens till att lagret nyper i höger och vänster vridpunkt vid rotation.
6	$13,4^\circ$	7°	Som försök 5 men starkare tendens till att lagret nyper i vridpunkterna.
7	$13,9^\circ$	$7,5^\circ$	Lagret tappar nästan sina inställda vinklar på ytter- och innerring p.g.a. det nyper i vridpunkterna.
8	$14,4^\circ$	8°	Lagret tappar nästan sina inställda vinklar på ytter- och innerring p.g.a. det nyper i vridpunkterna.
9	$14,9^\circ$	$8,5^\circ$	Lagret fastnar i vridpunkterna, det är svårt att rotera utan att tappa vinkeln. Kräver att man trycker ner ringarna vid rotation.
10	$15,4^\circ$	9°	Som försök 9, tappar vinkel vid rotation. Lagret går inte att montera.

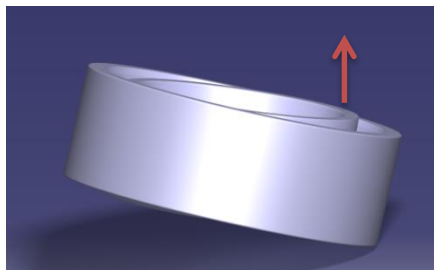
Figur 4.14. Tabellvärden och kommentarer till test B.

Sammanfattning av test B

Försök nr. 3 och 4 upplevdes bäst, oavsett om vinkeln ökade krävdes 4 laddningar. Eventuellt skulle det gjorts ett försök till där vinkeln är mindre än i försök nr. 1. Detta för att avisa möjligheten till att det skulle ha fungerat bättre. I nuläget krävdes en viss kraft för att få i rullarna på försök nr. 1 och troligtvis skulle en mindre vinkel påvisa att det skulle krävas ytterligare kraft eller att utrymmet mellan ringarna skulle blivit för litet för montering av rullarna. Lagret började att nypa i vridpunkterna vid försök nr. 5 och framåt, alltså när vinkeln mellan yttre- och innerring blev större än 6.5° .

Test C

I detta test hålls vinkeln mellan yttering och horisontalplanet konstant och vinkel mellan det horisontella planet och innerring minskas, d.v.s. vinkeln ytter- relativt innerring ökar, se figur 4.15. Kommentarer och värden går att utläsa i figur 4.16 nedan. Testet utgår ifrån innerring = $6,4^\circ$ och yttering = $10,8^\circ$.



Figur 4.15. Illustrering av lagret, pilen markerar vilken ring som vinklas och i vilken riktning.

Försök nr:	Innerring relativt horisontella planet	Innerring relativt yttringen	Kommentar
1	$6,4^\circ$	$4,4^\circ$	Alla rullar går att montera men för att montera de sista 8 rullarna behövdes viss kraft.
2	$5,8^\circ$	5°	Alla rullar går i utan kraft, sista 7-8 rullarna behöver matas en och en. Svårt att rotera mellan laddningarna då innerringen inte roterar med rullarna.
3	$5,3^\circ$	$5,5^\circ$	Alla rullar går i lätt, fler rullar per laddning och rullarna roterar med vid rotation av innerringen vilket upplevdes som en smidigare montering
4	$4,8^\circ$	6°	Det går att montera fler rullar per laddning jämfört med försök nr 3 och lagret nyper lite lätt i vridpunkterna, vilket upplevdes som en smidigare montering
5	$4,3^\circ$	$6,5^\circ$	Se försök nr. 4
6	$3,8^\circ$	7°	Rulle nummer 13 och framåt fastnar i nederkant (minsta diametern på rullen), vid laddning kommer rullen inte hela vägen ner. Forcerar man ner rullen tappar ringarna vinkeln, men det går att ladda alla rullar.
7	$3,3^\circ$	$7,5^\circ$	Rullarna tar nu i kraftigt i nederkant och vid rotation tappar ringarna vinkeln, går med ett visst handlag att få ihop lagret.
8	$2,8^\circ$	8°	Endast 10 rullar går att montera mellan ringarna. Rullarna går inte ner i hållaren utan att lagret tappar vinkeln. Omöjligt att montera lagret
9	$2,3^\circ$	$8,5^\circ$	Se försök nr.8
10	$1,8^\circ$	9°	Se försök nr.8

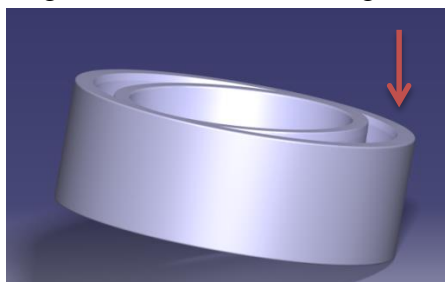
Figur 4.16. Tabellvärden och kommentarer till test C.

Sammanfattning av test C

Försök nr. 3 till 5 var de som fungerade bäst. Försök nr. 2 och framåt påvisade att vinkeln mellan innerring och horisontalplanet även kunde vara mindre än vinkeln på $6,4^\circ$ och monteringen fungerade bäst när vinkeln ytter- relativt innerringen var runt 5.5° till 6.5° .

Test D

I detta test hålls vinkeln mellan innerring och horisontalplanet konstant och vinkel mellan det horisontella planet och ytterrigen ökas, se figur 4.17. Kommentarer och värden går att utläsa i figur 4.18 nedan. Testet utgår ifrån innerring = 5° och yttering = 9°



Figur 4.17. Illustrering av lagret, pilen markerar vilken ring som vinklas och i vilken riktning.

Försök nr:	Yttering relativt horisontella planet	Ytter- relativt innerringen	Kommentar
1	9°	4°	Det går inte att montera mer än 13 rullar, utrymmet mellan inner- och yttering är litet.
2	10°	5°	Det går inte att montera mer än 16 rullar, utrymmet mellan inner- och yttering är litet.
3	10,8°	5,8°	Alla rullar går att montera men för att montera de sista 9 rullarna krävs viss kraft, lagret tenderar att nypa vid rotation.
4	11,5°	6,5°	Alla rullar går att montera men de sista 10 rullarna får inte riktigt plats i nederkant, d.v.s. i utrymmet mellan inner- och yttering där rullens minsta diameter ska passas in. Hela lagret tenderar att tappa vinkeln.
5	12°	7°	Alla rullar går att montera och monteringen fungerar ganska väl men monteringen av de 8 sista rullarna måste göras i två om två då utrymmet mellan ringarna är väldigt begränsat.
6	12,5°	7,5°	Vid montering av rulle 15 till 20 får dessa återigen inte riktigt plats i nederkant. Lagret tenderar lite till att tappa de inställda vinklarna.
7	13°	8°	Samma resultat som i försök nr. 6 men här får rulle 13 till 20 inte riktigt plats nederkant. Lagret tenderar till att tappa de inställda vinklarna.
8	13,5°	8,5°	Vid montering av rullarna får dessa inte plats i nederkant. Lagret tappar vinkeln men det går att montera lagret med viss kraft och finess för att trycka tillbaka det i de inställda vinklarna.
9	14°	9°	Lagret tappar vinkeln p.g.a. att rullarna inte får plats i nederkant, det går inte att montera på ett vettigt sätt.
10	14,5°	9,5°	Se försök nr. 9.

Figur 4.18: Tabellvärden och kommentarer till test D

Sammanfattning av test D

Enda försöket som fungerade ganska väl var försök nr. 3. I försök nr. 4 var uppfattningen att rullens minsta diameter inte fick plats i nederkant, d.v.s. i utrymmet mellan ytter- och innerringen där rullens minsta diameter ska passas in. Dock bortsågs detta ifrån då varken försök nr 3 och 5 inte uppfattades på detta sätt och bedömningen troligen var felaktig. Generellt blev i de flesta försök utrymmet mellan ytter- och innerring för litet där rulländan skulle passas in. Utöver detta fungerade det återigen bäst när vinkeln ytter- relativt innerringen var runt 6°.

Test E

I detta test hålls vinkeln mellan innerring och horisontalplanet konstant och vinkel mellan det horisontella planet och ytterringen ökas, se figur 4.19. Kommentarer och värden går att utläsa i figur 4.20 nedan. Testet utgår ifrån innerring = 8° och yttering = 12°



Figur 4.19. Illustrering av lagret, pilen markerar vilken ring som vinklas och i vilken riktning.

Försök nr:	Yttering relativt horisontella planet	Ytter-relativt innerringen	Kommentar
1	12°	4°	Vid montering av rulle nr. 15 och framåt krävs ganska mycket kraft för att få i rullarna, lagret tenderar också att nypa i vridpunkterna.
2	12,5°	4,5°	Samma resultat som i försök nr.1 men lagret nyper mer i vänster och höger vridpunkt
3	13°	5°	Alla rullar går lätt at montera men lagret nyper nu ännu mer i höger och vänster vridpunkt. Tendens till lagret tappar de inställda vinklarna
4	13,5°	5,5°	Samma resultat som i försök nr. 3 fast nu går lagret knappt att rotera p.g.a. det nyper i höger och vänster vridpunkt.
5	14°	6°	Se försök nr. 4.
6	14,5°	6,5°	-
7	15°	7°	Det går knappt att rotera ringarna, men det är ändå möjligt montera alla rullar.
8	15,5°	7,5°	Det är knappt möjligt att montera lagret och det misshandlas ganska mycket av behandlingen. Lagret tappar de inställda vinklarna och fastnar i vridpunkterna.
9	16°	8°	-
10	17°	9°	-

Figur 4.20. Tabellvärden och kommentarer till test B

Sammanfattning av test E

Inget försök fungerade väl i detta test. Troligen var vinkel mellan lagret och horisontalplanet för stor vilket gjorde att rullen avvek alldeles för mycket i från sitt vertikala plan, d.v.s. hållaren var fixerad horisontellt och medan man vinklar ringarna vinklas rullen i samma riktning och således kläms mellan ytter- och innerringen vid vridpunkterna.

4.2.2 Resultat/diskussion av de praktiska testerna

Vinkeln ytter- relativt innerringen borde minst vara runt $4,4^\circ$ och som mest runt 7° men känslan var att monteringen fungerade som bäst när vinkeln var runt $5,5^\circ$. Om nu vinkeln mellan ytter- och innerring är i det nämnda spannet ovan vid vilken vinkel mellan lagret och horisontalplanet fungerar monteringen som bäst? Detta var svårt att tolka exempelvis om man jämför test C och D där värdena på vinklarna var nästan identiska men resultatet upplevdes ganska olika, vinklarna i fråga de två försöken redovisas nedan. Dock kan det ifråga försök nr. 6 test C tolkas som att lagret minst behövde vinklas runt ca 4° ifråga horisontalplanet då monteringen började fungera sämre när vinkeln blev mindre än denna. Vinkeln ytter- relativt innerringen ökades i dessa försök och i försök nr. 6 är den 7° , vilket upplevdes som den maximalt möjliga vinkeln ringarna emellan. Lagrets vinkel relativt horisontalplanet borde därför utredas vidare, men vinkeln mellan ytter- och innerring bör ligga mellan $4,4^\circ$ och 7° grader.

Test C försök nr 4

Innerring relativt Horisontella plan $4,8^\circ$

Ytter- relativt innerringen 6°

Yttering relativt horisontella planet $10,8^\circ$

Test D försök nr 3

Innerring relativt Horisontella plan 5°

Ytter- relativt innerringen $5,8^\circ$

Yttering relativt horisontella planet $10,8^\circ$

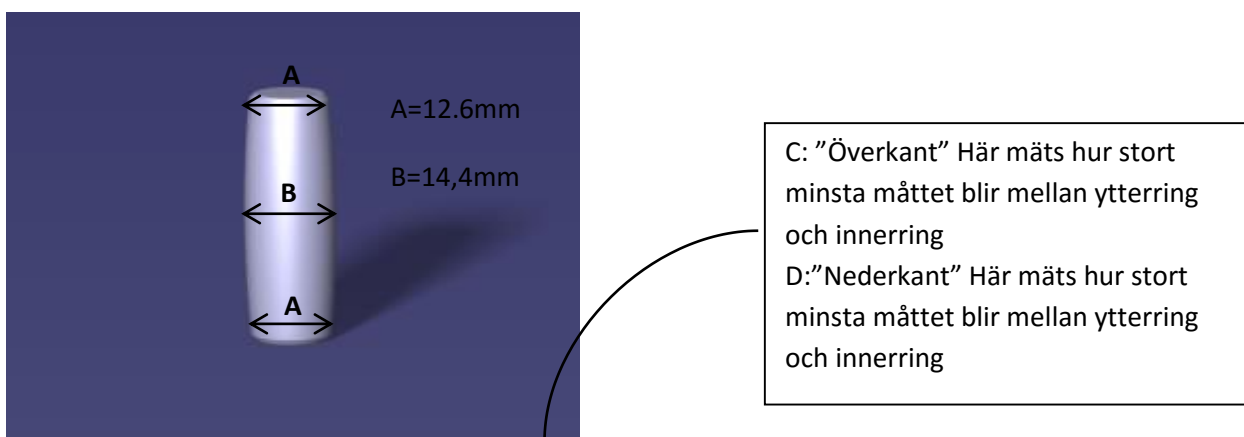
4.3 Simuleringar i CAD

Efter att ha fått en bättre känsla om hur det var att montera lagret rent praktiskt och vid vilka lägen det kunde uppstå problem utförs nu simuleringar av möjliga monteringsvinklar i CAD-verktyget Catia.

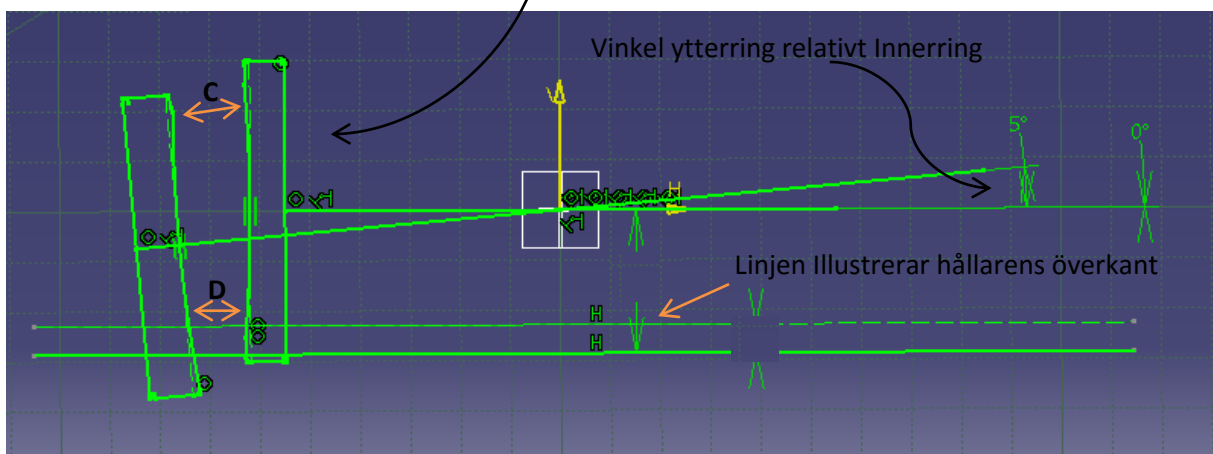
4.3.1 Simuleringar i skissverktyget

I skissläget i CAD-verktyget skissades tvärsnittet på ringarna och rullen upp och fästes sedan på en "Axel" i mitten av respektive ring och rulle. Denna "axel" fixerades sedan i mittpunkten på lagret och man kunde då justera vinklarna mellan ringarna och rullen, se figur 4.22 nedan. För att det skulle vara möjligt att montera rullen i lagret måste utrymmet i överkant mellan ytter- och innerring vara större eller lika stort som den bredaste punkten på rullen, d.v.s. C-måttet i figur 4.22 måste vara större eller lika med B-måttet i figur 4.21, alltså $B \geq C$.

