



**CHALMERS**

# Utveckling av Slitageålighetstest för Plastdetaljer

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Maskinteknik

ALI DALAL

LUDWIG HONAUER

**INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP**

---

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2024

[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)

## **Förord**

Rapporten är skriven under våren 2024 på institutionen för Industri- och materialvetenskap på Chalmers Tekniska Högskola. Arbetet omfattar 15 högskolepoäng och är den slutliga delen av högskoleingenjörutbildningen inom programmet maskinteknik. Examensarbetet är utfört i samverkan med företaget FlexLink.

Vi vill tacka samtliga på FlexLink, speciellt Anders Ek, William Sandström för handledningen och stöd under arbetets gång.

Vi vill även tacka examinator och handledare Antal Boldizar för vägledning och goda råd.

## **Sammanfattning**

Syftet med arbetet var att utreda, planera för i möjligaste mån implementera en metod för att utvärdera nötningsbeständighet hos plast i samverkan med företaget FlexLink. FlexLink har i dagsläget en metod för att utvärdera nötningsbeständighet som tar 500–2000 timmar för att ge resultat. Vår målsättning var att reducera tiden till endast 24–72 timmar. Specifika materialval ingick inte i arbetet då fokus ligger på att ta fram en metod preliminärt för de material som används i dagsläget.

Arbetet inleddes med informationsinsamling och studiebesök på RISE i Mölndal och Borås för detaljerad inhämtning inom ämnet. Därefter gjordes en sällning av metoder för att komma fram till en metod med bäst förutsättning att uppfylla syftet.

Metoden som valdes var “Pin on Ring”-metoden. Detta är en modifierad version av “Pin on Disc” som i dagsläget används av FlexLink och RISE som materialtester. Eftersom metoden endast är baserad på den befintliga metoden behövdes ett flertal konceptutvecklingsstadier för att framställa en slutgiltig produkt. Slutligen gjordes CAD-modeller och en riggkonstruktion för att visualisera metoden. Implementeringen kunde dock inte fullföljas på grund av att det saknades ett flertal kritiska komponenter för att bygga utrustningen och därmed kunna valideras och jämföras med den befintliga metoden.

## **Abstract**

The purpose of the project was to investigate, plan, and, as far as possible, implement a method for evaluating the abrasion resistance of plastic in collaboration with the company FlexLink. Currently, FlexLink uses a method for evaluating abrasion resistance that takes 500–2000 hours to yield results. Our goal was to reduce this time to only 24–72 hours. Specific material choices were not included in the project as the focus was on developing a preliminary method for the materials currently in use.

The project began with information gathering and study visits to RISE in Mölndal and Borås for detailed knowledge acquisition on the subject. Subsequently, a selection of methods was made to determine the method with the best potential to meet the objective.

The chosen method was the “Pin on Ring” method. This is a modified version of “Pin on Disc,” which is currently used by FlexLink and RISE for material testing. Since the method is based on the existing method, several concept development stages were needed to produce a final product. Finally, CAD models and a rig construction were created to visualize the method. However, implementation could not be completed due to the lack of several critical components needed to build the equipment and thus validate and compare it with the existing method.

# Innehållsförteckning

<b>1. Inledning .....</b>	<b>1</b>
1.1 Problem .....	1
1.2 Syfte .....	1
1.3 Avgränsningar .....	2
<b>2. Bakgrund.....</b>	<b>3</b>
2.1 FlexLink .....	3
2.2 Material .....	4
2.3 Test .....	5
2.4 Testutrustning.....	6
<b>3. Metod.....</b>	<b>13</b>
3.1 Projektetablering .....	13
3.2 Mätning, Validering och Resultatjämförelse .....	13
3.3 Informationssökning.....	14
3.4 Kartläggning av FlexLinks krav.....	15
3.5 Systematisk sällning till koncept.....	15
3.6 Konceptutveckling .....	20
<b>4. Slutsats.....</b>	<b>27</b>

# 1. Inledning

I inledningskapitlet beskrivs problemet som utgör grunden för arbetet, här förklaras bland annat projektets syfte och avgränsningar.

## 1.1 Problem

FlexLink är ett företag inriktat på att konstruera och förbättra produktionslösningar. Grundläggande för verksamheten är fördelaktiga materialval till specifika produkter. Främst önskas förbättring av möjligheten att mäta mindre skillnader i slitagetåligheten mellan alternativa material med befintliga testmetoder, också att avvägningar av materialval tar lång tid (runt 500–2000 timmar) och skillnader mellan material anses för små för att kunna göra avvägningar om materialval.

## 1.2 Syfte

Examensarbetet har som övergripande syfte att hitta och utveckla samt implementera en mer effektiv metod för att utvärdera nötningsbeständighet hos plast. FlexLink anses i dagsläget inte ha en tillräckligt duglig metod att testa material, då dagens testmetoder som används tar för lång tid och resultaten som fås ger en väldigt otydlig bild på skillnaden mellan materialen. Den långa testtiden och för små skillnader mellan olika material försvårar därmed FlexLinks möjligheter att fatta säkra och informerade beslut.

Arbetet involverade samarbete med sakkunniga från både FlexLink och RISE. Genom samverkan med dessa partners, inklusive en forskare från RISE och handledare från FlexLink, var målet vara att identifiera och implementera en effektiv metod. Experimentella undersökningar eftersträvades för att underbygga valet av metod och säkerställa dess tillförlitlighet. Examensarbetet syftade därmed till att inte bara föreslå en lämplig metod utan också att utvärdera och implementera den som en standard inom företaget.

### **1.3 Avgränsningar**

- Andra testmetoder än abrasiva eller glidande kommer inte att tas upp i rapporten, eftersom dessa typer av slitage anses ha störst inverkan på deras komponenter.
- Arbetet avser metoden för nötningsbeständighet, materialval ligger utanför projektets syfte.

## 2. Bakgrund

### 2.1 FlexLink

FlexLink har ett flertal produkter som består av en kedja (vit) som dras över en glidlist (svart), se figur 1. När kedjan dras uppstår friktion mellan länkarna i kedjan och glidlisten vilket leder till nötning av material och försämrade egenskaper hos produkten. För att lättare testa och förbättra både kedjor och glidlistor ska testutrustningen vara anpassad för applikationen samt relevant material för ovan nämnda komponenter.



*Figur 1, Snitt av FlexLink produkt. från FlexLink (u.å) X85 Plastic Chain Conveyors  
[Rendering] <https://www.flexlink.com/en/solutions/product/x85-plastic-chain-conveyors>*



## 2.2 Material

I dagsläget används plast till kedja och glidlist, nötningstester sker därför endast mellan olika sorters plast.

