

Design av Pick-up för Slide In - laddning av tunga fordon



Morgan Johansson
Per Josefsson
Johan Ljung

Division of Industrial Electrical Engineering and Automation
Faculty of Engineering, Lund University



LUNDS UNIVERSITET
Lunds Tekniska Högskola

Lunds Tekniska Högskola
Institutionen för industriell
elektroteknik och automation
5 januari 2012

Design av Pick-up för Slide In - laddning av tunga fordon

Författare:

Morgan Johansson
Per Josefsson
Johan Ljung

Handledare:

Professor Mats Alaküla
Lektor Gunnar Lindstedt

Examinator:

Adjungerad professor Hans Bängtsson

Abstract

As much indicates that in the future, road vehicles must be run on electric energy, a lot of research today is focusing on making this possible. For heavy vehicles there is a big limitation in the batteries' ability to store energy. Therefore AB Volvo is engaged in a development project that aims to study the possibility to transfer electrical energy in a conductive way while driving. With electrified tracks in the roadway, vehicles should be able to connect to them for running and loading the battery.

In this thesis the intention was to develop a mechanism, so called Pick-up, that will transfer the electrical energy from the track to the vehicle. It also included to produce a specification on what such a mechanism must be able to manage and then come up with a technical solution.

An extensive product development was carried out with support from a method from Ulrich and Eppinger (2008). After an analysis of competitors and similar innovations a product specification was developed for the Pick-up. Many proposed solutions evolved and after a selection process a concept was chosen that was assessed to comply with the demands.

The chosen solution is constructed to be mounted on the frame beam of a truck. It consists of an arm mounted on a linear unit, which moves the arm sideways. To control the arm vertically pneumatics were used which through a drop arm pushes or pulls the arm. If the pneumatics would break down, the arm will be raised automatically with the force of springs in order to prevent the Pick-up being damaged by dragging on the road.

A part of the arm consists of fiberglass that has a certain bendability which extracts unwanted vertical movements from the vehicle and at the same time the contact to the track is retained. The lowest part is called contact shoe and is the part that is in direct contact with the track. It is equipped with inductive sensors that help to position the contact shoe over the contact rails.

Calculations have been made of solidity, shear stress och forces to determine which materials that should be used.

Keywords: Pick-up, Slide in, Product development, Fiberglass, Pneumatics, Trucks, Electrical Vehicles

Sammanfattning

Då mycket tyder på att vägfordonen i framtiden måste drivas på elenergi pågår i dagens läge mycket forskning för att göra detta möjligt. För tunga fordon finns det en stor begränsning i batteriernas förmåga att lagra energi därför bedriver AB Volvo ett utvärderingsprojekt som syftar till att studera möjligheten att överföra elenergi konduktivt under körning. Med elektrifierade spår i vägbanan ska fordon kunna koppla in sig för drift och laddning av batteri.

I det här examensarbetet är syftet att utveckla en mekanism, så kallad Pick-up, som ska överföra den elektriska energin från spåret till fordonet. Där i ingår även att ta fram en kravspecifikation på vad en sådan mekanism ska klara av och sedan komma på en teknisk lösning.

En omfattande produktveckling genomförs med hjälp av en metod hämtad från Ulrich och Eppinger (2008) som underlag. Efter en analys av konkurrenter och liknande uppfinningar konstrueras en kravspecifikation för Pick-up:en. Flera lösningsförslag utvecklas och efter en urvalsprocess så väljs ett koncept som bedöms uppfylla kraven bäst.

Lösningen som väljs är konstruerad för att monteras i rambalkarna under en lastbil. Den består av en arm monterad på en linjärenhet, som förflyttar armen i sidled. För att styra armen vertikalt används pneumatik som via en ledarm trycker ner respektive drar armen. Skulle pneumatiken haverera hissas armen per automatik upp tack vare fjäderkraft, detta för att undvika att Pick-up:en tar skada genom att ligga och släpa i marken.

En del av armen består av glasfiber som tack vare dess böjbarhet tar upp oönskade vertikala rörelser från forden samtidigt som kontakten till spåret behålls. Den nedersta delen kallas för kontaktsko och är den del som ligger i direkt anslutning till spåret. Den har utrustats med induktiva givare som hjälp för att positionera kontaktskon över kontaktskenorna.

Beräkningar görs för bland annat hållfasthet, skjuvspänningar och krafter för att bestämma de material som används.

Nyckelord: Pick-up, Slide in, Produktutveckling, Glasfiber, Pneumatik, Lastbilar, Elektriska fordon

Förkortningar och begrepp

Begrepp

Arm	Den del av mekanismen som håller i kontaktskon som ska ligga an mot vägbanans kontaktskenor.
Induktiv överföring	Beröringsfri överföring av elenergi med hjälp av induktion.
Konduktiv överföring	Överföring av elenergi via en fysisk inkoppling.
Kontaktskena	Skenor i metall som utgör det spår i vägbanan som Pick-up:en ska ansluta till.
Kontaktsko	Den nedersta delen av Pick-up:en som ska följa kontaktskenorna.
Konduktor	Konduktorerna är fästa på kontaktskon och ligger i direkt anslutning till kontaktskenorna och överför ström från dessa.
Pantograf	Strömavtagare som används bland annat på tåg för att överföra elektrisk energi från luftburna ledningar.
Pick-up (PU)	En mekanism som ska möjliggöra att ett fordon kan ta upp elektrisk energi från ett spår i vägbanan.
Slide In	Namn för det system som möjliggör elektrisk laddning och drift av fordon från marken.

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	1
1.3	Förväntade resultat med arbetet	2
1.4	Avgränsningar	2
2	Metod	3
2.1	Kvalitativa metoder	3
2.2	Produktutveckling	3
2.2.1	Identifiera kundbehov	4
2.2.2	Produktspecifikation	4
2.2.3	Konceptgenerering	5
2.2.4	Val av koncept	6
3	Teori	8
3.1	Konstruktion	8
3.1.1	Kabel	9
3.1.2	Positionering	10
3.1.3	Kontaktsko	12
3.1.4	Material	13
3.1.5	Armen	15
3.1.6	Linjär rörelse	21

4 Resultat	22
4.1 Produktutveckling	22
4.1.1 Identifiera kundbehoven	22
4.1.2 Produktspecifikation	24
4.1.3 Konceptgenerering	29
4.1.4 Val av koncept	42
4.2 Konstruktion	46
4.2.1 Kabel	46
4.2.2 Positionering	46
4.2.3 Kontaktsko	49
4.2.4 Arm	52
4.2.5 Lyft- och tryckkonstruktion	62
4.2.6 Linjärenhet	66
4.2.7 Infästning i balkar	70
5 Slutsatser	73
6 Diskussion	74
6.1 Framtida arbeten	75
Appendices	79
A Exjobbbsbeskrivning	79
B Datablad SICK sensor	82
C Pneumatisk cylinder och infästning	84
D Datablad Fjädrar	93

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Mycket tyder på att framtidens energiförsörjning av tunga fordon måste bestå av elektrisk energi. En stor begränsning idag är batteriers förmåga att lagra energi, vilket gör att körsträckorna blir begränsade eftersom batteriet måste laddas på nytt. Därför pågår idag många projekt världen över som syftar till att överföra elenergi till fordon under drift. Två principer tillämpas, konduktiv och induktiv överföring. AB Volvo deltar i ett utvärderingsprojekt av konduktiv överföring.

Tanken med eldrivna vägtransporter är inte ny utan utnyttjas redan hos tråd-bussar, som genom en konduktiv koppling med en luftburen kontaktledning drivs av el. En sådan teknik fungerar bra vid användning av höga fordon men anses mindre funktionell för fordon med lägre höjd, som vanliga personbilar. Detta är en av anledningarna till varför Volvo tittar på en teknik som kallas för Slide In, där fordonet får energi ifrån kontaktskenor i marken istället för ifrån luftburna ledningar. Tekniken finns idag inom spårbunden trafik, som tåg, tunnelbana och spårvagn, men inget system finns i bruk som fungerar på bilväg. Därför finns det i dagsläget inte några standarder utformade för till exempel spårets utseende och systemets tekniska krav.

För att fordonet ska kunna försörjas med elenergi så förutsätts att vägbanan är belagd med ett spår bestående av två eller tre kontaktskenor. I fordonet sitter en anordning som sänks ner till spåret så att en kontaktsko ligger an mot kontaktskenorna. En sådan mekanism måste vara följsam i avseende till ett fordons normala krängningar under körning och kunna behålla kontaktskons anläggningskraft mot skenorna.

1.2 Syfte

Examensarbetet syftar till att utveckla en mekanism för att ta upp elektrisk energi från kontaktskenor i vägbanan. Mekanismen ska vara i bruk då fordonet är i drift och upprätthålla en kontakt med spåret även då fordonet kränger. Eftersom inte någon liknande anordning finns sedan tidigare så är det av stor vikt

att det tas fram en genomarbetad kravspecifikation och att olika konceptuella lösningar utvärderas grundligt.

1.3 Förväntade resultat med arbetet

För att utforma en arbetsplan har en lista med mål tagits fram för examensarbetet:

- En specifikation ska tas fram av kraven på mekanismens fysiska utrymmesbegränsningar, positioneringsnoggrannhet, anläggningskraft, snabbhet samt tålighet mot krockar med mindre föremål.
- En utredning av olika tekniska lösningar som kan tänkas uppfylla de ställda kraven.
- Detaljkonstruktion av en vald teknisk lösning.
- Tillverkning av prototyp enligt den gjorda konstruktionen.
- Provkörning och verifiering av den tillverkade prototypen.

Konstruktionen avser främst att tillämpas på lastbilar men att ta fram en lösning som fungerar även på bussar är önskvärt men ses som ett sekundärt mål.

1.4 Avgränsningar

Ett examensarbete ska motsvara 20 veckors heltidsstudier. Att utveckla ett helt nytt koncept tar mycket tid och det finns många detaljer att fördjupa sig i. Fokus för det här arbetet ligger på den mekaniska konstruktionen som gör principen möjlig och därför görs vissa avgränsningar. Följande punkter beskriver vad som utelämnas:

- Det finns inga specifikationer för hur spåret i vägbanan ska vara utformat. Det betyder att antalet skenor, dess placering i vägbanan, bredd mellan kontaktskenorna och deras eventuella utformning är okänd. Dessa egenskaper har betydelse för hur mekanismens kontaktdon ska utformas. Därför utelämnas konstruktionen av kontaktdonet från det här arbetet.
- För att distribuera den elektriska energin till fordonets drivsystem så krävs kraftkablar som integreras i den mekaniska lösningen. Det finns inga uppgifter på hur elenergin kommer att distribueras i kontaktskenorna därför har det bestämts att dimensionering av kraftkablar inte ingår i examensarbetet.

2 Metod

Arbetet med att ta fram den mekaniska lösningen, som ingår i examensarbetet, består av två huvuddelar. Den första delen innebär att generera en konceptlösning, en process som går från uppdragsbeskrivning till val av koncept. För denna del används en arbetsmetod som beskrivs av Ulrich och Eppinger (2008) i boken *Product Design and Development*. Den andra huvuddelen av arbetet består av konstruktion, beräkningar och detaljlösningar för det valda konceptet och här används olika kvalitativa metoder.

2.1 Kvalitativa metoder

Till de olika delmomenten i produktutvecklingen används främst litteraturstudier och intervjuer. Inom ramen av litteraturstudier används främst externa källor till att samla information om konkurrenter samt få idéer till konceptuella lösningar på mekanismen. Sådana idéer hämtas bland annat genom att studera industrirobotar samt genom sökningar i patentdatabaser och på internet. Därutöver används information från intervjuer för att ta fram uppdragsbeskrivning och identifiera krav och behov som ställts på produkten.

I konstruktionsarbetet utnyttjas data från kvalitativa intervjuer med sakkunniga inom olika områden för att finna lösningar på delproblem. Möten har ägt rum på AB Volvo i Göteborg där inblandade personer från olika avdelningar har fått ta del av arbetets fortskridande och många tankar och förslag har utbytts. För konstruktionsarbetet används litteraturstudier för att öka kunskaperna inom bland annat material och styrteknik. Kvantitativa studier förekommer i form av matematiska beräkningar och tillämpas vid val av material och mekaniska lösningar.

2.2 Produktutveckling

För att på ett noggrant sätt utveckla denna produkt används en metod som beskrivs i boken *Product Design and Development* (Ulrich och Eppinger, 2008) som riktlinje. Detta för att på ett strukturerat sätt följa produktutvecklingen

från början till slut. Denna bok ger bra vägledning i hur arbetsmetoden av utveckling av en ny produkt från idé till prototyp går till. I examensarbetet tillämpas metoden från idé fram till momentet för koncepturval.

2.2.1 Identifiera kundbehov

2.2.1.1 Uppdragsbeskrivning

En uppdragsbeskrivning är ett leddokument till produktutvecklingen och innefattar en enkel beskrivning av vilken typ av produkt som ska tas fram, vilka fördelar som finns med denna och vilka verksamhetsmål som ska uppnås med produkten. Utöver detta finns även information om vilken marknad produkten är ämnad för och vilka som betraktas som intressenter.

2.2.1.2 Insamling av data

För att veta vilken typ av produkt som önskas behöver information samlas in. Enligt Ulrich och Eppinger (2008) kan information om vad produkten ska uppfylla för behov samlas in genom att hålla i intervjuer, fokusgrupper eller att observera liknande produkter. Utöver detta finns det information i uppdragsbeskrivningen som går att använda.

2.2.1.3 Tolkning av kundbehov

Detta avsnitt behandlar formuleringen av de kundbehov som erhålls i avsnitt 2.2.1.2, där dessa ofta är formulerade på ett sätt som inte är användbara för att bedömma de olika konceptuella lösningarna. Behoven formuleras så att negationer och även ord som beskriver hur viktiga behoven är undviks, så som måste och ska. Det är viktigt att kundbehoven är uttryckta på ett sätt så att de inte är beroende av den praktiska lösningen eller beskriver en lösning, utan beskriver vad som ska uppfyllas. Anledningen till detta är att under processen ska inte utvecklarna läsa sig vid specifika lösningar då många problem ofta kan lösas på en mängd olika sätt, och detta kan begränsa kreativiteten vid brainstormingen. Här är det även viktigt att behoven formuleras på ett sätt att de inte kan misstolkas, med andra ord ska läsaren inte kunna göra sin egna subjektiva tolkning.

2.2.2 Produktspecifikation

2.2.2.1 Bilda målspecifikationer

Kundbehoven kompletteras med betygsättning, där de viktiga behoven får en hög viktning och de mindre viktiga får en låg viktning. Denna ordning görs för att

tydligt visa vilken prioritet de olika behoven har, och för att senare i processen användas som underlag för att utskilja olika konceptuella lösningar.

2.2.2.2 Enhetslista

En enhetslista skapas utifrån kundbehoven med syftet att kunna mäta och jämföra dessa. I listan så kallas dessa behov för mätbara egenskaper. Behoven från 2.2.1.3 måste formuleras på ett sätt som gör att de är mätbara. Det som är viktigt är att enheten för den mätbara egenskapen väljs så att det blir enkelt att mäta för att på så sätt underlätta utvecklingen och produktionen av produkten. Om ett kundbehov innefattar flera olika egenskaper kan detta få mer än en mätbar enhet. En mätbar enhet kan likaså vara kopplat till flera olika behov, då flera behov kan mätas med samma enhet.

2.2.2.3 Information om konkurrenter

För att produkten ska få en plats på marknaden är det viktigt att jämföra den med konkurrenter, så att den erbjuder något som är bättre eller något som konkurrenterna inte har. Helst ska en av varje konkurrents likvärdiga produkt köpas in och testas på samma punkter för att identifiera dess styrkor och svagheter. Anledningen till detta är att det är bra med oberoende uppmätta data, då tillverkarens uppgifter inte alltid stämmer. Det kan bero på att det inte är säkert att konkurrenterna använder sig av samma mätmetoder. Det är inte heller säkert att de gör mätningar på de egenskaper som är intressanta i det här fallet.

2.2.2.4 Enhetslista med målvärden

Utifrån de uppgifter som insamlas i 2.2.2.3 bestäms nu marginal- och idealvärden för produkten som utvecklas. Marginalvärdet är det intervall som egenskapen helst ska ligga inom och idealvärdet är det specifika värdet som egenskapen bör ha. Dessa värden används för att komplettera enhetslistan eller för att formulera rimliga målvärden.

2.2.3 Konceptgenerering

2.2.3.1 Delproblem

Om det är möjligt att dela uppgiften i flera delproblem är detta att föredra, då det resulterar i att uppdraget som helhet blir enklare att lösa (Ulrich och Eppinger, 2008). I och med att varje del är mindre komplex blir det lättare att hitta lämpliga lösningar för problemet. Om hela uppgiften inte är så komplicerad, är det ofta svårt eller inte lönsamt att göra denna uppdelning.

2.2.3.2 Externa undersökningar

Externa undersökningar görs för att hitta befintliga lösningar på de delproblem som identifieras i avsnitt 2.2.3.1. Externa undersökningar görs genom att exempelvis intervjua användare och experter inom området samt genom litteraturstudier (Ulrich och Eppinger, 2008). Utöver detta kan patentdatabaser innehålla uppfinningar som kan inspirera till nya lösningar. Om ett passande patent hittas har det förhoppningsvis redan löpt ut, annars kan det finnas möjligheter att köpa en licens och på så sätt minska den totala utvecklingskostnaden (Ulrich och Eppinger, 2008). Utöver dessa anledningar är det bra att söka igenom patentdatabasen för att se så att det inte görs intrång med den egna lösningen. Om det på marknaden redan finns en produkt som löser den givna uppgiften eller ett delproblem kan kanske denna eller en liknande produkt användas. Om det inte finns är det bra att söka bland andra produkter som utför liknande arbete, för att få inspiration inför brainstorming.

2.2.3.3 Interna undersökningar

Vid de interna undersökningarna används gruppens egna kompetens och kreativitet för att åstadkomma förslag till lösningar. Enligt Ulrich och Eppinger (2008) erhålls bäst resultat om gruppen börjar sin brainstorming individuellt, för att sedan samlas och utvärdera förslagen. Det är viktigt att inte döma bort förslag i denna process, eftersom en orimlig lösning kan få en annan gruppmedlem att inspireras till att utveckla en genomförbar idé. Därför gäller det att generera så många förslag som möjligt som går vidare till nästa steg.

En verbal eller nedskriven lösning på problemet kan vara intuitivt svår att tolka för övriga gruppmedlemmar. Ett sätt att underlätta förståelsen är att skissa eller skapa en modell av lösningen (Ulrich och Eppinger, 2008).

2.2.4 Val av koncept

Eftersom det inte är helt självklart att bestämma vilken av de genererade idéerna som är den bästa, behövs en metod för att göra detta urval. Därför gäller det att bestämma vilka som är produktens viktigaste egenskaper (Ulrich och Eppinger, 2008). Här finns det en uppsjö möjligheter vid val av gallringsmetod. Till exempel kan någon extern person eller en kvalificerad inom gruppen välja, gå på intuition, genomföra röstning, lista för- och nackdelar, tillverka prototyper och testa, samt att använda sig av beslutsmatriser. Men bara för att det finns många olika metoder behöver inte det betyda att alla är bra metoder. Oftast ger en strukturerad urvalsprocess ett bättre resultat i slutändan, då beslutet blir objektivt och fokuserat på att lösa kundens behov (Ulrich och Eppinger, 2008).

2.2.4.1 Gallring av koncepten

Att gallra bland koncepten handlar om att sälla bort de koncept som inte är tillräckligt bra. Vid framtagning av urvalskriterier sammanfattas de viktigaste kriterierna från avsnitt 2.2.2.1 för att de inte ska bli för många och detaljerade, vilket gör att gallringen går snabbare. Därefter väljs en konceptlösning som referens. Oavsett vilken lösning som väljs är det viktigt att alla i gruppen förstår den och att den är lätt att jämföra med övriga lösningar (Ulrich och Eppinger, 2008). Därefter jämförs alla andra förslag mot referensen och bedöms med bättre än (+), sämre än (-) eller lika bra (0). När detta är gjort summeras alla plus med ett värde på 1 och minus med värdet -1, vilket ger varje koncept en poängsumma. De koncepten med högst summa går vidare till nästa urvalsprocess. Här finns friheten att ta med ett koncept som inte ligger i toppen men som gruppen är överens om ska gå vidare. Det kan hända i de fall då gruppen har sett andra fördelar med konceptet som inte innefattas av de viktigaste kriterierna. Utöver detta kan koncept förbättras eller kombineras med andra för att skapa ett nytt förslag som är bättre och som också går vidare.

2.2.4.2 Betygsättning av koncepten

Poängbedömning används för att på ett mer specifikt sätt urskilja de olika koncepten. Skillnaden mot momentet i avsnitt 2.2.4.1 är att i detta skede läggs olika stor vikt på bedömningskriterierna. För att göra viktningen mer rättvis utvecklas mer detaljerade kriterier.

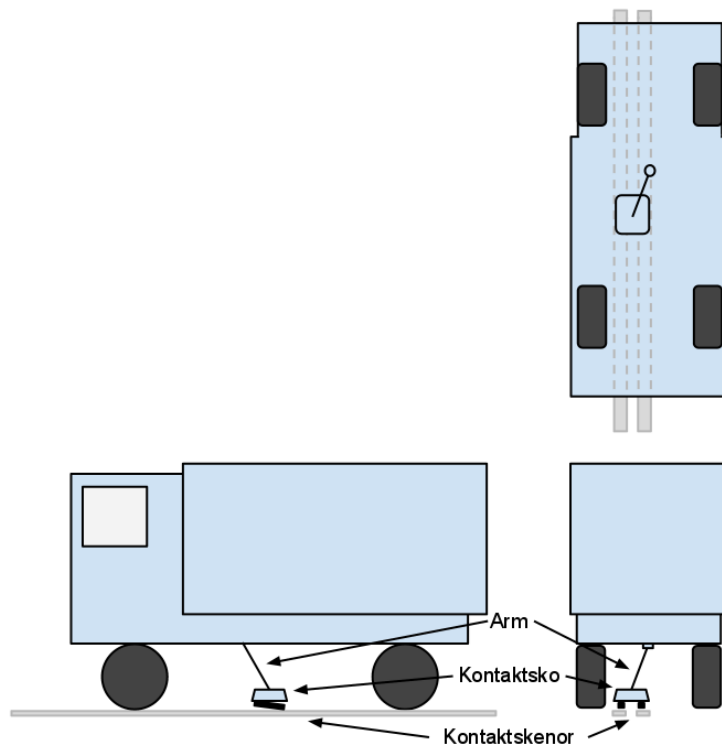
En bedömning görs i skalan ett till fem i hur väl konceptet tillfredställer kriteriet. En referens väljs först ut och sedan görs en bedömning för de andra koncepten om huruvida de är bättre eller sämre än referensen. Ett koncept som bedöms som bättre än referensen ges betyg fyra eller fem och på motsvarande sätt ges betyg ett eller två till ett koncept som anses vara sämre. Antingen kan ett koncept fungera som referens för alla kriterier eller så väljs för varje enskilt kriterie vilket koncept som ska vara referens. Ulrich och Eppinger (2008) rekommenderar att använda det senare alternativet eftersom det annars finns en risk att poängsättningen får en felaktig skala. Om konceptet med lägst vikt väljs som referens för kriteriet "Total vikt" så kan de andra koncepten endast få poäng ett, två eller tre. Därför är det bättre att välja ett koncept som använder hela skalan, ett till fem, för att bedöma koncepten.

Betyget multipliceras med vikten och ger konceptet en poäng. Poängen för samtliga kriterier läggs samman och en ranking av de olika koncepten erhålls. Därefter diskuteras och utvärderas resultatet, det kan finnas möjlighet att kombinera och förbättra olika konceptuella lösningar och göra nya bedömningar. Ett beslut fattas sedan om vilket eller vilka koncept som ska bearbetas vidare. Enligt Ulrich och Eppinger (2008) är detta en punkt utan återvändo där alla i utvecklingsgruppen ska vara bekväma med vilka koncept som ska gå vidare och känna att det eller de koncepten har störst potential att uppfylla kundens behov (Ulrich och Eppinger, 2008).

3 Teori

3.1 Konstruktion

I detta kapitel finns teorin om de delar som Pick-up:en är uppbyggd av. Bild 3.1 visar principen för en arm som har möjligheten att justera kontaktskon i höjd- och sidled.



Figur 3.1: Beskrivning av principen för konstruktionen sett från tre olika håll, fram, ovan och sidan. Under lastbilen sitter konstruktionen som flyttar kontaktskon i sid- och höjdlid under färd. Denna funktion är till för att kompensera för lastbilens normala krängningar och för att fälla upp konstruktionen då den inte är i bruk.

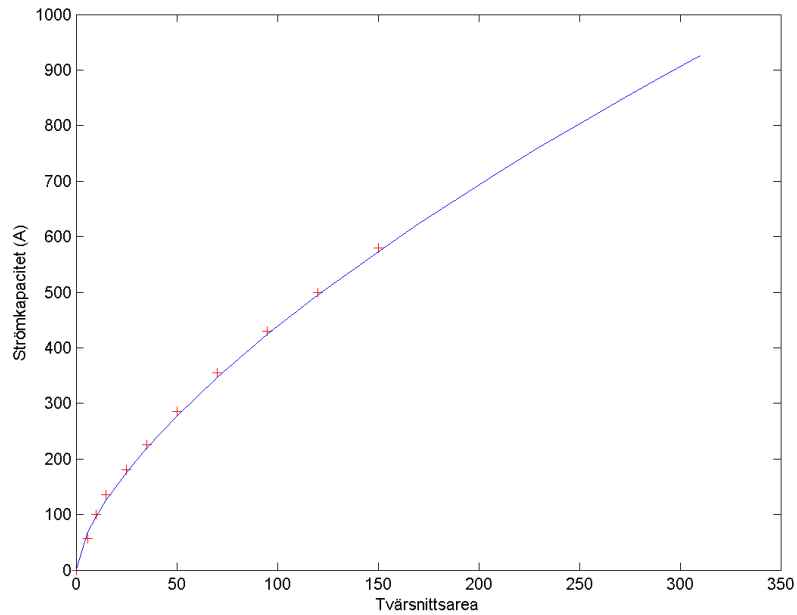
3.1.1 Kabel

För att distribuera energin till det tunga fordonet så krävs det kraftkabler monterade på Pick-up:en. Även om dimensionering av kraftkabler inte ingår i examensarbetet så är det viktigt att veta deras mått och vikt. Eftersom en lösning på uppgiften innebär att Pick-up:en ska röra sig upp och ner och åt sidorna måste kabeln även vara böjbar och flexibel. Ett exempel på flexibel kabel är så kallad litztråd. Litztråd tillverkas av många tunna ledare, isolerade från varandra, som flätas ihop och används i applikationer för att minska den så kallade skinneffekten. Skinneffekten uppstår då högfrekventa signaler går genom en ledare och innebär att strömmarna koncentreras att gå nära ledarens yta och de resistiva förlusterna ökar. Med små tunna ledare så utnyttjar strömmen hela ledarens area, vilket minskar förlusterna (HM Wire International Inc, 2007).

I och med att litztråden har många tunna trådar istället för några få grövre, så blir den även flexibel. Med en platt kabel så fås bättre kylningsförmåga eftersom en större yta av dess mantelarea är exponerad mot omgivningen. Litztråd säljs enbart i mindre storlek men för att uppskatta nödvändig kabelarea så kan exempelvis svetskabler studeras, som är konstruerade för att klara höga strömmar, finns i större dimensioner och är böjliga.

Med utgångspunkt ifrån specifikationer från en försäljare av svetskabel (se Eland, u.å.) så bestäms hur stor kabel som behövs för att distribuera en önskad strömnivå. I figur 3.2 är data ifrån Eland (u.å.) markerade med kryss. En funktion uttrycks som interpolerar datauppgifterna från de existerande kablarna där I är strömkapaciteten och A är tvärsnittsarean för svetskabeln:

$$I = 21 \cdot A^{0.66} \quad (3.1)$$



Figur 3.2: Grafen visar relationen mellan tvärsnittsarea och strömkapacitet ser ut för svetskabel. Datauppgifter från Eland (u.ä.) är plottade och hur funktionen, som beskrivs i ekvation 3.1, stämmer väl överens med dessa.

Vikten på kabeln exklusive isolering ges av:

$$M = A \cdot L \cdot \rho \quad (3.2)$$

Där A är kabelns tvärsnittsarea, L är dess längd och ρ metallens densitet som för koppars är $8\,920 \text{ kg/m}^3$

3.1.2 Positionering

3.1.2.1 Sensorer

En mekanisk Pick-up är i behov av ett positioneringssystem för att upptäcka kontaktskenorna och hålla kontaktskon på rätt plats. Flera tekniska lösningar studeras och utvärderas. En utredning kring vilka typer av sensorer som kan användas för att positionera Pick-up:en görs.

Induktiva givare Beröringsfria induktiva sensorer används för att detektera objekt av metall. Sensorerna skapar ett elektromagnetiskt fält som dämpas när

ett metallobjekt finns i dess operativa mätområde. Dämpningen detekteras och om sensorn har en analog utsignal ändras denna proportionellt med avståndet till objektet (Fargo Controls Inc., 2011). Induktiva givare är robusta och lämpar sig väl för den miljö som finns under en lastbil där smuts och vatten annars är ett problem (Lindstedt, 2011). Med induktionsgivare är det inte nödvändigt att kontaktskenorna är strömsatta för att positioneringen ska fungera. Den stora nackdelen med dessa givare är att de har ett begränsat mätavstånd om givare av en mindre storlek ska användas. För att kunna positionera kontaktskon krävs ett flertal sensorer för att avgöra åt vilket håll den rör sig.

