

# Hubert 2.0

Prototyp för en humanoid robot

Sofie Aidemark  
Sara Larsson  
Johanna Steninger  
Philip Wassenius



Rapport nummer: 2020:04

# Hubert 2.0

Prototyp för en humanoid robot

Sofie Aidemark, Sara Larsson, Johanna Steninger, Philip Wassenius



**CHALMERS**  
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Institutionen för Mekanik och maritima vetenskaper  
Chalmers tekniska högskola  
Göteborg, Sverige 2020

## **Hubert 2.0**

Sofie Aidemark  
Sara Larsson  
Johanna Steninger  
Philip Wassenius

©Sofie Aidemark, 2020  
©Sara Larsson, 2020  
©Johanna Steninger, 2020  
©Philip Wassenius, 2020

Kandidatarbete 2020:04  
Institutionen för mekanik och maritima vetenskaper  
Chalmers tekniska högskola  
SE-412 96 Göteborg, Sverige  
[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)

Omslag: En modell av prototypen Hubert 2.0.

Tryckt av:  
Institutionen för mekanik och maritima vetenskaper  
Göteborg, Sweden 2020

---

Hubert 2.0

Prototype of a humanoid robot

Sofie Aidemark, Sara Larsson, Johanna Steninger & Philip Wassenius

Department of Mechanics and Maritime Sciences

Chalmers University of Technology

## **Abstract**

The following report covers the bachelor thesis in the development of an open, modular humanoid robot platform on a reduced scale under the Department of Mechanics and Maritime Sciences at Chalmers University of Technology during spring term 2020. The candidate group got the mission to develop a torso of a humanoid robot platform for the course TIF160 Humanoid-robotics. The client for the project is Krister Wolff, Associate Professor of Adaptive Systems at the Department of Mechanics and Maritime Sciences. Product development methods and programming taught at Chalmers are used during the development of the prototype. The report covers the thesis in its entirety, from problem formulation to development of various concepts and their detailed construction. The final result is a fully working robot platform that can be used for educational purposes and as a recruitment tool for Chalmers. The main purpose of the project is that the final prototype is modular, more aesthetically pleasing than its predecessor and easy to manufacture.

The final prototype, Hubert 2.0, is a humanoid robot platform consisting of several parts that have been developed in CAD. Most of the consisting parts of the prototype are 3D-printed in plastic and therefore easy for the user to modify.

The final prototype meets all requirements that were set by the claimant and the candidate group at the beginning of the project. It would have been possible to develop another appearance of the robot with a different design if the time frame of the project had been wider. A wider time frame enables more possibilities for calculations concerning strength, and further experiment could have been conducted concerning shape and design, and thereby a more anthropomorphic design of the robot could have been developed. The documentation and the prototype that the candidate group produced provides a good foundation and enable further development of the prototype if a similar assignment were to be carried out again in the future. The project as a whole is seen as successful since the overall purpose and all requirements have been met.

Keywords: humanoid, CAD, robotplatform, humanoid-robotics, 3D-printing, modular, torso.



---

Hubert 2.0

Prototyp för en humanoid robot

Sofie Aidemark, Sara Larsson, Johanna Steninger & Philip Wassenius

Institutionen för Mekanik och maritima vetenskaper

Chalmers tekniska högskola

## Sammanfattning

Följande rapport behandlar kandidatarbetet ”Utveckling av en öppen, modulär humanoid robot-plattform i förminskad skala” under institutionen för Mekanik och maritima vetenskaper på Chalmers tekniska högskola i Göteborg vårterminen 2020. Kandidatgruppen har fått i uppdrag att ta fram en öppen, modulär, humanoid robotplattform till kursen TIF160 Humanoid-robotics (MPCAS). Uppdragsgivaren är Krister Wolff, docent i Adaptiva system vid institutionen för Mekanik och maritima vetenskaper. En litteraturgenomgång har genomförts i syfte att erhålla bättre kunskap inom ämnet och förenkla framtagningsprocessen. Vid framtagningen implementeras kunskap och erfarenheter från tre års studier på Chalmers, bland annat används produktutvecklingsmetoder och programmering. Rapporten omfattar kandidatarbetet i sin helhet, från problemformulering till framtagning av diverse koncept. Konceptframtagningen mynnar ut i ett eller fler vinnande koncept och dess detaljkonstruktion. Det slutgiltiga resultatet är en fungerande robotplattform som kan användas i undervisningssammanhang och vid rekryteringstillfällen för Chalmers tekniska högskola. Det huvudsakliga syftet under projektet är att den slutgiltiga prototypen är modulär, mer estetiskt tilltalande än sin föregångare, lätt att tillverka och kan användas i undervisningssammanhang.

Den slutgiltiga prototypen, Hubert 2.0, är en humanoid robotplattform som består av ett antal delar framtagna i CAD. Eftersom prototypen är en humanoid efterliknar dess utseende en mänsklig överkropp. De flesta ingående delarna i prototypen är 3D-utskrivna i plast och därför enkla för användaren att modifiera.

Den valda prototypen uppfyller de krav och kriterier som ställts av uppdragsgivaren och projektgruppen i projektet. Eftersom det endast tagits fram förslag på rustning till prototypen finns möjligheten till vidareutveckling av denna komponent. Hade tidsramen för projektet varit större hade det även funnits möjligheter till att ta fram ett annat utseende på prototypen. Detta då tid funnits till att genomföra fler beräkningar med avseende på hållfasthet, mer experiment hade kunnat genomföras med avseende på form och design och därmed utveckla en än mer människoliknande prototyp. Det underlag och den prototyp som gruppen tagit fram utgör en bra grund och möjliggör vidareutveckling av prototypen om ett liknande kandidatarbete skulle genomföras igen. Projektet i helhet ses som lyckat då det övergripande syftet och samtliga ställda krav och kriterier har uppfyllts.

Nyckelord: humanoid, CAD, robotplattform, humanoid-robotics, 3D-utskrivning, modulär, överkropp.





---

## Förord

Följande rapport används som examensunderlag för kandidatgrupp MMSX20-20-24 i kandidatarbetet med utveckling av en humanoid robotplattform ”Hubert 2.0” under institutionen för Mekanik och maritima vetenskaper på Chalmers tekniska högskola i Göteborg. Institutionen för Mekanik och maritima vetenskaper bedriver kandidatarbetet under vårterminen 2020. Kandidatgruppen består av Sofie Aidemark, Sara Larsson, Johanna Steninger och Philip Wassenius. Examinator i kandidatarbetet är Krister Wolff, docent i Adaptiva system vid Institutionen för Mekanik och maritima vetenskaper.Handledare i arbetet är Göran Stigler, forskningsingenjör.

Inledningsvis vill kandidatgruppen tacka handledare Göran Stigler som med sin erfarenhet inom prototyp tillverkning agerat som en hjälpande hand för kandidatgruppen. Stigler har bistått med konsultation, delkomponenter till prototypen och 3D-utskrivna delar trots att Prototyp labbet varit stängt under COVID-19, för detta vill kandidatgruppen rikta ett extra stort tack till Göran Stigler. Vi vill även tacka vår examinator Krister Wolff som möjliggjort detta utmanade och aktuella projekt.



# Innehåll

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>1</b>
1.1	Bakgrund . . . . .	1
1.2	Syfte . . . . .	1
1.3	Mål . . . . .	1
1.4	Avgränsningar . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Litteraturgenomgång</b>	<b>3</b>
2.1	Tidigare forskning . . . . .	3
2.1.1	Rapporter från TIF160 Humanoid-robotics . . . . .	3
2.1.2	Vetenskapliga studier . . . . .	4
2.2	Marknadsundersökning . . . . .	5
2.2.1	POPPY . . . . .	5
2.2.2	RAPIRO . . . . .	6
2.2.3	PEPPER . . . . .	6
2.2.4	NAO . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Metod</b>	<b>7</b>
3.1	Kravspecifikation . . . . .	7
3.1.1	Viktning av önskemål . . . . .	7
3.2	Tidsplan . . . . .	7
3.3	Konceptgenerering . . . . .	7
3.3.1	Idégenerering . . . . .	7
3.3.2	Morfologisk Matris . . . . .	7
3.4	Koncepteliminering . . . . .	8
3.4.1	Elimineringsmatris . . . . .	8
3.4.2	Pugh-Matris . . . . .	8
3.4.3	Kesselringsmatris . . . . .	8
3.5	Tillverkning av testobjekt för utvärdering av koncept . . . . .	8
3.6	Beräkningar . . . . .	8
3.7	CAD & tillverkning . . . . .	9
3.7.1	FEM-analys . . . . .	9
<b>4</b>	<b>Genomförande</b>	<b>11</b>
4.1	Kravspecifikation . . . . .	11
4.1.1	Funktion . . . . .	11
4.1.2	Prestanda . . . . .	11
4.1.3	Storlek . . . . .	11
4.1.4	Användarmiljö & förvaring . . . . .	12
4.1.5	Livslängd . . . . .	12
4.1.6	Material . . . . .	12
4.1.7	Kostnad . . . . .	12
4.1.8	Design . . . . .	12
4.1.9	Underhåll . . . . .	12
4.1.10	Säkerhet . . . . .	13
4.1.11	Viktning av önskemål . . . . .	13
4.2	Idégenerering . . . . .	14
4.3	Morfologisk Matris . . . . .	14

4.4	Elimineringsmatris . . . . .	15
4.5	Pugh-Matris . . . . .	15
4.6	Kesselningsmatris . . . . .	16
4.7	Tillverkning av testobjekt för utvärdering av koncept . . . . .	16
4.8	Fastställande av referenslösning . . . . .	18
4.9	Beräkningar . . . . .	18
4.9.1	Motorernas krävda moment . . . . .	18
4.9.2	Plattans storlek . . . . .	19
4.9.3	Densitet på material . . . . .	20
4.9.4	Rörelsemönster . . . . .	21
4.10	CAD & tillverkning . . . . .	21
4.10.1	FEM-analys . . . . .	22
4.11	Tester . . . . .	25
4.11.1	Knäcktest . . . . .	25
4.11.2	Miljötest . . . . .	26
4.11.3	Enkät . . . . .	26
<b>5</b>	<b>Resultat</b>	<b>27</b>
5.1	Konstruktion . . . . .	27
5.1.1	Armar . . . . .	27
5.1.2	Gripklo . . . . .	28
5.1.3	Axlar . . . . .	28
5.2	Stomme . . . . .	29
5.2.1	Huvud . . . . .	30
5.2.2	Platta . . . . .	30
5.3	Vikter . . . . .	31
5.4	Mått & Räckvidd . . . . .	32
5.5	Elektriska kopplingar . . . . .	33
5.6	Programmering av leder . . . . .	33
<b>6</b>	<b>Diskussion</b>	<b>34</b>
6.1	Konstruktion . . . . .	34
6.1.1	Armar . . . . .	34
6.1.2	Stommen & Axlar . . . . .	35
6.1.3	Rustning . . . . .	35
6.1.4	Huvud . . . . .	36
6.1.5	Platta . . . . .	36
6.1.6	Infästning . . . . .	37
6.1.7	Gripdon . . . . .	37
6.2	Programmering . . . . .	38
6.3	Koppling . . . . .	38
6.4	Räckvidd . . . . .	39
6.5	Kravspecifikation . . . . .	39
6.5.1	Funktion . . . . .	39
6.5.2	Prestanda . . . . .	39
6.5.3	Storlek . . . . .	40
6.5.4	Användarmiljö & förvaring . . . . .	40
6.5.5	Livslängd . . . . .	40
6.5.6	Material . . . . .	40

6.5.7	Kostnad . . . . .	41
6.5.8	Design . . . . .	41
6.5.9	Underhåll . . . . .	42
6.5.10	Säkerhet . . . . .	42
<b>7</b>	<b>Slutsats</b>	<b>43</b>
	<b>Litteraturförteckning</b>	<b>44</b>
<b>A</b>	<b>CAD</b>	<b>46</b>
<b>B</b>	<b>Armtyper: Standard, fackverk, H</b>	<b>47</b>
<b>C</b>	<b>Tidsplan ordinarie</b>	<b>48</b>
<b>D</b>	<b>Tidsplan reviderad</b>	<b>49</b>
<b>E</b>	<b>Kravspecifikation</b>	<b>50</b>
<b>F</b>	<b>Viktning av önskemål</b>	<b>51</b>
<b>G</b>	<b>Morfologisk matris</b>	<b>52</b>
<b>H</b>	<b>Elimineringsmatris</b>	<b>53</b>
<b>I</b>	<b>Pughmatris 1</b>	<b>54</b>
<b>J</b>	<b>Pughmatris 2</b>	<b>55</b>
<b>K</b>	<b>Kesselringsmatris</b>	<b>56</b>
<b>L</b>	<b>Koncept</b>	<b>57</b>
L.1	Basala Bertil . . . . .	57
L.2	Usvängen . . . . .	58
L.3	Legogubben . . . . .	59
L.4	Rörmockarn . . . . .	60
L.5	Picknicken . . . . .	61
L.6	Teleskopet . . . . .	62
L.7	Pippi . . . . .	63
L.8	Rockien . . . . .	64
L.9	Pippi 2.0 . . . . .	65
<b>M</b>	<b>Kopplingschema för en arm</b>	<b>66</b>
<b>N</b>	<b>Programmeringskod</b>	<b>67</b>
N.1	Gripdon . . . . .	67
N.2	Bluebird BMS-630MG - Armbågservo . . . . .	67
N.3	XYZ smart servo . . . . .	68
<b>O</b>	<b>Rustning</b>	<b>69</b>



# 1 Inledning

Under de senaste åren har användandet av robotar för inlärning ökat i undervisningssammanhang, men även som personliga hjälpmedel. Utvecklingen kring robotar och speciellt humanoider sker kontinuerligt och blir allt mer aktuell i dagens samhälle. En humanoid robotplattform ska utvecklas i detta projekt främst för användning inom undervisningssyfte, men även vid rekrytering av nya studenter på Chalmers tekniska högskola i Göteborg. Följande kapitel behandlar kandidatarbetets bakgrund, syfte, mål, avgränsningar och litteraturgenomgång.

## 1.1 Bakgrund

Chalmers arbete med humanoider påbörjades under 1990-talet, 20 år efter det att den första fullstora roboten skapades på Waseda University i Japan (Waseda University (n.d.)). En humanoid definieras som en maskin eller varelse med ett utseende och kvalitet som liknar människans (Yoshida (2018)). Chalmers första fungerande humanoid döptes till Elvis och har använts på Chalmers i forsknings- och utbildningssyfte sedan 1998. Det ökade intresset av robotar har lett till att utbildning inom området har blivit centralt.

På Chalmers masterprogram Complex Adaptive Systems (MPCAS) undervisas studenter i kursen Humanoid-robotics (TIF160), där de får uppgiften att programmera och modifiera en robot. Vid tidigare kurstillfällen har en humanoid robotplattform vid namn Hubert använts. Modellen för denna plattform togs fram för ett antal år sedan och har därför blivit föråldrad. Det ligger därför i studenternas och Chalmers intresse att robotplattformen uppdateras.

## 1.2 Syfte

Syftet med kandidatarbetet och projektet är att ta fram en öppen modulär humanoid robotplattform i förminskad skala "Hubert 2.0" med de av uppdragsgivaren ställda krav för projektet. Robotplattformen ska kunna användas vid utbildnings- och demonstrationssyften vid marknadsföring av Chalmers, samt för rekrytering av nya studenter.

## 1.3 Mål

Kandidatgruppen ska inom de 18 veckor som kandidatarbetet omfattar ta fram en prototyp till en robotplattform som ska kunna användas vid utbildning av studenter i kursen Humanoid-robotics. Den ska även användas i demonstrationssyften och marknadsföring av Chalmers på diverse mässor för att rekrytera nya studenter till kursen och till Chalmers. Prototypen ska därför ha en mer estetiskt tilltalande design än sin föregångare. Prototypen ska bestå av en överkropp med huvud och två armar, vidare ska det gå att fästa en kamera på robotens huvud för att möjliggöra robotseende. Robotens armar ska vara försedda med gripdon som möjliggör manipulering av mindre och lätta objekt. Roboten ska alltså kunna greppa och flytta ett objekt i ett förprogrammerat rörelsemönster. Den robotplattform som gruppen utvecklar ska demonstrera de grundläggande funktionerna som roboten ska kunna utföra.

Till den färdiga prototypen ska tillhörande ritningar och användningsanvisningar finnas

att tillgå för de studenter som behöver dessa under undervisningstillfället. Detta för att de med enkelhet ska kunna tillverka och modifiera de ingående delarna i roboten efter eget behov.

## 1.4 Avgränsningar

Eftersom prototypen som tillverkas ska användas i en kurs där förflyttning sker frekvent, bör storleken på denna anpassas så att den får plats i en stor bärkasse som finns att köpa hos de flesta butiker som bedriver dagligvaruhandel. För detta projekt används en bärkasse från Clas Ohlsson som referens med mått 58x38x36 cm, (Clas Ohlsson (n.d.)). Då prototypens användningsområde inte fokuserar på förflyttning, utan snarare på dess möjliga applikationer i samhället, kommer prototypen endast bestå av en överkropp. Eftersom kursen Humanoid-robotics fokuserar främst på applikationer för en humanoid robot i samhället anpassas den inte till industribruk. Övriga avgränsningar bestäms av kundens krav som specificeras i en kravspecifikation, denna modifieras under projektets gång.

På grund av utbrottet av pandemin COVID-19 (World Health Organization (2020)) under arbetets gång avgränsas gruppen till att bara delvis kunna tillverka prototypen i Chalmers Prototyplabb. Gruppen kommer endast hämta upp 3D-utskrivna delar från handledare Göran Stigler. Övrig tillverkning av prototypen avgränsas till de verktyg som finns att tillgå hemma hos gruppmedlemmarna. På grund av de restriktioner som råder under COVID-19 kommer avancerade maskiner eller tillverkningstekniker för viss bearbetning på prototypen inte att användas då gruppen inte har tillgång till schema-lagda arbetspass i Prototypverkstaden. (Chalmers (2020)) Möjligheten finns att beställa plåt detaljer utskurna med hjälp av en vattenskarare, men dessa kommer inte gå att bearbeta i Prototyplabbet. Därför utesluts maskiner som laserskarare, vattenskarare och punktsvets i prototyp tillverkningen. Det kommer inte monteras någon fysisk kamera på prototypen, men ett kamera fäste kommer att monteras för att möjliggöra för studenterna i kursen att använda detta.



## 2 Litteraturgenomgång

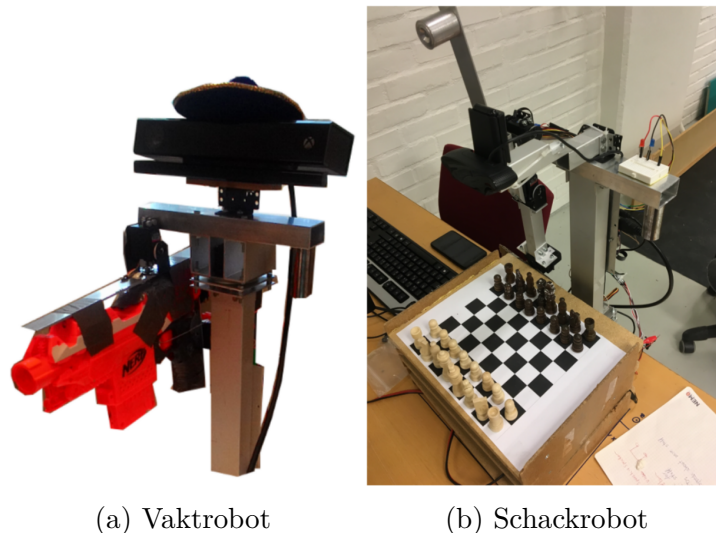
I litteraturgenomgången studeras rapporter från kursen Humanoid-robotics samt tidigare forskning inom ämnesområdet humanoida robotar. En marknadsundersökning genomförs för att erhålla kunskap om vilka typer av humanoider det finns på den nuvarande marknaden.

### 2.1 Tidigare forskning

Nedan studeras tidigare forskning inom ämnet humanoida robotar. Denna forskning består framförallt av studier som genomförts vid Chalmers tekniska högskola.

#### 2.1.1 Rapporter från TIF160 Humanoid-robotics

Den humanoida plattform som tas fram under detta projekt ska ersätta den nuvarande plattformen Hubert som används i kursen Humanoid-robotics. För att få insikt i vilka funktioner roboten ska kunna uppfylla, men även för att uppmärksamma tidigare problematik vid användandet av den nuvarande Hubert plattformen studeras därför två rapporter från kursen, se robotarna i figur 1a och figur 1b.



Figur 1: Hubert plattformens användning vid två olika tillfällen

Hubert har tidigare bestått av en överkropp med en arm och en kamera som huvud. Denna kamera var till för att uppnå robotseende och därmed hjälpa roboten att utföra en uppgift. I den ena rapporten som studerades användes Hubert som en schackrobot och hade därför en Logitech C920 HD Pro Webcam. Kameran tog ett kort på schackbrädet, bilden analyserades med hjälp av deras styrdator som sedan skickade signaler till roboten gällande var armen skulle förflyttas. I den andra rapporten användes istället en Kinect v2 kamera som direkt analyserade den uppfångade bilden i syfte att uppfatta rörelser och utföra ansiktsigenkänning. Detta för att kunna använda Hubert som en vaktrobot. Vaktrobotens kamera var istället kopplad till en extern dator för att kunna analysera bilddatan, därefter skickades signaler till roboten som utförde den önskade rörelsen.

Vaktroboten och schackrobotens armar är monterade på olika sätt då schackrobotens arm behöver tillåta upphämtning av pjäser från ovan. Detta då risken för kollision med övriga pjäser på schackbrädet undviks. Genom att robotarna i dessa arbeten har olika användningsområden är det av vikt att det finns olika monteringsmöjligheter för armarna på Hubert 2.0.

Hubert plattformen drivs av en styrdator som valdes utefter studenternas tidigare erfarenhet samt önskemål. Raspberry Pi 3 Model B och Arduino UNO var de styrdatorer som användes i de studerade rapporterna. Båda styrdatorerna klarade av att förse roboten med de önskade rörelserna. Vaktroboten var den enda roboten som krävde en extern dator för bildprocessering då de färdiga programmen till Kinect kameran inte var kompatibla med Arduino UNO.

Hubert tillverkades tidigare av metall vilket resulterade i att armen blev tung. För att balansera armen så att servomotorn skulle orka lyfta denna tillverkades därför en tyngd som hängde på andra sidan av axeln. Vridmomentet som uppstod i axeln beräknades vara stort och därför valde en av grupperna att byta ut den servomotorn mot en starkare sådan. Det framgick i deras arbete att en starkare motor även hade varit att föredra i armbågsleden då vridmomentet som orsakas av gravitationen där blev för högt.

### 2.1.2 Vetenskapliga studier

När humanoida robotar tas fram för att analysera speciella funktioner och inte för att studera uppbyggnaden av humanoida robotar läggs stora tidsresurser på att skapa infrastrukturen för humanoiden. På grund av detta framtog YARP (Yet Another Robot Platform) som är ett projekt med öppen källkod bestående av den införsamlade kunskap som projektets innovatörer införskaffat genom att bygga humanoida robotar, (Giorgio Metta (2006)). YARP innehåller stöd för bildprocessering samt klasshierarkier för att enkelt kunna återanvända kod mellan olika hårdvaruplattformar. Koden är uppdelad i mindre organiserade processer, där koden utför enkla uppgifter. Målet med detta är att kunna kombinera olika processer för att uppnå det önskade resultatet. Vid skrivandet av studien kunde plattformen användas på Windows, Linux och QNX6 som alla är vanliga operativsystem inom robotik vilket gjorde det möjligt för gemene man att använda sig av plattformen.

Många gör det felaktiga antagandet att en till utseendet mer människoliknande robot är att föredra. I en studie som genomförts vid Oxfords universitet har forskare studerat något som kallas "Uncanny valley" som syftar på hur människor uppfattar humanoida robotar, (Ayse Pinar Saygin (2011)). I denna studie framgår det att en människas ställning mot en humanoid robot blir mer positiv allt eftersom roboten blir mer människolik, men detta bara fram till en viss punkt. Vid denna punkt liknar den en människa för mycket vilket gör att roboten uppfattas som konstig och ofamiljär.

För att kunna dra denna slutsats studerades den mänskliga hjärnans reaktion på stimuli baserat på utseendet och agerandet hos en robot. Ett antal vuxna testpersoner studerades när de observerade tre objekt utföra samma rörelse: en människa, en android som såg ut som människan och en robot bestående av skelettet från androiden. För människan och den vanliga roboten var rörelsemönstret likt det som de studerade människorna förväntade sig, vilket resulterade i låg reaktion i de studerade hjärnregionerna.

