

# CHALMERS



## Förutsättningar och möjligheter för produktion av cykelramar i ultrahöghållfast stål (UHHS)

*Kandidatarbete inom civilingenjörsprogrammen Automation och mekatronik samt Maskinteknik*

MARKO BJELANOVIC / PETTER BJÖRSELL / ADIS DUROVIC /  
SAN KIYA / INGRID LÖVGREN / MARKO TESANOVIC

*Institutionen för Produkt- och Produktionsutveckling  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige 2013  
Kandidatarbete PPUX03-13-12*

## **Förord**

Vi vill tacka vår handledare Johan Erlandsson från företaget Velove. Johan Erlandsson har varit ett stort stöd genom hela arbetet.

Vi vill också tacka samtliga företag som bidragit med information, samt vår examinator Dr Henrik Kihlman på Produktionssystem PPU, Chalmers Tekniska Högskola.

# Abstract

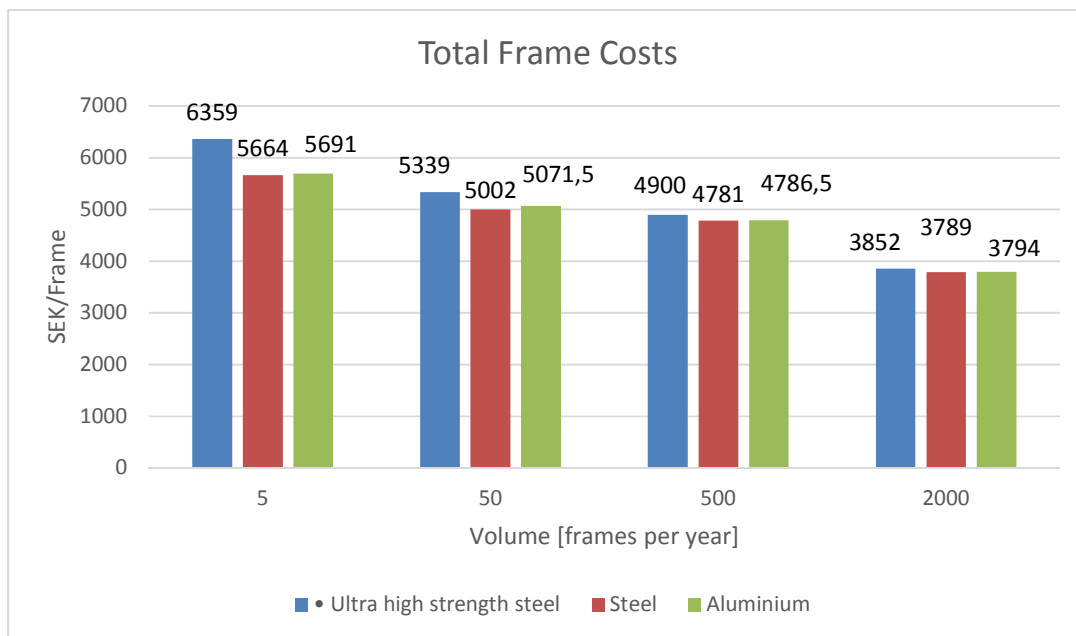
In today’s high consumption society there is an increasing demand for alternative transportation for a competitive cost. Velove is a company willing to offer a practical cargo bike as an environmentally friendly alternative to the traditional car.

Velove’s new “*Prototyp 2*” is a lightweight cargo bike construction with advanced front suspension and the frame which is produced in a relatively new material in the bike market, *ultra high strength steel*. The strength of the product lies within the four wheel design, enabling great handling and stability even at higher speeds. This project is about the production cost of the frame. A cost estimate has been established of three other materials in addition to the original frame cost, mainly to expand the knowledge of alternative material choices.

These materials are:

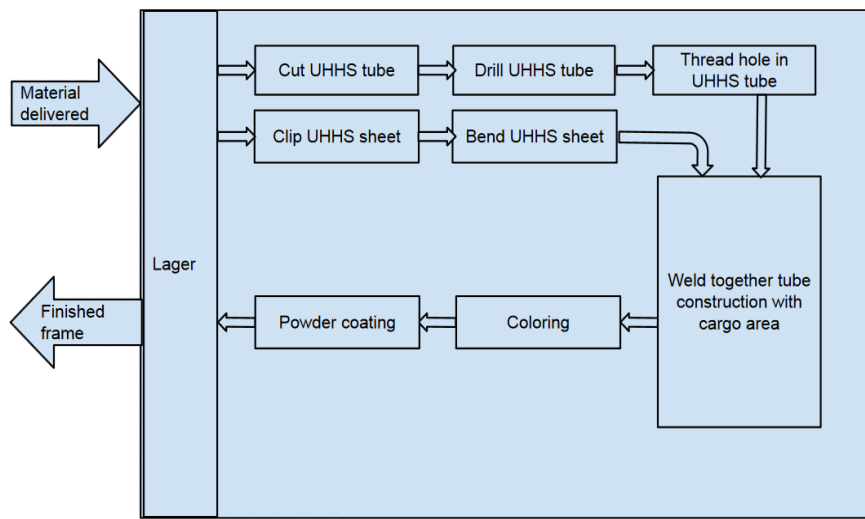
- *Ultra high strength steel*
- *Steel*
- *Aluminium*
- *Carbon fibre*

The cost has been calculated for five hypothetical production volumes; 5, 50, 500 and 2000 frames per year. The values have been calculated through consultation with manufacturing companies and the total frame costs are shown in Figur 1.



Figur 1: Total frame costs divided by material and grouped by production volume

There is a factory layout defined for a production exceeding 2000 frames per year, demonstrating how such a production process could be set up (Figur 2).



**Figur 2: Illustration over a factory layout for a production exceeding 2000 frames per year**

In excess of the cost estimates there are drawings and renderings (Figur 3) of the “*Prototyp 2*” created with the software *Autodesk Inventor*. The drawing has been instrumental during contact with manufacturing companies and can work as a support tool in future contacts with workshops and factories.



**Figur 3: Frame rendering made in Autodesk Inventor**

## Sammanfattning

I dagens högkonsumtionssamhälle ökar behovet av alternativa färdmedel till ett konkurrenskraftigt pris. Velove är ett företag som vill erbjuda en praktisk lastcykel som ett miljövänligt alternativ till den traditionella bilen.

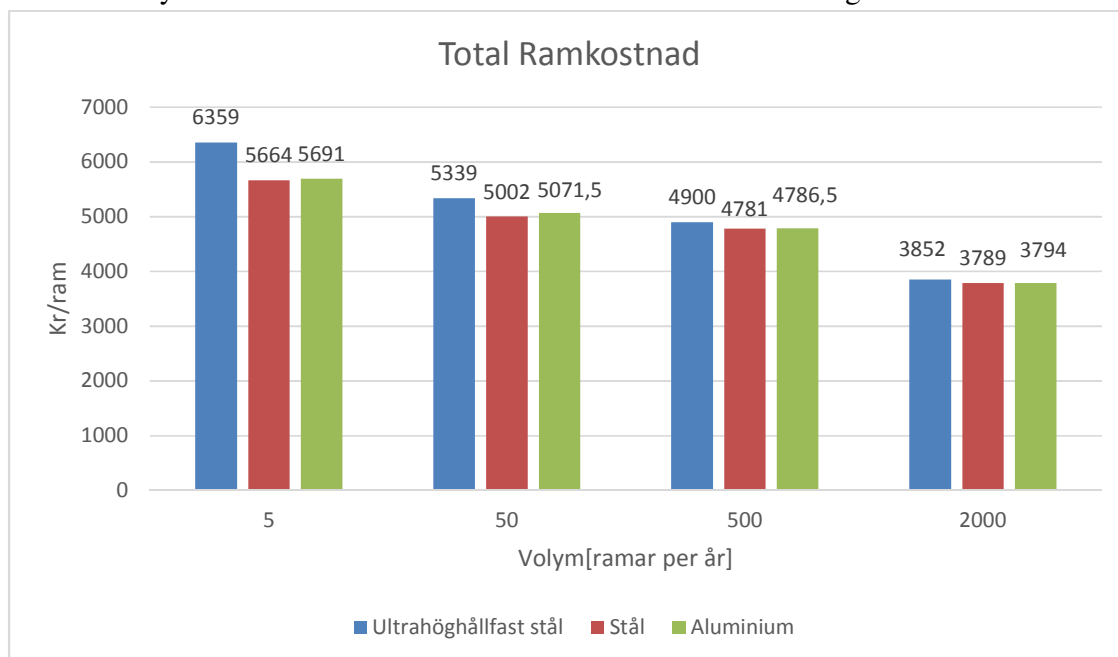
Veloves nya "Prototyp 2" är en lastcykel i lättviktskonstruktion med avancerade framvagnskonstruktion och tillverkad i ultrahöghållfast stål, ett nytt material för cykelramskonstruktion. Konstruktionens styrka ligger i de fyra hjulen som möjliggör god väghållning och bra stabilitet även under högra farter. Det är tillverkningskostnaderna till ramen som detta projekt har handlat om. Kostnadsuppskattning har gjorts på fyra material för att öka kunskapen om hur materialval påverkar tillverkningskostnad och design.

Materialen som undersökts är följande:

- *Ultrahöghållfast stål*
- *Stål*
- *Aluminium*
- *Kolfiber*

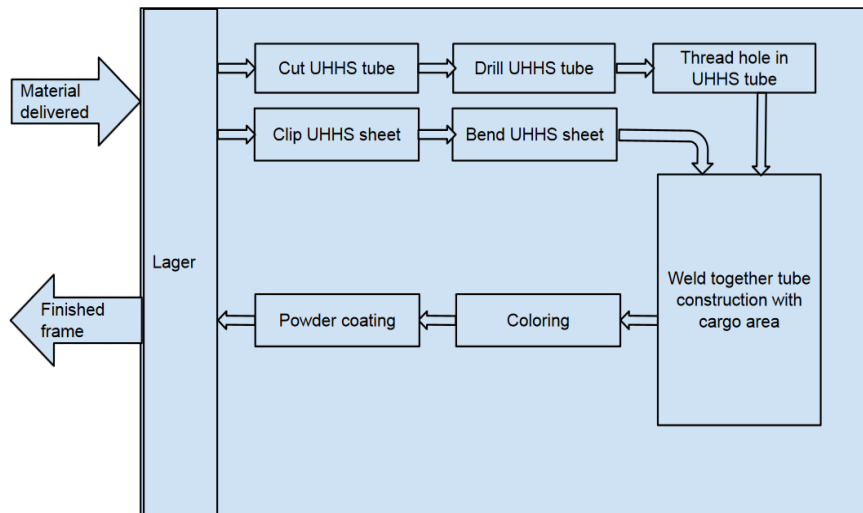
Kostnader har beräknats för fem hypotetiska tillverkningsvolymerna; 5, 50, 500 och 2000 ramar per år. Dessa har beräknats med hjälp av företag som varit intresserade av att producera lastcykeln.

Den totala cykelramkostnaden för de olika materialen återfinns i Figur 4.



Figur 4: Dem totala ramkostnaderna uppdelat i material och grupperat för de olika tillverkningsvolymerna

För en tillverkning som överskrider 2000 ramar per år har ett förslag i form av fabrikslayout för tillverkningsprocessen tagits fram (Figur 5). Fabrikslayouten är designad efter operationsnedbrytningen av cykelramens tillverkningsprocess.



Figur 5: Illustration över fabrikslayout för en produktion av 2000 ramar per år

Tillsammans med tillverkningskostnaderna har ritningar (Figur 6) över Prototyp 2 sammanställts med datorprogrammet Autodesk Inventor. Ritningen har använts vid kontakt med företag och kan i framtiden också användas vid kontakt med verkstäder och fabriker.



Figur 6: Rendering över ramen gjord i Autodesk Inventor

# Innehållsförteckning

1	Inledning .....	9
1.1	Bakgrund .....	9
1.2	Syfte och Mål .....	10
1.3	Avgränsningar .....	12
2	Metod .....	13
2.1	Intervjuer .....	15
2.2	Litteraturstudier .....	15
3	Teori.....	17
3.1	CAD .....	17
3.2	Komponentlista .....	17
3.3	Flödesschema .....	18
3.4	Operationsnedbrytning .....	19
3.5	Fabrikslayout.....	19
3.6	CES.....	20
4	Grundläggande beskrivning av material .....	21
4.1	Ultrahöghållfast stål .....	21
4.2	Stål.....	21
4.3	Aluminium .....	21
4.4	Kolfiber .....	22
5	Resultat .....	25
5.1	Konstruktion av prototyp 2 .....	25
5.2	Ultrahöghållfast stål .....	35
5.3	Stål.....	41
5.4	Aluminium .....	46
5.5	Kolfiber .....	50
5.6	CES.....	55
6	Analys .....	56
7	Diskussion.....	58
8	Slutsats .....	61

Referenser .....	63
Appendix.....	68
Appendix A - CAD ritningar .....	68
Appendix B - Material .....	70
Appendix C – Företag.....	76
Appendix D – Grundfrågor.....	77
Appendix E – Intervjuer.....	78
Appendix F – Beräkningar.....	91
Appendix G - Fabrikslayoutsberäkningar.....	103
Appendix H - CES dokument .....	104



# 1 Inledning

I takt med att storstäderna växer ökar antalet bränsle drivna transportfordon. På bara de svenska vägarna har antalet bilar ökat med 400 000 under 2002 - 2011 (Trafikanalys, Fordon 2011). Mer än hälften av alla bilresorna har varit kortare än fem kilometer och inom tätorterna har 70-80 % av resorna endast varit tre till fyra kilometer långa (Trafikverket, Nationell strategi för ökad och säker cykeltrafik). I storstäderna utgörs ungefär 50 % av någon form av godstrafik, och upp till 90 % i stora metropoler som Paris och London, och nästan 100 % utgörs av bränsle drivna fordon.

För att minska giftiga utsläpp, sänka bullernivåer i städerna och öka möjligheten att transportera sig effektivt utan bil finns ett intresse från allmänheten att utveckla alternativa färdmedel. Ett alternativt färdmedel, som kan användas för gods- och persontransport på kortare sträckor, är lastcykeln. De lastcyklar som finns ute på marknaden i dagsläget är främst två- eller trehjuliga med lastmöjligheter framför föraren. Lastcyklar med tre hjul är relativt instabila i höga hastigheter och kurvor på grund av hjulens placering i förhållande till lastcykelns tyngdpunkt medan tvåhjuliga lastcyklar blir instabila vid dåligt väglag varvid risken för omkullkörning blir påtaglig.

## 1.1 Bakgrund

Företaget Velove har konstruerat en lastcykel med fyra hjul (Figur 7), en väderskyddad förarplats och ett större lastutrymme placerat bakom föraren för att erbjuda en förhöjd komfort och bättre lastmöjligheter. Fyra hjul bidrar till hög stabilitet som medför att fordonet kan framföras även i höga hastigheter och i kurvor på ett säkert sätt oavsett väglag. Trots de fyra hjulen kan lastcykeln göras tillräckligt smal att den enkelt kan ta sig fram på cykelbanor och genom dörröppningar. Lastcykeln används för godstransport och för att underlätta transport av tung last kan företaget Velove erbjuda sina kunder elektronisk assistans för trampmekanismen. Detta har redan testats i prototypfasen då prototypen visades upp på Lidingös cykeldag. Den elektroniska assistensens energiförbrukning motsvarar en tjugondel av vad dagens elbilar kräver (2kWh/mil).



Figur 7: Velove lastcykel med släp

Veloves lastcykel är tänkt att ersätta bilar inom branscher som till exempel bud, service och försäljning. I framtiden hoppas Velove även att deras cyklar når ut till hushåll och privat bruk, där lastcykeln kan användas istället för bilen vid kortare sträckor, exempelvis vid pendling och skolkörning.

Under 2012 har en medarbetare på Velove med god erfarenhet inom ram konstruktion byggt en lastcykel av ordinärt stål, kallad prototyp 1. 2013 färdigställde företaget prototyp 2, en vidareutveckling av prototyp 1. Prototyp 2 tillverkades i ultrahöghållfast stål med en uppdaterad konstruktion för att minska vikt, utöka lastutrymme och förbättra framvagnkonstruktionen för att underlätta styrning och integrera dämpning. Lastcykelprototyperna är tillverkade utifrån en idé och har tillverkats utan ritningar. Problem som uppkommit under tillverkning har successivt lösts så att en fullt funktionsduglig lastcykel har tagits fram i prototyp 2.

Företaget Velove befinner sig i fasen att prototypframställningen är klar och företaget börjar visa intresse för försäljning och större produktion av lastcykeln. För att göra slutprodukten så tillgänglig som möjligt för marknaden måste konstruktionen vara lätt och billig att producera, vilket kan åstadkommas genom smarta materialval och effektiva produktionsmetoder. Materialval och produktionsmetoder kommer att variera beroende på seriestorlek i tillverkningen och kostnad för olika behandlingar av material. De material som kommer att undersökas, förutom ultrahöghållfast stål, är de vanligaste material som används vid cykeltillverkning: aluminium, stål och kolfiber. För att uppskatta om lastcykeln kommer att klara av att ta sig in på marknaden, där två- och trehjuliga lastcyklar redan finns, behöver företaget kännedom om hur mycket det kommer att kosta vid tillverkning av lastcykeln både då det gäller materialval, produktionsmetod och seriestorlek. En viktig faktor i hur hög slutkostnaden kommer vara för lastcykeln är dess grundram. Den håller upp alla komponenter och prestandan på lastcykeln beror på hur väl ramen är byggd. Den innehar också själva idén om hur lastcykeln ska fungera och hur den kommer att se ut. Det är därför högtintressant att undersöka hur prisbilden för tillverkning av ramen ser ut.

## **1.2 Syfte och Mål**

Syftet med projektet och de mål som arbetet ska behandla

### **1.2.1 Kostnadsberäkning**

Syftet är att ta fram kostnadsberäkningar för produktion av cykelramar i olika material och vid olika produktionsvolymerna 5, 50, 500 och 2000 stycken. De material som jämförs är aluminium, stål, ultrahöghållfast stål samt kolfiber.

### **1.2.2 CAD-modell**

Delsyftet är att skapa underlag för framtida produktion av cykeln. Detta genom att ta fram en CAD-modell för den senaste prototypen, prototyp 2.

### **1.2.3 Fabrikslayout**

En övergripande fabrikslayout som schematiskt visar var olika operationer under tillverkning kommer att ske ska också visas.

### **1.3 Avgränsningar**

De kostnader som har behandlats i projektet utgår från materialens inköpspris från olika leverantörer samt den tillverkningskostnad som uppkommer i samband med tillverkning av cykelramen. Övriga kostnader som uppkommer till exempel på grund av hantering, transport, slutmontering, maskininköp eller lokalkostnader har inte tagits hänsyn till i detta projekt.

Projektet har främst inriktat sig på att kontakta svenska företag och verkstäder.

Under intervjuer och litteraturstudier har endast grundläggande information om material sökts och fördjupning inom tillverkningstekniker har endast gjorts inom de vanligaste och mest förekommande tillverkningsmetoderna.

CAD-modell togs fram genom ungefärliga mätningar av längder och dimensioner med hjälp av måttstock. Laser eller mer liknande avancerade och noggrann utrustning har inte använts. Måtten som sattes på CAD-modellen är ej definitiva utan är gjorda på ett sätt som möjliggör framtida justeringar.

## 2 Metod

*Kostnadsberäkningar för tillverkning av cykelram beroende på materialval, tillverkningsmetod och seriestorlek har tagits fram i olika steg. CAD-modell, momentlista, komponentlista, operationsnedbrytning, intervjuer och beräkningar har gjorts.*

En CAD-modell av cykelramen från prototyp 2 har tagits fram. CAD-ritningen har gjorts i programmet Autodesk Inventor efter Veloves önskemål. Alternativet var Catia V5, men på grund av den relativt höga licenskostnaden för Velove valdes Inventor. CAD-ritningarna har skapats med hjälp av enkla skisser och fotografier av cykelramen. De ungefärliga mått som tagits från cykelramen anpassades på tusendels millimeternivå så att alla ingående delar i cykelramen passade ihop. CAD-ritningen användes vid kontakt med företag samt ligger till grund för en moment-, komponentlista och teoretiska beräkningar gällande vikt och längd på ingående delar i konstruktionen. CAD-ritningen kommer också att i framtiden kunna användas som utgångspunkt för vidareutvecklade modeller av cykelramen då mått i CAD-ritning alltid kan ändras vid behov. Mindre förändringar i konstruktionen kan föreslås till Velove för att underlätta tillverkning eller förbättra ramens hållfasthet. Ramens hållfasthet har dock inte undersökts närmare, men uppenbara problem har givetvis tagits hänsyn till.

Komponentlistan sammanställs utefter CAD-modellen för att sedan göra en momentlista. Teoretiska kostnadsberäkningar grundar sig på information från komponentlistan. Momentflödesschemat används också för att göra operationsnedbrytning. Dessa beskrivs ytterligare i teoriavsnittet.

Utgångspunkten av materialval har varit ultrahöghållfast stål men för att bekräfta att detta är det optimala alternativet har litteraturstudier används för att ta fram grundläggande information om aluminium, kolfiber samt stål. Material och produktionsmetoder har senare jämförts med varandra och referensmaterialet ultrahöghållfast stål.

En operationsnedbrytning, se kapitlet Teori för mer ingående beskrivning, har gjorts och därefter har ett flödesschema skapats. Detta genom att en empirisk undersökning av möjliga produktionsmetoder och materialval till cykelramar genomförts. Flödesschemat skapades för att visa hur produkt detaljer och produkten förflyttas mellan olika företag och platser. Operationsnedbrytningen definierades utifrån CAD-ritningarna, momentlistan och flödesschemat. I vilken ordning operationer sker vid tillverkning av cykelramen framställs grafiskt i operationsnedbrytningen.

Den empiriska undersökningen har genomförts genom insamling av data från intervjuer och via litteraturstudier. Företag, underleverantörer och verkstäder inom relevanta branscher kontaktades och intervjuer om material och tillverkningsmetoder genomfördes.

Kostnadsberäkningarna gjordes genom att beräkna kostnad för materialinköp beroende på materialleverantör samt beräkna produktionskostnad beroende på verkstad. Kostnadsberäkningarna för de olika materialen med sina respektive produktionsmetoder har därefter jämförts. Även en teoretisk tillverkningskostnad har beräknats.

En fabrikslayout gjordes som visar hur en fabrik dedikerad till att tillverka cykelramar skulle vara upplagd. En sådan fabrik kommer endast vara aktuell när fler än 2000 ramar skall tillverkas per år. Fabrikslayouten bygger på operationsnedbrytningen och visar grafiskt var olika operationer under tillverkning av cykelramen kan vara orienterade.

Utifrån CAD-ritningen användes programmet CES, Cambridge Engineering Selector, för att teoretiskt beräkna och jämföra kostnader och produktionsmetoder beroende på vilket material som användes. Programmet CES, ett materialprogram som analyserar materialegenskaper och tillverkningsalternativ, användes för att ta fram det teoretiskt mest lämpliga och kostnadseffektiva kombinationen av material och tillverkningsmetod. Tillverkningsvolymen, cykelramens vikt och komplexitet kommer att påverka kostnad- och viktuppskattningen. Specifika material sållas bort beroende på vilka begränsningar som sätts angående olika önskade egenskaper hos cykelramen. CES beräkningarna sker utifrån CAD-ritningen. För att CAD-ritningen ska vara användbar appliceras material i ritningen.

## 2.1 Intervjuer

Intervjuformer kan delas upp i tre olika kategorier: ostrukturerad, semi-strukturerad och strukturerad intervju, (Osvalder, 2010). Ostrukturerad intervju används då intervjuaren ännu inte är insatt i ämnet. Variation i frågeställningen är tillåten och i efterhand kan intervjuaren låta frågorna styras in på de eftersökta och viktigaste områdena. Frågorna som ställs är därför mycket öppna och varierar beroende på tidigare svar. Denna typ av intervju ger stor plats för egna åsikter. Semistrukturerad intervju används då intervjuområdet är känt för intervjuaren.

Intervjuaren har specifika frågor där svar sökes men det finns fortfarande utrymme för utlägg och oplanerade frågor. En mer systematisk analys kan genomföras på denna typ av intervjuform då frågor och svar är områdesorienterade. Strukturerad intervju används då intervjuaren har god kännedom om området eller endast är intresserad av viss specifik information. En strukturerad intervju är mycket lik en enkät då frågorna är styrda och tydliga och litet utrymme finns för åsikter. Intervjun övergår till att bli en mer kvantitativ metod istället för en kvalitativ metod.

Kontakt med företag har skett utifrån grundfrågor (Appendix D) rörande materialkostnader, tillverkningskostnader, möjliga tillverkningsserier, möjliga ytbehandlingar samt hur tillverkningen går till. Utifrån dessa grundfrågor ställdes ytterligare frågor rörande produktion, tillverkning och kostnader beroende på de olika företagens kompetens och expertis. För att klara grundfrågor samt ytterligare fördjupande frågor, beroende på de enskilda företagens kompetens, har semistrukturerad intervjuform valts. De kontaktade företagens kompetens är viktig på grund av att gruppen saknar praktisk erfarenhet om inköp och tillverkning. 27 olika företag kontaktades (Appendix C) bland materialleverantörer, verkstäder och ytbehandlingsföretag varav 20 företag var intresserade och intervjuer genomfördes (Appendix E).

## 2.2 Litteraturstudier

Litteraturstudier omfattar insamling av information från olika artiklar och vetenskapliga studier. Litteraturstudier sker genom en systematisk eller allmän sökning efter information samt en systematisk analys och kvalitetsgranskning av den insamlade informationen (Werntoft, 2011). En systematisk litteraturstudie genomförs ofta då det finns stora mängder data att ta hänsyn till. En stor mängd data gör att det är viktigt att använda sig av en systematisk litteraturstudie för att systematiskt värdera, analysera och sammanställa resultat från tidigare studier. För att en litteraturstudie ska vara systematisk måste det finnas en klar och tydlig frågeställning, tydligt beskrivna kriterier och metoder för analys, urval och sökning av litteratur. Den systematiska litteraturstudien ska omfatta både publicerade och opublicerade studier samt kvalitetsbedömda studier. Den allmänna litteraturstudien används ofta som beskrivande bakgrund till empiriska undersökningar eller som en beskrivning av kunskapsläget inom ett visst område. Inom allmänna litteraturstudier utförs inte lika krävande kritiska utvärderingar av resultatet som de utvärderingar som görs under systematiska litteraturstudier (Fandén, 2008).

Information om material har tagits fram genom allmänna litteraturstudier. De allmänna litteraturstudierna har utförts för att ge projektgruppen en stabil grund att stå på vid kontakt med företag.



## 3 Teori

*Teori om de olika delarna i projektet presenteras. CAD, momentlista, komponentlista, flödesschema, operationsnedbrytning och fabrikslayout beskrivs generellt.*

### 3.1 CAD

En CAD-ritning är en visualisering av ett objekt i en datoriserad 3D-miljö. För att skapa en CAD-ritning finns olika datorprogram med olika nivåer av komplexitetfunktion. Fördelen med att ha ett objekt i en CAD-miljö är möjligheten att enkelt se hur objektet kommer att se ut i verkligheten. Objektet kan observeras ur olika vinklar och i olika grader av förstoring så att en överblick kan fås eller noggranna detaljstudier göras. Mått i CAD-ritningen går att justera löpande under arbetet. Olika CAD-objekt assembleras för att skapa en virtuell verklighet. Utifrån 3D-objektet görs ritningar enkelt i 2D och relevanta mått sätts ut. Mer eller mindre komplexa simuleringar görs för att kontrollera att rörliga delar i objekt rör sig på rätt sätt eller för att kontrollera att alla delar har rätt storlek. Möjligheten att utföra komplexa simuleringar beror på vilket CAD program som används. CAD-ritningen användes vid kontakt med företag samt ligger till grund för en moment-, komponentlista och teoretiska beräkningar gällande vikt och längd på ingående delar i konstruktionen.

### 3.2 Komponentlista

För att beskriva ett eller flera objekt kan en komponentlista skapas. En komponentlista är en lista över komponenter där komponenternas egenskaper och individuella beskaffenheter beskrivs. Komponentlistor kan användas för att få en detalj- eller helhetssyn. För att skapa sig en helhetssyn på vilka komponenter ett visst företag säljer eller för att få detaljinformation om ingående delar i en produkt kan en komponentlista användas. Komponentlistan som kan hittas under resultat ger en bättre överblick över CAD-modellen som tagits fram genom att visa och beskriva varje ingående del som slutprodukten som skapats i CAD består av.

### 3.3 Momentlista

Momentlistan visar de moment som krävs samt antal gånger momenten behöver utföras vid tillverkning av cykelramen. Momentflödesschemat beskriver i vilken ordning och hur de olika komponenterna ska monteras för att tillverka cykelramen och kommer att användas som grund vid kontakt med verkstäder och för att skapa en förståelse för hur cykelramen tillverkas.

### **3.4 Flödesschema**

Flödesschema är ett schema som används för att grafiskt beskriva en process eller algoritm och kan användas för att analysera transportvägar och identifiera flaskhalsar. Grafiskt representerar boxar de operationer/händelser som inträffar, pilarna som binder samman boxarna representerar flödesriktning och den ordning som boxarna används/besöks. Schemat visar produktens väg på ett övergripande sätt. Tanken med ett flödesschema är att läsaren inom några minuter skall kunna sätta sig in i produktframställningens olika steg. (Wikipedia, Flowchart, 2013). Även flödesschemat kan hittas under resultat, där den beskriver de olika tillverkningsmomenten i tur och ordning som utgör den slutgiltiga CAD-modellen med samtliga komponenter.

### 3.5 Operationsnedbrytning

För att få klarhet i vad som händer under ett förlopp behövs en operationsnedbrytning tas fram. Operationsnedbrytning är ett sätt att tydliggöra, skriftligt eller grafiskt, vilka operationer som totalt genomförs under ett förlopp. För att identifiera flaskhalsar och var problem uppstår, eller för att beskriva vad som händer i ett flöde kan operationsnedbrytning med fördel användas. Om operationsnedbrytning sker inom en fabrik används schemat eller listan för att identifiera operationer som till exempel tar lång tid, är komplexa eller kräver speciell omtanke vid hantering av produktdetalj eller produkt. Operationsnedbrytning sker i olika grader av noggrannhet, helt beroende på hur detaljrik och utförlig analys som behövs. Operationsnedbrytningen har en betydande roll för att bygga en fabrikslayout.

