



# CHALMERS

---



## **Omkonstruktion av utsugsarm** Produktutveckling genom Reverse engineering

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik

Mattias Johansen  
Adam Åkesson



# Omkonstruktion av utsugsarm

## Produktutveckling genom Reverse Engineering

Mattias Johansen  
Adam Åkesson

Handledare: Torbjörn Ylipää

Examinator: Torbjörn Ylipää

Institutionen för Industri- och materialvetenskap  
Avdelning: Produktionssystem  
Chalmers tekniska högskola  
Göteborg, Sverige 2019

Omkonstruktion av utsugsarm  
Produktutveckling genom Reverse Engineering  
Mattias Johansen & Adam Åkesson

© Mattias Johansen & Adam Åkesson, Sverige, 2019

Institutionen för Industri- och materialvetenskap  
Avdelningen Produktionssystem

Chalmers Tekniska Högskola  
SE-412 96 Göteborg  
Sverige  
Telefon: + 46 (0)31-772 1000

Omslag: Rendering av den framtagna konstruktionen som CAD-modell

Chalmers digitaltryck

Göteborg, Sverige 2019

# FÖRORD

Denna rapport redovisar den produktutveckling som genomförts som examensarbete för en examen inom Maskinteknik på Chalmers tekniska högskola, Göteborg. Arbetet går under *Institutionen för Industri- och materialvetenskap* på Chalmers tekniska högskola, Göteborg. På uppdrag av Scandinavian Enviro Systems konstruerades en utsugsarm, vars syfte att tömma en reaktor på stålvajer skulle uppfyllas. Genom metoden *Reverse engineering* utfördes produktutvecklingen på ett systematiskt och beprövat sätt där erfarenheter från befintliga konstruktioner utvärderas och används som underlag. Arbetet omfattar 30 högskolepoäng fördelade på två studenter och utfördes på halvfart under perioden januari 2019 till juni 2019. Arbetet har handletts av forskaren och läraren på avdelningen för *Produktionssystem*, Torbjörn Ylipää som också är examinator för examensarbetet.

Under arbetet gång har anställda på Scandinavian Enviro Systems varit till stor hjälp och tillhandahållit väldigt användbar information och sådan fakta som endast kan fås från erfarenhet. Vi skulle därför vilja tacka Bengt-Sture Ershag, utvecklingschef, och Olov Ershag, operativ chef på Scandinavian Enviro Systems.

## SAMMANFATTNING

Detta examensarbete har haft som syfte att konstruera en utsugsarm utformad för att på ett effektivt sätt kunna tömma Scandinavian Enviro Systems reaktor på stålvarer. Det skulle undersökas hur en mer simplificerad utsugsarm skulle varit konstruerad, med vilken typ av cylindrar och om det skulle varit möjligt att finna en originell lösning till att utföra huvudfunktionen på ett mer effektivt sätt.

Den metod som användes under projektet var produktutvecklingsmetoden *Reverse engineering*, av Otto, K och Wood, K. Metoden följdes i stort sett under hela projektet med undantag från de tillfällen då metoden behövde kompletteras. En referensprodukt valdes vars syfte är att användas som utgångspunkt för utvärderingar och jämförelse. I projekt användes till detta den konstruktion som idag används i Enviros anläggningar.

Enligt metoden ska det efter tillräcklig informationsinsamling beslutas om omkonstruktion ska genomföras *parametrisk*, *adaptiv* eller *originell*. I detta projekt beslutades det att gör omkonstruktionen *adaptiv* då *parametrisk* inte var relevant. En originell omkonstruktion var inte nödvändig då det inte rådde någon större konflikt mellan referenskonstruktionens funktioner och de användarkrav som ställdes på den.

Då omkonstruktionen genomfördes *adaptiv* var den framtagna konstruktionens design lik referenskonstruktionens men enklare. Många av dess delsystemen återanvändes vid omkonstruktionen, vilket är bra ur flera aspekter. Bland annat för att man vid användning av beprövad teknik kan reducera resursbehovet vid produktutveckling och inte är i lika stort behov av att utföra fysiska tester på obeprövade delsystem.

Projektet har begränsats av att det varken funnits en fysisk referensprodukt att testa och demontera eller möjlighet till fysiska tester på framtagna delsystem eller koncept. Detta ledde således till att detaljkonstruktion av delsystem inte skulle komma att genomföras. Exempelvis omfattade konstruktionen inte sådana delar som tätningar, komponentsammanfogningar eller fullständig design av integrationen med anslutande system.

## ABSTRACT

This thesis work purpose has been to construct an arm designed to efficiently extract steel wire from a reactor designed by Scandinavian Enviro Systems. A study about how in a more simplified way steel wire could be extracted from the reactor by using air flow was conducted. The study was supposed to bring answers to the following questions; if a simplification of the extraction arm is possible? Which kind of cylinders would be best suited for the extraction arm? If it would be possible to make an original redesign to perform more efficiently.

The method used during this project was the method for product development by Otto, K and Wood, K, *Reverse engineering*. The method was followed largely throughout the project, with the exception of a few steps that needed additional analyses. In order to perform the method, a reference product must be chosen whose purpose is to be used as a reference for evaluations and comparisons.

According to the method, after enough information collection, it must be decided whether the redesign should be *parametric*, *adaptive* or *original*. In this project, it was decided to make the redesign *adaptive*. A *parametric* redesign was not relevant as several subsystems from the reference product could be excluded and an *original redesign* was not necessary as there was no major conflict between the reference product functions and the customer needs.

Because the redesign was made *adaptive*, the product developed in the project is quite similar to the reference construction. Many of the subsystems in the reference construction are reused when designing the new product, which is good from several aspects. By using proven technology when redesigning, the required resources can be reduced. Another benefit of using proven technology is that one can say with greater certainty that the subsystems will function in the correct way without the need of doing thorough testing.

The project has been limited by the fact that there has been no physical reference product to test and disassemble or the possibility to do physical tests on subsystems or developed concepts. This led to the fact that the subsystems weren't being designed in detail. For example, the design did not include such parts as seals, brackets or full design of the integration with connecting systems.

## BETECKNINGSLISTA

Scandinavian Enviro Systems - Benämns även som Enviro

Kundvärde - Värde av den nytta som en produkt kan ge kund

Brainstorming - Metod att där tankar i en grupp får löpa fritt för att ta fram nya idéer

Konceptgenerering - Genom olika kreativa processer tas det fram flera olika koncept

Sugrör - Den konstruktion där stålvarer färdas, från reaktor till separationstank

Rotationssystem - Den del av sugröret vid infästning som möjliggör att sugrör kan rotera och ändå vara tätt

Sträckgräns - Den spänning då plastisk deformation uppstår i ett material

Slaglängd - Den sträcka som kolven hos en cylinder kan färdas

Utsugsarm - Ett samlingsnamn för konstruktionen

Vakuumsystem - Där fläkt som används för att skapa luftsug verkar

Hydraulcentral – Systemet som driver fluiden till cylindern

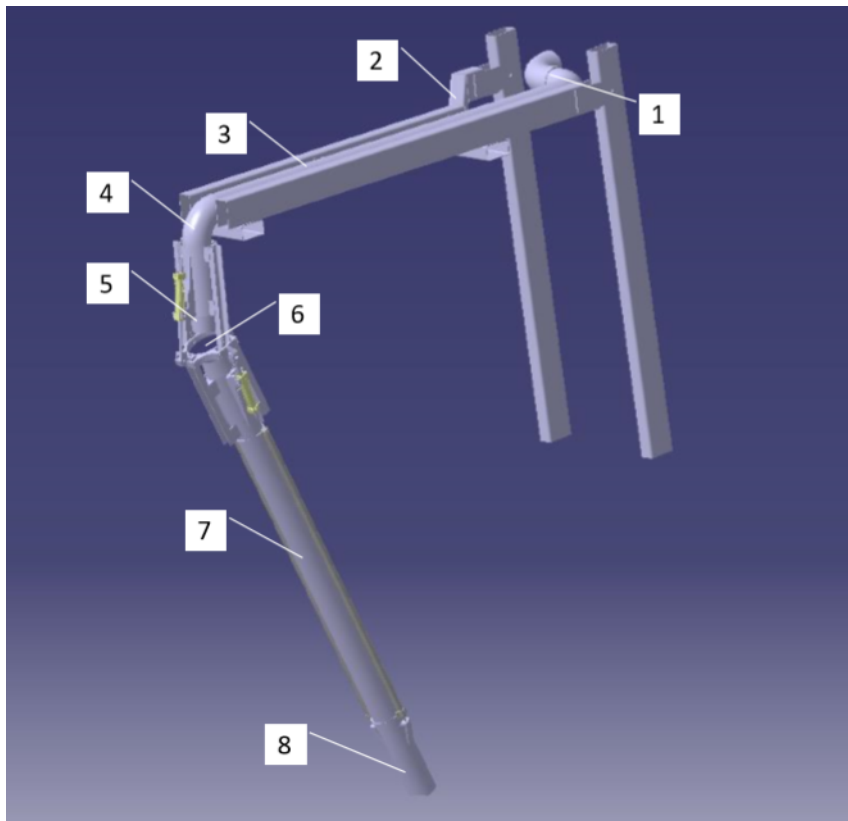
PLC-system - *Programmerbart styrsystem*, kopplas till ett operatörsgrenssnitt

Reaktor - Behållare som fylls med bitar av bildäck där pyrolyprocessen sker

Projektgrupp - De två studenter som tagit fram produkten och skrivit rapporten

Referenskonstruktion - Utsugsarmen som används i Åsensbruk





1. Rotationssystem
2. Bärande konstruktion
3. Horisontellt rör
4. Krök
5. Knäled
6. Kulrörsled
7. Övre teleskoprör
8. Undre teleskoprör

# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

<b>1. INLEDNING .....</b>	<b>1</b>
1.1 Bakgrund .....	1
1.1.1 Processen .....	1
1.1.2 Utsugsarmen .....	2
1.2 Syfte .....	3
1.3 Precisering av frågeställning .....	4
1.4 Avgränsningar .....	4
1.5 Rapportens disposition .....	4
<b>2. TEORETISK REFERENSRAM .....</b>	<b>5</b>
2.1 Reverse engineering .....	5
2.1.1 Steg 1: Undersökning, Förutsägelse, Hypotes .....	6
2.1.2 Steg 2: Konkret erfarenhet .....	7
2.1.3 Steg 3: Funktionsanalys .....	8
2.1.4 Steg 4: Konceptbegränsning .....	8
2.1.5 Steg 5: Utformning av tekniska specifikationer .....	8
2.2 Modellering och analys .....	10
2.2.1 Steg 6: Modellutveckling .....	10
2.2.2 Steg 7: Analysstrategier .....	10
2.3 Omkonstruktion .....	10
2.3.1 Steg 8: Parametrisk omkonstruktion .....	10
2.3.2 Steg 9: Adaptiv omkonstruktion .....	11
2.3.3 Steg 10: Originell omkonstruktion .....	12
2.4 Detaljutveckling och verifiering .....	12
2.4.1 Finita elementmetoden .....	12
2.4.2 Cylindrar .....	13
2.4.3 Failure modes and effects analysis .....	13
<b>3. METOD .....</b>	<b>14</b>
3.1 Reverse engineering .....	14
3.1.1 Steg 1: Undersökning, Förutsägelse, Hypotes .....	14
3.1.2 Steg 2: Konkret erfarenhet .....	14
3.1.3 Steg 3: Funktionsanalys .....	15
3.1.4 Steg 4: Konceptbegränsning .....	15
3.1.5 Steg 5: Utformning av tekniska specifikationer .....	15
3.2 Modellering och analys .....	15
3.2.1 Steg 6: Modellutveckling .....	16
3.2.2 Steg 7: Analysstrategier .....	16
3.3 Omkonstruktion .....	16
3.3.1 Steg 9: Adaptiv Omkonstruktion .....	16
<b>4. RESULTAT .....</b>	<b>18</b>
4.1 Reverse engineering .....	18
4.1.1 Steg 1: Undersökning, Förutsägelse, Hypotes .....	18
4.1.2 Steg 2: Konkret erfarenhet .....	20
4.1.3 Steg 3: Funktionsanalys .....	22
4.1.4 Steg 4: Konceptbegränsning .....	23
4.1.5 Steg 5: Utformning av tekniska specifikationer .....	24
4.2 Modellering och analys .....	24
4.2.1 Steg 6: Modellutveckling .....	24
4.2.2 Steg 7: Analysstrategier .....	25

<i>4.3 Steg 9: Adaptiv Omkonstruktion</i> .....	26
4.3.1 Pugh-matris .....	27
4.3.1.1 Koncept 2 – 90 .....	27
4.3.1.2 Koncept 3 – Sväng .....	28
4.3.1.3 Koncept 6 – Tele .....	28
4.3.2 Kesselringmatris .....	29
4.3.3 Koncept 90 .....	29
4.3.3.1 Rör, längd, teleskop diameter.....	30
4.3.3.2 Rotationssystem .....	33
4.3.3.3 Knäled .....	34
4.3.3.4 Bärande konstruktion .....	35
4.3.3.5 FE-modellering.....	37
4.3.3.6 Val av cylindrar .....	39
4.3.3.7 FMEA/Utvärdering.....	42
<b>5. DISKUSSION</b> .....	<b>43</b>
5.1 Konstruktionen .....	43
5.2 Metoddiskussion .....	44
5.3 Validitet.....	44
<b>6. SLUTSATS</b> .....	<b>45</b>
6.1 Frågeställning och syfte .....	45
6.2 Erfarenhet och lärdomar .....	45
6.3 trovärdighet och vidare arbete.....	45
<b>REFERENSER</b> .....	<b>46</b>
<b>BILAGOR</b> .....	

# 1. INLEDNING

Projektet har genomförts med Scandinavian Enviro Systems som uppdragsgivare. Företaget utvecklar, bygger och säljer anläggningar som används för att utvinna material ur uttjänta bildäck. Detta kapitel innehåller all bakgrund för uppsats, innefattande syfte, avgränsningar och frågeställning.

## 1.1 Bakgrund

Scandinavian Enviro Systems verksamhet styrs från dess kontor i Göteborg samt har pilotanläggning lokaliserad i Åsensbruk, Dalsland. Anläggningen var tidigare ett pappersbruk men när bruket lades ner flyttade Enviro in i de gamla brukslokalerna för att bygga den första versionen av deras teknik som återvinner däck. Två reaktorer byggdes i anläggningen för att kunna hålla igång produktionen på önskad nivå. Återvinningsanläggningen är dimensionerad för 6000 ton däck per år trots att den sällan producerar i denna kvantitet.

Den femte februari 2019 fick företaget ett hyreskontrakt påskrivet för en anläggning i Danmark. Anläggningen i Danmark kommer ha samma syfte som den i Åsensbruk, att återvinna bildäck. Dock kommer lokalen vara annorlunda eftersom Enviro den här gången inte hyr in sig i en redan befintlig lokal utan kan planera anläggningens layout för att på lämpligaste sätt kunna bygga upp en anläggning för att återvinna dem organiska materialen i uttjänta bildäck. Det är så att en ny och optimerad version av reaktorn som pyrolysen utförs i, även används i den nya anläggningen.

### 1.1.1 Processen

På grund av sekretess kommer ingen djupare beskrivning för hur material utvinns ur de uttjänta bildäcken kunna återges. Processbeskrivningen kommer istället i huvudsak koncentreras runt den del av processen som berör eller sker i anslutning till tömningen av material från reaktorn efter pyrolyprocessen.

Uttjänta bildäck från återvinningsbolaget Ragn-Sells levereras till fabriken i uppklippta bitar om 50 gram som ses i figur 1.1. När reaktorn ska fyllas på med bildäcken transporteras de uppklippta bitarna ner i reaktormynningen via ett transportband. När reaktorn sedan är fylld till toppen stängs locket, därefter utförs Enviros patenterade pyrolysteknik, *Carbonize by Forced Convection* (CFC). Detta leder till att de organiska materialen i bildäcket löses upp och sedan avlägsnas från reaktorn i gasform. När pyrolyprocessen är avklarad öppnas locket på reaktorn för att tömmas på stålvejern som är kvar efter att gummit har förångats bort under processen. Tömningen är därför främst av stålvejer och sker, precis som påfyllningen, från öppningen på reaktorns ovansida. Detta görs genom att föra ner en utsugsarm med syftet att suga upp materialet genom ett starkt inflöde av luft. Materialet transporteras sedan vidare till en separationstank för att separera det uppsugna materialet, stålvejer och den mindre mängden kol.



*Figur 1.1, Exempel av uttjänt och uppklippt bildäck med stålvajer*

### **1.1.2 Utsugsarmen**

Utsugsarmen används som tidigare nämnt för att suga upp material ur reaktorn. Projektet för att ta fram den konstruktion som används idag genomfördes som ett konsultuppdrag av ÅF. Efter installationen av ÅF:s konstruktion har flertalet förbättringar gjorts. Bland annat har lampor och förstärkningar i kritiska punkter adderats.

Styrningen av utsugsarmen som används i Åsensbruk sker manuellt av en operatör som står bredvid reaktoröppningen och manövrerar utsugsarmen med en joystick utan några hjälpmedel, såsom en kamera eller sensorer, för bättre uppfattning om rörets position. Styrning sker på sådant sätt att joystickens skickar signaler till hydraulsystemet som i sin tur styr de hydrauliska cylindrarna på utsugsarmen.

Utsugsarmen som ÅF konstruerat som ses i figur 1.2, har sex axlar och åtta cylindrar. Den är monterad på ett fackverk som är fäst och står på golvet. Då utsugsarmen används för två reaktorer finns en cylinder som används för att flytta armen mellan reaktorerna. Där finns en cylinder som används för att lyfta upp hela konstruktion. Detta är nödvändigt för att föra röret upp ur eller ner i reaktorn men även för att ändra rörets läge vid tömningsprocessen. Två cylindrar är placerade på varsin sida det horisontella röret med syfte att förlänga och förkorta detta rör för att öka armens rörelseomfång. På knäleden finns två cylindrar som har som syfte att styra i vilken riktning det vertikala röret ska peka åt. Det vertikala röret har i sin tur, precis som det horisontella röret, cylindrar för att kunna justera hur mycket teleskopröret ska skjutas ut. Det är dessa cylindrar som reglerar hur djupt ner i reaktorn rörets mynning ska vara.



*Figur 1.2, CAD-modell över utsugsarmen i Åsensbruk*

## **1.2 Syfte**

Projektet syftar till att konstruera en utsugsarm utformad för att på ett effektivt sätt kunna tömma Scandinavian Enviro Systems reaktor på stålvajer och kol som är kvar efter pyrolyspolprocessen. Detta skall göras med hänsyn till övrig utrustning och anslutande system, samt att konstruktion ska arbeta på ett enklare sätt än det sugrör som används idag.

### 1.3 Precisering av frågeställning

De frågeställningar som i detta kapitel presenteras, ska efter att arbetet slutförst, besvaras i rapport.

- Hur skulle en mer simplificerad utsugsarmen vara konstruerad för att fortsatt kunna utföra dess huvuduppgift?
- Vilken typ av cylindrar är mest lämpliga att använda för att uppnå önskade egenskaper?
- Skulle produkten kunna konstrueras på ett originellt sätt för att utföra huvudfunktionen på ett mer effektivt sätt?

### 1.4 Avgränsningar

För att arbetets omfattning ska ligga på en rimlig nivå och vara genomförbart, har avgränsningar tagits fram i samtal med Scandinavian Enviro Systems. Med dessa avgränsningar som styrning kan arbete genomföras inom de 800 arbetstimmar som projektet skall omfatta. Begränsningen av tid medför även begränsningar i arbetets omfattning och detaljnivå.

Det kommer inte att konstrueras en fysisk modell av den framtagna konstruktionen då detta på grund av storlek och komplexitet hade krävt stora resurser. Programmering och styrning av konstruktion kommer inte heller behandlas då det finns begränsningar i kompetensnivå inom området. Det kommer inte heller i detta skede utföras några fysiska tester för att studera olika krafter och fysikaliska parametrar. Konstruktion fram till infästning kommer att behandlas men sugrörets infästning och hur denna bär upp sugröret, exkluderas från arbete.

Även materialval bestäms redan från start till stål då det är beprövat och underlättar inköp av komponenter, samt att detta är något uppdragsgivaren önskat.