Androiden däremot rörde sig inte som de förväntade sig då den såg ut som en människa men rörde sig som en robot vilket ledde till en stor reaktion i de studerade hjärnregionerna.

Sedan Chalmers påbörjade sitt arbete med humanoider har ett flertal varianter tagits fram för att uppnå olika ändamål. Majoriteten av dessa humanoider är helkroppshumanoider där mycket tid och energi har lagts för att få en stadig gångrörelse. Chalmers första humanoid var Elvis som framtogs 1998. I en rapport om ett arbete med ELVIS från 1999 lett av Peter Nordin och Mats G Nordahl diskuteras utvecklingen av arkitekturen hos ELVIS, (Peter Nordin (1999)). När rapporten skrevs var ELVIS en skalenlig modell på 60 cm som rör sig med hjälp av 42 servomotorer som skapar en stor grad frihet i ben, armar och händer. ELVIS guidades i detta arbete med hjälp av mikrofoner, kamera och sensorer med målet av att kunna gå och navigera runt ett område. Elvis har utvecklats mycket sedan rapporten skrevs och idag ligger fokus på att göra Elvis till en fullskalig humanoid med ett människolikt skelett i plast.

En annan humanoid som tagits fram på Chalmers är Elvina som ursprungligen togs fram som ett lågkostnadsalternativ för att använda i forskning. Elvina är en mindre, fullt autonom helkroppsrobot på 28 cm, (Krister Wolff (2003)). En liknande robot som har används i samband med Elvina är ZORC som är en fullt autonom humanoid på 35 cm, (Jens Ziegler (2001)). Båda dessa robotar är tillverkade efter samma dimensioner som den mänskliga kroppen med styrdator monterade på ryggen som en rygsäck. Dessa robotar framtogs främst för att studera gångfunktionen.

## 2.2 Marknadsundersökning

Förutom dessa rapporter har en undersökning även genomförts för att ta reda på vilka andra humanoider det finns på marknaden.

### 2.2.1 POPPY

En humanoid som existerade på marknaden var Poppy som är en plattform med öppen källkod, (Poppy-team (2019)). Poppy kommer i tre varianter humanoid, Torso och Ergo Jr. I figur 2 går det att se Poppy Torso som är en förenkling av humanoid varianten och består endast av en överkropp. Poppy Torso är därför av intresse för kandidatarbetet då endast en överkropp ska utvecklas. För att fästa överkroppen på en yta används sugproppar på robotens botten. I Poppyroboten används Dynamixel-motorer istället för vanliga servomotorer. Dessa motorer är optimerade för att användas i robotar med flera leder. En dynamixelmotor har en DC motor, reduktionsväxel, kontroll, driver och nätverk i en och samma servo till skillnad från vanliga servon där man kan behöva addera dessa, (ROBOTIS (n.d.)).



Figur 2: POPPY Torso

### 2.2.2 RAPIRO

En annan humanoid som existerar på marknaden är RAPIRO. RAPIRO är en mindre helkroppss humanoid som styrs av vanliga servomotorer. Den är kompatibel med både Arduino och Raspberry Pi, men en Raspberry Pi rekommenderas om fler funktioner önskas, (Kiluck (n.d.)).

### 2.2.3 PEPPER

Pepper är världens första sociala humanoid som är framtagen av SoftBank Robotics. Pepper kan känna igen ansikten och vanliga känslor och är därmed optimerad för mänsklig interaktion. Flera tusen företag använder Pepper som en assistent för att välkomna eller guida gäster. Pepper har 20 frihetsgrader för att generera ett naturligt rörelsemönster. Den är dessutom utrustad med ett flertal sensorer för att kunna navigera autonomt, (Robotics (n.d.b)).

### 2.2.4 NAO

NAO är en mindre humanoid på cirka 60 cm som är framtagen av SoftBank Robotics som ett utbildnings -och forskningsverktyg. För att kunna röra sig har den 25 frihetsgrader. Den är även utrustad med fyra mikrofoner för att kunna interagera med människor och kan förstå 20 olika språk. För att kunna förstå sin omgivning är den utrustad med ett flertal sensorer i huvudet, händerna och fötterna. NAO är även försedd med en 2D-kamera för att kunna processera former, objekt och människor. (Robotics (n.d.a))

## 3 Metod

Den produktutvecklingsmetod som har använts i projektet innefattar en process av konceptgenerering som genomgår elimineringsmatriser. Processen stöds sedan upp med hjälp av metoder som kravspecifikation, beräkningar, 3D-modellering och praktiska tester.

I detta kapitel presenteras det upplägg av metoder och verktyg som används under projektets gång. Användandet samt resultaten av dessa presenteras i nästkommande kapitel.

### 3.1 Kravspecifikation

För att säkerställa att den slutgiltiga lösningen uppfyller kundens och kandidatgruppens krav och önskemål, upprättades en kravspecifikation. Varje krav och önskemål tilldelades ett tydligt målvärde om möjligt, det definierades vem som ställt ett visst kriterie och en verifieringsmetod tilldelades för att mätbart kunna avgöra om lösningen följde kravspecifikationen.

#### 3.1.1 Viktning av önskemål

Genom att vikta önskemålen enskilt mot varandra erhöles en bra överblick på vilket önskemål som skulle prioriteras ifall en konflikt uppstod mellan dem eller om projektet skulle bli begränsat på grund av tid eller pengar. Viktningen skall hållas så objektiv som möjligt, men vid bristande tester eller information kan viktningen även baseras på mer subjektiva åsikter.

### 3.2 Tidsplan

För att erhålla en god översikt över planeringen av arbetet användes en tidsplan. Denna tidsplan har behövt revideras under arbetets gång på grund av omständigheterna som följde med COVID-19. För ordinarie tidsplan, se bilaga C, för den reviderade, se bilaga D.

### 3.3 Konceptgenerering

Med hjälp av en litteraturgenomgång, tidigare erfarenheter och en kravspecifikation genomfördes en konceptgenerering för att ta fram förslag på olika lösningar till den prototyp som tillverkas i projektet. Denna process beskrivs i detta avsnitt.

#### 3.3.1 Idégenerering

Under idégenereringen främjades medlemmarnas kreativa sidor för att hitta så många olika lösningar som möjligt. Alla förslag dokumenterades oavsett möjligheten att implementera dessa för att inte begränsa kreativiten.

#### 3.3.2 Morfologisk Matris

För att enkelt generera koncept och lösningsförslag på de problem som kan komma att uppstå gällande konstruktionen prototypen användes en morfologisk matris. Genom att

delar upp problemet i flera relevanta delproblem skapas dellösningar och det blir på så sätt enklare att ta fram en helhetslösning på prototypen. Dessa presenteras i en tabell med ett delproblem i varje rad och dess lösningar i kolumnerna. Genom att sedan välja olika kombinationer och korsbefrukta dellösningarna kan en mängd helhetslösningar, alltså koncept tas fram, (Johannesson et al. (2004)).

### **3.4 Koncepteliminering**

För att på ett tidseffektivt sätt eliminera antalet koncept till en slutgiltig lösning som vidareutvecklas används tre olika beslutsmatriser.

#### **3.4.1 Elimineringssmatris**

En elimineringssmatris användes för att sortera bort de koncept som inte uppfyllde de definierade kraven för projektet. Varje koncept bedömdes mot kraven och erhöll ett plus- eller ett minustecken. Om något av kraven inte gick att bedöma för konceptet erhöll det ett frågetecken i matrisen. Om ett koncept fick ett minustecken så eliminerades det direkt och bedömdes därmed inte mot de kvarstående kraven i matrisen, (Johannesson et al. (2004)).

#### **3.4.2 Pugh-Matris**

En Pugh-matris användes i projektet som en relativ beslutsmatris där koncepten viktades för att avgöra vilken av dem som bäst uppfyllde de uppsatta kraven. Ett referenskoncept valdes som de resterande koncepten jämfördes med. Summan från varje koncept erhöll ett totalvärde som användes för att ranka vilket koncept som stod sig bäst mot referensen. Denna process itererades tills den mängd information som erhölls ansågs tillräcklig och därmed kunde gruppen fatta beslut om vilka koncept som skulle elimineras, (Johannesson et al. (2004)).

#### **3.4.3 Kesselringssmatris**

I Kesselringssmatrisen viktades koncepten på en skala mellan 1-10 utifrån hur väl de uppfyllde var och en av projektets önskemål. Resultatet multiplicerades sedan med vikten på varje önskemål, se 3.1.1, och det koncept som fick det högsta summerade värdet utgjorde det vinnande konceptet, (Johannesson et al. (2004)).

### **3.5 Tillverkning av testobjekt för utvärdering av koncept**

För att kunna utvärdera de olika koncepten baserat på hållfasthet samt tillverkningsbarhet användes testobjekt. De olika varianter som var i behov av att studeras fysiskt 3D-utskrevs eller tillverkades genom plåtbockning för att kunna testas. Böjningstest genomfördes där delarna belastades för att se hur mycket de böjdes och var brytpunkten fanns. Dessutom monterades testobjekten för att upptäcka svårigheter i monteringen eller felberäkningar gällande mått och placeringar av infästningarna.

### **3.6 Beräkningar**

För att underlätta valet av servomotorer som kan användas till prototypen utfördes enkla momentberäkningar med hjälp av formeln:

$$M = F * l \text{ (moment = kraft * längd)}$$

För att avgöra prototypens stabilitet beräknades även prototypens totala moment för att ta reda på om den har en momentjämvikt:

$$M_{höger} - M_{vänster} = 0$$

Tyngden på prototypens armar är en väsentlig del av projektet. I rapporter och generell kritik som framförts skrivna i samband med kursen Humanoid-robotics framgick det att tyngden på robotens armar har haft stor påverkan på robotens möjlighet att utföra en uppgift. Detta då lyftförmågan både i hastighet samt kapacitet har påverkats negativt av vikten. En robot med en lägre vikt underlättar även vid förflyttning, vilket är en punkt i kravspecifikationen. För att beräkna materialvikten användes formeln för densitet:

$$m = V * \rho \text{ (massa = volym * densitet)}$$

En annan viktig punkt vid utvecklingen av prototypen var att undersöka de rörelsemönster som roboten kan utföra. Hur långt prototypen kan nå och möjligheten att genomföra dess uppgift undersöktes för att verifiera att prototypen klarade av en simpel uppgift.

## 3.7 CAD & tillverkning

För att visualisera och tillverka ett slutgiltigt koncept användes en framställningsprocess som består av att rita upp prototypens olika delar i CAD för att sedan skriva ut dem i plast med hjälp av en 3D-skrivare. Från skisser av den slutgiltiga prototypen mo-

dellerades alla dess delar i ett CAD-program. I detta projekt användes CATIA V5 samt Autodesk Inventor 2020. De färdiga delarna exporterades till ett STL filformat, vilket krävdes för att 3D-skrivaren skulle kunna hantera filen.

3D-utskrivning är en komplicerad process som har många faktorer som påverkar resultatet. Ett exempel på en faktor som påverkar är hur delen är konstruerad, då viss konstruktion förvärrar 3D-utskrivningen. Exempel på detta är 45°-regeln som säger att överhäng inte får ha en lägre vinkel än 45° mot horisontalplan. Vid en lägre vinkel behövs stödmaterial som senare måste plockas bort. Ett annat exempel är hur "fibrerna" är lagda, detta påverkar hållbarheten väsentligt. Vissa delar kan även behöva fyllas med filament där det enligt modellen egentligen är ett hålrum, detta krävs för att komponenten inte ska deformeras vid utskriften. Därför är det av vikt att tänka på vilket håll komponenten skrivs ut för att undvika eventuella överhäng och hålrum. Andra faktorer är materialval vilket medför olika egenskaper, skrivarens begränsning gällande noggrannhet och volym på utskrivningsområde etc.

### 3.7.1 FEM-analys

En FEM-analys (Finita element metoden) användes för att ta reda på konstruktionens svaga punkter samt för att jämföra hållfastheten på olika konstruktioner. Genom att dela in konstruktionen i mindre bitar med hjälp av ett rutnät och genomföra spänningsberäkningar kan ett mer exakt resultat beräknas för konstruktionens alla ytor.

FEM-analyser för 3D-utskrivna konstruktioner är inte helt pålitliga. Eftersom 3D-skrivaren bygger upp konstruktionen i flera lager av smält plast likt trådar, är hållfastheten på konstruktionen olika beroende på vilket håll skrivaren lägger trådarna. Detta är en av utmaningarna vid tillverkningen och konstruktionen av 3D-utskrivna delar, (Zeltmann et al. (2016)). Därför användes inte FEM-analysen i detta projekt för att hitta svaga punkter i konstruktionen, utan snarare för att jämföra olika konstruktioner. FEM-analysen genomfördes i detta projekt med hjälp av en inbyggd beräkningsfunktion i CAD-programmet Inventor.



## 4 Genomförande

För att utveckla Hubert 2.0 har prototypen tagits fram genom flera iterationer av olika metoder för att sedan utvecklas, konstrueras och testas. Detta kapitel behandlar projektgruppens genomförande av projektet från idégenerering till färdig prototyp.

### 4.1 Kravspecifikation

Redan under ett tidigt skede i projektarbetet upprättades en kravspecifikation, se bilaga E. Detta kapitel motiverar kraven och önskemålen uppkomst.

De kriterier som ställdes i projektet är indelade i tio olika områden: funktion, prestanda, storlek, användarmiljö/förvaring, livslängd, material, kostnad, design, underhåll och säkerhet. Projektets kravställare var framförallt kunden, men också kandidatgruppen för att kunna komplettera med relevanta kriterier för kvalitet.

Verifieringsmetoden för kriterierna återfinns i kravspecifikationen (bilaga) och resultatet av dessa diskuteras i kapitel 6, Diskussion.

#### 4.1.1 Funktion

De krav på funktioner som kunden definierat för prototypen var att denna ska kunna röra sig i tre dimensioner, styras av en mikrodator, kunna monteras ihop på mer än två olika sätt (modulär), styras med hjälp av servomotorer och möjliggöra robotseende med ett kamerafäste. Energikällan ska vara elektrisk, där batteridrift är ett önskemål om tid finns. Ett krav på att prototypen ska kunna manipulera objekt bestående av fler än två olika material kompletterades även av kandidatgruppen samt ett önskemål om att prototypen ska vara stadig och ej kunna vältas vid normal användning (inom kravspecifikationens kriterier).

#### 4.1.2 Prestanda

Prestandan på prototypen valdes av kandidatgruppen inom de målvärden som kunde garanteras. Prototypen skulle klara av ett lyft på 100 g utan svårigheter då den behöver klara av att manipulera mindre objekt som schackpjäser, men ett önskemål var att den minst behöver klara av 500 g. Detta eftersom det ansågs som överflödigt att kunna lyfta mer. För att kunna garantera en prototyp med bättre tålighet valdes även ett krav till att prototypen ska kunna vältas från stående position utan att gå sönder. Detta med antagandet att den inte faller från en högre höjd eller ej påverkas av föremål i omgivningen.

#### 4.1.3 Storlek

Eftersom den framtida Hubert ska kunna transporteras med hjälp av till exempel en bärkasse, har prototypens mått begränsats till 680x360x380 mm (HxBxD). Dessa mått utgår från måtten på en bärkasse från Clas Ohlsson, (Clas Ohlsson (n.d.)), men med ett tillägg på 100 mm eftersom kassen kan töjas på olika håll. Ett önskemål sattes till att vikten ska vara mindre än fem kg av kandidatgruppen då prototypen behöver vara transportvänlig. Detta klassades som ett önskemål eftersom prototypens funktionalitet och prestanda var viktigare.

#### 4.1.4 Användarmiljö & förvaring

Omgivningsmiljön vid användning och förvaring av prototypen har kravsatts eftersom den inte konstruerats för utomhusbruk. Kandidatgruppen satte därför ett krav på att prototypen ska klara av en luftfuktighet på 70% (normal luftfuktighet inomhus: 30-70%, (Intab (n.d.)) och en temperatur på 24°C (inomhustemperatur, Intab (n.d.)). Ett krav på att ljudnivån från prototypen inte ska överstiga 85 dB har även definierats eftersom detta ligger strax under den ljudnivå som kan orsaka hörselskador på känsliga personer vid längre exponeringstid, (Folkhälsomyndigheten (n.d.)).

#### 4.1.5 Livslängd

Eftersom syftet med prototypen bland annat är att den ska användas i en kurs på Chalmers, har ett minimikrav på prototypens livslängd angetts till åtta veckor (kursens längd). För att den sedan ska kunna vara lönsam för kunden har kandidatgruppen även lagt till ett önskemål på att prototypen ska hålla i minst fem år.

#### 4.1.6 Material

För att prototypen lätt ska kunna modifieras utefter användarens önskemål har kunden önskat att delar av prototypen som ej köps in ska tillverkas i 3D-utskrivna delar, dock kan detta ändras om annat material anses vara mer passande för prototypen. Kandidatgruppen har även satt ett önskemål på att alla tillverkade delar ska kunna återvinnas. För att inköpta delar ska vara lättillgängliga och lätta att hantera har kunden även satt ett krav på att dessa ska vara standardiserade och hobbyklassade. Ett krav på samtliga material som tillverkas eller köps in är att de ska vara lagliga i Sverige.

#### 4.1.7 Kostnad

Eftersom kunden inte satt någon begränsning på kostnaden av prototypen så har kandidatgruppen satt ett önskemål på att tillverkningskostnaden för prototypen ska vara mindre än 2000 kr då detta är vad kandidatgruppen fått för resurser att röra sig med.

#### 4.1.8 Design

De krav på design som kunden definierat är att prototypen ska vara humanoid och mer estetiskt tilltalande än Hubert. Gruppen skapade en enkät för att erhålla så många synpunkter som möjligt gällande prototypens utformning och design. Detta för att konkretisera hur estetiskt tilltalande Hubert 2.0 var jämfört med original Hubert.

Kandidatgruppen har även definierat önskemål på att prototypen ska vara transportvänlig och enkel att montera.

#### 4.1.9 Underhåll

För att enkelt kunna underhålla prototypen har den ett krav på att kunna demonteras på mindre än en timme. Det ska även finnas ritningar och manualer för att kunna reproducera delar om det behövs samt för att förenkla vid serietillverkning av prototypen.

#### 4.1.10 Säkerhet

För en säker produkt har kandidatgruppen lagt till önskemål om att klämrisk och värmeutvecklingen på prototypen ska vara minimala. Önskemålet att prototypen inte ska vara tillverkad med elektriskt ledande material och värmeledande material har definierats för att minska risk för stötar och brännskador vid produktfel eller utmattande användning av prototypen. Kunden har även satt ett krav på att det inte ska förekomma vassa delar på prototypen eftersom incidenter, på grund av vassa delar på original Hubert, inträffat vid tidigare kurstillfällen.

#### 4.1.11 Viktning av önskemål

De önskemål som definierades viktades mot varandra, se bilaga F. Varje önskemål viktades enskilt mot ett annat där det mest viktiga konceptet fick en 1:a och det andra en 0:a. Om önskemålen anses lika viktiga får båda 0,5. Varje önskemål tilldelades därefter en storleksom var totalsumman av poängen. Dessa användes sedan för att beräkna proportionsen på önskemålets storlek, detta resulterade i önskemålets vikt.

## 4.2 Idégenerering

Tidigt i projektet valde kandidatgruppen att implementera inslag från produktutvecklingskurser på Chalmers. Detta val motiverades av att de är väldokumenterade, beprövade och till gruppmedlemmarna kända processer som genererar flera olika lösningar. Genom att applicera denna metod reduceras risken för att låsas vid en viss typ av lösning tidigt under projektets gång. Processen och metodiken bakom konceptvalet förklaras grafiskt i figur 3 och de olika metoderna beskrivs ingående i delkapitlet nedan.

Inledningsvis diskuterades prototypens möjliga motorik med hjälp av skisser på olika överkroppar med tillhörande punkter som medgav rörelse. Detta spår övergavs då det insågs att utseendet kan väljas och anpassas av de faktiska användarna, studenterna vid kursen Humanoidrobotics. Fokus lades istället på utseendet av de olika delarna samt infästningen mellan dessa.

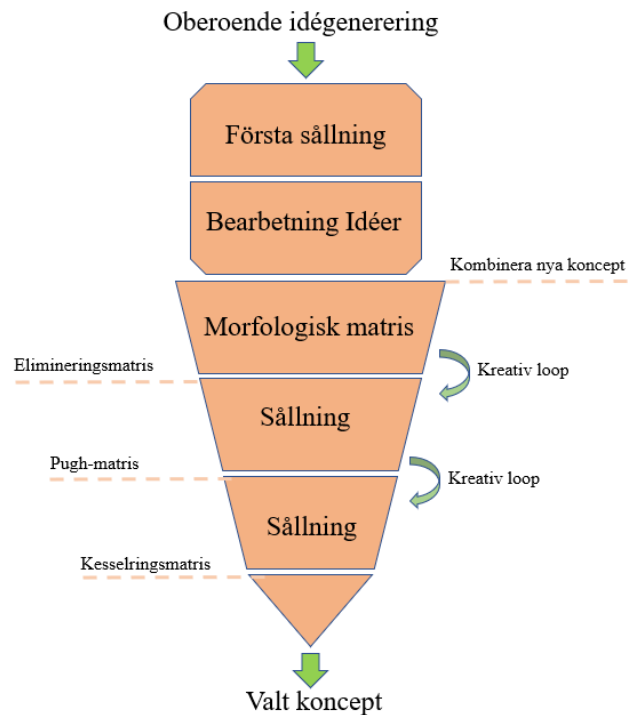
Under idégenereringen togs det fram olika utseende och funktioner på konstruktionen så som profiltyp, olika typer av infästningar och val av mikrodator etc. Vid detta tillfälle skapades även en blackbox för funktionen att röra armen". Det uppfylls genom att en motor får en signal från en dator som i sin tur tar emot information från användaren genom ett datorprogram.

Till mötet hade CAD använts för att modellera upp enkla provisoriska armar till prototypen. Ett rör med kvadratisk tvärsnitt samt en liknande arm bestående av fackverk, se bilaga A, skrevs ut i en 3D-skrivare. Genom att tidigt i processen interagera med en fysisk del av prototypen kunde gruppen lättare visualisera en möjlig konstruktion och utseende på den slutgiltiga prototypen.

Idéerna som togs fram under idégenereringen fördes sedan igenom en morfologisk matris för att skapa flera olika koncept, se nedan.

## 4.3 Morfologisk Matris

Från idégenereringen erhöles ett antal olika lösningar på prototypens uppbyggnad. Lösningförslagen gällde utformning av delar, delarnas profil, ifyllnad, infästning av delar (mot delar samt motorer), bas, styrdator, motorer, gripdon och robotseende. Lösningar



Figur 3: Metodik för konceptval

till dessa fördes in i en Morfologisk matris, se bilaga G. För att få en variation på koncepten valde varje gruppmedlem fyra olika kombinationer av lösningsförslag på valfritt sätt. Detta resulterade i 20 korsbefruktade koncept, som sedan fördes vidare till elimineringsmatrisen.

#### 4.4 Elimineringssmatris

De 20 koncept som framtoogs ifrån den Morfologiska matrisen radades upp i elimineringsmatrisen, se bilaga H, där endast fem koncept uppfyllde kraven från kravspecifikationen. Dessa fördes vidare till Pugh matrisen.

#### 4.5 Pugh-Matris

Efter att ha låtit koncepten gå igenom elimineringsmatrisen kvarstod fem. Gruppen skapade även tre nya koncept, ett starkt (Pippi), ett nybörjarvänligt (Rookie) och ett med funktioner som upplevdes som underrepresenterade (Teleskopet). Pippi var det som utifrån den Morfologiska matrisen erhöll den mest stabila och hållfasta konstruktionen, Rookie var det mest lätthanterliga konceptet för en ovan användare och Teleskopet var ett koncept med funktioner som underrepresenterades bland de övriga fem. De nya koncepten tillsammans med de fem som kvarstod från elimineringsmatrisen utgjorde tillsammans åtta koncept, dessa fördes in i en Pugh-matris. Alla koncept tilldelades namn för att referera till de olika koncepten och underlätta vid benämningen av dessa, se tabell 1.

