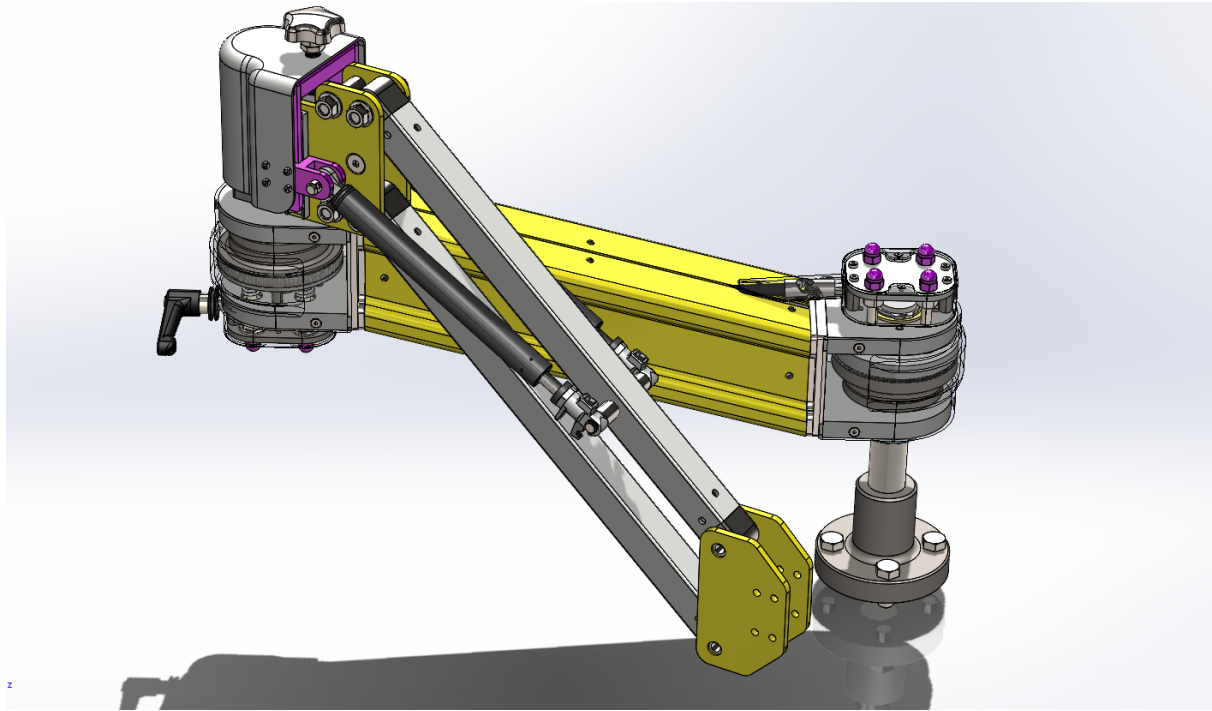




CHALMERS



## Låsbar avlastningsarm för Techcon

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet maskinteknik

Carl Laurin

John Svensson



EXAMENSARBETE

# Låsbar avlastningsarm för Techcon

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet maskinteknik

CARL LAURIN

JOHN SVENSSON

Institutionen för Mekanik och maritima vetenskaper

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2023

## Abstract

In the industry heavy tools and components are often lifted during assembly and processing. There are also instances when it would be beneficial to be able to hold various objects in a specific locked position, during welding and other operations. Therefore the aim of this project is to develop a lockable tool balancing arm that not only improves ergonomics but also serves as a versatile fixture.

The tool balancing arm was constructed in two main parts, with the first being a rotatable beam equipped with two spline locking mechanisms that restricts horizontal movements of the beam when locked. The other part of the arm was designed for movements in the vertical direction and utilizes lockable gas springs. Together the systems create a rigid arm that can be used as a fixture when desired.

A 3D model and prototype was used to validate that the tool balancing arm functions as expected and would hold up to real use in an industrial environment. Further development, improvements and a full scale prototype is needed before the product is ready to be produced. Some components need a higher factor of safety with respect to yielding.

## Sammanfattning

I industrin sker ofta lyft av tunga verktyg och komponenter vid montering och bearbetning samtidigt som arbetsställningen vid exempelvis slipning och svetsning ofta medger mycket dålig ergonomi. Detta projekt avser därför att utveckla en avlastningsarm som kan avlasta olika massor i form av verktyg och arbetsstycken och därefter låsas i en specifik position. Armen ska avlasta användaren vid de tunga lyften för att sedan kunna låsas i den position där användaren avser, för att tillåta montering eller bearbetning i en ergonomisk position.

Armen konstruerades i form av en bom och en parallellarm där låsbara gasfjädrar möjliggjorde avlastning av olika massor och låsning för vertikala rörelser. Två splinesbromsar utvecklades och applicerades för att möjliggöra låsning av horisontella rörelser.

En 3D-modell och en prototyp testades för att bekräfta att produkten till stor del skulle fungera och hålla i praktiken och i verkliga förhållanden. Vidare behövs åtgärder,

förbättringar och tillverkning av en fullständig prototyp för att utvärdera och utveckla armens funktioner och ge högre säkerhetsfaktorer mot bristning hos vissa komponenter.

## Förord

Denna rapport är ett kandidatarbete genomfört på Chalmers Tekniska Högskola för företaget JE Technical Consulting AB (Techcon). Arbetet är utfört av Carl Laurin och John Svensson under vårterminen 2023.

Vi vill tacka företaget Techcon, handledare Andreas Johansson och övriga konstruktörer på företaget som bidragit med kunskap och lösningsförslag under arbetets gång. Vi vill också tacka vår examinator och handledare Robert Thomsson.

# Innehållsförteckning

<b>1. Inledning</b> .....	<b>1</b>
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Uppdragsbeskrivning.....	2
1.3 Metod.....	2
1.4 Avgränsningar.....	2
<b>2. Undersökning av problemet</b> .....	<b>4</b>
2.1 Funktioner.....	4
2.1.1 Energitillförsel vid drift.....	4
2.1.2 Avlastningskraft.....	4
2.1.3 Vridmoment.....	4
2.1.4 Ergonomi.....	6
2.1.5 Förankring.....	6
2.2 Kundbehovslista.....	7
2.3 Kravspecifikation.....	7
<b>3. Framtagning av alternativa koncept</b> .....	<b>12</b>
3.1 Avlastning.....	12
3.1.1 Dellösning 1.....	12
3.1.2 Dellösning 2.....	12
3.1.3 Dellösning 3.....	13
3.1.4 Dellösning 4.....	14
3.2 Bromsmekanism.....	14
3.2.1 Dellösning 5.....	15
3.2.2 Dellösning 6.....	15
3.2.3 Dellösning 7.....	16
3.2.4 Dellösning 8.....	17
3.2.5 Dellösning 9.....	18
3.3 Patentsökning.....	19
3.3.1 Large-torque balance arm of force.....	19
3.3.2 Ergonomic welding arm with a plurality of arm links and joints.....	20
3.3.3 Collaborative robot hand bearing for high-torque tightening applications.....	21
3.4 Konkurrenters lösningar.....	22
3.4.1 Smart Motion, PA-150-S.....	22
3.4.2 Smart Motion, PA-25-S.....	23
3.4.3 Bernardo, TM 10 BLO / R 1100.....	24
3.4.4 Atlas Copco, SMS-T-100.....	24
3.4.5 3arm, Series 3.....	25
3.4.6 TMC-partner, Teleskopisk avlastningsarm.....	26
<b>4. Analys och utvärdering av koncept</b> .....	<b>27</b>
4.1 Avlastningsmekanism.....	27

4.2 Bromsmekanism.....	28
4.3 Beräkningar för återstående bromsmekanismer.....	31
4.3.1 Skivbroms.....	31
4.3.2 Splinesbroms.....	32
4.4 Slutgiltigt koncept.....	33
<b>5. Detaljerad konstruktion.....</b>	<b>35</b>
5.1 Förankring.....	35
5.2 Splinebroms 1.....	36
5.3 Bom.....	41
5.4 Splinebroms 2.....	41
5.5 Höljen och sammankoppling.....	43
5.6 Parallellarm.....	45
5.7 Fullständigt monterad avlastningsarm.....	52
5.8 Material.....	53
5.9 Prototyp tillverkning.....	54
<b>6. Utvärdering av slutligt koncept.....</b>	<b>57</b>
6.1 Hållfasthetssimuleringar.....	57
Randvillkor.....	57
6.1.1 Bom.....	57
6.1.2 Parallellarm.....	59
6.1.3 Splineskoppling.....	61
6.1.4 Passkruv.....	62
6.2 Kravuppfyllelse.....	63
<b>7. Vidareutveckling och slutsats.....</b>	<b>66</b>
7.1 Vidareutveckling.....	66
7.2 Slutsats.....	68
<b>Referenslista.....</b>	<b>69</b>

# 1. Inledning

## 1.1 Bakgrund

I industrierna sker ofta lyft av tunga verktyg och komponenter vid montering och bearbetning. Idag finns avlastningsarmar som huvudsakligen används för att balansera ut ett objekts massa. Armen ger en konstant lyftkraft på objektet vilket förbättrar ergonomin för användaren. Vanligtvis monteras ett verktyg längst ut på armen, men det finns även andra lämpliga objekt som till exempel arbetsstycken, kameror, lampor och mikrofoner. En typisk avlastningsarm består av två armar och tre leder, som kan positionera sig i alla tre dimensioner. Ibland används namnet “parallellarm”, det kommer från att armens ingående delar är parallella med varandra, detta i kombination med att de är samma längd gör att verktyget aldrig ändrar vinkel i förhållande till marken. Vid montering och bearbetning i form av svetsning eller slipning föredras det ofta att föremålet är i en ergonomisk position och höjd samtidigt som det även är stilla och ej kan röra på sig. Techcon vill därför utveckla en avlastningsarm med låsbar position för att förbättra ergonomin och förenkla arbetet för användarna i industrin.



*Figur 1 - Parallellarm från Atlas Copco*

*Från Momentarm, SMF [foto], av Atlas Copco, 2023 [1]*

## 1.2 Uppdragsbeskrivning

Syftet med arbetet är att med stöd från Techcon ta fram en mekanisk avlastningsarm som kan avlasta användaren vid lyft av olika objekt och samtidigt kunna låsas vid önskad position. Armen ska därmed användas i olika typer av industrier där lyft av såväl verktyg som komponenter förekommer, samt vid arbeten där armen ska kunna låsas i önskade leder för att underlätta till exempel svetsning, slipning eller montering av produkter.

## 1.3 Metod

I projektet utvärderades den tänkta produktens huvudsakliga funktioner för att tydliggöra beskrivningen av uppdraget. Därefter skapades en kundbehovslista och kravspecifikation tillsammans med Techcon för att specificera projektet. Krav, avgränsningar och önskemål listades upp och målvärden sattes ut.

Tidigare lösningar, produkter på marknaden och patent för olika armar granskades. Med hjälp av dessa kunde alternativa koncept och dellösningar tas fram vilket lades till grund för utvecklingen av det fullständiga konceptet. Dellösningar och olika koncept skissades upp och användes för vidare framtagning av produkten. Dellösningarna listades upp i en tabell med dess för- och nackdelar och ställdes även mot kraven från kravspecifikationen. Utifrån detta kunde dellösningarna utvärderas och elimineras tills de mest lämpade återstod. Därefter användes CAD-mjukvaran Solidworks för att modellera armens ingående delar, dellösningar och ett fullständigt koncept. Ingående delar analyserades därefter med verktyget Ansys genom hållfastighetsberäkningar. Med ett fullständigt koncept i CAD tillverkades en prototyp för att tydligare visualisera den resulterande produkten.

## 1.4 Avgränsningar

Projektet kommer att begränsas till att utveckla armens design och funktioner i form av en CAD-modell och därefter en tillverkad prototyp. Prototypen kommer att tillverkas i den grad budgeten och tidsbegränsningen tillåter. Budgeten bestäms av Techcon och tiden som förfogats är fyra veckor enligt det tidsschema som tagits fram.

Delar som inte kommer att beröras är:

- Specialfästen för olika typer av verktyg, komponenter och arbetsstycken.
- Märkningarna för godkännande av produkten.
- Tester av produkten i industri.
- Självkostnad och försäljningspris
- I detta projekt kommer endast en lösning för armens förankring att tas fram.

## 2. Undersökning av problemet

### 2.1 Funktioner

#### 2.1.1 Energitillförsel vid drift

I industrin har pneumatik länge varit något som används i stor omfattning. I stort sett är varje maskin i behov av tryckluft för att utföra vissa funktioner. Fördelen med tryckluft är att det är relativt simpelt att skapa ett fungerande system, och att installationskostnaden är låg.

Nackdelen är att det ofta är svårt att stoppa läckage. I en stor produktionslinje kan det finnas flera tusen luftkopplingar, även om bara ett fåtal av dessa läcker kan det medföra signifikanta ekonomiska- och energiförluster. Enligt Solar Sverige AB (2023) kan ett hål på 1 millimeter i tryckluftsanläggningar kosta upp till 9000 kr per år [2]. Det är inte ovanligt att 20% av systemets totala kapacitet förloras i form av läckage [3]. Denna nackdel har gjort att många företag idag vill minska sin användning av pneumatik, och istället börja använda elektroniska och mekaniska alternativ. För att avlastningsarmen ska vara attraktiv på marknaden är det alltså fördelaktigt om den inte använder sig av tryckluft.

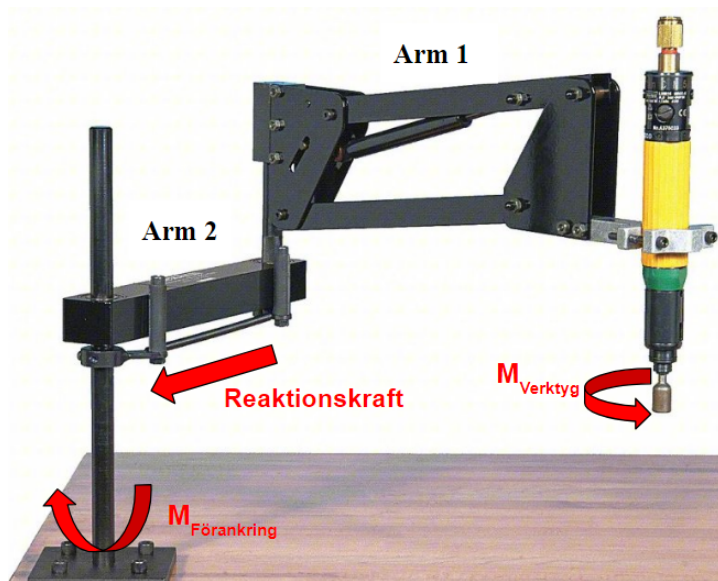
#### 2.1.2 Avlastningskraft

Avlastningsarmen behöver skapa en avlastningskraft som är dimensionerad för en specifik massa för det monterade verktyget/objektet. Många verktyg som används vid montering och produktion väger under 5 kg, och därför anser Techcon att en maximal avlastningskraft på 50 Newton är lämplig. Lättare verktyg förekommer också vilket betyder att avlastningskraften behöver vara justerbar från 0 Newton.

#### 2.1.3 Vridmoment

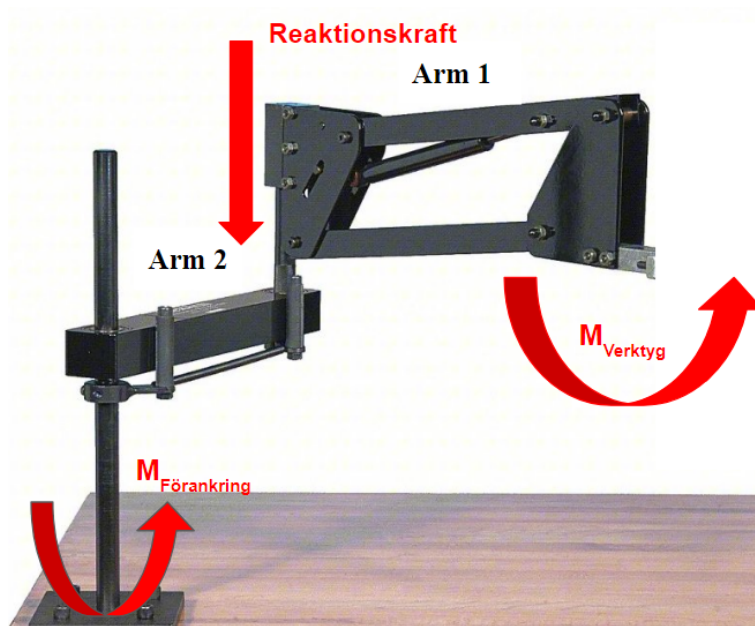
När ett åtdragningsverktyg som är monterat på en avlastningsarm utför arbetet skapas ett vridmoment. Armen behöver vara konstruerad för att klara av att ta upp vridmomentet.

Utifrån Atlas Copcos produktsortiment (2023) [4] drogs slutsatsen att elektriska åtdragningsverktyg med en massa under 5 kg sällan skapar ett vridmoment över 100 Nm. Figur 2 nedan visar kraftflödet som uppstår i en traditionell avlastningsarm. Vridmomentet från verktyget skapar ett böjmoment för "Arm 1" som övergår i en tryck- eller dragkraft för "Arm 2". För att systemet ska vara i jämvikt svarar förankringen med ett vridmoment.



Figur 2 - Kraftflöde traditionell avlastningsarm  
Från FLEXARM [foto], av Grainer, 2023 [5]

Observera att kraftflödet endast har denna utformning då vridmomentet verkar runt en vertikal axel. Om verktyget roteras till att vridmomentet istället verkar runt en horisontell axel ser kraftflödet ut som i figur 3 nedan. ”Arm 1” påverkas fortfarande av ett böjmoment och ”Arm 2” påverkas av en nedåtriktad vertikal kraft. Avlastningsarmen som skall utvecklas i projektet bör vara konstruerad för att klara belastningar i alla riktningar, för att verktyget skall kunna roteras 360 grader.



Figur 3 - Belastning i ny riktning  
Från FLEXARM [foto], av Grainer, 2023 [5]

## 2.1.4 Ergonomi

Eftersom att en avlastningsarms primära funktion är att förbättra ergonomin för en operatör måste det vara lätt att positionera armen. Om armen har en stor massa eller om lederna har mycket friktion blir den svår använd. Avlastningsarmens totala massa bör ej överstiga 25 kilogram.

## 2.1.5 Förankring

Omgivningen hos olika kunder där produkten skall användas kan variera, därför är det positivt om det finns flera möjliga sätt att montera den. Kanske skall den stå på ett svetsbord, golv eller sitta fast i en vägg. Det går bra att standardversionen av produkten endast kan monteras på ett sätt, men den bör vara konstruerad på ett sådant vis som gör det lätt att använda diverse adaptrar för fler monteringsmöjligheter. I figur 4 nedan visas ett exempel där en magnet används.



*Figur 4 - Monterad avlastningsarm med hjälp av magnet  
Från TM 12 E [foto], av LTS Maskin AS, 2023 [6]*

## 2.2 Kundbehovslista

Tänkbara kunder för avlastningsarmen är olika typer av industrier där verktyg, komponenter och arbetsstycken lyfts och/eller ska positioneras. I exempelvis tillverkningsindustrin sker flertalet monotona lyft varje dag. Armen ska vid sådana situationer avlasta den massa som ska lyftas. I monteringssyfte kan armen användas för samma ändamål men för att också låsa en komponent i en viss position för att exempelvis passa in hålbild etcetera. På så sätt slipper montören de tunga lyften och svårigheterna som kan uppkomma vid montering. Ett annat användningsområde är i svetsindustrin där fixturer behövs för att hålla delarna i rätt position under svetsningen. Ett föremål kan då placeras korrekt i förhållande till ett annat varvid armen låses och fungerar likt en fixtur. Detta gör arbetet enklare för svetsare som enkelt kan positionera föremålen för att sedan använda båda armarna för att svetsa. En avlastningsarm av denna typ kan modifieras enligt en kunds specifikationer vilket gör kundkretsen stor.

## 2.3 Kravspecifikation

Underlaget som används för framtagning av kravspecifikationen kommer från informationssökningar och diskussioner kring vad potentiella kunder kan tänkas behöva. K, Ö och A står för krav/önskemål/avgränsning.

Nr	Kriterier	K/Ö/A	Målvärde	Enhet	Verifiering
1.	Funktioner				
1.1	Avlastningskraft	A	0-50	N	Beräkning
	Den kraft armen ska kunna bära upp utan att användaren behöver lägga någon egen kraft.				
1.2	Räckvidd xy-led radie kring förankringspunkt	K	1000	mm	CAD
	Den maximala räckvidden armen ska ha i det horisontella planet.				

1.3	Räckvidd z-led	K	600	mm	CAD
	Den maximala räckvidden armen ska ha i det vertikala planet				
1.4	Låsbara leder	K		-	Prototyp
	Avlastningsarmens leder ska kunna låsas i ett specifikt läge				
1.5	Maximal belastning i låst läge	A	100	N	Beräkningar och prototyp
	Den belastningen som kan tas upp utav armen utan att bromsarna glider eller armen går av. Kraften skall kunna appliceras från alla riktningar längst ut på armen. Exklusive verktygsvikt och egenvikt.				
1.6	Maximal utböjning längst ut på armen i bromsat läge	K	30	mm	Prototyp
	Hur mycket armens yttersta punkt får röra sig vid maximal belastning i bromsat läge				
1.7	Maximalt vridmoment från verktyg	K	100	Nm	Simulering CAD
	Armen skall i olåst läge kunna ta upp ett				

	vridmoment som uppkommer när verktyg t.ex drar åt muttrar.				
1.8	Låsbar med en spak/knapp	Ö		-	Prototyp
	Att alla bromsar ska låsas samtidigt med enbart en spak/knapp				
1.9	Låsbar i alla positioner (ej stegvis)	Ö			CAD
	Bromsarna ska kunna låsas i alla möjliga lägen och inte stegvis där splines eller kuggar ska passa i varandra.				
1.10	Valbar förankring (vägg, golv, bord)	Ö			CAD
	Hur och var armen ska sitta fast, väggfäste, golvstativ eller bordsstativ mm.				
1.11	Standardiserat fäste	Ö			CAD
	Fästet längst ut på armen ska vara av en standardiserad typ för att möjliggöra utbyte av verktyg eller komponent				
2.	Massa				
2.1	Maximal totalmassa	Ö	25	kg	CAD

2.2	Förflyttningskraft vid 0,25 m/s	Ö	<35	N	Prototyp
	Den kraft som krävs av användaren för att flytta armen som är maximalt belastad vid en rörelsehastighet om 0,25 m/s.				
3.2	Drift utan tryckluft	Ö			Konceptfas
	Som nämnt i tidigare stycke önskar dagens industrier att minska användandet av tryckluft				
4.	Underhåll				
4.1	Simpelt underhåll	Ö			Prototyp
	Underhåll av produkten ska vara enkelt och kunna utföras under kort tid för att inte göra långa avbrott i produktion hos kunden				
4.2	Möjlig att underhålla av kund	Ö			Prototyp
	Genom att kunden själv kan underhålla produkten blir underhållet enklare, billigare och tar kortare tid				
4.3	Skydd mot damm och svetsloppor	Ö			Prototyp
	Armar och leder ska vara skyddade för att inte skadas vid svetsning, slipning eller				

	liknande.				
5.	Säkerhet				
5.1	Låsande bromsmekanism vid haveri	K			CAD
	Om exempelvis fjädrande komponenter, elförsörjning eller luftförsörjning till bromsarna havererar ska bromsarna låsas för att inte utsätta användaren för fara				
5.2	Förhindra klämrisk	Ö			CAD
	Risken att bli klämd vid användning av avlastningsarmen skall vara låg.				
6.	Estetik				
6.1	Estetiskt tilltalande	Ö			Bedömning av Techcon

*Tabell 1 - Kravspecifikation*

## 3. Framtagning av alternativa koncept

### 3.1 Avlastning

En av armens funktioner är att avlasta en massa för att förbättra ergonomi vid lyft. För att göra detta krävs en mekanism som löser denna funktion. Nedan presenteras olika mekanismer för att lösa funktionen.