Magnetfältssensorer Magnetfältssensorer baseras också på en induktiv teknik där ett magnetfält mäts med hjälp av spolar. De är ett billigt alternativ men kräver att det flyter en ström i kontaktspåret för att ett magnetfält ska uppstå. Därav är positioneringen bara möjlig då kontaktskon redan har kontakt och bildat en sluten krets. Ett alternativ vore att det parallellt med kontaktskenorna går en ledning med högfrekvent signal som kan användas enbart för positionering.

Ultraljudssensorer En ultraljudssensor fungerar genom att den sänder ut ett ultraljud tar emot dess eko. Genom att räkna ut tiden däremellan går det att bestämma avståndet till det objekt som ljudet har studsats emot. Positionering med ultraljudssensor blir svår då ljudhastigheten varierar med temperatur, luftfuktighet och lufttryck. Dessutom innehåller läckande tryckluft ett brett ljudspektra som kan störa mätningen (Lindstedt, 2011). Mycket vatten på vägbanan skulle också bli ett problem eftersom avståndet till vägen respektive spåret jämnas ut.

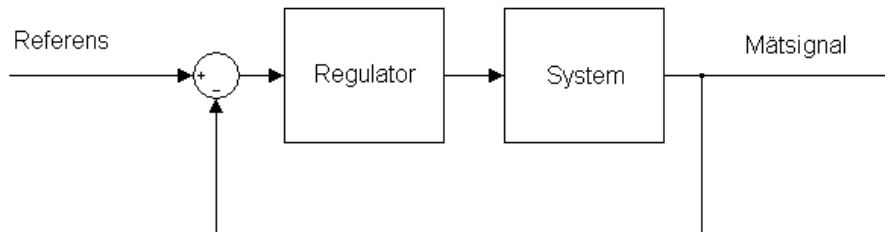
Extra konduktor Om extra konduktorer monteras vid sidan av de konduktorer som ska ligga an kontaktskenorna så skulle dessa kunna användas för att positionera in kontaktskon rätt. Om de extra konduktorerna ger utslag är det en indikation på att kontaktskon är på väg att lämna spåret. Det skulle dock finnas en risk för att dessa slits ut fort om de vid normalfallet, då kontaktskon är positionerad som den ska, riskerar att ligga an mot vägbanan.

Kamera Ett alternativ är att visuellt positionera sig med hjälp av kamera. För att upptäcka kontaktskenorna även i mörker så kan IR-lampa användas. Det är dock ett dyrt alternativ och svårt att placera kameran på en funktionell plats utan att den utsätts för mycket smuts. Det blir också en svårighet för kameran att se skenorna vid vinterväglag, då snö täcker vägbanan.

3.1.2.2 Styrteknik

För att positionera kontaktskon behövs förutom mätdata från sensorer även ett styr- och reglersystem. Ett styrsystem hjälper till att reglera ett system genom att skicka styrignaler till detta. Då den reglerbara storheten är känd skickar

styrenheten en signal till systemet med avsikt att uppnå ett önskat börvärde (referens). Om det finns tillgång till mätdata på den reglerbara storheten, kan denna utnyttjas och skapa en så kallad återkoppling. En väl optimerad regulator kan göra att börvärdet på denna storhet alltid hålls genom att se till att felet mellan börvärde och den återkopplade mätdata är så litet som möjligt. En sådan reglerstrategi illustreras i figur 3.3. För att positionera kontaktskon kan den mätbara storheten i det här fallet vara avstånd [m] från kontaktskenorna.



Figur 3.3: Principskiss för reglerloop med återkoppling.

Den vanligaste typen av regulator är PID-regulatorn som består av en proportionell, en integrerande och en deriverande del. PID-regulatorn kan uttryckas matematiskt i parallellform enligt ekvation 3.3.

$$F(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (3.3)$$

Regulatorns parametrar i ekvation 3.3 kan optimeras genom att studera ett så kallat stegsvar, där börvärdet ändrar värde vid en given tidpunkt i form av ett direkt steg. Regulatorn kan testas direkt på systemet med hjälp av ett styrsystem från exempelvis dSPACE eller Labview. Finns inte ett system tillgängligt så kan en modell skapas i ett datorprogram som motsvarar det fysiska systemet. Vid användning av regulatorn på produkten kan den implementeras på exempelvis en mikrocontroller.

3.1.3 Kontaktsko

I examensarbetet ingår det inte att konstruera kontaktskon eftersom det är oklart hur kontaktskenorna i vägbanan ska vara utformade. För att designa resten av systemet bedöms det dock som viktigt att veta mer om hur kontaktskon kan tänkas se ut. Kontaktskon konstrueras för att visa hur sensorer och kontakter kan bli placerade.

3.1.3.1 Konduktor

Konduktorn definieras som de klossar som ligger an kontaktskenorna i vägbanan. Den tar upp energin från spåren, som sedan distribueras vidare genom kablar till fordonet. Tanken vid val av konduktortyp är att använda samma typ som hos tågans pantografer. Den del av pantografen som är i kontakt med ledningen består vanligtvis av metalliserad grafit. För att klara av att överföra en ström på 1 000 A så behövs en kontaktyta av 10 cm² om ren grafit används. Med metallimpregnerad grafit kan kontaktytan minskas till 9 cm² men det innebär ett högre pris (Westlund, 2011). Hos pantografer fästs grafitmaterialet i en aluminiumprofil dit kablarna i sin tur ansluts.

3.1.4 Material

Armen kan konstrueras i flera olika material, därför utvärderas dessa genom att identifiera styrkor och svagheter.

3.1.4.1 Fiberkomposit

Fiberkomposit är ett material som är uppbyggt av en fiberstruktur och ett bindemedel (matris). Genom att kombinera olika strukturer och matriser erhålls de mekaniska egenskaper som önskas. Matrisen är ett härdande ämne som håller ihop fibrerna, till exempel polyester, vinylester eller epoxi. Fibrerna är starka i längsled och strukturen kan till exempel bestå av kolfiber, glasfiber eller polymer (Nationalencyklopedin, 2011a). "Fibrerna används i form av garn, väv och andra textila strukturer" (Nationalencyklopedin, 2011b). En viktig egenskap för hållfastheten är hur mycket fibrerna kan vätas, det vill säga hur bra matrisen binder till fibrerna. Elastitetsmodulen (E-modulen) är också en viktig egenskap och är en materialkonstant som beskriver förhållandet mellan normalspänningen (σ) och normaltöjningen (ϵ) i kompositen. Sambandet $\sigma = E\epsilon$ kallas Hookes lag (Ljung m.fl., 2007).

För att få ett böjvekt men vridstarkt material vänds fibrerna 45° mot kraftens riktning. Detta medför att det är svårt att beräkna kompositens böj-, vrid-, tryck-, skjuv- och töjhållfasthet. Därför görs ofta överslagsräkningar för att hamna inom rätt område, sedan görs testbitar och hållfasthetsprov utförspå dem (Viebke, 2011b).

Fibrer

Glasfiber Glasfiber är indelade i olika klasser, som omfattar bland annat fibrernas struktur och kvalitet, där E-glas är den vanligaste av dem (Viebke, 2011a). Dragstyrkan, σ_b hos E-glas ligger mellan 1 000 - 3 400 MPa och E-modulen ligger runt 40 - 75 GPa. S-glas har högre hållfasthet än E-glas men fortfarande låg E-modul, runt 85. S-glas är dock dyrare och svårare att få tag på i små kvantiteter.

Glasfiber är elektriskt isolerande och är lätt att bearbeta (Performance Composites Ltd (2009a); Viebke (2011a)). Materialet används där hållfasthet inte är ett stort krav och används i till exempel fritidsbåtar och hobbyverksamhet.

Kolfiber Kolfiber har hög dragstyrka och hög E-modul i förhållande till sin vikt. Det finns många tillverkare och kvalitetsklasser där olika tillverkare kan ha sina egna sätt att mäta hållfasthet på. Typiskt ligger dragstyrkan mellan 1 500 - 5 000 MPa men det finns ända upp till 7 000 MPa. E-modulen kan variera mellan 130 - 800 GPa (Performance Composites Ltd, 2009a; Viebke, 2011a). Kolfiber har en E-modul i förhållande till densitet som är tre gånger högre än metall (aluminium och stål) (Performance Composites Ltd, 2009a). Materialet är mycket sprött och används därför oftast i fiberkomposit för att ge en stark och tålig komposit (Nationalencyklopedin, 2011b). Kolfiber är också ett relativt dyrt material och används i de fall där det behövs ett lätt och starkt material, som till exempel i stridsflygplan och där priset inte är avgörande.

Armid (Kevlar ®) Armidfiber har en hög dragstyrka men en lägre E-modul än till exempel kolfiber. Precis som med kolfiber finns det många tillverkare och kvaliteter men dragstyrkan ligger mellan 1 300 - 3 500 MPa (Performance Composites Ltd, 2009a; Viebke, 2011a). E-modulen ligger mellan 40 - 180 GPa (Viebke, 2011a). Armid har en hög värmetålighet, upp till 400°C, men bryts lätt ner av UV-ljus. Armidfiber är dyrare än både glasfiber och kolfiber och används i bland annat kroppsskydd och hjälmar för deras höga slagseghet. Att bearbeta armidfiber är svårt och det är bland annat besvärligt att klippa och slipa materialet.

Matriser

Det finns i huvudsak tre material som används som matris: polyester, vinylester och epoxi (Viebke, 2011b). Det här avsnittet är en genomgång om fibrernas olika egenskaper samt för- och nackdelar.

Polyester Polyester är det billigaste och det mest lättbearbetade av matriserna. Det används till konstruktioner som inte har högra krav på hållfasthet. En nackdel är att polyester krymper vid härdning. Dess största fördel är att det är billigt (Viebke, 2011b).

Vinylester Vinylester är dyrare än polyester men har bättre mekaniska egenskaper. Den har högt motstånd mot yttre miljöpåverkan och kemikalier. Precis som polyester krymper vinylester vid härdning men även styrenavdunstning sker vid öppen laminering (Viebke, 2011b).

Epoxi Epoxi har mycket goda mekaniska egenskaper jämfört med både polyester och vinylester och egenskaperna för limning är mycket goda. Den låga viskositeten gör att den vätar fibrerna bra. Epoxi har även låg vattenabsorption. Dock är priset högre än för både polyester och vinylester. För att matrisen ska få sina goda egenskaper kräver även hög noggrannhet vid blandning av bas och härdare. Epoxi är även känsligt för UV-ljus (Viecke, 2011b).

3.1.4.2 Beräkningar för kompositer

Det antas att ekvationerna 3.4 - 3.7, som används för att beräkna komposit-sammansättningen (Kopeliovich, 2010), även kan användas för att beräkna E-modulen för två kompositer med olika egenskaper, som blandas.

$$E_{cl} = E_m V_m + E_f V_f \quad (3.4)$$

$$\frac{1}{E_{ct}} = \frac{V_m}{E_m} + \frac{V_f}{E_f} \quad (3.5)$$

$$\sigma_b = \sigma_m V_m + \sigma_f V_f \quad (3.6)$$

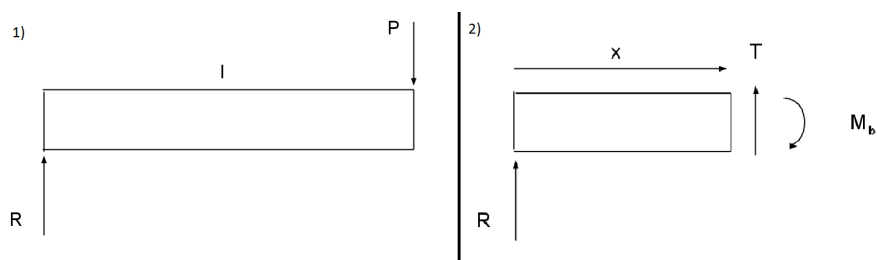
$$\tau_b = \tau_m V_m + \tau_f V_f \quad (3.7)$$

Där E_{cl} = E-modulen längs kraftriktningen, E_{ct} = E-modulen tvärs kraftriktningen, E_m = E-modulen för matrisen, E_f = E-modulen för fibrerna, V_m = volymprocent matris, V_f = volymprocent fiber, σ_b = brottspänningen i kompositen, τ_b = gränsvärde för skjuvspänningen i kompositen.

3.1.5 Armen

3.1.5.1 Direkt snittmetod

För att beräkna maximala böjmomentet (M_b) och tvärkraften (T) (se figur 3.4) i en konsolbalk används direkta snittmetoden (Ljung m.fl., 2007).

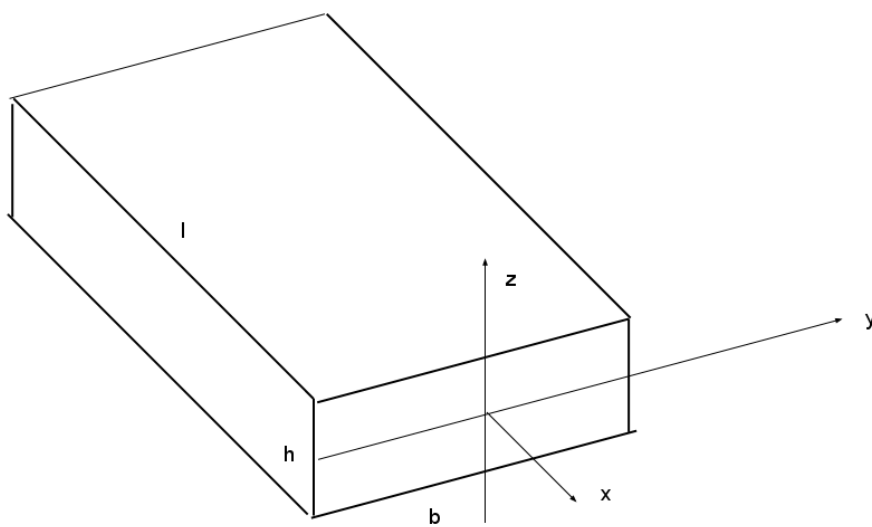


Figur 3.4: Direkta snittmetoden. 1) Friläggning av balken för att beräkna reaktionskraften, R . 2) Snittet där x är sträckan från infästningen till snittet.

$$T + R = 0 \Rightarrow T = -R \quad (3.8)$$

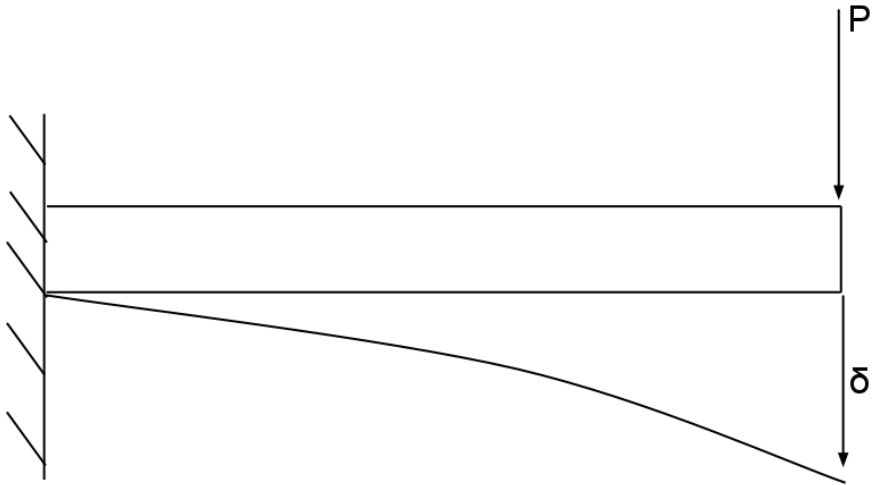
$$M_b + Rx = 0 \Rightarrow M_b = -Rx, \quad 0 \leq x < l \quad (3.9)$$

3.1.5.2 Nerböjning av balk

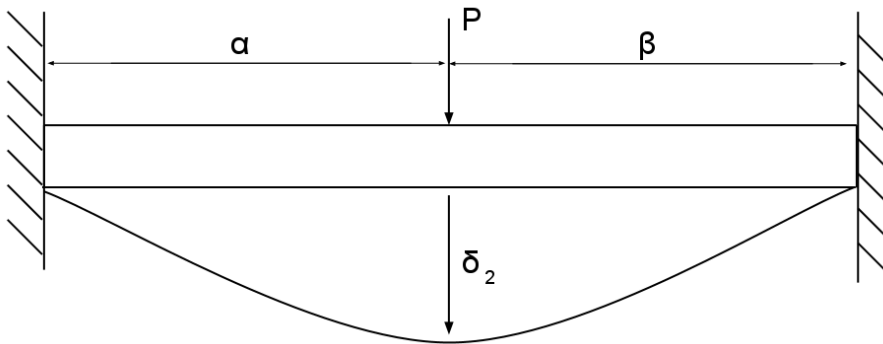


Figur 3.5: Koordinatsystem och mått för rektangulärt tvärsnitt.

För att göra beräkningar på konsolbalkar används olika elementarfall. Figur 3.6 och ekvation 3.10 samt figur 3.7 och ekvation 3.11 beskriver två fall med olika randvillkor (Sundström, 2007).



Figur 3.6: Elementarfall 1 för en fast inspänd konsolbalk. Inspänd på en sida där δ = nerböjning [m], kan beräknas med ekvation 3.10. P = yttre kraften (Sundström, 2007).

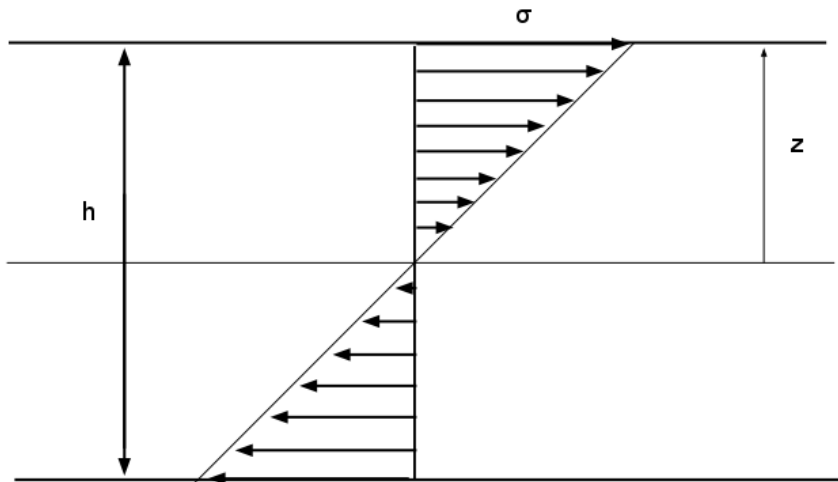


Figur 3.7: Elementarfall 2 för fast inspänd konsolbalk. Inspänd på båda sidorna där δ beräknas med 3.11. P = yttre kraften (Sundström, 2007).

$$\delta_1 = \frac{Pl^3}{3EI} \quad (3.10)$$

$$\delta_2 = \frac{Pl^3}{3EI} \alpha^2 \beta^2 \quad (3.11)$$

Ur ekvation 3.10 kan en höjd, h , brytas ut och användas för beräkning av den maximala spänningen i armen (ekvation 3.15) och den maximala skjuvspänningen (ekvation 3.16), där $z_{max} = h/2$ enligt spänningsfördelningen i ett tvärsnitt (se figur 3.8) (Ljung m.fl., 2007).



Figur 3.8: Spänningsfördelningen i xz -planet (Ljung m.fl., 2007).

Enligt ekvation 3.14 är $b \sim h^3$ vilket gör att bredden, b , inte påverkar yttröghetsmomentet, I_y , avsevärt, i jämförelse med vad höjden, h , gör. Därför sattes förhållandet mellan bredd och höjd till $a = 15$ i ekvation 3.13. Värdet kan anpassas till mer passande bredd utan att påverka resultatet nämnvärt.

Härledningen i Introduktion till hållfasthetslära (Ljung m.fl., 2007) visar att störst böjskjuvspänningen uppstår då $z = 0$ vilket leder till ekvation 3.17 där τ_{xz} är böjskjuvspänningen. Konstanten μ är beroende av tvärsnittet och återfinns i formelsamlingar och handböcker (Ljung m.fl., 2007). σ_{max} = maximala normalspänningen.

$$(3.10) \Rightarrow h = \sqrt[4]{\frac{Pl^3 12}{3E\delta a}} \quad (3.12)$$

$$b = h \cdot a \quad (3.13)$$

$$I_y = \frac{bh^3}{12} \quad (3.14)$$

$$\sigma_{max} = \frac{|M_b|}{I_y} z_{max} \quad (3.15)$$

$$\tau_{max} = \frac{T}{A} \quad (3.16)$$

$$\tau_{xz}|_{z=0} = \mu \frac{T}{A} \quad (3.17)$$

3.1.5.3 Mekaniska förband

När kompositerna sammanfogas finns det i huvudsak två metoder, fasta (limförband) och lösbara (skruvförband).

Skruvförband Enligt J.Hult och H.Bjarnehed (1993) är många kompositmaterial mindre duktila än stål och är därför mer känsliga för spänningskoncentrationen vid hål. Hålkantstrycket kan approximativt beräknas med:

$$P_{max} = \frac{4P}{\pi Dt} \quad (3.18)$$

Där D är hålets diameter och t, tjockleken hos kompositmaterialet.

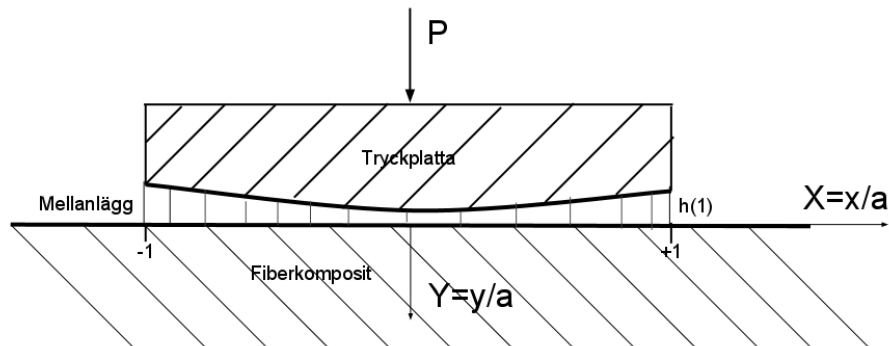
Det visar sig i doktorsavhandlingen av H.Bjarnehed (1991) att det går att minska spänningskoncentrationen med hjälp av en tryckplatta. Det visar sig även att ett mellanlägg ytterligare fördelar kraften över hela ytan, då endast tryckplattan ger upphov till spänningskoncentration i hörnen av plattan. Genom att utforma mellanlägget och tryckplattans krökning enligt figur 3.9 och ekvation 3.19 kan spänningskoncentrationen minskas.

$$h(X) = \frac{c_1 + c_2}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{E_m^2}{E_x E_y}} \cdot [(1 + X) \ln(1 + X) + (1 - X) \ln(1 - X)] + h(0) \quad (3.19)$$

$$c_1 = \sqrt{\frac{E_x}{E_{xy}} + \sqrt{\left(\frac{E_x}{E_{xy}}\right)^2 - \frac{E_x}{E_y}}} \quad (3.20)$$

$$c_2 = \sqrt{\frac{E_x}{E_{xy}} - \sqrt{\left(\frac{E_x}{E_{xy}}\right)^2 - \frac{E_x}{E_y}}} \quad (3.21)$$

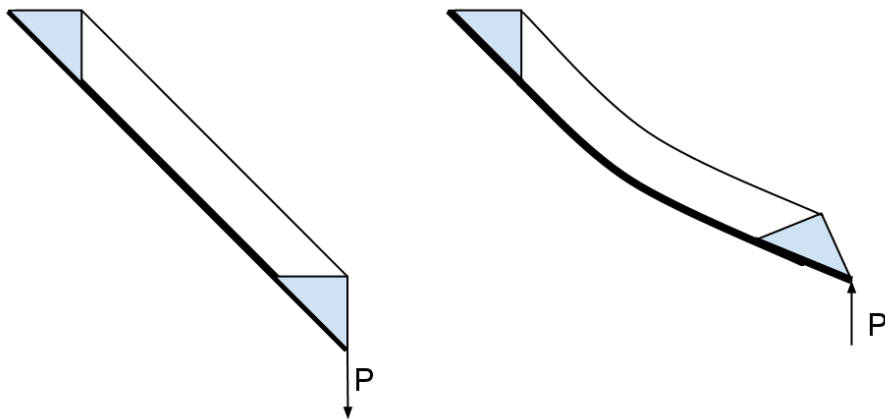
$$G = \frac{E_{xy}}{2 \cdot (\nu + 1)} \quad (3.22)$$



Figur 3.9: Tryckplatta med mellanlägg vid skruvförband i fiberkomposit. Tryckplattans bredd är $2 \cdot a$. Denna utformning kallas Winklerbädd (Hultman och Bjarnehed, 1993).

3.1.5.4 Antiböjsystem

För att kontrollera inkopplingen mot kontaktskenan designas ett antiböjsystem. Systemet konstrueras så att armen tillåts böjas på ett håll men ej på motsatt håll (se figur 3.10). Detta för att armen inte ska svaja vid inkoppling och slå i kontaktskenorna okontrollerat, samt för att kontaktskon och skenorna vid samma stund ska vara parallella.



Figur 3.10: Mittersta delen av armen konstrueras i glasfiber som är böjligt men kan ta upp tryck- och dragkrafter. Överdelen är en vajer som bara kan ta upp drag. Detta gör att armen endast böjs uppåt medans när den ska böjas neråt fördelas kraften om till tryck och drag i arm respektive vajer.

3.1.6 Linjär rörelse

Linjärmotor En linjär motor är en elektrisk motor som rör sig längs en rak axel och genererar en rak kraft, till skillnad från en vanlig motor som genererar vridmoment (Baldor, 2009). Några av fördelarna med att skapa en linjär rörelse med denna motor är hög precision och hög acceleration. Eftersom axeln i linjärmotorn ofta är gjord av många staplade permanentmagneter är kostnaden hög. Men detta magnetfält kan även störa känslig utrustning i dess närhet, eller attrahera magnetiska föremål som kan förstöra motorn. Detta betyder att den behöver skyddas från dessa föremål med hjälp av bälga eller hölje.

Remdrift En rak rörelse kan genereras genom att fästa en släde på en rem, som ligger över två hjul och som i sin tur drivs av en roterande motor. Detta är ett relativt billigt sätt att skapa en linjär rörelse och ger en mycket jämnare gång än det dyrare alternativet med kedja. Problemet med vissa remmar är att de kan töjas vilket betyder att de behöver spännas med jämna mellanrum.

Kulskruv En rotationsrörelse från en motor kan omvandlas till en linjär rörelse genom att rotera en kulskruv, vilket får muttern på skruven att röra sig längsled. Med denna metod kan en effektiv kraftöverföring göras med hög precision. Utöver detta blir höjden för en liggande kulskruv inte stor. Eftersom de flesta kulskruvar har ganska låg stigning leder detta till att rörelsen blir relativt långsam, även vid högt varvtal. Till skillnad mot trapetsskruv så har kulskruv lägre verkningsgrad då friktionen mellan gängad stång och mutter är högre hos trapets som däremot är billigare.

Pneumatik Pneumatik, även kallat tryckluftssystem, är ett system som med hjälp av luft lagrar och överför energi till en kolv som flyttas i sidled. Pneumatik används idag i många tillämpningar inom industin och fordonsindustrin. I fordonsindustrin används den främst till bromssystem. Dess slaglängd (hur långt de når) och enegin de kan överföra varierar från millimeter till tiotals meter och från newton till meganewton (Nationalencyklopedin, 2011).

4 Resultat

4.1 Produktutveckling

4.1.1 Identifiera kundbehoven

4.1.1.1 Uppdragsbeskrivning

Uppdragsbeskrivningen (se figur 4.1) skrevs för att beskriva viken riktning projektet ska ta, men även för att från början få en översikt över hela projektet. Dokumentet är utformat från den information som erhöles från AB Volvo vid möten och via dokument (se bilaga A).

	Uppdragsbeskrivning: Slide-in pickup
Produktbeskrivning	Mekanisk arm Koppla lastbil till strömfört vägnät Kunna kompensera för variation i höjd- och sidled Utvärdera konduktiv metod för stömöverföring
Marknadsmål	Elektriskt drivna lastbilar Mindre utsläpp Beroendet av batterier minskar
Företagets huvudmål	Placera AB Volvo i framkanten för elektriskt drivna fordon
Primär marknad	Lastbilar Bussar
Secondary Market	Personbilar
Antagande	Nytt koncept
Intressenter	Volvo Powertrain Volvo Busses Volvo Trucks Slutkund Infrastruktur

Figur 4.1: Uppdragsbeskrivning för Slide In-projektet.

4.1.1.2 Insamling av data

Informationen om produkten som skulle utvecklas erhöles i första hand från professor Mats Alaküla. Utöver detta samlades data in vid möten med involverade på AB Volvo. Följande lista beskriver de kundbehov som har samlades in:

- Koppla in på spåret utan att användaren märker det
- Ska inte låta för mycket
- Koppla på/av spåret när fordonet är ovan/utanför spåret
- Undvika stora hinder
- Motstå kollisioner med små hinder
- Ska klara av att vara inkopplad vid små horisontella och vertikala rörelser
- Motstå en smutsig miljö
- Konstant anläggningskraft mot spåret
- Dold då den inte används
- Infästning i fordonet enligt AB Volvo standard
- Användas i hastigheter upp till 100 km/h
- Minst lika lång livslängd som fordonet
- Låg kostnad
- Kontakten ska nå marken
- Ska passa olika buss- och lastbilsmodeller

4.1.1.3 Tolkning av kundbehoven

Här listas de behov som togs från de dokument som erhöles från AB Volvo och från de möten som ägde rum (se avsnitt 4.1.1.2). Utöver dessa lades ytterligare behov till som är relevanta för denna produkt. För att de behov som gavs ska vara användbara i processen, omformulerades de och tolkades på ett sätt som gör att de beskriver vad kunden vill att produkten ska uppnå.