D-måttet i nederkant mellan ytter- och innerring måste också vara större eller lika stort som den minsta bredden på rullen, d.v.s. D-måttet i figur 4.22 måste vara större än A-måttet i figur 4.21, alltså $D \geq A$. Oavsett om man vinklar ytter- ifrån innerring eller inner- ifrån yttering blir effekten densamma, här valdes att behålla innerringen horisontellt och vinkla yttering enligt figur 4.22 nedan. Fem olika simuleringar utfördes, de är littererade A till E och följer nedan.



Figur 4.21. Vy av rullen med minsta och största diametermått där $A=12,6\text{mm}$ och $B=14,4\text{mm}$.



Figur 4.22. Skissläget i CAD-verktyget med uppmärksamma mätpunkter och förklaringar.

Simulering A: Vinkel yttering relativt innerringen

Denna simulering avser att svara på hur stor vinkeln ytter- relativt innerringen måste vara för att utrymmet mellan ringarna ska bli tillräckligt stort för att få emellan rullen.

Nedan i figur 4.23 listas de uppmätta mått i millimeter mellan ytter- och innerring i överkant och nedkant vid respektive vinkel, d.v.s. C-måttet och D-måttet som illustreras i figur 4.22 ovan. Avståndet uppmättes med hjälp av funktionen ”geometri” i Cad-verktyget. Innerringen fixerades i denna simulering i det horisontella planet.

Vinkel mellan yttering och horisontalplanet i grader	Avståndet C [mm]	Avståndet D [mm]
0°	12,28	12,75
1°	12,73	12,45
2°	13,23	12,20
3°	13,73	11,90
4°	14,20	11,68
5°	14,65	11,45

Figur 4.23. Mått i vid mätpunkter C och D vid respektive vinkel.

Vid 5° vinkel var öppningen mellan ringarna större än den bredaste delen på rullen, rullen borde då gå att montera. Ytterligare mätningar gjordes då mellan 4° och 5° för att mer exakt se när $B \leq C$, vilket redovisas i figur 4.24 nedan.

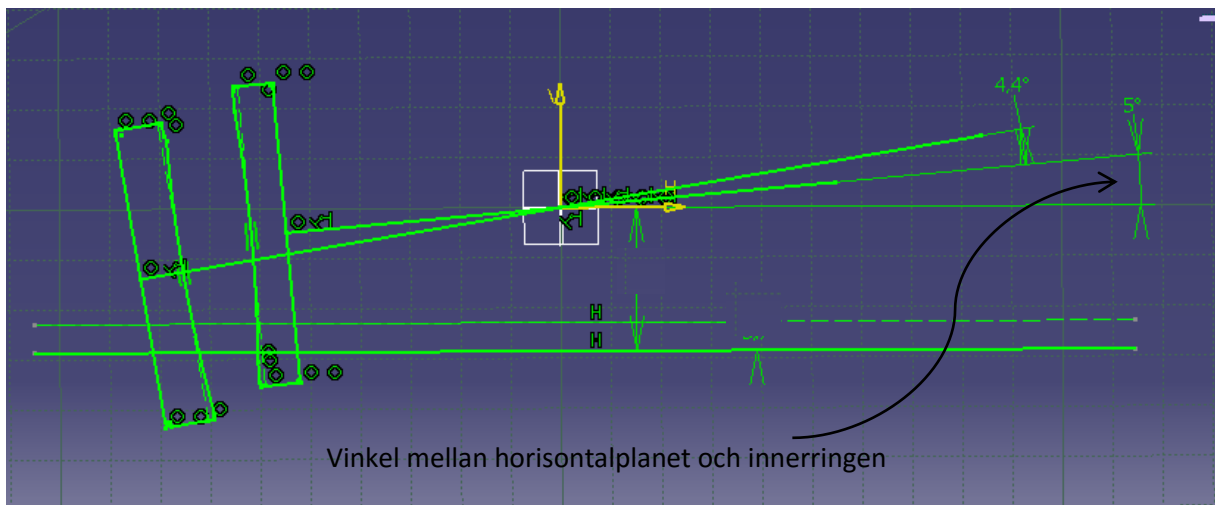
Vinkel mellan yttering och horisontalplanet i grader	Avståndet C [mm]	Avståndet D [mm]
4,2°	14,3	11,63
4,3°	14,35	11,61
4,4°	14,4	11,59
4,5°	14,44	11,56
4,6°	14,48	11,53
4,7°	14,53	11,51
4,8°	14,57	11,49

Här är B-måttet större eller lika med C-måttet

Figur 4.24. Mått i vid mätpunkter C och D vid respektive vinkel.

Sammanfattning av simulering A

Vid $4,4^\circ$ var avståndet B lika stort som avståndet C, alltså måste vinkel mellan yttre- och innerring vara minst $4,4^\circ$ för att det skall vara möjligt att få i en rulle mellan ringarna. Men måttet i nederkant d.v.s. D-måttet var i detta läge alldeles för litet, rullen kommer alltså inte ner till hållaren. En möjliga lösning på detta problem skulle vara att vinkla hela lagret, d.v.s. vinkel ringarna sinsemellan bibehålls men man ökar vinkel mellan horisontalplanet och innerringen enligt figur 4.25 nedan, hållaren kommer då högre upp i lagret där utrymmet mellan yttre- och innerringen blir större.



Figur 4.25. Vy av skissläget när hela lagret vinklas.

Simulering B: Vinkel mellan horisontalplanet och innerringen

Utgående ifrån resonemanget ovan gjordes en simulering där vinkeln mellan ytter- och innerring bibehålls med 4,4° och vinkel mellan innerring och horisontalplanet ökades. Resultatet syns i figur 4.26 nedan och avståndet uppmättes med hjälp av funktionen ”geometri” i Cad-verktyget.

Vinkeln innerring relativt horisontalplanet	Avståndet D [mm]
1°	11,86
2°	12,10
3°	12,36
4°	12,60
5°	12,82
6°	13,01
7°	13,25
8°	13,46

Här är D-måttet större eller lika med A-måttet

Figur 4.26. Mått i vid mätpunkten D vid respektive vinkel.

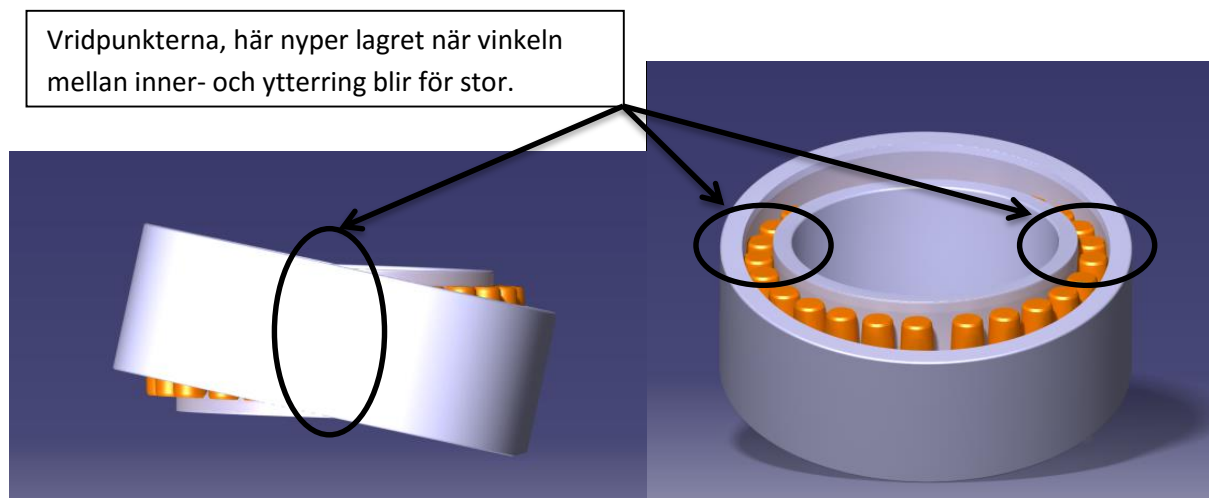
Sammanfattning av simulering B

Vid 4° vinkel ifrån horisontalplanet var alltså avståndet D större eller lika med avståndet A. Utifrån simulering A och B konstaterades det att vinkeln mellan ytter- och innerring minst måste vara 4,4° och att vinkel mellan innerring och horisontalplanet minst måste vara 4°.

4.3.2 Simuleringar med solidmodeller

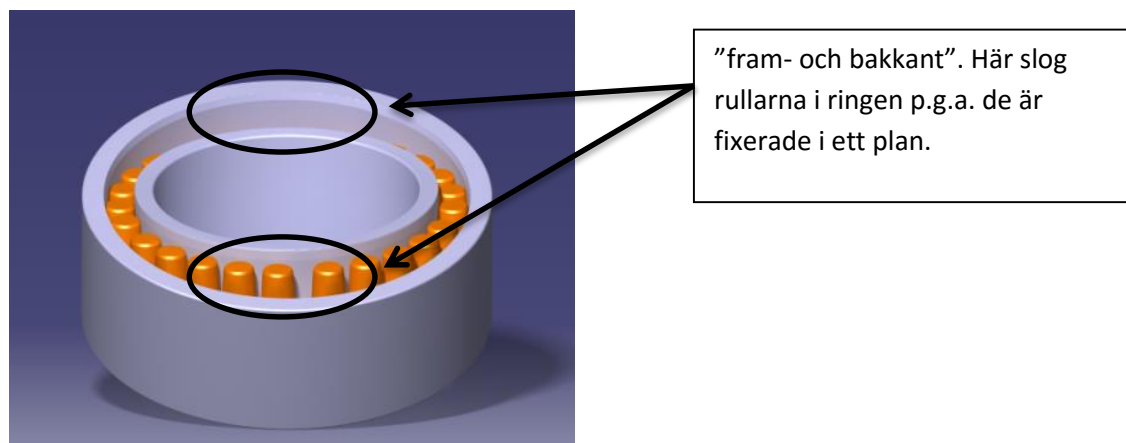
Simulering C: Maximala vinkeln mellan ytterring och innerring

Sedan de tidigare praktiska testerna har det framkommit att lagret kunde nypa i vridpunkterna på ”höger” respektive ”vänster” sida om lagret vinklades för mycket, se figur 4.27. Med detta som bakgrund gjordes därför simuleringar i CAD-verktyget för att försöka utreda vid vilken vinkel ringarna maximalt kunde vinklas gentemot varandra innan det nyper i vridpunkterna, se figur 4.27 nedan. Lagret modellerades upp i CAD-verktyget i en s.k. solidmodell och manipulerades sedan med hjälp av funktionen ”stop manipulate on clash”. Ringarna fixerades och vreds runt en axel i centrum på lagret, programmet stoppade automatiskt när respektive komponent slog i varandra.



Figur 4.27. Till vänster vy från sidan av lagret och till höger vy framifrån av lagret.

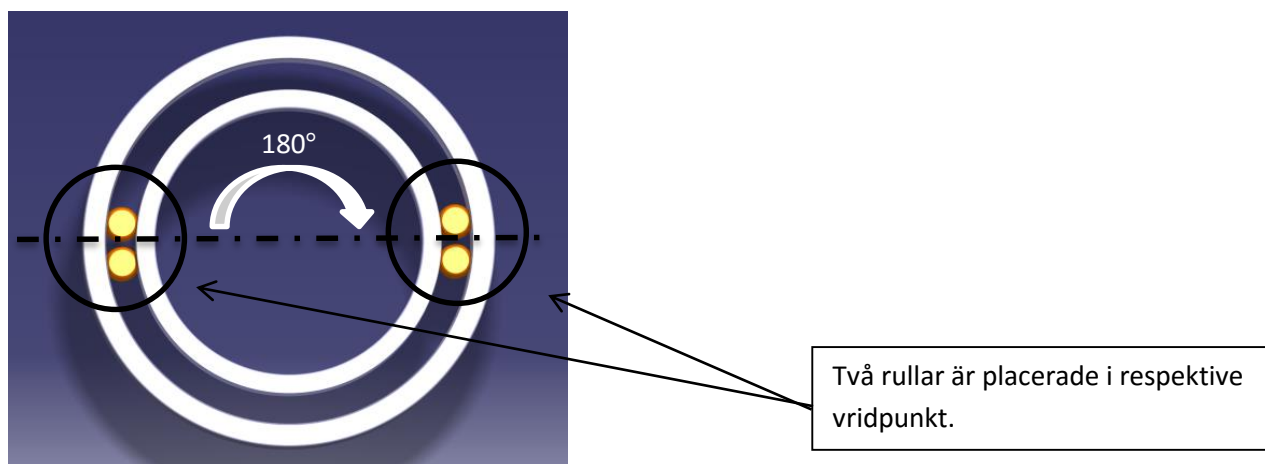
Vid första försöket var lagret ihopsatt med alla 25 st. rullar mellan ytter- och innerring, det upptäcktes då ganska snart att det inte gick att manipulera lagret då rullarna slog i, i fram och bakkant på ringarna, se figur 4.28 nedan. I praktiken hade detta inte kunnat ske då rullarna hade haft utrymme att röra sig, anledningen till att det händer i CAD-verktyget är p.g.a. rullarna är fixerade kring ett plan. Antalet rullar reducerades och tester med x antal rullar utfördes istället, dessa placerades i respektive vridpunkt, se figur 4.27 ovan.



Figur 4.28. Vy av lagret framifrån.

Simulering D: Manipulation med fyra stycken rullar.

Två rullpar placerades i vridpunkterna med 180° mellan varandra, se figur 4.29 nedan. Resultatet av mätningarna ses i figur 4.30 nedan. Vinkeln uppmättes med hjälp av funktionen ”geometri”. Vid manipuleringen av respektive ring var resterande komponenter fixerade vid horisontalplanet. Simuleringen utfördes som tidigare med funktionen ”stop manipulate on clash”. Resultatet var den maximalt uppmätta vinkel när funktionen stoppade p.g.a. kontakt.



Figur 4.29. Vy ovanifrån med respektive rullpar.

Försök nr:	Manipulerar ytterring.	Manipulerar innerring.
1	$1,2^\circ$	1°
2	$1,54^\circ$	$0,9^\circ$
3	$1,6^\circ$	$0,8^\circ$
4	$1,65^\circ$	$0,9^\circ$
5	$0,9^\circ$	$0,5^\circ$
6	$1,5^\circ$	$0,1^\circ$

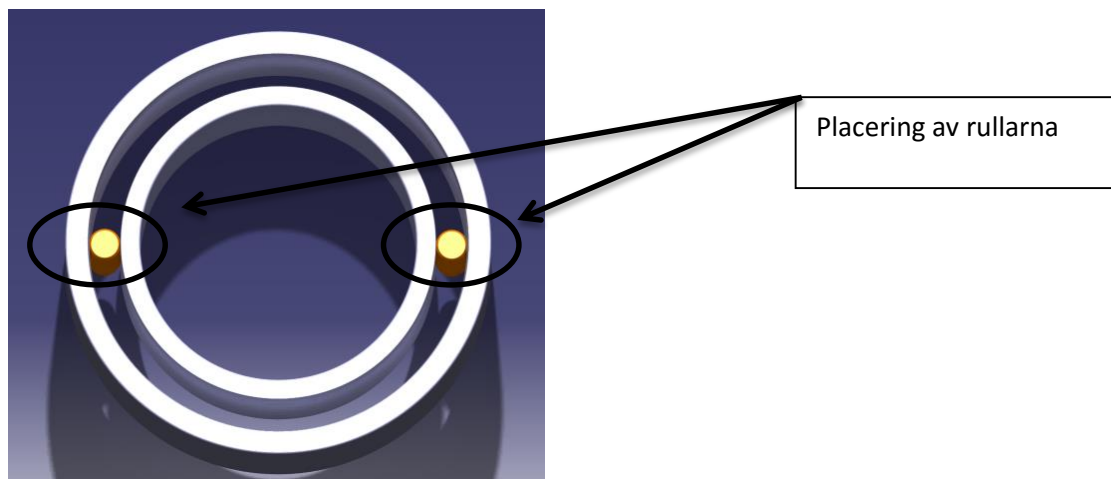
Figur 4.30. Tabell över simulering D.