#### 3.1.1 Dellösning 1

För att skapa en avlastande kraft kan en gasfjäder användas. De finns i flera olika storlekar och används i många av de avlastningsarmar som finns idag. Gasfjädrar är i stort sett underhållsfria men behöver efter viss tid bytas då de tappas sin funktion. När de väl behöver bytas ut är det en simpel och framförallt säker process. En begränsning är att gasfjädern inte ska monteras upp och ner eftersom att smörjningen slutar att fungera. På webbutiken Gasfjädershop.se (2023) varierar priset på gasfjädrar varierar mellan 300-600 SEK [7].

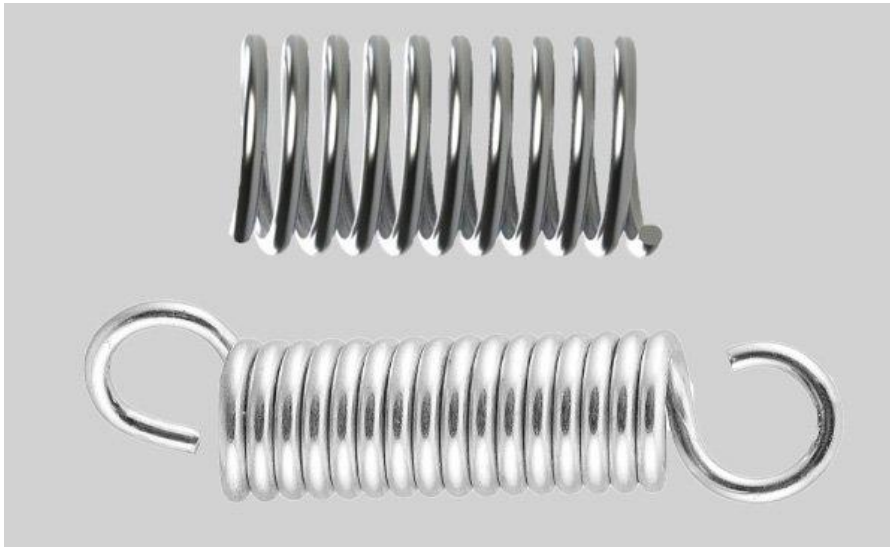


*Figur 5 - Gasfjäder från Lesjöfors AB*

*Från Låsbar gasfjäder [foto], av Lesjöfors AB, 2023 [8]*

#### 3.1.2 Dellösning 2

En annan lösning som kan användas för avlastning är tryck- eller dragfjädrar. Dessa sätts i spänn mellan parallellarmens arm och blocket de är fästa i. På detta sätt drar fjädrarna i armen och kan därmed avlasta massor. Med olika typer av fjädrar och dess fjäderkonstanter kan armen avlasta ett stort spann av massor. Fördelen med fjädrar är att de har en låg kostnad och kräver inget underhåll. Nackdelen är att de kan vara svåra att montera då fjädern kan behöva spännas för att monteras rätt. Fjädrar kan också orsaka en viss klämrisk.



*Figur 6 - Tryck/Dragfjäder*

*Från Tension or compression springs [foto], av JB Springs, 2018 [9]*

### 3.1.3 Dellösning 3

Elektriska cylindrar delar många egenskaper med pneumatiska cylindrar, utan att vara beroende av dyra tryckluftsanläggningar som nämnts tidigare. De är mycket energieffektiva och är därför mycket attraktiva för framtidens företag. För att driva cylindrarna krävs en mikrokontroller som programmeras för ett specifikt användningsområde. En elektrisk cylinder med 200 millimeter slaglängd säljs av RS components AB (2023) för 12904 SEK [10].



*Figur 7 - Elektrisk cylinder som säljs av Stabe AB*

*Från Linjärmotor typ ett [foto], av Stabe AB, 2023 [11]*

### 3.1.4 Dellösning 4

Balansblock är en produkt som idag ofta används för avlastning av verktyg. Balansblocket består av en lina som med hjälp av en fjäder kan rullas upp på en rulle och på så sätt avlasta en massa. Linan fästs i massan som ska avlastas och sträcker sig till balansblocket som ofta monteras på en skena ovanför arbetsplatsen. De är enkla att montera och har en mycket jämn avlastningsförmåga. Nackdelar som finns hos balansblocket är att dess lina kan vara i vägen vid arbetet då den sträcker sig från armen till monteringsanordningen ovan arbetsplatsen. Balansblocket måste också vara monterat på en skena som kan röra sig precis enligt armens rörelser. Kostnaden för ett balansblock från atlas copco med förmågan att avlasta mellan 3,8-5,2 kg har priset 3099 SEK hos företaget Duab (2023) [12].



*Figur 8 - Balansblock*

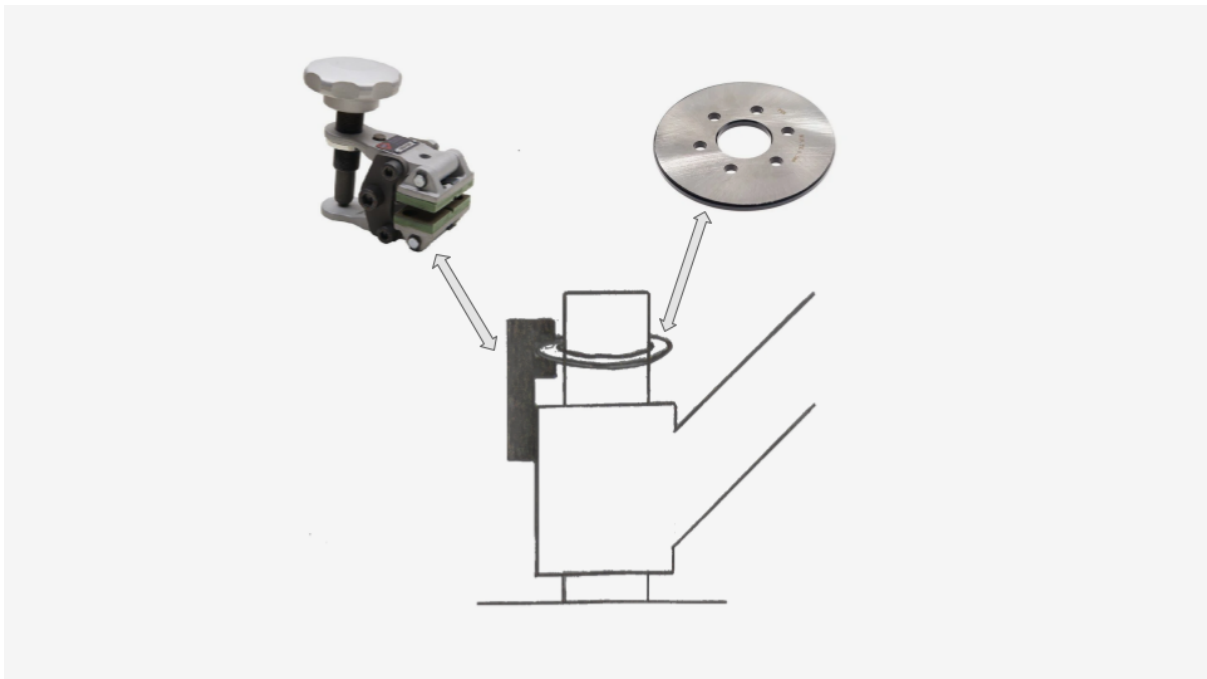
*Från Balansblock Atlas [foto], av Ahlsell, 2023 [13]*

## 3.2 Bromsmekanism

Den andra delfunktionen som ska lösas är att låsa armen i ett visst läge. För att göra detta krävs en typ av broms som verkar i det horisontala planet och en som verkar i det vertikala planet. För dessa funktioner har olika lösningar tagits fram, enligt nedan.

### 3.2.1 Dellösning 5

Dellösning 5 visar en skivbroms som fungerar likt en sådan som sitter på flertalet av dagens bilar. Figuren visar ett bromsok som sitter fast i armens led. För att bromsa armen klämmer bromsoket om en bromsskiva som sitter fast på den axel som leden rör sig runt. På detta vis bromsas armen och kan därmed ta upp ett moment. Fördelen med skivbroms är att de ingående delarna är relativt billiga. Det är även möjligt att koppla ihop flera bromsok oavsett om de använder sig av hydraulik eller ett mekaniskt länkage. Ett bromssystem med skivbroms är steglöst och armen kan därför låsas i exakt den position som operatören önskar. Nackdelarna är att det finns risk för slirning och att bromsskivans diameter påverkar hur stort vridmoment som kan tas upp. De kräver också regelbundet underhåll, men proceduren är relativt enkel (se figur 9).



*Figur 9 - Dellösning 5*

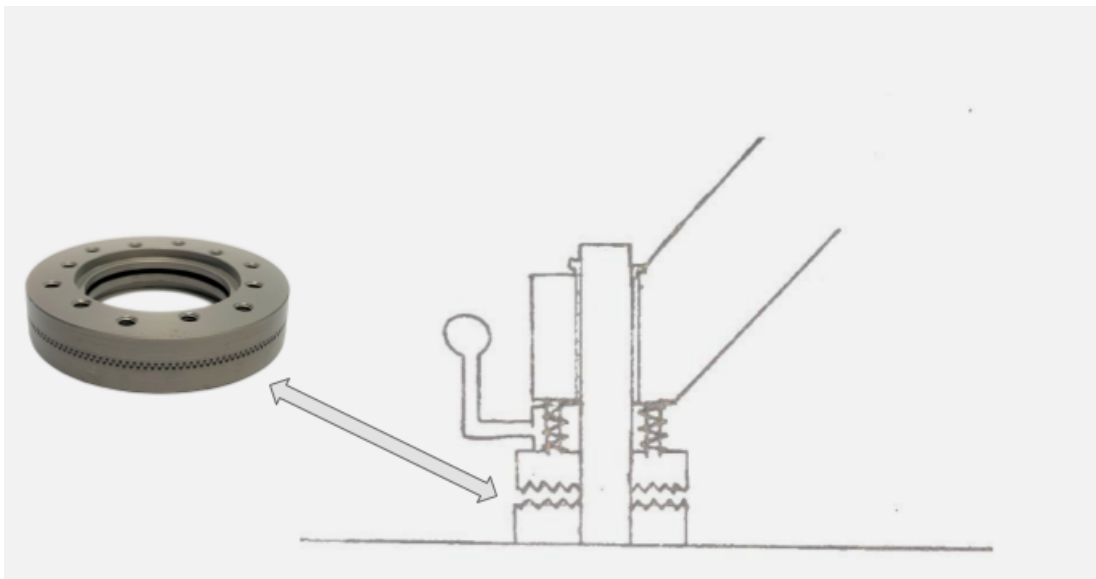
*Från Bromsskiva Bak CF Moto [foto], av Atvhuset, 2023 [14]*

*Från Disc brake caliper CBM3 [foto], av directindustry, 2023 [15]*

### 3.2.2 Dellösning 6

Dellösning 6 är en låsningsmekanism i form av en splineskoppling. Den består av en cirkulär koppling bestående av två delar med splines i den radiella riktningen. Övre halvan sitter

monterad i armen och den andra i ledens axel. Kopplingen är med hjälp av fjädrar ihoppressad och kan på så sätt ta upp vridmoment i det horisontella planet. Genom att vrida på en spak lyfts den övre halvan av splinekopplingen och armen kan nu rotera fritt. Fördelen med denna typ av låsningsmekanism är att splines kan överföra höga vridmoment och framförallt att konstruktionen blir relativt kompakt, vilket är fördelaktigt om avlastningsarmen skall användas i ett begränsat utrymme. Eftersom splineprofilen har vassa toppar blir kopplingen självcentrerande. Nackdelen är att låsningen ej blir steglös då splinekopplingen behöver roteras för att fastna i nästa läge. Kostnaden för splinekopplingarna är relativt höga då de är komplexa, frästa detaljer.

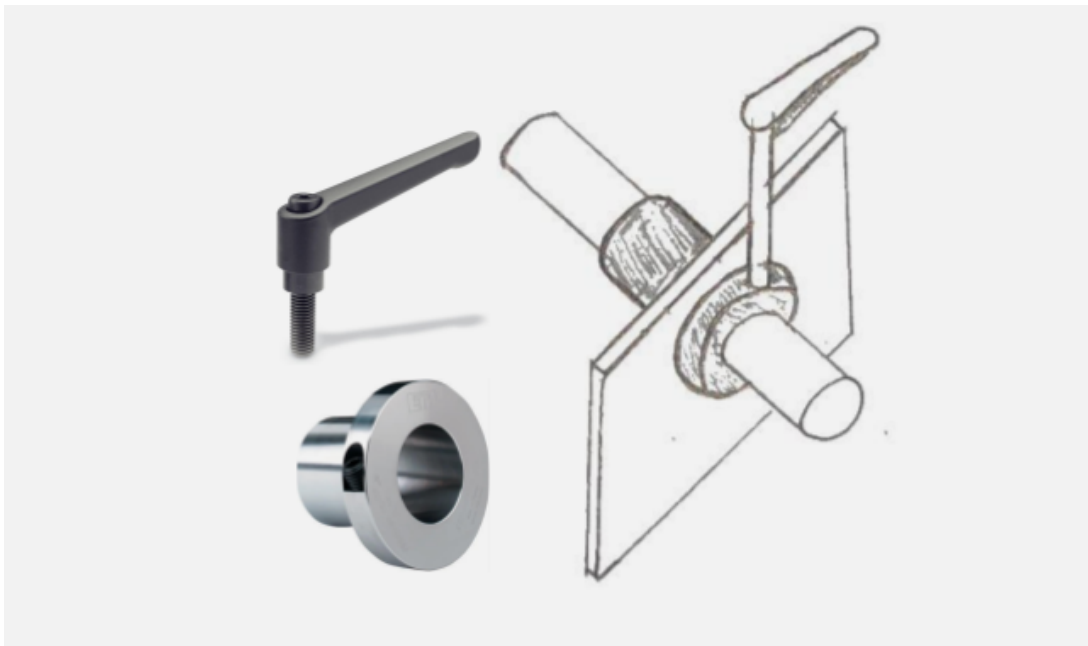


Figur 10 - Dellösning 6

Från *Applications of Hirth couplings*[foto], av Eide, 2023 [16]

### 3.2.3 Dellösning 7

Dellösning 7 använder sig av en produkt som kallas *Locking bush*, en hylsa som kan klämmas mot en axel för att möjliggöra överföring av vridmoment. Hylsan har kanaler inuti som är fyllda med olja. När justerskruven dras åt trycksätts oljan och en klämkraft skapas längs hylsans innerdiameter. Produkten skall enligt RS components AB (2023) kunna monteras/demonteras upp till ett tusen gånger. Genom att montera produkten på avlastningsarmens rörliga leder kan den på så sätt låsas i alla dimensioner. En nackdel med produkten är att det finns risk för slirning. Locking bush för 30 millimeters axel säljs av RS components AB (2023) för 3056 SEK [17].

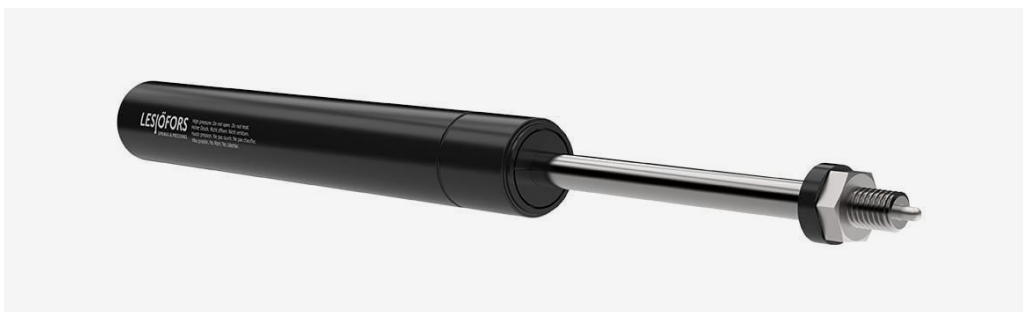


*Figur 11 - Dellösning 7*

*Från Lenze Locking Bush ETP [foto], av RS Components , 2023 [17]*

### 3.2.4 Dellösning 8

Dellösning 8 består av en gasfjäder som är möjlig att låsa i önskad position. Gasfjäders konstruktion är avlastad för att avlasta en massa likt den som presenterats tidigare men med möjlighet att låsa kolvkonstruktionen i ett visst läge. Denna produkt löser därmed de båda funktionerna att avlasta och att bromsa armen. Bromsen kan manövreras med användning av hydraulik eller bromsvajer. Ett vanligt användningsområde för låsbara gasfjädrar är kontorsstolar, där gasfjäders konstruktion gör att kontorsstolen blir justerbar i höjd.



*Figur 12 - Gasfjäder från Lesjöfors AB*

*Från Låsbar gasfjäder [foto], av Lesjöfors AB, 2023 [18]*

### 3.2.5 Dellösning 9

Dellösning 9 bygger på att montera elektromagnetiska bromsar på avlastningsarmens rörliga leder. I vissa arbetsmiljöer som till exempel livsmedelsindustrin ställs det höga krav på att minimera dammutveckling, i sådana miljöer är elektromagnetiska bromsar att föredra jämfört med hydrauliska och mekaniska bromsar. Nackdelen är att denna typ av broms klarar mindre vridmoment än andra typer och att de har en hög massa. ATO (2023) säljer en elektromagnetisk broms för 100 Nm för cirka 6000 SEK [19]. Den väger 5,1 kg och har en diameter på 190 millimeter.



*Figur 13 - Elektromagnetisk broms från ATO*

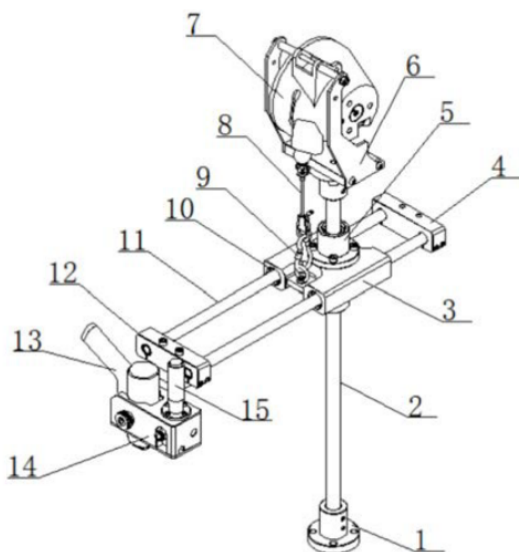
*Från Electromagnetic clutch [foto], av ATO, 2023 [19]*

### 3.3 Patentsökning

För utvecklingen av ett slutligt koncept granskades befintliga patent för att ge inspiration till möjliga lösningsförslag. I denna del presenteras olika patent och deras funktioner.

#### 3.3.1 Large-torque balance arm of force ([CN211193740U](#)) [20]

Patentet visar en avlastningsarm där första sektionen består av ett förankringsfäste (1), en centrumaxel (2) och ett balansblock (7). Sektion 2 omfattar kullager (5), linjérlager (9), linjérskenor (11) och ett verktygsfäste (14). Balansblocket skapar en justerbar avlastningskraft som lyfter sektion 2 och det verktyg som monteras längst ut på armen. Centrumaxeln är slät och därmed kan sektion 2 glida och rotera fritt axiellt. Linjérlagerorna och linjérskenorna ser till att verktygsfästet kan förflyttas mot och bort från centrumaxeln. Sektion 2 är ej teleskopisk och därför tar den upp yta bakom centrumaxeln, speciellt när operatören önskar att verktyget skall positioneras nära centrumaxeln. Avlastningsarmens räckvidd är en cirkel där radien bestäms av längden på sektion 2.



Figur 14 - Patent [CN211193740U](#)

Från [CN211193740U](#) [foto], av Wang Xianya, 2020 [20]

### 3.3.2 Ergonomic welding arm with a plurality of arm links and joints

([US10427252B2](#)) [21]

ESAB AB har tagit fram en avlastningsarm som är anpassad för att användas vid manuell svetsning. Syftet är att personen som svetsar ej skall behöva bära vikten av kablarna som går in i svetspistolen. Enligt ESAB är dessa kablar mycket styva både i böjning och vridning, vilket kan resultera i försämrad svetskvalitet om personen blir trött i armarna. Likt den avlastningsarm som skall utvecklas i detta projekt är huvudsyftet att förbättra ergonomi. Armens första led (2) sitter fast i en takmonterad bom, där den kan glida fritt för att följa med en svetsare som förflyttar sig längs ett produktionsband eller liknande. De återstående lederna (12, 18, 22) drivs med pneumatik eller hydraulik. Hålen som syns på arm sektionerna används för att kunna finjustera avlastningskraften från den pneumatiska eller hydrauliska cylindern.

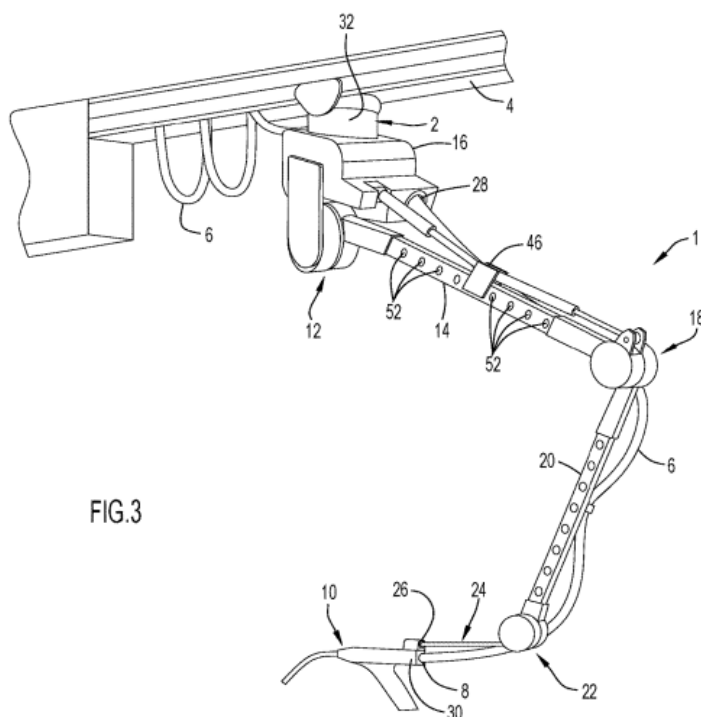


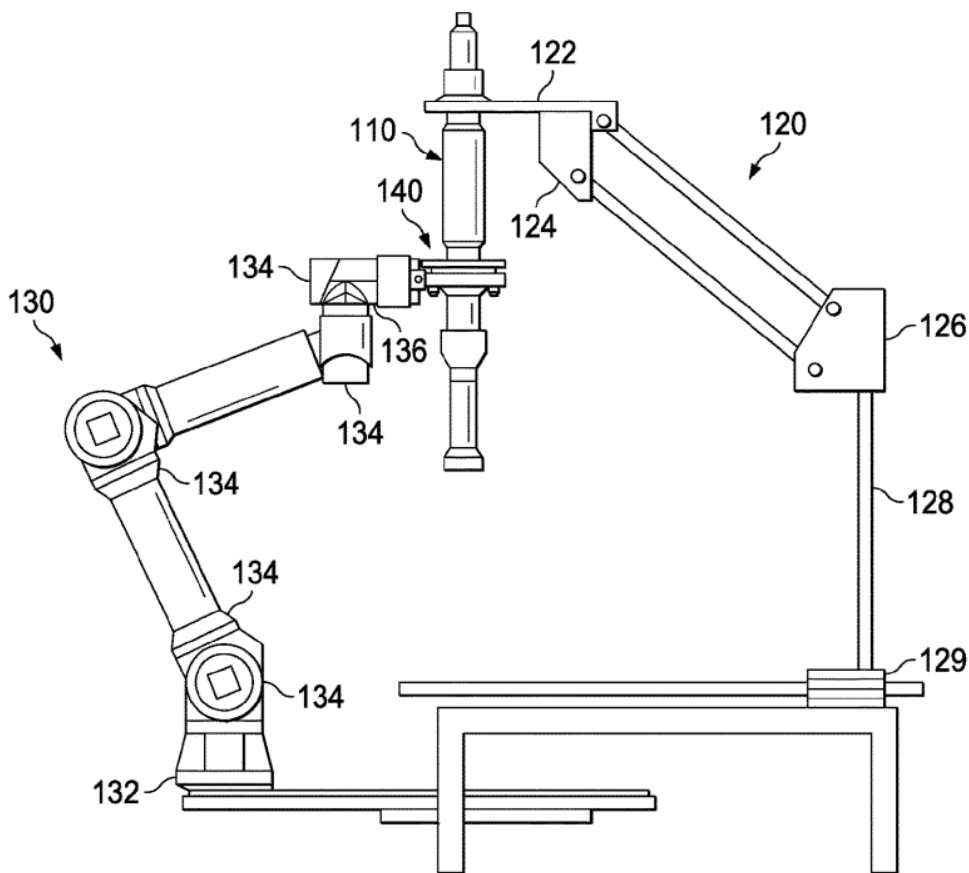
FIG.3

Figur 15 - Patent [US10427252B2](#)

Från [US10427252B2](#) [foto], av Josefin Ambring, 2019 [21]

### 3.3.3 Collaborative robot hand bearing for high-torque tightening applications ([US20210154866A1](#)) [22]

Patentet är skapat för ett speciellt lager (140) som är konstruerat för att kunna koppla samman en industriell robot (130) med en parallellarm (120). Syftet är att parallellarmen skall göra roboten mer stabil så att den kan användas tillsammans med åtdragningsverktyg med höga vridmoment. I patentet klargörs det att det finns stora industriella robotar som klarar av höga åtdragningsmoment, men dessa är betydligt mer kostsamma. Parallellarmen skall ej begränsa robotens räckvidd och därför sitter den monterad på en linjärskena (129)



Figur 16 - Patent [US20210154866A1](#)

Från [US20210154866A1](#) [foto], av Keith J. Wells, 2019 [22]

## 3.4 Konkurrenters lösningar

För att ge ytterligare inspiration för möjliga lösningsförslag granskades även den befintliga marknaden. Konkurrenters produkter utvärderades utifrån vilka komponenter och lösningar som använts. Detta kunde därefter användas vid framtagning av det fullständiga konceptet.