- kopplar in mjukt
- gör inkopplingen utan att föraren behöver göra något
- är ljudlös vid användning
- gör inkopplingen när spåret är inom räckhåll
- kopplar från spåret och fäller upp sig när stora hinder finns på spåret

- motstår kollisioner med små hinder
- kan flyttas i horisontell riktning
- kan flyttas i vertikal riktning
- kan luta konduktorn i två dimensioner
- kan hålla konduktorn i nivå med spåret
- fungerar normalt vid regn
- fungerar normalt då den är täckt med lera/olja
- håller konstant anläggningskraft mot spåret
- håller sig ovan lägsta punkt på fordonet då den inte används
- är infäst i fordonet enligt AB Volvo standard
- får inte vara infäst i närheten av bränsleslangar och tankar
- fungerar normalt vid höga hastigheter
- fungerar normalt i turbulent vind
- fungerar normalt vid höga vindhastigheter
- har lång livslängd
- har låg tillverkningskostnad
- är lång nog att nå spåret
- ska vara möjlig att fästa på olika buss- och lastbilmodeller

4.1.2 Produktspecifikation

4.1.2.1 Bilda målspecifikationer

För att bedöma hur viktiga de olika behoven är gjordes en betygsättning av dessa med en vikt mellan ett och fem, där fem är viktigast och ett inte är så viktigt. Bedömningen gjordes gemensamt inom gruppen där vikten för de olika behoven diskuterades och röstades fram (se figur 4.2).

Behovs - nummer		Primära behov	Vikt
1	PU'n	kopplar in mjukt	4
2	PU'n	gör inkopplingen utan att föraren behöver göra något	5
3	PU'n	är ljudlös vid användning	3
4	PU'n	gör inkopplingen när spåret är inom räckhåll	5
5	PU'n	kopplar från spåret och faller upp sig när stora hinder finns på spåret	5
6	PU'n	motstår kollisioner med små hinder	5
7	PU'n	kan flyttas i horisontell riktning	5
8	PU'n	kan flyttas i vertikal riktning	5
9	PU'n	kan luta konduktorn i två dimensioner	5
10	PU'n	kan hålla konduktorn i nivå med spåret	5
11	PU'n	fungerar normalt vid regn	5
12	PU'n	fungerar normalt då den är täckt med lera/olja	5
13	PU'n	håller konstant anläggningskraft mot spåret	5
14	PU'n	håller sig ovan lägsta punkt på fordonet då den inte används	5
15	PU'n	är infäst i fordonet enligt AB Volvo standard	3
16	PU'n	får inte vara infäst i närheten av bränsleslangar och tankar	5
17	PU'n	fungerar normalt vid höga hastigheter	5
18	PU'n	fungerar normalt i turbulent vind	5
19	PU'n	fungerar normalt vid höga vindhastigheter	5
20	PU'n	har lång livslängd	4
21	PU'n	har låg tillverkningskostnad	3
22	PU'n	är lång nog att nå spåret	5
23	PU'n	ska vara möjlig att fästa på olika buss- och lastbilsmodeller	3

Figur 4.2: Målspecifikationer.

4.1.2.2 Enhetslista

Enhetslistan innehåller de specifikationer som angavs i föregående del, men nu skrivna på ett sätt som gör det möjligt att sätta enheter och mätbara värden på dem. För vissa behov räcker det inte att mäta en egenskap, för dessa fall har listades behoven under flera olika mätbara egenskaper. Samma sak gäller de mätbara behoven som ibland täcker flera av de primära behoven, detta åskådliggörs i figur 4.3. Dessa mätbara behov är användbara vid jämförelser med konkurrerande koncept, men även då den slutgiltiga produkten testas för att se om den uppfyller de krav som specificerats. Vid de fall det var möjligt formulerades behoven på ett sätt som gör de enkla att mäta, för att undvika onödigt komplicerade mätmetoder.

Data num.	Behovsnummer	Mätbara egenskaper	Vikt
1	1,3	Komfortabel inkoppling	3
2	2	Enkel att koppla till spår	5
3	3	Ljudnivå	3
4	2, 4, 5, 13	Automatisk process	5
5	1, 5	Tid att lyfta Pick-Up	4
6	6	Slagtålighet	4
7	1, 4	Tid att koppla på spåret	2
8	9	Lutning av konduktorn	4
9	11, 12	Vattentålig	5
10	12	Smutstålig	5
11	15, 16	Standard infästning	4
12	1,2,7,13,17,20	Friktion	4
13	18,19	Vindhastighet	3
14	1,4,5,7,8,10,13	Hastighet rörelse Pick-Up	4
15	1,4,5,7,8,10,13	Acceleration	4
16	20	Hållbarhet	3
17	7,8,9,10,13	Precision vid positionering av konduktor	3
18	2,20,21	Tillverkningskostnad	2
19	1,6,7,8,9	Total massa	3
20	15,16,23	Längd (uppfälld)	3
21	15,16,18,19,23	Bredd (uppfälld)	4
22	15,16,23	Höjd (uppfälld)	5
23	5,6, 8,10,13 ,14,19,22	Förlängning (vertikal)	5
24	4,5,7,22	Förlängning (horisontell)	4
25	1,3,9,13,20	Kraft mot spår	4
26	3,17,18,19,20	Luftmotstånd	3

Figur 4.3: Enhetslistan med mätbara egenskaper.

4.1.2.3 Information om konkurrenter

Under de externa undersökningarna noterades det att det idag pågår många projekt som tittar på tekniker för att överföra elektrisk energi från marken till fordonen. De flesta av dessa projekt är inriktade på spårtrafik och jobbar därmed under annorlunda förutsättningar än vad det här examensarbetet innehar. De kan dock ändå vara intressanta att studera för att ge inspiration till konceptgenereringen. Med spårbunden trafik så behövs inte mer styrning av kontaktdonet än att det klarar av att vara höj- och sänkbart. Dessutom kan hjulspåren fungera som återledare vilket innebär att kontaktdonet endast behöver ligga an mot en kontaktskena.

4.1.2.4 Ansaldo STS, TramWave

TramWave är ett system från italienska Ansaldo STS som överför elenergi till spårvagnar och mindre tåg från marken. Elektriciteten distribueras via två kontaktskenor mellan spårvagnens hjulspår. En så kallad pickup-sko är den mekanism som överför strömmen konduktivt till fordonet. Den har också till uppgift att aktivera de sektioner i kontaktspåret som ska strömföras. Den kontaktdelen av pickup-skon som ligger an mot kontaktskenorna består av koppar och grafit. Mekanismen kan lyftas upp och sänkas med hjälp av ett styrsystem som finns i spårvagnen (Ansaldo, u.å.). Konceptet testades till en början på bussar i staden Trieste och det kallades då för "Stream" men projektet lades ner efter tekniska och politiska komplikationer (Zucca, u.å.). Systemet utvecklades senare för att appliceras på spårvagnar och det finns idag installerat på en testbana i Neapel.

4.1.2.5 Alstom, APS

Alstom inriktar sig på en teknik som de kallar för APS - Alimentation par le sol, vilket betyder strömförsörjning från marken (författarnas översättning). Alstom använder sig av en konduktiv metod för att överföra elenergi, en teknik som appliceras på deras spårvagnar. Mellan spårets skenor går en tredje kontaktskena som försörjer spårvagnen med elektricitet. En kontaktsko under spårvagnens mittersta del sänks ner när tåget ansluter till ett APS-spår (Alstom Transport, 2008). För att hålla spåren rena så är varje spårvagnsset försedd med en plog och en borste i vardera ände som fälls ner beroende på åt vilket håll spårvagnen kör (Alstom Transport, 2011). APS-systemen finns idag i de franska städerna Bordeaux, Reims och Anger men avtal finns för installation i fler städer, bland annat i Dubai i Förenade Arabemiraterna (Alstom Transport, 2008).

4.1.2.6 Bombardier, Primove

Primove är Bombardiens system för att överföra elenergi induktivt till spårvagnar och tåg som används i stadsmiljö. Den induktiva elöverföringen bygger på samma teknik som hos en transformator. Primärsidan i det här fallet ligger

nedgrävd i marken under spåret och sekundärsidan sitter under tågets vagnar (Bombardier Transportation, 2010). Fördelen med en induktiv teknik är att det inte finns någon fara för andra trafikanter att komma i kontakt med ett elektrifierat spår, det finns inga komponenter som slits ut eftersom elöverföringen är kontaktlös, tekniken fungerar dessutom även under svåra väderförhållanden. Eftersom fordonen är spårbundna så behövs det ingen flexibilitet i den Pick-up som ska ta upp energi utan det räcker med en fast installation.

4.1.2.7 KAIST - OLEV

Forskare vid koreanska KAIST (Korea Advanced Institute of Science and Technology) utvecklar ett system, som induktivt överför energi för att driva fordon som de kallar för OLEV (On-Line Electric Vehicle). Till skillnad från teknikerna från de övriga tillverkarna så inriktar inte KAIST sig på spårvagnar och tåg utan på bussar och bilar. En Pick-up-del tar upp energi från ett spår induktivt som klarar att driva fordonet och ladda dess batteri under körning. För att positionera fordonet över spåret så är tanken att det ska användas magnetfältssensorer monterade i fordonets front. OLEV är under utvecklingstadiet men en prototyp visades upp under 2009 (KAIST, 2009).

4.1.2.8 Enhetslista med målvärden

Baserat på konkurrenternas specifikationer och vad som eftersträvades hos produkten som utvecklades tilldelades nu varje mätbar egenskap ett marginal- och idealvärde (se figur 4.4). Marginalvärdet bestämmer inom vilket intervall som produkten bör klara av det givna behovet och idealvärdet är det värde som eftersträvas hos den slutgiltiga produkten. Vid de fall där det inte var möjligt att bestämma enhet markerades detta med ordet Subjektivt.

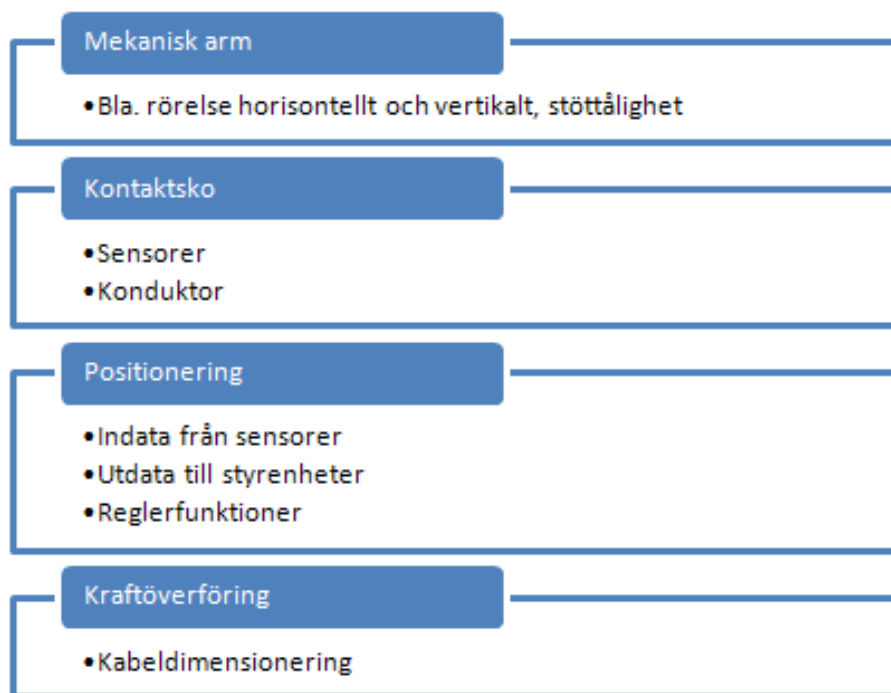
Data num.	Behovsnummer	Mätbara egenskaper	Vikt	Enhet	Marginalvärde	Idealvärde
1	1,3	Komfortabel inkoppling	3	Subjektivt		
2	2	Enkel att koppla till spår	5	antal moment	1	0
3	3	Ljudnivå	3	dB	0-86	<60
4	2, 4, 5, 13	Automatisk process	5	Binär	Yes	Yes
5	1, 5	Tid att lyfta Pick-Up	4	s	0.1-0.8	0.4
6	6	Slagtålighet	4	J		
7	1, 4	Tid att koppla på spåret	2	s	1-3	2
8	9	Lutning av konduktorn	4	rad	0.1-0.7	0.3
9	11, 12	Vattentålig	5	Subjektivt		
10	12	Smutstålig	5	Subjektivt		
11	15, 16	Standard infästning	4	mm	50*60	50*60
12	1,2,7,13,17,20	Friktion	4	N	0-36	0.01
13	18,19	Vindhastighet	3	m/s	0-28	22
14	1,4,5,7,8,10,13	Hastighet rörelse Pick-Up	4	m/s	1-2	2
15	1,4,5,7,8,10,13	Acceleration	4	m/s ²	1-3	2
16	20	Hållbarhet	3	km	800k-1200k	1000k
17	7,8,9,10,13	Precision vid positionering av konduktor	3	mm	1-10	5
18	2,20,21	Tillverkningskostnad	2	SEK		
19	1,6,7,8,9	Total massa	3	kg	10-100	15
20	15,16,23	Längd (uppfälld)	3	mm	400-600	500
21	15,16,18,19,23	Bredd (uppfälld)	4	mm	500-1500	1000
22	15,16,23	Höjd (uppfälld)	5	mm	50-200	100
23	5,6, 8,10,13,14,19,22	Förlängning (vertikal)	5	mm	400-800	800
24	4,5,7,22	Förlängning (horisontell)	4	mm	1000-2000	1500
25	1,3,9,13,20	Kraft mot spår	4	N	100-200	150
26	3,17,18,19,20	Luftmotstånd	3	N	0-20	5

Figur 4.4: Enhetslistan med marginal- och idealvärde.

4.1.3 Konceptgenerering

4.1.3.1 Delproblem

För detta projekt var det svårt att dela upp uppgiften i delproblem utan att begränsa lösningens funktion och tankegången för utvecklingen. Därför beslutades det att den mekaniska armen var ett delproblem för sig och kontaktdonet ett annat. Utöver dessa två fanns även de problem som inte var av mekanisk karaktär så som kraftöverföringen mellan spår och lastbil, och den reglermekaniska positioneringen av den mekaniska armen. Störst fokus har lades på den mekaniska armen som har möjligheten att röra sig i flera plan.



Figur 4.5: Sammanställning av de olika delsystemen.

4.1.3.2 Externa undersökningar

För att undvika att återuppfinna lösningar, utforskades olika medier för att se vad som fanns på marknaden som uppfyllde de önskvärda funktionerna. Inget av det som hittades uppfyllde de krav som ställdes på den mekaniska armen, därför användes de som fanns som inspirationskälla till hur olika rörelser kunde nås. ABB robotics har många olika industrirobotar med användbara rörelsemönster men de är inte utvecklade för denna typ av implementering. Där en av de intressanta var IRB 120 som är en lite kompakt robot som har en arm med 6 frihetsgrader där varje led styrs av varsin elektrisk motor (ABB Robotics, u.å.a). Denna robot var inte optimal för detta ändamål då den har fler frihetsgrader än vad som behövdes, vilket ledde till att den hade en onödigt stor vikt och kostnad. Utöver detta kunde den inte sträckas ut tillräckligt för att nå marken.

För att ytterligare undersöka möjligheten för en industrirobot som lösning till problemet, utfördes ett studiebesök på universitetets robotlab (LTH Productive Robotics Lab, 2011). Här observerades robotarna ABB IRB 120, ABB IRB 360 och en gantry-tau robot som funktionsmässiga lösningar av uppdraget (ABB Robotics, u.å.b) (Dressler m.fl., 2007). Av denna anledning användes dessa som inspiration till flera lösningsförslag. Där ABBs flexipicker (IRB 360) hade fördelen att dess största vikt ligger högt placerat, vilket medför snabba rörelser.

I nuläget får de flesta tåg ström från luftburna ledningar med hjälp av en pan-

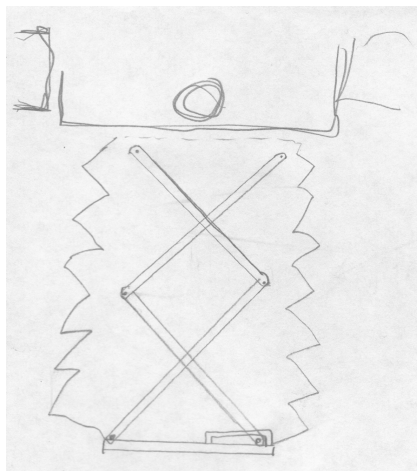
tograf, denna produkt var inte en lösning på AB Volvos problem som den är utformad i nuläget men den användes precis som industrirobotarna som inspiration (Transtech, u.å.).

Utöver dessa källor användes patentdatabaser för att identifiera lämpliga lösningar, så som Google Scholar och Patent och registreringsverkets patentdatabas esp@cenet. Även LTH:s egna rapportdatabas LibHub användes vid sökning efter intressanta idéer.

4.1.3.3 Interna undersökningar

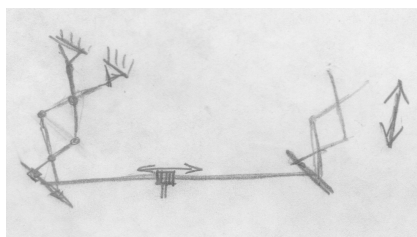
I detta avsnitt fick varje gruppmedlem på egen hand komma på idéer som fick förtydligas med skisser. Efter detta gick gruppen igenom lösningarna tillsammans för att sedan utveckla ytterligare idéer tillsammans. Därefter grupperades alla de förslag som var lika varandra för att minska antalet och därmed förenkla urvalsprocessen. De genererade förslagen är listade nedan med en förklarande text.

Saxlift - A



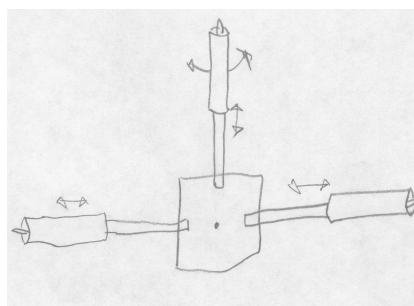
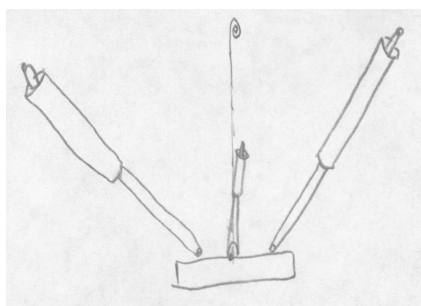
Saxlift med skyddande hölje runt. Bilden visar ett tvärsnitt som är vinkelrätt mot fordonets riktning. Styrkan med denna är den enkla konstruktionen och svagheten är att den är klen i fordonets riktning, vilket betyder att den inte kan stå emot en smäll från ett objekt på vägen. Utöver detta är den också svår att flytta i sidled.

Saxlift - B



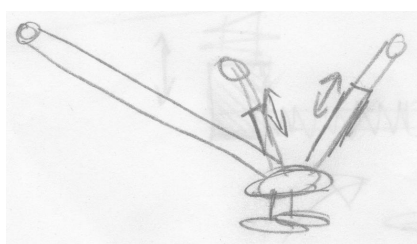
En linjärenhet ligger nere vid marken och förflyttar kontaktskon i sidled för att positionera mot spåret. Två saxliftar lyfter denna linjärenhet.

Tripod - C



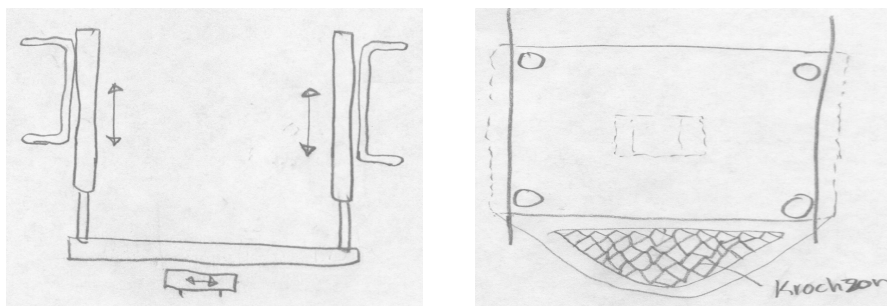
Tre hydrauliska eller pneumatiska cylindrar kopplas till en kontaktsko vilket ger 5 graders frihet. Den är dock väldigt utsatt vid kollision då knäckning av cylindrarna riskeras.

Tripod - D



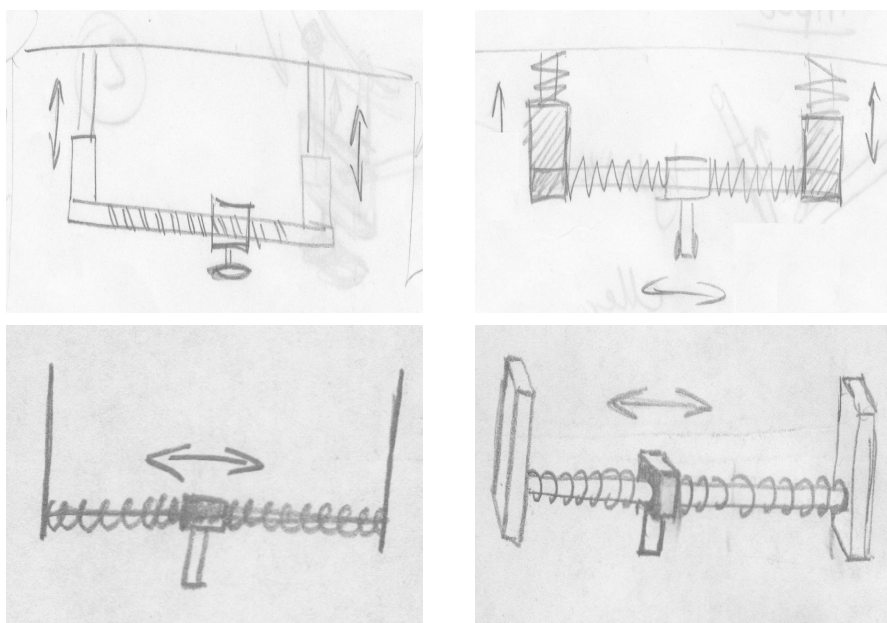
Tre armar håller upp kontaktskon, den främre armen är ledad i två riktningar i fästpunkten med lastbilens underrede. De två bakre armarna justerar kontaktskons position i höjd och sidled genom att individuellt förlängas.

Linjär i två frihetsgrader - E



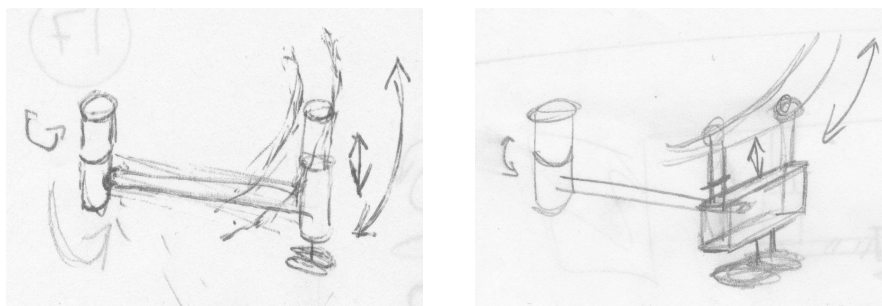
Fyra cylindrar höjer och skänker en linjärenhet som bär kontaktskon. Extra krockzon kan monteras fram på för att skydda. Den är känslig, då cylindrarna riskerar knäckning vid kollision.

Linjär i två frihetsgrader - F



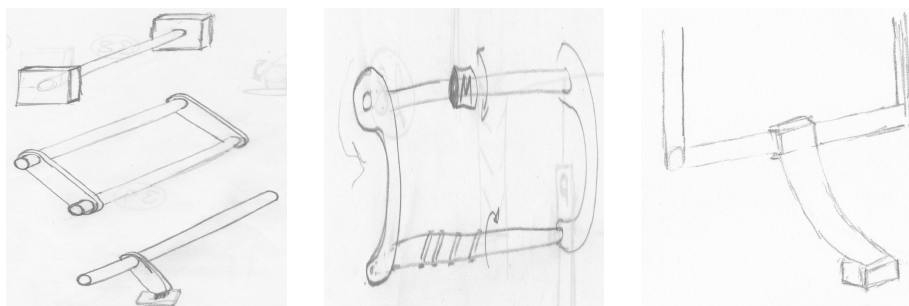
Den övre bilden till vänster visar en linjärenhet som justerar kontaktskon i sidled och två armar som höjer och sänker denna. De andra tre förslagen har liknande höj och sänk funktion, men sidoförflyttningen är passiv då kontaktskon är menad att kopplas fast i spåret för att sedan följa med i sidled.

Linjär och rotation - G



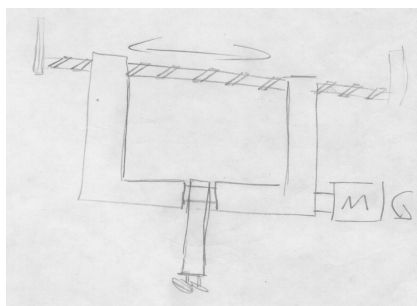
Den främre armen är infäst i lastbilen och möjlig att vinkla upp/ner och rotera i sidled. Den/de bakre armarna följer ett bågformat spår som är infäst i lastbilen, detta för att öka stabiliteten. De bakre armarna håller kontaktskon och går att justera i höjddled.

Linjär och rotation - H



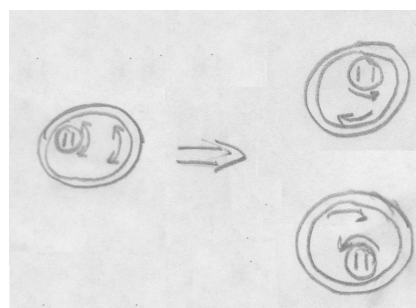
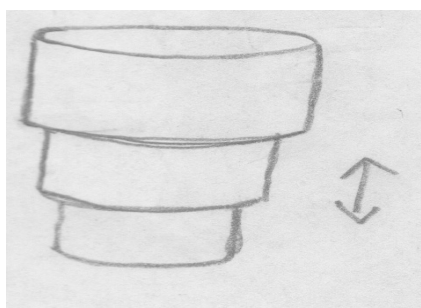
En ställning fälls ner så att armen går ner till spåret, armen är fäst i ställningen och kan justeras i sidled. Denna mindre armen håller även fast kontaktskon. Den första bilden visar de olika delar armen är uppbyggd av. Den mittersta bilden illustrerar ställningen utan den mindre armen och kontaktskon.

Linjär och rotation - I



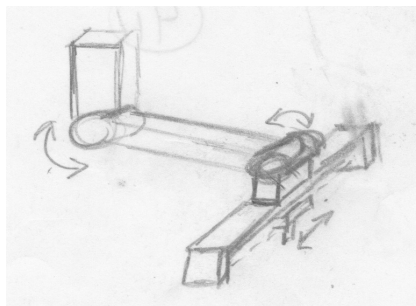
En u-formad ställning är fäst i en linjärenhet som justerar denna i sidled, på ställningen sitter en mindre arm som roteras upp och ner av en motor.

Linjär och rotation - J



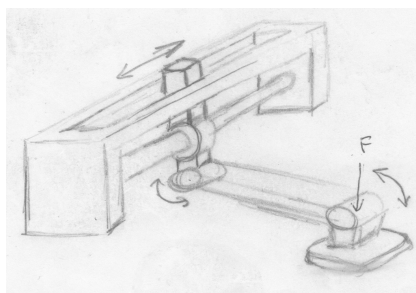
Detta är en teleskopliknande lösning som justeras i höjddled genom att fälla ut/in de olika cylindrarna. Sidledsförflyttningen är något begränsad då den justeras genom att rotera en skiva medan en axel, som håller kontaktskon, roterar i motsatt riktning. Dessa motrotationer görs för att kontaktskon ska hållas rak mot spåret.

Linjär och rotation - K



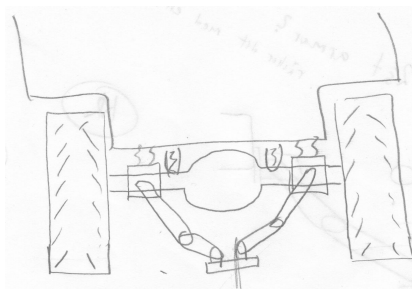
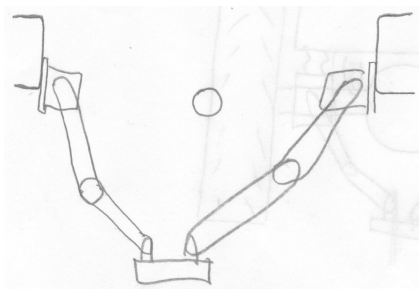
En linjärenhet är positionerad nere vid vägen och positionerar kontaktskon i sidled. Linjärenheten justeras i höjddled genom att vrida upp en arm och en led som justerar vinkeln på linjärenheten.

