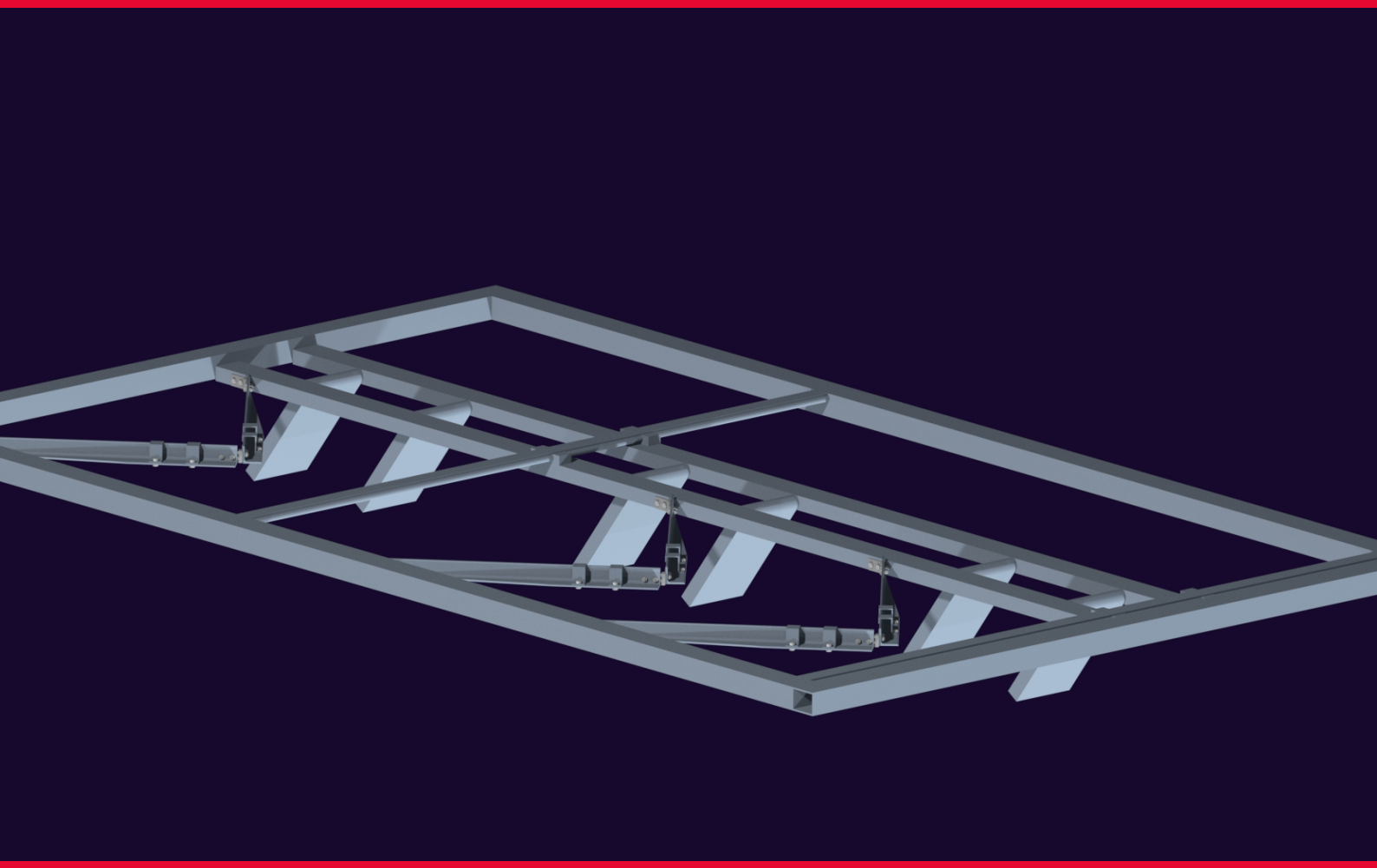
MALMÖ UNIVERSITET
FAKULTETEN FÖR TEKNIK OCH SAMHÄLLE

Kabelhantering för elöverföring från samlingsenhet till fordon.

Cable Management for Transmission of Electricity from Energy Collector to Vehicle.



Examensarbete, 15 hp,
Högskoleingenjör: Produktutveckling och Design VT 2025

Carl Södergård
Javier Lopez Moglia

Förord

Arbetet är ett examensarbete inom utbildningen *Högskoleingenjör: Produktutveckling och design*. Vi vill tacka Joel Olsson och Isac Persson på Elonroad för möjligheten att skriva detta examensarbete. Vi vill också tacka Håkan Wernersson som varit vår handledare.

Malmö, juli 2025

Carl Södergård och Javier Lopez Moglia

Abstract

Electric vehicles (EVs) is a sustainable alternative to internal combustion engine vehicles, with the added benefit of greater personal mobility than public transportation. However, long charging times remain a key barrier to broader adoption. One proposed solution is continous charging, which enables EVs to charge while in motion. This approach introduces several engineering challenges, including the need for efficient cable management to transmit power from a laterally moving energy collector, as it moves to compensate for road curvature and imperfect driving, to the stationary vehicle system.

This thesis presents a cable management solution for continuous energy transfer during vehicle operation, developed using product development methods, computer-aided design, and simulation. The proposed solution must meet strict technical and market requirements to succeed in a competitive industry. The ultimate goal is to support the implementation of dynamic charging infrastructure, thereby reducing EV battery size and cost and promoting wider adoption of electric mobility.

Sammanfattning

Elbilar är ett mer hållbart alternativ till fordon med förbränningsmotorer, utöver det möjliggör det en större individuell rörlighet än kollektivtrafik. Långa laddningstider utgör dock ett betydande hinder för vidsträckt etablering för elbilar. En potentiell lösning är kontinuerlig laddning, vilket gör det möjligt för elbilar att laddas under färd. Denna lösning medför flera ingenjörsmässiga utmaningar. En av utmaningarna är effektiv kabelhantering för att överföra energi från en lateralt rörlig samlingsenhet till fordonets stationära system. Samlingsenheten behöver röra sig för att kompensera för vägkurvatur och oregelbunden körning.

Arbetet presenterar en lösning för kabelhantering som möjliggör kontinuerlig elöverföring under färd. Lösningen utvecklades med hjälp av metoder för produktutveckling, datorstödd design och simuleringar. Lösningsförslaget behöver uppfylla strikta tekniska och marknadsmässiga krav för att lyckas i en konkurrensutsatt bransch. Det övergripande mål har varit att stödja implementeringen av kontinuerlig laddningsinfrastruktur. Vidspredd implementering av kontinuerlig laddningsinfrastruktur skapar förutsättningar för ett minskat behov av stora batteripaket som i sin tur sänker kostnaderna för tillverkning av elbilar. Den föreslagna lösningen kan således främja en mer utsträckt användning av eldrivna fordon.

Innehåll

1 Inledning **1**

2 Elonroad **3**
2.1 Dynamisk laddning 3
2.2 Nuvarande lösning för kabelhantering 4

3 Metod och utvecklingsprocess **5**
3.1 Produktspecifikation 5
3.2 Idéutveckling 6
3.2.1 Idégenerering 6
3.2.2 Idéutvärdering 6
3.2.3 Konceptutveckling 8
3.3 Detaljutveckling 8
3.3.1 DFM och DFA 8
3.3.2 CAD-modellering 9
3.3.3 Hållfasthetslära och FE-analys 9

4 Utvecklingsprocessen **11**
4.1 Behovslista och produktspecifikation 11
4.2 Idégenering 13
4.2.1 Idé ett: Dragspel 14
4.2.2 Idé två: Armatur 15
4.2.3 Idé tre: Parasoll 16
4.2.4 Idé fyra: Solfjäder 17
4.3 Idéutvärdering 18
4.4 Konceptutveckling 19

5 Detaljutveckling **24**
5.1 Koncept ett 24
5.2 Koncept två 25

6 Resultat **31**

7 Diskussion **34**

8 Slutsats **37**

A Ritningar

B FE-analyser

1 Inledning

Förbränningsmotorfordon har en negativ inverkan på miljön och är en betydande drivkraft bakom den globala uppvärmningen. Enligt Europeiska miljöbyrån (EEA) stod personbilar för 43,9 % av EU:s totala utsläpp från vägtransporter år 2019, en ökning med nästan 100 miljoner ton koldioxid sedan år 1990 [1]. En elektrifiering av bilflottan skulle minska utsläppen eftersom en elektrifierad bilflotta inte släpper ut någon koldioxid under drift eller under laddning (under förutsättning att den energiproducerande källan inte genererar utsläpp) [2].

Konsumenter som står inför köp av elbil upplever tvivel för köpet [3]. Det beror på ett antal faktorer, en av faktorerna är att inköpspriset kan vara cirka 47% högre än för motsvarande fordon med förbränningsmotor [4]. En annan faktor som bidrar till konsumenternas tvivel är tiden det tar att ladda en elbil, som kan uppgå till cirka 7 timmar vid laddning i hemmet [5]. Det finns flera lösningar för att förkorta laddningstider, exempelvis större effekt på laddningsstationer, möjlighet att byta urladdade batteripaket mot laddade batteripaket och möjligheten att ladda bilen under färd.

Det finns olika typer av kontinuerlig laddning. Kontinuerlig laddning innebär att ladda elbilar under färd. En typ av kontinuerlig laddning är att överföra el mellan en skena i vägen och en samlingsenhet på undersidan av fordonet med konduktion. Ett problem som denna lösning har är det begränsade utrymmet mellan bil och väg. Det kontinuerliga laddningssystemet får nämligen inte kollidera med vägimperfektioner och vägbulor. Detta kan ske om laddningssystemet är för stort.

Kablarna som möjliggör elöverföring från kontaktytan mot vägen till samlingsenheten och sist till fordonet behöver också hanteras i detta begränsade utrymme. Ytterligare ett problem för kontinuerliga laddningssystem är att samlingsenheten behöver flyttas i sidleds relativt fordonet för att vara centrerad över körbanan och vägskenan. För att montera samlingsenheten mot undersidan av fordonet används en ram. Företaget, Elonroad, utnyttjar en motor och en rem monterad på ramen för att driva samlingsenheten sidleds. Problemet som ska hanteras i detta arbete är kabelhantering för elöverföring under drift mellan samlingsenheten och ramen, samt hanteringen av höjdbegränsning mellan fordonet och vägen.

Syftet med arbetet är att utveckla en kabelhanteringslösning som möjliggör kontinuerlig elöverföring mellan en stationär punkt, ramen, och en sidleds rörande del, samlingsenhet.
Målet med arbetet är att utveckla en kabelhanteringslösning med hjälp av

konceptutvecklingsmetoder, digitalt ritverktyg, FE-analys och beräkningar.

För att detta arbete ska vara genomförbart med den givna kunskapen och resurser som tilldelats kommer avgränsningar att appliceras. Arbetet har avgränsats så att följande punkter ligger utanför arbetet:

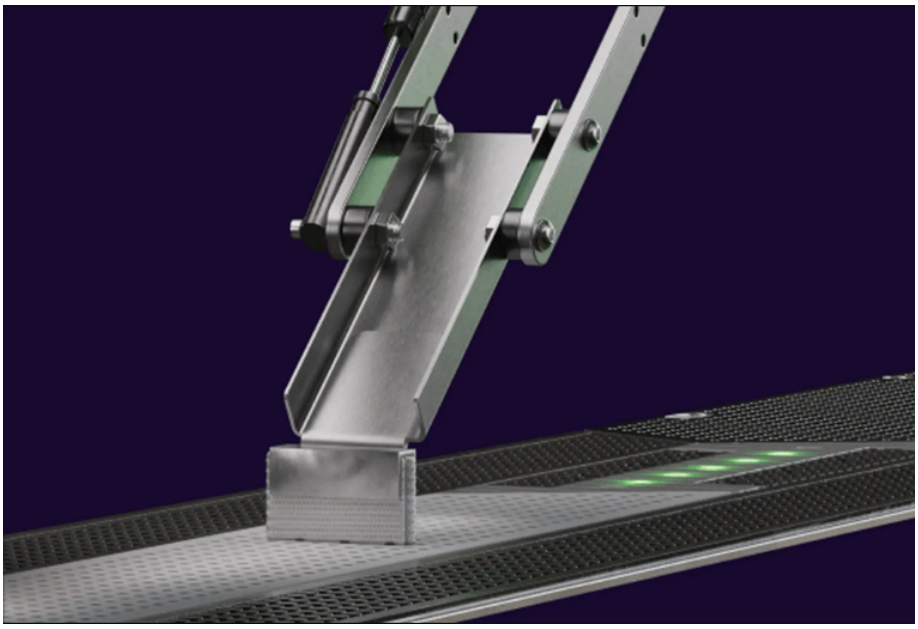
- Enbart lösningsförslag som har en slaglängd på totalt 1000 mm kommer att undersökas i detta arbete. Slaglängden är den sträcka som samlingsenheten kan röra sig från sida till sida.
- Endast kabelhantering från samlingsenheten till ramen undersöks i detta arbete
- Den ekonomiska aspekten kommer inte att undersökas.
- Lösningar som kräver omfattande ändringar av samlingsenheten kommer inte att tas hänsyn till.

2 Elonroad

Elonroad är ett svenskt företag som utvecklar och erbjuder innovativa lösningar för elektrifierad transportmedel. Elonroads produkt “electric roads” eller elektriska vägar tillsammans med “Energy Collector” eller EC, (vilket är Elonroads begrepp för samlingsenhet) presenterar en helhetslösning för kontinuerlig laddning. Elonroad kallar deras kontinuerlig laddningslösning för dynamisk laddning.

2.1 Dynamisk laddning

Den dynamiska laddningen laddar elbilar under färd genom elektrifierade skenor i vägen och en EC på fordonets undersida. Detta kan jämföras med den kontinuerliga strömförsörjningstekniken som tåg använder. Kontakten mellan skenorna i vägbanan och EC:n på fordonet möjliggörs av en glidande kontakt som kallas “fot”. En glidande kontakt syftar i detta arbete på slitytan mellan två ledare som i detta fall mellan den elektrifierade skenan och foten. Fötterna sitter monterad på EC:n och vecklas ut när mjukvaran i laddningssystemet känner av vägskenan. Detta skapar kontakt med skenan i vägen, se figur 1.



Figur 1: Fot i kontakt med elektrifierad vägskena. Återgiven med tillstånd [6].

Laddningslösningen är anpassad för personbilar, lastbilar och andra typer av fordon. Den har säkerhetsfunktioner som säkerställer att endast de sektioner av skenan som befinner sig direkt under ett fordon aktiveras, vilket

minimerar risken för olyckor.

Elonroad tror att denna lösning kommer öka villigheten för konsumenter att köpa elbilar. Motiveringen är att lösningen kommer att eliminera räckviddsångest. Anledningen till det är att den dynamiska laddningslösningen kommer att installeras på motorvägar och högtrafikerade områden [7]. Räckviddsångest är ett fenomen som uppstår när föraren oroar sig för att elbilens räckvidd inte är tillräcklig för att nå destinationen. Elonroads vision är att samarbeta med elbilsleverantörer för att deras lösning ska integreras från leverans. Elonroad tror även att elbilar skulle kunna bli billigare med den dynamiska laddningen eftersom behovet av stora batteripaket, som idag utgör den största kostnaden för elbilsproduktion, skulle bli mindre [7]. Den dynamiska laddningen skulle även resultera i lägre miljöpåfrestningar på grund av den ansträngande utvinningen av råvaror som idag krävs för att tillverka elbilsbatterier [8].

2.2 Nuvarande lösning för kabelhantering

I dagsläget använder Elonroad sig av kabelkedjor i sin dynamiska laddning. Detta tillåter kablarna att följa EC:ns rörelse utan påfrestningar. Den nuvarande lösningen använder en kabel per fot, vilket blir mellan sex till nio kablar totalt för ett laddningssystem. Denna kabelhantering är inte tillämpbar på samtliga fordon eftersom kabelkedjor kräver ett utrymme på höjden som vissa fordon saknar. För att möjliggöra en kabelbaserad lösning som är kompatibel med samtliga fordon har Elonroad definierat en maximal tillåten höjd för den dynamiska laddningslösningen. Denna höjdbudget är 40 mm och får inte överstigas. Detta mått innefattar både den mekaniska lösningen för EC:ns sidledsförflyttning och kabelhantering.