### 3.4.1 Smart Motion, PA-150-S

PA-150-S är en parallellarm som säljs av Smart Motion Sweden AB (2022) [23]. Den kan hantera vridmoment upp till 150 Nm och har en avlastningsförmåga på 10 kg. Avlastningen skapas med hjälp av fyra stycken justerbara gasfjädrar. Olika monteringspositioner på gasfjädrarna ändrar avlastningskraftens magnitud. Räckvidden i horisontalplanet är 950 mm och 550 mm i höjd. Ingen av lederna är låsbara.



*Figur 17 - PA-150-S*

*Från Parallellarm [foto], av Smart Motion Sweden, 2022 [24]*

### 3.4.2 Smart Motion, PA-25-S

Smart Motion Sweden (2022) har en annan parallellarm, PA-25-S [25] där armarna rör sig i både det horisontella och det vertikala planet. Armen kan ta upp 25 Nm i vridmoment och klarar att avlasta massan 0 - 2,5 kg. Beroende på specifikation har modellen en räckvidd på 800 mm i horisontalplanet. Istället för gasfjädrar som den tidigare armen från Smart Motion Sweden har, använder denna dragfjädrar för att avlasta massan från verktyg.



*Figur 18 - PA-25-S*

*Från Parallellarm [foto], av Smart Motion Sweden, 2022 [26]*

### 3.4.3 Bernardo, TM 10 BLO / R 1100

Gängmaskinen TM 10 BLO / R 1100 från Bernardo (2018) [27] använder en parallellarm för att avlasta massan från en gängmaskin. Avlastningsarmen består av en bom som är förankrad i ett bord och endast kan röra sig i det horisontella planet, och en parallellarm där verktyget sitter som kan röra sig i både det horisontella och det vertikala planet. Parallellarmen använder gasfjädrar för att möjliggöra avlastningen. Avlastningsarmen har en räckvidd på 1100 mm och en massa på 25 kg.



*Figur 19 - TM 10 BLO / R 1100, gängmaskin*

*Från TM 10 BLO [foto], av Bernardo, 2018 [28]*

### 3.4.4 Atlas Copco, SMS-T-100

SMS-T-100 är en avlastningsarm från Atlas Copco (2023) [29] som skiljer sig från de andra avlastningsarmar som presenterats ovan. Den använder två stycken balansblock för att skapa en avlastningskraft. Armsektionerna är lagrade i varandra och kan röra sig fritt. Armen kan hantera vridmoment upp till 100 Nm. Räckvidden är 788 mm i horisontalplanet och 1147 mm i höjd.



*Figur 20 - SMS-T-100*

*Från Torque Arm, SMS T [foto], av Atlas Copco, 2023 [30]*

### 3.4.5 3arm, Series 3

Företaget 3arm (2023) tillverkar flera avlastningsarmar. I figur 21 nedan visas Series 3 [31] som är utrustad med manuellt låsbara leder. 3arm erbjuder även en version som använder pneumatik för att låsa lederna. Maximalt vridmoment är 650 Nm och Series 3 kan lyfta upp till 35 kg.

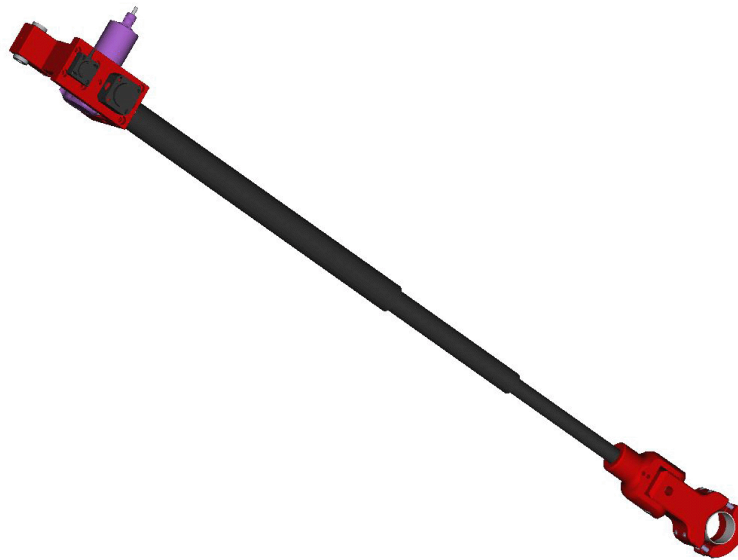


*Figur 21 - 3arm avlastningsarm*

*Från Series 3 [foto], av 3ARM, 2023 [32]*

### 3.4.6 TMC-partner, Teleskopisk avlastningsarm

TMC-partner (2023) har utvecklat teleskopiska avlastningsarmar [33] som kan fästas i vänstersidan till en vägg där verktyget avlastas genom att ett balansblock fästs i exempelvis en glidskena i taket och även i armens högra sida. I och med teleskopfunktionen är den minimala räckvidden teleskoprörets längd. Armen är också utvecklad med positionskontroll vilket medför rätt åtdragningsmoment från till exempel en skruvdragare då armen befinner sig i en viss position. Denna funktion är fördelaktig om armen ska användas till åtdragningsverktyg.



*Figur 22 - Teleskopisk avlastningsarm*

*Från Teleskopisk avlastningsarm med positionskontroll [foto], av TMC Partner AB, 2023 [34]*

## 4. Analys och utvärdering av koncept

För att komma fram till ett fullständigt koncept som lämpar sig bäst för uppgiften utvärderades delkonceptens för- och nackdelar och dess förmåga att lösa funktionerna; avlastning och bromsning. På detta vis kunde de mindre lämpliga koncepten elimineras och de bästa stå kvar.

### 4.1 Avlastningsmekanism

För avlastningsmekanismen har fyra olika delkoncept tagits fram. Användning av gasfjäder, drag/tryck-fjäder, balansblock och elektrisk cylinder. Nedan visas en tabell över de för- och nackdelar hos delkoncepten som tagits upp i avsnittet: Framtagning av alternativa koncept.

Delkoncept	Fördelar	Nackdelar
Gasfjäder	Billig standardkomponent	Bör ej monteras upp och ner
	Underhållsfri	Behöver bytas efter viss tid
	Finns i flera olika storlekar	
	Enkla att montera	
Drag/tryck-fjäder	Billig standardkomponent	Kan vara svår att montera
	Underhållsfri	Klämrisk
	Finns i flera olika storlekar	
Balansblock	Standardkomponent	Kostsam standardkomponent
	Enkla att montera	Kräver underhåll
	Jämn avlastning	Fäst i en lina som kan vara i vägen och försvåra arbete
Elektrisk cylinder	Hög avlastningsförmåga	Mycket dyr
	Jämn avlastning	Kräver underhåll

		Långsammare än andra lösningar
		Svår att installera

*Tabell 2 - För- och nackdelar med delkoncept till avlastningsmekanism*

För Techcon är det viktigt att hålla nere kostnaderna men att fortfarande behålla en produkt av kvalitet. Resultatet från tabellen kan därmed visa att den elektriska cylindern direkt kan uteslutas då det mycket höga priset resulterar i ett för högt pris för den slutliga produkten. Den svåra installationen talar också mot dess användning även om avlastningsförmågan är mycket god hos produkten. Balansblocket kan också sållas bort tidigt då lösningen är dyrare än andra och att linan som den fästs med kan försvåra arbetet. Den kräver också underhåll vilket talar mot produkten. Slutligen står valet mellan gasfjäder och drag/tryck-fjäder. De har båda flera fördelar respektive nackdelar. Drag/tryckfjädern kan orsaka klämrisk vilket försämrar konceptets uppfyllande av kravet: säkerhet. Den kan också vara svår att montera till skillnad från gasfjädern där montage är mycket enkelt. En nackdel hos gasfjädern är att de inte får monteras upp och ner då smörjningen försämrar och livslängden minskar. Detta bör inte vara något problem i det fullständiga konceptet då utformningen kan anpassas. Den andra nackdelen är att de efter viss tid behöver bytas då de förlorar sin funktion. Denna tid varierar beroende på förutsättningar men är oftast relativt lång. Eftersom gasfjädrarnas pris är lågt är detta därmed ett mycket litet problem. Eftersom konceptets säkerhet är ett krav av stor vikt och gasfjäders nackdelar är mycket små kan gasfjädern väljas som det mest lämpade delkonceptet och det som kommer att användas vid utveckling av det fullständiga konceptet.

## 4.2 Bromsmekanism

För bromsmekanismen har fyra delkoncept tagits fram: Bromsskiva med ok, splinesbroms, locking bushing och elektromagnetisk broms. Nedan visas en tabell över delkonceptens för- och nackdelar från tidigare avsnitt: Framtagning av alternativa koncept.

Delkoncept	Fördelar	Nackdelar
Bromsskiva med ok	Billiga standardkomponenter	Risk för slirning

	Steglös broms	Kräver underhåll
Splinesbroms	Mycket stark bromskraft	Dyra frästa detaljer
	Platseffektiv	Ej steglös
	Underhållsfri	
Locking bush	Platseffektiv	Risk för slirning
	Steglös broms	Kan endast användas upp till 1000 gånger
		Måste skruvas åt
Låsbar gasfjäder	Enkel användning	Bör ej monteras upp och ner
	Underhållsfri	Begränsad livslängd
	Enkel montering	Svårt att bromsa rotation i horisontella planet.
	Steglös bromsning	
	Kombinerad avlastning och bromsning	
	Billig standardkomponent	
	Finns i olika storlekar	
Elektromagnetisk broms	Enkel användning	Hög massa
	Steglös broms	Dyr standardkomponent
		Klarar låga moment
		Tar upp stor plats

*Tabell 3 - För- och nackdelar med delkoncept till bromsmekanism*

Utifrån tabellen ovan sällas de mindre lämpade delkoncepten bort. Den elektromagnetiska bromsen är enkel att använda och steglös men det höga priset och massan, upptagandet av

stor plats och att den endast klarar låga moment gör att denna kan sållas bort.

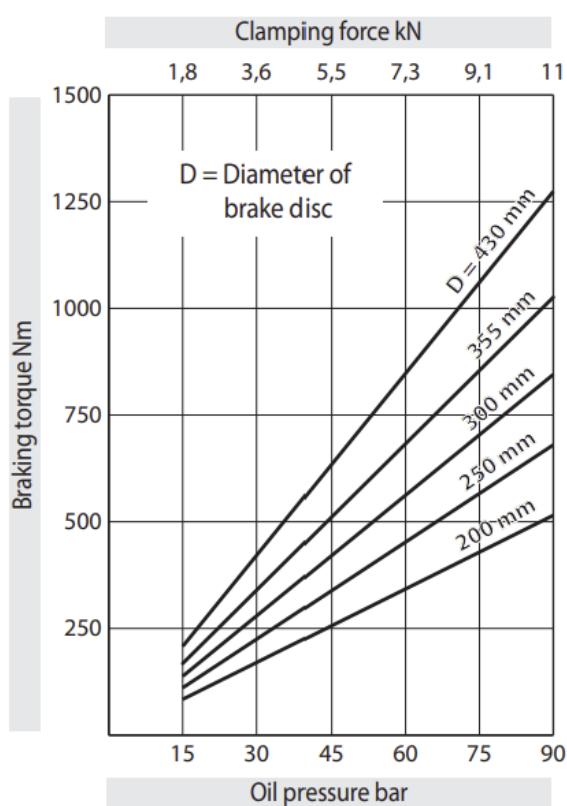
Locking bush är platseffektiv och steglös men klarar endast av upp till 1000 användningar vilket är för lite för den produkt som utvecklas i projektet. Vid användning måste den skruvas åt vilket försvårar användningen och beroende på åtdragningsmomentet finns det risk för slirning. Locking bush kan därmed också uteslutas.

Den låsbara gasfjäders har flertalet fördelar vilka är mycket lämpade för det fullständiga konceptet. Nackdelarna är desamma som för en vanlig gasfjäder, vilka är mycket få. Den låsbara gasfjäders har däremot problemet att de är svåra att använda för låsning av rotationen i horisontalplanet. I och med detta kan gasfjäders användas för bromsning i det vertikala planet och användas för vidare framtagning av det fullständiga konceptet, men det krävs en annan typ av broms för bromsning det horisontella planet. De två återstående delkoncepten för detta är bromsskiva med ok och splinesbroms. De har båda flera fördelar men också nackdelar. Splinesbromsen består av flera frästa detaljer vilket medför en högre kostnad. Bromsningen sker i steg vilket medför att armen måste låsas i lägen. Däremot blir denna mycket stark i och med dessa steg. Bromsen kan också göras väldigt platseffektiv vilket är mycket fördelaktigt i produkten. Bromsskivan med ok är istället steglös vilket förbättrar armens precision. De ingående komponenterna är också betydligt billigare än splinebromsen. Nackdelarna för detta delkoncept är behovet av underhåll och risken för slirning. Beroende på bromsskivans storlek och okets tryckkraft kan olika bromsmoment genereras. De båda bromsarna är väl anpassade för bromsning i det horisontella planet men är mindre lämpade för bromsning i det vertikala planet vid användning i en parallellarm. I och med de fördelar och få nackdelar som presenterats för skivbromsen uppskattas denna vara mest lämpad för armen. För att säkerställa att kravet för bromsmomentet uppnås görs undersökningar och beräkningar.

## 4.3 Beräkningar för återstående bromsmekanismer

### 4.3.1 Skivbroms

Företaget Ringspann GmbH som utvecklar bromsok för industriellt bruk har ett bromsok: HW 040 HFA med en kolvdiameter på 40 mm. För storleken på armen anses detta bromsok vara av rimlig storlek. Bromsoket kan klämma med en maximal kraft på 11 kN, (Ringspann GmbH, 2023) [35]. I figur 23 nedan visas det moment bromsen kan ta upp för olika storlekar på bromsskivor och oljetryck från cylindern.



The braking torques shown in the diagram are based on a theoretical friction coefficient of 0,3.

*Figur 23 - Bromsmoment skivbroms*

*Från Brake Caliper HW 040 HFA [foto], av Ringspann GmbH, 2023 [35]*

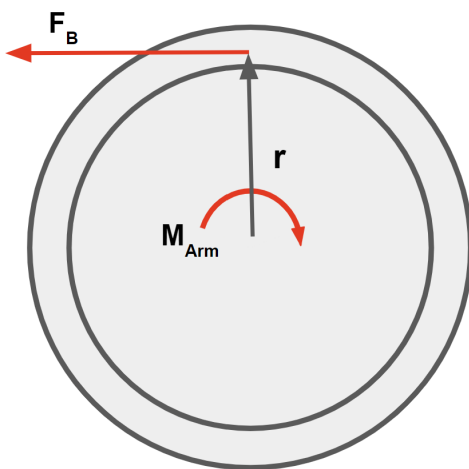
Diagrammet visar att den minsta skivan med en diameter 200 mm och ett oljetryck på 15 bar endast genererar ett maximalt moment om ca 120 Nm. För en arm som utvecklas i projektet uppskattas bromscylindern vara i samma storlek och klass som från en prestandamotorcykel. Enligt Ducatiforum, 2014 [36] kan dessa generera upp till ca 2.75 bar vilket är betydligt mindre. Den maximala diametern på bromsskivan uppskattas vara 100 mm för att vara

tillräckligt kompakt och inte försvåra användningen. I och med de uppskattningar som gjorts kan det konstateras att en skivbroms i storleksklassen inte kommer att uppnå det moment som kravet ställer om 100 Nm.

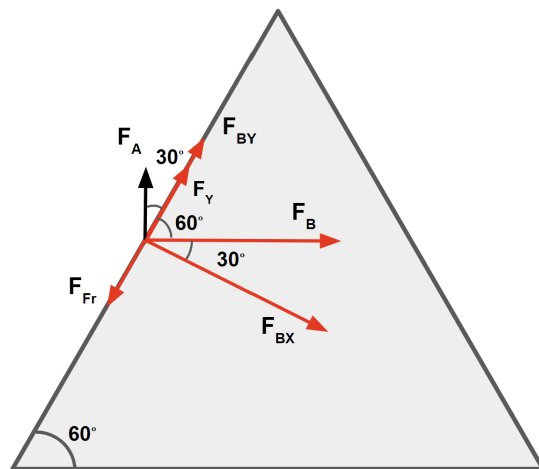
### 4.3.2 Splinesbroms

Splinesbromsen är den lösning som återstår för bromsmekanismen i det horisontella planet. Dess bromsmoment kan bestämmas beroende på valet av fjädrar som trycker ihop splineskopplingarna och splineskopplingarnas diametrar. Likt skivbromsen anses en maximal diameter för splineskopplingen vara 100 mm. Med hjälp av beräkningarna som redovisas nedan kan kraften som fjädrarna måste trycka ihop kopplingen med tas fram.

Figur 24 visar splineskopplingen från vy ovanifrån där  $M_{arm}$  genererar kraften  $F_B$ . I Figur 25 kan man därefter se en av splineskopplingens tänder, förstörd med kraften  $F_B$  från momentet  $M_{Arm}$  och de kraftvektorerna som används i beräkningarna.



Figur 24 - Vy ovanifrån



Figur 25 - Tand

$$M_{Arm} = 100 \text{ Nm}$$

$$r = 0,046 \text{ m}$$

$$F_B = \frac{M_{Arm}}{r} = \frac{100}{0,046} \approx 2173,9 \text{ N}$$

$$F_{BY} = F_B \cdot \sin(30) = 2173,9 \cdot \sin(30) \approx 1086,95 \text{ N}$$

$$F_{BX} = F_B \cdot \cos(30) = 2173,9 \cdot \cos(30) \approx 1882,65 \text{ N}$$

Enligt boken Maskinelement (Melkersson m.fl., 2017) [37] är friktionstalet för stål mot stål ca 0,11- 0,33. I beräkningarna användes friktionstalet 0,18, strax under medelvärdet.

$$\mu(\text{stål} - \text{stål}) = 0,18$$

$$F_{Fr} = \mu \cdot F_{BX} = 0,18 \cdot 1882,65 \approx 338,88 \text{ N}$$

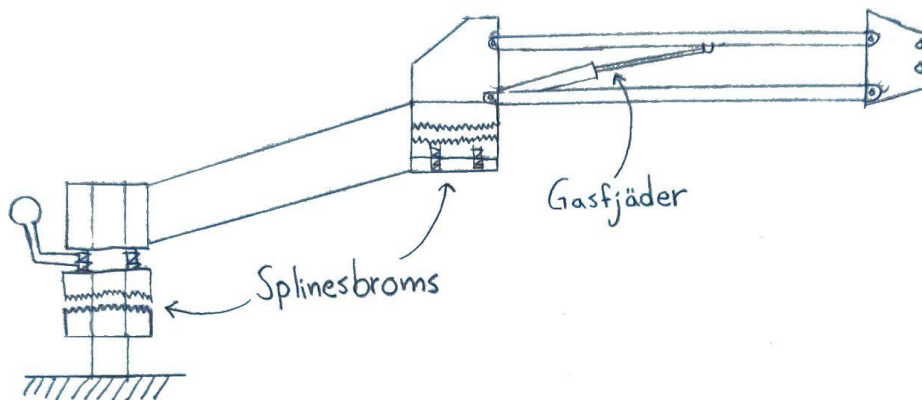
$$F_Y = F_{BY} - F_{Fr} = 1086,95 - 338,88 \approx 698,07 \text{ N}$$

$$\uparrow^+: F_A = F_Y \cdot \cos(30) = 698,07 \cdot \cos(30) \approx 604,55 \text{ N}$$

Den kraft fjädrarna behöver trycka ner splineskopplingen för att bromsen ska klara momentet 100 Nm uppgår till 604,55 N vilket med användning av flertalet fjädrar är möjligt att uppnå. Splinesbromsen är därmed det slutliga konceptet för bromsning i det horisontella ledet.

De återstående delkoncepten för det fullständiga konceptet är därmed: låsbara gasfjädrar för avlastning och bromsning av rörelse i det vertikala planet och splinesbroms för bromsning av rörelse i det horisontella planet.

#### 4.4 Slutgiltigt koncept



Figur 26 - Slutgiltigt koncept

Det slutliga konceptet grundades ur den fria idégenereringen, analys och utvärdering av koncept, information och erfarenhet från Techcons konstruktörer och inspiration från konkurrenters tidigare lösningar.

Armen valdes att utformas av en bom som endast kan röras i det horisontella planet och en parallellarm som kan röras både i det horisontella och det vertikala planet. Utformningen liknar den arm som utvecklats av Bernardo som presenterats i stycket: Konkurrenters lösningar. Armen valdes utifrån Techcons tidigare erfarenheter. Denna typ av arm tycktes vara mer lättanvänd och följa rörelser mer naturligt än armar bestående av två parallellarmar. Exempelvis de armar som utvecklats av Smart motion i avsnittet om konkurrenters lösningar.

Utifrån analys och utvärdering av koncept valdes den avlastande mekanismen till användning av gasfjädrar. Då armen består av en bom som endast kan röra sig i horisontalplanet och en parallellarm som kan röra sig både i det horisontella och det vertikala planet krävs endast en avlastningsmekanism för parallellarmsdelen.

Den typ av broms som valdes för låsning av parallellarmens förflyttning i vertikalplanet var låsbar gasfjäder. I och med användningen av gasfjädern för avlastningsmekanismen medför detta en enkel och platseffektiv lösning då dessa kan kombineras i en och samma gasfjäder. Denna lösning var den kvarstående efter elimineringen i avsnittet: Analys och utvärdering av koncept och används på flertalet av konkurrenters lösningar.

