

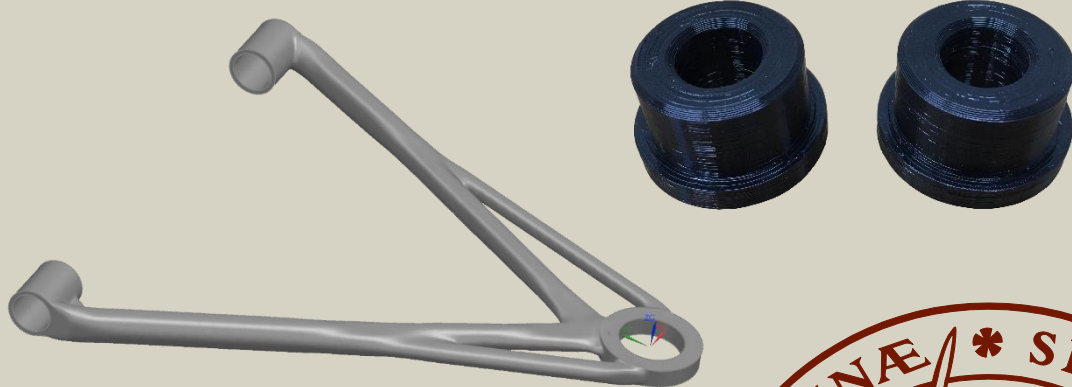
Additiv tillverkning och lönsamhet

Ekonomisk analys och utveckling av två komponenter till en elbil

Oskar Wikström

AVDELNINGEN FÖR PRODUKTUTVECKLING
INSTITUTIONEN FÖR DESIGNVETENSKAPER | LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
LUNDS UNIVERSITET
2020

EXAMENSARBETE



Ecoist



Additiv tillverkning och lönsamhet

Ekonomisk analys och utveckling av två komponenter
till en elbil

Oskar Wikström



LUNDS
UNIVERSITET

Additiv tillverkning och lönsamhet

Ekonomisk analys och utveckling av två komponenter till en elbil

Copyright © 2020 Oskar Wikström

Publicerad av

Institutionen för designvetenskaper
Lunds Tekniska Högskola, Lunds universitet
Box 118, 221 00 Lund

Ämne: Teknisk design (MMKM10)
Avdelning: Produktutveckling
Huvudhandledare: Per-Erik Andersson
Bitr. handledare: Axel Nordin
Examinator: Per Kristav

Abstract

Ecoist AB is developing a three-wheeled electric car with two seats. Two components for the vehicle have been examined: the upper wishbone in the front wheel suspension and a bushing that is mounted in this wishbone. The goal of the thesis has been to examine any potential functional or economic advantages of manufacturing these using 3D-printing. Different ways of producing the components have been investigated and information has been gathered to compare costs for different manufacturers of 3D-printed components.

The cost of purchasing 3D-printed bushings from a supplier has been compared with buying ready-made standard bushings, as well as printing the bushings in one's own 3D printer. The cheapest option has turned out to be to 3D-print the component oneself. Therefore, a method has been developed to manufacture bushings in a soft material in a printer that Ecoist currently has access to. During the development work, there have been recurring problems with incomplete prints of the bushing. The developed method should be reliable but has not been tested on a large scale to determine if interruptions in the printouts will be a problem. Limited tests of the bushings' mechanical properties and resistance to various environmental factors have been carried out. The tests have given good results, but more tests should be done to ensure the properties of the bushings.

As cost data for Ecoist's current wishbone solution has been missing, no direct cost-comparison has been possible for this component. At the time of writing, it has also not been decided how the wishbones will be manufactured. Since it is possible that the wishbones might be 3D-printed, a topology optimization has been made of the wishbone to produce a geometry that is optimized for 3D printing. The conditions for this work have been simplified and the work has resulted in a basis for a method that can be developed further.

Keywords: additive manufacturing, cost analysis, thermoplastic polyurethane, fused deposition modeling, topology optimization, Siemens NX

Sammanfattning

Ecoist AB utvecklar en prototyp till en trehjulig elbil för två personer. Två komponenter till fordonet har undersökts: den övre bärarmen i den främre hjulupphängningen och en bussning som sitter i denna bärarm. Målet med examensarbetet har varit att se om det finns några funktionella eller ekonomiska fördelar med att tillverka dessa genom 3D-printing. Olika sätt att framställa komponenterna har undersökts och underlag har tagits fram för att jämföra kostnader för olika tillverkare av 3D-printade komponenter.

Kostnaden att köpa in 3D-printade bussningar från leverantör har jämförts med att köpa färdiga standardbussningar samt att skriva ut bussningarna i en egen 3D-skrivare. Det billigaste alternativet har visat sig vara att 3D-printa komponenten själv. Därför har en metod utvecklats för att tillverka bussningar i ett mjukt material i en skrivare som Ecoist har tillgång till i dagsläget. Under utvecklingsarbetet har det funnits återkommande problem med ofullständiga utskriften av bussningen. Den framtagna metoden bör vara pålitlig men har inte testats i större skala för att avgöra om avbrott i utskriften kommer att vara ett problem. Begränsade tester av bussningarnas mekaniska egenskaper och motståndskraft mot olika miljöfaktorer har genomförts. Testerna har gett goda resultat men fler tester bör göras för att säkerställa bussningarnas egenskaper.

Då det har saknats kostnadsdata för Ecoists nuvarande bärarmslösning har ingen direkt kostnadsjämförelse kunnat göras för denna komponent. I skrivande stund är det heller inte beslutat hur bärarmarna ska tillverkas. Eftersom det är möjligt att bärarmarna kommer att 3D-printas har en topologioptimering gjorts av bärarmen för att ta fram en geometri som är optimerad för 3D-print. Förutsättningarna för detta arbete har varit förenklade och arbetet har resulterat i en grund för en metod som kan utvecklas vidare.

Nyckelord: additiv tillverkning, kostnadsanalys, termoplastisk polyuretan, fused deposition modeling, topologioptimering, Siemens NX

Erkännanden

Jag vill rikta ett tack till mina handledare på LTH, Per-Erik Andersson och Axel Nordin, för deras hjälp och vägledning. Tack till Thomas Koch på Ecoist för ett trevligt samarbete. Tack till personalen på Inventor för tillgång till tekniska resurser, samt en trevlig arbetsmiljö. Tack även till Rolf Emdevik på Siemens för handledning med mjukvara och Jessica Dahlström på avdelningen för byggnadsmekanik på LTH för hjälp med att utföra tester. Tack Johanna Krogager och Philip Björk för opponering och värdefull feedback på rapporten. Slutligen tack till verkstadspersonalen på IKDC för hjälp med utrustning för tester.

Lund, december 2020

Oskar Wikström

Innehållsförteckning

1 Inledning	10
1.1 Företaget	10
1.2 Bakgrund	11
1.3 Mål	11
1.4 Omfattning och begränsningar	11
2 Metodik	13
3 Undersöka	15
3.1 Beskrivning av utvalda komponenter	15
3.1.1 Bärarm	15
3.1.2 Bussning	20
3.2 Additiv tillverkning – teori	22
3.2.1 Fused deposition modeling	23
3.3 Potentiella leverantörer av 3D-printade komponenter	24
3.3.1 Bussning	25
3.3.2 Bärarm	26
3.4 Sammanfattning Undersöka	26
4 Analysera	28
4.1 Bussning	28
4.1.1 Kostnadsanalys av bussning	28
4.1.2 Val av metod för vidareutveckling	29
4.2 Bärarm	30
4.2.1 Kostnadsanalys av bärarm	30
4.2.2 Val av metod för vidareutveckling	30
4.3 Sammanfattning Analysera	31
5 Utveckla	32

5.1 Bussning	32
5.1.1 Utskrifter	32
5.1.2 Tester	35
5.2 Bärarm	39
5.2.1 Topologioptimering	41
5.2.2 Performance validation	44
5.3 Sammanfattning Utveckla	47
6 Leverera	48
6.1 Bussning	48
6.1.1 Utvärdering av alternativ	48
6.1.2 Allmän diskussion	50
6.1.3 Förslag på fortsatt arbete	52
6.2 Bärarm	53
6.2.1 Allmän diskussion	53
6.2.2 Förslag på fortsatt arbete	54
6.3 Övrig diskussion	55
6.3.1 Uppfyllande av målbeskrivning	55
6.3.2 Leverantörer	56
6.3.3 Metodik	56
6.3.4 Lönsamhetsaspekter	57
6.3.5 Tidsplan	57
Referenslista	58
Bilaga A – Tidsplan	62
Bilaga B – Ritning bärarm	63
Bilaga C – Offerter bussning	64
C.1 Rally Design – jämförelsevärde	64
C.2 3D Hubs	65
C.3 3DVerkstan	66
C.4 Huggare Polymekaniska	66
C.5 Materialise	67

C.6 Protolabs	68
C.7 Prototal	69
C.8 Shapeways	70
Bilaga D – Offerter bärarm	71
D.1 3D Hubs	72
D.2 Addema	73
D.3 Amexci	74
D.4 Fit	75
D.5 Materialise	76
D.6 Protolabs	77
D.7 Shapeways	78
Bilaga E – Inställningar för utskrift av bussningar	79
Bilaga F – Materialdatablad	88

1 Inledning

I detta kapitel introduceras examensarbetets bakgrund, mål och förutsättningar.

1.1 Företaget

Ecoist AB är lokaliserat i Ängelholm och grundades 2017 av Thomas Koch, som bl.a. tidigare arbetat på Koenigsegg. Företaget utvecklar Ecoist Tian, en elektrisk trehjulig bil för två personer. Den första serien om 20 bilar kommer att lanseras 2021 och en bil kommer att kosta 185 000 kr. Företagets hemsida är ecoistcars.com. [1]

Figur 1.1 visar den första prototypen.



Figur 1.1 Prototyp av Tian. Bild tagen 6 maj 2020.

1.2 Bakgrund

Additiv tillverkning, eller additive manufacturing (AM) är en teknik som utvecklats mycket under de senaste åren och många företag undersöker fördelarna med att använda AM för prototyper och produktion. Två komponenter till Tian har valts ut av Ecoist för att undersökas närmare. En bussning och en bärarm har undersökts för att se om det finns några funktionella eller ekonomiska fördelar med att tillverka dessa med AM.

1.3 Mål

Examensarbetets mål är:

- Att utföra en ekonomisk jämförelse mellan olika sätt att framställa komponenterna. De metoder som övervägts är att 3D-printa komponenterna själv, köpa in 3D-printade komponenter från leverantör eller att fortsätta med den lösning som Ecoist använder i nuläget. För de metoder av dessa där det är möjligt och relevant att ta fram kostnadsdata ska en jämförelse göras för att se vilket sätt som är billigast.
- Att, där det är möjligt och relevant, optimera designen på komponenterna för AM och/eller att optimera utskriftsprocessen och dess parametrar.

Då målen inte har varit mer preciserade har det funnits utrymme att anpassa hur målen ska uppfyllas under projektets gång och formuleringen tillåter också att delar av målen kan bortses ifrån genom avgränsningar (t.ex. att utesluta ett alternativ i kostnadsanalysen) där detta bedöms som nödvändigt. Hur väl målen uppfyllts sammanfattas i *6.3.1 Uppfyllande av målbeskrivning*.

1.4 Omfattning och begränsningar

Projektet fokuserar på de utvalda komponenterna och omkringliggande delars egenskaper beaktas inte annat än för eventuell inpassning. Fokus ligger på AM och andra tillverkningsmetoder undersöks inte såvida Ecoist inte redan använder dem.

De tillverkningsalternativ som väljs ut ska kunna massproduceras men hur väl eventuell massproduktion fungerar i praktiken kommer inte att undersökas.

Exakta mått och design på komponenterna kan komma att ändras, därför görs analysen på komponenterna i sin nuvarande form och slutsatserna bör kunna appliceras på framtida iterationer av samma komponenter. Därför tas inte heller några designalternativ fram för komponenterna.

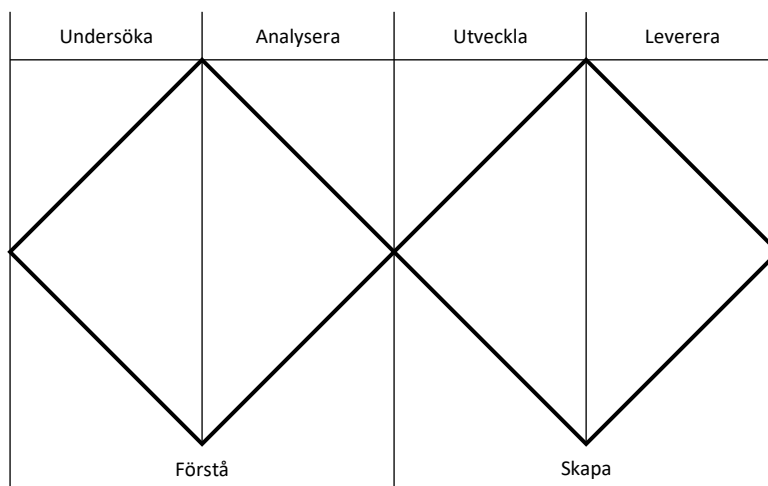
Enligt europeisk lagstiftning ska en trehjuling motorcykel (vilket Tian klassas som) tåla normal användning under åtminstone 30 000 km [2]; [3]. Mer specifika krav angående uthållighet har inte beaktats, vilket begränsar möjligheterna att ställa upp någon mer ingående kravprofil. Då det inte finns tid inom projektet att genomföra långtidstester är möjligheterna begränsade att se hur komponenterna klarar sig över tid.

2 Metodik

Här beskrivs kortfattat tillvägagångssättet för projektet.

Metoden för att nå målen kan liknas vid den s.k. Double Diamond-metoden. Metoden utvecklades av Design Council år 2004 för att beskriva en designprocess och inkluderar fyra faser: undersöka, analysera, utveckla och leverera [4].

Figur 2.1 och efterföljande text förklarar de olika aktiviteterna som utfördes i projektet.



Figur 2.1 Double Diamond-metoden.

Under aktiviteten *undersöka* ingår exempelvis att:

- Undersöka och förstå de två komponenternas funktion.
- Undersöka och förstå olika metoder för att 3D-printa.
- Undersöka vilka leverantörer som är möjliga för att 3D-printa komponenterna och begära in offerter.

Under aktiviteten *analysera* ingår exempelvis att:

- Analysera offerterna.
- Definiera vilka tillverkningsmetoder som det ska arbetas vidare med för de olika komponenterna.

Under aktiviteten *utveckla* ingår exempelvis att:

- Testprinta egna komponenter.
- Vidareutveckla komponenterna.
- Testa komponenterna.

Under aktiviteten *leverera* ingår exempelvis att:

- Utvärdera olika lösningar.
- Diskutera resultatet.
- Presentera förslag på möjligt fortsatt arbete.

3 Undersöka

Detta kapitel redogör för de inledande undersökningarna kring bussningens respektive bärarmens funktion, konstruktion och montering i bilen, en teoretisk bakgrund till AM och den AM-metod som använts i projektet, samt potentiella leverantörer av 3D-utskrivna komponenter som har tillfrågats om offert på bussningar och bärarmar.

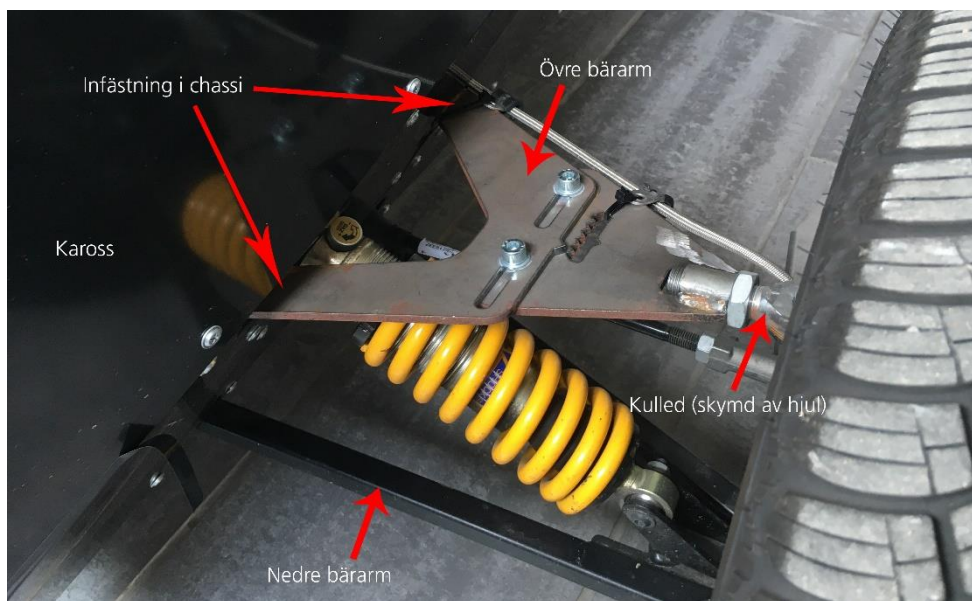
3.1 Beskrivning av utvalda komponenter

Här beskrivs de utvalda komponenterna för att ge ökad förståelse för hur de fungerar i bilen.

3.1.1 Bärarm

Hjulupphängningen till bilens framhjul har en övre och en nedre bärarm vid varje hjul. Den undersökta bärarmen i detta projekt är den övre. Bärarmen är av s.k. wishbone-modell och är fäst vid hjulet i en fästpunkt och sitter fast i chassit i två punkter. Bärarmen är fri att vinklas upp och ner i förhållande till chassit och tillåter, tillsammans med resten av hjulupphängningen, att hjulet kan fara upp och ner i förhållande till bilkroppen. Plattkonstruktionen i Figur 3.1 visar hur bärarmen är fäst i bilen. Denna design är dock inte aktuell för produktion. Endast den övre bärarmen har behandlats i projektet och refereras oftast till som bara ”bärarmen”.

Den design som fanns vid projektets början visas i Figur 3.2 och består av fyrkantiga och runda stålrör som kapats och svetsats ihop manuellt. Bärarmens design är dock under utveckling.



Figur 3.1 Tillfällig övre bärarm.

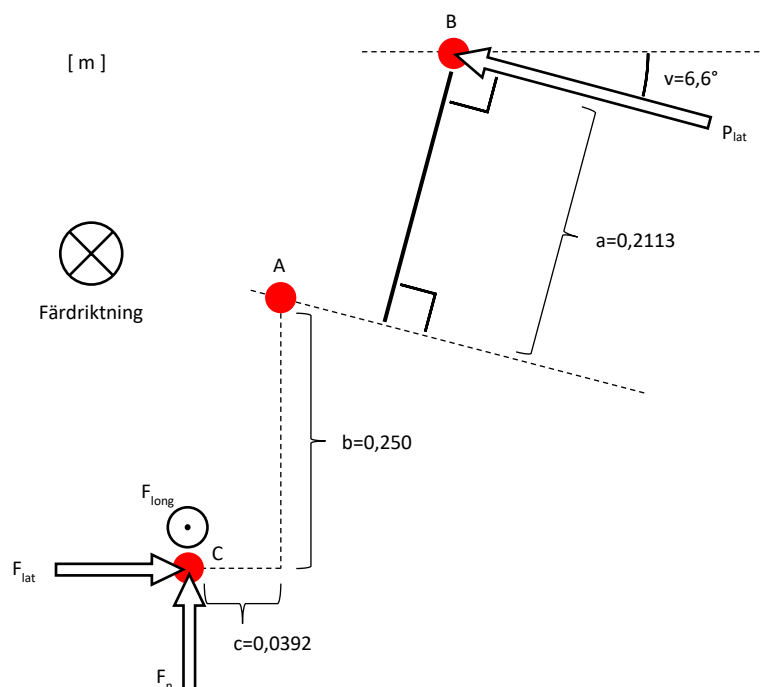


Figur 3.2 Tidig övre bärarm med monterade bussningar.