Sammanfattning av simulering D

Ytter- respektive innerring fick kontakt med rullarna relativt tidigt, men fenomenet var detsamma som i försöket med alla 25 st. rullar. I CAD-verktyget kunde inte rullarna röra sig alls och därför fås kontakt mellan komponenter väldigt tidigt, ställs detta i jämförelse med ett praktiskt test kan rullarna röra sig med ringarna d.v.s. röra sig ifrån det vertikala planet dom i CAD-verktyget är låsta vid. Det är möjligt att i CAD-verktyget skapa olika plan för varje individuell rulle som de tillåts röra sig i men det skulle i så fall bli näst intill oändligt många olika plan som skulle behöva skapas för varje rulle. Men frågan är om arbetet med ett sådant test skulle spegla utfallet? Efter en tids övervägande bestämdes att detta inte skulle genomföras utan istället att ett test med endast två rullar skulle utföras på samma sätt som ovan. Arbetet som krävdes för att rullarna skulle kunna röra sig i det vertikala planet ansågs inte spegla det troliga utfallet. Och även om rullarna hade haft en möjlighet att vinklas med ringarna borde problemet bara ha förskjutits, alltså borde man komma ganska nära maxvinkeln mellan ringarna med en simulering med en fixerad rulle i respektive vridpunkt.

Simulering E: Manipulation med två stycken rullar.

P.g.a. utfallet i simulering D gjordes därför sex stycken försök för att manipulera ytter- och innerringen med endast en rulle i respektive vridpunkt, se figur 4.31 nedan. Rullarna var som tidigare fixerade horisontellt samt att funktionen "stop manipulate on clash" användes för att mäta upp vinkeln mellan ringarna. Resultatet blev att innerringen kunde rotera 360° runt axel utan att det skedde någon kontakt komponenterna emellan, orsaken till detta var att geometrierna på rullen och innerringen gick ifrån varandra tillskillnad från geometrierna på rullen och ytterringen som går med varandra. Resultatet syns i figur 4.32 nedan.



Figur 4.31. Vy ovanifrån med respektive rulle.

Försök nr:	Manipulerar ytterring.	Manipulerar innerring.
1	6,5°	360°
2	7,45°	-
3	8,1°	-
4	8,3°	-
5	7,5°	-
6	7,9°	-

Figur 4.32. Tabell över simulering E.

Sammanfattning av simulering E

En medelvinkel av resultatet ovan blev ca 7.6°. Mätningar här kan ses som det mest optimala förhållandet mellan komponenterna då ringarna bara roterade runt en rulle i respektive vridpunkt. Hade det i stället vart två rullpar på i respektive vridpunkt får geometrierna ganska självklart ett mindre utrymme att röra sig på. Men även här kunde inte rullen röra sig i det vertikala planet vilket gör att resultatet endast kan ses som en fingervisning om vad den maximala vinkeln kan vara innan lagret nyper. Värdet på vinkeln fick dock stöd av de tidigare praktiska testerna där det också upplevdes att lagret nöp i vridpunkter när vinkeln mellan ytter- och innerringen var 7° eller större.

4.3.3 Resultat/diskussion av simuleringar

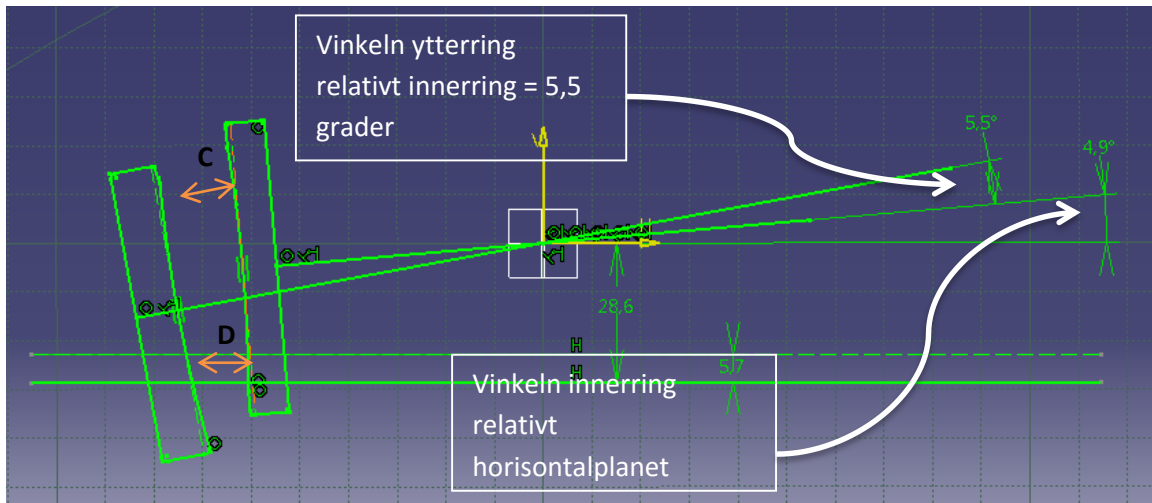
Vinkeln mellan ytter- och innerring måste minst vara 4.4° och vinkeln mellan innerringen och horisontalplanet minst 4° för att rullen skall få plats mellan ringarna. Simuleringarna kunde inte ge ett tillförlitligt svar på vad den maximala vinkeln mellan ytter- och innerring men resultatet påvisade att den skulle vara mellan 7° och 8° . Som nämndes tidigare stödjer resultatet ifrån de praktiska testerna att vinkeln mellan ytter- och innerring max kunde bli ca 7° , den maximala vinkeln mellan ringarna ligger då troligtvis någonstans runt 7.5° .

4.4 Slutliga simuleringar

Resultatet av de praktiska testerna gav bl.a. att monteringen av lagret fungerade som bäst när vinkeln mellan ytter- och innerring var 5.5° eller 6° . Utfallet av simuleringarna A till E ovan visade att vinkeln mellan ytter- och innerring minst måste vara 4.4° och som mest 7.5° . Simuleringarna visade även att vinkeln mellan innerringen och horisontalplanet minst måste vara 4° . Vidare simuleringar utfördes därför i CAD-verktyget för att utreda vid vilken vinkel mellan innerringen och horisontalplanet utrymmet blev tillräckligt stort vid avståndet D för att rulländan skulle få plats när vinkeln mellan ytter- och innerring var 5.5° eller 6° . Två simuleringrundor utfördes, de är littererade simulering F till G och följer nedan.

Simulering F: Yttering/Innerring 5.5°

När vinkeln mellan ytter- och innerring var 5.5° var måttet i överkant d.v.s. C-måttet ca 14.9 mm, vilket var mer än tillräckligt för att få emellan rullen som är 14.4 mm bred. Det simuleringen skulle svara på var vid vilken vinkel D-måttet var tillräckligt stort för att rullen skulle få plats i nederkant, se figur 4.33. Resultatet av de uppmätta måtten syns i figur 4.34 nedan.



Figur 4.33. Skissläge i CAD-verktyget.

Vinkeln innerring relativt horisontalplanet	Avståndet D [mm]
4.5°	12,51
4.6°	12,53
4.7°	12,58
4.8°	12,6
4.9°	12,63
5°	12,64
5.1°	12,65
5.2°	12,68
5.3°	12,7
5.4°	12,74
5.5°	12,76
6°	12,86
6.5°	13
7°	13,13

Här blir utrymmet tillräckligt stort för att rulle ska få plats

Figur 4.34. Mått vid avståndet D vid respektive vinkel.

Sammanfattning av simulering F

Om vinkeln ökades ytterligare efter 7° ökade också D-måttet ytterligare, utrymmet vid 7° var mer än tillräckligt och därför valdes att inte göra fler försök. D-måttet som söktes var det måttet som var större eller lika med 12.6 mm och detta uppnåddes vid vinkeln 4.8°.

Simulering G: Yttering/Innerring 6°

När vinkeln mellan ytter- och innerring var 6° var måttet i överkant d.v.s. C-måttet ca 15.1 mm, vilket var mer än tillräckligt för att få i rullen som var 14.4 mm bred. Det simuleringen skulle svara på var vid vilken vinkel D-måttet var tillräckligt stort för att rullen skulle få plats i nederkant. Resultatet av de uppmätta måtten syns i figur 4.35 nedan.

Vinkeln innerring relativt horisontalplanet	Avståndet D [mm]
4.5°	12,46
4.6°	12,49
4.7°	12,51
4.8°	12,55
4.9°	12,57
5°	12,59
5.1°	12,61
5.2°	12,63
5.3°	12,66
5.4°	12,68
5.5°	12,7
6°	12,83
6,5°	13



Här blir utrymmet tillräckligt stort för att rulle ska få plats

Figur 4.35. Mått vid avståndet D vid respektive vinkel

Sammanfattning av simulering F

Om vinkeln ökades ytterligare efter 6.5° ökade också D-måttet ytterligare, utrymmet vid 6.5° var mer än tillräckligt och därför valdes att inte göra fler försök. D-måttet som söktes var det måttet som var större eller lika med 12.6 mm och detta uppnåddes vid vinkeln 5.1°.

4.4.1 Resultat/diskussion av samtliga simuleringar

När vinkeln ytter- relativt innerringen var 5.5° fick rullen först plats när vinkeln innerring relativt horisontalplanet var minst 4.8° . När vinkeln mellan ytter- och innerring var 6° fick rullen först plats när vinkeln innerring relativt horisontalplanet var minst 5.1° . Då ett större utrymme än minsta möjliga skulle underlätta vid den praktiska monteringen av lagret väljs därför att gå vidare med att göra följande praktiska tester, se figur 4.36 nedan.

Där:

- Praktiskt test utförs.
- Praktiskt test utförs inte

	Yttering relativt innerringen	Yttering relativt innerringen
Vinkeln innerring relativt horisontalplanet	5.5°	6°
5°	•	-
5.5°	•	•
6°	•	•
$6,5^\circ$	•	•
7°	•	•

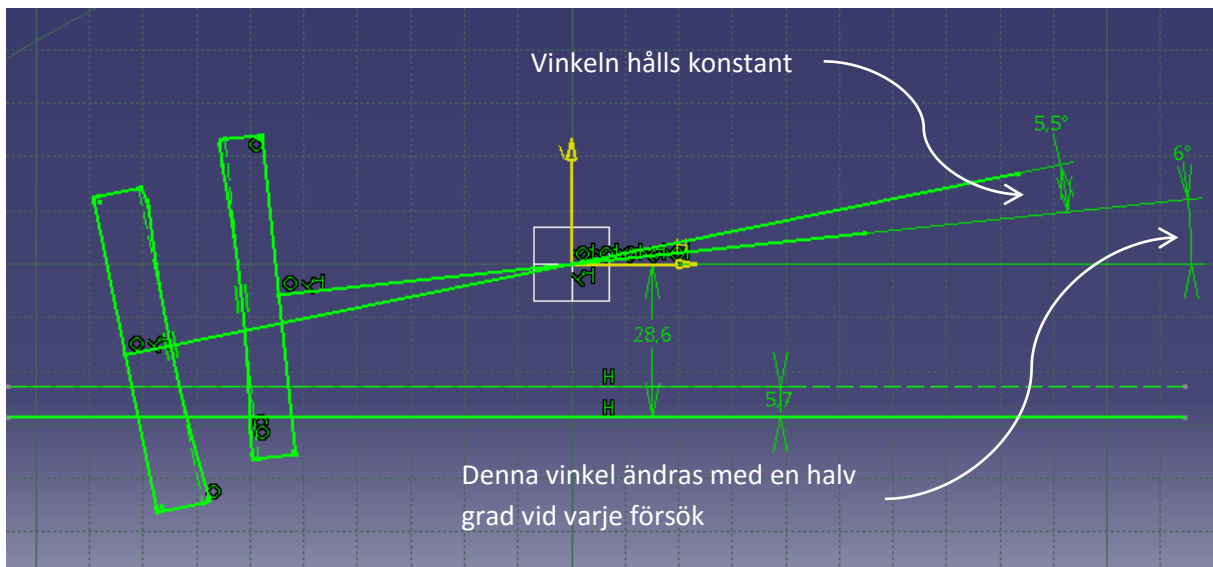
Figur 4.36. Tabell över kommande praktiska tester.

4.5 Slutliga praktiska tester

Med utgångspunkt i de tidigare praktiska testerna och simuleringarna gjordes praktiska tester med de två olika vinklarna mellan ytter- och innerring. Vinklarna var valda utifrån de resultat som framkommit av just de tidigare praktiska testerna och simuleringarna. Vinklarna mellan ytter- och innerring var konstanta och vinkeln mellan innerring och horisontalplanet ändrades. Förhoppningen var att hitta en vinkel som fungerade riktigt bra för att montera lagret. I det första testet var vinkeln mellan inner- och ytterring 5.5° och i det andra testet 6° . Testerna utfördes på testjiggen som användes i tidigare testerna. Testerna följer tabellen i figur 4.36 ovan. De två slutliga testrundorna är littererade test F till G och följer nedan.

Test F: Ytterring relativt innerringen 5.5°

Vinkeln mellan ytter- och innerring var 5.5° , Varje försök gjordes med vinkeln 5.5° mellan ytter- och innerring medan vinkeln mellan innerring och det horisontella planet ökades med en halv grad för varje försök. Se figur 4.37 & figur 4.38 nedan



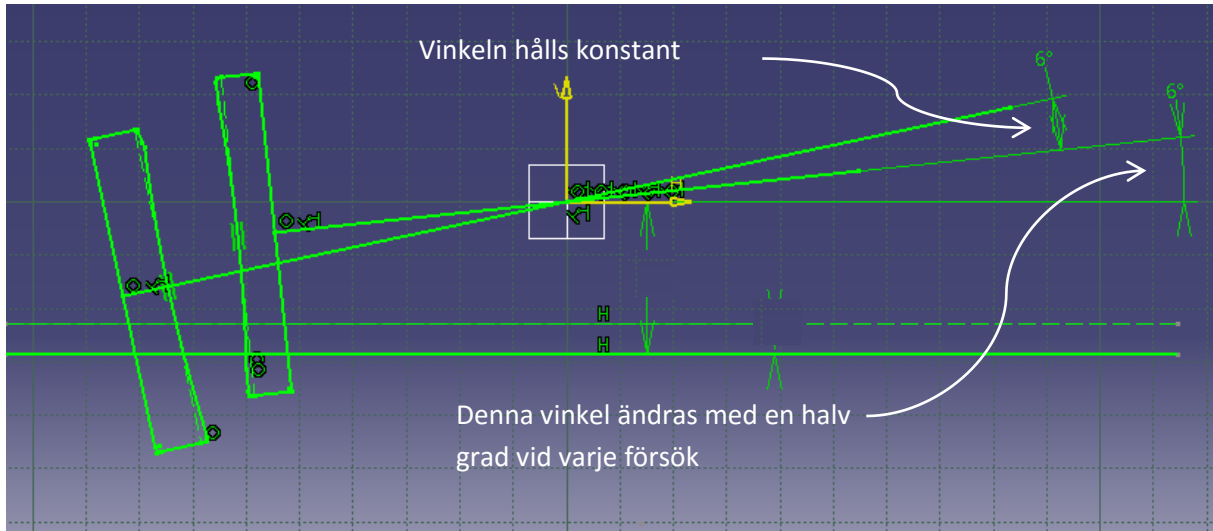
Figur 4.37. Skissläge i CAD-verktyget, vy av vinklarna.