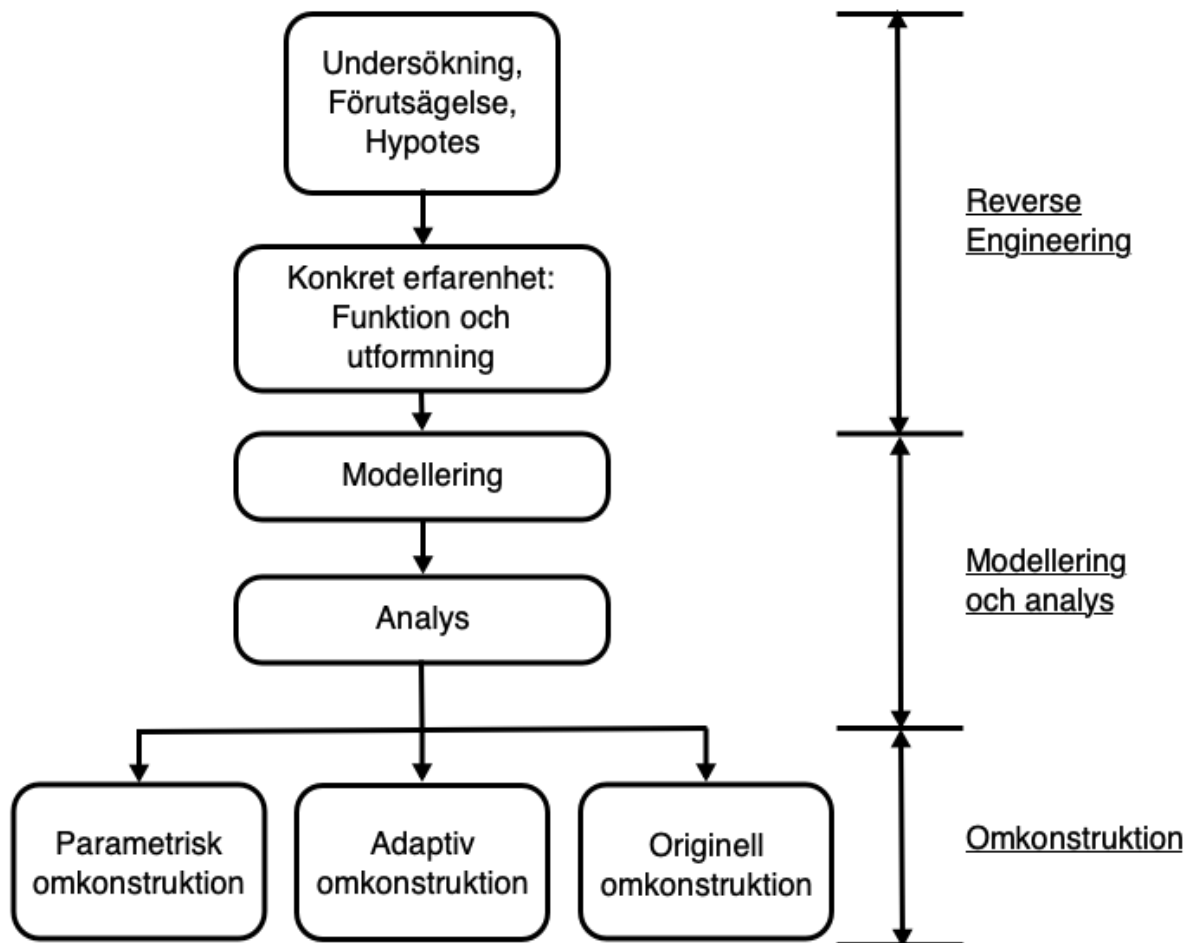
### 1.5 Rapportens disposition

Rapporten är uppbyggd på sådant sätt att kapitlen *teoretisk referensram*, *metod* och *resultat* i stort sätt använder sig av samma underrubriker. Uppstår frågor till exempel vid läsning av *resultat*-kapitlet, gör detta det enkelt för läsaren att gå tillbaka till *teoretisk referensram* för att läsa den bakomliggande teorin för resultatet.

På uppmaning av Scandinavian Enviro Systems kommer vissa känsliga uppgifter att exkluderas ur rapport. Uppgifter såsom exakta mått och dimensioner på Enviros patenterade reaktor, kommer ej tas upp i rapport även om det delvis har påverkat resultatet.

## 2. TEORETISK REFERENSRAM

I detta kapitel förklaras produktutvecklingsmetoden *Reverse engineering* samt kompletterande teori. Metoden är ett sätt att utvärdera tidigare produkter och lösningar och använda dessa som grund för att utveckla en ny design och konstruktion. Med tidigare produkter som utgångspunkt kan det avgöras vilken design som är tillräckligt bra, vad som kan förbättras och hur en ny produkt skulle kunna överträffa den befintliga. I figur 2.1 nedan illustreras metoden som innefattar tre övergripande faser; *Reverse engineering*, *Modellering och analys*, *Omkonstruktion*.



Figur 2.1, Illustration över modellen Reverse engineering

### 2.1 Reverse engineering

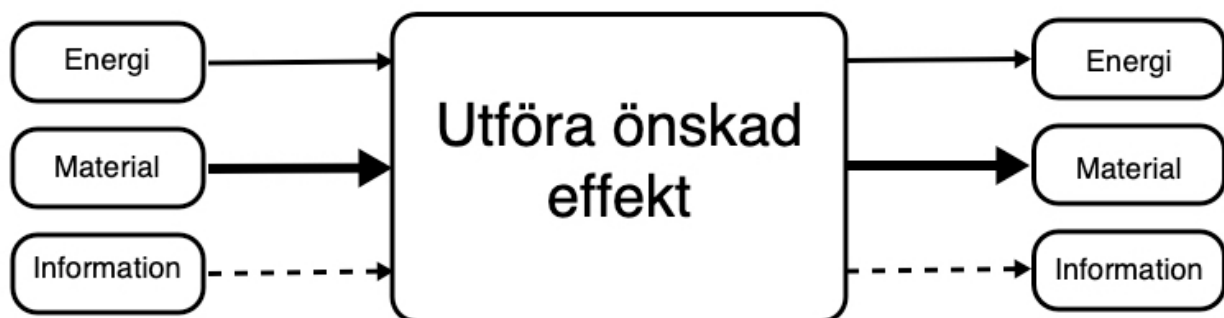
*Reverse engineering* är den första fasen i Otto och Woods arbetsgång för produktutveckling. Fasen är uppdelad i fem steg som nedan presenteras i kronologisk ordning. (Ingle, K, 1994; Otto, K & Wood, K, 1996)



### 2.1.1 Steg 1: Undersökning, Förutsägelse, Hypotes

Den första nivån i Otto och Woods metodologi *Reverse engineering* är att göra en tydlig och strikt problemformulering. Detta följs sedan upp av att projektgruppen ska göra en *Black box-modell*. Modellen används för att identifiera vilka flöden som går in och ur systemet med avseende på flöden av material, energi och information. Flödena illustreras sedan i en enda block-modell. Syftet är att erhålla kunskap om produktens ändamål utan någon större kunskap om produktens olika komponenter. Otto och Wood menar att fördelen med att göra en *black box-modell* med låg kunskapsnivå om produktens komponenter ger förutsättningen för att bibehålla en opartisk ställning gentemot framtida koncept.

(Bunge, M, 1963; Otto, K & Wood, K, 1996; Otto, K & Wood, K, 2001, kap. 5.5, ss. 162-163)



Figur 2.2, En generell black box-modell

Kundens åsikter är mycket viktiga för att konstruera en fungerande och användarvänlig produkt. Därför är en väsentlig del att samla information om hur produkten upplevs från ett kundperspektiv. För att erhålla denna information finns det flertalet tillvägagångssätt, exempelvis kan man testa produkten praktiskt, använda sig av fokusgrupper eller genomföra intervjuer med enskilda användare.

(Otto, K & Wood, K, 1996)

Designgruppen har vid detta stadiet en tillräckligt bra bild över kundbehoven för att kunna bedöma den potentiella ekonomiska avkastningen för vidare produktutveckling. Underlag för att fatta ett beslut om produktutvecklingen ska fortsätta eller avbrytas ska tas fram. Om produktutvecklingen beslutas att avbrytas kan detta bero på att den antagna ekonomiska avkastningen är för låg.

(Otto, K & Wood, K, 1996)

Om beslut fattas att gå vidare med produktutvecklingen inleds momentet som i metoden kallas *Beslutsbestämelse*. På denna nivå ska en *processbeskrivning* innehållande tre faser; förberedande, utförande och utslag, tas fram. I varje fas ska man sammanlänka och lista övergripande kundaktiviteter för att kunna bestämma produktens egenskaper. Dessa egenskaper ska sedan sammanställas i ett *aktivitetsdiagram*. Diagram ska visualisera produktens hela livslängd från förvärv till avyttring eller återvinning. När ett *aktivitetsdiagram* görs måste avgränsningar sättas upp för att inte tappa fokus på det som är viktigt, exempelvis användarupplevelsen.

(Hubka, Andreasen, Ernst Eder, 1988; Otto, K & Wood, K, 1996)

När sammanställningen av *processbeskrivningen* är gjord ska den kompletteras av kundbehoven som tillsammans ska utgöra en god grund för vidare produktutveckling. Nästa steg blir då att uttrycka samband mellan dåligt uppfyllda kundkrav hos referensprodukten och orsak till dessa. Detta kan visualiseras i ett så kallat *orsak-verkan-diagram* även kallat *fiskbensdiagram*. I modellen anges det bristfälligt uppfyllda kundkravet och utifrån detta dras linjer i form av ett fiskben. Fiskbens-strukturen fylls sedan med de orsakerna till att kundkravet inte uppfylls. Tänkbara skäl till dessa orsaker binds samman och detta åskådliggör då grundorsaken till de problem som referensprodukt lider av.

(DeFeo, J & Juran, J. 2010; Otto, K & Wood, K, 1996)

### 2.1.2 Steg 2: Konkret erfarenhet

Enligt Otto och Wood är konkret erfarenhet och kunskap det väsentliga att få med sig ur steg två av produktutvecklingsmetoden. Projektgruppen ska därför sätta sig in i och förstå den befintliga produkten på teknisk detaljnivå. En befintlig produkt används sedan under hela metoden som en referens att jämföra med. Incitamentet till produktutveckling är att öka kundvärdet genom att göra en bättre produkt än det som redan finns på marknaden. Genom att överträffa referensprodukten säkerställs det att kundvärdet ökar. Processen ska inledas med att formulera designproblem och några av de utmaningar som projektgruppen står inför. Genom att göra detta innan produkten monteras isär och granskas djupare, minimerar man risken för tunnelseende eller att projektgruppen ska bli subjektiv i framtida designval. Efter att designproblem är formulerade ska produkten demonteras och dissekteras. Under demontering ska gruppen göra en *stycklista* som ska innefatta alla komponenter i produkten. *Stycklistan* ska kompletteras med en *sprängskiss* över hela produkten.

(Otto, K & Wood, K, 1996; Otto, K & Wood, K, 2001)

Otto och Woods förespråkar att man efter detta ska använda *Subtract and Operate Procedure* (SOP). Den innehåller fem steg och har som syfte att identifiera funktionen i en specifik komponent. Detta görs för att reducera risken att produkten är överdesignad. Om en produkt är överdesignad innebär det att två eller fler separata komponenter används för att erhålla en underfunktion som mer effektivt skulle kunna utföras med ett färre antal komponenter. Steg ett i SOP är att ta bort en komponent från produkten och sedan montera ihop produkten igen så att den är funktionsduglig. Om det inte går att montera ihop en funktionsduglig produkt bör man försöka simulera funktionen av den borttagna komponenten. Steg två bygger på att testa produktens samtliga kundbehov och funktioner efter att den har monterats ihop för att sedan i steg tre analysera effekterna av komponentborttagningen. Om effekten inte tydligt går att identifiera med visuell analys kan test- och mätverktyg användas. I steg fyra ska funktionerna av den saknade komponenten härledas. Steg fem är att repetera metoden genom att montera tillbaka den borttagna komponenten för att testa produktens funktioner om en annan komponent tas bort.

(Otto, K & Wood, K, 1996; Otto, K & Wood, K, 2001, kap. 6.3, ss. 204-206)

### 2.1.3 Steg 3: Funktionsanalys

När SOP är avklarad ska ett *kraftflödesdiagram* utformas. Ett *kraftflödesdiagram* illustrerar flödet av kraft genom produktens komponenter. Skälet till att göra ett sådant diagram är att *kraftflödet* kan belysa möjliga tillvägagångssätt att kombinera komponenterna i produkten. De åtta steg som presenteras av Otto, K & Wood, K i *Product design: Techniques in reverse engineering and new product development* är listade nedan:

1. Identifiera de primära kraftflödena
2. Kartlägg kraftflödena från externa källor genom varje komponent
3. Dokumentera resultatet i *kraftflödesdiagram*
4. Analysera diagrammet
5. Bryt ner diagrammet i separata delar av "R" som representerar de delar det sker kraftflöde mellan
6. Härled underfunktioner och påverkade användarbehov för varje del.
7. Utveckla kreativa, konceptuella konstruktioner för att kombinera komponenterna
8. Repetera för varje kraftflöde

(Otto, K & Wood, K, 1996; Otto K & Wood, K, 2001, kap. 6.3, ss. 212-218)

### 2.1.4 Steg 4: Konceptbegränsning

Då den tidigare *funktionsstrukturen* utarbetats med bristande kunskaper om produkten kan denna då bara ses som en *hypotetisk funktionsstruktur*. Den funktionsstruktur som på den här nivån ska tas fram definieras som en *in- och utmatningsmodell* som kartlägger energi-, material- och signalflöde för att åstadkomma ett önskat resultat.

(Otto, K & Wood, K, 1996; Otto, K & Wood, K, 2001, kap. 6.3, ss. 204-206)

När produktens funktioner och delfunktioner har bestämts kan man börja *konceptgenerera* för att utforska alternativa lösningar för att ge produkten egenskaper för att kunna utföra de tidigare bestämda funktionerna. Att generera flertalet konceptuella lösningar resulterar i alternativa sätt att kombinera olika komponenter. En *morfologisk matris* erbjuder möjligheten att på ett strukturerat sätt kombinera olika koncept för att få fram flertalet helhetskoncept som representerar utförandet av hela produkten. Den *morfologiska matrisen* genomförs genom att lista produktens delfunktioner eller moduler som rader i en matris för att sedan skriva lösningar på delfunktionen i kolumner. Lösningarna ska skrivas, eller skissas, i separata rutor på den raden för vilken delfunktion de ämnar.

(Otto, K & Wood, K, 1996; Otto, K & Wood, K, 2001, kap. 10.5, ss. 454-455)

I detta stadiet har den *morfologiska matrisen* resulterat i flera olika lösningar till produktens delfunktioner, lösningarna måste kombineras för att generera koncept. Ett antal kombinationer är inte möjliga att göra som en följd av geometriska eller fysiska begränsningar och kan därför ignoreras. Därefter resonerar projektgruppen fram vilka av de framtagna kombinationerna som är attraktiva att vidareutveckla och utvärderas ytterligare.

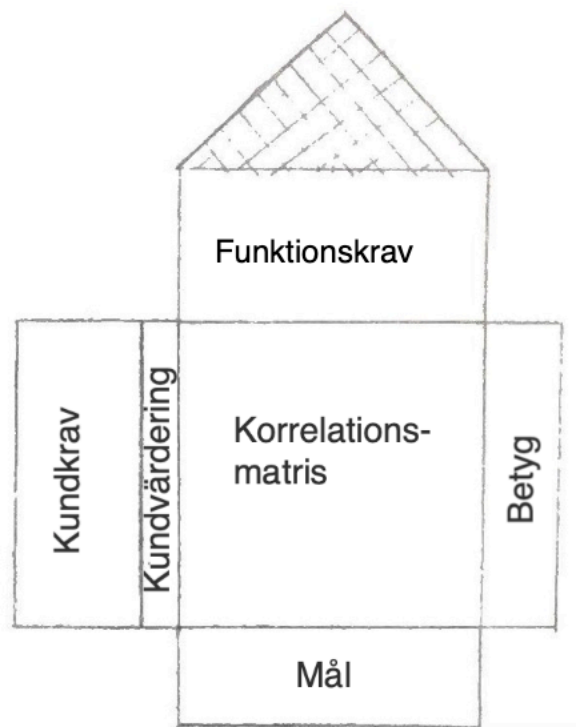
(Otto, K & Wood, K, 1996; Otto, K & Wood, K, 2001, kap. 10.5, ss. 454-455)

### 2.1.5 Steg 5: Utformning av tekniska specifikationer

För att uppnå en högre kvalitet på den produkt som ska tas fram används en metod kallad *Quality function deployment* (QFD). Genom att de olika delsystemen i en produkt utformas utefter kundens krav, uppnås bättre produkter med högre kvalitet. De krav som kunden ställer omvandlas i en modell till egenskaper hos produkten. Metoden delas in i fyra steg; produktdesign, identifiera kritiska komponenter och enheter, processdesign, process- och

kvalitetskontroll. Det första steget går ut på att kundens krav samlas in och värdesätts, för att få en bild av vad som är viktigt för kund. Utifrån detta steg kan sedan en *kravspecifikation* för referensprodukten konstrueras. Därefter identifieras de kritiska komponenterna och omvandlar dem till målvärden. Sedan identifieras de kritiska processparametrarna och kraven för produktutrustning bestäms. Sista steget behandlar frågan om att komma överens om vilken metod för hantering av process och parametrar som ska användas. För att utföra detta arbete på ett smidigt och enkelt sätt, kan verktyget *House of Quality* användas för att med hjälp av en matris genomföra de fyra stegen. Detta verktyg används på så sätt att kundkrav ställs upp på en vertikal axel. Dessa kundkrav har viktats mellan 1 till 5 efter hur viktiga de anses vara för kunden. Denna siffra avgör den kronologiska ordning som de placeras i, där högst nummer placeras överst. Därefter ställs funktionskrav upp på en horisontell axel. Dessa funktionskrav anger hur kundkraven kan uppnås. Därefter ställs referensprodukter och den nya produkten upp till höger, se figur 2.3, och viktas efter hur bra de uppfyller kundkraven. En *korrelationsmatrisen* ställs upp för att se vilka kundkrav som påverkas av vilka funktionskrav, varje relation ges ett värde efter hur stark relationen är. Relationerna värdesätts med ett, tre eller nio. Överst i modellen dras också samband mellan funktionskraven för att visa hur de påverkar varandra, negativt eller positivt. Det värde som gavs i *korrelationsmatrisen* multipliceras därefter med den viktning som varje kundkrav givits och ger därmed en siffra representerande *teknisk betydelse*. Genom att analysera siffran på *teknisk betydelse* och hur bra referensprodukter samt den nya produkten uppfyller kundkraven, kan det avgöras vilka områden som behöver förbättras och vilka kundkrav det ska fokuseras på i produktutvecklingsprocessen.

(Aka, Y, 2004; Otto, K & Wood, K, 2001, kap. 7.5, ss. 291-293)



Figur 2.3, Visar hur House of Quality är uppbyggd

## 2.2 Modellering och analys

I fas två av metoden för produktutveckling tas en prototyp fram för att sedan säkerställas att den är representativ för produkten och dess funktioner.

(Otto, K & Wood, K, 1996)

### 2.2.1 Steg 6: Modellutveckling

Det första att göra i denna fas är att fastställa de styrande fysiska principerna för varje komponent. De styrande fysiska principerna är de som ser till att huvudfunktionen kan utföras på bästa sätt. Efter detta moment ska en *kravspecifikation* för den nya produkten sammanställas för att kunna designa komponenter efter tydligt uppsatta kundbehov.

Det finns fyra inledande steg när man ska göra en prototyp för detta ändamål. Först ska viktade kundbehov relateras till produktens funktioner. Därefter ska funktionerna med starkast relation till kundbehoven identifieras. I tredje steget ska de målvärdena från *kravspecifikationen* bestämmas för att kvantifiera flödena i *funktionsstrukturen*. Det sista och fjärde steget när man ska utforma en prototyp är att identifiera målvärdena för de kvantitativa måttetalen. Intentionen är inte att göra en prototyp som representerar hela produkten utan syftet är att med prototypen testa hur väl ett eller flera kundbehov uppfylls.

(Otto, K & Wood, K, 1996; Otto, K & Wood, K, 2001, kap. 13.2 ss. 606)

### 2.2.2 Steg 7: Analysstrategier

I steg sju ska en analysstrategi tas fram för att verifiera att modellen som utvecklats i steg sex har egenskaperna som motsvarar produktens egenskaper. När detta är gjort ska modellen försöka omvandlas till en form som bidrar till utveckling av lösningar.

(Otto, K & Wood, K, 1996)

## 2.3 Omkonstruktion

Utifrån den information och analys som tidigare gjorts, väljs ett av tre sätt, *parametrisk omkonstruktion*, *adaptiv omkonstruktion* och *originell omkonstruktion*, att genomföra omkonstruktionen på. Vid en *parametrisk omkonstruktion* ändras endast parametrar, oftast i delsystemen, utan att några större förändringar görs. *adaptiv omkonstruktion* innebär att enstaka delsystem byts ut, görs om eller tas bort beroende på vad de analyser av det befintliga systemet har visat. Om det visar sig att den befintliga produkten inte alls lever upp till de krav som ställts, så görs en *originell omkonstruktion* vilket innebär att en helt ny produkt konstrueras.

(Otto, K & Wood, K, 1996; Otto, K & Wood, K, 2001, kap. 1.2 ss. 7)

### 2.3.1 Steg 8: Parametrisk omkonstruktion

Vid sådana tillfällen då produkten utifrån de två första stegen i *Reverse engineering*, anses nå kundkraven på ett bra sätt används *parametrisk omkonstruktion*. Då är det endast nödvändigt att ändra parametrar i produkten för att optimera denna. Genom att ändra parametrar såsom storlek, geometri, material, styrmedel med mera, görs en mer optimerad design som uppfyller kundkraven bättre än den ursprungliga produkten. Oftast används den på så sätt att delsystem ändras utan att ändra dess funktion, placering eller övriga egenskaper som påverkar resten av systemet. Det appliceras även vid tillfällen där upp- eller nedskalning behöver göras till följd av exempelvis ökade laster. Vid dimensionering av skruvar behålls

produktdesignen men beroende på den last som skruvarna ska utsättas för, skalas skruven upp eller ned.