Tabell 1: Kvarvarande koncept

Efter eliminering		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Koncept 1	Basala Bertil	1	2	2	1	1	3	1	1	5	
Koncept 2	Usvängen	1	4	2	1	4	2	1	7	4	
Koncept 16	Legogubben	1	1	5	6	4	2	1	1	1	
Koncept 18	Rörmockaren	4	1	2	1	1	2	1	1	4	
Koncept 20	Picknicken	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
ny 1	Koncept utfyllnad	Teleskopet	2	2	3	2	5	3	1	7	-
ny 2	Stark	Pippi	4	1	1	1	4	-	1	7	-
ny 3	Nybörjaren	Rookien	2	2	2	2	1	2	1	1	4

Dessa koncept beskrivs mer ingående i bilaga L

Pugh-matrisen användes två gånger, i den första matrisen valdes referenslösningen till Basala Bertil och respektive koncept jämfördes mot denna. Efter att ha genomfört Pugh-matrisen kunde de koncept som jämförts med Basala Bertil rangordnas. De koncept som rankades sämst i den första Pugh-matrisen var Legogubben och Teleskopet. Det koncept som rankades bäst som således valdes till den nya referenslösningen i nästa iteration av Pugh-matrisen var U-svängen. Se bilaga I.

Processen itererades, men denna gång med U-svängen som referenslösning. De koncept som rankades sämst efter denna Pugh-Matris var Legogubben, Rörmokaren och Picnicen. Det koncept som rangordnades bäst var Rookie, se bilaga J. Legogubben hade ran-

kats som sämst i båda Pugh-matriserna och vidare rankades även Teleskopet, Rörmokaren och Picnicen som dåliga. Trots detta valde gruppen att inte eliminera några koncept i detta skede utan tog med alla till Kesselringsmatrisen.

## 4.6 Kesselringsmatris

Efter att ha genomfört två iterationer av Pugh-matrisen valde gruppen att ta med alla koncept in i Kesselringsmatrisen för att slutligen utse en principlösning av de åtta kvarstående koncepten, se bilaga K. Ur Kesselringsmatrisen framgick det att de sämsta koncepten var Legogubben, Teleskopet och Picnicen som redan i Pugh-matriserna fått dåliga resultat, därmed eliminerades dessa. Efter studier av konceptet Pippi och Rörmokaren samt konsultation med handledare insåg gruppen att dessa koncept var väldigt snarlika och slogs därför samman till Pippi 2.0, ifyllnaden ändrades från solid till ihålig. Då antalet koncept reducerats återstod endast fyra, dessa var Pippi 2.0, Basala Bertil, U-svängen och Rookie. Pippi 2.0 och Basala Bertil utgjorde tillsammans de två koncept som rankats bäst av de åtta koncept som tagit sig igenom elimineringsmatriserna och var de som projektgruppen valde att gå vidare med i konceptgenereringsprocessen.

U-svängen eliminerades då den var snarlik Basala Bertil förutom att de hade olika konstruktion gällande profil och bas. Då Basala Bertil rankades högre och U-svängen var väldigt snarlik denna så eliminerades även U-svängen. Rookie eliminerades då infästningarna bestående av klips bedömdes som allt för svåra att konstruera. Detta dels på grund av svårigheter i 3D-utskrivningen, men även då det skulle krävas snäva toleranser för att få den att fästa korrekt utan alldeles för mycket glapp. Picnicen eliminerades på grund av att den inte hade någon funktion som ansågs särskilt annorlunda mot de som rankades högst, den bestod även av solida profiler vilket skulle göra den onödigt tung därav eliminerades den även med hänsyn till den vikt som servomotorerna skulle behöva klara av att lyfta.

Legogubben eliminerades trots innovativa infästningsanordningar då den bedömdes vara alldeles för tekniskt svår att konstruera. För legolösningen skulle kravet på snäva toleranser vara av yttersta vikt och därmed svår att tillverka, men även de raka profilerna och den cirkulära formen bestående av fackverk ansågs vara för tekniskt svårt att konstruera. Teleskopet var en lösning som eliminerades då teleskopfötterna ansågs onödiga. Funktionen att teleskopiskt kunna ändra på robotens höjd ansågs även onödig då detta lätt kan korrigeras genom att antingen bygga upp roboten av fler eller färre byggnadsklossar.

## 4.7 Tillverkning av testobjekt för utvärdering av koncept

Efter den slutgiltiga elimineringsprocessen kvarstod två koncept. För att erhålla bättre förståelse för konstruktionsprocessen och prototypens uppbyggnad framställdes ett antal testobjekt i Prototypverkstaden. Dessa testobjekt togs fram genom 3D-utskrivning och plåtbockning. Dessutom skrevs det ut två 3D-utskrivna armdelar av POPPY humanoiden (Poppy-team (2019)) för att utvärderas mot de egen framtagna testobjekten.

Efter konsultation om 3D-utskrivning av runda profiler med kandidatgruppens handledare Göran Stigler konstaterades det att det skulle bli tidskrävande och svårt att kon-

struera, därmed valde projektgruppen att eliminera konceptet Pippi 2.0 för att gå vidare med konceptet Basala Bertil som referenslösning till det slutgiltiga konceptet.

För att utvärdera olika typer av infästningsanordningar tillverkades olika testobjekt genom 3D-utskrivning. Tre olika skruvinfästningar utvärderades och en klipsinfästning.

Klipfästningen, se figur 7, var skör och gick sönder enkelt på grund av icke-elastic plast och var dessutom svår att tillverka, därav eliminerades den. De olika skruvfästningarna jämfördes mot varandra genom testmontering. Fästet som togs ifrån POPPY, se figur 5, var svår att montera då den var uppdelad i flera mindre delar. Ändbrickan, se figur 6, skulle fästas genom att skruva fast den på änden av axeln. Denna infästning var inte optimal då armens tyngd helt och hållet hade vilat på servomotorns axel därav eliminerades denna. Det kvarvarande L-fästet, se figur 4, togs vidare som val av infästning.



Figur 4: L-fäste



Figur 5: Fäste tagit från POPPY



Figur 6: Ändbricka



Figur 7: Klips-fäste

## 4.8 Fastställande av referenslösning

Fastställandet av en referenslösning förenklar framtagningen av det slutgiltiga konceptet och fungerar som en bra grund i vidareutvecklingen av konceptet där kommande lösningar baseras på grundidén.

Basala Bertil består av raka delar med kvadratisk profil, delarna är ihåliga och fästs med skruvförband. Prototypen står på en stor platta och styrs med mikrodator Arduino, rörelser i leder möjliggörs med servomotorer. Manipulering av objekt sker med hjälp av en klämma (gripklo) och robotseende möjliggörs med webbkamera.

Dessa delar vidareutvecklades till det slutgiltiga konceptet Hubert 2.0. Genom att skriva ut olika 3D-utskrivningar med olika utseende och konstruktion som bygger på referenslösningen kan ett slutgiltigt koncept tas fram. Kameran till det slutgiltiga konceptet är inte definierad och gruppen ska framförallt utveckla ett kamerafäste som möjliggör robotseende.

## 4.9 Beräkningar

Under projektet genomfördes beräkningar till grund till olika beslut, vilket presenteras i detta kapitel.

### 4.9.1 Motorernas krävda moment

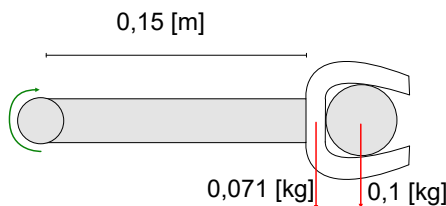
Det gjordes en uppskattning av det största moment som en servomotor behöver generera för att klara av att utföra uppgiften. Momentet i armbågen approximerades till 0,25 Nm. Armen antogs då vara 0,15 m lång och objektet som skulle hanteras valdes till 0,1 kg enligt kravspecifikationen. Gripklon väger 0,071 kg enligt tillverkaren, se figur 8. Ekvationen tecknas då som:

$$0,15 * (0,1 + 0,071) * 9,82 = 0,25 [Nm] \quad (1)$$

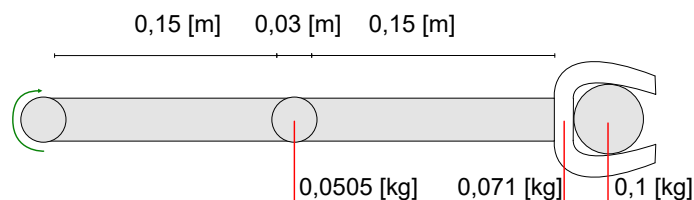
Även en beräkning av det krävda momentet i axeln utfördes. Till denna beräkning adderades även en till arm och servot i armbågen. Armen antogs vara lika lång som i föregående fall, alltså 0,15 m och servot väger 0,0505 kg enligt tillverkare. Ledet i armbågen uppskattades till att vara 0,03 m, se figur 9. Detta resulterade i det totala momentet 0,628 Nm, se följande ekvation:

$$0,33 * (0,1 + 0,071) * 9,82 + 0,15 * (0,0505) * 9,82 = 0,628 [Nm] \quad (2)$$





Figur 8: Moment för armbåge

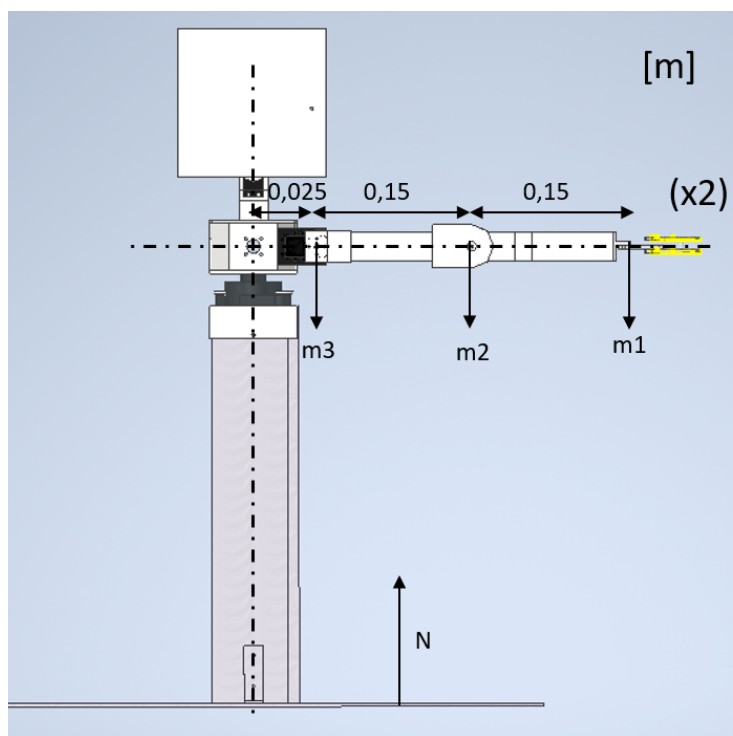


Figur 9: Moment för axel

#### 4.9.2 Plattans storlek

För att ta reda på den essentiella storleken på plattan beräknades momentet från normalkraften som plattan behöver bidra med. Eftersom prototypen är symmetrisk kommer endast de moment som skiljer sig, alltså armarnas gravitation att räknas med. De största tänkbara momenten åt ett håll sker när båda armarna är i en position rakt fram (samma utfall med båda armarna rakt bak). Därför beräknades plattans storlek utifrån momentjämvikt i detta fall, se figur 10.

Liknande föregående momentberäkningar på armen (ekvation 2) approximeras vikterna till olika punkter i armen men med en approximation uppåt, ex. armdelens vikt beräknas ute vid gripklon. Se tabell över vikter i kapitel 5.3.



Figur 10: Masspunkter och moment

Masspunkter:

- $m_1 =$  objektet (0,1 kg) + gripdon + armdel
  - $M_1 = m_1 * g * (0,15 * 2 + 0,025) = (0,1 + 0,071 + 0,026) * 9,82 * (0,15 * 2 + 0,025) = 0,63 Nm$
- $m_2 =$  Bluebird motorsystem + armdel
  - $M_2 = m_2 * g * (0,15 + 0,025) = (0,105 + 0,026) * 9,82 * (0,15 + 0,025) = 0,23 Nm$
- $m_3 =$  XYZ motorsystem
  - $M_3 = m_3 * g * 0,025 = 0,095 * 9,82 * 0,025 = 0,02 Nm$

Eftersom momentet i prototypens mitt är samma som momentet längst ner på prototypen kan följande ekvation användas för att ta reda på hur mycket motmoment som plattan behöver ge:

$$M_{platta} = (M_1 + M_2 + M_3) * 2 = (0,63 + 0,23 + 0,02) * 2 = 1,76 Nm \quad (3)$$

Området av plattan som är framför mittpunkten av prototypen ger en normalkraft uppåt med tyngdpunkten i mitten av området, vilket i sin tur är motmomentet  $M_{platta}$ .

Detta ger en ekvation för områdets area vilket är halva plattans area. Eftersom plattan är kvadratisk fås följande ekvation för plattans längd  $x$  med en tjocklek på 3mm:

$$M_{platta} = 9,82 * \frac{m_{platta}}{2} * \frac{x}{4} \quad (4)$$

$$m_{platta} = x * x * 0,003 * 2700 \quad (5)$$

omskrivning:

$$x = \sqrt[3]{\frac{M_{platta} * 2 * 4}{9,82 * 0,003 * 2700}} = 0,56 \quad (6)$$

Vikten på plattan:

$$m_{platta} = 0,56^2 * 0,003 * 2700 = 2,5 kg \quad (7)$$

Alltså behöver vara minst 0,56x0,56x0,003 m och väga 2,5 kg för att prototypen ska kunna stå stadigt med en aluminiumplatta. Eftersom att prototypen ska vara i rörelse behövs det även lite marginal då rörelse medför en acceleration och därmed kraft i rörelseriktningen. Plattans slutgiltiga storlek bestäms därför till 0,6x0,6x0,003 m och vikten 2,9 kg.

### 4.9.3 Densitet på material

Beräkningar genomfördes även på olika delar med avseende på vikt. Här visade det sig att de 3D-utskrivna armarna var ett bättre alternativ jämfört med andra tänkta alternativ så som plåt- och aluminiumrör. Detta framgår enligt ekvationerna nedan, längden på metallröret sätts till 84,25 mm för att likna H-armen och är 20 mm i diameter samt 1 mm tjock:

$$Area\ aluminiumrör : \pi * (0,03 - 0,029) / 4 \approx 0,000785 m^2$$

$$Volym\ aluminiumrör : 0,000785 * 0,08425 \approx 0,0000661 m^3$$

$$\text{Vikt aluminiumrör} : 0.0000661 * 2700 \approx 0.178 \text{ kg}$$

$$\text{Volym H-arm} : 0.0000208 \text{ m}^3$$

$$\text{Vikt H-arm(PLA)} : 0.0000208 * 1250 \approx 0.026 \text{ kg}$$

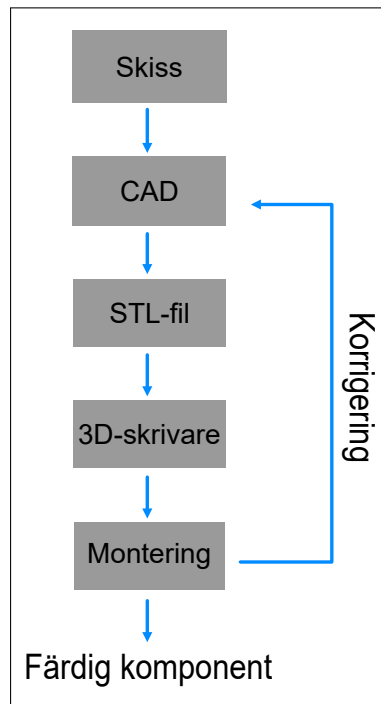
Detta beror dels på att den 3D-utskrivna armen har en lägre volym, men PLA plasten har även en densitet cirka hälften av aluminium. Tillsammans gör de stor skillnad på armarnas massor.

#### 4.9.4 Rörelsemönster

Rörelsemönster hos valda gripdon och servomotorer undersöktes också för att säkerställa att roboten kan utföra de uppgifter som den antas kan möta i kursen Humanoid-robotics. Så som prototypen är monterad i demonstrationen kan den endast sträcka armarna framåt och bakåt, men eftersom det går att montera prototypen på olika sätt beräknades räckvidden för alla riktningar i olika monteringsätt. Utgångspunkten för rörelselängden i alla riktningar valdes till mitten av axlarna. Se resultat och bilder under kapitel 5.4.

## 4.10 CAD & tillverkning

Framställningen av prototypen har följt en itereringsprocess, se figur 11. Processen gick till enligt följande: delen modellerades upp i CAD enligt skisser av prototypen samt ritningar från de inköpta delarna (servomotor och gripklo). Delen exporterades till STL-format och skickades in till handledaren som skrev ut delen i 3D-skrivarna som finns i Prototyplabbet. Väl utskrivna monterades de sedan samman, skulle några delar inte passa korrigerades dessa genom att iterera processen med nya uppdaterade mått.



Figur 11: Tillverkningsprocessen

Vissa delar justerades designmässigt efter konsultation med handledare eller då gruppen inte var nöjd med det 3D-utskrivna resultatet. Detta om till exempel skruvhålen var för små eller om de felplacerats på grund av hur komponenten skrevs ut.

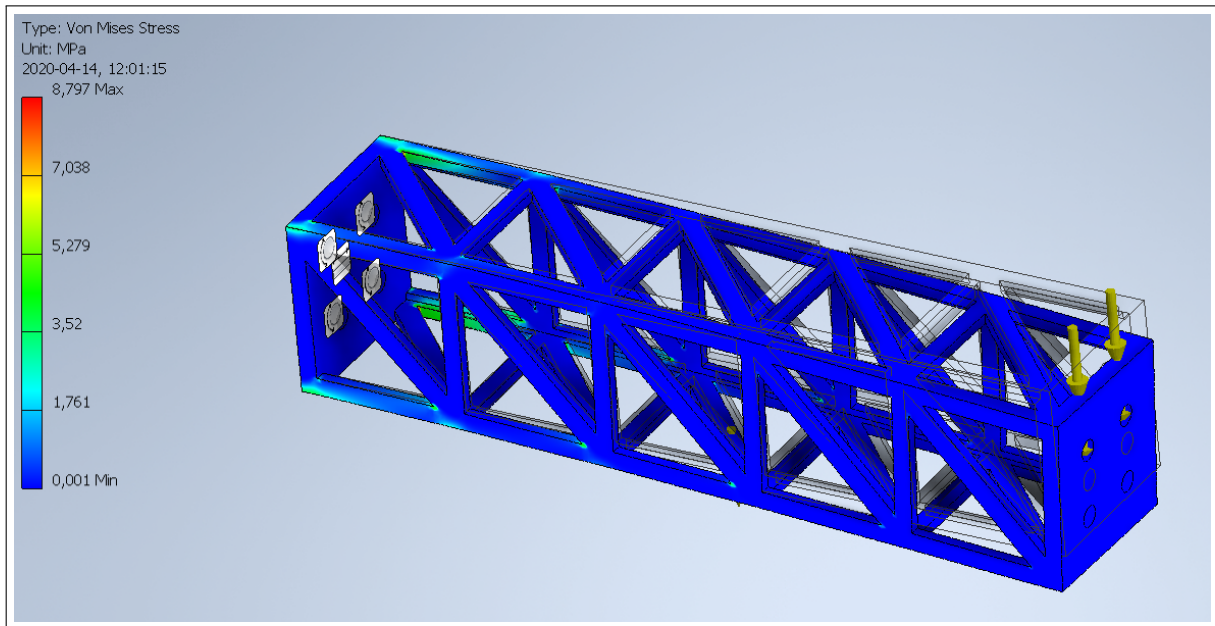
De färdiga delarna monterades ihop tillsammans med de programmerade servomotorerna samt griplorna för att slutligen resultera i en färdigställd prototyp.

#### 4.10.1 FEM-analys

En FEM-analys genomfördes för att beräkna effektivspänning enligt von Mises. Beräkningar genomfördes endast på överarmarna då dessa utsätts för mer last än underarmarna. Följande laster definierades:

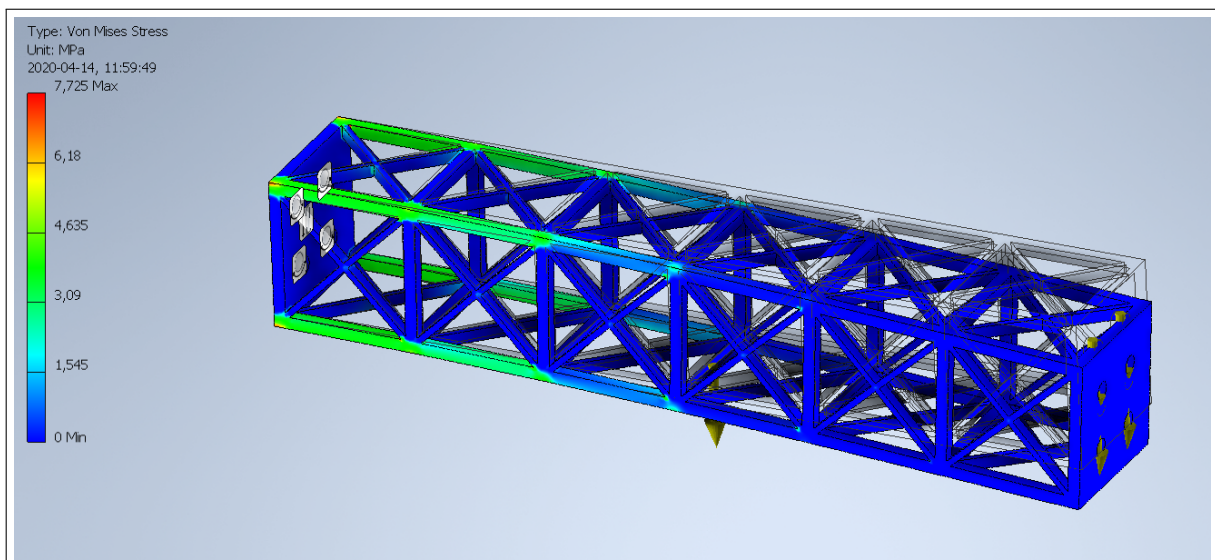
- Egenvikt på grund av gravitation
- En kraft på cirka 7,21 N neråt fördelat på alla 4 skruvhål, där resterande arm ska sitta fast. Detta är en approximation av vikterna som armen behöver bära.

Den första armdelen som testades bestod av ett fackverk med ett streck diagonalt över sidorna på kvadraterna, se figur 12. Max spänning: 8,797MPa.



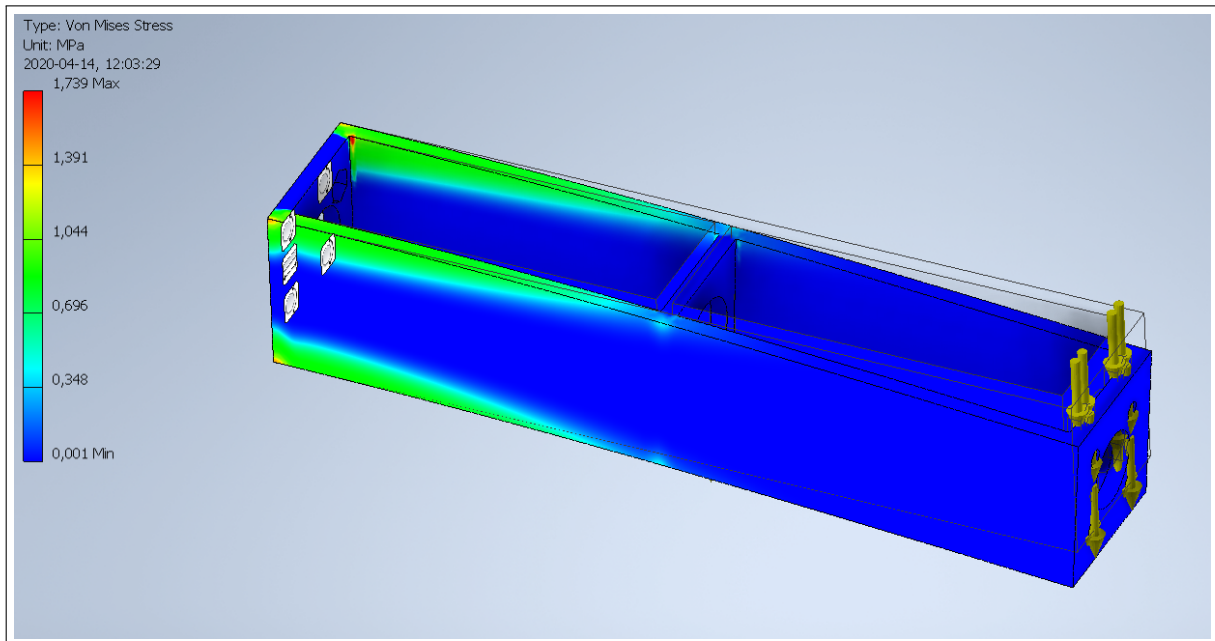
Figur 12: Fackverk med streck

Den andra armdelen som testades bestod av ett fackverk med ett kryss diagonalt över sidorna på kvadraterna, se figur 13. Max spänning:  $7,725\text{MPa}$ .