Enligt Carl Klason och Josef Kubát (2002) är plast uppbyggt av polymerer + tillsatser.

Polymerer definieras med en kedjeformig uppbyggnad, vissa plaster består i stort sett endast av polymerer vilket gör det svårt att särskilja begreppen. Plaster brukar innehålla tillsatser för att kunna uppnå en viss egenskap, några av de vanligaste tillsatserna är enligt Carl Klason och Josef Kubát (2002) följande:

- Stabilisatorer
- smörjmedel och släppmedel
- färgämnen
- brandskyddstillsatser
- antistatmedel
- mjukningsmedel
- fyllmedel
- armeringsmaterial
- jäsmedel

Plast används i stor omfattning i dagens samhälle på grund av sin låga densitet, goda eller användbara egenskaper samt låga priser. Nya regler vad gäller användning av miljöfarliga plaster har gjort att nya mer miljövänliga plaster börjar lanseras på marknaden. Dessa nya plaster måste då testas och valideras så att deras egenskaper är tillräckliga för applikationen.

### **2.3 Test**

Vid testning av nötning på plaster finns det ett flertal faktorer att undersöka. Svårigheten med att korta ner tiden på nötningstest är att resultatet inte nödvändigtvis kommer att motsvara verkligheten. Ju längre från de verkliga förhållandena testet genomförs desto större osäkerhet blir det i resultatet. Genom att öka friktion, hastighet, belastning, m.m., kan testet förkortas men med risken att temperaturen ökar och nötningen ändras.

Användningen av smörjmedel i testmetoden anses inte vara relevant då FlexLink kör sina produkter torra. Att inkludera ett smörjmedel i testet kan påverka resultatet avsevärt och därmed göra testet irrelevant.

## 2.4 Testutrustning

### Pin on Disc

Hos RISE i Mölndal har FlexLink en testrigg för att undersöka friktion mellan två material, metoden refereras till som Pin on Disc, se figur 2. Pin on Disc maskinen hade potentiellt kunnat användas för detta projekts ändamål efter ett flertal modifikationer.



*Figur 2, Pin on Disc test.*

## DIN Abrasion Tester

Maskinen består av en roterande trumma med ett mycket abrasivt material, och en hållare till provexemplaret som förflyttas med linjär och roterande rörelse. Maskinen använder cylinderformade provexemplar under 20 millimeter i diameter och höjd. Provets yta nöts i alla riktningar, detta för att materialet ska slitas oberoende av väv eller fiberriktning i materialet.



*Figur 3, DIN Abrasion Tester.*



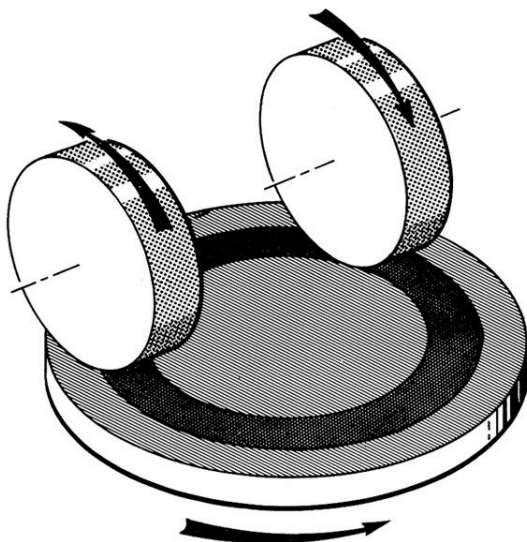
*Figur 4, Närbild av DIN Abrasion Tester.*

## Taber Abraser

Taber Abraser används vanligtvis vid nötningstester av ett flertal olika sorters material inklusive plast och inkluderas i flera ISO-standarder. Maskinen består av en eller två roterande diskar med ett provexemplar på 100x100 millimeter eller en disk med 100 millimeter i diameter, se figur 5. Disken roteras sedan med två viktsatta nötningshjul. Hjulen är placerade tangentiellt förskjutet på en horisontell axel vilket leder till nötning i alla riktningar på provexemplaret, se figur 6. Det finns ett antal variabler för att ställa in testet: last och material på nötningshjul, rotationshastighet och antal rotationer.



Figur 5, Taber Abraser.

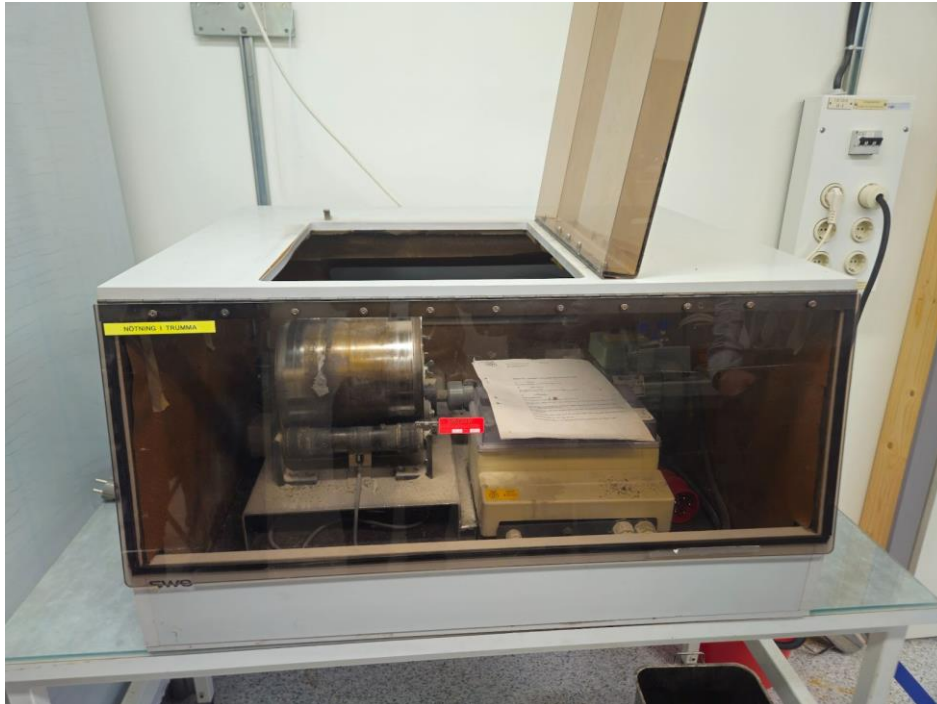


Figur 6, Taber Abraser (Abrader). från Taber Industries (u.å) Taber Abraser (Abrader)  
[Teckning] <https://www.taberindustries.com/taber-rotary-abraser>



## Nötning i trumma

Nötningstrum-metoden består av ett provexemplar som placeras i en trumma tillsammans med 200 gram kvartsit med en kornstorlek på 4–8 millimeter. Trumman roterar med en konstant hastighet under en bestämd tid, därefter vägs provexemplaret och massförlusten beräknas. Denna metod simulerar nötning med lösa partiklar.