(Otto, K & Wood, K, 1996; Otto, K & Wood, K, 2001, kap. 1.2 ss. 8-9)

För att verifiera ett framtaget koncept används *sensitivitetsanalys* eller *toleransanalys* så som *Statistical tolerance stackup* eller *Taguchi tolerance design*. Om dessa analyser visar på ett gott resultat är nästa steg att bygga en prototyp för att utföra tester i tänkt miljö, som sedan används som underlag för en bedömning om den nya *parametriska* ändringen är en förbättring. Om så inte är fallet, är ett alternativ att överväga *adaptiv omkonstruktion*.

(Otto, K & Wood, K, 1996)

### 2.3.2 Steg 9: Adaptiv omkonstruktion

Om projektgruppen inte anser att en *parametrisk omkonstruktion* är tillräcklig för att öka kundvärdet, tillämpas *adaptiv omkonstruktion*. Likt *parametrisk* så behålls större delar av den befintliga produkten men det görs istället större förändringar i delsystem. Genom att antingen ta bort, ersätta eller lägga till nya delsystem optimeras produkten för att utföra sin huvudfunktion på ett bättre sätt. Oftast ersätts delsystem med redan utvecklade delsystem för att på ett relativt enkelt och billigt sätt, förbättra produkten.

(Otto, K & Wood, K, 1996; Otto, K & Wood, K, 2001, kap. 1.2 ss. 8)

Första steget i denna process är att uppdatera funktionsbeskrivningen genom att addera nya funktioner till de föreskrivna kundbehoven. För att sedan uppfylla de nya kundkraven behövs nya delsystem tas fram. Det finns flera sätt att göra detta på, bland annat genom att expandera den *morfologiska matrisen* med olika *brainstorming*-tekniker eller genom opartiska och fria diskussioner. Ett alternativ till att expandera den morfologiska matrisen är *Theory of inventive problem* (TIPS). TIPS används på så sätt att man genom tre påståenden; Problem och lösningar repeteras inom industrin, mönster inom teknisk evolution upprepar sig, innovationer har använt vetenskapliga effekter som utvecklats inom andra områden. Utifrån dessa tre försöker man hitta alternativa lösningar och bryta ner de lösningar som tidigare motsatte sig varandra. Genom en algoritmisk syn på teknisk evolution arbetar man för att se mönster inom innovation och utveckling. Alternativa lösningar kan skapa en produkt som uppfyller två funktioner som innan inte kunde uppfyllas på samma gång.

(Otto, K & Wood, K, 1996; Otto, K & Wood, K, 2001, kap. 1.2 ss. 8)

*Kraftflödesdiagrammet* behöver återigen analyseras för att undersöka hur de nya delsystemen påverkar och inverkar detta. Det kan hända att de nya delsystemen inverkar i *kraftflödesdiagrammets* struktur och detta måste tas i åtanke.

(Otto, K & Wood, K, 1996; Otto, K & Wood, K, 2001, kap. 1.2 ss. 8)

Då koncept av utbytta eller ändrade delsystem har tagits fram, utvärderas och viktas dessa med exempelvis en *Pugh-matris* eller en *Kesselringmatris*. I en *Pugh-matris* listas ett antal kriterier utifrån kundkraven. Sedan bedöms det om de olika koncepten uppfyller de listade kriterierna bättre eller sämre än referensprodukten. Utifrån detta tas det på ett enkelt och snabbt sätt fram vilka koncept som utför sitt ändamål bättre än referensprodukt, och därmed är aktuella för att vidareutveckla. *Kesselringmatris* används på liknande sätt genom att en matris används för att utvärdera olika koncept. Till skillnad från *Pugh-matris* jämförs inte koncepten med referensprodukten utan med ett *ideal*, en produkt som uppfyller alla kriterier på bästa möjliga sätt. I denna modell viktas även alla kriterier då vissa är viktigare att uppfylla än andra. Utifrån hur bra koncept uppfyller kriteriet och dess viktning, ges en värdeenheter. Konceptets alla värdeenheter adderas och dess summa jämförs med motsvarigheten hos de andra koncepten. Konceptet med högst värdeenheter blir utifrån *Kesselringmatrisen* det koncept som uppfyller kundkraven på bästa sätt och bör därmed vidareutvecklas. När dessa steg genomförts byggs en eller flera prototyper för att säkerställa att de nya delsystemen fungerar korrekt tillsammans med de andra redan befintliga delsystemen.

(Otto, K & Wood, K, 1996; Otto, K & Wood, K, 2001, kap. 1.2 ss. 8; Pugh, S, 1991)

### 2.3.3 Steg 10: Originell omkonstruktion

Om projektgruppen anser att en större konflikt råder mellan kundkraven och den nuvarande produkten, bör en *originell omkonstruktion* göras. Detta innebär att produkt görs om från grunden och att ny teknik och innovationer används. Den information och analys som tidigare tagits fram från referensprodukten används nu mer för att styra utvecklingen av den nya produkten. I den *parametriska* och *adaptiva omkonstruktionen* ligger istället denna information och analys som grund för produktutveckling.

(Otto, K & Wood, K, 1996; Otto, K & Wood, K, 2001, kap. 1.2 ss. 7-8)

I och med att en *originell omkonstruktion* inte utgår ifrån referensprodukten, behövs en ny *funktionsstruktur* göras vilket utvecklingsarbetet utgår ifrån. Likt tidigare används olika *brain storming*-metoder följt av *morfologisk matris* för att generera olika koncept utifrån de nya innovationerna. Därefter utvärderas och viktas de nya koncepten i till exempel en *Pugh-matris* eller en *Kesselringmatris*. Ny teknik som skall användas i produkten behöver testas grundligt då det är en obeprövad teknik utan historisk data.

(Otto, K & Wood, K, 1996; Otto, K & Wood, K, 2001, kap. 1.2 ss. 7-8)

## 2.4 Detaljutveckling och verifiering

Teori för att komplettera produktutvecklingsmetoden *Reverse engineering* förklaras i detta avsnitt. Dessa komplement är nödvändiga tillägg till den redan omfattande metoden.

### 2.4.1 Finita elementmetoden

*Finita elementmetoden* är ett sätt att approximera ett kontinuerligt problem med system av differentialekvation som sedan löses numeriskt. Genom att dela in modellen i element och samtidigt ge den materialegenskaper kan det simuleras hur ett material verkar och beter sig i modellen. Desto mindre och därmed fler element, ju bättre representerar simuleringen verkligheten. Detta gäller dock bara fram till en viss nivå där felmarginalen konvergerar. Då blir modellen inte mer exakt bara för att elementstorleken minskas ytterligare. Då dessa beräkningar är väldigt komplicerade och omfattande, görs beräkningar med hjälp av datorer. Beroende på vilken sorts digital modell som modellerats, så finns det olika sorters element

som lämpar sig för olika modeller. Vid vissa fall, som till exempel fackverk, kan system behandlas i en dimension. Dessa element ter sig på liknande som balkar enligt teknisk balkteori. Vid sådana fall att modellens tjocklek är liten i förhållande till dess längd och bredd, kan modellen behandlas i två dimensioner och ges då *skalelement*. Då modellens tjocklek, längd och bredd har liknande mått, krävs *solidelement* för att åstadkomma en trovärdig FE-modell. Dessa element är då en representation i tre dimensioner och kräver större datamängd för att kalkylera. Det finns flertalet program och variationer som används för att konstruera FE-modeller.

(Hughes, T, 2000)

### 2.4.2 Cylindrar

Hydrauliska cylindrar utnyttjar fluider för att utföra mekaniskt arbete genom att utnyttja hydrauliskt tryck. Detta används till att förlänga och dra ihop konstruktioner. Beroende på kolvcylinderns diameter och fluidens tryck, kan cylinder generera en tryckande eller dragande kraft. De är uppbyggda i tre huvudkomponenter; cylinderrör, kolvstång, hydrauliskt system. Det hydrauliska systemet tillför tryck till cylindern, som beroende av trycket rör sig med en viss kraft. Det hydrauliska systemet behöver ej sitta i anslutning till cylinder utan de kan placeras längre bort och anslutas till varandra med en slang där hydraulolja flödar. Detta medför att hydrauliska cylindrar har en väldigt låg vikt i förhållande till genererad kraft, då det hydrauliska systemet kan placeras på annan plats.

(Gonzales, C, 2015)

Elektromekaniska cylindrar är uppbyggda av fyra huvudkomponenter; elektrisk motor, kulskruv, kulmutter, cylinderkropp. Den elektriska motorn roterar kulskruv vilken gör att kulmuttern färdas upp och ner på kulskruv, beroende på vilket håll den elektriska motorn roterar. I och med hur kulskruv är gängad och att den förblir i samma position under rotation tvingar detta kulmuttern att färdas mot rotationsriktningen. Det är denna rörelse som möjliggör cylinderns längdförskjutning. Till skillnad från hydrauliska cylindrar kan inte huvudkomponenter separeras utan alla huvudkomponenter är placerade på den plats där cylindern ska verka.

(Gonzales, C, 2015)

### 2.4.3 Failure modes and effects analysis

*Failure modes and effects analysis* förkortat FMEA, är ett verktyg som används till att förebygga att fel inte inträffar i den framtagna produkten. Brister och svagheter som eventuellt kan leda till ett fel och därmed hämma produktens funktionsduglighet identifieras och sammanställs. Därefter uppskattas ett värde mellan ett till tio baserat på hur pass sannolikt det är att fel uppstår, hur allvarlig konsekvensen är om fel inträffar och hur enkelt det är att upptäcka fel om det inträffar. Dessa tre parametrar multipliceras med varandra och vilket ger ett *riskprioriteringsnummer*. Är detta värde högre än 100 bör bristen analyseras och det kan eventuellt krävas viss modifiering i produkten för att sänka *riskprioriteringsnumret*. Om modifiering av produkt krävs, görs en rekommenderad åtgärd och en person sätts som ansvarig för att denna åtgärd slutförs.

(Otto, K & Wood, K, 2001, kap. 1.2 ss. 592–593; Stamatis, D. 2003)



## 3. METOD

Samtliga steg som utförts i produktutvecklingsprocessen beskrivs och förklaras i detta kapitel. Det beskrivs hur arbetet har utförts utifrån den teori som presenterats i föregående kapitel, *teoretisk referensram*.

### 3.1 Reverse engineering

Arbetet inleddes med fasen *Reverse engineering* där det utifrån referenskonstruktionen samlades information om delsystem och dess funktioner.

#### 3.1.1 Steg 1: Undersökning, Förutsägelse, Hypotes

I första steget av den första fasen utformades en *Black Box-modell* för att identifiera flöden av material, energi och information. Materialflödena identifierades genom föreställningar om hur konstruktionen rör sig och hur dess cylindrar arbetade under processen. Energiflödena är representerade av de krafter som uppstår i systemet. Dessa kunde ofta observeras vid källan till materialflödena. Informationsflöden identifierades genom att se vilka signaler som en operatör skickade via sin joystick för att åstadkomma önskat resultat.

För att samla information om hur operatörer uppfattar produkten genomfördes fem samtal som var mellan 30 och 50 minuter långa, med Enviros utvecklingschef Bengt-Sture Ershag. Dessa samtal ansågs kunna ge den grundförståelse om användning av utsugsarmen som behövdes för att kunna formulera diskussionspunkter till ett möte med en fokusgrupp bestående av fyra operatörer och en underhållstekniker. Mötet med fokusgruppen varade i 90 minuter.

Enligt Otto och Woods metod för produktutveckling ska projektgruppen vid detta stadiet bedöma möjligheten till ekonomisk avkastning. Bedömningen ska sedan användas som underlag för att kunna fatta beslut om projektet ska fortskrida eller om det ska avbrytas. Då Enviro redan på förhand beslutat att projektet skulle fortskrida ignorerades denna del.

För att komplettera de användarbehov som utarbetats från samtal och möten utformades en *processbeskrivning* i form av ett *aktivitetsdiagram*. Detta gjordes genom att överblicka produktens hela livslängd, från beställning till avyttring eller återvinning. Då produkten aldrig har nått en avyttring eller återvinning fick gruppen anta hur dessa steg skulle utföras.

Ett fiskbensdiagram gjordes för att blotta ett av de kundkrav som inte uppfylls hos referenskonstruktion i Åsensbruk. Detta kundkrav bestämdes utifrån den intervjun med dem anställda från fokusgruppen. Av de uppfyllda kundkrav som togs upp i intervjun valdes det att fokusera på det kundkrav som operatörerna ansåg vara de högst prioriterade att förbättra. Utifrån kunskap om referenskonstruktion åskådliggjordes i *fiskbensdiagrammet* tänkbara orsaker till det uppfyllda kundkravet.

#### 3.1.2 Steg 2: Konkret erfarenhet

Steg två inleddes med att formulera designproblem och utmaningar som gruppen skulle kunna ställas inför. Efter att dessa formulerats planerades en isärmontering av konstruktionen. Då referensprodukten är den enda produkt av dess slag och var i användning vid anläggningen i Åsensbruk kunde denna inte monteras isär för dissekering. Därför togs ett beslut att göra en

*Sprängskiss* från en digital modell i form av en CAD-modell av referenskonstruktionen. Det var sedan ur information från denna modell som en *stycklista* utformades.

För att upptäcka vilken funktion en specifik komponent hade användes en modifierad metod av den som Otto och Wood förespråkade, *Subtract and Operate Procedure* (SOP). Anledningen till att en modifierad metod användes var baserat på bristen av fysiska test med referenskonstruktionen. Detta ledde till att metoden inte kunde genomföras som beskrivet i *Product design: Techniques in reverse engineering and new product development* av Otto, K & Wood, K. Istället för att montera isär konstruktionen så simulerades uteslutning av komponenter genom CAD, beräkningar och genom att prognostisera hur konstruktionen hade betett sig utan en viss komponent.

### **3.1.3 Steg 3: Funktionsanalys**

I steg tre gjordes ett *kraftflödesdiagram* genom att följa dem åtta punkter som presenterades avsnitt 2.1.3.

### **3.1.4 Steg 4: Konceptbegränsning**

En *funktionsstruktur* som kartlade energi- och signalflöde gjordes i steg fyra. Diagrammet resulterade i att konstruktionens funktioner bestämdes. Detta utgjorde grunden för konceptgenereringen som inleddes genom att ta fram konceptuella lösningar för att möta de funktioner som bestämts i *funktionsstrukturen*. Dessa konceptuella lösningar sammanställdes sedan i en *morfologisk matris*. Av de teoretiskt möjliga koncepten valdes, i enlighet med Otto & Woods metod, ett begränsat antal att arbeta vidare med. Dessa koncept valdes slumpmässigt för att minimera risken för tunnelseende som Otto & Wood anser vara essentiellt för att metoden ska kunna genomföras på ett framgångsrikt sätt. Efter resonemang och geometriska eller fysiska begränsningar eliminerades koncept som inte var reellt genomförbara.

*(Otto, K & Wood, K, 2001)*

Då det sedan tidigare samlats information som begränsat produktutvecklingen och innovationsnivån var samtliga koncept som utvecklades i detta stadiet av slaget *adaptiv omkonstruktion*. Att med denna information utveckla *parametriska* eller *originella* koncept ansågs därför svårmotiverat. Koncepten genererades fram genom *brainstorming* i projektgruppen, bland annat genom att titta på hur andra konstruktörer löst liknande problem för produkter med andra applikationsområden. Exempelvis granskades grävvarmen och hydraulsystemet på grävmaskiner som inspiration för att konstruera koncept.

### **3.1.5 Steg 5: Utformning av tekniska specifikationer**

En QFD utfördes för att säkerställa att den nya produktdesignen uppnår en högre kvalitet. Det gjordes ett urval av de krav som Enviro angivit och som togs fram genom diskussion och utvärdering, med verktyget *House of Quality*, av den nya anläggningen.

## **3.2 Modellering och analys**

I fas två togs tre stycken prototyper fram för att testa olika funktioner och sedan analyseras. En för att kolla åtkomligheten inuti reaktorn och två för att kontrollera att utsugsarmen verkligen gav tillräckligt med utrymme för däckpåfyllningen.

### 3.2.1 Steg 6: Modellutveckling

Inledningsvis i steg sex fastställdes de styrande fysiska principer för de olika komponenterna av konstruktionen. Detta gjordes genom att granska utsugsarmens erforderliga rörelsemönster. Med dessa i åtanke utformades sedan en *kravspecifikation* som utgjorde grunden för tillverkan av prototyper för att testa olika funktioner.

### 3.2.2 Steg 7: Analysstrategier

En analysstrategi togs fram för att fastställa att den prototypen som utvecklats uppfyllde geometriska krav och övriga attribut som inte kunde negligeras. Genom att bland annat arbeta i enklare CAD-modeller i två dimensioner, kunde det verifieras att prototyp uppfyller nödvändiga krav.

## 3.3 Omkonstruktion

Med den insamlade informationen fanns det tillräckligt mycket underlag för att besluta om vilken omkonstruktionsmetod som produktutvecklingsprojektet skulle fortskrida med. Antingen var det *parametrisk*, *adaptiv* eller *originell omkonstruktion*. Med underlag från de modeller som används för ökad förståelse om produkten och information från uppdragsgivaren togs beslutet att projektet fortsätta i linje med arbetsgången för *adaptiv omkonstruktion*. Då valet för fortsatt produktutvecklingsmetod föll på *adaptiv omkonstruktion* uteslöts både steg åtta och tio ur modellen.

### 3.3.1 Steg 9: Adaptiv Omkonstruktion

Den *adaptiva omkonstruktionen* inleddes med att revidera funktionsbeskrivningen genom att addera nya funktioner till tidigare identifierade behov för operatörer. Enligt modellen skulle en expansion av den tidigare framtagna *morfologiska matrisen* göras, som tidigare beskrivet, utformades dock matrisen i steg fyra enbart med *adaptiva* koncept. Koncepten som genererades resulterade i att delsystem antingen togs bort, ersattes eller, lades till. Detta innebar att en ny analys av *kraftlödesdiagrammet* behövdes göras för att undersöka hur ombildningen av delsystem påverkade de olika kraftflödena i systemet.

För att undersöka vilket av de framtagna koncept som var bäst lämpade för att utföra konstruktionens funktioner gjordes en *Pughs matris* och en *Kesselringmatris* med syfte att eliminera övriga koncept. Den första elimineringen gjordes med en *Pughs matris* till dess att endast tre stycken återstod. Dessa tre koncept bedömdes sedan i en *Kesselringmatris* vars utfall blev det koncept som valdes att gå vidare med.

Utifrån *kravspecifikationen* fortskred konstruktionen av det koncept som *Kesselringmatrisen* ansåg bäst lämpade. Kritiska mått som tidigare tagits fram utgjorde grunden för dimensionerna på konstruktionen. Utifrån *kravspecifikationen*, kritiska mått och tidigare använda dimensioner såsom sugrörsmynningens diameter på referenskonstruktion, byggdes en fullständig CAD-modell upp. Denna modell användes sedan för att verifiera mer noggrant att konstruktion klarar av att uppfylla de kundkrav som ställts, till exempel kravet på konstruktions räckvidd.

Därefter undersöktes tillgången till leverantörer som kunde tillhandahålla delar efter de dimensioner som tagits fram i CAD-modell. Det undersöktes även funktionsbärande komponenter såsom cylindrar och knäled, för att säkerställa att de fanns leverantörer som

tillverkar dessa produkter i just de dimensioner som bestämts. Det jämfördes även fördelar och nackdelar med olika sorters cylindrar. Denna process pågick fram och tillbaka beroende på vad leverantörer kunde erbjuda, vilket resulterade i flera ändringar och kompromisser i konstruktion.

Då CAD-modellen över själva sugröret modellerats, togs en modell för den bärande konstruktionen fram. Enklare handberäkningar utfördes med tillgängliga data för att ge en uppfattning av vilka laster som skulle kunna uppstå. Utifrån dessa togs en digital modell för en bärande konstruktion fram i programmet CATIA V5, där referenskonstruktionens motsvarighet användes som utgångspunkt. För att utvärdera och säkerställa att den framtagna bärande konstruktionen ska klara de laster den utsätts för, användes *Finita elementmetoden*. Till dessa komplicerade beräkningar användes analys- och simulationsverktyget *Generative Structural Analysis* i CATIA V5. FE-modellen simplificeras och förenklades efter råd från Gert Persson, Docent på avdelningen för Konstruktionsmaterial, *Institutionen för industri- och materialvetenskap* på Chalmers tekniska högskola, för att programmet skulle klara av att utföra spännings- och utböjningsberäkningar på modellen. I samråd med Persson placerades randvillkor, infästningar och laster. Material tilldelades CAD-modellen efter materialdata från CATIA V5. Därefter analyserades den beräknade modellen genom att närmare studera Von Mises-spänningar och utböjning i modellen.

För att identifiera brister och svagheter i konstruktion gjordes en FMEA. Utifrån vad denna gav för resultat så beslutades det om modifikationer var nödvändigt, detta för att på ett mer progressivt sätt åtgärda bristerna innan bristerna senare skulle leda till ett problem.