### 3.6 Fabrikslayout

Beroende på vilka volymer som ska produceras passar olika produktionssystem bättre eller sämre. Vid mycket låga volymer och stor produktvariation är en byggplats att föredra. Vid något högre volymer och lite lägre variation bland produkterna passar en funktionell verkstad bättre. Vid ännu högre volymer och ännu lägre produktvariation är en flödesgrupp eller produktverkstad aktuell. Vid mycket höga volymer och mycket låg produktvariation fungerar en line- eller processfabrik.

Byggplats är ett arbetssätt som används då projekt eller enstycksproduktion genomförs. Vid en byggplats förflyttas de transformerande resurserna till den plats där arbetet ska genomföras. Det ger en hög flexibilitet i vad som kommer att tillverkas men det medför också en mycket hög styckkostnad för den slutgiltiga produkten.

I en funktionell verkstad samlas liknande maskiner i grupper så att objekt som bearbetas kan förflyttas mellan maskinområden. Det ger en fabrik med hög flexibilitet och högt kapacitetsutnyttjande. En funktionell verkstad används ofta vid blandad tillverkning vid hög produktvariation och låga serier. För tillverkning av större serier eller massproduktion kan en flödesgrupplayout fungera bra. Vid flödesgrupp placeras maskinerna i produktionens flödesriktning vilket gör att produkten får en snabb genomloppstid, det finns ett lågt bundet kapital men fler maskiner kan behövas. Vid processtillverkning, som ofta har en mycket hög automationsgrad, anpassas de transformerande resurserna till själva processprodukten.

I en linefabrik produceras produkterna löpande. Tillverkningen i en linefabrik strävar efter att uppnå högsta möjliga effektivitet genom att eliminera överflödigt tid och minska. (Trygg, 2013) (Åhlström, 1997) . Fabrikslayouten består i stort sett av operationsnedbrytningen, momentflödesdiagrammet och momentlistan vilket kan hittas under resultat.

### **3.7 CES**

CES, Cambridge Engineering Selector, är ett dataprogram som används som stöd vid optimering av materialval och tillverkningsprocesser. CES har en stor databas över material och tillverkningsprocesser. Med hjälp av denna databas och inmatade parametrar för en produkt kan programmet jämföra olika material och processalternativ för att sedan grafiskt presentera de material och tillverkningsprocesser som skulle kunna fungera för den önskade produkten. (Granta, 2013)

Inbyggt finns en kostnadsberäkning i programmet som fungerar som komplement för att bättre jämföra material emellan. Denna möjlighet har undersökts och applicerats på projektet och dess material som ska analyseras för att få en uppfattning om produktionsmetoder och prisbilder.

## 4 Grundläggande beskrivning av material

*Grundläggande information om de olika aktuella materialen presenteras för att få bakgrundskunskap om respektive material. Genom litteraturstudier och intervjuer med sakkunniga personer på olika företag har grundläggande information tagits fram gällande vanliga användningsområden och produktionsmöjligheter. För ytterligare detaljer gällande material, se appendix B.*

### 4.1 Ultrahöghållfast stål

Ultrahöghållfast stål syftar på konstruktions stål som har en brottgräns på 800 MPa eller mer. Med den förbättrade styrkan relativt konventionellt stål erbjuds möjligheten att göra konstruktioner och komponenter med mycket mindre material och därmed lägre vikt till samma pris. Vanliga användningsområden för ultrahöghållfast stål är fordonsindustrin, där huvuddelen av utvecklingen sker, men även vid byggnadsprojekt och konstruktion används materialet.

Materialet är relativt svårbehandlad på grund av styvheten. Den vanligaste bearbetningsmetoden är rullformning som appliceras stegvis för att bearbeta materialet till önskad form. Sammanfogning sker via svetsning. Ultrahöghållfast stål har generellt likadana egenskaper som vanligt stål och prismässigt kompenserar ultrahöghållfast stål prisskillnaden med det minskade behovet av mängden material vid designprocessen av komponenten eller konstruktionen. (UHS Forum, 2013)

### 4.2 Stål

Ett väldigt vanligt material för cykelramar är stål. Möjligheterna är många och egenskaperna varierar beroende på tillämpningsområde och syfte. Olika värmebehandlingar och tillsatser bidrar till att anpassa materialet efter ändamål. Användningsområden är allt från armeringsjärn och stålplåt för fordon till produktionsverktyg och slitdelar hos grävmaskiner. Stål kan bland annat svetsas, gjutas, valsas, svarvas, fräsas, borraras, blåstras, målas och kapas (Wikipedia, Stål, 2013). Med det låga priset och goda materialegenskaperna lämpar sig stål väl som cykelram men då endast i de lägre prisklasserna. Premium cyklar med bättre prestanda kräver mer exklusiva material som i första hand är mycket lättare än stål (Cykelguiden, 2013).

### 4.3 Aluminium

Med de många möjligheterna att forma och bearbeta materialet har aluminium blivit en viktig komponent i dagens industri. Materialets låga densitet, 2,7 kg/m<sup>3</sup>, motsvarar en tredjedel av stålets och är därför betydligt lättare (Aluminiumdesign a, 2013). Aluminium är mer känsligt för knäckning än stål och därmed måste utmattningsnivå som leder till brott också tas i beaktning. (aluminium matter a, 2013) (aluminium matter b, 2013).

Rent aluminium är däremot både svagare och mjukare än stål - dess mekaniska egenskaper är sällan tillräckliga för applikationer som har högre krav på hållfasthet och styrka, så som cyklar. Det därför ytterst vanligt att bearbeta metallen med legeringar för att åstadkomma rätt egenskaper. De vanligaste legeringsämnen som används är kisel, zink, magnesium och mangan, vilka ger olika egenskaper och passar därtill mer eller mindre till olika applikationer. Vid extrudering av aluminiumrör används oftast en legering med kisel och magnesium, som utgör den så kallade 6000-serien av aluminiumlegeringar (Aluminiumdesign b, 2013). Dessa är hårdbara och medför ett hårdare material som också är lättare att svetsa än vanligt aluminium och är därför också vanlig i cykelramstillverkning (Brightbepoke, 2013) (Aluminiumriket, legeringar, 2013).

Aluminium bildar ett oxidskikt vid kontakt med syre, ytan fungerar som ett skydd mot korrosionsangrepp. Dessutom är ytan självläkande och växer ihop vid skador. Metallen är därmed mycket korrosionsresistent, vilket är fördelaktigt i många tillämpningar. (Aluminiumdesign c, 2013)

Problemet med oxidskiktet är dock att den har en mycket hög smältpunkt som försvårar svetsning och kan orsaka defekter. Vidare försvagas området kring svetsfogen i aluminium och är därför viktigt att efterbehandla materialet eller förstärka området med mer material. (Aluminiumdesign d, 2013) (aluminium matter c, 2013)

Områden då aluminium används är bland annat förpackningar som burkar och konserver, konstruktion, aluminiumfälgar till bilar och komponenter till fartyg och motorer. (Wikipedia, Aluminium, 2013).

#### **4.4 Kolfiber**

Kolfiber skiljer sig markant från metaller då materialet är ett hybridmaterial. Kolfiber är ett lätt och styvt material som består av tunna dragna trådar av kol. Trådarna tvinnas eller vävs för att skapa den form som önskas (Wikipedia, Carbon-fiber-reinforced polymer, 2013). Kolfibertrådarna blandas med olika tillsatser, resin, för att åstadkomma önskad styvhet. För att undvika att skapa ett material med hög sprödhet behandlas inte kolfibermaterial med mer än 20-30% resin (Appendix E, Carbix). De resin som ofta används är epoxi, vinylester eller polyester där epoxi bidrar till det starkaste materialet och polyester det svagaste men även billigaste (Wikipedia, Vinyl ester, 2013). Eftersom kolfiber är ett styvt material spricker det lätt istället för att missformas vid för hård belastning.

Det finns främst två olika tillverkningsmetoder för att skapa kolfiberprodukter (ej rör). Antingen används en autoklav som ger högkvalitativa produkter eller en varmpress som ger något lägre kvalitet. När autoklav används utgår tillverkningen från resinbehandlad kolfiberväv (prepreg väv). Väven skärs till och placeras i en mall. I mallen appliceras kolfiberväven utefter noggrant

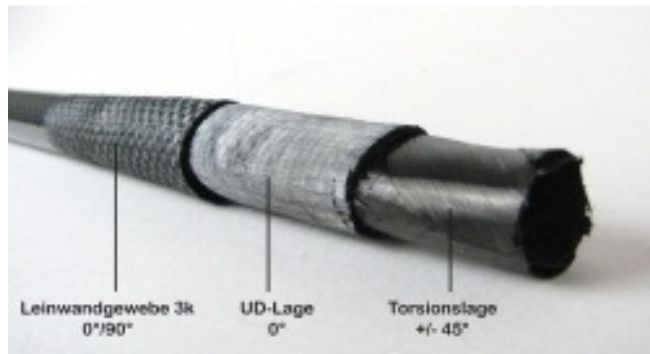
uträknade kolfiberriktningar så att minimal mängd väv används för att skapa maximal styrka. Mallen med väv placeras i en autoklav (Figur 8) i 3-4 timmar i ca 100 grader. I ugnen bakas väven samman till en hård kolfiberprodukt (Appendix E, Composite design).



Figur 8: Autoklav, en trycksatt varmluftsugn. Detta är den stora autoklaven hos JPC Composite (JPC Composite, 2013)

Andra tillverknings sättet är att använda varmpress. En varmpress använder två verktyg, en hona och en hane. Prepreg väv appliceras i ett av verktygen med kolfiberriktningarna i optimala riktningar, de två verktygen pressas samman. När materialet hårdnat öppnas pressen och komponenten är färdig (Appendix E, JPC composite).

Två olika slags kolfiberrör finns, pultruderade eller vävda. Pultruderade rör är rör där alla fibrer går mot samma riktning. Pultruderade rör blir otroligt tåliga för drag och tryck i rörets riktning men känsliga för krafter applicerade från sidan (Appendix E, Tetrafix). Genom att dra kolfiberfibrerna i något olika riktningar längs röret kan en viss styrka mot tvärgående krafter skapas. Vävda rör består ofta av en pultruderad kärna med väv lagd utanpå (Figur 9). Flera lager väv med olika fiberriktningar kan läggas på för att åstadkomma önskad hållfasthet i önskade riktningar.



Figur 9: Uppbyggnad av vävda kolfiberrör. En pultruderad kärna, därefter önskade nummer av lager kolfiberväv (Carbix, 2013)

Användningsområdet för kolfiber är väldigt brett då kolfiber uppfyller väldigt elementära krav genom dess goda styrka/vikt förhållande. Exempel på användningsområden är bil-, flyg-, och cykelindustrin. Även inom olika sporttillbehör i form av skydd och lågvikts komponenter används kolfiber (Wikipedia, Carbon-fiber-reinforced polymer, 2013). Jämfört med metaller är kolfiber väldigt dyrt, både att köpa in och arbeta med under produktion. Högt pris och hög prestanda gör att kolfiber bäst lämpar sig till premium produkter där låg vikt och hög styvhet är viktigt.



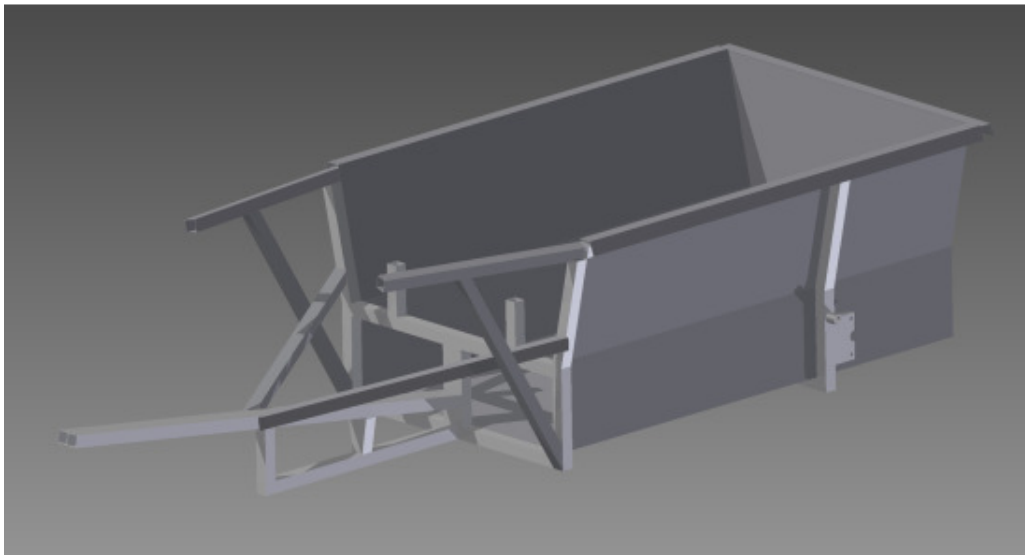
## 5 Resultat

*Hur prototyp 2 är konstruerad samt hur tillverkning skulle ske av produkten redovisas. Materialvis redovisas resultatet av kostnadsberäkningar. Konstnadsberäkningarna tar hänsyn till materialkostnader och tillverkningskostnader (materialkostnader och tillverkningskostnader är ungefärliga och kan avvika från företagets faktiska priser) beroende på var material köps in och var cykelramen tillverkas. Resultat av fabrikslayout redovisas materialvis.*

### 5.1 Konstruktion av prototyp 2

Prototyp 2 ligger till grund för CAD-ritning, momentlista och komponentlista. Konstruktionen för prototyp 2 utgår från materialet ultrahöghållfast stål. Under rubrikerna Stål och Aluminium kommer hänvisningar till Ultrahöghållfast stål konstruktionen finnas då strukturen i prototyp 2 även kan användas som utgångspunkt för konstruktioner i stål och aluminium.

I figur 10 visas en CAD-bild på lastcykelramen. CAD-bilden illustrerar hur prototyp 2 är byggd och designad samt ligger till grund för moment- och komponentlistorna. För ritningar i 2D se Appendix A. CAD-bilden visar lastutrymmet och rörkonstruktionen som lyfter upp säte, trampor, el-assist, hjul och styrning.



Figur 10: CAD bild av cykelram till prototyp 2.

### 5.1.1 Momentlista

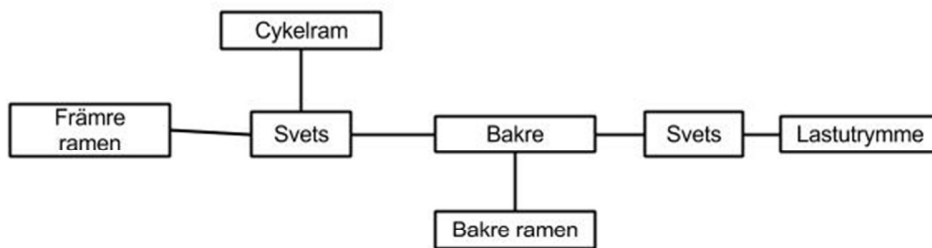
Momentlistan innehåller summering av delmoment som behövs för att konstruera ramen, hur många gånger ett moment behöver utföras, momentets längd, antal olika vinklar och tiden för att utföra momentet (Tabell 1). I beräkningen på hur många rör som behöver kapas har varje rördel i komponentlistan räknats som en kapning plus en extra kapning för varje ny vinkel som behöver användas. Längden på "Kapningen av rör" är den totala längden som behöver kapas igenom och används tillsammans med matningshastigheten på kapen för att räkna ut tiden (Appendix F, Teoretiska beräkningar). Se komponentlistan för längden på varje enskild del. "Antal olika vinklar" beskriver hur många gånger som vinkeln på kapen behöver ändras. I momentet "Klippning av plåt" har det antagits att tre sidor i plåten till lastutrymmet ligger mot kanten på plåten och därför inte behöver skäras ut. Därför är längden på momentet endast det som behöver klippas ut ur plåten. "Antal" är det antalet klippningar som behöver göras i plåten. I bockning av lastutrymme beskriver "Antal" det totala antalet bockningar som behöver göras och "Antal olika vinklar" beskriver hur många gånger man behöver ändra bockningsvinkeln. Längden på momentet "Svets av rörkonstruktion" är längden på all svetsfog som behövs för att konstruera rörkonstruktionen. "Borrning och gängning" beskriver den håltagning som behöver göras på bromsfästena samt den borrning och gängning som behöver göras på den bakre konsolen. "Tid" är den tid som momentet har beräknats ta (Appendix F, Teoretiska beräkningar). Momentlistan har utgått ifrån tillverkning i stål. Momenten "Kapning av rör" och "Klippning av plåt" kan utföras parallellt.

Tabell 1: Momentlista

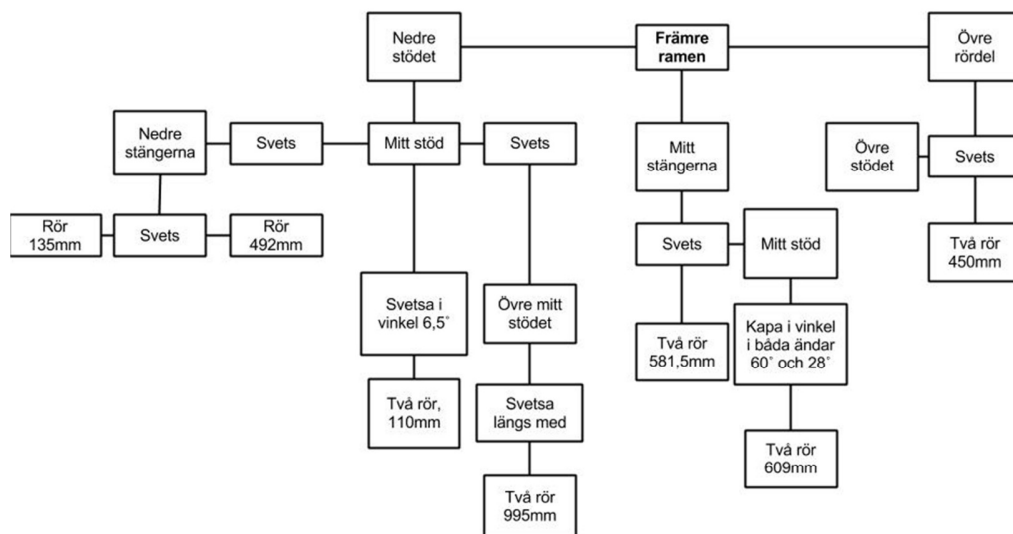
Moment	Antal	Längd, moment [mm]	Antal olika vinklar	Tid [min]
Kapning av rör	38	1 454,4	7	48,2
Klippning av plåt	2	3960	-	16,3
Bockning, lastutrymme	8	-	4	184,5
Häftsvets	132	-	-	30
Svets av rörkonstruktion	132	6648	-	81,3
Borrning och gängning	8	-	-	60
Montering av lastutrymme	1	-	-	25

### 5.1.2 Moment flödesschema

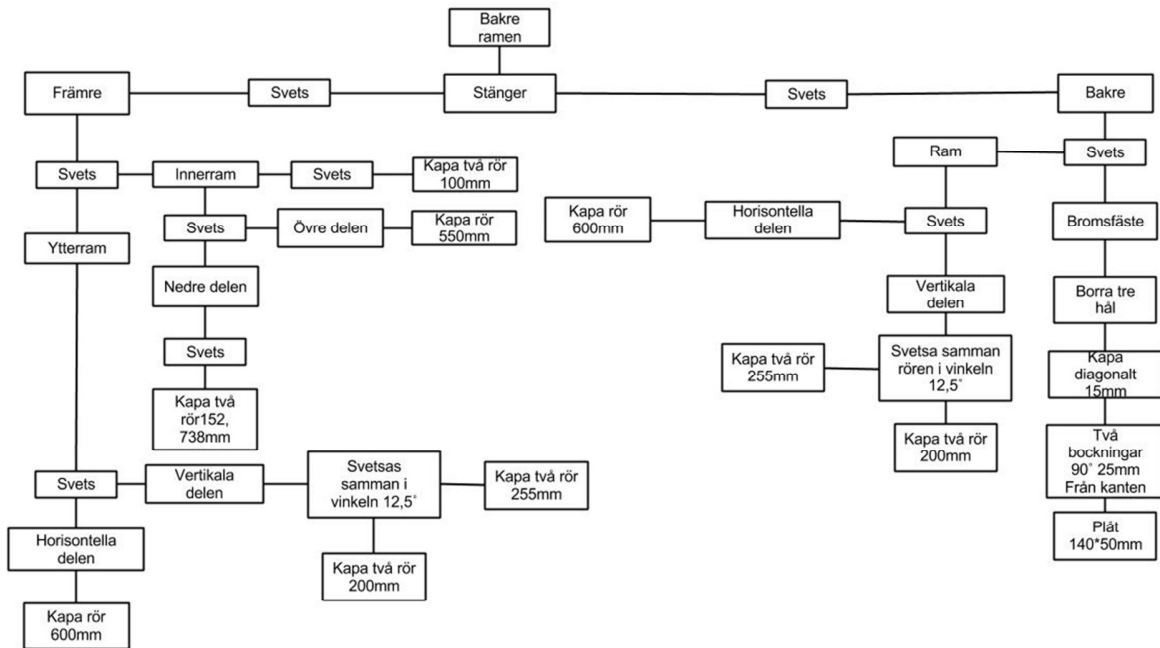
Moment flödesschemat visar i vilken ordning som momenten ska utföras vid tillverkning av rörkonstruktionen. Moment flödesschemat är uppdelad i tre delar där den första (Figur 11) visar hur den främre och bakre delen av ramen monterats ihop med lastutrymmet. De andra två figurerna (Figur 12, Figur 13) visar hur de individuella rörpartierna kapas och monterats ihop till den främre och bakre ramdelen. Där den bakre är den del av ramen som lastutrymmet är fäst i och den främre allt framför lastutrymmet. Flödesschemat visar även hur långa rören ska vara och i vilken vinkel de behöver kapas. Flödesschemat har utgått ifrån tillverkning i stål.



Figur 11: Momentflödesschema för att sammanfoga bakre och främre delen av ramen tillsammans med lastutrymmet.



Figur 12: Momentflödesschema över de moment som krävs för konstruktion av främre ramen.

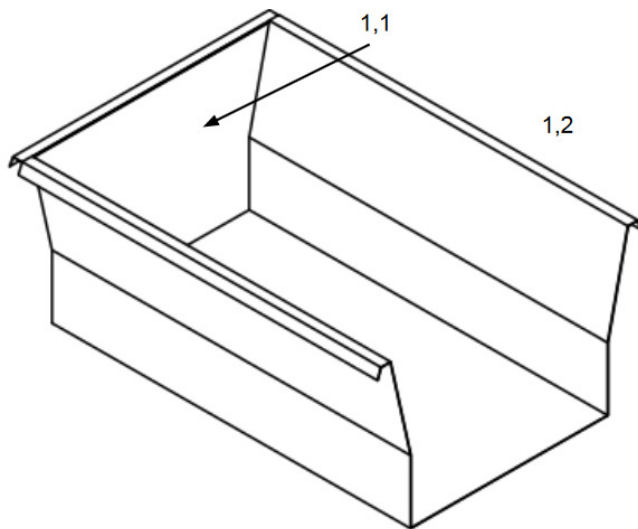


Figur 13: Momentflödesschema över de moment som krävs för konstruktion av bakre ramen.

### 5.1.3 Komponentlista

Komponentlistan visar alla komponenter som behövs för att konstruera ramens olika delar. Den visar även alla komponenters volym, dimensioner, antal bockningar, längd på svetsfogar samt en kort beskrivning av varje komponent. Varje komponent i listan har ett nummer för att identifiera den i ritningarna (Figur 14-Figur 17). Komponentlistan är uppdelad i fyra delar; Lastutrymmet (Tabell 2), den bakre delen av ramen (Tabell 3), mitten ramen (Tabell 4) och den främre delen av ramen (Tabell 5).

Lastutrymmet består av två delar 1,1 och 1,2 (Figur 14), där 1,1 är den bakre plåten och 1,2 själva lastutrymmet. De två delarna nitas ihop efter att de har bockats till rätt form. Lastutrymmets plåt har tjockleken 1mm.

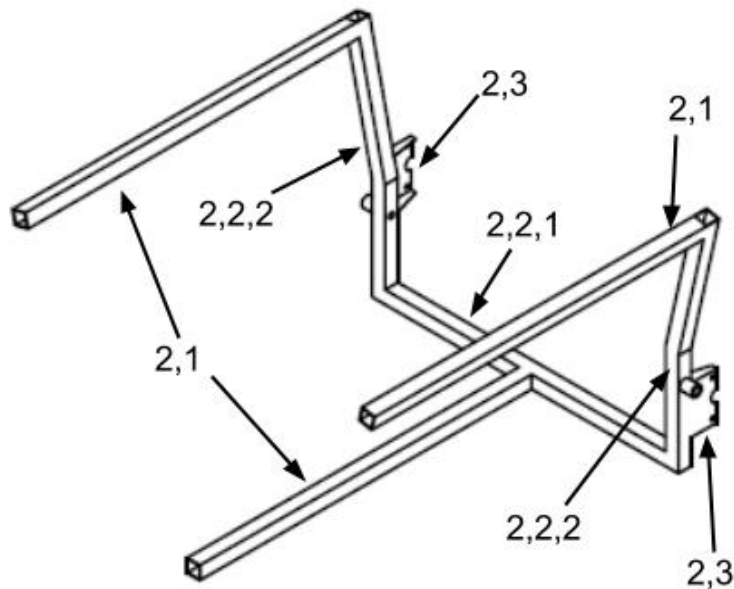


Figur 14: Lastutrymme med numrering för komponentlista, tabell 2.

Tabell 2:Komponentlista över ingående delar i lastutrymme (Figur 14).

Nr	Name in Inventor	Part	Description	Number	Volume [mm³]	Length [mm]	Width [mm]	High [mm]	Thickness [mm]	Weld [mm]	Bends
		<b>Rear portion</b>	The part of the frame behind the seat.	1						600	0
1	lastutrymme2	<b>Cargo area</b>	The cargo area supported by the rear frame.	1	1819739,052	1000	662,55	428,84	1	0	11
1,1	Part of lastutrymme2	Front part	The main part of the cargo area.	1		1000	1535,5		1		8
1,2	Part of lastutrymme2	Back plate	The back plate of the cargo area.	1		428,8	662,6		1		3
		<b>Total</b>			1819739,052						

Figur 15 visar den bakre delen av ramen med den bakre konsolen (2,2) och de tre stängerna som håller upp lastutrymmet (2,1) samt bromsfästena (2,3). Alla delar i figur 15 svetsas ihop.

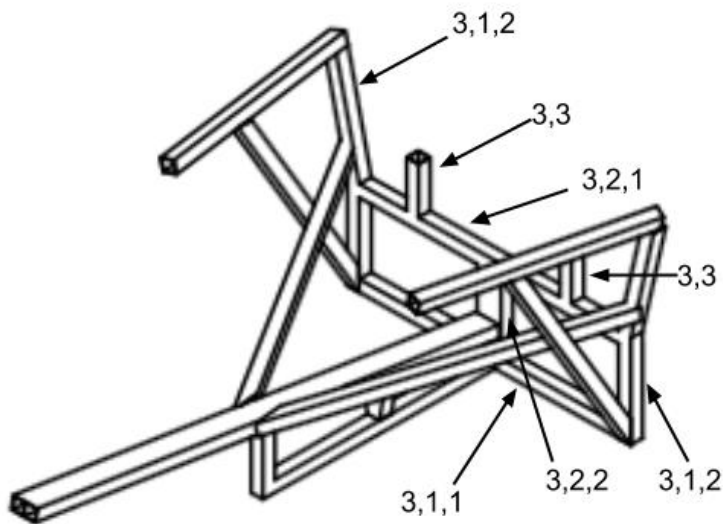


Figur 15: Bakre ram del med numrering till komponentlista, tabell 3.

Tabell 3: Komponentlista över ingående delar i bakre ram del (Figur 15).

Nr	Name in Inventor	Part	Description	Number	Volume [mm³]	Length [mm]	Width [mm]	High [mm]	Thickness [mm]	Weld [mm]	Bends
Bakre2											
2,1	Part of Bakre2	Rod	Rods connecting the front console to the rear console.	3	187200	650	25	25	1	0	0
2,2	Part of Bakre2	Rear console	The rear console supporting the cargo area, brake brackets and rear axle.	1						410,71	0
2,2,1	Part of Bakre2	Horizontal portion	The horizontal portion of the rear console.	1	57600	600	25	25	1	0	0
2,2,2	Part of Bakre2	Vertical portion	The vertical portion of the rear console.	2	87360	455	25	25	1	100	0
2,3	Part of Bakre2	Brake brackets	Brackets to attache the brakes to the horizontal portion of the rear console.	2	7000	50	25	90	1	140	2
Total					807920	3560				890,71	

Figur 16 visar den främre konsolen (3,1) som är uppbyggd på samma sätt som den bakre förutom den inre ramdelen (3,2 och 3,3), som är där för att stödja sätet och den främre delen av ramen. Del 3,2,2 består av två rördelar med bredden 25mm som är ihop svetsade så att delen får bredden 50mm.

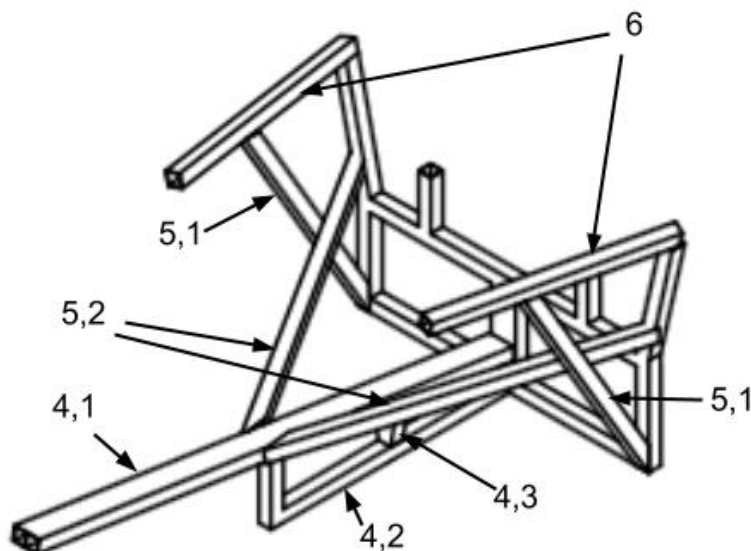


Figur 16: Mitten-ram del med numrering till komponentlista, tabell 4.