Figur 7, Nötning i trumma.



Figur 8, Närbild av nötning i trumma.

## Oscillerande arbrasion

Den oscillerande abrasion testmetoden används främst för att testa genomskinliga plaster och beläggningar, men metoden kan även användas för att mäta slitagetåligheten hos plaster. Maskinen består av en sandbricka där ett provexemplar på 100x100 millimeter och en tjocklek på mindre än 12,5 millimeter monteras på botten av sandbrickan. Brickan fylls till ett enhetligt djup med ett standardiserat abrasivt medium. Maskinen får brickan att oscillera fram och tillbaka vilket leder till att hela den abrasiva massan flyttar på sig inom brickan. Denna rörelse resulterar i en slumpmässig formning av repor, därefter vägs provexemplaret och massförlusten beräknas.



*Figur 9, Oscillating abrasion tester. från Taber Industries (u.å) Oscillating sand abrasion tester [Fotografi] <https://www.taberindustries.com/oscillating-sand-abrasion-tester>*

## Linear abraser

Linear abraser från Taber är designad för att användas på platta eller konturerade ytor och använder sig av en horisontell arm som rör sig linjärt fram och tillbaka. Vid slutet av armen sitter en precisionslager axel med splines som tillåter vertikal rörelse. En vikthållare finns på armen så att extra vikt kan läggas på. Abradanten fästs på armen och en laserriktlinje guide används för att säkerställa att abradanten förflyttas över korrekt område. Resultatet kan erhållas genom att antingen köra testet tills ett visst mål uppnåtts, såsom antalet cykler eller förändringar i utseendet, eller genom att beräkna massförlusten.



*Figur 10, Linear abraser. från Taber Industries (u.å) Linear Abraser (Abrader) [Fotografi]  
<https://www.taberindustries.com/linear-abraser>*



## **Pin on Ring**

Metoden är liknande till den befintliga metoden för materialtest (Pin on Disc) med skillnaden att disken är i en upprätt position och nötningen sker på utsidan av hjulet. Efter diskussion med FlexLink framställdes ett koncept som baseras på denna metod.

### **3. Metod**

Detta projekt genomfördes i följande delar:

- Projektetablering
- Informationssökning
- Kartläggning av FlexLinks krav
- Systematisk konceptsällning
- Koncept validering

#### **3.1 Projektetablering**

Projektet inleddes med strukturering och förtydligande av mål, därefter formulering av en projektplan samt etablering av eventuella kontaktpersoner som kan vara till hjälp både från FlexLink och Chalmers.

#### **3.2 Mätning, Validering och Resultatjämförelse**

För att metoden skall vara användningsbar måste resultaten kunna tolkas på ett effektivt sätt, eftersom testet baseras på verkliga förhållanden måste valideringsmetoden vara så precis som möjligt. Valideringen kommer att ske genom noggrann vägning av både glidlist och kedjelänk både före och efter testet. Eftersom temperaturen är en väsentlig faktor i testningen kommer en värmesensor att användas för att övervaka och säkerställa att temperaturen hålls inom ett specifikt intervall. Vid behov kan luftkylning användas då inga vätskor kan användas eftersom testet skall köras så nära verkligheten som möjligt.

Initialt kommer mätresultaten att jämföras med tidigare utförda tester av FlexLink för att verifiera att de nya resultaten överensstämmer med deras tidigare validerade tester. Denna jämförelse kommer att ge gruppen en förståelse för hur väl testmetoden ställer sig i jämförelse med den tidigare standarden på FlexLink.

### 3.3 Informationssökning

Syftet med att genomföra en informationssökning var att införskaffa en lämplig bakgrund inom tribologi, plast och testteknik. Allmänt ansågs att en god bakgrund inom dessa ämnen är nödvändigt för att uppnå projektets mål. Detta genomfördes i 3 olika faser:

- En generell litteraturstudie om plaster genomfördes, då en djupgående litteraturstudie ansågs vara för tidskrävande samt att den inte skulle vara tillräckligt lönsam. En mer djupgående litteraturstudie om tribologi samt testteknik genomfördes då tribologi och testteknik ansågs vara essentiella för att kunna uppnå projektets mål.
- Huvuddelen av informationssökningen fokuserade på att genomföra en marknadsundersökning. Där syftet var att få en djupare förståelse för testmetoder som används i dagsläget.
- För att utveckla en djupare förståelse och se utrustningen som används vid de olika testmetoderna gjordes ett studiebesök till RISE i både Mölndal och Borås.

Efter denna informationssökning införskaffades nödvändiga kunskaper för att kunna genomföra projektet på ett välgrundat sätt. Detta innefattade att förstå materialens egenskaper och hur de påverkas av olika faktorer, samt att identifiera olika testmetoder som är lämpliga för att utvärdera slitagetålighet.

Inom ramen för informationssökning arrangerades avstämningsmöten med både FlexLink och handledare där dessa möten utgör en integrerad del av projektets process med syftet att kontinuerligt utvärdera och lösa eventuella frågor som uppstår under projektets gång.

### 3.4 Kartläggning av FlexLinks krav

I Tabell 1 presenteras en kriterielista med krav och önskemål som FlexLink och projektgruppen hade på den slutgiltiga testmetoden. Önskemålen viktas på en skala 1–4 från minst viktiga till viktigaste önskemål.