3 Metod och utvecklingsprocess

De metoder och processer som används i detta arbete har valts för att de generera ett stort antal lösningsmöjligheter och möjliggör tid till reflektion och utvärdering. Utvecklingsprocessen sker i flera steg, det första steget är framtagning av produktspecifikation. Det andra steget är konceptutveckling vilket innefattar idégenerering, idéutvärdering och konceptutveckling. Det sista steget i utvecklingsprocessen är detaljutvecklingen vilket innefattar 3D-modellering, hållfasthetsberäkningar och finita elementanalyser för att färdigställa produktens utformning.

3.1 Produktspecifikation

För att ta fram ett lösningsförslag i detta arbetet formuleras produktspecifikationer först. Produktspecifikationer är behov som översätts till mätbara krav och de har som syfte att vägleda den fortsatta utvecklingsprocessen [9]. Produktspecifikationen används för försäkra att lösningsförslaget uppfyller de önskemål och krav som ställts.

Det första steget är att identifiera och formulera behoven. Dessa uttrycks på ett vardagligt sätt, utan att innehålla förslag till tekniska lösningar. Behoven kan vara grundade i explicita eller latenta behov. Klassificering av explicita och latenta behov grundas i om det uttryckligen efterfrågas eller om det är ett outtalat önskemål. Behoven betygsätts på en skala från ett till fem utifrån hur stor roll behovet spelar i att uppfylla kraven som ställts på produkten [9], se tabell 1.

Efter att behoven formulerats och betygsatts, ska behoven översättas från den subjektiva formuleringen och uttryckas som kvantifierbara och mätbara egenskaper. Dessa mätbara egenskaper betygsätts med samma kriterier som de vardagligt uttryckta behoven.

Tabell 1: Skala på betygsättning av behov.

Betydelsefaktor	**Betyg**
Minimal betydelse	1
Liten betydelse	2
Medioker betydelse	3
Stor betydelse	4
Maximal betydelse	5

För att tydliggöra sambandet mellan behov och tekniska egenskaper används en behovs-egenskapsmatris. Raderna i matrisen representerar identifierade behov och kolumnerna motsvarar de mätbara egenskaper som på-

verkar uppfyllandet av dessa behov. En markering i en cell visar att det finns ett samband mellan ett behov och en specifik egenskap. Ett behov som är kopplat till flera egenskaper kan innebära en större flexibilitet i hur de ska uppnås, då flera alternativa lösningar kan vara möjliga [9]. Det är viktigt för att förstå sambandet mellan behoven och egenskaperna, för att beslut som tas under utvecklingsprocessen kan ha en oavsiktlig inverkan på processens helhet.Den tekniska prestandan hos egenskapen påverkar i vilken grad produkten uppfyller det aktuella behovet [9].

3.2 Idéutveckling

Utvecklingen av idéer i detta projekt sker i tre olika faser som är anpassade efter målet och avgränsningarna som ställts upp. Dessa faser underlättar konceptutvecklingen då det strukturerar processen.

3.2.1 Idégenerering

I idégenereringsfasen tillämpas brainstorming som en central metod för att främja kreativt tänkande. Denna metod genomförs i enlighet med Miros riktlinjer [10], vilket möjliggör en strukturerad och interaktiv idégenereringsprocess. Målet med idégenereringen är att ta fram ett omfattande idéunderlag som kan analyseras och filtreras för att identifiera särskilt innovativa och relevanta lösningar. Denna process gynnas av deltagarnas varierande bakgrunder, erfarenheter och perspektiv vilka tillsammans skapar en mångfacetterad kunskapsbas som stärker resultatens kvalitet. Ytterligare en metod som används är identifiering av liknande situationer i vardagen och i existerande produkter.

Idégenerering stöds av fysiska modeller för att visualisera problemet och möjliga idéer till lösningar [9]. De fysiska modellerna kan sträcka sig från högupplösta modeller med det faktiskt tilltänkta materialet, till lågupplösta modeller, som endast visar själva funktionen utan rätt mått och material. Den fysiska modellen underlättar förståelse för hur möjliga idéer skulle fungera i verkligheten. Fysiska modeller förenklar iterativt arbete då ändringar kan verkställas snabbt.

3.2.2 Idéutvärdering

I detta steg ska idéer från idégenereringen granskas för att identifiera idéerna med störst potential för vidareutveckling till koncept. Målet med idéutvärderingen är att prioritera de idéer som har bäst förutsättningar att uppnå de uppställda kraven samtidigt som idéer som inte uppfyller de nämnda kraven elimineras [11].

För att uppnå målet med idéutvärderingen sker en poängsättningen i ett kalkyleringsprogram. Varje idé bedöms utifrån hur väl den uppfyller det definierade behov i relation till en referensidé. Referensen agerar som utgångspunkt för varje koncept. Poängen varierar mellan ett till fem och skalan på poängen visas i tabell 2.

Tabell 2: Skala på poängsättning.

Komparativ prestanda	**Poäng**
Mycket sämre än referensen	1
Sämre än referensen	2
Samma som referensen	3
Bättre än referensen	4
Mycket bättre än referensen	5

Behoven har olika betydelsenivåer som vägs i relation till samtliga behov. För att jämföra alla behov används ett viktningssystem. Varje behov viktas där summan av samtliga vikter uppgår till 1,0. Poäng ges till varje idé för varje behov och multipliceras med viktningen av behovet för att erhålla viktad poäng. Den totala poängen för varje idé beräknas genom att summera dess viktade poäng över samtliga behov. Den idé med högst totalpoäng prioriteras för fortsatt utveckling [9].

Att enbart basera urvalet på en enskild poängsättningsmatris innebär begränsningar eftersom resultatet är beroende av hur behoven viktas. För att öka tillförlitligheten i utvärderingsprocessen bör ytterligare steg vidtas för att säkerställa att valda idéer uppfyller kraven med tillräcklig marginal. Ett sätt att hantera detta är att skapa flera alternativa poängsättningsmatriser med varierande viktningar, anpassade efter olika marknadssegment eller kundgrupper med skilda preferenser [9]. Genom att analysera hur idéerna rangordnas under dessa olika matriser kan man identifiera lösningar som är robusta över flera perspektiv. Om en idé (som placerades högst upp under första poängsättningen) skulle få mindre poäng än en annan idé under denna process bör det ses som en indikation på att idén inte uppfyller behoven med tillräcklig marginal. Ett instabilt resultat innebär att idén är känslig för förändringar i viktningar eller behovsprioriteringar vilket tyder på låg robusthet och därmed ökad osäkerhet i vidareutveckling. I sådana fall behöver beslut fattas om idén ska vidareutvecklas, justeras eller eventuellt uteslutas. Om en idé däremot förbättras vid förändrade förutsättningar kan det indikera att den lämpar sig bättre för ett annat marknadssegment med andra kundpreferenser, vilket bör beaktas i det fortsatta utvecklingsarbetet [9].

3.2.3 Konceptutveckling

Under detta steg utvecklas idéerna från tidigare steg till enklare fysiska modeller eller 3D-modeller. Modellerna underlättar utvecklingsprocessen genom att skapa en rumslig uppfattning. Modellerna kan synliggöra brister som kan åtgärdas i kommande iterationer. Fysiska modeller samt 3D-modeller underlättar kommunikation med icke-involverade parter som ledning och handledare [9]. Efter idéutvärdering ska idéerna omvandlas till konkreta och testbara lösningar. modeller kommer att skapas med metoder som till exempel 3D-utskrift eller simulering med hjälp av digitalt ritverktyg [11].

3.3 Detaljutveckling

Detaljutveckling är en fas i produktutvecklingsprocessen där produktens utformning färdigställs inför tillverkning. I detta skede konkretiseras koncept genom att alla delar och funktioner specificeras i detalj. Det innefattar framtagning av tekniska ritningar, val av material och komponenter samt utformning av konstruktionslösningar med hänsyn till tillverkningsmetoder och montering. Produktens funktion, hållfasthet och användbarhet analyseras och verifieras med hjälp av beräkningar, simuleringar eller 3D-modeller. Utöver detta utvecklas dokumentation som krävs för produktion såsom stycklistor, monteringsanvisningar och toleranskrav. Syftet med detaljutvecklingen är att säkerställa att produkten är genomarbetad, tekniskt hållbar och redo för tillverkning och praktisk användning [9].

3.3.1 DFM och DFA

För att säkerställa att den framtagna lösningen är möjlig att producera med relevanta tillverkningstekniker tillämpats principer från Design for Manufacturing (DFM). Metoden syftar till att anpassa konstruktionen för en effektiv och praktiskt genomförbar tillverkning genom att bland annat minska designkomplexitet, förenkla sammansättning och ta hänsyn till tillverkningsbegränsningar [9].

Design for Assembly (DFA) är en metodik som syftar till att förenkla produktens monteringsprocess genom att minska antalet delar och optimera deras form och samverkan. Målet är att redan i konstruktionsfasen identifierar och eliminerar onödiga komponenter samt utformar delarna så att de är lätta att hantera, orientera och foga samman. Genom att tillämpa DFA kan monteringstiden minskas avsevärt samtidigt som produktens tillförlitlighet förbättras. Metoden utgör därmed ett centralt verktyg i utvecklingen av kostnadseffektiva och produktionsvänliga produkter [9].

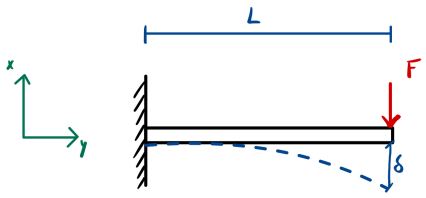
3.3.2 CAD-modellering

CAD, förkortning för Computer Aided Design, är ett populärt verktyg för att utveckla och modellera inom ingenjörsyrken, arkitektur och inredningsdesign. CAD används eftersom det tillåter användaren möjligheten att arbeta iterativt och visualisera koncept. CAD kan användas för att skapa två- och tredimensionella objekt och ritningar. Program som erbjuder CAD har också möjlighet att kommunicera med maskiner exempelvis svarvar, 3D-skrivare och fräsar [12].

Under arbetet kommer Creo Parametric, utvecklad av PTC [13], användas som CAD-verktyg för att definiera dimensioner för de komponenter som kommer utvecklas. CAD kommer även assistera arbetet med att kontrollera så komponenterna är integrerbara med en iteration av EC som är gjord i verklig skala.

3.3.3 Hållfasthetslära och FE-analys

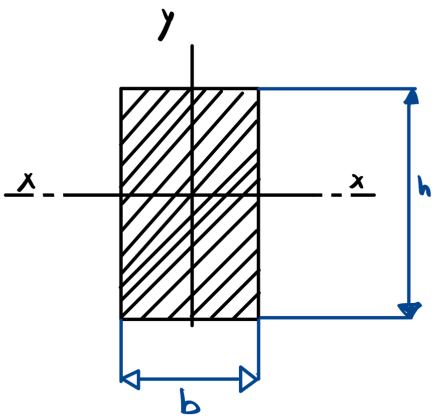
Lösningsförslaget kommer att påverkas av olika krafter till exempel egenvikt och last från kablar. Hållfasthetslära används för att göra beräkningar för försäkra att konstruktionen ska uppnå de krav och klara den utsedda lasten [14]. Om belastningsfallet kan förenklas till en punktlast så betecknas det F vilket räknas ut med avseende på längden, L, se figur 2. Om belastningsfallet är utspritt betecknas det med Q och elementarfallet för utspridd last används.



Figur 2: Elementarfall för fast inspänd balk med punktlast.

Nedböjning beror på tröghetsmoment som i sin tur beror på balkens profil. Ekvationen 1 är ett exempel för rak kvadratisk balk, se figur 3.

$$I(x) = \frac{bh^3}{12} \tag{1}$$



Figur 3: Tvärsnitt för en rak balk.

När tröghetsmomentet för balkens tvärsnitt är beräknat och elasticitetsmodulen, E, bestämts används antingen ekvation 2 eller ekvation 3 för att räkna ut nedböjningen beroende på belastingsfallet.

Nedböjning för en rak balk med en punktlast längst ut på balken ses i ekvation 2.

$$\delta = \frac{FL^3}{3EI} \tag{2}$$

Nedböjning för en rak balk med jämt fördelad last ses i ekvation 3.

$$\delta = \frac{QL^3}{8EI} \tag{3}$$

När geometrin inte längre kan förenklas till en idealiserad balk, används istället Finita Elementmetoden (FEM) för att analysera konstruktionens hållfasthet och spänningskoncentrationer. FEM delar modellen i ett stort antal små element där deformationer och spänningar beräknas numeriskt. Creo Parametric används för att möjliggöra detaljerade analyser av konstruktioner under aktuella belastningar [13]. Genom att ange de förväntade lasterna och materialegenskaper kan en simulering utföras som visar hur konstruktionen deformeras och var spänningskoncentrationer uppstår. Detta ger ett kompletterande underlag till de analytiska beräkningarna och säkerställer att konstruktionen klarar de krav som ställts.

4 Utvecklingsprocessen

Detta avsnitt redogör genomförandet av arbetet samt resultatet av de tillämpade metoderna. Inledningsvis behandlas formuleringen av de behov som det föreslagna lösningsförslaget ska tillgodose. Därefter följer en redogörelse av idégenereringsprocessen. Slutligen utvärderas de framtagna idéerna, varefter de mest lovande vidareutvecklas.

4.1 Behovslista och produktspecifikation

Behovslistan, se tabell 3, grundas på explicita behov som Elonroad uttrycker att lösningsförslaget ska uppfylla och latenta behov grundas på konversationer med Elonroad och handledare. Insikter inom tekniken bakom induktion och konduktion används som beslutsunderlag. Induktion anses i detta arbete inte vara optimalt på grund av energiförluster när avstånd mellan källa och mottagare är mer än ett par millimeter [15].Detta är ett problem då Elonroad vill att avståndet mellan källa och mottagare ska vara så stort som möjligt för att fordonet ska ha möjligheten att köra vid icke ideala vägunderlag. Detta arbete tar därför hänsyn till en konduktionsbaserad lösning. Energiöverföring genom konduktion har visat brister, som slitage av glidande kontakter och kablarnas mekaniska begränsningar. Dessa brister finns inte med induktion men behovet att maximera markfrigång anses vara för viktigt.

Tabell 3: Krav på lösningsförslaget.

Nr	**Behov**	**Betydelsefaktor**
1	Pålitlig	4
2	Tillåta smidig sidledsförflyttning	4
3	Maximera markfrigång	5
4	Kabeldragning till fordon ska vara möjligt på alla punkter på ramen	3
5	Integrerbar till befintlig EC	3
6	Hög verkningsgrad	4

Det viktigaste explicita behovet är att maximera markfrigång. Detta innebär att lösningsförslaget ska ha en så låg profil som möjligt för att avståndet mellan vägen och fordonet ska bli så stort som möjligt. Elonroad har krav på att lösningsförslaget för den dynamiska laddningen ska fungera på

samtliga fordon, vilket innebär att lösningsförslaget ska hålla sig till den förutbestämda höjdbudgeten på 40 mm.

Behovet att förslaget ska vara pålitlig innebär att den ska fungera under temperaturskillnader, vid snö och smutsiga miljöer som ofta förekommer under bilar. Pålitlig betyder även att förslaget inte ska presentera en fara i fallet av en olycka. För att förslaget ska fungera på samtliga elbilar behöver den ha möjlighet att föra vidare el till fordonet på en godtycklig punkt på ramen som EC:n är monterad på.

Behoven från tabell 3 översätts från subjektiva uttryck till kvantifierbara egenskaper, se tabell 4. Tabellen visar även vilket behov som uppfylls av egenskapen. Tabellen visar vilken enhet som respektive egenskap mäts med eller om det är subjektivt. Egenskapen "Minimera ΔV_{max}" är den mätbara formuleringen av smidig sidledsförflyttningen. Detta kan kontrolleras genom att mäta skillnaden i hastighet vid sidledsförflyttning när nuvarande lösningen används samt lösningsförslaget.