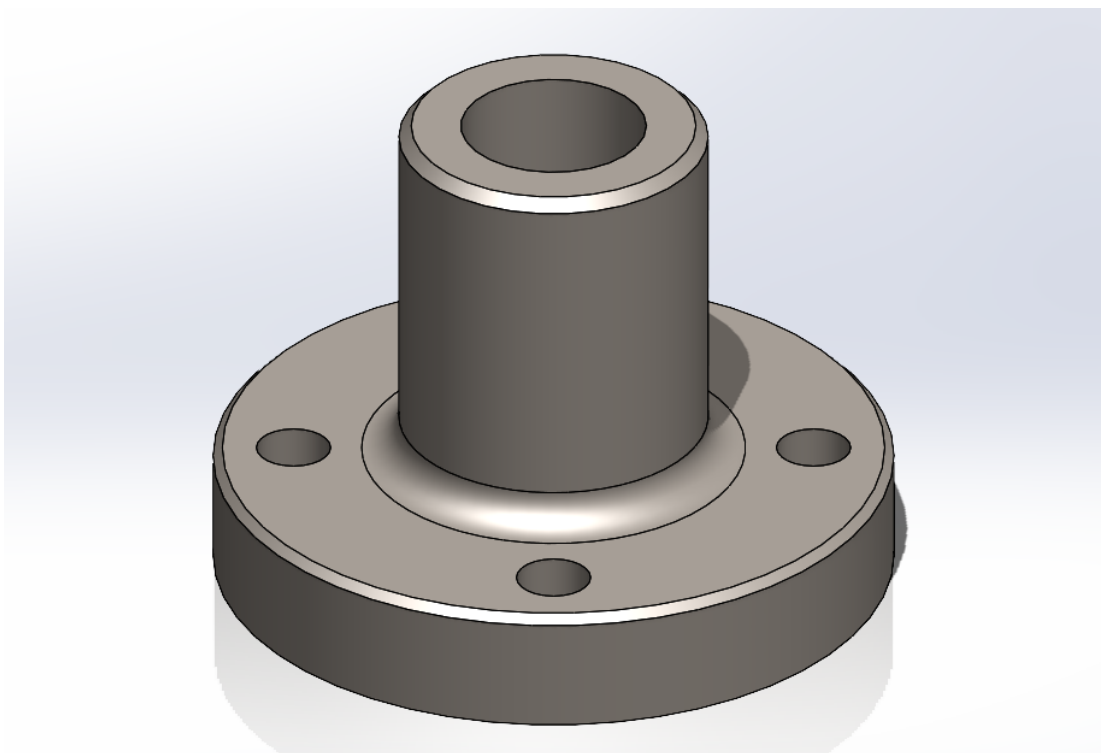
För låsning av bommens och parallellarmens horisontella rotationer återstod användning av splinesbroms. Splinesbromsen är mycket stark relativt dess storlek och kan designas och dimensioneras för att passa armens specifika konstruktion. Splinesbromsen utgick från tidigare koncept skapade av Techcons konstruktörer.

## 5. Detaljerad konstruktion

Den framtagna avlastningsarmen kan delas upp i följande delsystem: Förankring, Splinesbroms 1, Bom, Splinesbroms 2, Höljen och sammankoppling samt Parallellarm. Konstruktionen och samspelet mellan dessa delsystem kommer i följande avsnitt att beskrivas i detalj.

### 5.1 Förankring

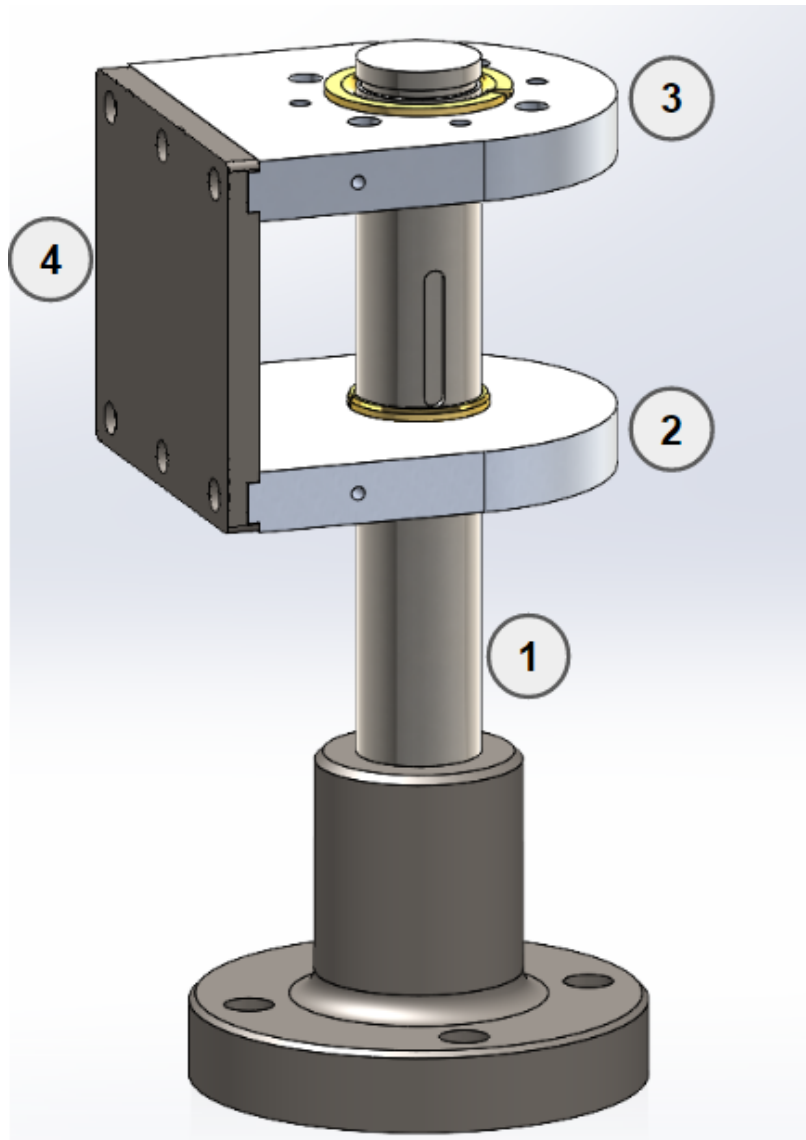
Enligt önskemål 1.10 i kravspecifikationen skall förankringen vara valbar, det vill säga att förankringsfoten är kompatibel med diverse adaptrar som gör det möjligt att montera armen på golv, vägg, bord eller med magnet. För att uppnå detta konstruerades en simpel förankringsfot av stål som kan ses i figur 27 nedan. Den har en relativt hög massa vilket sänker avlastningsarmens tyngdpunkt och förenklar montering av armen. Diametern i botten är 110 mm och det finns en hålbild för fyra M12-skrivar.



*Figur 27 - Förankringsfot*

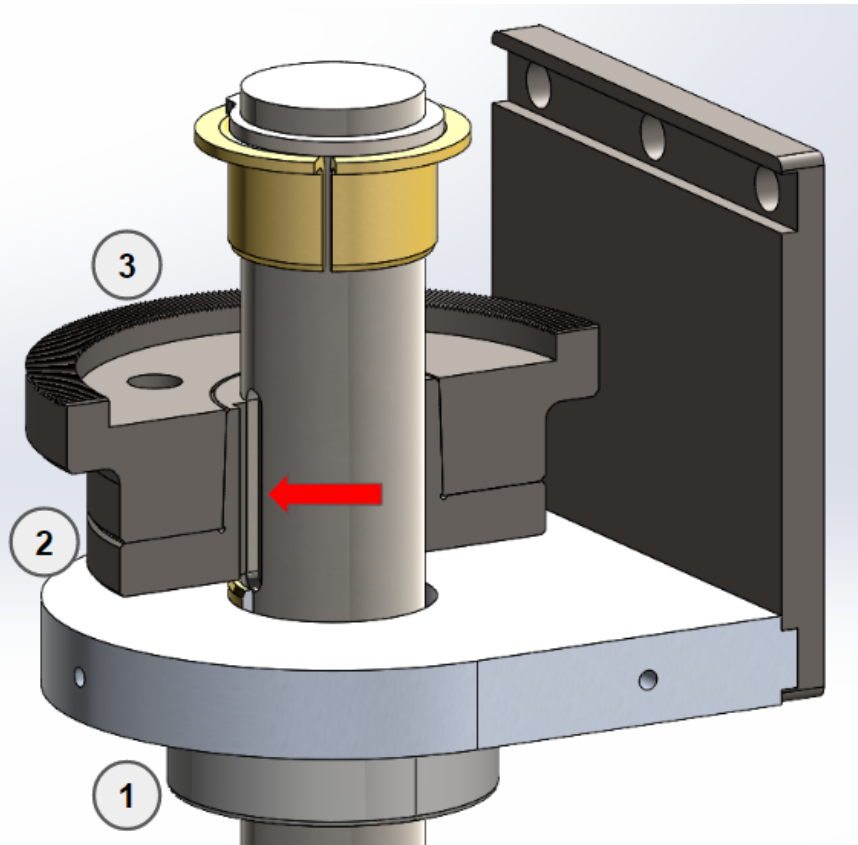
## 5.2 Splinebroms 1

Figur 28 visar förankringsfoten tillsammans med följande komponenter som ingår i *Splinebroms 1*: axel (1), undre platta (2), övre platta (3), fästplatta (4) och bronsbussningar.



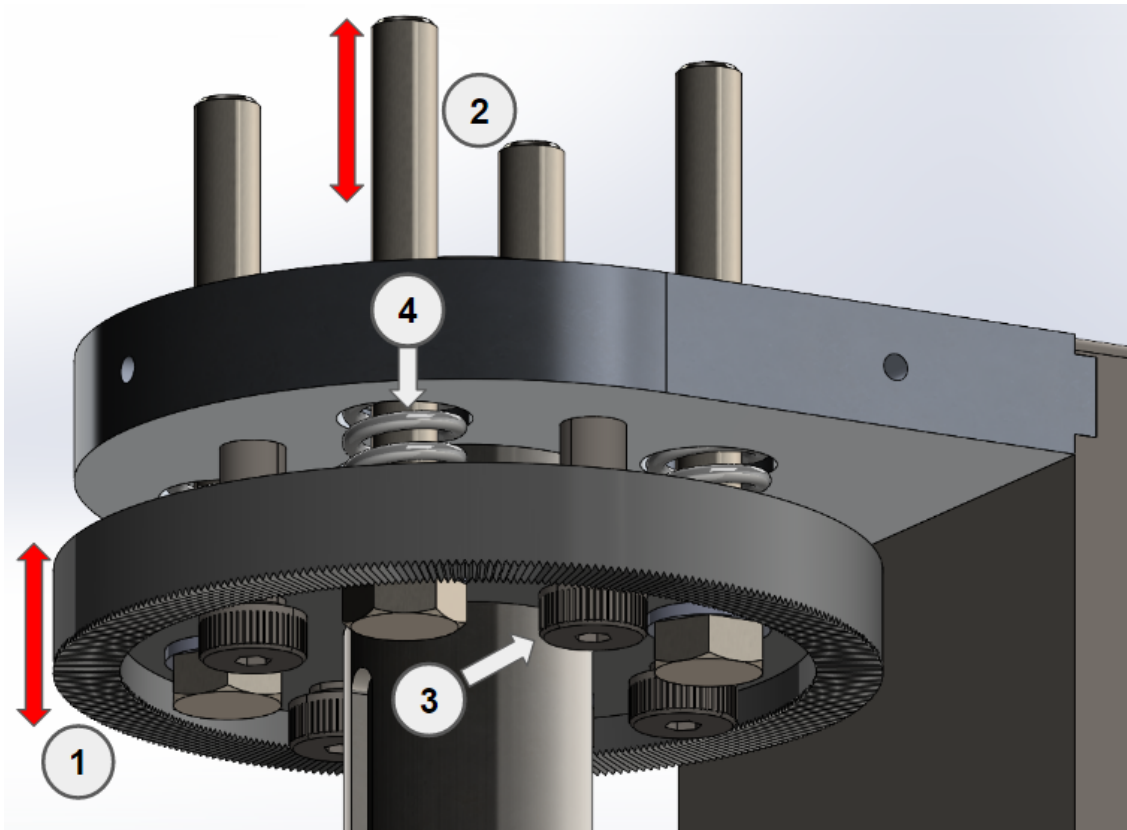
*Figur 28 - Splinesbroms 1*

Undre och övre plattor fixeras i fästplattan med fyra stycken skruv samt två cylindriska pinnar. Bronsbussningarna gör att dessa tre komponenter kan rotera fritt kring axeln, när bromsen ej är låst. Axeln är försedd med ett spår i den övre ändan där en spårring monteras. Spårringens funktion är att fixera övriga komponenter axiellt, mer specifikt förhindra rörelse uppåt längs axeln.



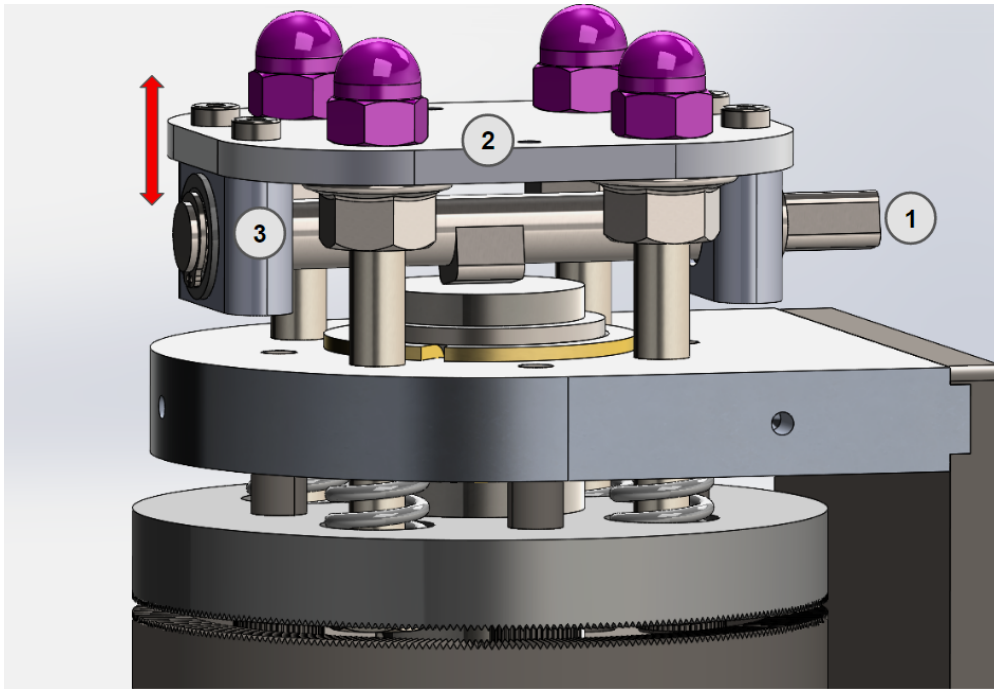
*Figur 29 - Splinesbroms 1*

I figur 29 ovan visas ytterligare tre komponenter: spännring (1), låsnav i snittvy (2) och undre splineskoppling i snittvy (3). Spännringen är en standardkomponent vars funktion är att stoppa förflyttning av övriga komponenter nedåt längs axeln. Låsnaget har en utvändigt konisk yta som matchar undre splinehylsans inre yta, när dessa monteras ihop skapas ett tryck mot axeln och därmed kan splinehylsan ta upp axiella krafter samt vridmoment. För att öka det maximala vridmomentet som kan tas upp utan att glidning uppstår används en fem millimeter bred kil, kilspåret är markerat med en röd pil i figur 29.



Figur 30 - Splinesbroms 1

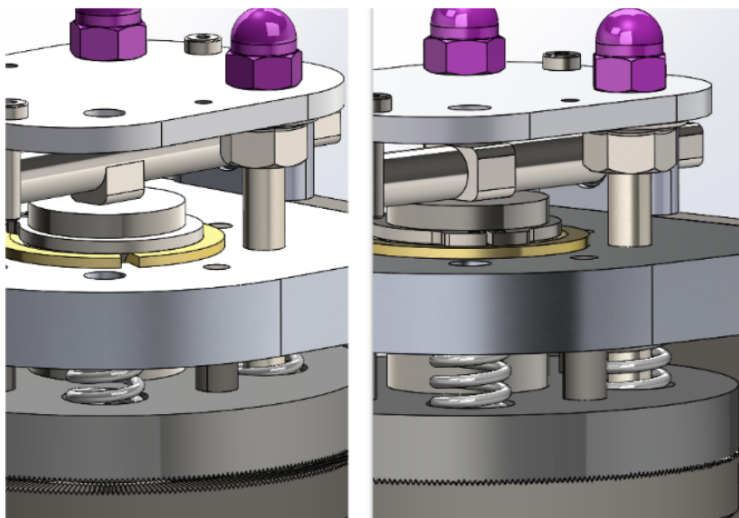
Övre splineskoppling (1), lyftskruvar (2), passkruvar (3) och tryckfjädrar (4) illustreras ovan. Den övre splineskopplingen kan glida axiellt längs med passkruvarna och axeln. Tryckfjädrarna, behöver enligt beräkningarna i avsnittet Analys och utvärdering av koncept trycka med en sammanlagd kraft om 604,55 N. I bromsen används därmed fyra fjädrar från McMaster-Carr [38] (artikelnummer 94125K136) med fjäderkonstanten 32,37 N/mm som pressar den övre splineskopplingen nedåt mot den undre splineskopplingen som tidigare visats. När detta sker är bromsen i låst läge. För att låsa upp den behöver lyftskruvarna förflyttas uppåt vilket medför att båda splineskopplingarna separeras.



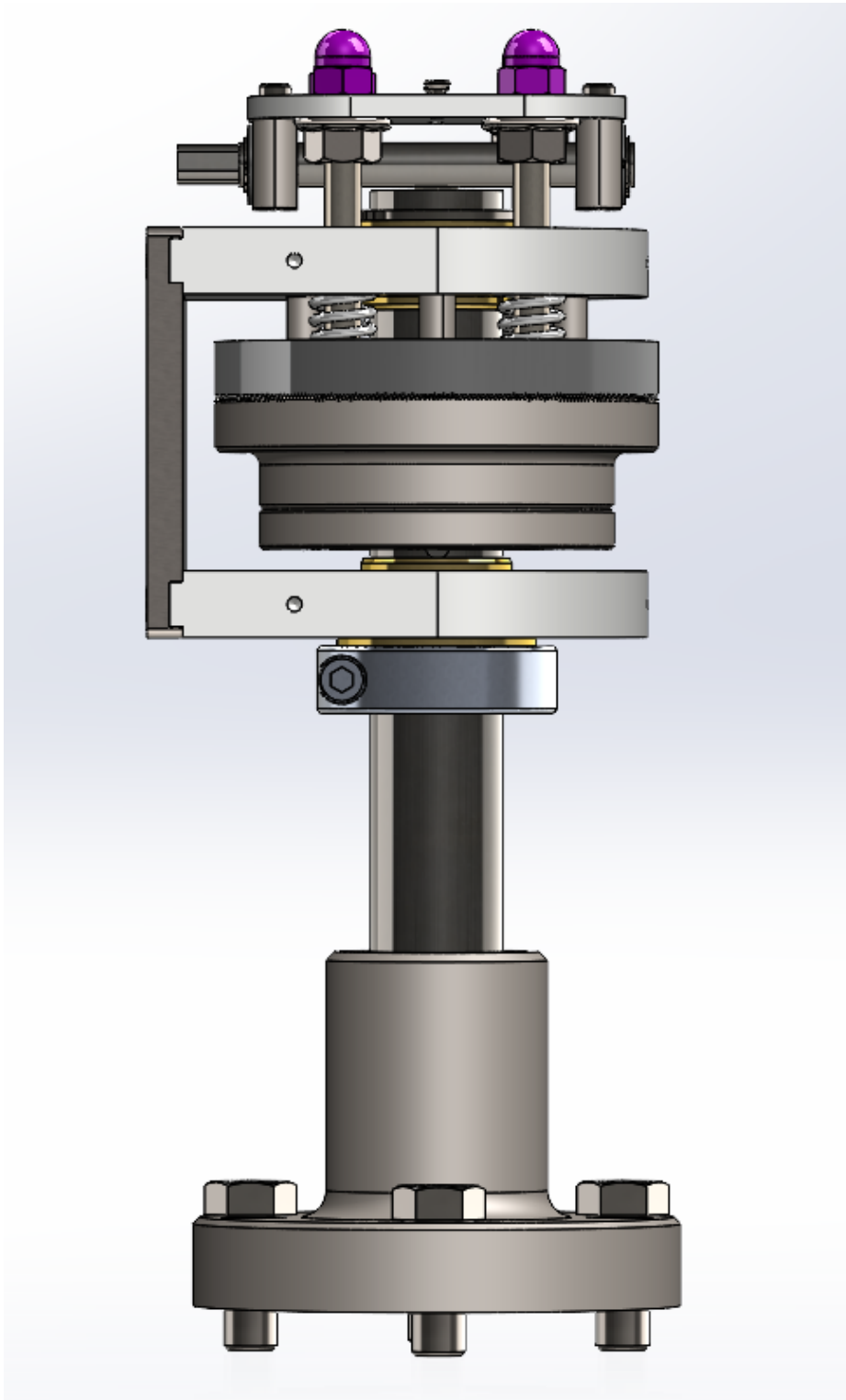
*Figur 31 - Splinesbroms 1*

Figur 31 ovan visar resterande komponenter i splinesbroms 1, dessa är kamaxel (1), lock (2) och två lagerhus (3). När kamaxeln roteras ett kvarts varv skapas en reaktionskraft som går ut till de två lagerhusen, genom teflonbussningarna vidare till locket och lyftskruvarna.

Kammen har en plan yta som tillsammans med tryckfjädrarna gör att splinesbromsen stannar i olåst läge tills ett vridmoment appliceras på kamaxeln av operatören. För att fixera alla komponenter används skruv, lås- och kupolmuttrar samt spårringar. Låsningssekvensen illustreras i figur 32 nedan där splinesbromsen är olåst till vänster.