Linjär och rotation - L

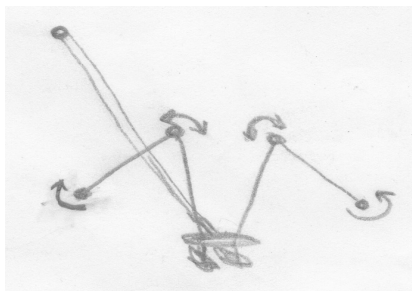
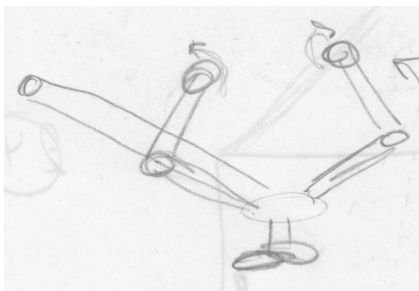


Armen rör sig linjärt nära infästningen i lastbilen, vilket justerar armen i sidled. Det finns två roterande rörelser, en som vridar armen upp och ner och en som justerar vinkeln på kontaktskon.

Robotarm - N

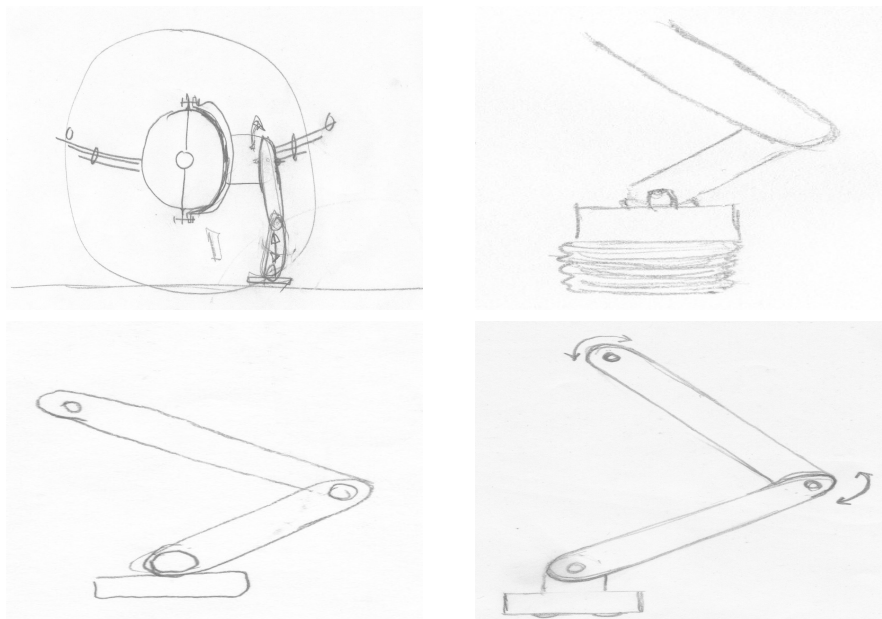


Två motorer infästa i lastbilen styr två ledade armar som håller kontaktskon, och justerar denna i höjd och sidled. Denna lösning kan inte ta upp krafter i längdled och tål därmed inte kollisioner bra. Den högra bilden visar en lösning med samma funktion, men armarna infästa på hjulaxeln för att undvika vinkeländringar som sker uppe i lastbilen.



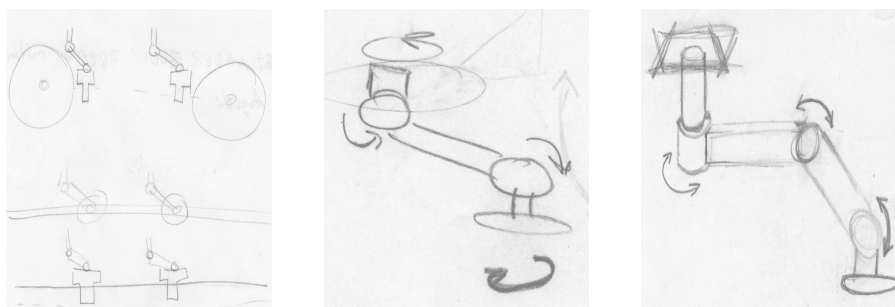
Dessa två idéer visar samma lösning som ovan, fast med en stabiliserande arm som tar upp krafter vid kollision och friktionkrafter mot marken.

Robotarm - O



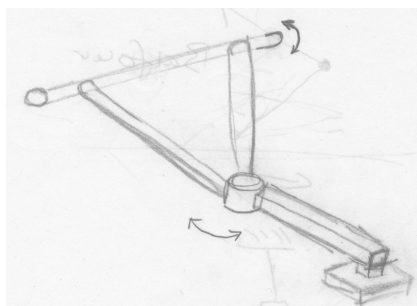
Ledad arm med två styrda leder. I den övre vänstra figuren är armen placerad på drivknuten eller hjulaxlen för att minska de horisontella rörelserna.

Robotarm - P



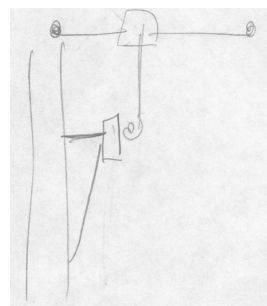
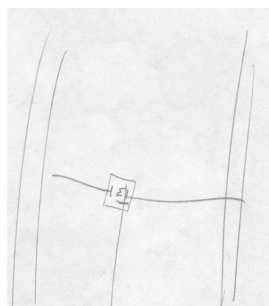
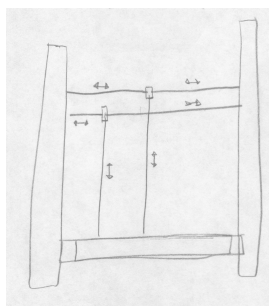
Närmast lastbilen sitter en drivande led som roterar armen i sidled, och en som vrider konduktorn upp och ner medans den tredje håller konduktorn horisontell. Utöver detta behövs antagligen en fjärde led som roterar konduktorn så den ligger rak vid sidledsförflyttning.

Robotarm - Q



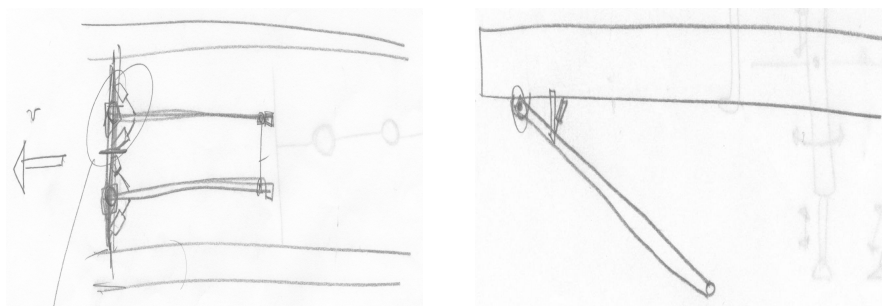
En Y-formad arm som har två rotationsleder med drivning, där den översta roterar armen upp och ner. Den andra rotationsleden roterar konduktorn i sidled.

Övriga - R



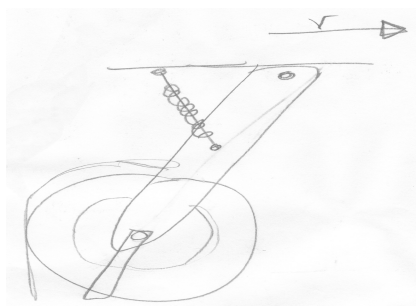
Kontaktskon släpar på spåret men styrs och kan hissas upp av 3 eller 6 vajrar.

Övriga - S



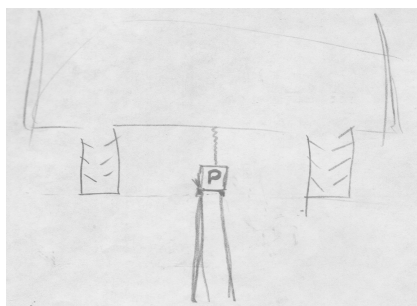
Två individuellt fjädrade armar som justeras uppe i infästet. Lätt konstruktion som tar liten plats. Konstruktionen svaga länk är de tunna armarna som lätt kan gå sönder vid en kolision. De kan även bli svajiga och svåra att positionera över spåret vid starkt vinddrag.

Övriga - T



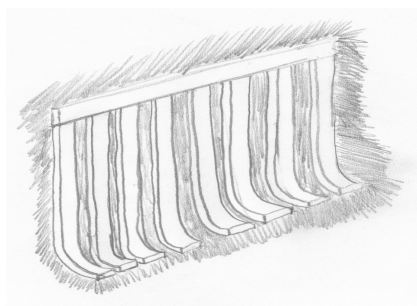
Konduktorn är integrerad på ett hjul. Anläggningstrycket mot kontaktskenorna behöver bara regleras i konduktorns fäste i hjulets nav.

Övriga - U



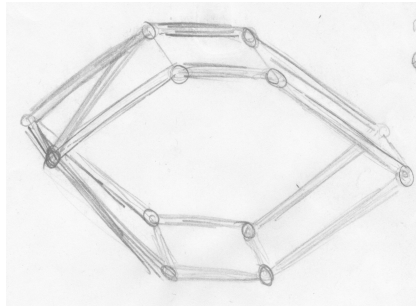
En liten vagn som dockar fast i spåret, denna vagn dras av lastbilen med en vajer eller i elkablarna som går ner till den.

Övriga - V



Många tunna armar/spröt går ner mot marken, där endast ett fåtal har kontakt med spåret. Detekteringen av de som ligger mot spåret sker elektriskt och leder på så sätt strömmen rätt. Vilket spröt som leder ström ändras i och med att lastbilen rör sig i sidled.

Övriga - W



Likt en pantograf justeras höjden på armen genom att rotera de två övre lederna, dessa två leder sköter även positioneringen i sidled.

4.1.4 Val av koncept

Alla förslag samlades i beslutsmatriser, som fylldes i genom röstning inom gruppen. Metoden valdes för att erhålla en strukturerad urvalsprocess som samtidigt var tydlig. Utöver beslutsmatriserna hade AB Volvo haft åsikter som gruppen tog hänsyn till. Urvalsprocessen delades upp i två delar, där den första var en grov sällning av koncept och den andra delen var lite noggrannare i betygsättningen och mer detaljerad.

4.1.4.1 Gallring av koncepten

Alla koncept från 4.1.3.3 samlades i en beslutsmatris (se figur 4.6). Av dessa koncept valdes förslag L som referens, detta för att den var enkel att förstå och därför bra att jämföra mot.

Efter jämförelserna summerades alla + med värde +1 och – med värde -1 och 0, för att sedan bestämma rangordningen för alla koncept. Utifrån denna ordning bestämdes vilka som var mest intressanta att gå vidare med vilket ansågs vara de som hamnade på de sex första placeringarna. Utöver dessa sex bestämdes även att förslag L och W skulle gå vidare, detta för att gruppen ansåg att de hade blivit orättvist bedömda bland dessa kriterier.

4.1.4.2 Betygsättning av koncepten

Utformningen av urvalskriterier bygger på de kundbehov som sattes upp tidigare i processen och är direkt tagna från målspecifikationerna som utgör mätbara behov. Alla behov kom inte med i underlaget för betygsättningen då de har ansågs vara mindre viktiga, svårbedömda eller likvärdiga för samtliga produktkoncept.

Urvalskriterie	Saxlyft		Tripod		2x Linjär		Linjär- och rotationsrörelse					Robotarm				Övriga						
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L(Ref)	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
Komplexitet	+	0	0	0	0	0	+	0	0	-	-	0	-	0	-	+	-	+	+	0	0	0
Manövrerbarhet	-	-	0	0	0	0	+	0	0	-	0	0	+	+	+	+	-	+	0	-	0	0
Smuts/vattentålig	-	-	0	0	0	0	0	-	-	+	-	0	+	+	0	+	+	+	-	0	0	0
Hastighet	-	-	0	0	0	0	+	-	-	0	0	0	+	+	+	+	0	+	0	-	+	+
Enkel att tillverka	+	0	+	+	+	+	0	0	0	-	0	0	-	0	0	+	+	+	+	+	-	0
Felxibel rörlighet	-	0	-	-	0	0	0	0	-	-	0	0	+	+	+	0	-	0	-	+	0	+
Hållbarhet	0	0	0	0	0	0	+	0	0	0	-	0	0	-	0	0	0	0	0	0	-	0
Stöttålighet	-	-	-	-	-	-	0	0	-	+	-	0	0	0	0	0	-	0	+	-	-	-
Summa +	2	0	1	1	1	1	4	0	0	2	0	0	4	4	3	5	2	5	3	2	1	2
Summa 0	1	4	5	5	6	6	4	6	4	2	4	8	2	3	4	3	2	3	3	3	4	6
Summa -	5	4	2	2	1	1	0	2	4	4	4	0	2	1	1	0	4	0	2	3	3	1
Totalsumma	-3	-4	-1	-1	0	0	4	-2	-4	-2	-4	0	2	3	2	5	-2	5	1	-1	-2	1
Rangordning	18	19	11	11	8	8	3	14	19	14	19	8	5	4	5	1	14	1	7	11	14	7
Går vidare	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Ja	Nej	Nej	Nej	Nej	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nej	Ja	Nej	Nej	Nej	Ja

Figur 4.6: Urvalsmatris för gallring av koncept, med information om vilka förslag som går vidare i urvalsprocessen.

Ett par kriterier tillkom inom produktionsområdet. Det var "Enkla delar" och "Lågt antal monteringssteg" som tillkom då det ansågs att produktionsområdet och kostnaden för produkten inte var medräknat i kundbehoven.

4.1.4.3 Val av viktning

I figur 4.7 visas det formulär som användes vid betygsättningen av koncepten. I kolumnen "Vikt" går det att utläsa vilka kriterier som ansågs vara viktigast för produkten och som därmed fick mest genomslag i konceptets sammanlagda poäng vid betygsättningen.

Störst vikt lades hos kriterierna inom området "Rörelser". Anledningen till det var att om Pick-up:en inte kunde ha den rörlighet som behövdes i sidled, klarade hålla rätt tryck på spåret och hade en hög positionsnoggrannhet så gav produkten inte tillräckligt stort mervärde gentemot andra lösningar för att vara intressant att utveckla.

De viktigaste kriterierna ansågs i tur och ordning vara:

1. Precision vid positionering av konduktorn. Det innebär främst att den lösning som gör att Pick-up:en rör sig horisontellt måste ha en hög precisionsgrad så att konduktorerna ligger an spåret på ett korrekt sätt.
2. Rörelse sidleds. Pick-up:en måste vara snabb i sidledsförflyttningen för att kunna hantera positioneringen av konduktorerna då fordonet kränger under körning.
3. Anläggningskraft mot spår. För att strömöverföringen ska vara jämn och tillräcklig så måste konduktorena ligga an mot spåret med en kraft som inte varierar för mycket.

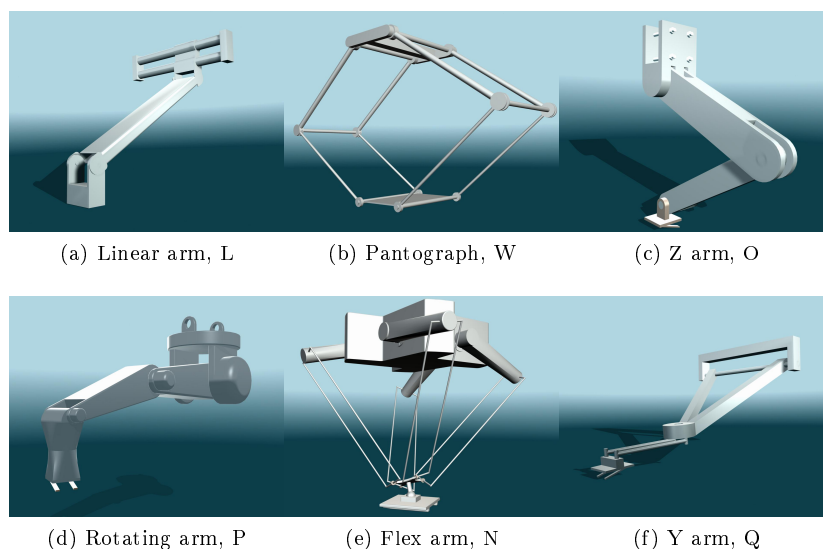
Kriterier	Vikt	G Rail arm		L Linear arm		N Flex arm		O Z arm		P Rotating arm		Q Y arm		S Antenna		W Pantograph	
		Betyg	Viktad poäng	Betyg	Viktad poäng	Betyg	Viktad poäng	Betyg	Viktad poäng	Betyg	Viktad poäng	Betyg	Viktad poäng	Betyg	Viktad poäng	Betyg	Viktad poäng
Anslutning	6																
Komfortabel inkoppling	2	3	6	3	6	3	6	3	6	3	6	3	6	3	6	3	6
Enkel att koppla till spår	2	2	4	3	6	3	6	3	6	2	4	2	4	2	4	3	6
Tid att koppla på spåret	2	3	6	2	4	4	8	3	6	3	6	3	6	3	6	3	6
Rörelser	47																
Tid att lyfta Pick-Up	8	4	32	4	32	3	24	3	24	3	24	2	16	3	24	4	32
Lutning av konduktorn	5	2	10	3	15	4	20	4	20	2	10	2	10	2	10	1	5
Rörelse sidleds	10	4	40	2	20	3	30	3	30	3	30	3	30	3	30	3	30
Acceleration	8	3	24	3	24	4	32	3	24	3	24	3	24	2	16	4	32
Precision vid positionering av konduktorn	11	2	22	4	44	3	33	3	33	2	22	3	33	1	11	3	33
Anläggningskraft mot spår	9	4	36	3	27	2	18	3	27	3	27	3	27	2	18	3	27
Storlek	22																
Standard infästning	8	1	8	3	24	3	24	4	32	4	32	3	24	3	24	2	16
Total vikt	2	3	6	2	4	4	8	3	6	3	6	2	4	5	10	4	8
Förlängning – Horisontell	8	3	24	3	24	3	24	4	32	3	24	1	8	3	24	3	24
Omgivning	20																
Slagtålighet	6	2	12	4	24	2	12	2	12	3	18	4	24	3	18	2	12
Vattentålighet	5	3	15	3	15	3	15	3	15	3	15	3	15	4	20	4	20
Smutstålighet	5	2	10	2	10	3	15	3	15	4	20	3	15	4	20	3	15
Luftmotstånd	4	2	8	3	12	2	8	2	8	3	12	4	16	3	12	2	8
Produktion	5																
Billiga material	1	2	2	2	2	3	3	3	3	2	2	2	2	3	3	4	4
Enkla delar	2	1	2	2	4	2	4	2	4	1	2	2	4	3	6	4	8
Lågt antal monteringssteg	2	2	4	2	4	3	6	3	6	1	2	2	4	3	6	4	8
Summa	100	271	301	296	309	286	277	269	299								
Rangordning		7	2	4	1	5	6	8	3								

Figur 4.7: Matris för betygsättning av koncepten, med totalsumma och rangordning för dessa.

4.1.4.4 Slutligt val av koncept

Då betygsättning genomförts valdes de två koncept bort som hamnade sist i rangordningen. De sex kvarvarande koncepten ritades upp som CAD-modeller för att få en bättre syn på hur de skulle kunna se ut i full skala. Två koncept fick en omgjord design inspirerad av ABB-robotar men principen ändrades inte (se figur 4.8).

Efter ett möte med AB Volvo där dessa modeller visades upp, bestämdes att vidare analys skulle göras av koncepten L, Linear arm, O, Z arm och W, Pantograph. Dessa hade högst rangordning i betygsättningen från avsnitt 4.1.4.3 och dessutom de som kunden tyckte bäst om. Det som talade emot de lösningsförslag som föll bort var att: Koncept P, Rotating arm, hade för många leder som behövde motorstyras vilket betydde större komplexitet och troligtvis sämre hållbarhet för armen då den ska ta emot stötar. Flex arm, N, bedömdes ta för stor plats under lastbilen och gick inte heller att lyfta upp tillräckligt högt. Koncept Q, Y arm, var väldigt lång och skulle i uppfällt läge ta för mycket plats.



Figur 4.8: De sex koncepten som CAD-modeller och som ingick i det slutgiltiga urvalet.

Det slutgiltiga valet av koncept föll efter interna diskussioner på koncept L, Linear arm (figur 4.8a). Dess främsta positiva egenskaper var att den var stöttålig och hade en hög positionsnoggrannhet. De andra lösningsförslagen bedömdes vara mindre stöttåliga eftersom en kollision med objekt på vägbanan riskerade att lederna knäcks. Koncept O, Z arm hade också svagheter med att ha tre motorstyrda leder och en låg tyngdpunkt. Att använda tre motorer beräknades dessutom bli dyrt. För Pantograph, W, sågs svårigheter med att dra kablar och dessutom skulle den ta stor plats under lastbilen.

Ett par ändringar gjordes från ursprungsidén för Linear arm. Den led som var tänkt att justera kontaktskons vinkel togs bort och istället bestämdes att kontaktskon skulle monteras i en fast vinkel som sedan fick justeras för att passa till varje enskilt fordon. Detta resulterade i minskad vikt på armen och minskade tröghetsmomentet på armen. För att erhålla rätt anläggningskraft mot kontaktskenorna i vägbanan så skulle Pick-up:ens arm göras böjlig, med inspiration från bladfjädrar, för att kunna ta upp vertikala rörelser. Dessutom ersattes rotationsrörelsen som skulle lyfta upp armen med en linjär rörelse.

4.2 Konstruktion

4.2.1 Kabel

Då fordonet beräknades dra 375 A under normal körning så var det rimligt att dimensionera kablarna något högre än så. Maximal last beräknades bli runt 1 000 A men att kablarna skulle dimensioneras för att klara så höga strömmar var inte nödvändigt eftersom det endast kommer att ske under korta perioder.

Vid dimensionering av kablarna användes en strömkapacitet på 600 A som mått. Den nödvändiga tvärsnittsarean för kablarna blev:

$$(3.1) \Rightarrow A = \left(\frac{600}{21} \right)^{1/0.66} = 160 \text{ mm}^2 \quad (4.1)$$

Vikten på en kabel exklusive isolering blev:

$$(3.2) \Rightarrow M = 160 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot 1 \text{ m} \cdot 8\,920 \text{ kg/m}^3 = 1.427 \text{ kg} \quad (4.2)$$

Längden för kabeln bestämdes av den sträcka som var från armens fäste i konduktorn till linjärenheten som var fäst i lastbilens rambalkar. Därefter tillkommer det eventuellt en del av kablarna som går längs med linjärenheten och vars vikt Pick-up:en i så fall måste bära. Lika stor vikt tillkom för den kabel som fungerar som återledare. För att kunna dimensionera kablarna för 600 A utan att de ska bli för varma då fordonet drar 1 000 A så gjordes kablarna platta för att få så stor mantelarea som möjligt och därmed underlätta avkylningen av kablarna.

4.2.2 Positionering

4.2.2.1 Sensor

En utredning om vilken sensortyp som passade bäst för positionering av kontaktskon gjordes tillsammans med handledare Gunnar Lindstedt. En jämförelse

mellan de olika alternativen gjordes utifrån en rad kriterier som åskådliggörs i figur 4.9. Valet föll på att använda induktiva sensorer på grund av dess tålighet.

	Induktivt	Magnetfältssensor	Ultraljud	Konduktivt	Visuellt (Kamera)
Känslighet för yttre åverkan	Tåler smutsig miljö	Tålig då den består av en spole som kan inneslutas	Finns modeller som tåler vatten och smuts bra. Problem om ett lager smuts fastnar på sensorn	Tåler påfrestande omgivning	Kameran kan skyddas mot smuts, vatten och stötar genom inneslutning. Inte mot lager av smuts som fastnar.
Störningskänslighet	Kan inte monteras i en hållare av metall då denna stör signalen	Möjliga elektromagnetiska störningar från lastbilen	Resultatet är beroende av temperatur, luftfuktighet och tryck. Vatten och snö kan ge missvisande värde	Inga direkta störningar	Vibrationer kan ge felaktig data
Avståndsplacering	Är begränsad i höjdplacering	Får beräknas efter hur starkt magnetfältet blir i sändar slingan	Klärar av lägre avstånd	Måste ligga mot spåret	kan mäta på långa avstånd
Mätning av sidoförflyttning	Utsignalen minskar då sensorn rör sig från metalliskt	Möjligt att bedöma position i två axlar	Svagare eko för mjukare material och skrovligare material	Möjligt med flera plaerade i rad	Är möjligt
Mäta kontaktskon lutning	Nej	teoretisk svårt - bör ge förändrad magnetstyrka men svårt att bedöma vad det orsakas av	Teoretiskt möjligt med flera sensorer	Kan detektera vis lustning vid användning av flera sensorer. Dock inga exakta viklar	Är möjligt

Figur 4.9: Jämförelse mellan olika sensorer.

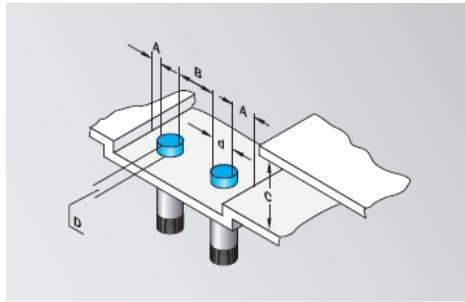
4.2.2.2 Analog induktiv sensor

För att utnyttja induktiva sensorer till att finna spåret då kontaktskon sänks ner krävdes det att de arbetar analogt. Analog sensorer varierar sin utsignal proportionellt mot avståndet till mätobjektet. För att positionera in kontaktskon till kontaktskenorna var ett långt mätområde önskvärt. Däremot kunde inte sensorerna i sig vara alltför stora, dels med tanke på det begränsade utrymmet hos kontaktskon och dels på grund av att sensorerna inte kunde vara större än kontaktskenornas bredd om positioneringen ska fungera.

För att få ett 40 mm långt mätavstånd finns det på marknaden idag induktiva sensorer som har en cylindrisk utformning med en diameter på 30 mm. För ett så långt mätavstånd kan sensorerna inte vara helt skärmade, vilket ställer lite hårdare krav på hur de monterades eftersom de är känsliga för omgivande metaller. I figur 4.10 så visas monteringsanvisningar för en analog induktiv sensor från företaget SICK.

Mätavståndet varierar beroende på metallen i mätobjektet. Mätavståndet 40 mm gäller för stål, för rostfritt stål ska avståndet skalas med faktorn 0,8 och för aluminium 0,4 o.s.v. (se vidare bilaga B). För kommunikation och strömförsörjning till sensorerna finns anslutningskablar som är 6 mm i diameter. Sensorerna försörjs med en spänning mellan 15 V - 30 V och utsignalen kan mätas som antingen förändring i ström eller spänning.

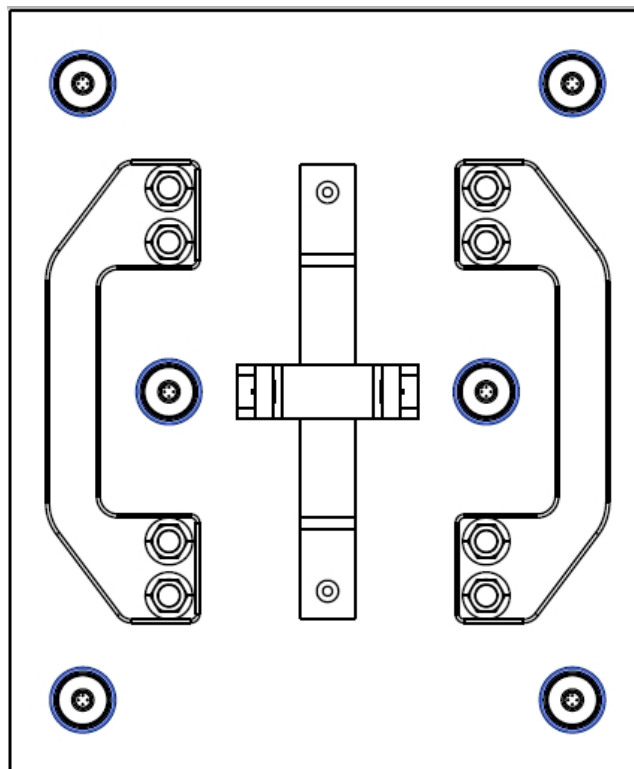
För positionering av kontaktskon användes induktiva sensorer för att detektera kontaktskenorna som armen ska ansluta till. Figur 4.11 visar hur sensorerna tänktes vara placerade, där de sitter skyddade innanför glasfiber. En sensor sitter i linje med konduktörerna och ska användas för att hitta spåret vid nedsänkning av kontaktskon och som referens för att säkerställa att konduktörerna ligger an



Model name	Metal-free zone [mm]	Type of installation
IMA30-40NE1ZC0K	A = 40 mm, B = 120 mm, C = 120 mm, D = 25 ^{±1} /35 ^{±2} /20 ^{±1} mm	Non-flush

Figur 4.10: Monteringsanvisning för SICK:s induktiva sensor IMA30-40NE1ZC0K som visar kraven på avstånd till omgivande metaller.

mot skenorna. Två sensorer framför och bakom konduktorerna ska detektera att konduktorskon är på väg att komma av spåret. Två stycken sensorer behövs för att erhålla redundans och därmed säkerställa att inte fel styrsignaler ges.



Figur 4.11: Ritning över kontaktskon. Sensorerna är placerade enligt de ringar som finns placerade i hörnen och mitt i bilden.

