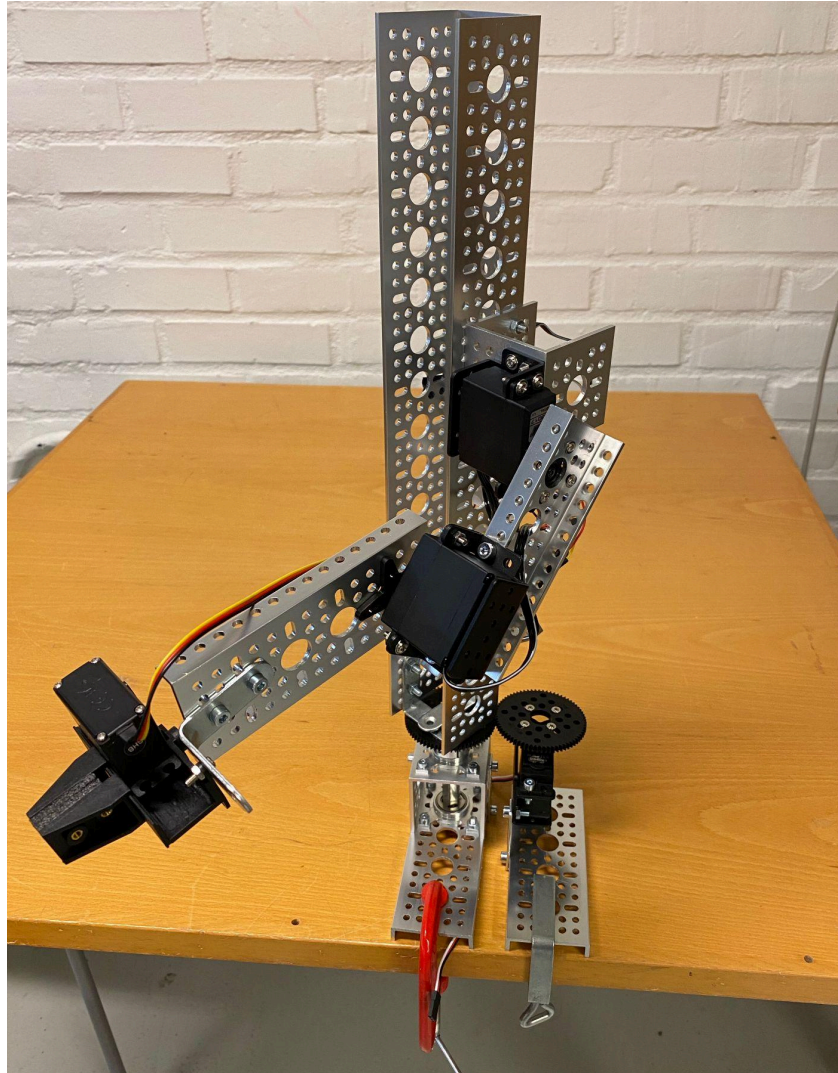




CHALMERS



Utveckling av en humanoid robotprototyp

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik

Jakob Bridle
Ludvig Arkelid

INSTITUTIONEN FÖR MEKANIK OCH MARITIMA VETENSKAPER

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2025

www.chalmers.se

Utveckling av en humanoid robotprototyp

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik

Jakob Bridle

Ludvig Arkelid

Institutionen för mekanik och maritima vetenskaper
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2025

Utveckling av en humanoid robotprototyp
Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik
Jakob Bridle
Ludvig Arkelid

© JAKOB BRIDLE & LUDVIG ARKELID, 2025

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

Omslag:
Bild på ett av slutkoncepten

Tryckeri/Institutionen för mekanik och maritima vetenskaper
Göteborg, Sverige 2025

Förord

Denna rapport är ett examensarbete på 15 högskolepoäng som är genomförd på Chalmers tekniska högskola för institutionen för mekanik och maritima vetenskaper.

Vi vill rikta ett stort tack till institutionen för mekanik och maritima vetenskaper, speciellt vår examinator Krister Wolff för all hjälpsamhet och vägledning under arbetets gång när vi haft frågor och funderingar kring arbetet. Likaså vill vi tacka vår handledare Vivien Lacorre för den tekniska hjälp, stöttning och feedback vi fått under arbetets gång.

Jakob Bridle och Ludvig Arkelid

Abstract

This project has been carried out together with the Department of Mechanics and Maritime Sciences at Chalmers University of Technology. The purpose of the project is to develop a new humanoid robot that is used in the course TIF160 Humanoid Robotics at Chalmers. The goal is to improve the mechanical structure of the robot as the previous robot used in the course is very unstable, which leads to large vibrations and poorer precision. In addition, the robot would be built up of mostly standard components to be able to easily manufacture several identical copies.

The work followed a classic product development methodology where the approach began with identifying the problem through a study of the previous robot. New ideas were then created through market research and free idea generation, which were further developed into concepts by combining ideas and partial solutions. These underwent a concept evaluation to produce three final concepts. These final concepts underwent a more detailed design process where a large focus was dedicated to component selection. Finally, two prototypes were created and then tested to see if the goal was met. The tests used an accelerometer to measure vibrations through movement and frequencies.

The final concepts resulted in two different prototypes that were created and tested. The tests gave a result that clearly showed that the goal of making a more stable robot with less vibration and more precision was achieved. The robot's design is reminiscent of the previous robot, but with a more robust design, components that make the product more modular and without custom-made components.

At the end of the report, the results are discussed and suggestions for further development are presented.

This report is written in Swedish.

Keywords:

product development, robot, prototype, design, vibrations, stability

Sammanfattning

Detta arbete har utförts tillsammans med institutionen för mekanik och maritima vetenskaper på Chalmers tekniska högskola. Syftet med projektet var att utveckla en ny humanoid robot som används i kursen TIF160 Humanoid Robotics på Chalmers. Målet var att förbättra den mekaniska strukturen hos roboten då den tidigare roboten som användes i kursen var väldigt instabil vilket ledde till stora vibrationer och sämre precision. Dessutom skulle roboten vara uppbyggd av mestadels standardkomponenter för att enkelt kunna tillverka flertalet likadana exemplar.

Arbetet följde en klassisk produktutvecklingsmetodik där tillvägagångssättet inleddes med att identifiera problemet genom en undersökning av den tidigare roboten. Sedan skapades nya idéer genom en marknadsundersökning och fri idegenerering som vidareutvecklades till koncept genom kombinerande av idéer och lösningar. Dessa genomgick en konceptutvärdering för att få fram tre slutkoncept. Dessa koncept genomgick en mer detaljerad designprocess där stort fokus låg på komponentval. Till sist skapades två prototyper som sedan genomgick tester för att se om målet uppfylldes. I testerna användes en accelerometer för att mäta vibrationer genom rörelse och frekvenser.

Slutkoncepten resulterade i två olika prototyper som skapades och testades. Testerna gav ett resultat som tydligt visade på att målet med att göra en stabilare robot med mindre vibrationer och mer precision uppnåddes. Robotens design påminner om den tidigare roboten, men med en mer robust design, komponenter som gör produkten mer modulär samt utan specialtillverkade komponenter.

I slutet av rapporten diskuteras resultatet och förslag på vidareutveckling presenteras.

Denna rapport är skriven på svenska.

Sökord:

produktutveckling, robot, prototyp, design, vibrationer, stabilitet

1. Inledning.....	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Syfte.....	1
1.3 Avgränsningar.....	1
2. Metod.....	2
2.1 Undersökning av problemet.....	2
2.2 Systemarkitektur.....	2
2.3 Ideégenerering och research.....	2
2.4 Konceptframtagning.....	3
2.4.1 Generering av koncept.....	3
2.4.2 Konceptdesign.....	3
2.5 Design av prototyptester.....	3
3. Förstudie.....	4
3.1 Nuvarande Robot.....	4
3.1.1 Kundkrav.....	5
3.1.2 Funktionell Analys.....	5
3.2 Marknadsundersökning.....	6
4. Resultat.....	8
4.1 Idégenerering.....	8
4.1.1 Armar.....	8
4.1.2 Kropp.....	14
4.1.3 Bottenplatta.....	16
4.2 Konceptgenerering.....	18
4.2.1 Eliminering.....	18
4.2.2 Konceptutvärdering.....	19
4.3 Slutkoncept.....	21
4.3.1 CAD-skisser.....	21
4.4 Detaljerad konstruktion.....	25
4.4.1 Prototyp.....	25
4.4.2 Komponentval.....	37
4.5 Kostnader.....	40
5. Utvärdering av Resultat.....	41
5.1 Prototyptester.....	41
5.1.1 Nuvarande lösning.....	43
5.1.2 Prototyp Koncept ett, svag servomotor i armbågen.....	45
5.1.3 Självsvängning.....	48
5.1.2 Prototyp Koncept två.....	51
6. Diskussion.....	54
6.1 Prototyptester.....	54
6.2 Vidareutveckling.....	55
7. Slutsats.....	56
8. Referenser.....	57
Bilagor.....	59

1. Inledning

I detta kapitel presenteras bakgrunden och syftet med detta projektet. Även vilka avgränsningar som förekommer i projektet presenteras här.

1.1 Bakgrund

I kursen TIF160 Humanoid Robotics ska grupper av elever programmera en mindre humanoid robot för att genomföra olika typer av uppgifter. Vad dessa uppgifter är får eleverna själv välja, exempelvis ska roboten spela schack mot en motståndare, eller sortera olika objekt beroende på färg. Roboten har en kamera monterad på huvudet, där den ska ta in information och utvärdera för att slutligen genomföra sin uppgift. Ett exempel ett sådant genomförande är om det ligger två högar med bollar framför roboten, där en hög har röda bollar med en blå boll, och den andra högen endast har blå bollar. Roboten ska då ta in denna information, för att sedan använda sin arm för att flytta den blå bollen som ligger fel, till rätt hög med endast blå bollar.

En stor påverkan på kursens kvalitet är då robotens kvalitet, alltså om roboten inte är stabil eller inte har mycket styrka eller precision i armen, påverkar det hur eleverna upplever kursen, samt hur väl eleverna kan fokusera på sin uppgift, det vill säga att programmera roboten. Fler problem med de mekaniska systemen på roboten tar tid från utbildningen för att åtgärda de problemen. Robotens uppbyggnad begränsar även vad den kan göra, då armen är fast monterad på ett visst sätt, vilket kräver större ingrepp för att exempelvis kunna ändra höjden på armen, eller öka antalet frihetsgrader, beroende på vad eleverna önskar att göra.

1.2 Syfte

Syftet med uppdraget är att ta fram minst ett koncept för robotens mekaniska struktur, samt prototyper för att kunna testa dem. Varje koncept på roboten får inte överstiga en viss budget, samt att det ska kunna tillverkas flera exemplar av robotar utan behov av specialtillverkade komponenter. Genom att lösa detta problemet får studenterna inom kursen en bättre upplevelse och kan fokusera mer på syftet med kursen istället för de mekaniska delarna. Resultatet förväntas även ge möjlighet att använda roboten i andra ändamål, exempelvis inom forskning, eller marknadsföring för Chalmers för att rekrytera studenter.

1.3 Avgränsningar

Detta projektet kommer att begränsas till att utveckla mekaniska koncept samt genomföra prototyp tester till den grad tidsbegränsningen tillåter. De mekaniska koncepten som tas fram behandlar endast kroppen, arm samt en basplatta vilket roboten kommer att rotera runt, och andra elektriska lösningar kommer inte att undersökas.

2. Metod

I detta kapitlet beskrivs metoderna som använts i projektet för att uppnå det slutgiltiga resultatet. Projektet följer till största del en klassisk produktutvecklingsmetodik där allt börjar i en förstudie, vidare till konceptgenerering och slutligen prototypskapande. Delar av denna metod, främst konceptgenereringen, är baserad på litteraturen i boken *The Value Model* av Per Lindstedt och Jan Burenus. Denna litteratur presenterar en metod som går ut på att generera en mängd koncept som sedan genom eliminering, värdering och ranking leder till ett slutkoncept (Lindstedt & Burenus, 2003). I detta projekt användes inte alla delar av denna metod då det endast ansågs vara nödvändigt att genomföra elimineringsmatrisen eftersom det räckte som underlag för att sedan enkelt ranka de kvarvarande koncepten utifrån ett antal kriterier för att till sist komma fram till slutkoncepten. Den fullständiga metoden som beskrivs i boken behandlar flertalet matriser för att systematiskt komma fram till ett vinnande koncept. I detta projekt används alltså bara delar av denna metod.

2.1 Undersökning av problemet

Projektet inleddes med en undersökning av problemet. Detta för att få en tydlig bild över var de problem och brister som fanns på den tidigare produkten samt var fokusområdet för projektet låg. Detta gjordes dels genom diskussion med ansvarig för produkten och dels genom en fysisk undersökning av den tidigare produkten. Här definierades även vad som inte skulle behandlas i projektet, alltså vilka avgränsningar som fanns.

2.2 Systemarkitektur

För att strukturera upp projektet skapades en systemarkitektur. Denna bestod av de två huvuddelarna kundkrav och funktionell analys. Kundkraven skapades tillsammans med kunden som i projektets fall är ansvarig för kursen där produkten används. Här togs viktiga krav och önskemål upp för att få en tydligare förståelse för vad som behövde förbättras och var fokusområdet skulle ligga. Med hjälp av kundkraven skapades en kravspecifikation.

Den funktionella analysen skapades i syfte att tydliggöra de olika delsystemen hos produkten. Detta för att få en bättre överblick hur den fungerar, hur delsystemen interagerar med varandra samt ger ett bättre underlag för idegenereringen senare i projektet. En black box skapades för att tydliggöra detta där den tidigare produkten användes som referens.

2.3 Ideégenerering och research

För att få idéer till produkten och dess olika delsystem genomfördes en gedigen research. Detta gjordes mestadels på internet där inspiration togs från andra koncept och lösningar. Parallellt med researchen inleddes en ideégenerering där olika dellösningar och koncept skissades fram och där dessa sedan diskuterades och utvecklades. Det gjordes även mycket

brainstorming för att komma fram med flera olika dellösningar till varje delsystem hos produkten.

2.4 Konceptframtagning

Nästa del i processen var att ta fram faktiska koncept på roboten. Denna del bestod av en konceptgenerering för att få fram slutkoncept och sedan skapande av prototyp.

2.4.1 Generering av koncept

Med dellösningarna från idegenereringen skapades olika koncept genom en klassisk metod där lösningar kombinerades och eliminerades efter hand. Först listades alla dellösningar som tagits fram i idegenereringen. Dessa kombinerades sedan för att skapa flertalet olika koncept. Dessa genomgick sedan en elimineringsmatris där koncepten ställdes mot olika krav för att undersöka om dessa uppfyllde kraven. De som inte gjorde det eliminerades här. Även fast ett koncept eliminerades kunde enstaka dellösningar gå vidare i processen.

Efter elimineringen rankades de olika koncepten som var utifrån olika kriterier för att se vilket koncept som var bäst. Till sist utsågs de tre alternativa koncept som skulle vidareutvecklas i projektet.

2.4.2 Konceptdesign

Efter att de tre olika koncepten tagits fram byggdes prototyper av dessa för att få en bättre bild av hur de skulle se ut i verkligheten och för att sedan kunna testa dem. I denna process lades inledningsvis ett stort fokus på att välja komponenter till prototyperna. Efter att dessa erhöles byggdes prototyperna där små justeringar gjordes för att få så bra resultat som möjligt.

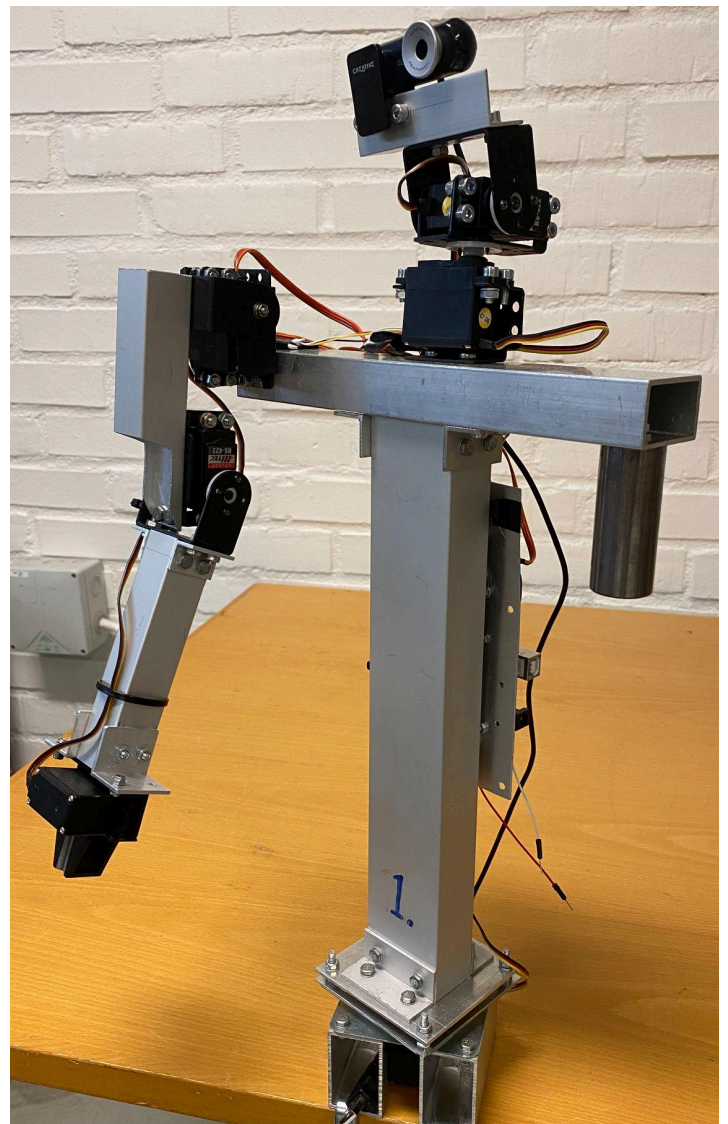
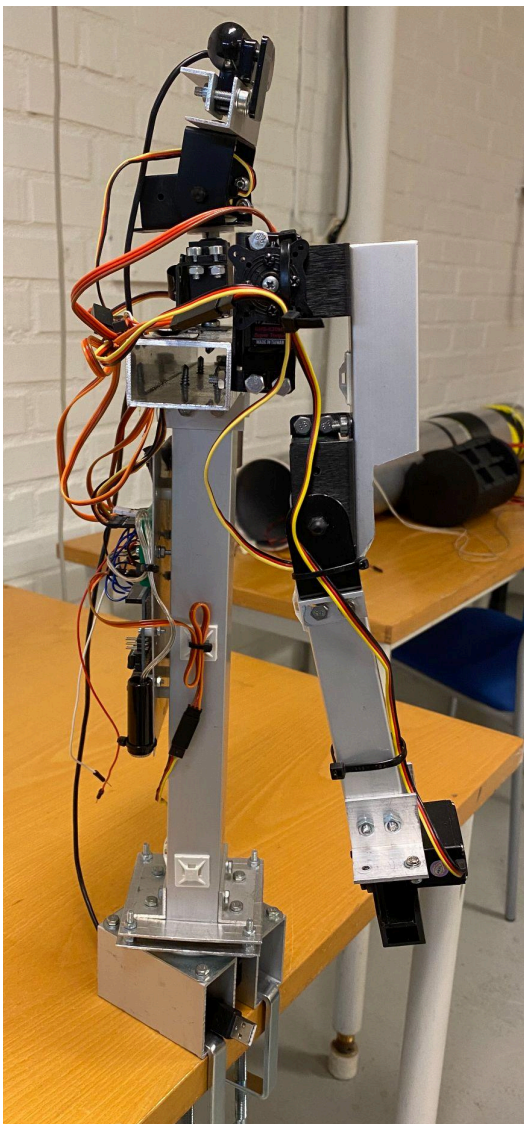
2.5 Design av prototyptester

Efter att de fysiska prototyperna byggdes, testades de med hjälp av en accelerometer för att avgöra deras stabilitet. Detta gjordes genom att först programmera en rörelse för den nuvarande roboten och sätta accelerometern på två olika platser på roboten och mäta dess vibrationer under denna rörelse. Därefter programmerades samma rörelse för de nya prototyperna, och accelerometern placerades på liknande sätt för att kunna jämföra vibrationerna med den nuvarande roboten. Från varje test skapades två grafer över accelerationen, och tre grafer från en spektralanalys, för att analysera vilka frekvenser som dominerar i varje riktning. Slutligen genomfördes även en undersökning på accelerationens medelvärde och standardavvikelse.

3. Förstudie

Inledningsvis genomfördes en förstudie på både nuvarande robot design, för att få en tydligare bild på vad de största problemen är, samt att få en tydligare bild av hur dess frihetsgrader fungerar, och hur de mekaniska komponenterna sitter monterade i varandra. Även en noggrannare undersökning av vad kunden har för krav på roboten genomfördes. Därefter genomfördes en marknadsundersökning för att undersöka vad som brukar användas, både på industrinivå samt som privatperson, i syfte att ge inspiration till framtida koncept.

3.1 Nuvarande Robot



Figur 1 & 2. Bilder på nuvarande robot

Vid undersökning av den nuvarande roboten, se figur 1 och 2, blev det tydligare att många av de oönskade vibrationerna uppkommer från basen av roboten, alltså den delen man fäster i bordet som även ska tillåta rotation kring robotens kropp. Basen består av två rektangulära aluminiumdelar som man klämmer fast i bordet, och mellan dessa finns en servomotor monterad, vars axel är kopplad till en rotationsbrickan. På den rotationsbrickan sitter sedan resten av kroppen.

Nästa problem som upptäcktes var styrkan i armen. Armens uppbyggnad består först av en starkare servomotor kopplad till en aluminiumdel med rektangulärt tvärsnitt, som tillåter att hela armen kan flyttas upp och ner. Man kan säga att denna servomotorn fungerar som axeln på armen. Längst ut på den aluminiumdelen sitter en till, något svagare, men lättare servomotor som även i sin tur har en liknande aluminiumdel som föregående del, vilket då fungerar som robotens armbåge. Längst ut sitter gripklon monterad med en sista servomotor.

Problemet ligger vid den mittersta servomotorn, alltså armbågsleden, som vid vissa lägen blir hackig vid drift. Ett exempel på det är när roboten ska genomföra en vinkrörelse, alltså när armen hålls rakt ut, och armbågen roterar upp och ner. När armen då rör sig nedåt blir det för tungt för servomotorn att hålla upp resten av armen, och istället blir det att servon släpper helt och sedan bromsar helt flera gånger, istället för att sänka armen långsamt. Dessa plötsliga rörelser leder till att hela roboten börjar vibrera kraftigt, då också eftersom basen i sin tur inte heller är tillräckligt stabil.

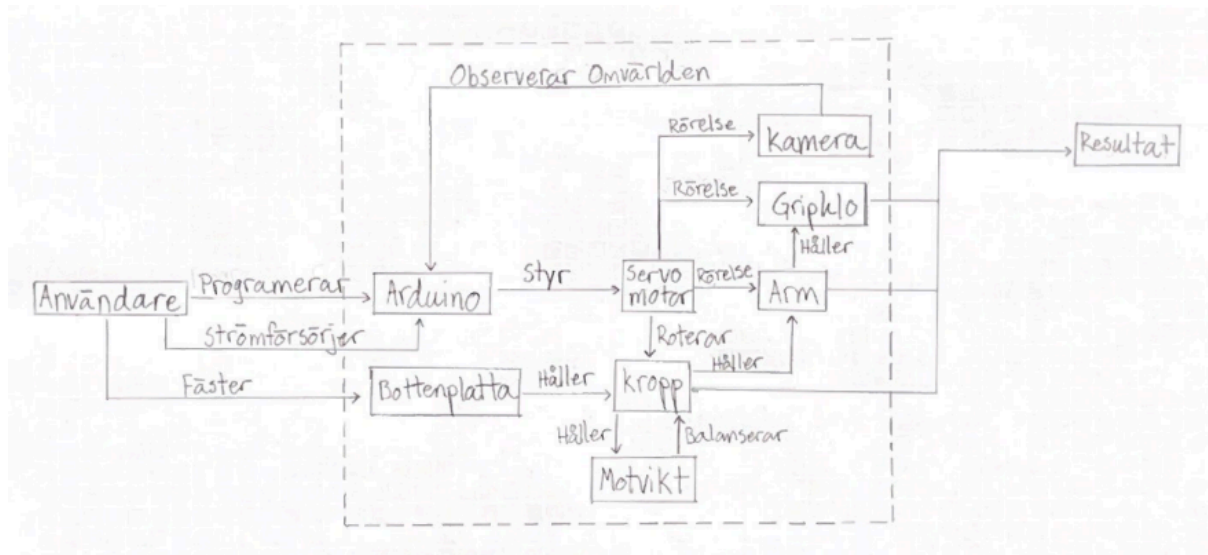
3.1.1 Kundkrav

En kundkravslista upprättades i samband med examinatorn för kursen TIF160. Se denna under *bilagor*, bilaga 1. Kundkravslistan upprättades genom att ta olika generella krav vid exempelvis användarvänlighet, och sedan gå in mer på detalj med specificeringar, för att förtydliga vad kraven innebär. Vid möjlighet har även specifikationerna försetts med ett målvärde, samt om det är ett krav, eller ett önskemål, där respektive benämns som antingen K eller Ö i kundkravslistan. Vid önskemål har även dem viktats med ett värde mellan ett och fem, där ett innebär att det är ett lågt prioriterat önskemål, och fem innebär att det är ett högt prioriterat önskemål. Även en kortfattad verifikationsmetod finns med för varje specificering, för att ha en idé om hur man ska verifiera att kraven och önskemålen har uppnåtts. Slutligen är kravställaren angett, alltså vem det är som ställer kraven. Detta används för att förtydliga var de olika kraven kommer ifrån. Med kravställare som brukare innebär det personen eller personerna som använder roboten.