Tabell 4: Komponentlista över ingående delar i mitten-ram del (Figur 16)

Nr	Name in Inventor	Part	Description	Number	Volume [mm³]	Length [mm]	Width [mm]	High [mm]	Thickness [mm]	Weld [mm]	Bends
3	Bakre	Front console	Front console supporting the cargo area and the seat.	1						350	0
3,1	Part of Bakre	Outer frame	The part of the frame with the same shape as the horizontal and vertical portion of the rear console	1						70,71	0
3,1,1	Part of Bakre	Horizontal portion	The horizontal portion of the front console.	1	57600	600	25	25	1	0	0
3,1,2	Part of Bakre	Vertical portion	The vertical portion of the front console.	2	87360	455	25	25	1	100	0
3,2	Part of Bakre	Inner frame	The inner T-shaped part of the front console.	1						150	0
3,2,1	Part of Bakre	Horizontal portion	The upper horizontal part of the inner frame.	1	52800	550	25	25	1	0	0
3,2,2	Part of Bakre	Vertical portion	The lower vertical part of the inner frame.	1	29325,696	152,738	50	25	1	355,476	0
3,3	Part of Bakre	Middle vertical rods	The two rods on top of the inner frame.	2	19200	100	25	25	1	100	0
		Total			352845,696						

Figur 17 visar den främre delen av ramen där drivning, elassist osv. kommer att fästas. Mittenstången (4,1) består av två rör som är ihop svetsade till en bredd på 50mm. Del 4,2 och 4,3 är till för att stödja mittenstången.



Figur 17: Främre ram del med numrering till komponentlista, tabell 5.

Tabell 5: Komponentlista över ingående delar i främre ram del (Figur 17)

Nr	Name in Inventor	Part	Description	Number	Volume [mm³]	Length [mm]	Width [mm]	High [mm]	Thickness [mm]	Weld [mm]	Bends
		<b>Front portion</b>	The part of the frame in front of the cargo area.	1							0
4		<b>Lower rod portion.</b>	The lower part of the front frame.							451,62	0
4,1	Storastångsned	Upper center rod	The long double rod connected to the rear portion of the frame.	1	91680	955	50	25	1	1960	0
4,2	Part1	Lower center rod	The lower L-shaped rod.	1	60192	627	25	25	1	70,71	0
4,3	lillastångsned	Center support	Support between the upper and lower center rods.	1	8948,5	75	25-50	25	1	200	0
5,1	Partup	Upper rod support	The two outer rods connecting the upper rod portion and the lower rod portion.	2	45623,2	507	25	25	1	257,4	0
5,2	V2	Middle rod support.	The two rods supporting the middle rod.	2	55537,3	609	25	25	1	257	0
6	Högarsida	<b>Upper rod portion.</b>	The two rods connected to the top of the rear.	2	43200	450	25	25	1	200	0
		<b>Total front portion.</b>			449541,5	4789				4111,13	0



Totala längden rör som går åt är 11,9 m och 1,8 m<sup>2</sup> plåt (Tabell 6) För mer ingående uppgifter om varje del se komponentlistan (Appendix F, Teoretiska beräkningar).

**Tabell 6: Total volym, rörlängd och plåtarea för hela konstruktionen**

	Volym [mm <sup>3</sup> ]	Längd rör [mm]	Area plåt [mm <sup>2</sup> ]
Totalt	2966374,3	11918,7	1826513,6

#### 5.1.4 Teoretisk kostnad

För att få en uppfattning om hur mycket en cykelram teoretiskt skulle kosta att tillverka gjordes en kostnadsuppskattning. Kostnadsuppskattningen bygger på komponentlistan och att materialet stål används. Stål valdes på grund av att mer information om stålets egenskaper i förhållande till operationstider fanns tillgängligt (Schreve, 2004). Från komponentlistan har vikt, antal bockningar, antal hål och längd på svetsfog använts för att beräkna en teoretisk tillverkningstid för de olika operationerna. Med hjälp av den teoretiska tiden för tillverkning av cykelramen (Appendix F, Teoretisk kostnadsberäkning) och timkostnad från Härryda mekaniska verkstad AB (Appendix E, Härryda mekaniska verkstad AB) har en teoretisk kostnad beräknats till 4356,40 kr för tillverkning av ramkonstruktionen (Tabell 7).

Tabell 7: Teoretiskt beräknad total tillverkningskostnad för en ram. Teoretiska totala kostnaden bygger på uträknad teoretisk tid och timpris från Härryda mekaniska verkstad AB. (Appendix E, Härryda mekaniska verkstad AB)

<b>Moment</b>	<b>Tid [Min]</b>	<b>Timkostnad [SEK/h]</b>	<b>Kostnad [SEK]</b>
Svets	112,3	600	1123
Rörkapning	48,2	500	401,7
Bockning	184,5	500	1 537,5
Håltagning	45	600	450
Kapning av plåt	16,3	500	135,9
Efterbehandling	60	500	500
Montering lastutrymme	25	500	208,3
<b>Totalt</b>	<b>491,3</b>		<b>4 356,4</b>

## 5.2 Ultrahöghållfast stål

### 5.2.1 Konstruktion

Prototyp 2 är konstruerad i ultrahöghållfast stål med rör profil 25x25x1 mm (Figur 10). Detta kommer bidra till att kostnadsuppskattningen kommer vara väldigt nära slutgiltiga priset. Konstruktionen är redan anpassad till materialets egenskaper och det behövs därför inga uppdateringar konstruktionsmässigt.

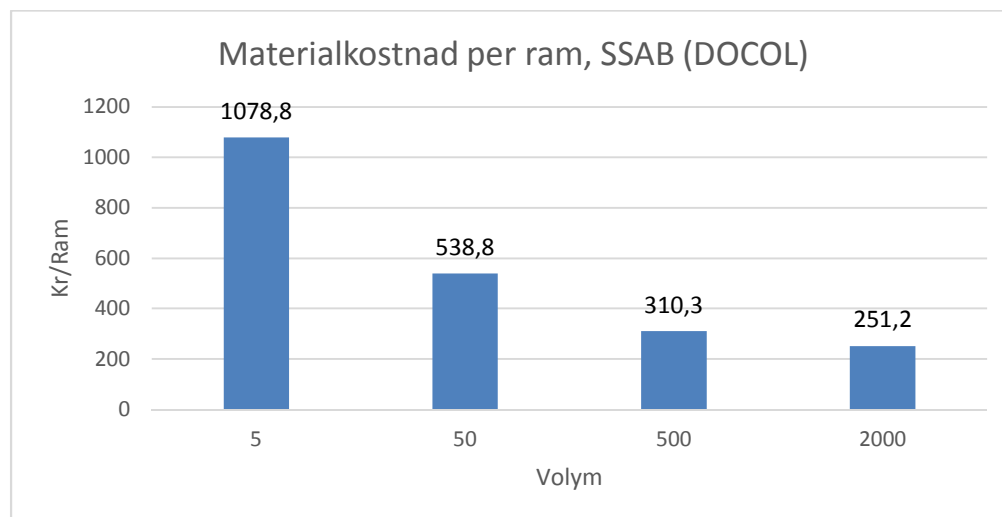
### 5.2.2 Kostnad

Kostnaderna är uppdelade i materialkostnader från underleverantörer och verkstadskostnader från verkstäderna. Tillsammans bidrar de till den totala ramkostnaden beroende på vilken kombination av materialleverantör och verkstad som väljs.

#### Materialkostnad

Materialkostnad för ultrahöghållfast stål varierar starkt beroende på vilka volymer som köps in samt från vilken leverantör. För att se hur uträkningar har skett se appendix D, Ultrahöghållfast stål.

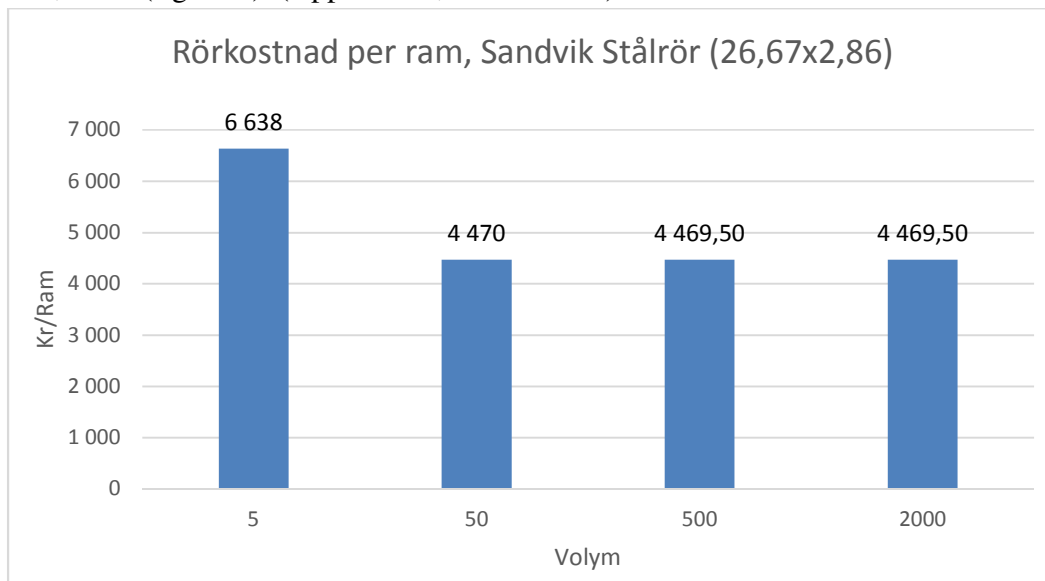
SSAB har en rörprofil DOCOL 800 tube som motsvarar hållfastheten för ultrahöghållfast stål, dimensioner 25x25x1 mm. Den plåt som SSAB rekommenderar användas tillsammans med DOCOL 800 är DOCOL 1 000 DP 1mm. Materialkostnad per ram då 5 ramar tillverkas ligger på 1 078,80 kr och om 2 000 cykelramar tillverkas sjunker priset till 251,20 kr per ram (Figur 18). Den stora skillnaden på priset beror främst på den administrativa kostnaden som SSAB tar vid små volymer, administrativa kostnaden ligger på ca 3 000 kr utöver rörkostnaden på 23,33 kr/m och plåtkostnaden på 9 kr per kg.



Figur 18: Materialkostnad per ram beroende på seriestorlek (Appendix D, ultrahöghållfast stål). Från SSAB.

SSAB har även cirkulära rör, 32x1mm cirkulära DOCOL, som motsvarar 25x25x1 fyrkantsrör hållfasthetsmässigt. Fördelen med cirkulära rör är att de kan bockas. De cirkulära rören ska svetsas i låg temperatur och med låg energi. (Appendix F, SSAB)

Sandvik stål har en cirkulär rörprofil i dimensioner 26.67x2.86 mm motsvarande hållfasthet för ultrahöghållfast stål. Sandvik tillverkar inga fyrkantsrör utan de tillverkar endast cirkulära profiler i ultrahöghållfast stål. Sandvik erbjuder inte plåt i höghållfasthets stål. Rörkostnad för 5 tillverkade cykelramar ligger på 6 638 kr och för 2 000 cykelramar landar rörkostnaderna på 4 469,50 kr (figur 19). (Appendix F, Sandvik stål)



Figur 19: Rörkostnad per ram beroende på seriestorlek (Appendix D, ultrahöghållfast stål). Från Sandvik.

Rörkostnaderna skiljer sig något åt mellan SSAB och Sandvik. Om volym 5 tillverkas kostar det 10 078 kr/ram från SSAB och 6 638 kr/ram (utan plåt) från Sandvik. Vid högre volymer, 2 000 ramar, blir skillnaderna mellan företagen tydlig då SSAB har en kostnad på 251 kr/ram och Sandvik 4 469 kr/ram.

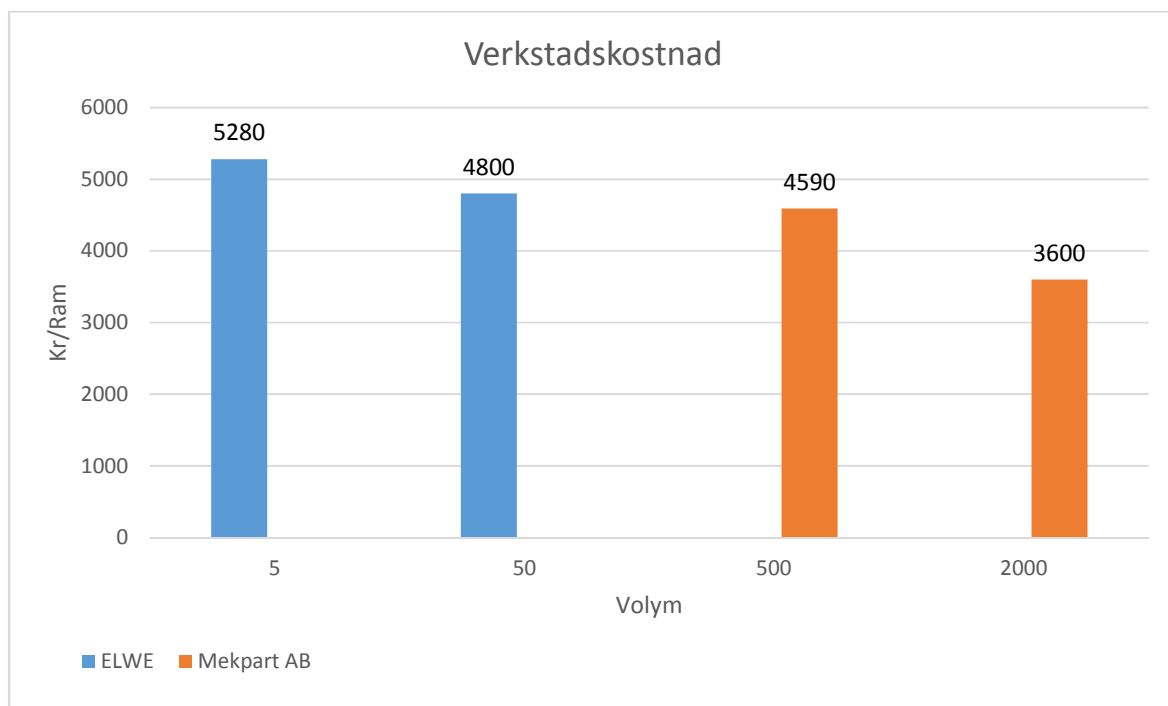
## Verkstadskostnad

Verkstadskostnader för ultrahöghållfast stål varierar beroende på vilka produktionsvolymen som produceras. Produktionsprocessen vid tillverkning av cykelramen ser ut som operationsnedbrytningen i figur 20.



Figur 20: Operationsnedbrytning för höghållfast stål

Operationsnedbrytningen ser likadan ut för metallverkstäder oberoende av produktionsvolym när cykelramen ska tillverkas. För att effektivisera processen kommer så mycket som möjligt av tillverkningen ske i parallella flöden. Tillverkningskostnader för cykelramen varierar något beroende på verkstad (Figur 21).



**Figur 21: Verkstadskostnader per tillverkad ram för ELWE och Mekpart AB (Appendix C, ELWE och Mekpart AB)**

ELWE har möjlighet att tillverka låga serier av cykelramen, vid 5 tillverkade ramar ligger priset på 5 280 kr per ram och vid tillverkning av 50 ramar ligger priset på 4 800 kr per ram (Appendix C, ELWE). Mekpart AB har möjlighet att tillverka större serier och priset sjunker något per tillverkad ram. Vid tillverkning av 500 ramar ligger priset på 4 590 kr/ram och vid tillverkning av 3 600 kr/ram (Appendix F, Mekpart AB).

### Total ramkostnad

Vid låg volym, 5 och 50 ramar per år, kan en kombination med SSAB och ELWE tillämpas för ultrahöghållfast stål (Figur 22).



Figur 22: Flödeschema över låg volymsproduktion för ultrahöghållfast stål

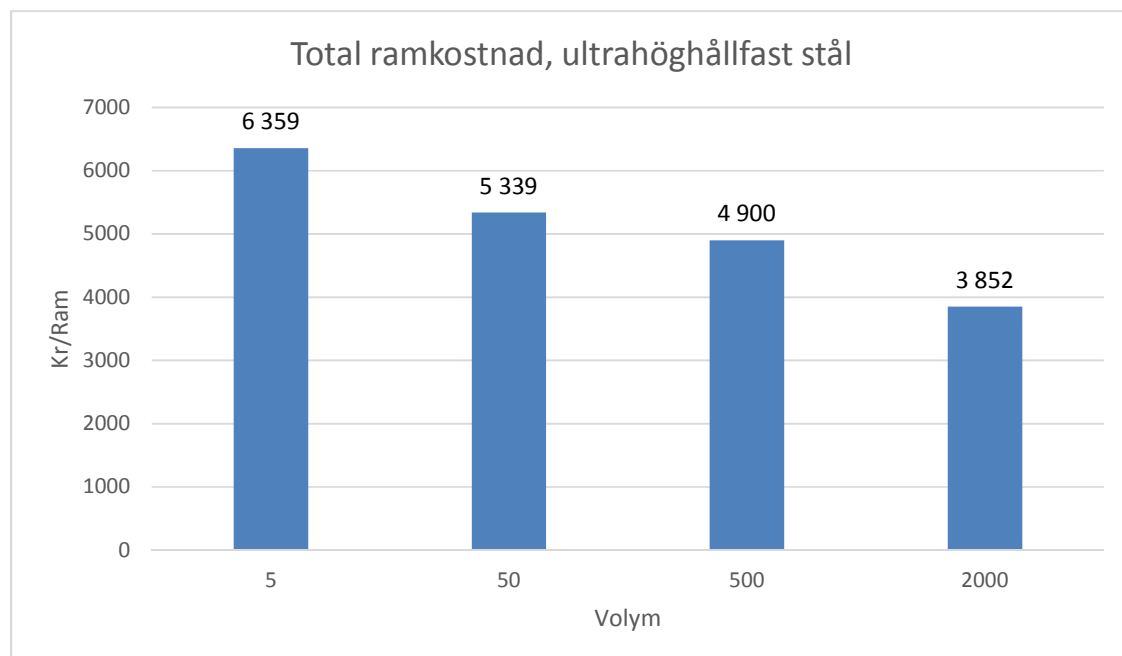
Totala ramkostnaden för låg volymkombination blev för 5 ramar 6 359 kr/ram och för 50 ramar blev 5 339 kr/ram (Figur 24).

Vid hög volymproduktion, 500 och 2000 ramar per år, används samma materialleverantör, SSAB, men en annan verkstad med högre kapacitet; Mekpart AB (Figur 23).



Figur 23: Flödeschema över hög volymsproduktion för ultrahöghållfast stål.

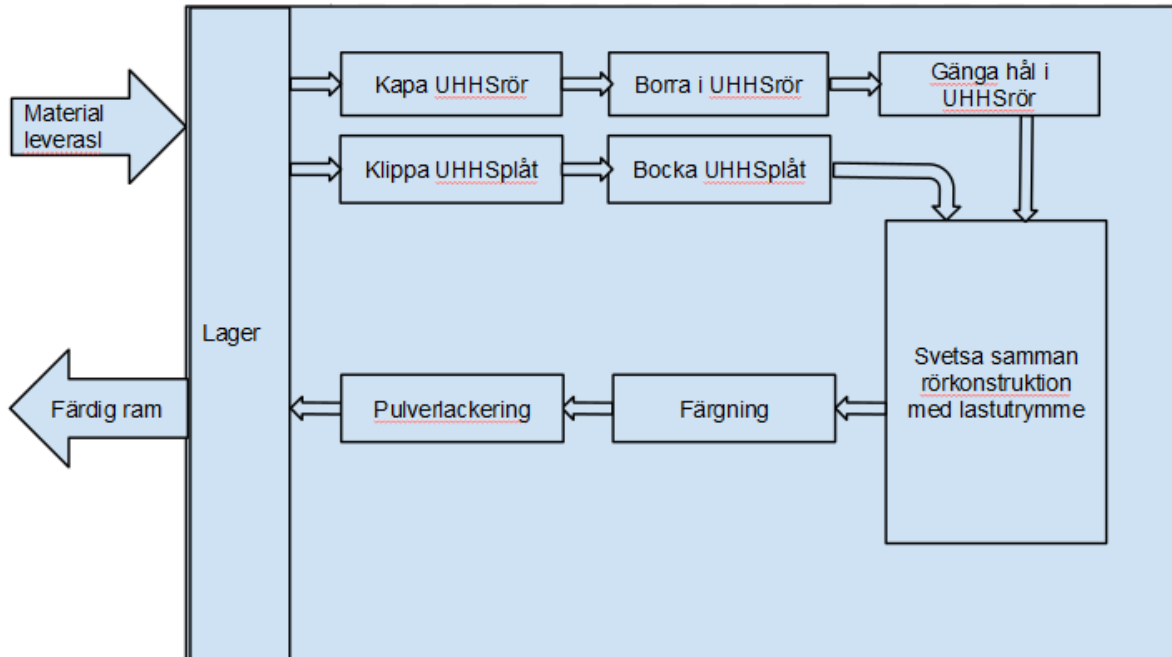
Totala ramkostnaden för hög volym-kombination blir för 500 ramar 4 500 kr/ram och för 2 000 ramar 3 852 kr/ram (Figur 24)



Figur 24: Total ramkostnad vid olika produceringsvolym, för ultrahöghållfast stål (Appendix D, Ultrahöghållfast stål).

### 5.2.3 Fabrikslayout

Vid höga tillverkningsvolymmer behöver en fabrik byggas för att klara av de höga krav som kommer att ställas på effektivitet och kvalitet. Figur 25 visar en layout för en fabrik som tillverkar cykelramar av höghållfasthets stål i höga volymer, över 2 000 cykelramar per år.



Figur 25: Fabrikslayout för tillverkning av cykelram i ultrahöghållfast stål

Fabrikslayouten är skapad efter operationsnedbrytningen, vilket ger en bra överblick över produktionen. Till fabriken levereras ultrahöghållfasta rör och plåt till lastutrymmet där de först förvaras i lagret innan de förs ut i produktion. Produktionen av ramen och lastutrymmet sker i två parallella flöden, vardera organiserade som flödesgrupper. Rören kapas först till rätt dimensioner, får nödvändiga hål och sedan gängas de där det behövs. Plåten klipps till rätt dimensioner för att sedan bockas. Ramen och lastutrymmet svetsas sedan ihop enligt ritning på en line. Därefter går den monterade ramen till efterbehandling där den färgas och lackeras. Cykelramen förflyttas mellan stationer som är organiserade enligt flödesgrupper. Den färdiga ramen förvaras sedan i lagret i väntan på leverans till återförsäljare.



## 5.3 Stål

### 5.3.1 Konstruktion

Konstruktionen för stål liknar konstruktionen för ultra höghållfast stål, skillnaden ligger i rörens tjocklek. För att kompensera för ståls lägre hållfasthet har kostnadsberäkningar grundas på rör som är tjockare än 1 mm. Resultatet av de tjockare rörväggarna är en något tyngre konstruktion.

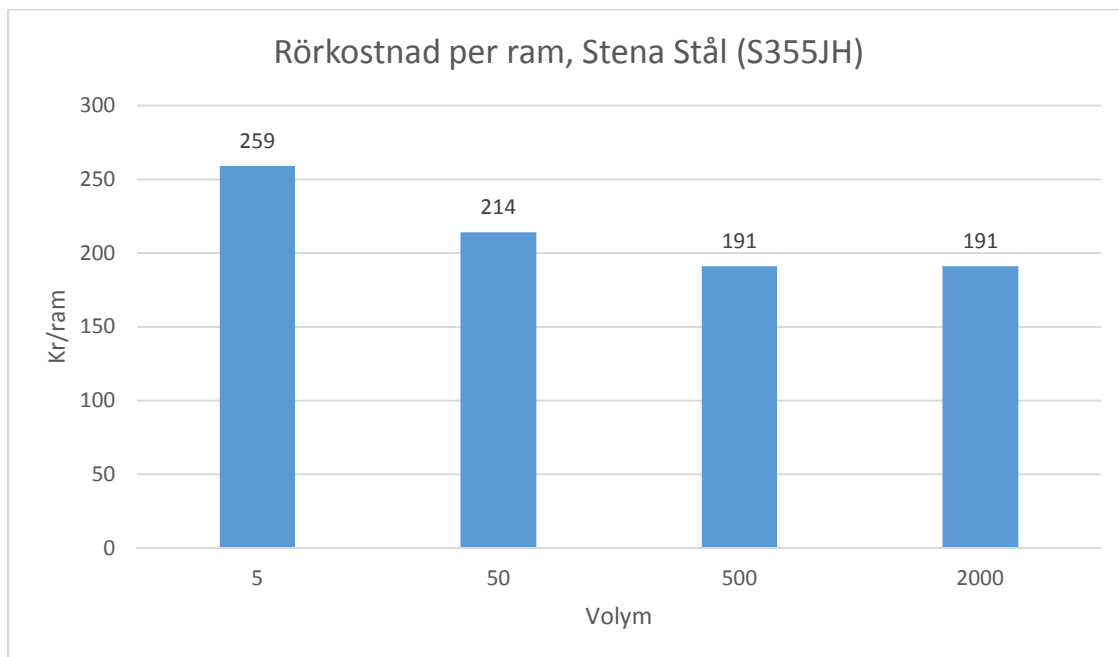
### 5.3.2 Kostnad

Kostnaderna är uppdelade i materialkostnader från underleverantörer och verkstadskostnader från verkstäderna. Tillsammans bidrar de till den totala ramkostnaden beroende på vilken kombination av materialleverantör och verkstad som väljs.

#### Materialkostnad

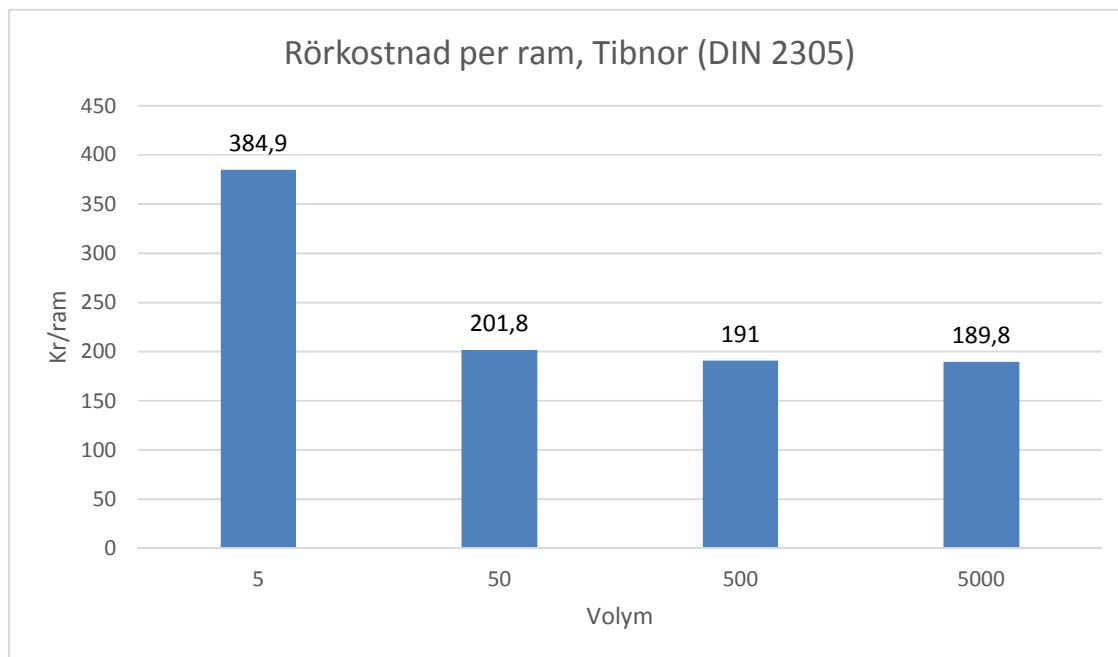
Materialkostnad för stål varierar starkt med avseende på vilka volymer som köps in och vilken leverantör som används (Appendix F, Stål).

Stena stål har en fyrkantig rörprofil av konstruktionsstål, S355J2H, med dimensionerna 25x25x3 mm (Appendix E, Stena stål). Rörkostnad för 5 ramar ligger på 259 kr/ram och rörkostnad för 2 000 ramar ligger på 191 kr/ram (Figur 26).



Figur 26: Rörkostnad per ram beroende på seriestorlek för Stena stål (Appendix D, Stål)

Tibnor har en stålsort, DIN 2395, med dimensionerna 25x25x1,25 som kan användas till cykelramen. Vid ordar på under 100 kg rör tillkommer vissa administrativa kostnader (Appendix E, Tibnor). Röstkostnad för 5 cykelramar ligger på 384,90 kr/ram och för inköp av rör till 2 000 ramar blir priset 189.80 kr/ram (Figur 27).

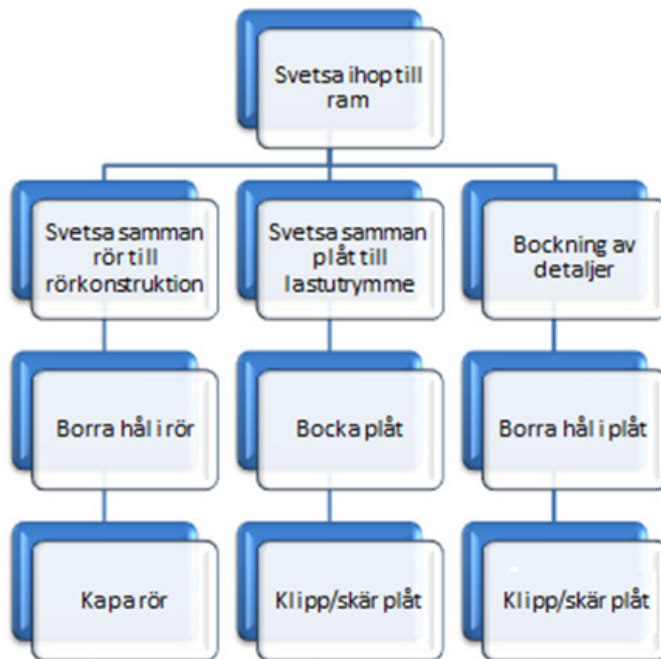


Figur 27: Röstkostnad per ram beroende på seriestorlek för Tibnor (Appendix F, stål)

De stora skillnaderna i pris för rör inköpta från tibnor beror på det administrativa kostnader vid låga volymer.

## Verkstadskostnader

Verkstadskostnader för stål varierar beroende på vilka produktionsvolymerna som produceras. Produktionsprocessen vid tillverkning av cykelramen ser ut som operationsnedbrytningen i figur 28.



Figur 28: Operationsnedbrytning för stål

Operationsnedbrytningen är densamma som för ultrahöghållfast stål. Verkstadskostnaderna för stål kommer också att vara detsamma som för ultrahöghållfast stål där tillverkningskostnader för cykelramen varierar något beroende på verkstad (Figur 21). ELWE har möjlighet att tillverka låga serier av cykelramen, vid 5 tillverkade ramar ligger priset på 5 280 kr per ram och vid tillverkning av 50 ramar ligger priset på 4 800 kr per ram (Appendix E, ELWE). Mekpart AB har möjlighet att tillverka större serier. Vid tillverkning av 500 ramar ligger priset på 4 590 kr/ram och vid tillverkning av 3 600 kr/ram (Appendix E, Mekpart AB).