Tabell 4: Mätbara egenskaper av behov.

Nr	**Mätbara egenskap**	**Betydelsefaktor**	**Enhet**
1	Tolerans i konstruktion	4	mm
2	Materialval	4	subj.
3	Höjd	5	mm
4	Enkel montering	3	subj.
5	Minimera ΔV_{max}	3	$\Delta m/s$
6	Böjradie inom kabelns kravspec.	5	subj.
7	Minimera spänningar	4	Pa

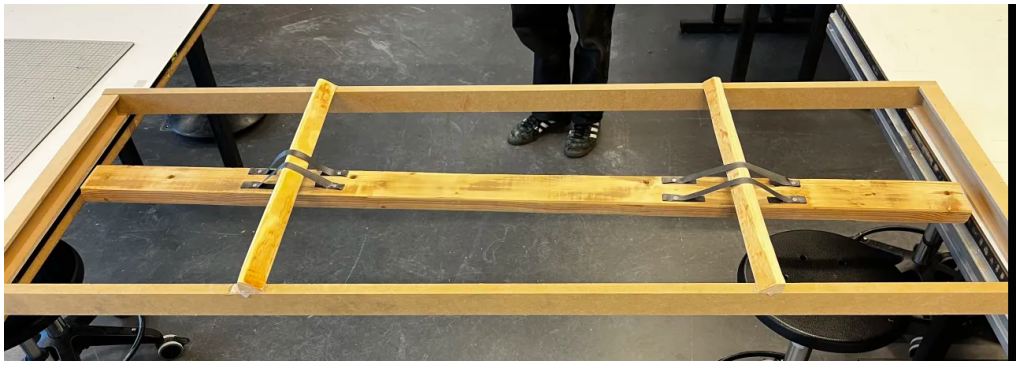
Förhållandet mellan behov och egenskaper illustreras genom en markering i respektive cell i tabell 5. Kartläggningen av sambanden visar att behov 3, tillåta smidig sidledsförflyttelse, är beroende av ett större antal egenskaper jämfört med behov 5, integrerbar till befintlig EC.

Tabell 5: Kartläggning av behov och mätbara egenskaper.

Behov/Egenskap	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
B1	•	•		•		•	•
B2			•		•		•
B3		•	•	•			
B4				•		•	
B5				•			
B6		•					•

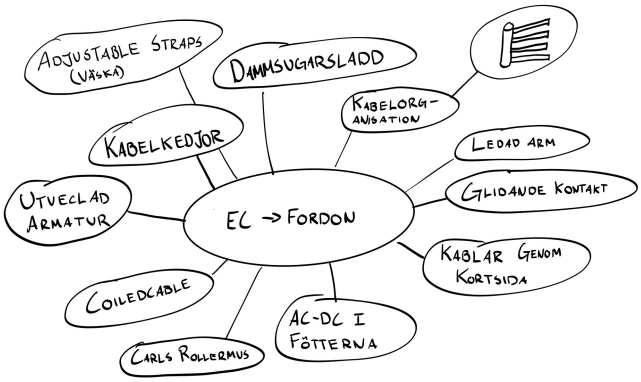
4.2 Idégenering

För att stötta idégenereringsprocessen tillverkas en lågupplöst modell av EC:n och ramen, se figur 4. Den träbaserade versionen av EC:n och ramen agerar som ett verktyg för att visualisera möjliga idéer.



Figur 4: Lågupplöst modell av EC och ram, i trä, som kan röra sig i sidled

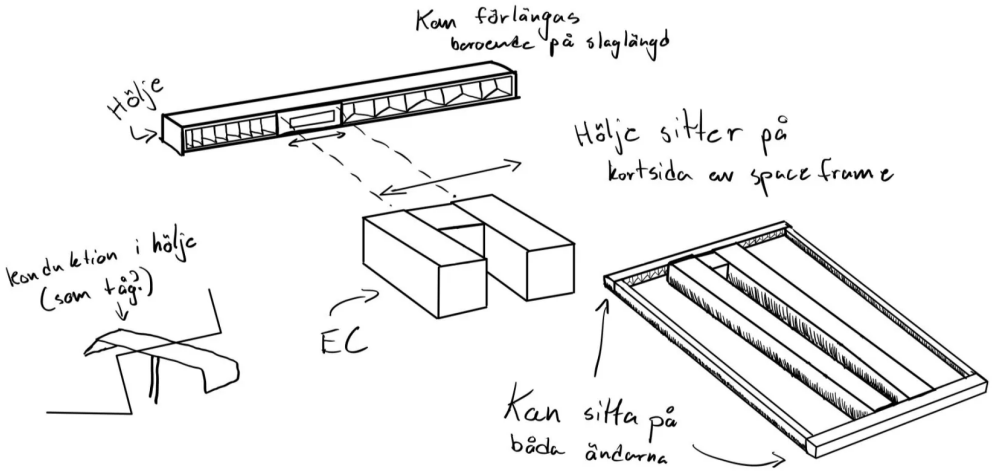
Idéerna som genereras med hjälp av metoderna beskrivna i 3.2.1 presenteras här. Vardagliga produkter som är källa för inspiration till kabelhanteringslösningar är bland annat dammsugarsladdar och indragningsmekanismen för sladden. Ett annat exempel är ellok som använder sig av konduktiv strömförsörjning istället för kablar. Inspiration samlas även från taklampor och datortillbehör. Brainstorming genererar ett flertal idéer som antecknas i en mindmap, se figur 5. Ett urval av dessa idéer utvecklas mer i ett senare skede. Vilka idéer som väljs att utveckla av dessa baseras på bland annat, genomförbarhet.



Figur 5: Mindmap av idéer som genereras under brainstorming.

4.2.1 Idé ett: Dragspel

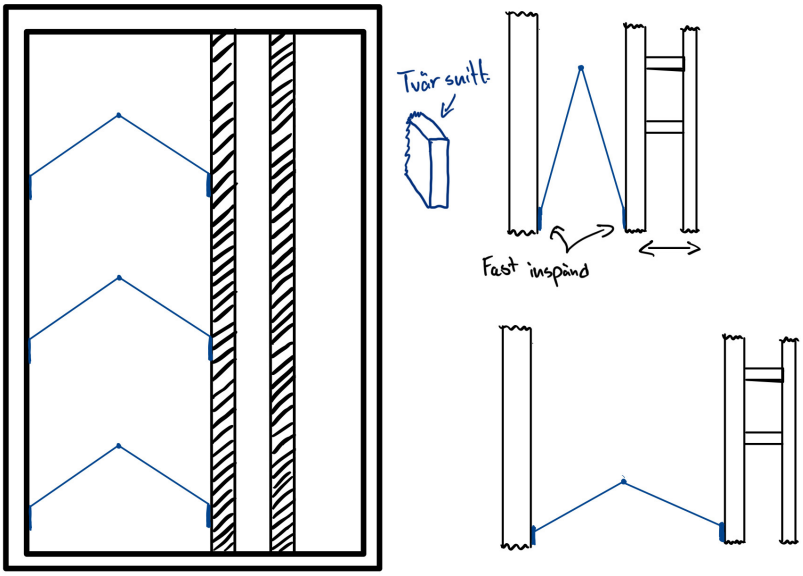
Elonroad har möjligheten och har övervägt att använda dioder som likriktar strömmen istället för växelström, som används idag. Dioder skulle begränsa antalet kablar till två: en plus- och en minuspol. I dagsläget är antalet kablar beroende på antalet fötter i den dynamiska laddningen. Antal fötter och kablar varierar mellan sex till nio. Flera kabelhanteringslösningar är möjliga när endast två kablar används. Figur 6 visar en idé som utnyttjar en glidande kontakt via en ledare som löper längs med hela slaglängden av EC:n. Idén använder ett hölje med bälg som skyddar kontaktytan från miljön under bilen, bälgen är monterad i höljet och i kortsidorna av EC:n. Motorn som driver EC:n sidledes är stark nog för att kunna flytta EC:n med det extra motstånd som bälgen skapar.



Figur 6: Idé för kabelhantering som utnyttjar glidande kontakt för överföring av energi.

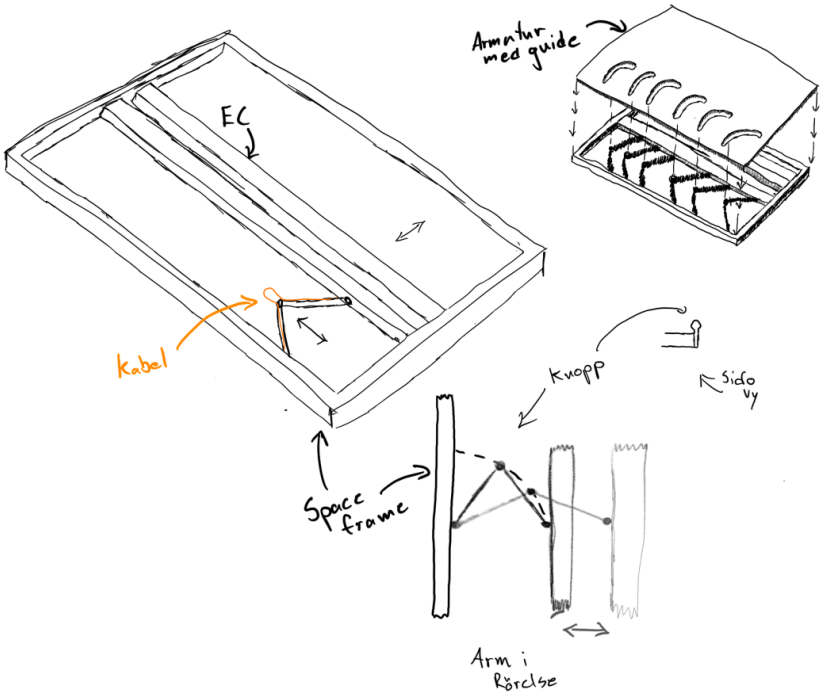
4.2.2 Idé två: Armatur

Elonroad har en tidigare version av kabelhantering som utnyttjat en armatur för att följa EC:n över slaglängden, se figur 7.



Figur 7: Tidig kabelhanteringslösning där kabel löper längs med armarna

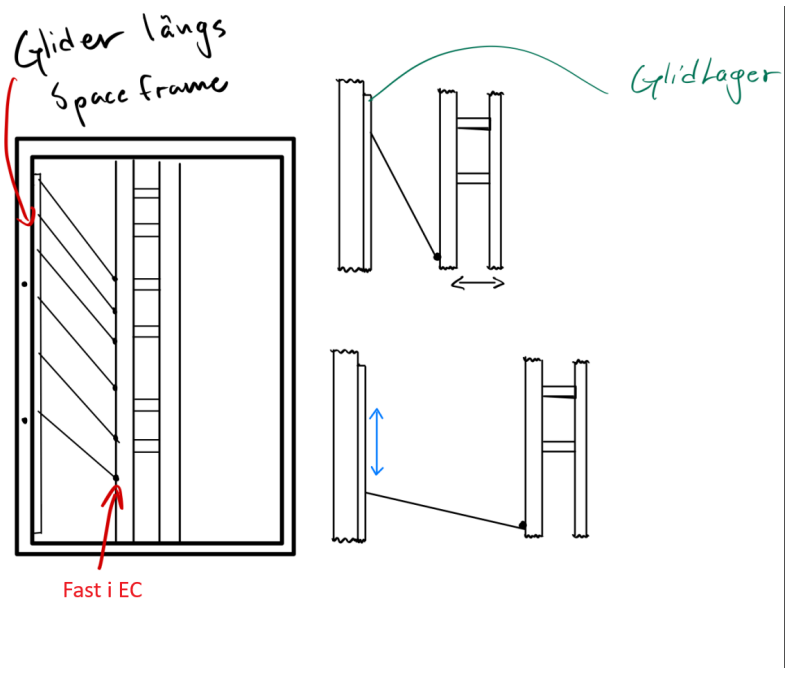
Ett problem som fanns med denna iteration var att konstruktionen var för vek och därför böjdes. Den dynamiska laddningen riskerade att kollidera med vägbulor och andra vägimperfektioner på grund av nedböjningen. Denna idé åtgärdar det problemet med tillägget av en knopp som är monterad på en av balkarna, på varje armatur. Knoppen löper längs med en guideskena som är monterad över EC:n och i ramen. Guideskenan är formad efter den banan som knoppen och armaturen rör sig i, se figur 8. Guiden och knoppen ger extra stöd för att minimera nedböjning, då armaturen delvis hänger i guiden. Kablar går från fötterna till armen och sedan in i fordonet. Kabeln löper längs med armen och formar en ögla vid gångjärnet i mitten av armaturen. Öglorna används för att undvika påfrestningar i kablarna så att de inte böjs mer än dess minimala böjradie. Den minimala böjradien är sex gånger så stor som diametern på kabeln. Diametern på kabeln är 13 mm, vilket resulterar på en böjradie på 78 mm [16].



Figur 8: Idé för kabelhantering som är en vidareutveckling av en tidigare lösning.

4.2.3 Idé tre: Parasoll

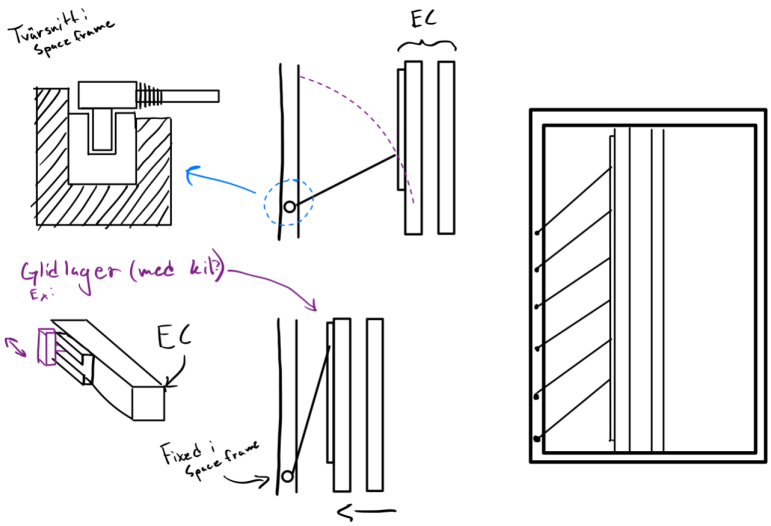
Idé tre, som illustreras i figur 9, utnyttjar ett glidlager som ska agera som glidande kontakt. Glidlagret ska vara monterat på ramen av konstruktionen. Gångjärnen för armaturen är fäst på EC. Kablar löper från EC:n längs med armaturen till den glidande kontakten där energin överförs med konduktion.



Figur 9: Idé för kabelhantering som utnyttjar en glidande kontakt och ett gångjärn för överföring av energi.

4.2.4 Idé fyra: Solfjäder

Figur 10 visar idén som valts att kallas för solfjädern. Idén grundas i handfläkten som är känd för sin vikbara mekanism där ribborna roterar runt en gemensam rotationspunkt. Idén använder en arm per fot som roterar kring dess bestämda punkt på ramen. En kabel löper längs med varje arm. Andra änden av armarna är kopplad till en glidande kontakt i EC:n. För att undvika att kabeln böjs mer än dess minimum böjradie så används en cylinderkontakt som kan rotera, se figur 10. Honkontakten, som är rotationspunkten, är inspänd i ramen som sedan leder vidare elen till bilen med kablar.



Figur 10: Idé för kabelhantering som utnyttjar en glidande kontakt och en roterande kontakt för överföring av energi.

4.3 Idéutvärdering

Idéutväderingen och poängsättningen genomförs på de fyra genererade idéerna, se tabell 6. Kabelkedja används som referensidé eftersom det är den nuvarande lösningen. Viktningen av behoven speglar betydelsefaktorn, alltså hur viktigt det är att just det behovet uppfylls. Exempelvis är behovet att maximera markfrigång det viktigaste behovet.

