

CHALMERS



Betongskrivare för additiv tillverkning av betongkar

Concrete printer for additive manufacturing of concrete tubs

Examensarbete för högskoleingenjörsexamen inom Maskiningenjörsprogrammet

Canny Mohammad Pour

Frida Tjus

Institutionen för Material- och tillverkningsteknik

Avdelningen för Avancerad oförstörande provning

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sweden, 2015

Examinator: Gert Persson Examensarbete No. 129/2015

Förord

Detta examensarbete har givit oss möjligheten att tillämpa de kunskaper vi förvärvat under vår högskoleingenjörsutbildning(180 hp) med inriktning maskinteknik på Chalmers Tekniska Högskola.

Examensarbetet(15 hp) har utförts under vårterminen 2015 hos konsultföretaget EXGM i Göteborg.

Vi vill tacka Gert Persson, docent vid Chalmers Tekniska Högskola för hans goda handledning. Vi vill även tacka Anders Ivsén vår handledare på EXGM som guidat oss i rätt riktning under projektet.

Tack går också till Kjell Melkersson, tekniklektor vid Chalmers som bidragit med sin kunskap och hjälp.

Göteborg den 18:e maj 2015

Canny Mohammad Pour och Frida Tjus, Chalmers Tekniska Högskola.

Sammanfattning

Uppdragsgivaren EXGM vill utveckla en maskin för additiv tillverkning av stående cylindrar i betong. Maskinen kan ses som en förenklad form av en 3D-skrivare.

Formen skapas genom att maskinen pumpar ut betong genom ett munstycke, skikt på skikt i en cirkulär form. Avsikten är att tillverka odlingskar för fiskodlingar i befintliga industrilokaler eller ladugårdar. Maskinen kommer att kallas betongskrivare.

Uppdraget utfördes hos EXGM i syfte att konstruera en principlösning på konstruktionen av betongskrivaren.

I början av projektet undersöktes liknande konstruktioner, främst inom 3D-skrivning.

Utifrån frågeställningarna och konkurrentanalysen togs olika koncept fram. Dessa koncept utvärderades med hjälp av konceptframtagningmetoder och en konstruktion valdes för vidareutveckling. Under utvecklingsfasen bestämdes och dimensionerades betongskrivarens komponenter. Konstruktionen ritades som 3D-modell i CAD-program. Hållfasthetsberäkningar utfördes på den valda konstruktionen för att kontrollera vilka belastningar som betongskrivaren kommer att utsättas för.

Summary

EXGM, the client, wants to develop a machine for additive manufacturing of concrete tubs. The machine can be seen as a simplified 3D-printer.

The concrete tub is built-up by pumping concrete through a nozzle, layer by layer in a circular shape. This machine is going to be called: concrete printer.

The main purpose with the concrete printer is to build the concrete tubs for fish farming. The aim with the project is to make a principal solution to the construction of the machine.

In the beginning of the project we studied similar constructions, especially in 3D-printing.

Based on the issues and competitor analysis various concepts were presented.

These concepts were evaluated using concept development methods and one of these concepts got chosen for further development. During the development phase the concrete printer's properties were determined and roughly dimensioned. The construction was designed as a 3D-model in a CAD-program. Strength calculations were performed on the selected construction to see if the concrete printer will withstand the loads that it is subjected to.

Innehållsförteckning

1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Avgränsningar	1
1.4 Precisering av frågeställningen	1
2. Teoretisk referensram	2
2.1 Problemförståelse	2
2.1.1 Fiskodling på land	2
2.1.2 Konkurrentanalys.....	2
2.1.3 Indirekta konkurrenter	3
3. Metod	4
3.1 Planering.....	4
3.1.1 Gantt-schema	4
3.1.2 Projektdagbok.....	4
3.2 Idégenerering.....	4
3.2.1 Brainstorming	4
3.2.2 Skissning.....	5
3.3 Konzeptutvärdering.....	5
3.3.1 Kesselringmatris	5
3.4 Utvecklingsfas.....	5
3.4.1 Konstruktion	5
4. Genomförande.....	7
4.1 Funktionsanalys.....	7
4.2 Kravspecifikation	8
4.3 Konzeptframtagning.....	10
4.4 Konzeptutvärdering.....	13
4.5 Kesselringmatris.....	15
4.6 Konstruktionsberäkningar och grovdimensionering	16
4.7 Konzeptval	20
5 Utvecklingsfas.....	21

5.1 Konstruktion.....	21
5.2 Val av teleskopsarm	22
5.3 Val av stöd Stolpar.....	23
5.4 Val av drivningssystem	24
5.4.1 Linjärstyrning	24
5.4.2 Rotationsdrivning	24
5.5 FMEA-analys	25
6 Beräkningar	26
6.1 Hastighet, vinkelhastighet och tid	26
6.2 Axialkrafter	29
6.3 Varvtal för drivning av kulmutterskruv	30
6.4 Moment från teleskopsarmen mot stödplattan	31
6.5 Knäckning samt utböjning av stöd Stolpar	33
6.5.1 Knäckning.....	33
6.5.2 Balkböjning	35
7 Resultat	36
7.1 Slutgiltig konstruktion.....	36
7.2 Slang samt pump	38
7.3 Teleskopsarm	39
7.4 Stöd Stolpar samt stödplatta.....	40
7.5 Munstycke med släpanordning.....	41
7.6 Fundament.....	42
7.7 Val av kulmutterskruv	43
7.8 Val av vridkrans	44
7.8 Lager.....	44
8 Diskussion.....	45
Litteraturförteckning	46
Bilagor.....	48

1 Inledning

I det inledande kapitlet redovisas bakgrunden och syftet med projektet samt vilka avgränsningar och frågeställningar som examensarbetet grundar sig i.

1.1 Bakgrund

Uppdragsgivaren EXGM vill utveckla en enkel maskin för att skriva ut betong. Maskinen som kommer att benämnas betongskrivare skall skriva ut stora stående cylindriska betongkar.

Avsikten är att odlingskaren ska användas för fiskodlingar på land.

Framtidsutsikterna för fiskodling på land är goda och man ser att industrin kommer växa under de närmsta åren.

I nuläget fraktas stora gjutna betongkar till lokalen för fiskodlingarna. Genom att tillverka betongkaren additivt på plats undviker man långa och dyra transporter. Att tillverka karen med betongskrivaren innebär även en att tillverkningsprocessen blir enklare och effektivare i jämförelse med gjutning. Uppdraget med projektet är att konstruera en principlösning för konstruktionen av maskinen.

1.2 Syfte

Syftet med examensarbetet är att ta fram en principlösning på en konstruktion av en maskin.

Maskinen ska vara kopplad till ett mobilt betongverk eller en större blandare. För att nå fram till en lösning skall flera koncept tas fram för att sedan utvärderas noga så att det bästa kan tas vidare för behandling. Det valda konceptet ska 3D-modelleras och resultatet väntas vara en enkel och stabil konstruktion.

1.3 Avgränsningar

Projektet kommer främst att specificeras på hur betongskrivaren skall se ut, konstrueras och fungera.

Eftersom tiden är begränsad kommer endast en principlösning av betongskrivare genomföras.

Endast enklare beräkningar och grovdimensionering kommer att utföras på betongskrivarens konstruktion. Komplexiteten på projektet har även begränsats genom att inte studera betongens flöde, stelning och armering. Hur roboten skall programmeras kommer inte att behandlas i examensarbetet. En annan viktigt avgränsning är att färdigkonstruerade komponenter skall användas i så stor utsträckning som möjligt. Tillverkning skall eftersträvas att hålla så låg kostnad som möjligt men de ekonomiska och produktionsmässiga aspekterna inte att behandlas.

1.4 Precisering av frågeställningen

Hur skall betongskrivaren konstrueras så att konstruktionen blir så enkel som möjligt?

Är det möjligt att konstruera betongskrivaren så att den kommer igenom en dörr med måtten 90*210 cm?

Hur skall betongskrivaren konstrueras så att den blir så modulär och flexibel som möjligt?

Hur skall betongskrivaren dimensioneras så att vikten från armen balanseras ut?

Hur skall ett munstycke konstrueras så att man får en jämn yta och rätt mått på betongen som skrivs ut?

2. Teoretisk referensram

Följande kapitel kommer att redovisa den teoretiska referensramen.

2.1 Problemförståelse

En problemförståelse utförs för att studera problemet. Genom att titta på vad som finns på marknaden och vad som ger komplikationer ges en tydligare bild av problemet och hur detta kan lösas.

2.1.1 Fiskodling på land

Fisk är en utmärkt proteinkälla men haven är utfiskade och öppna odlingar i sjöar och hav förorenar vattnet. Övergödning, utsläpp av mediciner och att fisken rymmer är några av problemen som öppna odlingar innebär. Att odla på land är mer gynnsamt för både naturen och människan. I de slutna odlingarna på land odlas fisken i stora cirkulära betongkar med recirkulerande vatten. För att skydda miljön vid karen sker fiskodlingen inomhus så inte vattnet förorenas. Stora nerlagda ladugårdar kan på så sett återanvändas. (Bruno, 2014).

2.1.2 Konkurrentanalys

En konkurrentanalys innebär analys av befintliga konkurrenter på marknaden samt befintliga lösningar. Konkurrentanalys kan göras av direkta och indirekta konkurrenter. Direkta konkurrenter är företag som arbetar med samma lösning. Indirekta konkurrenter jobbar med liknande lösningar.

Användningen av 3D-skrivare har ökat explosionsartat de senaste åren. Idag används olika material och omfattning för utskrift i 3D format. Betong som material i 3D-skrivning är en relativt ny teknik. Det finns idag ingen 3D-skrivare som är avsedd för att skriva ut endast cylindriska former i betong. Till följd av detta har konkurrentanalys enbart varit möjlig att utföra på indirekta konkurrenter (Lindstedt, 2003).

2.1.3 Indirekta konkurrenter

På University of Southern California har Professor Behrokh Khoshnevis, utvecklat konstruktionsteknologin, Contour Crafting. Med hjälp av en datorstyrd portalkran och ett munstycke som pumpar ut betong, lager för lager likt en 3D-printer, kan man med hjälp av Contour Crafting skriva ut ett hus på under en dag. På munstycket sitter även en släpanordning som släpar till ytan så att den blir jämn (Khoshnevis, 2006).

På Institutet for Advanced Architecture of Catalonia har mindre robotar tagits fram kallade minibuilders. Minibuilders är små robotar som rör sig direkt på konstruktionen under tiden som den adderar material till konstruktionen (Gizmodo, 2014).

Skanska har i slutet av 2014 påbörjat ett samarbete med Loughborough University och Foster + partners som tillverkar en 3D-printer för betong. Skrivaren kan tillverka komplexa strukturer som inte kan produceras med dagens konventionella processer. Genom att använda en robotarm kan böjda strukturer och arkitektoniska detaljer skrivas ut lager för lager (Reed Business Information, 2014).

Artis Engineering har utvecklat en stor 3D-skrivare med kapacitet att skriva ut föremål på en yta som är över 100 kubikmeter. Det Artis Engineering har gjort är att koppla en trådmatare på en stor befintlig industrirobot. Problemet med denna typ av 3D-skrivaren är att synkronisera robotens rörelse med matningen av materialet (Krassenstein, 2015).

3. Metod

I metod kapitlet redovisas de metoder som använts för planering, idégenerering, konceptutvärdering och konceptutveckling.

3.1 Planering

I början av projekt bestämdes att planeringsverktygen som skulle tillämpas var Gantt-schema och att dagbok skulle föras under projektet.

3.1.1 Gantt-schema

Ett Gantt-schema används för att beskriva projektets olika faser. Schemat framställs i Microsoft Office Excel. Gantt-schemat är grafiskt och ger en överblick över planeringen. Schemat visualiserar delmålen i projektet, hur mycket tid man ska lägga ner på delmålen och när de bör vara avslutade.

Arbetet med gantt-schemat påbörjades med att alla delmoment listades samt när varje delmoment skulle påbörjas. Sedan uppskattades under hur lång tid ett delmoment skulle fortgå. Därefter lades de olika momenten in i ett tidsschema.

3.1.2 Projektdagbok

Projektdagboken används för att föra protokoll över arbetsprocessen. Efter varje möte antecknas det som hänt samt och beslut som tagits under mötet. Även vad som planeras att göra framöver antecknas. Projektdagboken kommer inte att presenteras med i rapporten då den endast utfördes för att underlätta arbetsgången. (Lindstedt, 2003)

3.2 Idégenerering

3.2.1 Brainstorming

Brainstorming är en metod för idégenerering genom att tänka fritt utan att anteckna några idéer utförligt. Detta ger ett öppnare sinne och ökar kreativitet. Brainstorming är en av de kändaste idégenereringsmetoderna och tillämpas frekvent inom produktutveckling för att upptäcka nya lösningar. Brainstorming bör göras i grupp så att idéer kan diskuteras fritt.

Med hjälp av idégenereringsverktyg brainstorming genererades olika idéer. En tankekarta bildades med alla tankar och idéer. Ingen kritik eller olika krav togs med i genereringen. Tankekartan bidrog till ett friare och kreativare tillvägagångsätt. Dessa idéer blev grunden till konceptgenereringen.

3.2.2 Skissning

Genom att skissa kan man effektivt och snabbt visualisera en idé. Visualisering underlättar identifiering av både svårigheter och lösningar hos en idé. Skisserna kan göras enkla eller ritas med stor detaljrikedom.

Det kan ibland vara svårt att tyda skisser och förstå exakt vad produktutvecklaren har skissat, det krävs därför att man är tydlig i sitt skissande (Johannesson, Persson & Pettersson, 2004).

Skissningen tydliggjorde eventuella problem och lösningar på konstruktionen av betongskrivaren. Skisserna var enkla och inte detaljrika eftersom de gjordes i ett tidigt stadie och detaljer utformades mer tydligt senare i CAD-program.

Skisserna var även en god visualisering av idéerna som genererats. Genom att visa upp skisserna för uppdragsgivaren Anders Ivsén kunde han få bättre förståelse för idéen. Skisserna förenklade därmed båda parter förståelse för idéen och öppnade för djupare diskussion.

3.3 Konceptutvärdering

3.3.1 Kesselringmatris

Med en kesselringmatris utvärderas de koncept som tagits fram. I kesselringmatrisen rangordnas hur väl varje koncept uppfyller de krav som ställs med hjälp av en skala. Kesselringmatrisen ger en bild över vilka koncept som är mest lämplig utifrån kraven. Kesselringmatrisen kräver en god analys då alla krav kan värderas olika beroende på hur viktigt det är att de uppfylls (Lindstedt, 2003).

3.4 Utvecklingsfas

3.4.1 Konstruktion

Genom att modellera i CAD-program kan man komplettera skisserna med mer tekniska ritningar. CAD-modeller är ett kommunikationsverktyg där man som ingenjör kan visa sina idéer. CAD-modellerna kan även tas an av andra ingenjörsgupper och de kan i sin tur enkelt få förståelse för produkten (Johannesson, Persson & Pettersson, 2004).

3.4.2 FMEA, Failure Mode Effect Analysis

FMEA, Failure Mode Effect Analysis, är ett verktyg som identifierar fel som kan uppstå. En FMEA i utvecklingsfasen bidrar till att fel upptäckas i ett tidigt skede. Detta gör produkten säkrare och bidrar till en längre livstid.