### Total ramkostnad

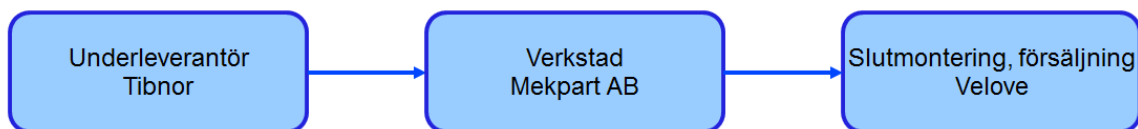
Vid låg volym, 5 och 50 ramar per år kan en kombination med Tibnor och ELWE tillämpas (Figur 29).



Figur 29: Flödeschema över låg volymsproduktion för stål

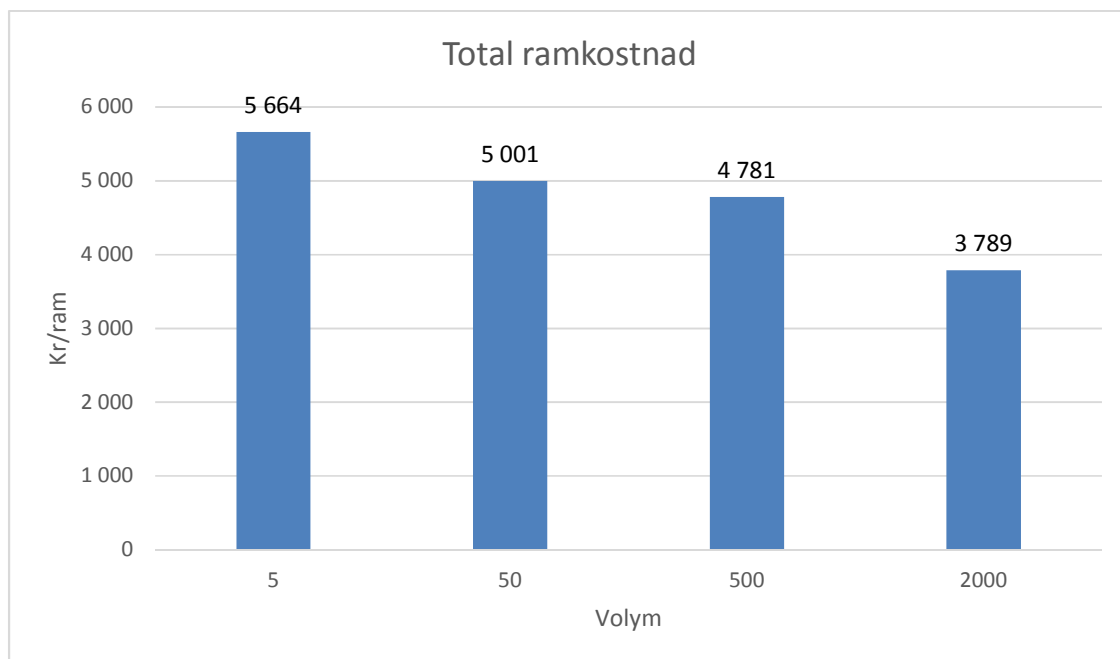
Den totala ramkostnaden för den låga volymkombinationen blir för 5 ramar 5 664 kr/ram och för 50 ramar 5 001 kr/ram (Figur 31)

Vid hög volymproduktion, 500 och 2 000 ramar per år, används materialleverantör Tibnor, men en annan verkstad med högre kapacitet, Mekpart AB (Figur 30).



Figur 30: Flödeschema över hög volymproduktion för stål

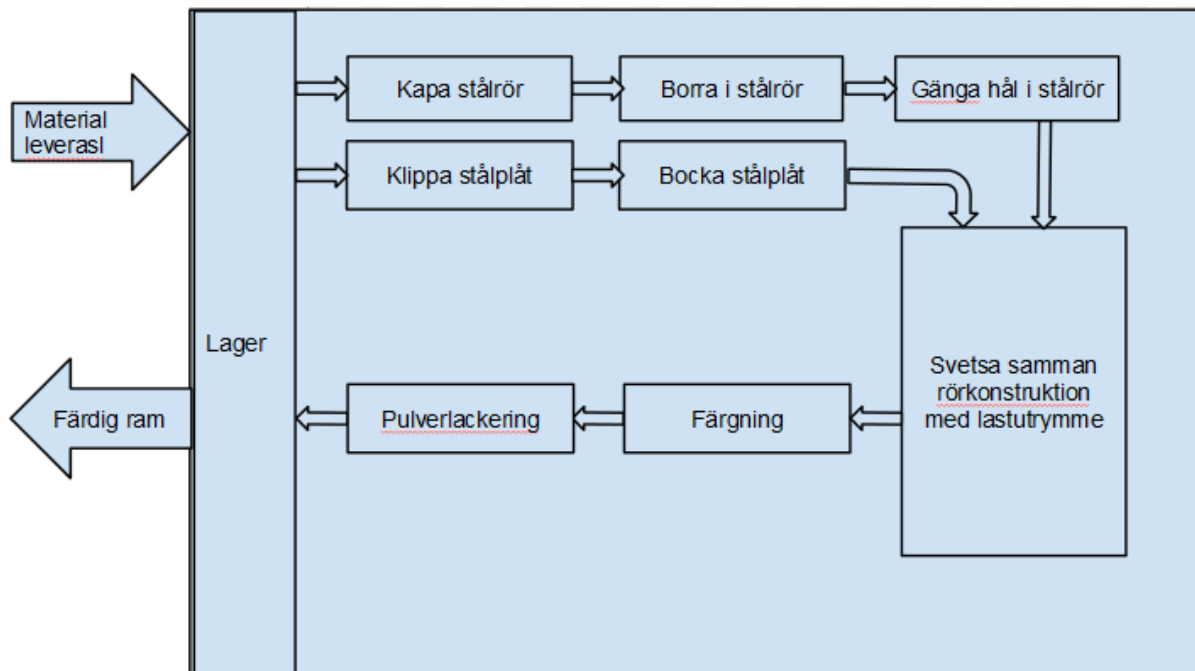
Total ramkostnad för hög volymkombinationen blir för 500 ramar 4 781 kr/ram och för 2 000 ramar 3 789 kr/ram (Figur 31).



Figur 31: Total ramkostnad vid olika produceringsvolym, för stål (Appendix F, Stål).

### 5.3.3 Fabrikslayout

Vid höga tillverkningsvolymmer behöver en fabrik byggas för att klara av de höga krav som kommer att ställas på effektivitet och kvalitet. Figur 32 visar en layout för en fabrik som tillverkar cykelramar av stål i höga volymer, över 2 000 cykelramar per år.



Figur 32: Fabrikslayout för tillverkning av cykelram i stål

Fabrikslayouten är skapad efter operationsnedbrytningen vilken är den samma som för ultrahöghållfast stål. Till fabriken levereras stålror och plåt till lastutrymmet där de först förvaras i lagret innan de förs ut i produktion. Produktionen av ramen och lastutrymmet sker i två parallella flöden, vardera organiserade som flödesgrupper. Stålrören kapas först till rätt dimensioner, får nödvändiga hål och sedan gängas där det behövs. Stålplåten klippas till rätt dimensioner för att sedan bockas. Ramen och last utrymmet svetsas sedan ihop enligt ritning på en line. Därefter går den monterade ramen till efterbehandling där den färgas och lackeras. Cykelramen förflyttas mellan stationer som är organiserade enligt flödesgrupper. Den färdiga ramen förvaras sedan i lagret i väntan på leverans till återförsäljare.

## 5.4 Aluminium

### 5.4.1 Konstruktion

För att bibehålla de mekaniska egenskaperna som lastcykeln tillverkad i ultrahöghållfast stål åstadkommer kräver en konstruktion i aluminium att ses över. Att använda grövre rör blir en nödvändighet på grund av materialets sämre hållfasthet och styrka (Brightbespoke, 2013) (Missionbicycle, 2013)

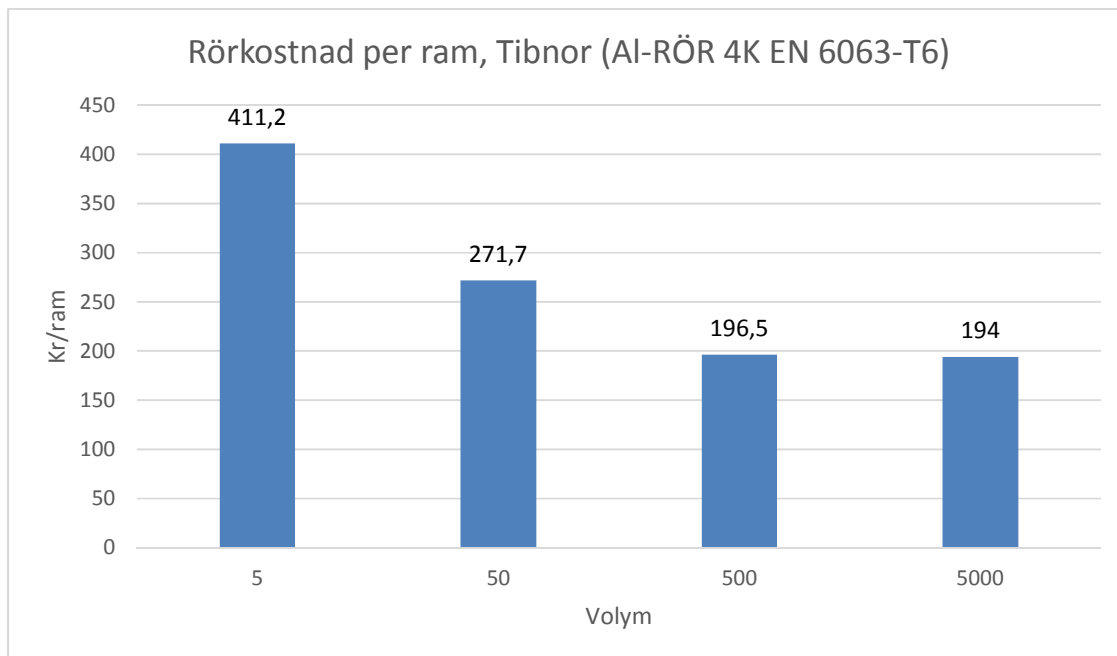
### 5.4.2 Kostnad

Kostnaderna är uppdelade i materialkostnader från underleverantörer och verkstadskostnader från verkstäderna. Tillsammans bidrar de till den totala ramkostnaden beroende på vilken kombination av materialleverantör och verkstad som väljs.

#### Materialkostnader

Materialkostnad för stål varierar med avseende på vilka volymer som köps in och vilken leverantör som används (Appendix F, Aluminium).

Tibnor har en fyrkantsprofil av aluminium, Al-RÖR 4K EN 6063-T6, som har dimensionerna 25x25x1 mm. (Tibnor b, 2013). Rörkostnaden för 5 ramar ligger på 411,2 kr/ram och rörkostnad för 2 000 ramar ligger på 194 kr/ram (Figur 33).



Figur 33: Rörkostnad per ram beroende på seriestorlek för Tibnor (Appendix F, Aluminium)

### Verkstadskostnader

Verkstadskostnader för aluminium varierar beroende på vilka produktionsvolymerna som produceras. Produktionsprocessen vid tillverkning av cykelramen ser ut som operationsnedbrytningen i figur 34.



Figur 34: Operationsnedbrytning för aluminium

Operationsnedbrytningen ser likadan ut för metallverkstäder oberoende av produktionsvolym när cykelramen ska tillverkas. Operationsnedbrytningen är den samma som för ultrahöghållfast stål. Verkstadskostnaderna för aluminium kommer att vara detsamma som för ultrahöghållfast stål där tillverkningskostnader för cykelramen varierar något beroende på verkstad (Figur 21). ELWE har möjlighet att tillverka låga serier av cykelramen, vid 5 tillverkade ramar ligger priset på 5 280 kr per ram och vid tillverkning av 50 ramar ligger priset på 4 800 kr per ram (Appendix E, ELWE). Mekpart AB har möjlighet att tillverka större serier. Vid tillverkning av 500 ramar ligger priset på 4 590 kr/ram och vid tillverkning av 3 600 kr/ram (Appendix E, Mekpart AB).

### Total ramkostnad

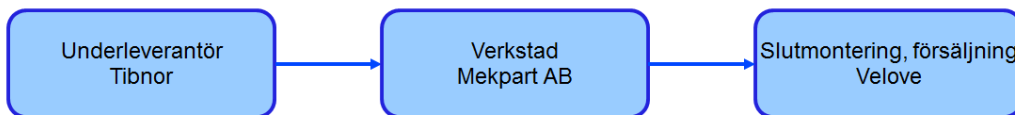
Vid låg volym, 5 och 50 ramar per år, kan en kombination med Tibnor och ELWE tillämpas (Figur 35).



Figur 35: Flödesschema över låg volymsproduktion för aluminium

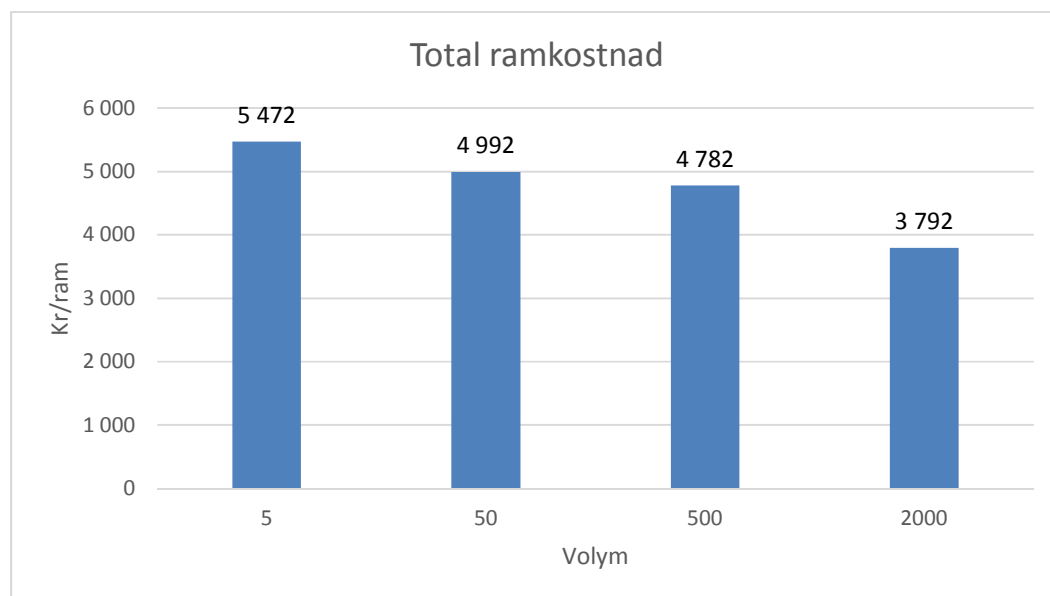
Den totala ramkostnaden för den låga volymkombinationen blir för 5 ramar 5 691 kr/ram och för 50 ramar 5 071,50 kr/ram (Figur 37)

Vid hög volymproduktion, 500 och 2 000 ramar per år, används materialleverantör Tibnor, men en annan verkstad med högre kapacitet, Mekpart AB (Figur 36).



Figur 36: Flödesschema över hög volymsproduktion för aluminium

Total ramkostnad för hög volymkombination blir för 500 ramar 4 786,50 kr/ram och för 2 000 ramar 3 794 kr/ram (Figur 37).



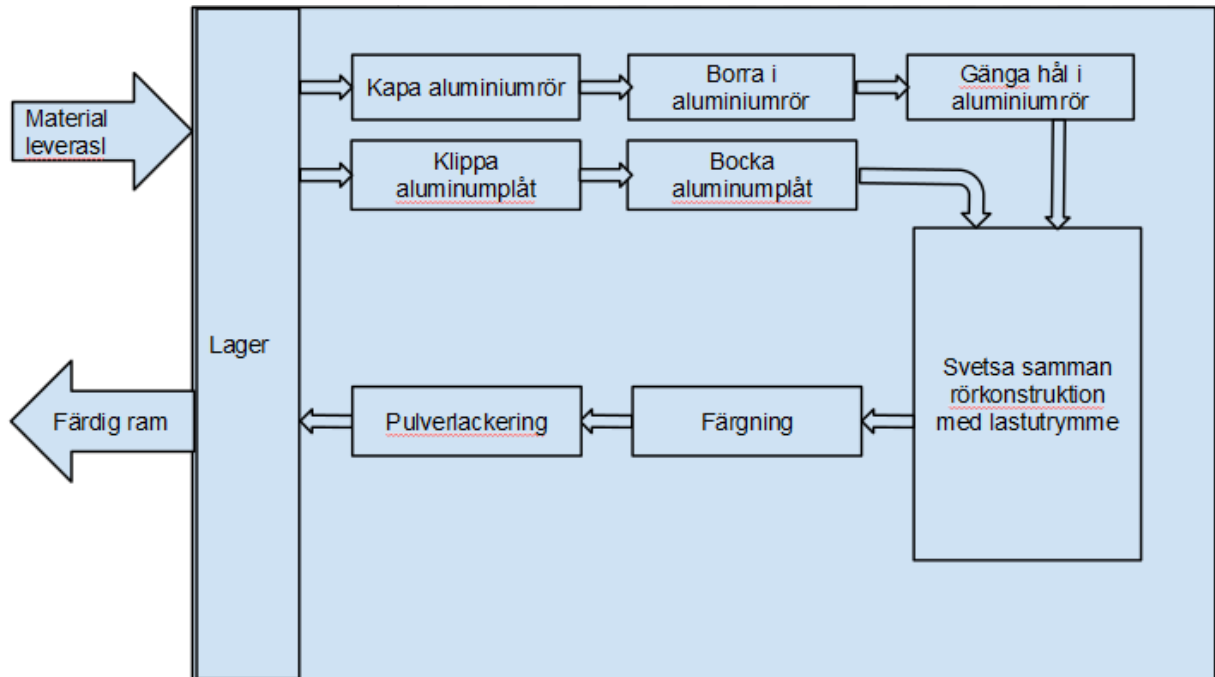
Figur 37: Total ramkostnad vid olika produceringsvolym, för aluminium (Appendix F, Aluminium).

Observera att denna kostnadsuppskattning är den mest osäkra av metallerna då det krävs mer material för konstruktionen.



### 5.4.3 Fabrikslayout

Vid höga tillverkningsvolymerna behöver en fabrik byggas för att klara av de höga krav som kommer att ställas på effektivitet och kvalitet. Figur 38 visar en layout för en fabrik som tillverkar cykelramar av aluminium i höga volymer, över 2 000 cykelramar per år.



Figur 38: Fabrikslayout för tillverkning av cykelram i aluminium

Fabrikslayouten är skapad efter operationsnedbrytningen vilken är densamma som för ultrahöghållfast stål. Till fabriken levereras aluminiumrör och plåt till lastutrymmet där de först förvaras i lagret innan de förs ut i produktion. Produktionen av ramen och lastutrymmet sker i två parallella flöden, vardera organiserade som flödesgrupper. Stålrören kapas först till rätt dimensioner, får nödvändiga hål och sedan gängas där det behövs. Stålblåten klipps till rätt dimensioner för att sedan bockas. Ramen och last utrymmet svetsas sedan ihop enligt ritning på en line. Därefter går den monterade ramen till efterbehandling där den färgas och lackeras. Cykelramen förflyttas mellan stationer som är organiserade enligt flödesgrupper. Den färdiga ramen förvaras sedan i lagret i väntan på leverans till återförsäljare.

## 5.5 Kolfiber

### 5.5.1 Konstruktion

För att skapa en cykelram i kolfiber kan inte ritningen för prototyp 2, som tagits fram i Ultrahöghållfast stål, användas. Anledningen till att skapa en produkt i kolfiber är att skapa en lätt konstruktion och genom att utgå från en ritning för ett annat material kommer konstruktionen att bli tyngre än nödvändigt. För att en kolfiberkonstruktion ska bli lätt behöver kolfiberriktningarna optimeras (Appendix E, Composite design). Drag, kraft, slag och vridningar som konstruktionen kommer att utsättas för måste analyseras och kolfiberriktningarna placeras därefter. En konstruktion i kolfiber är spröd och skarpa kanter i konstruktionen ska undvikas i största mån. För tillverkning av cykelramen kan kolfiberväv, som placeras enligt beräknade riktningar, användas eller vävda rör kan användas. För en cykelram som kan råka ut för hårda och plötsliga slag kan det vara en stor fördel att använda vävda rör istället för pultruderade rör då pultruderade rör är känsligare för tryck som kommer vertikalt mot rörriktningen, dock blir pultruderade rör ofta lättare då mindre material används (Appendix E, Carbix). Pultruderade rör kan konstrueras så att viss kraft kan riktas tvärs mot rörriktning men vävda rör kan göras betydligt starkare. Att tänka på vid konstruktion av cykelram i kolfiber är hur lastutrymmet ska designas. Lastutrymmet kommer att utsättas för oväntade slag och oväntade punktbelastningar. Ett alternativ till att skapa ett lastutrymme av rent kolfiber skulle kunna vara att använda ett sandwich material istället. Lastutrymmet skulle kunna bestå av yttermaterial av tunn aluminium skiva och mittenmaterial i något honeycomb material (Appendix E, Tetrafix).

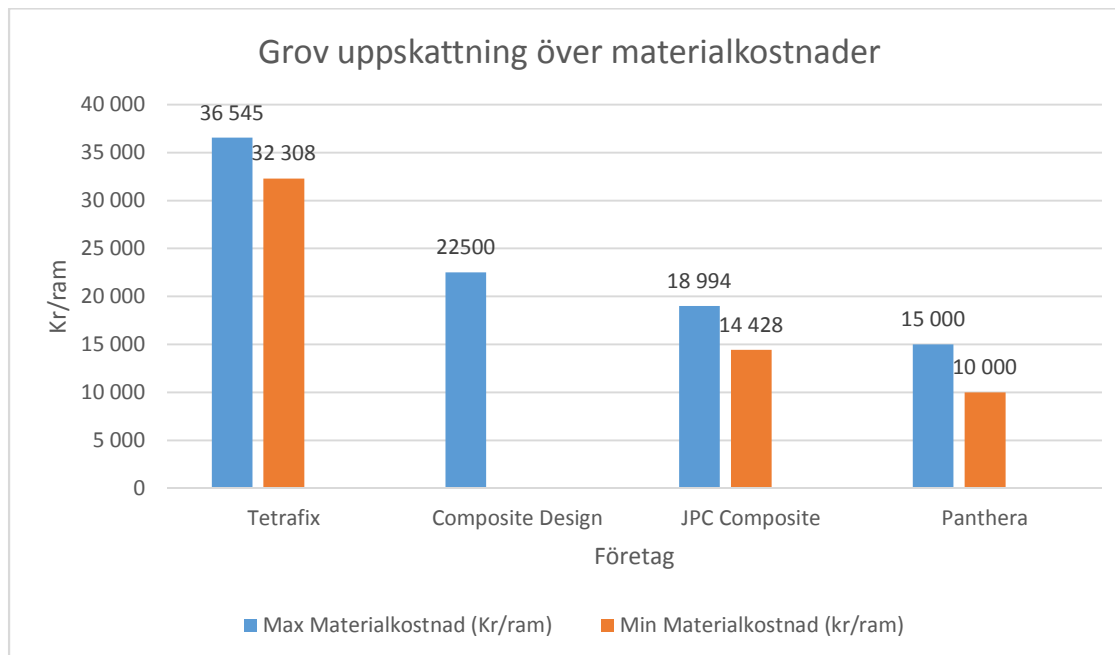
### 5.5.2 Kostnad

Kostnaderna är uppdelade i materialkostnader och timkostnader från olika företag. En grov uppskattning för materialkostnaderna kan göras. Svårigheter finns för att beräkna totala verkstadskostnader.

#### Materialkostnad

Uträkningar och förklaringar till antaganden finns i appendix F, Kolfiber.

En grov uppskattning av hur mycket kolfiber till en cykelram kan kosta, kan göras genom att utgå från ritning gjord för stål. Teoretiskt kommer en cykelram med lastutrymme i stål att väga 23,3 kg, utan lastutrymme väger ramkonstruktionen 9 kg (Appendix F, Kolfiber). Med utgångspunkt att lika stor mängd kolfiber som stål behövs vid tillverkning av en cykelram kommer konstruktionen uppskattningsvis bli 4 gånger lättare (Appendix E, Composite design). Antagen vikt är 9 kg (cykelram utan lastutrymme då lastutrymmet bäst görs i annat material än kolfiber). Grov uppskattning av materialkostnader ger att materialkostnad kommer landa mellan 10 000 kr/ram och 36 545 kr/ram (Figur 39).



Figur 39: Grov uppskattning över materialkostnader för olika företag (Appendix F, Kolfiber)

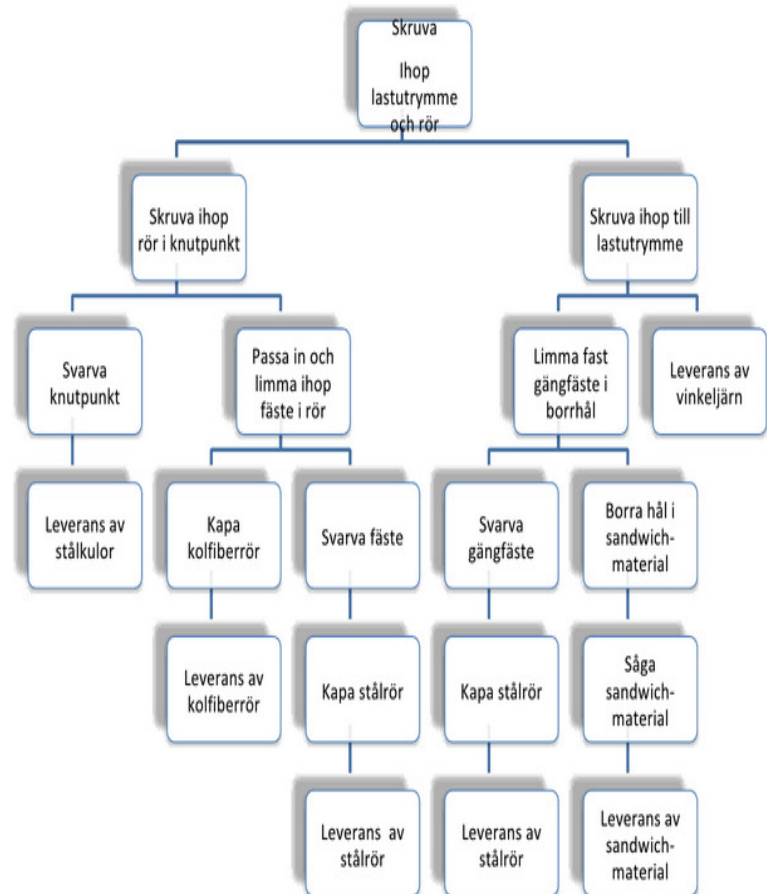
### Verkstadskostnader

Verkstadskostnad för tillverkning av en ram är svåra att uppskatta därför kommer ingen uppskattning att göras. Att ingen uppskattning görs beror på att det ej finns tillräcklig kunskap om hur lång tid och hur komplicerad cykelramen kommer att bli om den tillverkas i kolfiber. De företag som tillverkar kolfiber har dock en arbetskostnad vid tillverkning på 665 kr/h (Appendix E, JPC Composite) till 1 000 kr/h (Appendix E, Tetrafix).

Produktionsprocessen vid tillverkning av en cykelram i kolfiber kan göras med en av två tekniker, antingen kan cykelramen gjutas i ett stycke eller ett fackverka av kolfiberrör skapas. Tillverkningsteknikerna representeras i två operationsnedbrytningar, alternativ gjutning (Figur 40) och alternativ fackverk (Figur 41). I de båda operationsnedbrytningarna tillverkas lastutrymmet inte av kolfiber utan i något sandwichmaterial med en mer tålig yta än kolfiber.



Figur 40: Operationsnedbrytning för gjuten kolfibercykelram



Figur 41: Operationsnedbrytning för kolfibercykelram i fackverk

#### Alternativ Gjutning (Figur 40):

De material som behövs för att tillverka en cykelram i ett stycke kolfiber med separat lastutrymme av sandwichmaterial är; prepreg kolfiberväv, sandwichmaterial samt stålrör i lagom dimensioner. Sandwichmaterialet kan beställas med aluminium som ytmaterial och honeycomb material som innehåll (Appendix E, Tetrafix). Att välja aluminium istället för kolfiber som ytmaterial görs för att materialet ska tåla plötsliga slag och ovarsam hantering. Kolfiber är ett sprött material som lätt spricker medan aluminium är mjukare och tål att bucklas utan att spricka. Sandwichmaterialet sågas i bitar, bockning är omöjligt då materialet inte tål att böjas, och hål på strategiska ställen borraras. Stålrören som beställs ska svarvas till rör med bred topp, gängfästen, som ska limmas i de hål som borraras i sandwichmaterialet. Eftersom sandwichmaterialet har en relativt svag kant gör den breda toppen på gängfästet att det går utmärkt att skruva i gängfästet utan att sandwichmaterialets kant viker sig. När gängfästen limmats fast i de uppsågade sandwichbitarna ska sandwichdelarna monteras ihop till lastutrymmet. Lastutrymmet tillverkas genom att skruva ihop sandwichdelar med vinkeljärn. Parallellt med att lastutrymmet tillverkas skapas resten av cykelramen. För att skapa ramen klipps först kolfiberväv i korrekta bitar för att sedan placeras i en mall där alla kolfiberriktningar är bestämda. Mallen med kolfiberväven placeras i en autoklav där det under tryck och ca 100 grader bakas samman till en styv

kolfiberkonstruktion, efter 3-4 timmar är konstruktionen klar att ta ut ur ugnen (Appendix E, Composite design). Kolfiberkonstruktionen och lastutrymmet skruvas ihop.