Försök:	Vinkeln innerring relativt horisontalplanet	Kommentar
F1	5°	Alla rullar går i, sista 8 behöver matas 1 o 1. Ganska tajt montering viss kraft behövs. Rullarna roterar med innerringen.
F2	5.5°	Alla rullar går i, sista 8 behöver matas 1 o 1. Ganska tajt montering viss kraft behövs. Rullarna roterar med innerringen.
F3	6°	Alla rullar går i, de sista 8 behöver matas 1 o 1, ingen kraft behövs. Rullarna roterar med innerringen, det går att mata de sista 2 o 2 men då behövs minimal kraft.
F4	6,5°	Alla rullar går i, de sista 8 behöver matas 1 o 1, ingen kraft behövs. Rullarna roterar med innerringen, det går att mata de sista 2 o 2 men då behövs minimal kraft.
F5	7°	Alla rullar går i, de sista 8 behöver matas 1 o 1, ingen kraft behövs. Rullarna roterar med hållare(men trögt). Det går att mata de sista 2 o 2. Lagret börjar nypa i vridpunkterna, vilket tyder på att max vinkeln lagren sinsemellan är nära. Generellt sämre än ovan

Figur 4.38. Tabellvärden och kommentarer till test F.

Test G: Yttering relativt innerringen 6°

Varje försök gjordes med vinkeln 6° mellan ytter- och innerring medan vinkeln mellan innerringen och det horisontella planet ökades med en halv grad för varje försök. Se figur 4.39 & figur 4.40 nedan.



Figur 4.39. Skissläge i CAD-verktyget, vy av vinklarna.

Försök:	Vinkeln innerring relativt horisontalplanet	Kommentar
G1	5°	-
G2	5.5°	Alla rullar går i, sista 8 behöver matas 2 o 2 (nästan 3 o 3), ingen kraft behövs. RK roterar med hållare, fungerar generellt väldigt bra.
G3	6°	Alla rullar går i, sista 8 behöver matas 2 o 2 (3 o 3 går bra), ingen kraft behövs. RK roterar med hållare, fungerar generellt bra, kanske bättre än 2an. Tendens till nypning i vridpunkterna
G4	6,5°	Alla rullar går i, sista 8 behöver matas 3 o 3 (4 o 4 går nästan), ingen kraft behövs. RK roterar med hållare, fungerar generellt ok. Större tendens till nypning i vridpunkterna, mer än trean
G5	7°	Alla rullar går i, sista 8 behöver matas 3 o 3 (4 o 4 går nästan), ingen kraft behövs. RK roterar med hållare, fungerar inte riktigt lika bra som ovan. Nyper mer i vridpunkterna. Svårt att rotera

Figur 4.40. Tabellvärden och kommentarer till test G

4.5.1 Resultat/diskussion av de slutliga praktiska testerna (test F & G)

Försök nummer G3 upplevdes som det bästa försöket, vid denna vinkel roterade lagret något trögare än vid G2 men med fördelen att det var lite lättare att få i rullarna, d.v.s. öppningen mellan ytter- och innerring kändes lite större. Generellt kändes alla försök med vinkeln 6° mellan ytter- och innerring fungera bättre än försöken med 5.5° mellan ytter- och innerring och därav är dessa ej vinklar heller ej aktuella att gå vidare med.

4.6 Slutgiltig vinkel

Efter att ha monterat lagret med vinklarna i från försök G2 och G3 flertalet gånger togs beslut om att vinklarna ifrån försök G3 var de bäst lämpade att använda till det vidare arbetet. Dessa vinklar var 6° mellan ytter- och innerring samt 6° mellan innerring och horisontalplanet och det är då dessa vinklar som kommer att appliceras på den kommande monteringsjiggen.

5 Konceptgenerering

I den första fasen i detta kapitel utformas en kravspecifikation och i de resterade faserna följer systematiskt konceptgenerering enligt Johannesson et.al (2004). Denna lägger vikt på de funktionella kriterierna och att generera många alternativa lösningar för att uppfylla kriterierna, vilket sker i följande steg.

- Breddning och abstrahering av problemet.
- Funktionsanalys.
- Lösningar till delfunktionerna.
- Framställning av totallösningalternativ.

5.1 Framtagning kravspecifikation

Här upprättas en specifikation om vad som ska åstadkommas.

Med SKF:s behovsbeskrivning och åsikter ifrån Kanal E2:s produktionspersonal samt åsikter ifrån avdelningen för teknik och utveckling framställdes en kravspecifikation som syns nedan i figur 5.2. Kriterierna är sammanställda i tabellform, numrerade från 1 till 12 och indelade enligt Olssons kriteriematris (Johannesson et. al. 2004). Där:

B=Begränsning (Kriterier som sätter gränser för vilka produktlösningar som är tillåtna)

F=Funktion (Kriterier som är relaterade till produktens förväntade funktion)

K=Krav

Ö=Önskemål

Kriterieområdet som användes för framställan av kravspecifikationen syns nedan i figur 5.1. Ställning togs för varje formulerat kriterium om det var ett önskemål eller krav, där önskemål kan vara delvis uppfyllda men krav måste vara fullt uppfyllda.

Livscykelfas	Process	Miljö	Människa	Ekonomi
Alstring (utveckling, konstruktion)	1.1	1.2	1.3	1.4
Framställning (Tillverkning, montering, kontroll, lagring)	2.1	2.2	2.3	2.4
Avyttring (Försäljning, distribution)	3.1	3.2	3.3	3.4
Brukning (Installation, användning, underhåll)	4.1	4.2	4.3	4.4
Eliminering (Borttransport, återvinning, förstöring)	5.1	5.2	5.3	5.4

Figur 5.1. Kriterieområde, "checklista" Produkters livscykel och inverkan på aspekter (efter Olsson)

Kravspecifikationens huvudfunktion formuleras nedan.

Monteringsjiggens huvudfunktion:

Underlätta montering av toroidrullagret C 4022 MB.

Nr	Cell	Kriterier	Krav/ Önskemål	Begränsning /Funktion	Viktn ing
1	1.1	Skall konstrueras med de framtagna vinklarna.	K	B	-
2	1.1	Montering av distanser och "övre" hållaren bör underlättas	Ö	F	5
3	1.2	Bör vara tillverkat av miljövänligt material	Ö	B	3
4	2.1	Bör kunna tillverkas av företaget Härryda mekaniska verkstad AB (svarv, fräs)	Ö	B	
5	2.3	Minimal vikt	Ö	B	4
6	2.4	Tillverkningskostnad bör hållas låg	Ö	B	3
7	4.1	Vinkla ytter-, innerring och rullar i vinklarna x	K	F	-
8	4.1	Får ej repa eller på något sätt göra åverkan på lagret och dess komponenter	K	B	-
9	4.1	Komponenterna ska ligga stabilt och kunna roteras	Ö	F	5
10	4.1	Möjlighet till att kunna komma åt undersidan på ringarna vid montering.	Ö	B	4
11	4.2	Ska tåla industrimiljö (petroleumbaserade vätskor)	K	B	
12	4.4	Underhållsfri	Ö	B	4

Figur 5.2. Kravspecifikation.

5.2 Breddning och abstrahering av problemet

I det första steget i systematisk konceptgenerering breddades och abstraherades de funktionella kriterierna i kravspecifikationen, detta gjordes för att hitta mer allomfattande lösningar i ett större lösningsområde, här formulerades alltså huvudfunktionen och de funktionella kriterierna om och dessa visas nedan i figur 5.3 och figur 5.4.

Breddning och abstrahering av huvudfunktion

Huvudfunktion (svårt att göra denna mening mer abstrakt, (bra från början))

I spec.	Efter breddning och abstrahering
Underlätta montering av Toroidrullagret 4022MB	Underlätta montering av Toroidrullagret 4022MB

Figur 5.3. Huvudfunktion

Breddning och abstrahering av funktionella kriterier

Funktionella kriterier

Nummer	Cell	I spec.	Efter breddning och abstrahering
2	1.1	Montering av distanser och "övre" hållaren bör underlättas	Förenkla slutmontering
7	4.1	Vinkla ytter-, innerring och rullar i vinklarna x	Vinkla ytter-, innerring och rullar
9	4.1	Komponenterna ska ligga stabilt och kunna roteras	Stabil och möjlighet till rotation

Figur 5.4. Funktionella kriterier

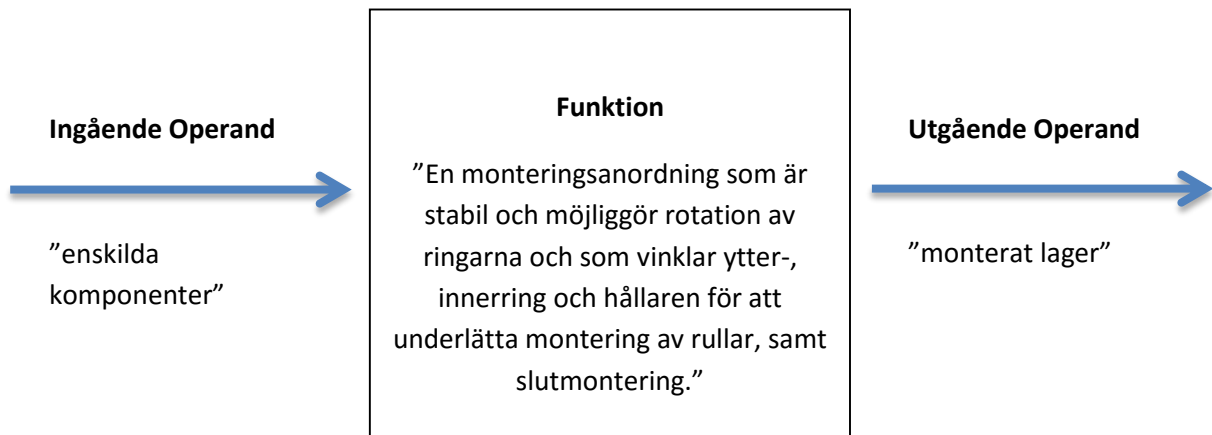
De funktionella kriterierna sammanfattades för att ligga till grund för arbetet i nästa steg, där sammanfattningen användes för att skapa en funktionsstruktur.

Sammanfattning av funktionen

En monteringsanordning som är stabil och möjliggör rotation av ringarna och som vinklar ytter-, innerring och hållaren för att underlätta montering av rullar, samt slutmontering.

5.3 Funktionsanalys

Med utgångspunkt i de breda och abstrakta beskrivningarna om vad som skulle skapas utfördes sedan en funktionsanalys. Syftet med detta var att skapa en funktionsstruktur som visade de funktioner produkten behövde åstadkomma och hur de samverkade. Utifrån den beskrivande sammanfattade funktionen skapades en "black box" där ingående operand är *enskilda komponenter* och utgående operand är *monterat lager* och den beskrivande sammanfattningen blev således *funktionen*, se figur 5.5 nedan.



Figur 5.5. "black box"

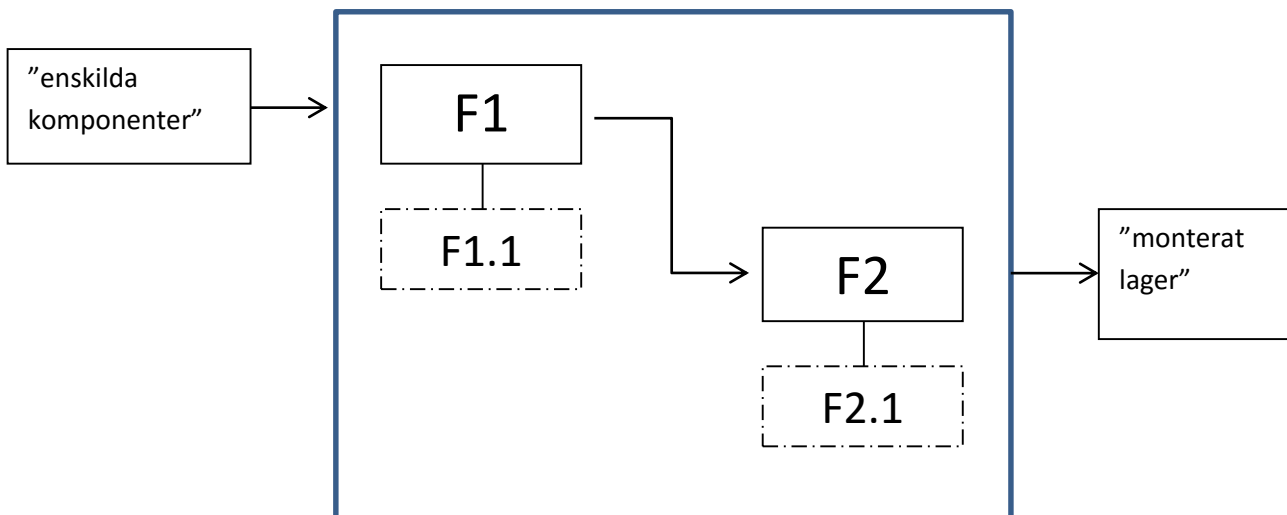
Sammanfattningen av funktionen delades sedan upp i delfunktioner, detta för att lättare kunna identifiera lösningar till delfunktioner, då detta enligt Johannesson (2004) borde vara enklare än att med en gång hitta en totallösning. De identifierade delfunktionerna var F1 och F2 med underfunktioner F1.1 och F2.1 vilka fungerade som "hjälpfunktioner" för att delfunktionerna skulle kunna uppfyllas. Del- och hjälpfunktionerna syns nedan i figur 5.6 och beskrivs enligt:

F1. Vinkla ytter-, innerring och rullar.

→F1.1. För att det ska vara möjligt att på ett så bra sätt som möjligt kunna montera lagret måste det ligga stabilt och vara möjligt att rotera det.

F2. Förenkla slutmontering.

→F2.1. För att det ska vara möjligt att på ett så bra sätt som möjligt kunna montera lagret måste det ligga stabilt och vara möjligt att rotera det.



Figur 5.6. Funktionsstruktur med delfunktioner.

5.4 Framtagning av lösningar till delfunktionerna

Efter att delfunktionerna identifierats i funktionsanalysen användes den kreativa metoden brainstorming för att arbeta fram lösningar till delfunktionerna. Detta gjordes tillsammans med underhållsingenjör Oscar Milthon SKF och produktionstekniker Jerker Holm SKF. Deltagarna informerades först om problemen som skulle lösas och sessionen startade en stund senare efter att deltagarna haft en stund att tänka fram egna idéer. De dellösningar som framkom under sessionen diskuterades och utvecklades gemensamt på en whiteboardtavla och modellerades därefter grovt upp med hjälp av CAD-verktyget Catia. Dellösningsförslagen är listade nedan.