Behov ett: värdesätter hur väl idéen skulle klara av påfrestande miljö och temperaturskillnader. Den värdesätter även hur väl idéen motstår slitage och hur idéen skulle bete sig i fallet av en olycka.

Behov två: tillåta smidig sidoledsförflyttelse, värdesätter hur idéen skulle bete sig under drift, exempelvis att idéen inte hindrar rörelsen och slaglängden.

Behov tre: maximera markfrigång, värdesätter låg höjd på profilen av idéen.

Behov fyra: kabeldragning till fordon ska vara möjlig på alla punkter på ramen, värdesätter vilka möjligheter för kabeldragning till fordonet som finns eftersom variationer finns mellan billeverantörer vart möjligheterna för den kabeldragningen finns.

Behov fem: angår avgränsningen att inte göra omfattande ändringar av EC:n.

Behov sex: värderar energiförluster som idéen orsakar.

Tabell 6: Poägsättningsmatris med viktade poäng.

		Dragspel		Arm(knopp)		Solfjäder		Kabelkedja (referens)		Parasoll	
Behov	Viktning	Poäng	Viktade poäng	Poäng	Viktade poäng	Poäng	Viktade poäng	Poäng	Viktade poäng	Poäng	Viktade poäng
1	0,22	3	0,66	3	0,66	2	0,44	**3**	0,66	2	0,44
2	0,18	5	0,9	3	0,54	3	0,54	**3**	0,54	3	0,54
3	0,25	5	1,25	4	1	**3**	0,75	1	0,25	**3**	0,75
4	0,16	**3**	0,48	4	0,64	**3**	0,48	2	0,32	2	0,32
5	0,07	2	0,14	4	0,28	2	0,14	**3**	0,21	2	0,14
6	0,12	**3**	0,36	5	0,6	3	0,36	5	0,6	3	0,36
SUMMA	1	21	3,79	23	3,72	16	2,71	17	2,58	15	2,55

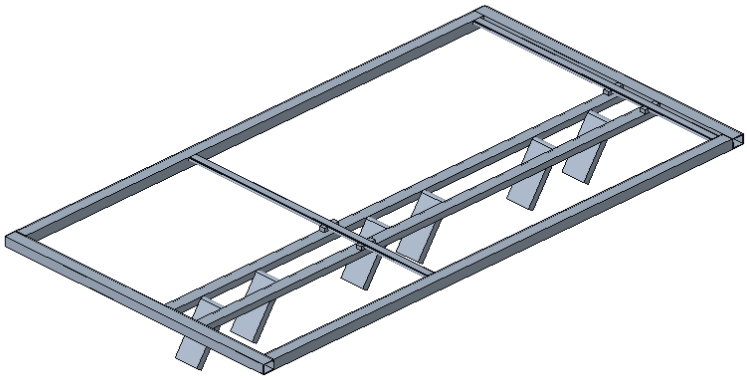
Konceptet *kabelkedja* är en övergripande referens, men separata referenspunkter uttrycks med fetstil i matrisen. Detta är på grund av att det inte alltid är lämpligt att använda en ända referensidé för att det är en mindre sannolikt att ett enskilt koncept motsvara genomsnittsprestandan för alla behov [9].
Resultatet av idéutvärderingen visar att koncept ett och koncept två bör fortsätta utvecklas på detaljnivå. För att säkerställa att resultatet från idéutvärderingen är rimligt görs alternativa poängsättningsmatriser med varierande viktningar. Resultatet av de alternativa poängsättningsmatriserna visar ingen förändringar på ställningen mellan koncepten. Resultatet av poängsättningsmatrisen antas vara rimlig.

4.4 Konceptutveckling

I figur 11 visas en modell av koncept ett, dragspel, där den vita pappersdelen föreställer bälgen som ska dras ihop eller ut för att anpassas efter positionen av EC:n. Modellen bidrar med förståelse kring linjära dragspel och hur infästningen i höljet och EC-sidan kan vara utformad. Konceptet vidareutvecklas i CAD.

Figur 11: Modell av koncept ett i wellpapp.

För att vidareutveckla koncepten i Creo så modelleras en EC och ram som är en utgångspunkt för koncepten, se figur 12. I modellen syns tre par av fötterna, som är nedfällda och monterade i mitten av EC:n. Modellen är 2215 mm lång och 1300 mm bred för att den ska kunna få plats i utrymmet mellan däcken och samtidigt ha en slaglängd på +/- 500 mm då EC:n är centrerad i ramen.

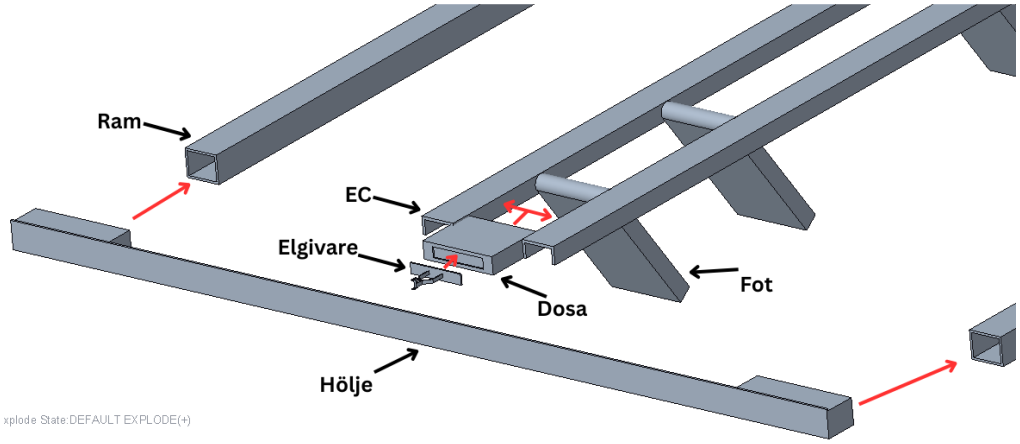


Figur 12: Modellerad EC och ram.

(a) 3D-modell. (b) Sprängskiss.

Figur 13: 3D-modell av Koncept ett.

I figur 13 syns en version av koncept ett som konstruerats i Creo. I denna modell har bälgen medvetet utelämnats. I bälgens plats visas istället en öppen sida i konstruktionen. Detta görs då den antas inte ha en påverkan på funktionen av konceptet. Modellen fokuserar på höljet med lock. Locket underlättar underhåll eftersom det blir en enklare tillgång till de interna delarna av konceptet. Konceptet ersätter kortsidorna av ramen. Inuti höljet kommer en ledare att installeras, vilken är avsedd att ta emot elektricitet via konduktion. Den del som agerar som elgivare är integrerad med en dosa, som i sin tur är fast inspänd mellan EC-balkarna, se figur 14.

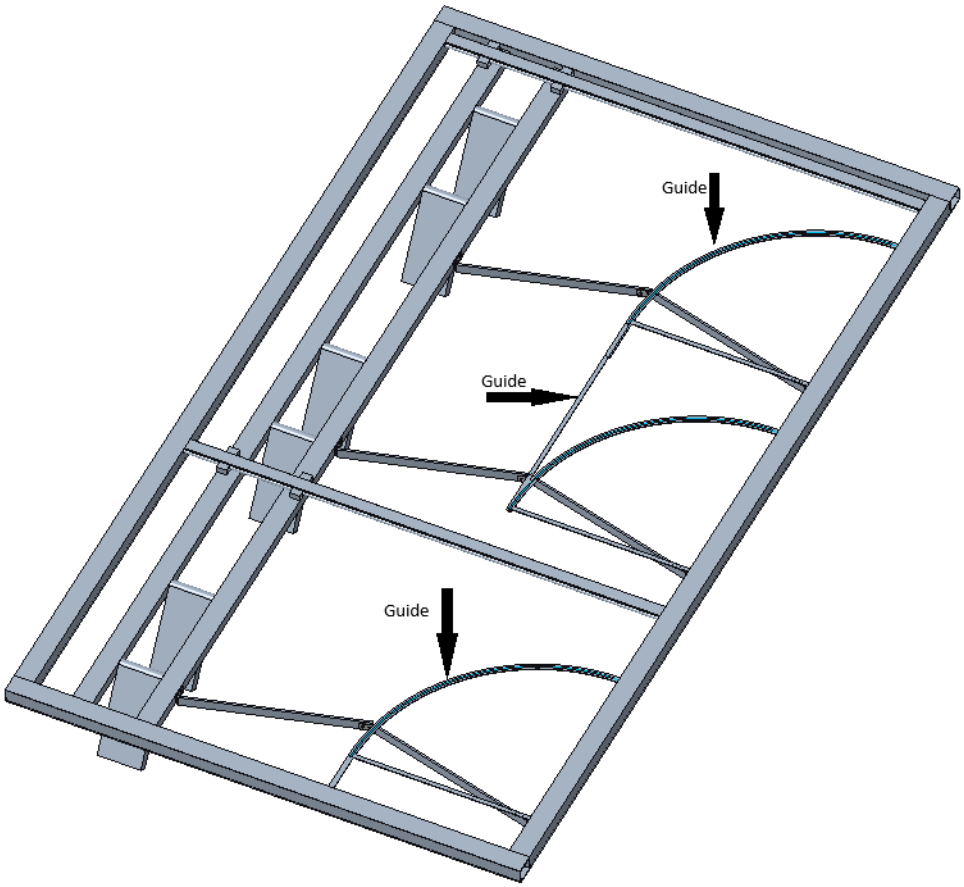


Figur 14: Sprängskiss för elgivare, dosa och EC

Utformningen av elgivaren säkerställer att den har kontakt med ledaren i höljet. Elgivarens konstruktion möjliggör överföring av elektricitet över hela slaglängden.

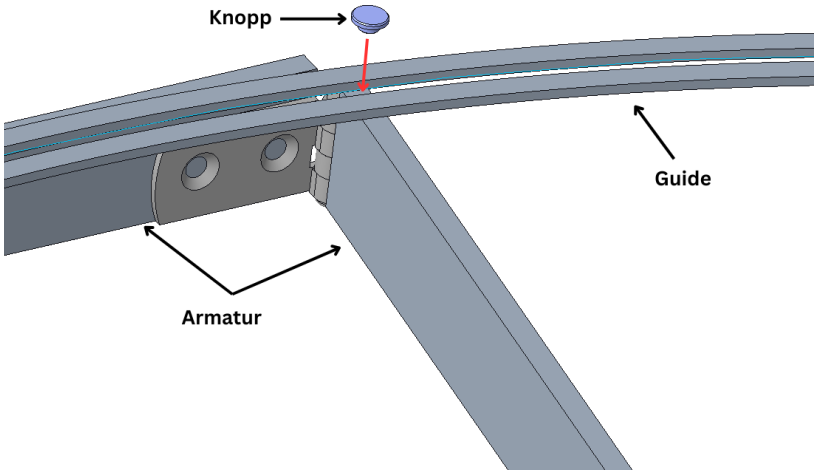
I figur 15 illustreras koncept två, armatur med guide. Guiden befinner sig över armaturen för att inte störa den sidledsrörelsen som EC:n gör under

drift. Guiden är infäst på 3 punkter och förstärker konstruktionen. Infästningspunkterna av guiderna beror på den befintliga mekanismen för sidledsrörelse. Detta gör att guiderna inte hindrar funktionen av den dynamiska laddningen.



Figur 15: 3D-modell av koncept två.

I figur 16 visas en 3D-modell där placering av knopparna och guiden tydliggörs.



Figur 16: Närbild av interaktionen mellan knopp, skena och armatur.

5 Detaljutveckling

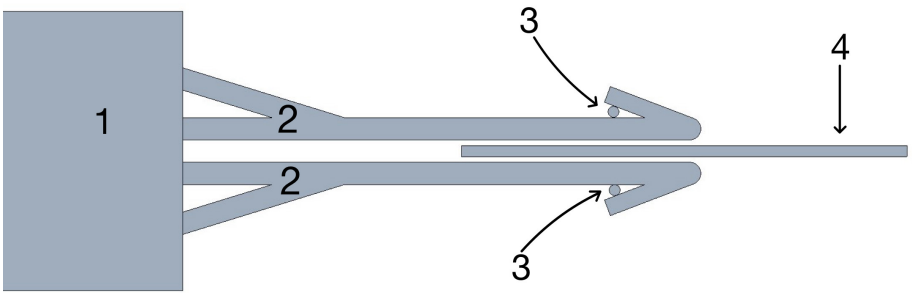
Under detaljutveckling så ska en design specificeras. Bland annat innebär det att upprätta slutgiltiga dimensioner, bestämma material och vilka delar som tillverkas av vilka leverantörer.

5.1 Koncept ett

Detaljutveckling av koncept ett bestämmer utformningen av elgivaren samt ledaren i dragspelet. Speciell hänsyn tas till utformningen av kontakten för att försäkra kontakt under drift. Det uppnås med en konstruktion som liknar spännet på en bläckpenna, som omsluter den glidande kontakten, se figur 17. Konstruktionen som omsluter ledaren ger upphov till konstant kontaktkraft under drift och minimerar risken att kontakten glappar vid vägimperfektioner och slitage.

Idén att montera ledarna på samma kortsida av ramen, istället för motsatta sidor, diskuteras med personal på Elonroad och med handledare på Malmö universitet. Detta leder till en enklare konstruktion eftersom kablarna och ledarna är på samma sida.

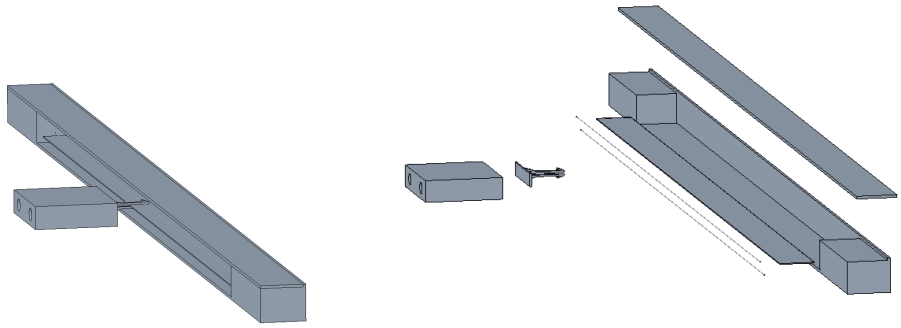
Två icke-isolerade ledare, som ledarna i koncept ett är, behöver ett avstånd på minst 75mm från varandra [17], vilket går emot det förutbestämda böjdbudgeten. Eftersom ledarna finns på samma sida kräver konstruktionen en avdelare mellan ledarna. Denna avdelare ökar kortaste sträckan mellan ledarna och minskar risken för en kortslutning under drift. Se figur 17 för tvärsnittet av elgivarna och ledarna i höljet.



Figur 17: 1: EC, 2: Elgivare, 3: Ledare, 4:Avdelare

Konceptet infinner sig på framsidan av ramen i färdriktning för att stänk från däck inte ska hamna i konstruktionen. Utöver avdelarens funktion av

att öka avståndet mellan ledarna så skyddar avdelaren också från att ledarna kommer i direkt kontakt med varandra i fallet av en olycka. Avdelaren minimerar även risken att fukt eller vatten skulle råka brygga avståndet mellan ledarna.