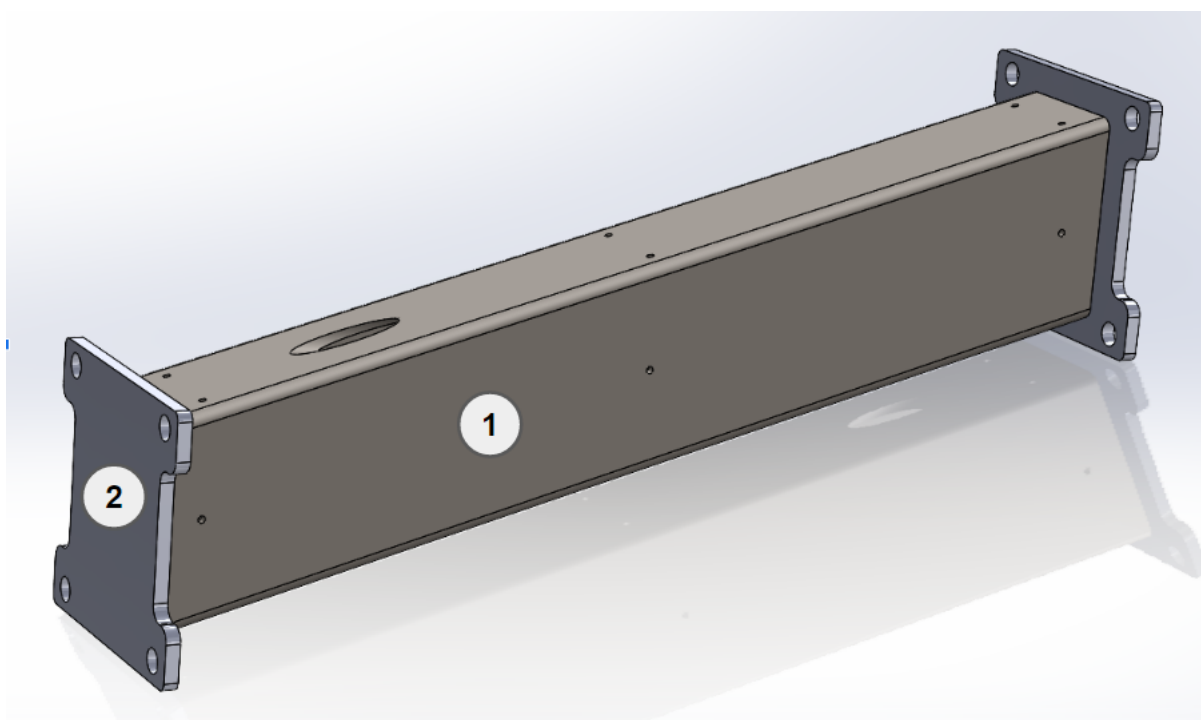
*Figur 32 - Låsningssekvens*



*Figur 33 - Splinesbroms 1 fullständigt monterad*

## 5.3 Bom

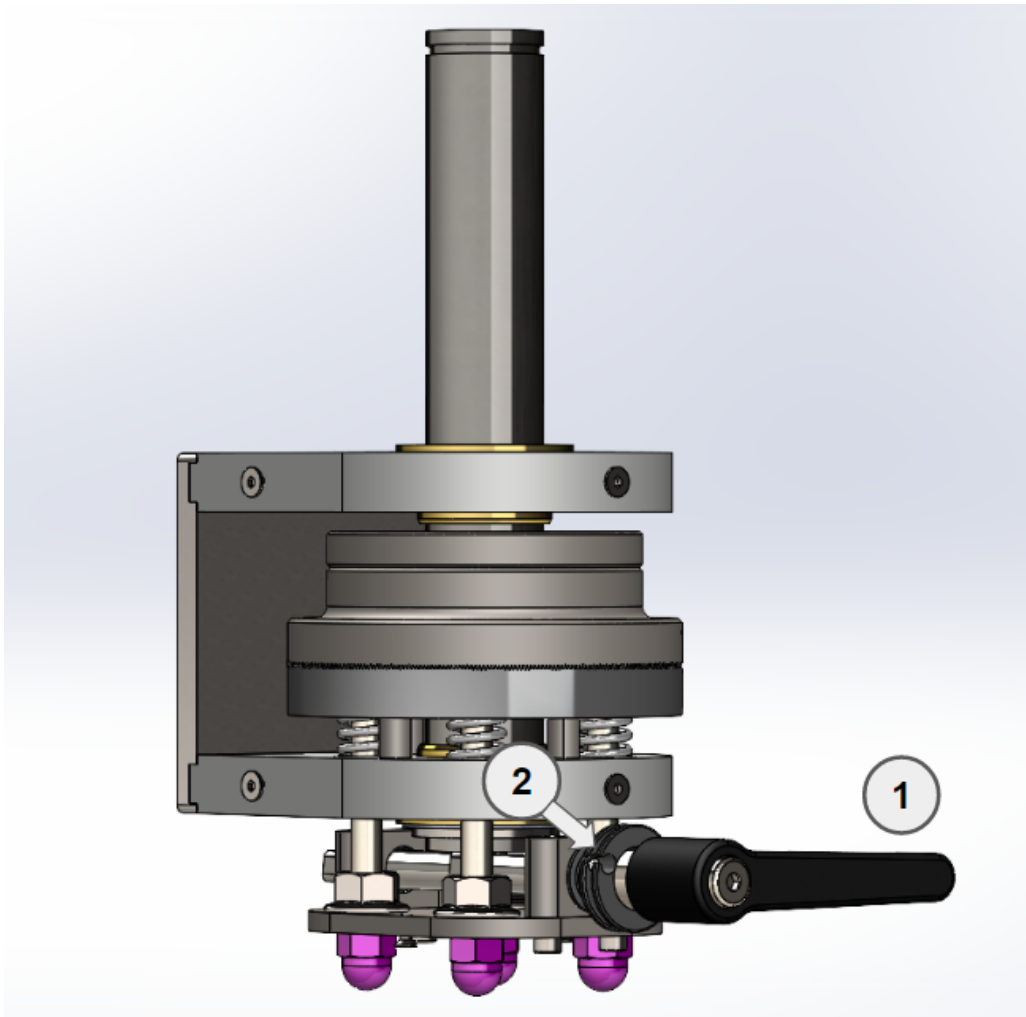
I nedanstående figur visas bommen (1) som tillsammans med dess två monteringsplattor (2) utgör avlastningsarmens första armsektion. Bommen är tillverkad i stål och har tvärsnittet 70x50x3 millimeter. Materialet i monteringsplattorna är också stål av anledning att de svetsas fast i bommen. Hålen som syns på bommen används dels till höljet och till en kardanaxel. Dessa komponenter kommer att beskrivas i avsnittet: Höljen och sammankoppling.



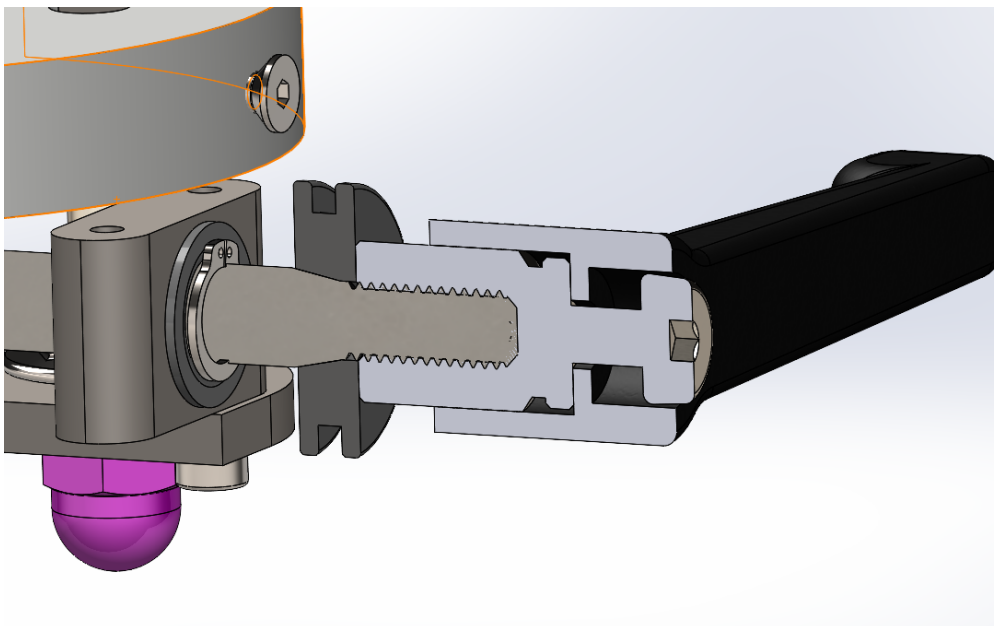
Figur 34 - Bom och monteringsplattor

## 5.4 Splinebroms 2

Den andra splinesbromsen (figur 35 nedan) är konstruerad på liknande sätt som splinesbroms 1. Skillnaden är att den är roterad 180 grader och att den är utrustad med en spak (1) och vajerhjul (2). Spaken sitter monterad på kamaxeln och det är med hjälp av den som operatören kan låsa hela avlastningsarmen. En vajer kopplas fast i vajerhjulet, när kamaxeln och spaken roterar förflyttas vajern, hur detta utnyttjas beskrivs i avsnittet: *Parallellarm*. Vajerhjulet kläms fast mellan kamaxeln och spaken, se figur 36.



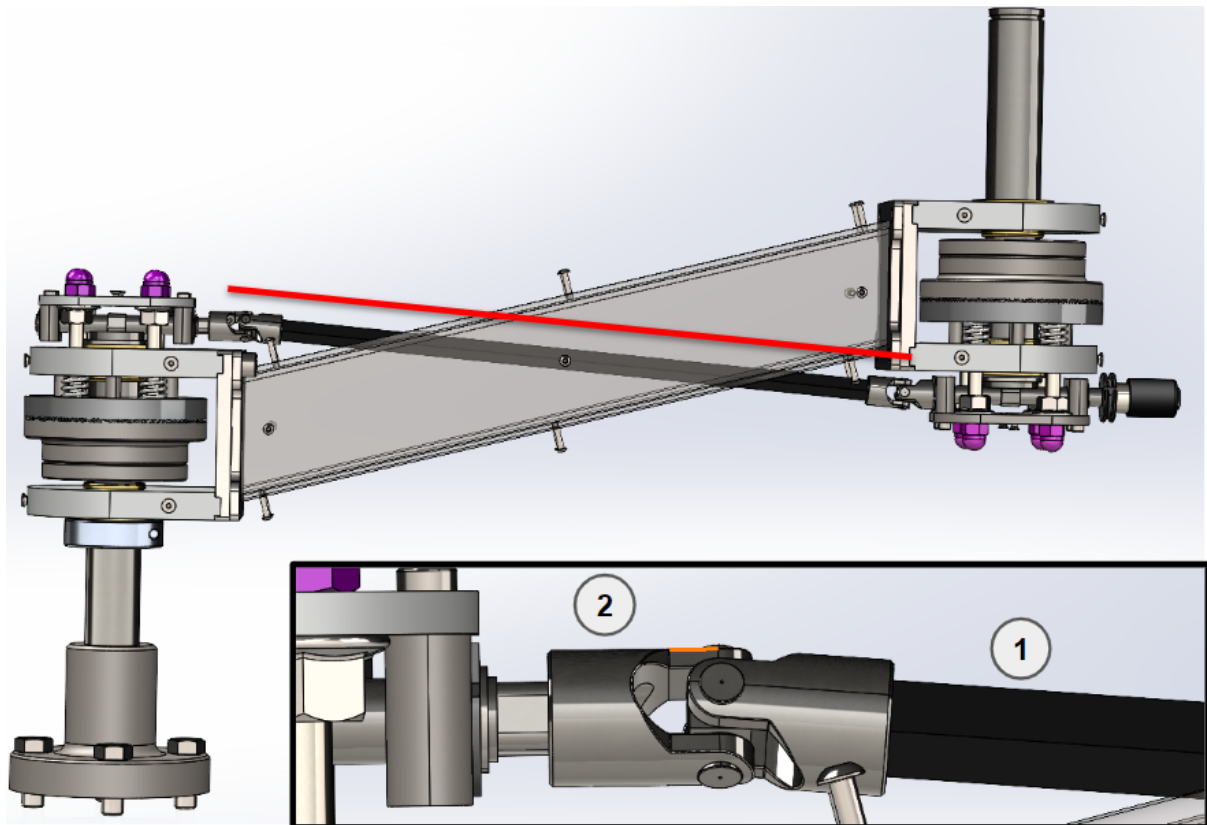
*Figur 35 - Splinesbroms 2*



*Figur 36 - Spak, vajerhjul och kamaxel i snittvy*

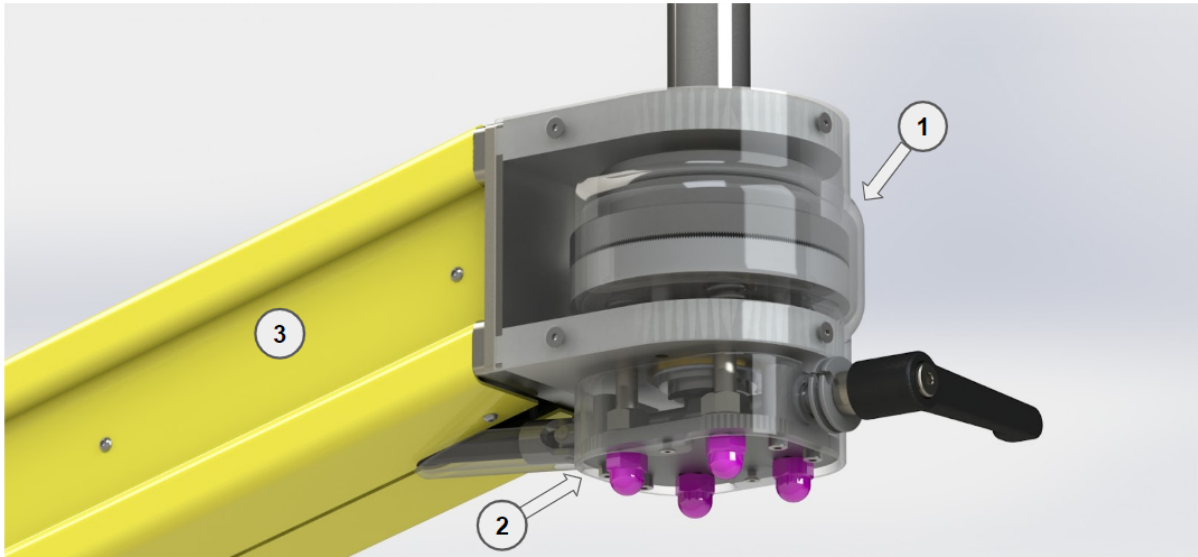
## 5.5 Höljen och sammankoppling

För att koppla samman splinesbroms 1 och 2 används en kardanaxel som består av en kvadratisk axel (1) och två stycken kullänkar (2), se figur 37 där bommen gjorts transparent. När bromsarna går från låst till olåst läge ändras det avstånd som markerats med ett rött streck med 0,9 millimeter, vilket betyder att mekanismen ej skulle vara funktionell om kardanaxeln är styv. För att åtgärda detta problem är den vänstra kullänken fixerad i den kvadratiske axeln på ett sätt som sammankopplar komponenternas axiella rotation men som fortfarande tillåter några millimeter axiell translation.

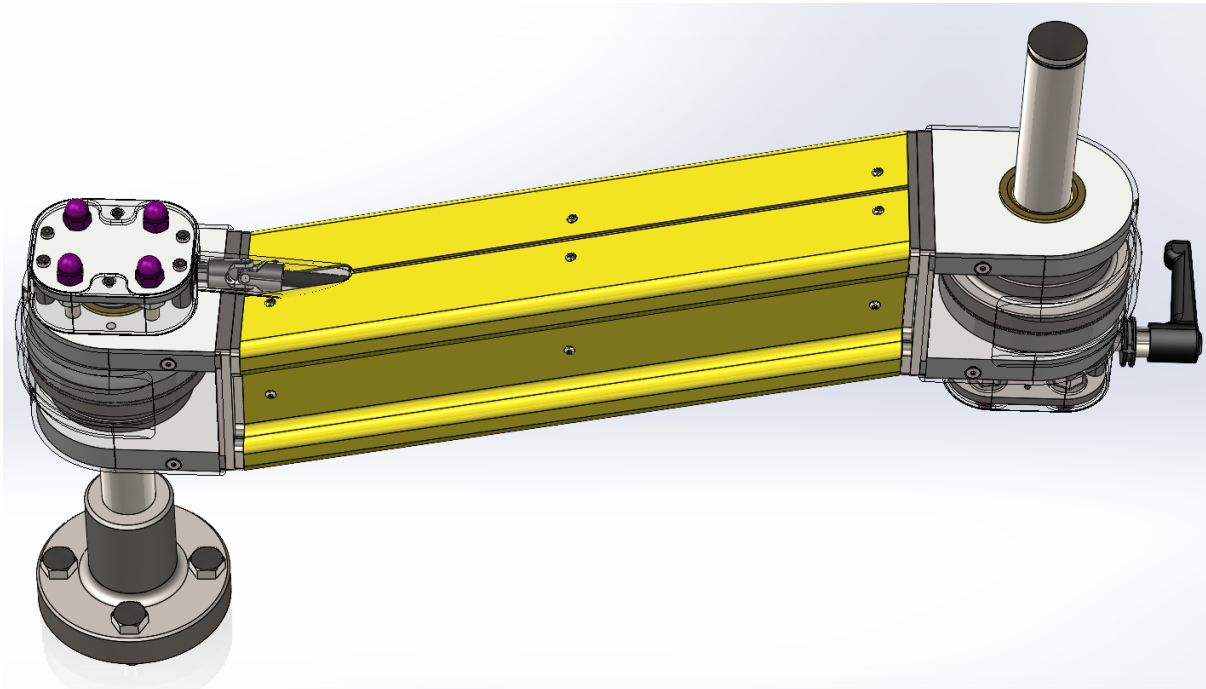


Figur 37 - Kardanaxel

Skyddande höljen i 3 millimeter tjock polykarbonat monteras på båda splinesbromsarna (1, 2) och bommen (3). Dessa täcker potentiellt farliga komponenter som splineshylsor, kardanaxel och kamaxlar. Fixeringen sker med M4-skruv, se figur 38 och 39. Om avlastningsarmen skall användas i en arbetsmiljö där svetsning är vanligt förekommande kan samtliga höljen tillverkas i tunn plåt istället för polykarbonat.



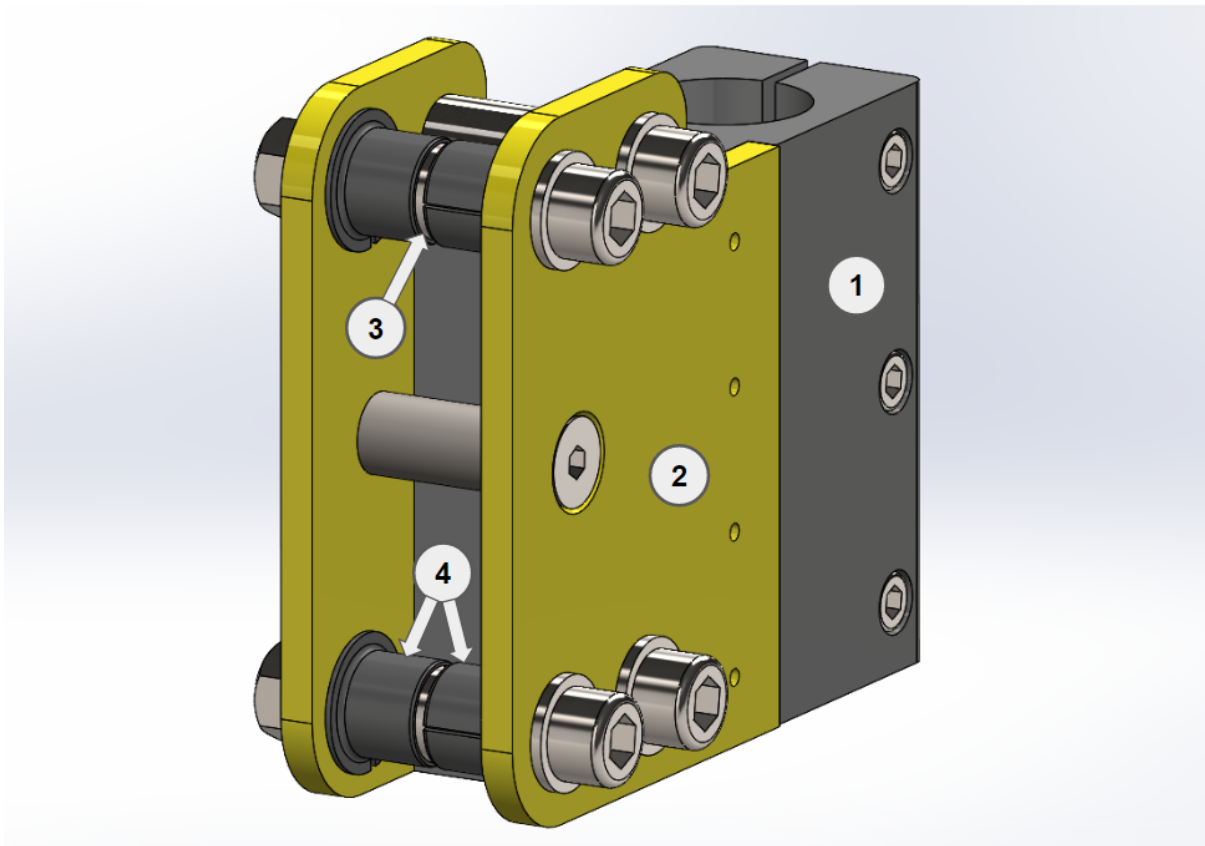
*Figur 38 - Höljen*



*Figur 39 - Vy från ovan på höljen*

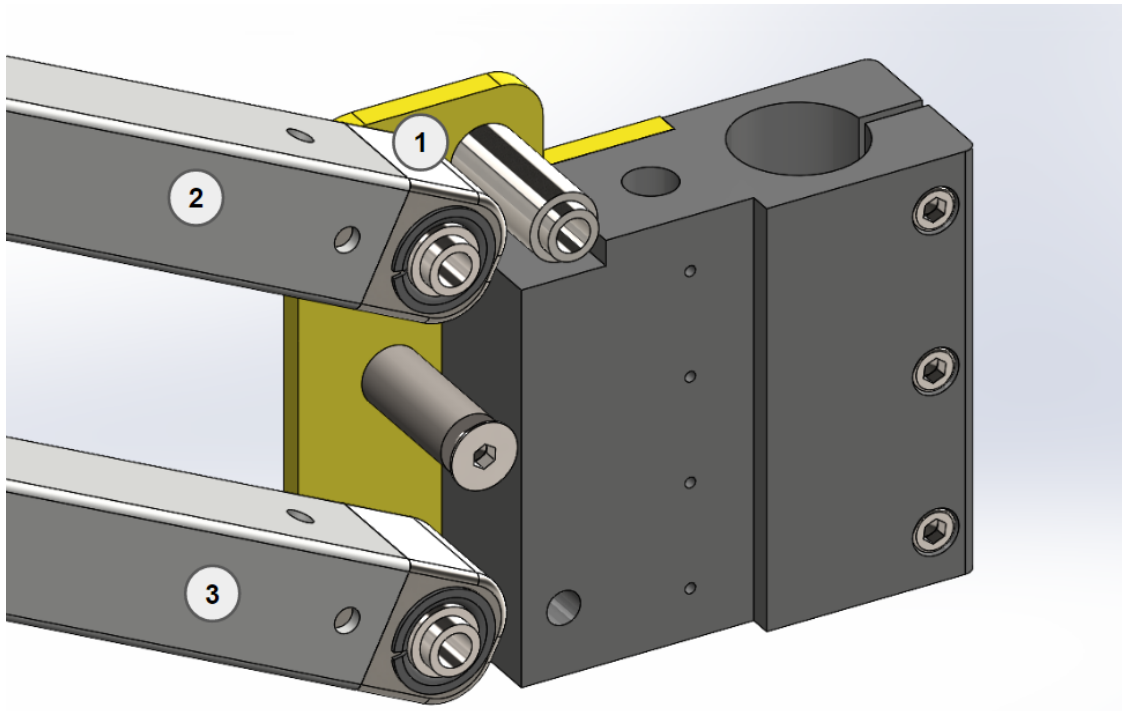
## 5.6 Parallellarm

Avlastningsarmens andra armsektion är konstruerad likt de parallellarmar som visas upp i avsnittet: Konkurrenters lösningar. I figur 40 visas monteringshus (1), vänster och höger sidoplattd tillverkade i 6 mm stål (2), distanser (3) och teflonbussningar (4).



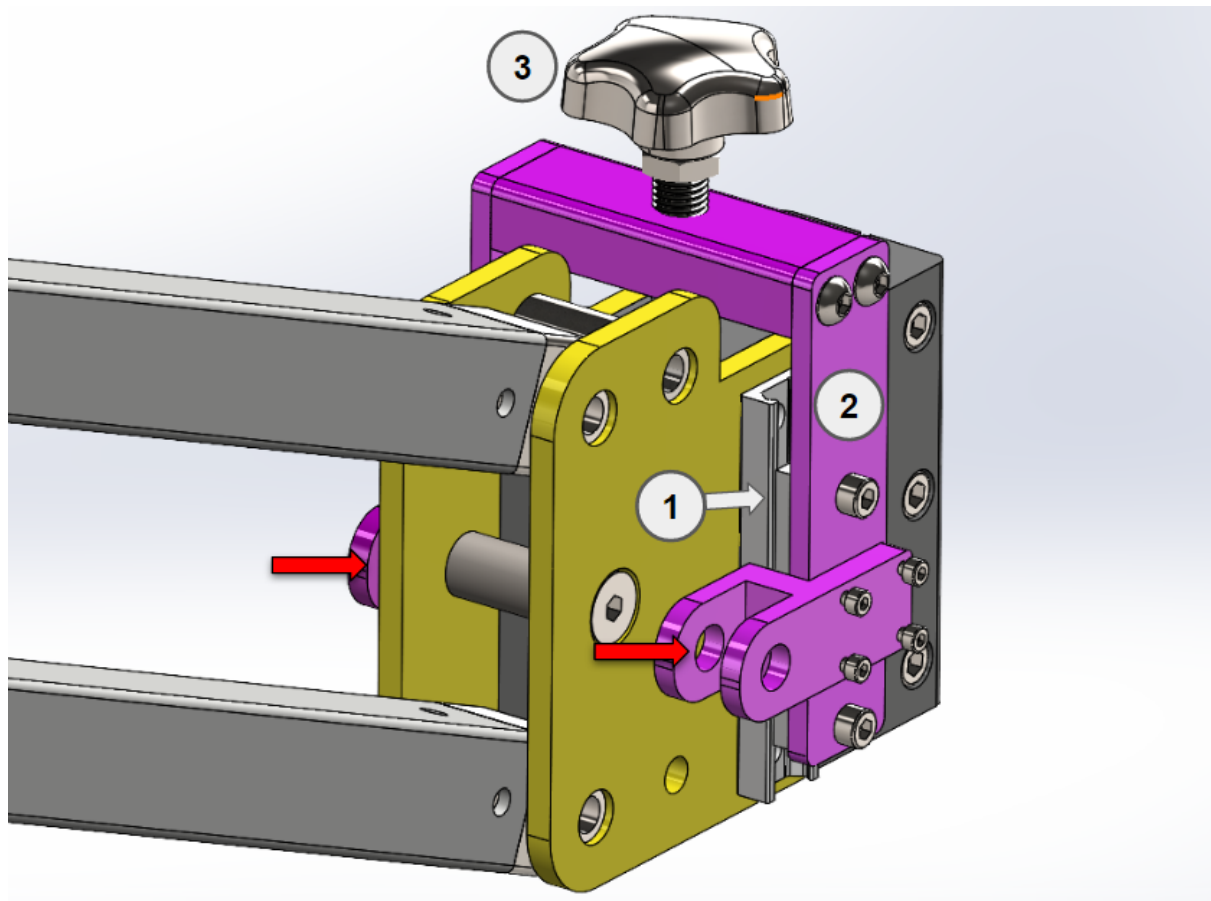
*Figur 40 - Parallellarmens första komponenter*

Monteringshusets funktion är att hålla isär vänster och höger sidoplattd samt att fixera parallellarmen på splinesbroms 2, detta illustreras i slutet av avsnittet. Monteringshuset tillverkas lämpligen av aluminium i syfte att minimera massa eftersom att dess volym är relativt stor. Distanserna är utformade så att sidoplattdorna ej spänns ihop då ett moment appliceras på de fyra M8-skruvarna som visas.