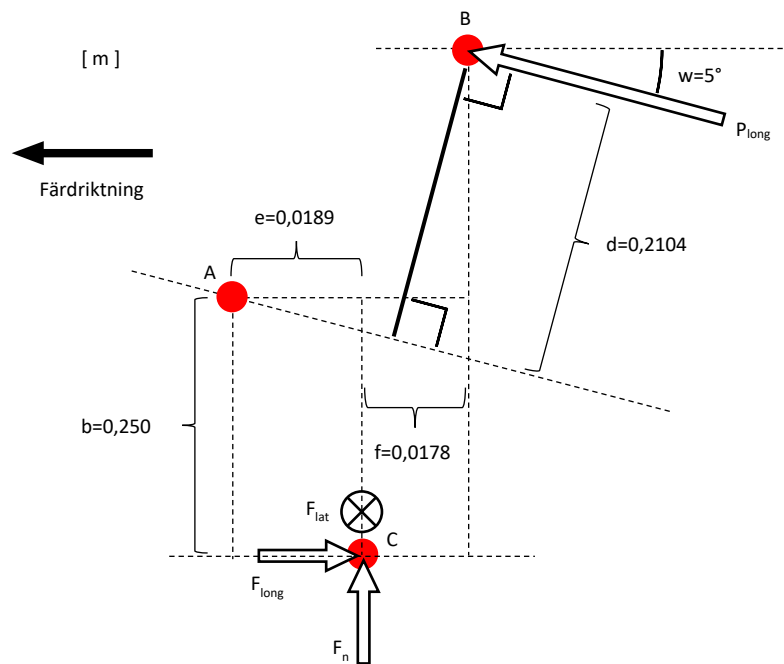
3.1.1.1 Beräkningar av krafter i bärarm

Utifrån bilens geometri har krafterna som verkar på bärarmens ändpunkt (närmast hjulet) beräknats för två olika lastfall; kraftig svängning respektive hård inbromsning. Detta eftersom lastfallen användes vid en senare topologioptimering (TO) (5.2.1 Topologioptimering).

Figur 3.3 och Figur 3.4 illustrerar nödvändiga mått och de krafter som verkar under de olika lastfallen. Illustrationerna visar den vänstra hjulupphängningen. Punkterna A och B visar var nedre respektive övre bärarm ansluter vid hjulet. Punkt C är en punkt mitt under däckets kontakt med vägbanan. Måtten är tillhandahållna av Ecoist. Den övre bärarmen ligger inte helt horisontellt, utan är lite vinklad. Då bärarmen kan vinklas upp och ner tar den bara upp krafter i sitt horisontella plan. Dessa krafter kallas här P_{lat} och P_{long} och målet är att beräkna storleken på dessa krafter för respektive lastfall. Detta görs genom momentjämvikt kring punkt A. Den nedre bärarmen är ledad i punkt A, så att det inte sker några moment från nedre bärarmen eller fjädringen i punkt A i dessa beräkningar. Måtten a och d är avståndet mellan A och B vinkelrätt mot kraften i bärarmen i respektive vy och används som hävarm vid momentjämvikten.



Figur 3.3 Mått och krafter för hjulupphängningen på vänster sida. Vy bakifrån.



Figur 3.4 Mått och krafter för hjulupphängningen på vänster sida. Sidovy.

3.1.1.1.1 Beräkning av krafter vid kraftig svängning

Enligt tidigare beräkningar verkar följande krafter i punkt C vid svängning [5]:

- $F_{lat} = 2720 \text{ N}$
- $F_{long} = 0 \text{ N}$
- $F_n = 3200 \text{ N}$

Momentjämvikt kring punkt A i Figur 3.3 ger:

$$\vec{A}: F_n * c - F_{lat} * b - P_{lat} * a = 0 \quad (3.1)$$

Med insatta värden ges:

$$P_{lat} = \frac{F_n * c - F_{lat} * b}{a} = \frac{3200 * 0,0392 - 2720 * 0,250}{0,2113} = -2625 \text{ N} \quad (3.2)$$

Då F_{long} i detta fallet är noll och hävarmen för F_n i Figur 3.4 är liten försummas kraften P_{long} i samråd med Ecoist.

3.1.1.1.2 Beräkning av krafter vid hård inbromsning

Följande krafter verkar i punkt C vid hård inbromsning [5]:

- $F_{lat} = 0 \text{ N}$
- $F_{long} = 2472 \text{ N}$
- $F_n = 2400 \text{ N}$

Momentjämvikt kring punkt A i Figur 3.3 ger:

$$\vec{A}: F_n * c - P_{lat} * a = 0 \quad (3.3)$$

Med insatta värden ges:

$$P_{lat} = \frac{F_n * c}{a} = \frac{2400 * 0,0392}{0,2113} = 445 \text{ N} \quad (3.4)$$

Momentjämvikt runt A i Figur 3.4 ger:

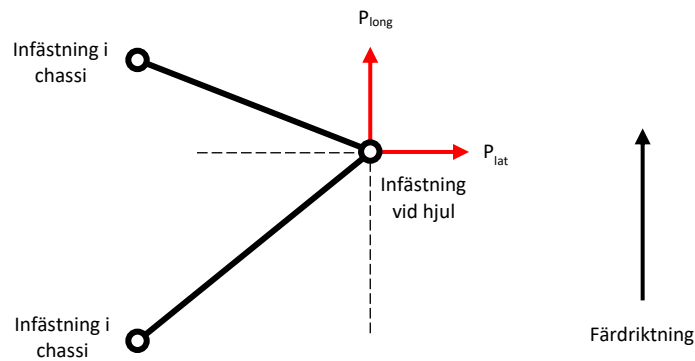
$$\vec{A}: F_{long} * b + F_n * e + P_{long} * d = 0 \quad (3.5)$$

Med insatta värden ges:

$$P_{long} = \frac{-F_{long} * b - F_n * e}{d} = \frac{-2472 * 0,250 - 2400 * 0,0189}{0,2104} = -3153 \text{ N} \quad (3.6)$$

3.1.1.1.3 Resultat av beräkningar

Alla beräknade värden representerar de krafter som bärmarmen utövar på punkt B. De krafter som verkar på bärmarmen har alltså motsatt riktning. Figur 3.5 visar krafternas riktning och Tabell 3.1 visar krafternas storlek. Figuren visar den högra bärmarmen eftersom det var denna som modellerades i topologioptimeringen.



Figur 3.5 Riktning på beräknade krafter på höger bärarm för givna lastfall. Toppvy.

Tabell 3.1 Krafter i bärarmens ändpunkt vid svängning och inbromsning. Enheten är [N].

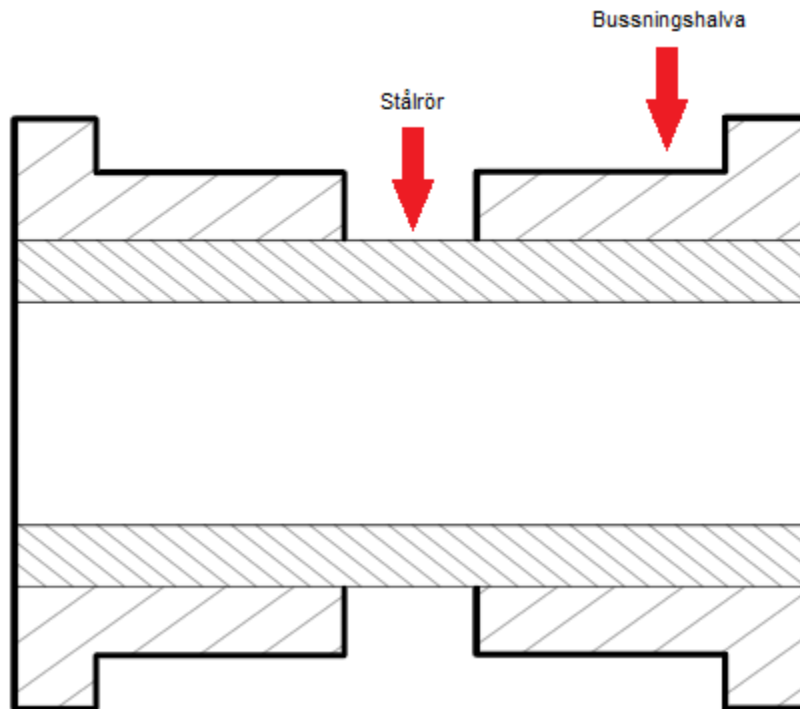
	P_{lat}	P_{long}
<i>Svängning</i>	2625	0
<i>Inbromsning</i>	-445	3153

3.1.2 Bussning

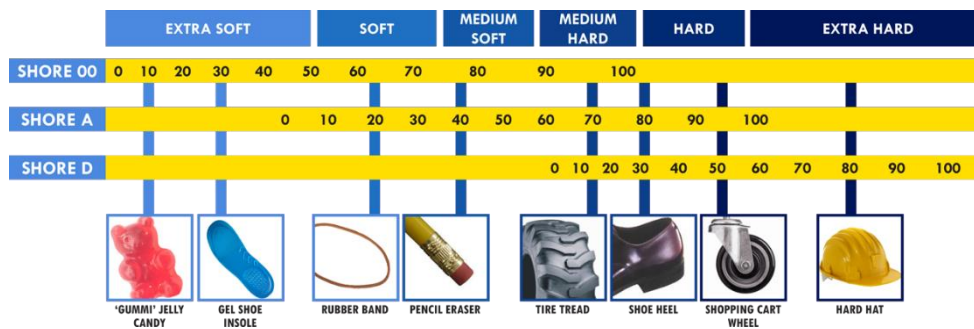
En bussning består av två rörformade delar (bussningshalvor) i ett mjukt plastmaterial och en bit stålrör som löper genom båda dessa delar, se Figur 3.7. Olika bussningar med olika mått har förekommit i projektet men denna princip för bussningarnas konstruktion är samma för alla. En *bussning* består alltså av två *bussningshalvor*, och vid läsning av rapporten är det därför viktigt att vara uppmärksam på vilket begrepp som är aktuellt, särskilt när kostnader eller antal bussningar/bussningshalvor diskuteras. Bussningarna sitter i bärarmen, i de punkter där bärarmen är fäst i chassit. Se Figur 3.2. Det sitter alltså två bussningar (fyra bussningshalvor) i varje bärarm. Ecoists bil har två övre och två nedre bärarmar. Då samma bussningar används i de nedre bärarmarna används totalt 8 bussningar, d.v.s. 16 bussningshalvor, i en bil.

Bussningarna dämpar vibrationer från hjulupphängningen till chassit. Bussningen som användes av Ecoist vid projektets början (Locost PolySport Bush) köps från

Rally Design och består av formsprutad polyuretan med en shore-hårdhet på ca 78A [6]. Figur 3.6 visar en jämförelse mellan olika föremål och dess shore-värden.



Figur 3.7 Genomsärningsbild av en bussning (PolySport Bush). Bilden är rotationssymmetrisk kring en horisontell axel. [7] (Redigerad)



Figur 3.6 Shore-skalorna och föremål med olika hårdhet. [8]

Figur 3.8 visar två bussningshalvor som har 3D-printats inom examensarbetet. Den större har samma mått som de från Rally Design, den mindre är en egen design från Ecoist. Den största diametern på respektive bussning är 34,5 mm och 28 mm.



Figur 3.8 3D-printade bussningar.

3.2 Additiv tillverkning – teori

Här ges en teoretisk bakgrund till additiv tillverkning med fokus på de metoder som använts i examensarbetet. Allt material i detta underkapitel är hämtat från Diegel m.fl. [9].

AM kallas ofta även 3D-printing och innebär att material successivt läggs i lager på lager för att skapa ett föremål. Detta i kontrast till subtraktiv tillverkning, t.ex. fräsning och svarvning, där man utgår från ett materialblock och tar bort material för att få fram en önskad komponent. Se Figur 3.9.

Grunden för dagens kommersiella system för AM lades med ett patent 1986 och sedan dess har utvecklingen skett i snabb takt. Idag finns flera metoder och material tillgängliga. I det här kapitlet beskrivs endast den metod som använts i projektet för att skriva ut bussningshalvor i egen 3D-skrivare.

3D-utskriften utgår alltid från en tredimensionell datormodell. Ett datorprogram används för att ställa in olika parametrar för hur modellen ska skrivas ut, t.ex. lagertjocklek och fyllnadsstruktur. Det är viktigt hur modellen är orienterad vid utskriften, eftersom vissa metoder ger anisotropa resultat. Detta innebär att materialet har olika egenskaper, t.ex. med avseende på hållfasthet, i olika riktningar. Orienteringen påverkar också mängden stödmaterial (om metoden/modellen kräver det) som håller upp utstickande delar av utskriften som annars hade hängt i luften. När modellen är utskriven kan den efterbehandlas på olika sätt, t.ex. genom att ta bort eventuellt stödmaterial.

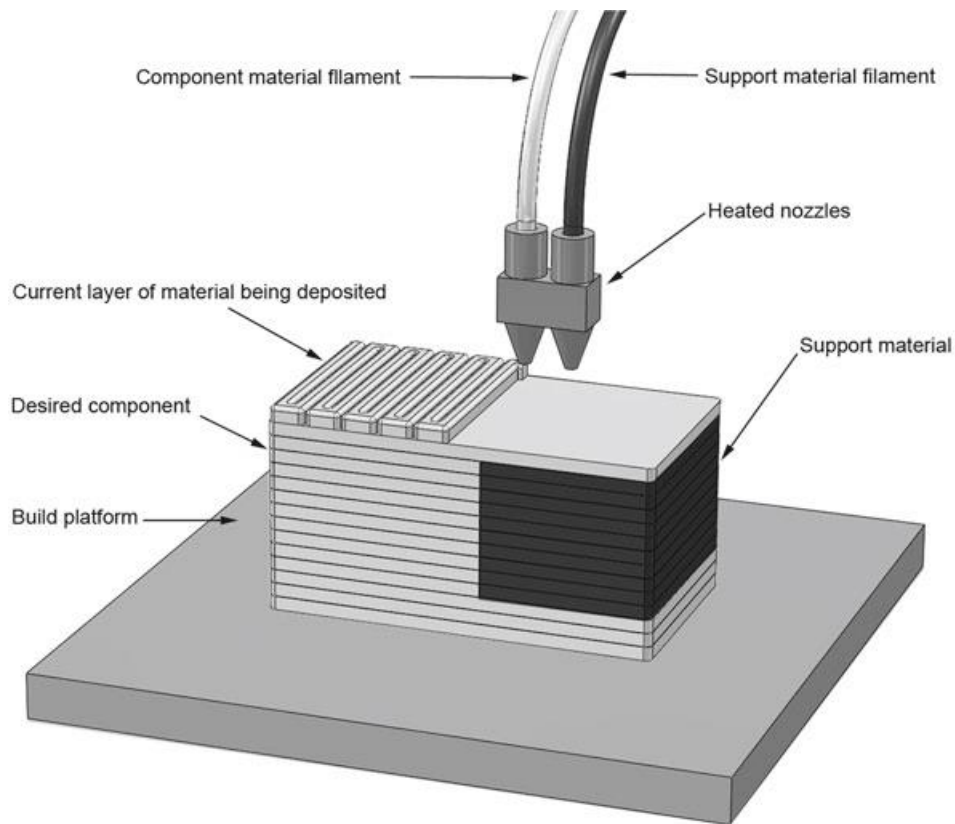


Figur 3.9 Subtraktiv respektive additiv tillverkning. [9]

Det finns flera fördelar med AM, bl.a. möjlighet att skapa komplicerade geometrier, specialanpassa enskilda produkter (t.ex. proteser), och att kunna tillverka precis det antal komponenter som behövs, när de behövs. Samtidigt är AM generellt dyrare och långsammare än andra metoder och tekniken medför sina egna möjligheter och begränsningar att ta hänsyn till när man designar komponenter för AM.

3.2.1 Fused deposition modeling

Fused deposition modeling (FDM) innebär att en tunn sträng av smält material – vanligtvis termoplast, men andra material förekommer också – extruderas på en byggplatta för att skapa ett tunt lager av modellen. Byggplattan sänks litegrann och nästa lager läggs ovanpå och fastnar i det halvsmälta underliggande lagret. Lagertjockleken brukar variera mellan 0,1–0,3 mm. Metoden kräver stödmaterial för utstickande delar. Skrivare med två munstycken kan skriva ut flera material samtidigt, t.ex. ett sekundärt stödmaterial som kan lösas upp istället för att brytas loss. Se Figur 3.10.



Figur 3.10 Fused deposition modeling. [9]

Bandet mellan lagren är svagare än materialet i sig och metoden ger mer anisotropa resultat än andra AM-metoder. Ytkvaliteten är också generellt sämre än för andra metoder. En trappstegseffekt finns på sluttande ytor hos alla metoder i någon mån men är extra framträdande för just FDM. Mindre FDM-skrivare finns till överkomliga priser och är lätta att använda.

3.3 Potentiella leverantörer av 3D-printade komponenter

För att hitta den kostnadsmässigt bästa tillverkningsmetoden gjordes en ekonomisk jämförelse mellan olika alternativ. I detta ingick att begära offerter från leverantörer för att se vad det skulle kunna kosta att beställa 3D-printade komponenter. Genom internetsökningar hittades 17 svenska och utländska leverantörer av 3D-utskriften. Vilka som i slutändan lämnade offert på bussningar och bärarm visas i Tabell 3.2. Vissa företag som inte lämnat offert har sannolikt haft möjlighet att göra det.

Anledningar till utebliven offert kan t.ex. vara att ett partnerföretag redan lämnat offert, eller att utlovad offert inte inkommit i tid.

De tillfrågade leverantörerna använder olika metoder för 3D-utskrifter. *Bilaga C – Offerten bussning* och *Bilaga D – Offerten bärarm* innehåller komplett information om alla offerter, däribland vilka metoder som används.

Tabell 3.2 Leverantörer som lämnat offert på bussning och/eller bärarm.

<i>Företag</i>	<i>Hemsida</i>	<i>Lämnat offert på bussning</i>	<i>Lämnat offert på bärarm</i>
<i>3D Center</i>	3dcent.com		
<i>3D Hubs</i>	3dhubs.com	Ja	Ja
<i>3DVerkstan</i>	3dverkstan.se	Ja	
<i>Addema</i>	addema.se		Ja
<i>Amexci</i>	amexci.com		Ja
<i>Arcam EBM</i>	arcam.com		
<i>Digital Mechanics</i>	digitalmechanics.se		
<i>Fit</i>	fit.technology/index_en.php		Ja
<i>Huggare Polymekaniska</i>	huggare.nu	Ja	
<i>Kaproco</i>	sv.kaproco.se		
<i>Materialise</i>	materialise.com	Ja	Ja
<i>Protolabs</i>	protolabs.se	Ja	Ja
<i>Prototal</i>	prototal.se	Ja	
<i>Prototal GTP</i>	gtp.se		
<i>Rapid 3D-lab</i>	rapid-3dlab.se		
<i>Shapeways</i>	shapeways.com	Ja	Ja
<i>Skara Modell & Prototyp</i>	modellprototyp.se		

3.3.1 Bussning

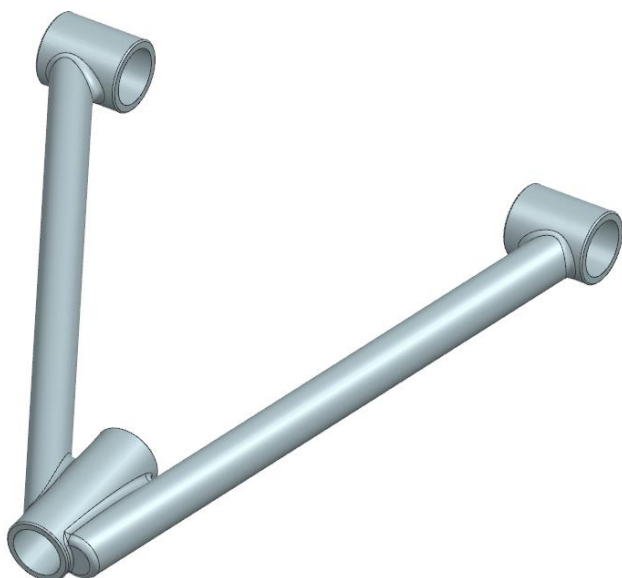
Ett antal leverantörer tillfrågades om offerter för serier om 80, 160, 400 respektive 800 bussningshalvor (vilket alltså räcker till 5, 10, 25 respektive 50 bilar). Vid begäran av offert användes en design på bussningen som Ecoist tagit fram med mindre mått än den ursprungliga från Rally Design (se Figur 3.8).

Då Rally Designs bussningar är framtagna för bilar borde materialet rimligtvis vara lämpligt. Därför var målet att välja ett material med liknande egenskaper. Som nämnts är deras bussningar av polyuretan och har en shore-hårdhet på ca 78A. Några andra egenskaper kunde inte hittas för materialet, därför låg fokus vid begäran av offert på att välja ett material med shore-hårdhet omkring 78A.

3.3.2 Bärarm

För att dra nytta av AM på bästa sätt skulle bärarmen behöva designas för de krafter den utsätts för och ha en design som är optimerad för 3D-printing. För att avgöra om det var värt att ta fram en ny design gjordes en kostnadsundersökning baserad på en preliminär design, framtagen i Siemens NX, se Figur 3.11. Stängerna är solida. Måtten bygger på en ritning från Ecoist som ligger i *Bilaga B – Ritning bärarm*.