## 4. RESULTAT

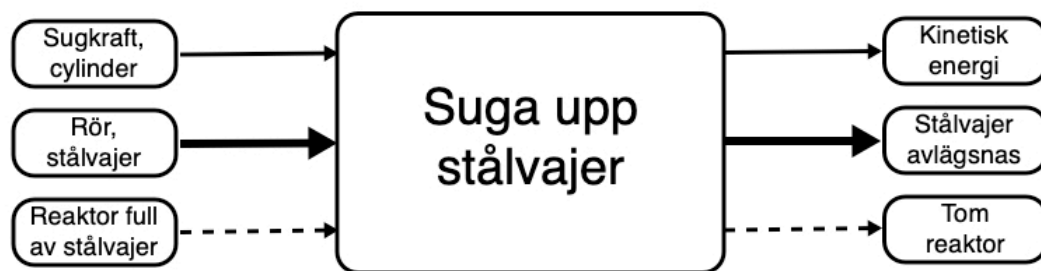
I detta kapitel kommer resultat från de metoder som beskrivits i rapportens metodkapitel att presenteras genom text och figurer.

### 4.1 Reverse engineering

Resultaten från de steg i modellens första fas kommer i denna del att presenteras.

#### 4.1.1 Steg 1: Undersökning, Förutsägelse, Hypotes

De flödena som identifierades gå in och ur systemet med hänsyn på material-, energi- och informationsflöden illustreras i figuren nedan, figur 4.1. Den energi som gick in i systemet var den kraft som de hydrauliska cylindrarna genererade och den sugkraft som åstadkoms från vakuumsystemet. Detta resulterade då i att den energi som gick ur systemet var kinetisk energi. När kinetisk energi tillfördes till systemet kunde utsugsarmen röra sig och en sugkraft åstadkommas som medförde att stålvarer kunde avlägsnas från reaktorn. Den signal som används för att bli informerade om att utsugsarmen skulle användas var att reaktorn var full med stålvarer efter dess att pyrolyprocessen slutförts. Signalen som användes för att veta att användningen av utsugsarmen varit framgångsrik var att reaktorn var tom.



Figur 4.1, Material, energi- och informationsflödena i en black box-modell

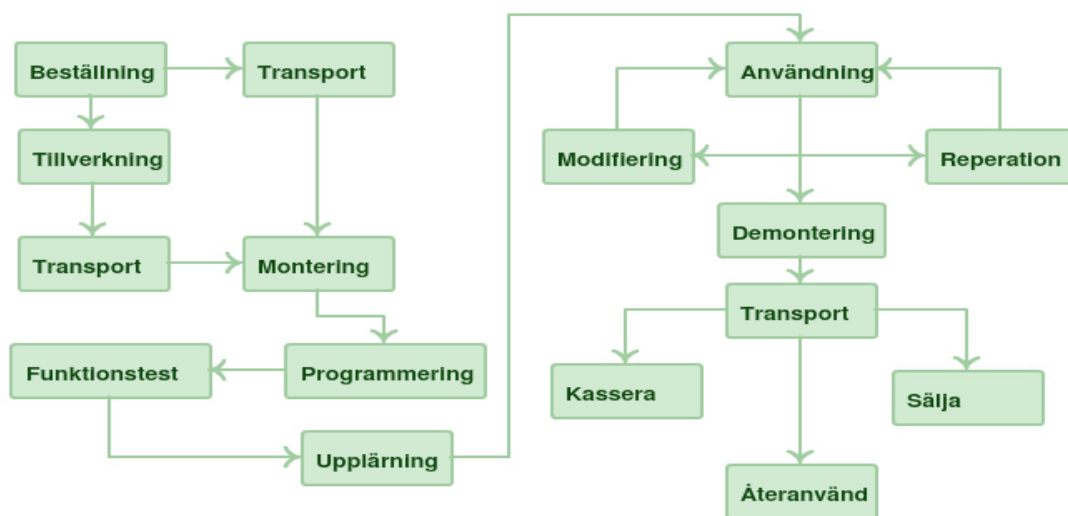
Nedan listas utvalda delar från mötet med fokusgruppen, en hel sammanställning av mötet finns i bilaga 1.

- Problem med responsen från cylindrarna. När signal från joystick skickas till styrsystemet finns en fördröjning. Fördröjningen kan vara upp till tio sekunder.
- Siktproblem för operatörerna nämndes som ett stort problem. Kameror att fästa på utsugsarmen föreslogs.
- Processtiden för tömningen är ungefär en timme.
- Efter pyrolyprocessen är reaktorn fylld till ungefär 70 procent med stålvarer.

När information om användarbehoven samlats ihop visade det sig att ingen märkbar konflikt rådde mellan kundkraven och den nuvarande produkten. Som förklarat i teoridelen innebar

detta att en *originell omkonstruktion* inte behöver göras. Det medför att omkonstruktionen antingen ska vara *parametrisk* eller *adaptiv*.

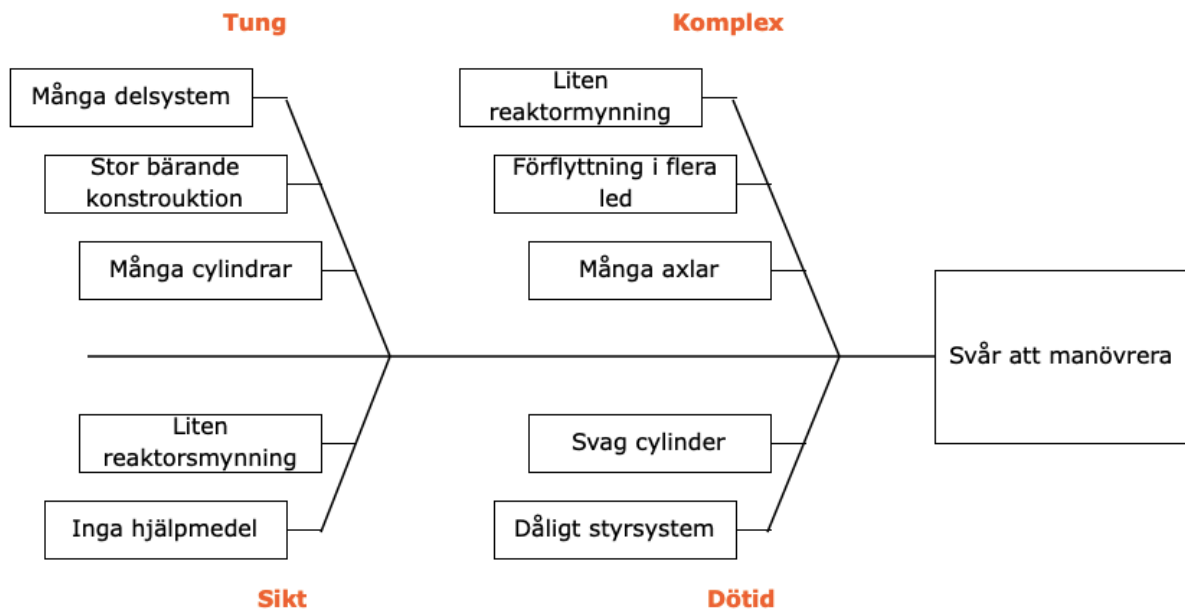
I figur 4.2 illustreras produktens hela livslängd i ett *aktivitetsdiagram*. När konstruktionens komponenter beställs är komponenterna antingen lagerhållna varor eller så tillverkas komponenterna vid order. Detta avgör om de transporteras direkt till fabriken för att monteras ihop och sedan programmeras så att systemets olika delar ges de egenskaper som önskas. Efter att ett funktionstest genomförts ska operatörer läras upp i hur de ska använda utsugsarmen. Under användningen av konstruktionen kommer saker och ting behöva repareras och högst troligt kommer även modifieringar och förbättringar göras när brister upptäcks. När utsugsarmen ska ersättas eller av annan anledning tas bort demonteras hela eller delar av konstruktionen för att antingen transporteras till en eventuell kund eller en återvinningscentral.



Figur 4.2, Aktivitetsdiagram för referensprodukten

*Fiskbensdiagrammet* i figur 4.3 nedan, är resultatet av dem samband mellan dåligt uppfyllda kundkrav hos referenskonstruktion och orsak till dessa. De fyra kundkraven som inte fullständigt mötes hos referenskonstruktionen var att konstruktionen var tung, komplex, bristande sikt och att dötid förekom. Tyngden berodde främst på många delsystem och cylindrar, även att den bärande konstruktionen var stor. Komplexiteten hos referenskonstruktion orsakades av att reaktormynningen hade en liten diameter och att utsugsarmen hade många axlar som flyttar sig i olika led. Skillnaden på många axlar och förflyttning i många led är att många axlar bestäms enbart av hur många axlar konstruktionen består av medan förflyttning i många led bestäms av antalet axlar som arbetar samtidigt för att åstadkomma en viss rörelse

Den lilla diametern hos reaktorns öppning medförde att sikten ner i reaktor vid tömningen blev bristande, verktyg för att kompensera för den dåliga sikten saknades. Det sista kundbehovet som inte mötes tillräckligt väl, dötid, berodde på att styrsystemet och cylindrarna inte höll en tillräckligt hög kvalitet eller dimension.



Figur 4.3, Illustrerar dåligt uppfyllda behov hos referenskonstruktion i ett fiskbensdiagram

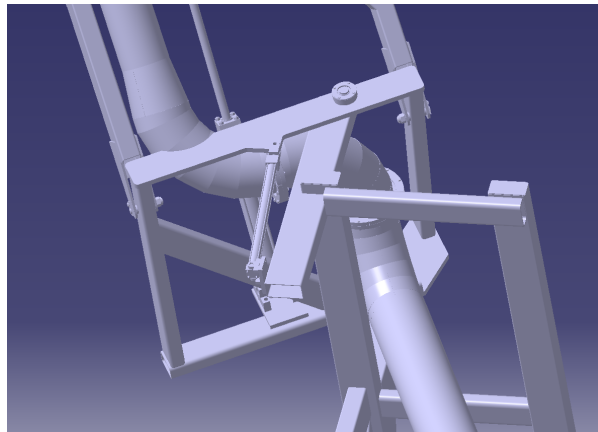
#### 4.1.2 Steg 2: Konkret erfarenhet

Nedan listas de designproblem och utmaningar som gruppen ansågs skulle kunna dyka upp:

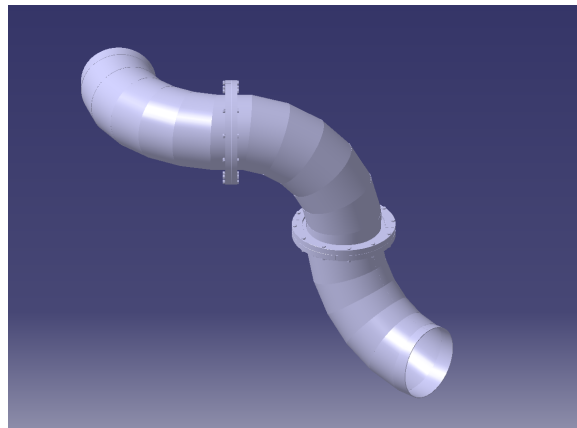
- Dimensioner  
Så armen kommer åt önskade delar av reaktorn och så det går att avlägsna röret från reaktorn.
- Göra plats åt däckpåfyllning  
Påfyllningen av däck kräver utrymme runt reaktorns öppning. Utsugsarmen ska inte vara ett störande moment vid däckpåfyllningen.
- För många cylindrar  
Konstruktionen ska ha så få cylindrar som möjligt.
- Komponenttillgängligheten  
Konceptframtagningen begränsas av produkter och komponenter som leverantörer kan erbjuda
- Inte kunna testa lösningar och koncept  
Inga fysiska tester kommer kunna utföras. Därför kommer det oundvikligen finnas otestade funktioner i den konstruktion projektgruppen kommer leverera.
- Brist på information om nuvarande produkt och tömningsprocess  
Då information om nuläget kan utelämnas eller vara svåråtkomligt kommer detta kunna försätta gruppen i position där relevant information saknas.

Utifrån det underlag av ritningar och dylikt som överlämnades från uppdragsgivaren gjordes en *stycklista* av referenskonstruktionen, den återfinns i bilaga 2. *Sprängskissen* över referenskonstruktion som gjordes av en CAD-ritning ligger i bilaga 3.

När *Subtract and Operate Procedure* genomfördes visade det sig att ett antal komponenter kunde elimineras för att ändå kunna utföra de funktioner som var nödvändiga i och med nya förutsättningar i den nya miljön. Då funktioner som referenskonstruktionen skulle kunna utföra inte längre var önskade i den nya miljön kunde komponenter som underlättade dessa funktioner tas bort. Den största funktionen som inte längre var nödvändig var förmågan för konstruktionen att flyttas mellan två reaktorer. Man kunde därför ta bort den cylinder, figur 4.4, som användes för att tillföra kraft vinkelrätt mot konstruktionen för att åstadkomma vridning i konstruktionens rotationssystem, figur 4.5. Även de cylindrar och komponenter, går att se i figur 4.6 och 4.7 som används för att kunna skjuta fram och tillbaka det horisontella teleskopröret kunde tas bort. Denna funktion ansågs onödig om längden på det horisontella röret anpassas för att möta de ställda kraven.

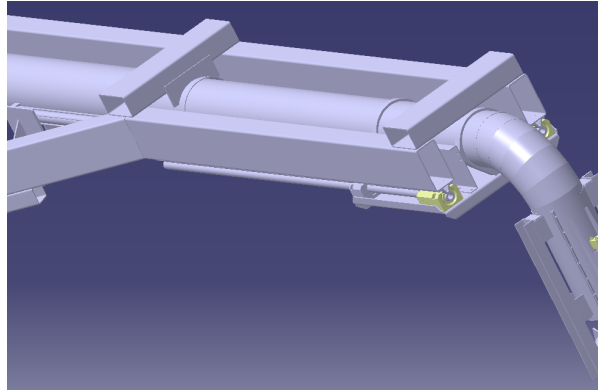


*Figur 4.4, Komponenter som kan elimineras*

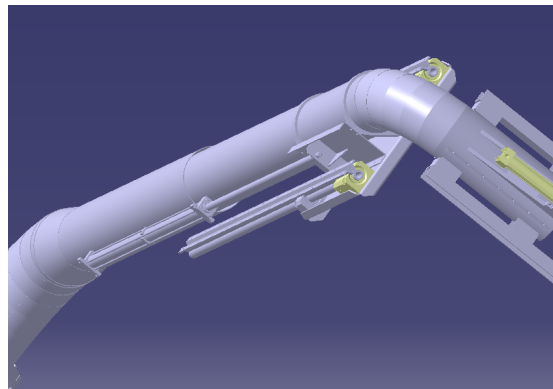


*Figur 4.5, Rotationssystemet*





Figur 4.6, Horisontella röret med bärande konstruktion

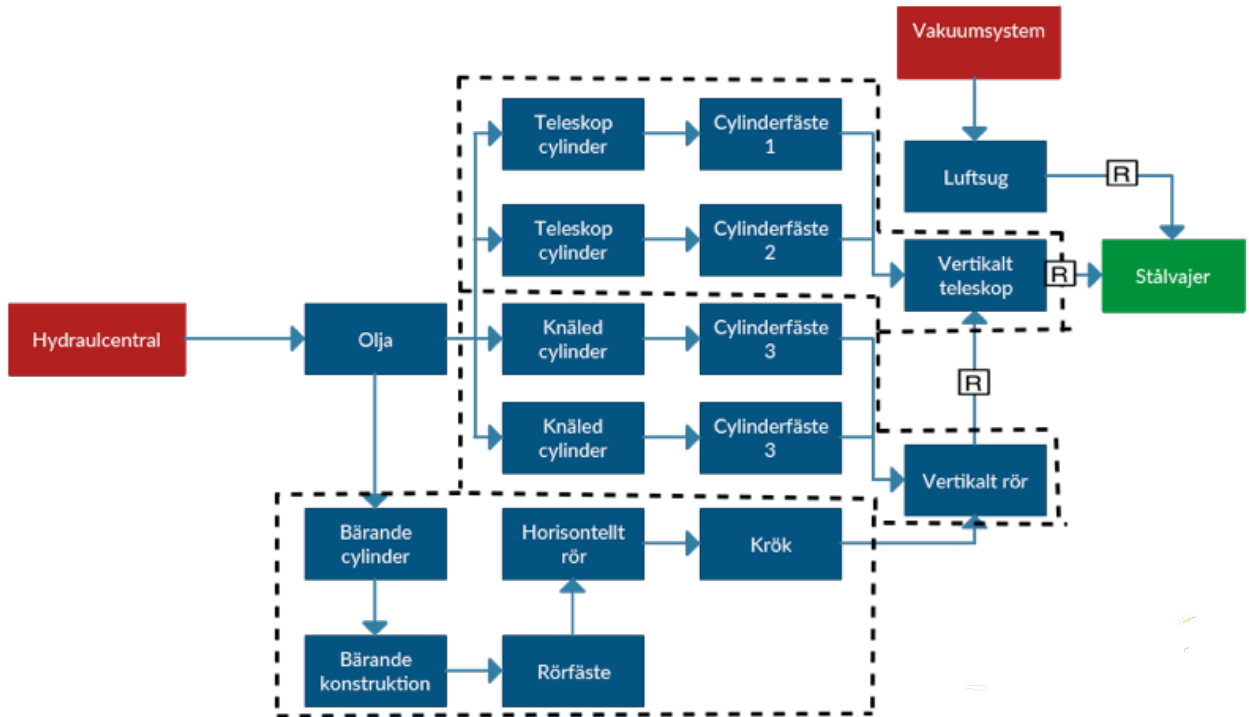


Figur 4.7, Horisontella röret med bärande konstruktion

I och med att funktioner kan utföras trots att komponenter och delsystem tas bort är det inte relevant med *parametrisk omkonstruktion*. Eftersom det sedan tidigare konstaterats att ingen märkbar konflikt råder mellan användarbehov och den nuvarande produkten och därför en *originell omkonstruktion* inte var ett alternativ återstod enbart *adaptiv omkonstruktion*.

### 4.1.3 Steg 3: Funktionsanalys

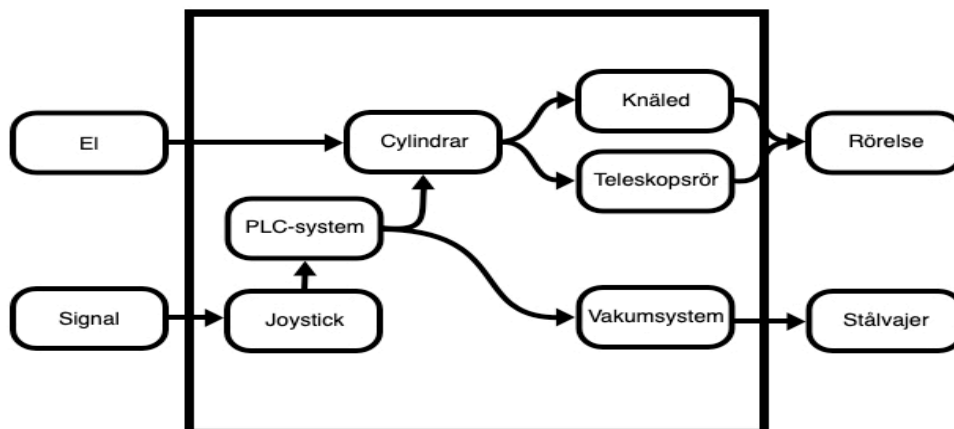
*Kraftflödesdiagrammet* i figur 4.8 nedan illustrerar de krafter som går genom referenskonstruktionens olika komponenter. De röda rutorna, hydraulcenter och vakuumsystem, i diagrammet representerar komponenter som ligger utanför systemet. Det innebär att pilarna från dessa rutor då är externa kraftkällor. Att rutan, *stålvajer*, valdes att färgas grön var för att den kan ses som både en intern och en extern del, ingen kraft flödar genom stålvajrarna vidare till en annan komponent. Det ansågs därför relevant att markera denna ruta med en avvikande färg. I *kraftflödesdiagrammet* kan man se att all rörelse som sker i konstruktionen är beroende av olja från hydraulcentralen. Cylindrar på teleskopröret i samspel med det vertikala röret bestämmer positionen för det vertikala teleskopet. Det vertikala röret påverkas i sin tur av de förändringar som sker i knäledens cylindrar och cylindern för den bärande konstruktionen.



Figur 4.8, Kraftflödesdiagram

#### 4.1.4 Steg 4: Konceptbegränsning

Funktionsstrukturen som utarbetades i steg fyra resulterade i diagrammet nedan, figur 4.9, som visar hur energi och information matas in i systemet för att rörelse och stålvtajer ska kunna matas ut ur systemet. Den information som matas in i systemet gör det genom att operatören skickar en signal med en handrörelse till en joystick som stöcker vidare informationen till ett PLC-system som styr cylindrar och vakuumsystemet. Vakuumsystemet tillför en sugkraft i systemet så att stålvtajer kan avlägsnas från reaktorn. Cylindrarna kan generera kraft när elektrisk kraft matas in i systemet och styr hydrauliken. Knäleden och teleskopröret styrs av cylindrar med syfte att åstadkomma rörelse. Ur diagrammet kan två funktioner för konstruktionen utläsas. Den ena funktionen är att armens ska kunna styras till en önskad position och den andra är att kunna suga upp stålvtajer.



Figur 4.9, Black box-modell

Koncepten som genererades för att möta funktionerna från funktionsstrukturen lades in i en morfologisk matris, se bilaga 5. De koncept som kom ur den morfologiska matrisen är skissade i bilaga 6.