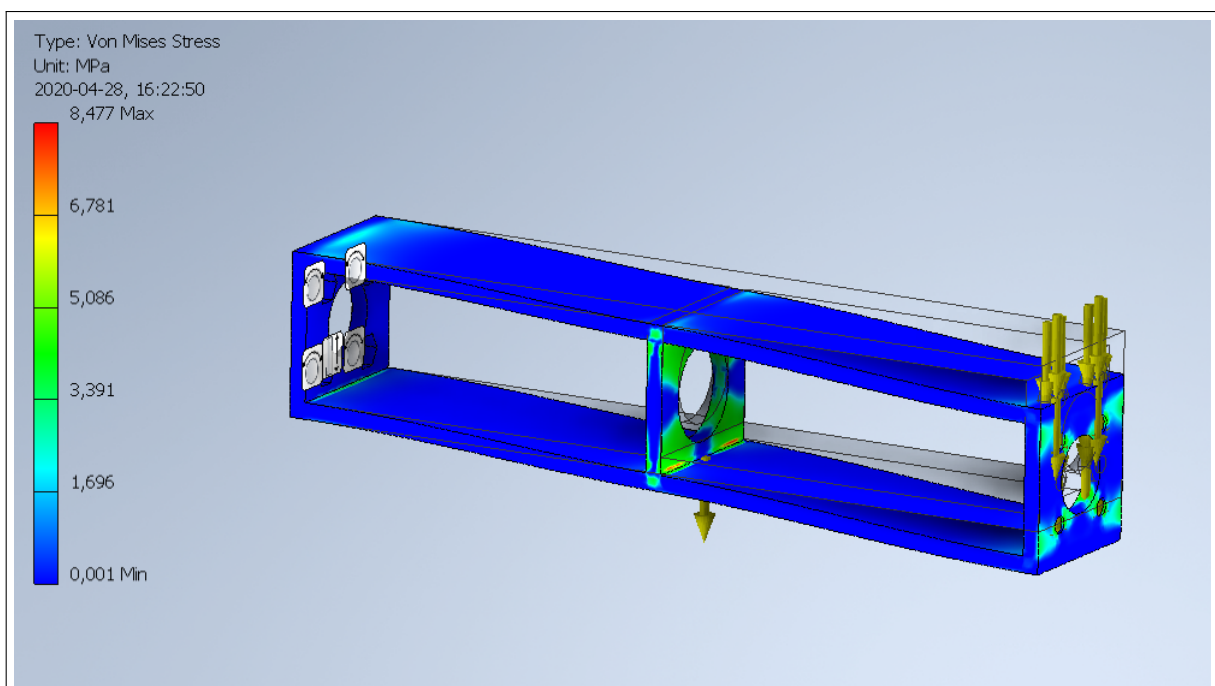


Figur 13: Fackverk med kryss

Den tredje testades istället som ett liggande Hmed ändrar och genomgående hål på kortsidan för lättare kabeldragning, se figur 14 och figur 15. Max Spänning:  $1,739\text{MPa}$  upprätt och  $8,477\text{MPa}$  på sidan.



Figur 14: H-arm med H:et uppåt



Figur 15: H-arm med H:et åt sidan

Analysen visar att i den sista konstruktionen skapas det betydligt mindre spänning i en upprätt position än de resterande, däremot ungefär samma som resterande vid laster åt sidan.

## 4.11 Tester

Fysiska tester genomfördes även under projektets gång för att säkerställa att prototypen uppfyller de ställda kraven. Nedan följer genomförandet av dessa.

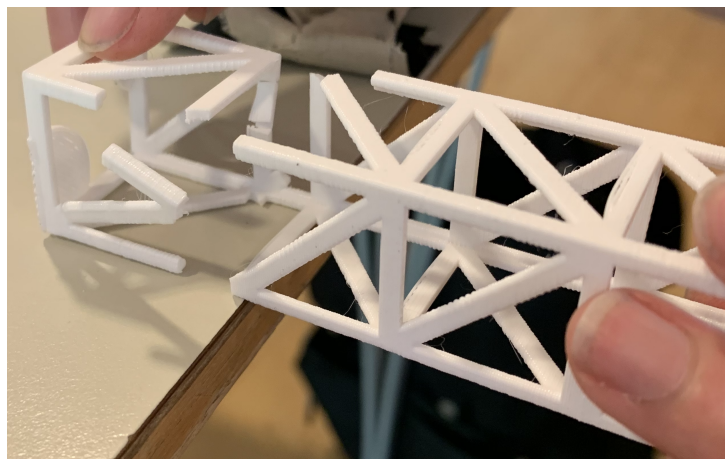
### 4.11.1 Knäcktest

Tre olika arm-modeller: Standard-, fackverk- och H-arm (se Bilaga B) skrevs ut och testades i hållbarhet genom att utsätta dem för ett moment som liknar ett lastfall armen kan uppleva i praktiken. Testerna utfördes genom att ena änden av en arm fästes 0,025 m in från en bordskant med hjälp av vävtejp och en medlem från kandidatgruppen som pressade ner änden i bordet. I den andra änden fästes en elektronisk kraftmätare som visade kraften som verkade på änden. Alla utslag på mätaren dokumenterades för att räkna ut det verkande momentet, siffrorna presenteras i tabell 2 nedan.

Tabell 2: Moment för specifik arm

Typ av arm:	Uppmätt moment:
Fackverk	5,01 Nm
Standard	5,67 Nm
H-arm	12,28 Nm

Fackverksarmen var den enda som nådde sin brottgräns under testerna, se figur 16. Med ett moment på 5,01 Nm gick armen på grund av att spänningen blev för hög. För de andra armarna dokumenterades de högsta uppmätta momenten.



Figur 16: Fackverksarmen efter brott

Valet av arm gjordes då med större avseende på låg egenvikt samt hur praktisk den var vid montering och kabeldragning. Detta var möjligt då de uppmätta momenten översteg de moment som skulle uppstå av de lastfall från kravspecifikationen, där kravet var  $\leq 0,1$  kg. Enligt ekvation 2 ovan är det nästan åtta gånger mindre än det lägsta momentet som dokumenterades. Alla armar uppfyller till och med önskemålet, där lasten är  $\leq 0,5$  kg, enligt ekvation 8 nedan.

$$0,33 * (0,5 + 0,071) * 9,82 + 0,15 * (0,0505) * 9,82 = 1.92[Nm] \quad (8)$$

Vilket fortfarande är 2,6 gånger mindre än det lägsta uppmätta momentet.

#### 4.11.2 Miljötest

För att undersöka om den slutgiltiga prototypen klarar av miljökraven som ställts på den utförs tester på roboten under drift. På grund av den begränsade tillgången till utrustning utfördes det inte något test på luftfuktigheten. Endast mätningar på temperatur och ljudnivå genomfördes. För att mäta ljudnivån användes en ljudnivåmätare med mätområde på 45-120 dB och en noggrannhet på 3 dB.

Temperaturen i området runt roboten mättes med hjälp av en termometer med tillhörande mätsticka. Termometern hade ett mätområde på -50 °C till 150 °C. Temperaturmätaren kunde utföra en mätning under en längre period och sedan visa den maximala och minimala temperaturen under tidspannet. Detta användes för att konstatera temperaturen i rummet där testerna utfördes. För att se om det uppstod några markanta temperaturskillnader vid användandet av roboten mättes temperaturen istället direkt mot servomotorerna, detta då störst värmebildning genererades där.

#### 4.11.3 Enkät

Nedan beskrivs enkäten som användes för att utvärdera utseendet hos Hubert 2.0 jämfört med några av dens föregångare.

I enkäten ställdes Hubert 2.0 mot fyra olika versioner av föregångaren i tre kategorier:

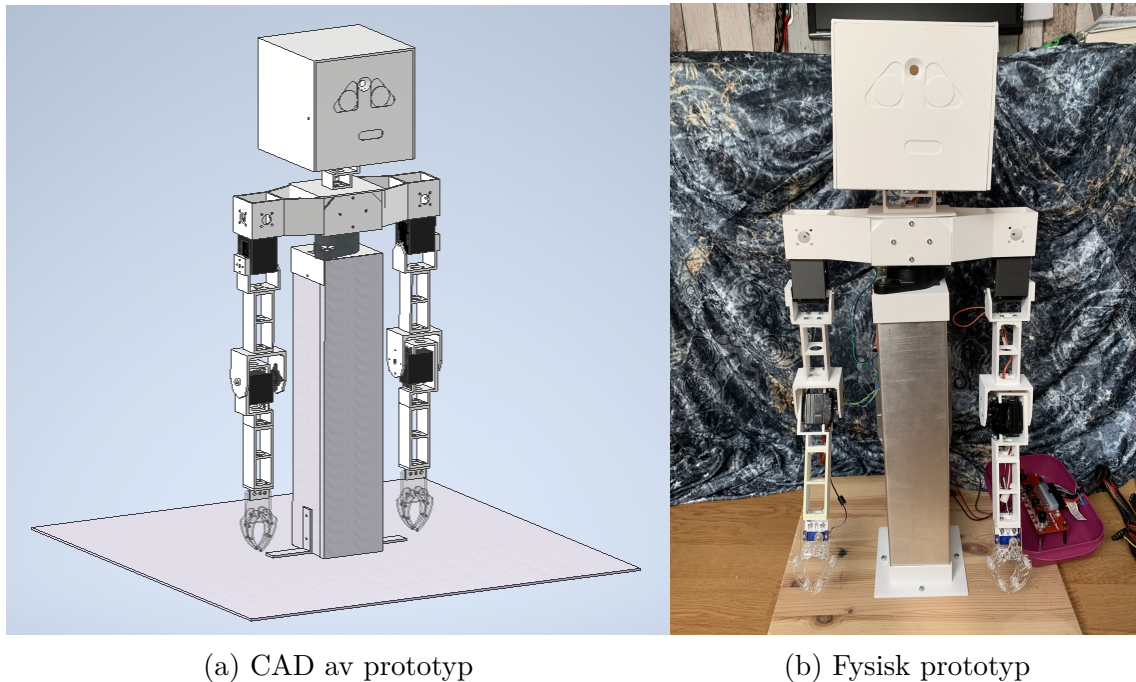
- Vilken av robotarna anser du mest estetiskt tilltalande?
- Vilken av robotarna anser du är mest lik en humanoid?
- Vilken robot anser du ser mest ”modern” ut?

Svaren på enkäten sammanställdes och ett snittresultat beräknades. Utav 29 svar erhöll Hubert 2.0 det bästa medelvärdet i alla kategorier.



## 5 Resultat

I detta kapitel presenteras projektets resultat med de tekniska specifikationerna på den slutgiltiga prototypen Hubert 2.0. Prototypen visas i figur 17.



Figur 17: Hubert 2.0 robotplattform

### 5.1 Konstruktion

Nedan presenteras den slutgiltiga prototypens konstruktion och dess ingående komponenter.

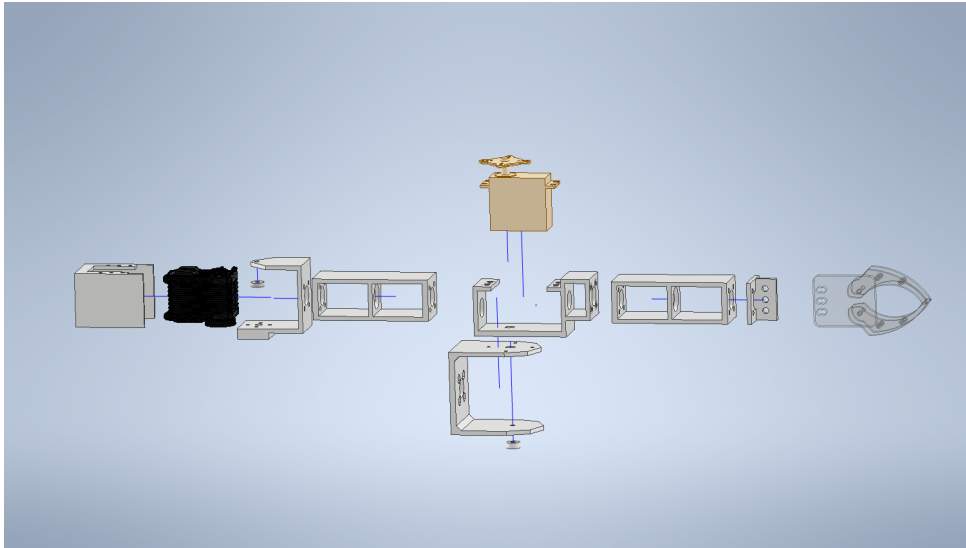
#### 5.1.1 Armar

Prototypens arm består av en 3D-utskrivna rektangel med hål som gör att den ser ut som ett utdraget H, därav benämns delen H-arm. Designen på denna del bidrar till en lägre vikt samt underlättar vid montering då den är "öppen". De större genomgående hålen i H-armens topp-, mitt- och bottenplatta underlättar kabeldragning till servomotorerna.

På prototypens armar finns två stycken olika infästningar. En används för att koppla samman armen med axlarna och en används som koppling mellan en över- och underarm (som en armbåge), se figur 18. Båda infästningarna består av två huvuddelar samt några distansringar. Servomotorn i axeln är mer gömd än den i armbågen, eftersom axelservomotorn passas in i en "ficka" som gömmer den. Infästningen vid armbågen är mer öppen vilket gör att servomotorn blir mer åtkomlig och mer exponerad än det i axeln.

Utifrån momentberäkningarna ekvation 1 och 2, kunde godtyckliga servon väljas då de krävda momenten var kända. Kandidatgruppen valde servomotorer som var överdimensionerade för att öka prototypens möjligheter till att klara av uppgifter med tunga

laster. Servot som återfinns i armbågarna, huvudet och stammen är en Bluebird BMS-630MG som kan generera ett moment på 1,46 Nm. Servomotorerna i axlarna behövde kunna leverera ett större moment då dessa belastas mer. Motorn valdes till en XYZrobot Smart Servo A1-16 som kan generera ett moment på 2,47 Nm.



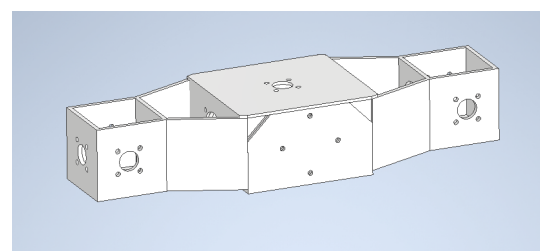
Figur 18: Exploderad vy för armen

### 5.1.2 Gripklo

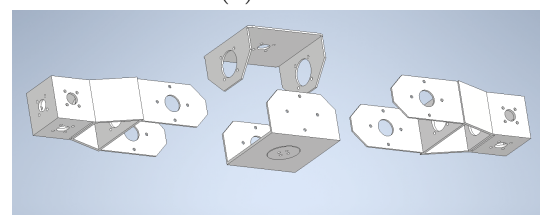
Den gripklo som beställdes in var Makeblocks Mini Gripper bestående av akryl med en vikt på 71 g där servomotorn är medräknad. Gripdonet har en maximal sträckvidd på 55 mm samt en maximal längd för stängd klo på 86,3 mm. Detta begränsar storleken på de objekt som gripdonet kan manipulera, (Makeblock (n.d.)).

### 5.1.3 Axlar

Axlarna består av fyra stycken 3D-utskrivna delar i plast, se figur 19. Två stycken axelpartier med färdiga hål för infästning av armar på fyra olika sidor, underifrån, framifrån, bakifrån och på axeländarna. Det finns även möjlighet att vända på axelpartierna för att få en infästning på ovansidan. Axelpartierna skruvas ihop i mitten tillsammans med ett axelfäste för stammen nedtill. Ovanifrån skruvas axelfästet för huvudet fast med skruvar från axeländarna. Större hål har även utformats i mitten av axlarna samt på vissa sidor för kabeldragning.



(a) Axlar

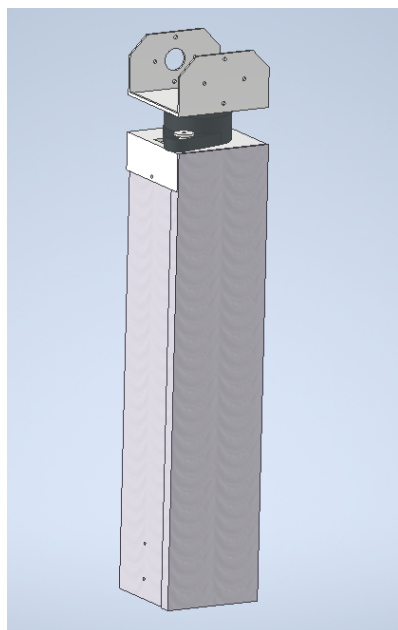


(b) Axlar sprängskiss

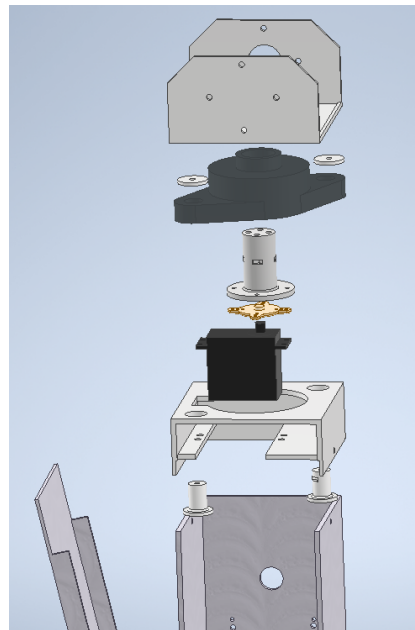
Figur 19

## 5.2 Stomme

Stommen består av ett U-format rör av aluminium med en motor för vridning av axlarna högst upp, se figur 20.



(a) Stomme



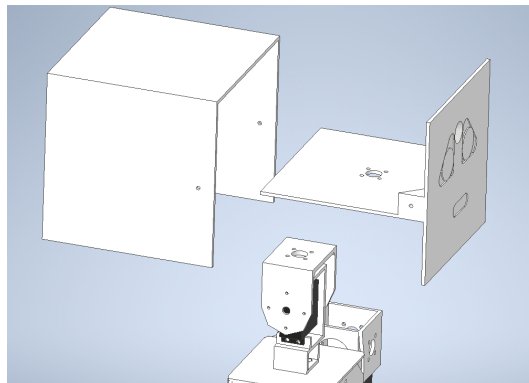
(b) Stomme sprängskiss

Figur 20

För att stödja motorns axel används ett flänslager med en axeldiameter på 20 mm från Conrad, (Conrad (2020)). Genom flänslagret går en 3D-printad plastaxel som skruvas fast i flänslagrets inre ring. För att fästa plastaxeln har mutterfickor och skruvhål utformats vilket möjliggör infästningen av axeln i stommen. På axelns undersida fästs sedan motorflänsen som medger rotation av plastaxeln som i sin tur möjliggör rotation av hela överkroppen. Flänslagrets yttre del, motorn och stommen är fäst i ett anpassat fäste utformat i CAD. Ett stort hål i fästets mitt tillåter de rörliga delarna att röra sig obehindrat. Vid sidan av hålet fästs flänslagret med hjälp av 3D-utskrivna skruvaröch "sskruvstopp". Dessa fästs med hjälp av en infälld mutter och en skruv. Under flänslagret fästs motorn och hela komponenten träs och monteras sedan på det U-formade röret av aluminium. För att täcka motorn och därmed erhålla en mer estetiskt tilltalande prototyp täcks stommens ingående komponenter av ett lock som fästs med magneter för att underlätta montering och demontering. På stommens baksida har hål utformats för att fästa både en Arduino och en Raspberry Pi.

### 5.2.1 Huvud

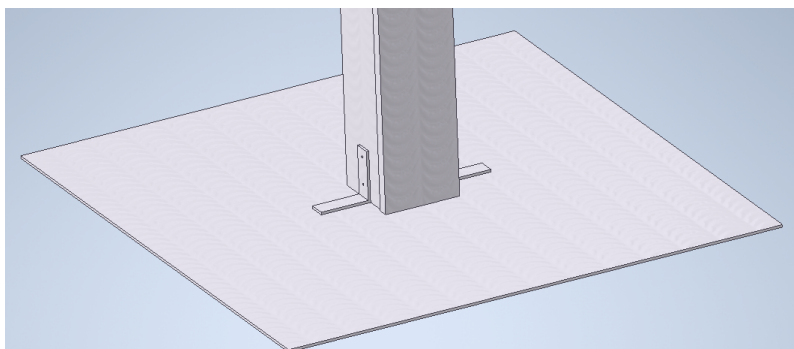
Huvudet består av två plattor vars utformning motsvarar ett T, se figur 21. Där den ena plattan är försedd med ett ansikte och möjliggör plats för monteringen av en Raspberry Pi kamera. På den andra plattan har hål utformats för att montera huvudet på halsen. Den öppna konstruktionen underlättar monteringen av kameran och förenklar åtkomligheten. Ett hål för kamerans lens har placerats mellan ögonen på ansiktet vilket tillåter robotseende. Till huvudet har en kåpa konstruerats, denna fästs bakom ansiktet och döljer kameran med tillhörande kablar och därmed erhåller prototypen ett komplett huvud.



Figur 21: Huvud

### 5.2.2 Platta

För att prototypen ska kunna stå upp används en stor platta i aluminium med måtten 0,6x0,6x0,003 m. Denna fästs i stommen med två vinkeljärn som svetsas fast i plattan samt skruvas in i stommen, se figur 22.



Figur 22: Platta med vinkeljärn

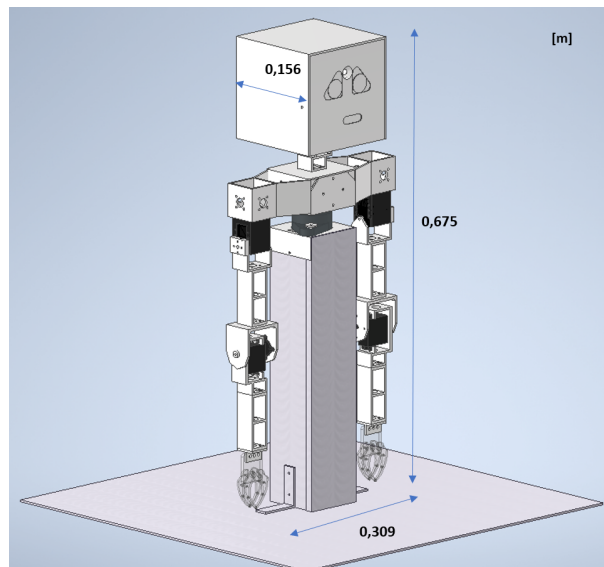
### 5.3 Vikter

Vikterna är tagna från datablad på inköpta komponenter samt beräknade med volym och densitet på materialen som använts. Små vikter försummas. Densiteten för PLA-plast:  $1250 \text{ kg/m}^3$  och Aluminium:  $2700 \text{ kg/m}^3$ . En sammanställning av vikterna går att se i tabell 3.