De leverantörer som kunde erbjuda utskrifter i metall tillfrågades om offerter för serier om 2, 20, 40 respektive 100 bärarmar (till 1, 10, 20 respektive 50 bilar). Företagen tillfrågades i första hand om utskrifter i aluminium, men inga särskilda krav ställdes på typen av aluminium.



Figur 3.11 Preliminär bärarm framtagen i Siemens NX.

3.4 Sammanfattning Undersöka

I det här kapitlet ges en introduktion till bussningen och bärarmen och det beskrivs hur de fungerar och är konstruerade. Dessutom har krafterna som verkar på bärarmen i två olika lastfall beräknats. Dessa används i en TO i *5.2.1 Topologioptimering*.

Kapitlet ger också en kortfattad beskrivning av hur AM fungerar generellt och hur FDM fungerar, som är den metod som användes för att skriva ut bussningar i examensarbetet.

Till sist listas de 17 leverantörer som tillfrågats om offert och en kort beskrivning ges av vad som ingick i själva förfrågningarna om offerter för bussningar och bärarmar.

Alternativen till att beställa 3D-printade delar från leverantör var att 3D-printa bussningar själv eller fortsätta köpa bussningar från Rally Design. I nästa kapitel görs en ekonomisk jämförelse mellan alternativen. Där redogörs också för vad som framkom av offerterna för bärarmen.

4 Analysera

Här presenteras resultatet av den ekonomiska jämförelsen för bussningarna och hur jämförelsen har räknats fram. Resultatet av offerterna för bärarmen redovisas. De metoder som valts ut för fortsatt arbete, utifrån resultatet i kostnadsanalyserna, presenteras också.

4.1 Bussning

4.1.1 Kostnadsanalys av bussning

Tabell 4.1 visar en jämförelse mellan kostnaderna för att skriva ut egna bussningar, beställa från Rally Design och den offert för 3D-printing som hade lägsta priser; från 3D Hubs. En sammanställning av alla lämnade offerter för bussningar ligger i *Bilaga C – Offerter bussning*, med mer information. Några bussningar skrevs ut på prov för att ha något att jämföra med i kostnadsjämförelsen.

Observera att priserna inte är helt jämförbara. Pris/st för 3D Hubs avser bara två bussningshalvor, medan för Rally Design och egenprintade bussningar avser priset två halvor och en bit stålrör.

I räkneexemplet för bussningar som man skriver ut själv har ett stålrör från Montano använts. Diametern är 12 mm, godstjocklek 1 mm (vilket eventuellt är för tunt för denna tillämpningen) och en längd på 6 m [10]. Ett rör kostar 350 kr och frakten vid utcheckning ligger på 1250 kr (inklusive moms). Därför kan styckpriset sänkas avsevärt om man köper flera rör samtidigt. Ett rör räcker till ca 128 rörbitar á 46 mm.

Priset per rörbit (utan moms) om man endast köper ett rör blir:

$$\frac{(350 + 1250)/1,25}{128} = 10 \text{ kr} \quad (4.1)$$

Köper man två rör blir priset per rörbit:

$$\frac{(350 * 2 + 1250)/1,25}{128 * 2} = 6,09 \text{ kr} \quad (4.2)$$

Det filament som användes för att skriva ut egna bussningar kostar 432 kr (exklusive moms) för ett kilo [11]. En bussning uppskattas väga ca 7,5 g, vilket ger ett pris per bussningshalva på 3,24 kr.

Inköpspris för en 3D-skrivare är inte inräknat i prisexemplet med egna bussningar. Detta val förklaras i *6.1.2.1 Kostnadsanalysen*.

Priserna i Tabell 4.1 är i svenska kronor, moms ej inräknat. Frakt är inräknat i Rally Designs priser. Priserna från 3D Hubs har konverterats från euro och Rally Designs priser har konverterats från brittiska pund. En euro motsvarade 10,55 kr och ett pund motsvarade 11,77 kr den 22 maj 2020 då beräkningarna utfördes.

Tabell 4.1 Jämförelse av kostnader för olika tillverkningsalternativ för bussningen. Priser i kr. [6]; [10]-[13]

<i>Antal bussningar</i>	<i>40</i>	<i>80</i>	<i>200</i>	<i>400</i>
<i>Antal bilar</i>	<i>5</i>	<i>10</i>	<i>25</i>	<i>50</i>
<i>3D Hubs (offert)</i>				
Totalpris	1341,96	2346,32	4979,60	9030,80
Pris/st	33,55	29,33	24,90	22,58
Pris/bil	268,39	234,63	199,18	180,62
<i>Rally Design</i>				
Totalpris	1987,29	3650,91	8641,77	16 959,86
Pris/st	49,68	45,64	43,21	42,40
Pris/bil	397,46	365,09	345,67	339,20
<i>Skriva ut själv</i>				
<i>Antal bussningar</i>	<i>128</i>	<i>256</i>		
<i>Antal bilar</i>	<i>16</i>	<i>32</i>		
Pris/bussningshalva	3,24	3,24		
Pris/rörbit	10	6,09		
Totalpris	2109,44	3218,88		
Pris/st	16,48	12,57		
Pris/bil	131,84	100,59		

För övriga offerter kunde priserna variera ganska mycket. För större serier kan ett par bussningar kosta från 35 kr till över 500 kr (3D Hubs borträknat).

4.1.2 Val av metod för vidareutveckling

Att skriva ut egna bussningar var alltså det billigaste alternativet och det bestämdes att utskriften av egna bussningar skulle optimeras och utvecklas vidare. Detta arbete redovisas i *5.1 Bussning*.

4.2 Bärarm

4.2.1 Kostnadsanalys av bärarm

Det fanns inga kostnadsdata att tillgå för Ecoists egentillverkade bärarm, därför kunde inte någon direkt jämförelse göras mellan alternativens kostnader. Som jämförelsevärde används istället priser för bärarmar som säljs av Rally Design. Dessa var dock inte aktuella för Ecoist då de bl.a. inte har rätt mått. Tabell 4.2 visar dessa priser tillsammans med kostnader för 3D-printade bärarmar från Addema, som hade lägst priser av de insamlade offerterna. Det kan poängteras att Addemas föreslagna material är rostfritt stål. Aluminium efterfrågades i första hand men även andra materialförslag godtogs. En sammanställning av alla lämnade offerter för bärarmar ligger i *Bilaga D – Offerter bärarm*.

Frakt är inte inräknat i priserna. Priserna är konverterade från euro respektive pund till svenska kronor med samma omvandlingsfaktorer som i *4.1.1 Kostnadsanalys av bussning*.

Tabell 4.2 Jämförelse av kostnader för olika tillverkningsalternativ för bärarmen. Priser i kr. [14]-[16]

<i>Addema (offert)</i>				
<i>Material</i>	Rostfritt stål			
<i>Antal bärarmar</i>	<i>2</i>	<i>20</i>	<i>40</i>	<i>100</i>
<i>Antal bilar</i>	<i>1</i>	<i>10</i>	<i>20</i>	<i>50</i>
Pris/st	5802,50	4378,25	4061,75	3692,50
Pris/bil	11 605	8756,50	8123,50	7385
<i>Rally Design</i>				
Modell	Locost	Westfield		
Pris/par	559,08	794,48		

Offerterna för aluminium varierar i pris; för serier om 100 bärarmar blir styckpriset ca 5000 kr för 3D Hubs, ca 22 000 kr för Shapeways och runt 8000 kr för övriga.

4.2.2 Val av metod för vidareutveckling

Ecoist har planerat att den första serien om 20 bilar ska ha egentillverkade, svetsade bärarmar. Det fanns inget definitivt beslut om bärarmarna på efterföljande bilar, men möjligheten fanns att dessa skulle vara 3D-printade. Därför togs beslut att vidareutveckla designen på bärarmarna, vilket skulle komma till användning om

dessa 3D-printas i framtiden. Det fortsatta arbetet med bärarmarna redovisas i 5.2 *Bärarm*.

4.3 Sammanfattning Analysera

I kapitlet görs en jämförelse mellan kostnaderna för att skriva ut egna bussningar, att beställa bussningar från Rally Design och att köpa 3D-printade bussningar från 3D Hubs, som lämnade offerten med lägst priser.

Enligt jämförelsen är det klart billigast att skriva ut bussningar själv och i exemplet kan en bussning (två bussningshalvor och en bit järnrör) kosta knappt 13 kr. Bussningarna från Rally Design är dyrast i sammanställningen, även om flera andra offerter än den från 3D Hubs har ännu högre priser.

Då det inte fanns data för andra metoder som kunde jämföras med offerterna för bärarmen innehåller sammanfattningen ovan bara en offert från Addema, som hade de lägsta priserna. För 100 st bärarmar i rostfritt stål från Addema blir styckpriset ca 3700 kr.

Utifrån resultatet bestämdes det att metoden att skriva ut egna bussningar skulle utvecklas och optimeras. Något beslut från Ecoist om hur bärarmarna ska tillverkas var inte riktigt klart, därför bestämdes det att en bärarmsdesign skulle utvecklas ifall att dessa ska 3D-printas i framtiden.

I nästa kapitel redovisas arbetet med att skriva ut egna bussningar och optimeringen av bärarmens design med en TO.

5 Utveckla

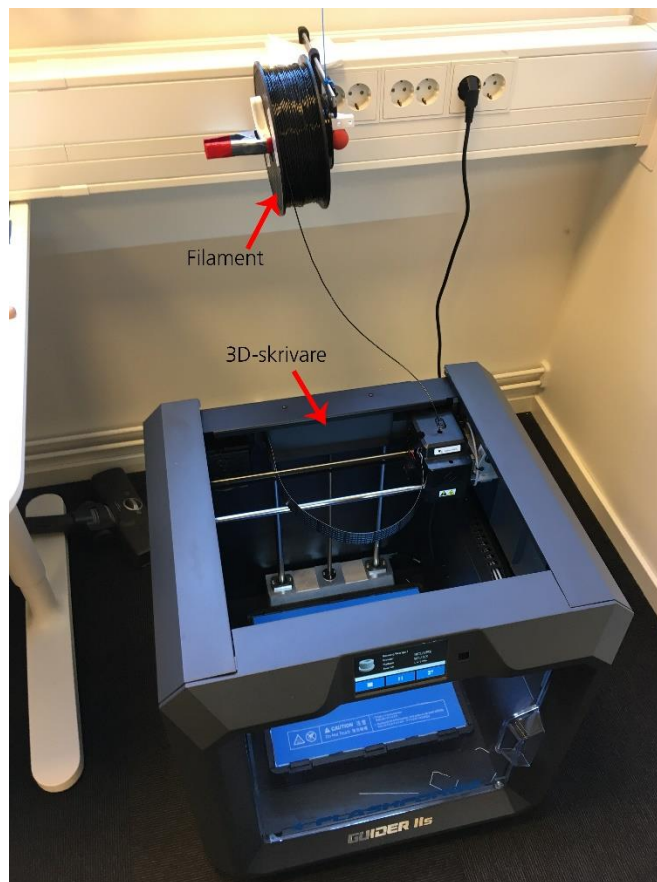
Här beskrivs utvecklingsarbetet med bussningen och bärarmen utifrån de metoder som valdes ut i 4 Analysera. Optimerade inställningar för att skriva ut bussningar i en 3D-skrivare med metoden FDM tas fram, och arbetet att göra en TO av bärarmen beskrivs.

5.1 Bussning

5.1.1 Utskrifter

För egna utskrifter hade Ecoist valt ut ett elastiskt filament i termoplastisk polyuretan (TPU): ECO – TPU med shore-hårdhet 85A [11].

Egna utskrifter av bussningshalvor skedde på en 3D-skrivare av märket Flashforge Guider IIs som tillhandahölls av Inventor i Lund. Ecoist har själva möjlighet att använda en Flashforge Guider II, som är snarlik. Skrivaren använder metoden FDM som beskrivits i 3.2.1 *Fused deposition modeling*. Utskrifterna förbereddes i programmet Flashprint. Utgångspunkten var utskriftsinställningar från Ecoist baserade på standardinställningarna för mjuka material i Flashprint. Vid fortsatt optimering av utskrifterna var olika online-guider till hjälp bl.a. vad gäller temperaturer på extruder och byggplatta, och utskriftshastighet [17]; [18]. Till en början hade skrivaren svårt att få ut filamentet. Den mest betydelsefulla åtgärden var därför att placera filamentrullen ovanför skrivaren för att minska motståndet när extrudern drar in filament [18]. Se Figur 5.1. Tidigare satt rullen på baksidan av skrivaren.



Figur 5.1 3D-skrivare med upphängd filamentrulle.

Det är viktigt att TPU-filament förvaras torrt, och det kan även behöva torkas vid förhöjd temperatur för att få bra utskrifter [19]. I ca 8 veckor förvarades filamentet inomhus i rumstemperatur utan påverkan på resultatet. Därefter började filamentet förvaras i en plastpåse när det inte användes, tillsammans med den fuktabsorbent som följde med vid köpet. Kort därefter började nya utskrifter få strukturförändringar i form av små prickar eller gropar på ytan och enstaka knaster kunde höras vid utskrift. Detta är troligen tecken på fukt i filamentet, som förångas av värmen vid utskriften [20]. Detta hade inte förekommit tidigare men skedde nu på alla utskrifter i olika mängd. Filamentet förvarades i påse med fuktabsorbent i ca 11 dygn i sträck för att dra ut fukt. Dock visade efterföljande utskrifter fortfarande tecken på fukt i filamentet. När flera bussningar skrevs ut i följd hade de 2–3 första bussningshalvorna generellt mycket mer prickar än de efterföljande, som ibland saknade tecken på fukt nästan helt och hållet.

Till en början fäste inte filamentet direkt i byggplattan, men detta fungerade för senare utskrifter. Om filamentet inte fäster kan dubbelhäftande tejp användas på byggplattan.

Vissa avvikelser i mått fanns hos de färdiga bussningarna. T.ex. avvek den mindre ytterdiametern och håldiametern, som är viktiga för inpassningen vid montering. Ytterdiametern ska vara 23,3 mm men låg runt 22,9–23,2 mm. Håldiametern ska vara 12 mm men låg runt 11,6–11,8 mm på utskrifterna.

Olika svårigheter uppstod under arbetet med utskrifterna, dessa diskuteras närmare i 6.1.2.2 *Utskriftsprocessen*.

5.1.1.1 Slutgiltiga utskriftsinställningar

Några av de slutgiltiga inställningarna för utskrifter i TPU lyfts fram och kommenteras nedan. ”Standard” avser de förvalda inställningarna för mjuka filament i Flashprint. Samtliga utskriftsinställningar visas i *Bilaga E – Inställningar för utskrift av bussningar*. Med dessa inställningar kunde åtta bussningshalvor skrivas ut på 13 timmar och 54 minuter.

Extrudertemperatur: 235°C. (Standard: 230°C) Detta är ganska högt, men valdes för att ge ett bättre filamentflöde.

Temperatur på byggplattan: 50°C. (Standard: 50°C)

Utskriftshastighet (base print speed): 15 mm/s. (Standard: 20 mm/s) En relativt långsam hastighet, för att filamentet ska hinna tryckas ut ordentligt.

Shell count: 10. (Standard: 2) Detta avser antalet lager, och därmed tjockleken, på utskriftens ytterväggar. Då bussningen är liten innebär 10 shells i praktiken att bussningen blir helt solid. Filamentet matas ut i koncentriska cirklar då bussningen är cylindrisk. Infill anger i procent hur stor andel av utskriften som ska vara ifylld respektive ihålig, och kan också användas för att göra en utskrift solid. Då matas dock filamentet ut i ett annat mönster.

Retraction: 0 mm. (Standard: 1,3 mm) Retraction innebär att filamentet dras tillbaka i extrudern för att förhindra dropp. Då TPU är mjuk kan rörelsen sträcka ut och dra ihop filamentet och riskerar att orsaka stopp i extrudern [17]. Därför stängdes retraction av helt.

Extrusion ratio: 105%. (Standard: 109%) Detta är ett sätt att justera i detalj hur mycket filament som trycks ut. Värdet sänktes lite för att förhindra trassel i extrudern.

Start points: random. Detta gör att extrudern börjar mata ut filament vid slumpmässigt valda punkter för varje nytt lager. I annat fall hamnar startpunkterna ovanpå varandra och utskriften får en synlig ”söm”.

Enable sequential printing: Yes. (Standard: No) När man skriver ut flera komponenter tillsammans på en byggplatta kan det vara önskvärt att slå på

sequential printing. Istället för att komponenterna skrivs ut samtidigt skrivs de ut var för sig, efter varandra. En fördel med detta är att om utskriften skulle avbrytas halvvägs får man då några helt färdiga komponenter, istället för flera halvfärdiga. Detta ställer krav på komponenternas mått och placering så att extrudern inte kolliderar med redan utskrivna komponenter. Med sequential printing fick nio bussningshalvor plats på byggplattan och höjden fick sänkas på bussningarna från 17 mm till 16,9 mm.

5.1.2 Tester

Testerna av bussningar bestod av två delar, att testa hur de reagerar på miljöfaktorer som kemikalier och UV-ljus, och hur de reagerar på statisk belastning.

5.1.2.1 Tester med kemikalier och UV-ljus

Olika kemikalier valdes på uppmaning av Ecoist för att bussningarna kunde tänkas utsättas för dessa under användning i en bil. I vardera kemikalie förvarades två stycken bussningshalvor nedsänkta under en tid, enligt nedan:

- Mättat saltvatten, 27 dagar
- Litiumfett, 27 dagar
- Kallavfettning, 21 dagar

Litiumfett används för att smörja in bussningarna vid montering och kallavfettning kan användas vid tvätt.

Dessutom utsattes två bussningshalvor för UV-ljus i en UV-kammare av märket 3D Systems Vflash 100. Maskinen hade två UV-lysrör med effekten 18 W vardera.

Testet försökte simulera hur de reagerar på solens UV-strålning, som har förmågan att bryta kemiska bindningar. UV-ljus kan delas in i tre kategorier:

- UVA, våglängd 315–400 nm
- UVB, våglängd 280–315 nm
- UVC, våglängd 180–280 nm

UVA är den minst energirika av dessa. Omkring 3% av solljuset på marknivå är UV-ljus och 95% av UV-ljuset på marknivå vid ekvatorn är UVA. [21]

Bussningarna belystes i sammanlagt 150 timmar och ljuset hade våglängden 410 nm, vilket alltså är nära UVA. Utöver detta är det svårt att uppskatta hur exponeringstiden motsvarar exponering för riktigt solljus.

5.1.2.1.1 Resultat av miljötester

Inga av dessa tester gav synbara strukturförändringar av bussningarna och mätningar visade inga märkbara avvikelser från grundmåtten.

5.1.2.2 Belastningstester

Under testerna utsattes flera bussningshalvor för statisk tryckbelastning i en maskin av märket MTS, se Figur 5.2. Testerna skedde med hjälp från Jessica Dahlström på avdelningen för byggnadsmekanik på LTH.



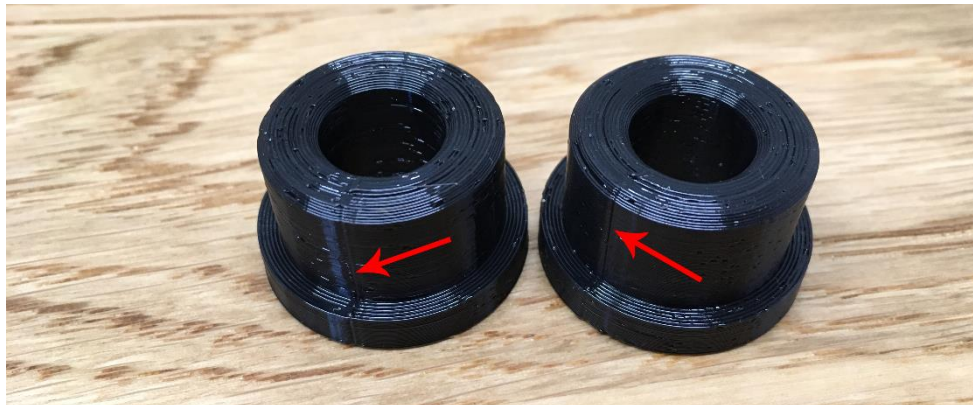
Figur 5.2 Pressmaskin.

Bussningarna monterades i en jigg för att simulera tryckfördelningen när bussningarna är monterade i en bil. I Figur 5.4 visas hur två bussningshalvor är monterade i ett cylindriskt hål i en fyrkantig stålkloss. Genom bussningshalvorna löper ett stålrör. En skruv löper genom stålplattorna, stålröret och klossen, så att plattorna och skruven ger mothåll när klossen pressas nedåt.