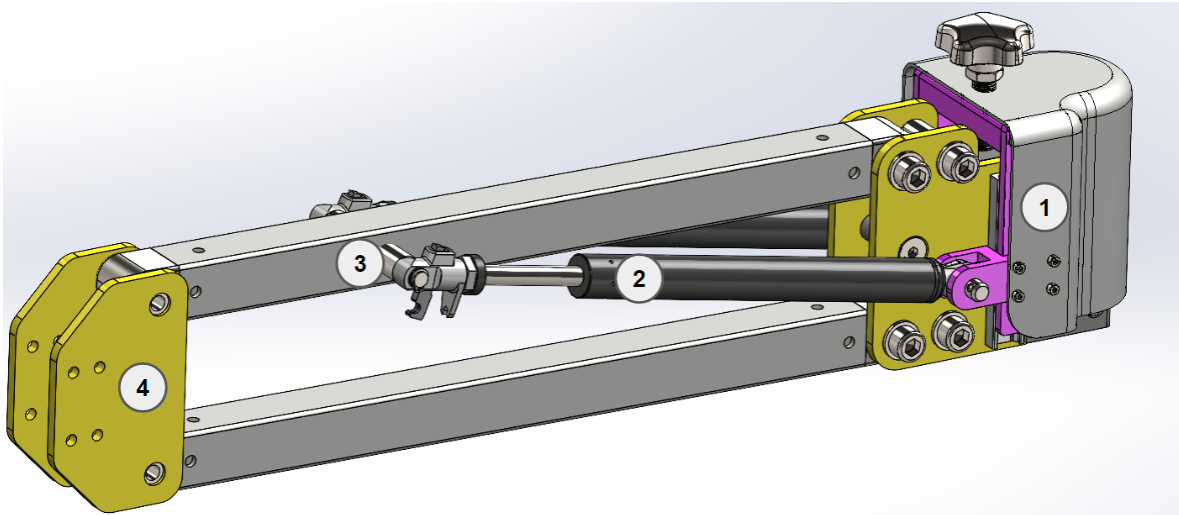
*Figur 41 - Ändstycken och länkarmar*

Övre och undre länkarm (2, 3) är tillverkade av fyrkantsprofil i stål med dimensionen 30x30x3mm. Frästa ändstycken (1) med hål som matchar teflonbussningarnas ytterdiameter svetsas fast i länkarmarna, se figur 41 ovan där vänster sidoplatta är dold.



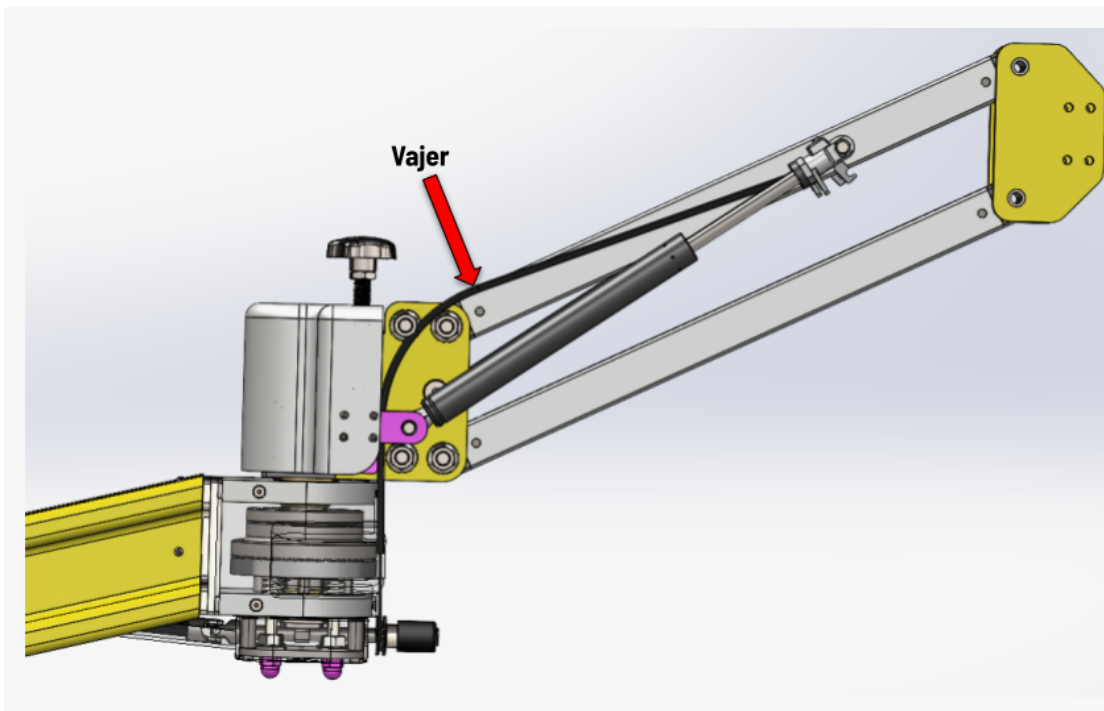
*Figur 42 - Avlastningsjustering*

För att parallellarmen skall kunna anpassas för olika verktygsmassor behöver gasfjädrarnas position vara justerbar, på ett sätt som gör att deras hävarm i förhållande till övre länkarmens ledpunkt blir längre respektive kortare. Avlastningsjusteringen ovan består av två stycken linjärstyrningar (1) monterade på utsidan av höger och vänster sidoplatta, främsta aluminiumdetaljer (2) och ett stjärnvred i rostfritt stål (3). Gasfjädrarnas nedre fästpunkt är markerad med röda pilar. Ett varvs rotation av stjärnvredet medför att fästpunkten translaterar 1,5 mm vertikalt.



*Figur 43 - Kompletta parallellarm*

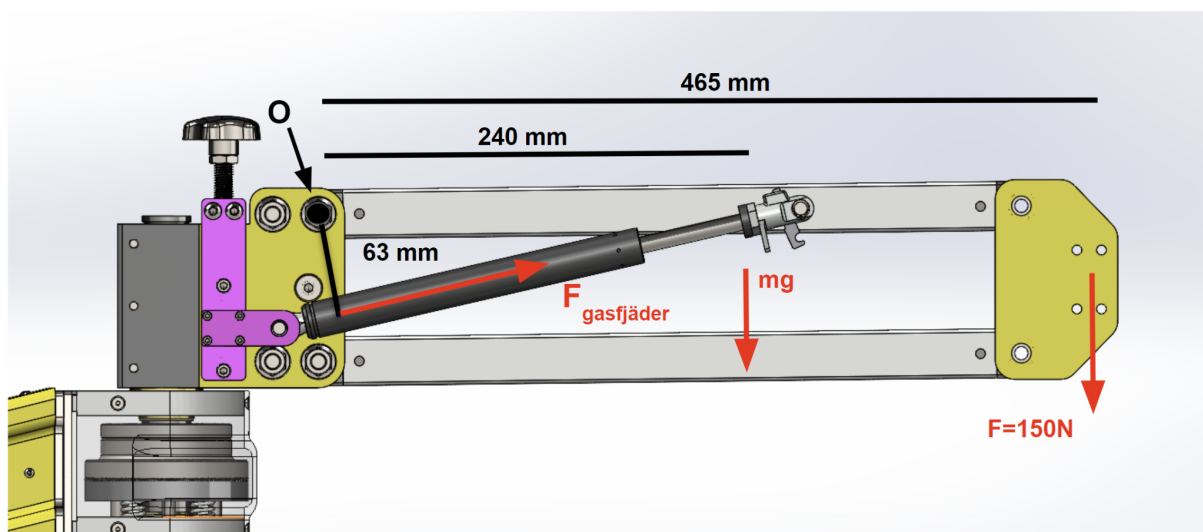
Ett hölje i polykarbonat (1) skyddar linjärstyrningarna från damm och andra partiklar som kan förekomma i industrimiljö. Höljet minskar också risken för att en operatör klämmer sig i mekanismen. Gasfjädrarna (2) monterar på en fastsvetsad axel (3) i övre länkarmen och låses fast med spärringar. Främre sidoplattd (4) fungerar på samma sätt som höger och vänster sidoplattd. En vajer kopplas mellan de låsbara gasfjädrarna och vajerhjulet på splinesbroms 2. Detta gör att alla låsmekanismer kopplas samman, se figur 44.



*Figur 44 - Monterad avlastningsarm med vajer*

Vid valet av gasfjädrar gjordes beräkningar för att dimensionera och välja gasfjädrar som uppnår de krav om avlastning och bromsande kraft. Nedan presenteras beräkningar för avlastning och bromsande kraft.

Maximal belastning sker i låst läge då parallellarmen befinner sig i en horisontalplan, krafterna 100 N och 50 N drar armens ände nedåt enligt kraven om maximal belastning och maximal avlastning samt armens egenmassa som drar armen nedåt med kraften  $mg$  från parallellarmens masscentrum. Gasfjädrarnas kraft behöver då trycka armen uppåt med kraften  $F_{gasfjäder}$  som beräknas nedan.



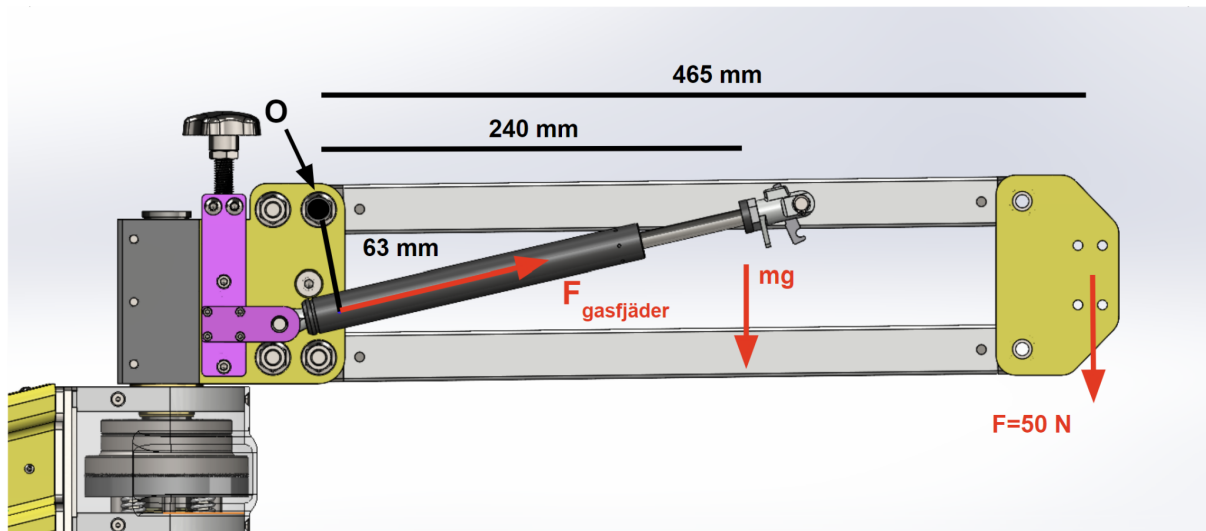
Figur 45 - Högst belastning

$$O \sim: F \cdot 0,465 + mg \cdot 0,24 - 2 \cdot F_{gasfjäder} \cdot 0,063 = 0$$

$$F_{gasfjäder} = \frac{F \cdot 0,465 + mg \cdot 0,24}{2 \cdot 0,063} = \frac{150 \cdot 0,465 + 3,5 \cdot 9,81 \cdot 0,24}{2 \cdot 0,063} = 619 \text{ N}$$

Den kraft som varje gasfjäder behöver klara av att belastas med i kompression är 619 N. För dragning kommer belastningen vara 100 N minus kraften från egenmassan i och med att egenmassan och avlastningsmassan endast verkar nedåt. Den kraft gasfjädrarna behöver kunna belastas med i dragning kommer därmed vara lägre än för kompression. De gasfjädrar som klarar av krafterna och därmed kan användas är modellen HY1 från företaget Suspa INC. Dessa klarar av att vara låsta upp till krafterna 900 N och 3500 N för kompression respektive dragning (Suspa, u.å) [39].

Vid maximal verktygsvikt ska armen klara av att avlasta en kraft om 50 N. Då befinner sig avlastningsjusteringen i lägsta position för att ge längsta möjliga hävarm. Vid största belastning befinner sig även här armen i horisontellt läge, den påverkas av kraften 50 N nedåt längst ut på armen och av armens egenmassa vid masscentrum. Den kraft gasfjädrarna behöver trycka med,  $F_{\text{gasfjäder}}$  för att kunna avlasta verktyget beräknas nedan.



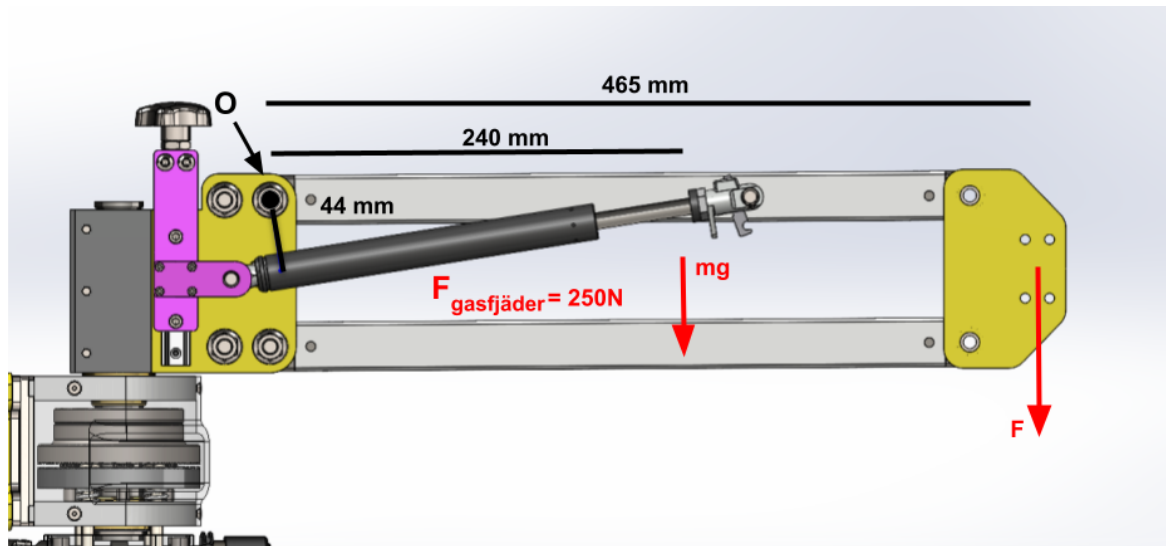
Figur 46 - Maximal verktygsvikt

$$O \curvearrowright: F \cdot 0,465 + mg \cdot 0,24 - 2 \cdot F_{\text{gasfjäder}} \cdot 0,063 = 0$$

$$F_{\text{gasfjäder}} = \frac{F \cdot 0,465 + mg \cdot 0,24}{2 \cdot 0,063} = \frac{50 \cdot 0,465 + 3,5 \cdot 9,81 \cdot 0,24}{2 \cdot 0,063} = 249 \text{ N}$$

Den kraft gasfjädrarna behöver kunna trycka med för att uppnå kravet om att kunna avlasta kraften 50 N beräknas till 249 N. Gasfjädrarna HY1 från Suspa INC finns med avlastningskraften 250 N vilket därmed kommer att väljas.

Armen kommer också ha en minimal avlastningsförmåga då avlastningsjusteringen positioneras i sitt högsta läge för att ge minsta möjliga hävarm. Armen behöver då endast avlasta sin egenmassa. Kraften från gasfjädrarna är känd som 250 N då gasfjädrarna redan är valda och den minsta avlastningskraften beräknas nedan.



Figur 47 - Lägst belastning

$$O \sim: F \cdot 0,465 + mg \cdot 0,24 - 2 \cdot F_{\text{gasfjäder}} \cdot 0,044 = 0$$

$$F = \frac{2 \cdot F_{\text{gasfjäder}} \cdot 0,044 - mg \cdot 0,24}{0,465} = \frac{2 \cdot 250 \cdot 0,044 - 3,5 \cdot 9,81 \cdot 0,24}{0,465} = 29,6 \text{ N}$$

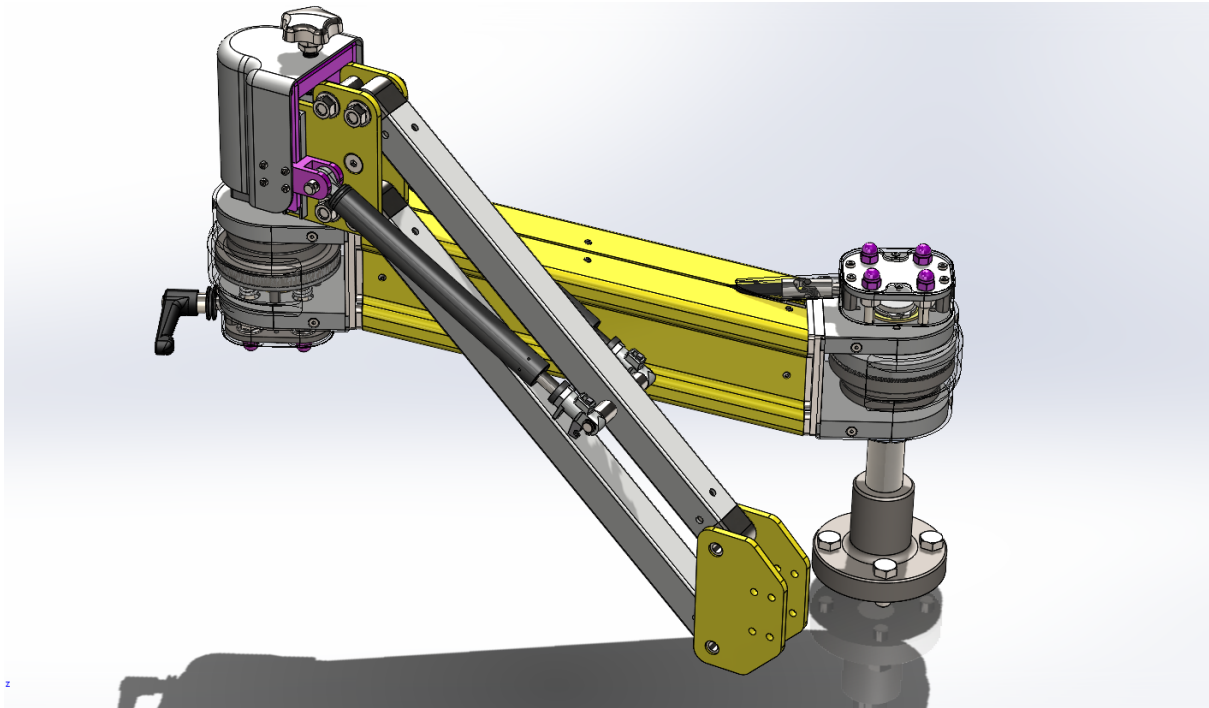
Den lägsta möjliga avlastning blir 29,6 N med de gasfjädrarna som används. Beräkningarna visar att avlastningen kan regleras från 29,6 N till 50 N beroende på avlastningsjusteringens position.

Syftet med beräkningarna som utförts ovan var att undersöka om det finns gasfjädrar i lämplig storlek tillgängliga på marknaden, samt att ta fram ett approximativt värde på gasfjädrarnas nödvändiga kraft ( $F_{\text{Gasfjäder}}$ ). För att uppnå en helt felfri avlastning där avlastat verktyg upplevs viktlost i alla positioner krävs vidare undersökning där följande faktorer beaktas:

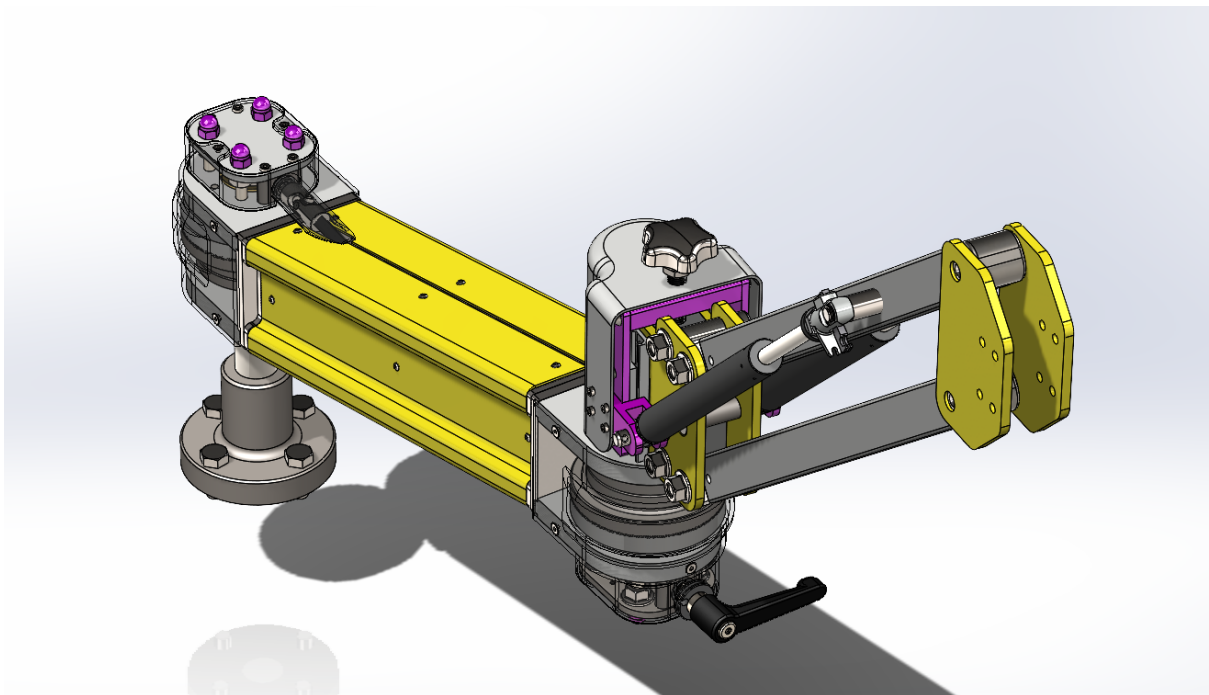
- Kraften från gasfjädrarna är ej helt konstant, den minskar då gasfjädrarnas axel rör sig utåt.
- Gasfjädrarnas hävarm varierar beroende på parallellarmens position. Hävarmen ökar när parallellarmen förflyttas nedåt.
- Tyngdkraften från armens egenmassa får en kortare hävarm när parallellarmen förflyttas nedåt eller uppåt från ett horisontellt läge.
- Slutgiltiga materialval och skillnader mellan 3D-modellen och verklig prototyp kan påverka avlastningens max- och minimumvärde.

## 5.7 Fullständigt monterad avlastningsarm

Alla ovanstående delsystem skapar tillsammans den kompletta avlastningsarmen som illustreras i figur 48 och 49 nedan i infällt respektive utfällt läge.