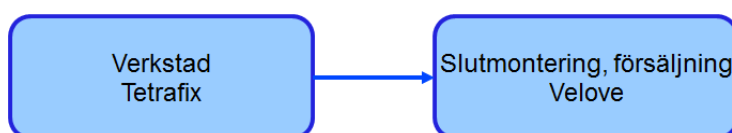
Alternativ Ramverk (Figur 41):

Det material som behövs för att tillverka en cykelram i fackverkskonstruktion är kolfiberrör, stålrör samt sandwichmaterial. Vävda kolfiberrör behandlade med resin, exempelvis epoxi. Vävda rör väljs framför pultruderade rör då vävda rör har en högre tålighet för tryck tvärs mot rör riktningen (Appendix E, Carbix). Sandwichmaterialet kan beställas med aluminium som ytmaterial och honeycomb material som innehåll (Appendix E, Tetrafix). Sandwichmaterialet sågas i bitar. Stålrören som svarvas till rör med bred topp, gängfästen. När gängfästen limmats fast i de uppsågade sandwichbitarna ska sandwichdelarna monteras ihop till lastutrymmet. Lastutrymmet tillverkas genom att skruva ihop sandwichdelar med vinkeljärn. Parallellt med att lastutrymmet tillverkas skapas resten av cykelramen. För att skapa ramen kapas rören till rätt dimensioner och knutpunkter och fästen svarvas. Fästen passas in i kolfiberrörens ändrar och limmas fast. Därefter passas fästena in i knutpunkterna och skruvas fast (Appendix E, Tetrafix). Då cykelramen och lastutrymmet är färdigmonterade skruvas de ihop.

### Total ramkostnad

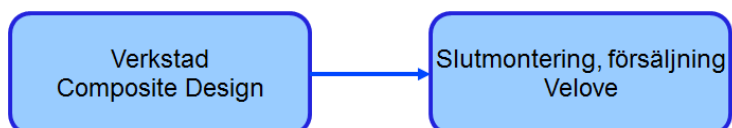
En total ramkostnad kommer inte presenteras då tillverkningskostnaderna inte på ett realistiskt sätt kan uppskattas. Däremot har olika företag möjlighet att ta fram kolfiberprototyp av cykelramen och därefter tillverka ett antal cykelramar.

Vid låg volym, 1 till 10 ramar per år, kan Tetrafix tillverka cykelramen i fackverkskonstruktion (Figur 42). Företaget har inte möjlighet att designa en prototyp men har dock viss möjlighet till rådgivning vid framtagning av design (Appendix E, Tetrafix).



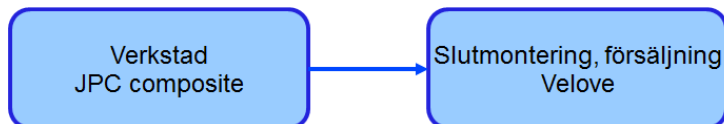
Figur 42: Flödeschema över låg volymkombination för kolfiber

Vid mellanlåg volym, 1 till 100 cykelramar per år, kan Composite design tillverka gjutna kolfiberramar (Figur 43). Företaget har möjlighet att designa en prototyp i kolfiber och uppskattar att prototypframtagningskostnaden kommer ligga kring en halv miljon kronor (Appendix E, Composite design).



Figur 43: Flödeschema över mellanlåg volymkombination för kolfiber

Vid mellanhög volym, 1 till 500 cykelramar per år, kan JPC Composite tillverka gjutna kolfiberramar (Figur 44). Företaget har möjlighet till design av en gjuten cykelramprototyp i kolfiber.

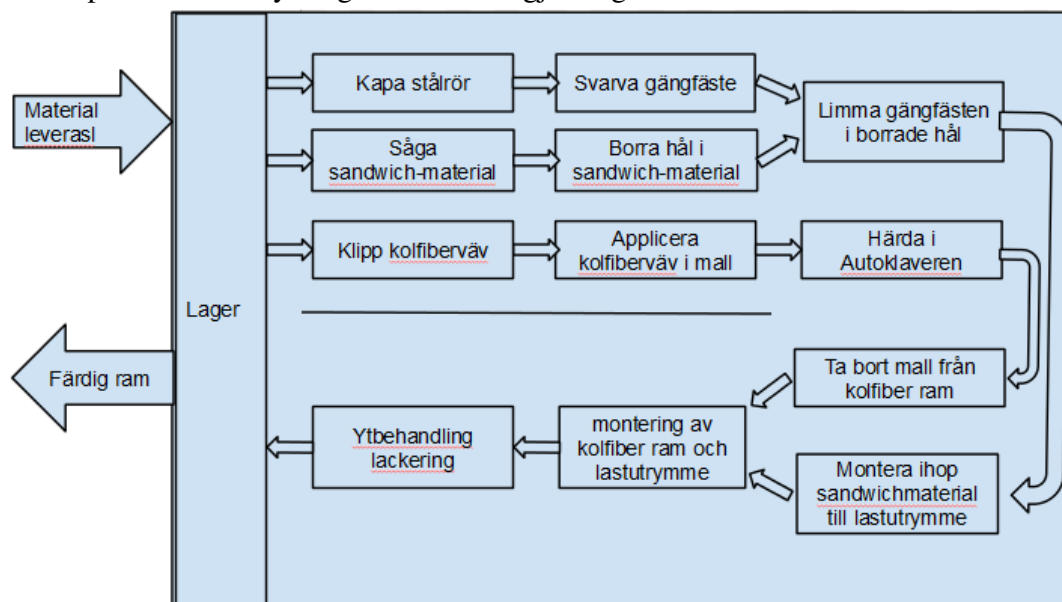


Figur 44: Flödeschema över mellanhög volymkombination för kolfiber

För volymer högre än 500 ramar per år krävs specialbyggd process eller mer omfattande undersökning av verkstäder, då ingen verkstad eller fabrik har hittats inom de svenska gränserna som har möjlighet att producera större kvantiteter av kolfiberprodukter.

### 5.5.3 Fabrikslayout

Vid tillverkning av kolfiberramar i större kvantiteter, 500 cykelramar per år, behöver en verkstad skapas som är anpassad för att tillverka cykelramar. Figur 45 visar en layout för en fabrik, byggd efter operationsnedbrytnings-alternativet gjutning.



Figur 45: Fabrikslayout för kolfiber med autoklaveringsteknik

Till fabriken levereras stålrör, sandwichmaterial och prepreg kolfiberväv. Produktionen av cykelramen sker i tre parallella flöden, organiserade som flödesgrupper. Stålrören kapas för att därefter svarvas till gängfästen som limmas fast i de hål som borrats i sandwichmaterialet. Då sandwichmaterialet och gängfästena är sammanfogade monteras lastutrymmet ihop med hjälp av vinkeljärn. Parallellt med detta flöde hanteras kolfiberstrukturen. Den prepreg kolfiberväv som inkommer i fabriken klipps till av robotar med god precision. Placering av väv i mallen kan göras för hand eller med automatik. Mall och kolfiberväv placeras sedan tillsammans i en autoklav för att härdas. För att få ett snabbt flöde i fabriken krävs här att det finns flertalet autoklaverer då en ram behöver bakas i en ugn i ca 3-4 timmar. För en produktion av 500

cykelramar per år kommer 1 autoklav att behövas. För produktion av 2 000 cykelramar per år behövs 4 autoklaverer (Appendix G). Då ramen har tagits ur autoklaveren och mallen har avlägsnats monteras ramstrukturen ihop med lastutrymmet. Efter montering lackeras cykelramen. Därefter är cykelramen färdig att transporteras till slutmontering.

## **5.6 CES**

Eftersom CES inom industrin används främst för komponentoptimering där material väljs för att förbättra en redan existerande komponent eller del är kostnadsberäkningen för cykelramen väldigt approximativ. För vissa material finns inte en kostnadsberäkning tillgänglig.

Ultrahöghållfast stål kunde inte kostnadsberäknas. Stål uppskattades till 887,70 - 282 kr/kg material. Aluminium kostar enligt programmets uträkning 84 - 273 kr/kg och kolfiber kostar 174-247 kr/kg material. Med kunskapen om dessa material valdes resultatet att bortses från då de ej upplevdes som rimliga. Se appendix H för mer detaljerad beskrivning av arbetsgången och resultaten.

## 6 Analys

Prototyp 1 och prototyp 2 är standardkonstruktioner av cykelramen och har använts som referenser under projektet. Kostnaden på ramen avgörs av materialval och tillverkningsprocedur. För att få mer exakta kostnadsbelopp krävs en djupare undersökning av hur olika material och dess mängd påverkar hållfasthetsegenskaperna och designen av cykelramen. För att beräkna hållfasthet skulle lastcykeln behöva undersökas närmare. Beräkningar för vilka maxalkrafter cykelramen utsätts för beräknas med hjälp av till exempel Ansys, ett FEM (finita elementmetoden) beräkningsprogram. Vid erhållna kraft- och momentdimensioner blir det lättare att bestämma vilket material och vilken materialmängd som är nödvändig för att klara av de beräknade påfrestningar. Lastutrymmet kan tillverkas i helt andra material än cykelramen då andra krav ställs där jämfört med på ramen vad gäller hållfasthet. Aluminium, sandwichmaterial, glasfiber eller plast är några av de material som kan undersökas närmare vid design av lastutrymmet.

Det mest intressanta som går att utnyttja är likheterna mellan metallerna (ultrahöghållfast stål, stål, aluminium) och deras respektive flödesscheman. Detta möjliggör att experimentera med materialval för de olika komponenterna utan att det krävs stora ändringar med val av verkstäder. I nästan samtliga fall finns möjlighet att arbeta med olika material inom en och samma verkstad. Beroende vilken materialleverantör-verkstad-kombination som väljs förändras kostnaderna för ramen. I tabell 8 jämförs materialkostnader beroende på volyminköp och materialval.

Tabell 8: Materialkostnader vid olika volymer och för olika material (Appendix F)

Volym [Antal]	Ultrahöghållfast Stål [Kr/Ram]	Stål [Kr/Ram]	Aluminium [Kr/Ram]	Kolfiber [Kr/Ram]
5	1 078,80	384,90	411,2	34 462,50
50	538,80	201,80	271,7	22500
500	310,10	191	196,5	Ej Tillgänglig
2000	251,20	189,80	194	Ej Tillgänglig

Stål utmärker sig för att vara det billigaste materialet för cykelramen följt av aluminium och därefter ultrahöghållfaststål. Det borde tilläggas att mindre material kommer behöva appliceras i en ultrahöghållfaststål konstruktion och därför kommer totalpriset inte skilja sig anmärkesvärt jämfört med stål. Med ultrahöghållfast stål uppnås en lättare vikt på cykelramen. Under intervjuer och diskussion med företag har det framkommit att aluminium inte är ett lönsamt material till cykelramen trots att det är det näst billigaste materialet. För att använda sig av aluminium krävs framförallt stora ändringar i standardkonstruktionen då aluminiumkonstruktionen kräver applicering av mer material för att behålla liknande hållfasthetsegenskaper. De större dimensionerna på konstruktionen medför att cykeln blir mycket styvare än i stål. Upptagning av stötar och krafter blir därför mindre dämpad av materialet



därmed sjunker komforten. Vidare är aluminium mer sprött än stål och mer känsligt för utmattning som leder till brott, vilket kan utmärka sig speciellt i en lastcykel med betydligt större påfrestningar än en vanlig cykel. Att aluminium är sprött leder också till att skador som uppstår blir svåra att reparera, vilket kan vara önskvärt på en investering som lastcykeln. Ökad mängd material leder till att konstruktionen blir dyrare än vanligt stål. Mekpart AB rekommenderar att ramen inte tillverkas i aluminium (Appendix E, Mekpart AB).

Materialkostnader för kolfiber är mycket höga jämfört med kostnader för en cykelram i ultrahöghållfast stål, stål och aluminium. Att använda kolfiber som material i cykelramen är inte aktuellt utan omfattande design- och konstruktionsändringar där kolfiberriktningar optimerats att följa konstruktionens belastningsriktningar. Kolfiber är ett material som är styvt i en riktning och om en kolfiberkonstruktion utsätts för slag eller tryck från en riktning som konstruktionen inte är gjord för finns stor risk för allvarliga skador på konstruktionen. För att avgöra om det kan vara ekonomiskt hållbart att producera en cykelram i kolfiber behöver en ritning av en cykelram i kolfiber tas fram. Först då kan materialåtgång och tillverkningskostnader med säkerhet uppskattas.

Att bygga en egen fabrik är inte aktuellt vid låga produktionsnivåer då den ekonomiska omsättningen inte blir tillräckligt stor. Vid alla högre volymer, över 2 000 enheter per år, kan egen fabrik för tillverkning av lastcykel vara aktuell. I höga volymer antas serieproduktion vara relevant då höga serier men låg produktvariation sker. För att bygga en fabrik anpassad till serieproduktion har en line-inspirerad fabrikslayout valts för metallerna. Början och slutet av fabriksflödet är designad som flödesgrupp där två parallella flöden finns, ett för ram förberedelser och ett för lastutrymmets förberedelser. Monteringen av cykelramen sker efter en line. Material inkommer i fabriken och bearbetas utefter flödet. Alternativ till linefabriken skulle kunna vara att välja att designa hela fabriken utefter en flödesgrupplayout. Då placeras de maskiner som används under produktion utefter flödet av material och materialet bearbetas efter hand.

Skillnaden mot att ha en line kommer bli att större buffertar krävs mellan flödesgrupperna och genomloppstiden kommer att öka vilket ökar produktkostnaden. Fabrikslayouten för ultrahöghållfast stål, stål och aluminium är lika då liknande operationer krävs oavsett material. Fabrikslayouten för cykelram tillverkad i kolfiber är byggd efter en flödesgrupplayout. Flödesgrupplayout är vald då relativt få steg, jämfört med fabrikslayout för metall, ska genomföras för att skapa en hel cykelram. Genomloppstiden för kolfiberprodukter kommer att bli relativt lång då en del av produktionen tar 3-4 timmar att genomföra.

## 7 Diskussion

Syftet med projektet var att få fram ramkostnaden för respektive materialtyp dock med fokus på ultrahöghållfast stål. I och med att egenskaperna varierade för varje material bör konstruktionen ses över och anpassas efter de betraktade materialen för att få en mer exakt uppskattning. Mer exakta uppgifter skulle också kunna fås genom att utföra ytterligare intervjuer och besök hos företag.

Det kanske mest uppenbara felvisningen är för aluminiumramen vars konstruktion måste innefatta mer material och något annorlunda konstruktion för att åstadkomma likvärdig styrka som stål, därmed stiger priset. På samma sätt bör man notera att ramen i stål också skulle innefatta mer material för att ha samma styrka som motsvarande ram i ultrahöghållfast stål. En ram i kolfiber blir först aktuell när konstruktionen ses över grundligt då materialets egenskaper har en helt annan karaktär än stål och därmed måste konstruktionen optimeras efter det. Redan nu kan man dra slutsatser kring hur lämpligt det är att använda kolfiber samt lönsamheten. Kolfiber är ett skört material och utan mycket omfattande tankearbete borde inte konstruktionen tillverkas i kolfiber då oväntade slag allvarligt kan skada konstruktionen. Kolfiber är också ett mycket dyrt material med mycket dyra tillverkningsprocesser. Främst då mycket av arbetet sker manuellt. För att minska vikten av cykelramen kan kolfiber i dagsläget användas för enstaka komponenter, om de placeras där de inte riskerar att utsättas för slag.

CAD-modellen har varit central för att kunna skicka ut offertförfrågan till företag. I sin nuvarande form består modellen av de viktigaste delarna som påverkar tillverkningen mest. Dock saknas en del mindre komponenter som kommit till i senare skede av prototypframtagningen vilket innebär att ritningen bör uppdateras för framtida kontakt med verkstäder och fabriker. Vidare kan CAD-modellen användas vid utveckling av cykelns design och konstruktion. Möjligheten att applicera ett material med verklig materialdata, på sin modell gör att det lätt går att få information om cykelns eller en utvald komponents vikt. Om hållfasthetsanalys blir aktuell går det att utgå ifrån CAD-modellen. Analysen kan göras för att förbättra konstruktionen, exempelvis i avseende att minska materialåtgång.

Fabrikslayouten har framställts för en högvolyms produktion. Fabrikslayouten är i denna studie väldigt generell och avskalad. Syftet är att få en uppfattning om materialflöden och en övergripande bild över hur man kan lägga upp produktionen. Här går det givetvis att göra en mer omfattande fördjupning för att se vilka sorts maskiner och mängd personal som krävs för att klara av den eftersträlvade kapaciteten.

Gruppens arbete började med att identifiera tre omfattande arbetsroller som skulle behövas under hela projektets gång, vilka blev CAD-ansvarig, research-ansvarig och projektledare. Tidigt bestämdes att använda ett roterande system där rollerna tilldelades veckovis för att fördela ansvaret och arbetsbördan likvärdigt. Efter ett par veckor blev det uppenbart att systemet hade

sina brister; det uppstod förvirring inom gruppen gällande ansvar samt att avrapportering och efterlämning till nästkommande ansvarig blev alltför tidskrävande. Eftersom gruppmedlemmarna hela tiden roterade på sina positioner så fanns ingen tid till fördjupning inom de olika uppgifterna innan det var någon annan som skulle ta över. Efter konsultation med examinator bestämdes det inom gruppen att fasta roller skulle tilldelas, tre gruppmedlemmar skulle behålla ansvarsområdena genom hela projektets gång. Dessa fick ansvara för vardera område och se till att arbetet inom området genomfördes och att tidsplanen följdes. Det nya systemet fungerade avsevärt mycket bättre och valdes att hållas fast vid genom hela projektet.

Varje arbetsdag inleddes med ett gemensamt möte för avrapportering från respektive gruppmedlem i syfte att kunna gå vidare till att planera vad som behöver färdigställas inom den närmsta framtiden. Arbetet konkretiserades och prioriterades efter den uppsatta tidsplaneringen. Arbetsuppgifterna fördelades mellan gruppmedlemmarna, individuellt eller i mindre grupper. I och med att gruppen var relativt stor var det till fördel att dela upp arbetet på detta vis för att uppnå maximal effektivitet.

Gruppen använde Googles egna *Google Drive* - ett verktyg som gör det möjligt för flera personer att simultant arbeta i samma dokument i realtid via internet. Detta har underlättat framför allt rapportskrivandet då hela gruppen har haft möjlighet att skriva på olika delar i rapporten samtidigt utan att behöva spara över med risk att missa och radera viktig text. Det har dessutom gjort arbetet på distans möjligt genom att kunna se uppdateringar direkt och därmed ha möjligheten att ge feedback till varandra.

Kommunikation med examinator och handledare bestod i första hand av E-post, medan avrapportering och handledning skedde i möten inplanerade med jämna mellanrum under arbetets gång. Gruppen känner att både examinatorn och handledare har funnits till hands vid frågor. De har varit tillgängliga för möten när oklarheter uppstått och varit till god hjälp med att klara upp dessa.

Ett problem som stöttes på och försvårade gruppens arbete var i samband med CAD-konstruktionens framtagning. Eftersom prototyp 2 tillverkades parallellt under arbetets bidrog det till väntan på att prototypen successivt tog form för att sedan, via bilder, återskapa de färdigställda delarna i CAD. Prototypen byggdes utifrån en idé i huvudet och därmed fanns det inga skisser att utgå ifrån förrän de fysiska delarna faktiskt var färdigställda. Detta medförde förseningar och omplaneringar i tidsplaneringen. Svårigheterna att färdigställa CAD-modellen och därmed ritningarna ledde i sin tur att vi fick avvakta med att kontakta produktionsverkstäder för att skicka iväg kostnadsofferter. För att upprätta kontakt med verkstäder märktes att E-mail inte var effektivt, detta då inga svar mottogs. Kontakt togs istället via telefon och resulterade snabbt i insikt att detta var ett mycket effektivare sätt att nå rätt personer för att upprätta en dialog och få svar på våra frågor. Däremot var det viktigt att poängtera att vi arbetar för ett

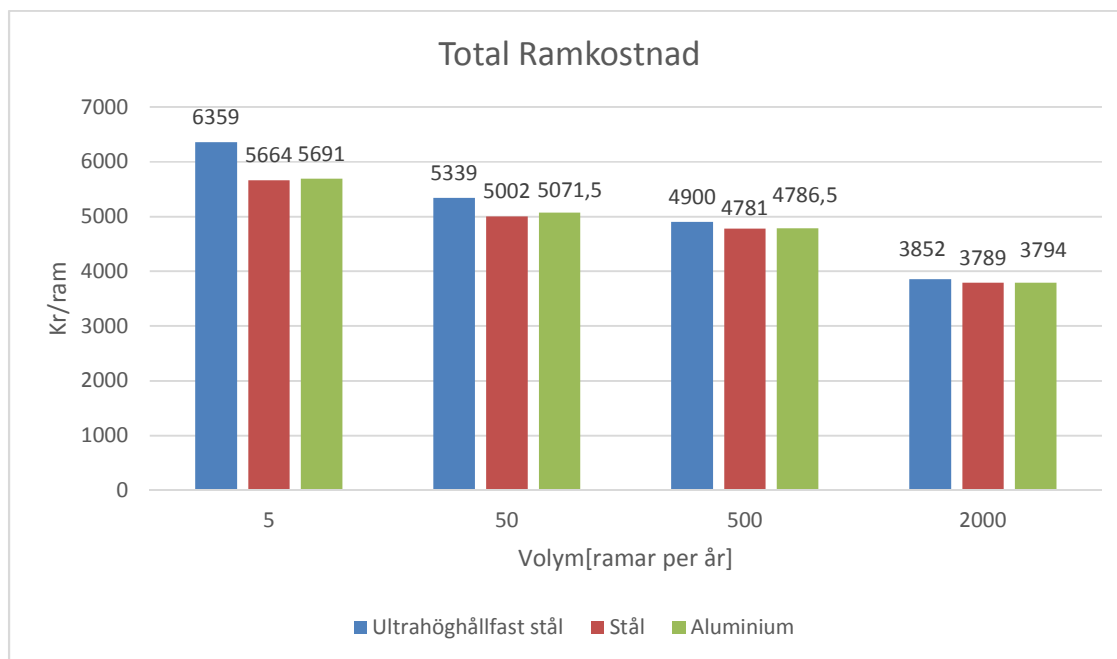
utomstående företag, Velove, för att verkstäderna skulle uppfatta att det fanns en potentiell affär - inte bara studenter som vill ta deras värdefulla tid i anspråk. I några fall, där verkstäderna befann sig i närheten av Göteborg, bokades möten för närmare introduktion för bägge parter. Under mötet presenterades projektet tillsammans med bilder på befintliga prototyper, CAD-modellen samt ritningarna. Verkstaden kunde snabbt avgöra ifall de hade möjlighet att tillverka cykelramen och om intresse för projektet fanns. Under besöken fick vi se deras verkstäder och maskiner, och kunde skapa en bild av hur ett eventuellt flöde i tillverkningen hade sett ut. Många tips och råd mottogs under besöken tack vare personernas mångåriga erfarenhet inom branschen. I efterhand är vi alla överens om att det absolut mest givande tillvägagångsättet att ta kontakt med företag var via möten. Det har givit bäst omedelbar respons men också initierat en effektiv dialog via e-mail och telefon.

## 8 Slutsats

Här är de slutsatser som dragits.

### 8.1 Kostnadsberäkning

Den totala ramkostaden för de olika materialen och kostnader beroende på produktionsvolym varierade (Figur 46).



Figur 46: Total ramkostnad beroende på tillverkningsvolym och material (Appendix F)

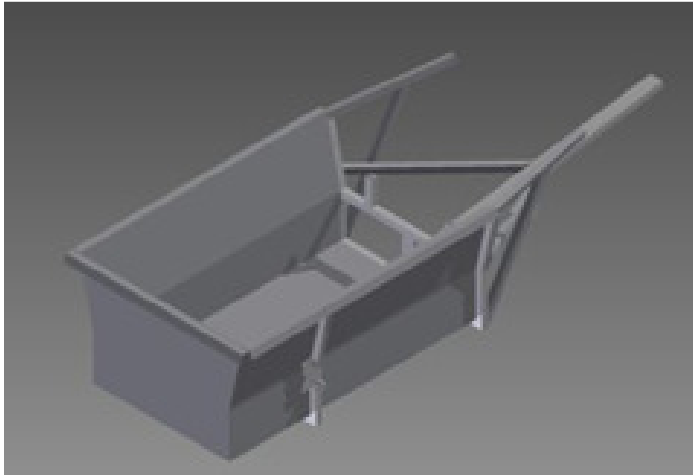
Kostnadsuppskattningen för aluminium är ofullständig, och kommer kosta betydligt mer än vad som är skrivet, på grund av att det krävs mer material för konstruktionen och dessutom är materialet mer komplext att arbeta med. Figur 46 visar en teoretisk uträkning där materialets volym antas vara lika stor för ultrahöghållfast stål, stål och aluminium och att en liknande tillverkningsprocess utförs oavsett materialval. Inga fördjupade beräkningar har utförts på aluminium och inga ingående studier har tagits i akt efter att fått starka rekommendationer från verkstaden "Mekpart AB" att inte konstruera cykelramen i aluminium på grund av dess brist i produktivitet och effektivitet i jämförelse med stål.

Grov uppskattning av materialkostnaderna för kolfiber kommer att landa mellan 10 000 och 36 545 kr/ram. Endast materialkostnaderna för kolfiber skiljer sig stort jämfört med de andra materialen och kan bli upp till 180 gånger dyrare i materialkostnad jämfört med vanligt stål. Utifrån materialkostnaderna kan vi därför direkt utesluta kolfiber som ett produktivt och lönsamt material för cykelramen. Innan mer djupgående beräkningar på tillverkningskostnader och därmed totala kostnader för cykelramen i kolfiber kan genomföras krävs en nykonstruktion av

cykelramen som är anpassad efter kolfiber. Först då kan materialåtgång och tillverkningskostnader med säkerhet uppskattas.

## 8.2 CAD-modell

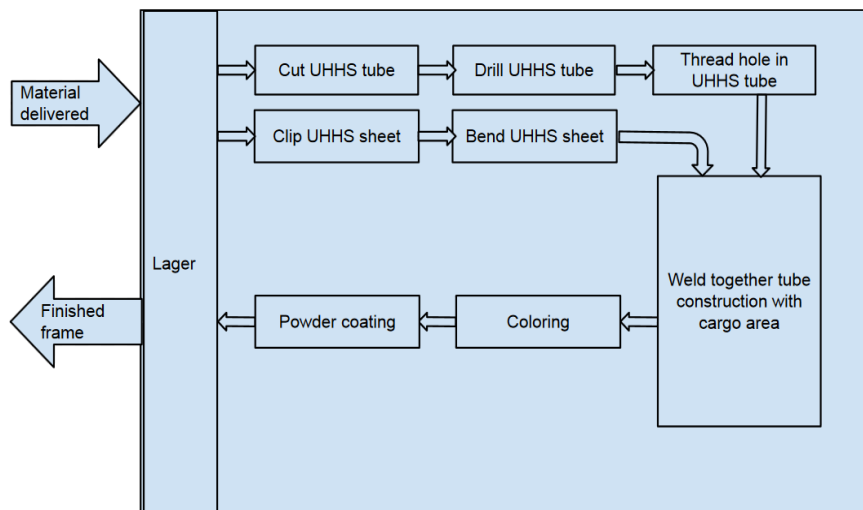
För framtida produktion av cykelramen kan CAD-ritningen ligga till grund för design och kontakt med olika företag och verkstäder (Figur 47). Se appendix A för ritningar över CAD-modellen.



Figur 47: CAD-bild av cykelram, prototyp 2.

## 8.3 Fabrikslayout

En schematisk fabrikslayout har skapats och ger en bild av hur produktflödet kan se ut vid höga produktionsvolymer (Figur 48).