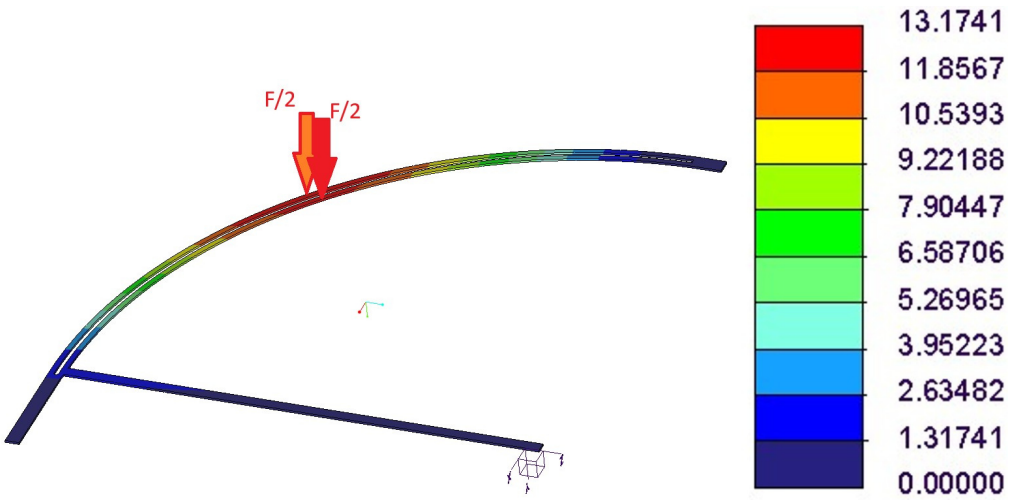


(a) 3D-modell (b) Sprängskiss

Figur 18: Utvecklad 3D-skiss av koncept ett.

5.2 Koncept två

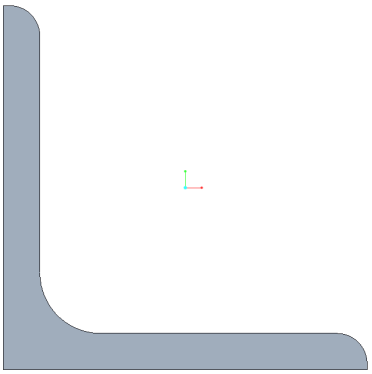
Detaljutveckling av koncept två börjar med simuleringar av guiden med olika typer av infästningar och profiler. Totalt så undersöktes 4 olika typer av guider med varierande infästningar och profiler. Lasten, F=12 N, i simuleringarna för guiden är alla placerade i samma punkt och alla simuleringar inkluderar gravitation. I figur 19 är kraften placerad på två punkter, detta för att kraften anses ligga på båda sidorna på grund av knoppens utformning. Lasten på guiden antas vara en punktlast från armaturen, på grund av att knoppen har en liten yta relativt guiden. Lasten tar hänsyn till kablarnas vikt, balkens vikt, samt marginal för oförutsedda laster. I samtliga simuleringar används rostfritt stål som material, på grund av materialets elasticitetsmodul och materialets förmåga att motstå krävande miljöer. Simuleringarna visar att konstruktionen är för vek för att kunna stödja armaturen, detta illustreras av den maximala nedböjningen som uppgår till cirka 13 mm, Se figur 19. Se appendix B för fler simuleringar.



Figur 19: Resultat av finita elementanalys på en version av guiden med last (F = 12 N) samt gravitation. Som randvillkor är guiden fast inspänd i alla ändar.

Detaljutvecklingen av koncept två leder till valet att utesluta guiden och istället utveckla balken som kablarna löper längs med. Förstärkningen av konstruktionen utforskades med andra alternativ, främst olika profiler på balkar. Att ändra profilen av balken påverkar tröghetsmomentet och olika profiler undersöks som kan uppfylla styvhetskravet på konstruktionen. Balkens som valts att användas är en likflänsig vinkelstång (L-balk).

L-balken har ett större tröghetsmoment än den tidigare iterationen av konceptet. Tröghetsmomentet är bidragande faktor för mindre nedböjningen av en balk [18], när alla andra storheter består. En fördel som L-balkens profil bidrar med, utöver tröghetsmomentet, är ett utrymmet där kablarna kan löpa längs med balken.

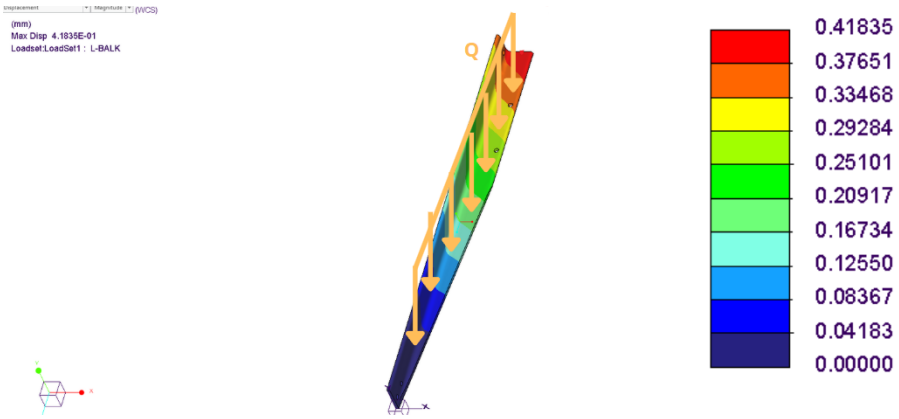


Figur 20: Profil av L-balk.

I utvecklingen av konceptet visas det att L-balken kolliderar med ramen när EC:n är i det mest indragna läget på grund av den horisontella delen av balken. Detta åtgärdas med en modifierad balk, se figur 21.

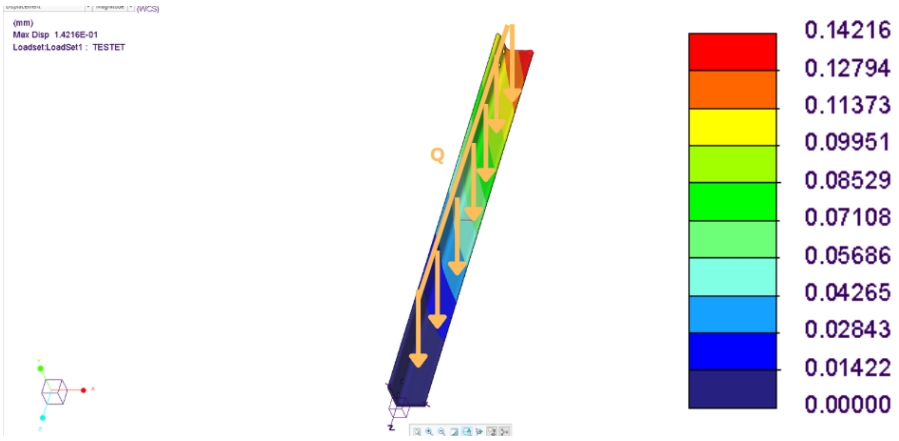
Figur 21: L-balk modifierad för att inte kollidera med ramen.

För att avgöra om det är ett rimligt beslut att ta bort en del av balken, undersöks skillnaden i nedböjning mellan den ursprungliga och den modifierade balken. Eftersom balkens form är komplex genomförs en FE-simulering i programmet Creo för att beräkna nedböjningen av den modifierade balken. I simuleringen, se figur 22, belastas balken med utspridd last på 12 N, betecknas Q. Den utspridda lasten representerar kablars vikt samt oförutsedda laster, tillsammans med egenvikten. Resultatet visar att den maximala nedböjningen är $\delta_{nedbjning} = 0.41835$ mm. Spänningarna som uppstår i simuleringarna är 22 MPa, se appendix B-4.



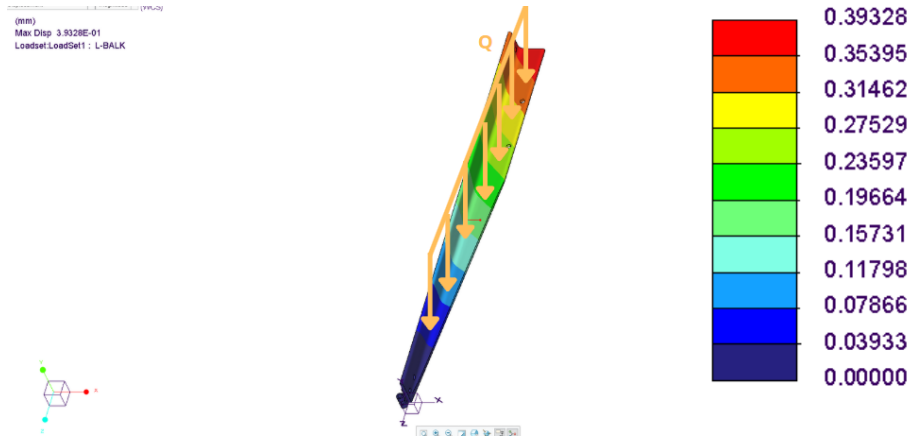
Figur 22: Simuleringen av modifierad L-balk med utbred last, Q.

Detta jämförs med simuleringen av den omodifierade balken, figur 23, som visar en nedböjning på $\delta = 0.14216$ mm med samma laster och av egenvikt, ses en skillnad på cirka 34%, eller 0.28 mm. Denna skillnad bedöms vara försumbar. Beslutet att modifiera balken anses vara rimligt.



Figur 23: Simulering av omodifierad L-balk med utbred last, Q.

I figur 24 syns en simulering av den modifierade L-balken med gångjärn för att se den totala nedböjningen. Simulering genomförs med randvillkor som gör att den är fast inspänd i rotationsaxeln på gångjärnet och utspridd last. Simuleringen genomförs med gångjärnet och balken eftersom gångjärnet och balken inte kan böjas oberoende av varandra, då delarna är fästa till varandra med skruvförband.



Figur 24: Simulering av nedböjning för en L-balk och gångjärn med utbred last, Q.

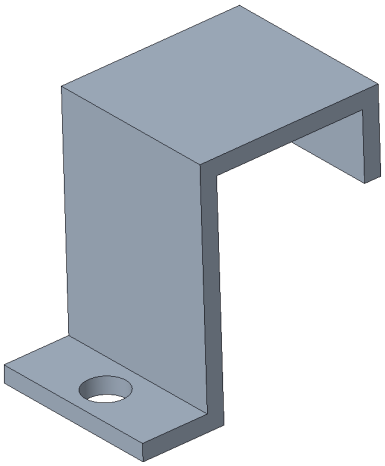
Gångjärnen i konceptet antas ha ett spel på 1 mm för att möjliggöra rotation. Ekvation 4 tar hänsyn till balkböjningen av L-balken och gångjärnet samt spelet i gångjärnet. I ekvation 4 är spelet i gångjärnet multiplicerat med två för att lösningsförslaget använder tre gångjärn, de två första bidrar med lika mycket nedböjning eftersom gångjärnen är på motsvarande sida av EC och ramen, det tredje gångjärnet bidrar med ytterligare 1 mm i nedböjning.

$$\delta_{tot} = \delta_{nedbjning} + 2 \cdot \delta_{spel} \tag{4}$$

Med insättning av värden i ekvationen blir den största nedböjningen, i balkarnas yttersta punkt, följande.

$$\delta_{tot} \approx 2.4mm. \tag{5}$$

Koncept två har plats för att kablarna ska fästas längs med balkarna. En detalj utvecklas som håller kablarna på plats, se figur 25 och tillåter kablarna att glida längs med längden av balken. Detta är väsentligt för funktionen och för att undvika onödig påfrestning på kablarna.



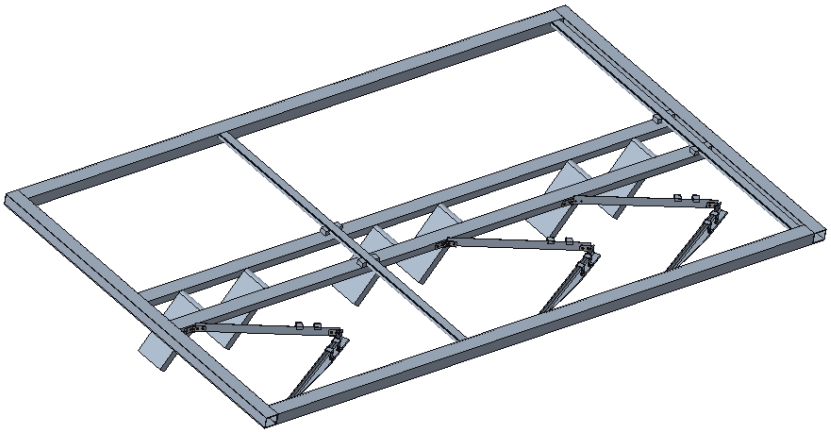
Figur 25: Kabelhållare som tillåter kabelns rörelse i balkens längd.

Detaljutvecklingen av koncept två har kvar den ögla som finns i gångjärnet mellan de två balkarna. För att undvika påfrestningar på kablarna i konstruktionen så leds kablarna i utrymmer mellan balk och EC/ram och fästs längre ner på de respektive delarna. Detta leder till att böjradien av kablarna ökar och eventuella spänningar på kablarna minskar.

Kontinuerlig kontakt har förts med Elonroads förväntningar angående resultatet av arbetet. Efter detaljutvecklingen så finns två utvecklade lösningsförslag som fungerar på olika sätt och har olika utgångspunkter. Elonroad efterfrågar en lösning som är integrerbar till den befintliga EC:n. Koncept ett är inte integrerbar för denna generation av EC:n men framtida generationer kan ha möjligheten att använda sig av likriktad ström. På grund av att kabelhanteringslösningen ska fungera med denna generation så utesluts koncept ett.

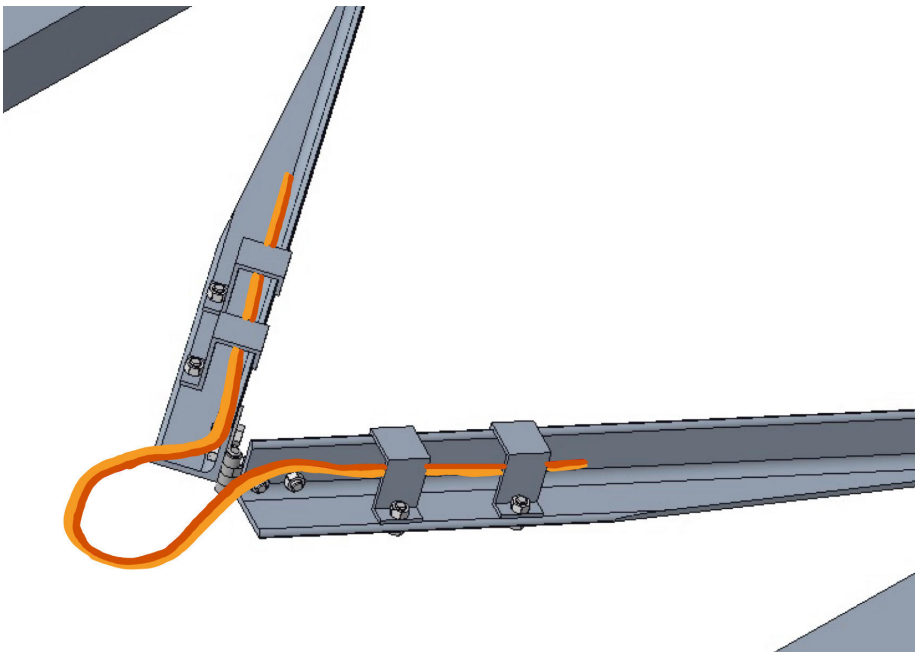
6 Resultat

Resultatet av arbetet är ett lösningsförslag baserat på koncept två. Figur 26 visar EC, ramen och lösningsförslaget med tre armaturer som är monterade i de två förstnämnda delarna. Till varje armatur är det tre gångjärn, två balkar och fyra kabelhållare. L-balken tillåter montering av fyra kabelhållare på vardera armatur, se figur 27. Kabelhållarna tillåter rörelse i balkens längd när armaturen vecklas ut, eftersom den effektiva längden av kabeln som behövs för att nå från EC till ramen ökar.