Komponenterna ställs upp och alla dess olika funktioner listas i ett FMEA-diagram. För varje komponent ställs alla fel som kan inträffa, vad som kan hända om felet inträffar och effekt som blir av felet. Det som orsakat felet samt metoden för att kontrollera detta uppges. Sedan rangordnas felen utifrån sannolikhet att felet inträffar, allvarlighetsfaktorn samt att felet kommer att upptäckas. Detta gör i en skala på 1-10 där 1 motsvarar liten sannolikhet och 10 stor sannolikhet. Talen multipliceras med varandra till ett risktal. Risktalet ger grepp om hur allvarligt felet är och om det måste åtgärdas. Åtgärder tas fram för att för att motverka felet. (Bergman & Klefsjö, 2012)

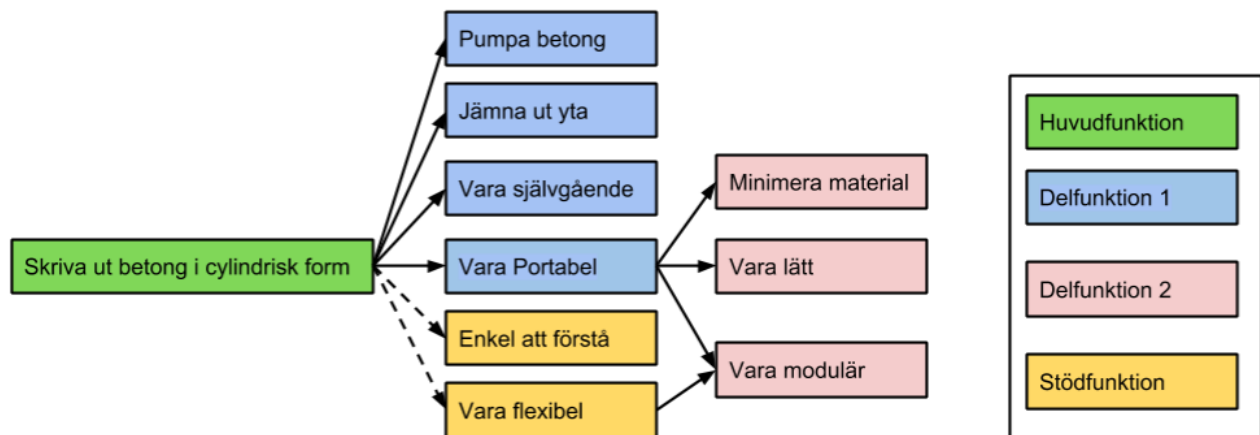
4. Genomförande

I följande kapitel redovisas hur projektet har genomförts.

4.1 Funktionsanalys

En funktionsanalys görs för att identifiera vad produkten skall göra och vilka funktioner som behövs. Produktens funktioner delas upp i huvudfunktion, delfunktioner och stödfunktioner. Huvudfunktionen är det huvudsyftet som produkten har. Delfunktionerna består av funktioner som finns för att uppfylla huvudfunktionen. Stödfunktionerna behöver möjligtvis inte påverka huvud- och delfunktionerna men finns för att skapa ett mervärde för uppdragsgivaren (Lindstedt, 2003).

Utifrån problemförståelse och krav listades funktioner som produkten skulle ha och ett funktionsträd skapades, se figur 4.1. Huvudfunktionen är att skriva ut cylindriska betongkar vilket framgår i syftet. Sedan listas de delfunktioner som produkten även skall uppfylla och underfunktioner, kallat delfunktion 2 i figur 4.1. Delfunktion 2 gör att delfunktionerna 1 kan uppfyllas. Även stödfunktioner listas som inte ökar marknadsvärdet men behöver för att få en fungerande produkt.



Figur 4.1 Funktionsträd

4.2 Kravspecifikation

Kravspecifikationen är ett styrdokument som redogör för alla krav och mått som ställs på produkten. Kraven och önskemålen fås oftast av uppdragsgivaren eller kunden och för att göra dem nöjda är det viktigt att de uppfylls.

Kravspecifikationen är även ett avtal mellan uppdragsgivaren och produktutvecklaren. Det är dock viktigt att inte formulera en alltför luddig kravspecifikation men inte heller snäv. Under processen kan kravspecifikationen givetvis korrigeras om man i konsensus med uppdragsgivaren anser att något krav är orimligt eller överflödigt (Johannesson, Persson & Pettersson, 2004).

Kraven som ställdes från uppdragsgivaren, Anders Ivsén på EXGM var väldigt allmänna. Eftersom projekt fortfarande var i ett så tidigt stadie fanns det ännu inte många tydliga begränsningar.

Genom att kontinuerligt hålla möten med Anders Ivsén och parallellt skissa på idéer kunde kraven som skulle ställas på betongskrivarens konstruktion bestämmas.

Nedan listas kraven som formulerades

Allmänna krav

- Fungera som en robot.
- Vara flexibel(modulär).
- Vara mobil.
- Materialet till 3D-printern ska matas in från behållare som ligger utanför konstruktionen av cylindern.
- Ge en jämn yta på den utskrivna betongen.
- Så få frihetsgrader som möjligt.
- Cylindern som tillverkas ska ha en höjd på minst 3 meter. En väggjockleck på 10 centimeter. Cylindern ska kunna tillverkas i diametrarna 4 till 6 meter.
- Munstycket ska vara ellipsformad. Den längsta diametern ska vara 10 centimeter och den korta 5 centimeter.

Tekniska krav

- Chassits bredd ska vara max 90 centimeter.
- Chassits höjd ska vara max 210 centimeter.
- Rimlig vikt.
- Kunna lyftas från arbetsplats.

Produktions krav

- Använda färdiga delar i produktionen.
- Liten miljöpåverkan.

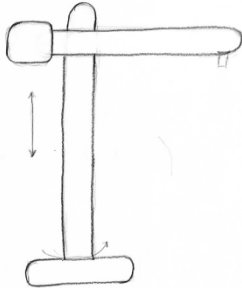
Kraven ställs i tabellform och skapar en kravspecifikation, se tabell 4.1. Detta för att tydliggöra kraven. Kravspecifikationen listar de kriterier som bör uppfyllas i förhållande till intressenten. Huruvida kraven skall kontrolleras och om det är krav eller önskemål. Krav innebär att kriteriet måste uppfyllas och ett önskemål är önskvärt att kriteriet uppfylls.

Tabell 4.1 Kravspecifikation

Kravspecifikation			
Intressent	Kriterier	Kontrollmetod	K/Ö
Hantering	Funger som en robot	Provning	K
	Lätthanterlig	Provning	Ö
	Pumpa in material utanför	Provning	K
	Få frihetsgrader	Provning	Ö
	Ge en jämn yta	Testning	Ö
Transport	Gå igenom en 90*210 dörr	Mätning	K
	Enkel transport till arbetsplats	Provning	K
	Kunna lyftas från arbetsplats	Provning	K
	Kan fällas ihop eller monteras isär	Provning	K
Produktion	Använda färdiga delar i möjlig mån	Kontroll	Ö
	Lite påverkan av miljö	Livscykelanalys	Ö

4.3 Konceptframtagning

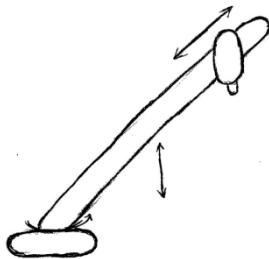
Med hjälp av funktionsanalysen, kravspecifikationen och idégenerering togs olika koncept fram. Detta för att ta fram mest optimala konceptet för vidareutveckling. Koncepten skissades upp för att jämföras med varandra.



Figur 4.2 Koncept A

Koncept A

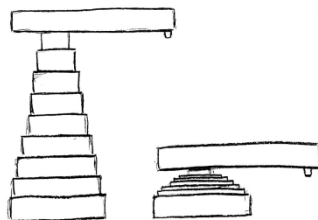
En cylindrisk stolpe med en arm som roterar. Armen har en motvikt för att motverka tippning. Antingen rotation vid fot eller endast rotation av arm. Armen höjs för varje varv. En stabil och enkel konstruktion. Kan tippa om armen blir för lång.



Figur 4.3 Koncept B

Koncept B

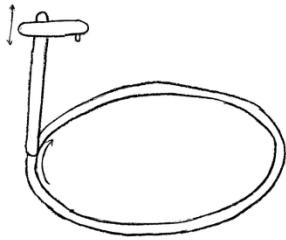
Snedställd stolpe som roterar kring fot. Stolpen rör sig från botten upp. Munstycket är fäst längs ut på stolpen. Stora spänningar kan komma att uppstå vid infästningen eftersom stolpen är snedställd. Få frihetsgrader vilket är bra.



Figur 4.4 Koncept C

Koncept C

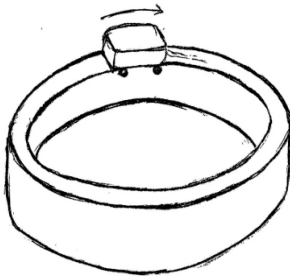
En teleskopsutformad arm som förlängs och roterar vid varje varv. Munstycket är fäst längst ut på armen. Enkel vid transport då i hopfällbar tar mindre plats. En anordning för rörelsen uppåt samt rotation vilket är bra dock blir konstruktionen komplicerad och svår tillverkad.



Koncept D

En stolpe med arm som roterar kring ett cirkulärt spår. Stolpen är fäst i spåret och armen höjs vid varje varv. Koncept D kan vara svårt att göra stabilt eftersom den ska åka i ett spår. Koncept är inte speciellt flexibelt så spåren måste monteras vid tillverkning av betongkaren.

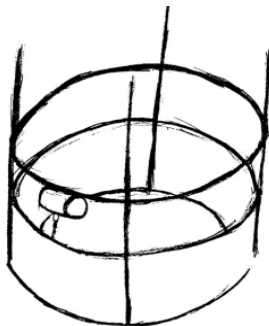
Figur 4.5 Koncept D



Koncept E

Liten robot som åker på betongkaret och matar ut betong. Kan tillverka många olika former. Är flexibel och enkel att transportera. Tillverkningen av betongkaret blir komplicerat för syftet.

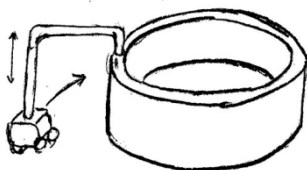
Figur 4.6 Koncept E



Koncept F

Cirkulär ställning med en robot som hänger i den. Roboten rör sig längst med den cirkulära ställningen samt i vertikalled. Är ett stabilt system. Har låg flexibilitet då den ställningen måste monteras upp vid varje betongkar som skall tillverkas.

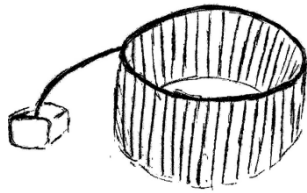
Figur 4.7 Koncept F



Koncept G

En robot på hjul med stolpe och arm som rör sig cirkulärt utanför betongkaret. Hög flexibilitet och modularitet men blir svår att styra.

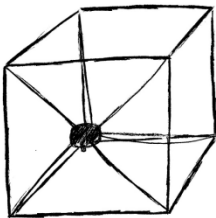
Figur 4.8 Koncept G



Koncept H

En armering byggs upp och sedan sprutas cement över. Tillverkningen av betongkaren blir svår och det finns ingen möjlighet att kontrollera form och mått på betongkaren med detta koncept. Fungerar inte som additiv tillverkning.

Figur 4.9 Koncept H



Koncept I

Kubisk ställning där roboten hålls upp och styrs med hjälp av kablar som sitter i alla hörn på kuben. Har många frihetsgrader och kan tillverka olika former. Är inte nödvändiga för att tillverka enkla cylindriska betongkar.

Figur 4.10 Koncept I



Koncept J

Modifiering av en redan existerande industrirobot genom att ansluta en matare för betong på en industrirobot. Enkelt att köpa in färdig och endast modifiera, ingen programmering behövs göras. De flesta industrirobotar har fler frihetsgrader än vad som krävs.

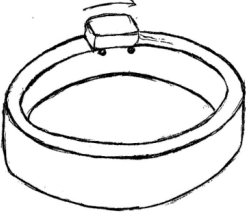
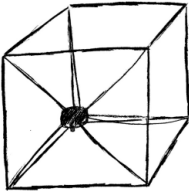
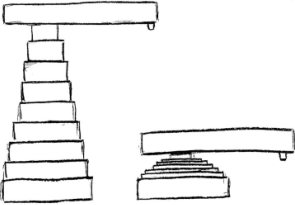
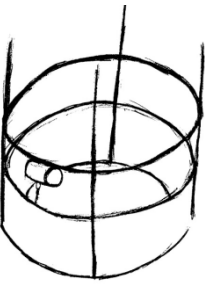
Figur 4.11 Koncept J


4.4 Konceptutvärdering

Koncepten utvärderades i första hand genom att se vilka av koncepten som uppfyllde kraven som ställts.

Koncepten som inte uppfyllde kraven var följande:

Tabell 4.2

Koncept	Motivering
<p>E</p> 	<p>Då man under projektet valde att bortse från materialegenskaper hos betongen blir det svårt att konstruerar något som ska arbeta ovanpå material som precis matats ut. Det blir en komplicerad robot. Den kommer även att arbeta långsammare än de andra koncepten då den måste vänta längre på att betongen ska stelna om den ska åka över den. Med koncept E blir det även svårt att få en jämn yta.</p>
<p>I</p> 	<p>Koncept I har fler frihetsgrader än vad som krävs för att konstruera en enkel cylindrisk form. Flexibiliteten hos detta koncept är låg eftersom man måste montera upp ställningen varje gång</p>
<p>G</p> 	<p>Svårt att kontrollera styrningen av koncept G. Konceptet är känslig för ojämnheter i underlaget den åker på Konstruktionen är ostabil.</p>
<p>F</p> 	<p>Låg flexibilitet med avseende på omständig transport och montering.</p>

<p>J</p> 	<p>De flesta robotarna på marknaden har för många frihetsgrader och är tillverkade för mer komplexa ändamål. Då man hade som krav från uppdragsgivaren att konstruktionen på 3D-skrivaren skulle vara så enkel som möjligt ansåg man att det var orimligt att uppfylla kundkraven och samtidigt använda sig av en befintlig robot.</p>
--	--

Koncepten man gick vidare med och som utvärderades i en kesselringmatris är koncept A, B, C och D.

4.5 Kesselringmatrix

Koncepten A,B,C,D utvärderades i en kesselringmatrix. Detta för att se hur väl de uppfyllde de krav som ställts. Viktning utfördes med en poängskala från ett till fem. En femma innebar att kravet tillfredsställdes och en etta visade att kravet inte uppfylldes. Genom att sammanställa poängen tydliggjordes vilket av koncepten som var mest lämpat.

Tabell 4.3					
Krav/önskemål	Koncept	A	B	C	D
Fungera som en robot		5	5	4	3
Materialet till 3D-printern skall matas in från behållare som ligger utanför konstruktionen av cylindern		4	4	4	5
Så få frihetsgrader som möjligt		4	4	4	4
Stabil		5	3	4	3
Påverkan av moment och krafter		5	2	4	3
Lågt effektbehov		5	5	2	3
Chassits bredd ska vara max 90 cm		4	4	3	3
Chassits höjd ska vara max 210 cm		4	4	5	1
Kunna lyftas från arbetsplats		4	4	2	1
Flexibel		5	5	4	3
Rimlig vikt		5	5	2	2
Enkel att konstruera		5	3	1	3
	summa	55	48	39	34

I tabell 4.3 synliggörs att koncept A är den som har högst värde men även koncept B har ett gott värde. Kesselringmatrix visar inte allt som bör studeras. Därför görs ytterligare utvärderingar av Koncept A och B.

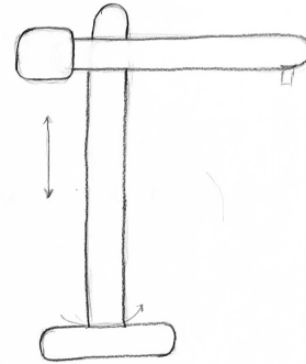
4.6 Konstruktionsberäkningar och grovdimensionering

För att studera Koncept A och B närmare utfördes en grovberäkning som undersökte nedböjningen med balkteori (Dahlberg, 2001). Detta för att kontrollera vilket koncept som hade störst hållfasthet. Då inga mått hade bestämts under denna fas antogs rimliga mått.