Tabell 1: Krav/önskemålslista

Kriterier	Målvärde	K/Ö	Vikt	Verifieringsmetod	Referens (Kravställare)
<b>Funktion</b>					
Provexemplar från produkt	-	Ö	3	Test	FlexLink
<i>Provexemplaret önskas vara liten nog för att den ska kunna tas från en FlexLink produkt och därmed tillåta testmetoden att även användas som en kvalitetstestningsmetod.</i>					
Mätbart resultat	Massa, volym, etc.	K	-	Mätning	Flexlink
<i>Resultatet på testet ska gå att mäta så att det går att återskapa pålitligt.</i>					
Enkel tillverkning av provexemplar	-	Ö	2	Test	Flexlink
<i>Provexemplaret önskas vara tillverkat på ett vis som tillåter regelbundna tester med minimalt förarbete</i>					
Stansbar med befintlig utrustning	Diameter Max 10-16 milimeter	Ö	1	Test	Flexlink
<i>Provexemplaret önskas vara stansbart med den befintliga utrustningen hos FlexLink för att minska kostnader</i>					
<b>Prestanda</b>					
Kortare tid än befintlig metod	<500 timmar	K	-	Tidtagning	Flexlink
<i>För att projektet ska vara lönsamt behöver metoden vara snabbare än den befintliga metoden, nuvarande test tar minst 500 timmar.</i>					
kort tid för regelbunden QC	<72 timmar	Ö	4	Tidtagning	Flexlink
<i>Företaget önskar att testet ska gå att utföra inom en kort tidsram för att resultatet ska kunna användas inom regelbunden materialkvalitetsanalys.</i>					
<b>Tillgänglighet</b>					
Tillgänglig utrustning hos RISE	-	Ö	4	-	Dalal och Honauer
<i>För att utföra arbetet inom tidsramen önskas det att testutrustningen finns tillgänglig hos någon av de närliggande RISE anläggningarna (Borås/Möndal)</i>					
Tillgänglig utrustning hos RISE Möndal	-	Ö	3	-	Dalal och Honauer
<i>På grund av samarbetet mellan FlexLink och RISE Möndal vore det fördelaktigt utifrån både ekonomiska och logistiska aspekter att utrustningen finns tillgänglig i Möndal</i>					

### 3.5 Systematisk sållning till koncept

När potentiella testmetoder har identifierats behöver gruppen ta reda på vilka av testmetoderna som ska gå vidare i processen.

Detta görs med hjälp av de krav och önskemål från FlexLink som finns i kriterielistan, se Tabell 1. Dessa krav och önskemål används för att sälla ut de sämre testmetoderna på ett systematiskt vis.

Metoderna som används för sållningen är tagna från boken Produktutveckling effektiva metoder för konstruktion och design (Johannesson et al., 2013).

### 3.5.1 Elimineringssmatris

Den första typen av konceptsällning var en elimineringsmatris. Matrisen användes för att eliminera koncept utifrån tre stycken elimineringskriterier. Dessa Elimineringsskriterier kommer från kriterielistan. För att bedöma om en metod skall gå vidare i sällningsprocessen analyseras varje metod noggrant utifrån de krav som har ställts. När en metod anses uppfylla ett krav markeras detta med "+", när en metod inte anses kunna uppfylla ett krav markeras detta med "-" och metoden förkastas. Denna sällning-metoden kommer inte att visa vilken av dessa testmetoder som är bäst utan endast sälla bort de metoder som inte uppfyller kraven. FlexLinks befintliga metod uppfyller tekniskt sett inte kraven men kommer att gå vidare i processen då den anses vara användbar som en referenspunkt vid nästa sällnings metod. Pin on disk klarade inte av kriteriet "Löser huvudproblemet" vilket leder till att den kommer att förkastas och inte gå vidare i sällningsprocessen. Resterande testmetoder uppfyllde alla krav och går vidare i sällningsprocessen.

Tabell 2: Elimineringssmatris

Chalmers	Elimineringssmatris					
Utförd av: Dalal & Honauer						
				+ Ja	+ Behåll lösning	
				- Nej	- Eliminera lösning	
				? Information saknas	? Sök (mer) information	
				! Kontrollera kravspec.	! Kontrollera kravspec.	
Koncept	Elimineringsskriterier			Kommentar	BESLUT	
	Löser Huvudproblemet	Mätbart resultat	Kortare tid än befintlig metod			
Taber Abraser	+	+	+	Klarar kriterierna	BEHÅLL	
DIN Abrasion Tester	+	+	+	Klarar kriterierna	BEHÅLL	
Nötning i trumma	+	+	+	Klarar kriterierna	BEHÅLL	
Oscillating Sand Method	+	+	+	Klarar kriterierna	BEHÅLL	
Linear Abraser	+	+	+	Klarar kriterierna	BEHÅLL	
Falling Sand Abrasion Tester	+	+	+	Klarar kriterierna	BEHÅLL	
Pin on disc	-			Ej befintlig metod	Förkastas	
Pin on ring(koncept)	+	+	+	Klarar kriterierna	BEHÅLL	
Befintlig metod				Med som referens	BEHÅLL	

Följande koncept klarade elimineringssmatrisen och gick vidare till nästa sällnings metod.

- Taber Abraser
- DIN Abrasion Tester
- Nötning i trumma
- Oscillating Sand Method
- Linear Abraser
- Falling Sand Abrasion Tester
- Pin on ring(koncept)
- Befintlig Metod

### 3.5.2 Pugh-matris

Koncepten som uppfyllt alla kriterier från Elimineringssmatrisen rangordnas med avseende på de kriterier som anses vara viktiga för den slutgiltiga metoden att uppfylla. De olika metoderna jämförs mot en referens och bedöms beroende på om de uppfyller kriteriet bättre (+), sämre (-) eller likgiltigt (0).

Kriterierna som användes i Pugh-matrisen är följande:

- Speglar den verkliga nötningen, testet bör ge ett resultat som speglar den verkliga nötningen som kommer att ske när produkten är i arbete hos kunden.
- Kan användas som kvalitetskontroll, detta kriterium var ett önskemål från FlexLink.
- Noggrannhet i mätbarhet, resultatet som fås genom testet måste kunna analyseras och vara konkret.
- Tidsåtgång, tiden som tests behöver köras ska inte vara för lång.
- Kostnad, det skall inte vara för dyrt att eventuellt använda den nya testmetoden.
- Anpassningsbar, testmetoden skall kunna anpassas till olika situationer och tester som till exempel att kunna köra flera test samtidigt.
- Kan testa nytt material, metoden skall inte kräva att detaljen som skall testas måste vara en färdigproducerad kedjelänk eller glidlist.

Gruppen valde att genomföra två Pugh-matriser med olika referenser för att bekräfta att den bäst presterande lösningen var oberoende av referenspunkt. FlexLinks nuvarande testmetod valdes som referenspunkt till första iterationen av Pugh-matriserna medan andra matrisens referens valdes slumpmässigt. Den första Pugh-matrisen visade att Pin on ring presterade bäst medan FlexLinks nuvarande testmetod presterade sämst resterande kom på en delad andra plats. Vid andra iterationen av Pugh-matriserna användes Taber Abraser som referens men eftersom resultatet inte förändras samt att det inte sållades ut tillräckligt många metoder så gick alla metoder förutom FlexLinks nuvarande metod vidare till nästa sållnings metod.