Tabell 3: Vikter

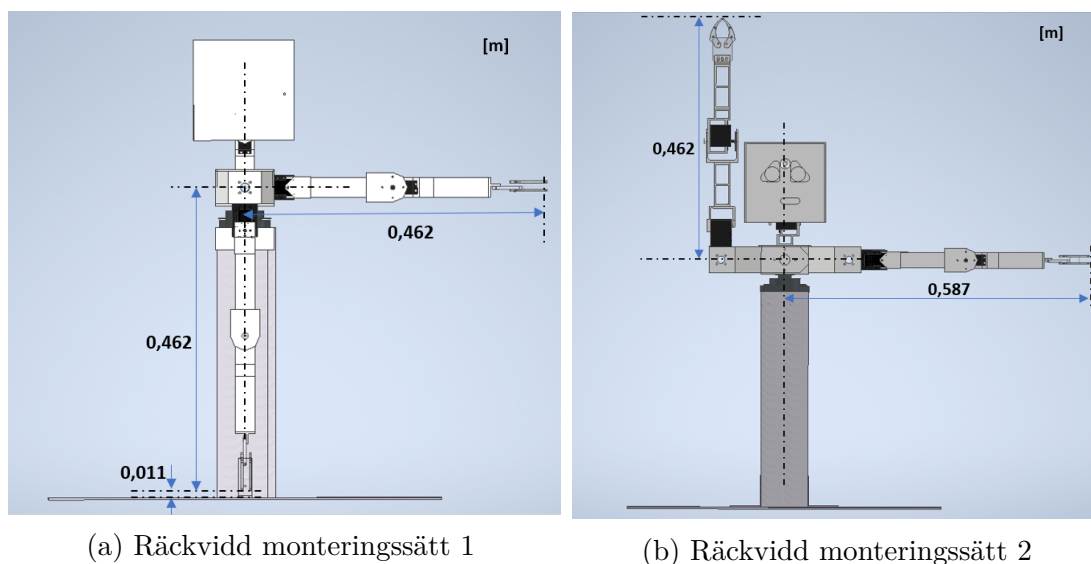
Prototypdel	Subdel	Antal [st]	Volym [cm <sup>3</sup> ]	Vikt [kg]
<b>Stomme system</b>		1		1,615
	Stomme fäste	1	48,10	0,060
	Stomme förlängning	1	295,44	0,798
	Stomme lock	1	89,12	0,241
	Flänslager	1		0,450
	Flänslager axel	1	12,68	0,016
	Motor (Bluebird)	1		0,051
<b>Axlar</b>		1		0,256
	Axelparti	2	71,21	0,089
	Axelfäste huvud	1	28,96	0,036
	Axelfäste stomme	1	33,44	0,042
<b>H-arm</b>		4	20,78	0,026
<b>Huvud</b>		1		0,526
	Huvud framsida	1	144,35	0,180
	Huvud skal	1	276,75	0,346
<b>Bluebird motorsystem</b>		3		0,105
	Motor	1		0,051
	Flänsfäste	1	24,32	0,030
	Motorfäste	1	19,24	0,024
<b>XYZ motorsystem</b>		2		0,095
	Motor	1		0,060
	Motorfäste	1	13,70	0,017
	Flänsfäste	1	14,37	0,018
<b>Gripdon</b>		2		0,071
<b>Platta system</b>		1		2,52
	Platta	1		2,500
	Vinkeljärn	2	14,37	0,018
<b>Totalt:</b>				5,67

## 5.4 Mått &amp; Räckvidd



Figur 23: Totala mått

Totalmått på prototypen, se figur 23, utgår från den position prototypen har vid transport. Därmed är plattan ej inräknad. Höjden är mätt från botten av stammen till huvudets topp. Längsta bredden är från högra armbågens distansring till den vänstra armbågens distansring. Det största djupet är huvudets djup.



(a) Räckvidd monteringsätt 1

(b) Räckvidd monteringsätt 2

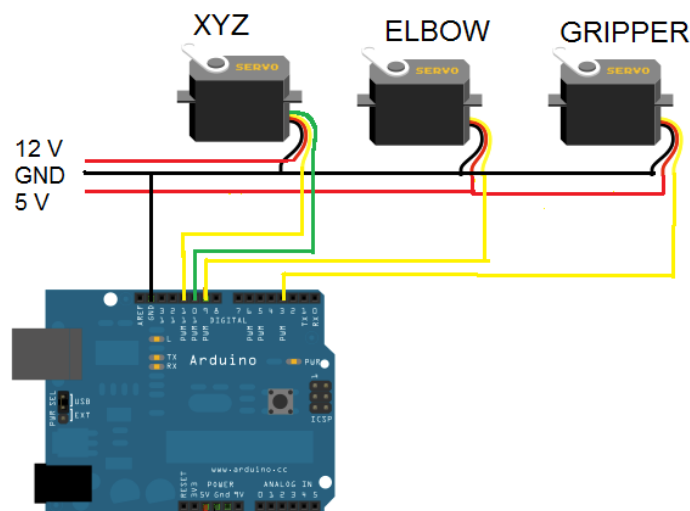
Figur 24

Ovan visar figur 24a prototypens räckvidd vid montering av armarna på undersidan av axeln och på axeln framåt (samma räckvidd bakåt). Figur 24b visar prototypens räckvidd vid montering av armarna på ovansidan av axeln och på änden av axeln.

## 5.5 Elektriska kopplingar

Servomotorerna och all länkande elektronik är kopplade till en kopplingsplatta. Detta då många kablar behöver kopplas samman och för att undvika lödning. Hela roboten styrs av en Arduino UNO.

All spänning kommer från en extern spänningskälla då Arduino UNO kortet som används för att skicka styrsignalerna inte kan förse alla servomotorer med spänning. En bild på kopplingen för en arm finns att studera i figur 25. Mer schematiskt kopplingschema, se i bilaga M.



Figur 25: Kopplingen för en arm

## 5.6 Programmering av leder

Hubert 2.0 består av tre olika typer av servomotorer. Ett miniservo som sitter i gripdonet och styr dess öppning och stängning. Armbågarna styrs av Bluebird BMS-630MG analogt servo med metallväxlar och axlarna styrs av XYZ smart servomotorer.

För att få en kontinuerlig rörelse med Bluebird motorn i armbågarna krävs det att man stegar till olika positioner med en kort fördröjning mellan varje steg. Bluebird motorn kräver en spänning på 4.8-6 V.

XYZ motorerna kräver 12 V för att kunna röra sig och får detta från den externa spänningskällan. Dessa motorer klarar ett vridmoment på 25 kg-cm vilket är varför de kräver en högre spänning. Till skillnad från de andra motorerna så styrs XYZ motorn med två styrsignaler istället för en, en RX och en TX signal. För att se exempelkod för styrning av en XYZ motor se bilaga N.3

Då en Arduino används för att styra servomotorerna så skrivs all kod i C.

## 6 Diskussion

I följande kapitel diskuteras och analyseras de resultat som togs fram i föregående kapitel. Främst diskuteras prototypens ingående komponenter, men även programmering av rörelsemönster, koppling, räckvidd och hur väl prototypen uppfyller de krav och kriterier som ställts i kravspecifikationen. Vidare lämnas även förslag på utvecklingsområden.

### 6.1 Konstruktion

Nedan diskuteras prototypens detaljkonstruktion, varje del diskuteras var för sig och rekommendationer lämnas gällande delarnas möjligheter till vidareutveckling.

#### 6.1.1 Armar

Hubert 2.0 byggs upp med 3D-utskrivna armar då det genererar en lägre vikt än aluminiumrör eftersom plast har en lägre densitet än aluminium. Den högre densiteten på aluminium påverkar servomotorerna negativt då de måste klara av armarnas ökade egenvikt. 3D-utskrivna armar resulterar i en lägre vikt och därmed kan servomotorerna köras utan större problem.

Från beräkningarna i kapitel 4.9 framgår det att en armkomponent av PLA att föredra, då en armkomponent av samma längd bestående av aluminiumrör väger nästan det fyrdubbla.

Prototypen har valts att tillverkas med 3D-utskrivna armar då det resulterar i en lägre vikt och lätt kan produceras och modifieras efter användarens behov. Kvadratiska profiler bidrar till lättare montering av delkomponenter, ändelement och infästningar jämfört med cirkulära sådana. Eftersom det är relativt enkelt att modifiera mått och geometrier i CAD kan 3D-utskrivna delar lätt anpassas för att uppnå olika önskemål beroende på vad som eftersöks av användaren. Om användaren exempelvis vill fästa något på sidan av armen finns möjlighet att göra det vilket kan bli mycket svårt vid användning av rör. Aluminiumrören försvårar även infästningen av ändelement i och med sin cirkulära geometri det är även mycket svårare att fästa delar på dessa än vid användning av exempelvis kvadratiska delar, vilket också var en negativ aspekt för Pippi 2.0.

Från resultatet i FEM-analysen samt de fysiska testen på armarna beskrivet i kapitel 4.10.1 och kapitel 4.9 är det tydligt att det är H-armen som är mest hållbar. I FEM-analysen får den en maxspänning på cirka 4,7 gånger så lite som resterande två. Eftersom FEM-analysen inte tar hänsyn till strukturen för trådarna vid 3D-utskrivning bör detta tas i beaktning vid valet av arm. Båda fackverkskonstruktionerna är komplexa och mycket filament krävs i utrymmen som ligger "i luften" för att kunna skriva ut dessa. Mycket kan även gå fel vid utskrivningen på grund av komplexitet, "tunna delar i luften" och det finns risk för att tunna delar kan gå sönder vid borttagning av filament. H-armen är lätt att skriva ut eftersom den inte har delar som ligger "i luften". Trådarna ligger även vågrätt vilket bidrar till bättre stabilitet vid krafter som går vertikalt. Däremot kommer den inte kunna hantera krafter som ligger horisontellt lika bra, men eftersom armen oftast endast får laster i form av vikt nedåt anser kandidatgruppen inte det som något problem.



### 6.1.2 Stommen & Axlar

På grund av begränsningar med 3D-utskrift konstruerades axlarna i flera mindre delar. Det är inte möjligt att skriva ut större delar eftersom den största 3D-skrivaren som kandidatgruppen hade tillgång till hade ett mått på 260x225x200 mm. Konstruktionen får inte heller innehålla för många och stora delar som ligger i luften eftersom det då behövs stöd för att trådarna inte ska deformeras vid utskrift. Ett exempel är fästet för huvudet som i mitten av axeln ligger i luften om hela axlarna hade skrivits ut på en gång. Eftersom axlarna skrivs ut i flera delar medför detta egenskapen att delarna är modulära. Till exempel kan en av axlarna vändas upp och ner för att få ett fäste för armen på ovansidan av axeln.

På grund av att armarna är mycket mindre än stommen är även axlarnas mitt tjockare än vad sidorna är för att bredden ska passa stommen. Likt armarna konstruerades hål i mitten av axlarna för att lättare kunna dra kablar och förhindra att dessa är i vägen.

Anledningen till att prototypen ska ha en vridpunkt (motor) mellan axlarna och stommen är för att det blir mer stabilt än att ha den längst ner under stommen som original Hubert. För att motorn ska orka med det stora vridmomentet och vikten axlarna bär behöver den något typ av stöd. Smidigast och mest passande till designen hade varit en vridplatta eftersom dessa är smala och kvadratiska. Det finns dock inte tillräckligt små vridplattor på markanden som innehåller kullager utan dessa glider på en plastbit. För att det i huvudtaget ska kunna glida skapas ett mellanrum mellan plattorna vilket medför glapp. Detta var ett problem i Hubert och kunden såg helst att detta glapp undveks. Därför valdes ett stort flänslager som stöd istället. På grund av dess storlek är flänslagret tungt och klumpigt och det är dessutom utformat för stora maskiner med stora axlar. Fördelen med flänslagret är att det fanns möjlighet att 3D-utskryva en större axel i plast istället för att kapa en metallaxel. Det gör det möjligt att fästa axeln på ett bra sätt med hjälp av inbyggda skruv och mutterhål, vilket i vanliga fall är svårt.

Stommen behöver vara stabil och kunna bära upp hela prototypen. Eftersom det tar lång tid att skriva ut stora och tjocka delar i 3D valdes därför en aluminiumstomme. Det estetiska intrycket hade varit bättre om hela prototypen tillverkades i samma 3D-utskrivna plast, men detta var inte möjligt på grund av tidsbrist. Det lock som täcker stommens ingående komponenter tillverkades inte heller på grund av den snäva tidsramen.

### 6.1.3 Rustning

Genom en separat idégenerering skissades förslag upp på rustningen. De tre förslag som togs fram diskuterades inom gruppen, men då tidsramen var för snäv modellerades ingen av dessa i CAD. Tre förslag togs fram där det första består av en oval torso som hängs fast på robotens axlar och sedan fästs med skruvförband. Det andra förslaget består av en triangulär torso, med hål för axlar och huvud, som är tvådelad och fäster runt stommen med skruvförband. Det tredje förslaget är snarlikt det andra förslaget, men istället för en triangulär torso används en oval sådan. Även det tredje förslaget har utrymme för axlar och huvud och fäster runt stommen med hjälp av skruvförband. Förslaget på dessa rustnings alternativ går att finna i bilaga O, eftersom tidsramen för projektet var snäv avgränsade gruppen sig till att endast ta fram förslag till rustningen

så att underlag i form av enkla skisser finns att tillgå om eleverna i kursen Humanoid-robotics önskar modifiera, modellera och 3D-utskryva någon av dessa delar för att använda i sina framtida projekt.

#### 6.1.4 Huvud

Grundtanken var att fästa ett centrerat kamerafäste på prototypens axlar för att ge möjlighet till robotseende. Detta alternativ bidrog inte till målet av en mer estetisk tilltalande version av Hubert. Istället konstruerades ett väldigt simpelt huvud i form av ett T. Trots sin simpla design bidrog den mycket till prototypens helhetsintryck. Hubert 2.0 är mer estetiskt tilltalande samtidigt som den möjliggör robotseende. En annan positiv aspekt med denna konstruktion är variationsmöjligheterna på designen av huvudet. Skulle en annan kamera användas till prototypen kan fäste och linshål enkelt anpassas i CAD efter användarens preferenser. Även ansiktet och dess uttryck kan lätt modifieras beroende på användningsområde och önskemål vilket förhöjer det estetiska intrycket av prototypen.

En alternativ utformning av huvudet diskuterades där denna istället skulle utformas som ett L. Detta resulterade i att huvudet försköts i höjded och hamnade längre upp än nödvändigt. Vilket ledde till att prototypens längd översteg de mått som definierats i kravspecifikationen. Gruppen valde istället att gå vidare med T-huvudet för att minimera längden på prototypen.

#### 6.1.5 Platta

En platta bidrar till prototypens stabilitet och möjliggör att denna kan stå på många olika ytor. Förutom att stå stabilt på ett bord kan den stå på golvet eller någorlunda jämna ytor. Detta gör den mer anpassningsbar jämfört med en tving eller klämman som behöver ha ett bord med rätt tjocklek för att kunna fästas och stå stabilt. Användning av klämman eller skruvförband kan även leda till att prototypen välter om användaren inte har skruvat fast den ordentligt. En kvadratisk form valdes på grund av dess enkla geometri som förenklar tillverkningsprocessen. Vridningen av axlarna leder till att momentet från armarnas vikt kan uppstå 360° runt prototypen, därför placeras prototypens stomme i mitten av plattan.

För att bidra till enkel transport ska plattan vara löstagbar. Prototypen fästs med hjälp av fastsvetsade vinkeljärn som skruvas genom stommen, se figur 22. Svetsning är dock inte relevant för kandidatarbetet eftersom det är svårt att få tillgång till denna process på grund av COVID-19. Först vid tillverkning av de faktiska robotarna efter prototypframtagningen kan det vara relevant. Punktsvetsning är enkelt och går snabbt att genomföra om tillgång finns till processen. På grund av den snäva tidsramen för projektet har en platta inte tillverkats. Kandidatgruppen kommer i detta projekt att hitta en alternativ lösning till svetsning. Prototypens stomme kommer att fästas vid en tillfällig träplatta för att illustrera dess funktion.

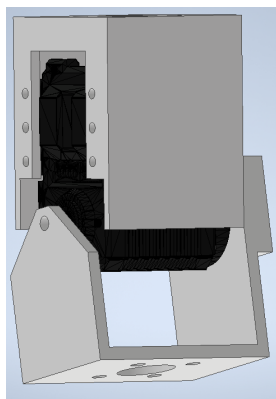
Ett problem med plattan är att den kräver en stor yta (0,6x0,6 m). I och med ett tyngre material eller en tjockare utformning av plattan kan dess bredd reduceras och därmed blir prototypen mer platseffektiv. Detta leder till att en mindre platta kräver en större massa för att stå stabilt då hävarmen minskas. Genom att göra avkall på den

yta som plattan tar upp måste detta kompenseras med en större massa. Eftersom plattan redan är tung rekommenderas inte en mindre platta om prototypen ska vara smidig och transportvänlig. Om användaren önskar addera fler komponenter eller utöka delar behövs dessutom en större platta för att jämvikten ska gälla. Rekommendationer för framtiden är därför att fästa prototypen i bord med en skruvanordning som går att justera beroende på bordets tjocklek. Användandet av en skruvanordning leder till att placeringen av prototypen begränsas till ett bord. Eftersom prototypen utformats som en plattform i undervisnings- och marknadsföringssyfte så bedöms inte detta vara en begränsning då bord oftast finns på plats.

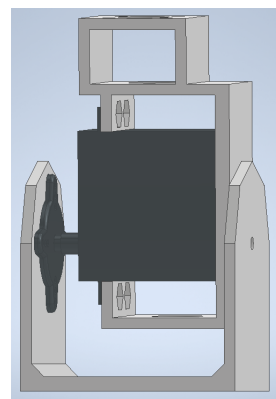
### 6.1.6 Infästning

Alla infästningsdelar 3D-skrivs och monteras med skruv och mutter. Gruppen övervägde användning av klips istället för skruvförband vid montering av olika infästningselement då det är en smart och enkel lösning. Att tillverka egna klips bedömdes som alltför tidskrävande för att komma fram till en bra lösning. Som beställningsvara visade de sig också vara svåra att få tag i klips av rätt storlek och utförande. Därför skrevs infästningarna ut i 3D-skrivaren istället.

Det finns två olika typer av infästningar i prototypen på grund av att det är två olika slags motorer som används i konstruktionen, se figur 26 och 27. Motorerna krävde egna infästningar då de ser väldigt olika ut. Trots olikheterna fungerar de två infästningsparen på samma sätt. En del sitter fast i motorn och fäster den på till exempel en arm eller ett axelparti. Den andra delen fästs på motorns fläns för att medge rotation i leden och kopplar ihop denna med ytterligare en del på prototypen.



Figur 26: Infästning vid axeln



Figur 27: Infästning vid armbågen

Samtliga infästningsanordningars mått och utseende beror på vilka servomotorer som ska användas. Detta då passningar, geometrier och storleksanpassning på exempelvis de 3D-utskrivna armarna måste stämma överens. Därför har dessa bara utformats för de valda motorerna, de ska dock kunna modifieras och anpassas efter de servomotorer som i slutändan beställs in.

### 6.1.7 Gripdon

Gripdonet *Mini Gripper* från Makeblock användes i projektet då den var enkel att få tag i och hade bra möjligheter att kunna samspela med resten av prototypen. Den ha-

de en medföljande mini-servomotor som var dimensionerad för att klara av att styra gripdonet. Detta gripdon hade endast två fingrar vilket klarade av att hantera enklare geometriska objekt, så som tuber, cylindrar och klossar. För att klara av att hantera fler objekt hade det varit rekommenderat att använda en grip med tre eller fler fingrar.

Servomotorn i gripdonet var väldigt känslig och kunde rotera mer än vad gripklon tillät vilket resulterade i att kugghjulen utsattes för slitage. Detta upptäcktes tidigt och hanterades innan gripdonet gick sönder. Efter genomförande tester framtogs de grader som ställde gripdonet i ett öppet alternativt stängt läge. Då större objekt plockades upp stoppades gripdonet vid motstånd från objektet, men servomotorn försökte fortsätta rotera till den valda positionen, vilket påfrestar kugghjulen i gripdonet. Detta leder till att positionssignalen som skickas till servomotorn behöver anpassas efter objektet som ska hanteras. Vid vidareutveckling av Hubert 2.0 hade det varit bra att hitta en lösning för att undvika detta då det blir svårt att växla mellan objekt utan att behöva utföra tester för att få fram rätt stängningsposition för gripdonet.

## 6.2 Programmering

Armbågsservorna kalibrerar sig när de matas med spänning. När de gör detta så rör sig motorn snabbt fram och tillbaka vilket resulterar i en aggressiv rörelse av underarmen. Detta är något att ha i åtanke för att undvika skador vid användandet. Både när det gäller personskador och för att reducera risken för att robotarmen går sönder. Risken för detta går att reducera genom att avbryta robotens rörelse i motorns nolläge.

Förutom detta så måste armbågsservorna stegas sakta till den önskade positionen. Vid tester då endast en position angavs började motorn röra sig fram och tillbaka innan den nådde den önskade positionen. Det undersöktes om fördröjningen mellan signalerna var för kort för motorn att uppfatta för att kunna ställa in sig efter signalen innan den skrevs över med en ny positionssignal, men det var inte fallet. Därför krävs det att servomotorerna i armbågarna programmeras med hjälp av for-loopar som räknar upp eller ner mellan de önskade positionerna. Se exempelkod i bilaga N.2.

XYZ-servomotorerna klarade av att hantera vikten av armen utan att de påverkades i hastighet eller stabilitet. På grund av att XYZ motorerna har en TX och en RX signal så kan de seriekopplas. Därför kan det vara lönsamt att i framtida projekt endast använda sig av dessa motorer i lederna för att erhålla en smidig rörelse utan skakningar.

## 6.3 Koppling

För att kunna styra mer än en arm krävs det att man utökar Arduino UNO kortet eller byter ut det mot ett annat kort då det har för få PWM-utgångar. Att använda ett Raspberry Pi kort hade varit ett bättre alternativ då det tillåter mer påbyggnader samt kan hantera bildprocessering för kameran. Det går att styra fler servomotorer från samma PWM-utgång men då rör de sig samtidigt och likadant.

Den externa spänningskällan som används för att driva motorerna är i nuläget otymplig. I framtida utvecklingar av prototypen behöver denna bytas ut mot en mer portabel lösning. Till exempel kan en 12V nätadapter och en DC-12V till DC-6V adapter, exempelvis Buck-omvandlare användas.

## 6.4 Räckvidd

Prototypen har möjligheten att interagera med föremål inom ett sfärsikt område på nästan en halv meter i alla riktningar. För exakta siffror, se kapitel 5.4. Motorernas position och riktning begränsas eftersom varje motor endast ger möjlighet till vridning runt en axel. Det optimala hade varit en motor som sitter på en kulle vilket hade resulterat i en rotation på  $360^\circ$  i nästan alla riktningar. En sådan motor innebär en större svårighetsgrad än en vanlig motor för studenterna att hantera och har därför valts bort med hänsyn till prototypens ändamål. Då prototypens uppgift är att manipulera ett objekt, till exempel att plocka och placera, behövs det oftast inte mer än två olika vridningar i armarna och en vridning för hela överkroppen. Om användaren önskar vridning i två riktningar i samma punkt, till exempel att armarna ska kunna sträckas framåt och rakt åt sidan, har användaren möjlighet att montera två motorer i följd för att uppnå detta.

## 6.5 Kravspecifikation

Nedan diskuteras hur väl de krav och önskemål som definierats för projektet i kravspecifikationen uppfylls.

### 6.5.1 Funktion

De flesta funktionskraven i kravspecifikationen uppnåddes i projektet. Prototypen har möjlighet att röra sig i tre olika dimensioner eftersom armarnas två motorer kan ge rotation i två dimensioner och axlarna i en dimension. Prototypen klarar även av att manipulera objekt av olika material med ett gripdon, styrs av en mikrodata och servomotorer, kan monteras ihop på fler än två olika sätt, har en elektrisk energikälla och även monteringsmöjligheter för en kamera.

Det som inte uppfylldes var att prototypen skulle vara sladdlös och drivas på batteri, men eftersom detta är ett av de önskemål som viktades lägst prioriterades inte detta. Batterier är även svåra att hantera eftersom dessa oftast behöver lång laddningstid. Som tidigare rekommenderat i kapitel 6.3 kan ett alternativ vara att ett eller flera större 12V batterier driver systemet tillsammans med en DCDC-omvandlare. Det bör undersökas om batterierna ger tillräckligt med ström för att driva alla motorer och ingående komponenter i systemet.

Ett annat önskemål som på grund av tidsbrist ej kunde verifieras var att prototypen inte skulle vältras vid normal användning, detta då plattan ej hunnit tillverkas.

### 6.5.2 Prestanda

Ett av prestandakraven för prototypen var att kunna lyfta ett objekt som väger max 100 g. Detta klarar prototypen av med stora marginaler eftersom motorerna är överdimensionerade, se kapitel 5.1.1. Prototypen testades även genom att lyfta en tub handkräm som vägde 100 g. Det har inte genomförts några tester om prototypen uppfyller det önskemål som definierats om att kunna lyfta ett föremål som väger 500 g på grund av tidsbrist. Därför har inte heller ett välttest på prototypen genomförts från stående position, i syfte att testa dess stöttålighet, då en fullständig fysisk prototyp ännu inte tillverkats.

### 6.5.3 Storlek

Ett önskemål sattes till att den slutgiltiga prototypen ska väga mindre än fem kg. Hubert 2.0 väger 5,67 kg vilket inte uppfyller det definierade önskemålet på mindre än fem kg. Denna vikt inkluderar en aluminiumplatta som väger 2,52 kg vilket adderar mycket till den totala vikten. Därför finns det utvecklingspotential inom detta område då en alternativ utformning kan undersökas för att reducera prototypens totala vikt, mer om detta i kapitel 6.1.5. Då totalvikten endast överstiger önskemålet med 0,67 kg anses detta inte påverka portabiliteten markant.