3.1.2 Funktionell Analys

En funktionell analys gjordes i syfte att illustrera en helhetsbild av hela systemet och hur de olika delsystemen kopplas till de olika funktionerna i roboten. Först definierades olika funktioner som roboten består av, och sedan utvärderades vilken typ av funktion det är. De fyra olika typer av funktionerna är huvudfunktion vilket benämns som HF, tilläggfunktion

vilket benämns som TF som stödjer huvudfunktionen, samt stödjandefunktion vilket benämns som SF som varken bedöms positivt eller negativt, och slutligen önskade funktioner. Därefter delades hela roboten upp i olika delsystem som sedan användes för att koppla ihop med de olika funktionerna i roboten. Slutligen skapades en blackbox, där alla delsystem och funktioner kopplas ihop med pilar i en figur för att få en tydlig bild över hela systemet. Den såg ut enligt följande figur:



Figur 3. Blackbox

3.2 Marknadsundersökning

En bred marknadsundersökning genomfördes för att undersöka olika befintliga lösningar på de olika delsystemen, med ett särskilt fokus mot robotarmar. Anledningen till att robotarmar prioriterades var eftersom det ansågs som både den mest komplicerade delen av roboten eftersom det finns mycket rörliga delar, samt att det är en av de mer kritiska delarna av roboten. Det som framkom var att många privatpersoner gör hobbyprojekt där det var mycket vanligare att bygga robotarmar, jämfört med humanoida robotar. Detta användes som inspirationskälla för hur konstruktionen för armen kan se ut beroende på vilka frihetsgrader man vill använda.

Ett exempel på detta är en robotarm från LewanSoul som kan ses på Amazons webbplats (Amazon, u.å.), där hela robotarmen monteras på bordet. Armen uppfyller de kraven som ställs för roboten angående frihetsgrader, och att kunna manipulera olika typer av objekt, och det som framförallt var intressant var att man där har två servomotorer längre ner och mer samlat, jämfört med nuvarande robot, där varje servomotor sitter längre ut längst armen. Detta kan bidra till att viktfordelningen samlas närmare tyngdpunkten, som i sin tur kan bidra till minskade vibrationer och mer stabilitet i roboten.

Vidare undersöktes även olika komponenter som kan användas som alternativ för

servomotorer. De två andra alternativen som framkom var stegmotor och linjärmotor. En stegmotor är lik en servomotor, men där motorn rör sig i ett antal steg per varv. Motorn är kopplad till en utgående axel där man i sin tur kan koppla andra komponenter. Den största skillnaden på en stegmotor är att den är generellt mycket mindre än servomotorer. En linjärmotor fungerar genom att istället för att rotera en utgående axel, sitter det en axel som translaterar, alltså rör sig axeln längs en rörelsebana utan att rotera.

4. Resultat

Genom att genomföra de metoderna enligt tidigare kapitel, framkom det resultat från alla delarna av metoderna. Resultat från idégenerering, konceptgenerering, slutkoncept samt slutprodukt presenteras här.

4.1 Idégenerering

Idégenereringen gick ut på att inventera befintliga lösningar genom en marknadsundersökning där fri internetsökning var det som dominerade för att få en tydligare bild av vad som används idag och för att skapa idéer till alternativa koncept. Därefter skedde konceptgenerering genom fri skissning där ideerna som fanns tilläts skissas på papper för att få en tydligare bild av koncepten. Under idégenereringen skapades helhetslösningar för de viktigaste delsystemen, vilket var armen, kroppen och bottenplattan, men även lösningar för roboten i sin helhet, alltså hur alla delsystem ska kopplas samman. Fokuset var att hitta stabila lösningar, istället för att försöka lägga till fler funktioner som inte är nödvändiga för de grundläggande krav som ställs på roboten, då det ansågs att det kunde öka risken för en mindre stabil slutprodukt.

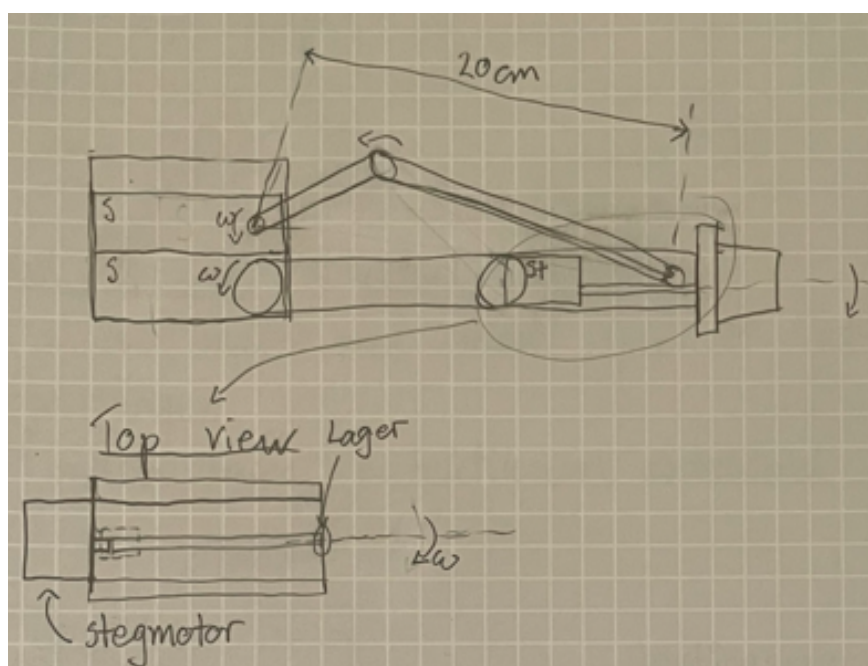
4.1.1 Armar

Från idégenereringen för armen framkom det totalt tio olika idéer för att förbättra detta delsystemet, som är en sammansättning delsystemen som kallas övre arm, undre arm, och gripklo. Dessa tre delsystem och dess olika komponenter gjorde att armen blev det mest komplicerade delsystemet och det som lades mest fokus på. Eftersom robotens funktion är att kunna göra olika rörelser likt en människa, till exempel att flytta ett föremål från punkt A till punkt B, krävs flertalet frihetsgrader i armen. Detta betyder att avvägningen mellan stabilitet och funktionalitet blev den största utmaningen.

I idégenereringen för armen lades mycket fokus på att komma på smarta lösningar för att öka armens stabilitet och således även dess precision samtidigt som funktionaliteten ville bevaras eller till och med utvecklas med någon extra frihetsgrad.

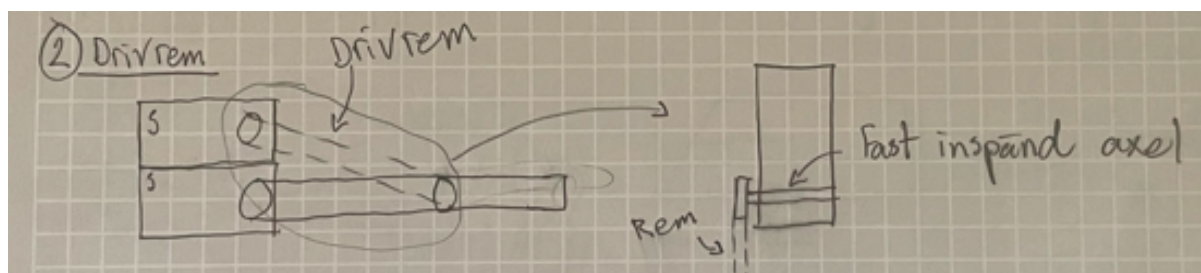
Nedan presenteras skisser på idéer på armen som uppkom under idégenereringen. Notera att dessa tio idéer inte alltid är färdiga helhetskoncept på armen utan att vissa fokuserar på en viss funktion i armen som sedan kan integreras i ett helhetskoncept.

Balkförlängning



Figur 4. Skiss på konceptet Balkförlängning

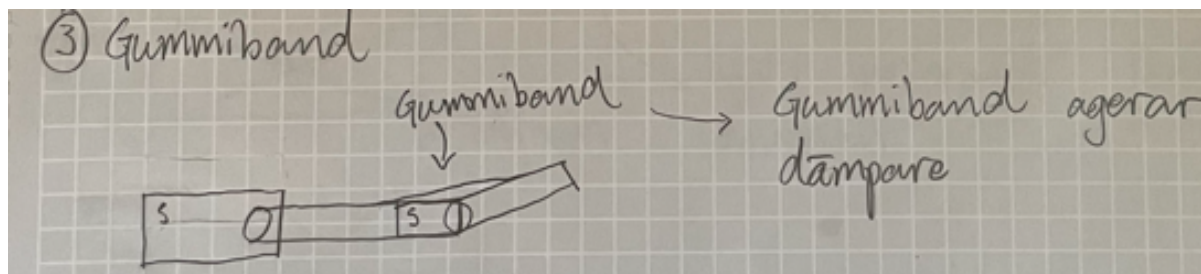
Denna idé enligt figur 4 bygger på att armbågservon flyttas bak och använder balkar för att justera armen. Detta görs i syfte att flytta bak tyngdpunkten på armen närmre axeln och på så sätt öka stabiliteten längre ut på armen nära gripklon. För att kunna justera och rotera armbågen används här balkar som är ledade och på så sätt kan rotera relativt varandra och på så sätt får underarmen att rotera relativt överarmen.



Figur 5. Skiss på konceptet Drivrem

Konceptet drivrem som visas i figur 5 bygger även här på att armbågservon sitter närmare axeln för att skjuta tyngdpunkten närmre mitten och på så sätt öka stabiliteten i armen. Skillnaden här är att armbågsleden drivs av en rem istället för flera balkar för att få rotation i underarmen.

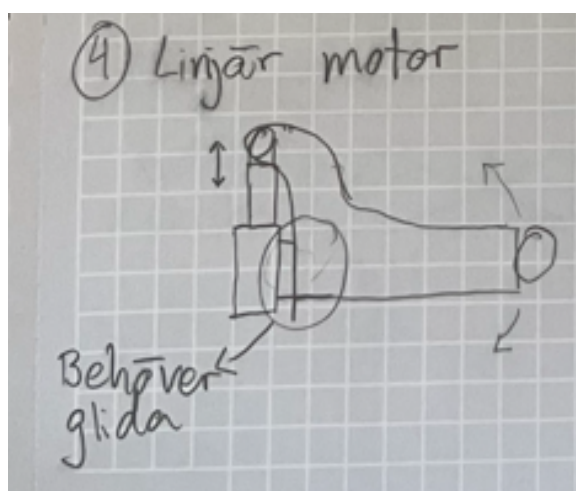
Fjäderdämpning



Figur 6. Skiss på konceptet Fjäderdämpning

Denna idé, enligt figur 6, är en idé på armen som är mer lik den som finns på den nuvarande roboten. Här sitter ett servo i axeln och ett i armbågen och dessa sköter rotationerna direkt via servona. Skillnaden här är dock att en fjäder har fästs över armbågsleden för att skapa dämpning. Notera att det i skissen står gummiband, men detta ska alltså vara en fjäder. Denna ide grundar sig i att den tidigare roboten var mycket instabil och "ryckig" när armen var i högläge och helt utsträckt. En fjäder som dämpar "fallet" när armen rör sig nedåt ger mer stabilitet och precision.

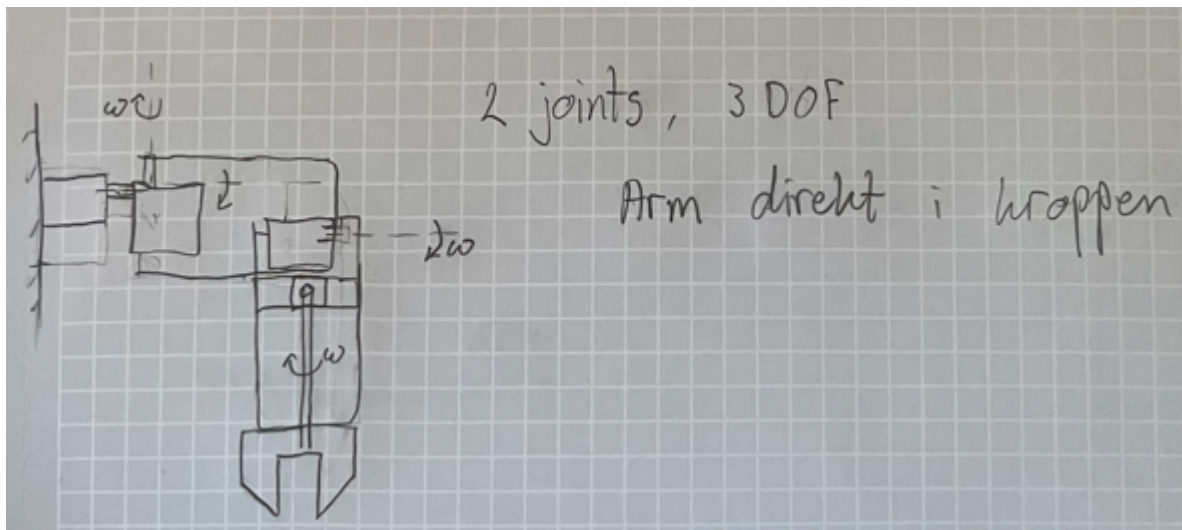
Linjärmotor



Figur 7. Skiss på konceptet Linjärmotor

Denna idé, enligt figur 7, är ett sätt att minska vikten på underarmen och flytta tyngdpunkten närmare axeln precis som tidigare koncept. Frihetsgraden som här skapar rotation i armbågsleden fås genom en linjärmotor som kan skjutas upp och ner som i sin tur gör att armen roterar. Denna ide kräver dock att delarna kan glida relativt varandra.

3 DOF vid 2 leder

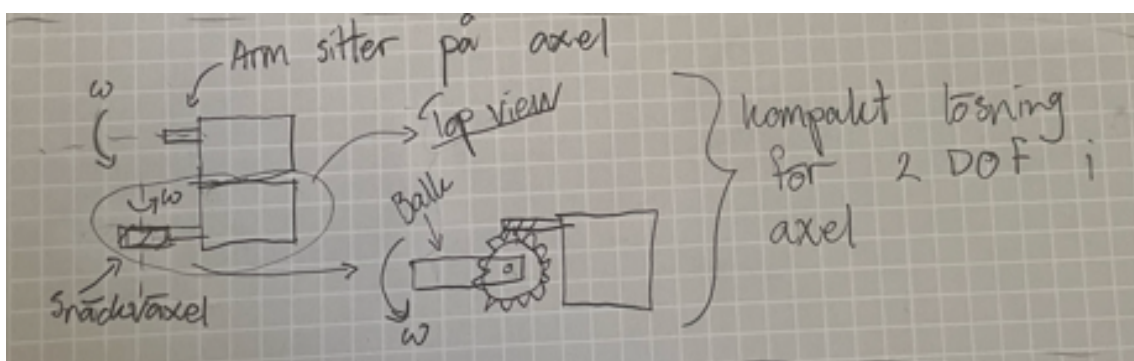


Figur 8. Skiss på konceptet Snäckväxel vid axel

Denna idé som illustreras i figur 8 är, till skillnad från de tidigare koncepten, mer ett helhetskoncept över armen. Detta koncept kallas 3 DOF vid 2 leder, alltså tre stycken “degrees of freedom” vid två leder. Som man kan se längst till vänster i skissen fästs en servo direkt in i kroppen. Denna servo står för en frihetsgrad i axeln. Efter denna sitter en till servo i axeln som bidrar med ytterligare en rotation i axeln. Vidare till armbågsleden sitter en servo som bidrar med rotation i leden och en stegmotor eller servo som roterar underarmen vilket bidrar med en extra frihetsgrad i gripklon.

Detta helhetskoncept för armen är en betydligt mer avancerad idé som skapar flertalet extra frihetsgrader och rotationer i armen jämfört med den tidigare robotens arm. Detta skapar en bättre funktionalitet och mer utrymme för rörelser som roboten kan klara av. Utmaningen är dock att skapa armen med standardkomponenter och att få roboten att bli stabil med så pass många servomotorer som ökar vikten avsevärt i armen.

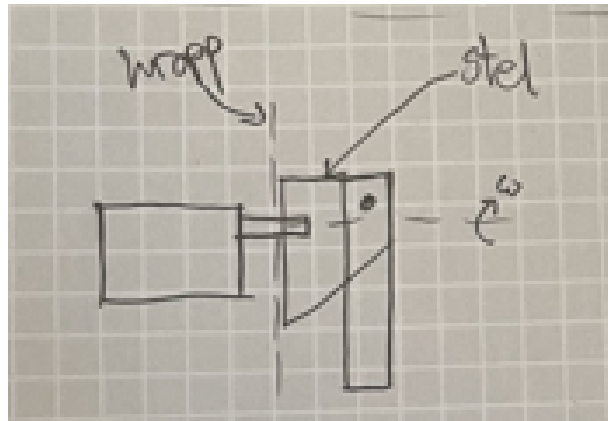
Snäckväxel vid axel



Figur 9. Skiss på konceptet Snäckväxel vid axel

Detta koncept enligt figur 9 är en kompakt lösning för axelleden i helhetskonceptet "3 DOF i 2 leder". Denna idé går ut på att det sitter en snäckväxel i axelleden vid servomotorerna för att styra en av frihetsgraderna i axeln. Denna lösning är kompakt vilket gör att tyngdpunkten kan flyttas närmare centrum på kroppen. Utmaningen här kan dock vara att hitta komponenter som passar konceptet samt att få de mekaniska komponenterna att fungera felfritt.

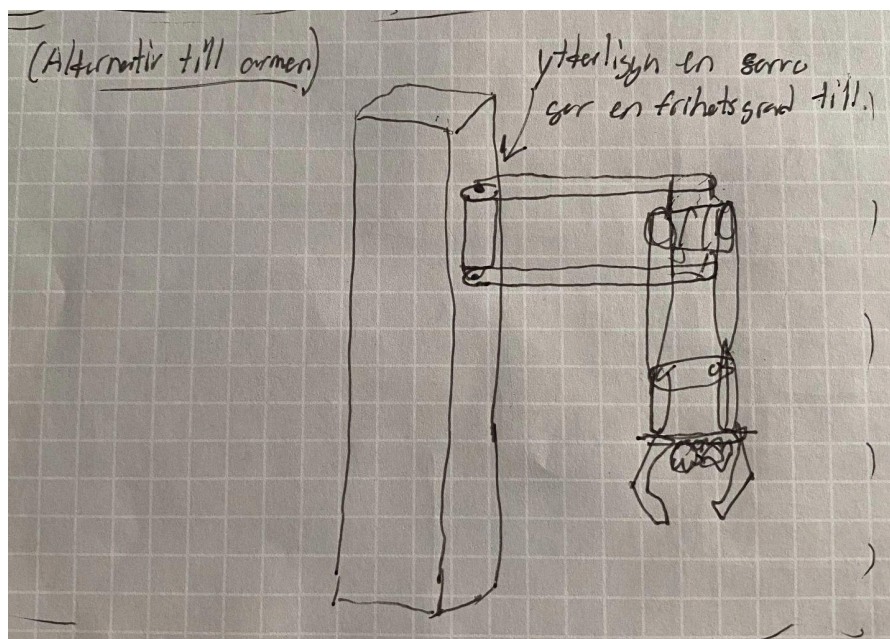
Stel axel



Figur 10. Skiss på konceptet Stel axel

Konceptet som visas enligt figur 10 är en delösning till axelleden. I denna idé är servomotor som skapar rotation i axeln integrerad i kroppen. Detta bidrar till en mer centrerad tyngdpunkt som i sin tur bidrar till att roboten får bättre stabilitet.

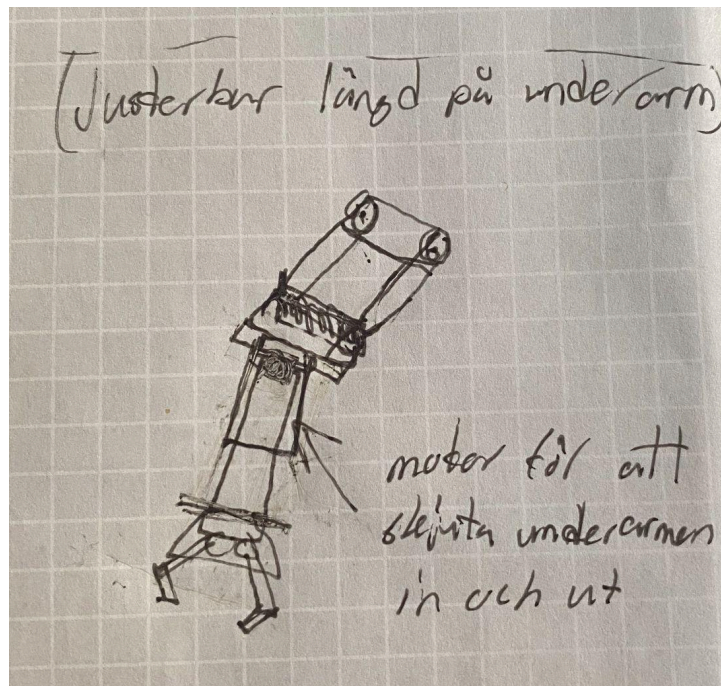
Servo direkt i kroppen



Figur 11. Skiss på konceptet Servo direkt i kroppen

Detta koncept som visas enligt figur 11 är ett helhetskoncept på armen. Här sitter axel servon direkt i kroppen. Servon i axelleden i denna skiss är vriden nittio grader jämfört med axelleden i de tidigare koncepten. Detta leder till att armen lättare roterar runt kroppen. Här är underarmen tvådelad med ett servo i armbågsleden och ett servo i "handleden". Detta skapar mer möjligheter till rörelse, men kan lätt leda till en för tung och instabil arm.

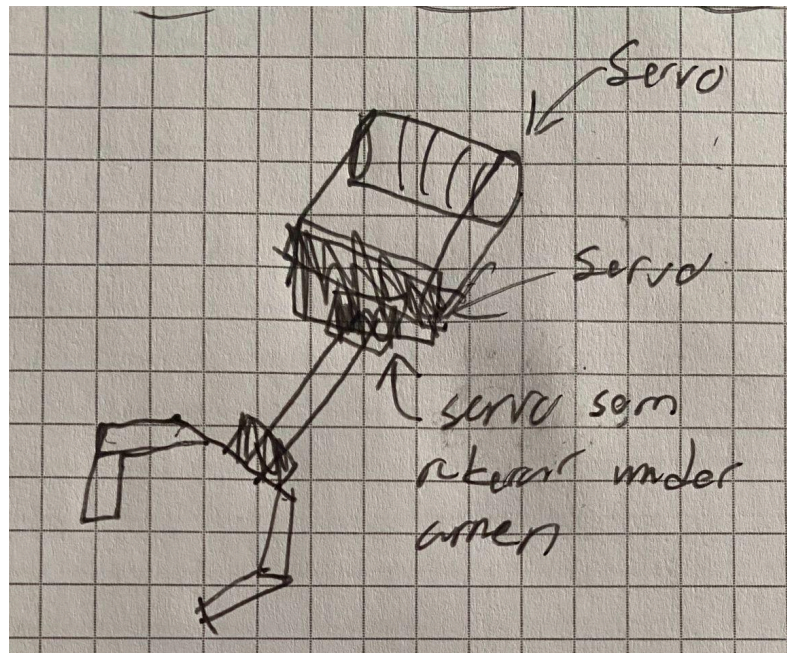
Linjärmotor underarm



Figur 12. Skiss på konceptet linjärmotor underarm

Konceptet som visas enligt figur 12 är en dellösning till armen. Här används en öppen profil till överarmen för att spara vikt och på så sätt få roboten att bli mer stabil. Underarmen är utrustad med en linjärmotor som gör att underarmen ska kunna förflyttas in och ut och på så sätt förlänga eller förkorta armens längd. Detta skapar en extra rörelse i armen som ökar funktionaliteten hos roboten.