Koncept A

Tabell 4.4 Mått koncept A

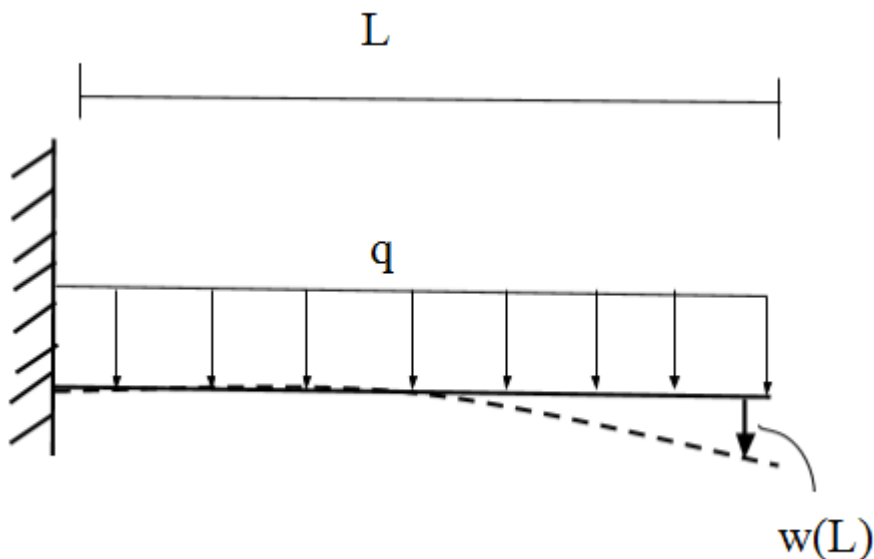
Grovdimensionering	Mått	Betäckning
Arm		
Bas [m]	0,1	b
Höjd [m]	0,2	h
Längd [m]	3	L
Massa [kg]	131	m
Elasticitetmodulen stål [GPa]	210	E
Accelerationskraft [m/s^2]	9,81	g



Figur 4.2 Koncept A

Genom att studera koncept A:s arm likt balk tas nedböjningen, $w(L)$, fram.

Armen friläggs som en fast inspänd balk

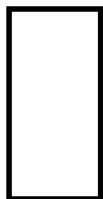


Figur 4.12 Elementarfall för fast inspänd balk

Först beräknas q , egentyngd per längdenhet

$$q = \frac{mg}{L} = \frac{1290}{3} = 430 \frac{N}{m} \quad (1)$$

Därefter beräknas tröghetsmomentet med balkens tvärsnitt



b

h

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{0,1 \cdot 0,2^3}{12} = 6,667 \cdot 10^{-5} \quad (2)$$

Figur 4.13 Balk A tvärsnitt

Nedböjningen för en fast inspänd balk med egentyngden q enligt

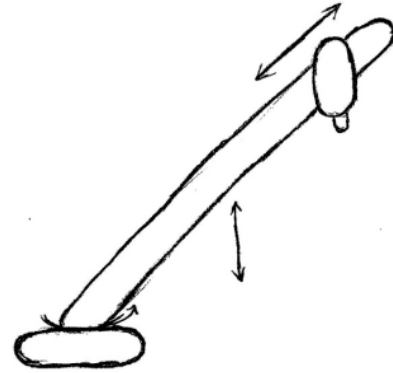
$$w(L) = \frac{q \cdot L^4}{8 \cdot E \cdot I} = \frac{430 \cdot 3^4}{8 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 6,67 \cdot 10^{-5}} = 0,00031 \text{ m} \quad (3)$$

Koncept B

Nedböjningen beräknas även på Koncept B

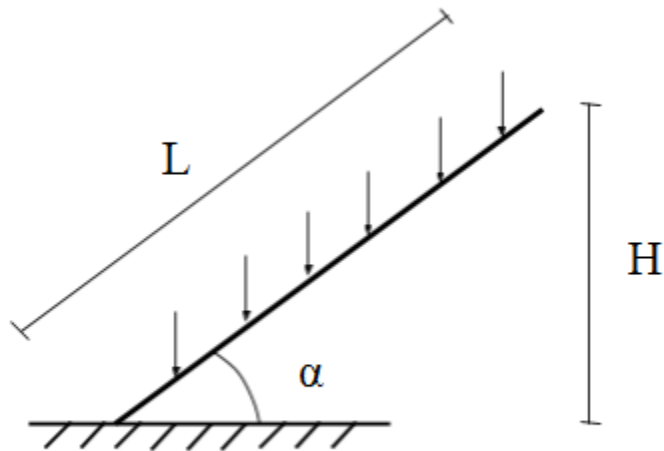
Tabell 4.5 Mått koncept B

Grovdimensionering	mått	Betäckning
Höjd från mark till munstycke	3	H
Arm		
Bas [m]	0,1	b
Höjd [m]	0,2	h
Längd [m]	3,9	L
Massa [kg]	170	m
Elasticitetmodulen stål [GPa]	210	E
Accelrationskraft [m/s ²]	9,81	g



Figur 4.3 Koncept B

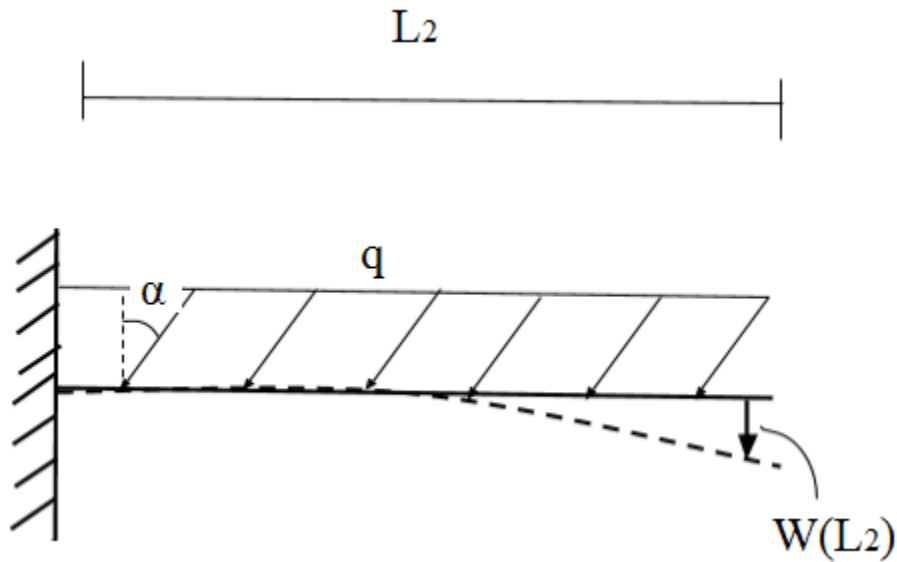
Koncept B:s arm är snedställd. För att frilägga armen som en fast inspänd balk tas vinkeln α fram då armen är i sitt högsta läge.



Figur 4.13 Koncept B med vinkel α

$$\alpha = \arccos \frac{L}{H} = \arccos \frac{3}{3.9} = 39.7^\circ \quad (4)$$

Balken friläggs som en fast inspändbalk.



Figurn 4.14 Elementarfall för fastinspändbalk med q som funktion av α

Med hjälp av α tas balkens q , egentvngd per längdenhet fram. Detta 90° mot balkens yta.

$$q = \frac{mg}{L2} \times \cos\alpha = \frac{1671}{3,9} \times \cos 39,7 = 329,7 \frac{N}{m} \quad (5)$$

Koncepten har samma tvärsnitt och tröghetsmomenten blir samma som i ekvation (2)

$$\text{ekv. (2)} \rightarrow I = 6,667 * 10^{-5}$$

Nedböjningen $W(L2)$ för en fast inspändbalk med egentvngden q enligt

$$w(L2) = \frac{q * L^4}{8 * E * I} = \frac{329,7 * 3,9^4}{8 * 210 * 10^9 * 6,67 * 10^{-5}} = 0,00068 \text{ m} \quad (6)$$

4.7 Konceptval

Utvärdering av kesselringmatrisen och grovdimensioneringen visar att koncept A är det bättre alternativet.

Koncept A en enklare konstruktion att arbeta med. Koncept A har gör en linjär rörelse uppåt samt roterar. Koncept B har rotation, samt en rörelse från att armen är helt vertikal mot den vinklas samt att armen måste förlängas. Koncept B har fler frihetsgrader och de är dessutom svåra att arbeta med och konstruera. Koncept A valdes därför som det optimala konceptet som man valde att vidareutveckla.

Tabell 4.1 Konceptutvärdering

	Koncept A	Koncept B
Poäng kesselringmatris	45	37
Nedböjning	0,31 mm	0,68 mm
Frihetsgrader	2	3

5 Utvecklingsfas

I följande kapitel kommer vidareutvecklingen av det valda konceptet att redovisas. I utvecklingsfasen bearbetades det valda konceptet uppbyggnad. Sedan valdes lämpliga delsystem och delar till konstruktionen. För att upptäcka eventuella fel som kan uppkomma utfördes en FMEA-analys på konstruktionen.

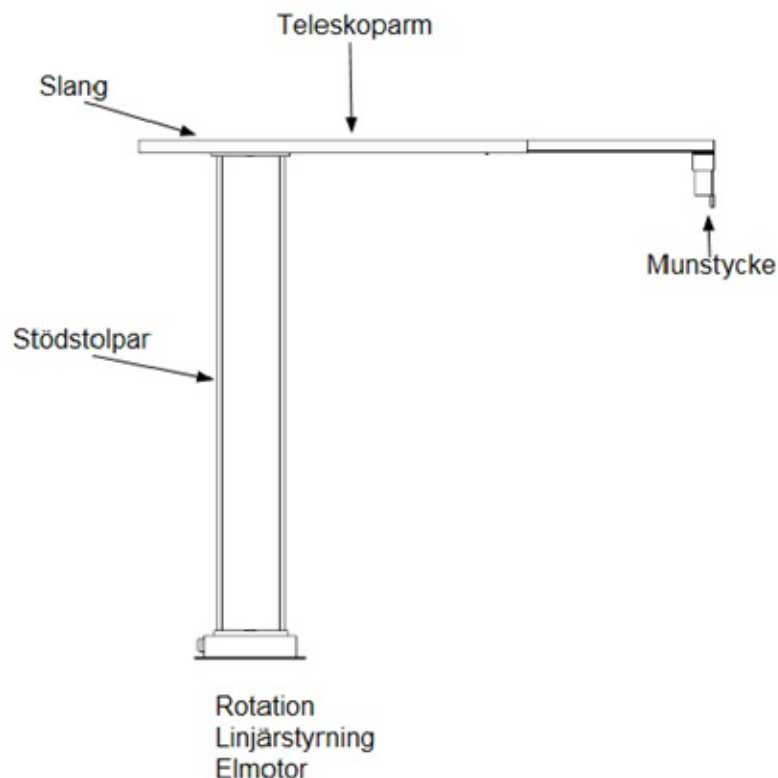
5.1 Konstruktion

I tidigare steg gjordes endast enklare skisser och lösningar på konceptet. En ungefärlig lösning på konceptets utsida togs fram i föregående fas och nu ska man färdigutveckla den.

I detta steg, det sista i lösningsprocessen tittade man mer detaljerat på utformningen av konstruktionen.

Konstruktionen tog hänsyn till följande komponenter som ingår i betongskrivaren:

- Linjärstyrning
- Rotation
- Teleskoparm
- Stöd Stolpar
- Munstycke
- Slangen för matning av betong.
- Elmotor



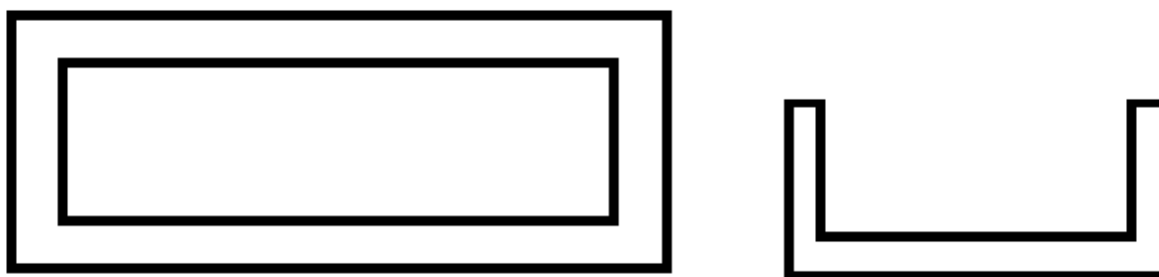
Figur 5.1 Konstruktionens delar

5.2 Val av teleskopsarm

Genom att utgå från färdiga komponenter som skall köpas in anpassades konstruktionen. För att kunna ändra längden på armen valde man att utforma den som en teleskopsarm. Teleskopsarmen ska bestå av två stål balkar.

Valet gjordes mellan två rektangulära hålbalkar eller två UPE balkar, se figur 5.2. Hålbalken har ett ihåligt rektangulärt tvärsnitt med sluten geometri. Då hålbalken har mer material blir den tyngre och tvärsnittet försvårar placeringen av slangen.

Det andra alternativet är två stycken UPE balkar för teleskopsarmen. UPE-balken är en standardiserad U-balk, se figur 5.2. Fördelen med UPE balken är att slangen lätt kan placeras i den vid tillverkning av betongkar. UPE balken var därför ett bättre alternativ och valdes därför som stålprofil till teleskopsarmen.



Figur 5.2 Hålbalk respektive UPE balk

I tabellen nedan redovisas måtten på de två UPE-balkarna ur BE groups sortiment som ska användas till teleskopsarmen (BE Group, 2015).

Tabell 5.1 Mått på UPE balk

	UPE balk 1	UPE balk 2
Längd [mm]	2450	1685
Bredd [mm]	220	180
Volym [dm ³]	8,30	4,25
Vikt [kg]	65,17	32,51

5.3 Val av stöd Stolpar

För stöd Stolparna valdes två runda hålprofiler ur BE groups sortiment. En rund geometri valdes då en stödplatta samt teleskoparm skall glida längst med stolparna. Den runda geometrin är även bra på att ta upp spänningar. I tabell 5.2 visas den valda hålprofilens diameter, längd, tjocklek, volym och vikt (BE Group, 2015).

Tabell 5.2 Mått på rund hålprofil

Rund hålprofil	
Diameter [mm]	114,3
Tjocklek [mm]	5
Längd [mm]	3000
Volym [dm ³]	10
Vikt [kg]	15

5.4 Val av drivningssystem

5.4.1 Linjärstyrning

För att få rörelse i vertikalled krävdes en linjärenhet. Det finns många olika tekniska lösningar för att få linjärstyrning. Följande linjärenheter studerades:

- Hydraulik. Genom att med en pump skapa ett högt tryck kan vätskan trycka på en kolv som överför energin till linjärförflyttning.
- Remtransmission kan också användas för linjärförflyttning, Då har man ett tandat drev som driver en rem.
- Kulmutterskruv. Man roterar skruven och den överför kraften för att förflytta en last linjärt.

Eftersom hydraulik är en teknisk lösning som kräver mycket underhåll vägdes det endast mellan remtransmissionen och kulmutterskraven i första urvalet. Remtransmission är mer anpassad för högre hastigheter än vad som krävs för betongsskrivaren. Den har också lägre lastkapacitet än kulmutterskraven. Kulmutterskraven har högre precision än remtransmission. Trots att betongskrivaren inte behöver så hög precision så kan det vara en fördel att ha hög noggrannhet när man ska synkronisera betongmatningen med betongskrivarens rörelse. Kulmutterskraven valdes därför som linjärenhet (Hågeryd, Björklund & Jenner, 2005).

5.4.2 Rotationsdrivning

För att skapa rotation kan man använda sig av en kuggväxel som kopplas till en elmotor. En kuggväxel består av två kugghjul och rörelse fås när kuggarna griper i varandra. Detta kan göras med en snäckväxel eller utvändig rakkugg (Mägi & Melkersson, 2006).