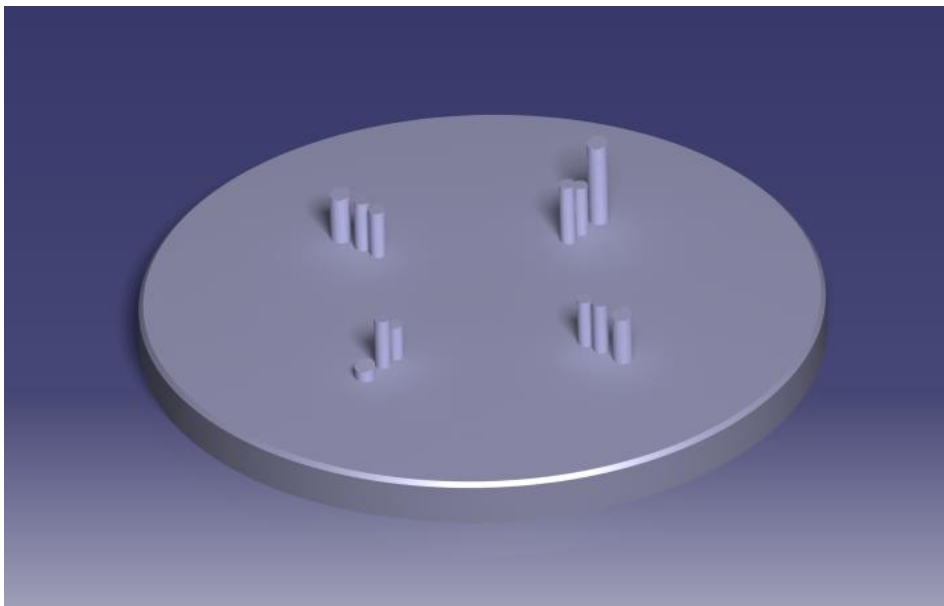
5.4.1 Funktion 1

Vinkla ytter-, innerring och rullar.

→ För att det ska vara möjligt att på ett så bra sätt som möjligt kunna montera lagret måste det ligga stabilt och vara möjligt att rotera det.

Dellösning D1.1 Rundstav

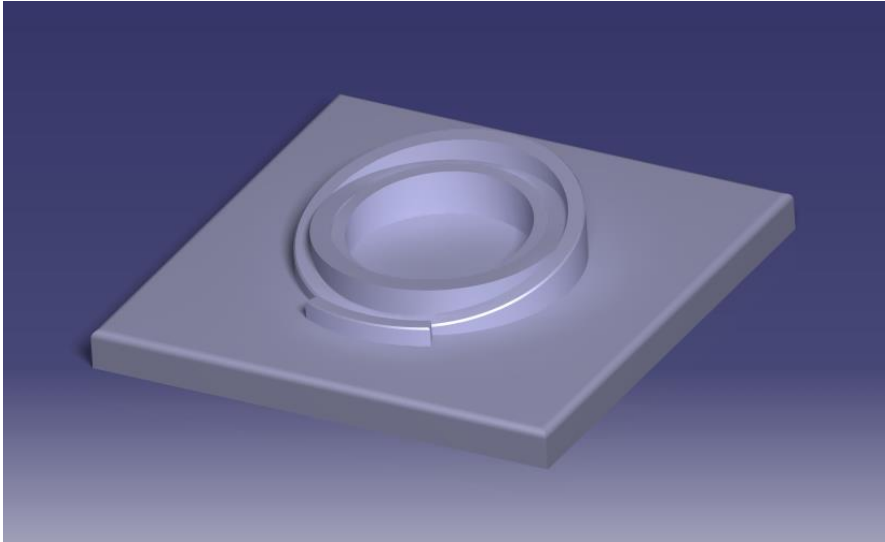
Jiggen nedan består av en rund platta med 12 st. olika rundstavar monterade på plattan. De yttre stavarna håller vinkeln på ytterringen, de mellersta håller hållaren med rullar och de inre stavarna håller vinkeln på innerringen. Ett väldigt simpelt och billigt sätt att skapa vinklar sinsemellan komponenterna för att göra det möjligt att montera rullarna.



Figur 5.7. Rundstav

Dellösning D1.2 Fullstöd

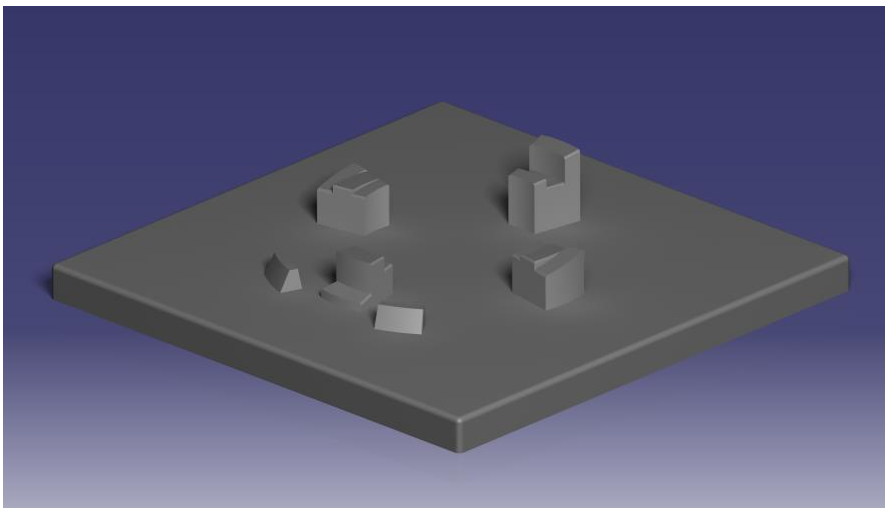
Jiggen nedan i figur 5.8 består av en platta med upphöjda cirkulära stöd, där den yttre cirkeln håller vinkeln på ytterringen, det mellersta stödet positionerar hållaren med rullar och de inre stödet håller vinkeln på innerringen. I denna lösning ligger komponenterna väldigt stabilt då de vinklade ”cirklarna” ger stöd åt hela undersidan på komponenterna.



Figur 5.8. Fullstöd.

Dellösning D1.3 Delstöd

Jiggen i figur 5.9 består av en platta med fyra stöd monterade på plattan, stöden är cirka 20 mm breda och är ”tårtbitar” ifrån cirklarna på dellösning 1.2. Även i denna lösning ligger lagret väldigt stabilt, men här finns en större tillgänglighet för att komma åt under lagret.



Figur 5.9. Delstöd.

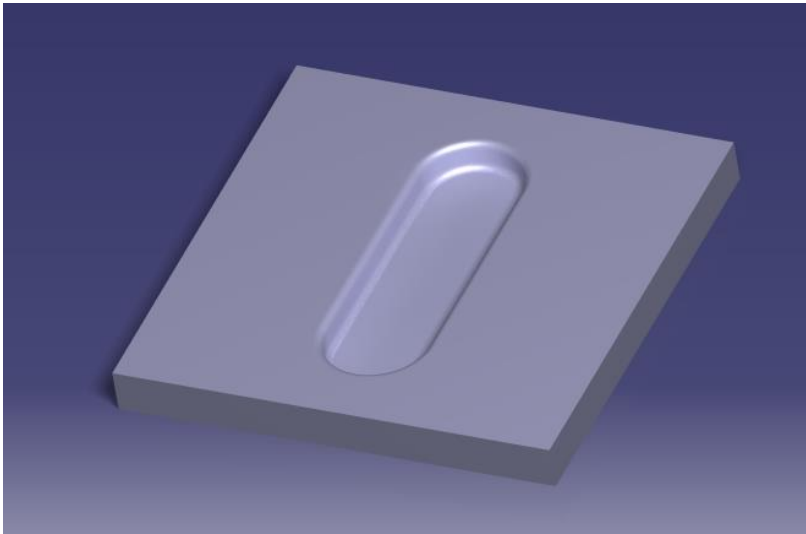
5.4.2 Funktion 2

Förenkla slutmontering.

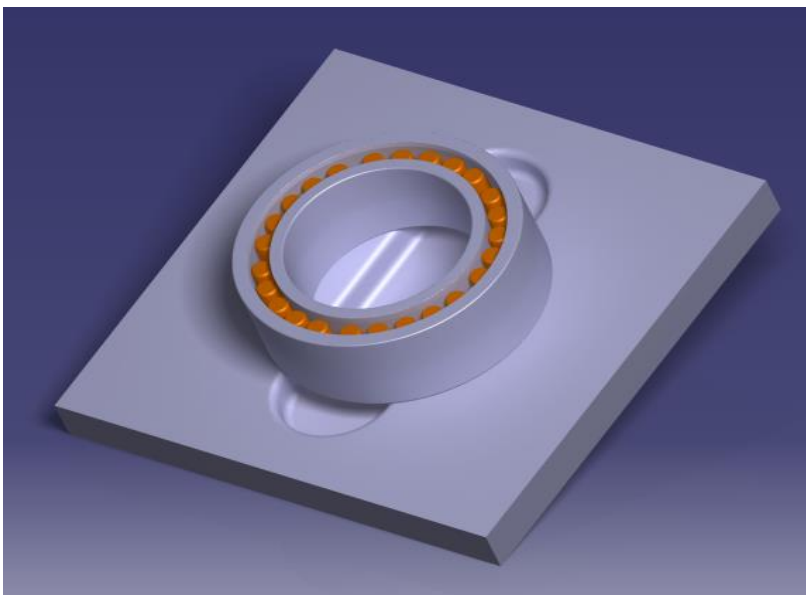
→ För att det ska vara möjligt att på ett så bra sätt som möjligt kunna montera lagret måste det ligga stabilt och vara möjligt att rotera det.

Dellösning D2.1 Försänkning 1

Försänkning 1 i figur 5.10 & 5.11 nedan är en fyrkantig platta med en försänkning på längden, försänkningen har till funktion att underlätta slutmonteringen, tanken är att lagret lyfts från funktion 1 till funktion 2 och försänkningen är till för att underlätta när lagret skall placeras på plattan, d.v.s. en försänkning för att komma åt med händerna under lagret.



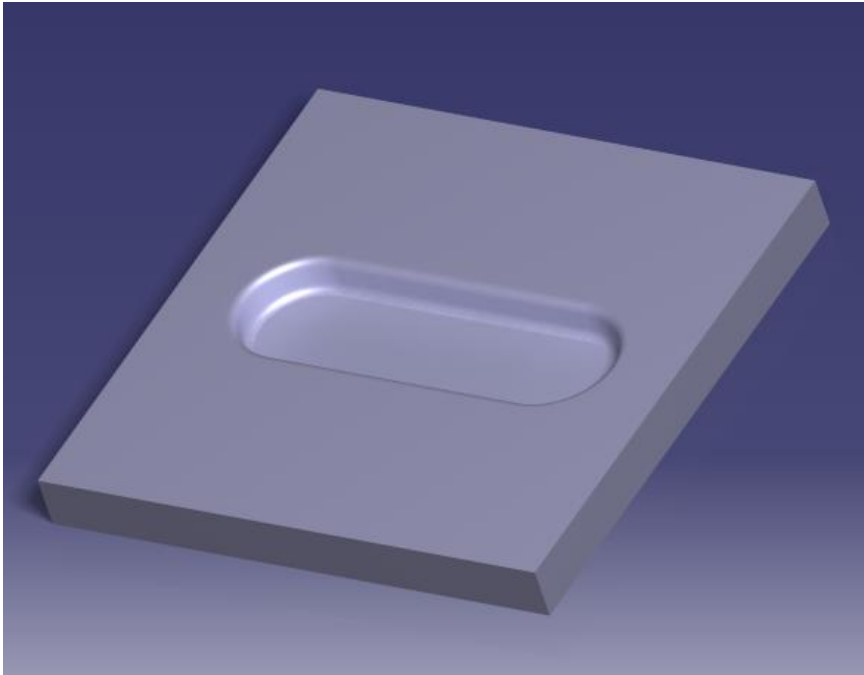
Figur 5.10 Försänkning 1.



Figur 5.11 Dellösning Försänkning 1 illustrerat med lagret 4022 MB.

Dellösning D2.2 Försänkning 2

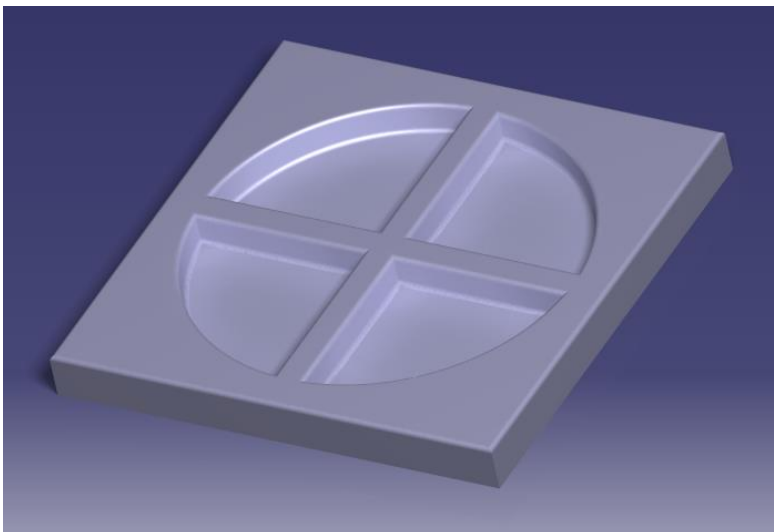
Försänkning 2 i figur 5.12 nedan är en fyrkantig platta med en försänkning på bredden, lösning är densamma som dellösning D2.1 fast här vriden 90 grader.



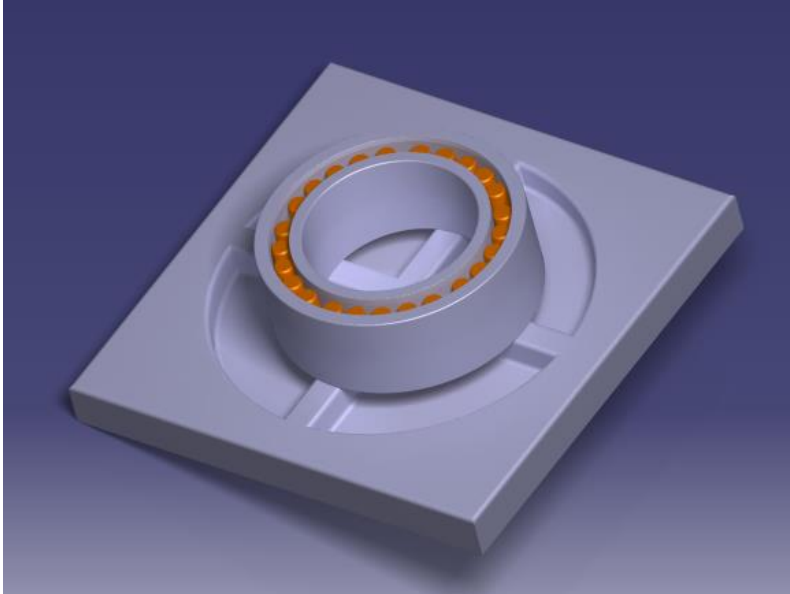
Figur 5.12. Försänkning 2.

Dellösning D2.3 Försänkning 3

Försänkning 3 i figur 5.13 & 5.14 nedan är en platta med fyra försänkta "tårtbitar" i ett cirkulärt mönster, försänkning 3 har till funktion att underlätta slutmonteringen, tanken är att lagret lyfts från funktion 1 till funktion 2 och försänkning 3 är till för att underlätta när lagret skall placeras på plattan, d.v.s. en försänkning för händerna. I denna lösning har man större valmöjlighet till var händerna kan placeras.