#### 4.1.5 Steg 5: Utformning av tekniska specifikationer

När verktyget *House of Quality* användes för att utföra en QFD, blev resultatet enligt bilaga 7. Av de funktionskrav som ställts upp så visade det sig att *antal axlar* och *beprövade komponenter* var de två funktionskrav som gav högst värde för de uppställda kundkraven. *Antal axlar* inverkade i konstruktionens *tillräcklig räckvidd*, samt *ej störa process vid vila*. Båda dessa kundkrav har stor betydelse för att konstruktionen ska kunna utföra sin huvudfunktion. Enligt bilaga 7 kan det också ses att funktionskravet *antal axlar* och funktionskravet *antal delsystem*, korrelerar till varandra på ett positivt sätt. Det vill säga att om antalet axlar blir färre, så blir troligtvis också antalet delsystem färre. Funktionskravet *beprövade komponenter* visade sig vara viktigt för kunden, då detta gav höga värden av kundkraven *längre livslängd* och *lägre tillverkningskostnad*. Även dessa två är viktiga kundkrav då en konstruktion som är ur funktion, inte kan utföra sin huvuduppgift. Utöver dessa två så var det inget av de övriga funktionskraven som enligt *House of Quality* var viktigt för att förbättra kvaliteten för kunden.

### 4.2 Modellering och analys

I detta avsnitt kommer resultatet från fas två att presenteras.

#### 4.2.1 Steg 6: Modellutveckling

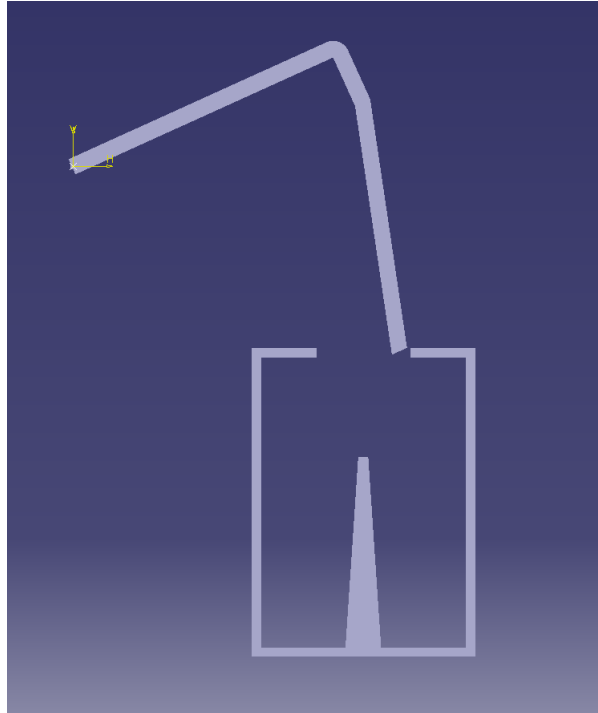
Det ansågs finnas två primärt styrande fysiska principer för utsugsarmen. Den första var att kunna röra armen så att hela reaktorn på ett effektivt sätt skulle kunna tömmas på stålvarer. Den andra styrande fysiska principen var att kunna skapa tillräckligt mycket plats åt däckpåfyllningen samt inte störa pyrolysenprocessen. Utifrån dessa principer utformades *kravspecifikationen*, figur 4.10.

Intressent	Kriterier	Kontrollmetod	Målvärde	Krav/Önskemål
Produktion	Processtid	Tidtagarur	< 1h	K
Laget	Räckvidd	CAD-modell	95% av reaktors volym	K
Produktion	Automationsnivå	Studier och simulering	100%	Ö
Beställare	Tillverkningskostnad	Kalkyl	< 300 000 kr	Ö
Beställare	Livslängd	Test av kritiska delar	> 10 år	Ö
Laget	Rörets diameter	CAD-modell	196 mm mynning	K
Laget	Kollisionstopp	CAD-modell	30 mm från kant	Ö
Beställare	Pålitlighet	Test	> 99%	Ö
Operatör	Typ av manuell manöverering	Enkät	> 80% nöjda	Ö
Laget	Vikt	CAD-modell	< 300 kg	Ö
Beställare	Förskjutning från reaktormynningens centrumlinje	CAD-modell	< 700 mm	K
Laget	Räckvidd ner i reaktor	CAD-modell	7 cm från botten	K
Produktion	Distans till reaktormynning vid vila	CAD-modell	> 1,5 m	K
Operatör	Sikt i reaktor med hjälp av kamera	Studier	360 grader	Ö
Laget	Axlar	CAD-modell	< 4 st	Ö
Laget	Distans rörmynning till cylinderfäste	CAD-modell	> 500 mm	K

Figur 4.10, Kravspecifikation för omkonstruktionen

## 4.2.2 Steg 7: Analysstrategier

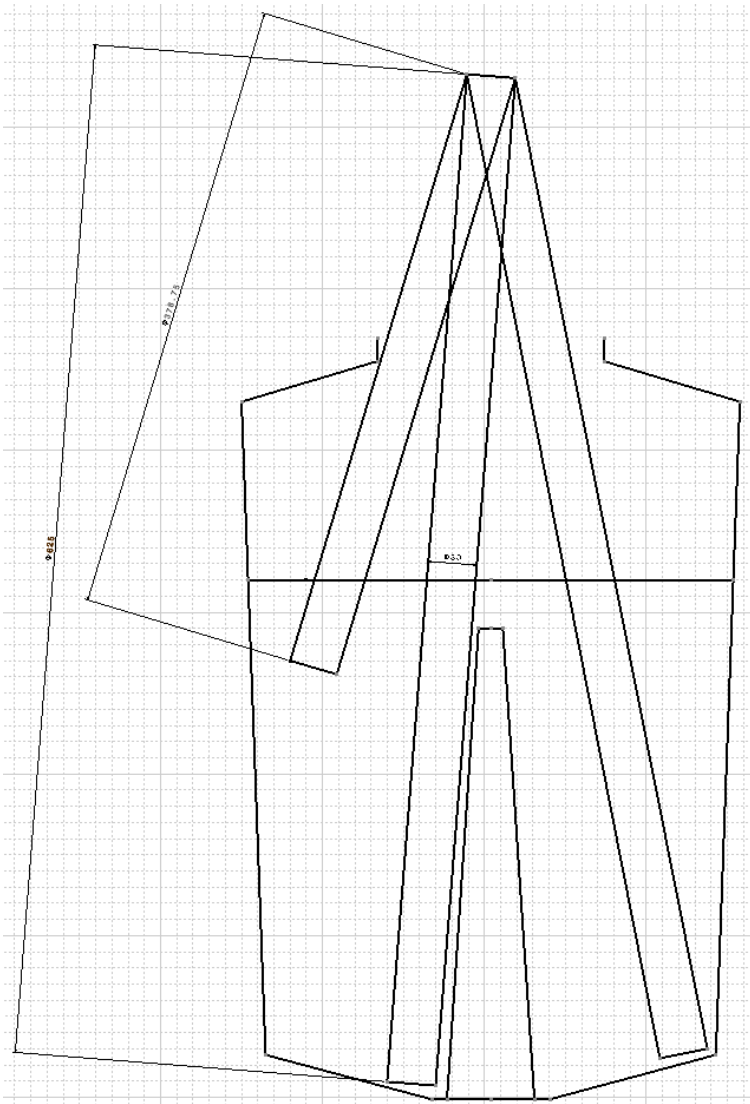
Hur plats skulle kunna ges vid däckpåfyllningen var beroende av hur konstruktionen skulle se ut, därför gjordes två prototyper på detta. En för när den var fäst i en pelare i marken, figur 4.11, och en när den satt i taket, figur 4.12. För att testa rörelseomfånget användes modellen över reaktorn, figur 4.13.



*Figur 4.11, Prototyp för kontrollera om man kan komma ur reaktor*



*Figur 4.12, Prototyp för kontrollera om man kan komma ur reaktor*



Figur 3.13, Prototyp för att kontrollera åtkomligheten i reaktorn

### 4.3 Steg 9: Adaptiv Omkonstruktion

Som tidigare konstaterat så gjordes varken en *parametrisk* eller en *originell omkonstruktion* utan en *adaptiv* valdes. Detta då de nya delsystemen inte inverkade något på de kraftflöden som illustrerats i figur 4.8 i avsnitt 4.1.3.

### 4.3.1 Pugh-matris

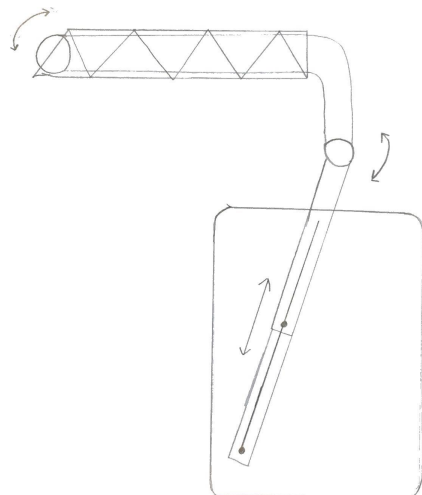
Ur den morfologiska matrisen togs sex koncept fram. Enkla skisser av dessa koncept återfinns i bilaga 3. När dessa sattes in i *pughs matris* nedan, figur 4.14, visade det sig att tre av dessa koncept hade potential att bli bättre än referenskonstruktionen.

Pugh Konzept Matrix								
Kategori	Kriterier	Referenslösning	Alternativa koncept					
Resursförbrukning	Underhåll	0	0	+	+	-	-	-
	Komplexitet	0	+	+	0	+	-	+
	Vikt	0	-	+	-	+	+	-
	Tillverkningskostnad	0	+	+	+	-	0	0
Prestanda	Sugförmåga	0	0	0	0	-	-	+
	Rörelseförmåga	0	-	+	-	-	0	+
	Räckvidd	0	-	0	+	+	-	+
	Snabbhet i rörelse	0	-	+	+	-	+	+
Användare	Beprovad	0	+	0	-	-	-	-
	Manövrering	0	-	+	+	-	+	+
	Lättförståelig	0	+	+	+	0	+	+
	Automatiseringpotential	0	0	+	-	-	0	+
	$\Sigma +$	0	4	9	6	3	4	8
	$\Sigma -$	0	5	0	4	8	5	3
	$\Sigma 0$	12	3	3	2	1	3	0
	Totalt	0	-1	9	2	-5	-1	5

Figur 4.14, Pugh-matris

#### 4.3.1.1 Koncept 2 – 90

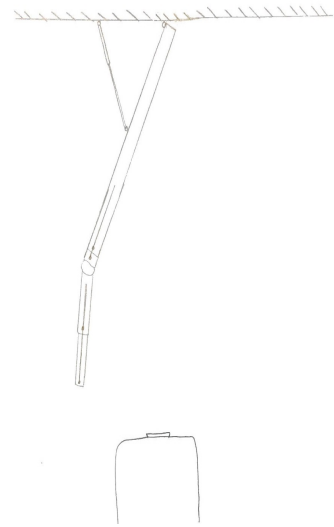
Detta koncept är det som är mest likt den produkt som används i Åsensbruk för att utföra motsvarande uppgift, tömma reaktorn på stålsvajer, i pilotanläggningen. Konstruktionen är tänkt att enbart innehålla fyra axlar. En vid infästningen, två i knäleden och en i det nedre teleskopröret.



Figur 4.15, Koncept 2 - 90

### 4.3.1.2 Koncept 3 – Sväng

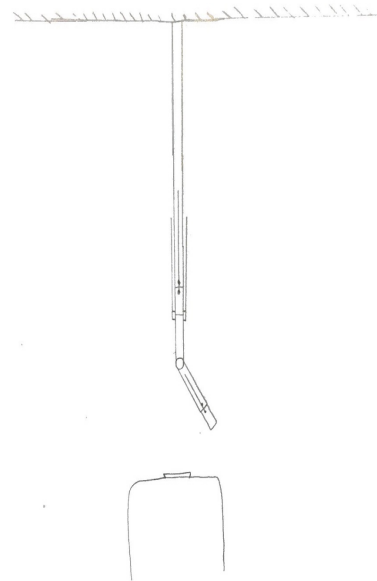
Koncept 3 bygger på det kan ändras läge på armen med en cylinder fäst i taket. Med den här funktionen ges möjligheten att göra plats för däckens vid påfyllning men ändå kunna placeras i en förmånlig position vid tömningen. Vid tömning är tanken att armen ska hänga rakt ner.



Figur 4.16, Koncept 3 – Sväng

### 4.3.1.3 Koncept 6 – Tele

Detta koncept liknar koncept 3 med avseende på att den vid tömning hänger i taket. Den stora skillnaden är dock att koncept 6 inte ska lyftas upp med en cylinder i taket. Den ska istället kunna dra ihop sig så mycket att plats ges åt däckpåfyllning. Detta reducerar belastningen på infästningen då en hävarm likt den i koncept 2 och 3 inte förekommer. Med en lägre belastning kan man konstruera lättare utan att underdimensionera.



Figur 4.17, Koncept 6 - Tele

### 4.3.2 Kesselringmatrix

Dessa tre koncept sattes sedan in i *Kesselringmatrisen* nedan, figur 4.18. Utfallet av matrisen blev att koncept 2 hade störst potential med sina 76,7 procent från idealet för V mot 56,7 respektive 53,3 procent som koncept 3 och 6 fick.

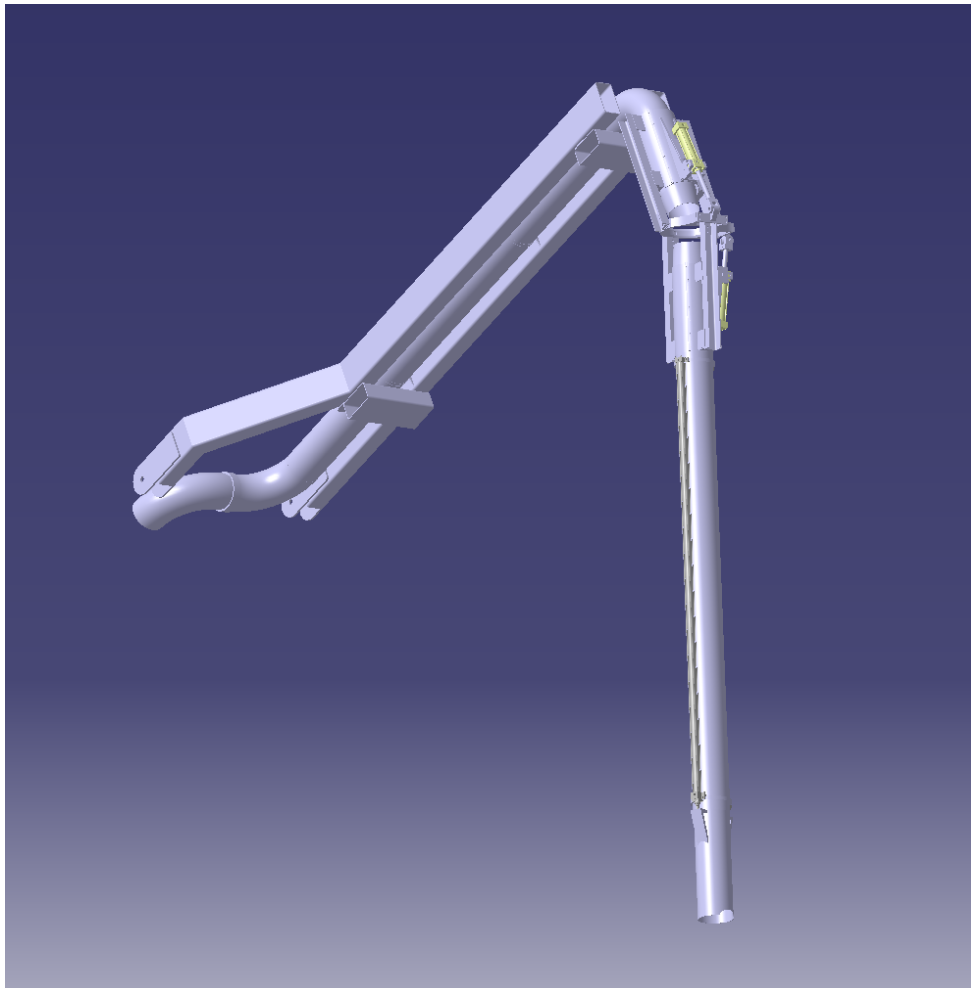
Koncept →		Ideal		2- 90		3- Sväng		6- Tele	
Kriterium	w	v	t	v	t	v	t	v	t
Komplexitet	4	5	20	4	16	3	12	3	12
Vikt	3	5	15	3	9	2	6	1	6
Rörelseförmåga	5	5	25	4	20	4	20	4	20
Beprövad	4	5	20	5	20	2	8	3	8
Tillverkningskostnad	2	5	10	3	6	3	6	2	6
Underhåll	5	5	25	4	20	3	15	3	15
<hr/>									
V = $\Sigma v$		30		23		17		16	
V / Vmax		100%		76.7%		56.7%		53.3%	
T = $\Sigma t$		115		91		67		67	
T / Tmax		1		79.1%		58.2%		57.4%	
Rangordning		–		1		2		3	
Beslut		–		Ja		Nej		Nej	

Figur 4.18, Kesselringmatrix

### 4.3.3 Koncept 90

Det koncept som presterade bäst i Kesselringmatrisen var koncept 90 och utifrån detta resultat tillsammans med projektgruppens bedömning, valdes det att vidareutveckla koncept 90. Det vidareutvecklade konceptet som ses i figur 4.19, har många likheter med referenskonstruktion och fungerar på liknande sätt. SUGRÖRET SVÄNGER TILLSAMMANS MED EN BÄRANDE KONSTRUKTION, NER TILL DEN POSITION DÄR SUGRÖR HÅLLS STILL I STORT SETT HELA PROCESSEN. SUGRÖRET OCH DEN BÄRANDE KONSTRUKTIONEN PLACERAS SÅ ATT BÄRANDE KONSTRUKTION ÄR PARALLELL MED MARKEN. SUGRÖRET KVARSTÅR I DENNA POSITION UNDER RESTERANDE DEL AV PROCESSEN MEDAN DET ENDAST ÄR KNÄLEDEN SOM RÖR SIG.





*Figur 4.19, Mer detaljerad modell över koncept 90*

#### **4.3.3.1 Rör, längd, teleskop diameter**

Då konstruktionen består av ett teleskoprör kan inte utsugsarmens mynning ha lika stor diameter som resterande del av röret. Innerdiametern på rörets mynning bestämdes till 192 mm och en godstjocklek på 2 mm för att möta kravet på en rördiameter på 196 från *kravspecifikationen*. Av naturliga skäl behövde det övre röret i teleskopröret ha högre diameter, därför bestämdes spel mellan rören på 2 mm. Detta innebar då att det övre röret hade en innerdiameter på 200 mm, samma innerdiameter som resterande rör i konstruktionen.

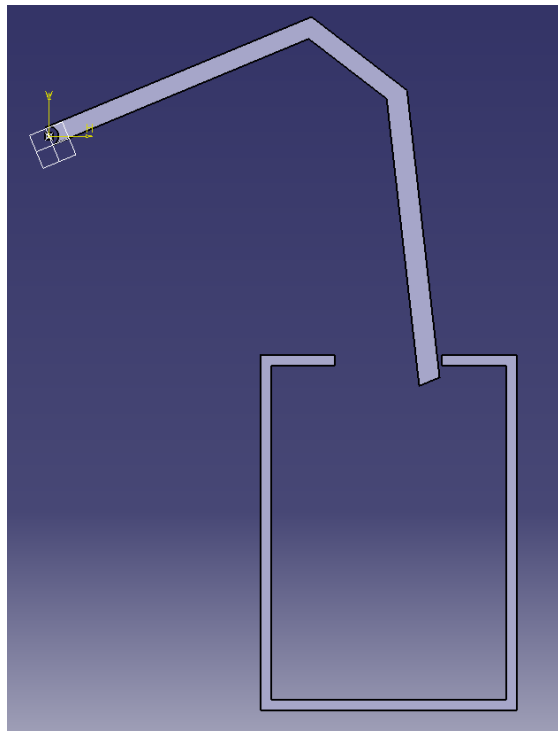
Referenskonstruktionen har cylindrar parallellt med det horisontella röret för att kunna förändra dess längd. Den nya konstruktionen som i detta projekt har utvecklats har inte funktionen att förlänga det horisontella röret, det är fixerat vid en längd på 3 300 mm. Fördubblingen av reaktorns öppning till 1 400 mm innebär en ökad flexibilitet, både ur konstruktion- och användningssynpunkt. I och med fördubblingen av reaktorns mynning är det inte nödvändigt att ha ett delsystem som förlänger det horisontella röret på samma sätt som hos referenskonstruktionen. Sugröret kan utföra sin huvudfunktion och lyftas in och ur reaktor även utan delsystemet som förlänger röret.

Kröken i figur 4.20 bestämdes till en radie på 90°, med argumentet att både 60° och 120° hade gjort processen att komma ur reaktorn med röret svårare. 60° hade även förorsakat ett slitage

värre än det med 90° på kröken. 120° hade däremot reducerat slitaget på kröken. Dessvärre visade det sig vara omöjligt att komma ur reaktorn, utsugsarmen hade hindrats av reaktorns borte kant som den då hade slagit i som illustreras i figur 4.21.