4.2.2.3 Processor

Insamlingen av data från sensorerna görs förslagsvis med hjälp av pollning från en mikrokontroller. För att polla sensorerna med korta intervall så räcker det med en mikrokontroller.

En enkel loop där en sensors värde tas in och jämför det med ett gränsvärde tar 12 klockpulser för en mikrokontroller av modell Atmega16 (Atmel, 2010). Dess högsta arbetshastighet är 16 MIPS (miljoner instruktioner per sekund) och en lopp tar därmed 0,75 ms att genomföra. Om alla sex sensorer ska gås igenom i en cykel så fås en maximal pollningsfrekvens per sensor:

$$f_s = \frac{1}{6 \cdot 0,75 \text{ ms}} = 222 \text{ 222 Hz} \quad (4.3)$$

Detta motsvarar att om fordonet kör i 90 km/h samlas information från sensorerna in ungefär varje 0,1 mm. Det kan vara på sin plats att lägga in en säkerhetsfaktor i pollningsfrekvensen och säga att en pollningsloop tar 20 klockpulser och att det bara går att utnyttja hälften av mikrokontrollerns arbetshastighet, då fås en pollningsfrekvens per sensor:

$$f_s = \frac{1}{6 \cdot 2,5 \text{ ms}} = 66 \text{ 666 Hz} \quad (4.4)$$

Vilket motsvarar, om fordonet kör i samma hastighet, att mätvärden tas var 0,375 mm.

4.2.2.4 Reglering

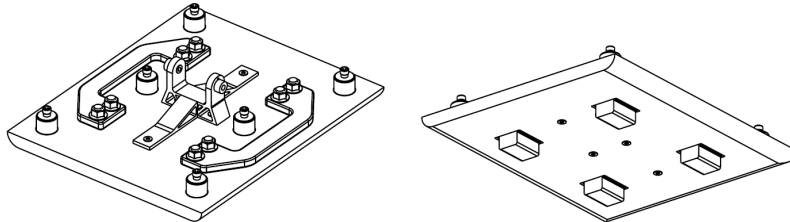
Då mikrokontrollern detekterar att kontaktskon glider av spåret skickas en referenssignal till en annan mikrokontroller som har för uppgift att skicka en styrsignal till den motor som styr Pick-up:ens rörelse i sidled. Förslaget var att skicka ett börvärde som motsvarar den position motorn ska justeras till för att få kontaktskon till mitten av spåret. Med hjälp av en positions- eller hastighetsåtergivare kan återkoppling erhållas på motorns position och erhålla en sluten reglerkrets.

4.2.3 Kontaktsko

4.2.3.1 Utformning

Att utforma den kontaktsko som ska positioneras för att ligga an mot kontaktskenorna ingick inte i examensarbetet men det bedömdes ändå som nödvändigt för att få en uppfattning om hur stor och tung kontaktskon skulle kunna tänkas bli samt för att kunna avgöra vilka verktyg som kunde användas för

positionering. För att kunna utforma kontaktskon så bestämdes att utgå ifrån att spåret i vägbanan består av två kontaktskenor med en bredd på 17,5 cm emellan dem.



Figur 4.12: Vänster: Utformningen av kontaktskon sedd ovanifrån som visar sensorer, fäste för konduktorer och infästning för armen. Höger: Kontaktskon sedd underifrån som visar konduktorerna.

4.2.3.2 Konduktor

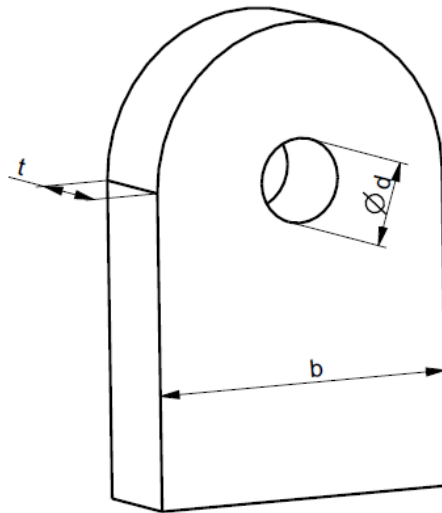
I det här fallet var det inte motiverat att välja metallimpregnerad grafit, som är dyrare och minskar konduktorytan med en kvadratcentimeter. Därmed så behövdes en 10 cm² stor grafityta som ligger an mot spåret. För att få tillräcklig anläggningsyta även då lastbilen kränger och konduktorskon lutar så användes två stycken lika stora grafitstycken för varje kontaktskena. Dimensionerna valdes till 50x35 mm för att matcha en standard aluminiumprofil från Schunk (Schunk Bahntechnik GmbH, u.ä.) vilket gav 17,5 cm² kontaktyta. En sådan profil behövde modifieras då grafitmaterialet på kontaktskon är vänt 90° och måste hållas fast ordentligt.

4.2.3.3 Infäste till kontaktskon

Konaktskon måste vid uppkoppling mot spåret alltid vara horisontellt. För att garantera detta konstruerades en fjäder som gör att vid rätt vinkel låser kontaktskon sin vinkel till armen men när armen väl är i kontakt med spåret kan armen fjädra som det är tänkt.

4.2.3.4 Infästningsögla för kontaktsko

För att garantera att infästningsögla kommer att hålla vid belastning räknades dennas maximalt tillåtna spänning ut. För beäkningen av ögla som kontaktskon är fäst i antogs att maximala kraften är 500 N. Eftersom det är två öglor delades 500 med 2 vilket leder till att varje ögla utsätts för en dragande kraft på 250 N. Detta ger att dragspänningen, som är kraften (F) genom arean (A), blir 1,25 MPa. Arean beräknades vid det tunnaste segmentet i konstruktionen och är bredden (b) minus hålets diameter (d) gånger tjockleken (t).



Figur 4.13: Infäste till kontaktsko.

$$A = (b - d) \cdot t = (0,03 - 0,01) \cdot 0,01 = 0,0002 \text{ m}^2 \quad (4.5)$$

$$F = \frac{500}{2} = 250 \text{ N} \quad (4.6)$$

$$\sigma_{max} = \frac{F}{A} = \frac{250}{0,0002} = 1,25 \text{ MPa} \quad (4.7)$$

För aluminium (tabell 4.1) är $\sigma_s = 245 \text{ MPa}$ och med en tilltagen säkerhetsfaktor mot sträckgränsen på $n_s = 2$ erhålls en tillåten sträckgräns på:

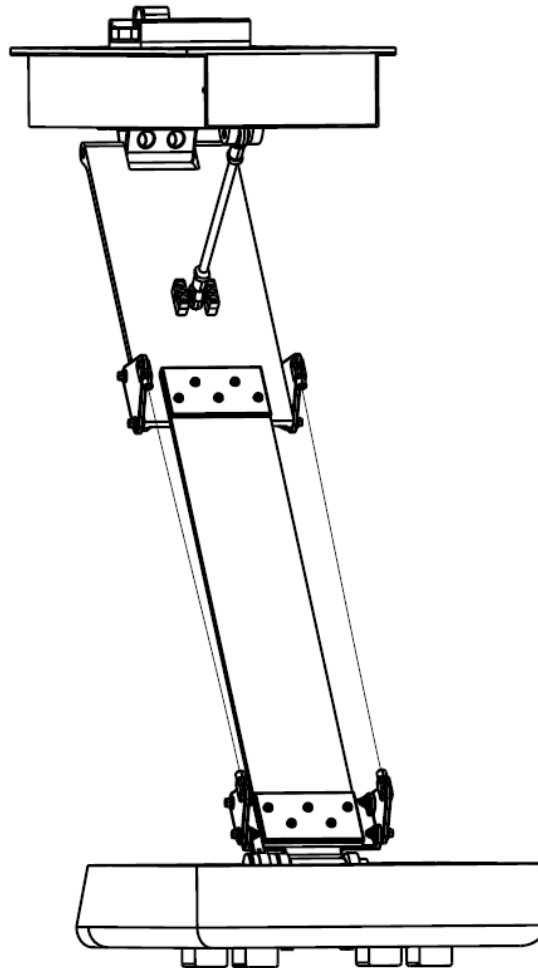
$$\sigma_{till} = \frac{\sigma_s}{n_s} = \frac{245}{2} = 122,5 \text{ MPa} \quad (4.8)$$

$\sigma_{max} < \sigma_{till}$ vilket visade att öglan klarar av de belastningar som den utsätts för.

Aluminium SS4212-06	
ρ	2 700 kg/m ³
$E - Modul$	70 GPa
ν	0,3
σ_s	245 MPa
σ_b	290 MPa

Tabell 4.1: Egenskaper för aluminium

4.2.4 Arm



Figur 4.14: Armen illustrerad snett bakifrån, i nerfällt läge,

Armen består av tre delar. Översta och understa delarna gjordes i aluminium för att minska massan. Delen i mitten gjordes av glasfiberkomposit. Förhållandet mellan glasfiber och matris samt deras fiberriktning, måste bestämmas genom tester. För att få vridstyvhet och böjvekhhet bör dock en del av fibrerna placeras 45° mot kraftriktningen i xz-planet (se figur 3.5).

Glasfiberdelen av armen fungerar som en bladfjäder för att kompensera för vertikala rörelser och vridningar. Armens design utgår från ett rektangulärt tvärsnitt. Den fjädrande delen fästes i den övre delen av armen och kunde därför antas bete sig som en fast inspänd balk enligt elementarfallet i ekvation 3.10 och figur 3.6 (Sundström, 2007). För att bladfjädrern skulle få de egenskaper som medför att vid 10 cm fjäderböjning ges en fjäderkraft mot kontaktskenorna på 150 - 200 N, bestämdes bredden, tjockleken och E-modulen för kompositdelen. Anläggningskraftens riktvärden erhöles från vad tåg idag ansätter sina konduktorer mot kontaktledningen med (Reijm, 2011).

4.2.4.1 Fiberkomposit

Efter litteraturstudien av kompositmaterial valdes E-glasfiber och epoxi till de material som passade bäst in i denna konstruktion. Den främsta anledningen var att de är elektriskt isolerande. De uppfyllde kraven på att de ska vara lätta i förhållande till styrka och lågt pris.

För att få de önskade egenskaperna för rätt fjädring hos konstruktionen kombinerades olika fiberriktningar. I figur 4.15 beskrivs de mekaniska egenskaperna för olika kompositerna i 0° och 90° mot kraftriktningen och i figur 4.16 beskrivs egenskaperna för kompositerna i 45° mot kraftriktningen.

$$(3.4) \Rightarrow E_{ct} = 12,3 \cdot 0,7 + 40 \cdot 0,3 = 20,6 \text{ GPa} \quad (4.9)$$

$$(3.5) \Rightarrow E_{ct} = 8 \cdot 0,7 + 12,3 \cdot 0,3 = 9,3 \text{ GPa} \quad (4.10)$$

$$(3.6) \Rightarrow \sigma_b = 90 \cdot 0,7 + 1000 \cdot 0,3 = 363 \text{ MPa} \quad (4.11)$$

$$(3.7) \Rightarrow \tau_b = 40 \cdot 0,7 + 100 \cdot 0,3 = 58 \text{ MPa} \quad (4.12)$$

Mechanical Properties of Carbon Fibre Composite Materials, Fibre / Epoxy resin (120°C Cure)

Fibres @ 0° (UD), 0/90° (Fabric) to loading axis, Dry, Room Temperature, Vf = 60% (UD), 50% (fabric)

	Symbol	Units	Std CF Fabric	HMCF Fabric	E glass Fabric	Kevlar Fabric	Std CF UD	HMCF UD	M55** UD	E glass UD	Kevlar UD	Boron UD	Steel S97	Al L65	Tit. dtd 5173
Young's Modulus 0°	E1	GPa	70	85	25	30	135	175	300	40	75	200	207	72	110
Young's Modulus 90°	E2	GPa	70	85	25	30	10	8	12	8	6	15	207	72	110
In-plane Shear Modulus	G12	GPa	5	5	4	5	5	5	5	4	2	5	80	25	
Major Poisson's Ratio	v12		0.10	0.10	0.20	0.20	0.30	0.30	0.30	0.25	0.34	0.23			
Ult. Tensile Strength 0°	Xt	MPa	600	350	440	480	1500	1000	1600	1000	1300	1400	990	460	
Ult. Comp. Strength 0°	Xc	MPa	570	150	425	190	1200	850	1300	600	280	2800			
Ult. Tensile Strength 90°	Yt	MPa	600	350	440	480	50	40	50	30	30	90			
Ult. Comp. Strength 90°	Yc	MPa	570	150	425	190	250	200	250	110	140	280			
Ult. In-plane Shear Stren.	S	MPa	90	35	40	50	70	60	75	40	60	140			
Ult. Tensile Strain 0°	ext	%	0.85	0.40	1.75	1.60	1.05	0.55		2.50	1.70	0.70			
Ult. Comp. Strain 0°	exc	%	0.80	0.15	1.70	0.60	0.85	0.45		1.50	0.35	1.40			
Ult. Tensile Strain 90°	eyt	%	0.85	0.40	1.75	1.60	0.50	0.50		0.35	0.50	0.60			
Ult. Comp. Strain 90°	eyc	%	0.80	0.15	1.70	0.60	2.50	2.50		1.35	2.30	1.85			
Ult. In-plane shear strain	es	%	1.80	0.70	1.00	1.00	1.40	1.20		1.00	3.00	2.80			
Thermal Exp. Co-ef. 0°	Alpha1	Strain/K	2.10	1.10	11.60	7.40	-0.30	-0.30	-0.30	6.00	4.00	18.00			
Thermal Exp. Co-ef. 90°	Alpha2	Strain/K	2.10	1.10	11.60	7.40	28.00	25.00	28.00	35.00	40.00	40.00			
Moisture Exp. Co-ef 0°	Beta1	Strain/K	0.03	0.03	0.07	0.07	0.01	0.01		0.01	0.04	0.01			
Moisture Exp. Co-ef 90°	Beta2	Strain/K	0.03	0.03	0.07	0.07	0.30	0.30		0.30	0.30	0.30			
Density		g/cc	1.60	1.60	1.90	1.40	1.60	1.60	1.65	1.90	1.40	2.00			

** Calculated figures

Figur 4.15: Mekaniska egenskaper hos ett antal kompositmaterial med fiberriktning 0° och 90° (Performance Composites Ltd, 2009b).

Fibres @ +/-45 Deg. to loading axis, Dry, Room Temperature, Vf = 60% (UD), 50% (fabric)

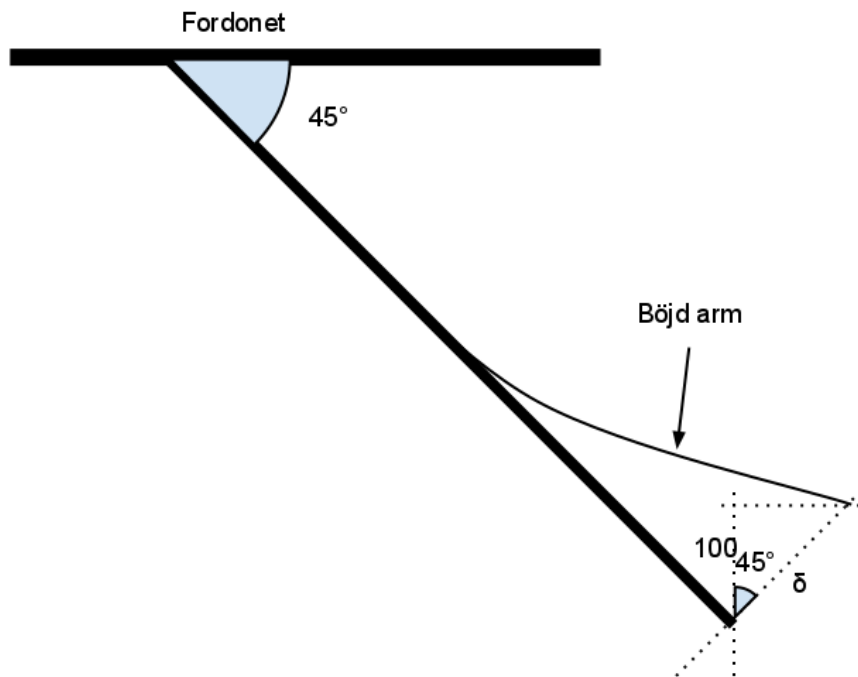
	Symbol	Units	Std. CF	HM CF	E Glass	Std. CF fabric	E Glass fabric	Steel	Al
Longitudinal Modulus	E1	GPa	17	17	12.3	19.1	12.2	207	72
Transverse Modulus	E2	GPa	17	17	12.3	19.1	12.2	207	72
In Plane Shear Modulus	G12	GPa	33	47	11	30	8	80	25
Poisson's Ratio	v12		.77	.83	.53	.74	.53		
Tensile Strength	Xt	MPa	110	110	90	120	120	990	460
Compressive Strength	Xc	MPa	110	110	90	120	120	990	460
In Plane Shear Strength	S	MPa	260	210	100	310	150		
Thermal Expansion Co-ef	Alpha1	Strain/K	2.15 E-6	0.9 E-6	12 E-6	4.9 E-6	10 E-6	11 E-6	23 E-6
Moisture Co-ef	Beta1	Strain/K	3.22 E-4	2.49 E-4	6.9 E-4				

** Calculated figures

Figur 4.16: Mekaniska egenskaper hos ett antal kompositmaterial med fiberriktning 45° mot kraftriiktningen (Performance Composites Ltd, 2009b).

4.2.4.2 Nerböjning av arm

Armens totala längd är 707 mm där den fjädrande delen är 400 mm lång.



Figur 4.17: Approximativ böjning av armen som krävs för att klara ojämnheter i marken och fjädring i lastbilen.

$$\delta = \frac{0,100}{\cos(45^\circ)} = 0,100 \cdot \sqrt{2} = 141 \text{ mm} \quad (4.13)$$

$$(3.12) \Rightarrow h = \sqrt[4]{\frac{200 \cdot 0,4^3 \cdot 12}{3 \cdot 20,6 \cdot 10^9 \cdot 141 \cdot 15}} \approx 5,9 \text{ mm} \quad (4.14)$$

$$(3.13) \Rightarrow b = 5,9 \cdot 15 = 89 \text{ mm} \quad (4.15)$$

$$z_{max} = \frac{5,9}{2} \approx 3 \text{ mm} \quad (4.16)$$

$$(3.14) \Rightarrow I_y = \frac{0,090 \cdot 0,006^3}{12} = 1,62 \cdot 10^{-9} \text{ m}^4 \quad (4.17)$$

$$(3.9) \Rightarrow M_b = 200 \cdot 0,4 = 80 \text{ Nm} \quad (4.18)$$

$$(3.15) \Rightarrow \sigma_{max} = \frac{80}{1,62 \cdot 10^{-9}} \cdot 0,003 = 148 \text{ MPa} \quad (4.19)$$

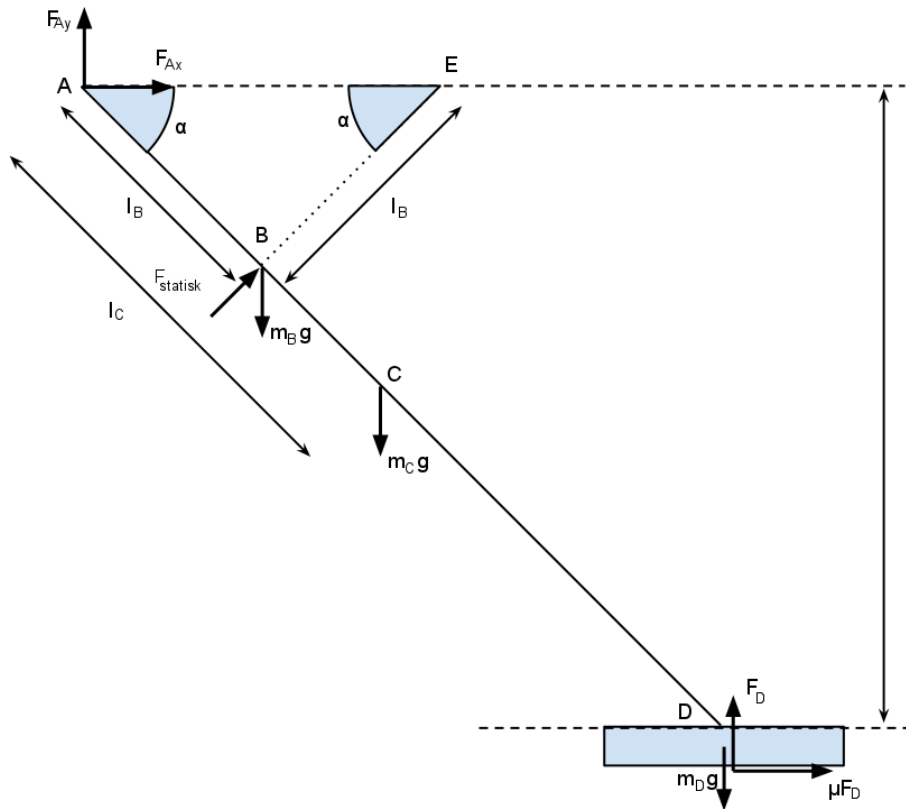
$$(3.16) \Rightarrow \tau_{max} = \frac{200}{0,1 \cdot 0,006} = 0,3 \text{ MPa} \quad (4.20)$$

$$(3.17) \Rightarrow \tau_{xz,max} = 1,5 \cdot \frac{200}{0,1 \cdot 0,006} = 0,5 \text{ MPa} \quad (4.21)$$

Tvärsnittet på armen beräknades till 90x6 mm. Den maximala spänningen som uppstår i armen är 148 MPa och glasfiberkompositen klarar av 363 MPa (enligt ekvation 4.11) vilket gav en säkerhetsfaktor n_b på 2,5. $\tau_{max} = 0,3$ MPa var också långt under gränsvärdet $\tau_b = 58$ MPa (ekvation 4.12). Böjskjuvspänningen $\tau_{xz,max} = 0,5$ MPa, för kompositerna i figur 4.15 och 4.16 fanns det ingen data för böjskjuvspänningen och resultatet kunde inte jämföras.

4.2.4.3 Beräkning av krafterna i armen

Armen hissas upp genom att flytta punkt E i sidled (se figur 4.18). Uppfällningen av armen sker genom att dra upp armen i punkt B. Beräkningarna av krafterna i armen delades in i två fall, ett statiskt och ett dynamiskt (se figur 4.18). De båda fallen beräknades för att få fram den totala kraft, i punkten B, som det krävs för att få upp armen snabbt nog för att undvika hinder. I det statiska fallet frilades armen och kraften $F_{statisk}$ beräknades för $0^\circ \leq \alpha \leq 50^\circ$. I det dynamiska fallet beräknades armens tröghetsmoment. $F_{dynamisk}$ beräknades sedan som en funktion av tröghetsmomentet.



Figur 4.18: m_i = massan [kg], l_i = avståndet [m], $g = 9,81$ [m/s²], μ = friktionskoefficienten, F_p = anläggningskraft. Punkten E är rörlig i x-led.

- $F_{statisk}$ för $0^\circ \leq \alpha \leq 45^\circ$. Detta beskriver situationen innan kontaktskon har kontakt med skenorna i vägbanan då $F_d = 0$.

$$F_{statisk} = \frac{m_B \cdot g \cdot \cos(\alpha) \cdot l_B + m_C \cdot g \cdot \cos(\alpha) \cdot l_C + m_D \cdot g \cdot \cos(\alpha) \cdot l_D}{\cos\left(\frac{\pi}{2} - 2\alpha\right) \cdot l_B} \quad (4.22)$$

$$F_{Ax} = -F_{statisk} \cdot \cos(\alpha); \quad (4.23)$$

$$F_{Ay} = g \cdot (m_B + m_C + m_D) - F_{statisk} \cdot \sin(\alpha); \quad (4.24)$$

- $F_{statisk}$ för $45^\circ < \alpha \leq 50^\circ$. Detta beskriver situationen efter det att kontaktskon har fått kontakt med skenorna och pressas ner.

$$F_{statisk} = \frac{m_B \cdot g \cdot \cos(\alpha) \cdot l_B + m_C \cdot g \cdot \cos(\alpha) \cdot l_C - F_D \cdot \cos(\alpha) \cdot l_D - \mu \cdot F_D \cdot 0,5}{\cos(\frac{\pi}{2} - 2\alpha) \cdot l_B} \quad (4.25)$$

$$F_{Ax} = -F_{statisk} \cdot \cos(\alpha) - \mu \cdot F_D \quad (4.26)$$

$$F_{Ay} = g \cdot (m_B + m_C + m_D) - F_{statisk} \cdot \sin(\alpha) \quad (4.27)$$

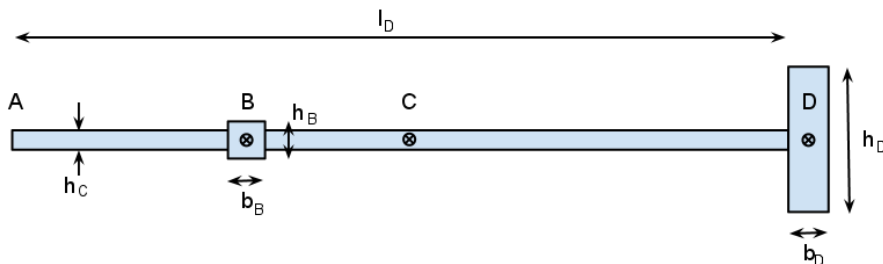
- *F_{dynamisk}*. För att kunna beräkna den dynamiska kraften i punkten A behövdes tröghetsmomentet i samma punkt kännas till. Tröghetsmomentet beräknades med hjälp av måtten i figur 4.19 och ekvation 4.32. För att få tröghetsmomentet kring armens rotationsaxel, A, användes förflyttningsekvationen 4.33. Den nödvändiga vinkelaccelerationen beräknades utifrån förutsättningen att armen ska kunna undvika ett hinder som är 150 mm högt och upptäckas på 10 meters avstånd från armen när lastbilen kör i 90 km/h. Med hjälp av dessa resultat kunde vridmomentet i punkt A, τ_A , erhållas.

$$\dot{\omega}(t) = k \quad (4.28)$$

$$\omega(t) = \int \dot{\omega} = kt \quad (4.29)$$

$$\alpha(t) = \int \omega = \frac{kt^2}{2} \Rightarrow \alpha(0,4) = k \frac{0,4^2}{2} = 0,5053 \Leftrightarrow k = 6,316 \quad (4.30)$$

$$\dot{\omega}(t) = 6,316 \text{ rad/s}^2 \quad (4.31)$$



Figur 4.19: Beskrivning av armen för att beräkna tröghetsmomentet med hjälp av armens tvärsnittsarea.

$$J_i = m_i \cdot \frac{h_i^2 + b_i^2}{12} \quad (4.32)$$

$$J_A = \sum J_i + m_i \cdot l_i^2, \quad i = B, C, D \quad (4.33)$$

$$\tau_A = J_A \cdot \dot{\omega} \quad (4.34)$$

Där ω_p = vinkelacceleration [m/s²]

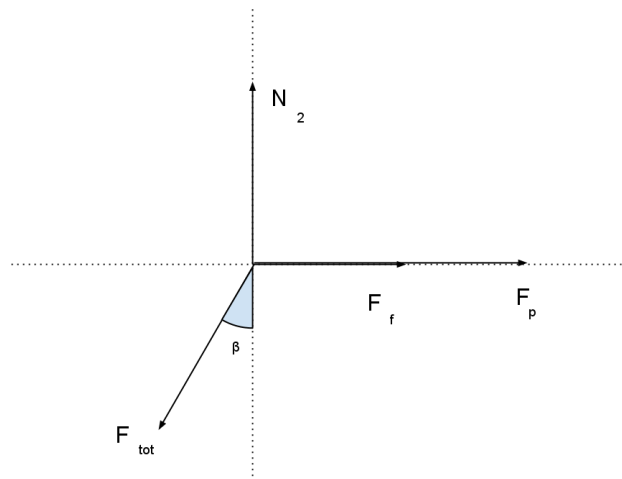
$$F_{dynamisk} = \frac{-\tau}{\cos(\frac{\pi}{2} - 2\alpha) \cdot l_B} \quad (4.35)$$

$$F_{Ax.dynamisk} = F_{dynamisk} \cdot \cos(\alpha) \quad (4.36)$$

$$F_{Ay.dynamisk} = F_{dynamisk} \cdot \sin(\alpha) \quad (4.37)$$

$$F_{tot} = F_{dynamisk} + F_{statisk} \quad (4.38)$$

- Krafter vid punkten E



Figur 4.20: Friläggnig av krafterna i punkt E (se figur 4.18).

$$\beta = \frac{\pi}{2} - \alpha \quad (4.39)$$

$$N_2 = F_{tot} \cdot \cos(\beta); \quad (4.40)$$

$$F_f = k \cdot x \quad (4.41)$$

$$F_p = F_{tot} \cdot \sin(\beta) - F_f \quad (4.42)$$

$$M = \Delta x \cdot N_2 \cdot 10^{-3} \quad (4.43)$$

Δx är slädens (punkt E) förändring i x-led, där $\Delta x = 0$ när $\alpha = 50^\circ$.