Figur 48: Fabrikslayout för höga produktionsvolymer

## Referenser

All Coating (2013) Ett serviceinriktat familjeföretag, *All Coating AB*,

<http://www.allcoating.se/foretaget.php>

Tillgänglig 2013-05-10

Aluminium guiden, (2013) Om aluminiumprodukter *Aluminium guiden*,

<http://www.aluminiumguiden.se/om-aluminiumprodukter.htm>

Tillgänglig: 2013-03-08

Aluminiumdesign a, (2013) Properties of aluminium, *Aluminiumdesign.net*,

<http://www.aluminiumdesign.net/why-aluminium/properties-of-aluminium/>

Tillgänglig: 2013-06-19

Aluminiumdesign b, (2013) Aluminium alloys, *Aluminiumdesign.net*,

<http://www.aluminiumdesign.net/design-support/aluminiums-corrosion-resistance/>

Tillgänglig: 2013-06-19

Aluminiumdesign c, (2013) Aluminium´s corrosion resistance, *Aluminiumdesign.net*,

<http://www.aluminiumdesign.net/design-support/aluminiums-corrosion-resistance/>

Tillgänglig: 2013-06-19

Aluminiumriket, (2013) Legeringar, *Aluminiumriket*

<http://www.aluminiumriket.com/sv/legeringar/legeringar.php>

Tillgängligt: 2013-06-19

Aluminium Matter a, (2013) Less Favorable Properties, *Aluminium matters*

<http://aluminium.matter.org.uk/content/html/eng/default.asp?catid=217&pageid=2144417145>

Tillgänglig: 2013-06-19

Aluminium Matter b, (2013) Aluminium v Steel: General Similarities, *Aluminium matters*

<http://aluminium.matter.org.uk/content/html/eng/default.asp?catid=217&pageid=2144417130>

Tillgänglig: 2013-06-19

Aluminium Matter c, (2013) Comparison of Properties of Pure Aluminium and Iron, *Aluminium matter*

<http://aluminium.matter.org.uk/content/html/eng/default.asp?catid=49&pageid=2144416799>

Tillgänglig: 2013-06-19

Bodycote Ytbehandlig AB (2013) The Vital Link, *Bodycote*,

<http://www.bodycote.com/en/about-us.aspx>

Tillgänglig 2013-05-12

Brightbespoke (2013), Understanding Bike Frame Materials, *Brightbespoke*  
<http://www.brightspoke.com/c/understanding/bike-frame-materials.html>  
Tillgänglig: 2013-06-19

Carbix a, (2013) Kolfiberrör, *Carbix*,  
<http://www.carbix.se/product.html/kolfiberror>  
Tillgänglig 2013-05-20

Carbix b, (2013) Kolfiberväv, *Carbix*,  
<http://www.carbix.se/category.html/kolfibervav>  
Tillgänglig: 2013-05-09

Carbix c, (2013) TeXtreme Kolfiberväv, bredd 100, *Carbix*,  
[http://www.carbix.se/product.html/textreme-kolfibervav-160-g/m-ht-bredd100cm?category\\_id=10](http://www.carbix.se/product.html/textreme-kolfibervav-160-g/m-ht-bredd100cm?category_id=10)  
Tillgänglig: 2013-05-09

ELWE (2013) Verksamhet, *ELWE*,  
<http://www.elweab.se/Verksamhet.htm>  
Tillgänglig 2013-05-10

Fandén A-C, (2008), Utbildning i informationskompetens En litteraturstudie av förhållandet mellan forskning och praktik, *Lunds universitet*,  
<http://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordOId=1414941&fileOId=1414942>  
Tillgänglig: 2013-04-25

Granta, (2013) CES selector (Basic Addition), *Granta design*  
<http://www.grantadesign.com/products/ces/overview.htm>  
Tillgängligt: 2013-04-26



JPC composite, (2013), Företaget, *JPC composite*

[http://www.jpc.se/a/index.php?option=com\\_content&view=article&id=3&Itemid=2](http://www.jpc.se/a/index.php?option=com_content&view=article&id=3&Itemid=2)

Tillgänglig 2013-05-20

Lars Trygg (Docent, Avdelning för arbetsorganisation, Chalmers) föreläsning 2013-04-15

Masmoudi, F. Hachicha, W. & Bouaziz, Z, ( 2007), *Development of a welding cost estimation model based on the feature concept*

[http://maja.uni-mb.si/files/apem/APEM2-4\\_149-162.pdf](http://maja.uni-mb.si/files/apem/APEM2-4_149-162.pdf)

Tillgänglig 2013-05-15

Osvalder, Rose, Karlsson, 9.2.2 Intervjuer, *Arbete och teknik på människans villkor*, Stockholm, Prentice, 2010, ss. 485-487

Provexa (2013) Om Provexa, *Provexa*,

<http://www.provexa.com>

Tillgänglig 2013-05-10

Sandvik (2013) Om Sandvik, *Sandvik*,

<http://www.sandvik.com/sv/om-sandvik/>

Tillgänglig 2013-05-09

SSAB (2013) SSAB på 90 sekunder, *SSAB*,

<http://www.ssab.com/sv/Produkter--Tjanster/Om-SSAB/SSAB-pa-90-sekunder/>

Tillgänglig 2013-05-09

Strongframes (2013) Metallurgy, *Strongframes, Inc.*

[http://www.strongframes.com/more\\_stuff/materials\\_tech/metallurgy/3/](http://www.strongframes.com/more_stuff/materials_tech/metallurgy/3/)

Tillgänglig 2013-15-17

OSTP (2013) About OSTP, *OSTP*,

<http://www.ostp.biz/About-OSTP.aspx>

Tillgänglig 2013-05-09

Outokumpo (2013) New global leader in advanced materials, *Outokumpo*,

<http://www.outokumpu.com/en/AboutUs/Pages/default.aspx>

Tillgänglig 2013-05-09

Ruckus composite, (2013) Carbon fiber repair, *Ruckus composite*,

<http://www.ruckuscomp.com/repair/>

Tillgänglig: 2013-05-17

The project junkie, (2013), Carbon bike repair/Carbon frame repair, *The projekt junkie*,  
<http://theprojectjunkie.com/bicycles-bike-components/carbon-bike-repair.html>  
Tillgänglig:2013-05-17

Tibnor a (2013) Tibnor säkrar materialförsörjningen av stål och metaller, *Tibnor*,  
[http://www.tibnor.se/web/Om\\_Tibnor\\_1.aspx](http://www.tibnor.se/web/Om_Tibnor_1.aspx)  
Tillgänglig 2013-05-09

Tibnor b (2013) Tibnors Webbshop, *Tibnor*,  
<https://webbshop.tibnor.se/Pages/default.aspx>  
Tillgänglig: 2013-05-18

Trafikanalys (2011), Fordon 2011, tabell PB2, *Trafikanalys*,  
[http://trafa.se/PageDocuments/FORDON\\_2011.xls](http://trafa.se/PageDocuments/FORDON_2011.xls)  
Tillgängligt: 3012-02-28

Trafikverket, (2000) Nationell strategi för ökad och säker cykeltrafik, *Trafikverket*,  
[http://publikationswebbutik.vv.se/shopping/ShowItem\\_1588.aspx](http://publikationswebbutik.vv.se/shopping/ShowItem_1588.aspx)  
Tillgänglig: 2013-03-07

Werntoft, E. (2011), Olika arbetens omfattning, *Lunds univeristet*,  
[http://portal.omv.lu.se/Portal/student/info\\_praktisk/uppsats\\_anvis/litteraturstudiers\\_utformning\\_samt\\_referensteknik/uppsats\\_omfattning](http://portal.omv.lu.se/Portal/student/info_praktisk/uppsats_anvis/litteraturstudiers_utformning_samt_referensteknik/uppsats_omfattning)  
Tillgänglig: 2013-04-25

Wikipedia,(2013) Flowchart , *Wikipedia*  
<http://en.wikipedia.org/wiki/Flowchart>  
Tillgänglig: 2013-04-25

Åhlström, P. (1997), *Sequences in the process of adopting lean production*, Stockholm school of economics, EFI, Stockholm

Cykelguiden, (2013) Cykelns olika delar, *Cykelrguiden*  
<http://www.cykelguiden.nu/cykelguiden.asp?page=cykelns-delar>  
Tillgänglig: 2013-04-26

SSAB, (2012) Ultrahöghållfast stål ger lättare fordonsinredning, *SSAB*  
<http://www.ssab.com/sv/Investerare--Media/Media/Nyheter-om-produkter-och-losningar/Product-and-Solutions-news-page/?itemid=1126901>  
Tillgänglig: 2013-05-10

Textrem, (2013), Spread tow reinforcements, *Textrem*

<http://www.oxeon.se/index.php?page=tech-specs>

Tillgänglig: 2013-05-10

Wikipedia, (2013) Aluminium, *Wikipedia*,

<http://sv.wikipedia.org/wiki/Aluminium>

Tillgängligt: 2013-03-08

Wikipedia, (2013) Aluminium alloy, *Wikipedia*,

[http://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium\\_alloy](http://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium_alloy)

Tillgänglig:2013-03-08

Wikipedia, (2013), Carbon-fiber-reinforced polymer, *Wikipedia*

[http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon-fiber-reinforced\\_polymer](http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon-fiber-reinforced_polymer)

Tillgänglig: 2013-05-10

Wikipedia, (2013), vinyl ester, *Wikipedia*

[http://en.wikipedia.org/wiki/Vinyl\\_ester](http://en.wikipedia.org/wiki/Vinyl_ester)

Tillgänglig: 2013-05-17

Wikipedia, (2013), Stål, *Wikipedia*

<http://sv.wikipedia.org/wiki/St%C3%A5l>

Tillgänglig 2013-05-20

WisegEEK, (2013) What is carbon fiber? *WisegEEK*

<http://www.wisegEEK.org/what-is-carbon-fiber.htm>

Tillgänglig:2013-05-10

UHS forum (2013), Ultrahöghållfast stål kan ge starka och lätta detaljer, *UHS forum*

[http://195.67.104.166/upload/pdf-filer/artiklar\\_fran\\_ivf/konstr\\_3-09-2.pdf](http://195.67.104.166/upload/pdf-filer/artiklar_fran_ivf/konstr_3-09-2.pdf)

Tillgänglig 2013-05-22

Schreve, K & Basson A.H (2004) *Small volume fabrication cost estimation models for embodiment design*,

[http://c.ymcdn.com/sites/www.saimeche.org.za/resource/collection/86D6C55A-EC4D-4087-8D0E-E589C14E4AEF/Small\\_Volume\\_Fabrication\\_Cost\\_Est\\_Models.pdf](http://c.ymcdn.com/sites/www.saimeche.org.za/resource/collection/86D6C55A-EC4D-4087-8D0E-E589C14E4AEF/Small_Volume_Fabrication_Cost_Est_Models.pdf)

Tillgänglig 2013-05-17

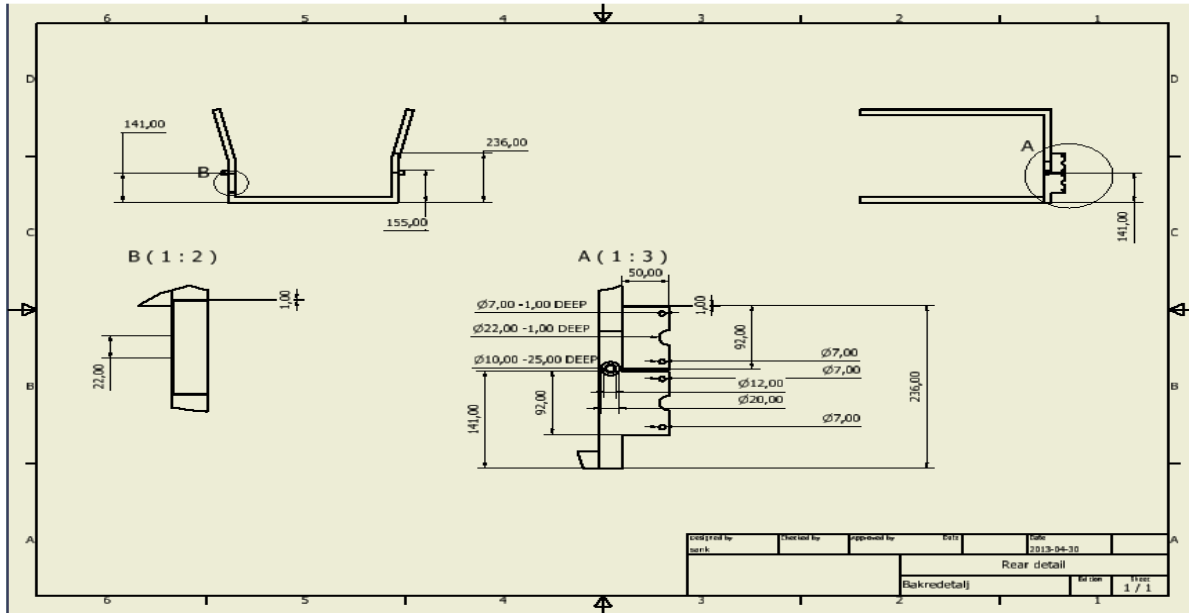
Stena stål (2013), Om Stena stål AB, *Stena stål*

<http://stenastal.se/Om-Stena-Stal/>

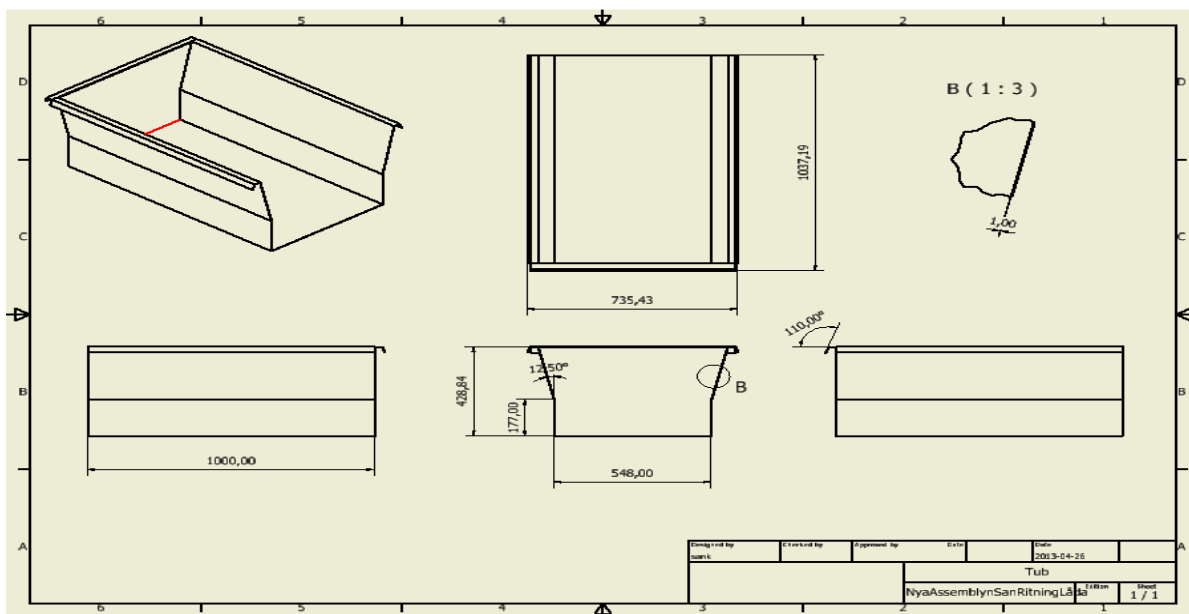
Tillgänglig 2013-05-18

# Appendix

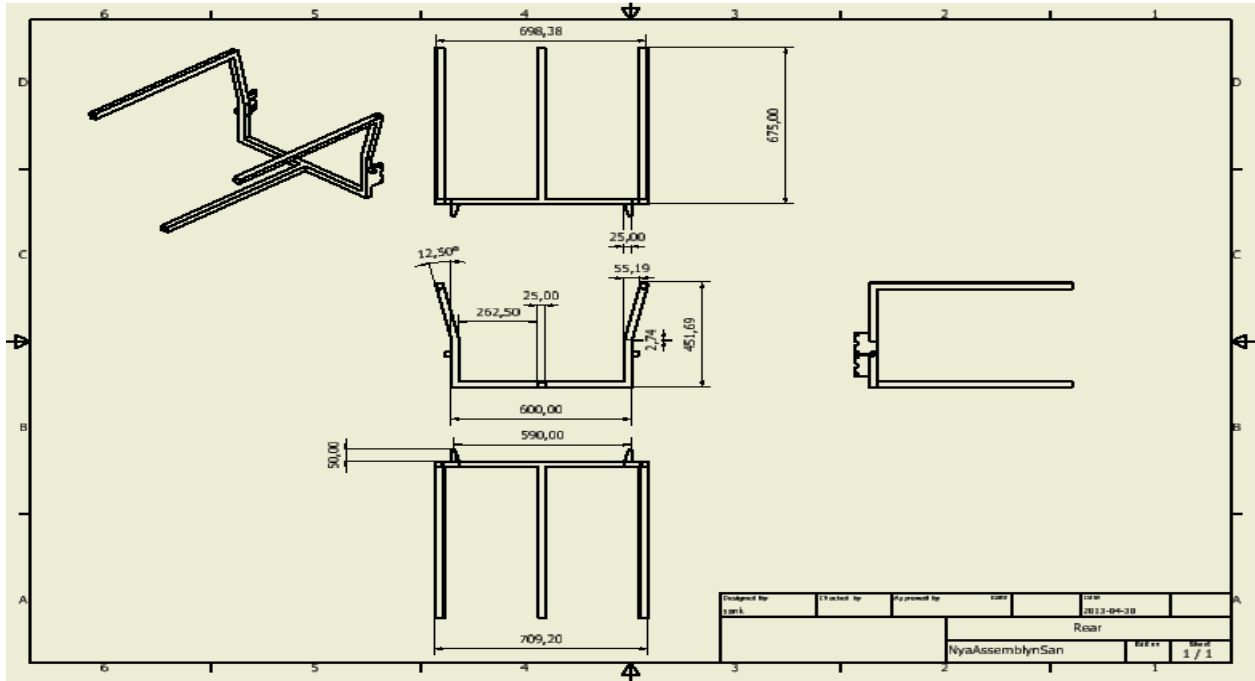
## Appendix A - CAD ritningar



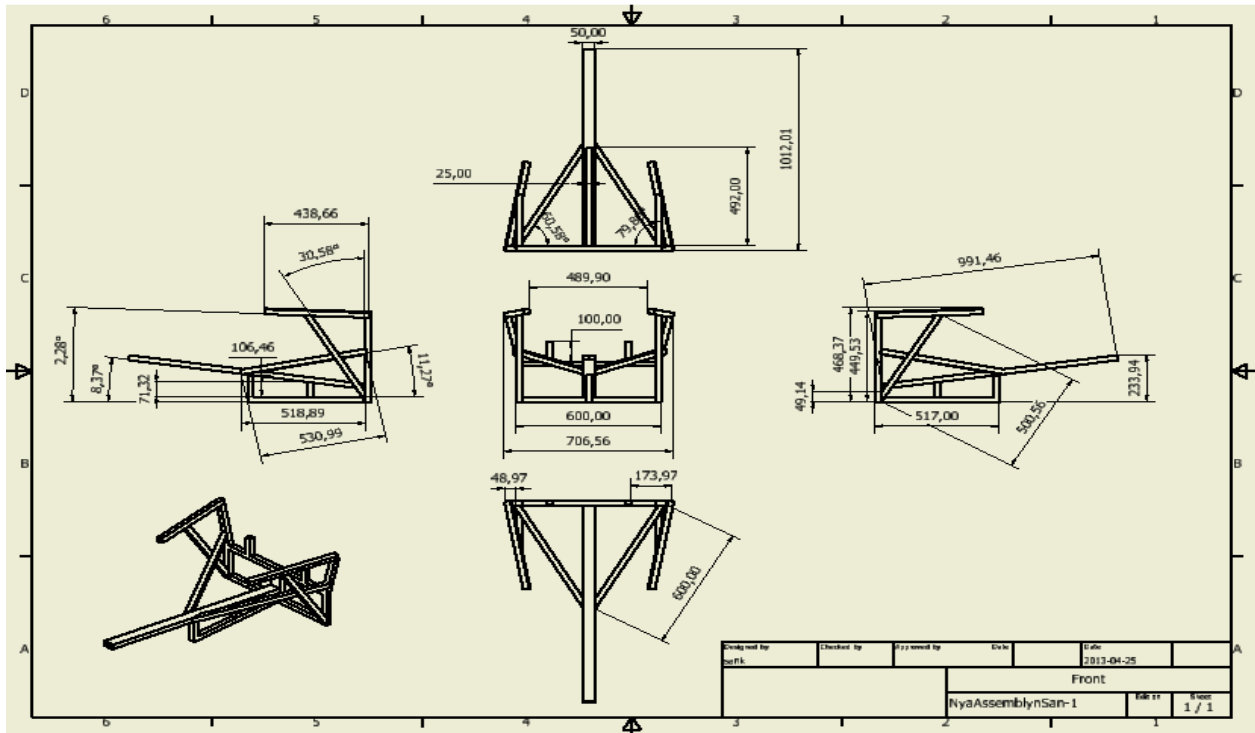
Figur A 1: Bakre del av ramen samt bromsfäste



Figur A 2: Lastutrymme



Figur A 3: Bakre delen av ramen



Figur A 4: Främre del och mitten del av ramen

## Appendix B - Material

### Aluminium

Aluminium används mycket i dagens industrisamhälle då materialet kan återvinnas och den processen är enkel. Materialet har en lägre densitet än stål samtidigt som det också är mycket mjukare. Aluminium har ett förutbestämt antal lastcykler innan det brister vilket innebär att materialet kan återvinnas ett bestämt antal gånger innan kvaliteten blir bristande.

Olika bearbetningar påverkar egenskaperna hos materialet drastiskt och kan medföra en förhöjd sträckgräns på upp till 200 - 600 MPa. Detta jämfört med sträckgräns hos rent aluminium som ligger på 7-11 MPa. (Wikipedia, Aluminium, 2013).

Vanliga användningsområden:

Förpackningar som burkar, konstruktioner till flygplan, aluminiumfälgar till bilar samt komponenter till båtar och motorer är några av de områden där aluminium används flitigt.

Tillverkning och bearbetning:

Bearbetningsmetoderna är många och bidrar till varför aluminium är så populärt som konstruktionsmaterial. Några exempel på tillverkningsmetoder är strängpressning och valsning.

Deformationshärdning, åldringshärdning, lösningshärdning och härdning genom ändring av kornstorlek är olika former av härdning som materialet kräver för att öka dess hållfasthet. (Aluminium guiden, 2013)

Prisklass:

Aluminium är dyrare relativt vanligt stål då det kräver mycket energi, i det här fallet elektricitet, att utvinna aluminium från malm. På grund av den lägre brottgränsen behövs mer material i konstruktionen och priset går därmed upp.

Materialegenskaper:

Bra korrosionshårdighet, låg densitet, ok hållfasthet och god formbarhet

Brottgräns: 24-60 MPa.

Elasticitetsmodul: Typisk för aluminiumlegeringar är 70 GPa (Wikipedia, Aluminium alloy, 2013).

Återvinning:

Enkel att återvinna. Processen består av att endast smälta ner det till rent aluminium och därefter kan det återanvändas.

Kommentar:

I och med materialets egenskaper måste ram konstruktionen förstärkas i de kritiska punkter som utsätts för krafter. Följden av detta blir att man inte alltid kan använda standard-rör eller profiler i

Veloves konstruktion. Det är svårare att reparera eventuella skador på ramen då möjligheten att i efterhand påverka konstruktionen ändrar på materialets hållfasthet och styrka. Över tid är materialet inte lika hållbart som exempelvis stål; det mattas ut, spricker och det är svårare att arbeta med vid tillverkning. T.ex. uppstår det lätt sprickor vid håltagning. Fördelarna kan däremot vara intressanta ändå. Aluminium är ett lättare alternativ som gynnar slutproduktens strävan efter låg vikt.

### **Ultrahöghållfast stål**

Ett relativt nytt material som börjar konkurrera med stål inom huvudsakligen bygg- och fordonsbranschen är ultrahöghållfast stål. För att klassas som ultrahöghållfast skall brottgränsen inte underskrida 800 MPa (UHS forum, 2013).

Med denna förbättrade styrka är målet att sälja ultrahöghållfast stål till samma pris som konventionellt stål då mängden material som behövs minskar.

Vanliga användningsområden:

Materialet används väldigt ofta inom fordonsindustrin för olika typer av krockdetaljer där hållfasthet och låg vikt är viktigt men även vid större byggprojekt som exempelvis Swedbank arena. (SSAB, 2012)

Tillverkning och bearbetning:

Studierna där materialets egenskaper står bäst beskrivet fokuserar först och främst på stålbalkar åt fordon och då är det rullformning som är tillverkningsmetoden. Detta beror på att rullformning är den mest effektiva metoden för att bearbeta material med hög brottgräns. Plåten formas succesivt i steg mellan roterande verktyg. Primära fogningsmetoden är svetsning, likt vanligt stål.

Prisklass:

Kostnaden kommer motsvara traditionellt byggstål då mindre material används i konstruktionen.

Materialegenskaper:

Materialet har ungefär samma nackdelar och fördelar som vanligt stål men har bättre prestanda. Priset är högre och materialet kräver mer för att bearbetas och behandlas på grund av dess styrka och styvhet.

Brottgräns: ca 800-1200 MPa (jämfört med rostfritt stål som har ca 550 MPa)

Vikt: ca 25 % lättare än konventionell stål

Återvinning:

Materialet är i högsta grad återvinningsbart. Kvaliteten försämras dock.

Kommentar:

En cykelram av ultrahöghållfast stål är väldigt relevant. Med dess goda egenskaper och utforskade möjligheter som konstruktionsmaterial finns det mycket att hämta.

## Stål (Järnkol)

Stål legerat med främst molybden är ett vanligt val när man tillverkar lätta och spänstiga ramar inom cykelindustrin.

Stålets egenskaper allmänt, speciellt rostfritt stål, kan göras om med hjälp av diverse typer av värmebehandling och olika tillsatser av andra ämnen. På detta sätt kan man hitta stål som matchar de egenskaper man är ute efter. Stålet får sina egenskaper genom sin kemiska sammansättning men också genom efterbearbetning och värmebehandling.

Vanliga användningsområden:

*Handelsstål* är bulk producerat stål, framställt i stora volymer. Handelsstål är vanligen kolstål. Exempel på produkter av handelsstål är armeringsjärn och stålplåt för bil- och fartygsbyggnad. Handelsstål används bland annat i husbyggnader, brokonstruktioner, kranar, järnvägsvagnar, behållare och maskinstativ.

*Specialstål* är stål som framställs i mindre volym och till ett högre pris och används för mer krävande tillämpningar. Specialstål är vanligen legerade stål. Endera låglegerade eller höglegerade. Exempel på produkter som framställs av specialstål är kullager och rostfri stålplåt till kemikalietankar.

Ståltyper:

### *Rostfritt stål*

Syrafast stål (typ av rostfritt stål) används i miljöer med mer kännbara kemiska påfrestningar, till exempel rördelar, rostfria skruvar och muttrar, beslag och maskindelar avsedda för marin miljö, samt detaljer som kommer i kontakt med syror.

Vanliga tillämpningsområden för kromstål är exempelvis vitvaror.

### *Gjutstål*

Gjutstål är en typ av stål som används för framställning av stålgjutgods. Stålgjutgods används för tillverkning av bland annat turbinskovlar, järnvägsmateriel, fartygsstävlar, armatur och slitdelar hos krossar och grävmaskiner.

### *Konstruktionsstål*

Det som utmärker de allmänna konstruktionsstålen är deras stora seghet och goda svetsbarhet. Andra viktiga egenskaper är till exempel böckbarhet och skärbarhet.

### *Verktogsstål*

grupp av stål avsett för tillverkning av verktyg för till exempel skärande bearbetning (exempelvis: filar och svarvstål) eller formande bearbetning (exempelvis: pressverktyg och valsar).



Vanligen har verktygsstål höga kolhalter, runt (1 %). Ett flertal tillsatser används för att påverka materialets egenskaper.

Materialegenskaper:

355 MPa är den minsta tillåtna övre sträckgränsen, ReH (355 N/mm<sup>2</sup>)

I moderna konstruktionsstål är brottspänningen alltid 10 % större än sträckgränsen.

Densitet: 7850kg/m<sup>3</sup>

Vidare materialegenskaper bestäms under tillverkningsprocessen genom tillsats av legeringsämnen och härdning. Det är med andra ord ganska lätt och påverka stålets materialegenskaper.

Tillverkningsmetoder:

Stål kan svetsas, gjutas, valsas, svarvas, fräsas, borraras, blåstras, målas, kapas etc.

Bättre stålrör för cyklar är heldragna, dvs sömlösa. Stålet är vanligen legerat med krom och molybden men även vanadium och nickel kan ingå.

Berömda tillverkare av legerade stålrör är engelska Reynolds, italienska Columbus, japanska Tange och amerikanska True Temper. För lätta och spänstiga ramar har man sedan många år använt stål legerat med främst molybden (4130, Cro-Mo)

Återvinning:

Stål är lätt att sortera ut från andra metaller då det är magnetiskt. Ur ett miljöperspektiv, där stål beskrivs som "världens största återvinningssystem och täcker hela jorden i ett globalt kretslopp", är materialet ett mycket bra alternativ.

Kommentar:

Det verkar som cyklar där speciellt ramen är gjord av stål är det billigaste och bästa ur en ekonomisk aspekt. Men inte för premium klassen till exempel exklusiva tävlingscyklar utan mer för enklare barncyklar som skall massproduceras.

"Ramen till en cykel byggs oftast av olika metallegeringar av stål och aluminium, men även dyrare ramar i titan förekommer. För tävlingscyklar används ofta kolfiber eller kombinationer av kolfiber och aluminium." (Cykelguiden, 2013).

Stålrör blir dock ett allt ovanligare material i cyklar, i varje fall i den rikare delen av världen.

Stålkvalitéerna som används till cykelramar är naturligtvis en kompromiss mellan styrka, tånjbarhet, bearbetningsegenskaper, vikt och pris.

Stål verkar vara ett intressant material för denna uppgift och kan absolut fungera. Närmare undersökning krävs för hur mycket vikten kommer påverka valet utav material då det är för dessa cyklar som byggs i lastsyfte viktigt att hålla ner den totala egenvikten så mycket som möjligt.

## Kolfiber

Kolfiber är ett material som används då ett lätt och hårt material krävs. Materialet används bland annat till cyklar, flygplan och bildetaljer.

Kolfiber är ett lätt och styvt material som består av tunna dragna trådar av kol. Trådarna tvinnas eller vävs för att skapa den form som önskas. Kolfiber i sig är väldigt likt stål rent materialmässigt, då utslagsfaktorn är bearbetning och val utav tillsatser. Olika tillsatser som ofta används är t.ex. epoxi, vinylester och polyester där epoxi bidrar till det starkaste materialet och polyester det svagaste men även billigaste. Eftersom kolfiber har en relativt låg slagåtlighet används det ofta tillsammans med aramidfiber för att förstärka slagåtligheten.

Eftersom kolfiber är ett styvt material spricker det lätt istället för att missformas vid för hård belastning. Något som gör det väldigt svårt att reparera eller använda vid ett haveri.

Vanliga användningsområden:

Användningsområdet är väldigt brett då kolfiber uppfyller väldigt elementära krav genom dess goda styrka/vikt förhållande. Exempel på användningsområden är t.ex. bil-, flyg-, och cykelindustrin. Olika sporttillbehör i form utav skydd och lågvikts komponenter etc.

Tillverkning och bearbetning:

Tillverkning av kolfiber är relativt komplext då det krävs en bra väv utan knutar och trassel för att få det bästa resultatet. Kolfiberrör kan produceras genom pultrudering medan andra former skapas genom att först skapa en kolfiberväv som sedan gjuts tillsammans med epoxi, polyester eller vinylester.

- Varje kolfibertråd är en bunt av många tusen kolfibertrådar. Kolfiber har en struktur likanande grafit.
- Rör tillverkas med hjälp av pultrudering.
- Kolfibermattor vävs. (Textrem, 2013)
- Gjutning med epoxy gör kolfiber mycket hårt. (Wikipedia, Carbon-fiber-reinforced polymer, 2013)
- Vakuum forma (tar tid), sammanpressning.
- Tillverkning av cykelramar och speciella noder. (Wisageek, 2013)

Prisklass:

Kolfiber är ett relativt dyrt material att köpa in men även framställningen står sig högt i pris i jämförelse med andra material.

Materialegenskaper:

Med en väldigt låg vikt och hög prestanda är kolfiber ur ett konstruktionsmässigt perspektiv ett högintressant alternativ. En klar nackdel är den höga material och tillverknings kostnaden.

Brottgräns: ca 3,5 GPa

Elasticitetsmodul: 150 GPa

Återvinning:

Sprickor kan, med rätt kompetens, lagas men materialet kommer aldrig att återfå sin tidigare hållfasthet.

Kommentar:

Kolfiber används redan idag inom cykelindustrin, främst för avancerade sportcyklar då materialet har en väldigt hög hållfastighet i förhållande till vikt. Det kan repareras vid sprickor eller hål och kan då i stort sätt återfå sin tidigare styrka, dock måste det till rätt kunskap och noggrannhet. Färdiga kolfiberrör finns att köpa i olika dimensioner och profiler vilket underlättar framställningsprocessen markant.

Den stora nackdelen med kolfiber är dock det höga priset, komplexiteten vid bearbetning och komplexiteten vid reparation.

## Appendix C – Företag

27 företag kontaktades (Tabell A1).