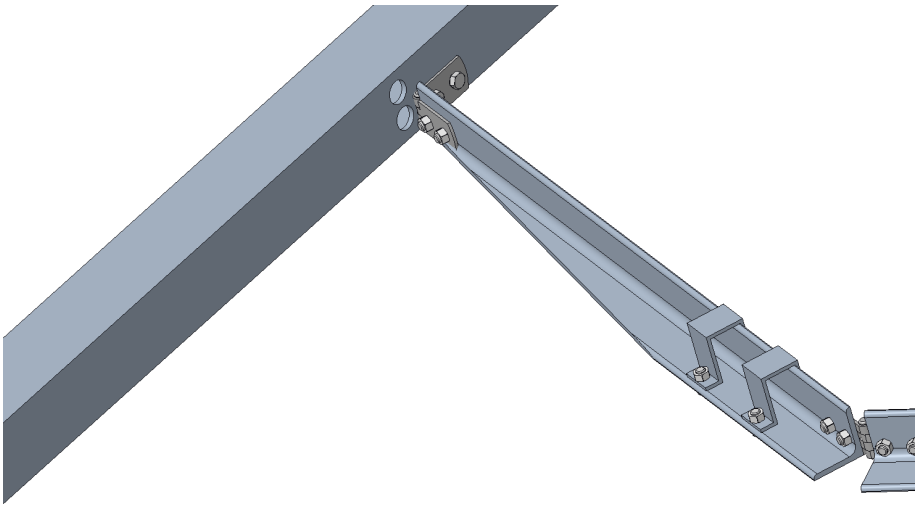
Figur 26: 3d-modell av lösningsförslag.

I gångjärnet mellan de två balkarna i varje armatur, se figur 27, finns utrymme för en ögla som skyddar kabeln från påfrestningar vid armaturens mest indragna läge, som illustreras i figur 8. Gångjärnen i armaturen är monterade på ett sätt där de inte tar upp det begränsade utrymme som kablarna ska vistas i.



Figur 27: Närbild av lösningsförlag med kabelutformning.

I lösningsförslaget finns hål i både ramen och EC:n där kablarna leds igenom för att överföra el från EC:ns fötter vidare in i fordonet. Detta möjliggör elöverföring vid en godtycklig punkt och minskar risken för spänningskoncentrationer som kan uppstå vid böjning av kablarna se figur 28.



Figur 28: Hål för ledning av kablar vidare till bilen.

Lösningsförslaget är skalbart beroende på appliceringsområden då storleken och antalet fötter på EC:n kan variera.

Lösningsförslagets höjd är 35.65 mm, vilket är inom höjdbudgeten. Den förväntade nedböjningen beräknas till 2.4 mm. Den totala höjden, medräknat nedböjningen, blir 38.05 mm.

7 Diskussion

Syftet är att utveckla en kabelhanteringslösning mellan en stationär punkt och en del som rör sig sidleds. Denna lösning är för dynamisk laddning av eldrivna fordon. Lösningen kan bidra till minskad oro kring inköpet av elbilar genom att möjliggöra dynamisk laddning av elbilar. Konsumenter kan färdas med eldrivna fordon med lägre miljöpåverkan än med traditionella förbränningsfordon. Med dynamisk laddning behöver elbilar inte tillverkas med lika stora batteripaket. Detta kan minska inköpspriset vilket gör elbilar mer attraktiva för konsumenter. Dynamisk laddning i kombination med mindre batterier skulle dessutom minska tiden för att ladda fordonet med en traditionell stationär laddare med sladd.

Målet med arbetet är att utveckla en kabelhanteringslösning med hjälp av konceptutvecklingsmetoder, CAD och beräkningar. Kabelhanteringslösningen möjliggör elöverföring mellan en stationär punkt, ramen, och en sidleds rörande del, EC:n, med en höjdbudget på 40 mm. En kabelhantering har utvecklats och det presenterade lösningsförslaget uppfyller alla behov på en teknisk nivå. Kabelhanteringen använder tre armaturer med gångjärn och kabelhållare för att möjliggöra elöverföring mellan EC och ram. Kabelhanteringen ger utrymme för kablarna att böjas utan att kablarna böjs mer än deras minimala böjradie.

Att bevisa pålitligheten av lösningsförslaget under alla förväntade omständigheter är svårt men kan styrkas av valda komponenters egenskaper. Till exempel är balkarna tillverkade i rostfritt stål. Rostfritt stål har en hög styvhet och hållbarhet i påfrestande miljöer. Detta tillfredsställer kraven som efterfrågas på lösningsförslaget. Behovet att maximera markfrigång är tydligt att bevisa då lösningsförslaget är inom höjdbudgeten på 40 mm inklusive den förväntade nedböjningen.

De metoder som tillämpats i detta arbete har varit användbara för att skapa struktur i utvecklingsprocessen. Metoderna har underlättat både idégenerering, utveckling och teknisk fördjupning. Metoderna har även bidragit till att koncepten kunnat jämföras och analyseras utifrån givna behov och krav. Användning av en lågupplöst modell av relevanta delar i problemet har hjälpt utvecklingen av kabelhanteringen på flera sätt, bland annat att kommunicera idéer med handledare på universitetet och med Elonroad. Användning av viktad poängsättning som metod för idéutvärdering har förbättrat resultatet av detta arbete. Metoden har testat hur bra idéerna är relativt till varandra.

Produktspecifikationen har varit viktig för att säkerställa vilka egenskaper

som krävs för att lösningsförslaget ska uppfylla behoven som presenterats. Genom att omvandla behov till mätbara egenskaper har det blivit möjligt att utvärdera idéer på ett objektivt sätt. Samtidigt kräver detta steg god förståelse för både produktens användningsområde och tekniska möjligheter, eftersom felaktig tolkning av behov kan leda till att viktiga funktioner förbises.

Arbetet hade förbättrats med användning av metoder som DFM och DFA i större grad. Exempelvis hade DFA möjligtvis minskat monteringstiden. Lösningsförslaget består totalt av 48 skruvar och muttrar vilket ökar monteringstiden jämfört om det skulle vara ett mindre antal maskinelement. Att anpassa lösningsförslaget med DFA i åtanke skulle exempelvis kunna innebära att gänga vissa hål för att minska antalet muttrar och att endast använda skruvförband där det är som viktigast. Ett annat alternativ som möjligtvis skulle minska monteringstiden är att kabelhållare skulle vara inspända istället för att vara monterade med skruv. Det som DFM har använts för i detta arbete är att välja komponenter exempelvis L-balk och gångjärn som är enkelt tillgängliga. Detta för att minimera tillverkningskostnader jämfört med beställningsgjorda delar. DFM har också använts för att ta hänsyn till Elonroads egna resurser exempelvis, att kabelhållarna har modellerats med hänsyn för att kunna tillverkas med 3D-skrivare.

Idégenereringen har gett utrymme för att ta fram olika idéer för kabelhantering, vilket har ökat möjligheten att identifiera alternativ med god potential. För att säkerställa att lösningsrymden utforskas i bred skala är det fördelaktigt att återvända till idégenerering vid flera tillfällen. Detta moment har inte genomförts i önskad omfattning, vilket kan ha begränsat antalet identifierade lösningsmöjligheter. Det finns därmed en risk att potentiellt lösningsförslag inte upptäckts. Samtidigt innebär ett stort antal idéer att processen blir mer omfattande och tidskrävande, vilket ställer krav på effektiv urvals- och utvärderingsmetodik. Det är alltså en balans mellan att generera många idéer och att hinna utvärdera dem inom projektets ramar.

Vidareutveckling av lösningsförslaget skulle kunna vara stresstestning i förväntade miljöer. Optimering av vinkeln på avskärningen av den modifierade L- balken för maximerad slaglängd är även en potentiell vidareutveckling. Kabelhållarnas material, utformning och placering är även ett område för vidareutveckling. Ytterligare område för vidareutveckling är att undersöka materialegenskaper för tillverkningen av kabelhållarna för att minimera friktionen med kablarna. Placeringen av kabelhållare skulle kunna utforskas för att försäkra att kablarna håller sig på plats och inte böjs på platser där det inte är avsett.

Avgränsningarnas påverkan på detta arbete ledde till ett mer fokuserat arbete på grund av att det frigjort utrymme för att utforska och undersöka flera alternativ, exempelvis att den ekonomiska aspekten inte tas hänsyn till.

Avgränsningen att endast ta hänsyn till en slaglängd har troligen påverkat arbete på ett positivt sätt, men kan ha påverkat vilka lösningsförslag som presenterats. Att endast överväga en slaglängd på ± 500 mm begränsar vilka möjligheter till kabelhantering som utforskas. Elonroad har ställt detta krav på grund av att det anses vara den slaglängd som har bredast applikationsområde.

Koncept ett ansågs lovande men utvecklades inte vidare i detalj eftersom det inte är kompatibelt med den nuvarande EC:n. Detta är på grund av att EC:n inte är konstruerad för att använda dioder, vilket är en nödvändig komponent i konceptet. För fortsatt utveckling bör elektrisk ledningsförmåga, effektförluster och elgivarens placering i förhållande till kontaktkraften analyseras, liksom möjliga monteringslösningar för dioderna. Det finns även behov av att utvärdera användningen av bälg för att skydda komponenter från föroreningar, samt hur bälgen påverkar rörelsemotstånd i sidled.

8 Slutsats

Genom att använda metoder för konceptutveckling, CAD-modellering, FE-analys och hållfasthetsberäkningar har ett lösningsförslag för kabelhantering tagits fram för dynamisk laddning mellan en stationär punkt, ramen, och en sidleds rörande del, EC. Resultatet av arbetet uppfyller kraven som ställts. Lösningsförslaget har inte testats i verkligheten och kan därför endast bevisas att det fungerar på en teknisk nivå. För att styrka lösningsförslagets praktiska pålitlighet krävs omfattande testning, då resultatens korrekthet endast kan säkerställas genom att samla in tillräckligt med data under realistiska förhållanden.

Förbättringar som kan göras är att utnyttja DFM i en större omfattning. Fortsatt arbete skulle kunna omfatta beräkningar och simuleringar på kablarnas påfrestningar. Andra möjligheter finns som skulle kunna omfatta stresstestning av kabelhanteringen i påfrestande miljöer.

Referenser

[1] R. S.-B. et al, "Transport and environment report 2022," *European Environment Agency*, p. 26, 2022.

[2] X. Xia, P. Li, Z. Xia, R. Wu, and Y. Cheng, "Life cycle carbon footprint of electric vehicles in different countries: A review," *Separation and Purification Technology*, vol. 301, p. 122063, 2022. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383586622016185

[3] G. B. Ulrika Eklöf, Martin Cardell. (2024) How to retake the momentum in the ev transition. [Online]. Available: https://www.ey.com/en_gl/insights/automotive/how-to-retake-the-momentum-in-ev-transition

[4] AutoMotive, "Price parity 2024: The final mile," 2024, [Accessed 02-05-2025].

[5] Power-sonic. (2025) How long does it take to charge an electric vehicle (ev)? [Online]. Available: https://www.power-sonic.com/blog/how-long-to-charge-an-ev/

[6] Elonroad, "Elonroad," 2025, accessed: 2025-05-28, återgiven med tillstånd. [Online]. Available: https://www.elonroad.com/

[7] ElonRoad. (2025) Electric roads. [Online]. Available: https://www.elonroad.com/products-services/electric-roads

[8] E. Pipitone, S. Caltabellotta, and L. Occhipinti, "A life cycle environmental impact comparison between traditional, hybrid, and electric vehicles in the european context." *MDPI*, pp. 25–26, 2021.

[9] K. T. Ulrich and S. D. Eppinger, *Produktutveckling: Konstruktion och design.* Lund: Studentlitteratur AB, 2012.

[10] Miro, "What is brainstorming?" https://miro.com/brainstorming/what-is-brainstorming/, [Accessed 02-05-2025].

[11] "Faserna i innovationsprocessen — kvadrat.se," https://www.kvadrat.se/anlita-kvadrat/innovationsbloggen/faserna-i-innovationsprocessen/, [Accessed 27-01-2025].

[12] L. Hågeryd, S. Björklund, and L. Matz, *Modern produktionsteknik 1.* Linköping: Liber AB, 2009.

[13] PTC Inc., "Creo parametric 10.0," 2023, computer-aided design (CAD) software. [Online]. Available: https://www.ptc.com/en/products/creo

[14] C. Ljung, N. S. Ottosen, and M. Ristinmaa, *Introduktion till hållfasthetslära: Enaxliga tillstånd.* Lund: Studentlitteratur, 2007, tillgänglig via Malmö University Library Catalogue. Åtkomstdatum: 6 maj 2025.

[15] A. Ali, M. I. Sulaiman, N. Yasin, A. Mokhzaini, M. Jusoh, N. A. M. Ahmad Hambali, and M. H. Mat, "Wireless power transfer (wpt) optimization using resonant coil," *AIP Conference Proceedings*, vol. 2129, p. 020127, 07 2019.

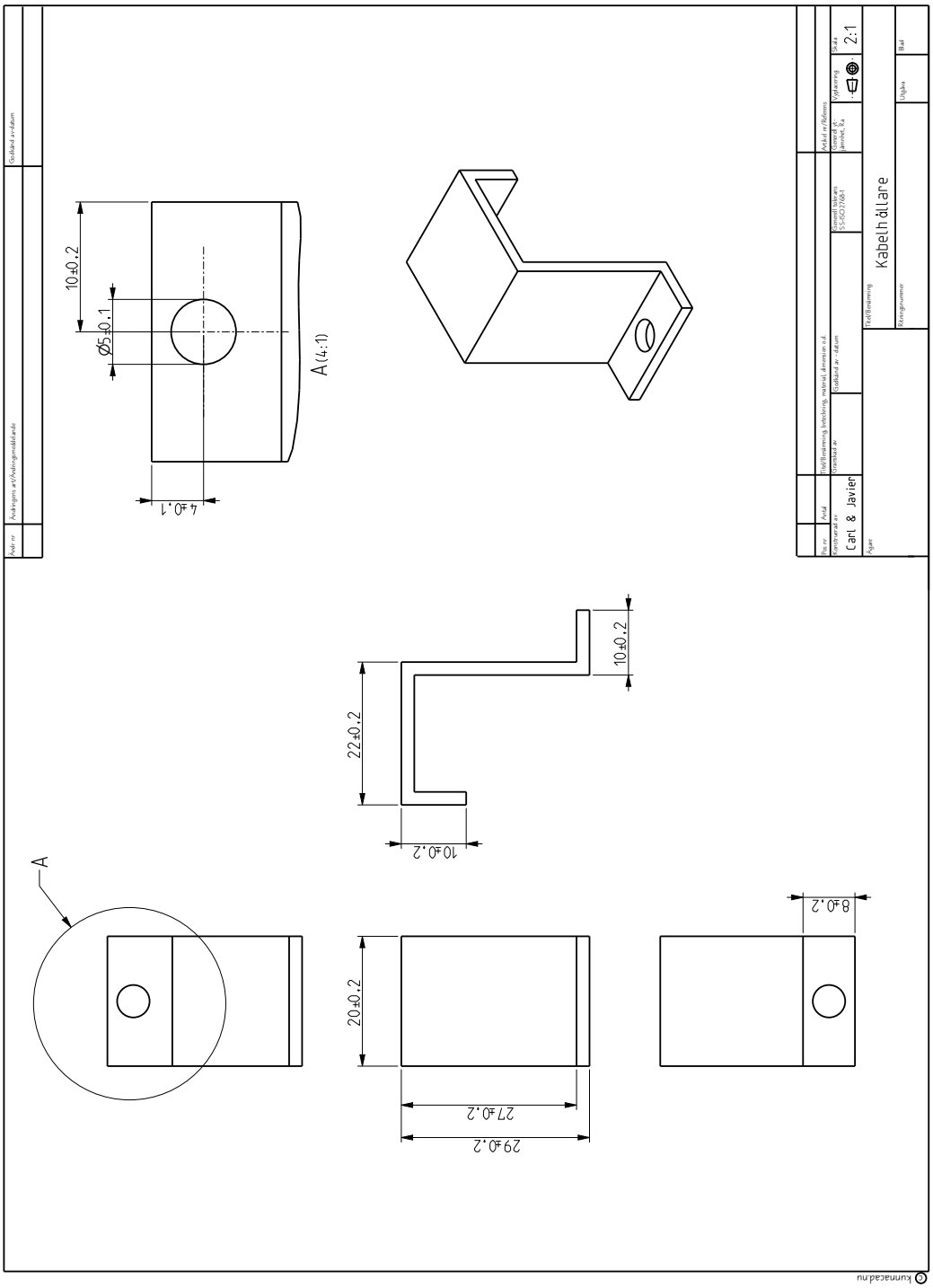
[16] HUBER+SUHNER. (2025) Auto b 1x35mm2p 155/rems og. [Online]. Available: https://www.hubersuhner.com/en/shop/product/84100296/radox-155s-radox-elastomer-s-fhlr91xc13x-and-fhlr4gc13x

[17] P. Cara Gilabert, "Detailed design of the catenary in the extension of a tramway system in wolverhamton, uk," *Repositorio de la Universidad Pontificia Comillas*, 2015.