Tabell 3: Pugh-matris 1

Chalmers	Pughmatris 1 (Relativ beslutsmatris):							
Utfärdare: Dalal och Honauer								
Kriterier	Alternativ							
	Referens(Befintlig m	Taber Abraser	DIN Abrasion Tester	Nötning i trumma	Oscillating Sand Method	Linear Abraser	Falling Sand Abrasion Tester	Pin on ring(koncept)
Speglar den verkliga nötningen	R	-	-	-	-	-	-	0
Kan användas som kvalitets kontroll	E	+	+	+	+	+	+	+
Noggrannhet i Mätbarhet	F	0	0	0	0	0	0	0
Tid åtgång	E	+	+	+	+	+	+	+
Kostnad	R	0	0	+	+	0	-	0
Anpassningsbar	E	0	0	-	-	0	+	+
Kan testa nytt material	NS	+	+	+	+	+	+	+
$\Sigma +$		3	3	4	4	3	4	4
$\Sigma 0$		3	3	1	1	3	1	3
$\Sigma -$		1	1	2	2	1	2	0
Nettovärde	0	2	2	2	2	2	2	4
Rangordning	3	2	2	2	2	2	2	1
Beslut	Förkasta	Behåll	Behåll	Behåll	Behåll	Behåll	Behåll	Behåll

Tabell 4: Pugh-matris 2

Chalmers	Pughmatris 2 (Relativ beslutsmatris):							
Utfärdare: Dalal och Honauer								
Kriterier	Alternativ							
	Referens(Taber Abraser)	Nuvarande metod	DIN Abrasion Tester	Nötning i trumma	Oscillating Sand Method	Linear Abraser	Falling Sand Abrasion Tester	Pin on ring(koncept)
Speglar den verkliga nötningen	R	+	0	0	0	0	0	+
Kan användas som kvalitets kontroll	E	-	0	0	0	0	0	0
Noggrannhet i Mätbarhet	F	0	0	0	0	0	0	0
Tid åtgång	E	-	0	0	0	0	0	0
Kostnad	R	0	0	+	+	0	-	0
Anpassningsbar	E	0	0	-	-	0	+	+
Kan testa nytt material	NS	-	0	0	0	0	0	0
$\Sigma +$		1	0	1	1	0	1	2
$\Sigma 0$		3	7	5	5	7	5	5
$\Sigma -$		3	0	1	1	0	1	0
Nettovärde	0	-2	0	0	0	0	0	2
Rangordning	2	3	2	2	2	2	2	1
Beslut	Behåll	Förkasta	Behåll	Behåll	Behåll	Behåll	Behåll	Behåll

Följande koncept klarade Pugh-matriserna och gick vidare till nästa metod.

- Taber Abraser
- DIN Abrasion Tester
- Nötning i trumma
- Oscillating Sand Method
- Linear Abraser
- Falling Sand Abrasion Tester
- Pin on ring(koncept)

### 3.5.3 Kesselringmatrix

Kesselringmatrixen använder sig av samma kriterier som Pugh-matrixen men skillnaden är att kriterierna i Kesselringmatrixen är viktade så att en kvantitativ bedömning där viktigare kriterier har större inflytande på resultatet är möjlig. I denna metod används en "ideal" i stället för en referens då resultatet kommer att jämföras med "idealen", vilket leder till att ett kvantitativt resultat fås. Viktningen sker genom att alla kriterier får ett värde mellan 0–1 där det totala värdet av alla kriterier inte får överstiga 1. Viktningen bestämdes av gruppen och baseras på vilka av kriterierna gruppen anser vara viktigast, en högre viktnings siffra betyder att kriteriet anses vara viktigare än en lägre viktnings siffra. För att kunna få rätt viktning används det ett betygssystem där de olika metoderna betygsätts på en skala mellan 1–5 beroende på hur väl dessa metoder uppfyller kriterierna. Betygen för metoderna multipliceras med viktningen för varje kriterium och på så sätt fås en viktad kvantitativ bedömning av hur väl metoden uppfyller kriteriet relativt till hur viktigt kriteriet anses vara. Dessa siffror summeras sedan för varje metod och sedan jämförs de med "idealen". Det vinnande konceptet blev Pin on ring vilket kommer vara metoden som kommer att tas vidare till nästa steg i processen.

Tabell 5: Kesselringmatrix

Kriterium	Vikt	Ideal		DIN Abrasion Tester		Nötning i trumma		Oscillating Sand Method		Linear Abraser		Falling Sand Abrasion Tester		Pin on ring(koncept)		Taber abraser	
		Betyg 1	Resultat	Betyg 1-5	Resultat	Betyg 1-5	Resultat	Betyg 1-5	Resultat	Betyg 1-5	Resultat	Betyg 1-5	Resultat	Betyg 1-5	Resultat	Betyg 1-5	Resultat
Speglar den verkliga nötningen	0,25	5	1,25	2	0,5	2	0,5	2	0,5	2	0,5	2	0,5	4	1	2	0,5
Kan användas som kvalitetskontroll	0,15	5	0,75	3	0,45	3	0,45	1	0,15	3	0,45	1	0,15	5	0,75	1	0,15
Noggrannhet i Mätbarhet	0,15	5	0,75	2	0,3	2	0,3	2	0,3	2	0,3	2	0,3	3	0,45	2	0,3
Tidåtgång	0,20	5	1	4	0,8	4	0,8	4	0,8	4	0,8	4	0,8	3	0,6	4	0,8
Kostnad	0,05	5	0,25	2	0,1	3	0,15	3	0,15	2	0,1	1	0,05	4	0,2	2	0,1
Anpassningsbar	0,05	5	0,25	3	0,15	3	0,15	2	0,1	3	0,15	3	0,15	5	0,25	3	0,15
Kan testa nytt material	0,15	5	0,75	4	0,6	3	0,45	4	0,6	4	0,6	4	0,6	5	0,75	4	0,6
Totalt viktat värde (=T)	1	35	5	20	2,9	20	2,8	10	2,6	10	2,9	15	2,55	25	4	16	2,6
T/T-ideal			1		0,50		0,56		0,52		0,50		0,51		0,8		0,52
Rangordning				2		3		4		2		5		1		4	