Tabell A 1: Kontaktade företag

Företag	Medverkande i intervju]
All Coating AB	Ja
Bodycote Ytbehandling AB	Ja
Carbix	Ja
Composite Design	Ja
ELWE	Ja
GMT - Göteborgs Maskinteknik	Ja
Härrydda Mekaniska	Ja
JPC Composite	Ja
Mekpart AB	Ja
OSTP, Sales Sweden	Ja
OutKumpu	Ja
Panthera	Ja
PBH Teknik	Ja
Provexa AB	Ja
Sandvik Stål	Ja
SSAB	Ja
Stena stål	Ja
Tetrafix	Ja
Tibnor	Ja
Aghilrs Mekaniska verkstad AB	Nej
Aluminium Verkstaden AB	Nej
CarboComp	Nej
Eliasson & Lund Mekaniska Verkstad	Nej
Ernst Svesnssons Mekaniska Verkstad AB	Nej
Metallservice AB	Nej
Nitator Stainless Steel AB	Nej
Surte Formverkstad AB	Nej

## **Appendix D – Grundfrågor**

Grundfrågor som ställdes vid de semistrukturerade intervjuerna.

- Hur mycket kostar arbetet, kr/h?
- Hur mycket kostar material, kr/m eller kr/kg?
- Vilka material kan ni arbeta med?
- Hur stora serier kan tillverkas, 5, 50, 500, 2 000?
- Vilka produktionstekniker använde ni?
- Kan ni utföra ytbehandling av material?

## **Appendix E – Intervjuer**

Under intervjuerna ställdes de aktuella grundfrågorna (Appendix D) samt ytterligare frågor anpassade tillföretagens kompetensnivåer. Här sammanfattas informationen från intervjuerna.

### **All Coating AB**

All Coating har lång erfarenhet och kunskap om olika ytbehandlingsmetoder. De inriktar sig främst på våt-och pulverlackering. Det är ett familjeföretag som grundades 1986. Enligt företaget är de måna om att tillgodose alla kunders specifika behov för ett långvarigt samarbete. (All Coating AB 2013)

Företaget kunde behandla alla objekt upp till 6000x2400x700 mm i dimension. Kontaktpersonen från All Coating berättade att det går att passa in ett objekt med 800 mm i djup. Detta gör det möjligt för att ytbehandla cykelramen. Det som rekommenderades var en pulverlackering för både aluminium och stålramar.

### **Bodycote Ytbehandling AB**

I Västra Frölunda ligger verkstaden Bodycote Ytbehandling som är en del av det internationella företaget Bodycote. Enligt de själva är Bodycote den globala ledaren inom värmebehandling, ytbehandling och het isostatisk pressning. (Bodycote 2013)

Efter att ha kontaktat verkstaden framgick att endast aluminiumramar kunde behandlas och att dimensionerna var för snäva för att lastcykelramen ska kunna processeras.

### **Carbix**

Företaget köper in olika grovlekar och behandlingar av kolfiberväv samt pultruderade och vävda rör i olika dimensioner. Pultruderade rör har bara en längsgående fiberriktning och är därför känsliga för tryck som inte kommer längsmed röret. Vävda rör består av flera lager kolfiber. Ett vävt rör kan ha en kärna av pultrerat rör med ett eller flera lager kolfiberväv placerade utanpå där fiberriktningarna är annorlunda. För att få speciell styvhet och hållfasthet kan flera lager väv läggas där fiberriktningen hela tiden går åt olika håll. För att inte få ett för sprött material behandlas alla kolfibermaterial med inte mer än 20-30% risin. Risin kan till exempel vara epoxi. Carbix säljer vävda rör från 149 kr/m. Det finns möjlighet att specialbeställa olika dimensioner och kanske till och med böjda rör, men det beror på Carbix underleverantörer. Carbix har möjlighet att kapa rör i önskade storlekar samt att grovt klippa till önskad vävstorlek.

## Composite Design

Composite design är ett litet företag som jobbar med prototypframtagning och produktion av låga serier på upp till 100 enheter per år. För avancerade kolfiberdetaljer beräknas en kostnad på 10 000 kr/kg vilket är att jämföra med stål som ligger på 100 kr/kg. En kolfiberprodukt väger ofta 4-5 gånger mindre än samma produkt tillverkad i stål. En grov uppskattning av Composite design är att prototypframtagning för lastcykeln kommer att landa på ca en halv miljon.

Vid prototypframställningen jobbar Composite design med att från skiss ta fram en kolfiberanpassad CAD-ritning där kolfiberriktningarna är optimerade för produktanvändningen. Mycket av fördelarna att skapa en detalj i kolfiber går förlorade om kolfiberdetaljen är konstruerad utefter en ritning som är framtagen för annat material än kolfiber. För att skapa en optimerad kolfiberdetalj som är lätt och stark i rätt riktningar måste kraftriktningar beräknas så att kolfiberväv kan placeras endast i de riktningar som kraft beräknas påverka kolfiberprodukten. En enkel struktur i kolfiber är då man jobbar med U formade konstruktioner vilket kräver en form vid tillverkning, om rörkonstruktioner ska användas krävs däremot två tillverkningsformar. Ett annat alternativ vid tillverkning är att jobba med en sandwich konstruktion, då har man två skivor kolfiber med ett mjukare material emellan vilket ger en stark men ändå flexibel konstruktion.

När CAD-ritning är framtagen skapar eller beställer Composite design en form i stål eller aluminium för att kunna producera produkten. Själva tillverkningen av kolfiberprodukten går till så att exempelvis epoxi-behandlade kolfibermattor beställs. Kolfibermattorna skärs till och placeras manuellt i formen som skapats till produkten. Placering av väv i formen kan ske på 0,5 timmar till flera dagar beroende på hur komplex och avancerad produkten är. Därefter placeras väv och verktyg i en autoklav, en trycksatt varmluftsugn, i 3-4 timmar i ca 100 grader. Att behandla kolfiberprodukt i autoklivering ger ett högkvalitativt resultat utan skarvar och ojämnheter. Då produkten är klar tas formen och kolfiberprodukten ut ur ugnen och eventuell ytbehandling appliceras. Ytbehandling kan göras på tre olika sätt. Ett sätt är att placera gel i formen innan kolfiberväven appliceras, gelen bakas då in i kolfiberet under behandlingen i autoklaveren. Ytbehandlingen kan också göras efter att produkten är färdig, då sker det genom att tejp eller lackering appliceras.

## ELWE

ELWE är en liten metall verkstad med tre anställda, lokaliserad i Kortedala. Företaget gör allt från svetsning, bockning och blästring till polering, svarvning och fräsning. (ELWE, 2013)

Efter besök hos verkstaden kunde produktion av höga volymer uteslutas.

Främst jobbar företaget med aluminium och rostfritt stål men de har även jobbat med andra hårdare material. ELWEs lokal har en layout av en funktionell verkstad där maskinerna är sorterade efter funktion och användning.

Företaget fick tillgång till CAD-ritningarna och en priskuppskattning av ramproduktionen togs fram. Via offertfrågan gavs priser för tillverkning av 5 och 50 cykelramar per år (Tabell A2)

Tabell A 2: Offert från ELWE

Volym 5	5280 Kr/Ram
Volym 50	4800 Kr/Ram

## GMT - Göteborgs Maskinteknik

GMT är en verkstad med ca 20 anställda som ligger i Västra Frölunda. Verksamheten fokuserar på industriunderhåll och service, reparationer och tillverkning av maskindelar. Mobil bearbetning, nytillverkning och ytbehandling är några av de tjänster som företaget utför.

Efter ett besök hos verkstaden kunde GMT uteslutas som en möjlig produktionsverkstad då det framgick att verkstaden inriktar sig mer på "grov arbeten", och inte så mycket detaljrika konstruktioner.



## Härryda Mekaniska

Härryda mekaniska är en medelstor verkstad som startades 1973. De har nio anställda plus inhyrda konsulter. Härryda mekaniska utför svetsning, bockning, håltagning och kapning i aluminium och stål. Efter kontakt med företaget mottogs prisuppgifter för olika operationer enligt tabell A3

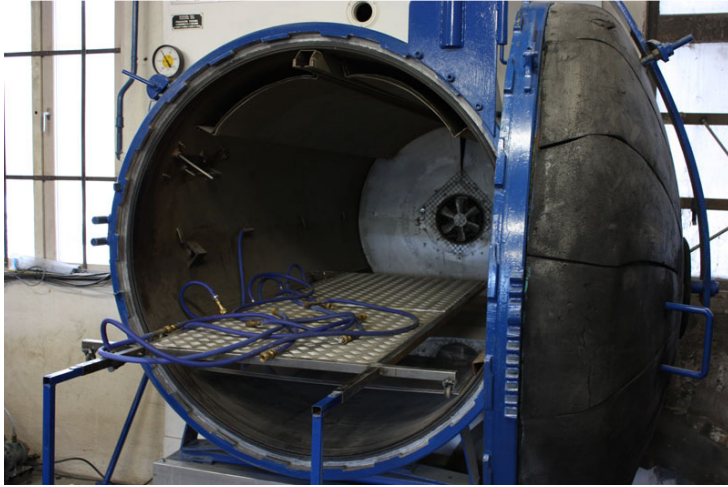
Tabell A 3: Prisuppgifter för operationer från Härryda mekaniska verkstad

Operation	Kostnad [SEK/h]
Svetsning	600
Bockning	500
Håltagning	600
Gjutning	-
Kapning	500
Lackering	-

## JPC Composite

JPC Composite är ett mellanstor till stort företag som jobbar både med prototypframtagning och mindre serietillverkningar. Tillverkningskostnader är 665 kr/h per person. Material kan köpas in som prepregnerad väv på 300 - 3 000 kr/m<sup>2</sup>. Företagets gissning är att med de krav en lastcykel har på materialet kommer priset att ligga på 400-500 kr/m<sup>2</sup>. Att köpa in ett verktyg till processen kommer gissningsvis att hamna på ca 10 000 kr.

JPC Composite jobbar både med autoklivering och varmpress. Vid små serier eller komplexa produkter används autoklivering. Vid större serier och enklare designers används varmpressen som är ett snabbare och mer kostnadseffektivt sätt att tillverka kolfiberdetaljer på. Nackdelen med varmpress är att rörkonstruktioner är svåra att skapa då pressen kräver två verktyg, en hona och en hane. JPC Composite har en stor autoklaverings ugn på 1,5\*3m (Figur A5). Väv appliceras för hand i verktyg som vakuumpåseinpäckas innan det stoppas in i autoklaveren. Företaget kan också ytbehandla kolfiberprodukter.



Figur A 5: Autoklav hos JPC composite

## Mekpart AB

Mekpart AB är en verkstad med ungefär 30 anställda som ligger i Mölndal. Företaget inriktar sig på skärande bearbetning, från prototyper och enstycksproduktion till serieproduktion. Företaget arbetar i de flesta förekommande material. CNC Fräsning, CNC Svarvning, skärande bearbetning, svetsning, vattenskarvning och trådgistning är några av de tjänster som företaget utför.

Efter besök hos Mekpart AB kom det fram att verkstaden har möjlighet att göra både en låg volym- och hög volymproduktion i både stål och aluminium av ramen. Företaget kan även ytbehandla ramen. Företaget fick tillgång till CAD-ritningarna och en priskuppskattning togs fram (Tabell A4).

Tabell A 4: Offert från Mekpart AB

Volym 500	4590 Kr/Ram
Volym 2000	3600 Kr/Ram

## OSTP, Sales Sweden

OSTP, som står för “Outokumpu Stainless Tubular Products”, var ursprungligen ett sammarbete mellan italienska stålföretaget Tubinoxia och Outokumpo men där nu Tubnoxia är huvudägare. Tillverkningen riktar sig främst mot stålrörs produktion (OSTP, 2013).

I samtal med kontaktperson i Sales Sweden hänvisades en lista på grossister OSTP levererar till. Se nedan. Två företag kontaktades; Tibnor och Sandvik.

- Ahlsell
- Dahl
- BE- Group
- **Tibnor\***
- Helens Rör
- **Sandvik Stål\***

\*(Fetmarkerade är de företag som har kontaktats)

## Outokumpu

Med en marknadsandel på ca 40 % i Europa och 12 % internationellt är Outokumpo globalt ledande för rostfritt stål och högprestanda legeringar. De har hundra års erfarenhet av tillverkning av avancerade material och deras produkter erbjuder kvalitativa legeringar av stål, nickel, titanium och zirconium. (Outokumpo, 2013)

I fråga om ultrahöghållfast stål hänvisade Sales Special Materials till ett före detta dotterbolag till Outokumpo, OSTP.

## Panthera

Panthera är ett företag som har startat serietillverkning av rullstolar och rullstolstillbehör. Kontakt togs med företaget för att se hur de hade löst sin serieproduktion. Tyvärr ville Panthera inte dela med sig exakt hur de hade löst sin serieproduktion men berättade att företaget jobbar med gjutning och vakuumpförpackning av kolfiberprodukter, vilket är de två vanliga sätt att tillverka kolfiberprodukter på.

För att få ner vikt i en kolfiber struktur måste kolfiberriktningarna optimeras och så mycket av bindmedlet som möjligt måste tas bort. Vanligast är att kolfiber mattor läggs på varandra så att det finns kolfiber i varje riktning. Men med det tänket blir konstruktionen inte mycket lättare än om det varit tillverkat i annat material. För att utnyttja kolfiber till fullo krävs optimering, att kolfiberriktningarna endast finns i de riktningar som behövs och inga andra.

Pantheras serieproduktion var otroligt dyr att starta upp och det har tagit lång tid att tjäna på produktionen. Panthera säljer dyra rullstolar och ett litet sidoskydd på 3mm tjocklek kostade ca 4500 kr/km<sup>2</sup> vid inköp (Figur A6).



**Figur A 6: Sidoskydd U2 light från Panthera**

Med tanke på att mycket material kommer att gå åt till en lastcykel gissar Panthera att bara inköp av material kommer att landa på 10 000- 15 000 kr/ram utöver det tillkommer tillverkningskostnaderna.

### **PBH Teknik**

PBH teknik är en verkstad som etablerades 1998 med ca 10 anställda som ligger i Karlskoga. Deras kapacitet är ca 30000årstimmar. PBH är inriktade på att vara företags produktionsavdelning. PBH teknik utför arbeten i stål, aluminium och även titan.

Efter att ritningar skickats till företaget framkom att de inte har möjlighet att tillverka ramen då de främst tillverkar smådetaljer.

### **Provexa AB,**

Provexa är ett ytbehandlingsföretag beläget i Gamlestaden. Utöver efterbehandlingar erbjuder de montering och packning av objektet för att skapa effektivisering och logistiska fördelar för kunden. (Provexa 2013)

Ugnarna som företaget använder sig av klarar endast dimensioner upp till 1500x800x1400 mm och blev därför inget alternativ för cykelramen som överstiger dessa dimensioner.

## Sandvik stål

Sandvik är ett nischat företag som producerar avancerade produkter för olika branscher. Bolaget hade 49 000 anställda 2012 i 130 länder och omsatte ca 99 miljarder kronor. Materialavdelningen, Sandvik Materials Technology, står för ca 15,4 miljarder kronor och har 7300 anställda. De framställer förädlade produkter i form av avancerade rostfria stål och speciallegeringar samt metalliska och keramiska motståndsmaterial. (Sandvik, 2013)

Sandvik hade endast en cirkulär rörprofil tillgänglig, Sandvik 26,67x2.86 mm som först och främst används till värmeväxlare. Låga volymer tillverkas och därför har det ett högt pris per meter (Tabell A5). Enligt kontaktperson på säljavdelningen fanns inga konstruktionsrör till försäljning som hade de efterfrågade materialegenskaperna.

Tabell A 5: Prisuppgifter från Sandvik stål

Sandvik 26.67 x 2.86 Rör	
Enstaka Rör	743 Kr/m
24 m	557 Kr/m
85 m	501 Kr/m
102 m	464 Kr/m

## SSAB

SSAB producerar höghållfasta stål och är ledande i branchen. De har 9 000 anställda i 45 länder och försäljningen uppgick 2012 till 38,9 miljarder kronor.

38 % av de totala leveranserna utgörs av de höghållfasta stål, ej att förväxla med ultrahöghållfast stål, och övriga volymer utgörs av ordinärt stål. (SSAB, 2013)

Utgångspunkten var Veloves prototyp 2 som tillverkats i SSAB rör och därför valdes DOCOL 800 tube för rör-konstruktionen (Tabell A6). Dimensionen var 25x25x1 mm, precis som i Prototyp 2.

Tabell A 6: Prisuppgifter för rör från SSAB

<b>SSAB DOCOL 800 Tube, 25 x 25 x 1 Rör</b>	
Enstaka Rör	23.33 kr/m + Adm Avgift (ca 3000kr)
2000 m, Ca 2 Ton	14 Kr/m
20 Ton	10.25 Kr/m

Valfri profil vid beställning av minst 10 ton!

Till lastutrymmet valdes DOCOL 1000 DP då den hade väldigt snarlika egenskaper som rörprofilen fast det är en plåt med 1 mm i godstjocklek.

DOCOL 1000 DP 1 mm plåt som rekommenderas tillsammans med 800 tube (Tabell A7).

Tabell A 7: Prisuppgifter för plåt från SSAB

<b>SSAB DOCOL 1000 DP 1 mm Plåt</b>	
1 - 5 Standardplåt	Adm. Kostnad
10 Ton	9 Kr/Kg

Bearbetningsmetoder för ultrahöghållfast stålskiljer sig inte från reguljärt stål förutom att svetsning helst ska ske med låg energi för att minimera påverkan på materialets höga styvhet och seghet.

Ultrahöghållfast stål är fortfarande under utveckling och målet för SSAB är att kunna erbjuda ett ultrahöghållfast stål till samma pris som vanligt stål med samma styrka. Med andra ord ska en lättare komponent i ultrahöghållfast stål vara lika dyr som motsvarande komponent av vanligt kommersiellt stål.

## Stena stål

Rikstäckande metalleverantör av med ett brett sortiment av balk, armering, rör, grovplåt, tunn- och bandplåt, stångstål, rostfritt, verktygsstål, legerat konstruktionsstål, smide och gjutgods. (Stena stål 2013)

Med ett samtal med kontaktperson från säljavdelningen mottogs information och material om prisbilden för stålrörsprofiler.

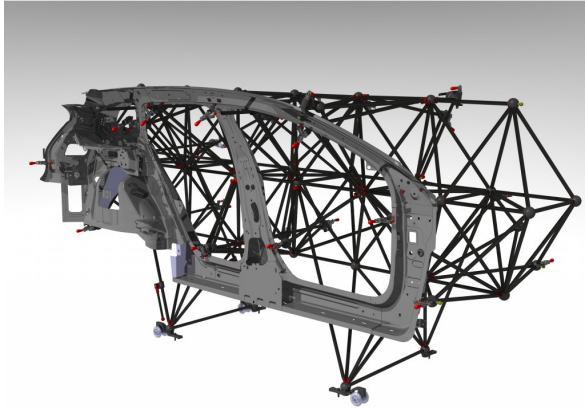
Konstruktionsstål S355J2H, 25x25x3 mm kvadratiska rör med densitet: 1.89 kg/m (Tabell A8)

Tabell A 8: Prisuppgifter för rör från Stena stål

Konstruktionsstål S355J2H, 25 x 25 x 3 mm	
Enstaka Rör	14.05 Kr/Kg
100 kg	11.50 Kr/kg
500 Kg	10.50 Kr/Kg
1 Ton	9.50 Kr/Kg
2 Ton	8.50 Kr/kg

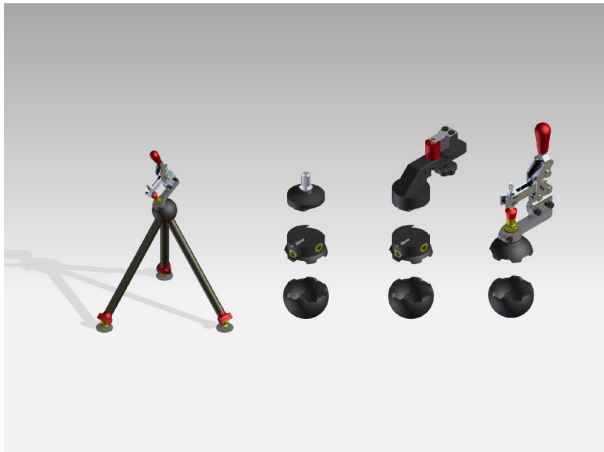
## Tetrafix

Tetrafix är ett litet företag med 8 anställda som främst jobbar med fixturer av olika slag (Figur xx). De använder en patenterad teknik med kolfiberrör som de sammanfogar med knutpunkter svarvade i aluminium eller stål. Fixturerna blir extremt stadiga så oavsett vad som hängs på fixturen flexar inte konstruktionen (Figur A7). Knutpunkterna i en design kostar ca 10 000 kr styck. och rörkostnader ligger mellan 200kr/m och 550kr/m. Vid tillverkning kostar arbetet 1000 kr/h. Företaget gissar att med rätt design skulle de kunna jobba med 5 - 10 ramar per år. De har tyvärr inte möjlighet att ta fram en ny design för kolfiber då de är fullbelagda för ögonblicket. De har däremot vissa möjligheter till rådgivning.



Figur A 7: Fackverk som håller upp en bilkaross sida från Tetrafix

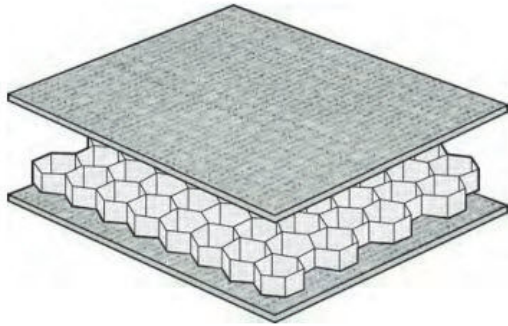
Tetrafix köper in vrid- och böjstyva rör i dimensioner 10 -40 mm. Det är främst pultruderade rör som används där fiberriktningarna är dragna så att tryck och drag samt milda vridmoment klaras. priset på pultruderade rör ligger kring 200 kr/m. De vävda rör som företaget nyligen börjat använda sig av kostar kring 550 kr/m, rören är manuellt tillverkade. I ändarna på rören passas gängade metalldelar in som limmas fast. Knutpunkterna är en tvådelad sfärisk kula (Figur A8), delarna fräses ur till rätt design.



Figur A 8: TV: tre kolfiberrör hopsatta med knutpunkt. TH tre olika varianter på en knutpunkt

Rörens gängade metalldelar passas in i knutpunkterna och skruvas fast från insidan. En fixtur med ca 20 knutpunkter kostar ungefär 300 tusen. Efter att företaget tittat på ritning av lastcykeln konstaterade de att för att passa tetrafix kolfibertechnik måste en omdesign av cykelramen ske. De konstaterade också att den största viktboven var lastutrymmet. Detta skulle kunna lösas med hjälp av en sandwichkonstruktion (Figur A9) med aluminium, glasfiber eller kolfiber som ytterlager och honeycomb material som innerlager.





Figur A 9: Principbild av sandwichmaterial, hårdare yttermaterial och honeycombmaterial i mitten

De sandwich material som Tetrafix jobbar med är 2 till 10 cm tjocka. För att skruva genom sandwichmaterial kan en hylsa med bred topp limmas i på materialet då materialet har svaga kanter. Breda toppen som limmas mot materialet gör att kraften fördelas över större yta. Tetrafix gör inga ytbehandlingar på kolfiberdelarna utan de behandlar endast de metalldelar som ingår i knutpunkterna.

### Tibnor

Tibnor försörjer verkstads-, process-, och byggföretagen i Norden och Baltikum med material. De jobbar med lösningar gällande materialval, logistik och produktion. Tibnor har ca 800 anställda och omsatte 2012 ca 6 miljarder kronor. (Tibnor a, 2013)

I kontakt med innesäljare hos Tibnor framgick att de ståltyper som är intressanta för ramtillverkning med ultrahöghållfast stål kommer ifrån SSAB.

Tibnor säljer även stål:

SS-EN 10305-5 Stålsort E220/E235 (DIN 2395) 25x25x1,25mm kvadratiska rör (Tabell A9).

Rörkostnad: 15,7kr/m+fraktpris+tillägg vid ordrar under 100kg (Tabell A10).

Tabell A 9: Prisuppgifter för stålrör från Tibnor

Viktintervall, kg	Kr/kg	Frakt, kr
0-716		795
717-1 936	1,11	795- 2 149
1 937-2 499		2 149
2 500-2 732	0,86	2 149- 2 350
2 733-4 999		2 350
5 000-7 659	0,47	2 350- 3 600
7 660-9 999		3 600
10 000-	0,36	3 600- -

Tabell A 10: Tilläggspriser vid ordrar under 100 kg, från Tibnor

Poststorlek/orderrad kg	Tillägg
– 49	300 kr
50 – 99	200 kr
100-	–

## Appendix F – Beräkningar

Samanfattning av kostnader beroende på produceringsvolym och material i tabell A11.

Tabell A 11: Kostnader per ram beroende på volym och material

Volym	Ultrahöghållfast stål [Kr/Ram]	Stål [Kr/Ram]	Aluminium [Kr/Ram]	Kolfiber [Kr/Ram]
5	6359	5664	5691	21500*
50	5339	5002	5 071,5	
500	4900	4781	4 786,5	
2000	3852	3789	3794	

\*Endast materialkostnader

### Teoretisk kostnadsberäkning

Teoretisk kostnadsberäkning för ramtillverkning i stål

#### *Parametrar från komponentlista*

Antal komponenter:	$n_{\text{part}} = 31$ (utan lastutrymme)
Antal svetsfogar:	$n_{\text{weld}} = 132$
Totallängd svetsfog:	$L_{\text{weld}} = 6648\text{mm}$
Längd på rörkapning:	$L_{\text{cut}} = 1454.4\text{mm}$
Antal kapningar:	$n_{\text{cut}} = 38$
Antal vinklar kapning:	$n_{\text{cut\_angles}} = 7$
Antal bockningar lastutrymme:	$n_{\text{angles}} = 8$
Area lastutrymme utan bakre plåten:	$A_{\text{part}} = 1.535\text{m}^2$
Standardvinklar bockning:	$n_{\text{std\_angles}} = 2$
Icke standardvinklar bockning:	$n_{\text{nstd\_angles}} = 6$
Längd plåtklippning 1:	$L_{\text{cut\_sheet\_1}} = 2536\text{mm}$
Längd plåtklippning 2:	$L_{\text{cut\_sheet\_2}} = 1424\text{mm}$

#### Kapning av rör och plåt

Kapning av rören antas göras med en bandkap och klippningen av stål antas göras med gasskärning.

#### *Rörkapning*

Matningshastigheten antogs till  $t_{\text{feed}} = 450\text{mm/min}$  (Tooluswebbutik.se).

Ett tillägg gjordes på 60s för varje ny kapning för förberedelser och hämtning av material samt för förflyttning av de kapade rören.

Ytterligare ett tillägg på 60s gjordes för varje byte av kapvinkel.

Tid kapning:  $L_{\text{cut}}/t_{\text{feed}} = 1454,4/450 = 3,24\text{min}$   
 Tid för förberedelser och efterarbete:  $n_{\text{cut}}*t_{\text{cut}} = 38*1 = 38\text{min}$   
 Tid för byte av vinkel:  $n_{\text{cut\_angles}}*t_{\text{cut\_angles}} = 60*7 = 7\text{min}$

### **Total tid rörkapning**

$t = 3,24+38+7 = 48,2\text{ min}$

### **Plåtklippning**

Plåten till lastutrymmet antas skäras ut med hjälp av gasskärning. Gasskärningen består av fyra olika moment, förberedelser, lastningstid, genomträngningstid och kapningstid.

### **Förberedelser**

Tiden för förberedelser räknas ut med formeln  $t = (1/n_b)*(688(1-m_{\text{hand}})+440m_{\text{hand}})$

där  $n_b$  är batch storleken (här antas  $n_b=1$ ),  $m_{\text{hand}}$  är om operationen utförs manuellt eller automatiskt,  $m_{\text{hand}}=1$  om manuellt och 0 om automatiskt (här antas manuell hantering), (Schreve, 2004).

Så formeln för förberedelser blir  $t = (1/1)*(688(1-1)+440*1) = 440\text{s} = 7,3\text{ min}$ .

### **Lastningstid**

Tiden för lastning av material räknas ut enligt följande formel:

$$t = (1/n_s)*(253(1-m_{\text{hand}})+(15,27*A_{\text{part}}+3,59)m_{\text{hand}}),$$

där  $n_s$  är antalet produkter som kan göras ur en plåt (här ett lastutrymme per plåt).

Lastningstiden blir därför  $t = (1/1)*(253(1-1)+(15,27*1,536+3,59)*1) = 238,1\text{s} = 3,97\text{ min}$ , (Schreve,2004).

### **Genomträngningstid**

Genomträngningstiden är den tid som gasskäraren behöver för att först skära igenom plåten. Den beräknas med formeln

$$t = ((1+n_{\text{holes}})/n_{\text{nozzles}})*((1,96t_w+14)+11t_c(1+n_{\text{holes}})),$$

där  $n_{\text{holes}}$  är de antal hål som behövs för att skära ut delen, alltså hur många gånger man behöver flytta skäraren,  $n_{\text{nozzles}}$  är antalet munstycken till skäraren (här antaget till 1),  $t_w$  är plåtens tjocklek och  $t_c$  är ett tillägg som blir 1 om plåten är tjockare än 30mm, 0 annars. Detta medför att genomskärningstiden för de två delarna till lastutrymmet är

$$t = ((1+2)/1)*((1,96*1+14)+11*0(1+1)) = 47,9\text{s} = 0,8\text{ min}, \text{ (Schreve, 2004).}$$

### **Klippningstidstid**

Klippningstidenstiden är den tid som krävs för själva klippningen, den beräknas enligt formeln

$$t = (60*L_{\text{cut}})/(946,46t_w^{-0,3901})n_{\text{nozzles}}$$

så tiden för de båda delarna blir  $t_1 = (60*2536)/(946,46*1^{-0,3901}) = 160,8\text{s} = 2,68\text{min}$  och

$t_2 = (60*1424)/(946,46*1^{-0,3901}) = 90\text{s} = 1,5\text{ min}$ , (Schreve, 2004).

### ***Totala tiden för klippning***

$$t = 7.3+4+0.8+2.68+1.5 = 16.3 \text{ min}$$

### **Svetsning**

Svetsningen av rörkonstruktionen görs i två steg där det första är häftsvetsning där rören fästs med en liten svetspunkt och sedan själva svetsningen där rören svetsas ihop.

### ***Förberedande svetsning***

Tiden för att positionera röret i rätt läge inför svetsning beräknades med formeln

$$t = 17m_{\text{part}}^{0.369} * L_j^{0.249},$$

där  $L_j$  är rörets längd och  $m_{\text{part}}$  är rörets massa. Detta beräknades med hjälp av komponentlistan och den sammanlagda tiden för positionering blev

$$t = 61 \text{ s} = 1,02 \text{ min (Schreve, 2004)}. \text{ Ett tillägg på 30 min gjordes för häftsvetsning.}$$

### ***Svetsning***

Svetsningen antogs kunna utföras med hastigheten 0,145 m/min (Masmoudi, 2007), med ett tillägg på 4 s för varje ny svetsfog och ett tillägg på 60s för varje ny del. Den totala längden på svetsfogarna togs från komponentlistan och uppgick till 664,8 cm, tiden för att svetsa blir därmed  $t = 6,648/0,145 = 45,85 \text{ min}$ .