En annan lösning för rotation är vridkransen. Vridkransen är ett färdigt system som är en kombination av en motor, växel samt vridplatta som fungerar med hjälp av snäckväxel och kugghjul. Då det var ett önskemål att använda färdiga produkter valdes vridkransen för rotationsdrivningen (IMO Slew Drive, 2015).

5.5 FMEA-analys

En FMEA-analys gjordes på den valda konstruktionen och dess komponenter. Genom att undersöka de fel som kan uppkomma och åtgärder som börs göra kan problem upptäcks tidigt i utvecklingsfasen. Detta ger en säkrare produkt och undviker eventuell omkonstruktion (Britsman, Lönnqvist & Ottosson, 1993).

Cement och pump finns med i analysen men då flödet av betong och stelning är utanför avgränsning togs den analysen inte vidare.

Resultatet av FMEA, se bilaga 9, visade att fundamentets stabilitet, val av kulmutterskruv och vridkrans samt fästet av munstycke ligger i riskzon. Detta visas med gulmarkering då risktalet ligger över 100. För att få ner dessa krävs en noggrannare analys av ovannämnda komponenter.

6 Beräkningar

Följande kapitel redovisas de beräkningarna som utförts på det valda konceptet.

6.1 Hastighet, vinkelhastighet och tid

För att beräkna tid, hastighet och vinkelhastighet kommer följande data att användas, se tabell 6.1 samt 6.2. Formler för beräkningarna fås ur Mägi & Melkersson (2006).

Tabell 6.1 mått betongkar

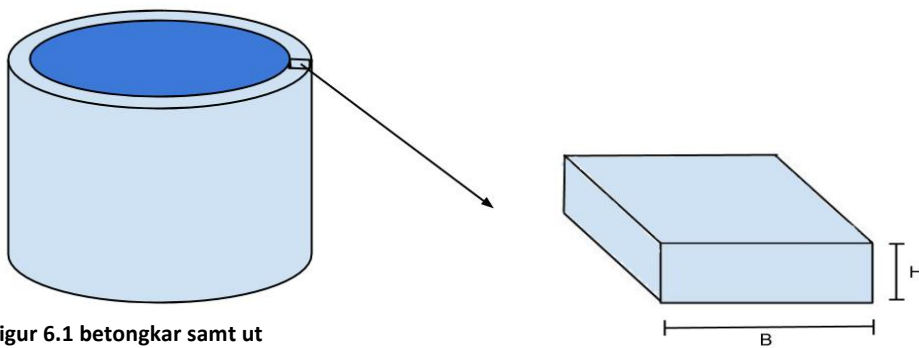
Betongkar	Mått	Beteckning
Höjd [m]	3	H
Diameter 1 [m]	4	d1
Diameter 2 [m]	5	d2
Diameter 3 [m]	6	d3

Tabell 6.2 Mått utskrivet betongskikt

Utskrivet betongskikt	Mått	Beteckning
Bred [m]	0,1	B
Höjd [m]	0,025	H
Antal varv	120	varv
Betongens volymflöde [m ³ /min]	0.01	qv

Betongpumpen ger ett volymflöde på 0,01 m³ betong per minut. För att veta hur lång tid det tar att färdigställa ett betongkar beräknas i vilken hastighet ett betongskikt skrivs ut i om man har ett volymflöde på 0,01 m³ betong per minut.

Varje lager skikt som skrivs ut kommer se ut som i figur 6.1 nedan.



Figur 6.1 betongkar samt ut

Genom att dividera volymflödet qv med tvärsnittsarean på betonglagret som skrivits ut fås hastigheten v som är hastigheten munstycket skall röra sig med.

$$v = \frac{qv}{B*H} = \frac{0,01}{0,1*0,025} = 4 \frac{m}{min} = 0,067 \frac{m}{s} \quad (7)$$

Utifrån hastigheten v kan vinkelhastigheten ω för respektive diameter på betongkaret beräknas.

$$\omega = \frac{d}{2} * v \quad (8)$$

Diametern 4 meter

$$\omega = \frac{d1}{2} * v = \frac{4}{2} * 0,067 = 0,13 \frac{rad}{s}$$

Diametern 5 meter

$$\omega = \frac{d2}{2} * v = \frac{5}{2} * 0,067 = 0,17 \frac{rad}{s}$$

Diameter 6 meter

$$\omega = \frac{d3}{2} * v = \frac{6}{2} * 0,067 = 0,2 \frac{rad}{s}$$

För att beräkna tiden det tar att tillverka ett kar divideras omkretsen på betongkaret för respektive diameter på hastigheten

$$t_{\text{ett varv}} = \frac{\pi*d}{v} \quad (9)$$

Diametern 4 meter

$$t1_{\text{ett varv}} = \frac{\pi*d1}{v} = \frac{\pi*4}{4} = 3,1 \text{ min}$$

Diametern 5 meter

$$t2_{\text{ett varv}} = \frac{\pi*d2}{v} = \frac{\pi*5}{4} = 3,9 \text{ min}$$

Diametern 6 meter

$$t3_{\text{ett varv}} = \frac{\pi*d3}{v} = \frac{\pi*6}{4} = 4,7 \text{ min}$$

Tiden som det tar att tillverka ett helt karet fås genom att multipliceras tiden för ett varv med antal varv som betongskrivaren gör. Enligt tabell 7.2 krävs 120 varv för att tillverka ett 3 meter högt betongkar.

$$T_{\text{helt kar}} = \frac{\pi \cdot d}{v} * \text{varv} \quad (10)$$

Diametern 4 meter

$$T1_{\text{helt kar}} = \frac{\pi \cdot d1}{v} * \text{varv} = \frac{\pi \cdot 4}{4} * 120 = 3,6 \text{ h}$$

Diametern 5 meter

$$T2_{\text{helt kar}} = \frac{\pi \cdot d2}{v} * \text{varv} = \frac{\pi \cdot 5}{4} * 120 = 7,8 \text{ h}$$

Diametern 6 meter

$$T3_{\text{helt kar}} = \frac{\pi \cdot d2}{v} * \text{varv} = \frac{\pi \cdot 6}{4} * 120 = 9,4 \text{ h}$$

I tabell 6.3 redovisas vinkelhastigheten och tiderna som beräknades enligt formlerna ovan.

Tabell 6.3 Data

Diameter	4	5	6
Tid för ett varv [min]	3,1	3,9	4,7
Tid för ett kar [h]	6,3	7,8	9,4
Vinkelhastighet [rad/s]	0,13	0,17	0,2

6.2 Axialkrafter

För att ta fram den axiella kraften som påverkar betongmaskinen adderas vikterna från teleskoparm och stödstoppar. Vid drift av betongskrivaren kommer även en slang med betong ligga på teleskoparmen. Betongen som kommer ligga i slangen samt övriga komponenter uppskattas väga cirka 50 kg. Detta visas i tabell 6.4

Tabell 6.4 Vikt

beteckning	massa
$m_{balk\ 1}$	65,17 [Kg]
$m_{balk\ 2}$	32,51 [Kg]
$m_{stödstopple}$	15,54 [Kg]
m_{betong}	50 [Kg]

Den axiella kraften som verkar på skruven kommer endast från de två balkarna teleskoparmen är uppbyggd av. Den axiella kraften som påverkar skruven blir därför

$$\begin{aligned} F_{ax\ skruv} &= (m_{balk\ 1} + m_{balk\ 2} + m_{betong}) * g \\ &= (65,17 + 32,51 + 50) * 9,81 = 1449 [N] \end{aligned} \quad (11)$$

Vridkransen påverkas även av tyngden från stödstopparna. Den axiella kraften som påverkar vridkransen blir

$$\begin{aligned} F_{ax\ vridkrans} &= (m_{balk\ 1} + m_{balk\ 2} + m_{stödstoppar} + m_{betong}) * g = \\ &= (65,17 + 32,51 + 15,54 + 50) * 9,81 = 1601,19 [N] \end{aligned} \quad (12)$$

Den axiella kraften som skruven skall klara: **1,5 [kN]**

Den axiella kraften som vridkransen skall klara: **1,6 [kN]**

6.3 Varvtal för drivning av kulmutterskruv

För att beräkna det varvtal som krävs för att driva kulmutterskruven listas först givna värden, se tabell 6.5. Steglängden på kulmutterskruven bestämdes utifrån tjockleken på betongskiktet, 25 millimeter. En stigning på 5 millimeter valdes.

Tiden har ingen betydelse då pumpen stannar efter varje steglängd. Detta innebär att tiden kan antas till ett värde och 15 sekunder valdes.

Tabell 6.5 Data

P, stigning på skruven[mm]	5
d, steglängden [mm]	25
t, tid [sek]	15

Antal varv för att få en steglängd på 25 [mm]

$$\frac{d}{P} = \frac{25}{5} = 5 \text{ varv} \quad (13)$$

Hastigheten för skruven ges av sträckan genom tid

$$v = \frac{d}{t} = \frac{25 \cdot 10^{-3}}{15} = 1,67 \cdot 10^{-3} \frac{m}{s} \quad (14)$$

Vinkelhastigheten ges av hastighet samt stigning

$$\omega = \frac{2\pi \cdot v}{P} = \frac{2\pi \cdot 1,67 \cdot 10^{-3}}{5} = 2,09 \frac{rad}{s} \quad (15)$$

Vilket ger varvtalet

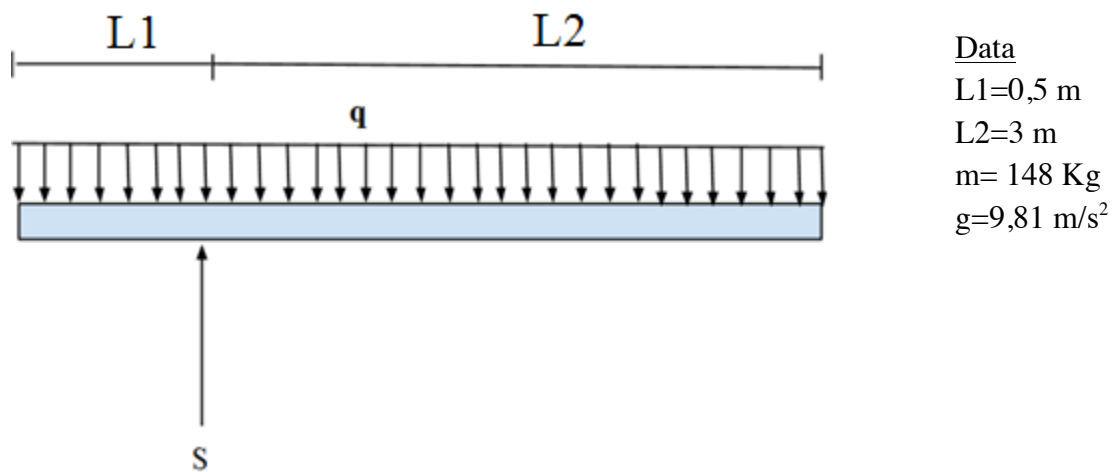
$$n = 20 \text{ rpm}$$

6.4 Moment från teleskopsarmen mot stödplattan

För att beräkna momentet som uppstår i fästet mellan teleskopsarmens och stödplattan så friläggs armen som en balk, se figur 6.2.

Egentyngden av balken blir balkarnas och betongens vikt, $m_{balk\ 1} + m_{balk\ 2} + m_{betong}$, enligt tabell 6.4. Den axiella kraften är jämnt fördelad över armen. S är den motstående kraften från stödplattan.

Jämvikt



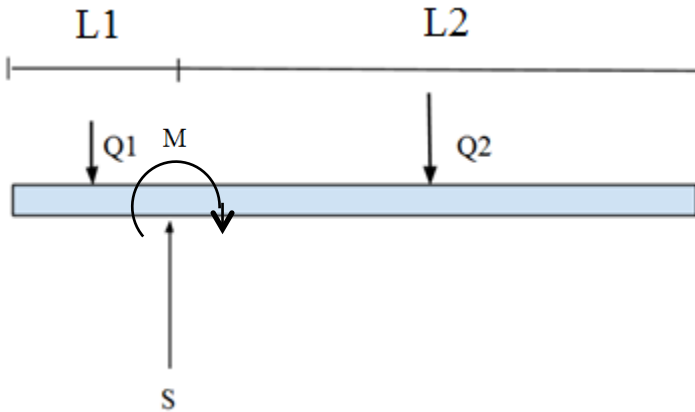
Figur 6.2 Jämvikt

q fås av balken och betongens massa multiplicerat med tyngdaccelerationen fördelat på längden av armen

$$q = \frac{mg}{L1+L2} = \frac{148 \cdot 9,81}{3,5} = 414 \text{ N/m} \quad (16)$$

Momentjämvikt

En momentjämvikt ställs upp med moment kring kraften S



Figur 6.4 Momentjämvikt

q delas upp i två krafter, Q1 och Q2

$$Q1 = q * L1 = 414 * 0,5 = 207 \text{ N} \quad (17)$$

$$Q2 = q * L2 = 414 * 3 = 1242 \text{ N} \quad (18)$$

Momentjämvikten ställs upp

$$\curvearrow S \downarrow : M + Q2 * \frac{L2}{2} - Q1 * \frac{L1}{2} = 0 \quad (19)$$

$$M = Q1 * \frac{L1}{2} - Q2 * \frac{L2}{2} = 207 * \frac{0,5^2}{2} - 1242 * \frac{3^2}{2} = -1,875 \text{ [kNm]} \quad (20)$$

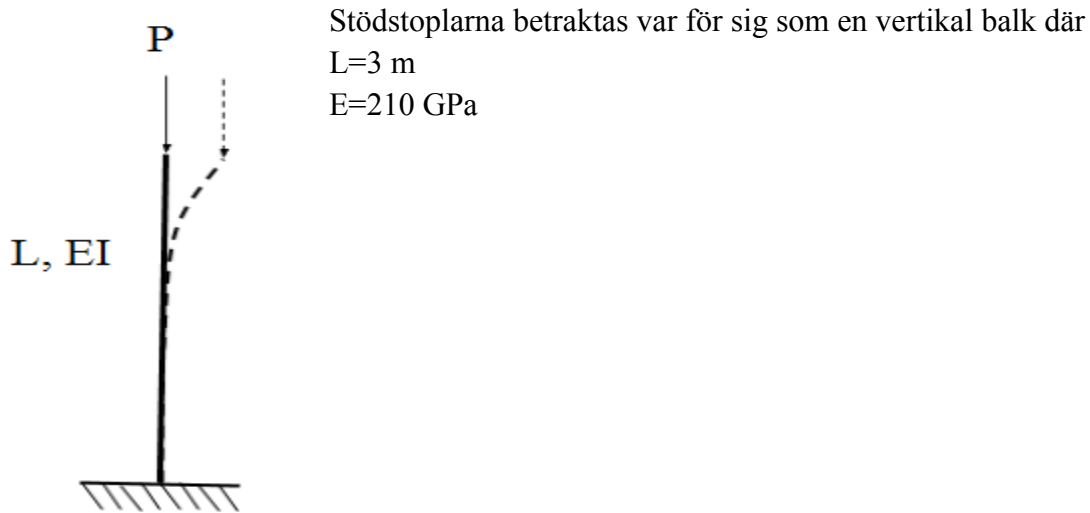
Momentet kring S blir **1,9 [kNm]**

6.5 Knäckning samt utböjning av stödstoppar

6.5.1 Knäckning

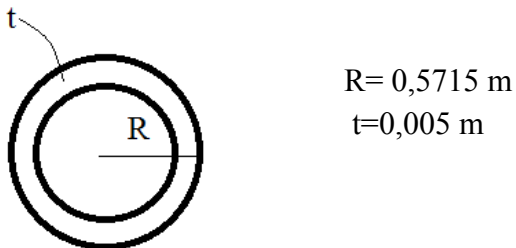
Den axiella kraften som uppkommer tas till största del upp av kulmutterns kruven. Men för att analysera stödstopparna hållfasthet görs beräkningar med full axiellkraft på endast stödstoppar. Formler fås ur Dahlberg (2001).