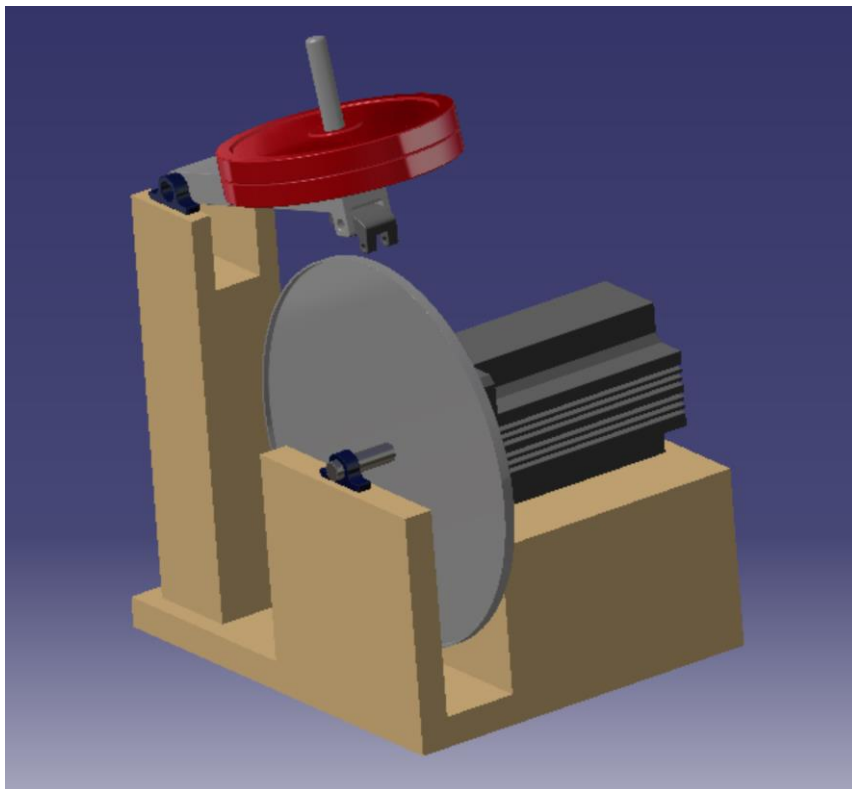
### 3.5.4 Beskrivning av den slutgiltiga metoden

Val av metod gjordes efter flera steg av systematisk konceptsällning, metoden som fastställdes var “Pin on Ring”-metoden. Detta är en modifierad version av “Pin on Disc” som i dagsläget används av FlexLink och RISE som materialtester. Eftersom metoden endast är baserad på den befintliga metoden behövs ett flertal konceptutvecklingsstadier för att framställa en slutgiltig produkt.

Att framställa maskinen “in-house” medförde för- och nackdelar; där den främsta fördelen var en direkt anpassning till behoven vid FlexLink. Maskinen blev också mer kostnadseffektiv då denna inte behöver uppfylla de standarder som befintlig testutrustning arbetar mot.

### 3.6 Konceptutveckling

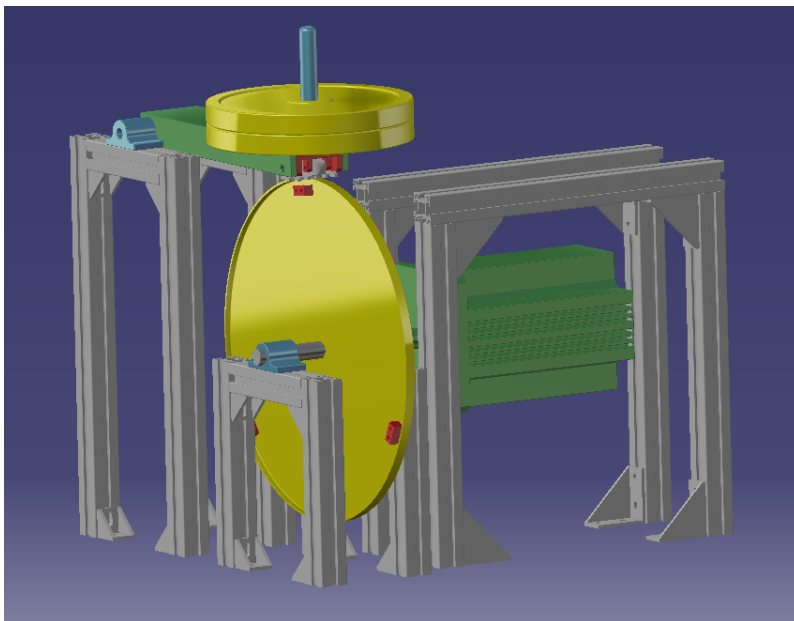
När grundidén var fastställd blev nästa steg att skapa en grundläggande CAD-modell av systemet, se figur 12. Denna modell gjordes enkel för att visa upp grundkonceptet för produkten. Därefter presenterades modellen för FlexLink under ett möte där framtida förbättringar och anpassningar diskuterades inför nästa stadie.



Figur 11, Grundläggande CAD-modell av Pin on Ring 1.0.

Efter diskussion med FlexLink gjordes stora förändringar på konceptet.

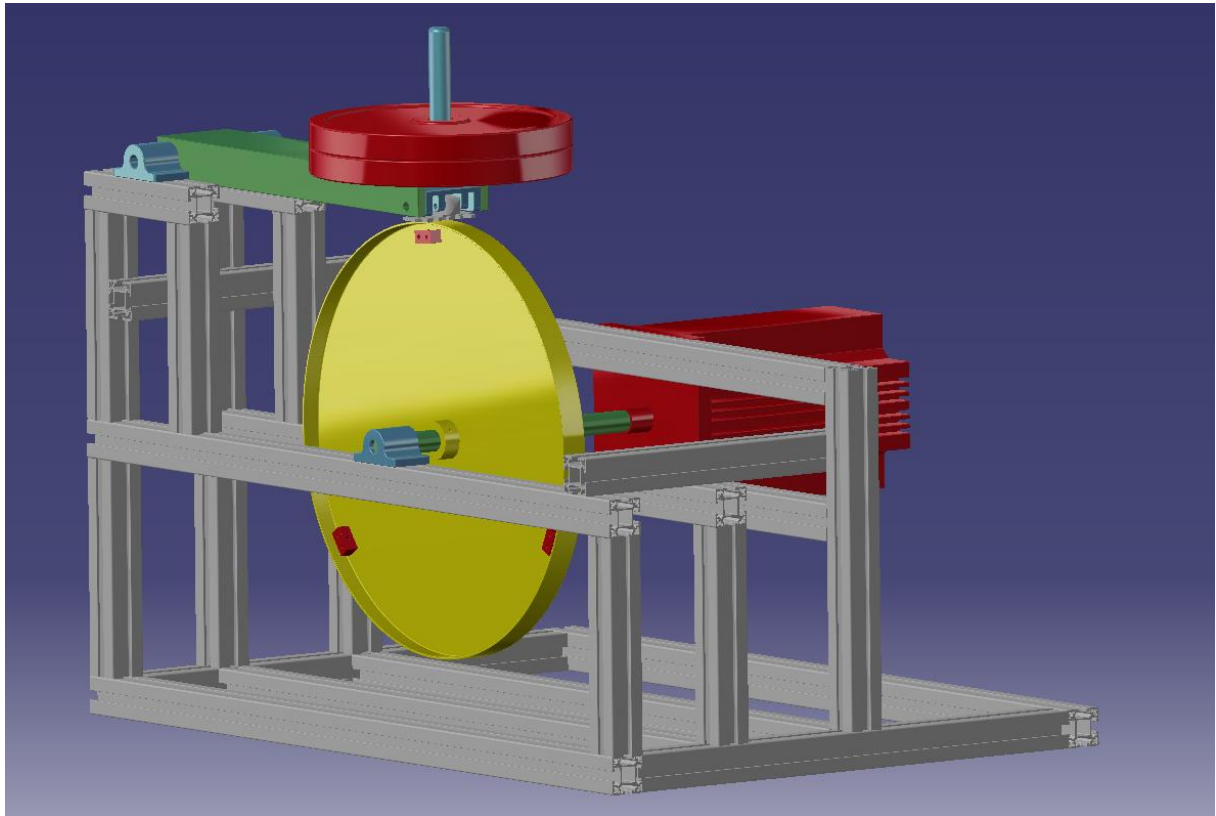
- Viktarmen och kedjehållaren delar centrumaxel för att förebygga rotation av testlänken.
- Axeln är försedd med lager på båda sidorna av ringen för ökad stabilitet.
- Motorn har en infästning motsvarande den på kommersiella motorer.
- Glidlisten går att skruva fast via tre skruvblock (röda).
- Strukturen består av profiler.
- Spårad kant på ringen för glidlist infästning.
- DFM och DFA på ett flertal delar (fokus på viktarm).