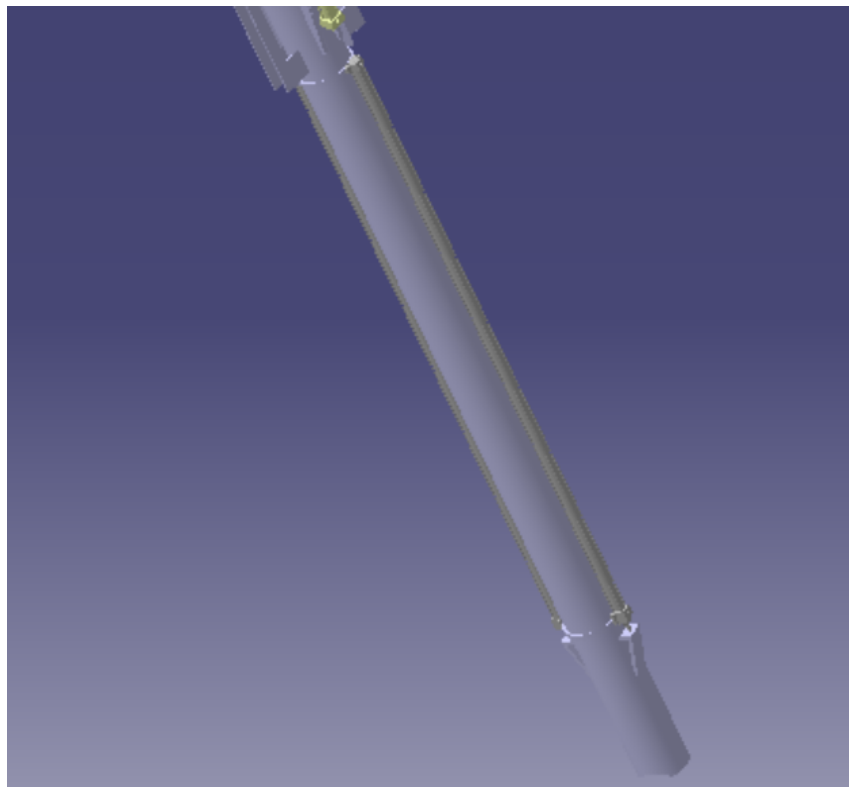


*Figur 4.20, Illustrerar bland annat utsugsarmens krök*



*Figur 4.21, Test av krök på 120°*

För att nå i reaktorn behövde teleskopröret ha en viss längd från knäledens centrum till rörets mynning. Nära exakta längder återfinns i figur 4.13 i avsnitt 4.2.2. Smärre förändringar var tvungna att göras för att kunna konstruera ihop utsugsarmen. Detta innebär en minimilängd på 3 912 mm för att sedan kunna teleskopas till en längd på åtminstone 6 280 mm. Dessa mått var definierade för hur långa de två teleskoprören kunde göras. Det undre teleskopröret gavs då en längd på 3 670 mm, där 3 070 mm går in i det övre teleskopröret vid hopdragning. Detta för att ha en viss marginal på 600 mm från det undre teleskoprörets mynning till cylinderfäste krävdes, som det ses i figur 4.22. Det övre teleskopröret kunde då ges en längd på 3070 mm. För att inga tvärkrafter ska belasta cylindrar och för att stabilisera teleskoprören, skjuts inte hela det undre teleskopröret ut ur det övre röret, utan 700 mm förblir inuti det övre teleskopröret. Detta innebär att en cylinder med en slaglängd på 2 400 mm krävs för att möta kravet på en åtkomlighet på sju centimeter från botten i reaktorn. För att reducera risken för *byrååldseffekten*, den effekt som uppstår när rören som är avsedda att glida mot varandra istället hamnar snett och försvårar glidningen, konstruerades teleskopröret med två parallella cylindrar, en på var sida av röret.

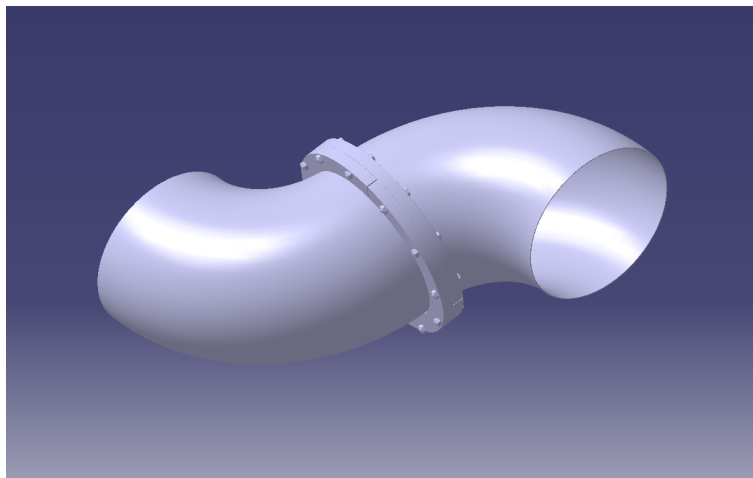


*Figur 4.22, Cylindrar på teleskopröret*

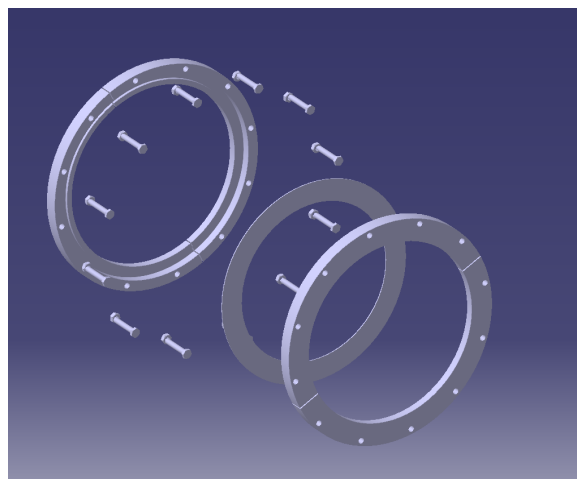
### 4.3.3.2 Rotationssystem

För att sugröret ska kunna lyftas in och ur reaktorn krävs det att sugröret kan svänga kring en axel och samtidigt förbli tät. Detta möjliggörs genom ett rotationssystem som är uppbyggt på samma sätt som på referenskonstruktionen. Som det ses i figur 4.23 är två stycken rör med en 90 graders krök sammansatta med en länk. Denna länk är uppbyggd på sådant sätt som illustrerade i figur 4.24 två skenor som förenas med skruvar och som med hjälp av ett glidlager kan glida mot varandra. Varje skena är ihopsatt med ett av de krökta rören och rör sig tillsammans med dessa. Detta möjliggör att det ena krökta röret kan rotera samtidigt som det andra förblir stilla och därmed kan hela konstruktionen svänga kring en axel samtidigt som system förblir tätt.

Innerdiametern på de två krökta rören är 200 mm likt det horisontella röret och kröken längst ut på sugröret. De krökta rören är krökta på en radie av 300 mm samt har en godstjocklek på 2 mm.



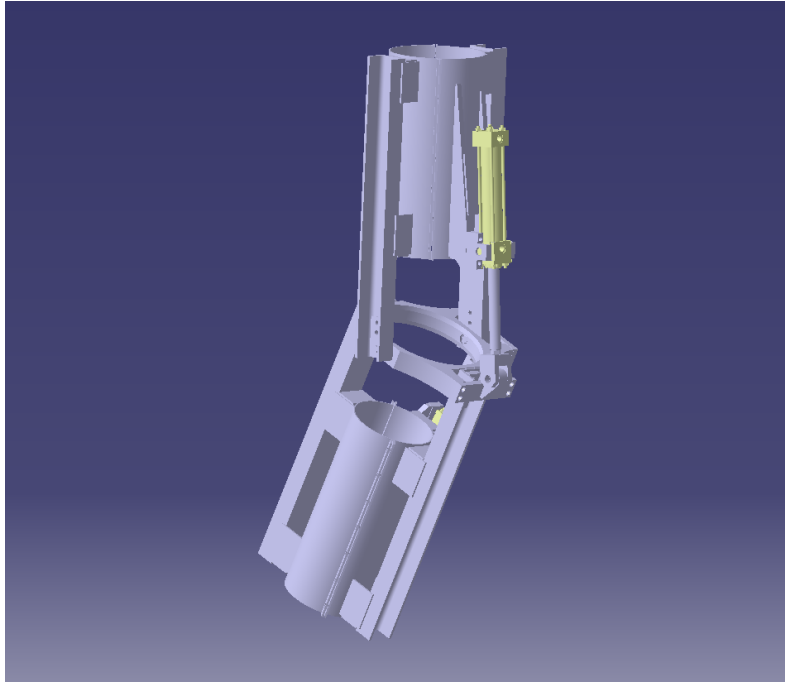
*Figur 4.23, Rotationssystem*



*Figur 4.24, Glidlager i rotationssystemet*

### 4.3.3.3 Knäled

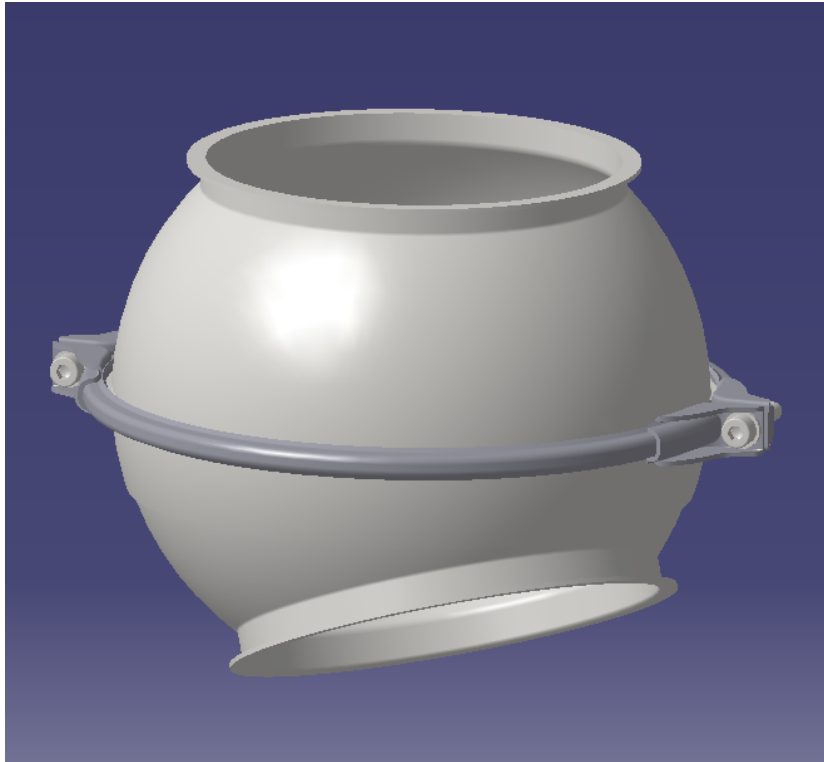
Den knäled som möjliggör sugrörets undre del att röra sig flexibelt är tagen från den referenskonstruktion som *ÅF Consult* tagit fram på uppdrag av Scandinavian Enviro Systems. Resultat från exempelvis *House of quality* i avsnitt 4.1.5 visade att beprövad teknik är en viktig aspekt för att uppfylla kundkraven på ett bra sätt. Då denna knäled har använts under en längre tid på Enviro's anläggning i Åsensbruk utan att ha uppvisat några större brister, valdes det att fortsatt använda detta delsystem och behålla samma dimensioner och mått.



Figur 4.25, Knäleden

Knäleden är konstruerad i två delar med ett ledkors som förbinder den undre och den övre delen, dessa två delar omsluter de rör som stålvejern sugs upp genom. Det vill säga att rören följer knäledens rörelse. Tillsammans blir den totala längden för knäleden då 1450 mm. Den övre delen är fastmonterad i det rör som förbinds med kröken och den undre delen är fastmonterat i det vertikala röret. Som figur 4.25 visar är en mindre cylinder placerad på knäledens övre del, denna möjliggör rörelse i ett plan. På samma sätt är en likadan cylinder placerad på dess nedre del, dock är denna placerad 90° kring röret. I och med cylinderns placering kan knäleden röra sig i ytterligare ett plan. Detta gör att knäleden kan röra sig fritt till alla lägen inom de restriktioner som cylindrar och kulrörsled tillåter. Knäleden är inte i sig tät utan fungerar på så sätt att den genom dess cylindrar styr den kulrörsled som är tätförsluten till de rör genom stålvejer ska sugas upp. Denna kulrörsled, *Pipe ball joint*, planeras att köpas in från Jacob Pipesystems utefter de krav som ställts på konstruktionen (Jacob pipesystems, 2017). Kulrörsledens fästyta, det vill säga de delar som ansluts till kröken och det vertikala röret, har en innerdiameter på 174 mm. Just denna kulrörsled kan vinklas 25°, vilket är nödvändigt då sugrörets ska lyftas ut ur reaktor. Under själva sugprocessen kommer knäleden inte att vinklas mer än 16°. Knäledens vridcentrum är placerad 1630 mm ovanför reaktoröppningens översta kant under tömningsprocessen. Denna placering av knäleden gör det möjligt för operatör att under större delar av processen inte behöva ändra knäledens position utan endast förlänga teleskopröret och vinkla knäleden. Det är endast vid uppsug av det översta lagret av stålvejer som knäleden behöver ändra position. Därför kan operatör

slutföra sin uppgift genom att endast operera med och koncentrera sig på knäleden samt teleskoprör.

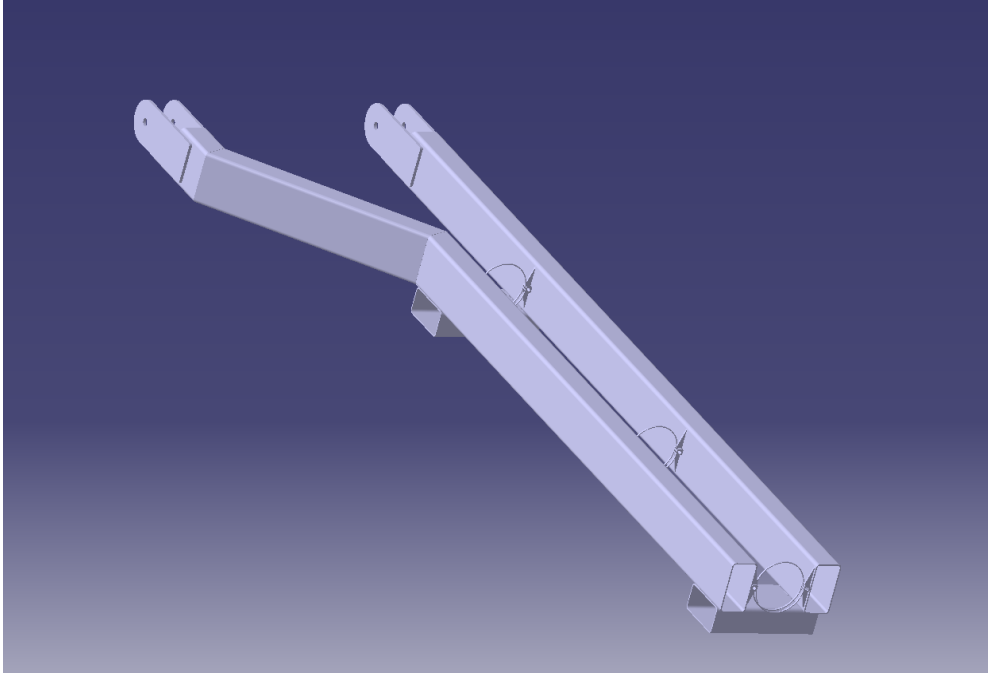


*Figur 4.26, Kulrörsled*

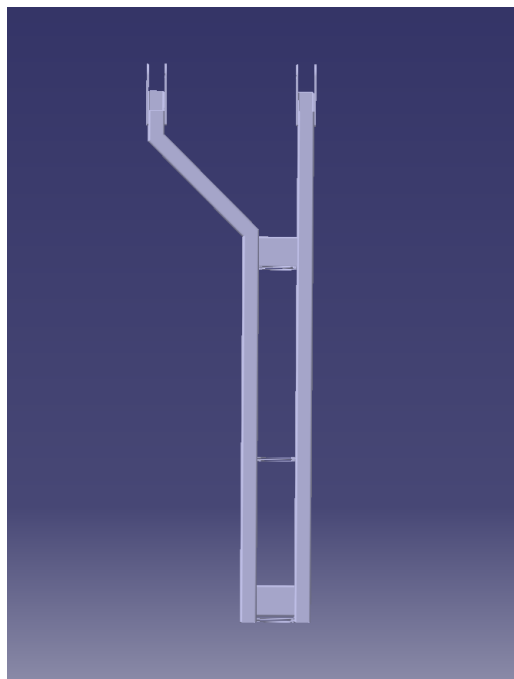
Till de två cylindrar som möjliggör knäledens rörelse, valdes det att använda samma sorts cylindrar som används på referenskonstruktion. Detta då knäleden i referenskonstruktionen är konstruerad med dessa, Dessa är av samma modell precis som övriga cylindrar på konstruktion, HMI-serien från Parker Hannifin. Cylindrarna har en slaglängd på 200 mm och en kolvstångsdiameter på 40 mm (Parker Hannifin, 2019). Cylindern kan hantera ett arbetstryck av 210 Bar, vilket ger goda marginaler mot de laster de kommer utsättas för.

#### **4.3.3.4 Bärande konstruktion**

Den bärande konstruktionen är den som används för att hålla upp röret och erbjuda möjligheten att på ett hållfast sätt fästa konstruktionen i en pelare eller ett vertikalt fackverk fäst i marken. Konstruktionen roterar kring samma centrumlinje som rotationssystemet roterar kring. I och med detta kommer sugröret och den bärande konstruktionen inte glida mot varandra vid rörelse utan rotera tillsammans. Denna infästning sker med två stycken M30-skruvar, en i var arm av konstruktionen. Balkarna i konstruktionen är av samma dimensioner, 200x100x5, som referenskonstruktionen. Som visas i figurerna nedan finns det två underliggande balkar som är fästa i de parallella långa balkarna för att hålla ihop dessa och på så sätt öka styvheten i konstruktionen. Den bakre underliggaren används även som ytan för en cylinder som används för att lyfta upp konstruktionen. Vid infästningen är avståndet mellan balkarna större än vad det är längre fram i konstruktionen för att lämna plats åt rotationssystemet. På tre stycken ställen mellan de långa parallella balkarna finns även ringar som röret ska fästas i. Som illustreras i *kraftflödesdiagrammet*, figur 4.8, är det dessa fästen som överför kraften från den bärande konstruktionen till det horisontella röret.



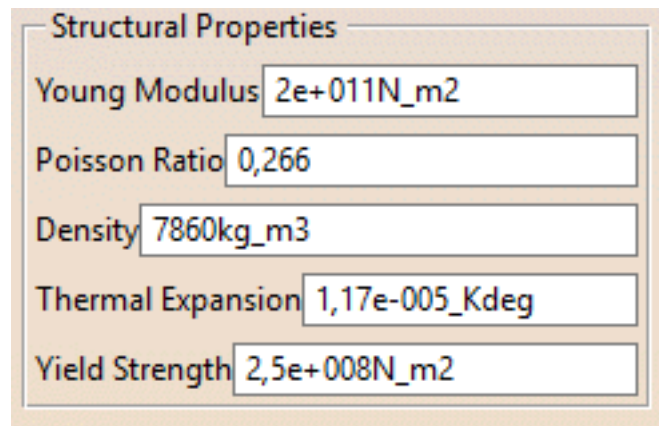
*Figur 4.27, Bärande konstruktion*



*Figur 4.28, Bärande konstruktion uppifrån*

### 4.3.3.5 FE-modellering

En FE-modell gjordes av den bärande konstruktionen. Då denna ska hålla upp hela sugröret inkluderat cylindrar och knäled, är det viktigt att den bärande konstruktionen klarar av belastningen med god marginal. För att simulera de verkliga belastningar lades den bärande konstruktionens egenvikt till, samt två laster ytterst på modell vars uppgift är att representerar sugrörets vikt. De två pålagda vikterna som skulle motsvara sugrörets vikt, uppgick till 120 kg vardera.