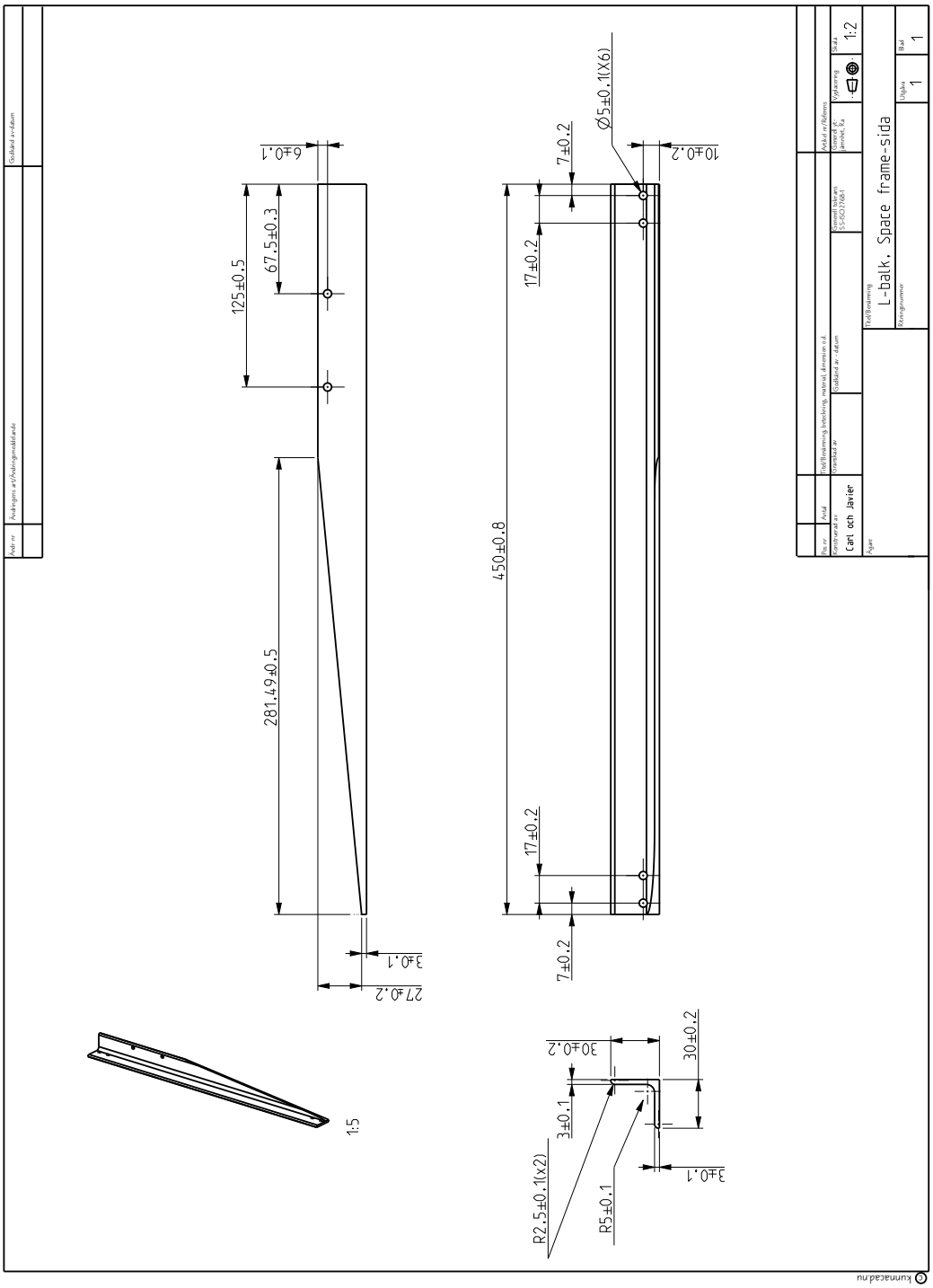
[18] K. Björk, *Formler och tabeller för mekanisk konstruktion.* Spånga: Karl Björks förlag AB, nionde upplagan.

A Ritningar

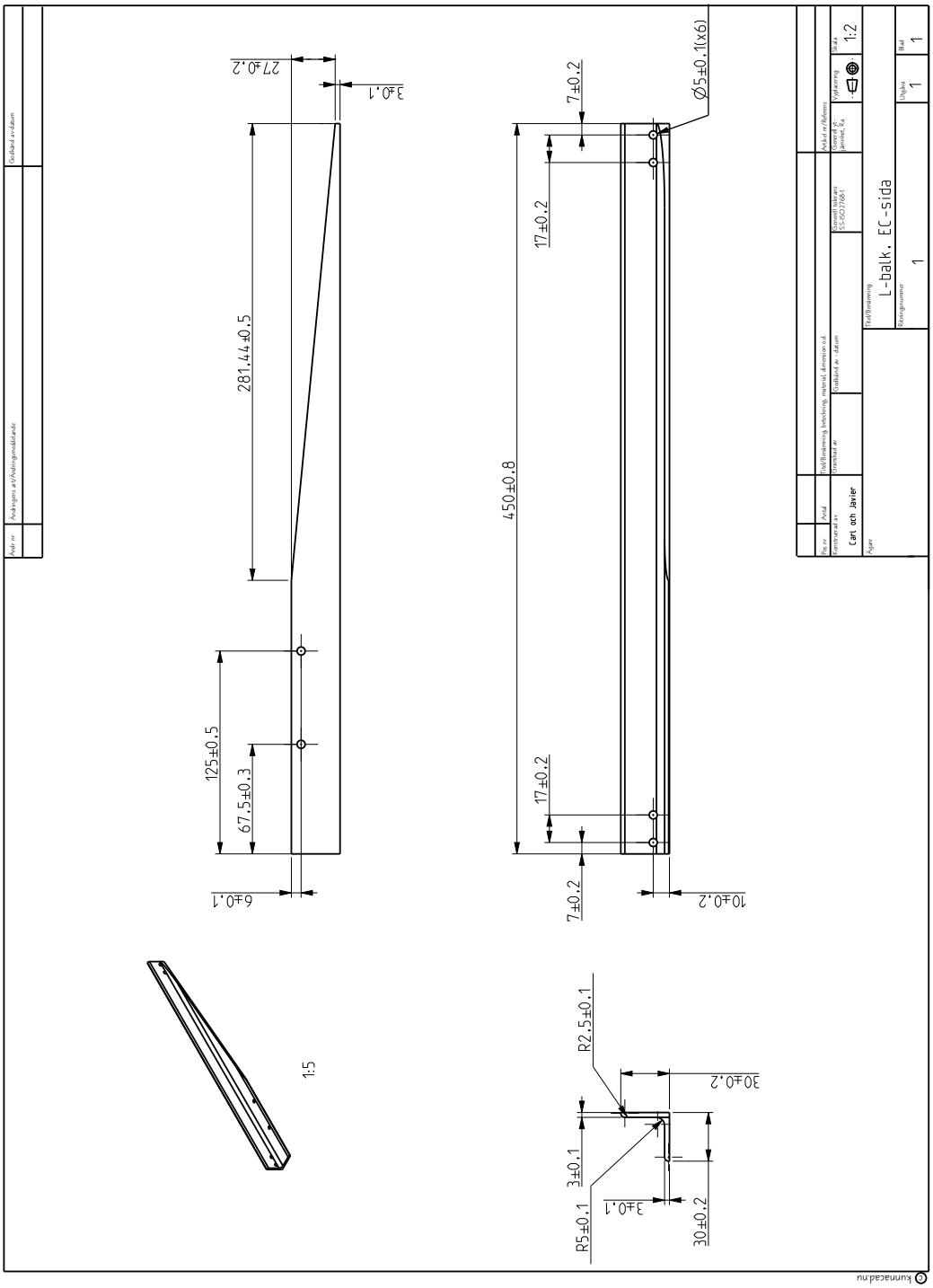
I detta avsnitt presenteras ritningar för delar och sammansättningar av delar som gjorts under arbetets gång. Delar som inte gjorts för hand, men istället hämtas in, presenteras inte som egen ritning. Istället presenteras de i en “BOM-lista“ (Bill of Materials).



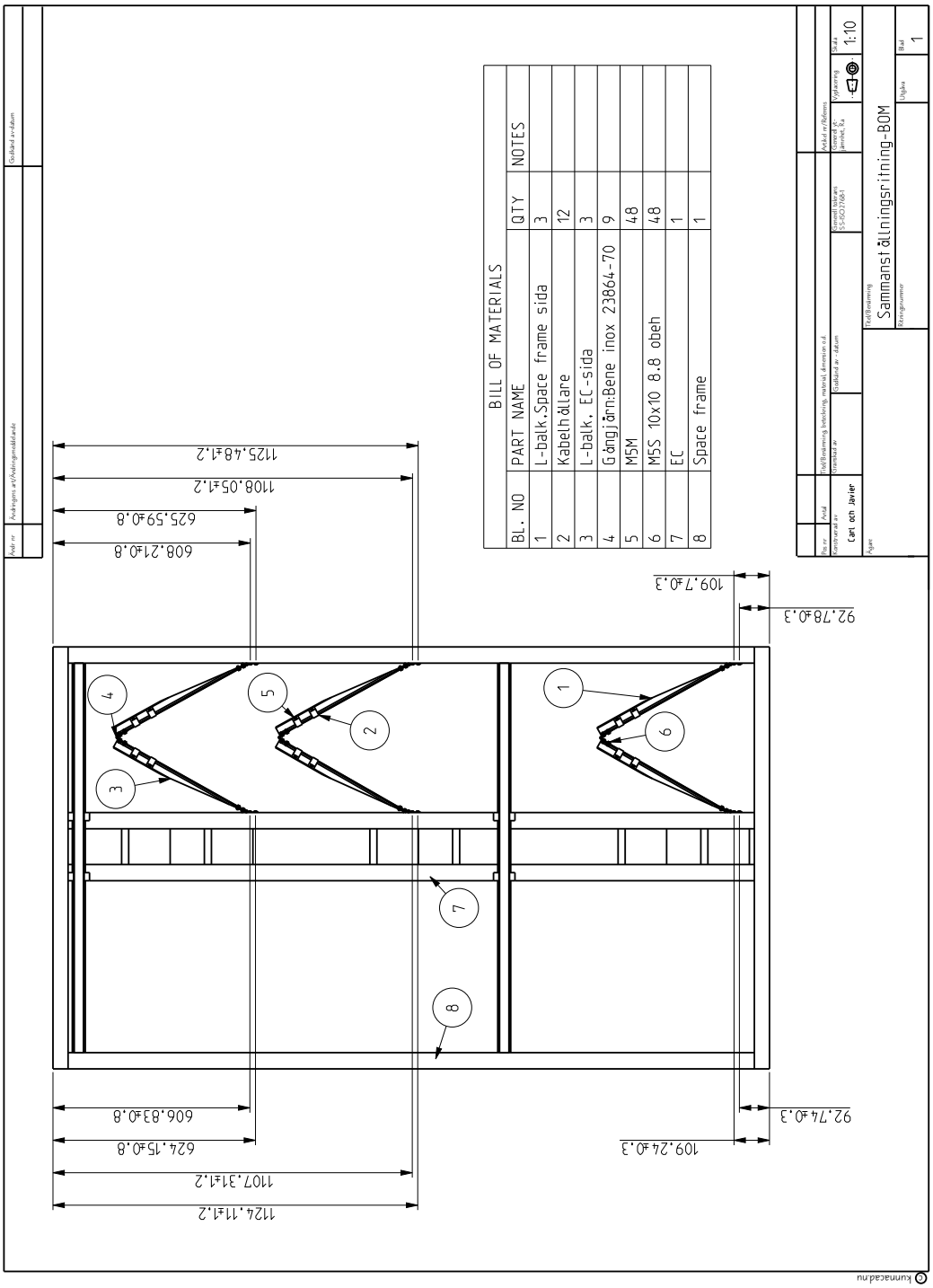
Figur A-1: Ritning för kabelhållare.



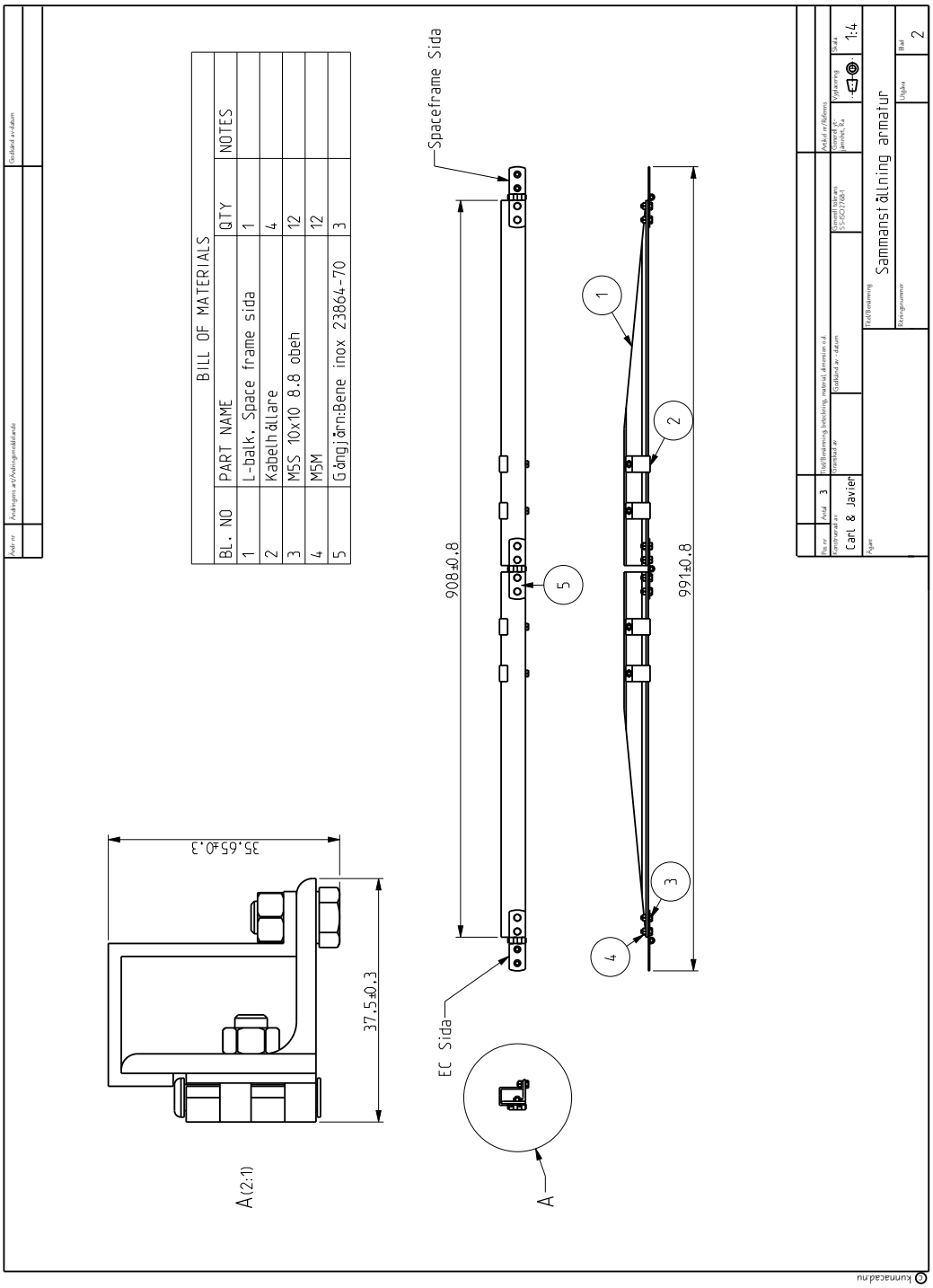
Figur A-2: Ritning för L-balk som monteras mot ramen.