4.2.4.4 Ledarmen mellan armen och pneumatiken

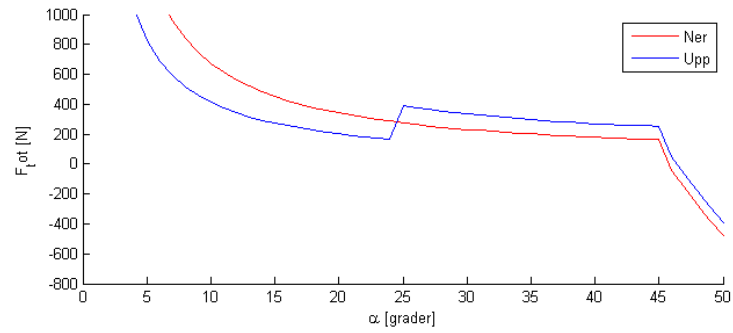
Eftersom ledarmen är placerad mellan pneumatiken och den övre delen av armen så utsätts den för både drag och tryck beroende på om armen dras upp eller trycks ner. Den maximala dragspänningen i stängen är 520 N och den maximala tryckspänningen är 840 N (se figur 4.21). Stångens radie är 4 mm. Dragspänningen (σ) och knäckningskraften (P_k) beräknades utifrån en ledarm i aluminium:

$$\sigma_{max} = \frac{F}{A} = \frac{520}{0,004^2 \pi} = 10,3 \text{ MPa} \quad (4.44)$$

$$I_y = \frac{\pi r^4}{4} \quad (4.45)$$

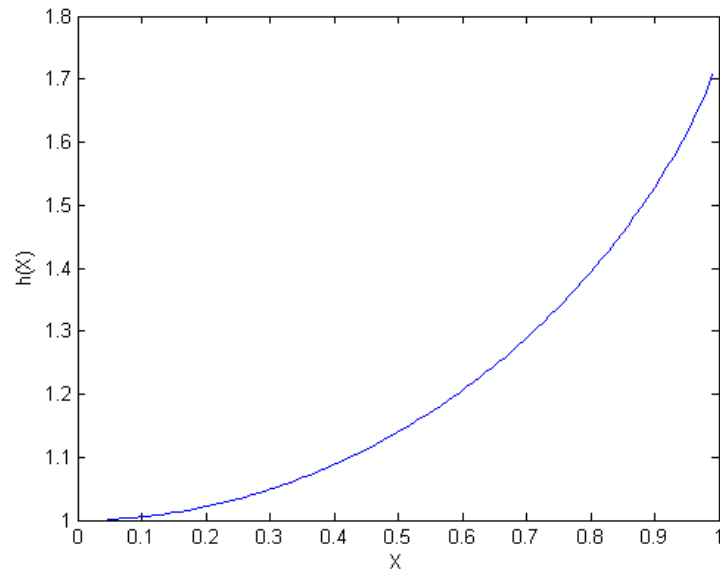
$$P_k = \frac{\pi^2 E_{alu} I_y}{l^2} = \frac{\pi^2 \cdot 70 \cdot 10^9 \cdot \frac{\pi \cdot 0,004^4}{4}}{0,2^2} = 3\,473 \text{ N} \quad (4.46)$$

$P_k > 840 \text{ N}$ därmed finns det ingen risk för knäckning. $\sigma_{max} < \sigma_{s.aluminium}$ vilket betyder att den maximala dragspänningen är långt under vad aluminium klarar av.



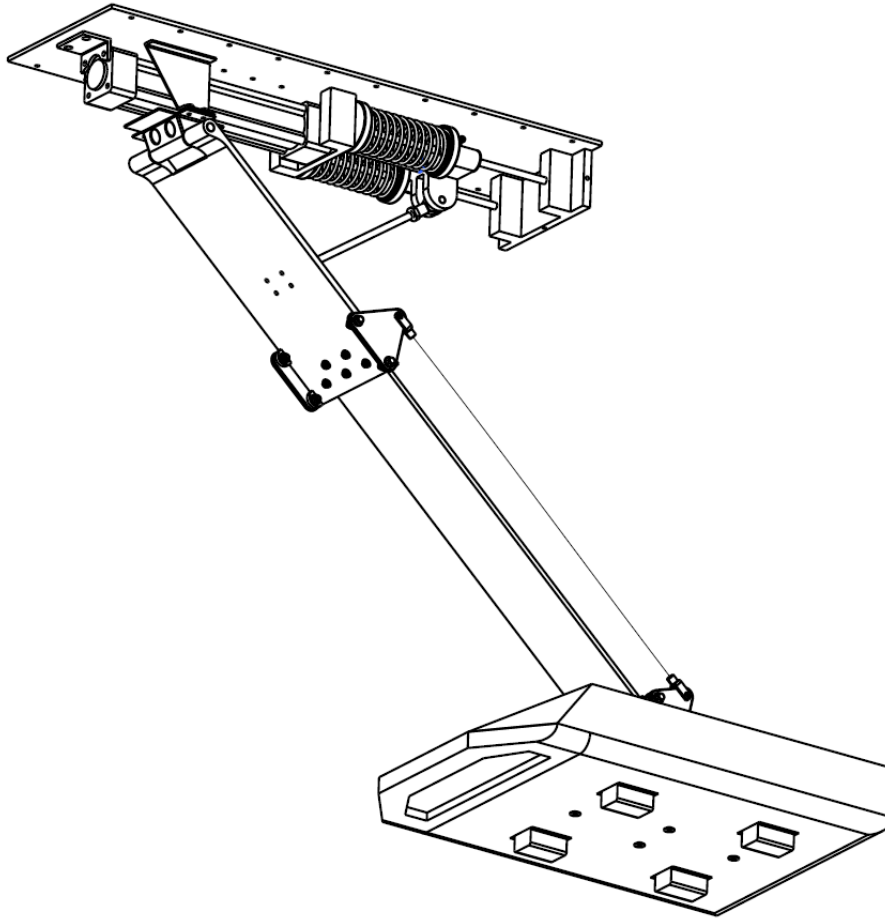
Figur 4.21: Den totala kraften i stängen i förhållande till ledarens vinkel $8^\circ \leq \alpha \leq 50^\circ$ vid uppdragning respektive nerfällning.

4.2.4.5 Skruvförband



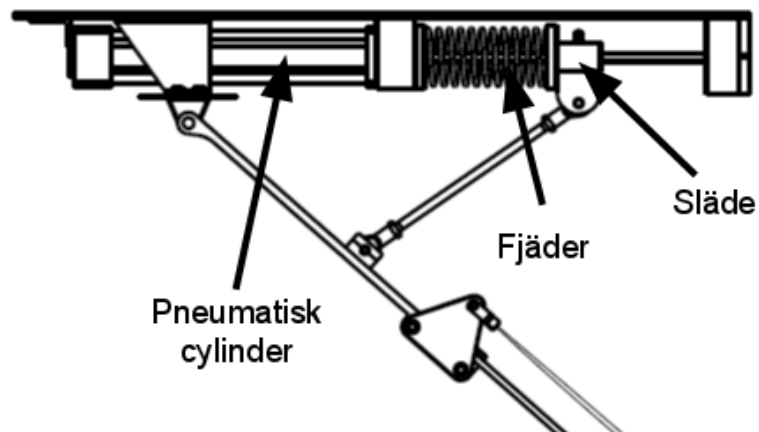
Figur 4.22: Grafen beskriver hur ytan mellan tryckplattan och mellanlägget ska utformas. Beräknad med ekvation 3.19.

4.2.5 Lyft- och tryckkonstruktion



Figur 4.23: Pick-up:en med perspektiv snett underifrån.

För att kunna dra upp och sänka ner armen konstruerades en pneumatisk linjärenhet (se figur 4.23). Ett krav som dök upp under ett av mötena på AB Volvo var att armen måste vara passivt uppe. Med passivt uppe menas att om mekanismen för att fälla ner armen slutar fungera ska armen automatiskt åka upp i utgångsläget (uppfälld under fordonet). För att åstadkomma detta användes två fjädrar längs de linjära axlarna. Beräkningar för krafterna som linjärenheten utsätts för genomfördes enligt nedan.



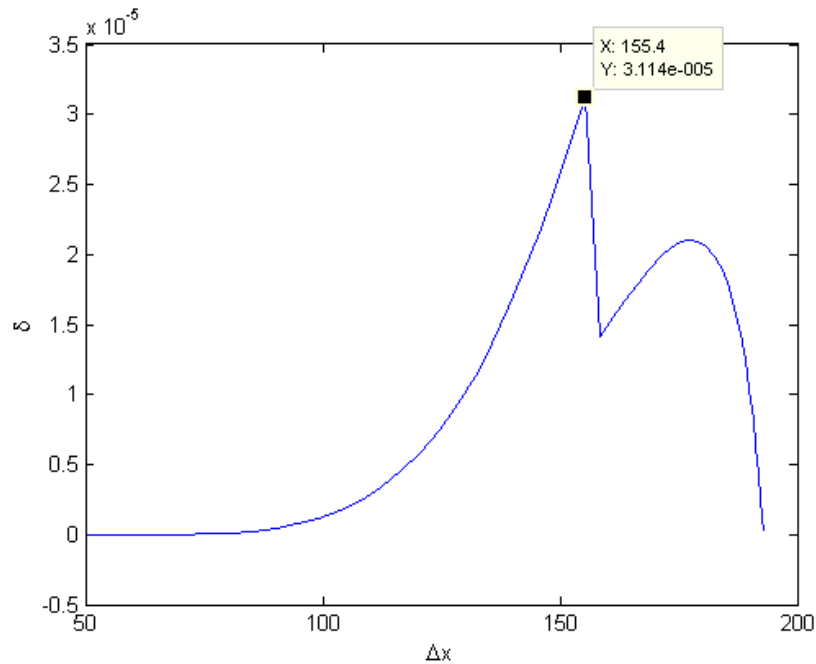
Figur 4.24: Pneumatisk linjärenhet för uppfällning av arm med dess släde, fjäder och pneumatiska cylinder.

4.2.5.1 Nerböjning av linjära axlar

För axlarna i den pneumatiska linjärenheten beräknades nerböjningen för att säkerställa att den inte sviktar för mycket, vilket skulle kunna leda till att glidlagerna kilar fast. Stål (se tabell 4.2) användes till axlarna.

Stål 141650-01	
ρ	7 780 kg/m ³
$E - Modul$	206 GPa
ν	0,3
σ_s	310 MPa
σ_b	590 MPa

Tabell 4.2: Stål

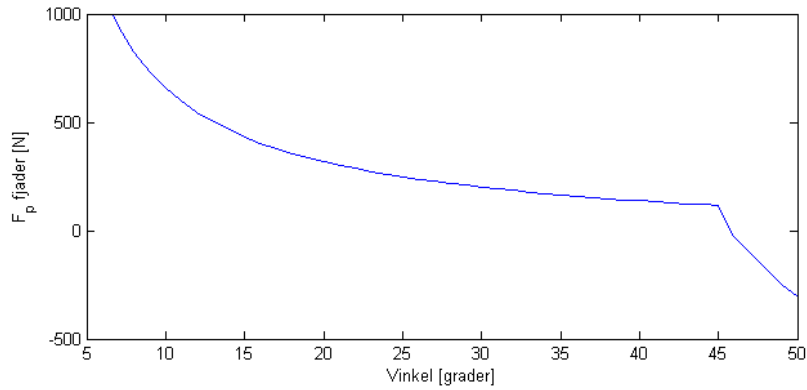


Figur 4.25: Nerböjningen δ (se figur 3.6) beroende på hur långt ut på axlarna släden är.

Resultatet från ploten i figur 4.25 visar att den största nerböjningen är 0,03 mm.

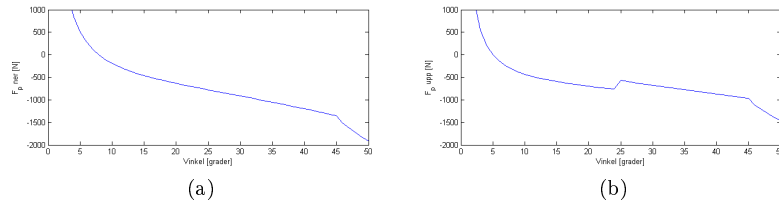
4.2.5.2 Dimensionering av fjädrar

För att dimensionera fjädrarna plotades kraften F_p (se figur 4.26). Eftersom fjäderkraften $F_f = kx$ medför det att när släden är längst ut, ($\alpha = 8^\circ$), måste fjädern vara förspänd med åtminstone 825 N. Vinkeln α är begränsat till att vara minst 8° , genom att släden når sitt ändläge, eftersom kraften går mot oändligheten då vinkeln går mot 0° . Två fjädrar (artikelnummer: 6273, se bilaga D) valdes ur ett standardsortiment från fjädertillverkaren Lesjöfors (Lesjöfors AB, u.å.).



Figur 4.26: Plot av F_p i förhållande till armens vinkel α , utan fjäderkraften F_f .

4.2.5.3 Dimensionering av pneumatik



Figur 4.27: 4.27a: Plot av F_p i förhållande till armens vinkel α vid nedfällning av kontaktskon. $\omega = 0,07 \text{ m/s}^2$. 4.27b: Plot av F_p i förhållande till armens vinkel α vid uppdragning av kontaktskon. $\omega = 6,3 \text{ m/s}^2$.

När fjädrarna var dimensionerade ansattes kraften från dem och kraften F_p beräknades igen. Detta gav resultatet i figur 4.27. En pneumatisk cylinder dimensionerades med hjälp av ploten i figur 4.27 och en produktkatalog (Parker-Origa, 2009), se bilaga C. Pneumatiken som valdes har vid 10 bar (det som finns i lastbilen) en drag-/tryckkraft på 2 805 N, vilket är mer än $|F_p|_{max} = 1 915 \text{ N}$.

AZ			5	063	-	0200	000	0	0	0	0	0	x	-00
----	--	--	---	-----	---	------	-----	---	---	---	---	---	---	-----

Tabell 4.3: Beställningsnummer för pneumatisk cylinder. För ytterligare information se bilaga C

Cylinderns hastighet behövde vara 0,25 m/s för att klara av kraven som angavs i 4.2.4.3. Detta resultat kommer från att sträckan (ΔX), som punkten E (se figur 4.18) flyttar sig för att på 0,4 s lyfta upp armen 24°, är 0,1 m.

Cylindern har en maxhastighet på 0,5 m/s vilket är dubbla hastigheten av vad som krävs.

4.2.6 Linjärenhet

4.2.6.1 Val av linjärenhet

För att utvärdera vilken metod som passade bäst för att röra armen linjärt i sidled, gjordes tabell 4.28 som jämför de olika metoderna mot varandra. Denna tabell användes som en riktlinje för att välja den mest lämpade lösningen. Enligt denna jämförelse placerade sig kulskruven bäst, då den låg bra till på många punkter. En av de avgörande punkterna var höjden på lösningen, då detta är en begränsande faktor för att rymmas i utrymmet under lastbilen, och därför prioriterades detta högt.

	Linjärmotor	Remdrift	Kulskruv
Vikt	0	0	0
Storlek	0	-	+
Infästning	-	0	0
Pris	-	0	0
Kraft	-	+	+
Hastighet	+	+	-
Acceleration	+	0	-
Robust	0	0	+
Smutstålig	-	0	0
Effektiv	+	0	0
Precision	+	-	+
Förslitning	+	-	+
Summa +	5	2	5
Summa 0	3	7	5
Summa -	4	3	2
Totalsumma	1	-1	3
Rangordning	2	3	1

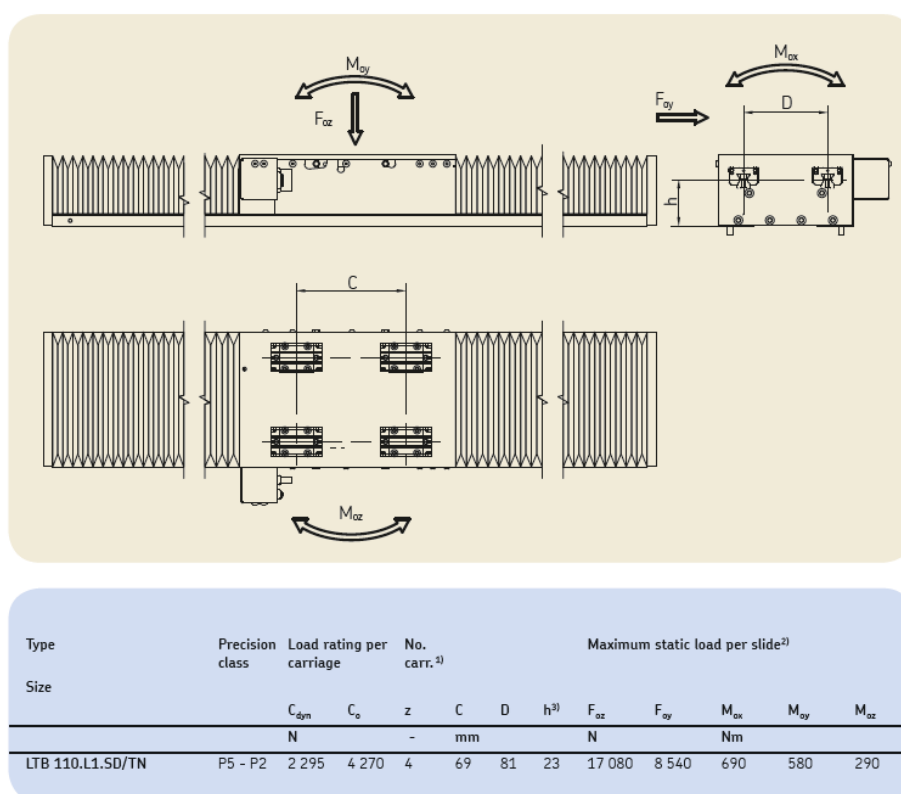
Figur 4.28: Jämförelsetabell mellan olika metoder för att generera en linjär rörelse.

Linjärmotorn valdes bort ganska snabbt då den både var dyr och var känslig mot magnetiska föremål och smuts. Eftersom detta är en produkt som ska placeras i hård miljö med mycket olja, vatten, smuts och andra föremål som kan hamna under en lastbil, fungerade inte linjärmotor som lösning utan ett ordenligt skydd. En hydraulisk linjärenhet var på tal eftersom lastbilen har ett hydraulsystem, men valdes bort för att inte inkräkta på detta. Anledningen till detta var

att inte introducera ytterligare möjliga felkällor i systemet, som kunde skapa säkerhetsproblem.

Det gjordes undersökningar på kompletta linjärenheter, med drift av rem eller kulskruv. Bland dessa var kulskruv den som lämpade sig bäst för den tänkta lösningen, då höjden var relativt låg och det finns linjärenheter som klarar det vridmoment M_{ox} armen ger upphov till. De linjärenheter med remdrift bygger mycket på höjden för att klara det vridmoment som krävs.

Linjärenheten som valdes är LTB 110.950.TN1210-SC från SKF. Denna rör sig längs två skenor och styrs av en kulskruv. Enheten har axlar som är 950 mm långa, vilket gav ett arbetsområde på 830 mm. För att skydda mot smuts och stötar har den ett stålhölje som inte påverkar längden på arbetsområdet. Mer data ges i tabell 4.4.



Figur 4.29: Linjärenhetens kraft- och momentupptagningsförmåga.



Figur 4.30: SKF110 utan stålhölje.

LTB 110.950.TN1210-SC	
l	830 mm
p	10 mm/varv
$v_{r.max}$	1 880 rpm
L	950 mm
H	47 mm
B	122 mm
m	6,0 kg

Tabell 4.4: Datauppgifter för linjärenheten från SKF (SKF, 2008).

4.2.6.2 Hastigheter

Från tabell 4.4 räknades den maximala hastigheten ut som går att åstadkomma i sidoförflyttningen enligt ekvation 4.47 och den minsta tid det tar att förflytta Pick-up:en från sida till sida enligt ekvation 4.48.

$$v_{max} = \frac{v_{r.max} \cdot p}{60 \text{ s}} = \frac{1880 \text{ rpm} \cdot 10 \text{ mm/varv}}{60 \text{ s}} = 313 \text{ mm/s} \quad (4.47)$$

$$t_{min} = \frac{l}{v_{max}} = \frac{830 \text{ mm}}{313 \text{ mm/s}} = 2,65 \text{ s} \quad (4.48)$$

För att utröna om linjärenheten är tillräckligt snabb måste denna jämföras med den snabbaste sidorörelse en lastbil kan tänkas göra. Om styrprincipen implementeras med att alltid centrera konduktorn till mitten av skenan så blir den vanligaste justeringen att förflytta konduktorn till mitten av kontaktskenan, från ett läge där den befinner sig vid dess ena kant. Om kontaktskenan är 50 mm bred och konduktorn 35 mm, blir den vanligaste förflyttningen 7,5 mm lång.

Om det skulle gå att göra med konstant topphastighet från linjärenheten skulle en sådan förflyttning ta 24 ms.

En av de snabbaste sidorörelser en lastbil gör, sker vid filbyte. Det uppskattades att ett filbyte innebär en sidorörelse på 4 meter som tar 5 sekunder. Om förflyttningen i sidled är lika snabb hela tiden innebär det att på 24 ms så har lastbilen förflyttat sig 19,2 mm, vilket är mer än det dubbla av linjärenhetens förflyttning vid topphastighet.

4.2.6.3 Motor

För styrning av linjärenheten krävdes en elektrisk likströmsservomotor för dess förmåga till hög precision (Östergrens Elmotor AB, 2008). För att kunna välja motor behövdes uppgifter om tröghetsmoment, vridmoment och vilka hastigheter som motorn behöver klara av. Tabell 4.5 beskriver de datauppgifter om linjärenheten som behövdes för att räkna ut de nödvändiga storheterna. Kulskruvens längd bedömdes att vara 10 % längre än linjärenhetens rörelselängd och den belastande massan som verkar på kulskruven beräknades till 10 % av Pick-up:ens vikt eftersom den mesta vikten tas upp av den bärande konstruktionen i linjärenheten.

Kulskruvens längd	l_s	913 mm
Kulskruvens diameter	d	12 mm
Kulskruvens massa	m_s	0,811 kg
Rotationshastighet	$v_{r.max}$	1 880 rpm
Stigning	p	10 mm/varv
Belastande massa	M	2,5 kg
Friktionskoefficient	μ	0,006
Utväxling	U	1

Tabell 4.5: Uppgifter om linjärenhet (SKF, 2008).

Tröghetsmomentet för kulskruv J_S och hela linjärenhet J_W med den belastande massan, räknades ut. Eftersom utväxlingen U , har satts till 1 så blir det belastande tröghetsmomentet för motorn $J_L = J_W$.

$$J_S = \frac{m_s \cdot d^2}{8} = \frac{0,811 \text{ kg} \cdot (12 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2}{8} = 1,460 \cdot 10^{-5} \text{ kgm}^2 \quad (4.49)$$

$$\begin{aligned} J_W = J_L &= M \cdot \frac{p^2}{2\pi^2} + J_S = 2,5 \text{ kg} \cdot \frac{10 \cdot 10^{-3} \text{ m/varv}^2}{2\pi^2} + 1,460 \cdot 10^{-5} \\ &= 2,093 \cdot 10^{-5} \text{ kgm}^2 \end{aligned} \quad (4.50)$$

Vridmomentet som uppstår på grund av friktion i kulsruven blir väldigt låg eftersom friktionskoefficienten (μ_S) för linjärenheten är liten, samt att den belastande vikten främst tas upp av den bärande konstruktionen. Däremot kommer friktionen mellan kontaktskon och kontaktskenorna ($\mu_K \cdot F_D$) bidra med mer:

$$\begin{aligned} T_W = T_L &= (\mu_S \cdot M \cdot g + \mu_K \cdot F_D) \cdot \frac{p}{2\pi} \\ &= (0,006 \cdot 2,5 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 + 0,18 \cdot 200\text{N}) \cdot \frac{10 \cdot 10^{-3} \text{ m/varv}}{2\pi} \\ &= 0,0575\text{Nm} \end{aligned} \quad (4.51)$$

För att beräkna vridmomentet då motorn accelererar T_A , bestämdes att motorn ska gå från stillastående till maxhastighet på $t_A = 0,1$ s.

$$T_A = J_L \cdot \frac{2\pi \cdot v_{r,max}}{60 \cdot t_A} = 2,093 \cdot 10^{-5} \text{ kgm}^2 \frac{2\pi \cdot 1880 \text{ rpm}}{60 \cdot 0,1 \text{ s}} = 0,041 \text{ Nm} \quad (4.52)$$

Det maximala momentära vridmomentet T_{max} som uppstår blir därmed:

$$T_{max} = T_L + T_A = 0,041 + 0,0575 = 0,099 \text{ Nm} \quad (4.53)$$

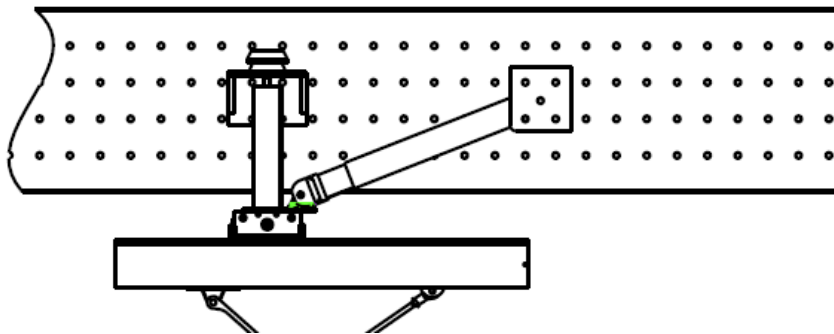
Med lite säkerhetsmarginal så bör motorn minst klara ett toppvridmoment T_{peak} :

$$T_{peak} = \frac{T_{max}}{0,8} = \frac{0,099 \text{ Nm}}{0,8} = 0,124 \text{ Nm} \quad (4.54)$$

Förutsättningarna för att hitta en motor var att den ska klara 0,124 Nm i toppmoment och 1 880 rpm i topphastighet. Eftersom detta inte är höga krav, valdes inte någon speciell motor ut.

4.2.7 Infästning i balkar

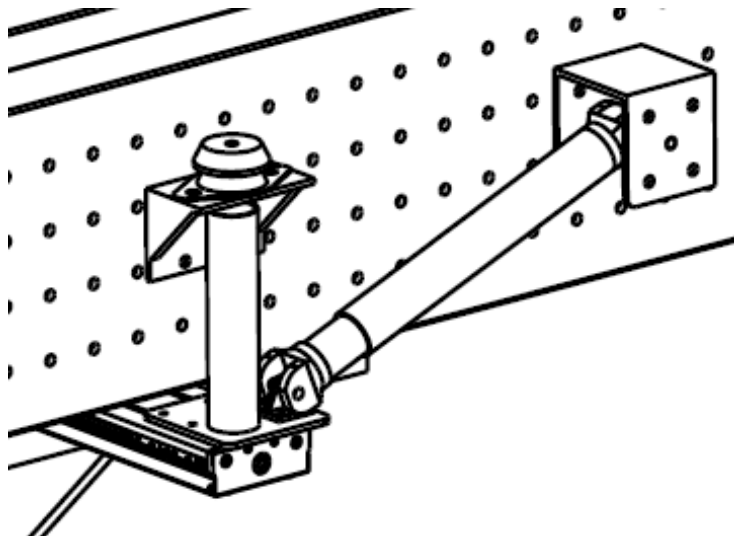
Pick-up-armen måste fästas i lastbilen på ett sätt som gör att den inte inkräktar på fordonets funktionalitet. Med andra ord får denna inte skapa inre spänningar i armen och balkar vid vridningar i karossen.



Figur 4.31: Infästningsanordning från sidan.

4.2.7.1 Konstruktion

Infästningen placerades på ett sätt som inte hindrar U-balkens funktionalitet, att vara vridbar, genom att placera infästningarna nära vridcentrum för balken (Sundström m.fl., 2000). De två infästningspunkterna (figur 4.31) på en balksida placerades på mitten av balkhöjden för att undvika interna spänningar i den enskilda balken. På var sida finns en ledad axel infäst, denna är ledad för att kunna kompensera för rörelser i den andra infästningen som förseddes med dämpare.



Figur 4.32: Infästningsanordning snett uppifrån.

4.2.7.2 Dämpare

För att undvika att skapa spänningar i balk och linjärenhet förseddes två av fästpunkterna (en per infästningssida) med dämpare som kan röra sig i höjdlid. Dessa är motordämpare från Trelleborg som är gjorda för att användas i den miljö som finns under lastbilen. Dessa dämpare är konstruerade för att klara belastningar i upp- och nedåtriktning, vilket behövdes i denna tillämpning. Den valda dämparen har betäckningen RAEM 40-40 , som klarar en belastning på upp till 30 kg per enhet (Trelleborg Industrial AVS, 2003).

5 Slutsatser

Målet med arbetet var att utveckla en mekanisk Pick-up för montering på lastbil. Under produktutvecklingsfasen togs en kravlista fram för vilka egenskaper som var viktiga för produkten. Den fungerade som underlag vid konceptvalet men är även användbar i framtida arbeten, som vid prototyp tillverkning och testning. Med hjälp av Ulrich och Eppingers (2008) urvalsmetod valdes det bästa konceptet utav de lösningsförslag som genererades, för vidare utveckling och konstruktionsarbete.

En Pick-up konstruerades för montering på lastbil, som kan ansluta till kontaktskenor i en vägbana, med syfte att ta upp elektrisk energi. Pick-up:en har följande egenskaper:

- Förmåga att detektera när konduktorn är på väg att tappa kontakt med skenorna och kompensera för detta genom att flytta Pick-up:en i sidled. På så sätt upprätthålls en kontakt med skenorna även då lastbilen kränger under körning.
- Förmåga att röra sig upp och ner för att koppla in och ut på kontaktskenorna. Pick-up:en kan snabbt kopplas ur om större hinder upptäcks på vägbanan och därmed går det att undvika att armen och kontaktskon skadas.
- Med hjälp av en flexibel del i armen kan den ta upp oönskade vertikala rörelser som sker då lastbilen kränger. Därmed upprätthålls en kontakt med spåret och ström kan fortsätta ledas upp i lastbilen.
- Den är passivt uppfälld, vilket innebär att om lyftanordningen slutar att fungera så fälls armen upp under fordonet. Detta för att undvika att kontaktskon inte går att hissa upp och därmed ligger och släpar i marken.
- Konstruktionerad för att klara av en tuff miljö under lastbilen.