Krav på att prototypen inte får överstiga måtten 680x360x380mm (HxBxD) definierades i kravspecifikationen och i den slutgiltiga mätningen (se kapitel 5.4) av Hubert 2.0 kunde det konstateras att dessa krav uppfylldes.

Då prototypens stomme består av aluminium finns utvecklingsmöjligheter inom detta område, alternativt kan en 3D-utskrivna stomme reducera prototypens totala vikt ytterligare beroende på hur den utformas och i vilket material denna del 3D-utskrivs.

### 6.5.4 Användarmiljö & förvaring

Krav definierades för prototypens användarmiljö och förvaring. Dessa krav var att luftfuktigheten inte fick överstiga 70% RH, prototypen skulle klara av en inomhustemperatur på 24°C och ljudnivån fick inte överstiga 85 dB. För att se om prototypen mötte dessa krav utfördes ett antal tester se (resultat). Efter genomförandet av dessa tester konstaterades det att prototypen uppfyller de krav som definierats gällande inomhustemperatur och ljudnivå. Det genomfördes inga tester på luftfuktigheten då mätinstrument för detta inte var tillgängligt. Normal luftfuktighet i rumstemperatur motsvarar 30-70% (Intab (n.d.)) och då prototypen endast ska användas för inomhusbruk anses målet vara uppfyllt.

Det anses inte finnas några direkta utvecklingsmöjligheter inom detta område då prototypen endast ska användas för inomhusbruk och därmed inte behöver klara av en högre luftfuktighet. Den ljudnivå som mättes i testerna överstiger inte den gräns som är skadlig vid längre exponering. Om det är eftersträvänt med en lägre ljudnivå än den som uppmätts för prototypen kan valet av motorer undersökas, men detta anses inte nödvändigt.

### 6.5.5 Livslängd

Kravet på att prototypen ska hålla i minst åtta veckor har inte testats utan istället kan en bedömning utföras genom att prototypen inte gått sönder under kandidatarbetets gång. De knäckningstest som utfördes på armdelarna visade på att armarna klarade stor påfrestning innan de nådde sin brytpunkt, men om någon del skulle gå sönder kan den enkelt ersättas med en ny med hjälp av de ritningar som finns att tillgå för prototypen. Kravet på prototypens livslängd anses därför vara uppfyllt.

### 6.5.6 Material

Önskemålet med 3D-utskrivna delar ses som uppfyllt då majoriteten av delarna i konstruktionen består av detta. Undantagen är de inköpta delarna så som servomotorer och

mikrodatorn vilket ändå inte hade gått att tillverka med 3D-skrivna delar. Stommen tillverkades i aluminium och 3D-skrevs alltså inte. Detta på grund av dess storlek som medförde en lång utskrivstid vilket begränsades av den snäva tidsramen.

Kravet om lagliga material anses också vara uppfyllt då de endast använts lagliga material i Prototyplabbet. Eftersom alla ingående komponenter införskaffats inom EU:s gränser måste företagen följa EU:s direktiv och restriktioner och därför tillåts inga olagliga material i Europa. Ingående komponenter har införskaffats från Conrad som är ett elektronikföretag grundat i Tyskland, men som även levererar till Sverige.

Önskemålet på 100% återvinningsbart material för tillverkningen av de 3D-utskrivna delarna anses vara uppfyllt då den PLA-plast som används går att återvinna. Om möjligt har de ingående delar anpassats till standardiserade delar. Standardiserade skruvförband används främst för att montera prototypens olika delar. Vidare används servomotorer som kan skilja i utseende beroende på vilken servomotor som används och vilket företag som producerat denna. På grund av detta kunde inte delarna anpassas till att passa alla servomotorer. Istället får dessa delar modifieras för att passa nya servon om studenterna önskar att byta ut dessa. Kravet på standardiserade delar anses därför vara uppfyllt då prototypen monteras med standardiserade skruvförband och CAD-delarna kan anpassas vid behov utan att ändra på infästningarna.

De delar som köps in (servo, kamera, mikrodator) är vanligt förekommande och finns att införskaffa på flera hobby- och elektronikbutiker. Det finns en risk att de specifika delarna som använts i detta projekt kan sluta tillverkas. Gruppen anser inte att detta bör vara ett problem då nya motsvarande komponenter kan ersätta de gamla om dessa skulle sluta tillverkas därför anses även kravet med hobbyklassade delar vara uppfyllt.

### 6.5.7 Kostnad

De komponenter som köpts in samt det material som har använts ligger inom den önskade budgetens ramar som definierats i kravspecifikationen på 2000 kr. Detta har delvis varit möjligt då kandidatgruppen temporärt fått låna XYZ servomotorer som senare kan behöva köpas in. De 3D-utskrivna delarna till prototypen har även tillverkats i Prototyplabbet utan kostnad och därför har hänsyn inte tagits till eventuell material- och tillverkningskostnad av dessa delar. Vid framtida tillverkning av prototypen kan därför önskemålet på 2000 kr komma att överskridas.

### 6.5.8 Design

Kravet på en estetiskt tilltalande design är svårt att konkret verifiera då åsikter om design och utseende är subjektivt. Genom användandet av en enkät erhöles 29 svar där Hubert 2.0 fick det bästa medelvärdet i alla kategorier. Därför anser gruppen kravet på en mer estetiskt tilltalande design har uppnåtts.

Monteringstiden för prototypen har uppmätts till cirka 20 minuter för en person som tidigare monterat denna. Då ritningar och manualer finns till hjälp bedöms inte den totala monterings tiden överskrida kravet på en timme, vilket var ett önskemål. Förutsättningarna för detta är att alla skruvhål är rätt dimensionerade. Detta var ett problem

under framställningsfasen av prototypen då hålen nästan alltid behövde borras upp, vilket är ett vanligt problem som medföljer vid 3D-utskrivning om det inte förutses från början och kompenseras för i modelleringen av komponenterna.

Då prototypen uppfyller de uppsatta kraven på de mått som definierats i kravspecifikation medför det att den lätt kan få plats i en större bärkasse som diskuterats tidigare i rapporten. Däremot minskar transportvänligheten vid användningen av en platta som bas då plattan adderar en stor tyngd. Denna tyngd anses inte påverka förflyttningssmöjligheterna av prototypen, men blir tyngre för användaren att bära. Därför bedöms önskemålet på att prototypen ska vara transportvänlig ändå vara uppfyllt.

### 6.5.9 Underhåll

Ritningar för varje del samt en monteringsanvisning tillverkades för att kunna möjliggöra serietillverkning av prototypen, samt för att erbjuda hjälp under monteringen. Demonteringstiden för prototypen har likt monteringstiden uppmätts till cirka 20 minuter därför bedöms inte heller demonteringstiden överskrida en timme. Kraven för underhåll som definierats i prototypens kravspecifikation anses därmed vara uppnådda.

### 6.5.10 Säkerhet

Prototypen som framställts är säkrare än dess föregångare, men vissa riskfaktorer finns fortfarande kvar. Eftersom prototypen har rörliga leder kan klämrisken inte elimineras. Då prototypen inte ska interagera fysiskt med användaren under drift minimeras klämrisken. Därmed bedöms klämrisken vara minimal och önskemålet uppfyllt.

Prototypen är tillverkad i plast, vilket inte är ett elektriskt ledande material och har därför en minimal värmeledning. De punkter som alstrar värme på roboten är servomotorerna samt styrdatorn, men i dessa punkter förekommer en extremt låg värmeutveckling. Det kan därför konstateras att önskemålen gällande dessa faktorer är uppnådda.

I och med att prototypen är tillverkad i plast har skaderisken med vassa kanter eliminerats, vilket uppfyller kravet.



## 7 Slutsats

I följande kapitel sammanfattas projektet i sin helhet. Det diskuteras främst hur väl projektet uppfyllt de kriterier och mål som sattes tidigt i projektet och utgör följaktligen slutsatsen av hela kandidatarbetet.

Projektgruppen har under kandidatarbetet arbetat med att utveckla en prototyp av en öppen modulär humanoid robotplattform som ska användas vid undervisning i kursen Humanoid-robotics på Chalmers tekniska högskola, men även vid marknadsföringssammanhang för att rekrytera nya elever. Prototypen ska vara anpassningsbar utifrån studenterna som läser kursens preferenser och skisser samt ritningar ska finnas att tillgå för att de med enkelhet ska kunna modifiera roboten.

Vid återkoppling till inledningskapitlet samt de kriterier som ställts av projektets beställare, anser gruppen att uppgiften är uppfylld. Prototypen, Hubert 2.0, kan utföra ett bestämt rörelsemönster med hjälp av enklare programmeringskod, är modulär genom att studenterna kan anpassa längderna på de olika ingående delarna efter eget behov med hjälp av de skisser och ritningar som finns att tillgå. Prototypen bedöms vara mer estetiskt tilltalande än sin föregångare och mer människoliknande än tidigare vilket uppfyller de krav och kriterier som tidigare satts i projektet. Roboten rymms i en bärkasse vilket medger god portabilitet. Projektgruppen upplever den slutgiltiga prototypen som lyckad och genom att göra en enkät för att öppna upp för extern kritik kunde prototypens estetiska utseende utvärderas ytterligare. Kritiken resulterade i goda resultat vilket stärker gruppens egna uppfattning om den slutgiltiga prototypen.

Redan i ett tidigt stadie sattes kravet att överlämna monteringsunderlag bakom prototypens funktion samt ritningar och eventuella rekommendationer för framställning. Genom de skisser och ritningar som finns att tillgå i CAD är den interna uppfattningen att projektet kommer bidra till studenterna som läser Humanoid-robotics på Chalmers, och förenkla arbetet vid deras framtagning av egna humanoida robotar.

Prototypen medger möjligheter för fortsatt utvecklingsarbete. Framförallt kan rustningen och plattan utvecklas, men även prototypens skelett då ytterligare beräkningar kan genomföras på hållfastheten och ett mer människoliknande skelett kan tas fram. Det kan konstateras att den slutgiltiga prototypen som framställdes med relativt enkla geometrier och tillgängliga material, kommer att förbättra undervisningen i kursen då det finns möjligheter för vidareutveckling. Den humanoida robotplattformen är mer attraktiv än tidigare vilket höjer studenternas intresse och motivation under kurstillfället då de får arbeta med en mer modern och aktuell plattform än tidigare.

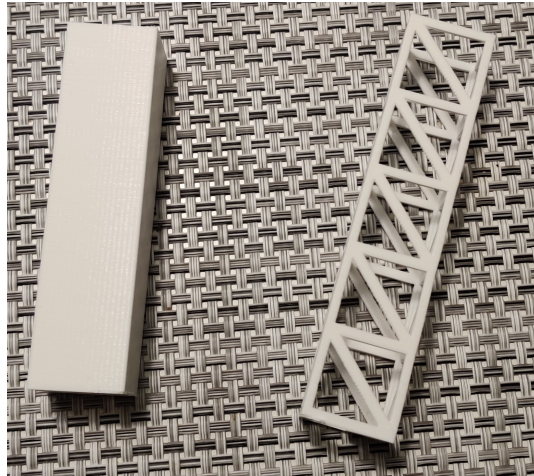
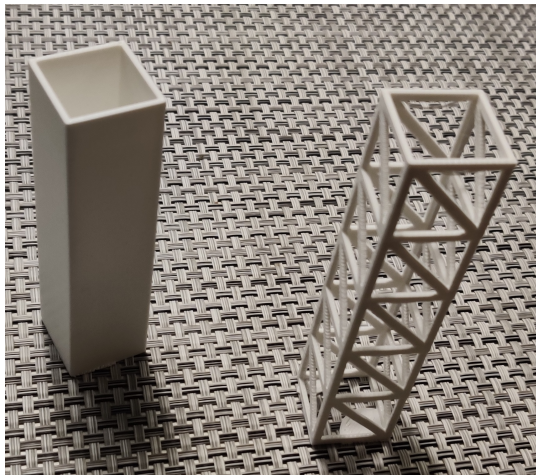
## Litteraturförteckning

- Ayse Pinar Saygin, Thierry Chaminade, H. I. J. D. C. F. (2011), 'The thing that should not be: predictive coding and the uncanny valley in perceiving human and humanoid robot actions', *Social Cognitive and Affective Neuroscience* **7**. [Online] Tillgänglig: <https://doi.org/10.1093/scan/nsr025>, hämtad 2020-05-24.
- Chalmers (2020), 'Utbrottet av coronavirus'. [Online] Tillgänglig: <https://www.chalmers.se/sv/nyheter/info/Sidor/default.aspx>, hämtad 2020-04-13.
- Clas Ohlsson (n.d.), 'Shoppingkasse'. [Online] Tillgänglig: [https://www.clasohlsson.com/se/Shoppingbag-M/p/70-104-1?gclid=Cj0KCQjw-Mr0BRDyARIsAKEFbefcIpih2-cTDnk92IQu3W0kwvrSx52us0xR8gGYMCLUq\541PXC4sJAaAn2VEALw\\_wcB](https://www.clasohlsson.com/se/Shoppingbag-M/p/70-104-1?gclid=Cj0KCQjw-Mr0BRDyARIsAKEFbefcIpih2-cTDnk92IQu3W0kwvrSx52us0xR8gGYMCLUq\541PXC4sJAaAn2VEALw_wcB), hämtad 2020-02-11.
- Conrad (2020), 'Htb ucfl 204 flänslager gjutjärn borrdiameter 20 mm håldistans 90 mm'. [Online] Tillgänglig: [https://www.conrad.se/p/htb-ucfl-204-flaenslager-gjutjaern-borrdiameter-20-mm-haldistans-90-mm-197022?gclid=CjwKCAjwqJ\\_1BRBZEiwAv73uwG3pxQEh0BNkZrt8n4gye0IJTXAJkKWUH3D7fE9Ki\\_ZX7Nntves8ExoCIMMQAvD\\_BwE&gclidsrc=aw.ds&vat=true](https://www.conrad.se/p/htb-ucfl-204-flaenslager-gjutjaern-borrdiameter-20-mm-haldistans-90-mm-197022?gclid=CjwKCAjwqJ_1BRBZEiwAv73uwG3pxQEh0BNkZrt8n4gye0IJTXAJkKWUH3D7fE9Ki_ZX7Nntves8ExoCIMMQAvD_BwE&gclidsrc=aw.ds&vat=true), hämtad 2020-05-01.
- Folkhälsomyndigheten (n.d.), 'Hälsoeffekter av buller och höga ljudnivåer'. [Online] Tillgänglig: <https://www.folkhalsomyndigheten.se/publicerat-material/publikationsarkiv/h/halsoeffekter-av-buller-och-hoga-ljudnivaer/?pub=60532>, hämtad 2020-02-10.
- Giorgio Metta, Paul Fitzpatrick, L. N. (2006), 'Yarp: Yet another robot platform', *International Journal of Advanced Robotic Systems* **3**. [Online] Tillgänglig: <https://doi.org/10.5772/5761>, hämtad 2020-05-24.
- Intab (n.d.), 'Inomhusklimat'. [Online] Tillgänglig: <https://intab.se/radgivning/inomhusklimat>, hämtad 2020-02-10.
- Jens Ziegler, Krister Wolff, P. N. W. B. (2001), 'Constructing a small humanoid walking robot as a platform for the genetic evolution of walking'. [Online] Tillgänglig: [http://fy.chalmers.se/~wolff/ZWNB\\_AMiRE01.pdf](http://fy.chalmers.se/~wolff/ZWNB_AMiRE01.pdf), hämtad 2020-05-24.
- Johannesson, H., Persson, J.-G. and Pettersson, D. (2004), 'Produktutveckling: Effektiva metoder för konstruktion och design'. [Bok] Liber, Stockholm.
- Kiluck (n.d.), 'Rapiro'. [Online] Tillgänglig: <http://www.rapiro.com/>, hämtad 2020-04-13.
- Krister Wolff, P. N. (2003), 'An evolutionary based approach for control programming of humanoids'. [Online] Tillgänglig: [http://fy.chalmers.se/~wolff/WN\\_Humanoids03.pdf](http://fy.chalmers.se/~wolff/WN_Humanoids03.pdf), hämtad 2020-05-24.
- Makeblock (n.d.), 'Mini gripper'. [Online] Tillgänglig: <https://www.makeblock.com/project/mini-gripper>, hämtad 2020-02-11.
- Peter Nordin, M. G. N. (1999), 'An evolutionary architecture for a humanoid robot'. [Online] Tillgänglig: [ftp://161.24.19.221/ele/helder/Leitura/Nordin\\_Nordahl.pdf](ftp://161.24.19.221/ele/helder/Leitura/Nordin_Nordahl.pdf), hämtad 2020-05-24.

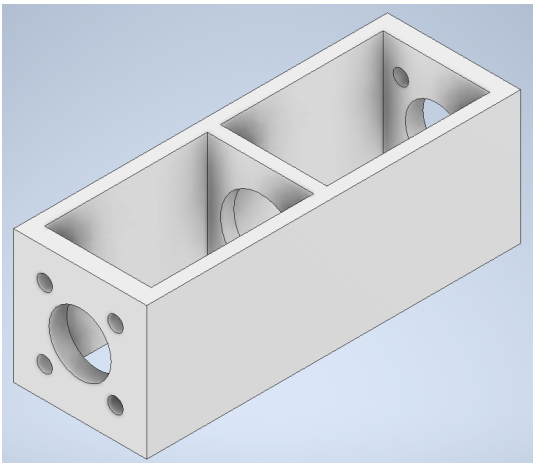
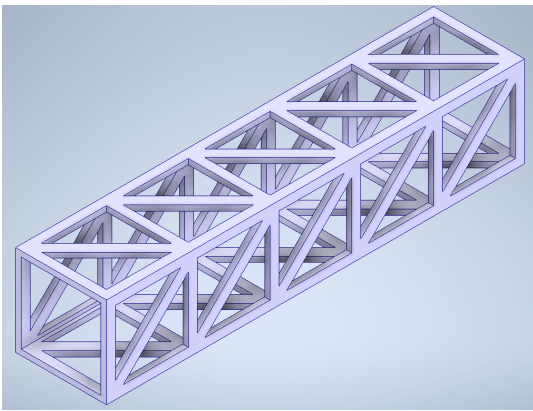
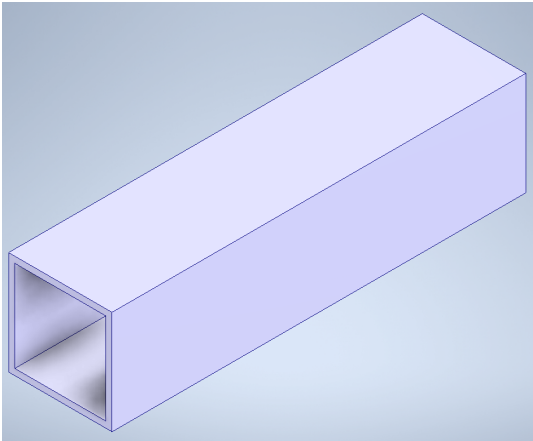
- Poppy-team (2019), 'Poppy-project'. [Online] Tillgänglig: <https://docs.poppy-project.org/en/>, hämtad 2020-04-13.
- Robotics, S. (n.d.a), 'Nao'. [Online] Tillgänglig: <https://www.softbankrobotics.com/emea/en/nao>, hämtad 2020-04-28.
- Robotics, S. (n.d.b), 'Pepper'. [Online] Tillgänglig: <https://www.softbankrobotics.com/emea/en/pepper>, hämtad 2020-04-28.
- ROBOTIS, I. (n.d.), 'Dynamixel'. [Online] Tillgänglig: <http://www.robotis.us/dynamixel/>, hämtad 2020-04-13.
- Waseda University (n.d.), 'History and achievements - future robotics organization, waseda university'. [Online] Tillgänglig: <https://www.waseda.jp/inst/fro/en/about/history/>, hämtad 2020-04-13.
- World Health Organization (2020), 'Coronavirus disease 2019'. [Online] Tillgänglig: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019>, hämtad 2020-04-13.
- Yoshida, E. (2018), 'Robots that look like humans: A brief look into humanoid robotics'. [Online] Tillgänglig: <https://ojs.uv.es/index.php/Metode/article/view/11405>, hämtad 2020-02-11.
- Zeltmann, S. E., Gupta, N., Tsoutsos, N. G., Maniatakos, M., Rajendran, J. and Karri, R. (2016), 'Manufacturing and security challenges in 3d printing'. [Online] Tillgänglig: <https://doi-org.proxy.lib.chalmers.se/10.1007/s11837-016-1937-7>, hämtad 2020-04-12.

# Bilagor

## A CAD



## **B Armtyper: Standard, fackverk, H**



# C Tidsplan ordinarie

TID	TID	Jan LV1 (v.4)	Jan LV2 (v.5)	Feb LV3 (v.6)	Feb LV4 (v.7)	Feb LV5 (v.8)	Feb LV6 (v.9)	Mars LV7 (v.10)	Mars LV8 (v.11)	Mars TV (v.12)	Mars LV1 (v.13)	April LV2 (v.14)	April OTV (v.15)	April LV3 (v.16)	April LV4 (v.17)	April LV5 (v.18)	Maj LV6 (v.19)	Maj LV7 (v.20)	Maj LV8 (v.21)	Maj LV9 (v.22)	Maj TV (v.23)
Planeringsrapport	VAD																				
Slutrapport	planeringsrapport inlämning																				
Möten	Fackspråk handledning																				
Forskningsmetodik	Mittmöte + presentation																				
	Sammanställd slutrapport																				
	Skicka rapport till opponent																				
	Skriftlig <i>Individual/</i> opposition																				
	Presentation																				
	Litteraturläsning																				
	Gruppdynamik övning																				
	Forskningsmetodik Föreläsning																				
	Redovisningsuppgift forskningsmetodik																				
	Immateriaträtt (1 av 3)																				
	Handledningsmöte/ kundmöte																				
	Strukturmöte för rapport																				
	Konceptfas																				
	Konstruktionsfas																				
	Mjukvarufas																				
	Utvärdering av utseende																				
	Sammanställningsfas & testfas																				

## D Tidsplan reviderad

TID	Mars LV1 (v.13)	April LV2 (v.14)	April OTV (v.15)	April LV3 (v.16)	April LV4 (v.17)	April LV5 (v.18)	Maj LV6 (v.19)	Maj LV7 (v.20)	Maj LV8 (v.21)	Maj LV9 (v.22)	Maj TV (v.23)
<b>VAD</b>											
Fackspråk handledning				(2) 6e				(3) 14e			
Sammanställd slutrapport								14e			
Skicka rapport till opponent								14e			
Skriftlig <i>Individuell</i> opposition								14e --21e			
Presentation										26e	
Litteraturgenomgång											
Redovisningsuppgift forskningsmetodik							5e				
Immaterialrätt											
Hanledningsmöte/ kundmöte	Tis	Tis	Tis	Tis	Tis	Tis	Tis	Tis	Tis	Tis	
<b>Konceptfas</b>	Slutgiltigt koncept										
<b>Konstruktionsfas</b>											
Amar	CAD	3D		Montering							
Rustning		CAD		3D		Montering					
Rygg	CAD	3D/BYGG			Montering						
Axlar	CAD	3D/BYGG			Montering						
Infästningar		Väntar på amar och axlar				Montering					
Plattan		Väntar på rygg				Montering					
Beställningar	Gripdon, servomotorer, arduino										
Mjukvarufas	Rotationstest		Koordinering mellan flera servon				Slutkontroll				
Utvärdering utseende											
Sammanställningsfas & testfas							TEST mot kravspec				
Strukturmöte för rapport		X			X		X				