*Figur 48 - Infälld avlastningsarm*



*Figur 49 - Utfälld avlastningsarm*

## 5.8 Material

Materialvalet i avlastningsarmens komponenter påverkar den totala massan, armens styvhet, utseende, kostnad samt hur enkelt det är att producera komponenterna. Genom att beakta dessa faktorer har följande material valts. Dessa material är lämpliga att använda vid tillverkning av en fullskalig prototyp. Efter förstörande provning av prototypen och insamling av data är det möjligt att nya materialval görs.

Komponent	Material
Förankringsföt, Axel, Fästplatta, Låsnäv, Övre splineskoppling, Undre splineskoppling, Lyft- och passkruvar, Kamaxel, Lock, Lagerhus, Bom och monteringsplattor, Kardanaxel, Sidoplattor, Övre och undre länkarm, Främre sidoplattor	Konstruktionsstål S355
Undre platta, Övre platta, Spännring, Monteringshus, Distanser, Frästa detaljer till avlastningsjustering,	Aluminium 6061-T6
Höljen till splinesbromsar och bom	Polykarbonat
Stjärnvred	Rostfritt stål

*Tabell 4 - Materialval*

## 5.9 Prototyp tillverkning

För att ge en verklig bild av hur avlastningsarmen är konstruerad, dess storlek och bekräfta funktionerna tillverkades en prototyp. Prototypen omfattar splinesbroms 1. De komponenter som kräver en tillverkningsmetod såsom fräsning eller vattenskärning tillverkades istället genom 3D-skrivning för en enklare och ekonomisk första prototyp. Dessa komponenter är: Förankringsfoten, undre platta, övre platta, fästplatta, låsnav, splineskopplingarna, lock och två lagerhus. Ingående delar till prototypen kan ses i figur 50



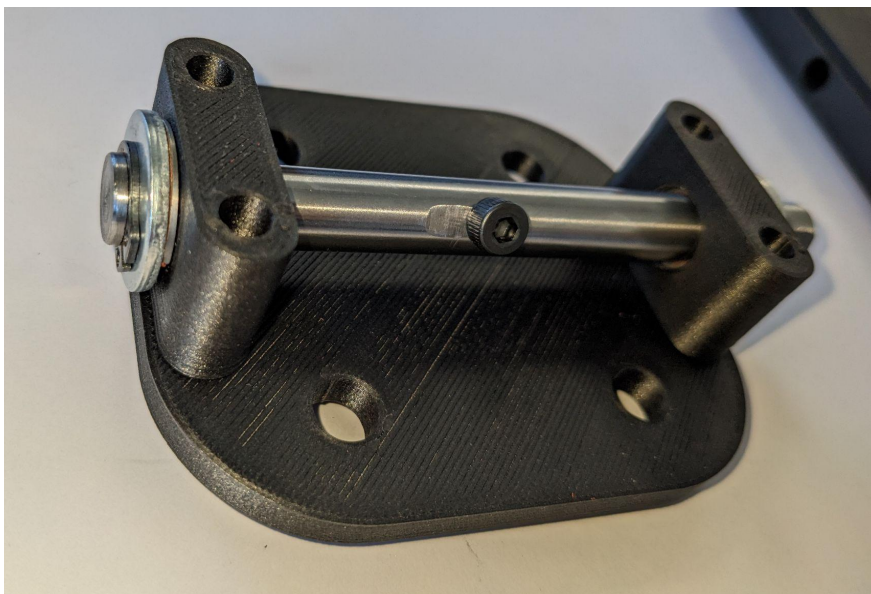
*Figur 50 - Ingående delar*

Eftersom 3D-skrivna gängor ej håller särskilt höga toleranser användes istället gänginsatser tillverkade i mässing. Dessa värmdes upp med en lödkolv och pressades sedan in i plastdelarna. Vid detta momentet var det mycket viktigt att hålets och gänginsatsernas centrumlinjer förblev parallella.



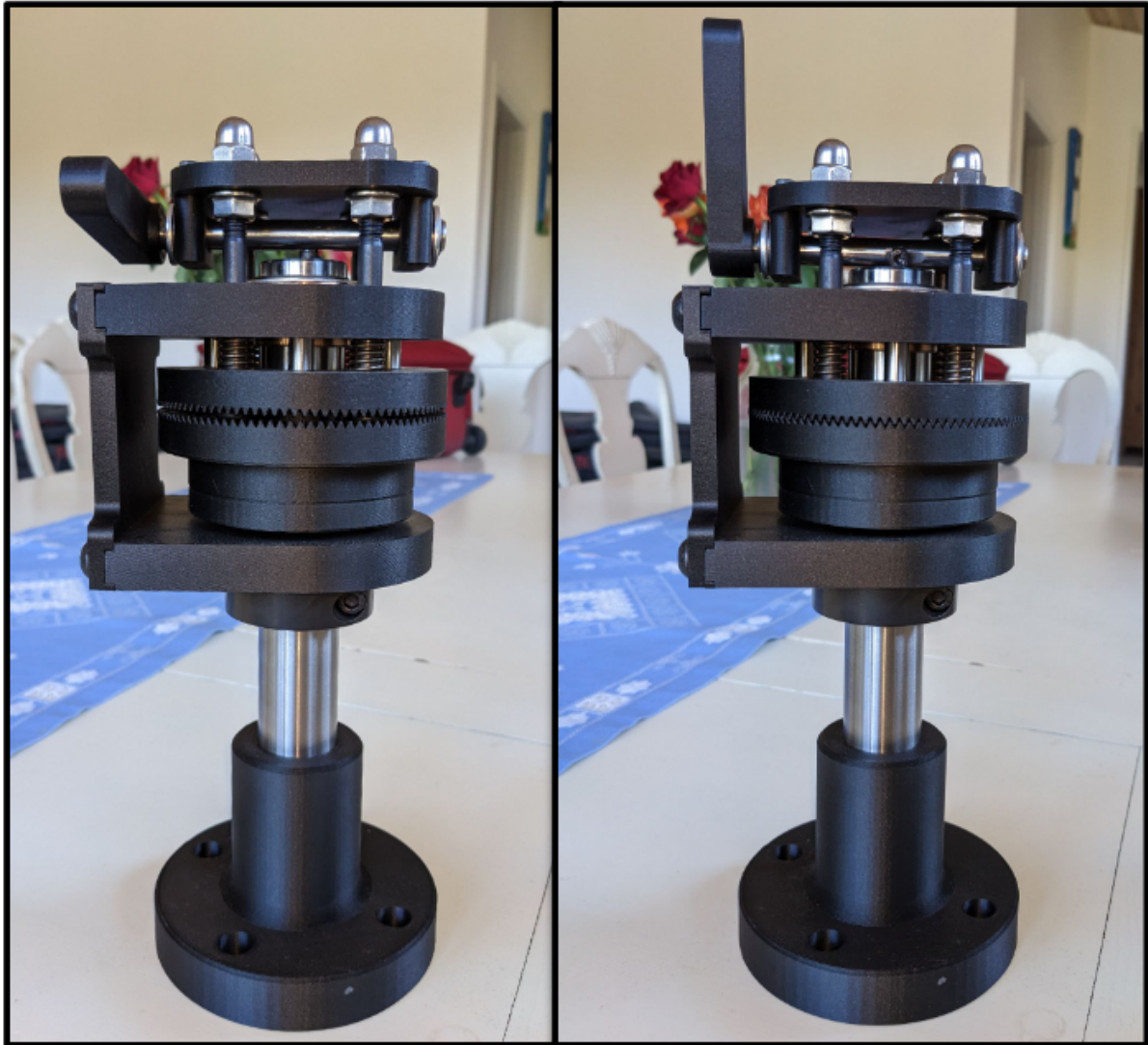
*Figur 51 - Montering av gänginsatser*

För att simplificera tillverkningsprocessen användes huvudet av en M4-skruv som kamprofil på kamaxeln. Spåren till alla spårningar bearbetades i en svarv som fanns tillgänglig i Techcons verkstad.



*Figur 52 - Kamaxel, lock och lagerhus*

Splineprofilen på kopplingarna ändrades från en liksidig triangel med sidlängden 1 mm till 3 mm på grund av 3D-skrivarens låga tillverkningstolerans. Ett handtag som i prototypen ersätter kardanaxeln designades. Genom att ta mått i CAD-modellen kunde prototypen monteras. Den fullständiga prototypen illustreras i olåst respektive låst läge i figur 53.



*Figur 53 - Splinesbroms 1 prototyp*

## 6. Utvärdering av slutligt koncept

### 6.1 Hållfasthetssimuleringar

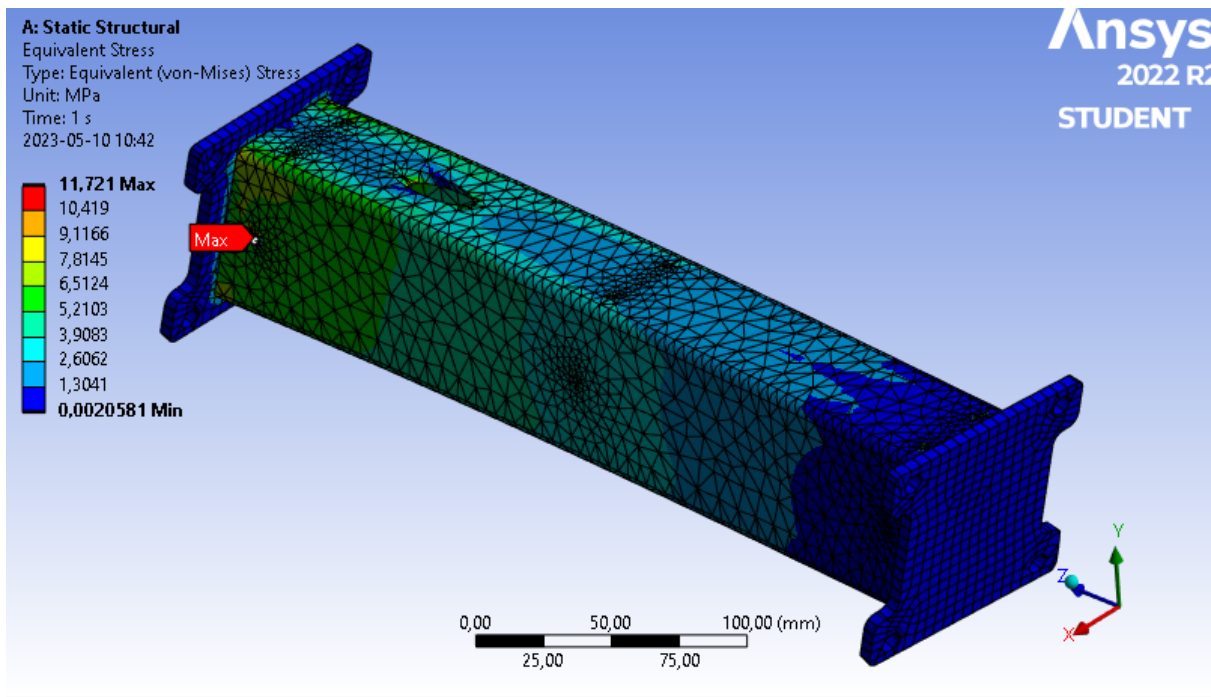
#### Randvillkor

Nedan presenteras de randvillkor som använts i de olika simuleringarna för avlastningsarmen. Simuleringarna används endast för att upptäcka om någon komponent är grovt underdimensionerad. För mer exakta resultat krävs exakta materialval av exempelvis bussningar och randvillkor som appliceras precis enligt verkliga förhållanden såsom skruvar och skruvhål.

- 6.1.1: För den första simuleringen applicerades en fixed support i bommens vänstra platta och en kraft, 200 N verkande i x-riktning i den högra plattan. För den andra simuleringen applicerades fixed support i bommens vänstra platta och ett vridande moment om 100 Nm runt z-axeln i dess högra platta.
- 6.1.2: För både simulering ett och två sattes en fixed support i monteringshusets baksida. I simulering ett sattes kraften 100 N verkande i negativ z-riktning i parallellarmens plattor i den vänstra änden. I den andra simulering sattes istället ett vridande moment om 100 Nm verkande runt x-axeln i plattorna.
- 6.1.3: För simuleringen av splineskopplingen sattes en fixed support i kopplingens undersida och en kraft, 7 N verkande på en tand i z-riktningen.
- 6.1.4: Konstruktionen med passkruvarna simulerades med en fixed support applicerad i övre plattan och ett vridande moment runt y-axeln i splineskopplingen.

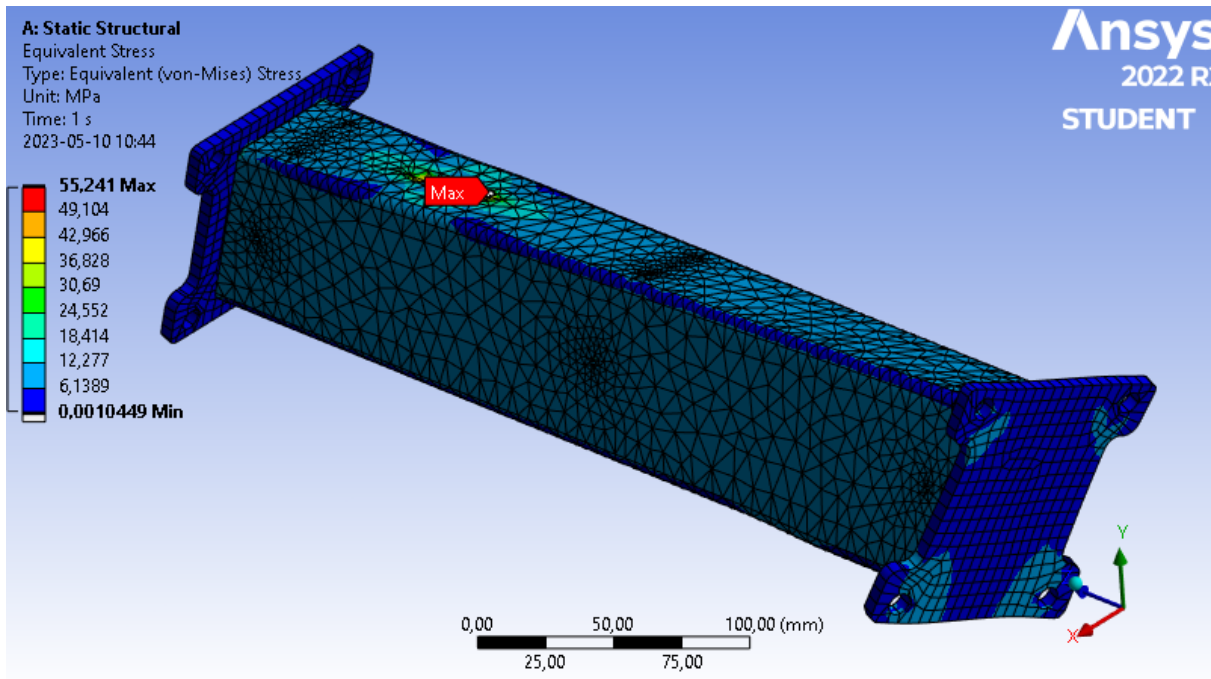
#### 6.1.1 Bom

Armen som ska klara av att ta upp en kraft om 100 N applicerad i armens ände (1 m från första bromsen) kommer att påverka bommen med en kraft i sidled. Då bommen utgör ungefär halva armens längd (0,5m) kommer sidkraften simuleras med 200 N. I figur 54 nedan visas en simulering där kraften 200 N påverkar bommens ena ände. Bommen är tillverkad av stål med sträckgränsen 355 MPa. Resultatet visar en maximal ekvivalent spänning om 11,721 MPa och en maximal deformation om 0,069844 mm. Bommen kommer därmed med stor marginal klara av den sidkraft armen kan komma att påverkas av.



*Figur 54 - Kraft på bom*

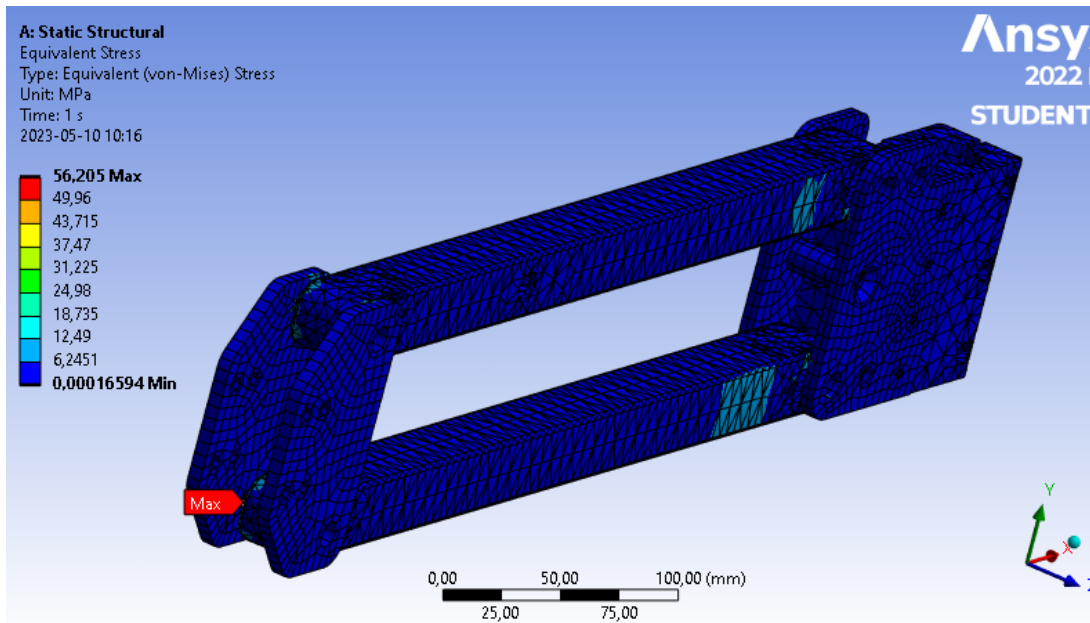
Då ett åtdragande verktyg såsom en mutter- eller skruvdragare är fäst i armen och används kan ett vridande moment uppstå om armen befinner sig i utsträckt läge. Det vridande momentet som armen ska kunna ta upp är utifrån kravspecifikationen 100 Nm. Figur 55 nedan visar en simulering över det vridande momentet som uppstår i en bom tillverkad av stål med sträckgränsen 355 MPa. Den maximala ekvivalenta spänningen och deformationen uppgår till 55,241 MPa respektive 0,061715 mm. Bommen kommer därmed även hålla för det vridande momentet med stor marginal.



Figur 55 - Vridmoment på bom

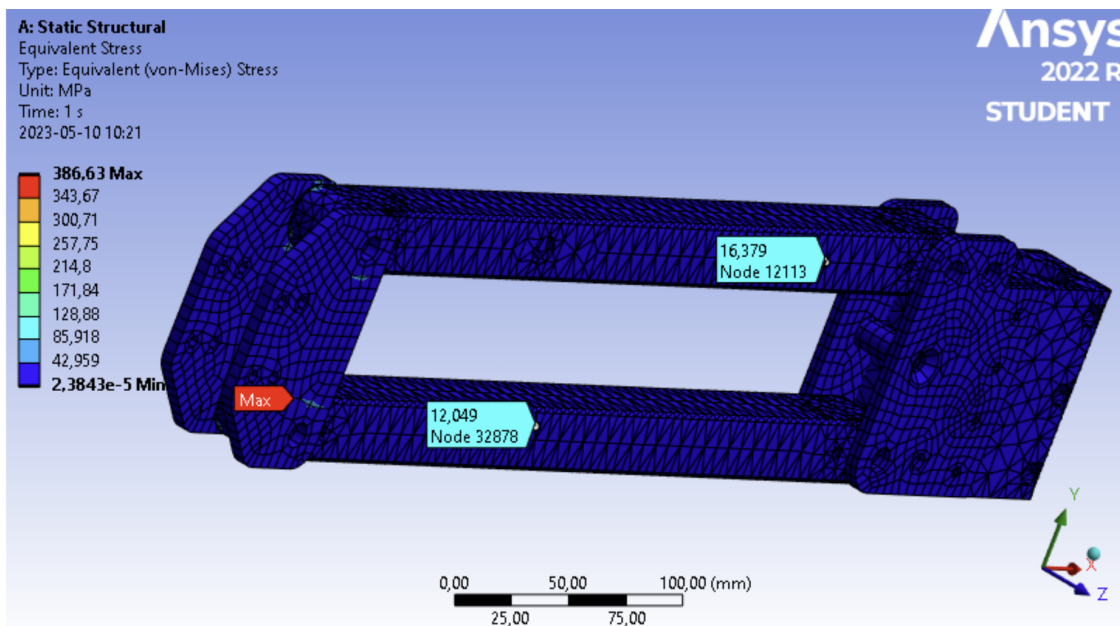
### 6.1.2 Parallellarm

Parallellarmen kommer liksom bommen behöva klara av att ta upp kraften 100 N i sidled i armens ände. Eftersom detta är parallellarmens ände kommer simuleringen göras med kraften 100 N. I figur 56 presenterad nedan visas en simulering med kraften applicerad på parallellarmen. Länkarmarna och sidoplattorna är tillverkade i stål med sträckgräns 355 MPa och monteringshuset är tillverkat i aluminium med sträckgräns 241 MPa. Resultatet visar en maximal ekvivalent spänning på 56,205 MPa och en maximal deformation på 0,19606 mm. Parallellarmen kommer därmed klara av att ta upp kraften som påverkar armen i sidled.



*Figur 56 - Kraft på parallellarm*

Parallellarmen måste också klara av att ta upp det vridande momentet från åtdragande verktyg likt bommen. Därmed simuleras i nedan figur 57 ett vridande moment på även här 100 Nm. Simuleringen visar en maximal ekvivalent spänning på 386,63 MPa. Den punkt där detta höga värde uppmäts befinner sig i en skarp kant mellan komponenter. Därmed antas denna punkt utsättas för spänningskoncentration. Som utifrån figuren kan ses har flera mätningar gjorts på de punkter som antas utsättas för högst spänningar. Punkterna visar värden om 12,049 MPa och 16,379 MPa. Utifrån värdena kan parallellarmen med stor marginal klara av att ta upp det vridande momentet då länkarmarna och sidoplattorna är tillverkade i stål med sträckgränsen 355 MPa och Monteringshuset är tillverkat i aluminium med sträckgränsen 241 MPa.



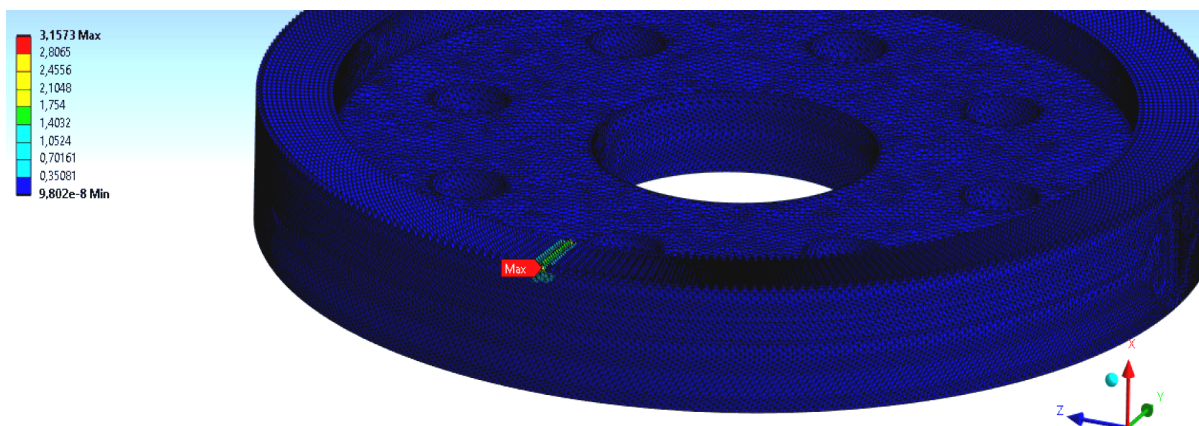
Figur 57 - Vridmoment på Parallellarm

### 6.1.3 Splineskoppling

När splinesbromsen är låst och ett moment läggs på skapas skjuvkrafter och spänningar i splineskopplingarnas tänder. Armen ska klara av att ta upp kraften 100 N applicerad i armens ände. Detta resulterar i ett moment om 100 Nm vid den första bromsen som distribuerats över 314 tänder. Tändernas medelradie befinner sig 0,046 m från centrum. Detta genererar en kraft på varje tand om:

$$\frac{100 \text{ Nm}}{0,046 \text{ m} \cdot 314} \approx 7 \text{ N}$$

I figur 58 nedan visas en simulering över skjuvkraften i splineskopplingens tänder. I simuleringen påverkas endast en tand i kopplingen av 7 N i den tangentiella riktningen. Den maximala ekvivalenta spänningen är 3,1573 MPa som visas i figuren och deformationen är  $5,0443 \cdot 10^{-5}$  mm. I verkligheten är den maximala spänningen troligen högre eftersom vridmomentet ej kommer att distribueras helt jämnt över alla tänder, men utifrån denna simulering kan det ses att splineskopplingen med stor marginal kommer att hålla för kravet om 100 Nm som ställts då denna är tillverkad av stål med sträckgränsen 355 MPa.