Öppen underarm



Figur 13. Skiss på konceptet Öppen underarm

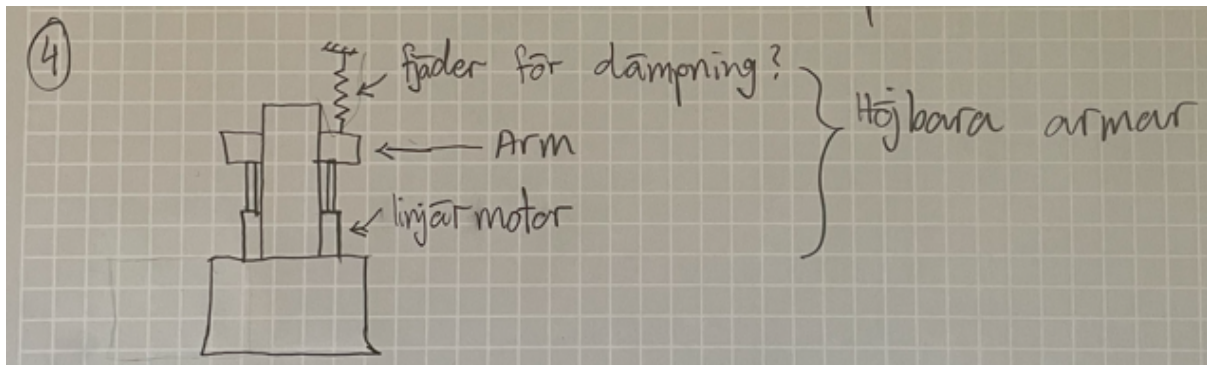
Konceptet som visas enligt figur 13 är en idé för armen där tillägget jämfört med tidigare koncept är att det sitter en liten servomotor extra i armbågsleden som roterar underarmen. Detta gör att armen får en extra frihetsgrad som här blir att gripkлон kan rotera. Överarmen är uppbyggd av en öppen profil för att reducera vikt och göra armen stabilare. Underarmen är uppbyggd av en rak axel för att lättare kunna rotera.

4.1.2 Kropp

I idégenereringen för kroppen togs ett antal koncept fram för hur kroppen skulle konstrueras. Delsystemet "kropp" är den delen av roboten som har som funktion att bära upp armen, fästas i bottenplattan samt att erbjuda fäste för arduino, kamera och eventuellt andra delar. Fokuset i idégenereringen för kroppen är att hitta lösningar där armen lätt ska kunna fästas på kroppen. Det är även mycket fokus på modularitet, alltså att det ska finnas möjlighet att justera hur armen sitter, sätta på en extra arm, eller bygga på andra delar som kan öka stabilitet eller funktionalitet. Det är även viktigt att kroppen erbjuder användarvänlighet genom att göra det enkelt för operatören att komma åt skruvar och dylikt för att lätt kunna justera robotens utformning.

Nedan presenteras ett antal idéer för delsystemet "kropp". Notera att även här kan idéerna vara ofullständiga koncept eller idéer för vissa funktioner hos kroppen.

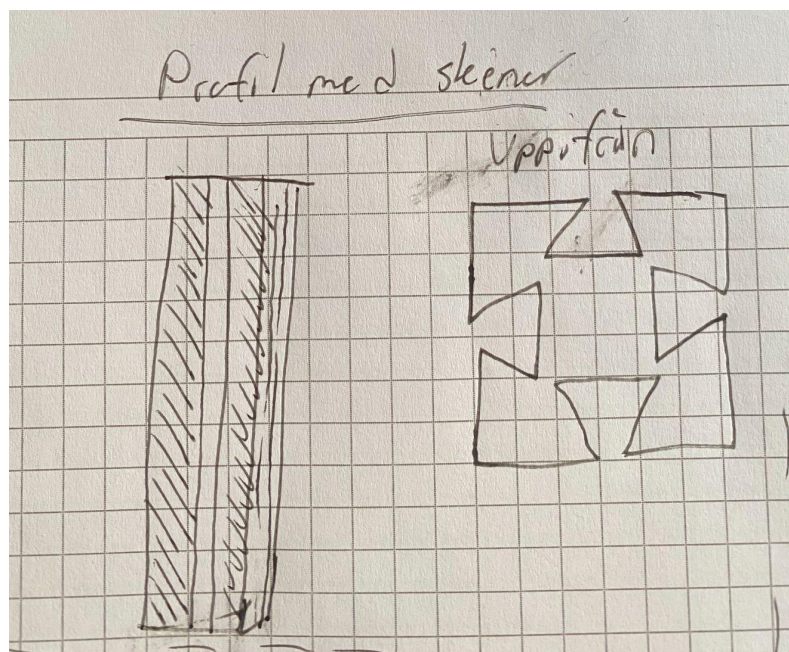
Linjärmotor för axel



Figur 14. Skiss på konceptet Linjärmotor för axel

Konceptet enligt figur 14 är en idé på en tilläggsfunktion där armen ska kunna justeras i höjd med hjälp av en linjärmotor. Denna motor sitter på utsidan av kroppen. En fjäder kan eventuellt fästas på kroppen för att öka dämpningen och göra förflyttningen av armen mer stabil. Denna idé med linjärmotor för att justera höjden av armen ökar möjligheten till rörelse hos armen på roboten.

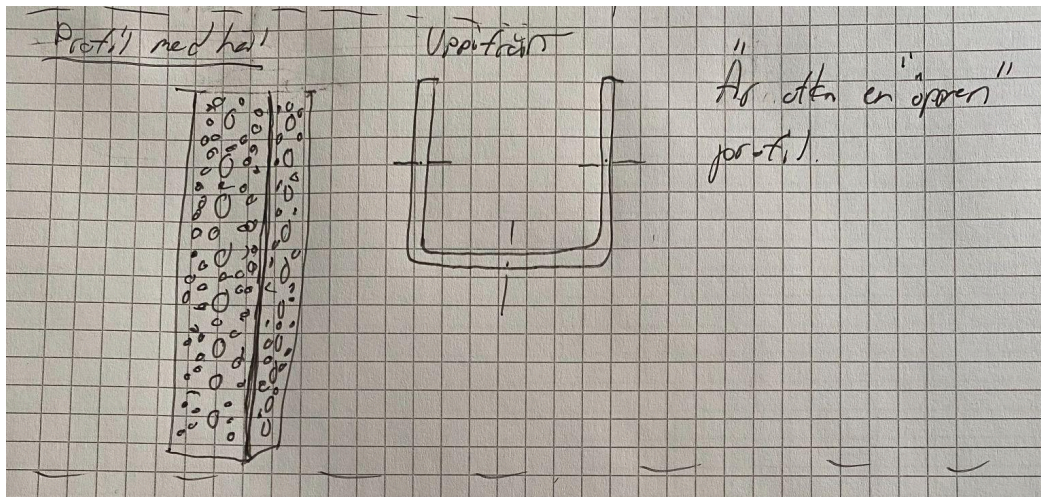
Skenprofil



Figur 15. Skiss på konceptet Skenprofil

Konceptet som visas enligt figur 15 är en idé på hur kroppen kan se ut. Här är kroppen en profil med skenor runt om. Detta gör att det är enkelt att fästa armen och andra delar i kroppen. I skissen ser man att profilen är av ett kvadratisk tvärsnitt och att det är skenor på varje sida av kroppen.

U-profil



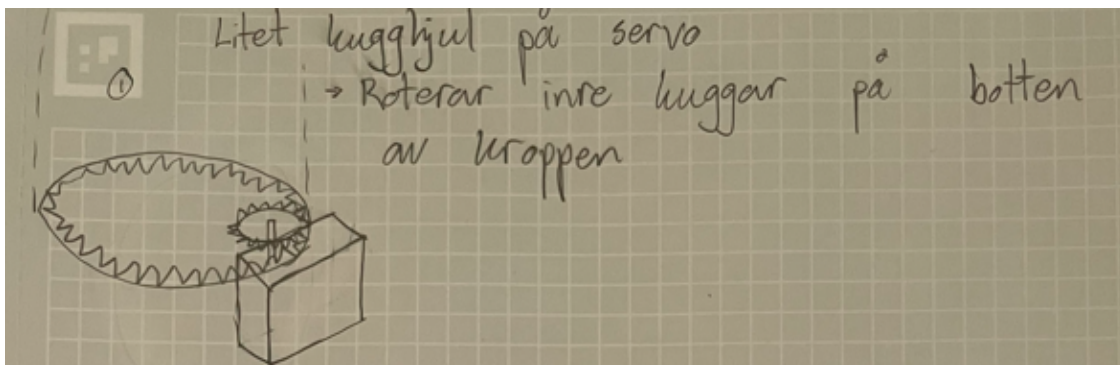
Figur 16. Skiss på konceptet U-profil

Konceptet enligt figur 16 är även det en idé på hur kroppen kan se ut. Här används istället en U-profil med mycket hål. En U-profil är öppen på ena sidan. Detta skapar möjlighet att fästa olika komponenter i kroppen på ett enkelt sätt. Att kroppen har mycket hål skapar möjlighet till modularitet där det skapar många olika sätt att fästa armen och övriga komponenter.

4.1.3 Bottenplatta

Bottenplattan är det delsystem som håller upp kroppen, fäster hela roboten i till exempel ett bord samt skapar rotation av hela roboten. Eftersom bottenplattan är basen för resten av delsystemen ligger stort fokus på stabilitet. En bristande stabilitet i bottenplattan leder till dålig precision och vibrationer i resten av roboten. Eftersom kroppen ska kunna rotera krävs också en smart och stabil lösning för detta. I idégenereringen togs det fram ett antal olika idéer på konstruktionen av bottenplattan. Nedan presenteras de olika idéerna på bottenplattan. Notera att även här kan koncepten vara dellösningar på funktioner hos bottenplattan och inte färdiga helhetskoncept.

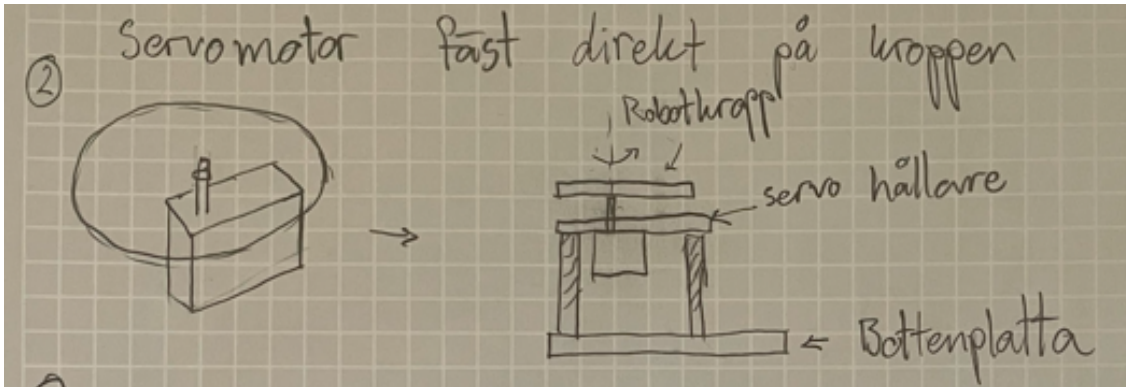
Kugghjul



Figur 17. Skiss på konceptet Kugghjul

Konceptet enligt figur 17 är en idé på rotationen hos bottenplattan. Här används kugghjul för att skapa rotation av roboten. Ett kugghjul sitter på en servo som kan rotera. Detta kugghjul är i sin tur i ingrepp med ett annat kugghjul som sitter i kroppen. Genom att servon inte sitter i kroppen kan stabiliteten förbättras. Ytterligare en fördel med denna idé är möjligheten till att välja olika storlekar på kugghjulen vilket ändrar utväxlingen i rotationen hos bottenplattan. Detta leder till att roboten skulle kunna rotera flera varv trots att servon har en begränsad rotation.

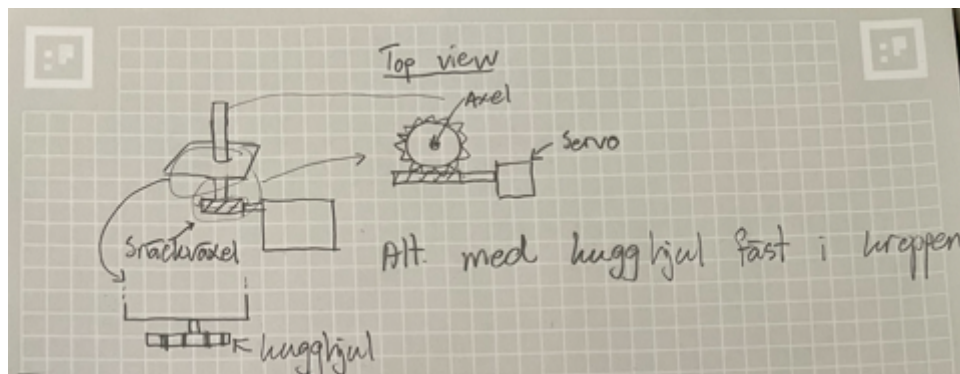
Fast inspänning



Figur 17. Skiss över konceptet Fast inspänning

Konceptet som visas enligt figur 17 är likt konceptet innan en idé på rotationen hos bottenplattan. Här sitter kroppen fäst direkt i servon. Detta kan eliminera det potentiella glapp som kan förekomma om kroppen till exempel sitter lagrad i bottenplattan vilket var fallet på den tidigare roboten. Risken med denna idé är att fästet i servon är för smal och på så sätt kan ändå böjning i roboten ske även fast det inte finns något glapp mellan bottenplattan och kroppen.

Snäckväxel



Figur 18. Skiss på konceptet Snäckväxel

Konceptet enligt figur 18 är ett alternativ till konceptet Kugghjul. Här används dock en snäckväxel istället för två kugghjul för att skapa rotation i bottenplattan.

4.2 Konceptgenerering

I detta avsnitt presenteras resultatet av konceptgenereringen. Enligt metoderna i tidigare kapitel genomfördes inledningsvis en eliminering av de olika koncepten som togs fram i idégenereringen. Sedan kombinerades olika koncept för att till sist genomgå en utvärdering för att till slut komma fram till tre slutkoncept.

4.2.1 Eliminering

I idégenereringen skapades olika koncept på delsystemen Arm, Kropp och Bottenplatta. Eftersom att det framtoogs många olika lösningar på armen genomgick dessa en eliminering. De andra delsystemen kommer att väljas utifrån vad som anses vara bäst för konstruktionen av roboten.

Nedan visas elimineringsmatrisen för delsystemet Arm.

Elemineringsmatris Arm													
											Skapad: 2025-04-22 Modifierad: 2025-04-22		
											+ Ja - Nej ? Information saknas ! Kontrollera kravspec.		+ Behåll lösning - Eliminera lösning ? Sök (mer) information ! Kontrollera kravspec.
Lösning	Kriterier										Kommentar	BESLUT	
	Complexitet	Stabilitet	Styrvänlighet	Vikt	Kundvärde	Funktion	Kostnad	Montering					
Balkförlängning	+	+	-	+	+	-	+	+			Båda servos måste styras relativt till varandra		
Drivrem	-	+	-	+	-	-	-	-			Drivremmen varierar i styvhet under rörelse	Elimineras	
Fjäderdämpning	+	+	+	-	+	-	+	+			Bra idé för enklare koncept, bra att använda med andra lösningar		
Linjärmotor	-	+	+	+	-	-	-	-			Kan behöva vissa specialdelar, svårt med standardkomponenter	Elimineras	
3 DOF vid 2 leder	-	-	+	-	+	+	-	+			Ideén är bra, men behöver förenklas något	Elimineras	
Snäckväxel vid axel	-	+	+	+	+	+	-	+			Bra ide som tillägg till en enklare arm, kan vara svårt med komponenter	Elimineras	
Stelaxel	+	+	+	+	-	-	+	+			Enkel, blir stabil, men kan försämra funktion då roboten inte når lika långt		
Servo direkt i kroppen	+	-	+	-	+	+	-	+			Bra idé om man kan ha två armar, annars förändras inte kundvärde		
Linjärmotor vid underarm	+	+	+	-	+	+	-	-			För lite kundvärde i förhållande till nackdelarna (ganska tung och dyr)	Eliminera	
Öppen underarm	+	+	+	+	+	-	-	-			Bra kundvärde på ett relativt enkelt sätt		

De lösningar som inte elimineras: Går vidare för att ta fördelar och nackdelar och skapa nya koncept utifrån de

Tabell 1. Elimineringmatrisen för Arm

Elimineringsmatrisen i tabell 1 ovan listar alla lösningsförslag på armen som togs fram i idégenereringen. Dessa vägs mot olika kriterier för att se hur väl konceptet kan tänkas uppfylla kriteriet. Kriterierna som används är komplexitet, stabilitet, styrvänlighet, vikt, kundvärde, funktion, kostnad och montering. Dessa kriterier är alla viktiga för att produkten ska bli så bra som möjligt. Komplexitet beskriver hur simpel eller komplex ett koncept är i sin helhet. Detta är viktigt eftersom det beskriver hur lätt roboten kommer vara att bygga ihop, koppla ihop med motorerna samt att modifiera. Stabilitet är ett av de viktigaste kriterierna då detta är huvudmålet för den nya roboten att uppnå. Stabilitet beskriver hur mycket konceptet förväntas vibrera eller överlag skapa oönskade rörelser. Styrvänlighet

hänger ihop med komplexitet. Här är dock fokuset mer på hur lätt det är för användaren att styra roboten. Ju fler komponenter och motorer, desto sämre styrvänlighet anses konceptet ha. Vikt är ett kriterium som är viktigt eftersom det påverkar stabiliteten. En lättare arm har bättre förutsättningar att skapa en stabil robot. Kundvärde är ett kriterium som är ett mått på hur mycket kunden får ut av konceptet. Detta kan vara en specifik funktion som en extra frihetsgrad eller en lösning som kan göra roboten bättre i sin helhet och på så sätt ge ett högre värde för kunden. Kostnad är det uppskattade priset för komponenterna i konceptet. Montering är kriteriet som beskriver hur enkel eller svår armen är att initialt bygga ihop och koppla in. Det beskriver också hur lätt det är att byta ut komponenter eller montera armen på ett alternativt sätt.

Varje koncept får ett "+" eller "-" på varje kriterium för att indikera om detta kommer att leva upp till kriteriet eller inte. I fallet när ett koncept får ett - på ett kriterium elimineras inte detta direkt utan utvärderas utifrån de andra kriterierna samt om det finns en lösning hos konceptet som kan användas senare i andra koncept.

I matrisen finns även kommentarer vid varje koncept efter att de genomgått och granskats på varje kriterium. Efter kommentarerna är en kolumn med beslut om konceptet går vidare eller elimineras. Det kan konstateras att koncept med specialfunktioner, till exempel "Linjärmotor vid underarm" och "Snäckväxel vid axel", eliminerades på grund av att dessa inte anses ge tillräckligt med kundvärde i förhållande till vad som går förlorat i stabilitet, styrvänlighet och vikt. Detta betyder att de koncept som går vidare i processen är koncept som anses bättre uppfylla stabilitetskriteriet men samtidigt erbjuda bra funktionalitet.

4.2.2 Konceptutvärdering

Efter elimineringen valdes fyra olika koncept på delsystemet Arm ut för vidareutveckling. För att komma fram till de optimala slutkoncepten behöver dessa utvärderas, kombineras och rankas. Nedan i tabell 2 presenteras de olika slutkoncepten som det till slut valdes emellan.

* = går vidare till designsteget		
Helhetskoncept där olika dellösningar kombineras med hänsyn till elimineringsmatrisen		
Koncept	Enkelt/Komplicerat	Kommentar
* Stelaxel med fjädderdämpning och öppen underarm - hålprofil kropp - fast inspänd bottenplatta	Enkel	Stabil lösning med rotation i underarmen
Servo direkt i kroppen och öppen underarm, fjädderdämpning - profil hål/skena - fast inspänd botten	Komplicerat (tvåarm)	Ha med sig att eventuellt förenkla armen för öka stabiliteten, två armar krävs
Servomotorer som sitter innuti U-profil - hålprofil kropp - fast inspänd botten	Enkel	Väldigt lik referenslösning, dock mer kompakt
* x-och y-servo i axel, y-servo i arm - hålprofil - fast inspänd botten	Komplicerat (tvåarm)	Får ett komplicerat/annorlunda rörelsemönster, ev. en ledad "mage" i kroppen

Tabell 2. Helhetskoncept efter elimineringen

I tabell 2 presenteras de helhetskoncept som kombinerades fram från tidigare koncept i idégenereringen och som genomgick elimineringen. Här inkluderas alla tre delsystem för roboten. I tabellen finns även en kolumn som beskriver som konceptet anses vara enkelt eller komplicerat. Till sist finns en kommentar till varje koncept för att förtydliga hur det är utformat och vad som utmärker just det konceptet.

I tabellen markeras de koncept som går vidare till designstadiet med en stjärna (*). I detta steget valdes två koncept ut som ansågs vara de bästa. Ett enkelt och ett mer komplicerat.

Detta gjordes för att ge utrymme för att senare under designprocessen och prototypbyggandet kunna välja och vidareutveckla det koncept som då blir bäst. Det "enkla" konceptet som valdes var en robot med fast inspänd bottenplatta, en kropp som är uppbyggd av en profil med mycket hål och fästmöjligheter samt en arm med stel axel, öppen underarm som kan rotera och med fjäderdämpning. Det mer komplicerade konceptet består av en fast inspänd bottenplatta och en hålprofil likt det enkla konceptet. Denna består dock av två armar som dessutom har en extra frihetsgrad i axelleden vilket ger ett annorlunda rörelsemönster jämfört med den tidigare roboten vilket skapar kundvärde.

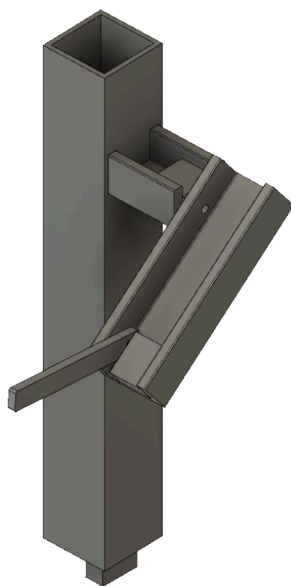
4.3 Slutkoncept

I detta kapitel presenteras resultatet för slutkoncepten och vidareutvecklingen av dessa. Från tidigare kapitel valdes två helhetskoncept att vidareutveckla. Nu tillkommer ytterligare ett koncept för att frigöra ännu mer utrymme för design och förbättringar senare i processen. Konceptet som tillkommer nu är en ännu enklare robot som i sin struktur liknar den nuvarande roboten. Här ligger dock fokus på att öka stabiliteten, förbättra möjligheten till en modulär robot och med standardkomponenter.

4.3.1 CAD-skisser

Här under presenteras CAD-skisser för respektive koncept. CAD-skisserna skapades i Fusion 360 (Autodesk, 2024). Notera att detta stadi i designprocessen inte inkluderar verkliga komponenter utan är enbart skisser över hur de olika komponenterna integrerar med varandra och hur de kommer att sitta. Dessa skisser skapades även då det blev lättare att se robotens rörelsemönster. Detta var viktigt för vidare steg i processen då verkliga komponenter skulle väljas.