Testerna innefattade bussningar med olika förutsättningar, bl.a. bussningarna som utsatts för olika miljöfaktorer enligt 5.1.2.1 *Tester med kemikalier och UV-ljus*. Dessutom testades bussningar där inställningen "start points" inte är satt till "random" (se 5.1.1.1 *Slutgiltiga utskriftsinställningar*) då det spekulerades att sömmen som uppstår skulle kunna vara en svaghet, se Figur 5.3. Bussningar med synliga tecken på fukt i filamentet enligt 5.1.1 *Utskrifter* testades också för att se om det innebär en svaghet, se Figur 5.5.



Figur 5.4 Jigg för bussningar i pressmaskin.



Figur 5.3 Bussningar med söm.

Några referenstester gjordes i början genom att variera förskjutningen, d.v.s. hur långt ner klossen pressades. Bussningarna i dessa tester hade inte utsatts för någon särskild miljöfaktor och saknade synliga defekter, se Figur 5.6. Tidiga tester gav permanenta deformationer, men ingen typ av sprickbildning, se Figur 5.7. En

förskjutning på 4,8 mm valdes för alla tester eftersom det inte gav några synliga deformationer på referensbussningarna.



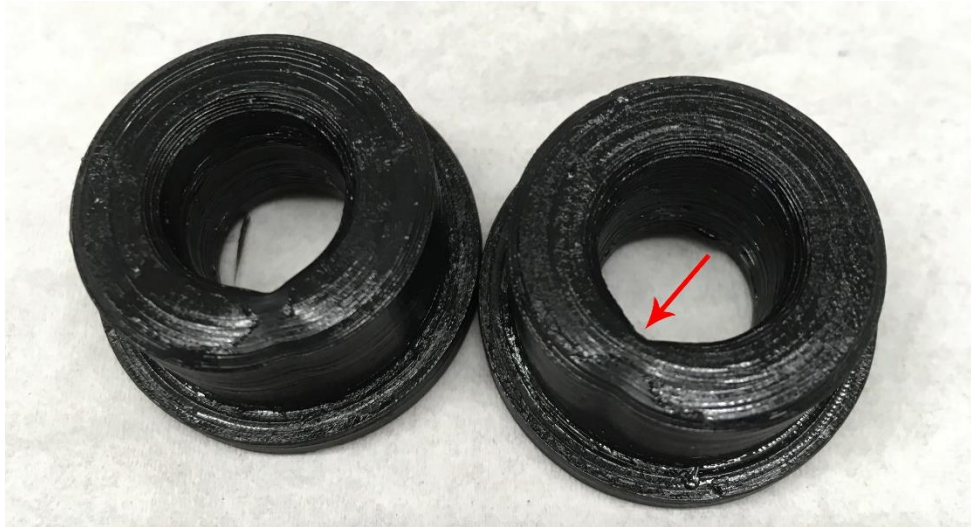
Figur 5.5 Bussningar med fukt i filamentet.



Figur 5.6 Referensbussningar utan defekter eller utsatta för några miljöfaktorer.

5.1.2.2.1 Resultat av belastningstester

Tabell 5.1 visar testerna som gjordes och vilka krafter bussningarna tog upp, inklusive referenstestet som hade en förskjutning på 4,8 mm.



Figur 5.7 Bussningar med deformationer.

Tabell 5.1 Belastningstester av bussningar.

<i>Bussning</i>	<i>Kraft (N)</i>
Referens	4895
Söm	4984
Fukt i filament	5690
Saltvatten	4887
Litiumfett	5865
Kallavfettning	4095
UV-strålning	5178

Lastcellen som användes vid testerna hade inte kalibrerats på länge men resultaten bör ses som rimliga i sammanhanget. Inga av testerna gav upphov till några synliga deformationer. Endast ett test gjordes per bussningstyp. Testresultatet diskuteras i 6.1.2.4 Tester.

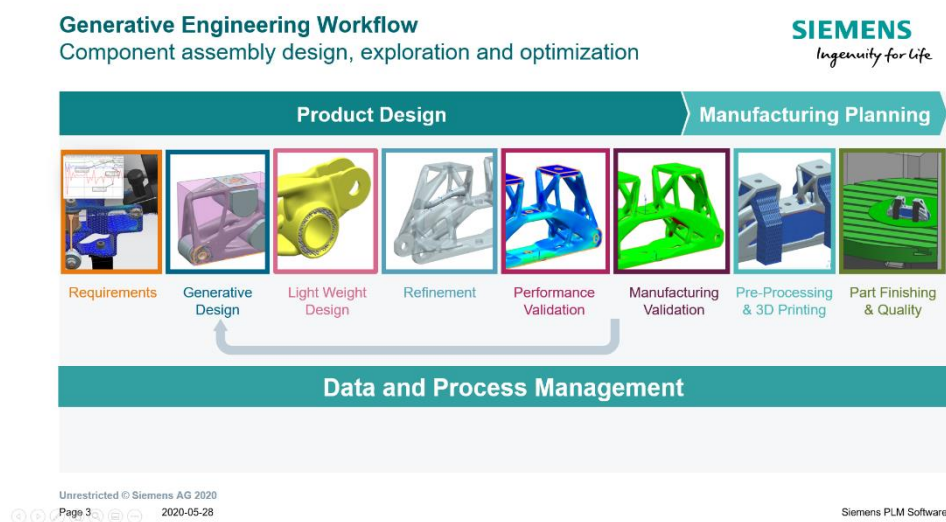
5.2 Bärarm

Designen på bärarmarna utvecklades genom att en s.k. topologioptimering gjordes av bärarmen. TO är ett sätt att via ett datorprogram optimera geometrin på ett föremål inom ett angivet utrymme. Målet är att geometrin ska utformas så att den på bästa sätt tar upp angivna laster samtidigt som den uppfyller eventuella andra

villkor för utformningen. TO kan många gånger resultera i avancerade geometrier som inte kan tillverkas med någon annan metod än 3D-printing. Därför kan TO i hög grad dra nytta av möjligheterna och friheten inom AM.

Processen skedde i två steg: först en TO för att ta fram en optimerad design, därefter en s.k. performance validation för att se att spänningarna som uppstår i geometrin från de givna lasterna inte blir för höga. Topologioptimeringen gjordes i CAD/CAM/CAE-programmet Siemens NX (NX) och performance validation i Simcenter 3D, som är en FEM-beräkningsmodul till NX utvecklad av Siemens. Även topologioptimeringen beräknar spänningsfördelningen, men Simcenter 3D är mer avancerat och ger mer tillförlitliga resultat. Hela processen skedde under handledning av Rolf Emdevik på Siemens.

Ett arbetsflöde visas i Figur 5.8. Det är även möjligt i NX att förbereda geometrin för 3D-utskrift (Manufacturing Planning) men arbetet här har enbart fokuserat på fasen Product Design.



Figur 5.8 Arbetsflöde för topologioptimerad design. Bild från Siemens.

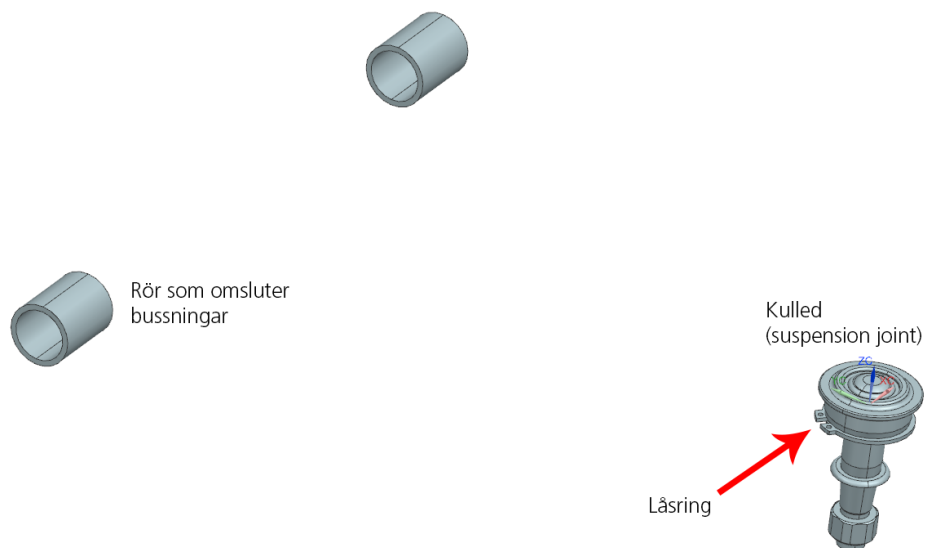
Målet var att få en bärarm med låg vikt och framför allt hög säkerhetsfaktor. Säkerhetsfaktorn räknas i NX som kvoten mellan materialets sträckgräns och de högsta effektivspänningarna enligt von Mises. Lägre vikt ger generellt ofta lägre säkerhetsfaktor, därför måste en avvägning göras här. Ett annat krav som framfördes av Ecoist var att bärarmen behöver se pålitlig ut. En bärarm kan ge intrycket av att vara för tunn, även om den är lämpligt dimensionerad.

5.2.1 Topologioptimering

Metoden nedan beskriver bara de funktioner som använts, fler möjligheter existerar i NX som inte beskrivs här.

5.2.1.1 Randvillkor

Bärrarmens design beror till stor del på de punkter där bärrarmen ska fästa i andra komponenter. Dessa randvillkor presenterades av Ecoist som en CAD-modell och visas i Figur 5.9. Bärrarmen ska omsluta en kulle kallad suspension joint ovanför låsringen. De två cylindrarna är tänkta att omsluta bussningarna och ska alltså vara en del av den färdiga bärrarmen. Kulloden sitter på den sidan som är närmast hjulet och cylindrarna sitter närmast karossen. Bärrarmen som byggdes upp i NX var alltså den högra bärrarmen.

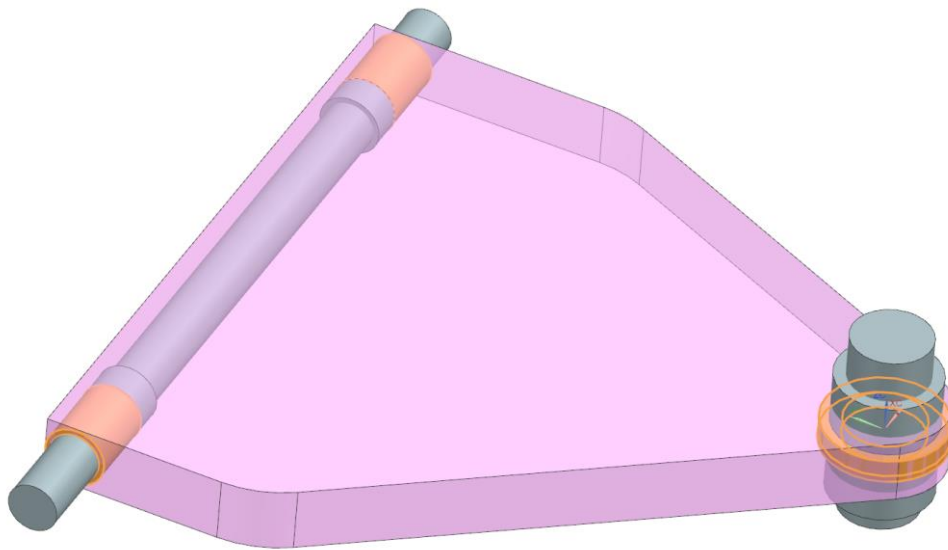


Figur 5.9 Cylindrar och suspension joint som anger randvillkoren.

5.2.1.2 Design space

För TO behövs ett s.k. design space, som är den volym som den färdiga komponenten måste rymmas inom. Dessutom behövs s.k. optimization features. I detta fallet är det geometrier som anger var det måste finnas material (alltså en del av den färdiga bärrarmen, som har kontakt med andra komponenter, keep-in) respektive var det inte får finnas något material (keep-out). T.ex. får det inte finnas material inuti cylindrarna eftersom bussningarna ska sitta där. Design space och optimization features visas i Figur 5.10. Den rosa volymen är design space, orangea former är keep-in, gråa är keep-out. Dessa delar modellerades som geometrier i NX, i samma fil som cylindrar och suspension joint, och tilldelades därefter respektive

egenskap. Den form som omsluter kulleden modellerades som en cylinder med en tjocklek på 10 mm. De två horisontella cylindrarna gavs s.k. constraints som anger att de är helt orörliga komponenter, då dessa sitter fastmonterade i bilens chassi. Detta är en förenkling; i verkligheten kan de flexa i viss grad eftersom de sitter runt mjuka bussningar, och bärarmen kan vinklas i höjddled. Infästningen runt kulleden gavs inga constraints.



Figur 5.10 Design space och geometrier för keep-in respektive keep-out.

5.2.1.3 Design constraints

Det finns också design constraints som styr utformningen av slutresultatet. T.ex. går det att skapa symmetri kring ett plan, ange släppvinklar eller förhindra överhängande geometrier som kräver stödmaterial vid 3D-utskrift. Design space och optimization features var i detta fallet symmetriska kring ett horisontellt plan, dessutom låg de anlagda krafterna i ett horisontellt plan. Detta borde redan ge ett symmetriskt resultat, men en design constraint infördes ändå för att skapa horisontell symmetri. Med ett helt symmetriskt resultat kan samma design användas både på höger och vänster sida på bilen.

5.2.1.4 Lastfall

Två olika lastfall (svängning och inbromsning) infördes enligt de krafter som beräknats i 3.1.1.1 *Beräkningar av krafter i bärarm*. Krafterna och deras riktning angavs verka på innerytan av den cylindriska form som omsluter kulleden. Båda lastfallen applicerades alltså samtidigt under beräkningarna.

5.2.1.5 Material

Något som har stor inverkan på resultatet är bärarmens material. I NX anges ett material med olika materialparametrar som ska användas för topologioptimeringen. Enligt Ecoist finns en lämplig aluminiumlegering som utvecklas av Divergent 3D. Materialet har hög brottöjning, vilket är viktigt då en komponent som bärarmen inte får knäckas t.ex. vid en kollision, bara deformeras. Materialet eller dess materialdata var inte tillgängligt vid tillfället, därför behövde ett annat material med rimliga egenskaper användas för beräkningarna. Ett material valdes av de som framkommit vid förfrågan om offert på bärarmen och alltså är avsedda för AM. Materialet valdes därför att materialdatabladet hade alla nödvändiga data och för att det var det enda som angav olika egenskaper i olika riktningar. Detta är mer realistiskt då AM ofta ger anisotropa resultat. Databladet ligger i *Bilaga F – Materialdatablad*. Utifrån detta specificerades ett material i NX med nödvändiga materialdata. Dessa visas i Tabell 5.2.

Tabell 5.2 Material för topologioptimering.

<i>Namn</i>	AlSi10Mg-0403 powder for additive manufacturing
<i>Tillverkare</i>	Renishaw
<i>Materialtyp</i>	Aluminiumlegering, pulver
<i>Densitet</i>	2,68 g/cm ³
<i>Elasticitetsmodul</i>	68,5 GPa
<i>Poissons tal</i>	0,3
<i>Sträckgräns</i>	174 MPa
<i>Brottgräns</i>	334 MPa

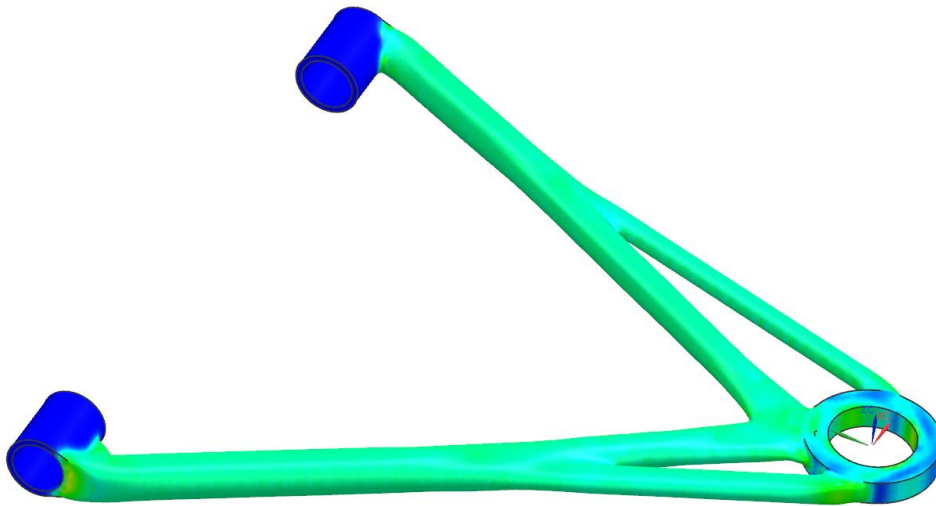
Inga andra data än dessa angavs för materialet i NX. Poissons tal, som anger ett materials ihopdragning i en riktning när det töjs ut i en annan, fanns inte i materialdatabladet, utan rekommenderades av Siemens som ett rimligt värde. För att förenkla beräkningarna specificerades materialet som isotropt, vilket alltså inte stämmer i verkligheten. För sträckgränsen användes det lägsta tillgängliga värdet och elasticitetsmodulen utgörs av medelvärdet för de olika riktningarna. Brottgränsens spänningsvärde förväntades aldrig uppnås och användes egentligen inte i beräkningarna.

5.2.1.6 Optimeringstyper

NX har tre olika optimeringstyper. Två var tillämpliga i detta fallet: att minimera resultatets volym utifrån en given säkerhetsfaktor eller att minimera spänningarna utifrån resultatets önskade massa. Det senare valdes eftersom det är en snabbare metod. Massan angavs till 0,5 kg. Några tidiga tester gav en indikation på den angivna viktens påverkan på säkerhetsfaktorn. Baserat på detta angavs den slutgiltiga massan godtyckligt för att få någorlunda bra säkerhetsfaktor, samt även få ett någorlunda robust utseende.

5.2.1.7 Resultat av topologioptimering

När topologioptimeringen genomförs fås ett resultat i form av tre geometriska kroppar. En visar fördelningen av förskjutningar (displacement) och en visar effektivspänningen enligt von Mises. Den tredje visar bara själva geometrin. Denna kan konverteras till en s.k. convergent body som kan redigeras och förfinas vid behov med modelleringsverktygen i NX. Den slutliga vikten uppgavs vara 495 g. Figur 5.11 visar den beräknade spänningsfördelningen. Blå områden har mindre spänningar och gula har mer. Högsta effektivspänning beräknades till 35,73 MPa och största förskjutning till 0,1352 mm. Dessa värden är alltså preliminära och en performance validation gjordes för att ge mer exakta resultat på dessa siffror.



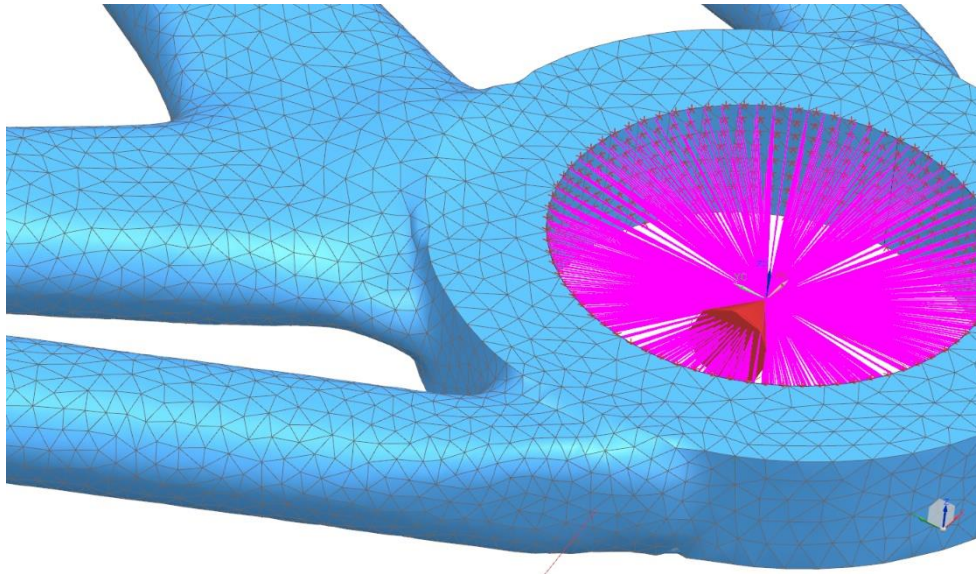
Figur 5.11 Topologioptimerad bärarm med fördelning av spänningar.

5.2.2 Performance validation

Detta steget skedde i Simcenter 3D. En simuleringsfil var förberedd av Rolf Emdevik med constraints som låser fast de horisontella cylindrarna, samt lastfall. Detta gör att olika varianter på den topologioptimerade bärarmen kan läsas in och testas utan att behöva anlägga constraints och lastfall varje gång. Detta kräver att det topologioptimerade resultatet konverteras till en convergent body i NX och att berörda ytor för constraints och laster namnges korrekt.