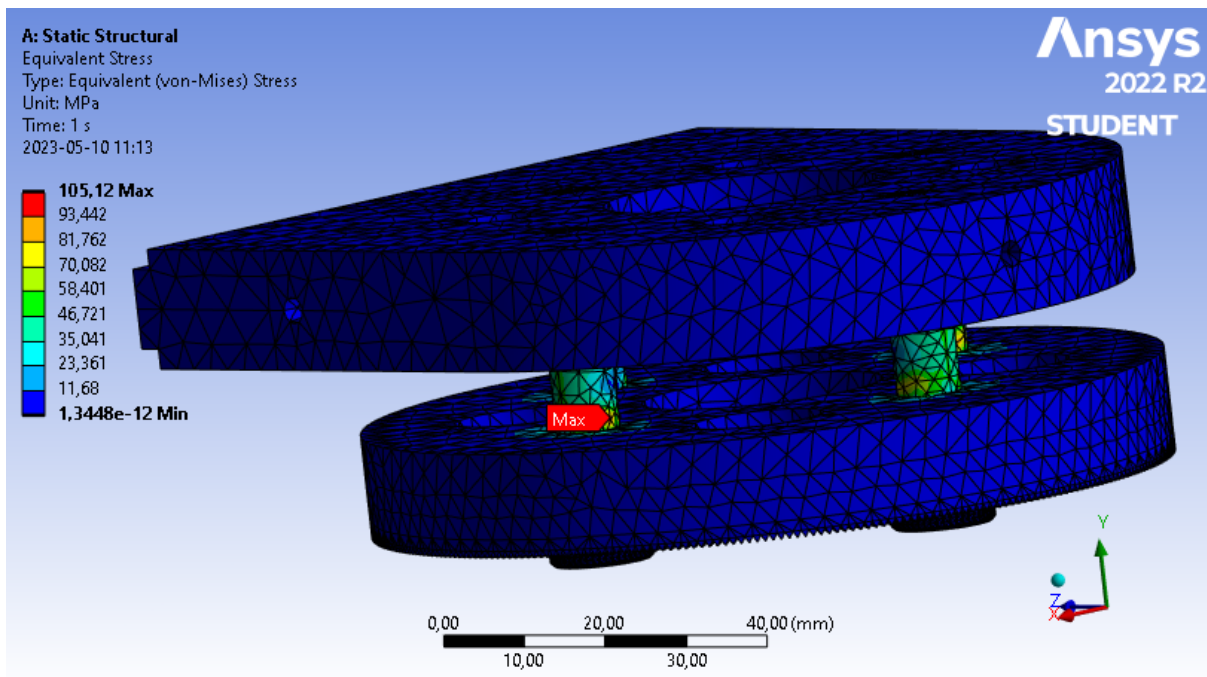


*Figur 58 - Kraft på Splineskoppling*

#### 6.1.4 Passkruv

När bromsen är ansatt påverkas den övre splineskopplingen av ett moment. Eftersom splineskopplingen är fäst och glider över passkruvarna behöver dessa kunna ta upp krafterna från momentet. Eftersom armen ska klara av en kraft om 100 N längst ut i dess ände (1 m från första axeln) kommer splineskopplingen påverkas av momentet  $\sim 100$  Nm, som sedan distribueras över de fyra passkruvarna.

I figur 59 visas en simulering där momentet 100 Nm från splineskopplingen påverkar passkruvarna. Den maximala ekvivalenta spänningen uppgår till 105,12 MPa. I verkligheten kommer värdet bli högre då simuleringsprogrammet inte antar modellen som olika komponenter. Passkruvarna som är tillverkade av stål av typen 12.9 med en sträckgräns om 1080 MPa kommer däremot att hålla för momentet.



Figur 59 - Vridmoment på passkruvar

## 6.2 Kravuppfyllelse

I denna del utvärderas hur väl det slutliga konceptet uppfyller de krav, avgränsningar och önskemål som ställts.

- Avlastningskraft, 0-50 N: Användningen av gasfjädrar möjliggör avlastning. Justeringen möjliggörs med hjälp av avlastningsjusteringen som ändrar gasfjäderns hävarm. Gasfjädern som valts och med den justeringen som designats klarar armen av att avlasta från 29,6 N till 50 N. I och med att kravet är ställt från 0 N uppfylls inte detta.
- Räckvidd xy-led, 1000 mm: Armens totala längd i fullt utsträckt läge är  $\approx 1050$  mm vilket är armens räckvidd i xy-led.
- Räckvidd i z-led, 600 mm: Avståndet mellan främre sidoplattdor monterade i armens ände då armen ställs i dess maximala respektive minimala höjd (räckvidden i z-led) uppgår till  $\approx 605$  mm.

- Låsbara leder: I armens alla leder finns bromsar av typerna splinesbroms och låsbar gasfjäder vilket kan låsa lederna i ett specifikt läge.
- Maximal belastning i låst läge, 100 N: Enligt beräkningarna i delen: Analys och utvärdering av koncept och de hållfasthetssimuleringar som gjorts klarar splinesbromsen, gasfjädrarna, bommen och parallellarmen av att ta upp en kraft om 100 N applicerad längst ut på armen.
- Maximal utböjning längst ut på armen i bromsat läge, 30 mm: Kravet har inte kunnat testats då en fullständig prototyp inte tillverkats. Utifrån beräkningar om bromsarnas maximala tillåtna moment och hållfasthetssimuleringar för bommarnas utböjning uppskattas armen uppfylla kravet.
- Maximalt vridmoment från verktyg, 100 Nm: Utifrån de hållfasthetssimuleringar som gjorts klarar armarna av moment om värden över 100 Nm med stor marginal, både vertikalt och horisontellt.
- Låsbar med en spak/knapp: Med användning av länkage i form av en kardanaxel och ett vajerlänkage mellan armens tre leder och låsmekanismer kopplas dessa samman och manövreras med en spak i den andra leden.
- Låsbar i alla positioner (ej stegvis): Gasfjädrarna som används tillåter låsning i alla positioner i det vertikala planet. Däremot låses splinesbromsarna i steg där varje steg är den förskjutning av tänderna i splineskopplingen som krävs för att bromsens ska låsas.
- Valbar förankring, vägg, golv, bord: Den förankringsfot som används tillåter enkel uppsättning som kan anpassas för användarens preferenser.
- Standardiserat fäste: Fästet monterat längst ut i armens ände gör det möjligt att anpassa ett fäste för en specifik komponent eller verktyg.
- Maximal totalmassa, 25 kg: Efter applicering av material på alla komponenter i CAD-modellen uppnås en total massa om 24,3 kg.

- Förflyttningskraft vid 0,25 m/s, < 35 N: I och med att en fullständig prototyp inte kunnat byggas har kravet ej verifierats.
- Drift utan tryckluft: Armen, lederna och bromsarna fungerar helt mekaniskt utan pneumatik.
- Simpelt underhåll: Med en fullt mekaniskt fungerande arm, transparent hölje runt splinesbromsarna och komponenter som endast kräver “vanliga“ verktyg är underhållet enkelt och de bristande komponenterna kan enkelt identifieras och bytas ut.
- Möjlig att underhålla av kund: Den fullt mekaniska armen som ej kräver specialverktyg möjliggör underhåll av kunden själv.
- Skydd mot metallpartiklar och svetsloppor: Armen är utrustad med höljen runt utsatta komponenter såsom splinesbromsarna. Höljet skyddar mot damm och svetsloppor som kan uppstå vid bearbetning.
- Låsande bromsmekanism vid haveri: Om lyftanordningen för splinesbromsen havererar spänns fjädrarna ut och trycker ihop splineskopplingarna och bromsen låses. Gasfjädrarna befinner sig i låst läge då vajrarna ej är spända. Därmed låses även dessa om vajrarna går av eller liknande.
- Förhindra klämrisk: De utsatta områdena är splinesbromsarna och mellan de två bommarna i den andra (parallelldelen) delen av armen. I och med användningen av höljen runt splinesbromsarna bromsarna förhindras klämning i dessa. Gasfjädrarnas max- och minstopp förhindrar bommarna och lämnar ett utrymme mellan dessa då armen befinner sig i sitt högsta och lägsta läge.
- Estetik: Armens utformning och design, färgkombinationen samt de höljen som kapslar in delar av armens komponenter gör enligt Techcon och projektets ansvariga armen estetiskt tilltalande.

## 7. Vidareutveckling och slutsats

### 7.1 Vidareutveckling

Produkten som utvecklats i projektet är ett första fullständigt koncept som under framtagningen förändrats och utvecklats för att hela tiden förbättras. Komponenter har bytts ut och anpassats för att på ett bättre sätt passa armen och dess funktioner. Det slutliga konceptet som konstruerats i CAD-mjukvaran uppnår nästan alla krav, avgränsningar och önskemål som ställts i kravspecifikationen. Den prototyp som byggts av första leden med en splinesbroms visar att denna del även fungerar i praktiken. Däremot har en fullständig prototyp inte kunnat tas fram för att pröva armens alla funktioner. Konstruktionen utgår därmed endast från CAD där alla funktioner fungerar. Den vidareutveckling som skulle behövas för att kunna förbättra produkten är en fullständig prototyp för att praktiskt kunna kontrollera armens funktioner.

Ett krav som inte kunnat testas är: Förflyttningskraft vid 0,25 m/s,  $< 35$  N.

Förflyttningskraften beror på armens konstruktion, hur lätt lederna är lagrade, armens massa, och tröghetsmomentet. I och med konstruktionen bestående av en bom där enbart rotation horisontellt är möjligt och en parallellarm där rotation i båda leden är möjliga blir armen mer lättförflyttad och kräver en lägre förflyttningskraft. Bronsbussningarna gör också lederna mer lättleda. Armens massa är relativt hög i och med applicering av bromsar vilket kommer påverka förflyttningskraften negativt. För att få exakta värden för förflyttningskraften krävs tester med en fullständig prototyp.

Efter hållfasthetssimuleringarna konstaterades det att flertalet av armens komponenter skulle klara av kraven om belastningar med mycket stora säkerhetsfaktorer. Därmed skulle en vidareutveckling vara att göra flertalet simuleringar över avlastningsarmens komponenter och praktiska belastningstester för en fullständig prototyp. Utifrån dessa skulle armen kunna viktoptimeras och minska armens totalmassa. Armen skulle då bli mer lättroilig, kräva en lägre förflyttningskraft och vara mer lättanvänd.

Avgränsningen som armen inte uppfyller är avlastningsförmågan 0-50 N. Armen klarar av att avlasta upp till 50 N, men det lägsta värdet den klarar av är 29,6 N. Detta medför att när armen är belastad med en mindre kraft kommer armen att avlasta med en för stor kraft och

istället tryckas uppåt. Armen är då inte helt "viktlös" vilket medför att användaren behöver dra armen nedåt med en kraft vid användning i vertikal riktning. För att lösa detta problem och uppnå kravet behöver antingen en annan typ av gasfjäder användas som avlastar med en mindre kraft men i och med att dessa är standardkomponenter är dessa svåra att dimensionera exakt. En annan lösning är att konstruera om avlastningsjusteringen för att ge gasfjädern en kortare hävarm vilket kommer minska dess avlastningsförmåga.

Det önskemål som inte uppfyllades var att bromsarna skulle kunna låsas i alla lägen, ej stegvis. Splinesbromsarna har denna nackdelen i och med tänderna i splineskopplingarna. Splineskopplingarnas diameter, antalet tänder och dess storlek ändrar stegens storlek och kan därmed minskas om en större diameter och ett högre antal tänder används. För att på annat sätt undkomma dessa steg krävs en annan typ av broms som också måste uppfylla resterande krav.

Vid de tester som kunnat göras med prototypen kunde ett fel hittas som har sin grund i armens design. När armen är i olåst läge och kan vridas kommer den kammen på den kamaxel som används för att manövrera splineskopplingarna avlastas mot den andra axelns topp. När armen då vrids kommer kammen ligga emot axelns topp och nöta mot ytan. Med tiden kommer stora förslitningar att ske och armen kommer att bli obrukbar. En vidareutveckling är därmed att byta ut kammen på axeln för att även tillåta rotation. Ett exempel som kan lösa problemet är att använda en kula som kam, Kulan kan då rotera samtidigt som den lyfter splineskopplingen.

En annan förbättringsmöjlighet är att minska spänningen i passkruvarna, eftersom att hållfasthetssimuleringarna visar att dessa upplever en maximal spänning på 105 MPa. Även om passkruvarna inte plasticerar så skulle en lägre spänning medföra mindre elastisk deformation och armen blir styvare. Det finns två sätt att minska spänningen, första alternativet är att öka dimensionen på passkruvarna vilket också påverkar armens totala massa negativt. Andra alternativet är att placera passkruvarna på längre avstånd från ledens centrum, detta ökar deras hävarm och kraften de påverkas av för ett lika stort vridmoment minskar.

En funktion som också kan vidareutvecklas är låsningen av gasfjädrarna. Dessa manövreras med användning av vajrar. Problemet uppkommer när parallellarmen roteras, vilket vajrarna

därmed måste tillåta. En lösning är att använda en längre vajer som kan sättas i en båge och på så sätt följa med armens rotation. Nackdelen är då att armen endast kan rotera så mycket vajern tillåter. Ett annat lösningsförslag är att använda en typ av koppling där vajrarna är fästa i en skena som tillåter oändlig rotation utan att vajrarna vrider sig, en sådan koppling används exempelvis på BMX-cyklar (se figur 60 nedan).



*Figur 60 - Odyssey G3 Gyro till BMX*

*Från Odyssey G3 Gyro [foto], av Source BMX, 2023 [40]*

## 7.2 Slutsats

Arbetets syfte var att utveckla en produkt som möjliggör avlastning av komponenter och verktyg samtidigt som dessa kan låsas i en viss position för att förbättra ergonomin för industrins användare. Detta resulterade i en produkt bestående av en arm i två delar, en bom som kan röra sig horisontellt och en parallellarm som kan röra sig både horisontellt och vertikalt. Parallellarmen utrustades med låsbara gasfjädrar för att uppnå syftet om att avlasta massor och att låsa denna vertikalt. Låsningen av de horisontella rörelserna löstes genom utveckling av en splinesbroms som applicerades i bommens båda ändar. Konceptet konstruerades och testades för att resultera i en fullständigt fungerande arm som uppnår syftet och majoriteten av de krav som ställts. För Techcons vidare användning av armen finns stor potential för åtgärder och vidareutveckling för att förbättra armen och göra denna intressant för större projekt och företagets kunder.

# Referenslista

- [1] *Atlas Copco* (2023). *Momentarm, SMF* [foto].  
([https://www.atlascopco.com/content/dam/pim/itba/atlas-copco/products/torque-arms/SMF\\_4390208300.tif/jcr:content/renditions/cq5dam.web.1600.1600.jpeg](https://www.atlascopco.com/content/dam/pim/itba/atlas-copco/products/torque-arms/SMF_4390208300.tif/jcr:content/renditions/cq5dam.web.1600.1600.jpeg))
- [2] *Pneumatik* (2023). *Solar*  
(<https://www.google.com/url?q=https://www.solar.se/branscher/industri/pneumatik/&sa=D&source=docs&ust=1685692331526310&usg=AOvVaw3orhXu7Uzj4iLFE4kdAWZo>)
- [3] Ryan, K. (2020). *How to find leaks in pneumatic systems*.  
(<https://www.wevolver.com/article/how.to.find.leaks.in.pneumatic.systems>)
- [4] *Nutrainers Servaid - Spare Parts and Product Information* (2023).  
(<https://servaid.atlascopco.com/AssertWeb/en-US/AtlasCopco/Catalogue/1#node=18366917>)
- [5] *Grainer* (2023). *FLEXARM* [foto]  
(<https://www.grainger.com/product/FLEXARM-Torque-Arm-Reaction-33NY32>)
- [6] *LTS Maskin AS* (2023). *TM 12 E* [foto]  
(<https://www.ltsmaskin.no/products/elektrisk-gjengearm-tm12e>)
- [7] *Gasfjädrar 6mm Kolvstång max. 450N* (2023). *Gasfjädershop*  
(<https://www.gasfjadershops.se/produkt-kategori/gasfjadrar-6mm-kolvstang-max-400n-m5-ga nga/>)
- [8] *Lesjöfors AB* (2023). *Låsbar gasfjäder* [foto]  
(<https://www.lesjoforsab.com/sv/produkt/lasbar-gasfjader/>)
- [9] *JB Springs* (2018). *Tension or compression springs* [foto]  
(<https://www.jbsprings.co.uk/tension-springs-compression-springs/>)
- [10] *Festo Rod Electric Linear Actuator, 200mm* (2023). *rs-online* (<https://shorturl.at/pqIT8>)
- [11] *Stabe AB* (2023). *Linjärmotor typ ett* [foto] *Stabe*  
(<https://www.stabe.se/webshop/linjarenheter/guide-for-cylinderstalldon/electro-cylinder-typ-e ttserien-3812>)
- [12] *Atlas Copco Balansblock WP05-5* (2023) *duab*  
(<https://duab.se/garage-verkstad/tryckluft/tryckluftsverktyg/tillbehor-tryckluftsverktyg/atlas-c opco-balansblock-wp05-5>)
- [13] *Ahlsell* (2023). *Balansblock Atlas* [foto]  
(<https://www.ahlsell.se/products/verktyg--maskiner-1/tryckluft/tryckluftstillbehor/balansblock /405529/>)
- [14] *Atvhuset* (2023). *Bromsskiva Bak CF Moto* [foto]

(<https://www.google.com/url?q=https://www.atvhuset.se/broms/bromsskivor/bromsskiva-bak-cf-moto-goes-500-600?channable%3D02e4f16964003234353875&sa=D&source=docs&ust=1686750182136412&usg=AOvVaw2GAsM2YIILQXg0le6v7UZJ>)

[15] Directindustry (2023). *Disc brake caliper CBM3* [foto]

([https://www.google.com/url?q=https://www.directindustry.com/prod/industrial-clutch-parts/product-17094-2249908.html&sa=D&source=docs&ust=1686750299457440&usg=AOvVaw1dyG5qP\\_2J090Cm0sTmJf0](https://www.google.com/url?q=https://www.directindustry.com/prod/industrial-clutch-parts/product-17094-2249908.html&sa=D&source=docs&ust=1686750299457440&usg=AOvVaw1dyG5qP_2J090Cm0sTmJf0))

[16] Eide (2023). *Applications of Hirth couplings* [foto]

(<https://eide.net/en/applications-of-hirth-couplings/>)

[17] RS Components (2023). *Lenze Locking Bush ETP* [foto]

(<https://se.rs-online.com/web/p/locking-bushes/4776818>)

[18] Lesjöfors AB (2023). *Låsbar gasfjäder* [foto]

(<https://www.lesjoforsab.com/sv/produkt/lasbar-gasfjader/>)

[19] ATO (2023). *Electromagnetic clutch*

(<https://www.ato.com/electromagnetic-clutch-100nm>)

[20] Xianya W. (2020). *Large-torque balance arm of force* (CN211193740U)

(<https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/071862612/publication/CN211193740U?q=CN211193740U>)

[21] Ambring J. (2019). *Ergonomic welding arm with a plurality of arm links and joints*

(US10427252B2)

(<https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/050897673/publication/US10427252B2?q=ergonomic%20arm>)

[22] Keith J. Wells. (2019). *Collaborative robot hand bearing for high-torque tightening*

*applications* (US20210154866A1) (<https://patents.google.com/patent/US20210154866A1/en>)

[23] *Parallellarm PA-150-S* (2022). Smart-motion

(<https://www.smart-motion.se/pa-150-s--150nm->)

[24] *Smart Motion Sweden* (2022). *Parallellarm PA-150-S* [foto]

(<https://www.smart-motion.se/pa-150-s--150nm->)

[25] *Parallellarm PA-25-S* (2022). Smart-motion

(<https://www.smart-motion.se/pa-25-s--25nm->)

[26] *Smart Motion Sweden* (2022). *Parallellarm PA-25-S* [foto]

(<https://www.smart-motion.se/pa-25-s--25nm->)

- [27] *TM-10 BLO/R 1100* (2018). Bernardo  
(<https://www.bernardo.at/en/metall/metallbearbeitung/gewindeschneidmaschinen/electric-tapping-machines/tm-10-blo-r-1100.html>)
- [28] Bernardo (2018). *TM 10 BLO* [foto]  
(<https://www.bernardo.at/en/metall/metallbearbeitung/gewindeschneidmaschinen/electric-tapping-machines/tm-10-blo-r-1100.html>)
- [29] *SMT-T-100* (2023). Atlascopco  
(<https://www.atlascopco.com/en-us/itba/products/assembly-solutions/fixtured-assembly-solutions/fixtured-workstation-solution/compact-torque-arms/sms-t-100-sku4390201000>)
- [30] Atlas Copco (2023). *Torque Arm, SMS T* [foto]  
(<https://www.atlascopco.com/en-us/itba/products/assembly-solutions/fixtured-assembly-solutions/fixtured-workstation-solution/compact-torque-arms/sms-t-100-sku4390201000>)
- [31] *Series 3* (2023). Toolbalancerarms-3arm  
(<https://toolbalancerarms-3arm.com/tool-balancers/series-3/>)
- [32] *3ARM* (2023). *Series 3* [foto]  
(<https://toolbalancerarms-3arm.com/tool-balancers/series-3/>)
- [33] *Teleskopisk avlastningsarm med positionskontroll* (2023). Tmc-partner  
(<https://tmc-partner.se/projekt/teleskopisk-avlastningsarm-med-positionskontroll>)
- [34] *TMC Partner AB* (2023). *Teleskopisk avlastningsarm med positionskontroll* [foto]  
(<https://tmc-partner.se/projekt/teleskopisk-avlastningsarm-med-positionskontroll>)
- [35] Ringspann GmbH (2023) *Brake Caliper HW 040 HFA* [Produktblad]  
(<https://static-files.ringspann.com/Datasheet-HW-040-HFA-2411.pdf>)
- [36] *Actual hydraulic pressure in brake circuit* (2014). Ducatiform  
(<https://www.ducatiforum.co.uk/threads/actual-hydraulic-pressure-in-brake-circuit.18660/>)
- [37] Melkersson, K & Mägi, M & Evertsson, M (2017) *Maskinelement* Studentlitteratur AB
- [38] *Compression Springs* (2023). McMaster  
(<https://www.mcmaster.com/products/springs/compression-springs-7/system-of-measurement~metric/id~10-6mm/>)
- [39] *Locking gas springs with rigid locking* (2023). Suspa  
(<https://www.suspa.com/us/products/lockable-gas-springs/rigid-locking>)
- [40] *Source BMX* (2023). *Odyssey G3 Gyro* [foto]  
(<https://eu.sourcebmx.com/en-se/products/odyssey-g3-gyro>)

Låsbar avlastningsarm för Techcon  
Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet maskinteknik  
CARL LAURIN  
JOHN SVENSSON

© CARL LAURIN, JOHN SVENSSON, 2023

Examensarbete 2023  
Institutionen för Mekanik och maritima vetenskaper  
Chalmers tekniska högskola  
SE-412 96 Göteborg  
Sverige  
Telefon: + 46 (0)31-772 1000



**CHALMERS**