Koncept 1



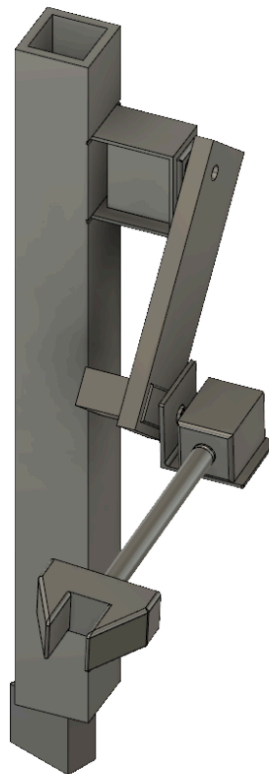
Figur 20. CAD-skiss för koncept 1.

Figur 20 är en CAD-skiss på det enklaste konceptet av de tre helhetskoncepten. Denna robot liknar den tidigare roboten en hel del i sin utformning. Detta koncept har dock öppna profiler i armen vilket sparar mycket vikt och gör roboten stabilare. Notera att bottenplattan här inte visas i skissen då den tydligare visas i en egen skiss. Denna robot erbjuder två enkla rörelser i armen. En rotation upp och ned i axelleden och en rotation upp och ned i armbågsleden. Den

har också en rotation av hela roboten som skapas av bottenplattan. Roboten har även en gripklo som inte visas i skissen, men som sitter längst ut på armen och kan greppa föremål.

Koncept 2

Nedan visas CAD-skissen för det andra konceptet.

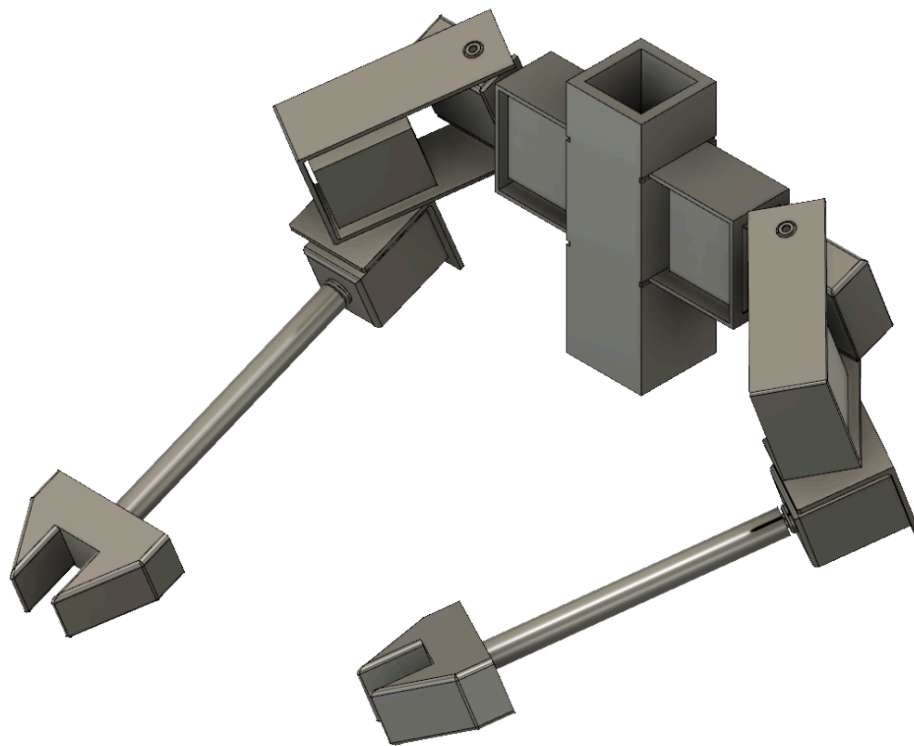


Figur 21. CAD-skiss för koncept 2.

Figur 21 visar CAD-skissen för koncept 2. Detta koncept är det mellan-komplicerade konceptet. Strukturen för denna robot är liknande den i koncept 1. Här finns dock en del egenskaper som skiljer de olika koncepten åt. Denna robot delar samma bottenplatta och kropp som övriga koncept. Här sitter axel-servon direkt i kroppen vilket centrerar tyngdpunkten och gör roboten stabilare samt reducerar vikten. Överarmen är uppbyggd på liknande sätt som koncept 1 med en öppen profil och enkel rotation i axeln. I underarmen skiljer sig koncepten åt. Här sitter en extra servo i koncept 2 för att skapa rotation i underarmen som i sin tur roterar gripklon. Detta ger roboten ett extra rörelsemönster i förhållande till koncept 1 och den tidigare roboten. Här är även underarmen en smalare axel/balk för att rotationen ska ske så bra som möjligt. I denna skissen finns gripklon med och den ser likadan ut i samtliga koncept.

Koncept 3

Nedan visas CAD-skissen för det tredje konceptet.



Figur 22. CAD-skiss för koncept 3.

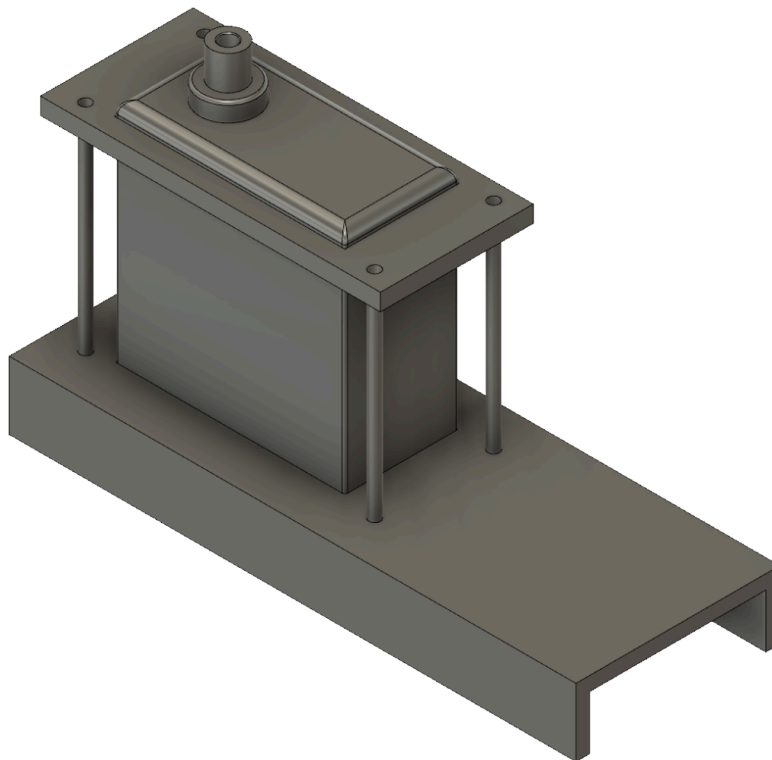
Figur 22 visar CAD-skissen för det tredje och mest komplicerade konceptet. Denna robot delar flertalet komponenter med de tidigare koncepten, men särskiljer sig främst i att ha två armar. Detta skapar ett helt annat rörelsemönster för roboten och ger utrymme för nya användningsområden då funktionaliteten blir annorlunda. Här kan till exempel två föremål plockas upp separat i varsin arm och sedan föras samman. En sådan applikation var ej möjlig i de andra koncepten. Eftersom funktionen att ha två armar främst blir värdefull när båda armarna samarbetar kräver detta att armarna har ett väldigt fritt rörelsemönster. Detta skapas genom att tillsätta en frihetsgrad i axeln. Detta betyder att detta koncept har två olika rörelser i axeln. Dels rörelsen upp och ned, men även rörelsen som kan beskrivas som “in och ut”. Armbågsleden och underarmen liknar den i koncept 2 med en rörelse i armbågsleden och sedan en rotation av underarmen som frigör rotation i gripklon.

Detta koncept blir betydligt mer komplicerat än de tidigare och kräver mer anpassningsbarhet från de mekaniska och de elektriska komponenterna. Eftersom de sitter en extra arm samt att axelleden har en extra frihetsgrad krävs mer än det dubbla antalet servomotorer jämfört med de tidigare koncepten. Detta ökar vikten avsevärt samt att det kan bli problem att koppla alla dessa till en Arduino.

Bottenplatta

Efter konceptgenereringen utvecklades bottenplattan då nya idéer uppstod. Den tidigare idén om att ha en fast inspänd kropp direkt i servomotorn befarades bli för ostabil då den utgående axeln från servon inte skulle kunna stå emot alla böjmoment som den utsätts för. För att få en stabilare lösning på detta och säkerställa motståndskraft mot böjmoment, designades ett nytt koncept för bottenplattan.

Det nya konceptet består av en tvådelad bottenplatta där ena delen liknar den som var tänkt att vara den fast inspända i kroppen. Denna är dock placerad bredvid den andra delen som består av en mer robust konstruktion som består av en fritt lagrad axel i vertikalled. Dessa två delar är i sin tur sammankopplade via kugghjul. Ett som sitter på servomotorn och ett som sitter på den lagrade axeln. På kugghjulet som sitter på den lagrade axeln sitter sedan kroppen. Nedan visas delen av bottenplattan som består av servomotorn.



Figur 23. CAD-skiss på en del av bottenplattan.

Figur 23 visar den ena delen av det nya konceptet för bottenplattan. Denna består av en grund U-profil som bas. På denna sitter en servomotor som är fäst med fyra långa skruvar. På den utgående axeln från servon kommer det att sitta ett kugghjul. Den andra delen av bottenplattan visas i bild i ett senare kapitel.

4.4 Detaljerad konstruktion

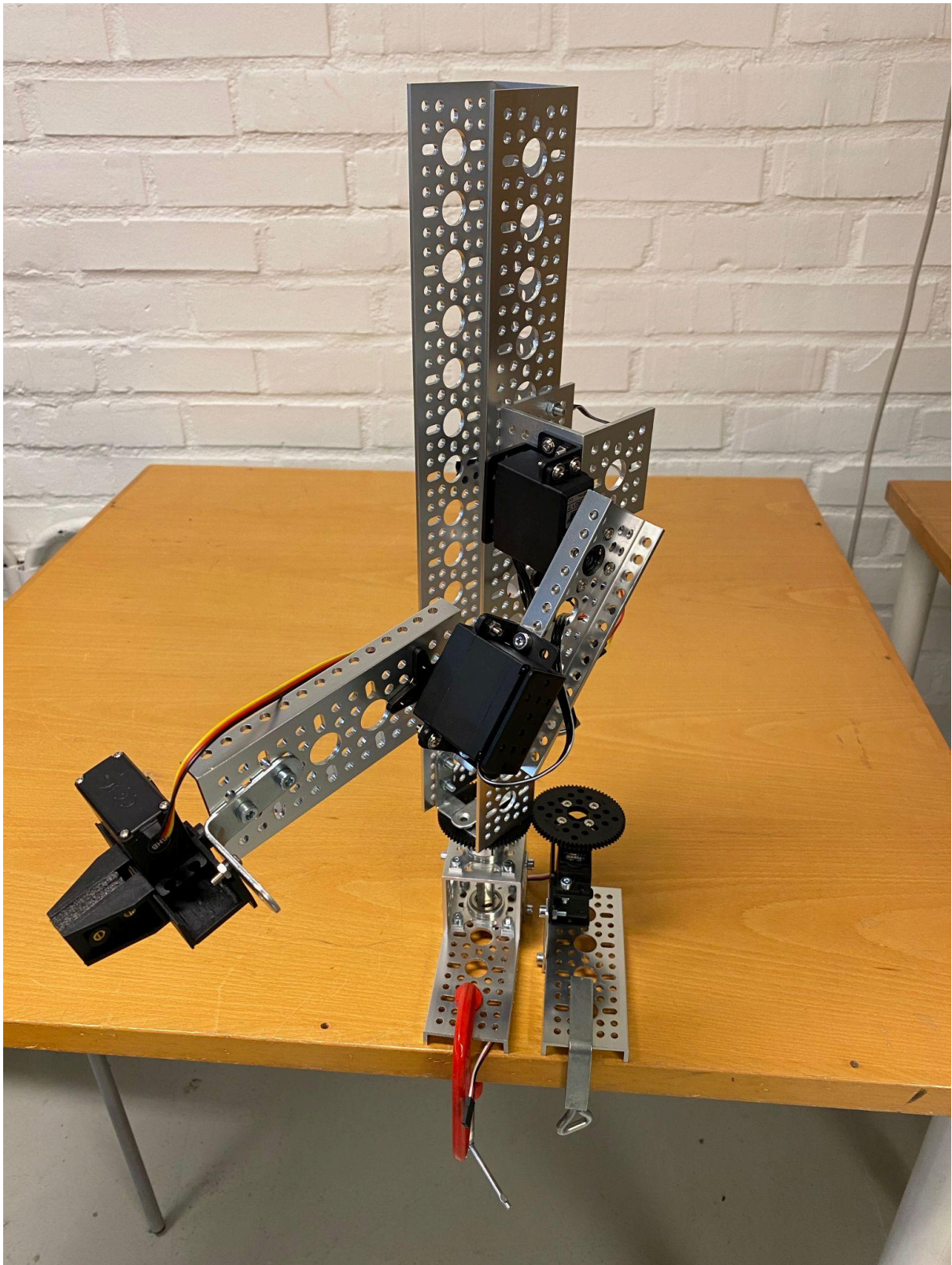
I detta kapitel beskrivs den färdiga roboten. Från koncept till verklig produkt krävs lite förändringar, kompromisser och viktiga val. Här presenteras roboten i form av att prototyperna som skapades beskrivs utifrån utseende och funktioner samt vilka komponentval som gjordes.

4.4.1 Prototyp

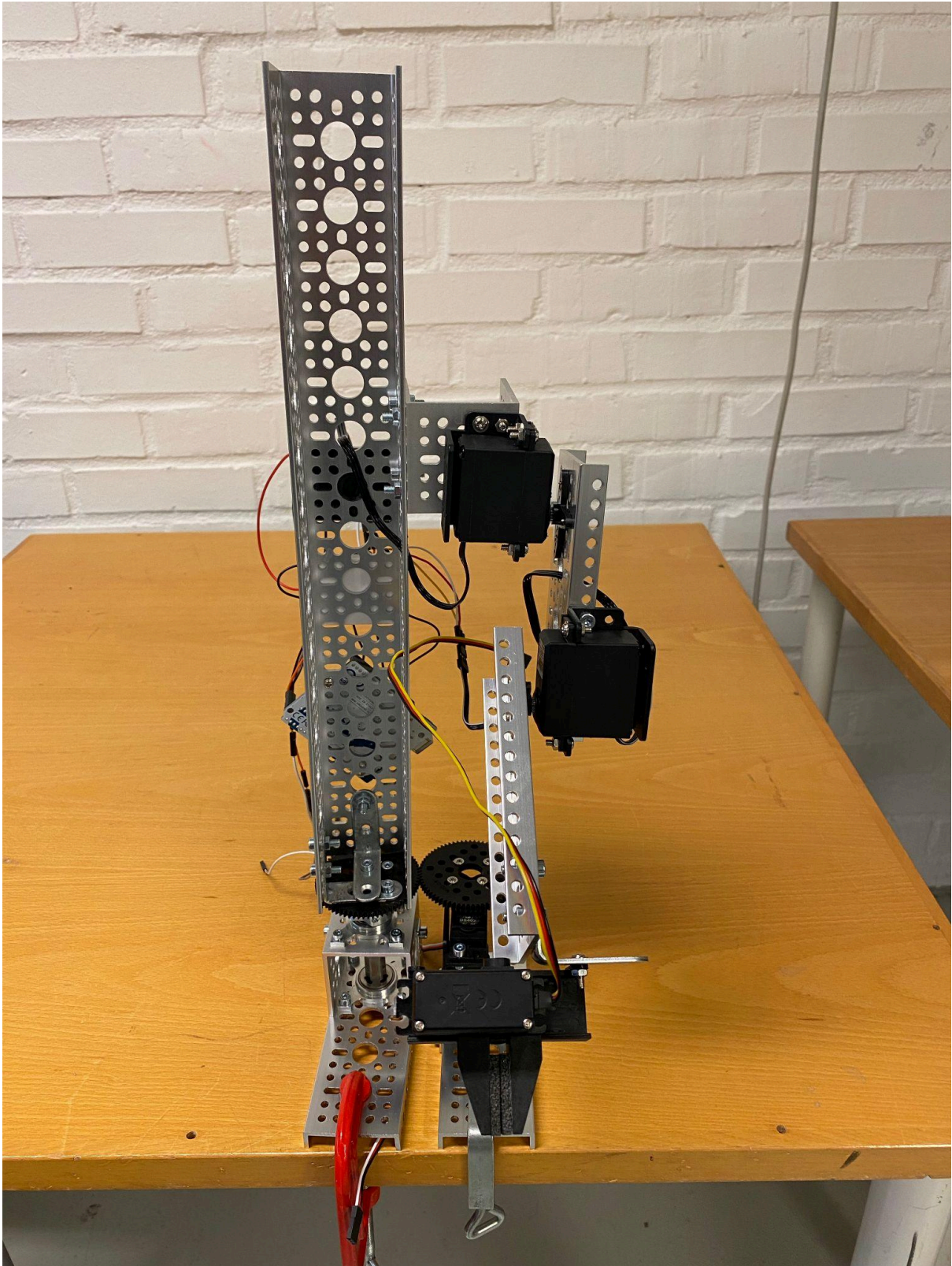
I detta avsnitt presenteras prototyperna som skapades i form av bilder och förklaringar. Från tidigare kapitel 4.3 *Slutkoncept* beskrevs tre olika koncept utifrån kompliceringsgrad där koncept 3 var en avancerad robot bestående av två armar som skulle kunna röra sig samtidigt. Förhoppningarna på detta koncept var stora då det skulle medföra ett högt kundvärde och något nytt jämfört med den tidigare roboten. Vid bygget av prototyperna kom dock insikten att detta koncept inte gick att skapa med de komponenter som hade beställts. För att förverkliga denna robot hade stora justeringar till det tidigare konceptet behövts göras samt att helt nya komponenter hade behövt beställas. Detta ledde till att endast prototyper av koncept 1 och 2 skapades.

Prototyp koncept ett

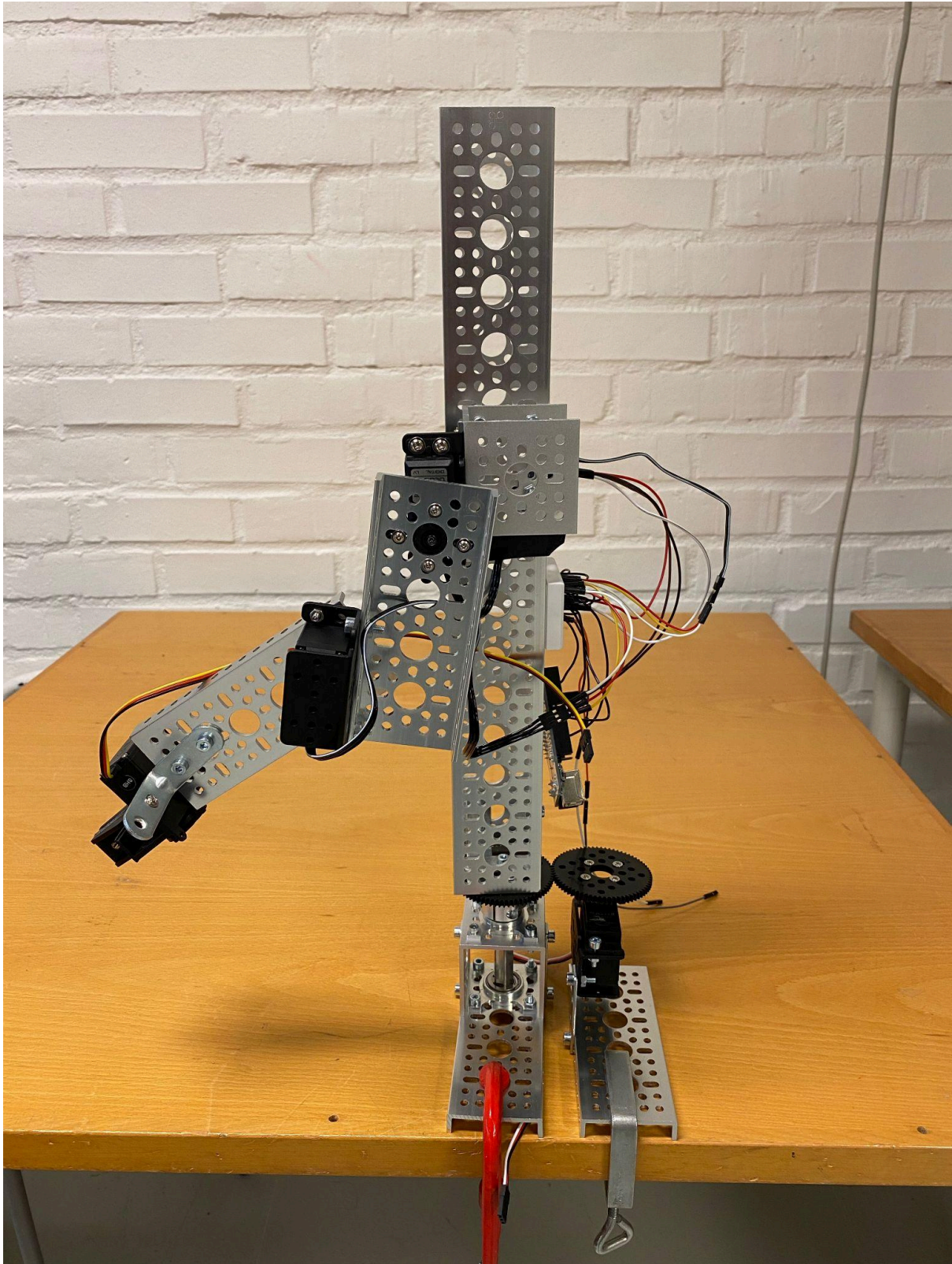
Koncept ett kan beskrivas som det minst avancerade konceptet jämfört med de andra eftersom den har minst antal funktioner och frihetsgrader. Nedan presenteras bilder på koncept ett.



Figur 24. Koncept ett snett framifrån.



Figur 25. Koncept ett framifrån.



Figur 26. Koncept ett från sidan.