Beräkning av maximal kraft som kan utsätta stödstoppar innan knäckning



Figur 6.5 Balk utsatt för kraft P

Tröghetsmomentet fås av stolpens tvärsnitt. Med radien, R samt tjockleken, t.



Figur 6.6 Tvärsnitt stödstoppe

Vilket ger tröghetsmomentet, I där

$$I = \pi * R^3 * t = \pi * 0,5715^2 * 0,005 = 2,93 * 10^{-3} \quad (21)$$

Enligt Eulerfallen, fall 1 fås

$$P_{kritisk} = \frac{\pi^2 * E * I}{4 * L^2} = \frac{\pi^2 * 210 * 10^9 * 2,93 * 10^{-3}}{4 * 3^2} = 168 * 10^6 N \quad (22)$$

Den kritiska lasten blir 168 MN, stöd Stolpen utsätts endast för 0,75 KN. Vilket visar att knäckning inte kommer att uppstå.

6.5.2 Balkböjning

Moment påverkar stöd Stolparna vilket kan bidra till att stolprana böjer sig.

Genom att studera balkteori med en fast inspändbalk som belastas av ett moment kan nedböjningen som uppstår beräknas.

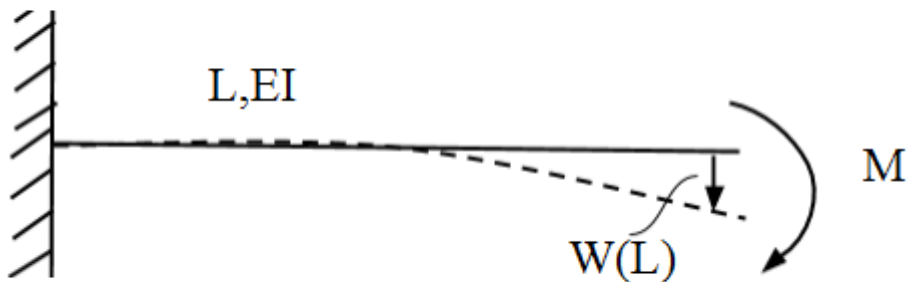
Friläggning av stolpe

$$L=3 \text{ m}$$

$$E=210 \text{ GPA}$$

$$M=1900/2 =950\text{Nm}$$

$$\text{Tröghetsmomentet fås av ekv(21)} \rightarrow I= 2,93 * 10^{-3}$$



Figur 6.7 fastinspänd balk med moment

Nedböjning fås enligt

$$w(L) = \frac{M \cdot L^2}{2 \cdot E \cdot I} = \frac{950 \cdot 3^2}{2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 2,93 \cdot 10^{-3}} = 0,00695 * 10^{-3} \text{ m} \quad (23)$$

Nedböjningen blir totalt 0,00695 mm. Nedböjningen är så liten så att man kan bortse från den.

7 Resultat

I följande kapitel redovisas resultatet av projektet.

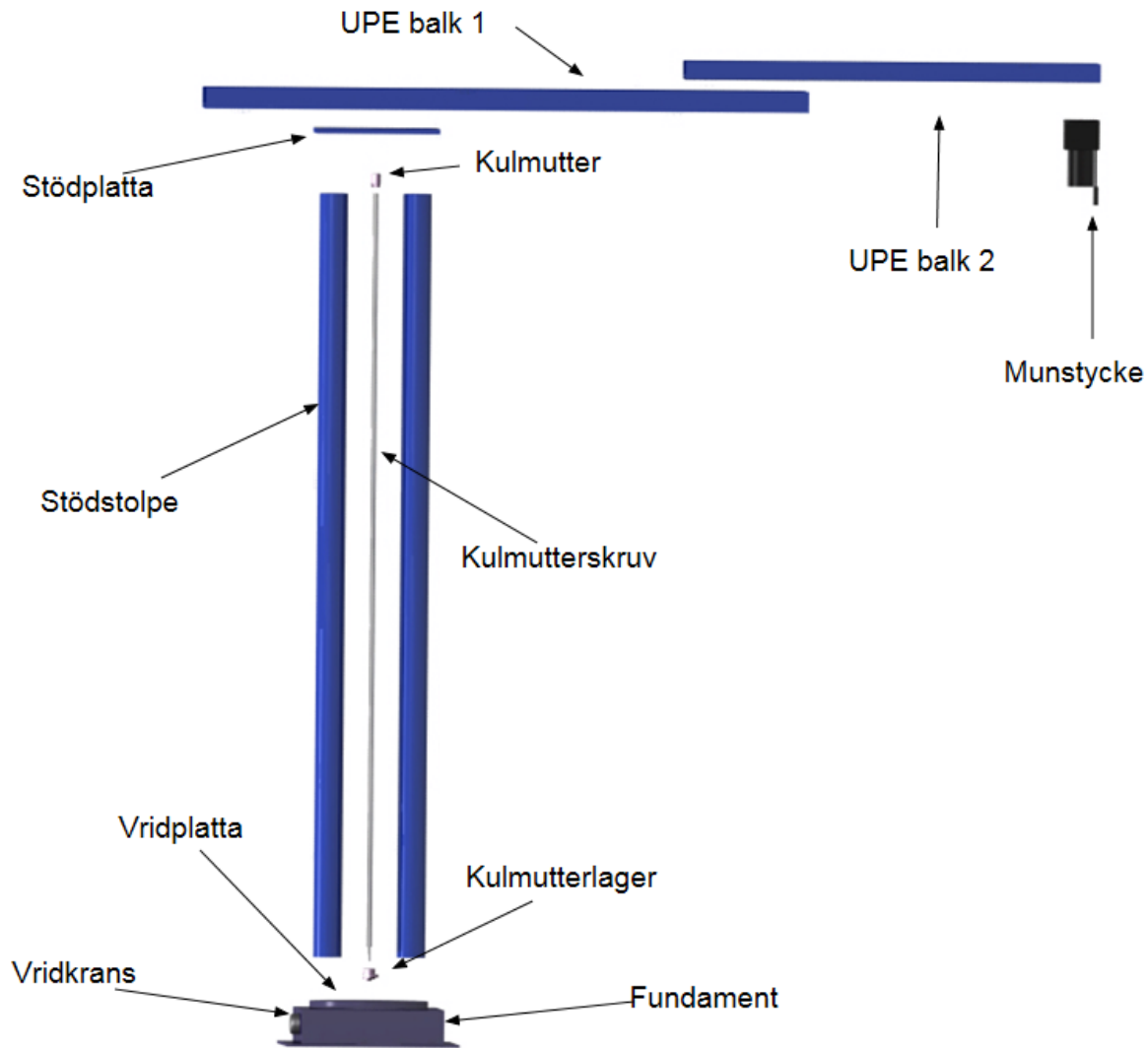
7.1 Slutgiltig konstruktion



Figur 7.1 Betongskrivare

Den slutliga konstruktionen av betongskrivaren visas i figur, 7.1 Till vänster syns betongskrivaren i sitt nedersta läge vilket är startläget. Betongskrivaren fungerar så att maskinen roterar ett varv samtidigt som det pumpas betong. Pumpen stängs av och maskinen höjs en steglängd. Därefter upprepas processen tills hela karet är färdigställt.

Betongskrivaren består av ett fundament som rymmer vridkrans samt elmotorer. Kulmutterns skruv är fäst i en stödplatta som med stöd Stolpar ger en linjär förflyttning i vertikallängd. En teleskopsarm med reglerbar diameter monterar över stödplattan. Längst ut på teleskopsarmen placeras ett munstycke.



Figur 7.2 Sprängskiss med komponent beteckning

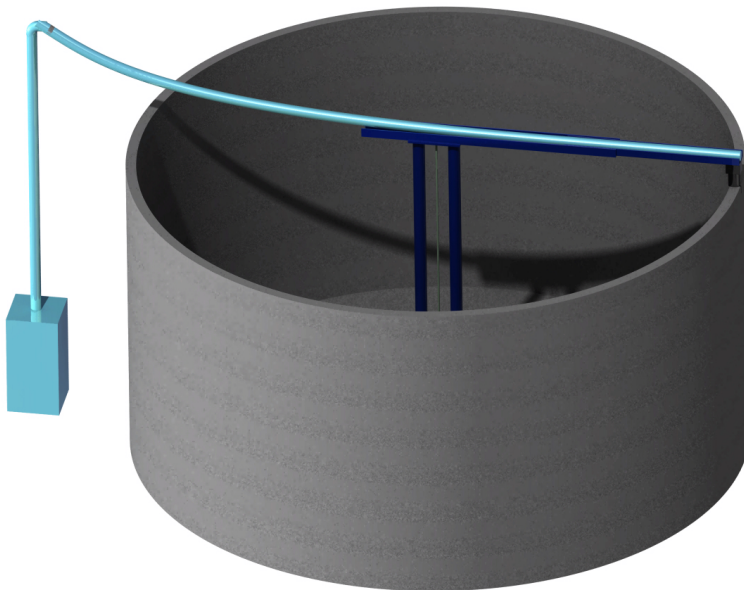
Betongskrivaren monterar ihop manuellt på plats. Fundament, vridplatta samt vridkrans är färdigmonterade. Stöd Stolpar samt kulmutterns skruv fästs i vridplattan med skruvförband. Stödplattan med kulmuttern är lagrade i stöd Stolparna. UPE balk 1 fästs på stödplattan med skruvförband. UPE balk 2 monterar i valt läge med ett skruvförband. Munstycket fästs på teleskopsarmen med fyra skruvförband.

7.2 Slang samt pump

En slang för att transportera betong mellan pumpen och munstycket ligger på teleskopsarmen. För att slangen inte ska störa tillverkningen av betongkaret kommer pumpen ha en ställning som är högre än det färdigställda betongkaret. Med hjälp av ställningen kommer slangen inte att hamna i det tillverkade betongkaret.



Figur 7.3 Betongskrivare med slang och pump



Figur 7.4 Betongskrivare med slang och pump samt ett färdigtillverkat betongkar

När karet är färdigt demonteras maskinen och lyfts ur betongkaret med hjälp av en kran. I figur 7.3 syns betongskrivaren, slang, pump och i figur 7.4 ett färdigt kar.

7.3 Teleskopsarm

Diametern av de cylindriska betongkaren kan variera mellan fyra till sex meter. Detta kräver att längden på armen kan regleras. Därför konstrueras armen av två delar som går in i varandra med en teleskopordning.

Färdiga stålprofiler användes för att underlätta tillverkning och minska kostnad. BE Group har färdiga UPE-balkar som passar de efterfrågade måtten.



Figur 7.5 Teleskopsarm med längden 2 respektive 3 meter

Teleskopsarmen har tre hål som motsvarar radien 2, 2.5 samt 3 meter på det cylindriska betongkaret. Dessa radier på teleskopsarmen låses fast med en sexkantskruv. För att snabbt och enkelt kunna se vart den mindre balken rätta position har markeringar gjorts på UPE balk 2.

UPE-balkar i standardmåtten 180 mm respektive 220 mm valdes för att tillverka armen. Profilerna förses med skruvhål för fäste mellan stödplatta samt munstycke. Skruvförband valdes då montering på plats kommer att ske och kan skruvas på och av manuellt. Ett ovalt hål görs för munstycket vid ytterkanten på UPE-balk 2. Innerhörnerna på UPE-balk 1 rundas av så att UPE-balk 2 ska få plats i den.

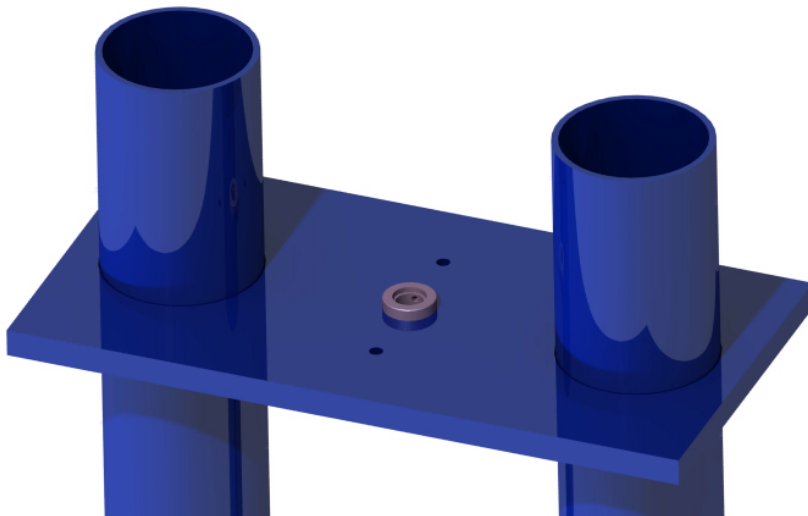
7.4 Stöd Stolpar samt stödplatta

När skruven roteras överförs rörelsen till kulmuttern. För att förhindra att kulmuttern roterar med skruven och endast rör sig linjärt så har två stöd Stolpar monterats i stödplattan.

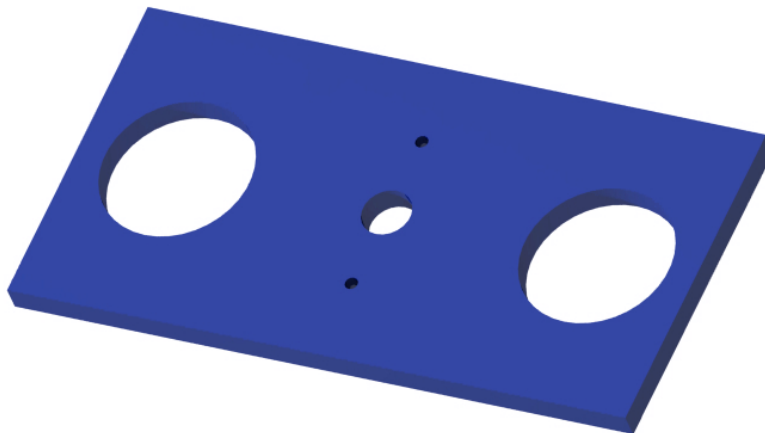
Stödplattan är i stål.

För att ta upp krafterna som stöd Stolparna utsätts för vid rotation av skruven så är de lagrade med bussningar som sitter mellan stödplattan och stöd Stolpar.

BE Group har färdiga balkar med rund hålprofil i stål. Dimensionerna är 114,5 mm i diameter med tjockleken 5 mm.



Figur 7.6 Stöd Stolpar, stödplatta samt kulmutter

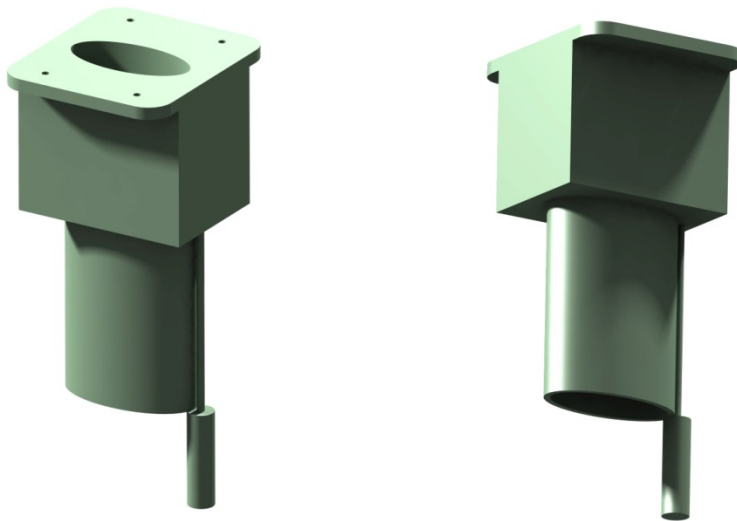


Figur 7.7 Stödplatta

7.5 Munstycke med släpanordning

För att få lämplig tjocklek på betongkaret har det ellipsformade munstycket fått dimensionerna 0,05 meter på den minsta och 0,1 meter på den största diametern.