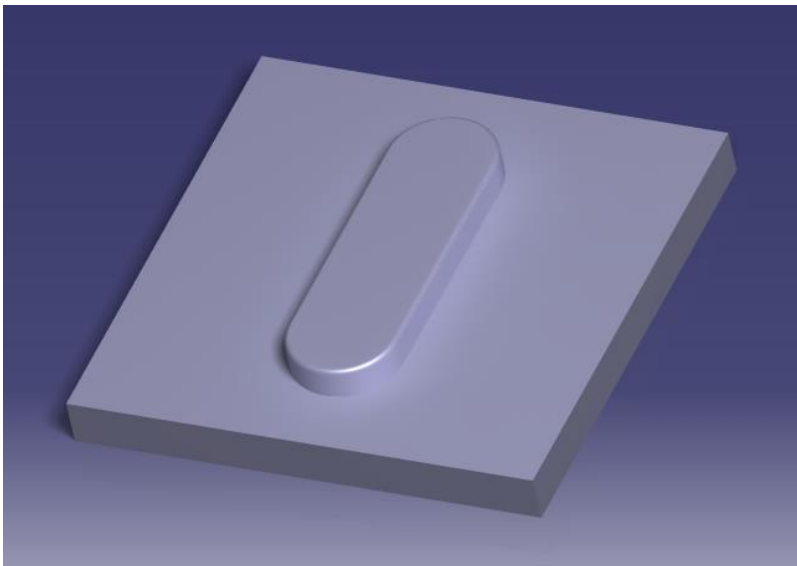
Figur 5.13. Dellösning Försänkning 3.



Figur 5.14. Dellösning Försänkning 3 illustrerat med lagret 4022 MB.

Dellösning D2.4 Förhöjning 1

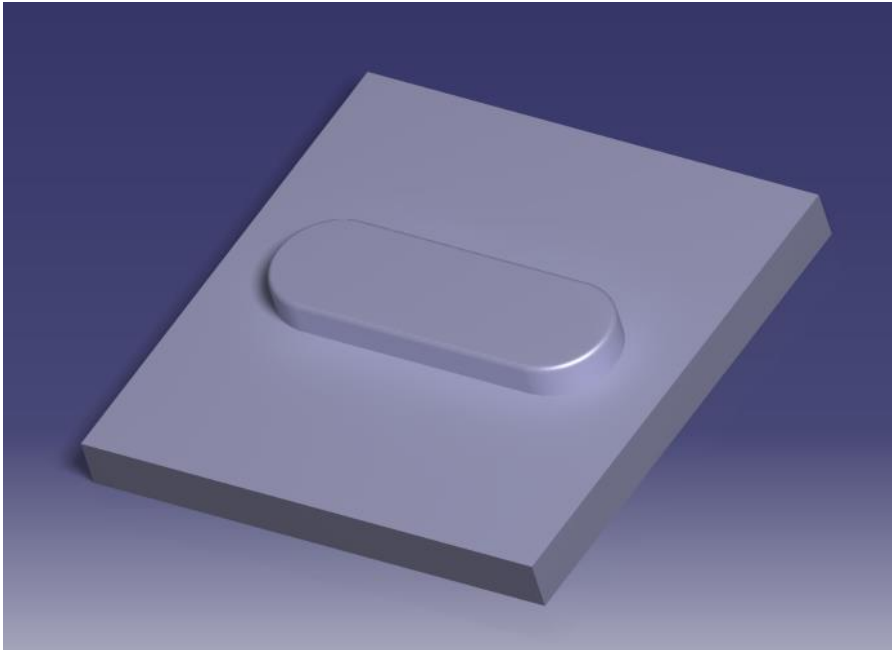
Förhöjning 1 i figur 5.15 nedan är en fyrkantig platta med en förhöjning på längden, vilken har till funktion att underlätta slutmonteringen, tanken är att lagret lyfts från funktion 1 till funktion 2 och förhöjningen är till för att underlätta när lagret skall placeras på plattan, d.v.s. en förhöjning för att komma åt med händerna under lagret.



Figur 5.15. Förhöjning 1.

Dellösning D2.5 Förhöjning 2

Förhöjning 2 i figur 5.16 nedan är en fyrkantig platta med en förhöjning på bredden, lösning är densamma som dellösning D2.4 fast här vriden 90 grader.



Figur 5.16. Förhöjning 2.

5.5 Framställning av totallösningalternativ

För att kombinera alla de olika dellösningalternativen till totallösningalternativ användes morfologisk analys, nedan i figur 5.17 visas den morfologiska matrisen med de två delfunktioner samt respektives alla dellösningalternativ. Antalet totallösningalternativ kunde teoretiskt bli $3 \times 5 = 15$ eftersom det finns tre dellösningar till delfunktion 1 och fem dellösningar till delfunktion 2, dessa dellösningar multipliceras då enligt (Johannesson et.al 2004) för att få fram alla möjliga lösningar.

Delfunktion	Dellösningalternativ				
F1: Vinkla ytter-, innerring och rullar	D1.1 Rundstav	D1.2 Fullstöd	D1.3 Delstöd	-	-
F2: Förenkla slutmontering	D2.1 Försänkning 1	D2.2 Försänkning 2	D2.3 Försänkning 2	D2.4 Förhöjning 1	D2.4 Förhöjning 1

Figur 5.17. Morfologisk matris

Efter identifiering av antalet totallösningalternativ, antecknades dessa och därefter genomfördes en utsortering av de alternativ som inte uppfyllde kravspecifikation eller som inte ansågs vara tillräckligt ergonomiskt användbara, se figur 5.18 nedan

Totallösning	Dellösning	
1	D1.1	D2.1
2	D1.1	D2.2
3	D1.1	D2.3
4	D1.1	D2.4
5	D1.1	D2.5
6	D1.2	D2.1
7	D1.2	D2.2
8	D1.2	D2.3
9	D1.2	D2.4
10	D1.2	D2.5
11	D1.3	D2.1
12	D1.3	D2.2
13	D1.3	D2.3
14	D1.3	D2.4
15	D1.3	D2.5

Figur 5.18. Totallösningalternativ, orangemarkerade rader är utsorterade totallösningalternativ.

De nio totallösningens alternativ som kvarstod och ansågs som möjliga lösningar littereras nedan enligt TL_i

- TL1. D1.1, D2.2
- TL2. D1.1, D2.3
- TL3. D1.1, D2.4
- TL4. D1.2, D2.2
- TL5. D1.2, D2.3
- TL6. D1.2, D2.4
- TL7. D1.3, D2.2
- TL8. D1.3, D2.3
- TL9. D1.3, D2.4

6 Utvärdering och val av koncept

Här följer utvärderingsprocessen och val av koncept med hjälp av Pughs beslutsmatris ("concept screening") och därefter kesselrings metod ("concept scoring") (Johannesson et.al. 2004).

6.1 Relativ beslutsmatris enligt Pugh

Som referens till rangordningen användes träjiggen, den uppfyllde inte alla krav på funktionalitet men den är idag den enda existerande lösningen. Urvalskriterierna i matrisen baserades på önskemålen ifrån kravspecifikationen plus de eventuella krav som kunde vara bra att "överuppfylla". (Johannesson et.al 2004). Här valdes att inte att välja ut några krav som skulle "överuppfyllas". Resultatet av utvärderingen syns i figur 6.1 nedan.

Bättre än referens (+)

Lika bra som referens(0)

Sämlre än referens (-)

Kriterium	Lösningalternativ									
	Ref	TL1	TL2	TL3	TL4	TL5	TL6	TL7	TL8	TL9
2	T	+	+	+	+	+	+	+	+	+
3	R	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Ä	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	J	+	+	+	+	+	+	+	+	+
6	I	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	G	0	0	0	0	0	-	+	+	0
10	G	0	0	0	-	-	-	0	0	0
12	.	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Summa +		3	3	3	3	3	3	4	4	3
Summa 0		3	3	3	2	2	0	2	2	3
Summa -		1	1	1	2	2	3	1	1	1
Totalt	0	2	2	2	1	1	0	3	3	2
Rang.	2	2	2	2	3	3	4	1	1	2
Vidare.		Ja	Ja	Ja	Nej	Nej	Nej	Ja	Ja	Ja

Figur 6.1. Pughs relativa beslutsmatris.

Med viktfactorer

Då flertalet alternativ fick relativt jämna poäng valdes att också göra en beslutsmatris med hänsyn till viktningen (w), vilken syns nedan i figur 6.2.

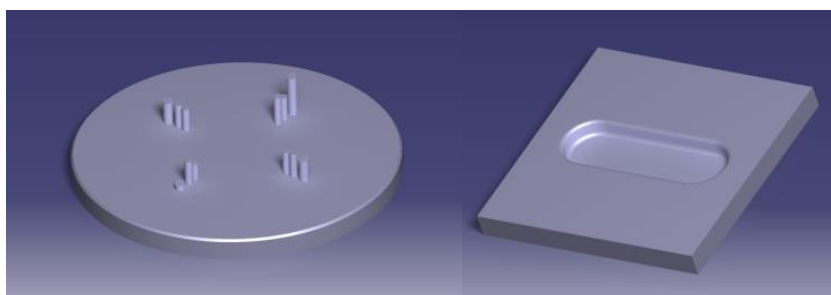
Kriterium	Lösningalternativ									
	Ref	TL1	TL2	TL3	TL4	TL5	TL6	TL7	TL8	TL9
2 (w=5)		+	+	+	+	+	+	+	+	+
3 (w=3)		0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 (w=1)		0	0	0	0	0	0	0	0	0
5 (w=4)		+	+	+	+	+	+	+	+	+
6 (w=3)		-	-	-	-	-	-	-	-	-
9 (w=5)		0	0	0	0	0	-	+	+	0
10 (w=4)		0	0	0	-	-	-	0	0	0
12 (w=4)		+	+	+	+	+	+	+	+	+
Summa +		13	13	13	13	13	13	18	18	13
Summa 0		12	12	12	8	8	3	7	7	12
Summa -		3	3	3	7	7	12	3	3	3
Totalt	0	10	10	10	6	6	1	15	15	10
Rang.	2	2	2	2	3	3	4	1	1	2
Vidare.		Ja	Ja	Ja	Nej	Nej	Nej	Ja	Ja	Ja

Figur 6.2. Pughs relativa beslutsmatris med viktning.

Resultatet av utvärderingen med vikt faktorer syns i figur 6.2 ovan, utfallet blev detsamma som i utvärdering utan viktning förutom att i utvärderingen med viktning blev totallösningalternativ TL6 klart sämst. De lösningsförslag som valdes att arbeta vidare med utifrån resultatet av beslutsmatrisen presenteras nedan, dessa presterade lika bra eller bättre än referensobjektet. Bristerna för de alternativ som inte gick vidare syns i figur 6.2 ovan.

Lösningförslag TL1. (D1.1, D2.2)

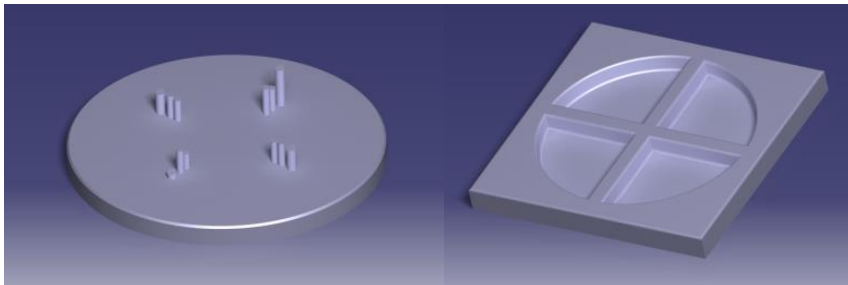
Monteringsjiggen består av en del (den vänstra i figur 6.3 nedan) som vinklar lagret och där nedre hållare och rullar monteras, denna del är uppbyggd av 12 st. rundstavar som är fastskruvade underifrån plattan, vilket gör de lätta att byta ifall de på något sätt skulle förstöras, man kommer också åt under lagret vilket gör det lätt att rotera och plocka. Efter att rullarna monterats flyttas lagret manuellt till den andra delen (den högra i figur 6.3 nedan) där den övre halvan av hållaren och distanserna som sitter emellan monteras. Denna del har en försänkning på bredden för att man enkelt ska kunna lägga ner lagret utan att den nedre hållare och rullarna faller ur position.



Figur 6.3. Lösningförslag TL1.

Lösningförslag TL2. (D1.1, D2.3)

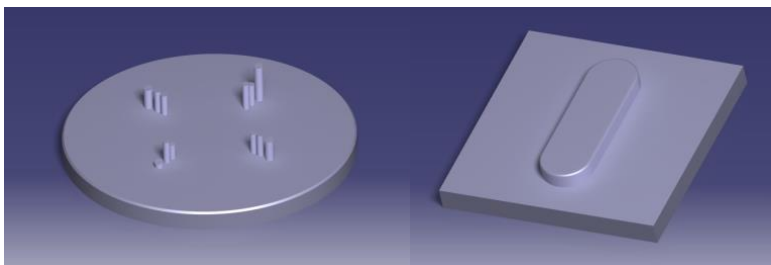
Monteringsjiggen består av en del (den vänstra i figur 6.4 nedan) som vinklar lagret och där nedre hållare och rullar monteras, denna del är uppbyggd av 12 st. rundstavar som är fastskruvade underifrån plattan, vilket gör de lätta att byta ifall de på något sätt skulle förstöras, man kommer också åt under lagret vilket gör det lätt att rotera och plocka av det. Efter att rullarna monterats flyttas lagret manuellt till den andra delen (den högra i figur 6.4 nedan) där den övre halvan av hållaren och distanserna som sitter emellan monteras. Denna del har en cirkelformad försänkning med ett kryss i för att man enkelt ska kunna lägga ner lagret utan att den nedre hållare och rullarna faller ur position. Formen på försänkningen gör att operatören har en större valmöjlighet till var händerna kan placeras.



Figur 6.4. Lösningförslag TL2.

Lösningförslag TL3. (D1.1, D2.4)

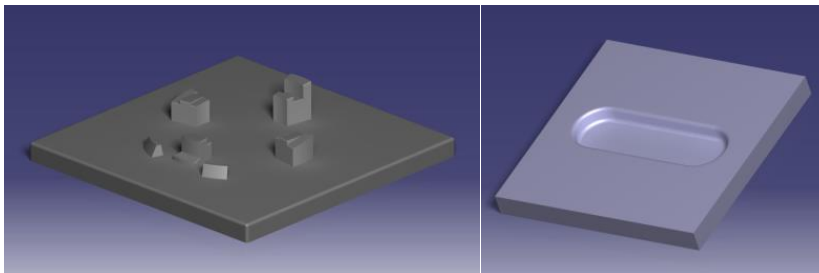
Monteringsjiggen består av en del (den vänstra i figur 6.5 nedan) som vinklar lagret och där nedre hållare och rullar monteras, denna del är uppbyggd av 12 st. rundstavar som är fastskruvade underifrån plattan, vilket gör de lätta att byta ifall de på något sätt skulle förstöras, man kommer också åt under lagret vilket gör det lätt att rotera och plocka av det. Efter att rullarna monterats flyttas lagret manuellt till den andra delen (den högra i figur 6.5 nedan) där den övre halvan av hållaren och distanserna som sitter emellan monteras. Denna sida har en förhöjd del, för att man enkelt ska kunna lägga ner lagret utan att den nedre hållaren och rullarna faller ur position.



Figur 6.5. Lösningförslag TL3.

Lösningförslag TL7. (D1.3, D2.2)

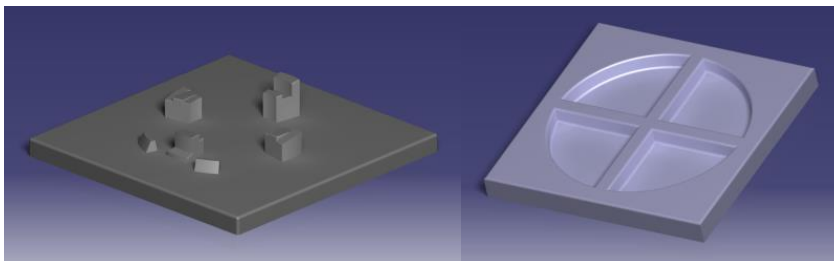
Monteringsjiggen består av en del (den vänstra i figur 6.6 nedan) som vinklar lagret och där nedre hållare och rullar monteras, denna del består av en platta med fyra stöd monterade på plattan, stöden är cirka 20 mm breda och är "tårtbitar" ifrån cirklarna på dellösning 1.2. Detta ger en större kontaktyta än dellösning D1.1 vilket gör att ringarna ligger stabilare och det är möjligt att komma åt med händerna under lagret vilket underlättar vid rotering och förflyttning av lagret. Efter att rullarna monterats flyttas lagret manuellt till den andra delen (den högra i figur 6.6 nedan) där den övre halvan av hållaren och distanserna som sitter emellan monteras. Denna del har en försänkning på bredden för att man enkelt ska kunna lägga ner lagret utan att den nedre hållare och rullarna faller ur position.