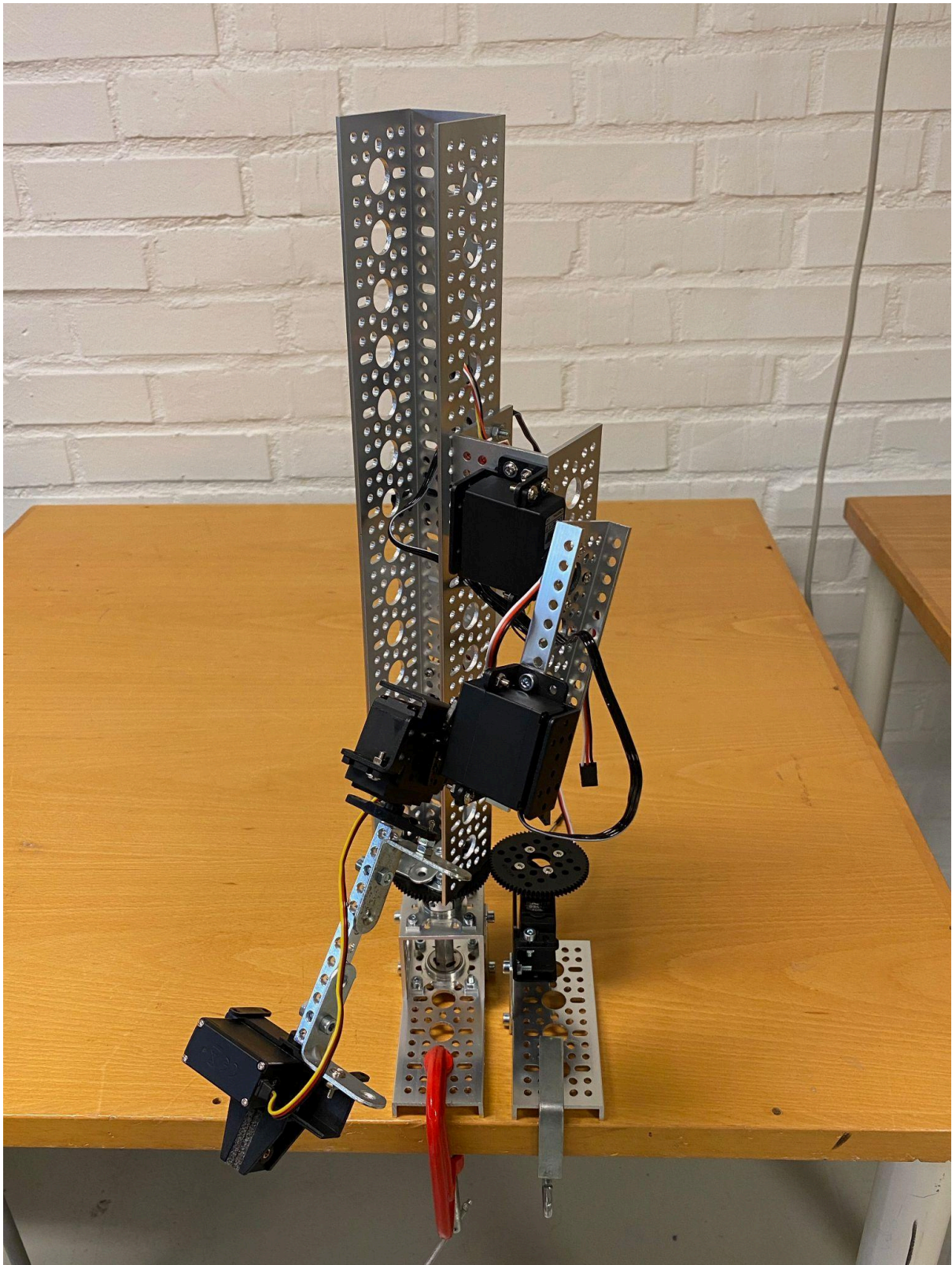
Som man kan se enligt figur 24 till figur 26, bygger koncept ett en hel del på den tidigare roboten. Den är uppbyggd av en kropp som sitter på bottenplattan. Kroppen består av en

öppen U-profil med väldigt många hål. Detta gör det enkelt att fästa önskade komponenter som man önskar och på ett enkelt sätt. Notera att sättet som kroppen sitter fäst i bottenplattan med två stycken vinkelbeslag är en högst temporär lösning som fungerar, men som kan förbättras. På kroppen sitter armen som är uppbyggd av en axeldel, en överarmsdel och en underarmsdel. Axeldelen består av en liten U-profil likt den kroppen består av. På denna sitter en servomotor i ett servofäste och bidrar med en frihetsgrad i axeln. Överarmsdelen består av en grundare U-profil där axelservon fästs i ena ändan. En servomotor som bidrar med en frihetsgrad i armbågen fäst på kanten av U-profilen i ett servofäste. Denna sitter i sin tur fast i underarmsdelen i ena ändan av en likadan U-profil som överarmen. Längst ut på underarmen sitter en servomotor som driver en gripklo. Från varje servomotor dras kablar som går till en Arduino Uno som är fäst på baksidan av kroppen och styr alla motorer för att få roboten att röra sig i önskat mönster.

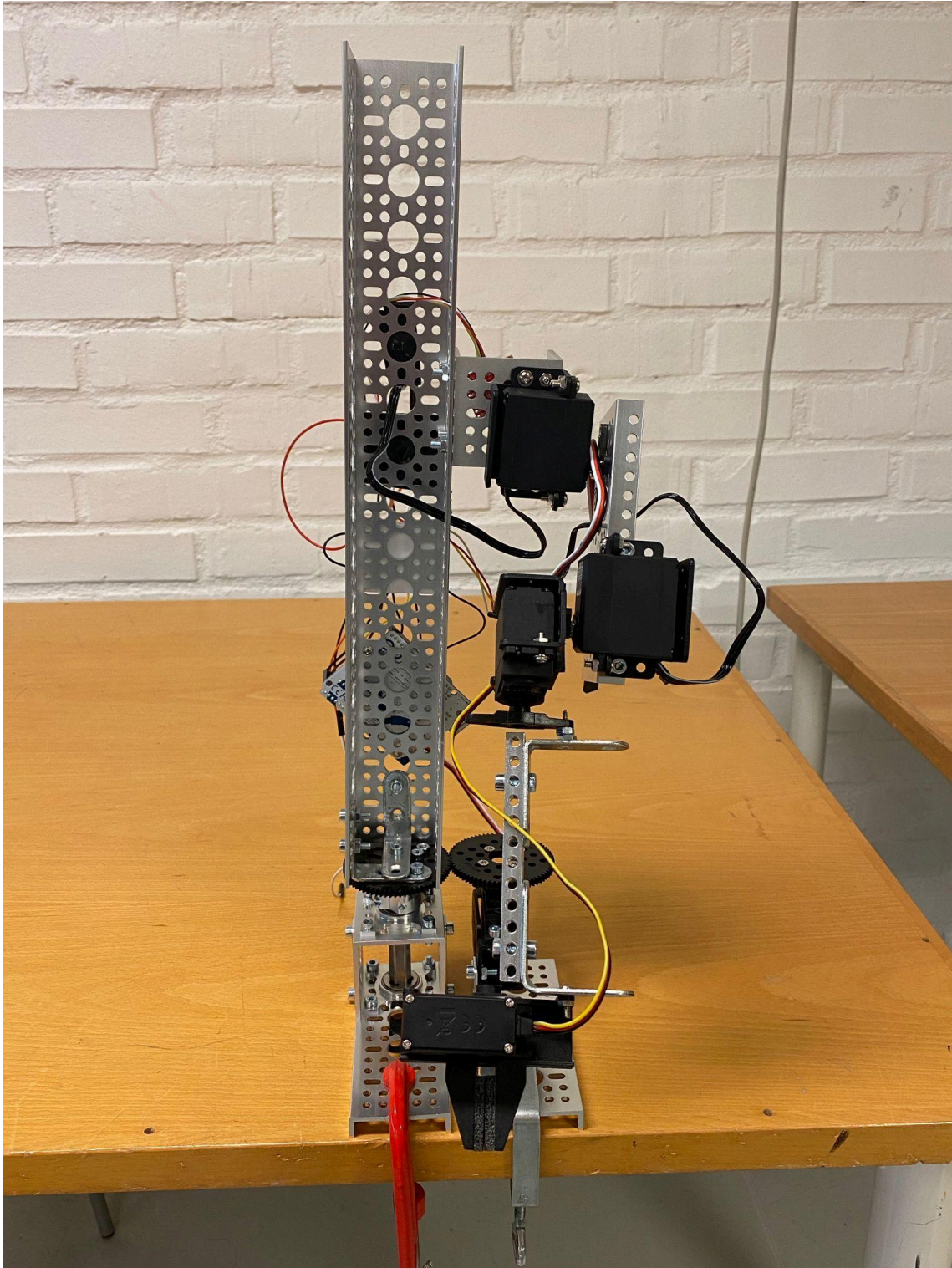
En skillnad från denna prototyp jämfört med den tidigare roboten är att den inte har en kamera monterad längst upp på kroppen. Detta bortprioriteras medvetet då denna del inte anses påverka testerna av den nya roboten. Notera dock att möjligheten att montera en kamera med två eller fler frihetsgrader är fullt möjligt med detta koncept.

Prototyp koncept två

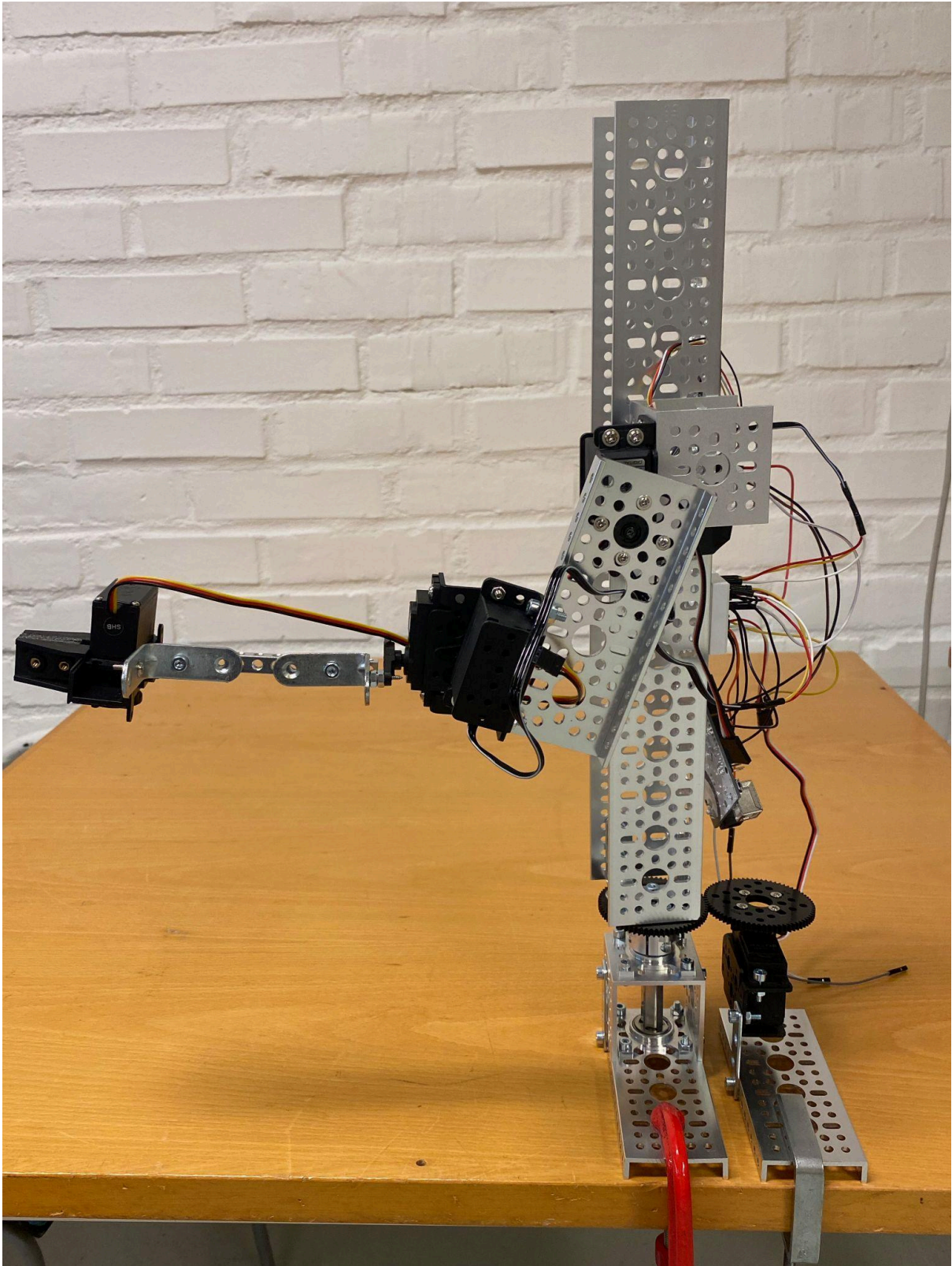
Koncept två kan beskrivas som mer avancerat än koncept 1 men mindre än koncept tre. Eftersom koncept tre inte kommer att byggas så är detta det mest komplicerade av de två som byggs. Nedan presenteras bilder på koncept två.



Figur 27. Konsept två snett framifrån.



Figur 28. Koncept två framifrån.



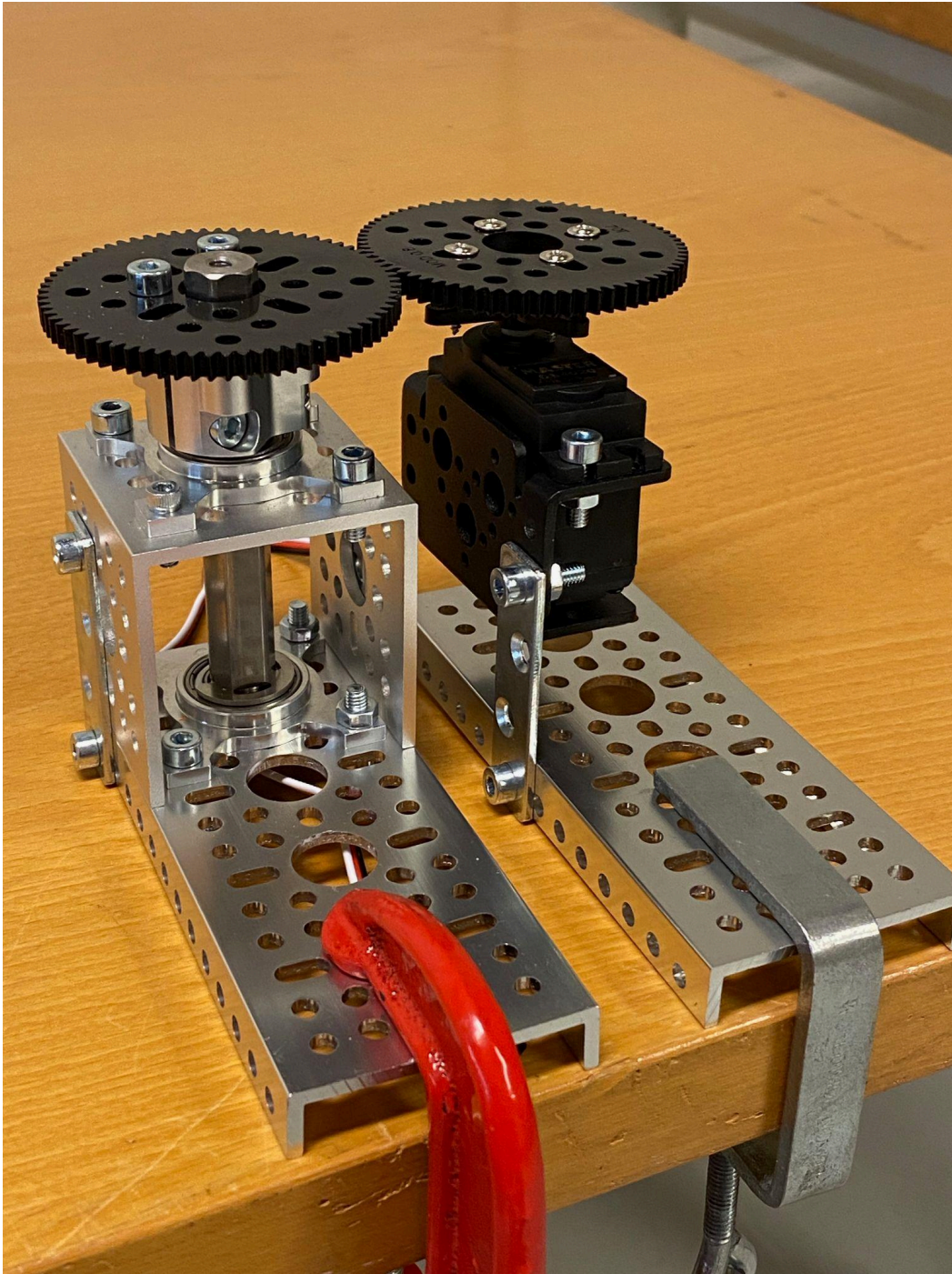
Figur 29. Koncept två från sidan.

Enligt figur 27 till figur 29, kan man se att koncept två liknar koncept ett till stora delar. Detta koncept använder sig av samma bottenplatta för rotation av kroppen, samma kropp, samma axeldel samt samma överarmsdel som koncept ett. Det är vid armbågen och underarmen dessa två skiljer sig avsevärt. I koncept två tillkommer en servomotor i armbågen. I denna fästs en smalare axel. Servon skapar rotation i underarmen som i sin tur gör att gripklon som sitter längst ut på underarmen kan rotera. Det betyder alltså att koncept två har en extra frihetsgrad i armen till skillnad från koncept ett.

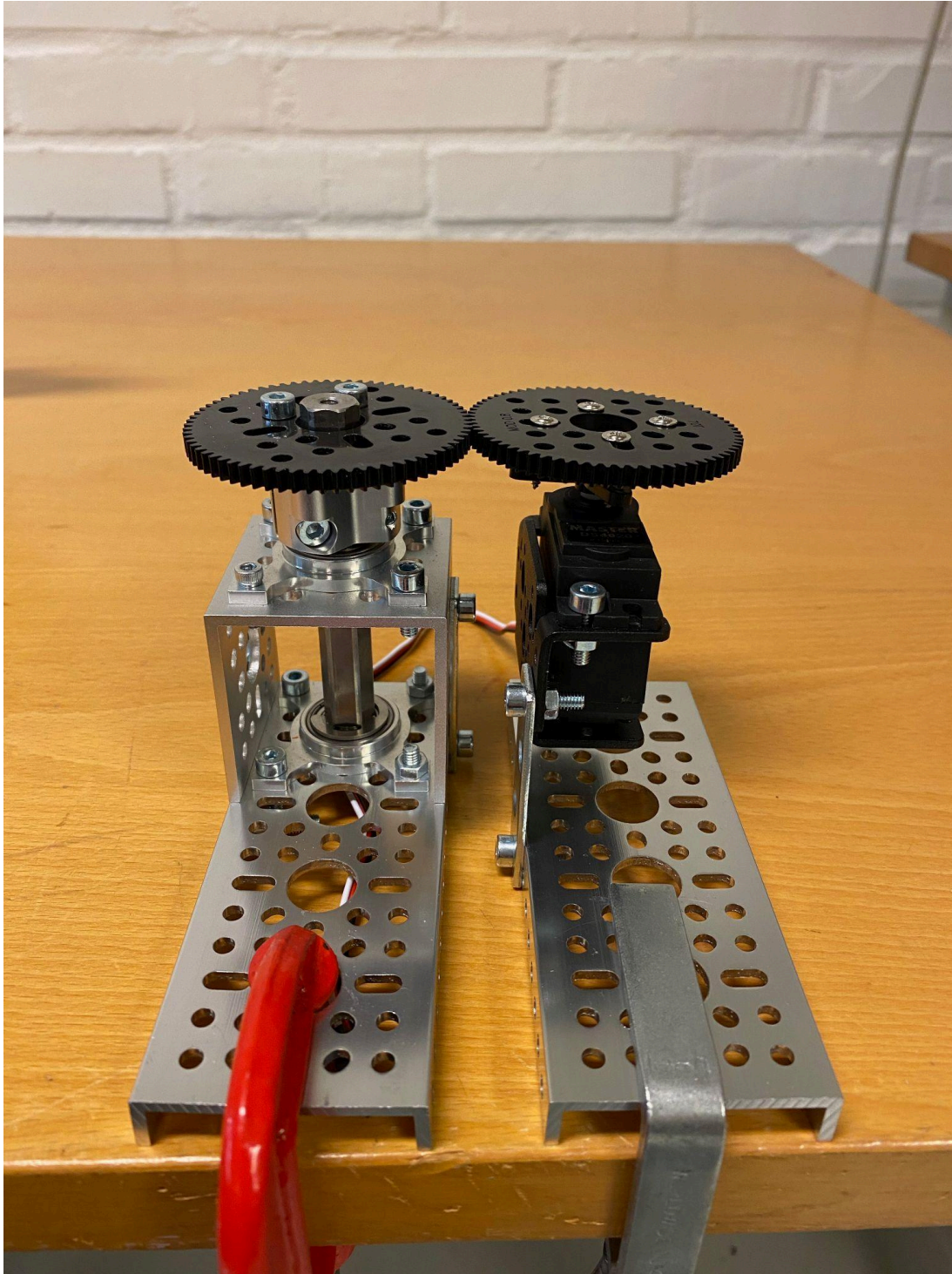
Eftersom koncept ett och två delar komponenter och funktioner till största del kan man läsa om övriga delar av koncept två såsom kropp, överarm med mera ovan under *Prototyp koncept ett*.

Prototyp bottenplatta

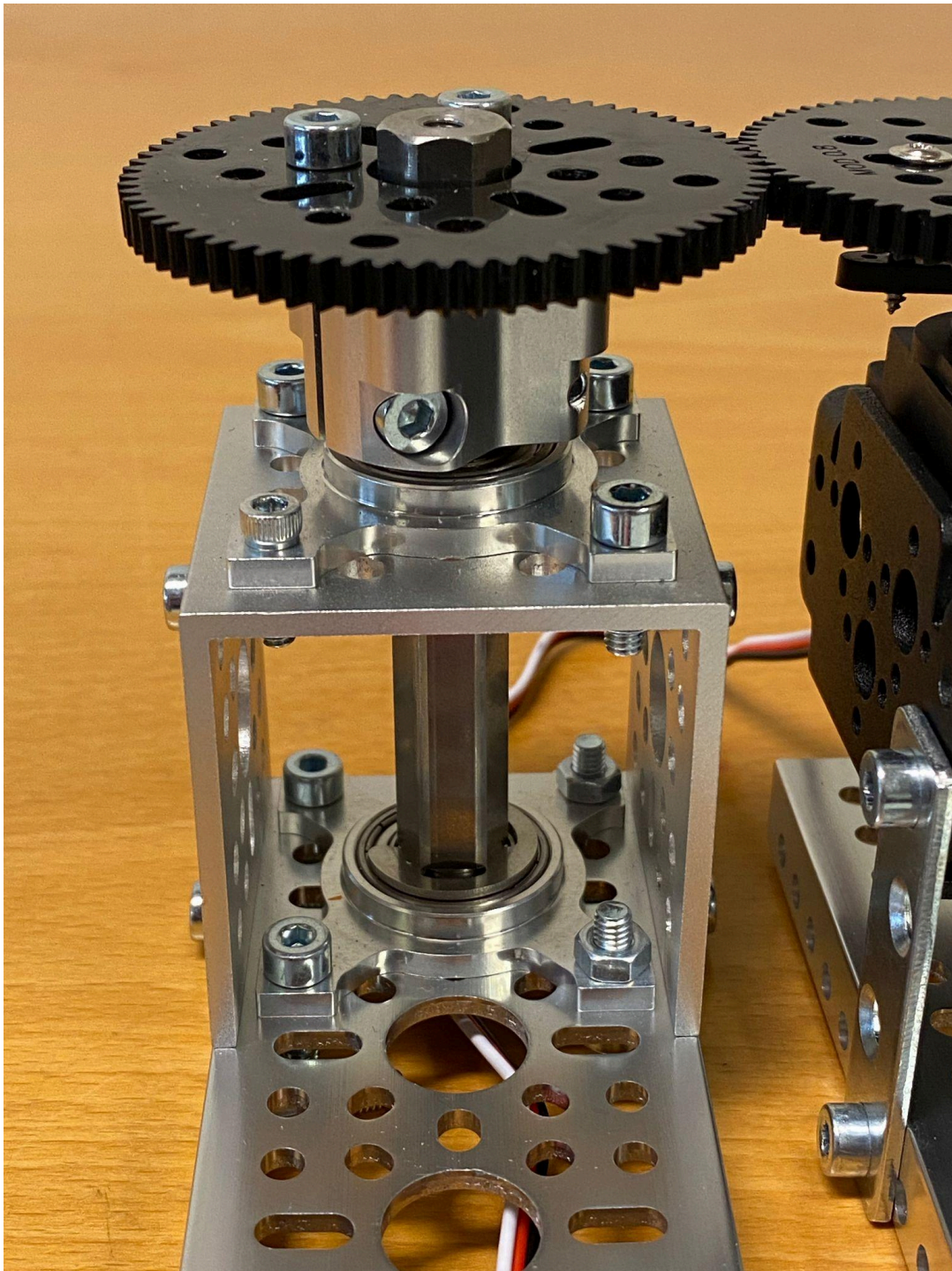
Eftersom bottenplattan är en såpass viktig del av roboten för att skapa stabilitet och robusthet beskrivs denna separat från de andra prototyperna. I bilderna ovan för de två prototyperna syns bottenplattan sämre vilket gör att förtydligande bilder och beskrivningar krävs. Nedan presenteras bilder på bottenplattan.



Figur 30. Bottenplattan snett framifrån.



Figur 31. Bottenplattan framifrån.



Figur 32. Vänstra delen av bottenplattan.

Enligt figur 30 till figur 32 framkommer bottenplattan. Denna är uppbyggd av en tvådelad konstruktion där båda delarna är fastspända i till exempel ett bord. Anledningen till den tvådelade konstruktionen är att få så lite belastning på servomotorn som möjligt eftersom den utgående axeln från servon ej klarar av att ta upp för stora böjmoment. För att kunna överföra servons rotation till kroppen används två kuggghjul. Ett som sitter på servon som i sin tur är i ingrepp med ett kuggghjul som sitter på den andra delen av bottenplattan där kroppen sedan

fästs på kugghjulet. För att få denna delen stabil används en konstruktion som är uppbyggd av en axel som är lagrad på två ställen och där kugghjulet sitter fäst i en hub som fästs på axeln. Eftersom axeln är styv samt den är lagrad på två ställen leder detta till minimalt böjmoment i denna del samtidigt som den kan rotera helt fritt. Detta gör att bottenplattan kan erbjuda en bra stabilitet och robusthet. Eftersom det är två kugghjul i ingrepp som skapar rotation är det även möjligt att variera storlekarna på kugghjulen för att skapa olika utväxlingar och på så sätt få roboten att rotera flera varv utan att bli begränsad av servomotorns maximala rotation.