Munstycket har två flänsar med två skruvhål på vardera fläns. Detta för att kunna fästas på teleskopsarmen med skruvförband. Munstycket tillverkas med formsprutning i plast. I figur xx visas munstycket i två vyer.



Figur 7.8 Munstycke, två vyer



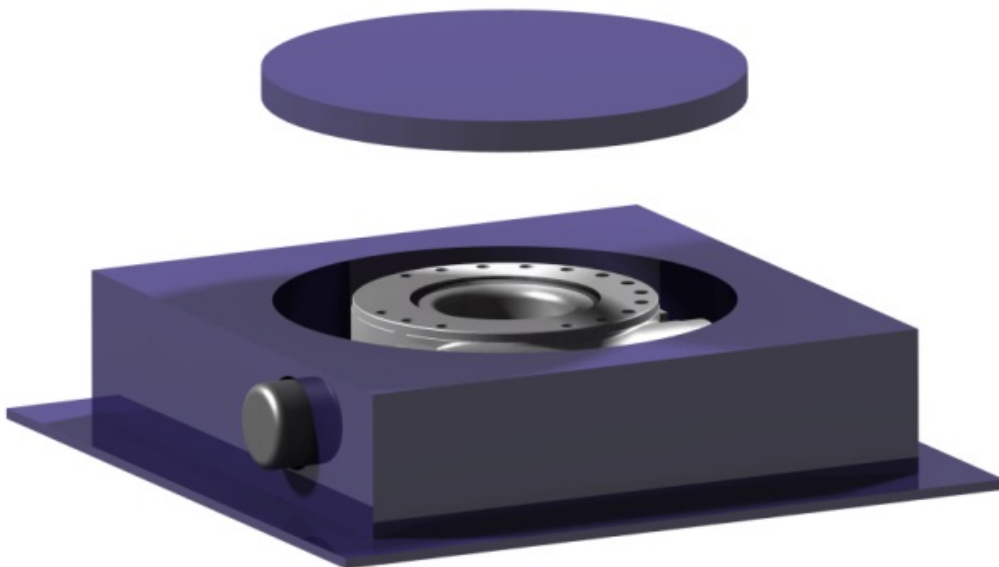
En släpanordning finns på munstycket, som syns i figur 7.9. Släpanordningen är fäst på sidan av munstycket se figur 8.8. Släpanordningen jämnar ut yttersidan av betongkaret så att det ser mer estetiskt ut. Släpanordningen kommer att vara cylinder formad. Då man i examensarbetet valt att inte gå in i detaljerna kring hur betongen beter sig kommer man inte att behandla valet av munstycke och släpanordning mer ingående.

Figur 7.9 Släpanordning

7.6 Fundament

Vid foten av betongskrivaren ligger fundamentet. I figur 7.10 visas fundamentet med vridplattan upplyft så att vridkransen syns. Vridkransen är inbyggd i fundamentet, vridplattan ligger löst på fundamentet och är fäst på vridkransens rotationsdel. Detta gör att vridplattan drivs direkt av vridkransen.

Kulmutterskruv samt stöd Stolpar fästs i vridplattan. Under vridplattan sitter vridkransen som roterar hela betongskrivaren. Vridkransens koppling sticker ut ur fundamentet så att man kan koppla den till en elmotor för drivning.



Figur 7.10 Fundament

7.7 Val av kulmutterskruv

För välja en kulmutterskruv ur SKF:s produktkatalog krävs att man vet vilken axialkraft kulmutterskruven kommer att utsättas för. I kapitel 6.2 beräknas axialkraften som påverkar skruven till 1,5 kN.

Ur SKF tas två kulmutterskruvar som ligger närmast kraften på 1,5 kN i max belastning, se tabell 7.1. Den minsta skruven för universal kulskruv och den största för mini kulskruv.

Tabell 7.1

Kulmutterskruv	Belastning [kN]	Max längd [mm]
Krav	$> 1,5$	≥ 3000
SX 20X5R	14,5	5000
SD 16X5R NW/NR/SP	7,6	2100

SD 16X5R NW/NR/SP är kulmutterskruven vars max belastningen ligger närmre 1,5 kN men uppfyller inte längdkravet.

Modell SX 20X5R har för stor kapacitet men tillfredsställer längdkravet och valdes därför som kulmutterskruv till betongskrivaren.

7.8 Val av vridkrans

För att välja en lämplig vridkrans ur IMO:s produktkatalog beräknades varvtal och tippmoment i kapitel 6.3 och 6.4, resultatet visas i tabell 7.2 nedan.

Då betongskrivaren inte har några yttre laster vid rotation studeras de förluster som uppkommer. Förlusterna uppkommer i lagring i vridkransen samt från rotationskopplingen på slangen. Detta ger upphov till ett litet moment som man kan bortse från då det totala vridmoment vridkransen kan belastat med är mycket större.

Tabell 7.2

Vridkrans	
Varvtal [rpm]	>2
Mtipp[KNm]	>1,9

Ur IMOs produktkatalog över Slew Drives(vridkransar), valdes vridkransen WD-H 0146/3-00022 som uppfyller kraven i tabell 8.2 med god marginal. (IMO, 2015)

7.8 Lager

Axiella och radiella krafter som uppstår i konstruktionen ska tas upp av lager placerad vid stöd Stolparna samt vid fästet av kulmutterskruv och vridplatta.

Glidlager ska placeras mellan stödplattan och stolparna. Kulmutterskraven får inte utsättas för krafter i radialled och kommer därför att lagras radiellt med ett lager från SKF, med beteckningen FLBU 20, som är anpassat för kulmutterskraven som valts.(SKF, 2015)

8 Diskussion

I resultatet framgår det att syftet med projekt har uppfyllts och en principlösning för hur en maskin som skriver ut cylindriska betongkar har konstruerats.

Betongskrivaren är mobil och modulär och kommer kunna förflyttas mellan olika arbetsplatser.

Konstruktionen av betongskrivaren är enkel men stabil.

Det finns dock en del saker som kunde vidareutvecklas på principlösningen. På grund att tidsbrist har lösningar på vissa problem inte presenterats utförligt med CAD-ritning och beräkningar i rapporten.

Ett problem som hade varit i behov av en mer ingående undersökning är placeringen av slangen på teleskopsarmen. Lösningen för detta som presenterats i rapporten är inte optimal. När teleskopsarmen ligger i sitt nedersta läge kommer slangen inte kunna ligga på armen eftersom kulmutterkruven samt stöd Stolpar kommer att vara i vägen. Även en rotationskoppling bör användas. Detta för att slangen inte skall vrida sig med betongskrivaren när den roterar.

Även drivningen av betongskrivaren hade behövt undersökas närmre. Elmotor, kopplingar och växlar till dessa behöver en djupare analys. Detta innebär att fundamentet som konstruerats kanske inte får plats med kopplingar och växlar.

Konstruktionen för munstycket med släpanordning behöver utvecklas mer. Fäste mellan släpanordning samt munstycke behövs. Hur släpanordningen ska fungera vid formning av betongen bör studeras. Även tillverkning av detta har inte bestämts.

Konceptframtagningen konsumerade alltför mycket tid och om konceptvalet genomförts i ett tidigare skede av projektet hade mer tid och arbete kunnat läggas på utvecklingen av det valda konceptet. Det som kunde gjorts annorlunda i projektet är att ha stämt möte och fått vägledning av Kjell Melkersson i ett tidigare skede då anledningen till att projekt fastnade i konceptframtagningssfasen var kunskapsbrist. Då det inte fanns liknande maskiner ute på marknaden och därmed ingen befintlig konstruktion att utgå från försvårades vår konceptframtagning. Melkersson handledning och kunskap inom konstruktion underlättade konceptvalet.

Litteraturförteckning

- Be Group. (2015). *BE Group*. Hämtat från http://www.begroup.com/sv/BE-Group-sverige/Produkter/Stal_ror/ den 02 05 2015
- Bergman, B., & Klefsjö, B. (2012). *Kvalitet från behov till användning*. Studentlitteratur.
- Britsman, C., Lönnqvist, Å., & Ottoson, S. O. (1993). *Handbok i FMEA*. Stockholm: Sveriges verkstadsindustrier.
- Bruno, E. (2014). *Naturskyddsföreningen*. Naturskyddsföreningen.
- Dahlberg, T. (2001). *Teknisk hållfasthetslära*. Studentlitteratur.
- Gizmodo. (den 19 06 2014). Hämtat från These Tiny Robots Are Designed To 3D Print Whole Buildings: <http://search.proquest.com/docview/1537396767?pq-origsite=summon> den 30 02 2015
- Hågeryd, L., Björklund, S., & Lenner, M. (2005). *Modern Produktionsteknik Del 2*. Liber.
- IMO. (2015). *IMO Product Catalog Slew Drive*. Hämtat från http://www.imo.de/uploads/media/Slew_Drive_Catalog_02.pdf den 30 04 2015
- Johannesson, H., Persson, J.-G., & Pettersson, D. (2004). *Produktutveckling - Effektiva metoder för konstruktion och design*. Liber.
- Khoshnevis, B. &. (2006). Contour Crafting. i H. Parsaei, *Rapid Prototyping*.
- Krassenstein, E. (den 17 02 2015). <http://3dprint.com>. Hämtat från <http://3dprint.com/43651/artis-engineering-robotic-3d/> den 30 02 2015
- Lindstedt, P. (2003). *The Value Model : How to Master Product Development and Create Unrivalled Customer Value* . Nimba.
- Mägi, M., & Melkersson, K. (2006). *Lärobok i Maskinelement*. Göteborg: EcoDev International.
- Reed Business Information. (2014). Foster + Partners teams up with Skanska to pioneer world's first 3D concrete printing robot. *Courtesy Arch Daily* .

SKF. (2015). *SKF, ball & roller screws select*. Hämtat från <http://brs.skf.com/CategorySearch/Index/1?visibility=1> den 25 04 2015

Svenska patent databasen. (2015). Hämtat från <http://was.prv.se/spd/search?lang=en&tab=1> den 15 02 2015

Von Schultz, C. (2012). Fiskodling på land spås gå en ljus framtid till mötes. *NyTeknik*.

Bilagor

Bilaga 1: Ritning UPE balk 1

Bilaga 2: Ritning UPE balk 2

Bilaga 3: Ritning Munstycke

Bilaga 4: Ritning Fundament

Bilaga 5: Ritning Vridplatta

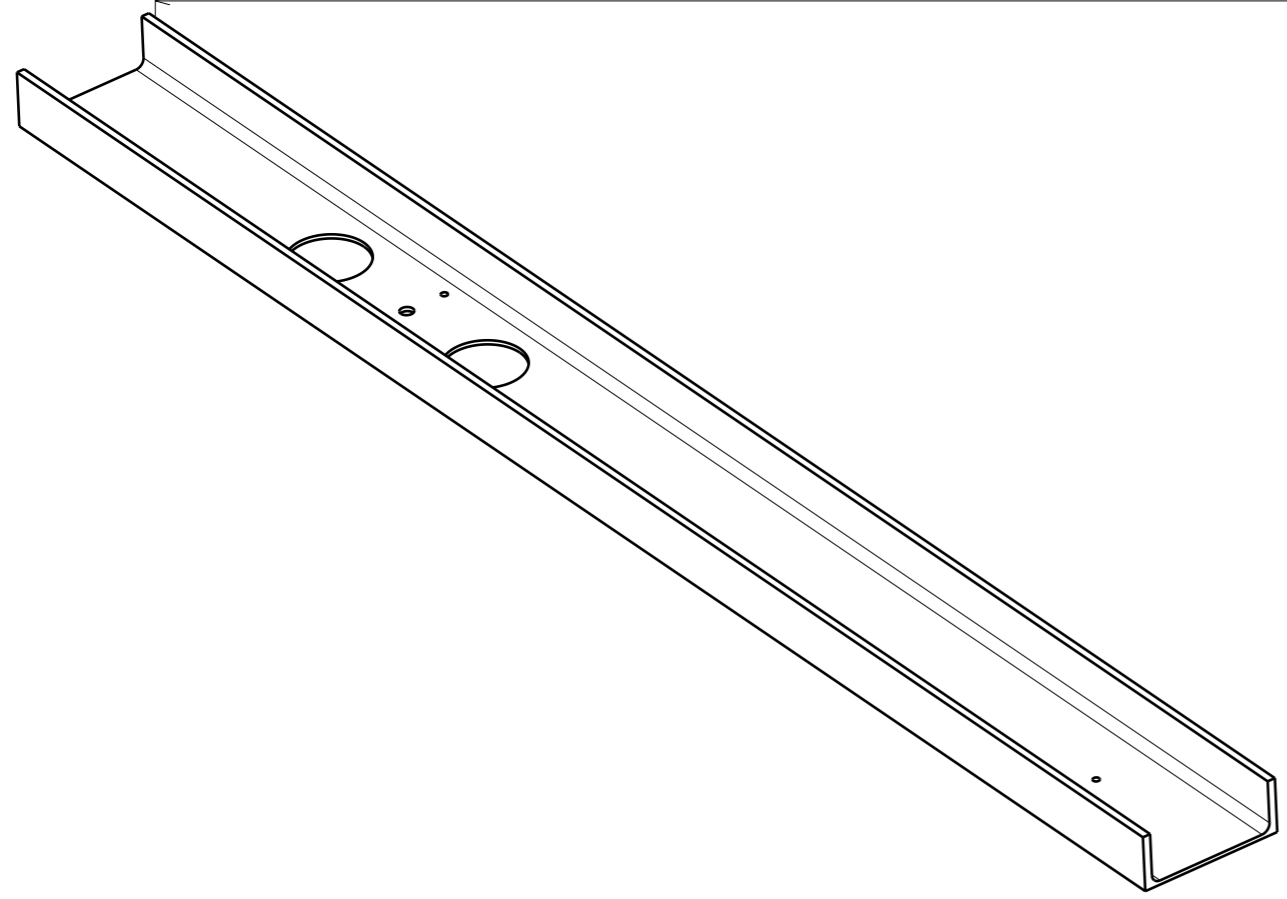
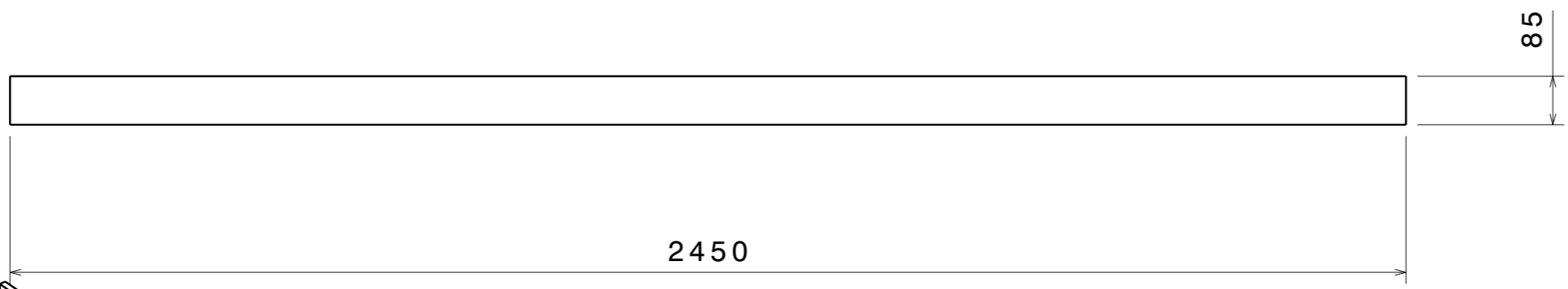
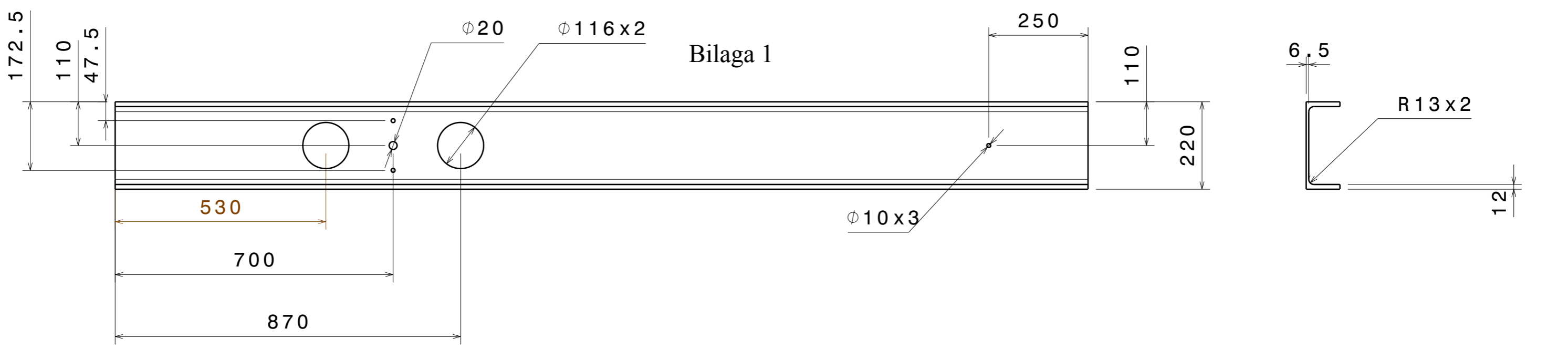
Bilaga 6: Ritning Bottenplatta