6 Diskussion

Målet med att bygga en prototyp nåddes inte på grund av tidsbrist vilket berodde på flera anledningar. Konceptgenereringsfasen gjordes mycket noga vilket fick som konsekvens att den tog mer tid i anspråk än vad som var initialt planerat. Beslutet att göra konceptgenereringen noggrant togs för att produktförslaget skulle var väl genomarbetat. Det var bra att följa en strukturerad utvecklingsprocess men det hade varit intressant att ha med slutkundernas tankar i detta avsnitt, eventuellt hade fler behov mynnats ut ur detta. Utvecklingsarbetet för armen gick i många iterationer vilket också tog mer tid är förväntat.

Mycket tid lades på litteraturstudier för att uppgiften till en början bara var angripbar från ett helhetsperspektiv och en principiell helhetslösning söktes. Först efter andra mötet på AB Volvo, där vi visade våra koncept, kunde vi börja med detaljkonstruktionen. Detta mötet borde ha ägt rum tidigare men på grund av semestrar drog det ut på tiden. Själva konstruktionen tog också längre tid än planerat, detta till en början på grund av hård- och mjukvarubrist, senare för att ett nytt kundkrav på lyftanordningen skulle tillgodoses. Detta var att anordningen skulle klara av att passivt lyfta upp armen. Även ett önskemål om att den skulle vara pneumatisk tillkom. Eftersom vi var så långt in i utvecklingsfasen fick många uträkningar, dimensioneringar och konstruktioner förkastas och göras om på nytt. Då dessa krav inte hade vägts in i urvalsprocessen är det svårt att veta hur det hade påverkat valet av konceptlösning.

Beräkningarna för glasfiberdelen av armen är approximativa och drag- och böjprov behöver utföras på testbitar. Detta för att kunna bestämma exakt vilka fiberriktningar och vilket förhållande det ska vara mellan fiber och matris. För att erhålla högre slagåtlighet i armen skulle dess yttersta lager kunna bestå av armidfiber, då armiden är mycket slagsegt. Ett annat alternativ är att tillverka en bälg som innesluter hela armen och kablarna.

Eftersom armens konstruktion bygger på att den är fjädrande och flexibel ställdes samma krav på kraftkabeln. Kabeln skulle ha stor tvärsnittsarea samtidigt som den skulle vara flexibel, detta är i vanliga fall två motsatser. Dimensionering av kabeln gjordes efter specifikationer på svetskabel men detta område behöver mer beräkningar och utveckling. Ett alternativ till svetskablar är att använda platt, flätad kabel, liknande litztråd, som skulle vara inbyggd i armen. Då kompositmaterial är känsligt för höga temperaturer är detta något som måste testas först innan man går vidare med detta.

Dimensioneringen av kablar som egentligen inte var en del av examensarbetet, tog mycket tid. Speciellt för att vi fick uppgifter från en leverantör att vi behövde kablar med en vikt på 12-20 kg vilket skulle påverka hastighet och storlek på lösningen. Utöver detta ingick inte heller utvecklandet av konduktorn. Men eftersom vi ansåg detta vara en viktig del av arbetet som behövde undersökas för att få de andra delarna gjorda, konstruerades denna ändå.

Att ta fram en kravspecifikation för ett helt nytt koncept där liknande produkter inte existerar är en stor uppgift som kräver mer än 20 veckors utveckling, då detta är ett väldigt omfattande koncept. De största svårigheterna ligger i att identifiera vilka behov och delproblem som är viktigast. Därför blir det ofta att beslut tas på magkänsla, där den lösning som flest personer är positiva till vinner. Behoven får sedan uppfyllas allt eftersom konstruktionen tar form och det är inte alls säkert att det är de behov som på förhand bedömts som viktigast som prioriteras först, när konstruktionsarbetet tar sin början. Många behov kan istället tillgodoses när det finns en principkonstruktion och olika delar kan bytas ut eller förbättras.

Det hade varit intressant göra en ny specifikation med utgångspunkt från den principkonstruktion som skapades för att specifikt avgöra vad den ska klara av. Med en konstruktion som referens är det lättare att se vad som är möjligt att åstadkomma.

Att inte ha tillgång till en CAD-model eller ritning av lastbilen från början gjorde att infästningen till fordonet blev en principiell lösning som kan behöva ändras. Även bristen på information om exakt var under lastbilen Pick-up:en ska sitta gjorde att lösningen blev mer allmän. En fördel hade varit om man hade haft närmare tillgång till en lastbil för att kunna gå ut och titta eftersom det under lastbilen sitter många saker som måste tas hänsyn till.

6.1 Framtida arbeten

En framtida förbättring vore att konstruera två identiska armar istället för en. Dessa ska gå parallellt för att säkerställa att kontaktskon alltid är horisontell mot kontaktskenan.

En bättre prestanda på linjärenheten för sidledsförflyttning vore önskvärt eftersom enheten med kulskruv är långsam. Rem eller pneumatik är två alternativ som skulle kunna ersätta kulskruv för att erhålla ökad snabbhet och antagligen få en lägre tillverkningskostnad. En sådan linjärenhet måste konstrueras på egen hand för att ta givna krafter och moment och samtidigt ha en låg profil.

Det går också att undersöka om man skulle kunna göra lyftanordningen och linjärenheten mer kompakt och lägre. Om man gör en noggrannare studie av hur en lastbils rörelsemönster ser ut skulle man kunna undersöka om det gick att ha linjärenheten upp i mellan ramverket och till exempel kardanaxel. Detta fungerar bara om rörelserna över tiden i sidled inte är för stora. Vi valde dock att i det här arbetet välja en linjärenhet med en räckvidd på ca 0,8 meter.

Ett återstående problem är att reda ut hur kabeln ska ledas från Pick-up:en upp i lastbilen eftersom kabeln måste vara följsam i Pick-up:ens horisontella rörelser.

Till slut så återstår också arbete med positioneringen när val av linjärenhet och utformning av kontaktskenorna är klara. En idé om att dra en extra ledning längs med spåret för enbart positionering har diskuterats. Där vore det möjligt att sända en högfrekvent signal som kontaktskon kan positionera sig efter med hjälp av induktiv teknik. Det skulle bland annat hjälpa till att lägesbestämma Pick-up:en vid nersänkning.

Litteraturförteckning

- ABB Robotics. IRB 120 industrial robot. Hämtad 19 Juni, 2011, från [http://www05.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/cfbd8a5e952e11f7c1257832004eecfe/\\\$file/ROB0149EN_B\%20LR.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/cfbd8a5e952e11f7c1257832004eecfe/\$file/ROB0149EN_B\%20LR.pdf), u.å.a.
- ABB Robotics. IRB 360 FlexiPicker industrial robot. Hämtad 19 Juni, 2011, från [http://www05.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/e4712d3c88fd9240c125772e005b361b/\\\$file/IRB\%20360\%20ROB0082EN_E.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/e4712d3c88fd9240c125772e005b361b/\$file/IRB\%20360\%20ROB0082EN_E.pdf), u.å.b.
- Alstom Transport. Rail infrastructure - Delivering lifecycle solutions. Hämtad 2 nov, 2011, från <http://www.alstom.com/assetmanagement/DownloadAsset.aspx?ID=f7add961-d83a-465f-9e17-8d9b92983e02&version=b7409603d70e4617a8c6ad782e90cb2f5.pdf&lang=2057>, 2008.
- Alstom Transport. Bovenleidingsloze tractie. Hämtad 16 jun, 2011, från <http://www.ti.kviv.be/spoor2presentatie/public/Presentaties%20Module%202/KVIV%20Spoortechnieken%20-Yves%20Carels%2020110217%20p21-43.pdf>, feb 2011.
- Ansaldo. TramWave - ground-level power supply system. Hämtad 17 jun, 2011, från http://www.vialibre-ffe.com/PDF/4462_Tramwave.pdf, u.å.
- Atmel. Atmega16 data sheet. Hämtad 3 okt, 2011, från http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2466.pdf, 2010.
- Baldor. Linear Motors and Stages. Hämtad 15 September, 2011, från http://www.baldor.com/support/literature_load.asp?LitNumber=BR1202-G, jun 2009.
- Bjarnehed, Hans. *Contact Loading on Stressed Orthotropic Half-Plane*. Doktorsavhandling, Chalmers tekniska högskola, 1991.
- Bombardier Transportation. PRIMOVE - Contactless and Catenary-Free Operation. Hämtad 20 juni, 2011, från http://www.bombardier.com/files/en/supporting_docs/BT-EC04-PRIMOVE.pdf, sept 2010.
- Dressler, I., Haage, M., Nilsson, K., Johansson, R., Robertsson, A., och Brogardh, T. Configuration Support and Kinematics for a Reconfigurable Gantry-Tau Manipulator. I: *Robotics and Automation, 2007 IEEE International Conference on*, ss 2957 -2962, april 2007.

- Eland. H01N2-D Welding Cable. Hämtad 14 nov, 2011, från <http://www.eland.co.uk/documents/H01N2DCables.pdf>, u.å.
- Fargo Controls Inc. Inductive Sensor Operating Principles. Hämtad 10 nov, 2011, från http://www.fargocontrols.com/sensors/inductive_op.html, 2011.
- Google Scholar. <http://scholar.google.se>, 2011.
- HM Wire International Inc. Litz Wire Applications. Hämtad 9 nov, 2011, från <http://www.litz-wire.com/applications.html>, 2007.
- Hultman, Jan och Bjarnehed, Hans. *Styvhet och styrka, Grundläggande kompositmekanik*. Studentlitteratur, 1993.
- KAIST. On-Line Electric Vehicle. Hämtad 3 nov, 2011, från <http://eews.kaist.ac.kr/test/MHOLEV/D.0LEVBrochure.pdf>, 2009.
- Kopeliovich, Dmitri. Estimations of composite materials properties. Hämtad 23 Okt, 2011, från http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=estimations_of_composite_materials_properties, juli 2010.
- Lennartson, Bengt. *Reglerteknikens grunder*. Studentlitteratur, 4:6 utgåvan, 2002.
- Lesjöfors AB. Tryckfjäder SS2378-2. Hämtad okänt datum, från http://www.lesjoforsab.com/standard-fjadrar/29-33_sv_id1057.pdf, u.å.
- LibHub. <http://libhub.sempertool.dk>, 2011.
- Lindstedt, Gunnar. lektor vid institutionen för industriell elektroteknik och automation. Intervju 2011-08-24, 2011.
- Ljung, Christer, Ottosen, Niels S., och Ristinmaa, Matti. *Introduktion till hållfasthet, enaxliga tillstånd*. Studentlitteratur, 2007.
- LTH Productive Robotics Lab. <http://www.robot.lth.se>, 2011.
- Nationalencyklopedin. fiberkomposit. Hämtad 31 Okt, 2011, från <http://www.ne.se/fiberkomposit>, oktober 2011a.
- Nationalencyklopedin. kolfiber. Hämtad 02 Nov, 2011, från <http://www.ne.se/lang/kolfiber>, november 2011b.
- Nationalencyklopedin. tryckluftsteknik. Hämtad 05 December, 2011, från <http://www.ne.se/lang/tryckluftsteknik>, dec 2011.
- Parker-Origa. Piston Rod Cylinders Bellows Cylinders. Hämtad 22 November, 2011, från http://www.sick.com/group/EN/home/products/product_news/industrial_sensors/Pages/ima_inductiv_analog_sensors.aspx, jul 2009.
- Patent och registreringsverket. esp@cenet. <http://se.espacenet.com>, 2011.
- Performance Composites Ltd. Filament Winding, Carbon Fibre Types in Composite Tubes. Hämtad 02 Nov, 2011, från <http://www.performance-composites.com/carbonfibre/fibretypes.asp>, november 2009a.

- Performance Composites Ltd. Mechanical Properties of Carbon Fibre Composite Materials. Hämtad 02 Nov, 2011, från http://www.performance-composites.com/carbonfibre/mechanicalproperties_2.asp, november 2009b.
- Reijm, Marten. Trafikverket. Korrespondens via e-post 2011-09-16, 2011.
- Schunk Bahntechnik GmbH. Current Collection Systems. Hämtad 29 sept, 2011, från <http://www.schunk-group.com/sixcms/media.php/1702/10-04e.pdf>, u.å.
- SICK. IMA Inductive analog sensors. Hämtad 16 September, 2011, från http://www.sick.com/group/EN/home/products/product_news/industrial_sensors/Pages/ima_inductiv_analog_sensors.aspx, nov 2010.
- SKF. Profile Rail Guide Slides. Hämtad 5 September, 2011, från <http://www.skf.com/files/871242.pdf>, nov 2008.
- Östergrens Elmotor AB. Elektriska motorer och drivsystem. Hämtad 26 September, 2011, från <http://www.ostergrens.se/upload/Serviceochtjänster/Elmotorerochdrivsystemsep08.pdf>, sep 2008.
- Sundström, Bengt. *Handbok och formelsamling i Hållfasthetslära*. Institutionen för hållfasthetslära KTH, 2007.
- Sundström, John, Bjärnemo, Robert, och Andersson, Per-Erik. *Konstruktiv utformning Del 1: Syntes*. Lunds tekniska högskola, 2000.
- Transtech. Current collecting components. Hämtad 22 Juni, 2011, från <http://www.transtech.com/images/stories/documents/Current\%20Collectors.pdf>, u.å.
- Trelleborg Industrial AVS. Produkt industri katalog. Hämtad 15 November, 2011, från http://www.trelleborg.com/upload/IndAVS/Files/Full%20catalogs/Swedish%20cat_2003_low.pdf, 2003.
- Ulrich, Karl T. och Eppinger, Steven D. *Product Design and Development*. McGraw-Hill, 4 utgåvan, 2008.
- Viebke, Lars. Armeringsfibrer. Hämtad 02 Nov, 2011, från http://www.carbontrikes.se/komposit/fibrer.htm#_Toc46487829, maj 2011a.
- Viebke, Lars. Fiberkompositlaminering. Hämtad 02 Nov, 2011, från <http://www.carbontrikes.se/komposit/>, maj 2011b.
- Westlund, Roger. Morgan AM&T. Korrespondens via e-post 2011-09-21, 2011.
- Zucca, Matteo. Stream. Hämtad 22 aug, 2011, från <http://www.tpltrieste.it/it/stream.htm>, u.å. TPL Trieste är en hemsida som behandlar kollektivtrafiken i staden Trieste.

A Exjobb beskrivning

Pick Up Exjobb

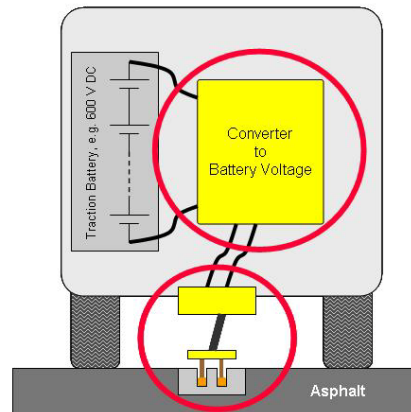
1 (2)

Beskrivning av examensarbete

Design av "Pick Up" för Slide In - laddning av tunga fordon

Bakgrund

Mycket tyder på att framtidens energiförsörjning av tunga fordon måste vara elektrisk energi. Batteriers energilagring förmåga är en allvarlig begränsning och idag pågår många projekt världen över som syftar till att överföra elenergi från vägbanan till fordonet under drift. Två principer tillämpas, endera konduktiv eller induktiv överföring. AB Volvo deltar i ett utvärderingsprojekt av konduktiv överföring. Förutsättningen är att vägbanan är belagd med 2...3 kontaktskenor, belägna precis i vägytan och tillsammans omfattande en bredd på c:a 20...50 cm. I fordonet skall det finnas en anordning som kan sänka ned ett släpkontaktstycke så att det positioneras över vägens skenor och anläggs mot dessa med en viss kraftverkan. Positioneringen av kontaktstycket skall kompensera för variationer av fordonets laterala position på vägbanan. Anläggningskraften skall kompenseras för ojämnheter i vägbanan samt fjädringsrörelser hos fordonet. Anordningen som helhet skall kunna lyfta kontaktstycket snabbt för att kunna hoppa över större hinder på vägbanan samt kunna motstå krockar i upp till 100 km/h med mindre föremål på vägbanan. Detta examensarbete avser utvecklingen av den mekanism som positionerar och anlägger kontaktstycket mot vägens spår.



Mål

- En specifikation av kraven på mekanismens fysiska utrymmesbegränsningar, positionerings-noggrannhet, anläggningskraft, snabbhet samt tålighet mot krockar med mindre föremål.
- En utredning av olika tekniska lösningar som kan tänkas uppfylla de ställda kraven
- Detaljkonstruktion av en vald teknisk lösning.
- En prototyp enligt den gjorda konstruktionen.
- Provkörning och verifiering av den tillverkade prototypen

Innehåll

- | | |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| • Datensamling för specifikation (samtal inom Volvo samt egna beräkningar) | 1v |
| • Brainstorming av tänkbara lösningsprinciper | 2v |
| • Val av lösning för implementering | 1v |
| • Konstruktion | 5v |
| • Prototyp tillverkning | 6v |
| • Provkörning och verifiering | 5v |

Pick Up Exjobb

2 (2)

Tidplan

Start: Juni 2011

Slut: December 2011

Examensarbetare

Johan Ljung

Morgan Johansson

Per Josefsson


Handledare:

LTH: Gunnar Lindstedt

Volvo: Mats Alaküla

B Datablad SICK sensor

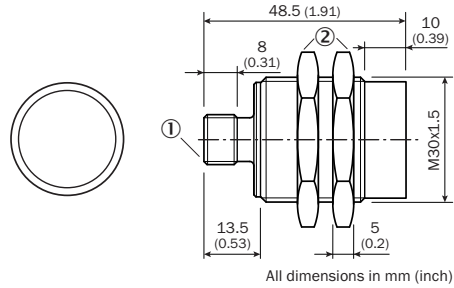
IMA30-40NE1ZCOK Inductive sensor

 **Sensing range**
0 ... 40 mm

Inductive sensor

- Analog output 4 ... 20 mA
- Analog output 0 ... 10 V

Dimensional drawing



- ① Connection
- ② Fastening nuts (2 x), width across 36 mm, metal



Connection type

IMA30-40NE1ZCOK



M12, 4-pin



Accessories

- Cables and connectors
- Mounting systems

Technical data		IMA30-	40NE	1ZCOK											
Sensing range s_d	0 ... 40 mm														
Repeat accuracy¹⁾	0.6 mm ²⁾														
Repeat accuracy ($T_A = \text{constant}$)	± 0.1 mm														
Resolution	≤ 10 μm														
Supply voltage V_S	15 ... 30 V DC														
Ripple U_{pp}	≤ 20 % ³⁾														
Output voltage at Q_{A1}	s = 0 mm 0 V/ - 0 + 0.4 V (23 °C)														
	s = 20 mm +5.2 V/ ± 0.4 V (23 °C)														
	s = 40 mm +10 V/ ± 0.4 V (23 °C)														
Load at voltage output Q_{A1}	≤ 10 mA														
Output current at Q_{A2}	s = 0 mm 4 mA/ ± 0.8 mA (23 °C)														
	s = 40 mm 20 mA/ ± 0.8 mA (23 °C)														
Max. load at current output Q_{A2}	400 Ω ($U_b = 15$ V)/1 k Ω ($U_b = 30$ V)														
No-load supply current⁴⁾	≤ 12 mA														
Bandwidth	100 Hz ⁵⁾														
Time delay before availability	≤ 50 ms														
Temperature drift, of s_r	≤ 10 %														
Connection type	Connector M12, 4-pin														
Enclosure rating	IP 67 ⁶⁾														
Short-circuit protection	✓														
Reverse polarity protection	✓														
Cable length	300 m max.														
Ambient temperature T_A															
	load at Q_{A1} , no load at Q_{A2} -25 ... +70 °C														
	no load at Q_{A1} , load at Q_{A2} See temperature derating														
Housing material	Brass nickel-plated, PBTP														

1) According to IEC 60947-5-2

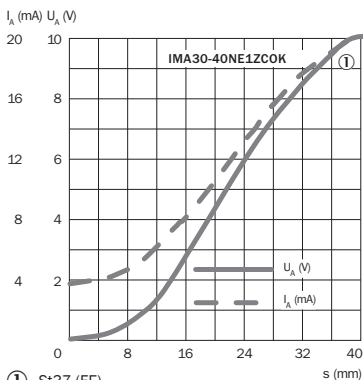
2) $U_b = 20 \dots 30$ V DC, $T_A = 23 \text{ °C} \pm 5 \text{ °C}$

3) Of U_b
4) Without load

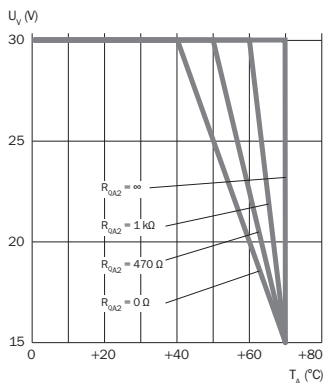
5) -3 dB at $s = 20$ mm

6) According to EN 60529: 2000-09

Response curve	Temperature derating	Ordering information
		Model name IMA30-40NE1ZCOK
		Part no. 6041796



① St37 (FE)



Reduction factor R_M

The following are reference values, which may vary from type to type:

Steel (FE360)	1
Stainless steel (V2A)	Approx. 0.80
Aluminium (Al)	Approx. 0.40
Copper (Cu)	Approx. 0.40
Brass (Ms)	Approx. 0.50

C Pneumatisk cylinder och infästning

Formula	$F = p \cdot A - R$
Symbol	Description
A	Piston area
p	Pressure in bar
R	Friction ca. 10%

¹⁾ Air consumption when charging in dm³/100 mm stroke. The tube volume must also be taken into consideration. The given figures relate to piston area A.

The figures for piston area B change proportionally with the piston areas A to B.

A = Piston area - piston side
B = Piston area - piston rod side



Piston Force and Air Consumption for Standard Cylinders

		Piston diameter (mm)																
		8	10	12	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	320
Piston area * (cm ²)	A	0.5	0.8	1.1	2.0	3.1	4.9	8.0	12.6	19.6	31.2	50.0	78.0	122.7	201.0	314.1	490.8	804
	B	0.38	0.65	0.85	1.7	2.6	4.1	6.9	10.6	16.5	28.0	45.4	73.6	114.7	188.5	301.5	471.2	773
Approx. piston force (kN) at ... bar	1	0.0045	0.007	0.010	0.018	0.028	0.044	0.072	0.113	0.176	0.281	0.452	0.706	1.104	1.809	2.827	4.417	7.236
	2	0.0090	0.014	0.020	0.036	0.056	0.088	0.144	0.226	0.353	0.561	0.905	1.413	2.209	3.619	5.654	8.835	14.476
	3	0.0135	0.021	0.030	0.054	0.084	0.132	0.217	0.339	0.530	0.842	1.357	2.120	3.313	5.428	8.482	13.253	21.715
	4	0.0180	0.028	0.040	0.072	0.113	0.176	0.289	0.452	0.707	1.122	1.809	2.827	4.417	7.238	11.309	17.671	28.953
	5	0.0225	0.035	0.050	0.090	0.141	0.220	0.362	0.565	0.884	1.402	2.262	3.534	5.522	9.407	14.137	22.089	36.191
	6	0.0270	0.042	0.060	0.108	0.169	0.265	0.434	0.678	1.060	1.683	2.714	4.241	6.626	10.857	16.964	26.507	43.429
	7	0.0315	0.049	0.070	0.126	0.197	0.309	0.506	0.792	1.237	1.963	3.167	4.948	7.731	12.666	19.792	30.952	50.652
	8	0.0360	0.056	0.080	0.144	0.226	0.353	0.579	0.905	1.414	2.244	3.619	5.654	8.835	14.476	22.619	35.342	57.788
	9	0.0405	0.063	0.090	0.162	0.254	0.397	0.651	1.018	1.590	2.524	4.071	6.361	9.940	16.286	25.447	39.760	65.124
	10	0.0450	0.070	0.100	0.180	0.282	0.441	0.723	1.131	1.767	2.805	4.523	7.068	11.044	18.095	28.274	44.178	72.360
Approx. air consumption (dm ³ /100 mm stroke at ... bar) Figures are valid for piston area A (see symbol)	1	0.010	0.016	0.02	0.04	0.06	0.09	0.18	0.30	0.46	0.71	1.20	1.90	2.65	4.60	6.90	10.80	16.50
	2	0.015	0.024	0.03	0.06	0.09	0.14	0.27	0.43	0.69	1.00	1.85	2.85	4.10	6.90	10.40	16.30	24.50
	3	0.020	0.032	0.04	0.08	0.12	0.19	0.36	0.58	0.92	1.40	2.45	3.80	5.50	9.20	13.90	21.80	32.50
	4	0.025	0.040	0.05	0.10	0.15	0.24	0.45	0.72	1.15	1.75	3.00	4.75	6.95	11.50	17.40	27.20	40.50
	5	0.030	0.048	0.06	0.12	0.18	0.29	0.55	0.86	1.40	2.10	3.65	5.70	8.40	13.80	20.90	32.70	48.00
	6	0.035	0.056	0.07	0.14	0.21	0.34	0.65	1.00	1.60	2.50	4.25	6.60	9.70	16.00	24.40	38.20	56.50
	7	0.040	0.064	0.08	0.16	0.25	0.39	0.73	1.15	1.80	2.85	4.85	7.60	11.15	18.30	27.90	43.70	64.50
	8	0.045	0.072	0.09	0.18	0.28	0.41	0.82	1.30	2.00	3.20	5.45	8.50	12.55	20.60	31.50	49.20	72.50
	9	0.050	0.080	0.10	0.20	0.31	0.49	0.90	1.45	2.30	3.55	6.10	9.50	14.00	22.90	35.00	54.60	80.50
	10	0.055	0.088	0.11	0.22	0.34	0.53	1.00	1.60	2.50	3.90	6.40	10.40	15.40	25.20	38.50	60.10	89.00

For piston rod load diagram see pages 10-13

Standard Cylinder Ø 32-100mm

to ISO 15552
(ISO 6431)
VDMA 24562 and
CETOP RP43P

Series AZ....

Versions:

- double acting with cushioning
- for contactless position sensing
- ATEX-Version (Ex)

Special Versions:

- Viton version for high temperature range (+150°)
- With through piston rod
- With additional piston rod
- With locking unit
- Version H for hydraulic operation ($p_{max} = 10$ bar)
- Tie rod version
- With metal wiper
- Various piston rod extensions
- Various piston rod materials
- With adaptor plate for valve mounting

The delivery includes:

- 1 Cylinder
- 1 Hexagon nut for piston rod thread

Magnetic switches are not included - please order these separately.