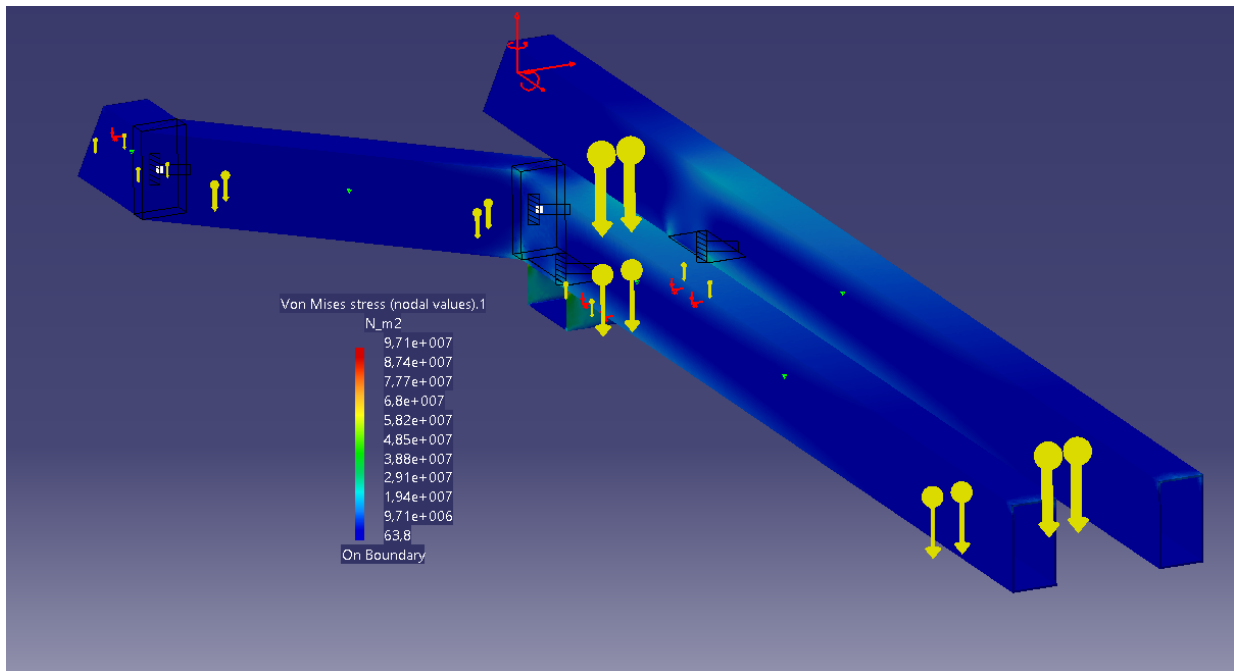


Structural Properties	
Young Modulus	2e+011N_m2
Poisson Ratio	0,266
Density	7860kg_m3
Thermal Expansion	1,17e-005_Kdeg
Yield Strength	2,5e+008N_m2

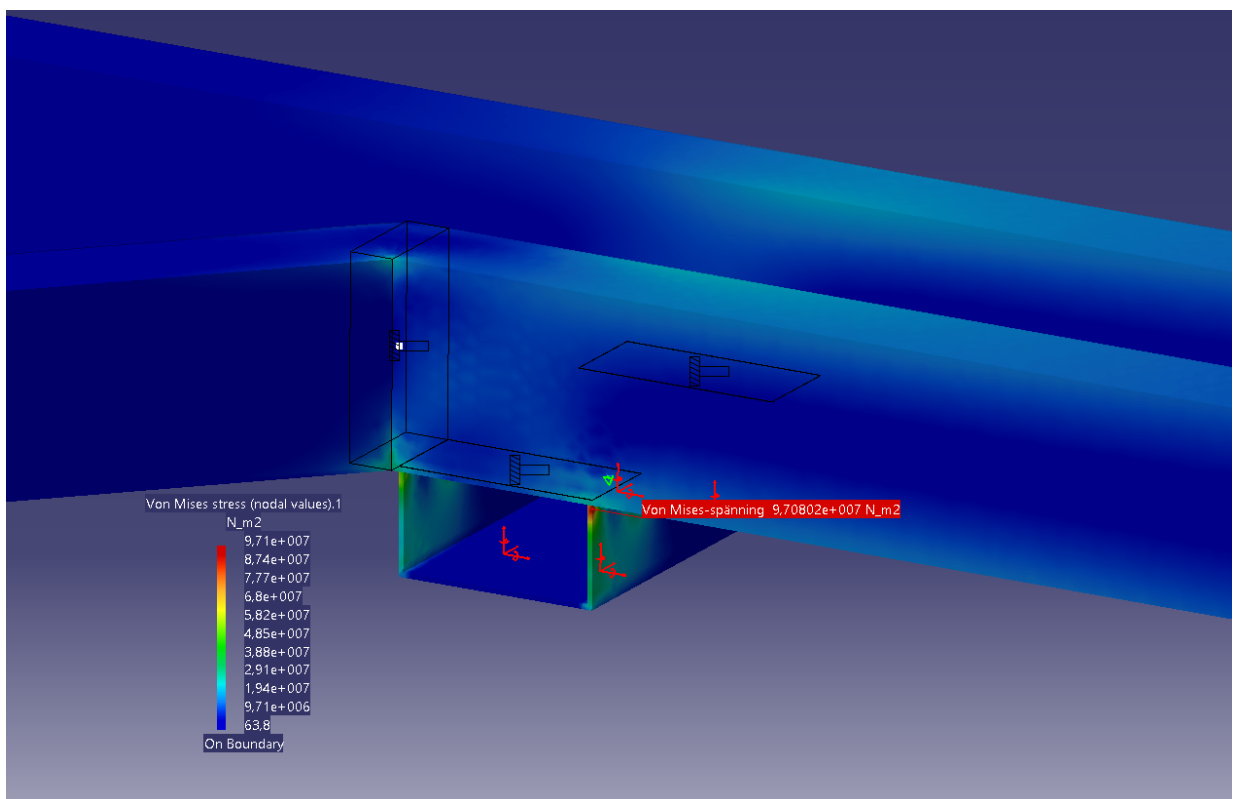
Figur 4.29, Värden ur FE-modellering

I figur 4.30 ses resultatet av den utförda FE-modellen med fokus på Von Mises-spänning. Konstruktionen hanterar spänningarna i materialet bra. Högst spänning uppstod i den innersta tvärliggande balken, där spänningen uppgick till 97 MPa vilket ses i figur 4.31. Modellen tillgavs materialet stål med materialdata från CATIA V5 som ses i figur 4.29. Enligt denna materialdata uppgår stålets sträckgräns till 250 MPa. Detta betyder att den högst uppmätta spänningen endast uppgår till 38,8 procent av materialets sträckgräns, vilket ger en säkerhetsmarginal på mer än det dubbla. I övrigt uppstår inga större spänningar utan det är främst kring den tvärliggande balken som de lite högre spänningarna uppstår.





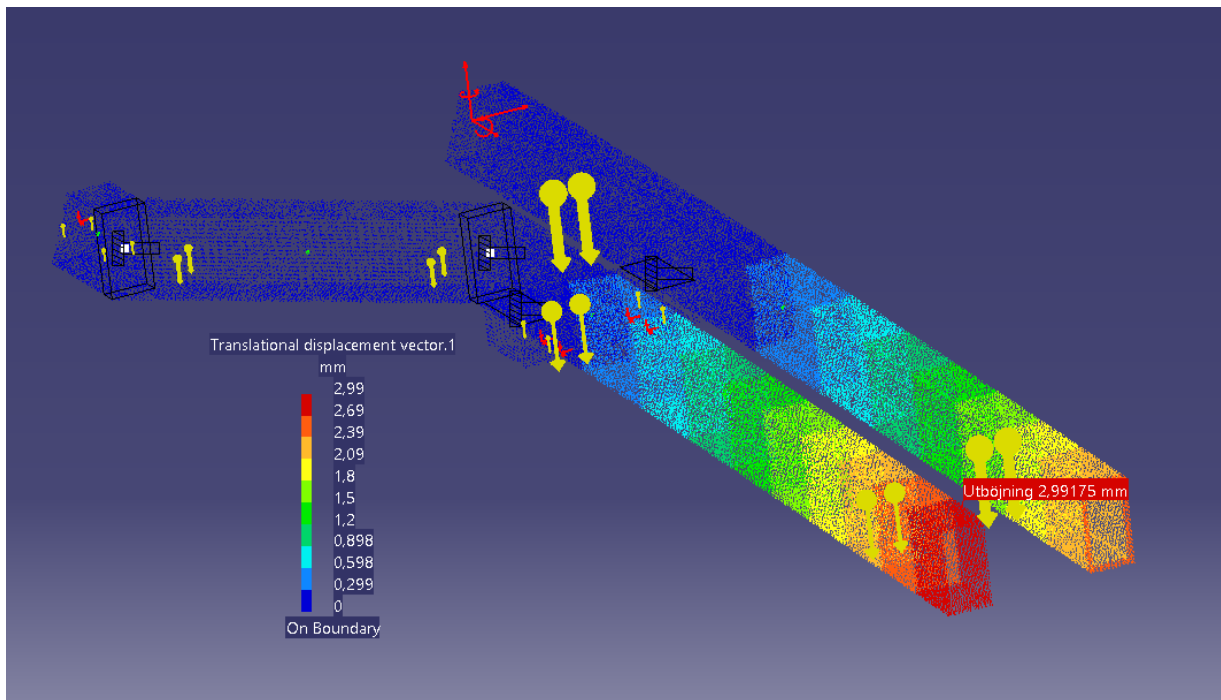
Figur 4.30, Von Mises-spänning för FE-modell



Figur 4.31, FE-modellen maximala Von Mises-spänning

Det säkerställdes att konstruktionen behåller sina dimensioner och inte har för hög elastisk rörelse under belastning genom att göra en FE-modellering med avseende på modellens utböjning. Som går att se i figur 4.31 uppgick den största utböjning till 2,99 mm vilket

uppstod längst ut på konstruktionen i den vinklade balken. Den raka balken simulerades också att ha utböjning men inte lika stor. I övrigt fanns inte några större utböjningar i resterande delar av den bärande konstruktionen.



Figur 4.32, Utböjning från FE-modell

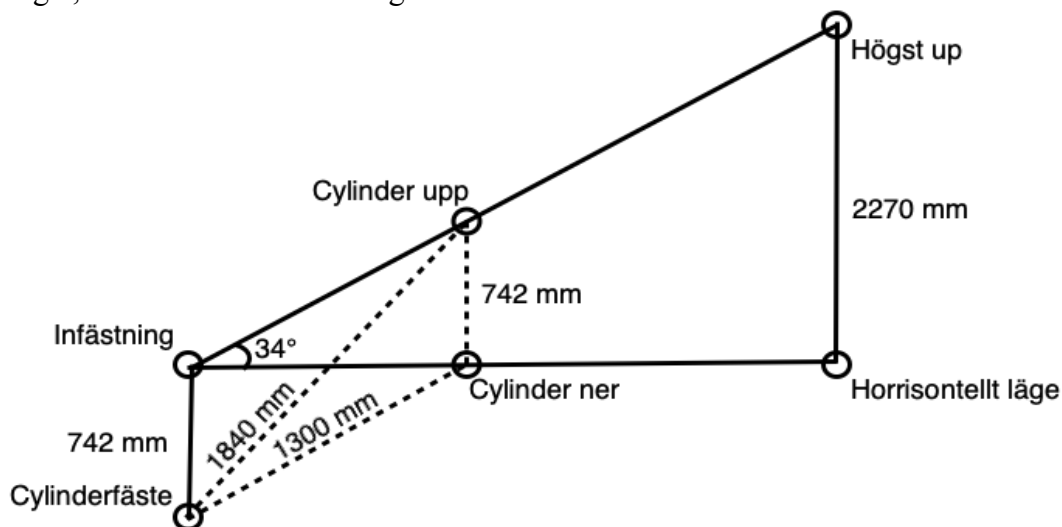
#### 4.3.3.6 Val av cylindrar

Till knäleden valdes, som beskrivet i avsnitt 4.3.3.3, att använda samma sorts cylindrar som används till knäleden i referenskonstruktionen. Till teleskopsfunktionen som ska föra det nedre teleskopsröret in och ur det övre teleskopsröret, kunde dock inte samma cylinder som i referenskonstruktionen användas. Detta på grund av att sugröret är uppbyggt med andra dimensioner. Teleskopcylindrarna behöver en slaglängd på 2 400 mm för att kunna teleskoperas ut de 2 370 mm som krävs. Då diametern på den del av sugröret som ska operera inuti reaktorn påverkar hur pass bra åtkomlighet och rörlighet sugrör får, behövde cylindrarna vara smal.

Det framkom vid eftersökning att elektromekaniska cylindrar som var konstruerade med en slaglängd på 2 400 mm, var tämligen tjocka och tunga, vilket inte ansågs vara två fördelaktiga attribut. Även om elektromekaniska cylindrar är mer exakta i sina rörelser än hydrauliska cylindrar, ansågs inte detta vara tillräckligt viktigt för konstruktionens funktion. Utan det bedömdes med referenskonstruktionen som stöttning, att hydrauliska cylindrar är tillräckligt exakta. Det valdes att endast gå vidare med hydrauliska cylindrar då dessa uppfyller kraven, samt är väl beprövade. Det är även fördelaktigt med hydrauliska cylindrar att de inte behövs tillföras något ytterligare energi för att hålla cylindrarna still i en viss position i och med fluidens inkompressibilitet. Detta är bra då sugrörsarmen kommer att stå still och inte användas större delen av tiden. Flera modeller och företag studerades och jämfördes mot varandra och det fanns ett flertal som uppfyllde de två kraven att ha en slaglängd på 2 400 mm och vara smala. Då de flesta presterade likt på flera kriterier valdes det att värdera det

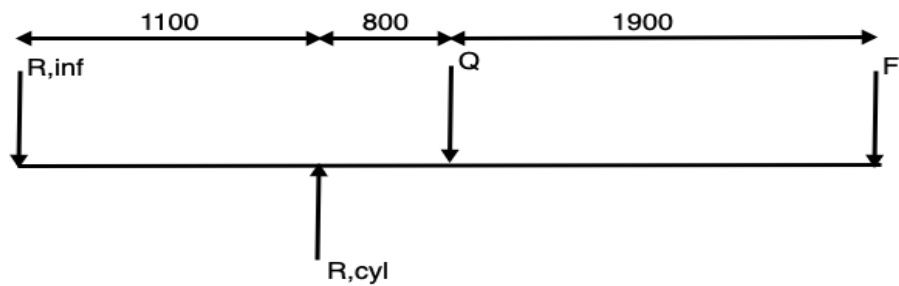
faktum att Parker Hannifins serie av hydrauliska cylindrar, HMI-serien, har använts i referenskonstruktion och där presterat bra. Även det faktum att HMI-serien är väldigt kompakta cylindrar som inte tar mycket plats samt att de är väldigt justerbara, vägde till dess fördel. Cylindern som valdes har en slaglängd på 2 400 mm och en kolstångsdiameter på 32 mm (Parker Hannifin, 2019). Cylindernkroppens tjocklek är 46 mm vilket betyder att de två cylindrarna adderade blir 92 mm till det nedre teleskoprörets tjocklek.

För att kunna ge plats åt däckpåfyllningen behöver kröken lyftas upp ungefär 2 700 mm. Detta innebar ungefär en vinkel på  $34^\circ$  vid infästningen mellan armens högsta läge och det horisontella läget. Cylinderns fästpunkt i det vertikala fackverket är 742 mm från infästning i vertikalt led och andra änden 1 100 mm från infästningen på den bärande konstruktionen. Med dessa förhållande behövde cylindern då vara 1 300 mm i nedre läget och 1 840 mm i övre läget, som även illustreras i figur 4.33.



Figur 4.33, Beräkningar för dimensionering av cylinder

För att bestämma vilken cylinder som bäst lämpar sig för konstruktionen behöver belastningar bestämmas. I figur 4.34 visas en förenklad bild av vilka krafter som påverkar den bärande konstruktionen.  $R_{inf}$  är den reaktionskraften som infästningen ger upphov till.  $R_{cyl}$  är den minsta kraft som cylindern behöver generera i vertikalt led för att lyfta konstruktionen.  $Q$  är den kraft som skapas från konstruktionens och sugrörets egentyngd, 2 800 N medan egentyngden från kröken och allt nedanför den representeras av  $F$ , 2 440 N.



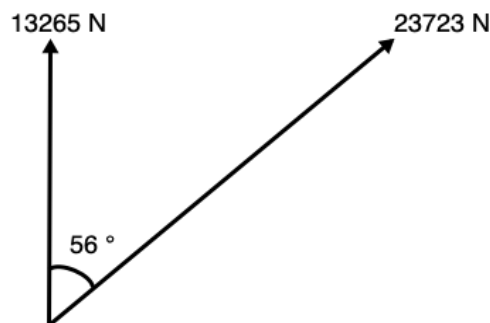
Figur 4.34, Krafter på den bärande konstruktionen

$R_{cyl}$  togs fram genom att beräkna moment i infästningen när den var noll

$$1100 \cdot R_{cyl} - 800 \cdot Q - 3800 \cdot F = 0 \quad (1)$$

$$\Rightarrow R_{cyl} = (800 \cdot Q + 3800 \cdot F) / 1100 = 13265 \text{ N} \quad (2)$$

Som tidigare nämnt så är  $R_{cyl}$  den vertikala kraften och då cylinder trycker på den bärande konstruktionen med en vinkel på  $56^\circ$ . Därför behöver cylindern generera en större kraft än detta. Som Figur 4.35 nedan visar behöver cylindern trycka med en kraft på 23 723 N.



Figur 4.35, Kraft i cylinderns riktning

För att avgöra den minsta möjliga diametern på kolven i cylindern behöver man använda formen  $P = F/A$ . Där  $F$  i detta fallet är 23 723 N medan  $P$  är det tryck som hydraulsystemet kan åstadkomma. Cylindertypen är kapabel till 210 bar alltså 21 000 kPa men hur mycket kraft som hydraulsystemet ska kunna utveckla är en obestämd variabel. Det antas därför att systemet ska kunna åstadkomma 10 000 kPa. Sätter man in detta i  $P = F/A$  fås arena till ungefär  $0,0024 \text{ m}^2$ , alltså är en diameter på över 55 mm en nödvändighet. Den minsta valbara kolvcylinderdiametern är då 60 mm (Parker Hannifin. 2019).

#### **4.3.3.7 FMEA/Utvärdering**

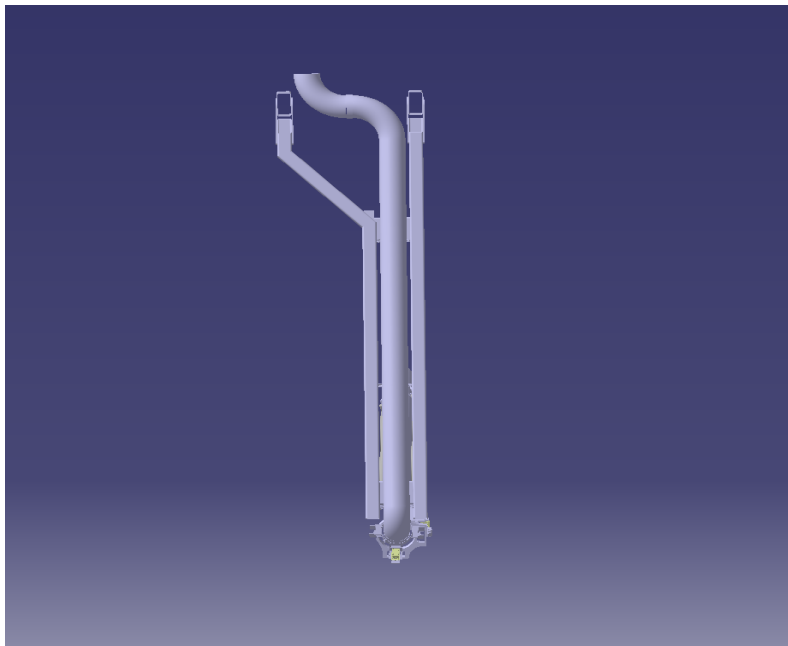
När FMEA gjordes kunde man se att de stora riskerna låg i att materialet på röret skulle nötas ut av stålvaajerflödet eller inte monteras på ett sätt som gjort det tillräckligt tätt för att inte påverka luftflödet negativt. Som angivet i FMEA i bilaga 4, så föreslås en förbättring i form av att förstärka komponenterna i kritiska punkter för att reducera eventuell nötning. För att motverka dåligt luftflöde i systemet bör monteringen av konstruktionen noggrant så att inga läckage uppstår som en följd av bristfällig montering. I detta skede visade analysen inte några tecken på att konstruktionen är i behov av modifikationer.

## 5. DISKUSSION

I detta kapitel diskuteras osäkerheter kring konstruktionen och val av komponenter samt den använda metodens lämplighet för just detta projekt.

### 5.1 Konstruktionen

Potentiella förändringar för den bärande konstruktionen hade kunnat vara att öka avståndet mellan de två infästningarna. Den konstruktion som i detta projekt tagits fram har ett avstånd mellan infästningarna som är nära minimum, som det går att se i figur 5.1. För att göra konstruktionen mer flexibel skulle den kunna konstrueras med ett större avstånd mellan infästningarna på den bärande konstruktionen. Ett större avstånd mellan dessa skulle kunna underlätta åtkomligheten vid montering eller erbjuda möjligheten att kunna öka dimensionen på rören vid infästningen om problematik med aktuella dimensioner uppstår.



*Figur 5.1, Bärande konstruktion och infästning*

Den bärande konstruktionen är konstruerad med samma dimension på profilerna som referenskonstruktionen hade, 200x100x5 mm. Det visades av FE-modellen att den bärande konstruktionen var något överdimensionerad, bland annat en nedböjning på knappt 3 mm. Mindre balkar skulle kunna utföra den bärande funktionen med samma kvalitet. Därför gjordes en beräkning av hur stor prisskillnaden hade varit om man istället hade konstruerat med profiler i dimensionen 140x80x5 mm. Enligt Petter Lantz, utesäljare på Damstahl, kostar 200x100x50-profilen 1 115 kr per meter och den mindre profilen kostar 800 kr per meter. Detta är en prisskillnad på 315 kr per meter vilket innebär att den ekonomiska vinsten att gå ner till den mindre dimensionen är 2 678 kr per konstruktion. Efter konsultation av Persson, docent vid *institutionen för industri- och materialvetenskap* på Chalmers tekniska högskola, beslutades det att inte konstruera med den mindre dimensionen. Detta vilar på argumentet att den inte ska tillverkas i så stora kvantiteter vilket betyder att den inte är i så stort behov av prisoptimering. Det är då snarare bättre att överdimensionera konstruktionen för att designa bort tänkbara svagheter och ha en hög styvhet.