Antalet svetsfogar är 132, tillägget för varje ny svetsfog beräknades därmed till

$$t = 4 * 132 = 264 \text{ s} = 4,4 \text{ min. Antalet rördelar i ramen är 31 tillägget för varje ny del blir därmed}$$

$$t = 60 * 31 = 1860 \text{ s} = 31 \text{ min}$$

### ***Total tid svetsning***

Den totala tiden för svetsningen av rörkonstruktionen beräknades till

$$t = 1.02+30+45.85+4.4+31 = 112,3 \text{ min}$$

### **Bockning**

Bockningen av plåten till lastutrymmet består av tre olika steg förberedelser, på-/avlastningstid och bockningscykeln

### ***Förberedelser***

Förberedelser av bockningsmaskin beräknades med hjälp av formeln

$$t = (1/n_b) * (1467/n_{\text{angles}} + 565n_{\text{std\_angles}} + 831n_{\text{nstd\_angles}}) = (1/1) * 1467/8 + 565 * 2 + 831 * 6 = 6299 \text{ s} = 105 \text{ min (Schreve, 2004)}.$$

### ***På-/avlastningstid***

På- och avlastningstiden beräknades med formeln

$$t = [(25.8A_{\text{part}} + 5.5)m_{\text{hand}} + 98.5(m_{\text{hand}} - 1)] * (n_{\text{std\_angles}} + n_{\text{nstd\_angles}}) =$$

$[(25.8*1.535+5.5)*1+98.5*(1-1)](2+6) = 360 \text{ s} = 6 \text{ min}$  (Schreve, 2004).

### *Bockningscykel*

Cykeltiden för bockningen av plåten beräknades med

$$t = (0.05L_b*t_w*\Theta_b+0.67*t_w+2.8)(n_{std\_angles}+n_{nstd\_angles}) = (0.05*1000*10.96+0.67*1+2.8)*8 = 4411 \text{ s} = 73.5 \text{ min}$$
 (Schreve, 2004).

### *Total tid bockning*

Den totala tiden för bockningsoperationen blir

$$t = 105+6+73.5 = 184,5 \text{ min}$$

### **Borrning och gängning**

Tiden för borrning och gängning uppskattades till 45 min.

### **Efterbehandling**

Efterbehandling av ramen så som slipning av svetsfogar uppskattades till 60 min.

### **Montering av lastutrymme**

Montering av lastutrymmet på rörkonstruktionen uppskattades till 25 min.

### **Kostnad**

Kostnaden beräknades med hjälp av den uträknade tiden och prisuppgifterna från Härryda mekaniska (Appendix E, Härryda mekaniska verkstad AB) (Tabell A12).

**Tabell A 12: Teoretisk kostnad för tillverkning av cykelram**

Operation	Tid [min]	Pris [kr/min]	Kostnad [kr]
Svets	112.3	10	1123
Rörkapning	48.2	8.43	401.7
Bockning	184.5	8.43	1537.5
Håltagning	45	10	450
Klippning av plåt	16.3	8.43	135.9
Efterbehandling	60	8.43	500
Montering lastut.	25	8.34	208.3
<b>Totalt</b>	<b>491.3</b>		<b>4356.4</b>

## Ultrahöghållfast stål

Kostnadskalkyl material

*Kostnadskalkyl med relevanta parametrar som används i formlerna presenterade*

### **Parametrar från komponentlista**

Area lastutrymme:	1826513.60 mm <sup>2</sup>
Total längd rör i konstruktionen:	11918.70 mm
Volym material:	2966374.30 mm <sup>3</sup>

### **Vikt**

Rör vikt: 1 kg/m

Total vikt rör i konstruktionen: 11918.70 mm 11.9187 mm 1 kg/m = 11.9187 kg

Densitetet plåt för lastutrymme: 7.85 kg/dm<sup>3</sup>

Total vikt lastutrymme: 1826513.60 mm<sup>2</sup> 1.82651360 dm<sup>2</sup> 7.85 kg/dm<sup>3</sup> = 14.338 kg

**Total vikt ram:** 11.9187 kg+ 14.338 kg = **20.26 kg**

### **Materialkostnad**

Materialprisuppgifter från SSAB (Appendix E, SSAB)

#### **Volym 5:**

Rör: 11.9187 m 5 st = 59.59 m Kostnad per meter: 23.33 kr/m + 3000 kr (Admin. Kost.)

59.59 m 23.33 kr + 3000 kr = 4390.31 kr

Lastutrymme: 14.338 kg 5 st = 71.69 kg Kostnad per kg: 14 kr/kg

71.69 kg 14 kr = 1003.66 kr

**Summa Totalt:** 5393.90 kr **1078.80 kr** per ram

#### **Volym 50:**

Rör: 11.9187 m 50 st = 595.9 m Kostnad per meter: 23.33 kr/m + 3000 kr

595.9 m 23.33 kr + 3000 kr = 16903.20 kr

Lastutrymme: 14.338 kg 50 st = 716.9 kg Kostnad per kg: 14 kr/kg

716.9 kg 14 kr = 10036.6 kr

**Summa Totalt:** 26939.80 kr **538.80 kr** per ram

#### **Volym 500:**

Rör: 11.9187 m 500 st = 5959.35 m Kostnad per meter: 14 kr/m

5959.35 m 14 kr/m = 83430.90 kr

Lastutrymme: 14.338 kg 500 st = 7169 kg Kostnad per kg: 10 kr/kg

7169 kg 10 kr = 71690 kr

**Summa Totalt:** 155120.90 kr **310.20 kr** per ram

#### **Volym 2000:**

Rör: 11.9187 m 2000 st = 23837.40 m Kostnad per meter: 10.25 kr/m

23837.40 m 10.25 kr/m = 244333.35 kr

Lastutrymme: 14.338 kg 2000 st = 28676 kg Kostnad per kg: 9 kr/kg

28676 kg 9 kr = 258084 kr

**Summa Totalt:** 502417.35 kr **251.20 kr** per ram

Rör och plåt från SSAB kostar följande från tabell A13.

**Tabell A 13: Materialkostnad från SSAB beroende på volym**

Volym	Material kost. SSAB [kr/ram]
5	1078.80
50	538.80
500	310.30
2000	251.20

Endast rör från Sandvik kommer kosta följande från tabell A14:

Beräkningar utfördes med materialprisuppgifter från Sandvik (Appendix E, Sandvik)

**Tabell A 14: Materialkostnad från Sandvik beroende på volym**

Volym	Material kost. SANDVIK [kr/ram]
5	6638
50	4469.50
500	4469.50
2000	4469.50

Total kostnad för lågvolumsproduktion i tabell A15.

Material från SSAB och verkstadskostnader från ELWE (Appendix E, SSAB och Appendix E, ELWE).

**Tabell A 15: totalkostnad med SSAB och ELWE**

Volym	SSAB ELWE [kr/ram]
5	6359
50	5339



Total kostnad för hög volymsproduktion i tabell A16.

Material från SSAB och verkstadskostnader från Mekpart AB (Appendix E, SSAB och Appendix E, Mekpart AB).

**Tabell A 16: Totalkostnad med SSAB och Mekpart AB**

Volym	SSAB MEKPART AB [kr/ram]
500	4900
2000	3852

## Stål

### Materialkostnad Stena stål

(Appendix E, Stena stål)

Konstruktionsstål S355J2H, 25x25x3 mm kvadratiska rör

Densitet: 1.89 kg/m

Kostnad per meter rör:

(kr/kg \* kg/m = kr/m)

Enstaka rör:

14.05 kr/kg \* 1.89kg/m = 26.55 kr/m

100 kg: 11.50 kr/kg \* 1.89kg/m = 21.74kr/m

500 kg: 10.50 kr/kg \* 1.89kg/m = 19.85kr/m

1 ton: 9.50 kr/kg \* 1.89kg/m = 18.00kr/m

2 ton: 8.50 kr/kg \* 1.89kg/m = 16.07kr/m

ram:

1 ram rör längd : 11.9187m

1 ram rör vikt : 11.9187m\*1.89kg/m = 22,53 kg

### Volym 5:

rörlängd: 11.9187 m \*5 = 59,59 m

vikt: 22.53 kg\* 5 = 112.6 kg

summa total: 21.74 kr/m\*59.59m = 1 295kr

**per ram: 1295 kr/5 = 259kr**

### Volym 50:

rörlängd: 11.9187 m \*50 = 595.94 m

vikt: 22.53 kg\* 50 = 1126kg

summa total: 18 kr/m\*595,94 m = 10 726kr

**per ram: 214 kr**

**Volym 500:**

rörlängd:  $11.9187 \text{ m} * 500 = 5959.35 \text{ m}$

vikt:  $22.53 \text{ kg} * 500 = 11260 \text{ kg}$

summa total:  $16.07 \text{ kr/m} * 5959.35 = 95\,766.75 \text{ kr}$

**per ram: 191 kr**

**Volym 2000:**

rörlängd:  $11.9187 \text{ m} * 2\,000 = 23\,837.4 \text{ m}$

vikt:  $22.53 \text{ kg} * 5 = 45\,040 \text{ kg}$

summa total:  $16.07 \text{ kr/m} * 23\,837.4 \text{ m} = 383\,067 \text{ kr}$

**per ram: 191 kr**

Materialkostnad per ram från stena stål i tabell A17.

Tabell A 17: Rörcostnad beroende av volum från Stena stål

Volym	Material kost. STENA [kr/ram]
5	259
50	214
500	191
2000	191

**Materialkostnad Tibnor**

(Appendix E, Tibnor)

SS-EN 10305-5 Stålsort E220/E235 (DIN 2395).

Kostnad per meter rör  $15.70 \text{ kr/m} + \text{fraktpris}$  och tillägg på ordrar under 100kg (enligt tabell xx).

Vikt rör =  $0.93 \text{ kg/m}$

**Volym 5:**

Längd:  $59.59 \text{ m}$

Vikt:  $0.93 * 59.59 = 55.1 \text{ kg}$

Kostnad:  $15.7 * 59.59 + 795 + 200 = 1924.4 \text{ kr}$

Kostnad per ram:  $1924.4 / 5 = 384.9 \text{ kr}$

**Volym 50:**

Längd:  $595.9 \text{ m}$

Vikt:  $0.93 * 595.5 = 550.6 \text{ kg}$

Kostnad:  $15.7 * 595.5 + 795 = 10089.4 \text{ kr}$

Kostnad per ram:  $10089.4/50 = 201.8$  kr

**Volym 500:**

Längd: 5959 m

Vikt:  $0.93*5959 = 5505.6$  kg

Kostnad:  $15.7*5959 + .47*5505.6 = 95531.6$  kr

Kostnad per ram:  $95531.6/500 = 191$  kr

**Volym 2000:**

Längd: 23836 m

Vikt:  $0.93*23836 = 22167.5$ kg

Kostnad:  $15.7*23836 = 374225.2$ kr

Kostnad/ram:  $374225.2/2000 = 189.9$  kr

Rörkostnad per ram med stål från Tibnor i tabell A18.

**Tabell A 18: Rörkostnad beroende på volym från Tibnor.**

Volym	Material kost. TIBNOR[kr/ram]
5	384.9
50	201.8
500	191
2000	189.9

**Total ramkostnad Tibnor och ELWE**

**Volym 5:**

$384.9$  kr/ram +  $5\ 280$  kr/ram = **5664 kr/ram**

**Volym 50:**

$201.8$  kr/ram +  $4\ 800$  kr/ram = **5001,8 kr/ram**

Total ramkostnad för låg volym-kombinationen Tibnor och ELWE i tabell A19.

**Tabell A 19: Totalramkostnad med Tibnor och ELWE**

Volym	TIBNOR ELWE [kr/ram]
5	5664
50	5001.8

**Tibnor och Mekpart AB**

**Volym 500:**

$191$  kr/ram +  $4590$  kr/ram =  $4781$  kr/ram

**Volym 2 000:**

$189.8$  kr/ram +  $3\ 600$  kr/ram =  $3789.8$  kr/ram

Totala ramkostnad för hög volym-kombinationen Tibnor och Mekpart blir:

Volym	TIBNOR MEKPART AB [kr/ram]
500	4781
2000	3789

## Aluminium

### Tibnor

Pris material: 192.20 kr /ram + leveranskostnader (Tibnor b, 2013)

### Leveranskostnad Tibnor

Leveranskostnaden från Tibnor beräknas på samma sätt som för stål.

**Volym 5:**  $4.22 * 5 = 21.1 \text{ kg}$ , leveranskostnad/ram =  $(795+300)/5 = 219 \text{ kr}$

**Volym 50:**  $4.22 * 50 = 211 \text{ kg}$ , leveranskostnad/ram =  $795/10 = 79.5 \text{ kr}$

**Volym 500:**  $4.22 * 500 = 2110 \text{ kg}$ , leveranskostnad/ram =  $2149/500 = 4.3 \text{ kr}$

**Volym 2000:**  $4.22 * 2000 = 8440 \text{ kg}$ , leveranskostnad/ram =  $3600/2000 = 1.8 \text{ kr}$

### Rörkostnad från Tibnor

**Volym 5:**  $192.20 \text{ kr/ram} + 219 \text{ kr} = 411.2 \text{ kr/ram}$

**Volym 50:**  $192.20 \text{ kr/ram} + 79.5 \text{ kr} = 271.7 \text{ kr/ram}$

**Volym 500:**  $192.20 \text{ kr/ram} + 4.3 \text{ kr} = 196.5 \text{ kr/ram}$

**Volym 2000:**  $192.20 \text{ kr/ram} + 1.8 \text{ kr} = 194 \text{ kr/ram}$

Total ramkostnad för Tibnor och ELWE låg volym-kombination i tabell A20.

**Tabell A 20: Total ramkostnad med Tibnor och ELWE.**

Volym	TIBNOR ELWE [kr/ram]
5	5472
50	4992

Total ramkostnad för Tibnor och Mekpart AB hög volym-kombination i tabell A 21.

**Tabell A 21: Total ramkostnad med Tibnor och Mekpart AB**

Volym	TIBNOR MEKPART AB [kr/ram]
500	4782.20
2000	3792.20

## Kolfiber

En grov uppskattning av hur mycket kolfiber till en cykelram kan kosta, kan göras genom att utgå från ritning gjord för stål. Teoretiskt kommer en cykelram med lastutrymme i stål att väga 23,3 kg, utan lastutrymme väger ramkonstruktionen 9 kg. (Från uppgifter i komponentlistan) Med utgångspunkt att lika stor mängd kolfiber som stål kommer att behövas vid tillverkning av en cykelram kommer konstruktionen bli uppskattningsvis 4 gånger lättare (Appendix E, Composite design). Antagen vikt är 9 kg (lastcykelram utan lastutrymme då lastutrymmet bäst görs i annat material än kolfiber). En ram (utan lastutrymme) i kolfiber kommer uppskattningsvis väga 2,25 kg (Ekvation 1).

$$9 \text{ kg} / 4 = 2,25 \text{ kg} \quad \text{Ekvation 1}$$

Kostnaderna är framtagna enligt följande beräkningar och uppskattningar:

- Tetrafix (Appendix E, Tetrafix) köper in rör mellan 200kr/m och 550kr/m. Då cykelramen nu har en rörlängd på 11.9 m (från komponentlista) kommer priset på materialinköp av kolfiberrör att ligga mellan 2 380 kr och 6 545 kr per ram (ekvation 6 och ekvation 7)

$$11,9 \text{ m/ram} * 200 \text{ kr} = 2\,380 \text{ kr/ram} \quad \text{Ekvation 6}$$

$$11,9 \text{ m/ram} * 550 \text{ kr} = 6\,545 \text{ kr/ram} \quad \text{Ekvation 7}$$

En grov gissning gjord av kandidatgruppen är att maximalt 3 stora knutpunkter kommer att användas i konstruktionen. Då en stor knutpunkt kostar 10 000 kommer knutpunkterna att kosta 30 000 kr per ram.

Det medför att ramen kommer att kosta mellan 32 380 kr och 36 545 kr (ekvation 8 och ekvation 9)

$$30\,000 \text{ kr/ram} + 2\,380 \text{ kr/ram} = 32\,380 \text{ kr/ram} \quad \text{Ekvation 8}$$

$$30\,000 \text{ kr/ram} + 6\,545 \text{ kr/ram} = 36\,545 \text{ kr/ram} \quad \text{Ekvation 9}$$

- Enligt Composite design (Appendix E, Composite design) kommer materialkostnaden uppgå till ca 22 500 kr enligt ekvation 2 då företagets materialinköpspris ligger på 10 000 kr/kg.

$$2,25 \text{ kg} * 10\,000 \text{ kr/kg} = 22\,500 \text{ kr} \quad \text{Ekvation 2}$$

- JPC Composite (Appendix E, JPC Composite) antar att kolfiberväv som köps in till cykelramen kommer att kosta mellan 400 kr/m<sup>2</sup> och 500 kr/m<sup>2</sup> för att uppfylla cykelramens hållfasthetskrav. Enligt Carbix väger en kolfiberväv som kostar 417 kr/m<sup>2</sup> 65g/m<sup>2</sup> (Carbix a, 2013). Antalet m<sup>2</sup> kolfiberväv som cykelramen kommer att kräva räknas mycket grovt fram med ekvation 3.

$$2,25 \text{ kg} / (65/1000) \text{ kg} = 34,6 \quad \text{Ekvation 3}$$

Med väv på 417 kr/m<sup>2</sup> kommer kolfiberväv till cykelramen att kosta 14 428kr (Ekvation 4).

$$34,6 * 417 \text{ kr} = 14\,428 \text{ kr} \quad \text{Ekvation 4}$$

Om en kolfiberväv från Carbix väljs där fibrerna inte går åt samma håll utan korsar varandra i olika riktningar kan TeXtreme kolfiberväv 240 g/m<sup>2</sup> väljas, som kostar 549 kr/m<sup>2</sup> (Carbix b, 2013). Utgår från att det fortfarande behövs 34,6 m<sup>2</sup> (Ekvation 3) för att täcka cykelramens behov av väv och kostnaden per m<sup>2</sup> ligger på 549kr kommer inköp av material kosta 18 994kr per cykelram enligt ekvation 5.

$$34,6 * 549 \text{ kr} = 18\,994 \text{ kr}$$

Ekvation 5

- Panthera (Appendix E, Panthera) uppskattade att materialkostnaden för en cykelram skulle gå på mellan 10 000 kr och 15 000 kr per cykelram.

## **Appendix G - Fabrikslayoutsberäkningar**

### **Kolfiber**

Antag 240 dagars montering på ett år med 8 timmars arbetsdagar. Det ger 1920 möjliga tillverkningstimmar ( $240\text{dagar} * 8\text{timmar} = 1920\text{ timmar}$ )

Om 2000 cykelramar ska tillverkas måste 0,96 cykelramar tillverkas per timme  
( $1920\text{timmar} / 2000\text{ramar} = 0,96$ )

Om avrundning till att 1 cykelram ska tillverkas i timmen och fabriken arbetar i 250 dagar per år kommer 4 autoklaverer att behöva finnas i fabriken. Om 5 autoklaverer skaffas kan tillverkningen utökas med ytterligare 500 cykelramar per år ( $2000/4 = 500$ ) Om endast 500 ramar ska tillverkas per år behövs 1 autoklav.

## Appendix H - CES dokument

### Ultrahöghållfast stål

Det har valts att utgå ifrån att ultrahöghållfast stål liknande SSAB DOCOL 1000 egenskaper såsom brottgräns och sträckgräns. Detta material väljs i programmet genom att välja material område och definiera dessa egenskaper och sortera bort övriga material.

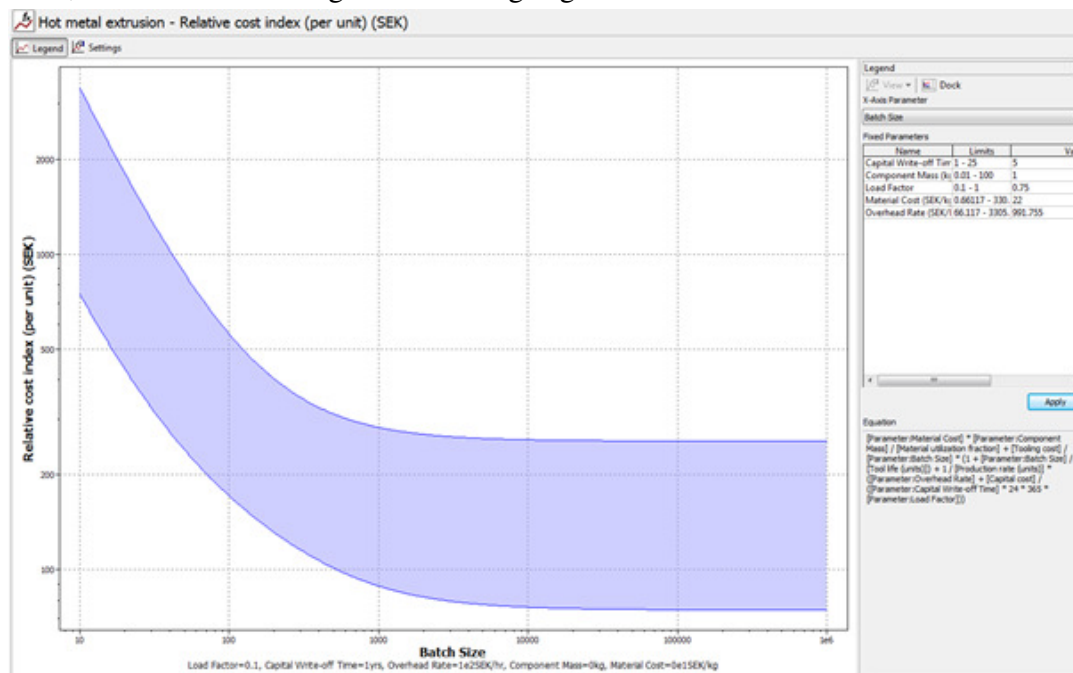
Det som är mest lik i fallet med ultrahöghållfast stål är CES materialet "Stainless steel, austenitic, AISI 301, wrought, 3/4 hard". Därefter kan man via programmet se vilka tillverkningsprocesser som är tillgängliga. Eftersom utgångsmaterialet för ultrahöghållfast stål är i plåtform väljs detta och man får ett antal alternativ. Utefter önskad geometri, i detta fall en fyrkantsprofil, sorteras rullformning fram. Inbyggt i CES finns en kostnadsuppskattning som beror på ett antal faktorer såsom materialkostnad, verktygskostnad, tillverkningsvolym m.m. Dessa faktorer får man reda på i tabellerna som redovisas i programmet för respektive material och tillverkningsprocess.

Men ibland räcker inte dessa för att göra en kostnadsuppskattning. Så är det i fallet med ultrahöghållfast stål. Detta kan bero på att det inte finns tillräckligt med information för att göra en rimlig uppskattning.

Kostnad per enhet: "Ej tillgänglig"

### Stål

Med stål är det lämpligaste tillverkningsmetoden "Hot metal Extrusion". Med det givna materialet "Stainless steel, austenitic, AISI 301, wrought, 1/2 hard", framtaget med metoden ovan, blir kostnaden för kg material enligt figur A10:

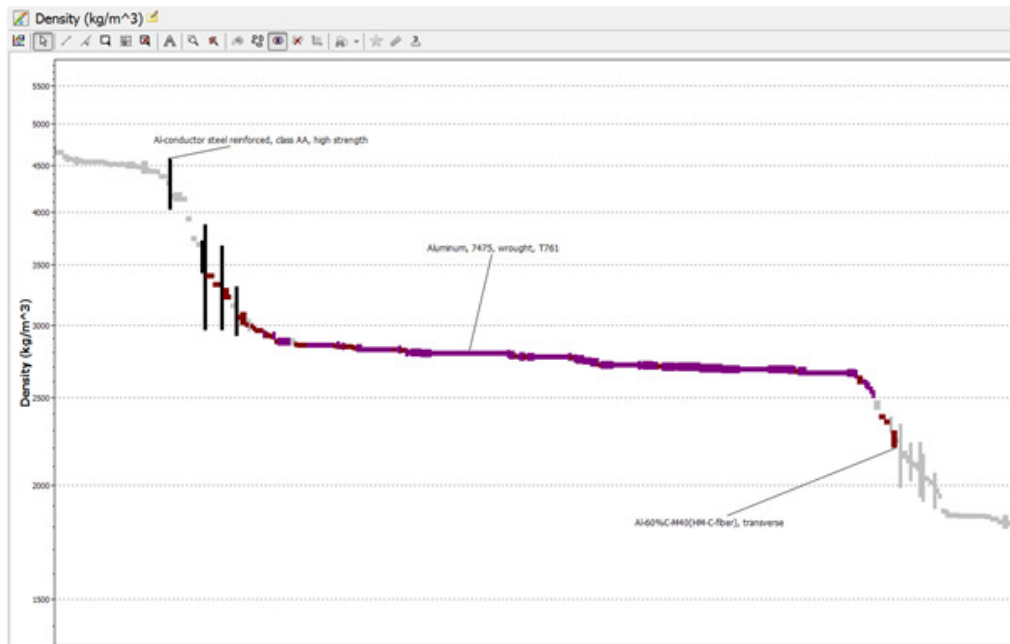


Figur A 10: Kostnad per kg stål 88,7kr - 282 kr



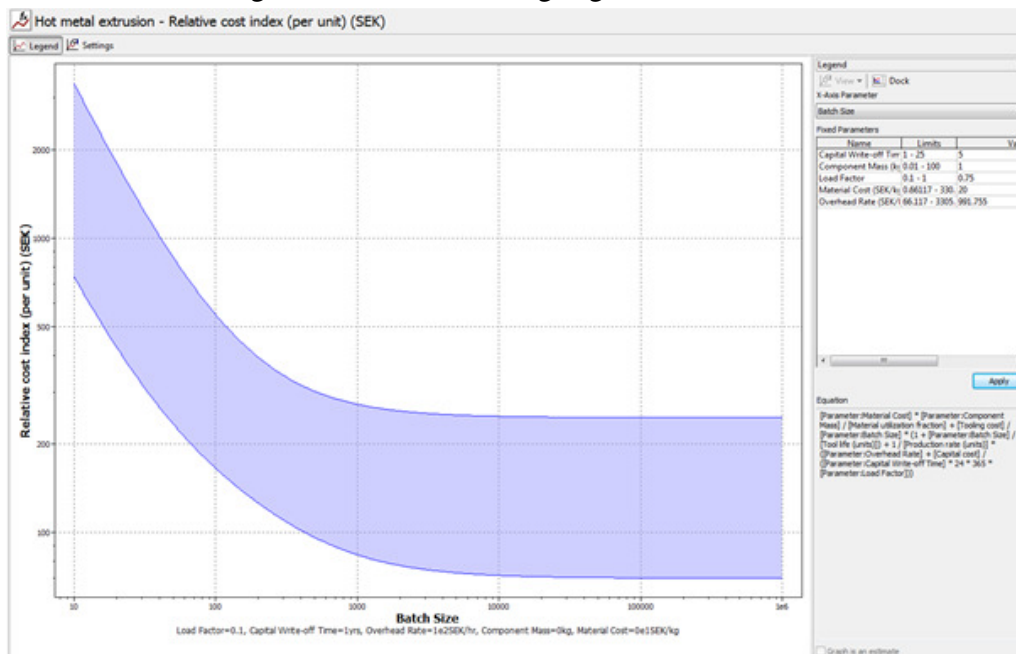
## Aluminium

För att sortera fram en viss aluminium-typ används en graf (Figur A11).



Figur A 11: Densitet för olika aluminiumtyper

Materialet ” Aluminum, 7475, wrought, T761” väljs. Med tillverkningen ”Hot metal Extrusion” blir kostnaden för kg rör eller material enligt figur A12

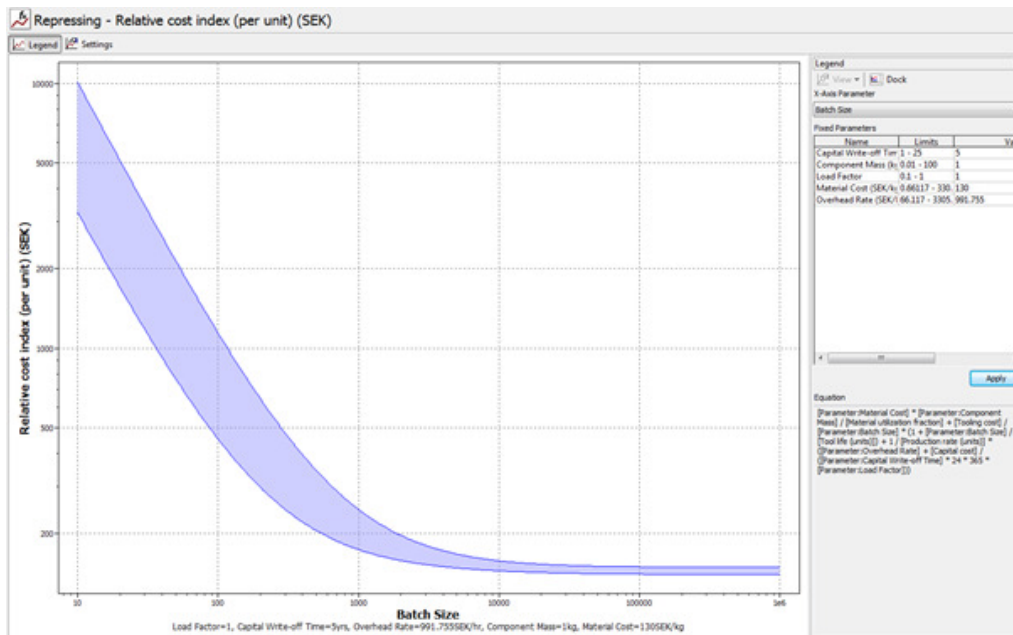


Figur A 12: Kostnad per kg aluminium, 84kr - 273 kr

## Kolfiber

I CES finns ett material som heter ”Carbon fiber reinforced carbon matrix composite (Vf:50%)” med en materialkostnad på ca 1370 - 1510 SEK/kg. Sedan väljs tillverkningsmetod ”Repressing” och maximerar materialkostnaden i kostnads formeln hamnar priset på enostnad per kg rör eller material: 174 – 247 SE (Figur A13)

Värden kan verka orimligt men detta är kostnaden efter väldigt höga volymer. Se graf:



Figur A 13: Kostnad per kg kolfiber, 174 kr – 247 kr