Oftast nedärvs det använda materialet för TO till Simcenter 3D, men det kan också väljas manuellt. Även här är materialet viktigt för resultatet.

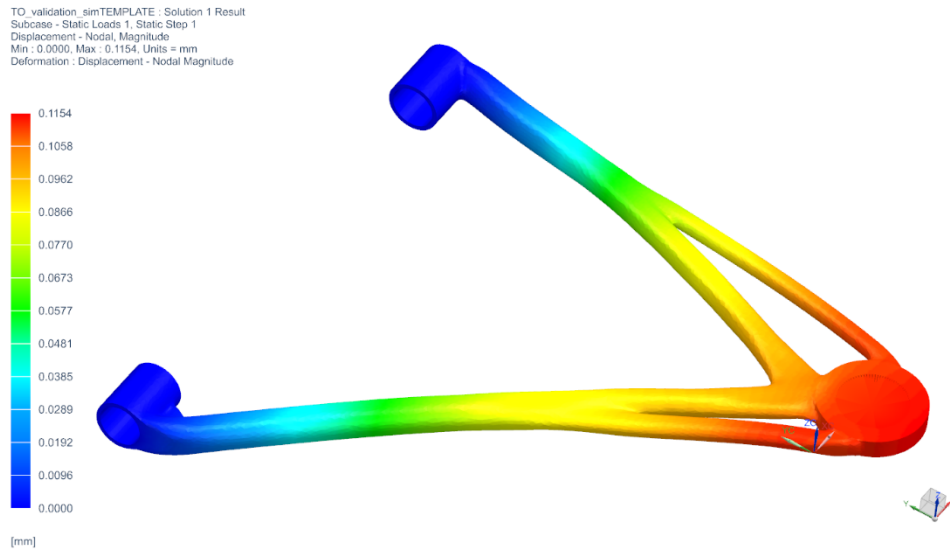
Något som spelar roll för resultatets exakthet är beräkningarnas ”upplösning” vilket påverkas av hur fin modellens s.k. mesh är. Meshen syns i Figur 5.12. Huruvida meshen är fin nog för att ge ett pålitligt resultat har inte undersökts närmare då detta inte påtalades av Rolf Emdevik, alternativt att han bedömde meshen som bra nog för tillämpningen. Det innebär att de faktiska spänningarna eventuellt kan vara högre än de beräknade.



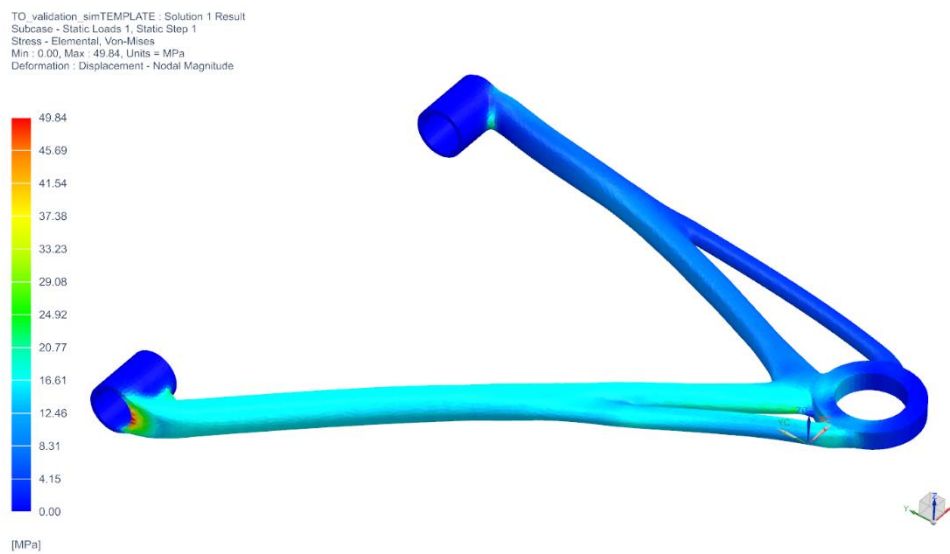
Figur 5.12 Närbild av modellens mesh.

5.2.2.1 Resultat av performance validation

När beräkningarna utförts fås ett antal resultat, däribland förskjutningar och effektivspänningar. Förskjutningarna syns i Figur 5.13 och spänningarna i Figur 5.14. Färgerna förklaras av gradskalan till vänster i figurerna.



Figur 5.13 Förskjutningar beräknade genom performance validation.



Figur 5.14 Effektivspänningar beräknade genom performance validation.

De högsta effektivspänningarna beräknades till 49,84 MPa, vilket är ca 40% högre än resultatet för topologioptimeringen. Förskjutningarna blev som mest 0,1154 mm. Med spänningarna beräknade kunde säkerhetsfaktorn beräknas. Med en sträckgräns

på 174 MPa och effektivspänningar på 49,84 MPa blev säkerhetsfaktorn ca 3,5. Experter på Siemens menade att en säkerhetsfaktor på åtminstone 2 kan vara rimligt. Resultatet sammanfattas i Tabell 5.3.

Tabell 5.3 Resultat av topologioptimering och performance validation.

<i>Vikt</i>	495 g
<i>Högsta förskjutningar</i>	0,1154 mm
<i>Högsta effektivspänningar</i>	49,84 MPa
<i>Säkerhetsfaktor</i>	3,49

5.3 Sammanfattning Utveckla

Här redovisas arbetet med att ta fram inställningar för att kunna skriva ut egna bussningar och en sammanfattning av de slutliga inställningarna. Dessa kan producera åtta bussningshalvor på ca 14 timmar.

Bussningarna har testats i olika kemikalier och UV-ljus utan någon märkbar påverkan. Bussningar med olika förutsättningar har också testats i en pressmaskin. Vissa faktorer, t.ex. några kemikalier, verkar ha påverkat bussningarnas hårdhet men de olika bussningarna tar upp mellan 4100 och 5900 N utan permanenta skador.

Processen att ta fram en design på bärarmen genom TO, och sedan validera spänningsfördelningen med en performance validation beskrivs i detta kapitlet. Resultatet är en bärarm som väger knappt 0,5 kg och har en säkerhetsfaktor på 3,5. Dock är resultatet ganska förenklat; t.ex. används bara två lastfall och den materialdata som används är inte från det material som var tänkt från början.

I nästa kapitel diskuteras flera aspekter kring projektets resultat och förslag på fortsatt arbete, samt projektet som helhet.

6 Leverera

I detta kapitel diskuteras resultatet, däribland utskrifter och tester av bussningar, kostnadsanalyserna, topologioptimeringen, samt för- och nackdelar med olika metoder att ta fram bussningar. Förslag på fortsatt arbete med bussningen och bärarmen presenteras. Här diskuteras också övriga aspekter av arbetet, t.ex. den valda metodiken och projektets tidsplan.

6.1 Bussning

6.1.1 Utvärdering av alternativ

De alternativ för bussningarna som undersökts är att köpa färdiga bussningar från Rally Design, att beställa 3D-printade bussningar från leverantör och att 3D-printa bussningarna själv. Tillvägagångssättet att printa egna bussningar har utforskats närmare för att utveckla en fungerande metodik. Dock tas ingen av metoderna vidare till faktisk produktion på Ecoist inom ramarna för examensarbetet. Därför tas ingen ställning här för något alternativ. Då varje tillvägagångssätt har sina för- och nackdelar listas istället några av dessa nedan. Då AM är ett brett fält gäller dessa för- och nackdelar nödvändigtvis inte för andra komponenter, material eller andra omständigheter.

6.1.1.1 Rally Design

Fördelar:

- Komponenterna är färdigtillverkade och det finns alltså inga ledtider för produktion.
- Bussningarna är tillverkade specifikt för bilar och är alltså pålitliga med avseende på material, hållfasthet etc.
- Bitar av stålrör ingår och behöver alltså inte tillverkas själv (eller köpas in).

Nackdelar:

- Bussningarna skickas från England. Då Storbritannien lämnar EU (Brexit) kan handeln fortsätta som vanligt till och med den 31 december 2020 men

vad som händer efteråt i fråga om t.ex. tullar är i skrivande stund osäkert [22].

- Måtten på bussningarna går inte att ändra, och stämmer inte överens med de av Ecoist tilltänkta måtten.
- Priset ligger högre än både bussningar man skriver ut själv, och de billigaste bussningarna från 3D-printleverantörer. Samtidigt är de billigare än de flesta bussningar från leverantör som undersökts.

6.1.1.2 3D-printleverantör

Fördelar:

- Det finns ett stort utbud av olika leverantörer, med olika tillverkningsalternativ och möjlighet att t.ex. välja shore-hårdhet.
- Designen på komponenterna kan anpassas och justeras under produktion.
- Vissa större leverantörer tillhandahåller olika tjänster och support, t.ex. hjälp med att utforma sina komponenter för AM.

Nackdelar:

- I de flesta undersökta fallen är det dyrare att köpa 3D-printade bussningar från leverantör än att välja något annat tillvägagångssätt.
- Då inga beställningar gjorts i detta projekt är det ännu osäkert om kvaliteten är tillräcklig på bussningar från olika leverantörer, och hur mycket kvaliteten eventuellt varierar mellan olika satsar.

6.1.1.3 3D-printa själv

Fördelar:

- Bussningarna printas kontinuerligt och metoden ger alltså omedelbara resultat.
- Designen kan anpassas och ny design kan utvärderas snabbt, vilket möjliggör snabb iterering för att nå ett önskat resultat.
- När man skriver ut bussningar själv behålls kontrollen över produktionen och ingående parametrar.
- Metoden ger lägsta priser för bussningar av alla undersökta metoder.

Nackdelar:

- Projektet har visat att TPU är ett väldigt svårt material att hantera vid utskrift genom FDM.
- När man skriver ut själv är man också ansvarig för att skrivaren fungerar som den ska, att byggplatta och extruder är kalibrerade etc. Olika problem kring egna utskrift diskuteras i 6.1.2.2 *Utskriftsprocessen*.
- Bortsett från att metoden ger löpande resultat kan de andra tillvägagångssätten ofta ge totalt sett fler bussningar på kortare tid, särskilt för större serier. Åtta bussningar kan man skriva ut själv på ca 14 timmar.

Leverans- och ledtider för andra alternativ kan jämföras i *Bilaga C – Offerter bussning*.

6.1.2 Allmän diskussion

6.1.2.1 Kostnadsanalysen

I kostnadsjämförelsen är inte inköpspriset för en 3D-skrivare inräknat i alternativet att skriva ut egna bussningar. Om det var det skulle inköpspriset kunna slås ut på antalet utskrivna komponenter under skrivarens livstid för att se hur skrivarens kostnad påverkar styckpriset på bussningar. Men även om totala antalet bussningar kan uppskattas är det svårt att beräkna hur skrivarens pris ska fördelas med tanke på att en FDM-skrivare kan användas till mycket annat än bussningarna i detta projekt. T.ex. gjordes några framgångsrika tester med en annan, mindre typ av bussning åt Ecoist utanför ramarna för detta projekt. Dessutom kan skrivaren användas till prototyputveckling och komponenter i andra material.

Till saken hör också att Ecoist redan har tillgång till en skrivare som är snarlik den som användes till bussningarna i detta projektet. Om Ecoist väljer att skriva ut egna bussningar krävs alltså inga ytterligare utgifter för att köpa in en 3D-skrivare. Därför ingår inte kostnaden för en 3D-skrivare i prisberäkningarna.

Personalkostnader och reparationskostnader är inte heller inräknade eftersom det kan vara svårt att beräkna hur dessa ska fördelas på bussningarna enligt argumenten ovan. Det kan också vara svårt att uppskatta kostnaderna i sig och ett schablonvärde skulle kunna skilja sig från de verkliga kostnaderna. T.ex. är det mindre troligt att Ecoist skulle anställa en person enbart för att sköta 3D-skrivaren.

6.1.2.2 Utskriftsprocessen

Det absolut största problemet under arbetet för att skriva ut egna bussningar var att det mjuka filamentet trasslades in i matningskugghjulen i extrudern, vilket ledde till att inget filament kom ut. En teori är att matningskugghjulen matade snabbare än vad som kunde komma ut genom munstycket, så att filamentet vek sig inuti extrudern. T.ex. fastnade filamentet i extrudern mycket tidigare då byggplattan var kalibrerad att ligga närmare munstycket, vilket gav mindre plats för filamentet att extruderas. Att åtgärda detta problemet tog upp större delen av utvecklingsarbetet för bussningarna. Arbetet handlade därför inte så mycket om att ta fram olika alternativ för inställningar och väga dessa mot varandra, snarare att hitta utskriftsinställningar som gav ett resultat över huvud taget.

De inställningar för 3D-skrivaren som till slut valdes togs fram för att öka flödet i extrudern, minska matningen m.m. för att förhindra trassel i extrudern. Dock kunde även dessa inställningarna misslyckas vid ett fåtal tillfällen. Därför är det osäkert om en helt pålitlig process för att skriva ut bussningar i TPU kan tas fram under de givna omständigheterna.

Andra inställningar som testades gav lite snabbare resultat men misslyckades nästan varje gång på grund av trassel i extrudern. Samtidigt kunde dessa inställningar ge goda resultat för andra geometrier med mindre infill och/eller tunnväggiga geometrier, vilket antyder att det inte finns några universella optimala inställningar.

En oförutsedd komplikation var att en mjukvaruuppdatering av skrivaren ställde till problem med kalibreringen. Extrudermunstycket hamnade för högt ovanför byggplattan och skrivarens kalibreringsfunktioner fungerade inte som de skulle. Därför fick byggplattans höjd och lutning justeras manuellt flera gånger efterhand tills resultatet blev bra.

När flera bussningshalvor skrevs ut i serie brukade de två första ha mycket mer prickar (som tecken på fukt i filamentet) än de efterföljande. En teori är att det yttersta lagret filament på rullen absorberade mer fukt än de underliggande lagren när rullen inte användes. Om detta stämmer borde problemet kunna reduceras i viss mån om utskriften sker kontinuerligt, så att det exponerade filamentet hinner användas innan det hinner absorbera så mycket fukt. I övrigt kan det vara svårt att förhindra att filamentet tar upp fukt när det används. När det inte används kan det förvaras lufttätt, och vid behov kan det värmas upp för att förånga den absorberade fukten.

De måttavvikelser som fanns på de utskrivna bussningarna kan kompenseras för genom att justera måtten i CAD-filen som användes till utskriften.

6.1.2.3 Val av material

Ecoist hade själva valt ut ECO – TPU som filament för de egna utskriften. Någon information om specifika egenskaper hos ECO – TPU kunde inte fås från tillverkaren annat än att det är polyesterbaserat [23].

TPU är ett elastiskt material med hög draghållfasthet. Polyesterbaserat TPU är motståndskraftigt mot oljor och kemikalier och står emot nötning bra. Dock kan det påverkas av svamp och bakterier och kan brytas ner genom hydrolys vid höga temperaturer och fukt. [24]

Det är oklart om dessa nackdelar är signifikanta för den tilltänkta applikationen då bussningarna vistas i en varierande utomhusmiljö men ECO – TPU bedömdes i övrigt vara ett passande material. Det råder dock inget tvivel om att det existerar typer av TPU som passar för olika tillämpningar i bilar och/eller i utomhusmiljö [25].

6.1.2.4 Tester

Vid testerna användes bussningar som tagits fram under processens gång och därmed skrivits ut med olika inställningar. Just i detta avseende förväntas bussningarna ändå vara av snarlik kvalitet. Dock medförde de slutgiltiga utskriftsinställningarna något mindre mått än övriga bussningar eftersom mindre filament extruderades (se extrusion ratio under *5.1.1.1 Slutgiltiga*

utskriftsinställningar). Eventuellt kan man tänka sig att detta skulle innebära svagare bindning mellan lagren, men detta var inget som testades specifikt.

Resultatet i Tabell 5.1 visar hur bussningarna påverkas av olika faktorer genom att de tar upp olika mycket kraft jämfört med referensvärdet vid samma förskjutning. Faktorerna fukt i filament och litiumfett (och i viss mån UV-strålning) verkar ge hårdare bussningar medan kallavfettning verkar mjuka upp bussningen. Dock är inte detta säkerställt statistiskt då bara ett test gjordes per typ av bussning.

6.1.3 Förslag på fortsatt arbete

Testerna som gjorts har varit begränsade i omfattning, därför finns mycket att göra inom detta området. Dels behövs större antal tester, för att statistiskt säkerställa huruvida de olika kvalitets- och miljöfaktorerna har någon inverkan. Dels behövs även fler typer av tester för att kontrollera bussningarnas mekaniska egenskaper. T.ex. kan man testa hur bussningarna reagerar på långvarig belastning, cyklisk belastning, olika temperaturer etc. Då det använda filamentet är polyesterbaserat och därmed mottagligt för bakterier och hydrolys kan detta behöva undersökas närmare. Om bussningarna monteras i bilen kan faktorer som körkomfort utvärderas.

Utvecklingsarbetet för bussningarna har skett inom vissa ramar. Skrivare och material har inte ändrats och arbetet har i princip bestått i att justera olika utskriftsparametrar. Därför finns det potential att utforska andra faktorer. En annan extruder kan ge bättre resultat, t.ex. Flexion Extruder som kan köpas separat och sägs fungera väldigt bra med flexibla filament [26]. I arbetet har den mjukaste sorten av ECO – TPU använts. Enligt Creative Tools som tillhandahåller ECO – TPU är det lättare att skriva ut med lite hårdare filament, och att flexibiliteten istället kan ökas genom att minska antalet shells och mängden infill [11]. Om fortsatta tester visar att en polyesterbaserad TPU inte är lämplig kan ett polyeterbaserat filament användas. Polyeterbaserad TPU står emot påverkan från mikroorganismer och hydrolys [24]. T.ex. finns polyeterbaserade Iroprint F 80213 med shore-värde 85A [27]. Eventuellt är det möjligt att förfina utskriftsparametrarna ytterligare, t.ex. att hitta en kombination som ger lite kortare utskriftstider samtidigt som processen är tillförlitlig.

6.2 Bärarm

6.2.1 Allmän diskussion

Arbetet att utveckla designen på bärarmen genom TO har varit relativt grundläggande och inneburit en del förenklingar. T.ex. har endast två lastfall undersökts och data för det tilltänkta materialet som diskuteras i 5.2.1.5 *Material* fanns inte tillgängligt för beräkningarna. Projektet har visat på en metod som är lovande i utvecklingsarbetet men mycket kan göras för att utveckla metoden ytterligare, se 6.2.2 *Förslag på fortsatt arbete*.

Under arbetet att ta fram offerter för att 3D-printa bärarmen har det skett viss kommunikation och diskussion med anställda på olika företag som tillhandahåller 3D-utskrifter. I vissa fall har det funnits tvivel kring lämpligheten att tillverka bärarmen med AM. Liz Parlett, sales representative på Shapeways, menar att AM nästan alltid är dyrare än andra metoder, särskilt vid serietillverkning, och att metoden passar bäst för prototyper, små serier, svåra geometrier och då snabba resultat är önskade [28]. Arcam EBM (del av GE Additive) tillverkar bara 3D-skrivare och lämnade ingen offert. Experter på Arcam menar att bärarmen inte är lämplig att 3D-printas och att det skulle vara mycket billigare att svetsa ihop olika rörbitar [29]. Värt att notera är att designen som användes vid förfrågan om offert inte var topologioptimerad utan var sammansatt av olika rörformade geometrier, se Figur 3.11.

Den topologioptimerade bärarmen uppnådde en relativt låg vikt på 495 g; enligt Ecoist kan en bärarm av ihopsvetsade stålrör väga omkring 2,5 kg. Detta innebär stora viktbesparingar, särskilt om fler komponenter, t.ex. den nedre bärarmen, kan optimeras på samma sätt.

Den topologioptimerade bärarmen har större mått än de som användes vid begäran av offert; den är ca 311 mm bred och 330 mm lång. Detta innebär att bärarmen är för stor för att skrivas ut hos fyra av de sju leverantörer som lämnat offert: 3D Hubs, Amexci, Protolabs och Shapeways, se *Bilaga D – Offerter bärarm*. Tillåtna mått på utskrifter från Addema är okänt. Här räknas inte möjligheten att passa in bärarmen på byggplattan genom att skriva ut den i någon vinkel, vilket bara skulle tillåta enstaka utskrifter åt gången. Bärarmens orientering vid utskrift är för övrigt betydelsefull för slutresultatet och är föremål för undersökning.

6.2.1.1 Val av material

Ecoist rekommenderade aluminium som ett lämpligt material för bärarmen, därför var detta förstahandsvalet när leverantörer tillfrågades om offerter för bärarmen.