## 5.2 Metoddiskussion

Hela arbetet utgick ifrån Kevin Otto och Kristin Woods metod för produktutveckling *Reverse engineering*. Detta är en metod som beskrivs av författarna som en generell modell som kan appliceras vid all produktutveckling (Otto, K & Wood, K, 2001). Det har dock vid flertalet tillfällen under arbetets gång uppenbarats situationer då avsteg från modellen varit nödvändiga. Detta oftast på grund av att metoden beskrivs i termer och modeller som utgår ifrån att produkten utvecklas för massproduktion. Till exempel hade demontering och olika fysiska tester på referensprodukten en central roll i metodens arbetsgång. I och med att den referenskonstruktion som det har utgått ifrån i projekt, bara finns i ett exemplar och att denna idag används i anläggningen i Åsensbruk. Det gjordes istället en demontering av den digitala modellen, inga fysiska tester genomfördes heller. Metoden får ändå anses ha varit lämplig trots att det inte har varit möjligt eller relevant att följa alla steg i metoden under projektets gång.

## 5.3 Validitet

Projektet har genomförts helt utan fysiska test, varken av referenskonstruktion eller delsystem av den nykonstruerade. Att inte ha tillgång till en referenskonstruktion för fysiska tester eller för användarerfarenhet försvårade första fasen, *Reverse engineering*. Som nämnt i metoddiskussionen ovan kunde vissa delar ur metoden inte genomföras som beskrivet i den teoretiska referensramen. *Subtract and Operate Procedure (SOP)* i steg två var ett av dessa undantag. När sådana här avvikelser gjordes från metoden riskerade projektgruppen att missa vitala delar av den. Exempelvis skulle det kunna konstateras att ytterligare komponenter skulle kunna designas bort om metoden följts exakt.

Utän att ha utfört några fysiska tester kan det inte försäkras att konstruktionen kan utföra önskade funktioner och med önskad effekt. Knäleden är ett sådant delsystem där man skulle kunna testa funktionerna för att försäkra sig om att den klarar de krav som ställts på denna. Knäleden i sig har använts tidigare i referenskonstruktionen under en längre tid och har visat sig vara duglig till att utföra dess syfte utan några större problem. Det är dock lite andra belastningar i den framtagna konstruktionen, som knäleden hade kunnat testas med. Det råder även osäkerhet kring cylinderdimensionerna, i synnerhet teleskopcyldrarna. Då information om hur stålvarer beter sig när sugröret förs ner i materialet inte har erhållits blir dimensioneringen av cylindrarna problematisk. De krafter som röret utsätts för under processen har varit svåra att bedöma. Detta till följd av bristande information om vakuumsystemet och om hur stålvarer beter sig under uppsugning.

Då omkonstruktionen gjordes *adaptiv* är risken för felkonstruktion mindre. Stora delar av den teknik som den nya utsugsarmen är konstruerad med är beprövad i referenskonstruktion, vilket också var något som ansågs viktigt och förklaras i avsnitt 4.1.5. Det ansågs då vara fördelaktigt med *adaptiv omkonstruktion* ur ett validitetsperspektiv. Med den information- och resurstillgång som projektgruppen haft tillgång till var detta ett argument att inte ta fram en *originell omkonstruktion*.

## 6. SLUTSATS

I detta kapitel kommer det undersökas hur väl resultatet har besvarat på de tre frågeställningar som presenterades i avsnitt 1.3. Det kommer även i detta kapitel att presenteras erfarenheter från projektet och vidare arbete för att komplettera det framtagna konceptet.

### 6.1 Frågeställning och syfte

I avsnitt 1.3 i inledningen presenteras tre frågeställningar som projektet har syftat till att besvara, samtliga punkter har besvarats i rapportens resultatdel. Där framgår att en ny simplificerad utsugsarm har konstruerats med de krav som ställts på konstruktionen. Det ansågs mest lämpligt att använda hydrauliska cylindrar för detta ändamål, diametern hos en elektromekanisk cylinder hade blivit för stor vilket hade inverkat på rörets förmåga att nå alla kritiska områden i reaktorn.

Det visade sig att en *originell omkonstruktion* inte var nödvändig då det inte rådde någon större konflikt mellan användarbehoven och den nuvarande konstruktionen. Trots detta skulle vidare undersökningar för att se potentialen hos en *originell omkonstruktion* kunna genomföras. Att konstruera med beprövade delsystem är som tidigare nämnt en viktig aspekt för att uppfylla kundkraven på ett resurseffektivt sätt. Varken tillräcklig kunskap eller tillräckliga resurser skulle finnas tillgängliga för att kunna göra en *originell omkonstruktion*.

### 6.2 Erfarenhet och lärdomar

Då hela arbetsgången är baserad på produktutvecklingsmetoden *Reverse engineering* har stor erfarenhet av denna metod erhållits. Andra erfarenheter som projektet givit är sådana om hur man behandlar konstruktionsproblem och hur man fortskrider i ett projekt trots bristande information och kommunikation. Ytterligare lärdomar under projektet är att det lätt blir så att avgränsningarna för projektet inte blir tillräckligt snäva i uppstarten av projekt. Då kunskapen om projektets komplexitet var begränsade till en början, fanns det inte några tydliga och rimliga begränsningar för projektet, detta var någonting projektgruppen senare fick utforma. Då anläggningen som utsugsarmen ska användas i varken var byggd eller detaljplanerad fanns det många fria variabler. Detta var någonting som försvårade arbetet eftersom de anslutande systemets utformning inte var fastställd. Snarare än att öka friheten försvårade detta produktutvecklingen då detaljer inte helt kunnat fastslås och det var svårt att fastslå designen

### 6.3 Trovärdighet och vidare arbete

Som tidigare nämnt kan det inte fastställas med 100 procent säkerhet att den produkt som konstruerats fungerar. Detta eftersom inga fysiska tester av produkten har genomförts. Delsystemen som återfinns i den nya konstruktionen som även finns i referenskonstruktionen är på ett sätt testade, men då i annan konstellation.

Vidare arbete och undersökningar hade varit detaljkonstruktion av delar. Bland annat hur fästen ska vara konstruerade och även hur man tätar mellan teleskoprören. När detta är genomfört hade fysiska tester behövt göras för att försäkra sig om att konstruktionen fungerar. Därefter skulle utsugsarmen behöva konstrueras för att vara helt kompatibel med anslutande system. När dessa är kompatibla skulle konstruktionen behöva monteras för att sedan installera och programmera styrsystem.



## REFERENSER

Akao, Y. (2004). *Quality Function Deployment: Integrating Customer Requirements Into Product Design*. Milton: Taylor & Francis.

Altshullerr, G. (1984). *Creativity as an exact science: The theory of the solution of inventive problems*. Milton: Taylor & Francis.

Bunge, M. (1963). *A General Black Box Theory. Philosophy of Science. The University of Chicago Press*. Hämtad från:  
<https://www.jstor.org/stable/i302007?refreqid=excelsior%3Ae0248068d051335dc6f77a3d87b0ca63>

Defeo, J & Juran, J. (2010). *Juran quality handbook: The complete guide to performance excellence* (6. uppl.). New York: McGraw-Hill Education.

Gonzales, C. (2015). *Linear motion: What's the Difference Between Pneumatic, Hydraulic, and Electrical Actuators?*. Hämtad från  
<https://www.machinedesign.com/linear-motion/what-s-difference-between-pneumatic-hydraulic-and-electrical-actuators>

Hubka, V, Myrup Andreasen, M & Enst Eder, W. (1988). *Practical Studies in Systematic Design*. London: Butterworth & Co.

Hughes, T. (2000). *The Finite Element Method: Linear Static and Dynamic Finite Element Analysis*. New York: Dover publications

Ingle, K. (1994). *Reverse Engineering*. New York: McGraw-Hill Education.

Jacob pipesystems. (2017). *Jacob online catalouge 2017* [Produktblad]. Shropshire: Jacob pipesystems. Hämtad från  
<https://www.jacob-uk.com/products/fixing-components-accessories/pipe-ball-joints>

Otto, K & Wood, K. (1996). *A reverse engineering and redesign methodology for product evolution*. I *The 1996 ASME Design Engineering Technical Conferences and Design Theory and Methodology Conference*. 18-22 augusti, 1996, Irvine.

Otto, K & Wood, K. (2001). *Product Design: Techniques in reverse engineering and new product development*. New Jersey: Prentice Hall books.

Parker Hannifin. (2019). *Hydralcylindrar av industrityp- HMI-serien* [Produktblad]. Cleveland: Parker Hannifin. Hämtad från  
<https://ph.parker.com/se/sv/hmi-series-hydraulic-cylinders>

Pugh, S. (1991). *Total Design: Integrated Methods for Successful Product Engineering*. Boston: Addison-Wesley.

Stamatis, D. (2003). *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution* (2.uppl.). Milwaukee: ASQ Quality press

# BILAGOR

## Bilaga 1

Nedan följer frågor och en sammanställning av dem svar och diskussioner som förekom under mötet med fokusgruppen

### diskussionsfrågor:

- Vilka är de största problemen med användningen av utsugsarmen?
- Hur lång tid tar tömningsprocessen?
- Förekommer några återkommande problem med att stålvaajer fastnar i systemet?
- Finns det ett standardiserat rörelsemönster för tömningen? Gör alla på samma sätt?
- Varför används inte kameror?
- Hur mycket stålvaajer är det i reaktorn innan tömningen?
- Kan det vara kvar enstaka stålvaajer? Eller är det enkelt att få upp allt?
- Hur med vilken frekvens används utsugsarmen?
- Hade en större öppning underlättat tömningsprocessen markant?
- Förhindrar gasröret tömningen?
- Förekommer det att stålvaajar fastna på rörets utsida?

### Svar:

- Operatörer upplever problem med responsen från de hydrauliska cylindrarna. Det är framförallt de större som det finns en dötid på, vilket gör det svårare att manövrera utsugsarmen.
- Det framfördes klagomål på arbetsställningen då reaktor töms. Detta för att operatören måste stå och titta ner i reaktor. Det föreslogs att kameror skulle sättas på rör. Studier av detta görs på anläggning i Åsensbruk. (Gruvor använder sådan här teknik)
- Joystick som användes var svår att använda då den inte går efter *öster-väster* utan *vänster-höger*. Vilket gör att när operatör går runt mynning för att få en vy in i reaktor, måste tänka på att en rörelse åt vänster med joysticken kan göra att röret rör sig åt höger.
- Det tar en timme av aktiv uppsugning och sedan ska behållare tömmas vilket gör att processtiden blir längre.
- Det förekom att det bildas bollar av stålvaajer som fastnar i kröken (90 grader) av röret. Gjorde att de var tvungna att öppna upp röret, vilket inte är bra. De använder då en stor piprensare.
- I och med rörets krökning och att röret har ett cirkulärt tvärsnitt, gör detta att det finns en punkt som är speciellt utsatt. Antingen hoppa kröken eller göra ytan platt så att det inte blir en punktbelastning föreslogs.
- De hade inget standardiserat rörelsemönster som var det mest effektiva, utan alla gjorde lite hur de själva ville.
- I april 2019 börjar de testa med kameror.
- Det är inte svårt att suga upp allt (få rent). Verkar som att suget är väldigt starkt.
- De använde armen två gånger per dag.

- På nya anläggningen kommer maximalt 2st utsugsarmar arbeta parallellt
- Större öppning hade underlättat vilket de nya anläggningarna kommer att ha.
- Röret som släpper ut gas inuti reaktor stör vid tömning.
- Det förekom inga problem med att stålrester fastnade på utsidan av sugröret, på exempelvis cylindrar.

# Bilaga 2

Title	Lagegivare vrid	Qty	Partnummer	Drawing no.	Item	Title	Qty	Drawing no.	Item
Disans	1 Tr2076		Tr2075	6 -->	Rundstang	1 Tr2076			1
Disans	1 Tr2072-02		Tr2075	5 -->	Rundstang	1 Tr2072			1
Lagegivare	1 FC-200		Tr2075	4					
Skuv MCSS	1 ISO 4762 - M8x40		Tr2075	3					
Skuv MCSS	1 ISO 4762 - M8x35		Tr2075	2					
Skuv M6S	1 ISO 4014 - M10x45		Tr2075	1					
Overör	1 Tr2033		Tr2034	3					
Kona	1 Tr2023		Tr2034	2 -->	Plåt	1 Tr2023			1
Rör	1 Tr2027		Tr2034	1 -->	Plåt	1 Tr2027			1
Ledkors kol			Tr2028	4 -->	Plåt				2
Kolvstängsfäste	2 Tr2002		Tr2028	3 -->	Plåt	1 Tr2002			1
Ledkors	1 Tr2001		Tr2028	2	Plåt	1 Tr2001			1
Skuv MCSS	8 ISO 4762 - M12x35		Tr2028	1	Plåt				3
Flansbussning	4 ISO 2795 - 20x26x15		Tr2028	1					2
Telekoppar kol	1 Tr 2032		Tr2018	7 -->	Cylinderfäste	1 Tr2032			1
Yttre letekoppar			Tr2018	6 -->	Cylinderfäste	1 Tr2032			2
Inre teleskopför	1 Tr 2031		Tr2018	5	Rör	2 Tr2031			1
Ring	1 Tr 2022		Tr2018	4	Kolvstängsfäste				1
Mutter M6M	1 Tr 2021		Tr2018	3					
Skuv MCSS	2 ISO 8673 - M20x1,5		Tr2018	2					
Cylinder	6 ISO 4762 - M8x30		Tr2018	1					
Övre led	2 40CKMRL24M190M1100		Tr2015	10					
Pinne	1 Tr2030		Tr2015	9					
Lagerbuck	2 Tr2029		Tr2015	8 -->	Konsol	1 Tr2013			3
Klämma med balk och konsol	1 Tr2013		Tr2015	7 -->	Balk	1 Tr2013			2
Klämma med balk och konsol	1 Tr2012		Tr2015	6 -->	Klämma	1 Tr2012			1
Ledbäpp	2 Tr2003		Tr2015	5	Klämma	1 Tr2003			2
Cylinder	1 Parker 40 200 BKS		Tr2015	4	Slipad axel				1
Skuv K6S	4 ISO 7380-1 - M10x30		Tr2015	3	Plattstäng				
Skuv MCSS	4 ISO 4762 - M10x40		Tr2015	2					
Mutter M6M	14 ISO 4762 - M10x25		Tr2015	1					
Nedre led	18 ISO 4032 - M10		Tr2009	10					
Pinne	1 Tr2030		Tr2009	9					
Lagerbuck	2 Tr2029		Tr2009	8 -->	Konsol	1 Tr2007			3
Klämma med balk och konsol	1 Tr2007		Tr2009	7 -->	Balk	1 Tr2007			2
Klämma med balk och konsol	1 Tr2006		Tr2009	6 -->	Klämma	1 Tr2006			1
Ledbäpp	2 Tr2003		Tr2009	5	Balk	1 Tr2006			2
Cylinder	1 Parker 40 200 BKS		Tr2009	4	Klämma	1 Tr2003			1
Skuv K6S	4 ISO 7380-1 - M10x30		Tr2009	3	Slipad axel				
Skuv MCSS	4 ISO 4762 - M10x40		Tr2009	2	Plattstäng				
Mutter M6M	14 ISO 4762 - M10x25		Tr2009	1					

**Bilaga 3**



# Bilaga 4

## FMEA (Failure Mode and Effects Analysis - Feleffektanalys)

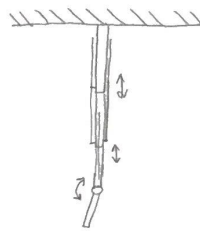
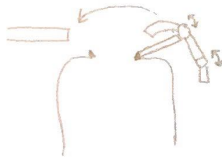
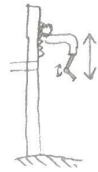
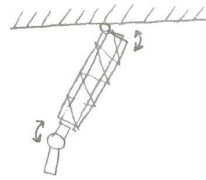
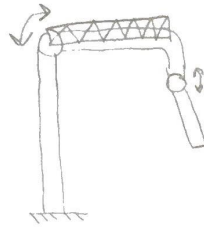
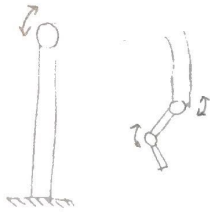
System/Main system		Artikelbenämning			Ritn/Dwg No.		Leverantör/Supplier							
<b>Utsugsarm</b>														
vFunction		Datum/Date	Utfört av/Issued by		Status - hårdvara/Status - hardware		Projekt/Project							
		4/17/2019	Mattias Johansen				Examinensarbete							
ARTIKEL/PART		FELKARAKTERISTIK/CHARACTERISTICS OF FAILURE				RATING				ÅTGÄRD - STATUS/ACTION - STATUS				
Part	Funktion/ Function	Feltyp/ Failure mode	Felorsak/ Causes of failure	Effekt av fel Effect of failure on operation	Provning/ Testing	Po	S	Pt	RPN	Rekommenderad åtgärd/ Recommendations				
Over knäled	Bära konstruktionen	För liten kraft	För svag cylinder	Klarar inte lyfta konstruktionen	Beräkning	2	10	1	20					
		Lyfter inte röret tillräckligt högt	Cylinder har för kort slaglängd	Kommer inte åt att fylla på däck	Beräkning	1	10	1	10					
		Läckage i cylindersistemet (om hydraulisk)	Kopplingar inte monterade och underhållna korrekt	Vätska/olja läcker ut. Systemet tappar sin förmåga	Testkörning	2	4	2	16					
		Deformation på rör	Belastningen är för hög	Röret tappar sin ursprungliga form och egenskap	programmering	3	3	1	9					
		Felaktig längd	Röret är för långt eller för kort	Kan inte föra ner röret i reaktorn	CAD	1	10	1	10					
		Hål i röret/kroken	Stålvajer har nått ut materialet	Sugförmågan reduceras	Kommer ske med tiden		10	5	2	100	Förstärka röret i kritiska punkter			
Knäled	Manövrera röret	Läckage i cylindersistemet (om hydraulisk)	Kopplingar inte monterade och underhållna korrekt	Vätska/olja läcker ut. Systemet tappar sin förmåga	Testkörning	2	4	2	16					
		Knäckning	Spänningskoncentration uppstår i konstruktionen	Knäleden knäcks	Beräkningar	1	10	3	30					
		Inte ett tätt luftflöde	Luft läcker ut eftersom knäleden inte håller tätt	Stålvajer kommer inte lika lätt att föda och sugas upp i röret	Testkörning	3	5	5	75	Gjennomför monterning och installation noggrant				
		Silts ut	Inte tillverkad för stålvajer-flöde.	Det blir hål och det blir inget tätt luftflöde	Kommer ske med tiden		8	5	2	80	Förstärka röret i kritiska punkter			
Under knäled	Förhindra läckage när Förtänga röret	Läckage i cylindersistemet (om hydraulisk)	Kopplingar inte monterade och underhållna korrekt	Vätska/olja läcker ut. Systemet tappar sin förmåga	Testkörning	2	4	2	16					
		Cylinder deformeras	Slår i kanten på reaktorn eller på gasröret	Cylindern manövrerar fel, om den ens fungerar	programmering	1	7	4	28					
		Rör deformeras	Slår i kanten på reaktorn eller på gasröret	Röret tappar sin ursprungliga form och egenskap	programmering	3	3	1	9					
		Kan inte förlängas/förkortas	Cylinder fastnar i stålvajer eller pga läckage.	Kan inte nå all stålvajerfår inte upp röret ur reaktorn	Testkörning	1	8	1	8					
		Bristande åtkomlighet av stålvajer	Inte tillräckligt lång eller smal konstruktion	Stålvajer blir kvar i reaktorn	CAD	3	7	1	21					
		Får inte upp stålvajer	Sugförmågan är för låg. Åtkomligheten är bristfällig.	Stålvajer blir kvar i reaktorn	Testkörning	3	7	1	21					

## Bilaga 5

Delsystem	1.	2.	3.
1. Infästning	Tak	Golv	Reaktor
2. Sug	Punktsug	Över hela tvärsnitt	
3. Nedfällning från infästning	Teleskoprör	Ihopkoppling	Svängmekanism
4. Munstycke	Ett	Två	
5. Lasthantering	Självbärande	Avlastningspunkter	Kringbyggd ställning
6. Rörelsemekanism	Knäled	Två gångjärnsleder	Ingen

## Bilaga 6

Pugh



# Bilaga 7

		Funktionsrelation					
	Kundvärdering						
5	Tillräcklig räckvidd	•					5
5	Ej stora process vid vila	○					5
4	Kortare processid		○				4
3	Lägre vikt			•			4
3	Längre livslängd				○		4
3	Lägre tillverkningskostnad				•		4
2	Enklare manuell manövrering					▽	3
Summa		60	12	36	21	54	11
	Kundkrav						
	Antal axlar						
	Sugtvärsnitt						
	Sugkraft						
	Rördiameter						
	Beprovade komponenter						
	Antal delsystem						
	Ny konstruktion						

\* \* \* \* +  
\* \* \* \* +  
\* \* \* \* +  
\* \* \* \* +  
\* \* \* \* +  
\* \* \* \* +

Korrelation	
Positiv	+
Negativ	-
Ingen korrelation	*

Relation	Vikt
Strong	9
Medium	3
Weak	1