Figur 6.6. Lösningförslag TL7

Lösningförslag TL8. (D1.3, D2.3)

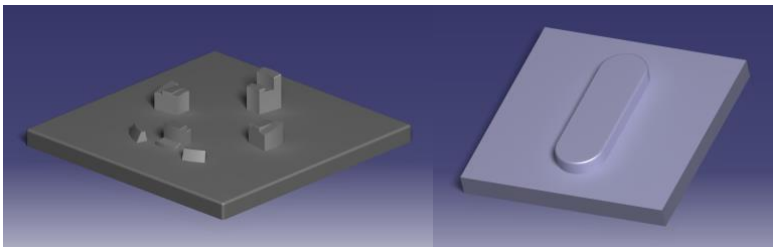
Monteringsjiggen består av en del (den vänstra i figur 6.7 nedan) som vinklar lagret och där nedre hållare och rullar monteras, denna del består av en platta med fyra stöd monterade på plattan, stöden är cirka 20 mm breda och är "tårtbitar" ifrån cirklarna på dellösning 1.2. Detta ger en större kontaktyta än dellösning D1.1 vilket gör att ringarna ligger stabilare och det är möjligt att komma åt med händerna under lagret vilket underlättar vid rotering och förflyttning av lagret. Efter att rullarna monterats flyttas lagret manuellt till den andra delen (den högra i figur 6.7 nedan) där den övre delen av hållaren och distanserna som sitter emellan monteras. Denna del har en cirkelformad försänkning med ett kryss i för att man enkelt ska kunna lägga ner lagret utan att den nedre hållare och rullarna faller ur position. Formen på försänkningen gör att operatören har en större valmöjlighet till var händerna kan placeras.



Figur 6.7. Lösningförslag TL8

Lösningförslag TL9. (D1.3, D2.4)

Monteringsjiggen består av en del (den vänstra i figur 6.8 nedan) som vinklar lagret och där nedre hållare och rullar monteras, denna del består av en platta med fyra stöd monterade på plattan, stöden är cirka 20 mm breda och är "tårtbitar" ifrån cirklarna på dellösning 1.2. Detta ger en större kontaktyta än dellösning D1.1 vilket gör att ringarna ligger stabilare och det är möjligt att komma åt med händerna under lagret vilket underlättar vid rotering och förflyttning av lagret. Efter att rullarna monterats flyttas lagret manuellt till den andra delen (den högra i figur 6.8 nedan) där den övre halvan av hållaren och distanserna som sitter emellan monteras. Denna sida har en förhöjd del, för att man enkelt ska kunna lägga ner lagret utan att den nedre hållaren och rullarna faller ur position.



Figur 6.8. Lösningförslag TL9

6.2 Kriterieviktmatris enligt Kesselring

För att undvika att subjektiva värderingar får effekt på utvärderingskriterierna viktades kriterierna enligt parvis jämförelse, se figur 6.9 nedan.

Använder skalade vikt faktorer enligt: $w_i = \left(\frac{\sigma_i}{\sigma_{imax}}\right) \times w_{imax}$, där $= \left(\frac{sum}{tot}\right)$

Viktfaktorer sätts mellan 1 till 10, vilket ger $w_{imax} = 10$

Kriterium	2	3	4	5	6	9	10	12	Sum	Sum/tot	w_i
2	-	1	1	0,5	1	0	0	1	4.5	0.16	7
3	0	-	0	0	0,5	0	0	0	0.5	0.02	1
4	0	1	-	0,5	0,5	0	0	1	3	0.11	5
5	0,5	1	0,5	-	0,5	0	0	1	3.5	0.13	6
6	0	0,5	0,5	0,5	-	0	0	0,5	2	0.07	3
9	1	1	1	1	1	-	0,5	1	6.5	0.23	10
10	1	1	1	1	1	0,5	-	1	6.5	0.23	10
12	0	1	0	0	0,5	0	0	-	1.5	0.05	2
Tot.									28	1	-

Figur 6.9. Viktbestämningmatris för parvis jämförelse.

Efter att tre lösningförslag eliminerats i den relativa beslutsmatrisen utvärderades resterande sex st. lösningsförslagen vidare. För att kunna jämföra de olika lösningsförslagen med varandra bör man redogöra för hur bra eller dåligt varje lösningsförslag tillgodoser kriteriet (Johanneson et.al .2004). Detta gjordes genom att sätta betyg efter en betygsskala och denna betygsskala skulle helst vara betygsatt efter ett beräknat eller uppmätt värde. Här valdes att endast betygsätta efter ett uppskattat värde då det inte ansågs praktiskt möjligt att kunna mäta något av kriterierna. Kesselrings kriterieviktmatris syns nedan i figur 6.10.

V= uppskattat betyg, sätts mellan 1-5

Kriterium	Lösningalternativ														
		ideal		TL1		TL2		TL3		TL7		TL8		TL9	
	w_i	V	T	V	T	V	T	V	T	V	T	V	T	V	t
Nr.2	7	5	35	4	28	4	28	3	21	4	28	4	28	3	21
Nr.3	1	5	5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Nr.4	5	5	25	4	20	4	20	4	20	3	15	3	15	3	15
Nr.5	6	5	30	3	18	3	18	3	18	3	18	3	18	3	18
Nr.6	3	5	15	4	12	3	9	4	12	3	9	2	6	3	9
Nr.9	10	5	50	3	30	3	30	2	20	5	50	5	50	3	30
Nr.10	10	5	50	4	40	5	50	4	40	5	50	5	50	5	50
Nr.12	2	5	10	3	6	3	6	3	6	4	8	4	8	4	8
$T=\sum T_i$		220		156		163		139		180		177		153	
T/T_{max}		1.0		0.71		0.74		0.63		0.82		0.8		0.7	
Rang.		-		3		5		6		1		2		4	

Figur 6.10. Kesselrings kriterieviktmatris.

Sammanfattning

TL7 och TL8 var de två bästa lösningsförslagen, TL7 presterade marginellt bättre än TL8, se figur 6.10. Skillnaderna i utformningen av förslagen var också väldigt liten, det som skilde dom åt var lösningen för funktion 2. Men då skillnaden var så liten ansågs det att båda förslag borde utredas vidare genom diskussion med produktionspersonalen som skulle använda monteringsjiggen.

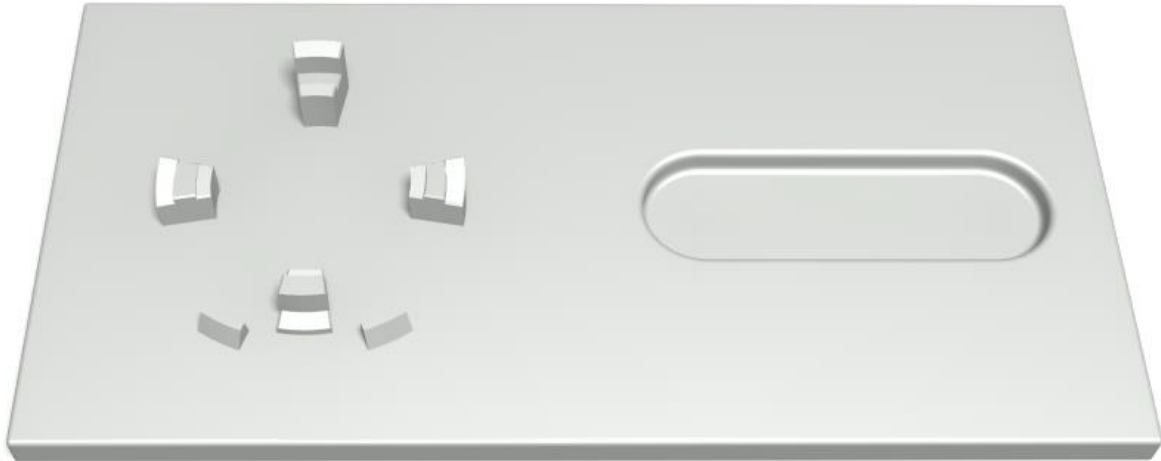
7 Diskussion

Resultatet av utredningen att hitta en bra fungerade vinkel för att montera ihop lagret, kan anses som bra men det finns mer att utveckla i denna undersökning, dock har detta arbetet handlat om att hitta just en bra fungerande vinkel och inte en optimal monteringsvinkel. Där arbetet hade kunnat utvecklas är att mer noggrant säkerställa den största möjliga vinkel för att kunna montera lagret. Denna rapport kunde aldrig med någon större noggrannhet fastställa den största möjliga vinkeln, utan endast en antydning om var den troligtvis är, kunde påvisas. När detta upptäcktes under arbetets gång gjordes ett försök att angripa problemet på ett annat sätt, detta visade sig dock vara alltför arbetsamt och komplicerat för att rymmas inom rammarna av detta arbete. Den minsta möjliga vinkel hittades med ganska god exakthet. Dock hade man med större säkerhet kunnat hitta det intervallet med dom möjliga kombinationerna av vinklar om den största möjliga vinkeln hade kunnat fastställas mer noggrant. Frågan är då om slutresultatet hade blivit bättre om intervallet med möjliga vinkelkombinationer hade varit mer exakt? Hade man kunnat hitta en optimal monteringsvinkel? Kanske, troligtvis hade man kunnat komma fram till fler teoretisk bra vinklar eller kanske till och med en teoretisk optimal vinkel. Men oavsett detta så monteras lagret praktiskt och här är det svårt att göra en objektiv bedömning och troligtvis kommer operatörerna som monterar lagret att ha olika uppfattning om vad som fungerar optimalt. En bra fungerade vinkel har hittats i denna rapport och den kommer kanske till och med visa sig vara optimal.

Under arbetet med framtagningen av dellösningar i konceptgenereringsfasen framkom en hel del bra förslag, dessa ratades dock ganska snabbt och valdes att inte arbeta vidare med alls då de ansågs alltför kostsamma att tillverka. Monteringsjiggen är till för ett lager som tillverkas i väldigt låg volym och det ansågs då inte försvarbart att ta med dessa förslag i det vidare arbetet. De förslag som togs med, har varit svåra utvärdera, då utvärdering kom att handla ganska mycket om att göra bedömningar om hur väl varje lösningsförslag skulle klara de olika kriterierna. Detta för att i princip alla kriterier bedömdes svåra att mäta med någon form av enhet, och de förslag där det var möjligt blev det istället väldigt svårt att utvärdera. Exempelvis kriteriet att jiggen bör ha minsta möjliga vikt, här skulle det enkelt kunna sättas en enhet på x antal kilo och överföra det till en betygsskala som skulle kunna användas som bedömning, men samtidigt antogs att förslagen troligtvis kommer att väga ungefär lika mycket och att rata ett förslag för att det skulle väga 7.5 kg istället för 7 kg ansågs fel, därav fick många av förslagen samma bedömning. De kvarstod två förslag efter den sista utvärderingsprocessen och dessa diskuterades tillsammans med produktionspersonalen. Det som framkom i samtalen var ganska likvärdigt det som togs med i kravspecifikationen, och det operatörerna efterfrågar är just att det ska vara en enkel, lätt, stabil och väl fungerande monteringsjigg. Båda de två koncepten har dessa egenskaper. Den funktionen där lagren vinklas och rullarna monteras i är identisk för de båda lösningarna. Det som skiljer dem åt är just slutmonteringsfunktionen (funktion 2) och här ansågs totallösningalternativ TL8 ha bättre möjligheter till att komma åt med händerna under lagret vid slutmonteringen. Men de tyckte också att den såg något ostabilare ut än totallösningalternativ TL7. Slutligen diskuterades Totallösningalternativ TL7 fram som det bästa konceptet, just på grund av att slutmonteringsfunktionen bedömdes som en stabilare lösning.

8 Slutgiltigt koncept

Totallösningförslag TL7 var det förslag som valdes som det slutgiltiga konceptet och det kommer fortsättningsvis att benämnas 4022 monteringsjigg. Konceptet har modellerats med hjälp av CAD-verktyget Catia och illustreras nedan i figur 8.1.



Figur 8.1. 4022 Monteringsjigg

Utformning/Funktion

4022 monteringsjigg består av en rektangulär skiva med fyra stycken stödben, två mothåll och en försänkning, till vänster i figur 8.1 ovan ses de fyra stödbenen vars funktion är att vinkla ytter- och innerring samt positionerna den nedre hållaren. De är också designade för att bara stödja en mindre del av ringarna och hållaren för att det ska vara möjligt att komma åt under lagret med händerna. Nedanför stödbenen i figur 8.1 ovan ses två mothåll vars syfte är att hålla kvar ytterringen i position, risk finns annars att den faller ur position då den är den komponent som vinklas mest. Till höger i figur 8.1 ovan ses en försänkning vars funktion är att skapa ett utrymme för händerna när lagret placeras här för montering av distanser och den övre delen av hållaren.

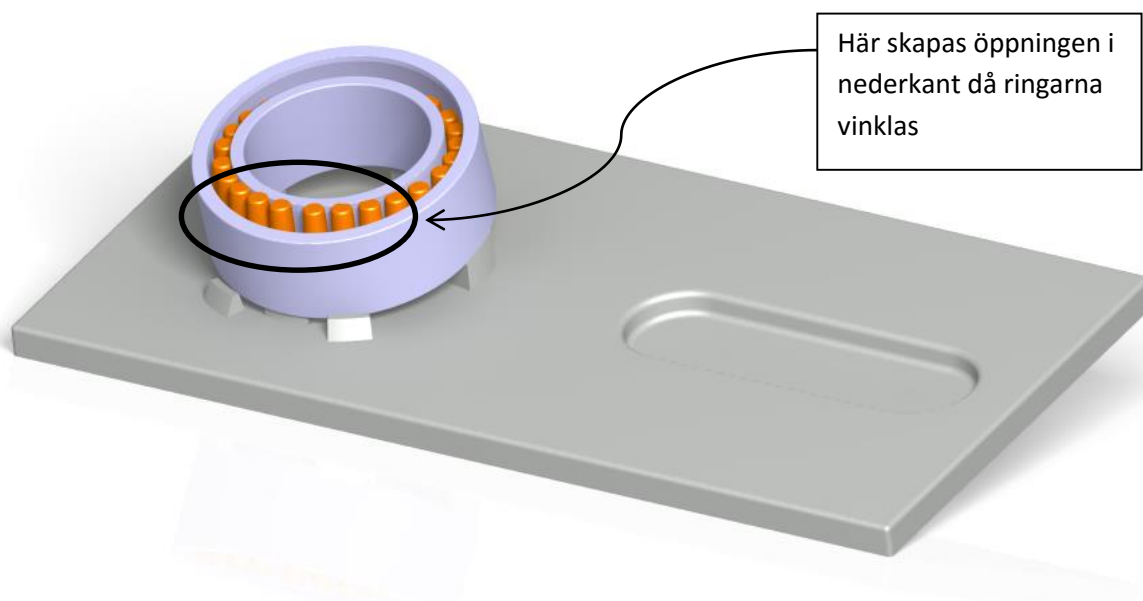
Nedan i figur 8.2 ses en detaljbild av ett stödben, då ringarna manuellt kommer att roteras på stödbenen vid montering av rullarna finns en viss risk att stödbenen med tiden kan nötas ner då stödbenen troligtvis kommer bestå av ett mjukare material än ringarna och hållaren. Stödbenen är därför designade som fristående delar som skruvas fast underifrån skivan så de enkelt kan bytas ut vid behov.