*Figur 12, Pin on Ring 1.1.*

Efter ytterligare ett steg av konceptutveckling är modellen nära den slutgiltiga lösningen.

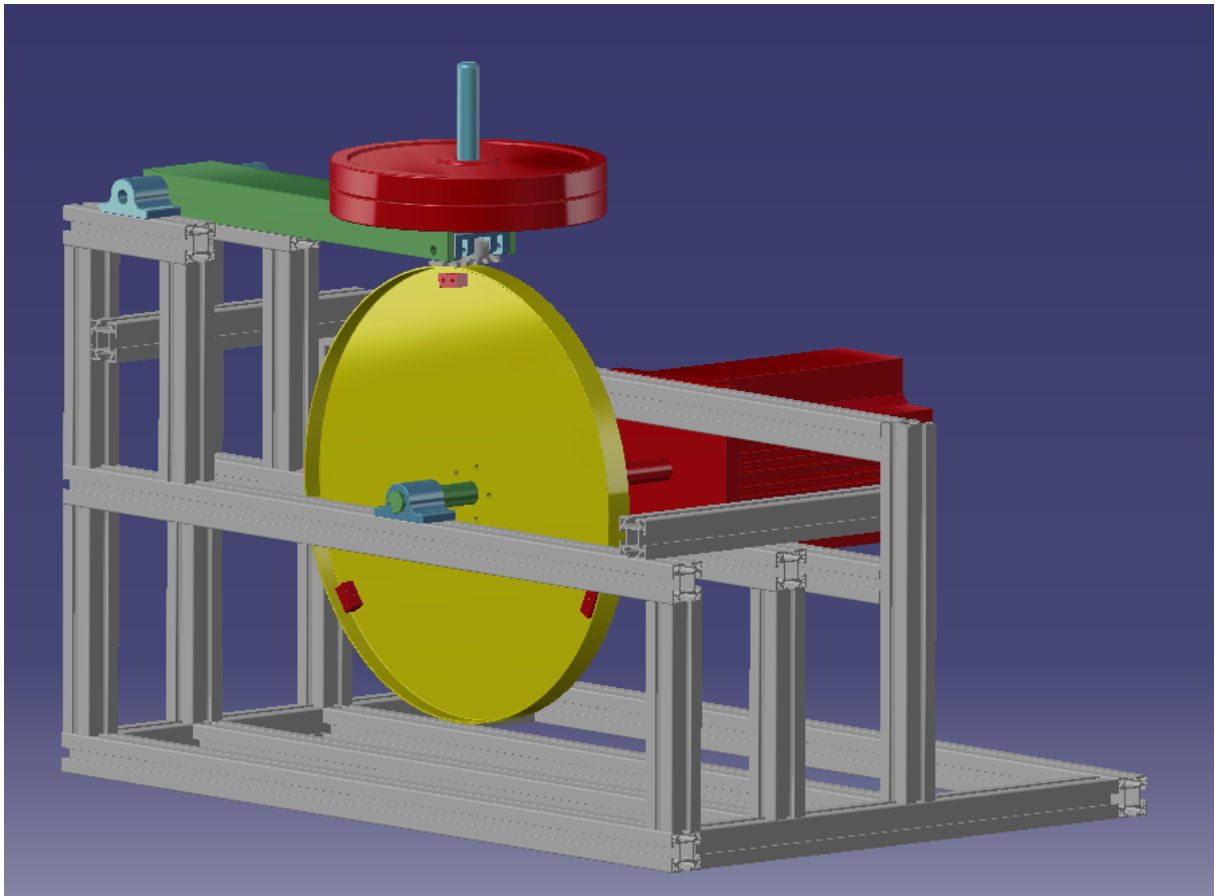
- Spår i ringen för glidlist.
- Styvare och bättre ramstruktur.
- längre viktarm (samma storlek som ringen).



*Figur 13, Pin on Ring 1.2.*

Efter det slutgiltiga mötet kring konceptförbättring gjordes ett flertal små ändringar för att underlätta tillverkning och användningen av produkten. Se förbättringar och figur nedan.

- Hål för att möjliggöra länkinstallation
- Hål för montering av disk på axel
- Omdesign på axelfästning för att stabilisera ringen
- Ytterligare DFM på ringen



*Figur 14, slutgiltig modell av Pin on Ring.*

### 3.7 Riggkonstruktion

När CAD-modellen var accepterad av FlexLink var nästa steg att börja konstruktionen av rigget. Struktur, kedjehållare, glidlisthållare och viktarm tillverkas hos FlexLink medan motor, lagrenheter, viktplattor och ring beställs av leverantör.