Aluminium är mycket vanligt i bilindustrin och används bl.a. till chassi och motordelar. Materialet har låg vikt, är starkt, flexibelt, och står emot korrosion. [30]

Addema lämnade offert för bärramar i rostfritt stål, vilket inte är ett helt otänkbart material. Enligt Addema skulle aluminium kosta ca 30% mer [14]. Utöver detta saknas information från andra leverantörer om hur rostfritt stål står sig prismässigt mot aluminium.

6.2.2 Förslag på fortsatt arbete

Arbetet i NX har inte varit så djupgående; fler funktioner och möjligheter kan utforskas i samråd med Siemens för att få ett bättre och mer pålitligt resultat. Bland annat kan resultatet från topologioptimeringen justeras manuellt, t.ex. för att få finare ytor. Eventuellt kan vissa områden som tar upp mindre kraft (blå områden i Figur 5.14) minskas eller tas bort.

När materialdata för rätt material finns tillgängligt kan nya beräkningar göras. Den materialfil som använts här innehåller väldigt få värden och om den ska användas till andra typer av beräkningar kan den behöva utökas med mer data (som möjligtvis inte finns i materialdatabladet) t.ex. temperaturberoende data.

Endast två lastfall har använts i processen (svängning och inbromsning) och har applicerats samtidigt vid beräkningarna. För ett bättre underlag kan fler lastfall behövas, t.ex. olika typer av kollisioner, vibrationer etc.

Topologioptimeringen kan utvecklas för att ta hänsyn till att bärramen är infäst runt mjuka bussningar och därmed har viss rörlighet, vilket borde påverka spänningsfördelningen.

Några mer specifika krav har inte funnits kring bärramens resultat angående vikt, säkerhetsfaktor och utseende. Om dessa kan preciseras kan det vara möjligt att uppnå ett mer ändamålsenligt resultat.

Efter TO och performance validation kan man gå vidare till fasen Manufacturing Planning för att ta fram en metod för hur bärramen ska 3D-printas, se Figur 5.8.

Vid framtagandet av offerter har bara material som tillhandahålls av respektive leverantör övervägts. När det önskade materialet för bärramen finns tillgängligt behöver en leverantör hittas som kan göra utskriften med detta materialet.

Då vissa leverantörer har uttryckt osäkerhet kring lämpligheten att 3D-printa bärramen kan det vara värt att göra en grundligare jämförelse mellan 3D-printade bärramar och bärramar av ihopsvetsade rör (vilket är tänkt till de 20 första exemplaren av Tian). T.ex. kan kostnader och mekaniska egenskaper undersökas och jämföras.

6.3 Övrig diskussion

6.3.1 Uppfyllande av målbeskrivning

Här beskrivs hur väl examensarbetet uppfyller de mål som ställts upp. Tabell 6.1 sammanfattar vilka mål som uppfyllts.

Tabell 6.1 Uppfyllande av mål.

<i>Mål</i>	<i>Bussning</i>	<i>Bärarm</i>
Ekonomisk jämförelse mellan...		
Egna 3D-utskrifter	Ja	
3D-utskrifter från leverantör	Ja	Ja
Ecoists nuvarande lösning	Ja	
Optimera designen		Ja
Optimera utskriftsprocessen	Ja	

6.3.1.1 Ekonomisk jämförelse

”Att utföra en ekonomisk jämförelse mellan olika sätt att framställa komponenterna. Tänkbara metoder är att 3D-printa komponenterna själv, köpa in 3D-printade komponenter från leverantör eller fortsätta använda den metod som Ecoist använder i nuläget. De metoder av dessa som är möjliga och relevanta att jämföras ska undersökas närmare för att se vilket sätt som är billigast.”

6.3.1.1.1 Bussning

Kostnader för alla tänkbara metoder kunde sammanställas och jämföras, d.v.s. att 3D-printa egna bussningar, köpa 3D-printat från leverantör och att köpa bussningar från Rally Design.

6.3.1.1.2 Bärarm

Endast priser för att köpa in 3D-printade bärarmar från leverantör har samlats in och därför har ingen kostnadsjämförelse med andra alternativ kunnat göras. Kostnadsdata för Ecoists nuvarande alternativ med bärarmar av ihopsvetsade stålrör har inte funnits tillgängligt. Kostnaden att 3D-printa egna bärarmar har inte undersökts eftersom det bedöms som orimligt att Ecoist skulle köpa en 3D-printer för metall inom den närmsta tiden, samt att kostnaderna kan vara svåra att beräkna. T.ex. skulle en sådan printer troligen användas till andra komponenter än bärarmar.

6.3.1.2 Utveckling av komponenter

”Att, där det är möjligt och relevant, optimera designen på komponenterna för AM och/eller att optimera utskriftsprocessen och dess parametrar.”

6.3.1.2.1 Bussning

Designen på bussningarna var redan bestämd av Ecoist och det sågs inte som nödvändigt att ändra på designen. En metod för att skriva ut bussningar i TPU har tagits fram, med förbehållet att det under givna förutsättningar finns svårigheter att skriva ut i TPU.

6.3.1.2.2 Bärarm

En TO har gjorts för att optimera bärarmens design. Resultatet är inte färdigt för produktion men processen har varit framgångsrik. På grund av tidsbegränsningar har inte någon process för att 3D-printa bärarmen undersökts eller tagits fram.

6.3.2 Leverantörer

För både bussningen och bärarmen har sökandet efter leverantörer inte varit uttömmande. Ett antal prisexempel har tagits fram som underlag för om det är värt att köpa in komponenterna från en 3D-printleverantör. Det kan finnas andra potentiella leverantörer som är värda att undersökas, särskilt då offerterna visar att priserna kan skilja sig mycket mellan olika tillverkare.

6.3.3 Metodik

Metodiken som använts under projektet liknar Double Diamond-metodiken (se 2 Metodik). I processen Utveckla utforskas och genereras vanligtvis flera olika designalternativ och en lösning sållas sedan ut från det underlag som tagits fram. I detta projektet har utvecklingsfasen varit mer linjär av olika anledningar. I fallet med bussningarna fanns svårigheter att få en tillförlitlig utskriftsprocess och därför fanns inte så stora möjligheter att ta fram olika fungerande utskriftsinställningar och väga dessa mot varandra. För att inte komplicera arbetet testades inte olika filament eller hårdvara (t.ex. extruder), utan fokus låg på att justera inställningarna i Flashprint. Vad gäller bärarmen innebar bl.a. tillgången på materialdata och lastfall, samt tidsaspekten att det inte var möjligt att djupdyka i NX möjligheter, och processen hölls därför relativt enkel.

6.3.4 Lönsamhetsaspekter

I början av projektet antogs olika aspekter kring lönsamhet och AM kunna beaktas, t.ex. minskade lagerkostnader genom att beställa/printa efter behov och att undvika tullar genom att skicka printfiler utomlands istället för färdiga komponenter. I slutändan har fokus för lönsamhet legat på kostnaden att köpa eller tillverka komponenterna, och andra aspekter har försummats eller inte varit aktuella. Ecoist uppskattas ha lagerkostnader på 350 kr/m² per år. Denna kostnaden har inte beaktats i kostnadsjämförelsen då den anses försumbar i förhållande till kostnaden för komponenterna och det lagerutrymme de kan tänkas ta upp.

6.3.5 Tidsplan

Tidsplanen för projektet samt det faktiska utfallet redovisas i *Bilaga A – Tidsplan*. I projektvecka 6 togs en mer detaljerad tidsplan fram och som användes för återstoden av projektet. En stor skillnad mellan utfallet och planeringen är att ytterligare en komponent, en instrumentpanel, aldrig undersöktes. I slutändan fanns inte tid till detta i projektet, men det antogs redan från början att vissa komponenter eventuellt inte skulle undersökas beroende på tidsåtgången för de övriga. Att ta fram fysiska utskrifter av bärarmen och testa dessa hanns inte heller med. Det kan vara svårt att på förhand uppskatta tidsåtgången för olika aktiviteter, men att projektet drog ut på tiden och att tidsplanen inte kunde följas beror främst på svårigheter med att printa bussningshalvor. Som diskuterats ovan fanns svårigheter att få fram ett godtagbart resultat, vilket tog mycket längre tid än beräknat. Att kunna 3D-printa bussningshalvor överhuvudtaget skulle kunna ses som ett grundkrav för projektet och därför fick det ta den tid det tog. Utskriftsprocessen krävde ständig tillsyn och var ett aktivt arbete med omstart av utskrifter, anpassning av inställningar och kalibrering av skrivaren. Därför fanns små möjligheter att arbeta med andra aktiviteter parallellt. Den faktiska tidsåtgången för testning av bussningarna har angetts i tidsplanen till sex veckor. Arbetsinsatsen i sig var dock relativt liten: bortsett från presstesterna och dess förarbete innebar testerna bara att bussningshalvor förvarades i kemikalier eller i en UV-kammare.

Referenslista

- [1] Koch, T., grundare Ecoist AB, Ängelholm, Sverige. Personligt samtal. (2020, 6 maj).
- [2] Europaparlamentets och rådets förordning (EU) nr 168/2013 av den 15 januari 2013 om godkännande av och marknadstillsyn för två- och trehjuliga fordon och fyrhjulingar. (2013). *Europeiska unionens officiella tidning*, L60, 52–128. Hämtad 18 maj 2020 från <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/HTML/?uri=CELEX:32013R0168&from=SV>
- [3] Kommissionens delegerade förordning (EU) nr 3/2014 av den 24 oktober 2013 om komplettering av Europaparlamentets och rådets förordning (EU) nr 168/2013 vad gäller krav på fordons funktions säkerhet för typgodkännande av två- eller trehjuliga fordon och fyrhjulingar. (2013). *Europeiska unionens officiella tidning*, L7, 1–12. Hämtad 18 maj 2020 från <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/HTML/?uri=CELEX:32014R0003&from=SV>
- [4] What is the framework for innovation? Design Council's evolved Double Diamond. (2015). Hämtad 1 maj 2020 från <https://www.designcouncil.org.uk/news-opinion/what-framework-innovation-design-councils-evolved-double-diamond>
- [5] Salaymeh, A. (u.å.). *Front wishbones load distributions Ecoist AB*. Mottagen 11 februari 2020
- [6] Locost PolySport Bush. (2019). Hämtad 21 februari 2020 från https://www.rallydesign.co.uk/product_info.php?cPath=1375_1594_1600_1601&products_id=25106
- [7] [Genomskäringsskiss av en bussning]. (u.å.). Hämtad 15 november 2020 från https://www.rallydesign.co.uk/product_info.php?cPath=1375_1594_1600_1601&products_id=25106
- [8] [Bild som jämför olika föremåls respektive hårdhet]. (u.å.). Hämtad 5 mars 2020 från <https://www.smooth-on.com/page/durometer-shore-hardness-scale/>
- [9] Diegel, O., Nordin, A. & Motte, D. (2020). *A Practical Guide to Design for Additive Manufacturing*. Singapore: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-8281-9>
- [10] Rostfria Runda Slipade Rör. (u.å.). Hämtad 22 maj 2020 från https://montano.se/product.html/rostfria-slipade-ror?category_id=358
- [11] ECO – TPU – 1,75 mm. (u.å.). Hämtad 27 april 2020 från <https://www.creativetools.se/hardware/3d-printers-and-accessories/filaments/flexible-filaments/eco-tpu-1-75>
- [12] [Hemsida för direkt offert från 3D Hubs]. (u.å.). Offert hämtad 3 mars 2020 från <https://www.3dhubs.com/manufacture/?technology=3d-printing>
- [13] Carriage, (u.å.). Hämtad 19 maj 2020 från https://www.rallydesign.co.uk/information.php?info_id=5

- [14] Löfstrand, S., arbetar på Addema AB, Jönköping, Sverige. E-post (2020, 27 samt 31 mars).
- [15] Locost Top Wishbone – Pair. (2006). Hämtad 26 maj 2020 från https://www.rallydesign.co.uk/product_info.php?cPath=1375_1594_1600_1601&products_id=11834
- [16] Westfield Wide Track, Top Wishbone – Pair. (2006). Hämtad 26 maj 2020 från https://www.rallydesign.co.uk/product_info.php?cPath=1375_1594_1600_1602&products_id=11841
- [17] TPU 3D Printing: A Guide to 3D Printing Flexible Parts. (2018). Hämtad 27 april 2020 från <https://amfg.ai/2018/07/23/tpu-3d-printing-guide/>
- [18] Flexible. (u.å.). Hämtad 27 april 2020 från <https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/flexible/>
- [19] BASF 3D Printing Solutions BV. (2019). *Technical Data Sheet – Ultrafuse TPU 80A LF* [Faktablad]. Hämtad 27 april 2020 från https://www.ultrafuseff.com/wp-content/uploads/2019/04/Ultrafuse_TPU_80A_LF_TDS_EN_v2.3.pdf
- [20] Casha, J., [3DMN], (2018, 10 juli). 3D Printing In TPU - Tips and Tricks [videofil]. Hämtad 26 maj 2020 från <https://www.youtube.com/watch?v=ACRh51hdBxo>
- [21] What Is Ultraviolet Light? (2017). Hämtad 17 juni 2020 från <https://www.livescience.com/50326-what-is-ultraviolet-light.html>
- [22] Brexit – vad innebär det för svensk handel? (2020). Hämtad 18 juni 2020 från <https://www.tullverket.se/sv/foretag/framtidatullhantering/brexitvadinnebardeforsvenskhandel.4.1595a16515ebddf51193d.html>
- [23] Pettersson, K., arbetar på Creative Tools, Halmstad, Sverige. E-post (2020, 1 april).
- [24] Huntsman. (2010). *A guide to thermoplastic polyurethanes (TPU)* [Faktablad]. Hämtad 30 juni 2020 från http://www.huntsman.com/polyurethanes/Media%20Library/global/files/guide_tpu.pdf
- [25] Introduction to Polyurethanes: Thermoplastic Polyurethane. (u.å.). Hämtad 30 juni 2020 från <https://polyurethane.americanchemistry.com/polyurethanes/Introduction-to-Polyurethanes/Applications/Thermoplastic-Polyurethane/>
- [26] Testimonials. (u.å.). Hämtad 23 juni 2020 från <https://flexionextruder.com/testimonial/>
- [27] Huntsman. (2019). *Preliminary Product Data Sheet IROPRINT F 80213* [Faktablad]. Hämtad 23 juni 2020 från https://www.iroprint.com/sites/default/files/media/files/2019-10/preliminary_product_data_sheet_-_iroprint_f_80213.pdf
- [28] Parlett, L., sales representative på Shapeways, New York, USA. E-post (2020, 1–2 april).
- [29] Holmberg, M., director area sales Nordic på Arcam EBM, Mölnlycke, Sverige. E-post (2020, 26 mars).
- [30] Aluminum and the auto industry. (2015). Hämtad 30 juni 2020 från <https://www.metalsupermarkets.com/aluminum-and-the-auto-industry/>
- [31] Tina, supporthandläggare på 3dhubs.com. Chatkonversation (2020, 5 mars).

- [32] Local vs Overseas production. (u.å.). Hämtad 19 maj 2020 från <https://help.3dhubs.com/help-center/ordering-custom-parts/5-manufacturing-process/cnc-machining-supplier-selection>
- [33] Lindahl, A., 3D Print & Design Services på 3DVerkstan AB, Stockholm, Sverige. E-post (2020, 30 mars).
- [34] Huggare, V., Konstruktion och design på Huggare Polymekaniska, Västerås, Sverige. E-post (2020, 26 februari).
- [35] Materialise OnSite – Shipping Info. (u.å.). Hämtad 19 maj 2020 från <https://www.materialise.com/en/manufacturing/materialise-onsite/shipping-info>
- [36] [Hemsida för direktoffert från Materialise]. (u.å.). Offert hämtad 3 mars 2020 från onsite.materialise.com
- [37] Materialise Manufacturing. (2019). *Datasheets - 3D Printing Materials* [Faktablad]. Hämtad 19 maj 2020 från https://www.materialise.com/system/files/resources/materialise_datasheets_def_file_PA-AF.PDF
- [38] FAQs. (u.å.). Hämtad 19 maj 2020 från <https://www.protolabs.co.uk/resources/faqs/>
- [39] Garber, S., account manager på Protolabs, Nacka, Sverige. E-post (2020, 26 februari).
- [40] Larsson, K., Sälj - 3DP på Protototal AB, Jönköping, Sverige. E-post (2020, 28 februari).
- [41] Where will my order ship from?. (u.å.). Hämtad 19 maj 2020 från <https://support.shapeways.com/hc/en-us/articles/360006409133-Where-will-my-order-ship-from->
- [42] [Hemsida för direktoffert från Shapeways]. (u.å.). Offert hämtad 2 mars 2020 från <https://www.shapeways.com/model/material-configurator/upload>
- [43] [Hemsida för direktoffert från 3D Hubs]. (u.å.). Offert hämtad 26 mars 2020 från <https://www.3dhubs.com/manufacture/?technology=3d-printing>
- [44] SLS – Selektiv lasersintring. (u.å.). Hämtad 21 maj 2020 från <https://addema.se/sls-info/>
- [45] Magnusson, A., applications manager på Amexci AB, Karlskoga, Sverige. E-post (2020, 8 april).
- [46] Magnusson, A., applications manager på Amexci AB, Karlskoga, Sverige. E-post (2020, 31 mars).
- [47] In-house AM technologies. (u.å.). Hämtad 21 maj 2020 från <https://amexci.com/print-a-part/>
- [48] FIT Additive Manufacturing Group, på FIT Prototyping GmbH, Lupburg, Tyskland. E-post (2020, 1 april).
- [49] Laser melting. (u.å.). Hämtad 21 maj 2020 från https://fit.technology/laser_melting_en.php
- [50] [Hemsida för direktoffert från Materialise]. (u.å.). Offert hämtad 24 mars 2020 från onsite.materialise.com
- [51] Vanhamme, A., sales engineer på Materialise, Leuven, Belgien. E-post (2020, 24 mars samt 2 april).

- [52] Aluminum (AlSi10Mg). (u.å.). Hämtad 21 maj 2020 från <https://www.materialise.com/en/manufacturing/materials/aluminum>
- [53] Garber, S., account manager på Protolabs, Nacka, Sverige. E-post (2020, 27 mars).
- [54] Direct Metal Laser Sintering. (u.å.). Hämtad 21 maj 2020 från <https://www.protolabs.co.uk/services/3d-printing/direct-metal-laser-sintering/>
- [55] [Hemsida för direktoffert från Shapeways]. (u.å.). Offert hämtad 24 mars 2020 från <https://www.shapeways.com/model/material-configurator/upload>
- [56] Aluminum. (u.å.). Hämtad 21 maj 2020 från <https://www.shapeways.com/materials/aluminum>

Bilaga C – Offerter bussning

Här finns en sammanställning av alla offerter som lämnats för bussningen, med utökad information.

Tabellerna C.1 – C.8 visar kostnader m.m. för respektive leverantör. Observera att olika valutor används. Alla priser är utan moms, om inte annat anges. Begrepp och förkortningar som inte förklarats tidigare (t.ex. printtekniker och material) förklaras inte närmare här. Pris per styck för Rally Design avser en komplett bussning med två bussningshalvor och ett stålrör. För övriga avser styckpriset endast en bussningshalva. Tillverkningsland är Sverige i de fall där inte annat framgår. Fraktkostnad är inte inräknat i priserna om inte annat anges.

C.1 Rally Design – jämförelsevärde

Locost PolySport Bush kostar £3,50 per styck. Frakt är inräknat i nedanstående priser och är en uppskattning baserad på fraktinfo från Rally Designs hemsida. Fraktsättet är Economy Express och kostar £27,50 per försändelse och £0,84 extra per kilo för paket till Sverige [13]. Vikten på en bussning är uppskattad till 40 g. Bussningarna levereras från England.

Tabell C.1 Priser på Locost PolySport Bush från Rally Design. [6]

<i>Material</i>	Polyuretan			
<i>Teknik</i>	Formsprutning			
<i>Shore-hårdhet</i>	78A ±2			
<i>Kommentarer</i>	-			
<i>Fraktkostnad</i>	Inräknad i nedanstående priser			
<i>Leveranstid</i>	3 dagar (Economy Express) [13]			
Antal hela bussningar	40	80	200	400
Antal bilar	5	10	25	50
Pris GBP	168,84	310,19	734,22	1440,94
Pris/st	4,22	3,88	3,67	3,60
Pris/bil	33,77	31,02	29,37	28,82

C.2 3D Hubs

Offerten har tagits fram direkt på hemsidan (instant quote). På grund av att materialen inte är standardiserade för olika produktionsteam kan materialdatablad endast fås när man lagt en order [31]. 3D Hubs har ett nätverk med många tillverkningspartners och beställda 3D-utskrifter produceras alltid ”lokalt” [32].