Figur 8.2. Till vänster övre stödben illustrerat ifrån sidan, och till höger övre stödben illustrerat snett underifrån.

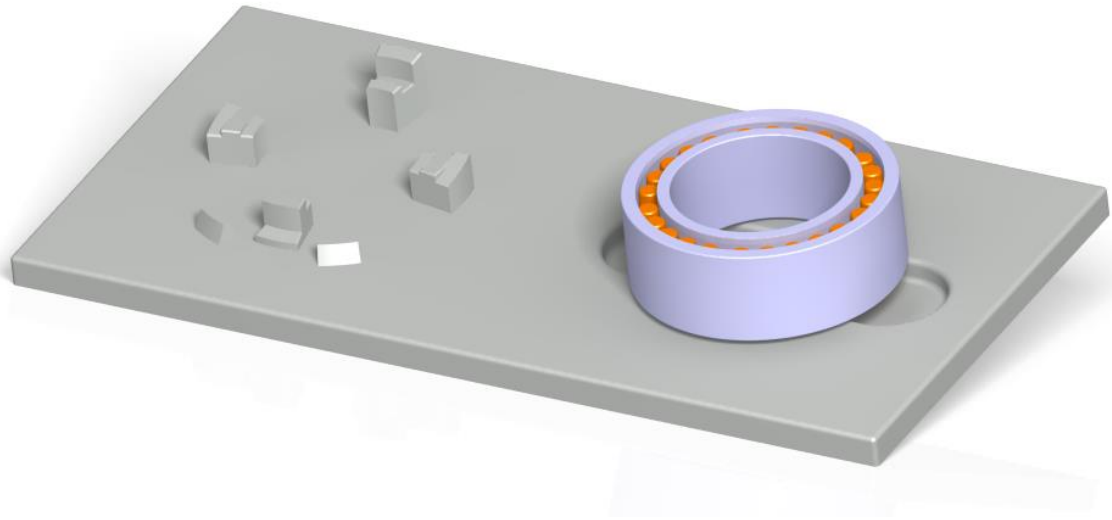
Arbetsgång/användning

Först placerats ytter- och innerring samt hållaren på stödbenen, en öppning i nederkant blir nu tillräckligt stor för att rullarna ska kunna monteras, se figur 8.3 nedan. Nu monteras så många rullar som utrymmet tillåter och därefter roterar man rullarna i lagret åt antingen höger eller vänster för att göra plats för nästa laddning av rullar, proceduren upprepas tills alla rullar är monterade.



Figur 8.3. 4022 Monteringsjigg illustrerat med lagret placerat på stödbenen.

När alla rullar är monterade lyfts lagret till den högra delen av monteringsjiggen, se figur 8.4 nedan. Försänkningen underlättar så att inte nedre delen eller någon av de andra komponenterna faller ur position när lagret släpps ned. Därefter kan distanserna och den övre delen av hållaren enkelt monteras.



Figur 8.4. 4022 monteringsjigg med lagret placerat vid försänkningen.

9 Slutsats

Föreliggande rapport har undersökt möjligheterna till att underlätta monteringen av toroidlagret C4022 MB. Efter genomgång av lagrets geometri kunde det fastställas att ringarna i lagret behövde vinklas för att det skulle vara möjligt att montera ihop. Många tester och simuleringar med lagret resulterade slutligen i en bra fungerande vinkelkombination. Vinkelkombinationen upplevdes i de slutliga praktiska testerna fungera väldigt väl och bedöms som en stor förbättring mot de vinklar produktionskanalen använder i sin nuvarande lösning. Det bedömdes också att en monteringsjigg var nödvändig för att kunna applicera vinkelkombinationen på lagret.

Konceptet 4022 Monteringsjigg blev det slutgiltiga koncept som tagits fram utifrån de nödvändiga vinkelkombinationerna. Konceptet kontrollerades mot kriterierna i kravspecifikationen och det uppfyller alla kriterier som i nuläget går att bedöma. Först efter en detaljkonstruktion kan en prisindikation lämnas och vikten på monteringsjiggen beror till stor del av det slutliga materialvalet. För att kunna ge en indikation av vikten på monteringsjiggen applicerades materielgruppen plast som diskuterats som ett möjligt material under arbetets gång i CAD-verktyget, detta visade att monteringsjiggen skulle väga ca 4.2 kg och kriteriet minimal vikt anses då uppfyllt. Detaljkonstruktionen krävs också för att kunna ge svar på vilken tillverkningsmetod som är lämpligast, det är därför svårt att svara på ifall det tilltänkta tillverkningsföretaget kan tillverka 4022 monteringsjigg. De tre kriterier som ansågs som s.k. funktionella kriterier är också de kriterier som bedöms som de viktigaste att uppfylla då dessa ligger till grund för framtagningen av lösningsalternativen. Och det är svårt att bedöma om dessa kriterier uppfylls till fullo utan ha en väldigt bra prototyp att utföra tester på. Den testjigg som konstruerades under arbetets gång för att utföra de praktiska tester på kan anses som en ganska dålig prototyp av konceptet 4022 monteringsjigg. Monteringen på testjiggen betraktas som väldigt välfungerande och då 4022 monteringsjigg anses vara en mycket bättre lösning än Testjiggen är det den lösningen som har bäst chanser att förenkla och underlätta monteringen av toroidrullager C 4022 MB.

Det som detta arbete inte har lyckats med är syftets andra delmål som var att leverera en färdig lösning. Då det hittills uppnådda resultatet redan överskridit den tidsbegränsning som från början var satt för arbetet har det inte varit rimligt eller möjligt att slutföra även delmål två.

Som vidare rekommendationer till ett fortsatt arbete kan sägas att vidare undersökning efter en ”optimal monteringsvinkel” kan rekommenderas om tillverkningsvolymen av denna typ av lager skulle öka, detta för att verkligen säkerställa vinkelkombinationen mellan komponenterna då det eventuellt finns en tidsvinst att hämta vid montering av lagret.

Referenser

Johannesson, H., Persson, J-G., Pettersson, D. 2004. Produktutveckling-effektiva metoder för konstruktion och design. Stockholm: Liber AB.

SKF(1). *Cages*.

<http://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/roller-bearings/carb-toroidal-roller-bearings/design-variants/cages/index.html> (hämtad 2015-07-01)

SKF(2). *Cages*.

<http://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/roller-bearings/principles/bearing-basics/bearing-types-and-designs/cages/index.html> (hämtad 2015-07-01)

SKF-koncernen. 2008. *CARB toroidrullager*.

http://www.skf.com/binary/tcm:12-109023/6102_SV_tcm_12-109023.pdf

(hämtad 2015-07-01)

Bilagor

Bilaga 1 – Anteckningar till de praktiska testerna

Bilaga 1

Anteckningar till de praktiska testerna

Grundinställningen på skruvarna vid vridpunkterna är 23 mm, dessa ändras aldrig men för fram och bakkant adderas eller subtraheras respektive framräknat höjdmått.

Test A

Nedanstående tabell är egna anteckningar som hjälp vid beräkningar och injustering av vinklar vid test A.

Försök nr:	Egna anteckningar (höjd bak- resp. framkant på ytterringen)	α	$\frac{\alpha}{2}$	$b = b_v$
1	Utfördes aldrig	0,5°	0,25°	0,7mm
2	23+1,3= 24,3 23-1,3= 21,7	1°	0,5°	1,4mm
3	Utfördes aldrig	1,5°	0,75°	2,1mm
4	23+2,6= 25,6 23-2,6= 20,4	2°	1°	2,8mm
5	Utfördes aldrig	2,5°	1,25°	3,5mm
6	23+3,9= 26,9 23-3,9= 19,1	3°	1,5°	4,2mm
7	23+4,6= 27,6 23-4,6= 18,4	3,5°	1,75°	4,9mm
8	23+5,2= 28,2 23-5,2= 17,8	4°	2°	5,6mm
9	23+5,9= 28,9 23-5,9= 17,1	4,5°	2,25°	6,3mm
10	23+6,5= 29,5 23-6,5= 16,5	5°	2,5°	7,0mm
11	23+7,2= 30,2 23-7,2= 15,8	5,5°	2,75°	7,7mm
12	23+7,8= 30,8 23-7,8= 15,2	6°	3°	8,4mm
13	23+9,1= 32,1 23-9,1= 13,9	7°	3,5°	9,8mm
14	23+10,4= 33,4 23-10,4= 12,6	8°	4°	11,2mm

Figur B.1.1. Tabellvärden och kommentarer till test A.

Bilaga 1

Test B

Nedanstående tabell är egna anteckningar som hjälp vid beräkningar och injustering av vinklar vid test B

Försök nr:	Egna anteckningar (höjd bak- resp. framkant på ytterrigen)	α	$\frac{\alpha}{2}$	b_v
1	23+14,8= 37,8 23-14,8= 8,2	10,8°	5,4°	14,8mm
2	23+15,6= 38,6 23-15,6= 7,4	11,4°	5,7°	15,6mm
3	23+16,2= 39,2 23-16,2= 6,8	11,9°	5,95°	16,2mm
4	23+16,9= 39,9 23-16,9= 6,1	12,4°	6,2°	16,9mm
5	23+17,5= 40,5 23-17,5= 5,5	12,9°	6,45°	17,5mm
6	23+18,2= 41,2 23-18,2= 4,3	13,4°	6,7°	18,2mm
7	23+18,8= 41,8 23-18,8= 4,2	13,9°	6,95°	18,8mm
8	23+19,5= 42,5 23-19,5= 3,5	14,4°	7,2°	19,5mm
9	23+20= 43 23-20= 3	14,9°	7,45°	20,0mm
10	23+20,6= 43,6 23-20,6= 2,4	15,4°	7,7°	20,6mm

Figur B.1.2. Tabellvärden och kommentarer till test B.

Bilaga 1

Test C

Nedanstående tabell är egna anteckningar som hjälp vid beräkningar och injustering av vinklar vid test C.

Försök nr:	Egna anteckningar (höjd bak- resp. framkant på innerringen)	α	$\frac{\alpha}{2}$	$b = b_v$
1	23+6,6= 29,6 23-6,6= 16,4	6,4°	3,2°	6,6mm
2	23+6= 29 23-6= 17	5,8°	2,9°	6,0mm
3	23+5,45= 28,45 23-5,45= 17,55	5,3°	2,65°	5,45mm
4	23+4,95= 27,95 23-4,95= 18,05	4,8°	2,4°	4,95mm
5	23+4,4= 27,4 23-4,4= 18,6	4,3°	2,15°	4,4mm
6	23+3,9= 26,9 23-3,9= 19,1	3,8°	1,9°	3,9mm
7	23+3,4= 26,4 23-3,4= 19,6	3,3°	1,65°	3,4mm
8	23+2,9= 25,9 23-2,9= 20,1	2,8°	1,4°	2,9mm
9	23+2,4= 25,4 23-2,4= 20,6	2,3°	1,15°	2,4mm
10	23+1,85= 24,85 23-1,85= 21,15	1,8°	0,9°	1,85mm

Figur B.1.3. Tabellvärden och kommentarer till test C.

Bilaga 1

Test D

Nedanstående tabell är egna anteckningar som hjälp vid beräkningar och injustering av vinklar vid test D.

Test nr:	Egna anteckningar (höjd bak- resp. framkant på innerringen)	α	$\frac{\alpha}{2}$	b_v
1	23+12,4= 35,4 23-12,4= 10,6	9°	4,5°	12,4mm
2	23+13,75= 36,75 23-13,75= 9,25	10°	5°	13,75mm
3	23+14,8= 37,8 23-14,8= 8,2	10,8°	5,4°	14,8mm
4	23+15,7= 38,7 23-15,7= 7,3	11,5°	5,75°	15,7mm
5	23+16,35= 39,35 23-16,35= 6,65	12°	6°	16,35mm
6	23+17= 40 23-17= 6	12,5°	6,25°	17mm
7	23+17,65= 40,65 23-17,65= 5,35	13°	6,5°	17,65mm
8	23+18,3= 41,3 23-18,3= 4,7	13,5°	6,75°	18,3mm
9	23+18,9= 41,9 23-18,9= 4,1	14°	7°	18,9mm
10	23+19,55= 42,55 23-19,55= 3,45	14,5°	7,25°	19,55mm

Figur B.1.4. Tabellvärden och kommentarer till test D.

Bilaga 1

Test E

Nedanstående tabell är egna anteckningar som hjälp vid beräkningar och injustering av vinklar vid test E.

Försök nr:	Egna anteckningar (höjd bak- resp. framkant på innerringen)	α	$\frac{\alpha}{2}$	b_v
1	23+16,35= 39,35 23-16,35= 6,65	12°	6°	16,35mm
2	23+17= 40 23-17= 6	12,5°	6,25°	17,0mm
3	23+17,65= 40,65 23-17,65= 5,35	13°	6,5°	17,65mm
4	23+18,3= 41,3 23-18,3= 4,7	13,5°	6,75°	18,3mm
5	23+18,9= 41,9 23-18,9= 4,1	14°	7°	18,9mm
6	23+19,55= 42,55 23-19,55= 3,55	14,5°	7,25°	19,55mm
7	23+20,2= 43,2 23-20,2= 2,8	15°	7,5°	20,2mm
8	23+20,8= 43,8 23-20,8= 2,2	15,5°	7,75°	20,8mm
9	23+21,4= 44,4 23-21,4= 1,6	16°	8°	21,4mm
10	23+22,6= 45,6 23-22,6= 0,4	17°	8,5°	22,6mm

Figur B.1.5. Tabellvärden och kommentarer till test E.

Bilaga 1

Test F

Nedanstående tabell är egna anteckningar som hjälp vid beräkningar och injustering av vinklar vid test F.

Yttering. Höjd i fram- resp. bakkant	Innerring. Höjd i fram- resp. bakkant
14,4mm $23+14,4=37,4$ $23-14,4=8,6$	5,15mm $23+5,15=28,15$ $23-5,15=17,85$
15,05mm $23+15,05=38,05$ $23-15,05=7,95$	5,65mm $23+5,65=28,65$ $23-5,65=17,35$
15,7mm $23+15,7=38,7$ $23-15,7=7,3$	6,2mm $23+6,2=29,2$ $23-6,2=16,8$
16,35mm $23+16,35=39,35$ $23-16,35=6,65$	6,7mm $23+6,7=29,7$ $23-6,7=16,3$
17mm $23+17=40$ $23-17=6$	7,2mm $23+7,2=30,2$ $23-7,2=15,8$

Figur B.1.6. Tabellvärden och kommentarer till test F.

Bilaga 1

Test G

Nedanstående tabell är egna anteckningar som hjälp vid beräkningar och injustering av vinklar vid test G.

Yttering. Höjd i fram- resp. bakkant	Innerring. Höjd i fram- resp. bakkant
-	-
15,7mm 23+15,7=38,7 23-15,7=7,3	5,65mm 23+5,65=28,65 23-5,65=17,35
16,35mm 23+16,35=39,35 23-16,35=6,65	6,2mm 23+6,2=29,2 23-6,2=16,8
17mm 23+17=40 23-17=6	6,7mm 23+6,7=29,7 23-6,7=16,3
17,65mm 23+17,65=40,65 23-17,65=5,35	7,2mm 23+7,2=30,2 23-7,2=15,8

Figur B.1.6. Tabellvärden och kommentarer till test G.