Bilaga 7: Ritning Stödplatta

Bilaga 8: Sammanställning

Bilaga 9: FMEA

H G F E D C B A



3

2

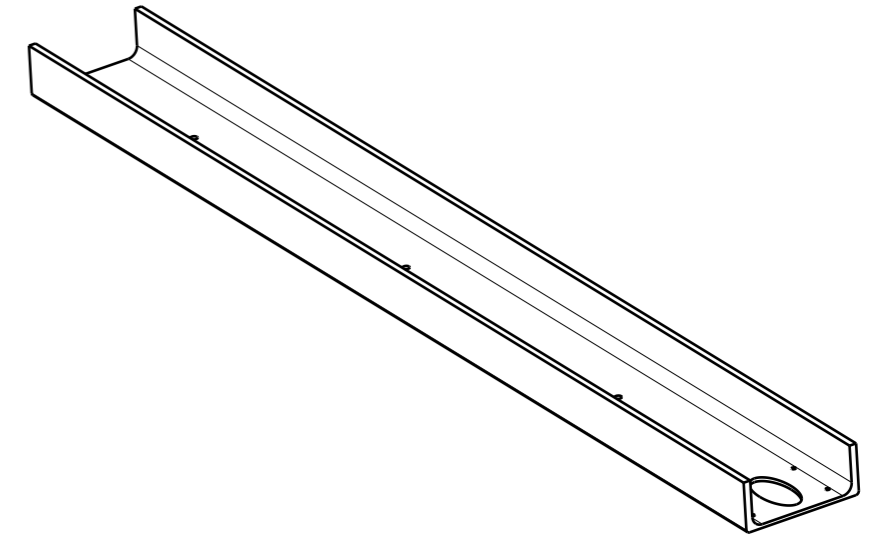
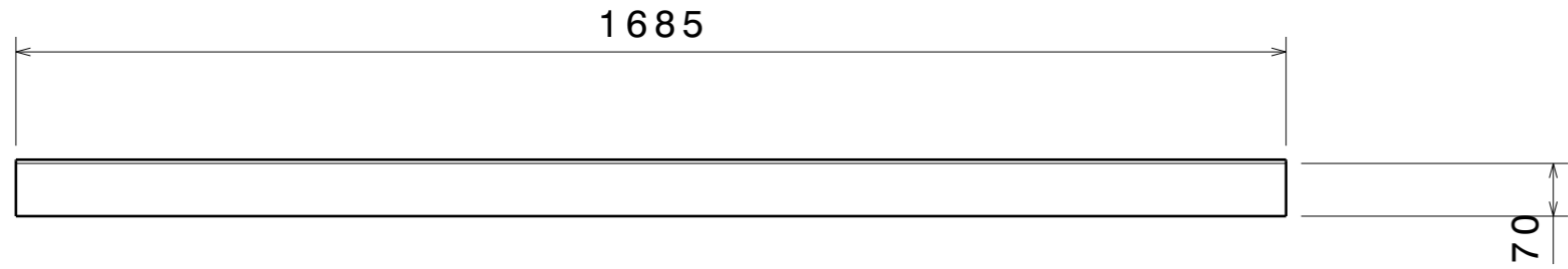
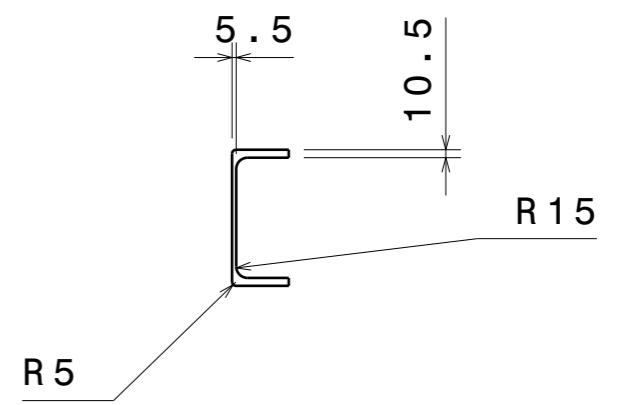
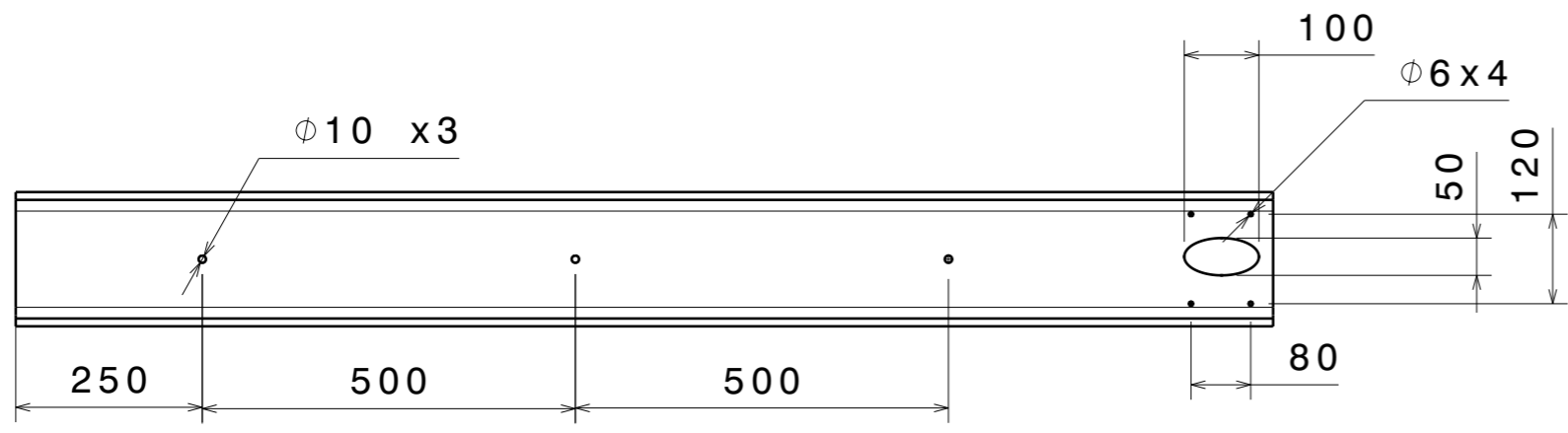
1

This drawing is our property. It can't be reproduced or communicated without our written agreement.		UPE balk 1			
DRAWN BY Frida Tjus		DATE 2015-05-13		DRAWING TITLE UPEbalk1	
CHECKED BY Frida Tjus		DATE xxx		SIZE A3	DRAWING NUMBER 1
DESIGNED BY FridaCanny		DATE xxx		SCALE 1:10	Matrial S355N
				SHEET 1/1	REV X

H G B A

H G F E D C B A

Bilaga 2



Isometric view
Scale: 1:10

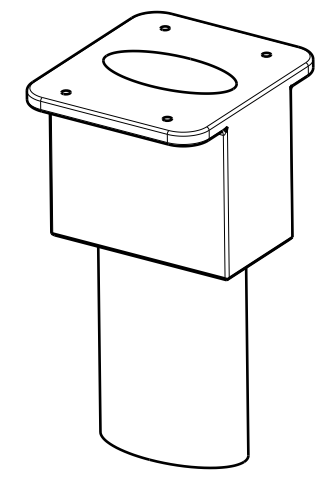
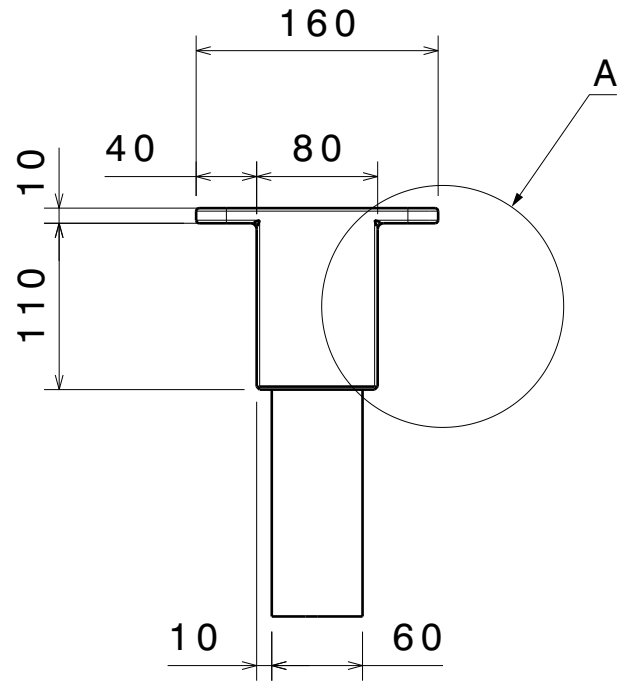
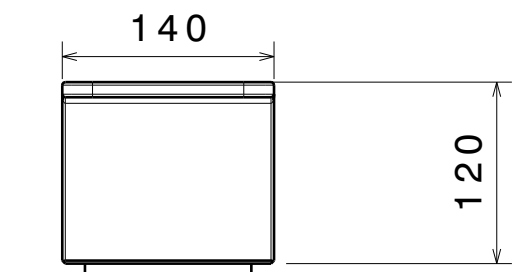
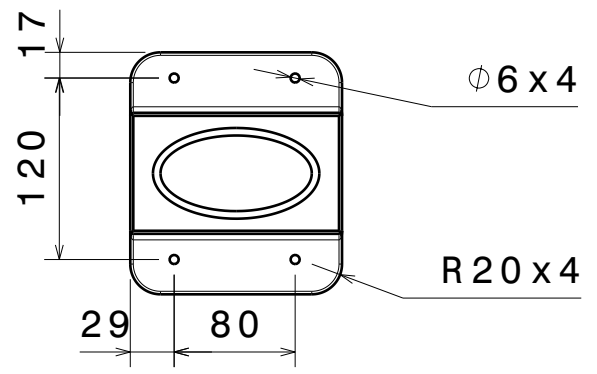
This drawing is our property. It can't be reproduced or communicated without our written agreement.		UPE balk 2			
DRAWN BY fridatj		DATE 2015-05-13		DRAWING TITLE UPEbalk2	
CHECKED BY XXX		DATE xxx		SIZE A3	DRAWING NUMBER 2
DESIGNED BY XXX		DATE xxx		SCALE 1:1	Material S355N
				SHEET 1/1	REV X

H G B A

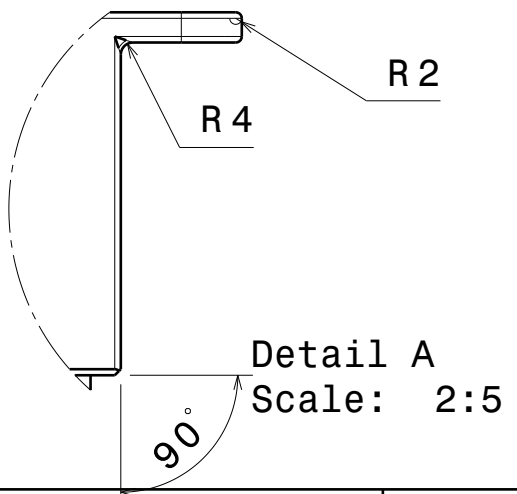
D C B A

4 3 2 1

Bilaga 3



Isometric view
Scale: 1:5



This drawing is our property.
It can't be reproduced
or communicated without
our written agreement.

Munstycke

DRAWN BY fridatj	DATE 2015-05-13
----------------------------	--------------------

DRAWING TITLE
munstycke

CHECKED BY Frida Tjus	DATE xxx
---------------------------------	-------------

SIZE A4	DRAWING NUMBER 3	REV X
-------------------	----------------------------	-----------------

DESIGNED BY fridacanny	DATE xxx
----------------------------------	-------------

SCALE 1:5	Material PP	SHEET 1/1
---------------------	-----------------------	---------------------

D C B A

D

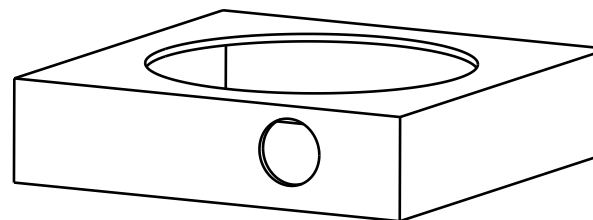
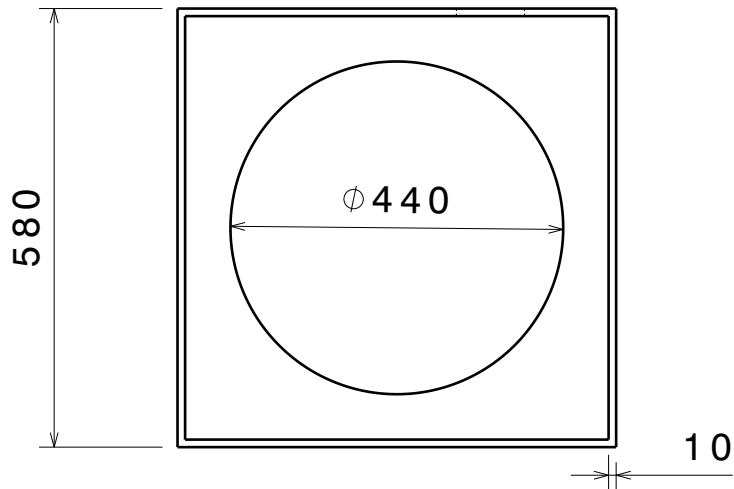
C

B

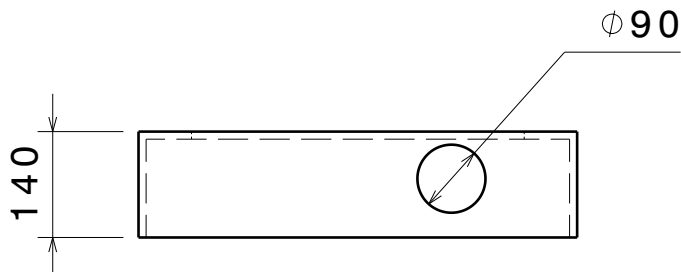
A

580

Bilaga 4



Isometric view



This drawing is our property. It can't be reproduced or communicated without our written agreement.		<h2>Fundament</h2>			
DRAWN BY fridatj		DATE 2015-05-14		<h3>fundament</h3>	
CHECKED BY XXX		DATE XXX			
DESIGNED BY XXX		DATE XXX		SIZE A4	DRAWING NUMBER 4
		SCALE 1:10		Matrial S355N	SHEET 1/1
				REV X	

D

A

4

4

3

3

2

2

1

1

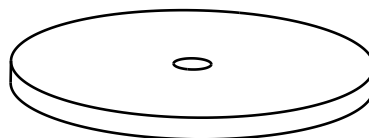
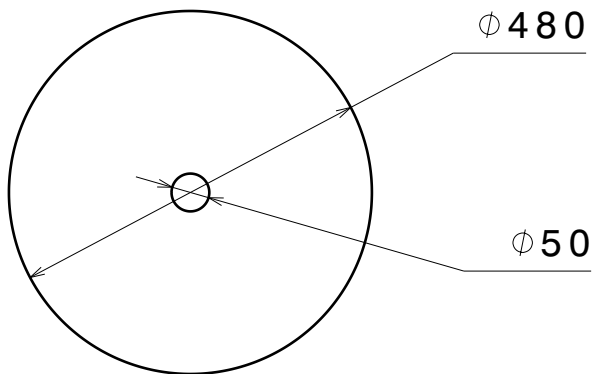
D

C

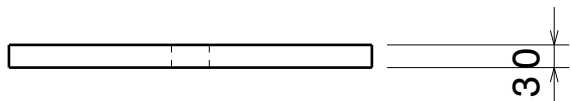
B

A

Bilaga 5



Isometric view



30

This drawing is our property.
It can't be reproduced
or communicated without
our written agreement.