Figur A-3: Ritning för L-balk som monteras mot EC.



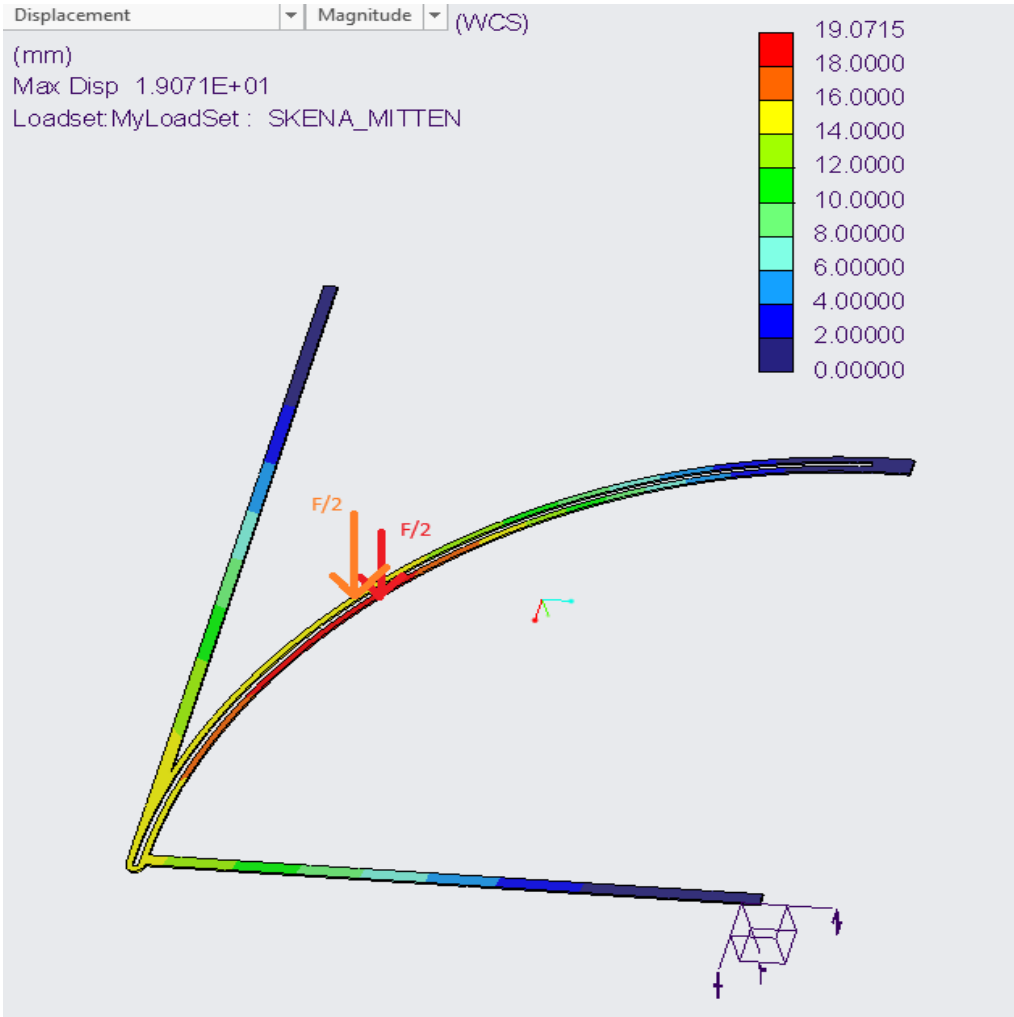
Figur A-4: Sammanställningsritning för lösningsförslaget.



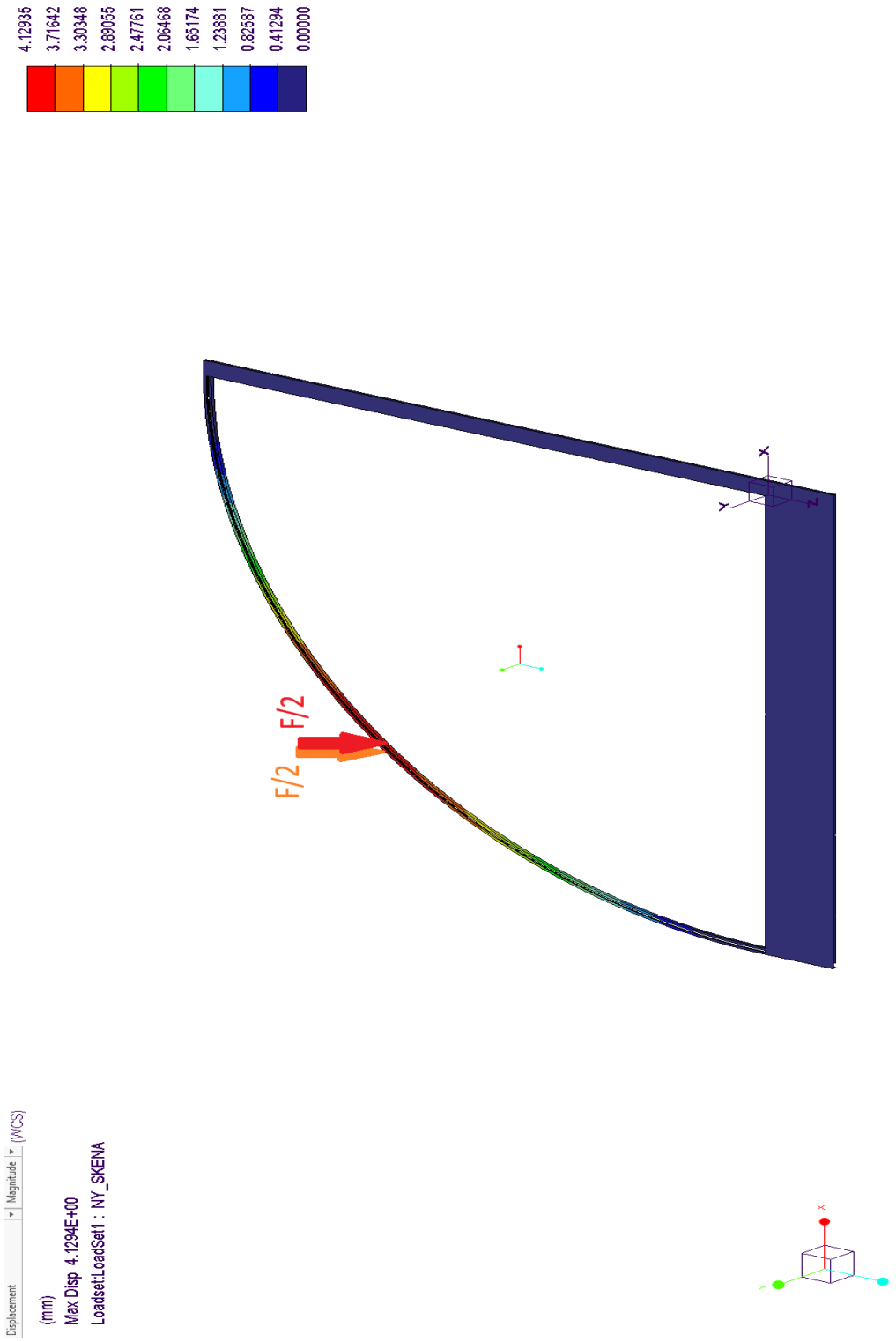
Figur A-5: Sammanställningsritning för armaturen.

B FE-analyser

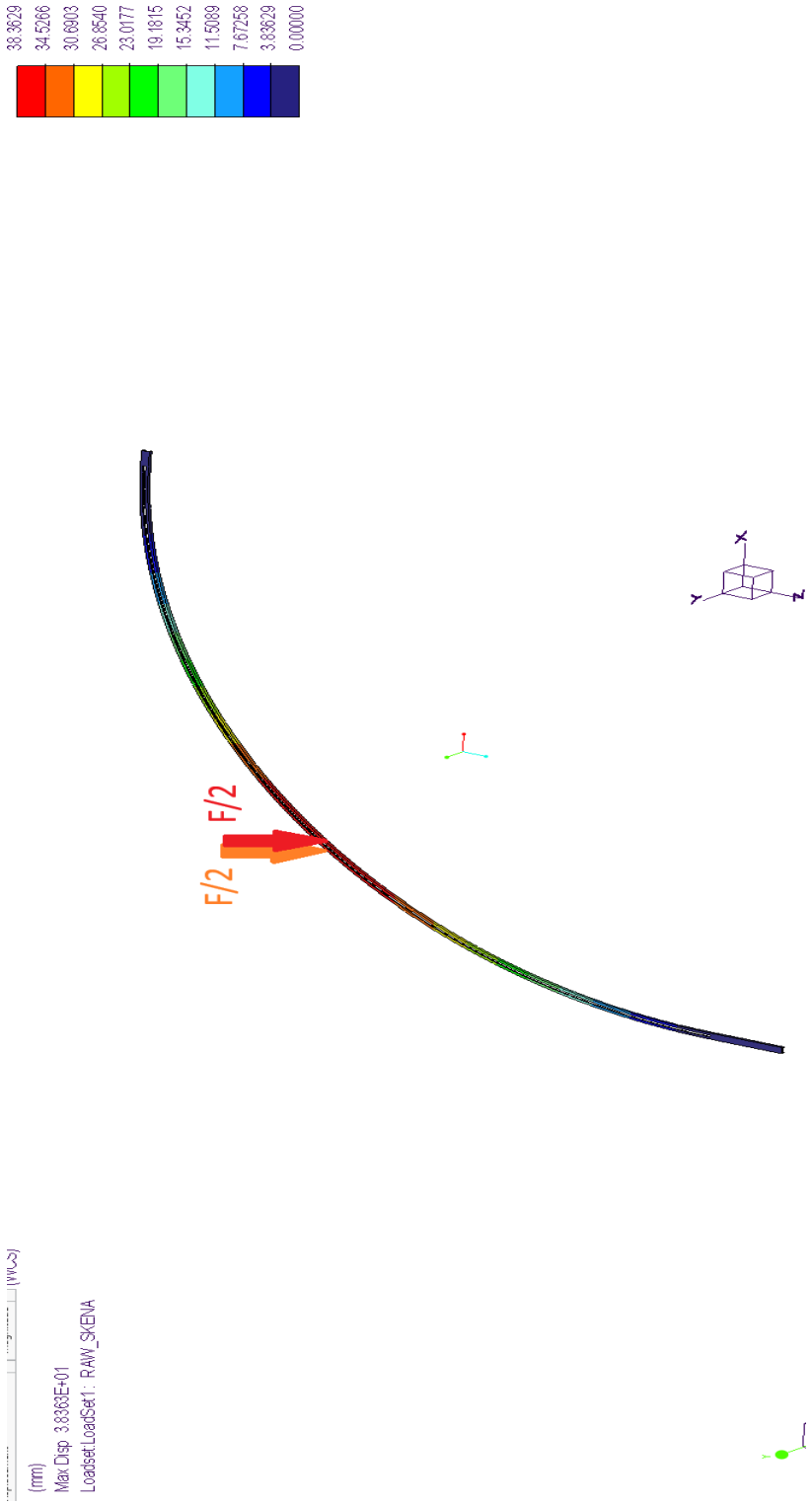
Detta avsnitt har som syfte att presentera samtliga FE-analyser som gjort i CAD programmet Creo Parametic.



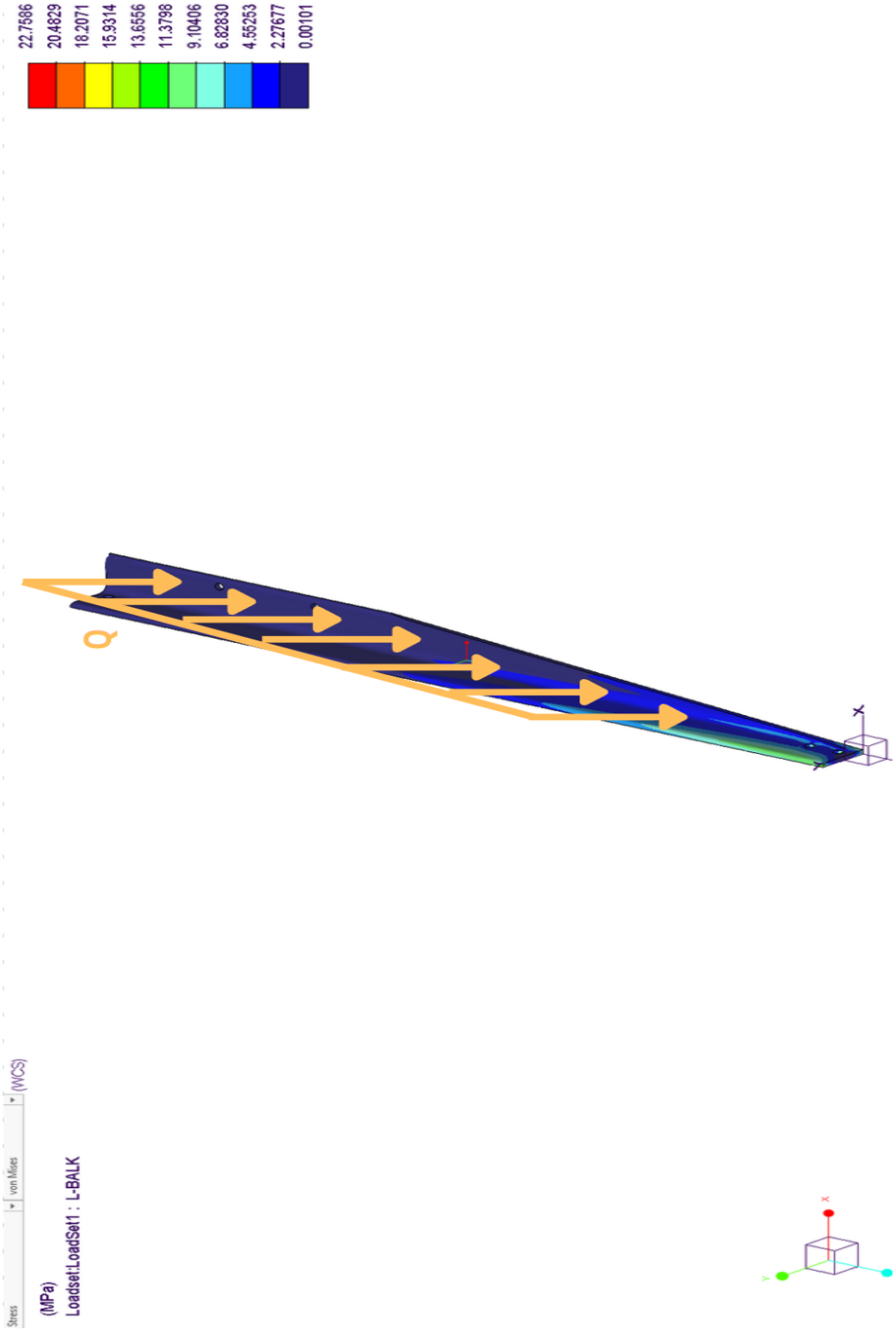
Figur B-1: Deformationssimulering av en iteration av guiden vid last på 12 N. Randvilkor: Fast inspänd i alla ändar.



Figur B-2: Deformationssimulering av en iteration av guiden vid last på 12 N. Randvilkor: Fast inspänd i de avlånga ändarna



Figur B-3: Deformationssimulering av en iteration av guiden vid last på 12 N. Randvilkor: Fast inspänd i båda ändar.



Figur B-4: Spänningsimulering av L-balk vid en utbredd last på 12 N. Randvilkor: Fast inspänd i rotationspunkt som i bilden betäcknas med y och x axlar.