Tabell C.2 Kostnader för bussningar från 3D Hubs. [12]

<i>Material</i>	Standard TPU			
<i>Teknik</i>	FDM			
<i>Shore-hårdhet</i>	40–95A, kan fås exakt, t.ex. 78A [31]			
<i>Särskilda inställningar</i>	Infill: 80% Lagerhöjd: 300µm			
<i>Kommentarer</i>	Minsta ordervärde €85			
<i>Fraktkostnad</i>	Gratis (för den aktuella offerten)			
<i>Leveranstid</i>	2–4 dagar (för den aktuella offerten)			
Antal bussningshalvor	80	160	400	800
Antal bilar	5	10	25	50
Pris EUR	127,20	222,40	472	856
Pris/st	1,59	1,39	1,18	1,07
Pris/bil	25,44	22,24	18,88	17,12
Ledtid, dagar	5	7	10	14

C.3 3DVerkstan

Tabell C.3 Kostnader för bussningar från 3DVerkstan. [33]

Material	Ultrafuse TPU 80A LF			
Teknik	FDM			
Shore-hårdhet	89A (råmaterialet är 80A) [19]			
Särskilda inställningar	Infill: 100%			
Kommentarer	20 st tar ca 13 timmar att skriva ut på en skrivare. Ledtiderna kan kortas om fler skrivare används.			
Fraktkostnad	159 kr, 2*159 kr för 800 st			
Leveranstid	-			
Antal bussningshalvor	80	160	400	800
Antal bilar	5	10	25	50
Pris SEK	6100	11 500	26 000	52 000
Pris/st	76,25	71,88	65	65
Pris/bil	1220	1150	1040	1040
Ledtid, dagar	4	8	20	40

C.4 Huggare Polymekaniska

Tabell C.4 Kostnader för bussningar från Huggare Polymekaniska. [34]

Material	TPU			
Teknik	SLS			
Shore-hårdhet	Går att få 78A			
Särskilda inställningar	-			
Kommentarer	-			
Fraktkostnad	Följer Postnords tariffer			
Leveranstid	-			
Antal bussningshalvor	80	160	400	800
Antal bilar	5	10	25	50
Pris SEK	2700	3000	7000	14 000
Pris/st	33,75	18,75	17,50	17,50
Pris/bil	540	300	280	280
Ledtid, dagar	-	-	-	-

C.5 Materialise

Offerterna har tagits fram med instant quote. Leverans sker från Belgien [35].

Tabell C.5 Kostnader för bussningar från Materialise. [36]

Kommentarer	Alla priser med onlinerabatt 10%			
Fraktkostnad	Gratis i EU [35]			
Leveranstid	1–5 dagar [35]			
Material	Ultrasint TPU 90A-01			
Teknik	Multi Jet Fusion			
Shore-hårdhet	88A [37]			
Särskilda inställningar	Do not hollow Efterbehandling: Normal			
Kommentarer	-			
Antal bussningshalvor	80	160	400	800
Antal bilar	5	10	25	50
Pris EUR	342,72	643,68	1504,80	2880
Pris/st	4,28	4,02	3,76	3,60
Pris/bil	68,54	64,37	60,19	57,60
Ledtid, dagar	4	4	5	6
Material	DM_shoreA40 m.fl. (A50, A60, A70, A85, A95)			
Teknik	Polyjet			
Shore-hårdhet	40A, 50A, 60A, 70A, 85A, 95A [37]			
Särskilda inställningar	Efterbehandling: Basic			
Kommentarer	Instant quote kan ej ges för högre antal			
Antal bussningshalvor	80	160	256	
Antal bilar	5	10	16	
Pris EUR	2129,76	4112,64	6580,22	
Pris/st	26,62	25,70	25,70	
Pris/bil	425,95	411,26	205,63	
Ledtid, dagar	4	4	4	

C.6 Protolabs

Frakt till europeiska länder sker från anläggningar i England, Tyskland och Finland [38].

Tabell C.6 Kostnader för bussningar från Protolabs. [39]

<i>Material</i>	TPU-88A Black			
<i>Teknik</i>	SLS			
<i>Shore-hårdhet</i>	88A			
<i>Särskilda inställningar</i>	Finish: Standard Lagerhöjd: 100µm			
<i>Kommentarer</i>	-			
<i>Fraktkostnad</i>	Frakt är inkluderat			
<i>Leveranstid</i>	-			
Antal bussningshalvor	80	160	400	800
Antal bilar	5	10	25	50
Pris EUR	1247	2369	5734	11 343
Pris/st	15,59	14,81	14,34	14,18
Pris/bil	249,40	236,90	229,36	226,86
Ledtid, dagar	6–8			

C.7 Prototal

Tabell C.7 Kostnader för bussningar från Prototal. [40]

Material	Duraform Flex			
Teknik	SLS			
Shore-hårdhet	45–75D, datablad säger "Vary Shore A hardness without changing material"			
Särskilda inställningar	Lagerhöjd: 0,10 mm Yta: detalj glasblästras			
Kommentarer	Toleranser SLS min $\pm 0,2$ mm samt $\pm 0,25\%$ av dimension. Finare toleranser enligt separat överenskommelse.			
Fraktkostnad	250 kr + emballage 22 kr			
Leveranstid	-			
Antal bussningshalvor	80	160	400	800
Antal bilar	5	10	25	50
Pris SEK	3800	6000	10 500	19 200
Pris/st	47,50	37,50	26,25	24
Pris/bil	760	600	420	384
Ledtid, dagar	3–4	3–4	3–4	3–4

C.8 Shapeways

Offerten har tagits fram med instant quote. Leveranser till Sverige skickas från Nederländerna [41].

Tabell C.8 Kostnader för bussningar från Shapeways. [42]

<i>Material</i>	TPU			
<i>Teknik</i>	SLS			
<i>Shore-hårdhet</i>	>75A			
<i>Särskilda inställningar</i>	-			
<i>Kommentarer</i>	Tillverkningshastighet "Priority" kan fås för 5,15€/del (moms medräknat). Detta påverkar ledtiden enligt nedan.			
<i>Fraktkostnad</i>	Standard €15,93 inkl. moms Express €27,31 inkl. moms Standardfrakt inräknat i angivna priser.			
<i>Leveranstid</i>	Standard: 2–3 dagar, Express: 1 dag			
Antal bussningshalvor	80	160	400	800
Antal bilar	5	10	25	50
Pris EUR	1160,26	2307,78	5750,34	11 487,94
Pris/st	14,50	14,42	14,38	14,36
Pris/bil	232,05	230,78	230,01	229,76
Ledtid, dagar	Priority: 13, Economy: 23			

Bilaga D – Offerter bärarm

Här finns en sammanställning av alla offerter som lämnats för bärarmen, med utökad information.

Tabellerna D.1 – D.7 visar kostnader m.m. för respektive leverantör. Observera att olika valutor används. Alla priser är utan moms, om inte annat anges. Begrepp och förkortningar som inte förklarats tidigare (t.ex. printtekniker och material) förklaras inte närmare här. Tillverkningsland är Sverige i de fall där inte annat framgår. Fraktkostnad är inte inräknat i priserna om inte annat anges.

Då företagen har olika maxmått på sina skrivare användes bärarmar med olika mått vid begäran av offert. Alla utgår från designen i Figur 3.11. I tabellerna anger ett nummer vilken bärarm som användes för respektive offert. Måtten på de olika bärarmarna är följande:

- Bärarm nr 1: 250,5×271×30 mm (samma som Ecoists ritning i *Bilaga B – Ritning bärarm*)
- Bärarm nr 2: 248,5×271×30 mm
- Bärarm nr 3: 248,5×248×30 mm

D.1 3D Hubs

Offerten togs fram med instant quote. 3D-utskrifter från 3D Hubs produceras ”lokalt” av någon av deras tillverkningspartners [32].

Tabell D.1 Kostnader för bärarmar från 3D Hubs. [43]

<i>Material</i>	Aluminium AlSiMg10			
<i>Teknik</i>	DMLS			
<i>Särskilda inställningar</i>	Lagerhöjd: 50 µm			
<i>Tillåtna maxmått (mm)</i>	250×250×325			
<i>Använd bärarm</i>	Nr 2			
<i>Kommentarer</i>	-			
<i>Fraktkostnad</i>	Gratis (för den aktuella offerten)			
<i>Leveranstid</i>	2–4 dagar (för den aktuella offerten)			
Antal bärarmar	2	20	40	100
Antal bilar	1	10	20	50
Pris EUR	2795,80	11 164,80	20 204,80	47 634
Pris/st	1397,90	558,24	505,12	476,34
Pris/bil	2795,80	1116,48	1010,24	952,68
Ledtid, dagar	10	12	13	16

D.2 Addema

Addema är ett svenskt företag. Bärarmar i rostfritt stål erbjuds av ett partnerföretag. Var partnerföretaget är baserat har inte framgått men det är troligen i utlandet.

Tabell D.2 Kostnader för bärarmar från Addema. [14]

Material	PDX (kolfiberförstärkt polyamid)			
Teknik	SLS			
Särskilda inställningar	-			
Tillåtna maxmått (mm)	381×330×457 (SLS) [44]			
Använd bärarm	Nr 1			
Kommentarer	-			
Fraktkostnad	345 kr upp till 40 st, 750 kr för 100 st			
Leveranstid	-			
Antal bärarmar	2	20	40	100
Antal bilar	1	10	20	50
Pris SEK	10 000	90 000	170 000	400 000
Pris/st	5000	4500	4250	4000
Pris/bil	10 000	9000	8500	8000
Ledtid, dagar	-	-	-	-
Material	Rostfritt stål			
Teknik	Okänd			
Särskilda inställningar	Bärarmarna är urholkade (ej solida stänger)			
Tillåtna maxmått (mm)	Okänt			
Använd bärarm	Okänt, Nr 2 eller 3			
Kommentarer	Aluminium kostar ca 30% mer			
Fraktkostnad	Ev. samma som ovan, bärarmarna tillverkas av partnerföretag			
Leveranstid	-			
Antal bärarmar	2	20	40	100
Antal bilar	1	10	20	50
Pris EUR				
Pris/st	550	415	385	350
Pris/bil	1100	830	770	700
Ledtid, dagar	-	-	-	-

D.3 Amexci

Amexci jobbar bara med forskning, utveckling och prototyper, och rekommenderar att anlita ett större företag för utskrifter av bärarmen [45].

Tabell D.3 Kostnader för bärarmar från Amexci. [46]

<i>Material</i>	Aluminium
<i>Teknik</i>	-
<i>Särskilda inställningar</i>	-
<i>Tillåtna maxmått (mm)</i>	250×250×325 [47]
<i>Använd bärarm</i>	Nr 3
<i>Kommentarer</i>	8st får plats på en byggplatta
<i>Fraktkostnad</i>	Okänd
<i>Leveranstid</i>	-
Antal bärarmar	8
Antal bilar	4
Pris SEK	
Pris/st	9000
Pris/bil	18 000
Ledtid, dagar	-

D.4 Fit

Fit är ett tyskt företag.

Tabell D.4 Kostnader för bärarmar från Fit. [48]

<i>Material</i>	Aluminium AlSi10Mg			
<i>Teknik</i>	Laser melting of metal powder			
<i>Särskilda inställningar</i>	Lagerhöjd: 50 μm Ingen efterbehandling, t.ex. fräsning Komponenten är solid			
<i>Tillåtna maxmått (mm)</i>	Olika maskiner, t.ex. 400×400×400 [49]			
<i>Använd bärarm</i>	Nr 1			
<i>Kommentarer</i>	-			
<i>Fraktkostnad</i>	Okänd			
<i>Leveranstid</i>	-			
Antal bärarmar	2	20	40	100
Antal bilar	1	10	20	50
Pris EUR	2487,04	18 812,80	35 509,39	76 121,20
Pris/st	1243,52	940,64	887,73	761,21
Pris/bil	2487,04	1881,28	1775,47	1522,42
Ledtid, dagar	7	9	10	15

D.5 Materialise

Priset för 2 bärarmar har tagits fram med instant quote och har en pålagd onlinerabatt på 10%. Övriga priser har mottagits via mailkorrespondens.

Tabell D.5 Kostnader för bärarmar från Materialise. [50]; [51]

Material	Standard AlSi10Mg			
Teknik	Metal 3D Printing			
Särskilda inställningar	Corundum-Blasted (Matte)			
Tillåtna maxmått (mm)	Offlineorder: 500×280×315 Onlineorder: 440×220×315 [52]			
Använd bärarm	Nr 1			
Kommentarer	-			
Fraktkostnad	Gratis i EU (vid onlineorder) [35]			
Leveranstid	1–5 dagar [35]			
Antal bärarmar	2	10	40	100
Antal bilar	1	5	20	50
Pris EUR	3164,58		-	
Pris/st	1582,29	1350	-	750–875
Pris/bil	3164,58	2700	-	1500–1750
Ledtid, dagar	10	10–15	-	-

D.6 Protolabs

Frakt till europeiska länder sker från anläggningar i England, Tyskland och Finland [38].

Tabell D.6 Kostnader för bärarmar från Protolabs. [53]

<i>Material</i>	Aluminium (AlSi10Mg)			
<i>Teknik</i>	DMLS			
<i>Särskilda inställningar</i>	Lagerhöjd: 60 μ m "Normal-resolution"			
<i>Tillåtna maxmått (mm)</i>	250×250×300 [54]			
<i>Använd bärarm</i>	Nr 2			
<i>Kommentarer</i>	-			
<i>Fraktkostnad</i>	Frakt är inkluderat			
<i>Leveranstid</i>	-			
Antal bärarmar	2	20	40	100
Antal bilar	1	10	20	50
Pris EUR	2277	15 752	31 504	77 621
Pris/st	1138,50	787,60	787,60	776,21
Pris/bil	2277	1575,20	1575,20	1552,42
Ledtid, dagar	3–5	3–5	6–8	12–15

D.7 Shapeways

Priserna togs fram med instant quote. Leveranser till Sverige skickas från Nederländerna [41].

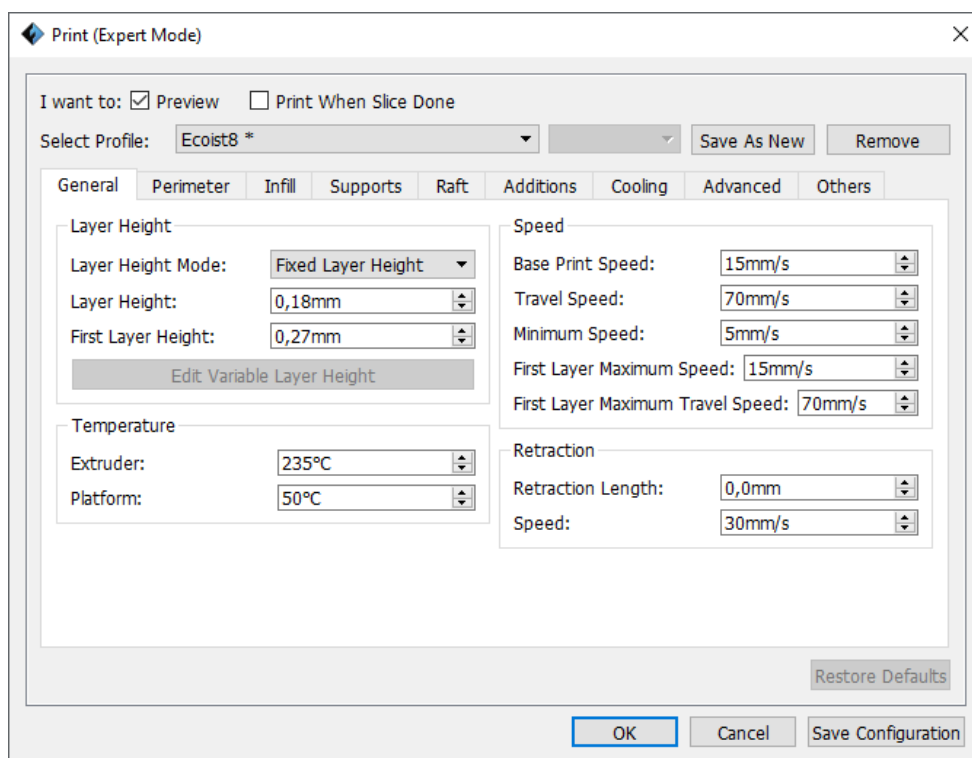
Tabell D.7 Kostnader för bärarmar från Shapeways. [55]

Material	AlSi10Mg (10% Si, 0,5% Mg)			
Teknik	SLM			
Särskilda inställningar	-			
Tillåtna maxmått (mm)	250×250×200 [56]			
Använd bärarm	Nr 3			
Kommentarer	Mängdrabatt är möjlig upp till 10% (gäller denna order) [28]			
Fraktkostnad	Standard €15,93 inkl. moms Express €27,31 inkl. moms Standardfrakt inräknat i angivna priser.			
Leveranstid	Standard: 2–3 dagar, Express: 1 dag			
Antal bärarmar	2	20	40	100
Antal bilar	1	10	20	50
Pris EUR	4185,24	41 737,70	83 462,66	208 637,54
Pris/st	2092,62	2086,89	2086,57	2086,38
Pris/bil	4185,24	4173,77	4173,13	4172,75
Ledtid, dagar	Tillverkningshastighet Economy: 25			

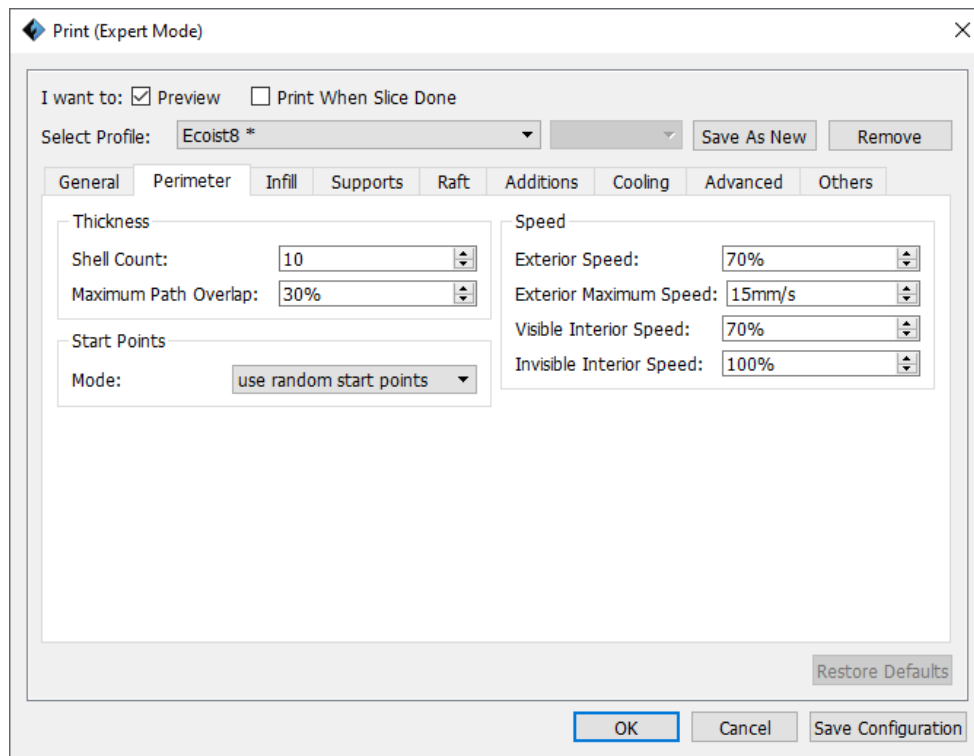
Bilaga E – Inställningar för utskrift av bussningar

Här ligger de slutgiltiga utskriftsinställningar som togs fram för utskrifter av bussningar.