Characteristics

Characteristics	Symbol	Unit	Description
General Features			
Type			Cylinder
Series			AZ
System			Piston rod cylinder
AZ5..., AZZ5...			Double acting with cushioning
AZZ5.../.../.....			Multi position cylinder
AZD5...			With through piston rod Double acting with cushioning
AZV5...			Non-rotating Double acting with cushioning
AZ35...			Non-rotating, with through piston rod, double acting with cushioning
AZ45...			Non-rotating, with through piston rod, double acting with cushioning
Mounting			See drawing
Tube connection			Thread
Ambient temperature range	T_{min} T_{max}	°C	-20 +80
Medium temperature range	T_{max}	°C	+80
			Note: When using below freezing point (°C) it is necessary to consult us
Weight (mass)		kg	See table
Installation			In any position
Medium			Filtered and lubricated or filtered and unlubricated compressed air
Lubrication			Oil mist lubrication compatible with Buna N
Material			
Cylinder tube			Aluminium, anodized
Front/Rear end caps			Cast Aluminium
Piston rod			Steel, high-alloy - Series AZ Steel, hard-chrome plated - Series AZV
Pneumatic Characteristics			
Nominal pressure	p_n	bar	6
Operating pressure range	p_{min} p_{max}	bar bar	0,5 10
Piston diameter		mm	32 40 50 63 80 100
Port size			G1/8 G1/4 G1/4 G3/8 G3/8 G1/2
Piston rod diameter			
Series AZ		mm	12 16 20 20 25 25
Series AZV		mm	8 10 12 16 20 20
Piston rod thread			M10 M12 M16 M16 M20 M20 x1.25 x1.25 x1.5 x1.5 x1.5 x1.5
Stroke length		mm	For standard stroke lengths see order instructions max. 2000mm, longer strokes on request
Piston force and air consumption			See page 9
Compression force AZV*	N		430 680 1060 1680 2714 4240
AZ3*	N		374 570 890 1510 2464 4002
AZ4*	N		380 590 940 1466 2375 3900
Tensile force AZV*	N		380 590 940 1466 2375 3900
AZ3*	N		380 590 940 1466 2375 3900
AZ4*	N		380 590 940 1466 2375 3900
Cushioning		mm	At both ends, infinitely variable
Cushioned stroke Series AZ		mm	23 23 23 23 37 37
Cushioned stroke Series AZV		mm	20 25 25 25 28 30

* 6 bar

Weight (mass) kg

Cylinder version	Cylinder diameter											
	Ø32		Ø40		Ø50		Ø63		Ø80		Ø100	
	1*	2*	1*	2*	1*	2*	1*	2*	1*	2*	1*	2*
Standard Type AZ	0.770	0.220	1.200	0.340	1.740	0.480	2.500	0.610	3.680	0.880	5.200	1.130
with through piston rod Type AZD	0.960	0.250	1.520	0.490	2.260	0.720	3.060	0.850	4.540	1.260	6.190	1.500
non-rotating Type AZV	0.800	0.250	1.000	0.350	1.700	0.500	2.600	0.600	4.200	0.900	6.200	1.000
non-rotating with through piston rod Type AZ3	0.800	0.250	1.000	0.350	1.700	0.500	2.600	0.600	4.200	0.900	6.200	1.000
non-rotating with through piston rods Type AZ4	1.000	0.300	1.400	0.400	2.300	0.600	3.200	0.900	5.600	1.400	7.400	1.500
multiple pos. cyl. Typ AZZ	0.950	0.250	1.300	0.550	2.200	0.650	2.800	0.750	4.600	1.150	6.700	1.400

* 1 = Cylinder weight (100 mm stroke)
2 = Weight per further 100 mm stroke length

Mounting	Cylinder diameter					
	Ø32	Ø40	Ø50	Ø63	Ø80	Ø100
A	0.150	0.190	0.340	0.390	0.790	1.000
B	0.070	0.090	0.170	0.220	0.490	0.740
BA	0.100	0.130	0.210	0.300	0.570	0.910
BAS	0.100	0.150	0.220	0.320	0.560	0.860
C	0.100	0.120	0.230	0.280	0.620	0.780
D	0.100	0.120	0.230	0.280	0.620	0.780
EN	0.110	0.180	0.230	0.390	0.530	0.720
EN for series AZZ	0.110	0.290	0.330	0.650	0.830	1.560

Dimensions (mm) for Special Piston Rod Threads and Thread Length

Piston Rod with External Thread (mm)			
Cylinder-Ø	Special thread KK	Standard thread KK	SW
32	M10x1.5	M10x1.25	10
40	M12x1.75	M12x1.25	13
50	M16x2	M16x1.5	17
63	M16x2	M16x1.5	17
80	M20x2.5	M20x1.5	22
100	M20x2.5	M20x1.5	22
External Thread Length of the Piston Rod (mm)			
Cylinder-Ø	AM _{min.}	AM _{Standard}	AM _{max.}
32	12	22	99
40	16	24	99
50	20	32	99
63	20	32	99
80	25	40	99
100	25	40	99
Internal Thread Length of the Piston Rod (mm)			
Cylinder-Ø	Internal thread KK	Thread depth AF _{min.}	Core hole depth
32	M6x1	13	18
40	M8x1,25	16	23
50	M10x1,5	20	28
63	M10x1,5	20	28
80	M12x1,75	24	32
100	M12x1,75	24	32

Note:
In the configuration of a cylinder with through piston rod, Series AZD, the assumption is that both piston rods are identical. Only one is configured and this applies to both piston rods. If two different piston rods are required, a special cylinder must be ordered. Special cylinders are not configurable.

The new cylinder profile makes position sensing possible with magnetic switches in either dovetail slot version (Type RS, ES) or T-slot version (Type RST, EST).

One or more magnetic proximity sensors (depending on stroke length) can be mounted in the grooves in the cylinder profile, for sensing the end positions or intermediate positions of the piston.

Profile AZ Basic Cylinder

Ø 32



Ø 40



Ø 50



Ø 63



Ø 80

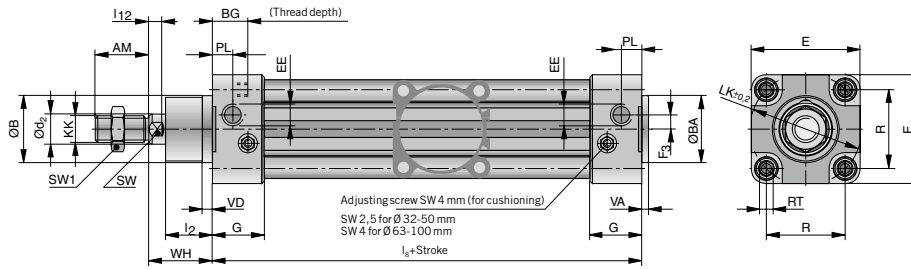


Ø 100

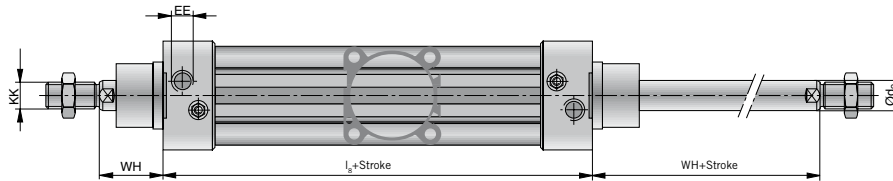


Piston force and air consumption see page 9, dimensions see page 48-57, order instructions see page 58, 59

Dimensions for Basic Cylinder, Series AZ...., Ø 32 – 100 mm



Dimensions – Basic Cylinder with Through Piston Rod, Series AZD...., Ø 32 – 100 mm



Dimension Table (mm) – Series AZ...., AZD...., AZZ....

Cyl. Ø	$\text{Ø}B_{d11}$	$\text{Ø}d_2$	E	F_3	G	I_2	$I_8 + \text{Stroke}$	I_{12}	R	AM	$\text{Ø}BA_{d11}$	BG
32	30	12	47	4.5	30.5	20	94	6	32.5	22	30	16
40	35	16	55	5.3	34	20.5	105	6.5	38	24	35	16
50	40	20	65	8.5	31	28	106	8	46.5	32	40	16
63	45	20	78	8	33	26	121	8	56.5	32	45	16
80	45	25	95	9	35.5	32.5	128	10	72	40	45	17
100	55	25	115	13	37	37.5	138	10	89	40	55	17

Standard Cylinder Ø 32-100 mm

Series AZF

Version:

- with locking unit – locks if pressure drops
- double acting with cushioning
- for contactless position sensing

For further technical information and examples see page 114, 115

****) Note:**

The holding force quoted relates to a static load. If this load is exceeded, slippage can occur. Any dynamic forces occurring in operation must not exceed the static holding force. In clamped operating mode, if the load is fluctuating, the clamping unit is not free from play. The cylinder is not suitable for positioning tasks.

Actuation:

The clamping unit must only be released when both cylinder chambers are pressurised, otherwise there is danger of an accident from the jerky movement of the piston rod. Shutting off the compressed air supply at both ends with a 5/3 way valve provides adequate safety only for a short time.

Characteristics

Characteristics	Symbol	Unit	Description
General			
Description			Cylinder with locking unit
Type			Piston rod cylinder
Series			AZF
Locking unit			Locks if pressure drops
Materials – Locking unit			
Cartridge			Aluminium, anodised
Housing			Aluminium, anodised
Clamping jaw			Ms
Cylinder piston rod			Steel, high-alloy
FSE unlocking pressure		bar	≥ 4 to 10
Cylinder diameter		mm	32 40 50 63 80 100
Cylinder operating pressure			M5 M5 G1/8 G1/8 G1/8 G1/8
Locking force, static **)		N	600 1000 1500 2200 3000 5000

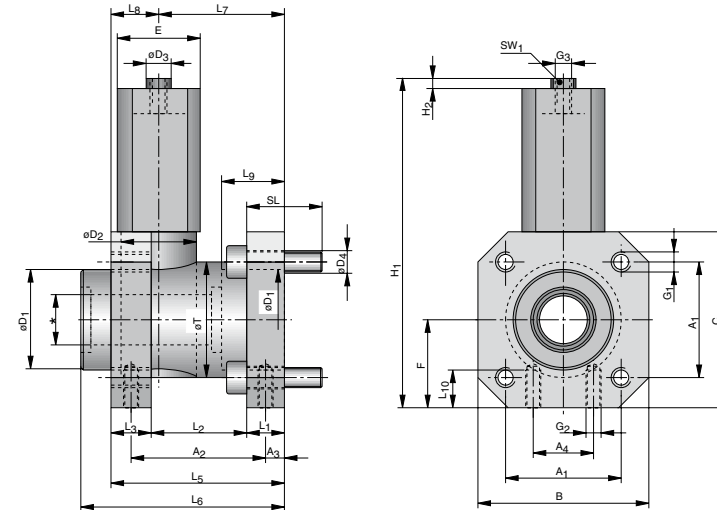
For all other dimensions for cylinders and cylinder mountings see page 46, 47

Weight (mass) kg

Description	Cylinder diameter (mm)					
	32	40	50	63	80	100
Locking unit	0.60	0.80	1.00	1.20	1.40	1.60
Basic cylinder *)	0.82	1.26	1.82	2.40	4.30	5.80

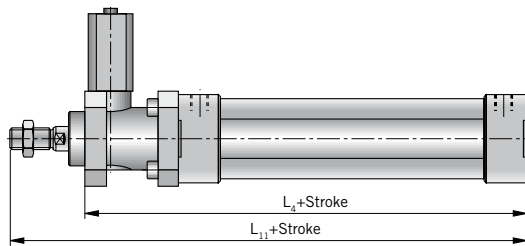
*) with 100 mm stroke and longer piston rod

Dimensions – Locking unit FSE...



* Piston rod diameter

Dimensions of Cylinder with Locking Unit FSE..., Ø 32 – 100 mm



For all other dimensions for cylinders and cylinder mountings see page 48, 49, 52, 53

Dimension Table (mm) – for Locking Unit FSE... and Dimensions including Cylinder

Cyl. Ø	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	B	C	ØD ₁	ØD ₂	ØD ₃	ØD ₄	E	F	G ₁	G ₂	G ₃
32	32.5	40	4.2	16	48	50	30	20	10	6.6	22.5	25	M6	M5	M5
40	38	46	4.5	21	56	58	35	24	10	6.6	27.5	29	M6	M5	G1/8
50	46.5	54	11.5	24	68	70	40	30	15	8.5	32.5	35	M8	M6	G1/8
63	56.5	55	7.5	32	82	85	45	38	15	8.5	41	42.5	M8	M8	G1/8
80	72	70	10	44	100	105	45	40	19	11	49	52.5	M10	M8	G1/8
100	89	70	10	60	120	130	55	48	19	11	53	65	M10	M8	G1/8

Cyl. Ø	H ₁	H ₂	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄ +Stroke	L ₅	L ₆	L ₇	L ₈	L ₉	L ₁₀	L ₁₁ +Stroke	SL	SW1	ØT
32	94	4	8	28	12	142	48	58	32	16	20.5	8	183	20	8	34
40	102.5	4	10	33	12	160	55	65	35.5	19.5	22.5	10	205	25	8	42
50	119.5	4	15	39	16	176	70	82	49	21	29.5	12	231	30	13	50
63	138	4	15	40	15	203	70	82	49	21	29.5	12	246	30	13	50
80	152	4	16	58	16	218	90	110	62	28	35.5	16	292	30	17	60
100	193.5	4	16	58	18	230	92	115	65	27	38.5	16	307	30	17	60

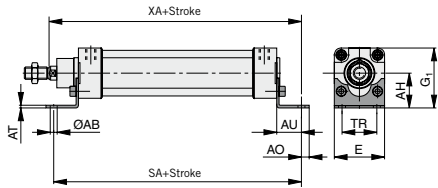
Accessories

 Page 138	 Page 139	 Page 140	 Page 141	 Page 152	 Page 145	 Seite 142	 Seite 144	
-------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------	--

Piston force and air consumption see page 9, mountings see page 52, 53, order instructions see page 58, 59

Mountings – Basic Cylinder, Series AZ....., AZD....., AZZ....., Ø 32 – 100 mm

Dimensions for Mounting A



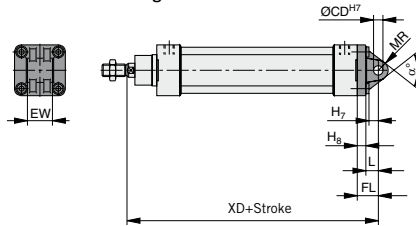
Material: steel passivated

Dimension Table (mm) – for Mounting A

Cyl. Ø	E	G ₁	ØAB	AH	AO	AT	AU	SA + Stroke	TR	XA + Stroke
32	47	55.5	7	32	8	4	24	142	32	144
40	53	62.5	9	36	10	4	28	161	36	163
50	65	77.5	9	45	10	5	32	170	45	175
63	75	87.5	9	50	10	5	32	185	50	190
80	95	110.5	12	63	14	6	41	210	63	215
100	115	128.5	14	71	15	6	41	220	75	230

Included in delivery: 2 foot brackets, 4 screws

Dimensions for Mounting BA



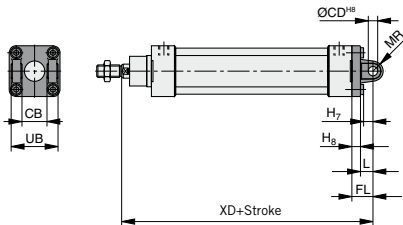
Material: cast aluminium

Dimension Table (mm) – for Mounting BA

Cyl. Ø	H ₇	H ₈	L	ØCD ^{H7}	EW	FL	MR	XD + Stroke	α°
32	10	10	12	10	26	22	10.5	142	60
40	13	10	15	12	28	25	13	160	60
50	12	11	16	12	32	27	13	170	70
63	17	11	21	16	40	32	17	190	60
80	16	15	21	16	50	36	17	210	70
100	20.5	16	25	20	60	41	21	230	70

Included in delivery: 1 rear trunnion mounting, 4 screws

Dimensions for Mounting B



Material: cast aluminium

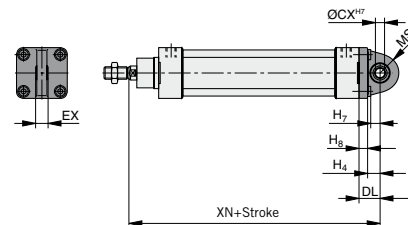
Dimension Table (mm) – for Mounting B

Cyl. Ø	H ₇	H ₈	L	ØCD ^{H8}	CB	FL	MR	UB	XD + Stroke
32	10	10	12	10	26	22	9	45	142
40	13	10	15	12	28	25	11	52	160
50	12	11	16	12	32	27	12	60	170
63	17	11	21	16	40	32	15	70	190
80	16	15	22	16	50	36	16	90	210
100	20.5	16	25	20	60	41	20	110	230

Included in delivery: 1 rear trunnion mounting, 4 screws

Dimensions for Mounting BAS

(rear trunnion mounting with spherical bearing)



Material: cast aluminium

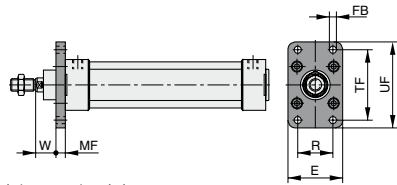
Dimension Table (mm) – for Mounting BAS

Cyl. Ø	H ₄	H ₆	H ₇	ØCX ^{H7}	DL	EX	MS	XN + Stroke
32	12	22	10	10	22	14	18	142
40	15	25	13	12	25	16	21	160
50	16	27	12	12	27	16	23	170
63	21	32	17	16	32	21	27	190
80	21	36	16	26	36	21	29	210
100	25	41	20.5	20	41	25	34	230

Included in delivery: 1 rear trunnion mounting with spherical bearing, 4 screws

Mounting – Basic Cylinder, Series AZ....., AZD....., AZZ....., Ø 32 – 100 mm

Dimensions for Mounting C



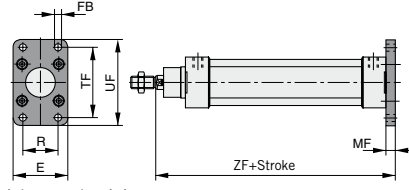
Material: cast aluminium

Dimension Table (mm) – for Mounting C

Cyl. Ø	E	R	ØFB	MF	TF	UF	W
32	50	32	7	10	64	79	16
40	56	36	9	10	72	90	20
50	70	45	9	12	90	110	25
63	77	50	9	12	100	120	25
80	100	63	12	16	126	153	30
100	120	75	14	16	150	178	35

Included in delivery: 1 flange, 4 screws

Dimensions for Mounting D



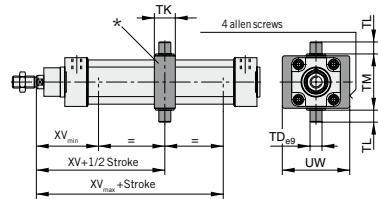
Material: cast aluminium

Dimension Table (mm) – for Mounting D

Cyl. Ø	E	R	ØFB	MF	TF	UF	ZF +Stroke
32	50	32	7	10	64	79	130
40	56	36	9	10	72	90	145
50	70	45	9	12	90	110	155
63	77	50	9	12	100	120	170
80	100	63	12	16	126	153	190
100	120	75	14	16	150	178	205

Included in delivery: 1 flange, 4 screws

Dimensions for Mounting EN for series AZ (profile cylinder barrel version)



Material: cast aluminium

* Position centre trunnion mounting
Standard position: Type EN1 – The taps of the EN attachment are horizontally aligned to the air supply
Option: Type EN2 – The taps of the EN attachment are vertically aligned to the air supply

Dimension Table (mm) – for Mounting EN

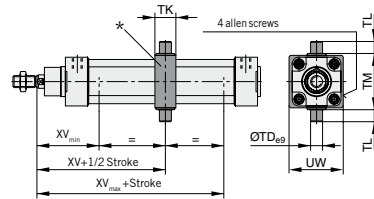
Cyl. Ø	ØTD _{e9}	TK	TL	TM	UW	XV _{min}	XV+1/2 Stroke	XV _{max} +Stroke
32	12	25	12	50	65	69	73	77
40	16	28	16	63	75	78	83	87
50	16	28	16	75	85	82	90	98
63	20	36	20	90	100	88	98	107
80	20	36	20	110	120	100	110	120
100	25	48	25	132	135	112	120	128

The trunnion mounting can be moved to any position between XV_{min} and XV_{max} after loosening the clamping screws.

Included in delivery: 1 rear trunnion mounting

As standard, the position of the T-slots and dovetail slots is on the same side as the air connections. Exception: Ø 32 has only T-slots on the same side as the air connections, with a dovetail slot on the underside.

Dimensions for Mounting EN for series AZZ (tie rod version)



Material: SG cast iron, chromated

* Position centre trunnion mounting
Standard position: Type EN1 – The taps of the EN attachment are horizontally aligned to the air supply
Option: Type EN2 – The taps of the EN attachment are vertically aligned to the air supply

Dimension Table (mm) – for Mounting EN

Cyl. Ø	ØTD _{e9}	TK	TL	TM	UW	XV _{min}	XV+1/2 Stroke	XV _{max} +Stroke
32	12	15	12	50	46	64	73	82
40	16	20	16	63	59	74	83	91
50	16	20	16	75	69	78	90	102
63	20	25	20	90	84	83	97,5	112
80	20	30	20	110	102	97	110	123
100	25	32	25	132	125	104	120	136

The trunnion mounting can be moved to any position between XV_{min} and XV_{max} after loosening the clamping screws.

Note on EN mounting: To avoid faulty switching, the magnetic switches should be fitted at least 10 to 20 mm away from the EN mounting, depending on cylinder diameter.

Included in delivery: 1 rear trunnion mounting

Order Instructions for Basic Cylinder Series AZ...., Ø 32 – 100 mm

AZ		5	032	-	1000	/	000	-	0	0	0	0	0	X	-12
Series	AZ Standard (profile cylinder barrel version)	AZZ Tie rod version													
Type of piston rod	Standard (with profile tube)	D With Through Piston Rod	V With non-rotating Piston Rod	3 With through piston rod, non-rotating at one end	4 With through piston rod, non-rotating at both ends										
Locking Unit	without (Standard)	F with Locking Unit													
System	5 Double acting with adjustable end cushioning, for contactless position sensing														
Cylinder Diameter	032 32 mm	040 40 mm	050 50 mm	063 63 mm	080 80 mm	100 100 mm									
Stroke Length	Length in mm (4-digit)														
Piston Rod Extension *	Length in mm (3-digit)														
External Thread Length of the Piston Rod (optional) *	Length (2-digit) in mm Details see page 47														-12 for example 12 mm
Pneumatic cylinders for the Ex-Atmospheres (ATEX)	X See ATEX Certification 94/9/EG (ATEX 95)		0 Standard without Ex-Protection												
Piston Rod Thread *	0 External Thread (Standard)		1 Special – External Thread Details see page 47		2 Internal Thread										
Piston Rod Material *	0 Steel, high-alloy (Standard)		1 Steel, high-alloy (V2A)		3 Steel, unalloyed, hard-chrome plated (CK45)										
Lubrication	0 Grease (Standard)														
Seal / Wiper	0 Standard (NBR)		1 Viton (+150°C)		2 NBR with metal wiper		3 Hydraulic (10 bar) with metal wiper								
Air connection	0 Standard		1 at one end in rear end cap, Ø 40 – 100 mm		2 at one end in front end cap, Ø 40 – 100 mm		3 Cylinder tube – 90° rotated		4 Cylinder tube – 180° rotated		5 Cylinder tube – 270° rotated				

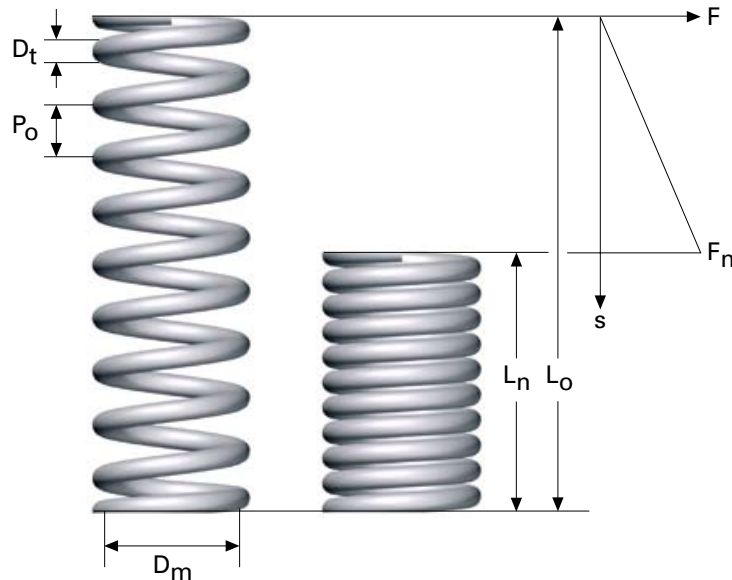
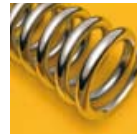
*** Note for piston rod version:**
In the configuration of a cylinder with through piston rod, Series AZD, the assumption is that both piston rods are identical. Only one is configured and this applies to both piston rods. If two different piston rods are required, a special cylinder must be ordered. Special cylinders are not configurable.

Standard Stroke Length
0025, 0050, 0080, 0100, 0125, 0160, 0200, 0250, 0320, 0400, 0500 delivered preferably

D Datablad Fjädrar

COMPRESSION SPRINGS

Dimensions according to DIN 2098



Compression springs for general use.

Dimensions according to DIN 2098

All dimensions are in mm

D_t = Wire diameter

D_m = Mean diameter

D_i = Inner diameter ($D_m - D_t$)

L_o = Unloaded length

n_v = No of active coils

n_t = Total number of coils ($n_v + 2$)

L_n = Loaded length (minimum working length)

F_n = Spring force in Newtons at L_n

s_n = Deflection at L_n

c = Rate

L_{st} = Solid length = $\sim D_t \times n_t$

N_c = Number of load oscillations (life)

Coiling: Right hand

Material: D_t 0.2–5.0 = EN 10270-3-1.4310

D_t 0.5–10.0 = EN 10270-1-SH

Tolerances: SS 2384, see page 220 for more information.

Max. working temperature: EN 10270-1 = 120 °C

EN 10270-3-1.4310 = 250 °C

Springs with $D_t \leq 0.4$ do not have ground end coils, others have 3/4 end coils ground.

Springs with $D_t \geq 2.0$ are shot peened.

Note that the DIN 2098 uses the mean diameter (D_m), unlike our own standard, which uses D_i .

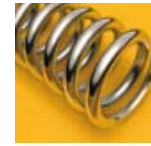
Only if the spring is statically loaded ($N_c < 10\,000$) should the spring be compressed to L_n . If the spring is compressed further, a certain relaxation (load loss) occurs.

The springs in this range can also be used for dynamic (pulsating) load. Deflection (s_n) and force (F_n) must then be reduced.

1 kp = 9.80665 Newtons, 1 Newton = 0.10197 kp

COMPRESSION SPRINGS

Dimensions according to DIN 2098



D _t	D _m	L _o	n _v	L _n	s _n	EN 10270-1-SH			Stainless steel EN 10270-3-1.4310		
						F _n	c	Cat.no	F _n	c	Cat.no
3,2	40	82*	3,5	21,2	60,8	288	4,76	6224	268	4,43	6760
3,2	40	125*	5,5	29,7	95,3	288	3,03	6225	268	2,81	6761
3,2	40	190*	8,5	42,3	148	288	1,96	6226	268	1,82	6762
3,2	40	275*	12,5	59,2	216	288	1,33	6227	268	1,24	6763
3,2	40	405*	18,5	84,5	321	288	0,9	6228	268	0,84	6764
4	20	33,5	3,5	22,2	11,3	1069	93,1	6229	994	86,58	6765
4	20	49	5,5	31	18	1069	59,2	6230	994	55,06	6766
4	20	72	8,5	44,2	27,8	1069	38,3	6231	994	35,62	6767
4	20	105	12,5	61,7	43,3	1069	26,1	6232	994	24,27	6768
4	20	150*	18,5	87,7	62,3	1069	17,6	6233	994	16,37	6769
4	25	41	3,5	22,9	18,1	852	47,7	6234	792	44,36	6770
4	25	60,5	5,5	32,2	28,3	852	30,3	6235	792	28,18	6771
4	25	89,5	8,5	46	43,5	852	19,6	6236	792	18,23	6772
4	25	130*	12,5	64,5	65,5	852	13,3	6237	792	12,37	6773
4	25	185*	18,5	92,1	92,9	852	9,02	6238	792	8,39	6774
4	32	53,5	3,5	24	29,5	666	22,8	6239	619	21,2	6775
4	32	79,5	5,5	33,3	46,2	666	14,4	6240	619	13,4	6776
4	32	120	8,5	47,2	72,8	666	9,35	6241	619	8,69	6777
4	32	170*	12,5	65,8	104	666	6,35	6242	619	5,9	6778
4	32	250*	18,5	93,6	156	666	4,30	6243	619	4	6779
4	40	71	3,5	25,2	45,8	533	11,7	6244	496	10,88	6780
4	40	105*	5,5	35,1	69,9	533	7,4	6245	496	6,88	6781
4	40	160*	8,5	50	110	533	4,79	6246	496	4,45	6782
4	40	235*	12,5	69,8	165	533	3,26	6247	496	3,03	6783
4	40	340*	18,5	99,6	240	533	2,2	6248	496	2,04	6784
4	50	99*	3,5	27,4	71,6	427	5,95	6249	397	5,53	6785
4	50	150*	5,5	38,6	111	427	3,79	6250	397	3,52	6786
4	50	230*	8,5	55,4	175	427	2,45	6251	397	2,28	6787
4	50	335*	12,5	77,8	257	427	1,67	6252	397	1,55	6788
4	50	490*	18,5	111	379	427	1,13	6253	397	1,05	6789
5	25	41	3,5	27,6	13,4	1569	117	6254	1459	109	6790
5	25	60	5,5	38,5	21,5	1569	74	6255	1459	68,8	6791
5	25	87,5	8,5	54,9	32,6	1569	47,9	6256	1459	44,5	6792
5	25	125	12,5	76,7	48,3	1569	32,6	6257	1459	30,3	6793
5	25	180*	18,5	109	71	1569	22	6258	1459	20,5	6794
5	32	51	3,5	28,7	22,3	1226	55,4	6259	1140	51,5	6795
5	32	75	5,5	40,2	34,8	1226	35,3	6260	1140	32,8	6796
5	32	110	8,5	57,5	52,5	1226	22,8	6261	1140	21,2	6797
5	32	160*	12,5	80,5	79,5	1226	15,5	6262	1140	14,4	6798
5	32	230*	18,5	115	115	1226	10,5	6263	1140	9,7	6799
5	40	64	3,5	29,6	34,4	981	28,3	6264	912	26,3	6800
5	40	95,5	5,5	41,1	54,4	981	18	6265	912	16,7	6801
5	40	140	8,5	58,4	81,6	981	11,7	6266	912	10,9	6802
5	40	205*	12,5	81,4	124	981	7,94	6267	912	7,4	6803
5	40	300*	18,5	116	184	981	5,36	6268	912	5	6804
5	50	85	3,5	30,9	54,1	785	14,5	6269	730	13,5	6805
5	50	130	5,5	43,2	86,8	785	9,25	6270	730	8,6	6806
5	50	195*	8,5	61,6	133	785	5,98	6271	730	5,56	6807
5	50	280*	12,5	86,1	194	785	4,07	6272	730	3,78	6808
5	50	410*	18,5	123	287	785	2,75	6273	730	2,56	6809
5	63	120*	3,5	32,3	87,7	623	7,27	6274	579	6,76	6810
5	63	180*	5,5	45,3	135	623	4,63	6275	579	4,3	6811
5	63	275*	8,5	64,8	210	623	2,99	6276	579	2,78	6812
5	63	395*	12,5	90,8	304	623	2,09	6277	579	1,94	6813
5	63	585*	18,5	130	455	623	1,37	6278	579	1,27	6814

* These springs can break laterally if they are not located in a bush or on a shaft.