4.4.2 Komponentval

För att förtydliga tidigare presentation av prototyperna krävs beskrivning av komponenterna som används. Denna del av processen är vital för att roboten ska fungera så bra som möjligt. Ett centralt syfte med detta arbete är att roboten skall bestå av mycket standardkomponenter istället för egenproducerade komponenter. Detta gör att valet av komponenter blir en lika central del som att designa koncepten. Att komponenterna är relativt lättillgängliga är även det av stor vikt eftersom flertalet robotar ska produceras. En avvägning som ständigt görs i valet av komponenter är priset i förhållande till kvalitet. Här väljs komponenter som ska erbjuda bra kvalitet och hållbarhet, men som även tillför en prisvärdhet.

I detta kapitel presenteras komponenterna som roboten består av. Dessa är indelade i mekaniska och elektriska komponenter. Detta eftersom det största fokuset i detta arbete ligger på den mekaniska strukturen och hur denna är uppbyggd. Samtidigt som elektriska komponenter såsom servomotorer är avgörande för prestandan.

Mekaniska komponenter

Det största fokuset i processen att välja komponenter ligger på de mekaniska komponenterna. Detta eftersom här finns det största designutrymmet och där funktionalitet, stabilitet och robusthet kan skapas. De viktigaste egenskaperna som de mekaniska komponenterna bör ha är främst stabilitet och modularitet. Att komponenterna är modulära gör att roboten kan byggas om på olika sätt för att möta olika behov. Detta bidrar till ett högre kundvärde. I detta fallet uppnåddes det främst genom att hitta komponenter med så mycket fästmöjligheter som möjligt.

Profiler

De strukturella komponenterna hos roboten som utgör de största delarna i bottenplattan, kroppen och armen är olika U-profiler eller kanaler av märket goBILDA.

Alla de strukturella komponenterna som används för roboten kan ses på goBUILDAs webbplats (goBILDA, u.å.). Dessa utgör större delen av robotens strukturella delar. Dessa är gjorda av aluminium vilket gör dem relativt lätta. Den största fördelen med dessa komponenter är möjligheten att modulera roboten. Tack vare alla hål och fästmöjligheter som

kommer med denna komponent-serie gör det att andra komponenter lätt kan fästas och placeras precis som man önskar. Det medför också att nya koncept och lösningar kan skapas av redan befintliga eller nya komponenter. Som man kan se under tidigare avsnitt så är dessa delar byggstenar i hela roboten. Kroppen är uppbyggd av en lång U-profil, bottenplattan består av en kort och två grunda U-profiler. Armen består av en kort U-profil för axeln och sedan grunda U-profiler för resten av armen. Den smala balken som underarmen i koncept två består av är av samma serie från goBILDA. För att fästa kroppen i bottenplattan används vanliga vinkelbeslag av stål. Samma beslag används även i underarmen. Notera att dessa inte är från goBILDA. För att skruva fast komponenterna till varandra används M4-skruvar och muttrar.

Bottenplattans komponenter

De komponenter som används för bottenplattan kan ses på goBILDAs webbplats (goBILDA, u.å.). Komponenterna är alla från goBILDA vilket gör samtliga kompatibla med varandra. Som grund i bottenplattan används två grunda U-profiler. På den vänstra delen av bottenplattan sitter sedan en kort U-profil. Under och ovanpå denna sitter två lager. Dessa lagrar axeln. På axeln sitter en hub som kopplar ihop ena kugghjulet och axeln. Kugghjulen är här av plast. För att skruva fast delarna används M4-skruvar och muttrar och för att fästa den korta U-profilen i den grunda på vänstra sidan samt att fästa servon i den grunda U-profilen på högra sidan används raka beslag av stål som inte är av märket goBILDA.

Elektriska komponenter

Även fast det största fokuset ligger på att utveckla den mekaniska strukturen hos roboten, spelar de elektriska komponenterna en stor roll i att bidra till en stabil och välfungerande robot. De elektriska komponenter som utgör den största skillnaden i prestanda är servomotorerna, därför var det viktigt att välja servon med rätt styrka och rätt vikt för att skapa så bra rörelse hos roboten som möjligt. Nedan presenteras de elektroniska komponenter som finns hos roboten.

De två servomotorerna som används för roboten kan ses på STR-RCs webbplats (STR-RC, u.å.) samt på Conrads webbplats (Conrad, u.å.). Dessa servon är av två olika modeller som främst skiljer sig i styrka. Ett starkare servo är givetvis i de flesta fall bättre men bidrar också till en högre vikt och kostnad. Därför väljs olika storlekar på servon beroende på dess uppgift. Den starkare servon används främst i axelleden. Detta eftersom denna servon måste bära upp hela armen vilket kräver högsta möjliga styrka för att få en stabil rörelse. Denna kräver inte heller lika låg vikt eftersom den sitter närmast kroppen och bidrar inte till ett högre moment i armen. Resterande servomotorer hos roboten är av den svagare modellen. Detta för att dessa är lättare vilket bidrar till en stabilare robot. Denna modell sitter alltså i bottenplattan, i

armbågsleden, i gripklon och även för rörelse till en kamera som kan fästas längst upp på kroppen.

Den starka servon är av modellen *Servo Digitalt 17.0kg/0.15sek SRT RC*. Denna har en styrka på 17 kg/cm och väger 65g.

Den svagare servon är av modellen *Master Modellbau Standard-Servo DS4020*. Denna har en styrka på 6 kg/cm och väger 37g

Längst ut på armen sitter en gripklo och denna går att se på RobotShops webbplats (RobotShop, u.å.).

För att styra motorerna används Arduino Uno. Denna kan ses på Arduinos webbplats (Arduino, u.å.). Den är optimal för denna typ av robot då den är liten och enkel för användaren att styra.

4.5 Kostnader

Här presenteras de olika kostnaderna för de olika delsystemen, med kompletta kostnadslistor enligt *bilagor, bilaga 2*. Kostnaden för bottenplattan blev totalt 1 102 kr, kostnaden för hela kroppen blev totalt 276 kr, kostnaden för det första konceptet på armen blev totalt 913 kr, och kostnaden för det andra konceptet blev totalt 1 177 kr. I kroppen så har man inte räknat med kostnaden för varken kablarna som krävs samt arduino, då detta redan fanns att nyttja sedan tidigare. Det tillkom även en kostnad på 218 kr för ett paket med fem stycken servomotor hållare, samt då också fem andra komponenter som inte används. För koncept ett så krävs totalt tre stycken servomotor hållare, och för koncept två så krävs totalt fyra stycken servomotor hållare. Den totala kostnaden för koncept ett blev 2 291 kr och den totala kostnaden för koncept två blev 2 555 kr. Notera att koncepten delar majoriteten av komponenterna. Detta betyder att man kan byta mellan koncepten till en väldigt liten kostnad.

5. Utvärdering av Resultat

När komponenterna hade levererats byggdes prototypen. Syftet med prototypen var att genomföra tester på dess vibrationer för att avgöra om det nya konceptet är mer stabil jämfört med den nuvarande lösningen.

5.1 Prototyptester

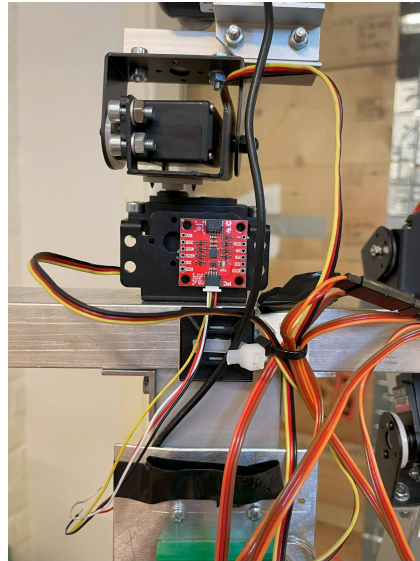
För att utvärdera vibrationerna i robotarna användes en accelerometer. Accelerometern är ett mätverktyg som mäter accelerationen i tre riktningar, x-,y-,och z-riktning i enheten milli-g, vilket är en tusendel av jordens gravitationsacceleration. Beroende på hur accelerometern placeras, kommer en av riktningarna att ge värdet 1000 när accelerometern står helt still, eftersom den riktningen påverkas av gravitationsaccelerationen, medan de andra två riktningarna ger värdet noll vid stillastående. Accelerometern placerades på två olika platser på roboten, först längst ut vid axeln, därefter längst in mot centrum av kroppen, i samma höjd som axeln. Detta gjordes för att få en bättre bild av hur vibrationerna i armen var, samt hur vibrationerna kring bottenplattan var.

Placeringen av accelerometern när det sitter i mitten gör att gravitationsaccelerationen är negativt nedåt i x-riktning, alltså om den står helt still ska värdet ligga på “-1000”. När accelerometern är placerad på axeln blir det z-riktningen som ska ligga på “1000” när roboten står helt stilla.

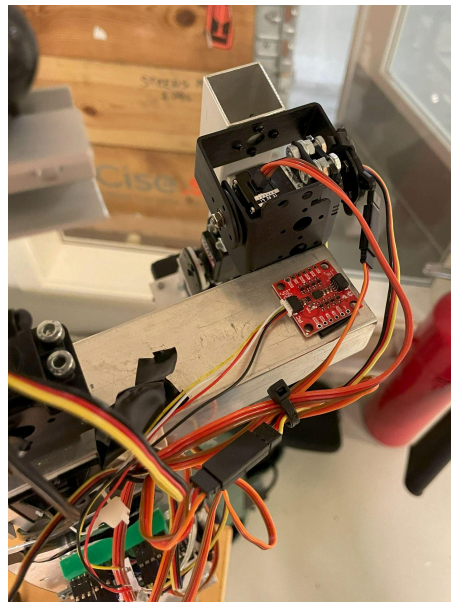
Två typer av figurer skapades, först en figur med acceleration i x,-y,- och z- riktning som funktion av tiden, för att få en övergripande bild hur accelerationen ser ut. Utifrån den datan gjordes även spektralanalyser. Spektralanalyserna används för att identifiera vad för typ av svängningar som förekommer i de olika riktningarna. Det som tyder på vibrationer är om man har många utspridda toppar med ett större frekvensintervall, medan en stor topp kan indikera en större rörelse, eller självsvängning. Spektralanalyserna gjordes endast med datan där accelerometern sitter på axeln, då eftersom det blir ett tydligare resultat över vilka frekvenser som förekommer.

Robotarna gjorde en “vinkrörelse” med armen, medan bottenplattan stod stilla, och från de två placeringarna av accelerometern skapades två grafer med accelerationen över tiden. I figurerna börjar mätningarna efter ungefär två sekunder, eftersom det är den tiden det tar för programmet att starta mätningarna, och för att avsluta testet måste en person manuellt avsluta programmet, därför är det viss skillnad på sluttiden.

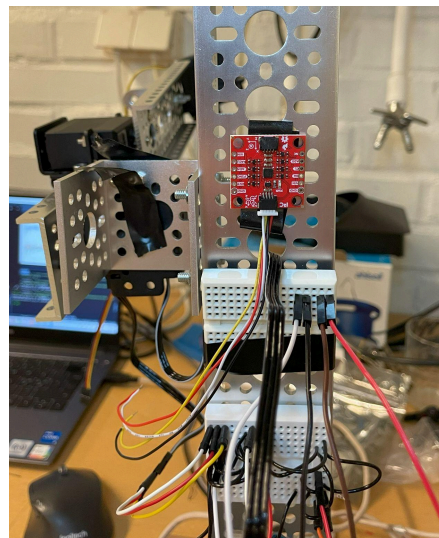
Följande figurer används för att förtydliga placeringen av accelerometern, både på den nuvarande lösningen samt de olika prototyperna som testades. Då samma kropp och axel användes för samtliga prototyper kunde accelerometern ha samma placering på alla.



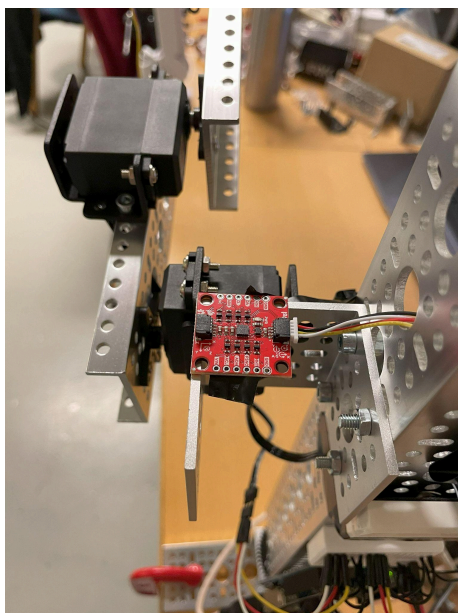
Figur 33. Accelerometers mittenplacering, Nuvarande lösning



Figur 34. Accelerometers axelplacering, Nuvarande lösning



Figur 35. Accelerometers mittenplacering, Prototyp

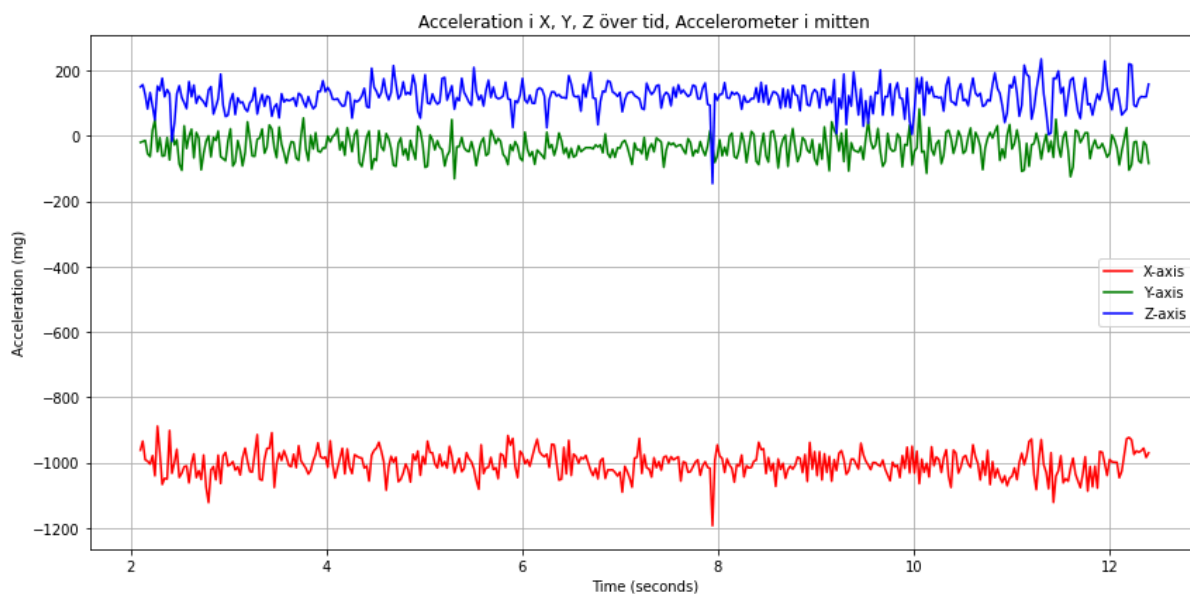


Figur 36. Accelerometerns axelplacering, Prototyp

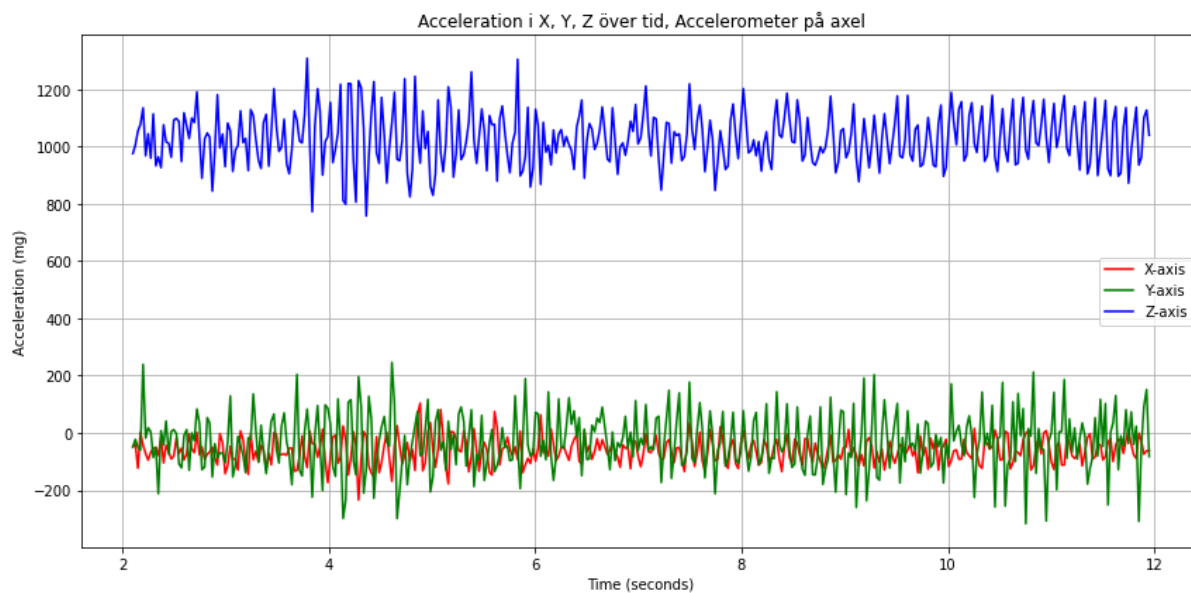
Om man kollar på figur 34 kan man förklara accelerometerns riktningar som att positivt y-led går ut mot armen, positiv x-led går ut från accelerometern in mot kroppen, och z-led går rakt ner. I fallet då accelerometern sitter i mitten går x-led rakt ner, y-led går mot vänster, och z-led går in i bilden.

5.1.1 Nuvarande lösning

Först gjordes tester med den nuvarande roboten, för att senare kunna jämföra den nya prototypen. Resultaten på accelerationen gav enligt följande figurer:



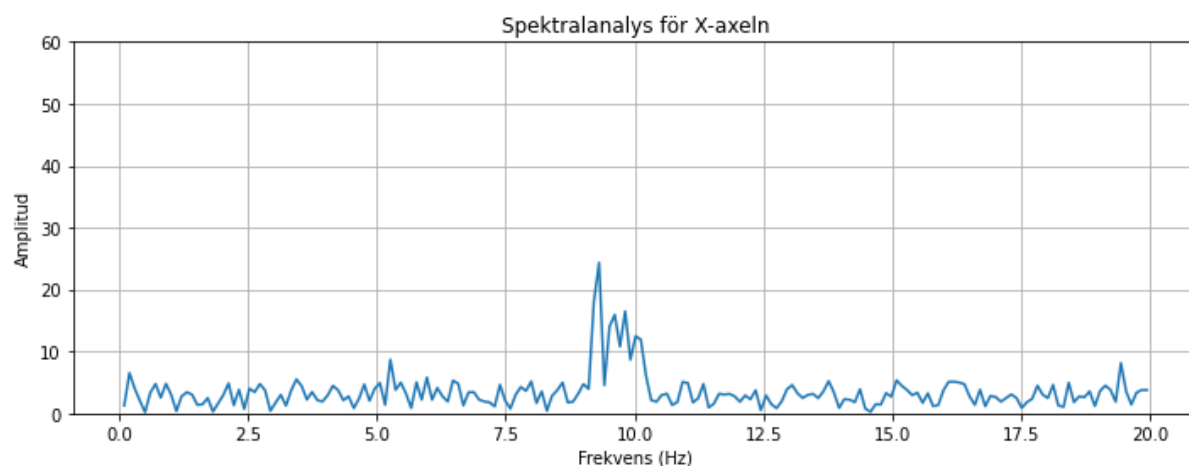
Figur 37. Acceleration över tid, med accelerometer i mitten



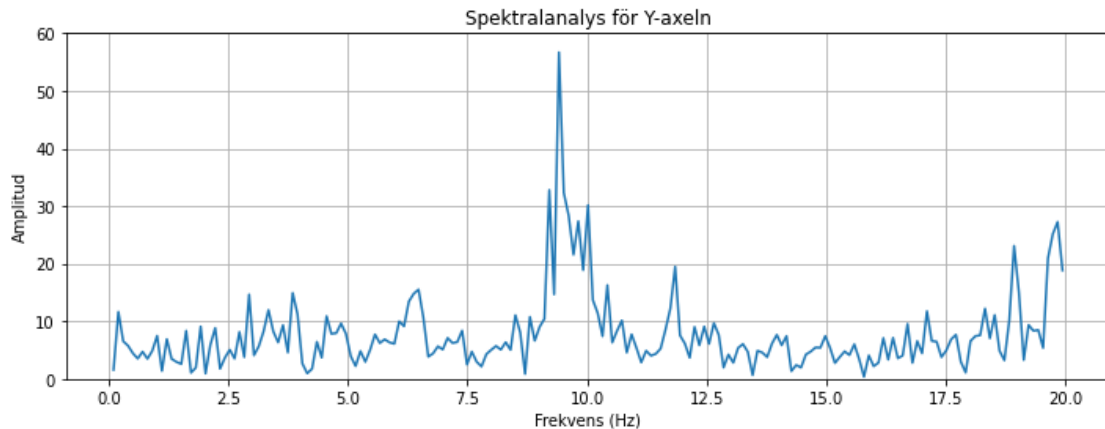
Figur 38. Acceleration över tid, accelerometer på axeln.

Från figurerna kan man se att robotens stabilitet minskar längre ut mot armen jämfört med närmare mot centrum av roboten. Detta beror på att servomotorn på armbågen är något svag och orkar inte hålla upp hela vikten på armen, och istället gör många små bromsningar. Med bottenplattan som då kan röra sig väldigt fritt gör att det i sin tur blir stora vibrationer i hela roboten. Även att axeln är relativt lång gör att rörelserna längst ut blir större.