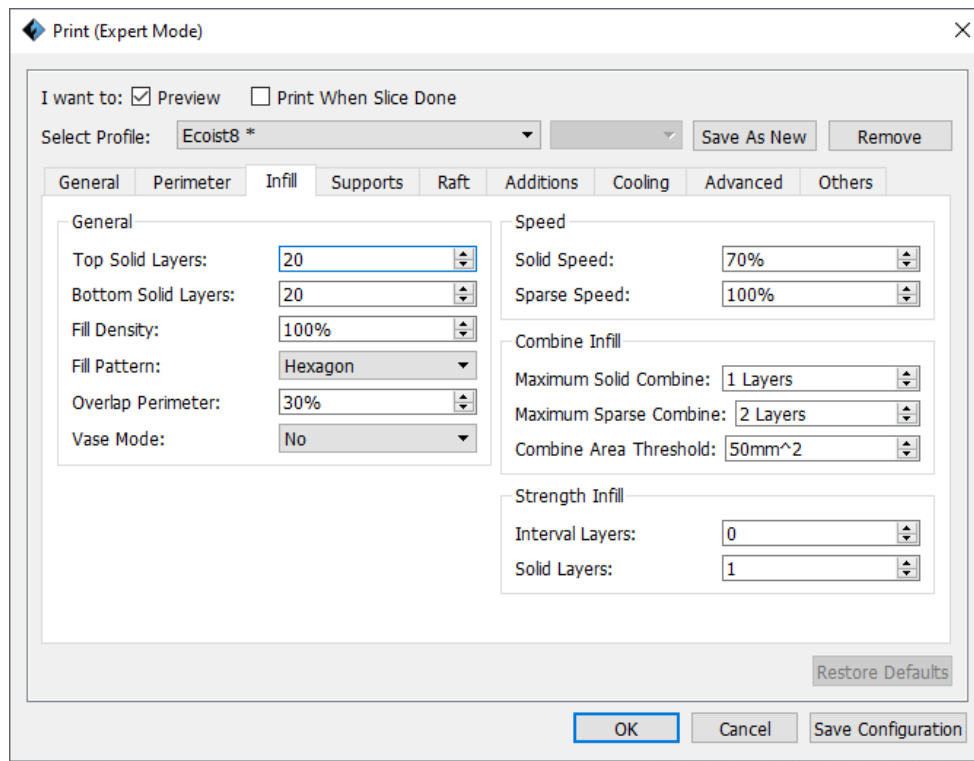
Figureerna E.1 – E.9 visar de inställningar som togs fram för att skriva ut bussningar. Bilderna är skärmdumpar från Flashprint, som användes för att ställa in utskriftsparametrarna.



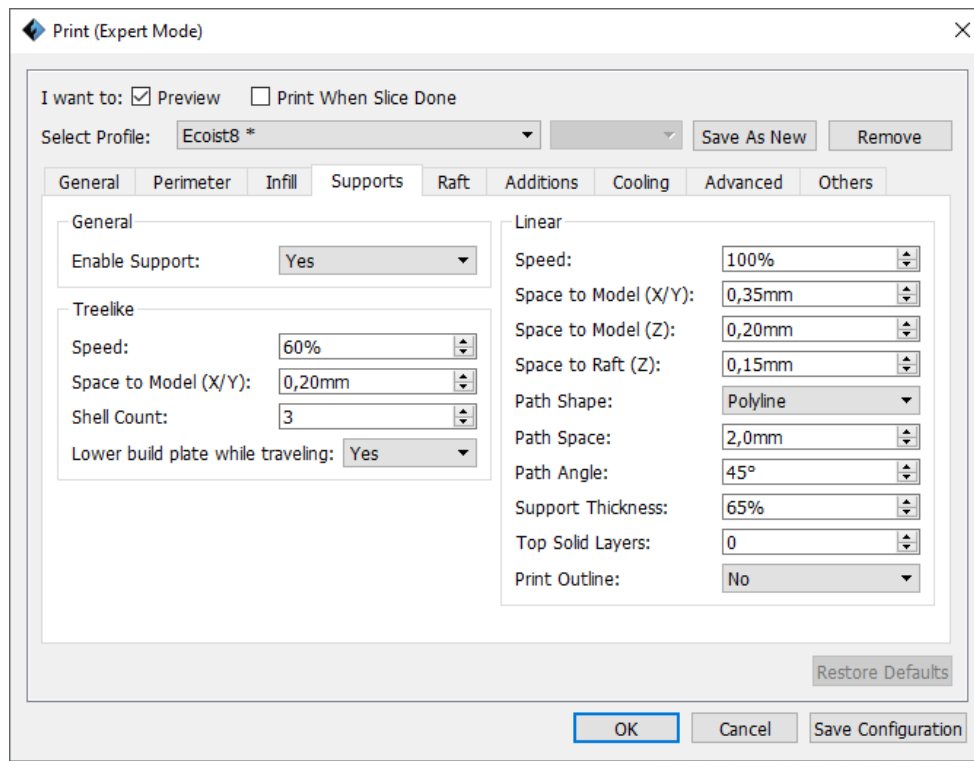
Figur E.1 Inställningar i Flashprint för utskrifter av bussningar.



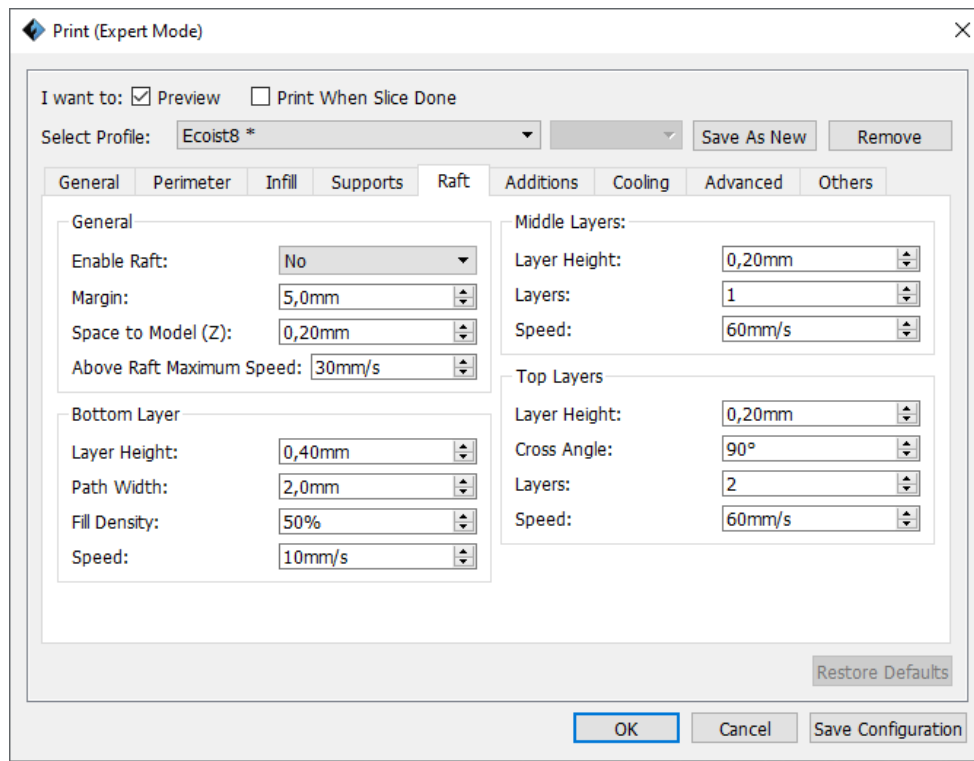
Figur E.2 Inställningar i Flashprint för utskrifter av bussningar.



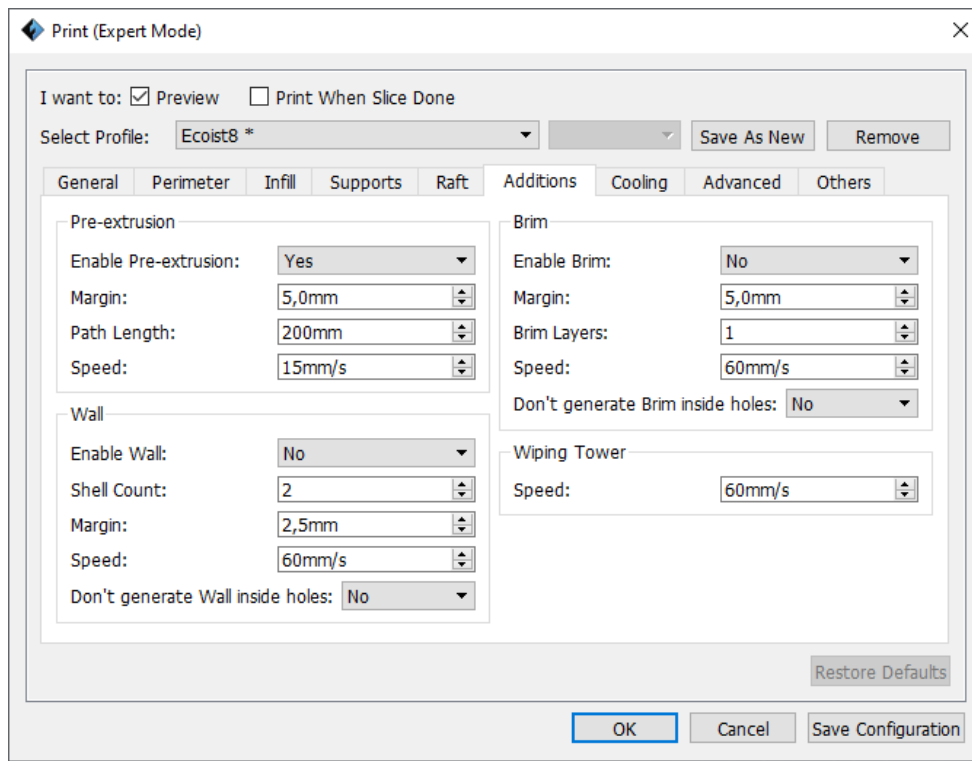
Figur E.3 Inställningar i Flashprint för utskrifter av bussningar.



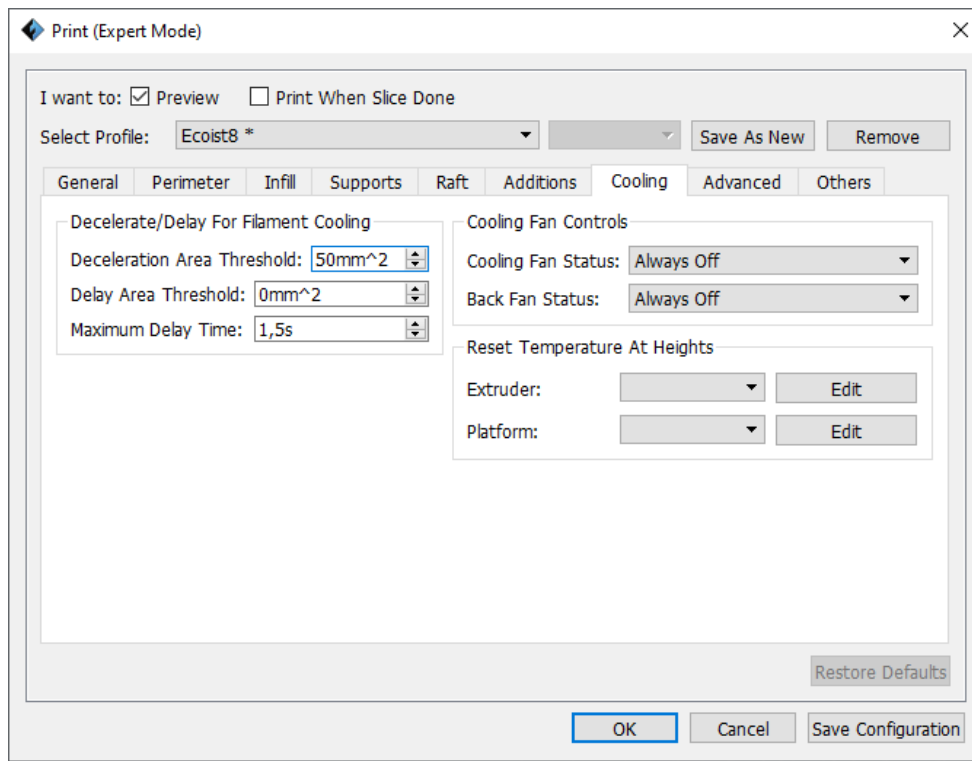
Figur E.4 Inställningar i Flashprint för utskrifter av bussningar.



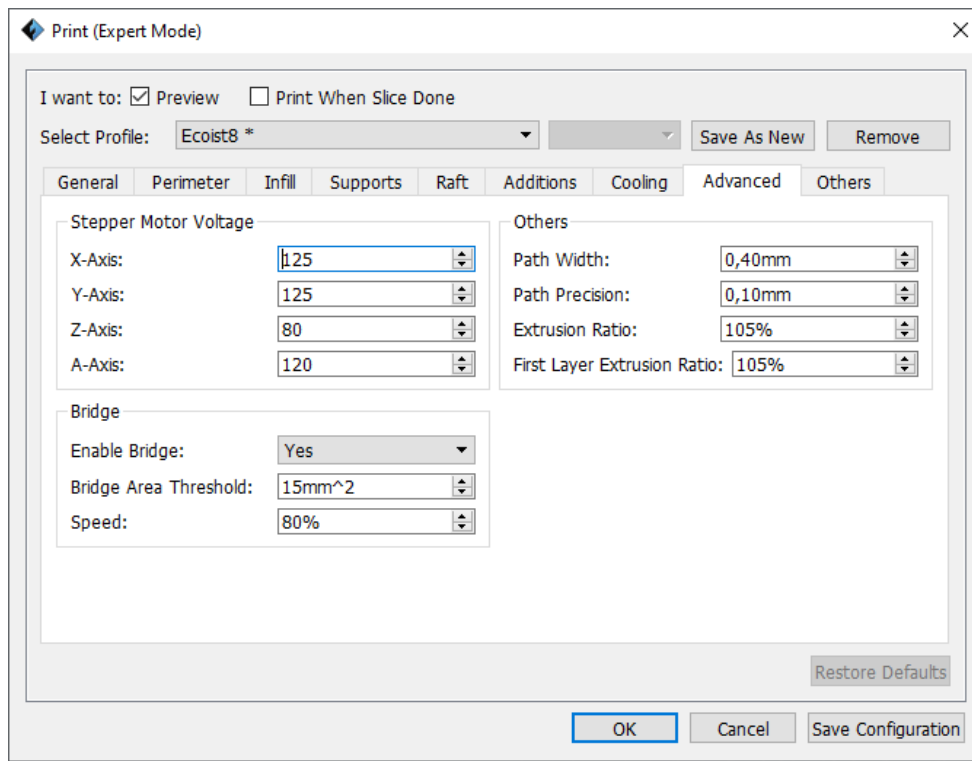
Figur E.5 Inställningar i Flashprint för utskrifter av bussningar.



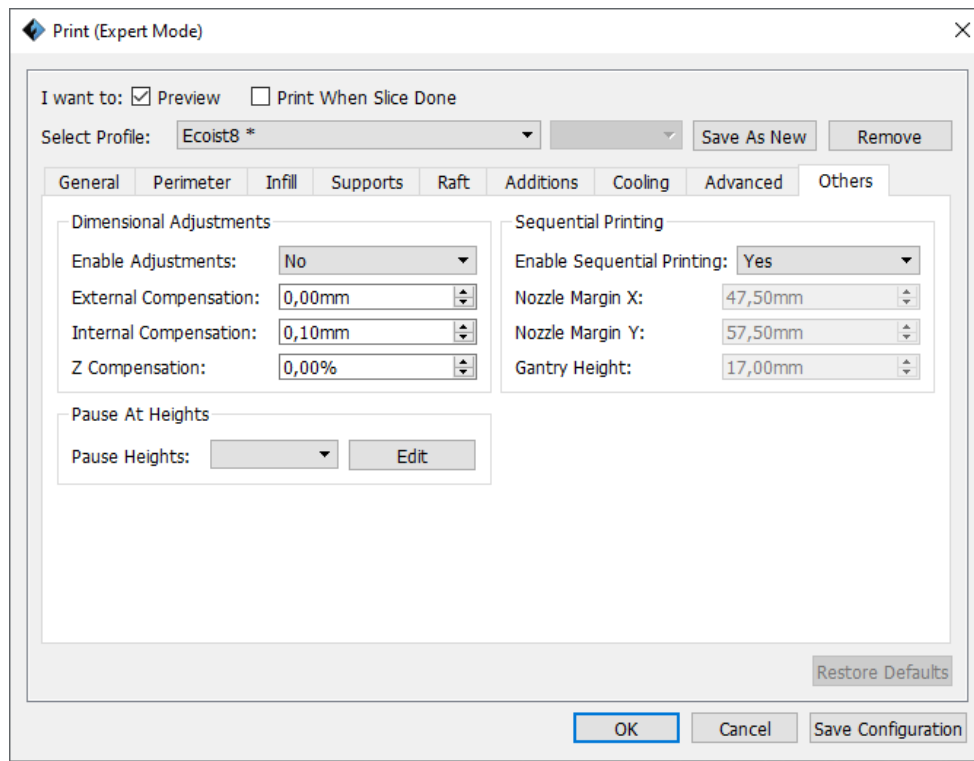
Figur E.6 Inställningar i Flashprint för utskrifter av bussningar.



Figur E.7 Inställningar i Flashprint för utskriften av bussningar.



Figur E.8 Inställningar i Flashprint för utskrifter av bussningar.



Figur E.9 Inställningar i Flashprint för utskrifter av bussningar.

Bilaga F – Materialdatablad

Data sheet



AlSi10Mg-0403 powder for additive manufacturing

Process specification

Powder description	Aluminium alloy powder
Layer thickness	25 µm
Laser power	400 W
Additive manufacturing system	AM250

Material description

AlSi10Mg-0403 alloy comprises aluminium alloyed with silicon of mass fraction up to 10%, small quantities of magnesium and iron, along with other minor elements. The presence of silicon makes the alloy both harder and stronger than pure aluminium due to the formation of Mg₂Si precipitate.

Due to the natural formation of an oxide layer on the surface of the aluminium alloy, the material has high corrosion resistance which can be further improved by chemically anodising.

Material properties

- Low density (good for light weight components)
- High specific strength (strength to mass ratio)
- High thermal conductivity
- Very high electrical conductivity
- Responds well to post process finishing

Applications

- Automotive
- Aerospace and defence
- Electronics cooling
- Consumer goods

Generic data - wrought material

Density	2.68 g/cm ³
Thermal conductivity	130 W/mK to 190 W/mK
Melting range	570 °C to 590 °C
Coefficient of thermal expansion (see note 1)	20 µm/mK to 21 µm/mK

Note 1 In the range of 20 °C to 100 °C.

Note 2 Stress relieved at 300 °C ±10 °C for 2 hr, air cooled.

Note 3 Tested at ambient temperature by Nadcap and UKAS accredited independent laboratory. Test ASTM E8. Machined before testing.

Note 4 Tested to ASTM E384-11, after polishing.

Note 5 Tested to JIS B 0601-2001 (ISO 97). As built after bead blasting.

For further information or support please contact Renishaw or visit www.renishaw.com/additive

Renishaw plc
 Stone Business Park
 Brooms Road, Stone
 Staffordshire, ST15 0SH
 United Kingdom

T +44 (0)1785 285000
 F +44 (0)1785 285001
 E uk@renishaw.com
 www.renishaw.com



Composition of powder

Element	Mass (%)
Aluminium	Balance
Silicon	9.00 to 11.00
Magnesium	0.25 to 0.45
Iron	< 0.25
Nitrogen	< 0.20
Oxygen	< 0.20
Titanium	< 0.15
Zinc	< 0.10
Manganese	< 0.10
Nickel	< 0.05
Copper	< 0.05
Lead	< 0.02
Tin	< 0.02

Mechanical properties of additively manufactured components

	As Built	Stress relieved (see note 2)
Tensile strength (UTS) (See note 3)		
Horizontal direction (XY)	442 MPa ±6 MPa	334 MPa ±1 MPa
Vertical direction (Z)	417 MPa ±27 MPa	339 MPa ±6 MPa
Yield strength (see note 3)		
Horizontal direction (XY)	264 MPa ±2 MPa	211 MPa ±2 MPa
Vertical direction (Z)	206 MPa ±6 MPa	174 MPa ±4 MPa
Elongation at break (see note 3)		
Horizontal direction (XY)	9% ±1%	9% ±2%
Vertical direction (Z)	6% ±2%	4% ±1%
Modulus of elasticity (see note 3)		
Horizontal direction (XY)	71 GPa ±5 GPa	71 GPa ±2 GPa
Vertical direction (Z)	68 GPa ±2 GPa	66 GPa ±3 GPa
Hardness (Vickers) (see note 4)		
Horizontal direction (XY)	119 HV0.5 ±5 HV0.5	103 HV0.5 ±5 HV0.5
Vertical direction (Z)	123 HV0.5 ±2 HV0.5	98 HV0.5 ±5 HV0.5
Surface roughness (R_a) (See note 5)		
Horizontal direction (XY)	5 µm to 9 µm	
Vertical direction (Z)	7 µm to 9 µm	

For worldwide contact details, please visit www.renishaw.com/contact

RENISHAW HAS MADE CONSIDERABLE EFFORTS TO ENSURE THE CONTENT OF THIS DOCUMENT IS CORRECT AT THE DATE OF PUBLICATION BUT MAKES NO WARRANTIES OR REPRESENTATIONS REGARDING THE CONTENT. RENISHAW EXCLUDES LIABILITY, HOWSOEVER ARISING, FOR ANY INACCURACIES IN THIS DOCUMENT.

© 2015 Renishaw plc. All rights reserved.

Issued: 07.2015