Vridplatta

DRAWING TITLE

Vridplatta

DRAWN BY
fridatj

DATE
2015-05-14

CHECKED BY
XXX

DATE
xxx

SIZE
A4

DRAWING NUMBER

5

REV
X

DESIGNED BY
XXX

DATE
xxx

SCALE 1:10

Matrial

S355N

SHEET 1/1

D

A

4

4

3

3

2

2

1

1

D

C

B

A

700

Bilaga 6

4

4

700

3

3

10

2

2

This drawing is our property.
It can't be reproduced
or communicated without
our written agreement.

Bottenplatta

DRAWING TITLE

bottenplatta

DRAWN BY
fridatj

DATE
2015-05-14

CHECKED BY
XXX

DATE
xxx

SIZE
A4

DRAWING NUMBER

6

REV
X

DESIGNED BY
XXX

DATE
xxx

SCALE 1:10

Matrial

S335N

SHEET 1/1

D

A

1

1

D

C

B

A

4

4

3

3

2

2

1

1

Bilaga 7

420

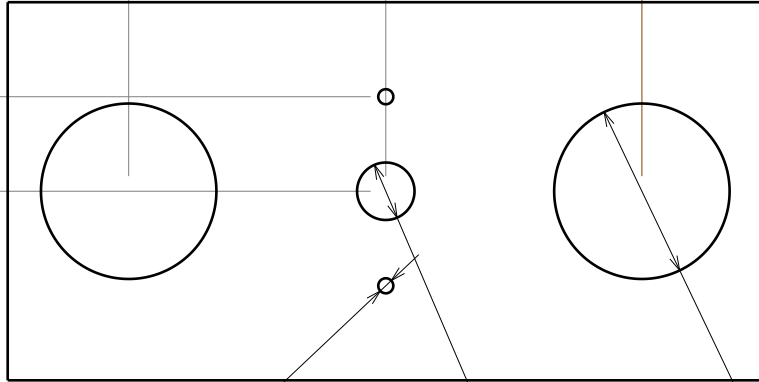
250

80

250

125

62.5



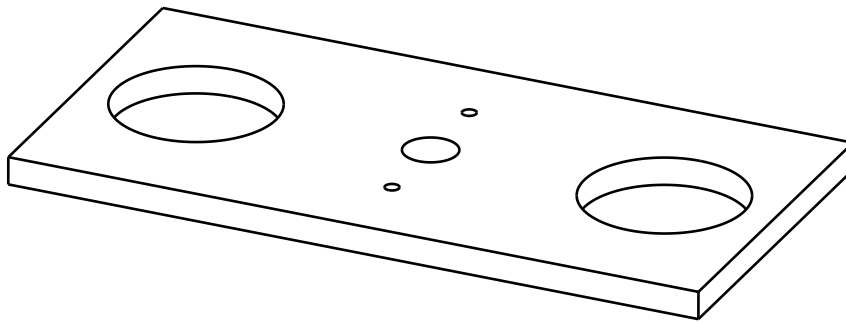
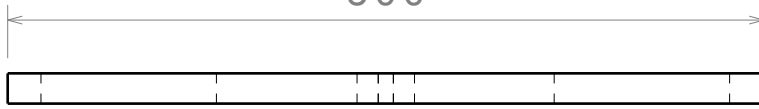
∅10x2

∅38

∅116x2

500

20



This drawing is our property.
It can't be reproduced
or communicated without
our written agreement.

Stödplatta

DRAWING TITLE

stödplatta

DRAWN BY

fridatj

DATE

2015-05-14

CHECKED BY

XXX

DATE

XXX

SIZE

A4

DRAWING NUMBER

7

REV

X

DESIGNED BY

XXX

DATE

XXX

SCALE

1:10

Material

S335N

SHEET

1/1

D

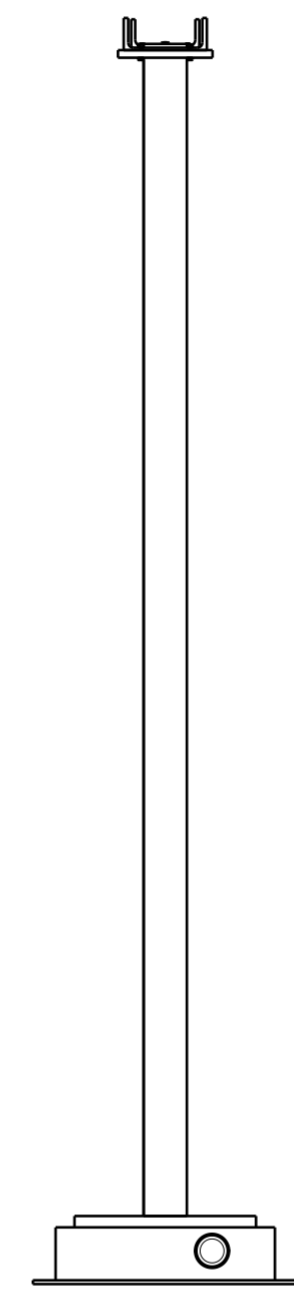
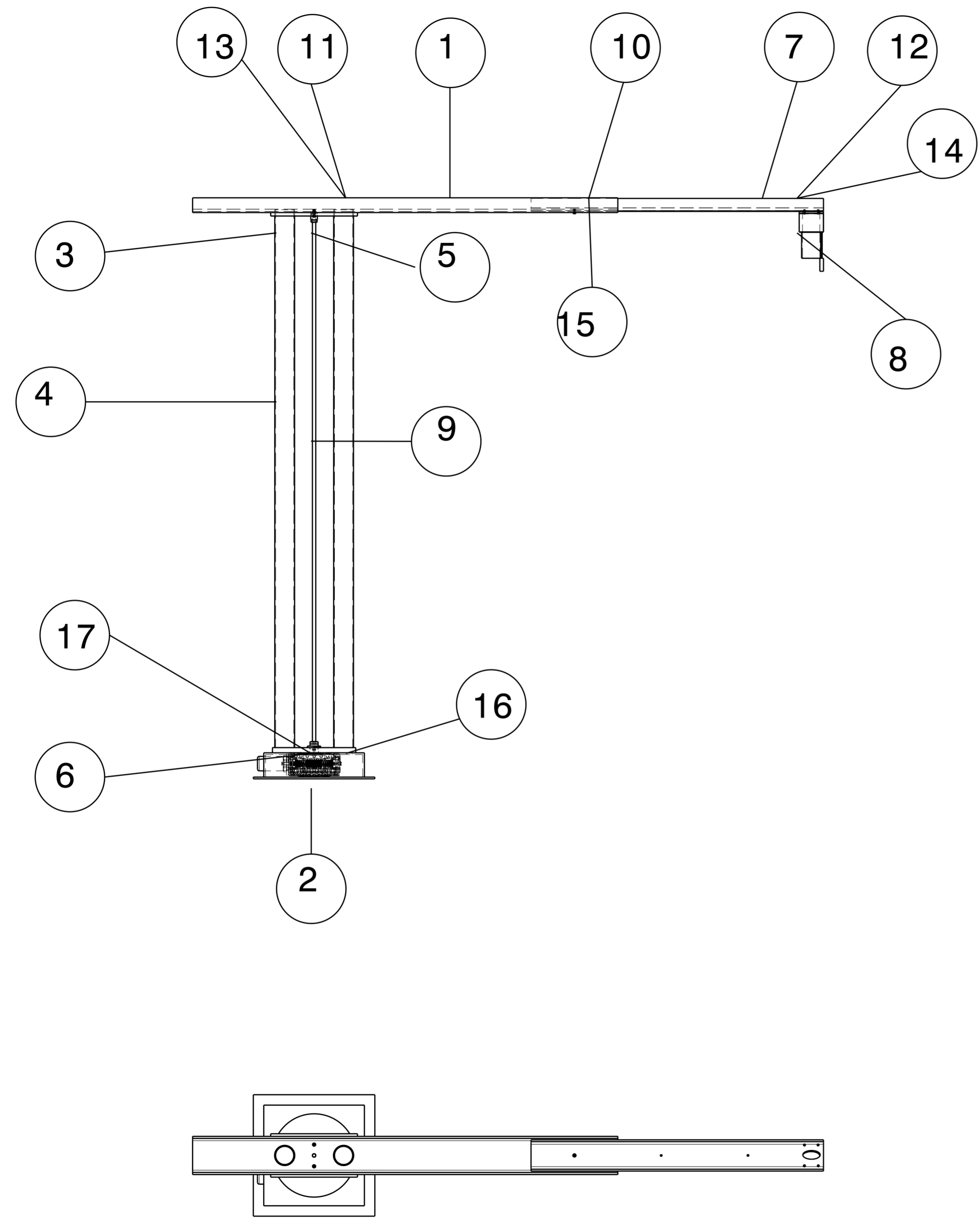
A

H G F E D C B A

8
7
6
5
4
3
2
1

8
7
6
5
4
3
2
1

Bilaga 8



Betongskrivare

Nr.	Namn	Ant	Beteckning	Ritning nr
1	UPE balk 1	1	UPE balk	1
2	Botten	1		6
3	stödplatta	1	stödplatta	7
4	Stöd Stolpe	2	rund hålprofil	
5	Kulmutter	1	SX20x5RNOWPR	
6	vridkrans	1	WD-H 0146/3-00022	
7	UPE balk 2	1	UPE balk	2
8	Munstycke	1		3
9	Kulmutter skruv	1		
10	sexkant skruv 1	1	M6S 8.8 M10x20	
11	sexkant skruv 2	2	M6S 8.8 M10x35	
12	Sexkant skruv 3	4	M6S 8.8 M6x20	
13	Sexkant mutter	3	M10	
14	sexkant mutter 1	4	M10	
15	sexkant mutter 2	1	M6	
16	Vridplatta	1		5
17	fundament	1		4
18	Kulmutterlager	1	FLBU 20	

This drawing is our property. It can't be reproduced or communicated without our written agreement.

Betongskrivare

DRAWN BY fridatj		DATE 2015-05-14		DRAWING TITLE Betongskrivare		
CHECKED BY XXX		DATE xxx		SIZE A2	DRAWING NUMBER betongskrivare4	REV X
DESIGNED BY XXX		DATE xxx		SCALE 1:20	material	SHEET 1/1

H G F E D C B A

Bilaga 9

FMEA - FELEFFEKTANALYS											
					Risktal	1	-	100	Felmöjlighet är motsatsen till önskad funktion		
						101	-	300	Felorsak måste elimineras för att felet inte ska kunna uppstå		
						301	-	1000	Feleffekt är hur felet uppfattas av slutanvändaren/kunden		
Nr	Komponent	Funktion	Felmöjlighet	Feleffekt	Felorsak	Kontroll	Fels	Allv	Uppt	Risktal	Rekomenderad åtgärder
1	Fundament	Bära vikt	Tål ej vikt	Defekter uppkommer	Matrialfel	Matrial analys	4	8	4	128	Ytterligare matrail analys
				Raslar			2	9	2	36	
		Hålla vridkran samt motor	Får ej plats	Går ej att montera	Vridkrans samt motor är större än beräknat.	Kontroll av vridkrans samt motors mått	3	6	1	18	
				Ge stabilitet	Är ostabil	vinglar	Fel dimensionerat	Hålf. Beräkningar	6	5	3
		Ramlar	4			9			1	36	
2	Vridkrans	Ge rotation	Tål ej vikt/moment	Defekter	Fel val av vridkran	hålf. Beräkningar samt kontroll av dimensionering	4	7	3	84	Ta en vridkrans med godmarginal för det krafter som uppkommer
			Roterar vinkelhast.	Ger fel hastighet av munstycke			2	8	2	32	
3	Kulmutterskruv	Ge translation	Tål ej moment	Böjs	Fel lager har använts	Hålf. Beräkningar	4	8	5	160	Samtal med SKF för bästa sätt att lagra på
			Tål ej vikt	Defekter uppkommer	Fel vald skruv	Hålf. Beräkningar av samt kontroll av dimensionering	2	9	4	72	
4	Stödpinnar	Förhindra rotation av arm	Tål ej moment	Pinnarna knäcks	Fel dimensionerat	Beräkning och mått kontroll	1	8	1	8	
			sitter inte fast	Armen snurrar med skruven	Fel fästanordning	Ordäntliga fästen	2	8	1	16	
5	Stödplatta	Bära teleskoparm	sitter inte fast	Teleskoparm ramlar av	Fel fästanordning	Ordäntliga fästen	2	8	2	32	

6	Teleskoparm	Ge diameter	För kort arm	Karet blir fel dimensionerat	Fel dimensionerat	konstruktions analys och måttkontroll	4	7	1	28			
			För lång arm	Onödig material			7	2	2	28			
		Håller munstycke	Ramlara av	cement överallt	Dåligt fäste	Konstruktions analys	3	9	1	27			
			Sluter ej tätt	läkage			7	6	4	168	Inför ett extra hållbart fäste		
7	Munstycke	Formar cementen	Cement kommer inte ut	Stopp i slang	Fel dimensionerat	Konstruktions analys och måttkontroll	3	5	4	60			
				övertryck- explosion			1	9	2	18			
			För tun vägg	spricker			5	9	2	90			
			För tjockt vägg	Onödig material			7	2	2	28			
		Jämna till yta	Ger ojämn yta	ej cirkulär form	Användare kan skada sig på ytan	Ligger ej tätt mot kant	Konstruktions analys	6	2	2	24		
								Ej tilltalande estetiskt	4	8	2	64	
									4	2	3	24	
			Skrapar bort för mycket	ej cirkulär form	Ligger för nära kant	4		2	1	8			
						Ger stort motstånd		Tar längre tid att tillverka	2	2	5	20	
						Kräver mer kraft		2	3	5	30		
8	Lyftanordning	ge möjlighet att lyfta	Tål ej vikten	Kroken går av innan lyft	Hålf. Beräkningsfel	Hålf. Beräkningar och konstruktions analys	5	5	2	50			
				Maskinen ramlar vid lyft			3	9	1	27			
			Skapar oblands vid lyft	Vinglar vid lyft			7	4	2	56			
				maskinen kraschar in i karet			5	9	1	45			
9	Slang	transpoterar cement	Kan inte rotera med maskinen	slangen vrids och går sönder	Konstruktions-fel	Konstruktions analys	5	9	1	45			
				Maskinen kan inte rotera			2	10	1	20			
			Dålig väg mellan pump och munstycke	Slangen hamnar i cement som byggts			4	9	2	72			
10	Pump	Pumpar cement	Kan inte pumpa cement	Ingen cement kommer	Fel pump	Kontroll av rätt pump	2	10	1	20			