## E Kravspecifikation

Utfärdad av: Kandidatgrupp MMSX20-20-24		Skapad: 28/01-20		
		Modifierad:		
Kriterier	Målvärde	Krav/Önskemål	Verifieringsmetod	Kravställare
<b>Funktion</b>				
Möjliggör rörelse i 3 dimensioner		K	Testkörning	Kund
Manipulera objekt bestående av två eller fler material	Fler än två material	K	Observation	Kandidatgruppen
Styras av en mikro dator		K	Observation	Kund
Kan monteras ihop på flera olika sätt	≥ 2 sätt	K	Testmontering	Kund
Styras med hjälp av servomotorer		K	Observation	Kund
Stabilitet under användning	Ej vältras	Ö	Välttest	Kandidatgruppen
Energikälla	Elektrisk	K	Observation	Kund
Sladdlös	Batteri	Ö	Observation	Kund
Robotseende	Infästning för kamera	K	Observation	Kund
<b>Prestanda</b>				
Styrka i lyft	≤100g	K	Styrketest	Kandidatgruppen
	≤ 500g	Ö	Styrketest	Kandidatgruppen
Stöttålighet	Tåla att vältras från stående position	K	Välttest	Kandidatgruppen
<b>Storlek</b>				
Vikt	< 5kg	Ö	Vägning	Kandidatgruppen
Längd	≤ 500 mm	K	Mätning	Kund
Bredd	≤ 500 mm	K	Mätning	Kund
Höjd	≤ 600 mm	K	Mätning	Kund
<b>Användarmiljö/förvaring</b>				
Luffuktighet	min 70% RH	K	Testkörning i 70% RH	Kandidatgruppen
Användningstemperaturer	Inomhustemperatur (ca. 24°C)	K	Testkörning i rumstemperatur	Kandidatgruppen
Låg ljudnivå	< 60 dB	K	Decibelmätning	Kandidatgruppen
<b>Livslängd</b>				
Livslängd	minst 8 veckor	K	Utmattningstest	Kund
	minst 5 år	Ö	Utmattningstest	Kandidatgruppen
<b>Material</b>				
3D printade delar		Ö	Observation	Kund
Endast lagliga material	100%	K	Granskning av EU klassning	Kandidatgruppen
Återvinningsbarhet	Allt utom inköpta komponenter, 100%	Ö	LCA/CES	Kandidatgruppen
Standardiserade delar		K	Gransknin av standarder	Kund
Hobbyklassade delar		K	Inköpta delar hittas på hobbysidor	Kund
<b>Kostnad</b>				
Låg kostnad	< 2000 kr	Ö	Kostnadsberäkningar	Kandidatgruppen
<b>Design</b>				
Humanoid	Uppfattas människoliknande	K	Enkät/intervjuer	Kund
Mer estetiskt tilltalande	Uppfattas mer estetiskt tilltalande än företrädaren	K	Enkät/intervjuer	Kund
Transportvänlig	Lätt att förflytta utan större problem	Ö	Testning	Kandidatgruppen
Enkel montering	Monterinstid < 1h	Ö	Tidtagning	Kandidatgruppen
<b>Underhåll</b>				
Enkel demontering	Demonteringsstid < 1h	K	Tidtagning	Kund
Reproducerbara delar	Ritningar och manualer	K	Observation	Kund
Monteringsunderlag	Finns manual/anvisningar	K	Observation	Kund
<b>Säkerhet</b>				
Klämrisk	Minimal	Ö	Risakanalys	Kandidatgruppen
Värmeutveckling	Minimal	Ö	Risakanalys	Kandidatgruppen
Icke elektriskt ledande material		Ö	Testning	Kandidatgruppen
Icke värmeledande material		Ö	Testning	Kandidatgruppen
Inga vassa delar		K	Risakanalys	Kund



## F Viktning av önskemål

Önskemål	Kriterie	Målvärde
A	Stabil	Den ska inte kunna välta vid användning
B	Sladdlös	Batteri
C	Klämrisk	Minimal
D	Värmeutveckling	Minimal
E	Icke elektriskt ledande material	
F	Icke värmeledande material	
G	Styrka i lyft	≤ 500g
H	Lätt att förflytta utan större problem	
I	Monterinstid < 1h	
J	Vikt	< 5kg
K	Livslängd	< 5 år
L	Låg kostnad	< 2000 kr
M	3D printade delar	
N	Återvinningsbarhet	Allt utom inköpta komponenter, 100%

Viktning av önskemål																Storlek	Vikt	Sorterat
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N				
A	-	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	0,1318681319	E
B	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0,01098901099	A
C	0	1	-	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	0,1098901099	D
D	0	1	1	-	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	0,1208791209	C
E	1	1	1	1	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13	0,1428571429	N
F	0	1	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,01098901099	I
G	0	1	0	0	0	1	-	1	0	0	1	1	1	0	0	6	0,06593406593	G
H	0	1	0	0	0	1	0	-	0	1	1	1	0,5	0	0	5,5	0,06043956044	H,J
I	0	1	0	0	0	1	1	1	-	1	1	1	1	0	0	8	0,08791208791	M
J	0	1	0	0	0	1	1	0	0	-	1	1	0,5	0	0	5,5	0,06043956044	K
K	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	-	1	1	0	0	3	0,03296703297	L
L	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	-	0,5	0	0	2,5	0,02747252747	F,B
M	0	1	0	0	0	1	0	0,5	0	0,5	0	0,5	-	0	0	3,5	0,03846153846	
N	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	-	0	9	0,0989010989	
																Totalt:	91	1

## G Morfologisk matris

<b>Morfologisk matris</b>										
	Förslag 1	Förslag 2	Förslag 3	Förslag 4	Förslag 5	Förslag 6	Förslag 7	Förslag 8	Förslag 9	Förslag 10
<b>1. Utformning av delar</b>	Raka delar 	Kvadrater 	Cirklar 	Kurviga delar 						
<b>2. Profil (på delar)</b>	Cirkel 	Kvadrat 	Triangel 	U-format 						
<b>3. Ifyllnad</b>	Ifyllt 	Inhålligt 	halvfyllt 	1 stöd 	2 stöd 	Många stöd 				
<b>4. Infästning av delar (mot delar samt motorer)</b>	Skruvförband 	Clips 	Sugpropp 	Magnet 	Kardborre 	Hål & pigg (Liknande Lego) 	Hasp 	Mindre i större 	Gångor 	Knyta snöre 
<b>5. Bas</b>	Stor platta 	Sugpropp 	Magnet 	Klämma 	Inställningsbara fötter 	Tygnd 	Stativ 			
<b>6. Styrdon</b>	Picit 	Raspberry 	Arduino 	Beaglebone 	PC 					
<b>7. Motorer</b>	Servo 	Steg 	DC 							
<b>8. Gripdon</b>	Klämma (Två fingrar) 	Magnet 	Sugpropp 	Krok 	Häv 	Skyffel 	Grip (3 fingrar) 			
<b>9. Robotseende</b>	GoPro 	Infraröd 	Värme 	Raspberry Pi kamera 	Webbkamera 					



## I Pughmatrix 1

Uttärdad av: Kandidatgrupp MMS'20-20-24		Skapad: 21/2-20 Modifierad: 24/2-20													
Kriterier	Alternativ	Pippi													
		U-svängen	Legogubben	Rörmockern	Pioncen	Teleskopet	Rooke								
Kan monteras på två eller fler sätt	R	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	Fler möjligheter med kvadrater samt ju fler sidor det går att montera på
Robosende (Kamera)	E	+	0	+	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Enkelhet att behandla bilden
Skä kuma lyfta minst 100 g	F	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	Form, antal infästningar och fäst i bord.
Skä tala att väljas	E	0	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Infästning av delar
Skä tala en luftfuktighet på minst 70% RH	R	0	+	+	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	GoPro är vattentålig
Skä hålla minst 8 veckor	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Picit går sönder lätt
Standardiserade delar	N	0	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Skrubar eller engångsorda infästningar
Skä kunna demonteras under en timma	S	0	+	+	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Infästning
Det ska gå att reproducera extra delar på ett enkelt sätt		0	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Innandöme, form och infästning
Inga vassa delar		-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Man kan skära sig på U-profilen
Den ska kunna manipulera objekt bestående av två eller fler material		+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Tre fingrar klarar mer än två
<b>Σ +</b>		3	2	2	2	2	2	3	2	3	2	3	2	3	
<b>Σ 0</b>		6	4	8	7	4	7	4	7	5	7	5	4	5	
<b>Σ -</b>		2	5	1	2	4	2	4	2	3	2	3	2	3	
<b>Nettovärde</b>	0	1	-3	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	
<b>Rangordning</b>		1	5	1	2	4	2	4	2	3	2	3	2	2	
<b>Vitaretutveckling</b>															

## J Pughmatrix 2

Utförd av: Kandidatgrupp MMSX20-20-24		Skapad: 21/2-20 Modifierad: 24/2-20									
Kriterier	Alternativ	Basala Bertil	Legogubben	Rörmokarn	Picnicen	Teleskopet	Pippi	Rookie	Kommentar		
		U-svängen	R	E	F	R	E	N	S	Inga vassa delar	Den ska kunna manipulera objekt bestående av två eller fler material
Kan monteras på två eller fler sätt	R	+	-	-	-	+	-	+	Fler möjligheter med kvadrater samt ju fler sidor det går att montera på		
Robotseende (Kamera)	E	-	-	0	-	-	-	0	Enkelhet att behandla bilden		
Ska kunna lyfta minst 100 g	F	-	-	-	-	-	+	-	Form, antal infästningar och fast i bord.		
Ska tåla att vällas	E	0	-	0	0	-	0	-	Infästning av delar		
Ska tåla en luftfuktighet på minst 70% RH	R	0	+	0	+	0	0	0	GoPro är vattentålig		
Ska hålla minst 8 veckor	E	0	0	0	-	0	0	0	Pilot går sönder lätt		
Standardiserade delar	N	0	-	0	0	-	0	-	Skruvar eller engångs gjorda infästningar		
Ska kunna demonteras under en timma	S	0	+	0	0	+	0	+	Infästning		
Det ska gå att reproducera extra delar på ett enkelt sätt		0	-	-	0	-	-	0	Imandömmet, form och infästning		
Inga vassa delar		+	+	+	+	+	-	+	Man kan skära sig på U-profilen		
Den ska kunna manipulera objekt bestående av två eller fler material		-	-	-	-	0	0	+	Tre fingrar klarar mer än två		
Σ +		2	3	1	2	3	2	3			
Σ 0		6	1	6	4	3	6	4			
Σ -		3	7	4	5	5	3	3			
Nettovärde	0	-1	-4	-3	-3	-2	-1	0			
Rangordning		2	5	4	4	3	2	1			
Vidareutveckling											

# K Kesselingsmatrix

Chalmers		Kesselingsmatrix för modulär humanoid robot																							
Utförd av: Kandidatgrupp MMSX20-20-24		Skapad: 21/2-20 Modificerad: 24/2-20																							
Kriterier	w	Alternativ																							
		Basala Bertil		U-svängen		Legogubben		Rörmokaren		Picnicen		Teleskopet		Pippi		Rookie									
Namn		v	t	v	t	v	t	v	t	v	t	v	t	v	t	v	t	v	t						
Stabilitet	0,132	10	1,32	6	0,792	8	1,056	4	0,528	6	0,792	7	0,924	5	0,66	9	1,188	5	0,66						
Sladdlös	0,011	10	0,11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
Klämrisk	0,11	10	1,1	8	0,88	4	0,44	4	0,44	8	0,88	8	0,88	3	0,33	5	0,55	6	0,66						
Värmeutveckling	0,121	10	1,21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
Ikke elektriskt ledande material	0,143	10	1,43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
Ikke värmeledande material	0,011	10	0,11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
Styrka i lyft	0,066	10	0,66	6	0,396	4	0,264	3	0,198	6	0,396	7	0,462	4	0,264	9	0,594	3	0,198						
Lätt att förflytta utan större problem	0,06	10	0,6	3	0,18	6	0,36	6	0,36	3	0,18	3	0,18	4	0,24	6	0,36	3	0,18						
Monterings tid < 1h	0,088	10	0,88	4	0,352	2	0,176	6	0,528	3	0,264	4	0,352	1	0,088	3	0,264	3	0,264						
Vikt	0,06	10	0,6	4	0,24	8	0,48	7	0,42	4	0,24	2	0,12	3	0,18	3	0,18	5	0,3						
Livslängd	0,033	10	0,33	4	0,132	3	0,099	2	0,066	5	0,165	1	0,033	2	0,066	6	0,198	3	0,099						
Låg kostnad	0,027	10	0,27	6	0,162	7	0,189	1	0,027	7	0,189	1	0,027	6	0,162	5	0,135	8	0,216						
3D-printade delar	0,038	10	0,38	8	0,304	5	0,19	3	0,114	2	0,076	5	0,19	4	0,152	5	0,19	7	0,266						
Återvinningsbarhet	0,099	10	0,99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
T (Totalt viktat värde)		140	9,99	49	3,438	47	3,254	36	2,681	44	3,182	38	3,168	32	2,142	51	3,659	43	2,843						
T / Ideal		1	1	0,35	0,344	0,336	0,326	0,257	0,268	0,314	0,319	0,271	0,317	0,229	0,214	0,364	0,366	0,307	0,285						
Medel		10	0,714	3,5	0,246	3,357	0,232	2,571	0,192	3,143	0,227	2,714	0,226	2,286	0,153	3,643	0,261	3,071	0,203						
Sto-avvikelse		0	0,378	2,571	0,214	2,643	0,205	2,143	0,189	2,449	0,205	2,531	0,245	1,857	0,131	2,786	0,236	2,235	0,164						
Median		10	0,63	4	0,171	3,5	0,183	2,5	0,09	3	0,173	1,5	0,077	2,5	0,12	4	0,185	3	0,189						
Antal svaga punkter				4		4		6		4		5		7		2		4							
Rangordning					2		3		7		4		6		8		1		5						

## L Koncept

I denna bilaga presenteras alla koncept i tabellen nedan mer ingående.

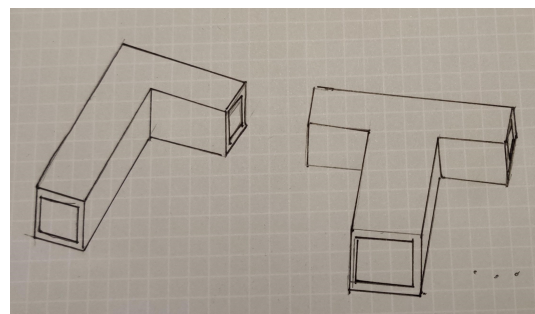
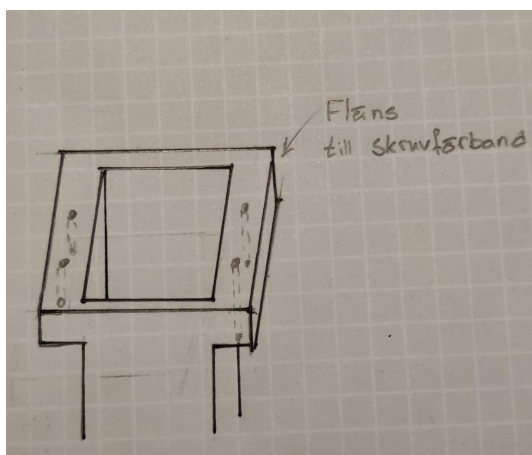
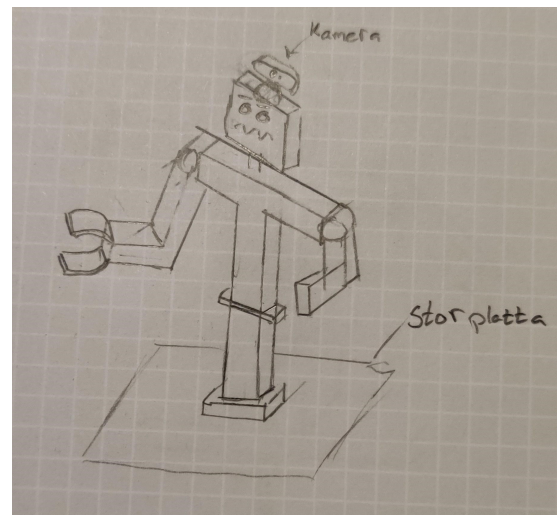
Efter eliminering			1	2	3	4	5	6	7	8	9
			Koncept 1	Basala Bertil	1	2	2	1	1	3	1
Koncept 2	Usvängen	1	4	2	1	4	2	1	7	4	
Koncept 16	Legogubben	1	1	5	6	4	2	1	1	1	
Koncept 18	Rörmockaren	4	1	2	1	1	2	1	1	4	
Koncept 20	Picknicken	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
ny 1	Koncept utfyllnad	Teleskopet	2	2	3	2	5	3	1	7	-
ny 2	Stark	Pippi	4	1	1	1	4	-	1	7	-
ny 3	Nyborjaren	Rookien	2	2	2	2	1	2	1	1	4

### L.1 Basala Bertil

Grundtanke: Fick inspiration från gamla Hubert. Alltså en uppdaterad Hubert med modulära element.

Valda förslag:

- Raka delar
- Kvadratisk profil
- Ihålig
- Skruvförband
- Stor platta
- Arduino
- Servomotor
- Klämma (2 fingrar)
- Webbkamera

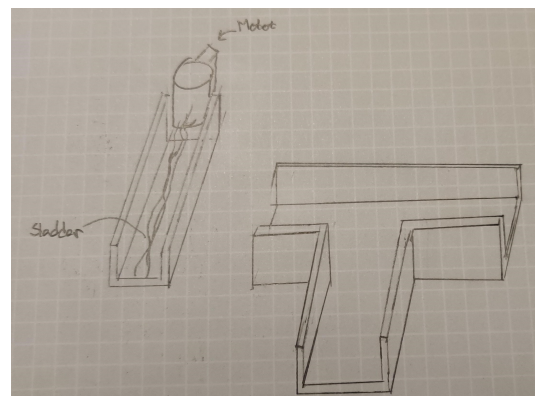
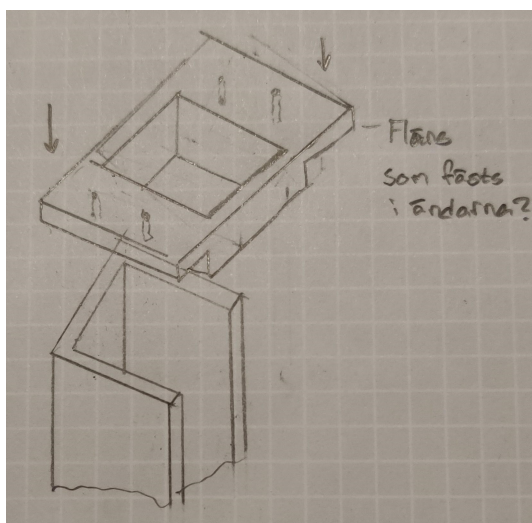
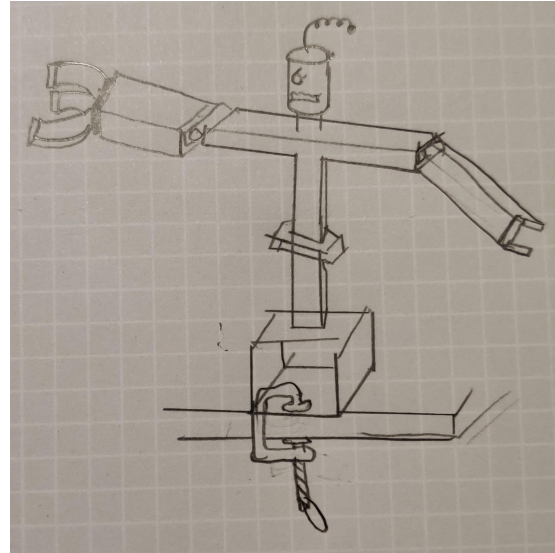


## L.2 Usvängen

Grundtanke: När jag pratade med Göran efter vi hade 3D-printat testarmar för att visualisera konceptet lättare kom han med förslaget att använda en U-profil. Detta tog jag med mig när vi skapade olika lösningar som stoppades in i den morfologiska matrisen. Namnet är taget från profilen på delarna vilket kanske säger sig självt.

Valda förslag:

- Raka delar
- U profil
- Ihålig
- Skruvförband
- Klämma
- Raspberry pi
- Servomotor
- Grip (3 fingrar)
- Raspberry pi kamera



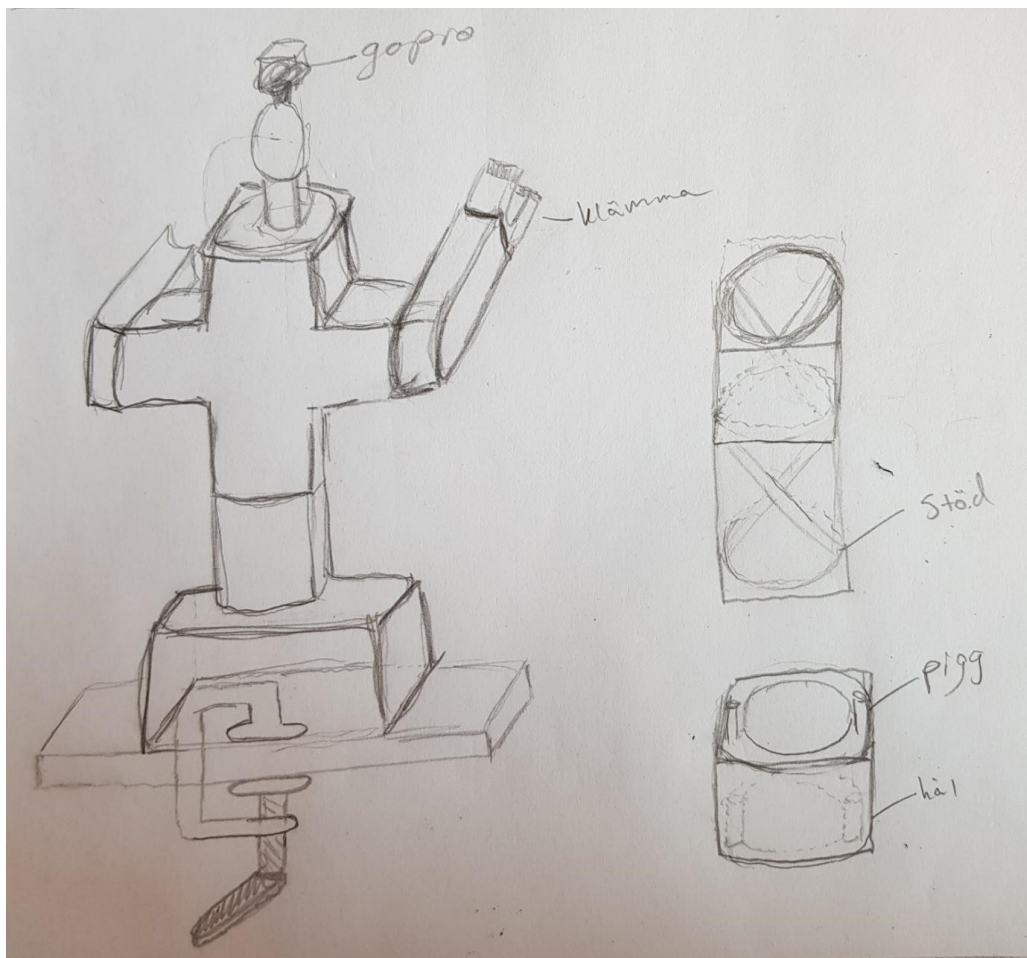


### L.3 Legogubben

Grundtanke: Tanken med detta koncept är 3D printade delar, bestående av raka profiler med cirkulär profil bestående av två stöd inuti för att stärka konstruktionen. Bitarna fästs i varandra med pigg och hål ungefär som legobitar. Konstruktionen fästs i bord med klämma och styrs av servomotorer, raspberry pi och robotseende erhålls med hjälp av en gopro. Objekt manipuleras med en klämma.

Valda förslag:

- Raka delar
- Cirkulär profil
- Två stöd
- Hål/Pigg
- Klämma
- Raspberry pi
- Servomotor
- Klämma (2 fingrar)
- Go pro

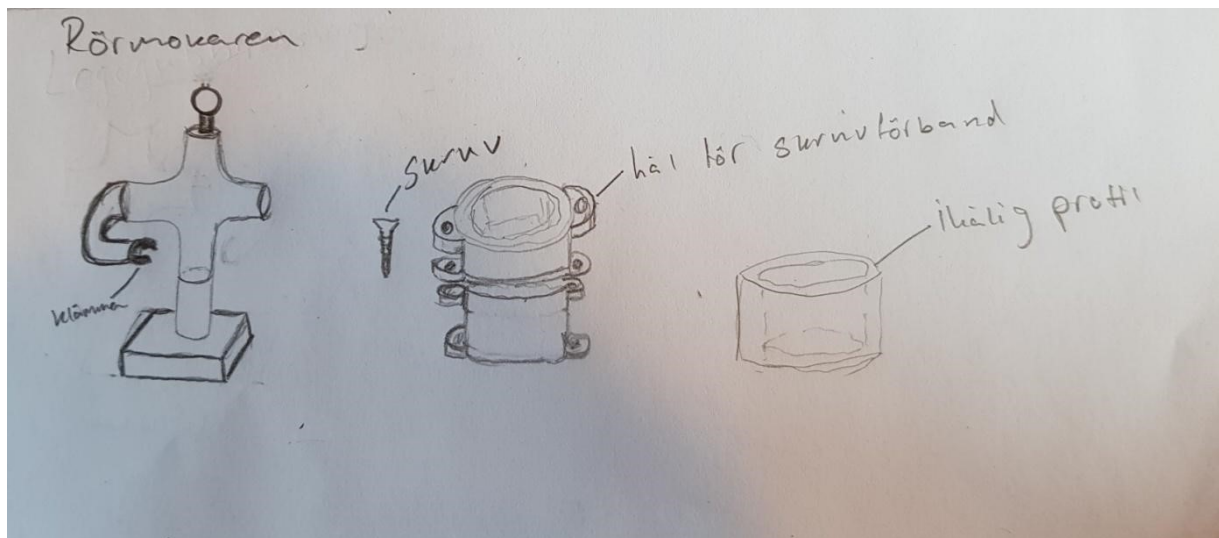


## L.4 Rörmockarn

Grundtanke: Tanken med detta koncept är 3D-printade delar eller metallrör med fastlödda infästningar. Bestående av kurviga delar med cirkulär ihålig profil. Bitarna fästs i varandra med skruvförband. Konstruktionen står stabilt på bord med hjälp av en stor platta. Den styrs av servomotorer, raspberry pi och robotseende erhålls med hjälp av en raspberry kamera. Objekt manipuleras med en klämma.