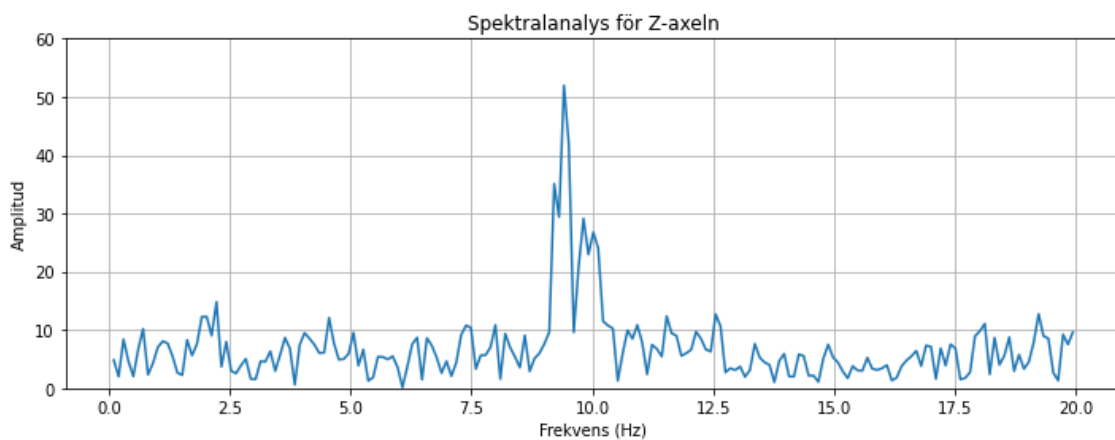
Spektralanalysen gjordes därefter, vilket gav följande resultat:



Figur 39. Spektralanalys i X-led



Figur 40. Spektralanalys i Y-led

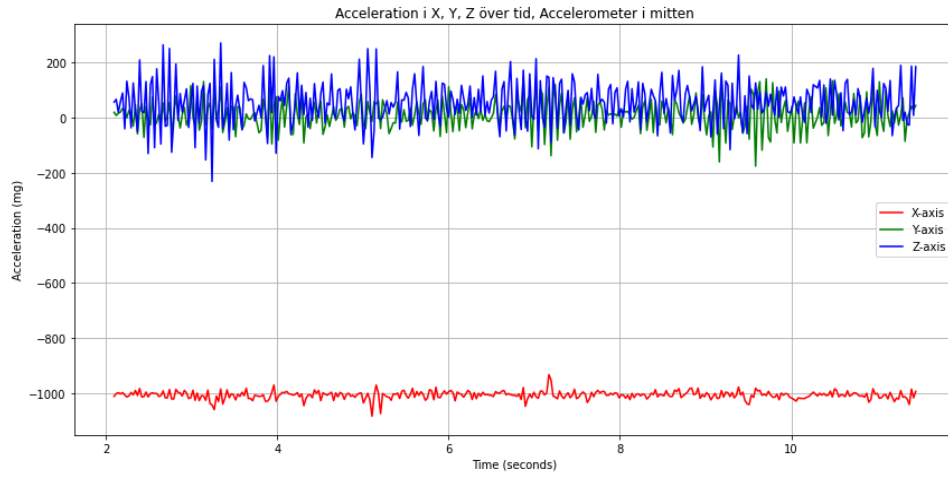


Figur 41. Spektralanalys i Z-led

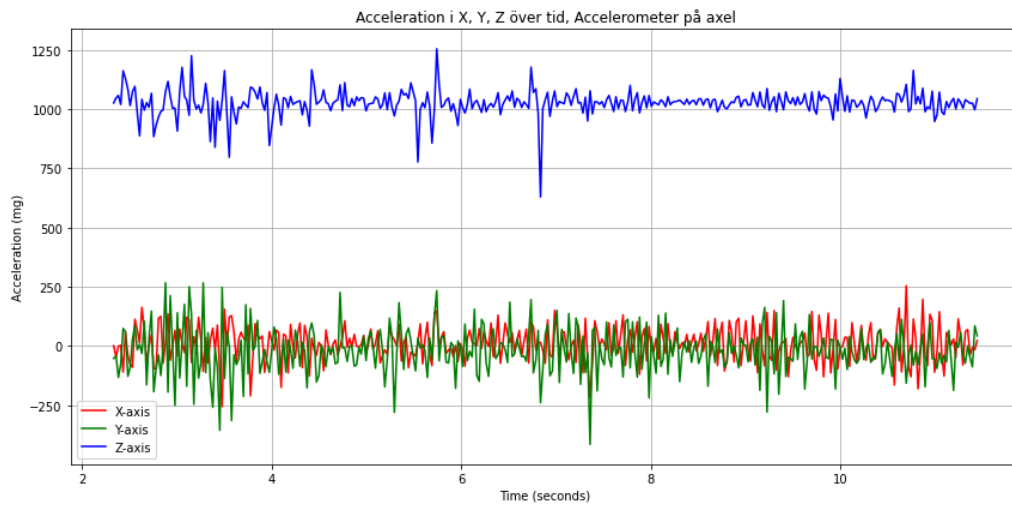
I detta fall om man undersöker figurerna finns det en större topp på ungefär nio Hz, vilket i detta fallet beror på den större rörelsen roboten gör när den tar ner armen som påpekades tidigare.

5.1.2 Prototyp Koncept ett, svag servomotor i armbågen

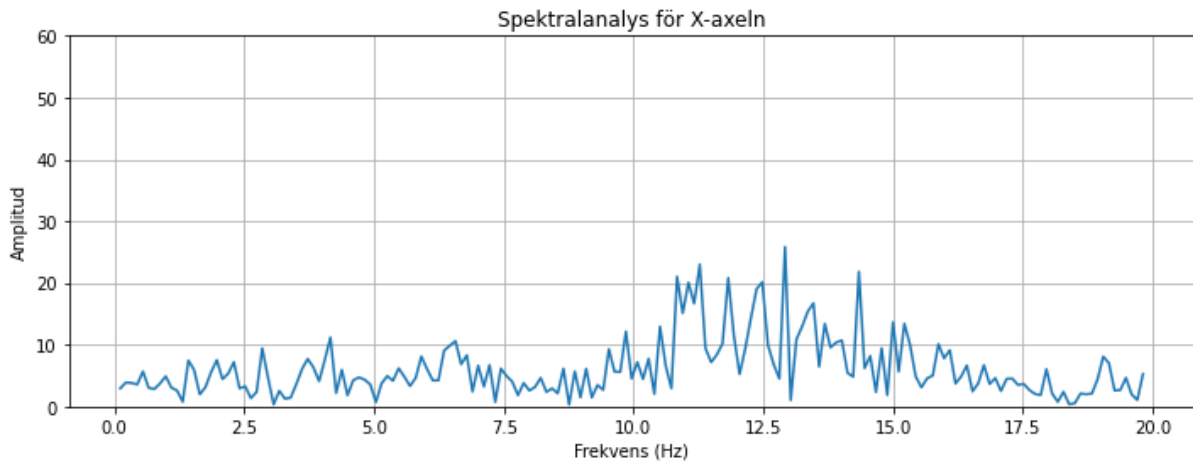
Därefter påbörjades tester på den nya prototypen, där designen som används är det första konceptet. För att koppla ihop bottenplattan och resten av kroppen användes en enklare 3D-printad komponent för att koppla samman de två systemen. Materialet som användes för den 3D-printade komponenten är inte ett styvt material, och deformeras lätt jämfört med metalldelarna, vilket i sin tur kan bidra till vibrationer i hela roboten. Testerna kunde däremot inte göras med en gripklo längst ut på armen, då den inte hade levererats. Resultatet blev följande:



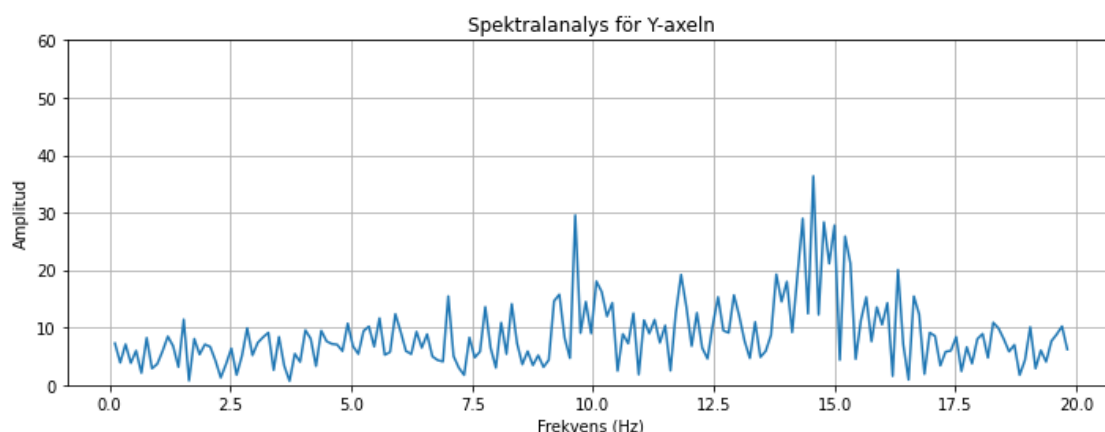
Figur 42. Acceleration över tid, accelerometer i mitten



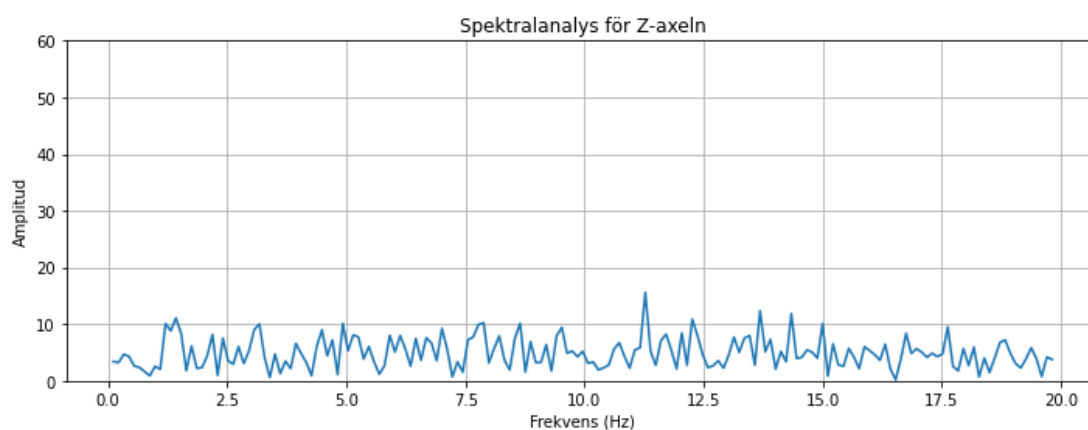
Figur 43. Acceleration över tid, accelerometer på axeln.



Figur 44. Spektralanalys i X-led



Figur 45. Spektralanalys i Y-led



Figur 46. Spektralanalys i Z-led

För att lättare jämföra prototypen med den nuvarande roboten, jämfördes även medelvärdet och standardavvikelsen. I detta fall jämfördes fallet då accelerometern sitter på axeln. Resultatet blev följande:

		X	Y	Z
Nuvarande Robot	Medelvärde	-62,19	-31,24	1029,73
	Standardavvikelse	45,72	101,92	94,07
Prototyp	Medelvärde	10,61	-20,1	1026,56
	Standardavvikelse	73,91	99,90	53,83

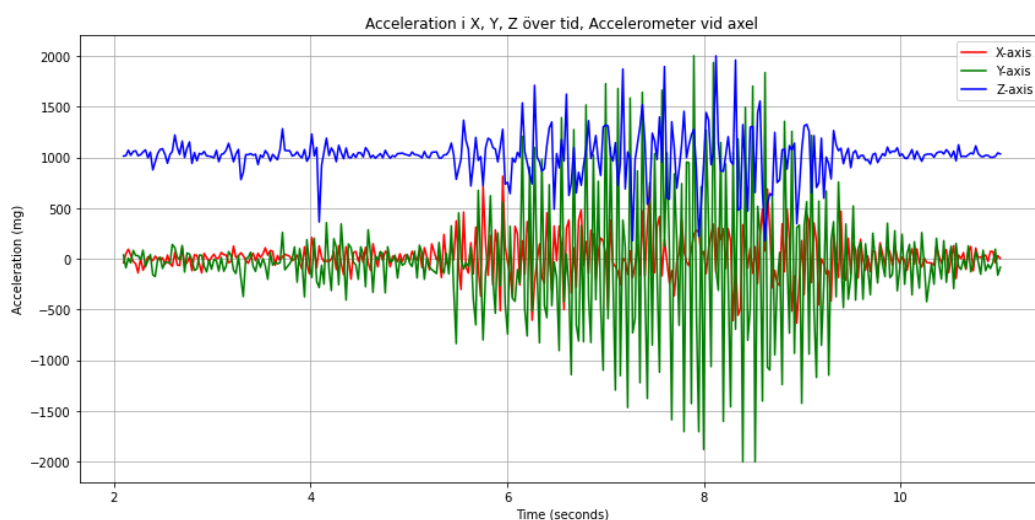
Tabell 3: Jämförelse av medelvärde och standardavvikelse, Nuvarande robot och prototyp

Med detta resultat blir det tydligt att rörelser kring Z-led har minskat avsevärt för prototypen. Både x-och-y led påverkas av olika extremvärden, framförallt i den nuvarande lösningen, vilket kan göra det svårare att jämföra de värdena.

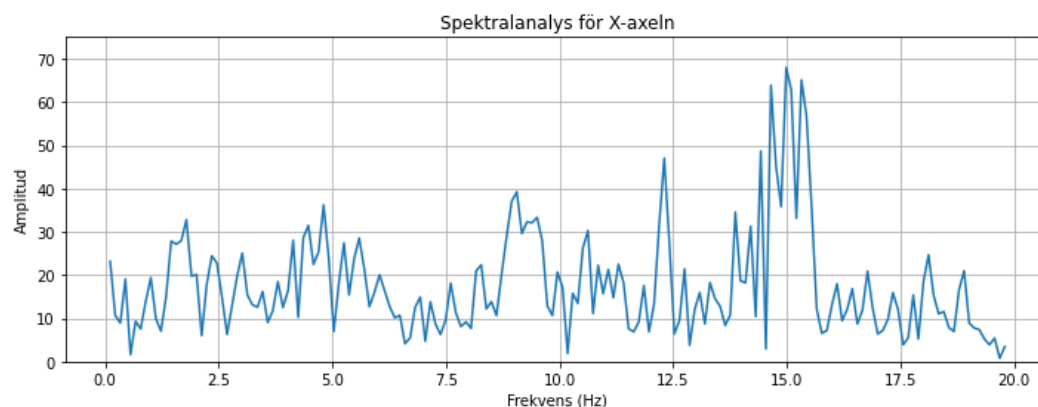
5.1.3 Självsvängning

Därefter prövades en annan lösning för att koppla ihop bottenplattan med kroppen, då det ansågs att mycket onödiga vibrationer förekom på grund av den 3D-printade lösningen. Den förändringen som gjordes var att istället använda två nittio graders vinklar gjorda i metall, där man skruvade ihop dem med bottenplattan och kroppen. Nästa förändring var att använda en annan koppling från servomotorernas axlar till de olika komponenterna, då den första som användes kunde endast skruvas fast på två punkter, och var något vek. Den nya var både styvare, samt att man kan skruva fast komponenten i fyra punkter. Nu tillkom även en griplöslängd ut på armen.

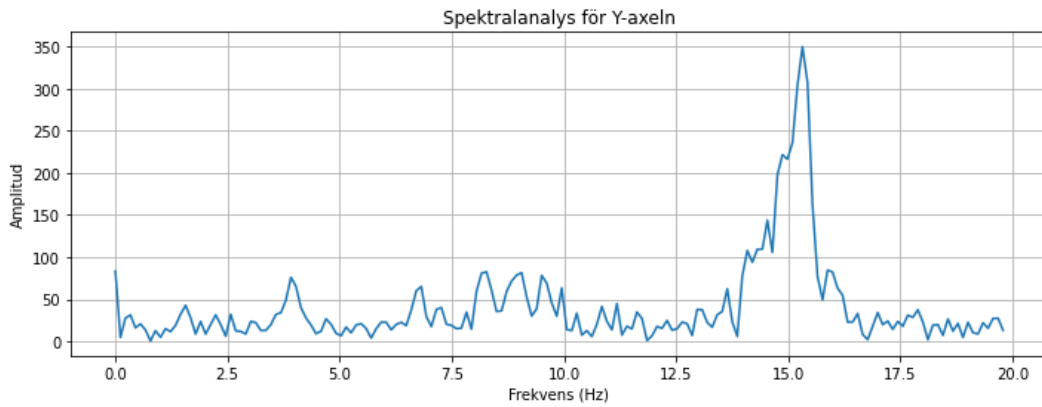
Med de förändringarna gjordes testerna om, dock endast med accelerometern på axeln, eftersom det ansågs vara det viktigaste testet i detta fallet. Resonemanget var att om man får ner vibrationerna i armen, kommer även vibrationerna runt centrum av roboten bli mindre. Resultatet från testet blev följande:



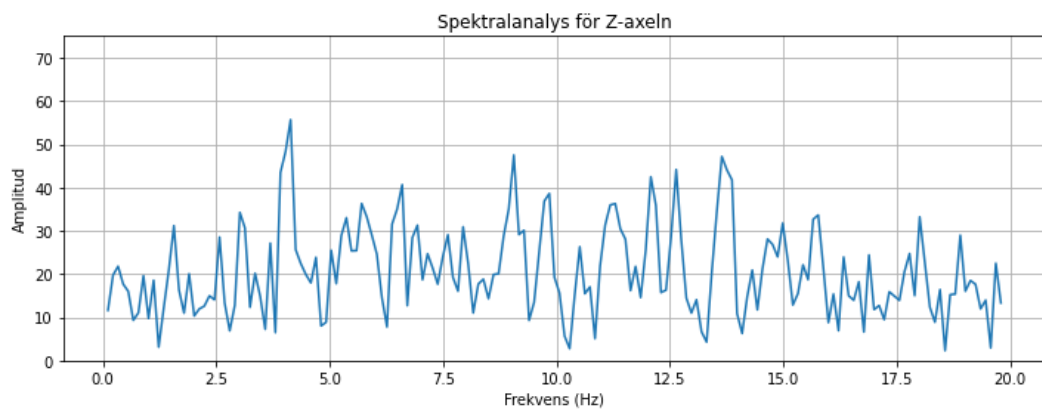
Figur 47. Acceleration över tid



Figur 48. Spektralanalys i X-led



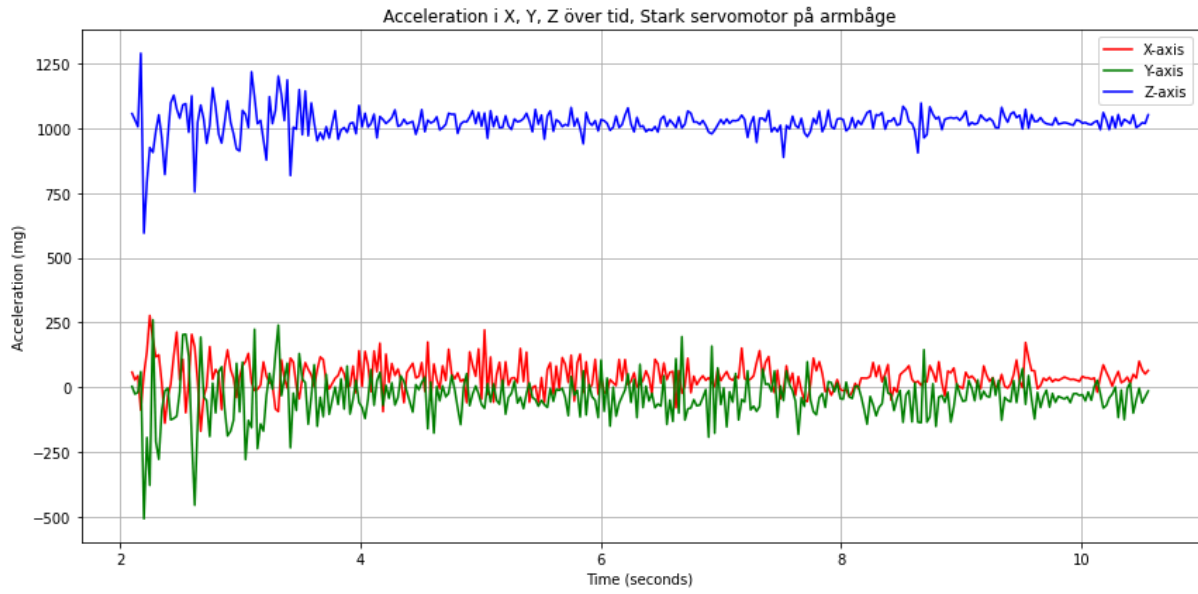
Figur 49. Spektralanalys i Y-led



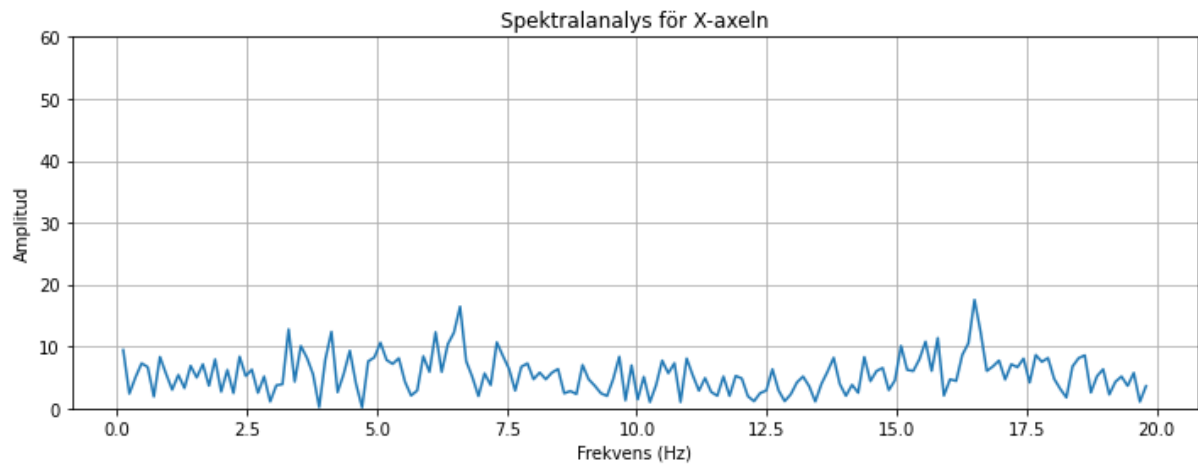
Figur 50. Spektralanalys i Z-led

Notera att för dessa figurer att amplituden blir mycket högre jämfört med de andra testerna, därför är skalan även större. I detta fallet med de förändringar som gjordes började roboten självsvänga. Detta är tydligt då vid en viss tidpunkt ökar svängningarna snabbt, och vid spektralanalys ser man i både x-och-y-led att amplituden ökar kraftigt mellan 15-16 Hz. Vid observation av prototypen noterades att självsvängningarna börjar då armen rör sig mot den högsta punkten under vinkrörelsen, och när armen blir mer utsträckt minskar vibrationerna. Testet genomfördes även med en motvikt för att se om det kunde minska självsvängningarna något, men det blev ingen förändring i resultatet.

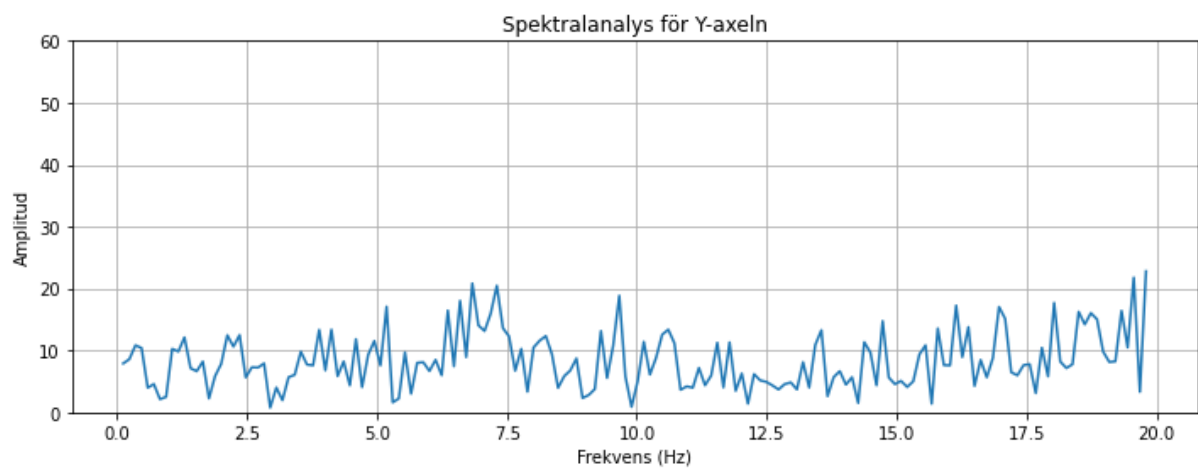
Därefter gjordes samma test, där det istället användes en starkare servomotor till armbågen. Genom att byta till den starkare servomotorn blev resultatet följande:



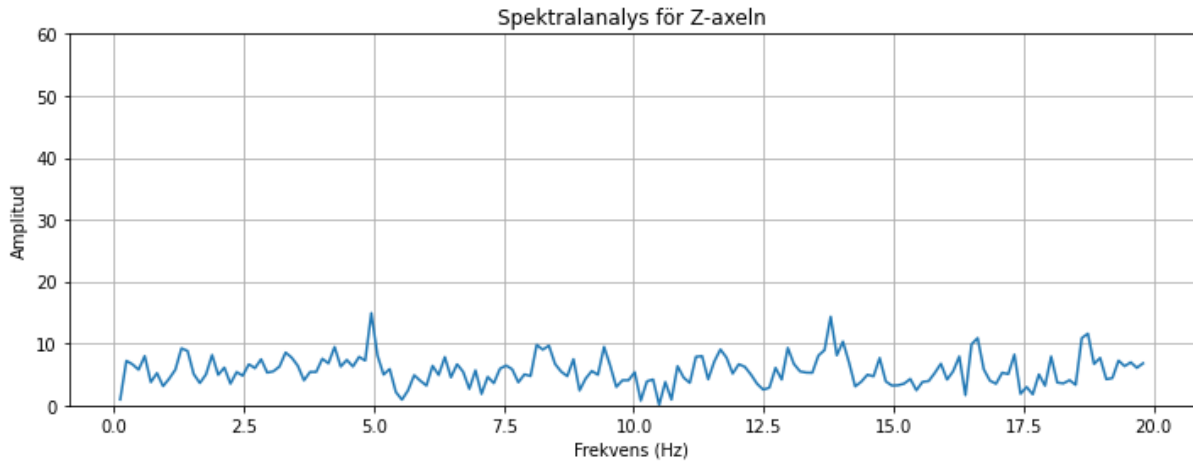
Figur 51. Acceleration över tid



Figur 52. Spektralanalys i X-led



Figur 53. Spektralanalys i Y-led

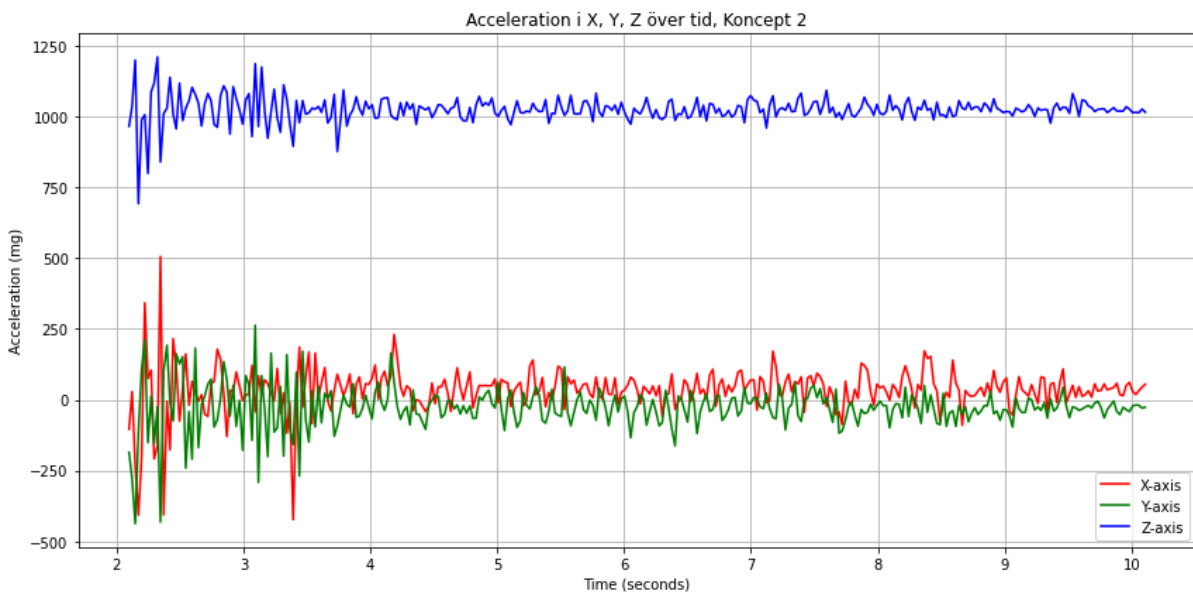


Figur 54. Spektralanalys i Z-led

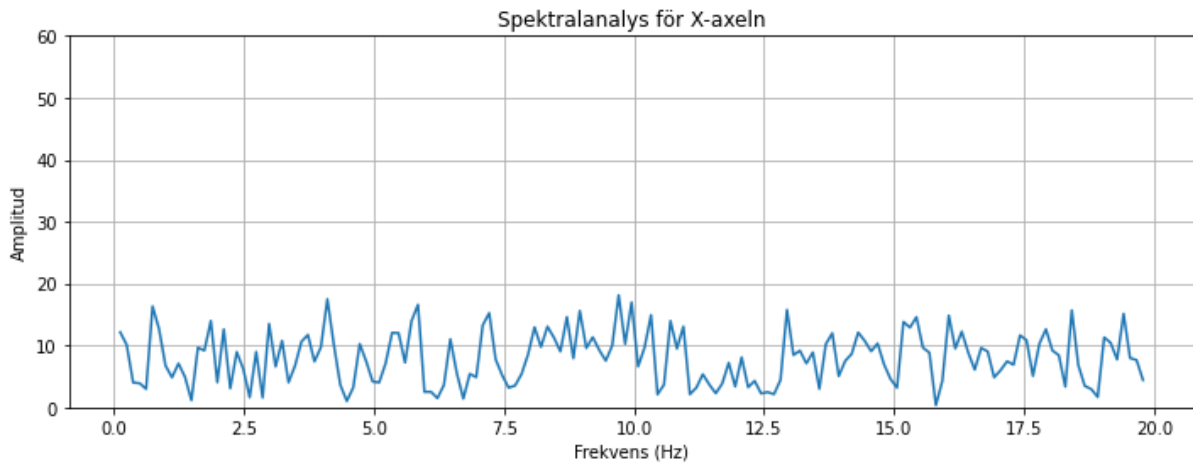
Genom att använda en starkare servomotor förekom det ingen självsvängning och istället mindre vibrationer, då frekvenserna är mer utspridda med lägre amplitud jämfört med tidigare tester. Den största accelerationen som förekom var i början när programmet startade och påbörjade rörelser, för att sedan snabbt bli mer stabilt under resterande rörelse.

5.1.2 Prototyp Koncept två

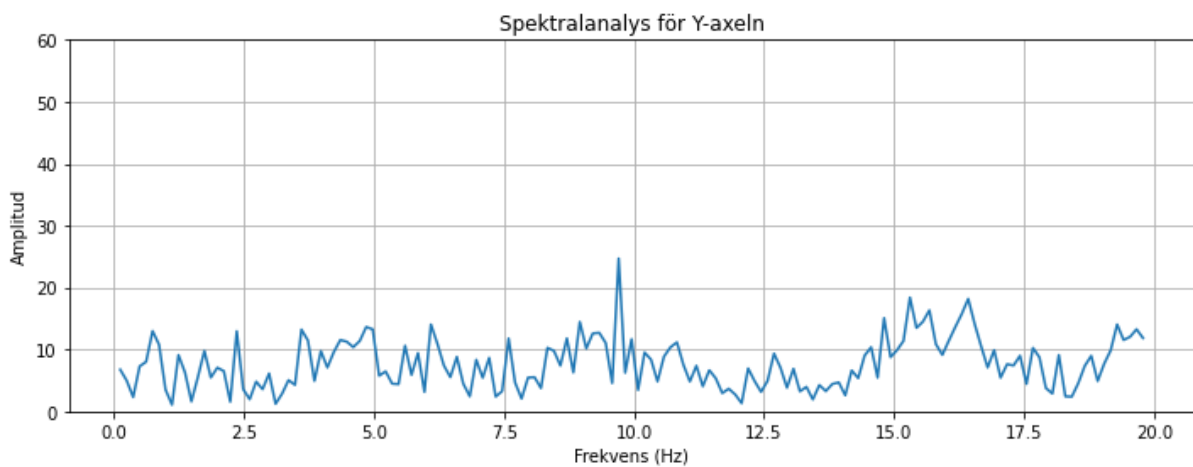
Efter prototyp tester av koncept ett, byggdes robotarmen om till att likna det som var tanken med koncept två, där man lägger till en servomotor för att öppna upp ytterligare en frihetsgrad. Under detta test körs samma test som för koncept ett, vink rörelsen, för att se hur mycket vibrationer uppstår i denna konfiguration. Resultat blev följande:



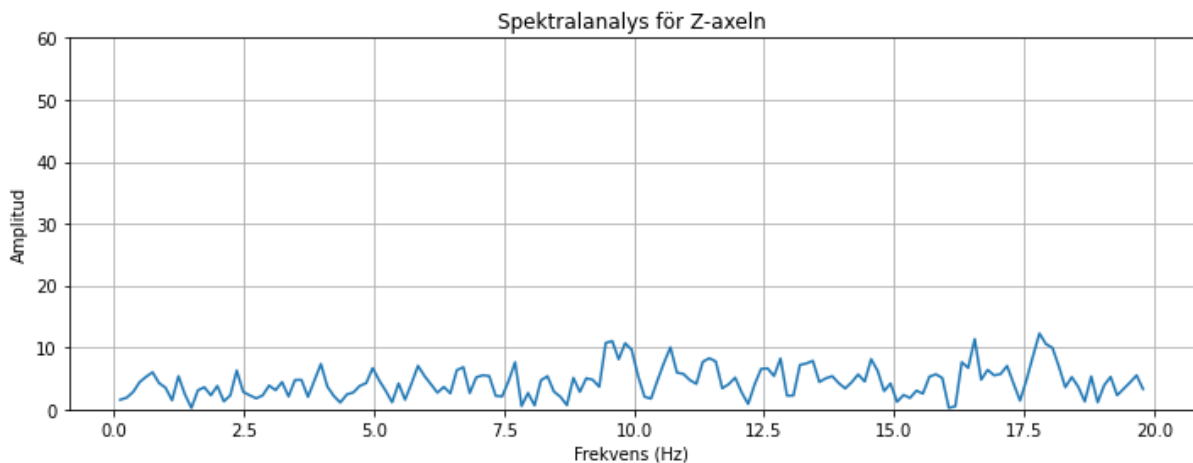
Figur 55. Acceleration över tid, koncept 2



Figur 56. Spektralanalys i X-led



Figur 57. Spektralanalys i Y-led



Figur 58. Spektralanalys i Z-led

För att tydligare jämföra koncept ett och koncept två, användes samma metod som tidigare, genom att beräkna medelvärde och standardavvikelse och jämföra dessa värdena. Givetvis används koncept ett med den starkare servomotorn. Dessa jämfördes även mot den nuvarande lösningen för att kunna se om det är någon förbättring jämfört med värdena i dessa prototyper. Resultatet blev enligt följande:

		X	Y	Z
Koncept ett	Medelvärde	39,73	-39,40	1022,04
	Standardavvikelse	58,08	87,63	55,94
Koncept två	Medelvärde	33,82	-27,90	1024,95
	Standardavvikelse	80,77	77,80	45,76
Nuvarande Robot	Medelvärde	-62,19	-31,24	1029,73
	Standardavvikelse	45,72	101,92	94,07

Tabell 4. Jämförelse av medelvärde och standardavvikelse, koncept ett och två

Dessa värden anses vara rimliga att jämföra, då båda koncept ett och två utsätts för högre rörelser i början av testet, för att sedan stabilisera sig under rörelsen, vilket betyder att båda robotarna får sina extremvärden under ungefär samma tid.

6. Diskussion

I följande kapitel diskuteras resultaten kring prototyptesterna, samt den generella upplevelsen med att använda prototypen. Därefter ges förslag till vidareutveckling av roboten.

6.1 Prototyptester

Både koncept ett och koncept två visade bättre resultat jämfört med den nuvarande lösningen, samt att upplevelsen av roboten var i sin helhet bättre. Den största förbättringen var framförallt kring bottenplattan. Den nuvarande lösningen har en instabil bottenplatta som skapar större rörelser när exempelvis armen rör på sig. Den nya bottenplattan som används i prototyperna är betydligt mer stabil, vilket även syns i tabell 4, där medelvärdena kring Z-led är lika, däremot har den högre standardavvikelse. En anledning till att standardavvikelsen blir högre är på grund av att prototypen har starkare motorer jämfört med den nuvarande lösningen vilket leder till högre accelerationer.

Vid jämförelse av spektralanalyserna på de två koncepten och den nuvarande lösningen blir det tydligare att de två koncepten har en högre stabilitet. Prototyperna har utspridda frekvenser där amplituden oftast har liknande höjd, vilket tyder på en mer stabil rörelse med mindre vibrationer. Den nuvarande lösningen har vissa frekvenser där amplituden ökar mycket, vilket gör att den upplevs som ostabil.

Den viktigaste lärdomen från prototyptesterna var att ifall man använder den svagare modellen av servomotor så finns det högre risk för att det ska börja självsvänga. Då detta undviks om man använder den starkare servomotorn, finns det en sannolikhet att denna självsvängingen beror på servomotorn. Den lärdomen av detta testet var att det enklaste sättet att undvika självsvängningarna är genom att använda den starkare modellen av servomotor.

Det bör även noteras att vissa komponenter som används för att koppla ihop olika system är tanken att det är temporära lösningar, då det bedöms finnas bättre alternativ.

Rekommendationen är att tillverka egna komponenter, eftersom det är svårt att hitta färdiga delar som har dem måtten som passar för att koppla ihop allt perfekt. Exempel på detta är för att koppla ihop bottenplattan och kroppen, och i koncept två för att koppla ihop gripklon till armen, och armen till servon som roterar "handleden".

Vad som även noterades var att det var mycket enkelt att byta mellan koncept ett och koncept två, då båda lösningarna är mycket modulära jämfört med den nuvarande roboten, som inte går att göra mekaniska förändringar utan att behöva större ingrepp, genom att exempelvis behöva borra eller kapa av vissa delar. Det tog cirka tio till femton minuter att byta mellan koncepten, vilket innebär att det är enkelt för eleverna som ska använda roboten att kunna bestämma själva vilket koncept som passar deras behov.

6.2 Vidareutveckling

Grundstrukturen i prototyperna upplevs som bra, men med några mindre förändringar kan robotens kundvärde öka avsevärt. Som tidigare nämnt används vissa temporära komponenter i prototypen, framförallt den delen som kopplar samman bottenplattan med kroppen, men även den delen som förbinder servomotorn med underarmen i koncept två. Att ersätta dessa komponenter ger en mycket bättre upplevelse av roboten, samt att det även ökar stabiliteten i roboten ytterligare.

Genom att öppna upp möjligheten att använda flera egentillverkade komponenter kan detta problemet lösas enkelt, dock helst genom att antingen använda 3D-printing eller att tillverka komponenter i metall. Det är även då möjligt att få ner priset om man kan tillverka flera av komponenterna själv, då man inte måste köpa in vissa dyra komponenter, exempelvis den delen som används som axel i båda konceptets armar.

Det är även möjligt att göra flera olika armar än endast de två koncepten som har gjorts, då lösningen är mycket modulär, och det tar inte lång tid att bygga med de komponenter som används till armarna. En möjlighet är att eleverna som nyttjar roboten under kursen kan själva bygga egna armar utefter de kraven de har på roboten.

Man kan även undersöka självsvängningen genom att genomföra tester med en annan modell av servomotorn i samma styrka för att undersöka om det är modellen på servomotorn eller om det är styrkan som bidrar till självsvängningen. Skulle det endast vara den specifika modellen som är den bidragande faktorn, så finns det möjlighet att använda en annan modell av servomotorn med den styrkan, vilket kan möjligtvis dra ner priset ytterligare. Man får även då ett alternativ att använda ifall man inte kan få tag på den starkare modellen av servomotor.

7. Slutsats

Genom att återkoppla till kundkravslistan kan man kontrollera vilka mål som har uppnåtts under projektet. Mycket tid har lagts på robotens stabilitet under drift, vilket har förbättrats i prototypen för båda koncepten. Även resterande krav för prestandan har uppnåtts, då styrkan har ökat med de starkare motorerna. Eftersom roboten är mer stabil har även precisionen ökat, vilket var ett av kraven för dess prestanda.

Även kraven på tillverkning och material har uppnåtts, eftersom det används enkla och utbytbara standardkomponenter vilket även gör lösningen väldigt modulär. Även att använda roboten flera gånger anses inte vara ett problem. Kostnaden blev däremot något högre än önskemålet på 2 000 kr, däremot anses det vara möjligt att få ner kostnaderna på vissa komponenter, exempelvis en billigare underarm för koncept två, och liknande komponenter.

Kraven på robotens rörelse, att den ska kunna röra sig i tre totalt dimensioner har uppnåtts, samt att man även har fått en extra frihetsgrad för armen i koncept två. Däremot har två önskemål inte uppnåtts, vilket är att man ska kunna få realtidsfeedback till användaren, samt att man ska kunna ha sladdlös drift. Dessa önskemål har inte uppnåtts då det främst har arbetats med den mekaniska strukturen, och mindre med de elektriska komponenterna.

Kraven på design samt storlek har alla uppnåtts, då roboten är ungefär lika stor som den nuvarande roboten, samt att den har, under arbetets gång, förflyttats till olika platser. Med den lätthanterliga fästansordningen samt den modulära designen har även dessa önskemål uppnåtts.

Sammanfattningsvis upplevs det som att målet med att skapa en humanoid robotprototyp med de kraven som fanns på den har uppnåtts. Endast ett fåtal önskemål saknas från den slutgiltiga lösningen, men dessa upplevs som att de inte påverkar allt för mycket. Även vissa krav och önskemål behövs verifieras av en extern användare, till exempel önskemålet att den ska vara enkel att underhålla, däremot så upplevs det som att det är fallet för prototypen, men det kan vara bra att se vad en användare tycker kring det.

8. Referenser

Lindstedt, P., & Burenius, J. (2003). *The Value Model: How to master product development and create unrivalled customer value*. Nimba. ISBN 9163063492

Autodesk. (2024). *Fusion 360* (Version 2.0) [Datorprogram].

<https://www.autodesk.com/se/products/fusion-360/overview>

LewanSoul. (u.å.). *LewanSoul Robotarm för Arduino Python kodning programmering 6DOF xArm 1S STEM pedagogisk byggrobot armsatser, 6 AXIS helmetall robotarm trådlöst handtag/PC/app/mus kontroll lärande robot*. [Bild]. Amazon.

<https://www.amazon.se/LewanSoul-programmering-pedagogisk-byggrobot-armsatser/dp/B0793PFGCY>

goBILDA. (u.å.). *1120 Series U-Channel, 15 Hole, 384mm Length*. [Bild].

<https://www.gobilda.com/1120-series-u-channel-15-hole-384mm-length/>

goBILDA. (u.å.). *1120 Series U-Channel, 1 Hole, 48mm Length*. [Bild].

<https://www.gobilda.com/1120-series-u-channel-1-hole-48mm-length/>

goBILDA. (u.å.). *1121 Series Low-Side U-Channel, 4 Hole, 120mm Length*. [Bild].

<https://www.gobilda.com/1121-series-low-side-u-channel-4-hole-120mm-length/>

goBILDA. (u.å.). *1106 Series Square Beam, 12 Hole, 96mm Length*. [Bild].

<https://www.gobilda.com/1106-series-square-beam-12-hole-96mm-length/>

goBILDA. (u.å.). *1603 Series Face Thru-Hole Pillow Block, 12mm Bore*. [Bild].

<https://www.gobilda.com/1603-series-face-thru-hole-pillow-block-12mm-bore/>

goBILDA. (u.å.). *Stainless Steel REX™ Shafting, 12mm REX™, 80mm Length, Threaded, with E-Clip*. [Bild]. <https://www.gobilda.com/stainless-steel-rex-shafting>

goBILDA. (u.å.). *1310 Series Hyper Hub, 12mm REX™ Bore*. [Bild].

<https://www.gobilda.com/1310-series-hyper-hub-12mm-rex-bore/>

goBILDA. (u.å.). *70 Tooth Hub-Mount Gear, MOD 0.8, 4mm Thick Acetal*. [Bild].

<https://www.gobilda.com/70-tooth-hub-mount-gear-mod-0-8-4mm-thick-acetal/>

STR-RC. (u.å.). *DL3017 LV Digital Servo*. [Bild]. STR-RC.

<https://www.srt-rc.com/index.php?id=66>

Master. (u.å.). *Master Modellbau Standard-Servo DS4020 Digital-servo*. [Bild]. Conrad.
<https://www.conrad.se/sv/p/master-modellbau-standard-servo-ds4020-digital-servo-transmissionmaterial-plast-instickssystem-universal-graupner-jr-1556177.html?refresh=true>

Lynxmotion. (u.å.). *Lynxmotion Little Grip Kit*. [Bild]. RobotShop.
<https://eu.robotshop.com/products/lynxmotion-little-grip-kit-no-servos?qd=27cbefa73c6b912e988288fbd8750999>

Arduino. (u.å.). *Arduino Uno*. [Bild].
https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3?srsId=AfmBOooRlzNZwGHQRGp964-v1U9a6wEDFZLbMkSeFsDnoIQnk_WIpmOU

Bilagor

Bilaga 1. Kundkravslista

Kriterier (Krav + Specificering)		Målvärde	K/ Ö	Verifikations- metod	Krav- ställare
1 Säkert	1.1 Klämrisk		K	CAD modell samt prototyp test	Brukare
	1.2 Inga vassa kanter		K	CAD modell samt prototyp test	
	1.3 Värmeutveckling på komponenter	<50 grader celcius	K	Kontroll av CE märkning på elektriska komponenter	
	1.4 Vältrisk / Stå stabilt		K	Test av prototyp	
2 Tillverkning / Material	2.1 Totalkostnad för roboten	max 2000kr	Ö 5	Ekonomisk kalkyl	Institutionen
	2.2 Roboten ska kunna användas många gånger		K	Utmattningstest	
	2.3 Mestadels nyttja enkla standardkomponenter		K	Tillgängliga komponenter att beställa	
	2.4 Utbytbara komponenter		Ö 4	Test av prototyp	
	2.5 Återvinningsbara material		K	Kontroll vid inköp	

3 Användarvänlighet	3.1 Enkelt att underhålla		Ö 4	Test av prototyp och feedback från brukare	Brukare
	3.2 Enkelt att styra komponenter		K	Test av prototyp och feedback från brukare	
	3.3 Enkel montering		K	Brukare får testa att montera	
	3.4 Bära i kasse (vikt)		K	Lyft Test på roboten	
	3.5 Real-time feedback till brukare		Ö 3	Test av prototyp	
4 Prestanda	4.1 Styrka		K	Test av prototyp	Brukare
	4.2 Precision		K	Test av prototyp	
	4.3 Stabilitet under drift		K	Jämförelse med referens m.h.a accelerometer	
	4.4 Stöttålig		K	Test prototyp	
5 Storlek	5.1 Höjd på roboten	“Ungefär som Hubert“	Ö 3	CAD modell	Brukare
	5.2 Bredd på roboten	“Ungefär som Hubert“	Ö 3	CAD modell	
	5.3 Bära i kasse (vikt)	“Ungefär som Hubert“	Ö 4	Lyfttest av prototyp	
6 Funktioner	6.1 Rörelse (total)	3 dimensioner	K	Design	Brukare

	6.2 Rörelse arm	2 frihetsgrader	K	Design	
	6.3 Rörelse kropp	1 frihetsgrad	K	Design	
	6.4 Rörelse huvud	2 frihetsgrader	K	Design	
	6.5 Real-time feedback till användare från servomotor		Ö 3	Kontroll vid inköp	
	6.6 Gripklon kan greppa olika typer av objekt		K	Test av prototyp	
	6.7 Sladdlös under drift		Ö 2	Kontroll vid inköp	
7 Design och estetik	7.1 Modular design		Ö 5	Design / Test av prototyp	Brukare
	7.2 Människolik struktur		K	Design	
	7.3 Lätthanterlig fästordning		Ö 3	Design	

Bilaga 2. Kostnadsanalys:

För Bottenplatta

Benämning	Antal	Pris total
Low-side U-channel 120 mm	2	203 kr
U-channel (1 hole 48 mm length)	1	73 kr
Stainless steel REX shaft (12 mm)	1	55 kr
Face thru-hole pillow block (12 mm)	2	232 kr
Hyper hub (12 mm REX bore)	1	116 kr
70 tooth hub-mount gear	2	125 kr
Standard-servo DS4020	2	298 kr
		1 102 kr

För kroppen

Benämning	Antal	Pris total
U-channel (15 hole 384 mm length)	1	276 kr
		276 kr

För arm, koncept ett

Benämning	Antal	Pris total
Low-side U-channel 120 mm	2	203 kr
U-channel (1 hole 48 mm length)	1	73 kr
Servo digital 17kg/0,5SEK SRT RC	2	440 kr
Lynxmotion little grip kit	1	197
		913 kr

För arm, koncept två

Benämning	Antal	Pris total
Low-side U-channel 120 mm	1	102 kr
U-channel (1 hole 48 mm length)	1	73 kr
Servo digital 17kg/0,5SEK SRT RC	2	440 kr
Standard-servo DS4020	2	298 kr
Lynxmotion little grip kit	1	197 kr
Square beam (12 hole 96 mm length)	1	67 kr
		1 177 kr