För att säkerställa att motorn klarar av belastningen som ställs av testet gjordes en beräkning av kravet på vridmoment. Värdena valdes utifrån föregående testvärden från FlexLink, dimensionerna på utrustningen samt säkerhetsfaktor från handledare. Slutsatsen från beräkningarna var att en motor med ett vridmoment runt 100 Newtonmeter samt en vinkelhastighet på 76.3 rpm var mest lämplig för applikationen, se ekvation 1 & 3.

$$\omega = \frac{120 \text{ m/min}}{\pi \cdot 0.5} \quad (1)$$

$$F = 40 \text{ kg} \cdot 9.8 \text{ m/s}^2 \quad (2)$$

$$\tau = 392 \text{ N} \cdot 0.25 \text{ m} \quad (3)$$

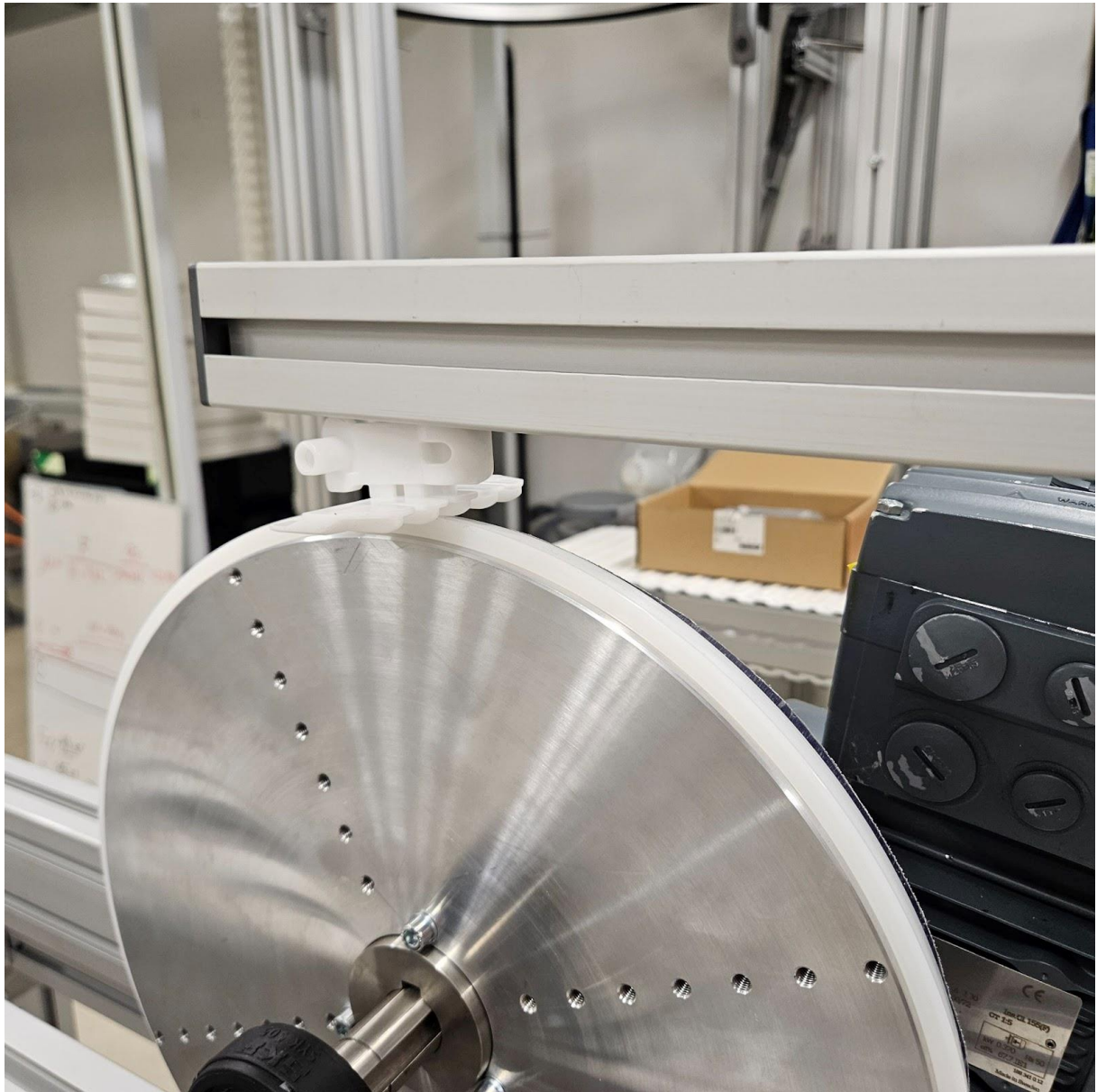
$$\omega = 76.4 \text{ rpm} \quad \tau = 98 \text{ Nm}$$

Riggkonstruktionen påbörjades genom att montera ihop aluminiumprofiler på en basplatta. Redan i första skedet gjordes ett flertal ändringar på strukturen för att möjliggöra montage med befintliga delar i lager. Maskinen byggdes utifrån en basplatta försedd av FlexLink, och profilerna byttes mot större för ökad styvhet, se figur 16 och 17. Viktarmen byttes mot en aluminiumprofil och hållaren till kedjan anpassades därefter. En stor del av komponenterna togs från företagets lager då det inte fanns tillräckligt med tid för att beställa hem de tänkta komponenterna. Ett flertal komponenter kritiska för test av rigg saknades och ersattes av estetiskt liknande delar för bättre visualisering av konceptet.



*Figur 15, slutmodell av rigg.*





*Figur 16, närbild av rigg.*

## **4. Slutsats**

Arbetets syfte var att hitta och utveckla samt implementera en mer effektiv metod för att utvärdera nötningsbeständighet hos plast. Inom given tidsram för examensarbetet.

Implementering hanns dock inte med. Ringen som skulle tillverkas av leverantören hade för lång ledtid vilket innebar att utrustningen inte hann prövas eller jämföras med den befintliga metoden. Däremot anses det finnas gott underlag för vidareutveckling av testmetoden för att uppnå målen utsatta av FlexLink. Den slutgiltiga rekommendationen till företaget blir därmed att fortsätta utveckla "Pin on Ring"-metoden.



## Referenser

Johannesson, H., Persson, J-G., Pettersson, D., Kullinger, B. (Red). (2013) Produktutveckling effektiva metoder för konstruktion och design (2 uppl.) Liber

Klason, C., Kubát, J., Boldizar, A. (Red)., & Rigdahl, M. (Red). (2002) Plaster materialval och materialdata (6 uppl.). Liber

Linear Abraser (Abrader)

Mahadeshwar, M. (2016) Abrasive Wear, <https://www.tribonet.org/wiki/abrasive-wear/>

Oscillating sand abrasion tester

Svenska institutet för standarder [SIS]. (2023). Vulkat gummi och termoelast– Nötningsprovning– Vägledning (ISO 23794:2023). Svenska institutet för standarder. <https://www.sis.se/produkter/gummi-och-plastindustri/gummi/ss-iso-237942023/>

Taber Abraser (Abrader)

Wiesinger, F., Sutter, F., Fernández-García, A., Reinhold, J., & Pitz-Paal, R. (2015). Sand erosion on solar reflectors: Accelerated simulation and comparison with field data. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2015.10.036>

X85 Plastic Chain Conveyors

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH  
MATERIALVETENSKAP  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige 2024  
[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)



**CHALMERS**