Valda förslag:

- Kurviga delar
- Cirkulär profil
- Ihåligt innandöme
- Skruvförband
- Stor platta
- Raspberry pi
- Servomotor
- Klämma (2 fingrar)
- Raspberry pi kamera

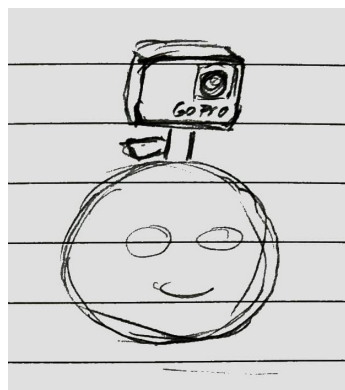
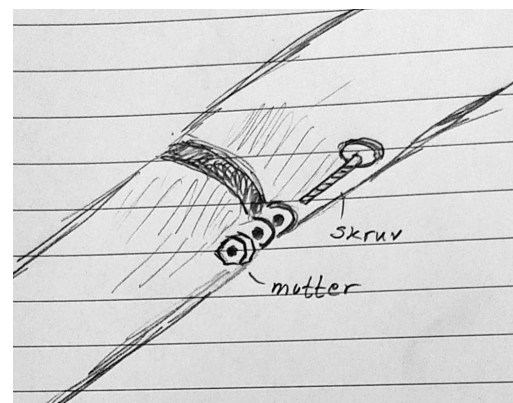
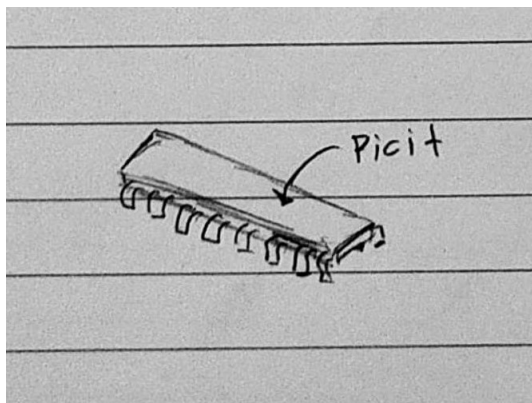
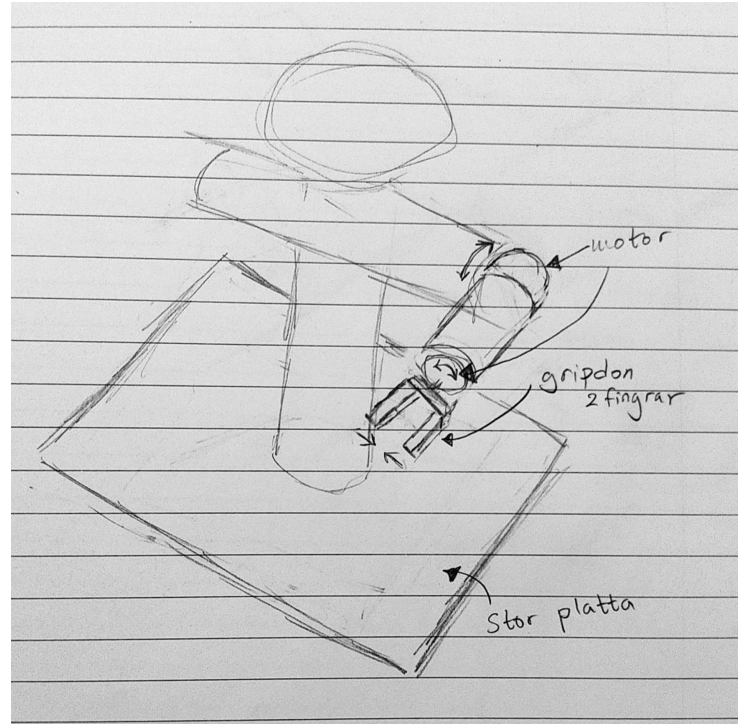


## L.5 Picknicken

Grundtanke: Att välja förslag 1 på alla robotens delar för att få ett slumpmässigt koncept utan eftertanke. Den heter Picknick eftersom den är det enda konceptet med en Picit dator som styrdon.

Valda förslag:

- Raka delar
- Cirkel profil
- Ifylld
- Skruvförband
- Stor platta
- Picit
- Servo motor
- Klämma (Två fingrar)
- GoPro

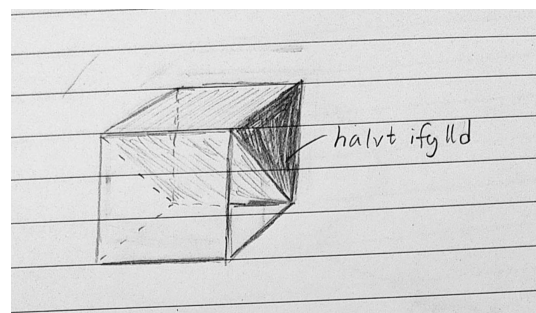
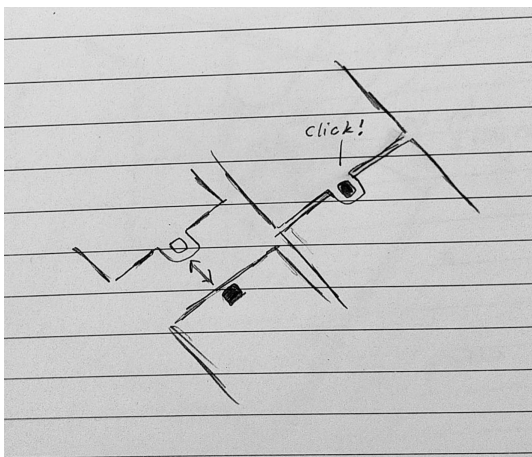
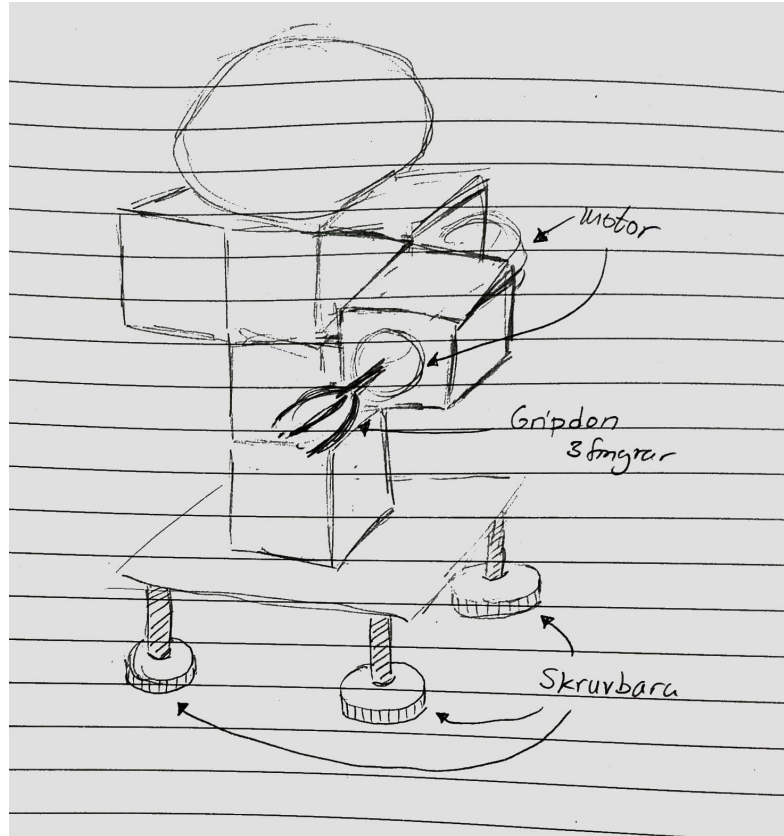


## L.6 Teleskopet

Grundtanke: Förslagen till detta koncept valdes utifrån vad gruppen tyckte saknades hos de utsållade koncepten efter elimineringsmatrisen. Namnet Teleskopet är på grund av egenskapen inställningsbar.

Valda förslag:

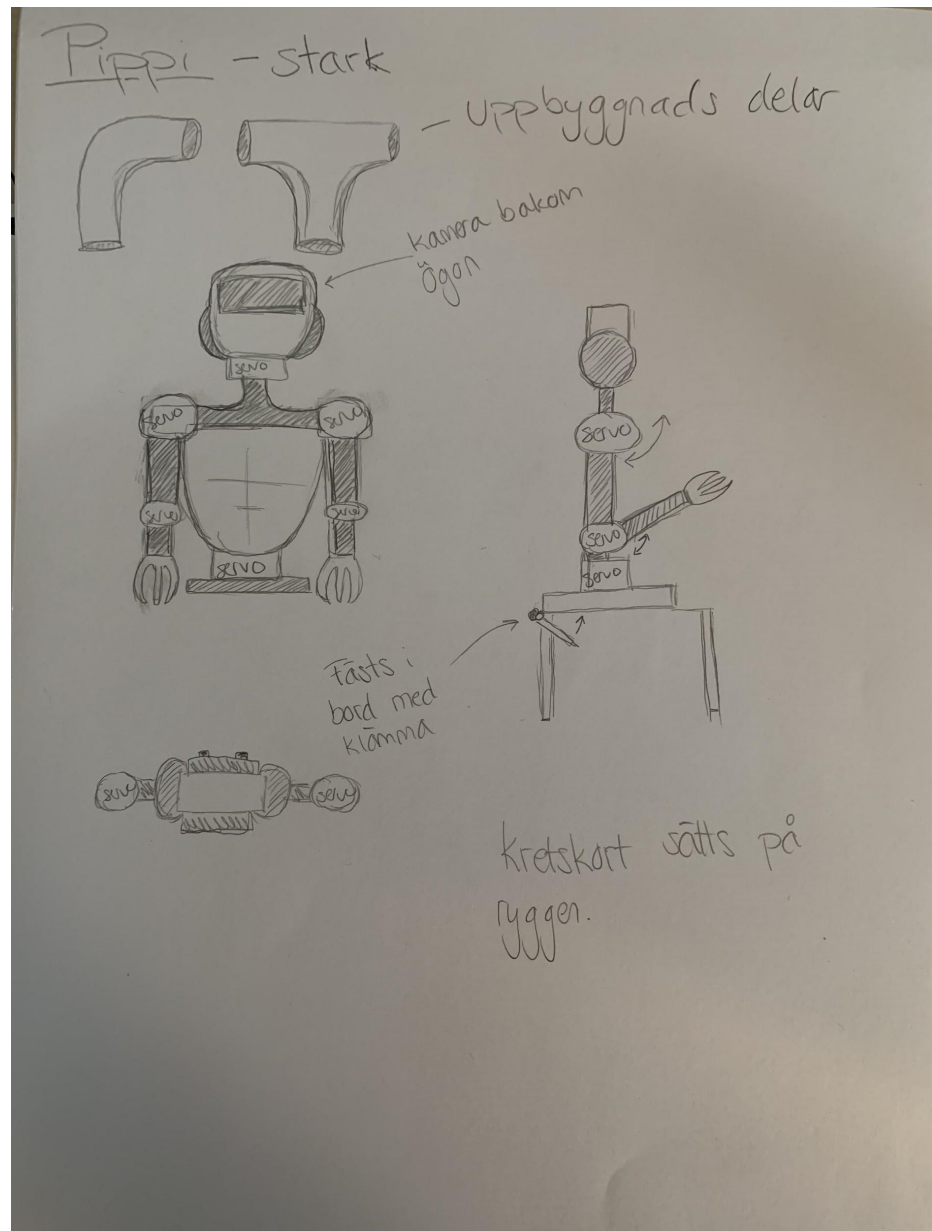
- Kvadrater
- Kvadratiska profiler
- Halvfylld
- Clips
- Inställningsbara fötter
- Arduino
- Servo motor
- Grip med 3 fingrar



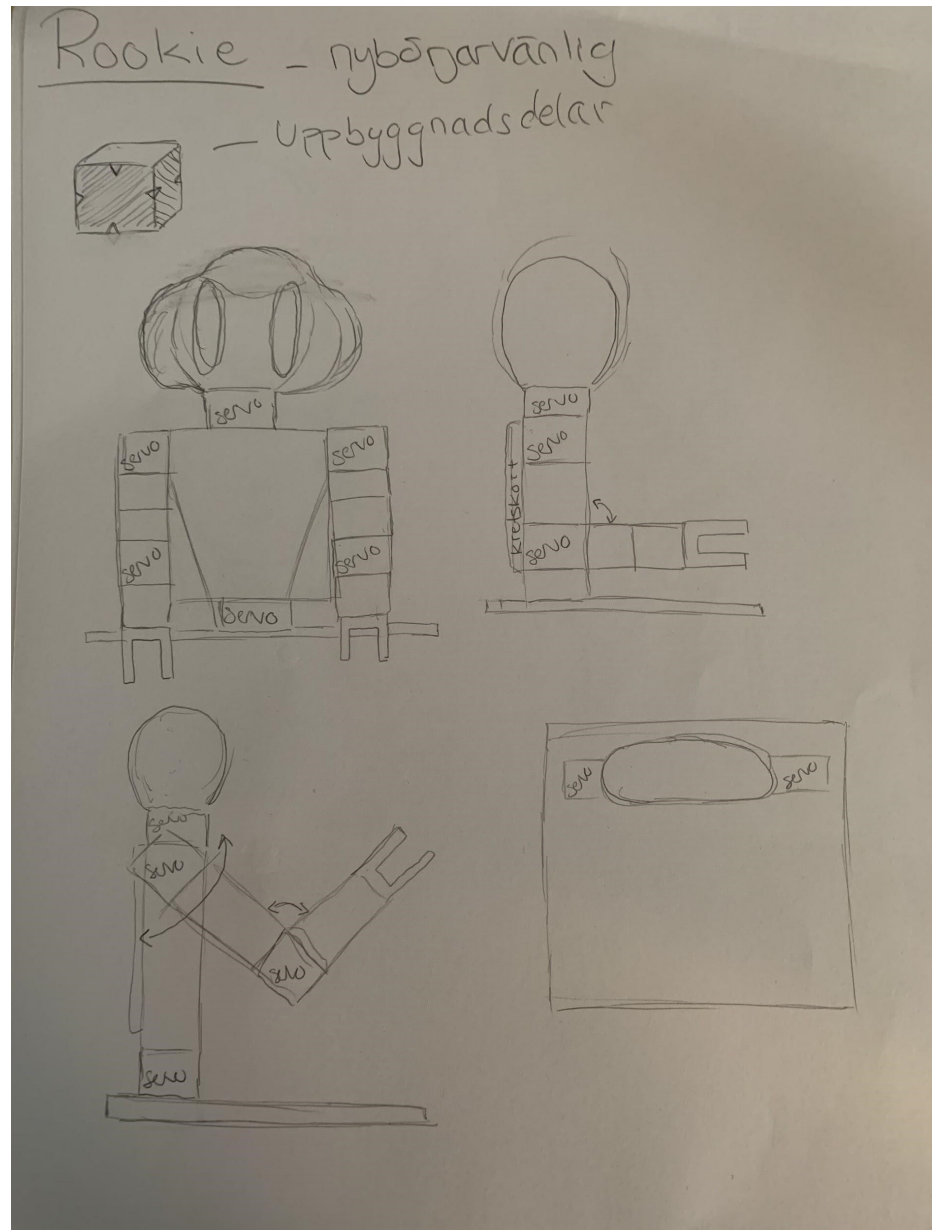
## L.7 Pippi

Valda förslag:

- Kurvig delar
- Cirkel profil
- Ifylld
- Skruvförband
- Klämma i bord
- Styrdon
- Servo motor
- Grip med 3 fingrar
- Kamera



## L.8 Rockien



Valda förslag:

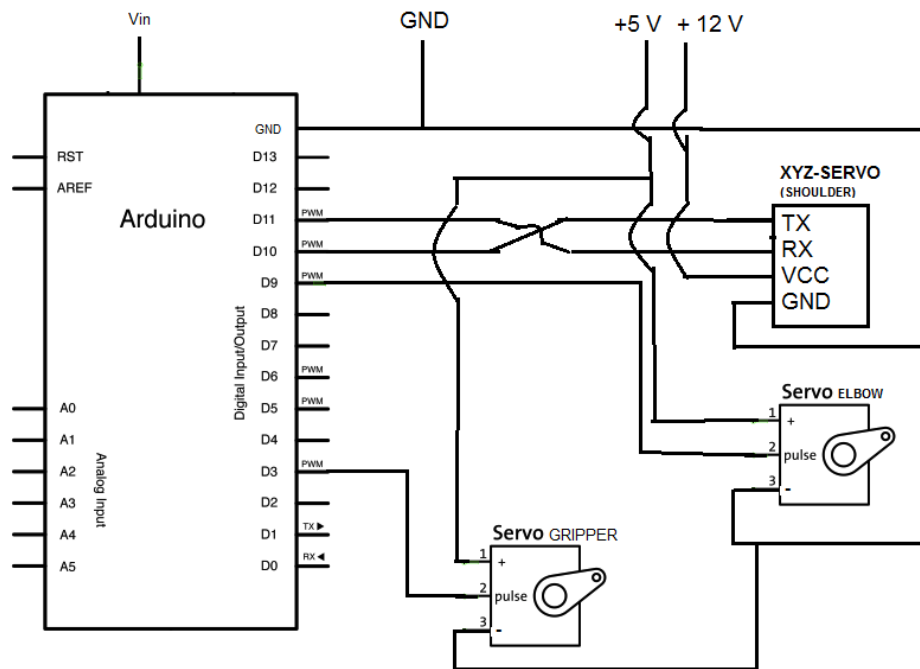
- Uppbyggd av kuber
- ihålig
- clips
- stor platta som bas
- Raspberry pi
- servo
- klämma med 2 fingrar

## L.9 Pippi 2.0

Valda förslag:

- Kurvig delar
- Cirkel profil
- ihålig
- Skruvförband
- Klämma i bord
- Servo motor
- Grip med 2 fingrar

## M Kopplingschema för en arm





## N Programmeringskod

### N.1 Gripdon

```
*****  
****Make the gripper open and close*****  
*****
```

```
Servo1.write(0); Open gripper  
delay(1000);
```

```
Servo1.write(130); Close gripper  
delay(1000);
```

### N.2 Bluebird BMS-630MG - Armbågservo

```
*****  
****Make the elbow bend 45 degrees*****  
****From start position and back by stepping to the positions*****  
*****
```

Bend elbow

```
for (int i = 1000; i <= 1500; i++)  
{  
    elbow.writeMicroseconds(i);  
    delay(10);  
}
```

Straighten arm

```
for (int x = 1500; x >= 1000; x-)  
{  
    elbow.writeMicroseconds(x);  
    delay(10);  
}
```

### N.3 XYZ smart servo

```
*****
****Move a servo back and forth between two different positions****
****Positions are represented as numbers between 0 and 1023****
*****
```

```
#include <XYZrobotServo.h>
```

Create a SoftwareSerial object using pin 10 to receive (RX) and pin 11 to transmit (TX)

```
#ifdef SERIAL_PORT_HARDWARE_OPEN
#define servoSerial SERIAL_PORT_HARDWARE_OPEN
#else
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial servoSerial(10, 11);
#endif
```

Set up a servo object, specifying what serial port to use and what ID number to use

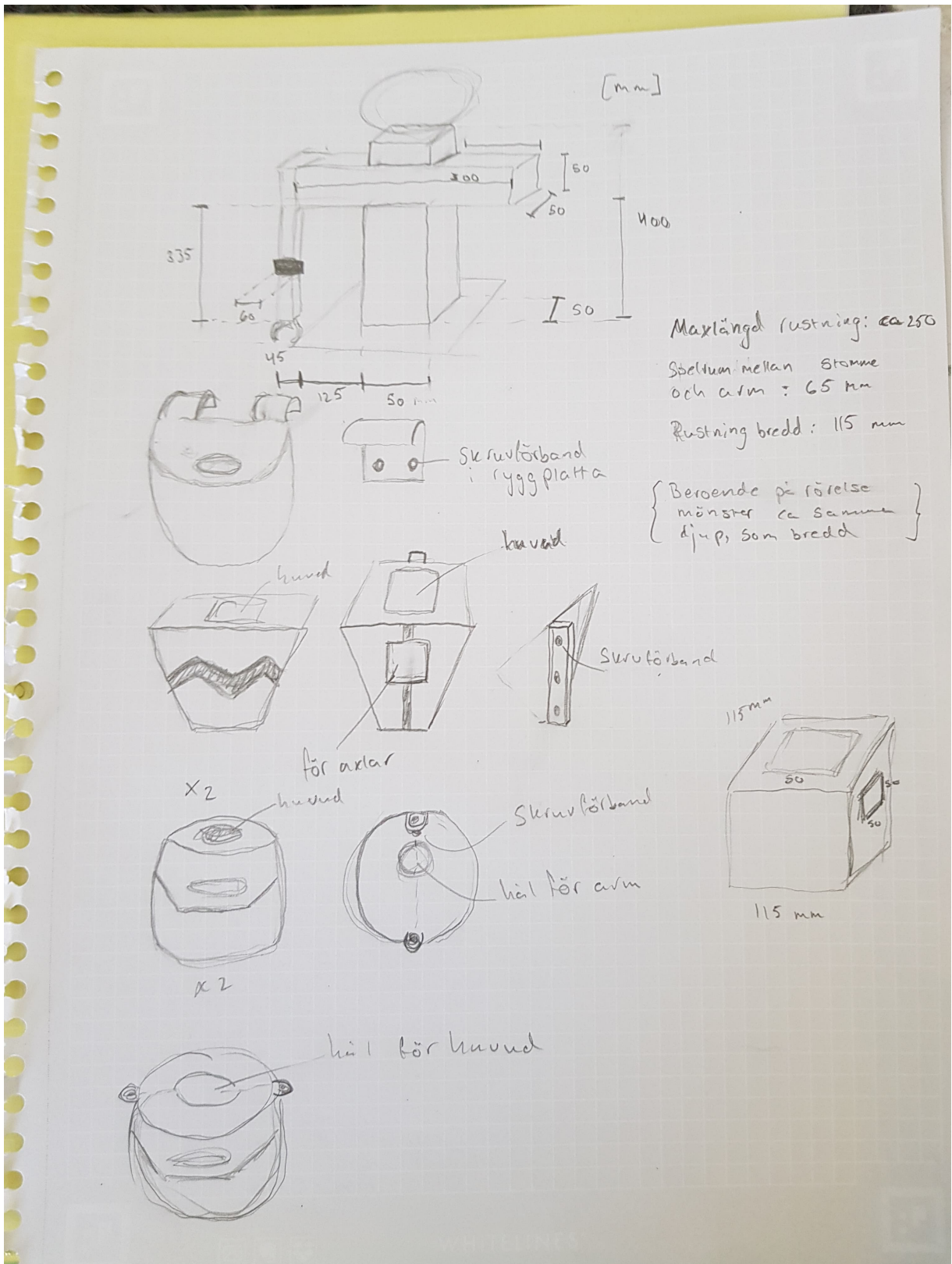
```
XYZrobotServo servo(servoSerial, 1);
const uint8_t playtime = 75; How long the movement takes, in units of 10 ms
```

```
void setup()
{
  servoSerial.begin(115200); Turn on the serial port and set its baud rate
}
```

Move servo between position 375 and position 625

```
void loop()
{
  delay(2500);
  servo.setPosition(375, playtime);
  delay(2500);
  servo.setPosition(625, playtime);
}
```

# O Rustning







DEPARTMENT OF MECHANICS AND  
MARITIME SCIENCES  
CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Gothenburg, Sweden  
[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)



**CHALMERS**  
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY