



CHALMERS

Elektrisk minimotorcykel

Kandidatarbete [IMSX15-22-82]
Vårtermin 2022



CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige

KANDIDATARBETE 2022

Elektrisk minimotorcykel

Tim Johansson
Johannes Lindholm
Jesper Nordling
Jonathan Viktorsson
Wahid Yousefi
Gustav Zetterlund



CHALMERS

Institutionen för mekanik och maritima vetenskaper
Grupp 82
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2022

Elektrisk minimotorcykel

© Tim Johansson, Johannes Lindholm, Jesper Nordling, Jonathan Viktorsson, Wahid Yousefi, Gustav Zetterlund, 2022.

Handledare: Göran Stigler, Industri- och materialvetenskap
Examinator: Erik Hulthén, Industri- och materialvetenskap

Kandidatarbete 2022
Institutionen för Industri- och materialvetenskap

Chalmers Tekniska högskola
SE-412 96 Göteborg
Telephone +46 31 772 1000

Abstract

In this project, the goal was to produce a functioning, drivable electric minimotorcycle. The product should create interest in the activity at Chalmers and strengthen Chalmers's trademark and culture within electrification and sustainability. The task was first split up into several subsystems, the frame, the motor and controller, and the control system. Then potential customers, organisations etc., were interviewed, and a specification of requirements could be made. The most important factors were: weigh less than 40 kg, be ergonomic for the average driver, be safe, have an aesthetically pleasing exterior, be reliable, buildable in Prototypverkstaden and should be possible to disassemble for recycling.

For this project, the value model was used as a central tool for helping develop the solutions most suited for our customers. Design concepts and models of sub systems were compared and eliminated one by one until the solution best suited emerged. The mechanical parts of the motorcycle were designed using Computer Aided Design (CAD) software and tested using Finite Element Method (FEM) software to ensure sufficient stiffness and strength while keeping weight at a minimum. The drivetrain specifications were found using a MATLAB program. The control unit was simulated in an online program, Wokwi simulator, to test the code and hardware design.

The end product was a slightly larger minimotorcycle focusing on ergonomics and user-friendliness. The mechanical construction demonstrates some manufacturing techniques available in the construction hall, Prototyplabbet, and allows for an easy glimpse into the insides of the motorcycle. The mainframe is a cradle construction made from steel tubes, and the rear of the motorcycle is a monocoque construction using aluminium sheet metal. The electrical system consists of the drive train and an Arduino that works as a programable logic controller (PLC), displaying information on a screen. The drivetrain consists of a Lithium battery and a brushless DC motor (BLDC-motor) with chain drive.

Sammandrag

I detta projekt var målet att producera en fungerande och körbar elektrisk minimotorcykel. Syftet med produkten är att den ska skapa intresse för verksamheten på Chalmers samt stärka Chalmers varumärke och kultur inom hållbarhet. Uppgiften delades först upp i flera mindre delsystem, ramen, motorn och motor-kontrollern samt styrsystemet. Sedan intervjuades potentiella kunder, organisationer etc, och en kravspecifikation kunde skapas. De viktigaste kraven var: en vikt under 40 kg, motorcykeln ska vara ergonomisk för den genomsnittlige föraren, den ska vara säker, ha en estetiskt tilltalande utsida, vara pålitlig, möjlig att bygga i prototypplabbet och ska vara möjlig att demontera för återvinning.

För detta projekt användes Värde modellen som ett centralt verktyg för att utveckla de lösningar som var mest lämpade för våra kunder. Designkoncept och modeller av delsystem jämfördes och eliminerades en efter en tills den bäst lämpade lösningen var funnen. De mekaniska delarna av motorcykeln designades med hjälp av ett Computer Aided Design (CAD) verktyg och testades med programvara för Finita Element Metoden (FEM) för att säkerställa att produkten har tillräcklig styvhet och hållfasthet då vikten hölls nere. Drivlinan dimensionerades med hjälp av ett MATLAB-program. Styrenheten simulerades i ett onlineprogram, Wokwi simulator, för att testa koden och hårdvarudesignen.

Slutprodukten blev en aningen större minimotorcykel med fokus på ergonomi och användarvänlighet. Den mekaniska konstruktionen visar ett antal tillverkningstekniker som finns tillgängliga i prototypplabbets verkstad och möjliggör enkel insyn i motorcykeln. Huvudramen är en vaggram gjord av stålrör och baksidan av motorcykeln är en monocoquekonstruktion av aluminiumplåt. Det elektriska systemet består av en drivlina och en Arduino som fungerar som en programmerbar logisk styrenhet (PLC) som visar information på en skärm. Drivlinan består av ett litumbatteri och en borstlös likströmsmotor (BLDC-motor) med kedjedrift.

Förord

Vi vill rikta ett stort tack till Reine Nohlborg, Jan Bragee, och Göran Stigler i prototypplabbet som bidragit med mycket hjälp och kloka lösningar. Även Stefan Lundberg på avdelningen för elektroteknik för all kunskap kring elsystemet. Föreningarna Eta, Case och XP för att få jobba i deras lokaler och expertishjälp. Slutligen vår examinator Erik Hulthén för sina råd och hjälp med projektets administrativa delar.

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	1
1.3	Problem/Uppgift	1
1.4	Avgränsningar	2
2	Teori	3
2.1	Historia	3
2.2	Elektrifiering av fordon	3
2.2.1	Elektriska motorer	3
2.2.2	Hur fungerar en brushless DC motor?	4
2.2.3	Styrenhet och spänningsdelare	4
2.2.4	Energilagring	5
2.3	Tillverkningsteknik	5
3	Metod	7
3.1	Kundundersökning	7
3.1.1	Intressenter	7
3.1.2	Intervjuer	7
3.2	Kravspecifikation	8
3.3	Kundvärdesanalys	8
3.4	Idégenerering	9
3.5	Konceptval	9
3.5.1	Konceptgenerering	10
3.5.2	Koncepteliminering	10
3.5.3	Relativ jämförelse mellan koncept	10
3.5.4	Funktionsbaserad viktning av koncept	11
3.6	Systemarkitektur	11
3.7	Val av material & tillverkningsmetoder	11
3.8	Förarergonomi	12
3.9	Konstruktion av koncept	12
3.10	Utformning av programkod till styrenhet	13
3.11	Tillverkning	13
3.12	Produktutvärdering	14
3.12.1	Test av elkomponenter	14
3.12.2	Test av hela motorcykeln	14
4	Resultat	15
4.1	Kundundersökning	15
4.1.1	Intressenter	15
4.1.2	Intervjuer	16
4.2	Kravspecifikation	16
4.3	Kundvärdesanalys	17
4.3.1	Strategier för ökat kundvärde	18

4.4	Idégenerering	18
4.5	Konceptval	20
4.5.1	Konceptgenerering	20
4.5.2	Eliminering av ramkoncept	21
4.5.3	Eliminering av motortyper	24
4.5.4	Relativ jämförelse av ramkoncept	24
4.5.5	Relativ jämförelse av motortyper	25
4.5.6	Funktionsbaserad viktning av ramkoncept	25
4.6	Valt koncept	26
4.7	Systemarkitektur	28
4.7.1	Funktionell modell för konceptet	28
4.7.2	Funktionell modell för prototypen	29
4.7.3	Modularisering	30
4.7.4	Gränssnitt	31
4.8	Val av material & tillverkningsmetoder	32
4.9	Förarergonomi	34
4.10	Konstruktion	34
4.10.1	Ramen	34
4.10.2	Bakvagnen	36
4.10.3	Framvagnen	38
4.10.4	Elsystem	39
4.11	Styrenhet	41
4.12	Tillverkning	41
4.12.1	Tillverkning av ramkonstruktionen	41
4.12.2	Tillverkning av Bakvagn	44
4.12.3	Tillverkning av framvagnen	45
4.13	Slutresultat	49
4.14	Testning	50
4.14.1	Testning på komponentnivå	50
4.14.2	Testning av den färdiga motorcykeln	50
5	Diskussion	53
5.1	Omvärldsanalys	53
5.2	Testning	53
5.3	Den slutliga motorcykeln	54
5.3.1	Chassi	54
5.3.2	Hastighet och bromsar	54
5.3.3	Elsystem	55
5.4	Etik	56
5.5	Erfarenheter	56
5.6	Förslag för utveckling av kandidatarbete	57
5.6.1	Utveckling av komponenter	57
5.6.2	Utveckling av projektet som helhet	57
6	Slutsats	59

A	Appendix: Kravspecifikation	I
A.1	Kravuppfyllnad	III
B	Appendix: Idégenerering	V
C	Appendix: Intervjuer	XIV
C.1	Erik Hulthén	XIV
C.2	XP	XVI
D	Appendix: Konceptkatalog	XIX
D.1	Koncept A	XIX
D.2	Koncept B	XX
D.3	Koncept D	XXI
D.4	Koncept I	XXII
D.5	Koncept J	XXII
D.6	Koncept K	XXIII
E	Appendix: Konceptvalsmatriser	XXIV
E.1	Pugh-matriser	XXIV
E.2	Viktningstabell	XXXI
F	Appendix: MATLAB kod	XXXII
G	Appendix: Programkod	XXXVII
H	Appendix: Konstruktionsritningar	XLII
H.1	Monocoque	XLII
H.2	Batterihållare	XLVII
H.3	Ram	XLIX

1 Inledning

I det inledande kapitlet, presenteras bakgrund och syfte för projektet. Detta delas in i ett antal delproblem och avgränsningar introduceras för att definiera ramarna för projektet.

1.1 Bakgrund

Detta kandidatarbete tillkommer av ett önskemål från Chalmers för att bland annat kunna visa upp ett föremål vid diverse event. Föremålet i fråga är en elektrisk minimotorcykel. En minimotorcykel har många olika olika system som medför många ingenjörsmässiga möjligheter. Motorcyklar kan vara såväl fysiska som digitala och innefattar områden inom flera discipliner. Det är därför en god plattform för att skapa något som kan generera intresse för Chalmers verksamhet. Elektrifiering av transportsektorn är en av de metoder som för närvarande används för att uppnå hållbarhetsmål, se exempelvis FN:s klimatmål [1]. Den elektriska drivlinan ger även nya möjligheter för motorcykelns utformning. En förlaga till detta projekt är en elektrisk minimotorcykel som tillverkades på Chalmers 2015 för att undersöka och demonstrera tillverkning i vattenskuren plåt. [2]. Prototypen från detta projekt är körbar, men har i huvudsak fungerat som ett stillastående exempel på vad man kan tillverka i prototyplabbet då.

1.2 Syfte

Syftet med projektet är att gruppen ska utveckla, konstruera och bygga en fungerande, körbar elektrisk minimotorcykel. Motorcykelns ska användas för att skapa ett intresse för Chalmers verksamhet och stärka Chalmers varumärke och kultur inom hållbarhet och elektrifiering genom att verka som ett rörligt och interaktivt fordon.

1.3 Problem/Uppgift

Projektets huvudsakliga mål är att utveckla, konstruera och bygga en körbar elektrisk motorcykel. Detta åtagande kan uppdelas in i flertalet problem och frågeställningar som listas nedan.

Gruppen behöver klargöra hur en elektrisk minimotorcykel kan användas för att skapa intresse för Chalmers verksamhet och stå som ett exempel för Chalmers hållbarhetsarbete.

Ett chassi behöver konstrueras med beaktande för tillräcklig hållfasthet och tillverkningsbarhet. Målsättningen är att det ska gå att tillverka av gruppens medlemmar. Specifika anpassningar av ramens konstruktion kan tillkomma för att bättre lämpa motorcykeln till dess tänkta användning.

En robust drivlina med korrekt dimensionering av framförallt motor och batteri för önskad prestanda behöver konstrueras. Elsäkerhet bör tas i beaktande vid såväl byggandet av motorcykeln som dess användning.

Uppgiften kan sammanfattas med följande målformulering:

Under vårterminen ska gruppen utveckla, konstruera och bygga en fungerande, körbar elektrisk minimotorcykel som skall skapa intresse för Chalmers verksamhet, demonstrera Chalmers studenter kunskap och möjligheterna i prototyplabbet.

1.4 Avgränsningar

För att kunna genomföra projektet och för att de ställda kraven ska kunna uppfyllas införs avgränsningar. Detta skapar den yttre ramen för projektet och gör att fokus läggs på rätt saker som slutligen leder till uppfyllda krav och önskemål.

- Enbart en fysisk motorcykel tas i beaktande. Modellen kommer exempelvis inte implementeras i en körsimulator eller dylikt.
- En majoritet av lösningen ska gå att tillverka i prototypplabbet. Därför utesluts material som kompositer och det begränsar också på möjliga sammanfogningsmetoder.
- Motorcykeln skall kunna göras i flera exemplar. Därför måste konstruktionen vara tillräckligt enkel för att reproducera.
- Drivlinan byggs utifrån standardkomponenter.
- Motorcykeln behöver inte vara väglaglig.
- Motorcykeln behöver inte uppfylla kraven för minimoto klass i Svemo.
- Motorcykeln behöver inte ha längre räckvidd än 10mil.
- Projektet har begränsat med tid och det ska genomföras under vårterminen 2022.

2 Teori

Teoriavsnittet beskriver motorcykelns historia och hur utvecklingen har sett ut. Även hur dagens motorcyklar är uppbyggda och vad som krävs för att bygga en elektrisk minimomotorcykel.

2.1 Historia

Den första användbara motorcykeln gjordes av Albert de Dion och Georges Bouton år 1897 efter tidigare försök från Gottlieb Daimler (1885) och L.G. Perreaux (1868)[3]. Motorcykeln som den ser ut idag var inte särskilt väletablerad vid denna tid utan det var först vid sekelskiftet som dagens motorcykel med två hjul och en motor i mitten stod som det vinnande konceptet. Motorcykelns popularitet som ett transportmedel ökar sedan fram till 1950-talet var den sedan stannar av. Motorcykeln har sedan dess återfått popularitet, men i Sverige är det i huvudsak i form av ett hobbyfordon[4].

”Minimoto, minimotorcykel, en detaljrik kopia i litet format av motorcykel för road racing.”[5]. Minimotor racing arrangeras i Sverige bland annat av svemo. Det finns i dagsläget inte någon tävlingsklass för elektriska minimotorcyklar inom svemo, det tekniska reglementet innefattar enbart typen förbränningsmotor. Däremot finns det elektriska minimotorcyklar tillgängliga på marknaden.

Den elektriska motorcykelns historia börjar ungefär samtidigt som motorcykelns. Det finns patent på elektrifierade motoriserade cyklar som daterar tillbaka till slutet av 1800-talet [6]. Den elektriska motorcykeln har däremot ännu inte helt slagit igenom då det enligt trafä[7] var ungefär 0,7% av alla motorcyklar i trafik i Sverige som var eldrivna år 2021. En ökning från 0,6% föregående år.

2.2 Elektrifiering av fordon

I projektet är ett elektriskt system väsentligt. För att möta kundkrav och önskemål introduceras flera delmoment som ska samverka med varandra på bästa sätt. Det är därför av stort intresse att fördjupa sig i och förstå hur varje delmoment fungerar och bör agera i kända förhållanden.

2.2.1 Elektriska motorer

I projektet undersöks flera olika motortyper.

Asynkronmotorer kräver relativt hög spänning, ofta runt 230 V - 400 V. Detta innebär däremot också att strömmen blir lägre, eftersom totaleffekten beskrivs av $P = U \cdot I$. Asynkronmotorn har generellt sätt relativt lågt vridmoment vid låga varvtal/hastigheter som sedan ökar vid högre varvtal. Asynkronmotorn har ofta låga tröghetsmoment, vilket ger en hög verkningsgrad, och ofta breda varvtalsintervall. Motorn är också billig och behöver sällan underhåll [8].

En BLDC motor kräver ofta en lägre spänning än asynkronmotorn, men får därför också en högre ström. Förövrigt har BLDC-motorn ett jämnt fördelat vridmoment som är relativt oberoende av varvtal/hastighet. Alltså ger motorn sitt maximala vridmoment för alla varvtal. Eftersom BLDC motorn använder permanentmagneter kan mer underhåll än för asynkronmotorn vara nödvändigt. Permanentmagneter avmagnetiseras vid användning. DC motorn med borstar har samma problem

och upplever dessutom slitarg från borste vid användning. Vridmomentet för DC motorn är mindre konstant över olika varvtal/hastigheter, men spänningen är lik BLDC motorns [9].

En universalmotor kan fungera med både DC ström och enkelfasig AC ström. Dock så krävs mycket underhåll i förhållande till de tidigare nämnda alternativen. Universalmotorn har ett högt vridmoment vid låga varvtal, men vridmomentet minskar då varvtalet ökar [10].

2.2.2 Hur fungerar en brushless DC motor?

En borstlös DC motor, eller BLDC motor fungerar i teorin likt en asynkronmotor. En asynkronmotor styrs av en AC signal där vid ett stabilt system är rotationshastigheten densamma som in-spänningens frekvens. Istället för att använda kontinuerliga sinusformade spänningskillnader utnyttjar BLDC motorn blockspänningar. Spänningen följer likt en blockfunktion så att den alltid är antingen på eller av med olika polaritet. Därav är motorn klassad som DC. Flera spolar är placerade i statorn som ger upphov till ett $\mathbf{B}$ -fält (magnetiskt fält) då ström passerar igenom. Fältets riktning beror av strömräkningen, d.v.s. om strömmen byter håll gör även magnetfältet det. Fältet är relativt konstant och beskrivs approximativt av följande samband om $\hat{x}$ är axeln spolen roteras runt:

$$\mathbf{B} = \mu_0 \frac{N \cdot i}{l} \hat{x}, \quad (1)$$

där μ_0 är magnetsik permabilitet, N är antalet varv i spolen, i är strömmen och l är spolens längd längs $\hat{x}$ [11]. Notera även att magnetfältets styrka är proportionellt mot strömmen. I rotorn sitter permanentmagneter. Spolarnas magnetfält kan då skiftas så att de attraherar eller repellerar permanentmagneterna. Därav har BLDC motorn tre faser för maximal verkningsgrad. Faserens gemensamma frekvens styr motorns hastighet, eller med andra ord varvtal. Då motorlasten ökar behöver också strömmen öka genom för att motverka detta, vilket uppnås genom att öka spänningen. För att skydda motorn och få en optimal acceleration används motorkontrollern som sköter strömförsörjningen till motorn [12]. Kontrollern styr frekvens och amplitud, det vill säga spänningsamplitud.

2.2.3 Styrenhet och spänningsdelare

Styrenhetens funktion ska vara att bearbeta information och visa denna på en display samt att reglera motorsystemets funktioner. Enheten tar emot signaler och kan programmeras till att ge ut specifika utsignaler som funktioner av dessa. Det ska fungera som en PLC, programmable logic controller.

För att skala ned spänningar kan en spänningsdelare användas. Tillämpningen i detta projektet är för att skala ned batterispänningen till en spänning styrenheten kan mäta. En ledare u_{in} med batterispänningen kopplas till resistanserna R_1 och sedan R_2 . R_2 jordas och en delad spänning kan hämtas ut mellan resistanserna.

$$u_{delad} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} u_{in}. \quad (2)$$

För att bestämma R_1 och R_2 måste batteriets överspänning tas hänsyn till. Läckström genom R_2 , bör minimeras vilket kan lösas med att välja stora resistanser, vilket är möjligt eftersom det fortfarande finns en frihetsgrad.

2.2.4 Energilagring

Det finns några olika typer av batterier som vanligtvis används i elektriska fordon. Det vanligaste batterierna när det gäller portabla applikationer är litium-jon batterier. Dessa har hög energitäthet per vikt, håller prestanda vid höga temperaturer och över väldigt många cykler så länge det inte töms till 0, låg självurladdning och kräver inte något underhåll. Det finns även nickelbaserade batterier som kan ge väldigt exakt prestanda som är viktigt i datorer och medicinsk utrustning men dem har mer förluster och har en högre själv-urladdning jämfört med alternativen. Bly-syra batterier tar permanent skada när de används under 50% laddning och används därför främst som komplement eller startmotor till förbränningsmotorer. [13], [14]

Litium-jon batterier har en typisk urladdningskurva som är näst intill platt mellan batterikapaciteterna 10% till 80% [15]. Alltså varierar spänningen över batteripolerna relativt lite över detta intervall.

2.3 Tillverkningsteknik

Motorcykeln kommer att tillverkas med ett antal olika tillverkningstekniker. För att kunna konstruera motorcykeln på ett så bra sätt som möjligt krävs en viss förståelse för de metoder som används. Motorcykelns delar kan i huvudsak tillverkas utav plåt eller färdiga profiler som kapas till och sedan sammanfogas med lämplig metod.

Vattenstråleskärning kan användas för att figurskära komplexa tvådimensionella former i en mängd olika material. Bearbetningen sker genom att vatten med högt tryck får strömma genom ett litet munstycke. Strålen kan sedan skära genom materialet. För att öka skärförmågan kan slipmedel tillsättas. Processen ger ett förhållandevis god precision och ytfinhet vilket innebär att efterbearbetning kan undvikas beroende på tillämpning. Processen ger inte heller någon värmepåverkad zon [16].

Bockning är en metod för att plastiskt deformera bland annat plåt. Bockningen i detta projekt görs på en kantpressmaskin. Kantpressen fungerar genom att en övre rörlig verktygshalva pressas ner mot en fast halva och på så vis formar plåten. På grund av att materialet inte är helt genomplasticerat så kommer en viss återfjädring att ske[16]. För att erhålla önskad vinkel behöver därför plåten överbockas något. Vidare finns begränsningar i hur plåt kan bockas för att inte plåten ska kollidera med kantpressverktyget.

Rörprofiler kan kapas i prototypverkstadens kallsåg. Kallsågen kan enbart vinklas 0-60 grader i ett plan så komplexare kapningar bör undvikas i konstruktionen.

Svetsning är en av de metoder som finns tillgängliga för att sammanfoga olika delar. TIG (Tungsten Inert Gas) eller GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) är en svetsmetod som en ljusbåge genereras av lik- eller växelström och använder en icke avsmältande elektrode samt en inert skyddsgas som förhindrar oxidbildning[17]. Processen är särskilt lämplig för svetsning av tunt gods och ger fogar av hög kvalitet[18].

Som en del av svetsningsprocessen så värms grundmaterialet upp och smälter samt kyls ner och stelnar. Eftersom uppvärmningen sker lokalt kring fogområdet så bildas en värmepåverkad zon som

kan inverka negativt på materialets egenskaper. Till exempel blir stål vanligen sprödare i den värmepåverkade zonen.[19] Den ojämna expansionen och kontraktion från svetsprocessen kan även orsaka sprickbildningar, deformationer eller restspänningar.[18] Vidare kan flera operatörsfel uppkomma.

En alternativ sammanfogningsmetod är med blindnitar. Nitförband är ett plant förband som kräver att ytorna som ska sammanfogas överlappar. Förbandet sker genom att nitens skaft förs igenom ett hål i delarna som ska sammanfogas varpå nitens huvud stukas. Blindnitar kräver till skillnad från vanliga nitar inte något mothåll för att stuka nitens ände [20]. Eftersom ingen uppvärmning av komponenterna krävs medför metoden inte några problem relaterade till detta. Risker för operatörsfel är också låga.

3 Metod

Detta avsnitt presenterar den arbetsmetodik som användes för projektet. Metodiken är inspirerad av och följer till stor del den som beskrivs i boken The Value Model [21], som lämpar sig för ett framgångsrikt produktutvecklingsprojekt. Delkapitlen nedan bryter ned projektet i delsteg för att förtydliga de olika moment som genomfördes.

3.1 Kundundersökning

För att kartlägga kundens röst genomfördes en kundundersökning där flera eventuellt intresserade grupper och företag kontaktades. Kundens önskemål och krav är av största vikt och fungerar som projektets fundament och det är därför ytterst viktigt att konkretisera och förstå kundernas mål med projektet.

3.1.1 Intressenter

För att hitta en lämplig nisch listades tänkbara intressenter och delades in i kärn-, primär-, och sekundärintressenter. Kärnintressenterna tar del av kundundersökningen.

3.1.2 Intervjuer

Kundundersökningen genomfördes i form av intervjuer. Intervjuer ger en tydlig inblick i hur kunden tänker och föreställer sig saker. Genom dessa intervjuer erhålls kunskap om samverkan mellan kunden och produkten ser ut under livscykelns samt vad den tänkta kundgruppen anser viktigt att utveckla vidare. På så sätt fås en tydligare bild över var i livscykelns kundvärdet kan och bör ökas. Utgående från de områden som identifierats får vidare analys genomföras. Intervjuerna genomfördes som semistrukturerade intervjuer vilket innebär att det finns såväl fördefinierade och öppna frågor vilket ger kunden möjlighet att uttrycka sig samtidigt som datan blir något enklare att sammanställa än om de gjorts helt fria. Sammantaget var målet att få kvalitativ och kvantitativ data som underlag för kravspecifikationen.

De som intervjuades var:

(I) Erik Hulthén programansvarig för civilingenjörsprogrammet i maskinteknik på Chalmers.

(II) Daniel Andersson Timmerman i XP styret 2021/2022.

Eftersom Chalmers och XP har olika användningsområden och förväntningar av en elmotorcykel formades frågorna efter de två intervjuerna. Intervjun med Erik Hulthén C.1 fokuserade på motorcykelns som ett utställningsobjekt och intervjun med Daniel Andersson C.2 fokuserade på användningen av motorcykelns.

Urklipp av frågor som ställdes till Erik Hulthén:

- Vem vill ni rikta er åt genom att ställa ut minimomotorcykeln?
- Vad krävs för att få representera Chalmers?
- Vilka problem ser du med att ha en körbar motorcykel på ett evenemang?

Urklipp av frågor som ställdes till Daniel Andersson:

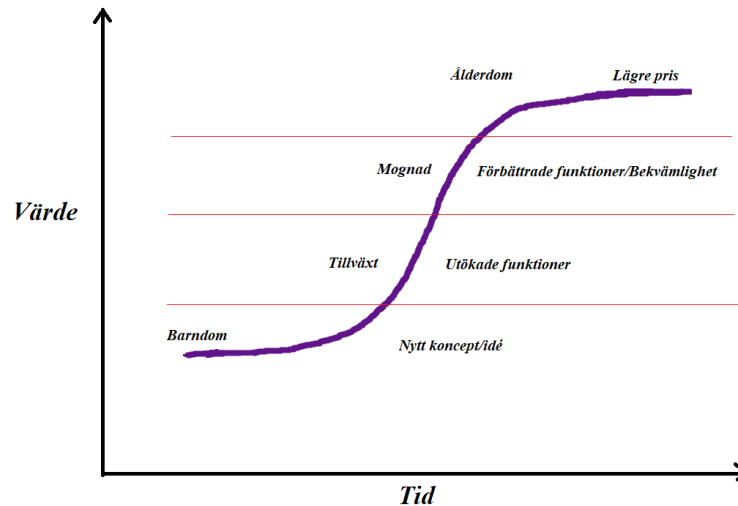
- Vad gör ett Lösnummer roligt/bra?
- Vad ser du för problem med elektriska Lösnummer?
- Finns det några säkerhetskrav?

3.2 Kravspecifikation

Med underlag från kundundersökningen gjordes en kravspecifikation. Kravspecifikationen listar upp de krav och önskemål som ställs på motorcykeln inom olika funktionskriterier samt hur verifieringen av kravuppfyllnad är tänkt att genomföras och vem som avgör kravuppfyllnaden. För ett framgångsrikt projekt ska alla krav i kravspecifikationen uppfyllas medan önskemålen finns där som förslag på områden där kundvärdet kan ökas om tid finns över. Önskemålen viktas mellan 1 till 3 och är en typ av rangordning för hur önskemålen ska prioriteras. Genom att göra en kravspecifikation förtydligas ramarna för projektet ytterligare för samtliga inblandade och gör det möjligt att utvärdera om slutresultatet uppfyller de kraven.

3.3 Kundvärdesanalys

Innan konceptgenereringen påbörjades analyserades kraven och önskemålen från kundundersökningen och jämfördes med hur utvecklingen av motorcyklar, inte minst elmotorcyklar, sett ut över tid. Till en början undersöktes vart under produktens livscykel som kundvärdet potentiellt kunde ökas mest. Det vill säga när kunden står som spekulant, köpare, mottagare, brukare eller avvecklare. Som stöd för denna undersökning användes den så kallade s-kurvan Figur 1. S-kurvan är en modell som ger en generell bild över hur de flesta produkter utvecklas över tid genom att olika delar av kurvan beskriver om produkten är i sin barndoms-, tillväxts-, mognads- eller ålderdomsfas. Genom att sätta ut var på kurvan som elmotorcykeln befinner sig just nu kan ett tydligare fokus erhållas över vad som kan tänkas vara värt att lägga energi på för att uppnå ökat kundvärde.



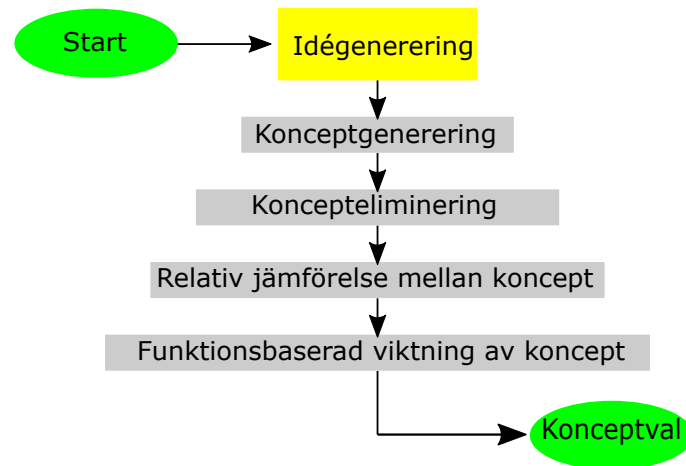
Figur 1: S-kurvan

3.4 Idégenerering

Ett första steg i produktutvecklingsfasen var att genomföra en idégenerering för att skapa en samling idéer som kan användas vid en senare konceptgenerering. Till en början analyserades hur en vanlig traditionell motorcykel är uppbyggd. Ingående delar delades upp i olika delsystem som uppfyller motorcykelns olika funktioner. För varje delsystem idégenererades sedan olika alternativa lösningar fram som utför samma funktion fast på lite olika sätt och med olika utseende. För att få en bättre inblick i vad tidigare projekt, inom liknande områden, tillämpat för lösningar på olika delsystem på en motorcykel gjordes sedan en analys av alternativa lösningar på marknaden. Vid marknadsanalysen kollades lösningar på diverse motorcykeltillverkare och sökningar av lösningar i patentdatabaser gjordes. Syftet med analysen var att dess resultat kunde hjälpa till att styra projektet med lösningar på delsystem som redan visat sig vara framgångsrika för andra produkter.

3.5 Konceptval

Med en samling idéer genererade från idégenerering var det nu dags att strukturera upp alla lösningsalternativ och lyckas skapa ett eller flera koncept att arbeta vidare med. Denna konceptgenerering grundade sig i att först generera koncept med hjälp av en morfologisk matris. Därefter genomfördes sällningar och jämförelser av koncept med hjälp av eliminerings-, Pugh- och Kesselringmatriser för att slutligen komma fram till det koncept med störst potential till högt kundvärde. Arbetsgången illustreras i figur 2



Figur 2: Processdiagram för konceptvalsmetoden

3.5.1 Konceptgenerering

Utifrån den samling idéer som inventerades i idégenereringen skulle nu koncept genereras. För att strukturera upp konceptgenereringen skapades en morfologiska matris. Matrisen strukturerar de inventerade idéerna på ett sätt som gör det enkelt att utläsa olika lösningsalternativ för olika delsystem som i de flesta fall är oberoende av varandra. Matrisen användes sedan för att generera en mängd unika koncept genom att kombinera delsystem med olika lösningsalternativ. De genererade koncepten sparades sedan i en konceptkatalog.

3.5.2 Koncepteliminering

Nästa steg i processen blev att kolla igenom den katalog av koncept som skapats och eliminera bort koncept som ej uppfyller samtliga av de krav som specificerats i kravspecifikationen. Detta för att snabbt få bort de koncept som inte har lika stor potential till högt kundvärde som de övriga. Detta genomfördes med hjälp av en elimineringsmatris. Matrisen bygger på att om ett koncept uppfyller ett visst krav så får det ett "+" och uppfyller det inte kravet så får det "-". Alla koncept som fick ett "-" sällades bort direkt i och med att de inte uppfyllde samtliga krav i kravspecifikationen och resterande koncept gick till nästa steg i konceptvalsprocessen.

3.5.3 Relativ jämförelse mellan koncept

Koncepten som uppfyllde samtliga krav genomgick sedan en relativ jämförelse gentemot varandra. Detta genomfördes med ett par Pugh-matriser. Pugh-matrisen är bra för relativ jämförelse mellan koncepten. Ett av koncepten valdes som referens varvid övriga koncept jämfördes med referensen om de uppfyllde funktionskriterierna bättre "+", sämre "-" eller lika bra "0" än den valda referensen. Genom att summera antal "+", "-" och "0" kunde ett nettovärde erhållas som beskriver hur bra konceptet är relativt referenslösningen. För att jämförelsen skulle resultera i ett så rättvist utfall som möjligt gjordes flera Pugh-matriser med olika koncept som referens. Slutligen utifrån resultatet

av Pugh-matriserna kunde koncept som visat sig vara tydligt sämre än övriga koncept elimineras bort.

3.5.4 Funktionsbaserad viktning av koncept

Vid valet av vilka slutgiltiga koncept som skulle arbetas vidare med genomfördes en funktionsbaserad viktning av koncepten. Som stöd för detta användes en Kesselring-matris. Kesselring-matrisen är en matris som sätter ett betyg på hur bra ett koncept är vilket är ganska naturligt att vilja ha i slutet av konceptvalsprocessen. Till skillnad från Pugh-matrisen så förekommer ingen relativ jämförelse mellan koncept i Kesselring-matrisen. Det innebär att matrisen kräver en del information om koncepten för att kunna sätta detta värde. Det handlar om vilken vikt olika kriterier har och hur väl dessa uppfylls. Viktningen av olika kriterier gjordes med hjälp av en viktningstabell. Tabellen jämför kriterierna relativt var och ett av de övriga kriterierna. Är ett visst kriterium viktigare än ett annat fick det värdet 1, lika viktigt sattes värdet 0.5 och mindre viktigt sattes värdet 0. För varje kriterium räknades ett medelvärde av vikten ut (w). I Kesselring-matrisen sattes sedan ett värde (v) mellan 1-5 på hur bra varje koncept uppfyller var och ett av kriterierna. Genom att beräkna $t = v * w$ erhöles värdet (t) som beskriver hur bra ett koncept är inom ett visst kriterium. Värdet (t) från samtliga kriterier summerades ihop till ett totalt viktat värde (T) som beskriver hur bra konceptet är i sin helhet. Detta värde jämfördes med andra koncept för att avgöra det slutgiltiga konceptet.

3.6 Systemarkitektur

Nästa steg blev att skapa en systemarkitektur för den prototyp som ska tillverkas. Detta gjordes för att förtydliga hur samtliga delsystem interagerar med varandra samt få en förståelse för vart i systemet det är extra viktigt att konstruera så att dimensioner överensstämmer med varandra. Till en början gjordes funktionella modeller för både konceptet och prototypen. En funktionell modell är en lådliknande illustration över ett system i sin helhet där delsystem samt omgivande system separeras med en systemgräns. Dessutom markeras med pilar bland annat vilka önskade och oönskade funktioner som delsystemet utgör för varandra för att slutligen utföra produktens huvudfunktioner för funktionsmottagaren. Utifrån den funktionella modellen för prototypen delades sedan delsystemen in i moduler. Modulindelningen gav en bra bild över vilka delsystem och komponenter som mer eller mindre hör ihop och som kan tänka sig vara bra att konstruera och tillverka samtidigt. Indelningen gör det också möjligt att utveckla modulerna parallellt med så lite beroende av varandra som möjligt vilket tidseffektiviserar arbetet. Slutligen gjordes en analys av systemets gränssnitt med hjälp av en gränssnittsmatris. Matrisen visar på vilket sätt varje modul eller komponent interagerar med varandra. Det kan vara mekaniskt, fast monterad, magnetiskt eller elektriskt för att nämna några exempel. Detta för att ytterligare erhålla information om hur varje delsystem och komponent ska konstrueras.

3.7 Val av material & tillverkningsmetoder

Materialval och tillverkningsmetod genomfördes parallellt eftersom de inverkar på varandra. Materialvalet genomfördes genom att först översätta krav på produkten till krav på materialet. Översättningen kan delas upp i fyra delar.

1. Komponentens huvudsakliga funktion

2. Krav som ställs på komponenten
3. Mål med komponenten
4. Fria variabler

I ett första steg kan material som inte uppfyller kraven sällas bort. Utgående från funktionen, målet och de fria variablerna kan materialindex bestämmas [22]. Materialindex användes i programmet granta för att rangordna materialens prestanda i given tillämpning.

Beroende på vad som skall göras, hur detaljerat det skall vara och vilken kompetens och maskiner som finns väljes en lämplig tillverkningsmetod för varje del.

3.8 Förarergonomi

Förarergonomi är ett av de områden som ska utvecklas. En subjektiv bedömning av ergonomin genomfördes av gruppen på motorcykeln från 2015, av xp byggda, och kommersiell lösning. För att konstruera konceptet mer ergonomiskt riktigt så utnyttjas antropometridatabasen Hanson et al. i måttverktöget antropometri.se[23] för att vägleda måttsättningen av den nya motorcykeln. Enligt krav ska motorcykeln anpassas för en normalstor vuxen människa. Måtten anpassas därmed för att passa både en medelstor man och kvinna.

3.9 Konstruktion av koncept

När ett slutgiltigt koncept hade valts krävdes att skisser och idéer över systemet detaljkonstruerades. Detta för att erhålla ritningsunderlag under tillverkningen av prototypen men även möjlighet att göra FEM-analys och vikttestimeringar av konstruktionen som komplement till de tester som senare skall genomföras på prototypen. Konstruktionen skedde delvis i programmet CATIA av Dassault Systemes och delvis i Inventor av Autodesk.

Eftersom motorcykeln innehåller många gränssnitt som ska passa ihop behövde utformningen och måtten på dessa fastställas tidigt i processen för att möjliggöra parallell utveckling av samtliga mekaniska delsystem. Konstruktionen var en iterativ process var komponenter ritades upp och monterades digitalt för att säkerställa att allt interagerade som det skulle. Komponenter som var kritiska för systemets hållfasthet simulerades även i Ansys för att säkerställa god hållfasthet av de olika lösningarna.

Topologioptimering utnyttjades i programmet Inventor. Inventor har inbyggda verktyg för att generera former för viktreducering som ska klara kraven som ställs. Programmet beräknar detta utifrån parametrar så som maximala krafter, tryck och moment objektet utsätts för [24]. För att vara säkra på att formen uppfyller sina krav simulerades även detaljen i programmets simulationsfunktion med uppskattade belastningar. Detta är ett enkelt verktyg som är intressant vid viktreducering, och eftersom det är ett av målen i projektet är det mycket väsentligt.

Från våra kundgrupper och kravspecifikation har elsystemet flera krav som ska uppnås. För att kunna uppnå en hastighet och acceleration enligt krav med en bestämd däckradie skapades ett MATLAB-program F där acceleration och topphastighet med en given setup jämfördes med hjulradie och en utväxling som bedömdes rimlig. På så sätt kunde motor tillsammans med kontroller testas så att dess vridmoment och maxvarvtal var tillräckligt för att uppfylla kraven. De alternativ

som uppfyllde detta jämfördes och genom att utnyttja elimineringsmatriser och pugh-matriser som verktyg framgick ett bästa alternativ för projektet.

3.10 Utformning av programkod till styrenhet

För att styrenheten ska kunna visa föraren information på olika sätt måste i vissa fall informationen först beräknas eller listas ut med hjälp av några kända insignaler eller parametrar. I detta projektet är målet att visa batterikapacitet, hastighet, tid och hur mycket gasreglaget påverkas av föraren. För att kunna visa batterikapaciteten användes teori och statistik för litium-jon batteriers urladdningskurva, se teoriavsnitt. Spänningsdifferansen är relativt linjär i kapacitetsintervallet 20% till 80%, vilket utnyttjas för att kunna avläsa och förutspå en ungefärlig urladdning. En spänningsdelare skalar ned spänningen från batteriet så att styrenheten kan mäta denna i en analog ingång. I programmet används sedan denna skalfaktor tillsammans med den förväntade urladdningskurvan för att bestämma den nuvarande batterikapaciteten.

Tiden matas in direkt i styrenheten från en realtidsklocka som får sin spänning från ett separat internt batteri som är oberoende av de två andra och fortsätter därför att räkna tid även då motorcykeln är avstängd. På samma sätt som tiden direkt matas in i styrenheten matas gasreglargets värde in. Gasens spänning behöver inte skalas ned då den fungerar inom styrenhetens spänningsgränser.

Motor-kontrollern har en utgång som linjärt ger motorns varvtal upp till batterispänningen. För att skala ned på spänningen används en spänningsdelare, precis som för batterikapaciteten. Förutom detta kontrollern även hall-sensorer som eventuellt skulle kunna utnyttjas för att beräkna en hastighet. Hastigheten beräknas med motorns varvtal från kontrollerns egna utgång som ingående variabel med hänsyn till drev/utväxling och däckdiameter som en skalfaktor. Några testmätningar kan utföras för att uppskatta en sådan faktor.

Ett simulerings-program, Wokwi simulator, användes för att testa programkod tillsammans med hårdvarukopplingar och komponenter utanför styrenheten som bland annat skärm och potentiometer. Simuleringen skedde online på hemsidan, <https://wokwi.com/projects/new/arduino-uno>.

3.11 Tillverkning

Utifrån det valda konceptet tillverkades Motorcykeln i prototypplabbet med en kombination av olika tillverkningsmetoder som innefattar:

- Vattenstråleskärning
- Kallsågning
- TIG svetsning
- Nitning

Metoderna är beskrivna i större detalj i teoriavsnittet.

3.12 Produktutvärdering

Den tillverkade motorcykeln behövde slutligen testas. Detta för att kunna utvärdera hur väl motorcykeln uppfyller de krav och önskemål som listades i kravspecifikationen. Testningen genomfördes utifrån de verifieringsmetoder som specificerats i kravspecifikationen och för de tester där det var möjligt noterades ett värde som jämfördes med tidigare angivet målvärde för att avgöra om kravet eller önskemålet uppfyllts.

3.12.1 Test av elkomponenter

Testning av elektriska komponenter har skett i studentföreningen ETA:s lokaler, där det finns tillgång till testutrustning och vanliga elektriska komponenter. Det finns spänningskällor som kan användas för att simulera batterispänningar och material för att bygga testkretsar. Utöver detta finns mycket kompetens att ta del av från andra studenter i föreningen.

3.12.2 Test av hela motorcykeln

Kriterier relaterade till prestanda. 1.1 "Hastighet", 1.2 "acceleration", 1.3 "räckvidd" och 1.4 "bromsar". 1.2 mättes genom att ta tid då motorcykeln accelererade till en given hastighet som mättes med gps via förarens mobiltelefon. 1.4 testades på ett liknande sätt fast från en given hastighet till stillastående. Testerna gjordes med en förare om ca 77kg. Kriterierna 1.1 och 1.3 testades inte.

Kriterier relaterade till motorcykelns storlek 4.1 och massa 5.1 & 5.2 mättes enkelt med en stor linjal respektive en badrumsvåg. Vid vägandet av motorcykeln stod en gruppmedlem på vägen och lyfte motorcykeln.

Kriterier relaterade till ergonomin 6.1 och 6.2 bedömdes enkelt genom att dels subjektivt bedöma bättre/sämré gentemot existerande minimotos och observera om ledvinklar var större/mindre. Samt att testa transportera motorcykeln inomhus genom korridorer, dörrar och trappor.

Kriterier relaterade till säkerheten vid användning av motorcykeln testades också. Det var kraven 7.1 "Inga vassa kanter", 7.2 "brandsäker" och 7.3 "elsäkerhet". 7.1 undersöktes genom att helt enkelt känna på samtliga kanter för att på så vis känna om någon känns för vass. 7.2 testades genom att provköra motorcykeln med en aggressiv körstil med högt gaspådrag för att med jämna mellanrum stanna och lukta efter bränd doft samt med försiktighet känna på batteri, motor, controller och kablage efter orimlig värmeutveckling. Kravet 7.3 testades genom att undersöka elsystemet i sin helhet. Först och främst gjordes en kontroll att komponenterna är monterat på ett sätt som bibehåller säkerheten vid krascher samt då batteriet tas in eller ut ur motorcykeln. Det vill säga kontrollera att poler och kontakter med olika potential inte riskerar att kortslutas och göra motorcykeln strömförande. Med en multimeter mättes även potentialskillnader mellan olika komponenter efter provkörning för att på så vis försäkra om att motorcykeln inte är strömförande och en potentiell fara att använda.

Kriteriet 17.1 "Slutanvändaren ska kunna plocka isär och lämna in delar för återvinning." Bekräftades genom att säkerställa att motorcykeln går att demontera och dela upp i de olika materialen.

4 Resultat

I detta avsnitt presenteras resultaten utifrån de delmoment som beskrevs i avsnitt 3 Metod.

4.1 Kundundersökning

I detta avsnitt presenteras projektets intressenter och resultatet från intervjuerna.

4.1.1 Intressenter

Till en början listades vad gruppen ansåg är potentiella intressenter till projektet i form av kärntressenter, primärintressenter och sekundärintressenter i Tabell 1. Då ett mål med arbetet var att prototypen som tillverkas i detta arbete ska bli använd efter genomfört arbete valdes XP (experimentverkstaden på chalmers) och Erik Hultén (programansvarig på maskinsektionen) som främsta kärntressenter. Tanken med detta var att XP ska kunna förvalta motorcykeln och använda den på exempelvis cortègen och så kommer Erik med idéer och önskemål på hur motorcykeln kan göras för att kunna användas vid marknadsföring för civilingenjörsprogrammet i maskinteknik.

Tabell 1: Listade kärn-, primär- och sekundärintressenter.

Kategori	Intressent	Intresseområde
Kärntressenter	XP	Intresse att förvalta den färdiga lösningen. Drivlinan kan komma att användas vid elektrifiering av XP:s fordonsflotta.
Kärntressenter	Projektgruppen	Intresse av att lyckas med den tilldelade uppgiften.
Kärntressenter	Göran Stigler	Handleder gruppen och står som beställare.
Kärntressenter	Erik Hulthén	Intresse av att marknadsföra civilingenjörsprogrammet i maskinteknik
Primärintressenter	Studerande på Chalmers	Intresse av att se intressanta lösningar och möjligheterna i prototypplabbet
Primärintressenter	Gymnasieelever	Intresse av att se vad man kan åstadkomma efter utbildning
Sekundärintressenter	Motorcykeltillverkare	Intresse av att se alternativa lösningar

4.1.2 Intervjuer

För att få en djupare inblick och förståelse för vad som önskas hos kunden och på så sätt bättre kunna höja kundvärdet så genomfördes kvalitativa kundundersökning i form av semistrukturerade intervjuer. I och med att några specifika intressenter har valts ut är denna intervjuform bra då den ger utrymme för utvecklade svar på frågorna som ställs. Detta ger även ett bra underlag för kravspecifikationen.

De som intervjuades var:

- (I) Erik Hulthén programansvarig för civilingenjörsprogrammet maskinteknik på Chalmers.
- (II) Daniel Andersson Timmerman i XP styret 2021/2022.

Eftersom Chalmers och XP har olika användningsområden och förväntningar av en elmotorcykel formades frågorna efter de två intervjuerna. Intervjun med Erik Hulthén C.1 fokuserade på motorcykeln som ett utställningsobjekt och intervjun med Daniel Andersson C.2 fokuserade på användningen av motorcykeln.

Några av de viktigaste punkterna från kundundersökningen listas nedan:

- Motorcykeln behöver inte vara så mini.
- Vikt större begränsning än storlek.
- Säkerheten viktig i båda sammanhang.

4.2 Kravspecifikation

Utifrån de krav och önskemål som nämndes i intervjuerna samt utifrån de ramar som satts för projektet sammanställdes en fullständig kravspecifikation, appendix A. Kravspecifikationen listar kriterier från en mängd olika aspekter som spelar in för helhetsintrycket av motorcykeln. Där ingår allt från prestandakrav till ergonomi-, material-, tillverknings- och återvinningskrav bland andra. Under varje kriterium är ett antal krav och önskemål listade vilket innebär att det totalt blir en stor mängd krav och önskemål att uppfylla. I den slutgiltiga prototypen kan det bli svårt att hinna med och lyckas validera uppfyllnaden av samtliga krav och önskemål. Därför valdes ett par kriterier ut, som utifrån intervjuerna ansågs vara särskilt viktiga, de syns i Tabell 2. Då tanken är att XP ska ta över och förvärva motorcykeln efter detta projekt är det viktigt att många av de kriterier vad gäller hantering av motorcykeln i praktiken uppfylls vilket i sin tur kan leda till att motorcykeln används mer och visas upp för andra.

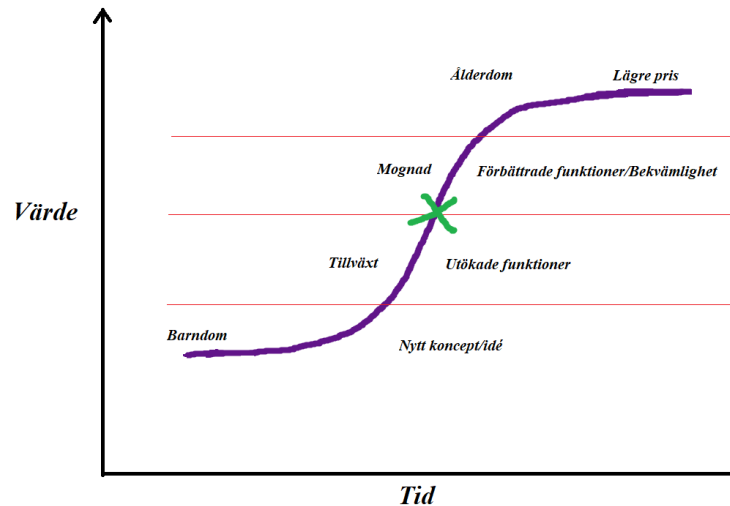
Tabell 2: Prioriterade krav och önskemål.

	Kriterier	Målvärde	K/Ö	Vikt	Verifieringsmetod	Referens (kravställare)
1.	Prestanda					
1.1	Hastighet	50 km/h	Ö	2	GPS-test	XP
1.2	Acceleration	1 m/s ²	Ö	2	g-kraft mätare/uträkning	XP
1.3	Räckvidd	3 mil	Ö	3	Testkörning	XP
1.4	Bromsar	3 m/s ²	K		g-kraft mätare/uträkning	Kund
4.	Storlek					
4.1	Storlekskrav	Ska kunna gå igenom en 0.8x2m dörr	K		Mäta	XP
5.	Massa					
5.1	Vikt	Max 40 kg	K		Väga	XP
5.2	Vikt	Max 25 kg	Ö	2	Väga	XP
6.	Ergonomi					
6.1	Min. längdkrav 180 cm, någorlunda bekväm ställning		Ö	3	Test med person	XP
6.2	Lätt att transportera	Handtag lämpligt placerade fram och bak	Ö	2	Rulltest, bärtest	XP
10.	Kvalitet och tillförlitlighet					
10.1	Robust och pålitlig	Ska vidbehålla funktion efter mindre krasch/vältning	K		Vält från stillastående	XP
		Ska gå att ladda utan att ta ut batteriet och genom att endast ansluta en sladd	Ö	3	Låta en utomstående ansluta laddaren och avgöra enkelheten	XP
10.2	Robust och enkel att ladda					

4.3 Kundvärdesanalys

Utifrån de intressenter som valdes och intervjuerna som hölls med respektive har det framkommit ganska tydligt att det största fokuset för att öka kundvärdet på elmotorcykeln bör ligga då kunden agerar som köpare och brukare. Detta eftersom intressenterna främst har vissa prestandakrav under användning men även en önskan om att motorcykeln ska ha en roll i att marknadsföra maskinsektionen genom att inspirera studenter och locka till sig nya.

Elmotorcykeln placerades på s-kurvan enligt Figur 3 vilket är i princip i mitten av s-kurvan. Motiveringen till detta var att trots att elektrifiering av fordon är relativt nytt så har det ändå skett en del på marknaden och det finns redan ett antal modeller som utgör de viktigaste huvudfunktionerna och lite därtill. Vad gäller elektriska minimomotorcyklar skulle kunna tänkas att en jämförelse görs mot den som tillverkades 2015. Den utgjorde de viktigaste huvudfunktionerna och var utöver detta ett projekt för att demonstrera prototypplabbets vattenskräver. I detta projekt fokuseras mer på att utveckla motorcykelns prestanda, utseende och ergonomi vilket är mer åt mognadsfasen på s-kurvan.



Figur 3: Position på s-kurvan för en elektrisk minimotorcykel

4.3.1 Strategier för ökat kundvärde

Mer konkret listades ett antal områden för detta projekt där potential till ökat kundvärde kunde erhållas.

1. Göra elkomponenter synliga
2. Utformning för ökad ergonomi (Storlek, ställbarhet)
3. Användarvänlig och fälmässig vid laddning, uppstart osv
4. Attraktivt utseende
5. Prestandamässigt jämförbar med Xp:s nuvarande bensindrivna minimotorcyklar.

Den första punkten kopplar till det PR-syfte som Hultén önskade att få ut av motorcykeln. Genom att göra elkomponenter synliga kan motorcykeln användas i undervisningssyfte men även på mässor för att framhäva elektrifiering av fordon.

Den andra punkten kopplar till att motorcykeln ska vara skönare att köra även för de personer som är lite större lite längre sträckor, exempelvis på cortègen.

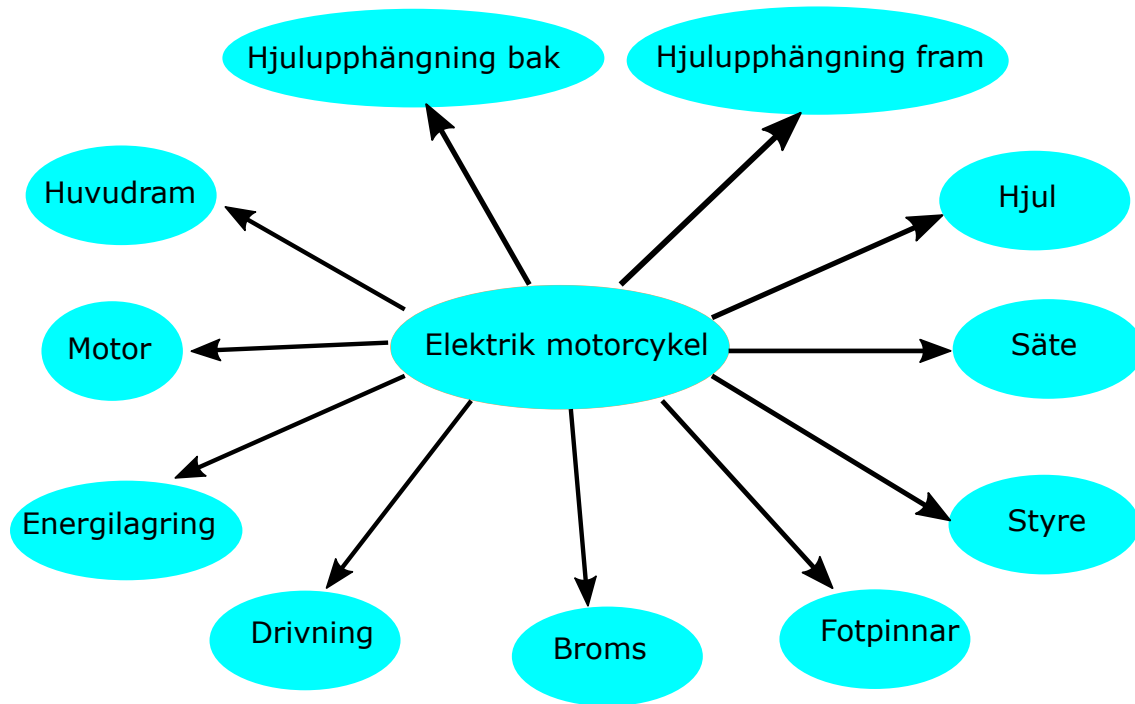
Den tredje punkten kopplar till att produkten ska kunna användas av vem som helst och ska vara robust på ett sätt som gör motorcykeln säkrare att använda och undviker onödiga stopp.

Punkt fyra kopplar även den till PR-syftet och anses viktig för att locka till sig blickar under mässor och cortègen.

4.4 Idégenerering

Nästa steg i projektet var att frångå avgränsningar och krav en aning, som identifierats tidigare i arbetet, för att nu släppa fram kreativitet och nytänkande i form av en idégenereringssession. En strategi som användes för att generera många idéer var att inventera alternativa lösningar som

redan finns på marknaden. För att strukturera upp inventeringen listades vad som skulle kunna vara tänkbara delsystem på en elektrisk motorcykel, Figur 4. Genom att gå igenom var och ett av delsystemen och inventera och generera alternativa lösningar erhöles en systematisk idégenerering där samtliga delsystem togs i beaktande. Inventeringen sammanställdes i ett dokument, appendix B, som beskriver samtliga inventerade lösningar samt fördelar och nackdelar med lösningen.



Figur 4: Listade delsystem för idégenereringen

4.5 Konceptval

För det slutgiltiga konceptvalet genomfördes två parallella konceptgenereringar. En för ramkonstruktionen och en för det drivande elsystemet. Detta för att erhålla två mindre konceptgenereringar som är lättare att utvärderas som i slutändan kombinderas, istället för en enda stor komplex generering med massvis av olika koncept.

4.5.1 Konceptgenerering

Alternativlösningarna från idégenereringen listades i den morfologiska matrisen enligt Tabell 3. Som kan ses i matrisen är de olika delsystemen numrerade från 1 till 11 och så är de alternativa lösningar numrerade brevid respektive delsystem. Delsystem 1 till 8 ingår i konceptgenereringen för ramkonstruktionen och de övriga ingår i konceptgenereringen för elsystemet.

Med hjälp av denna matris kombinerades sedan olika alternativlösningar till koncept som sparades i en konceptkatalog, appendix D. Teoretiskt sätt kan det totala antalet koncept för ramkonstruktionen uppnå en stor mängd olika koncept och elsystemet lika så. Rent praktiskt är det inte alltid möjligt att kombinera samtliga delsystem med varandra då systemarkitekturen kan skilja sig från fall till fall. Därför har koncepten i konceptkatalogen skapats manuellt genom att kombinera olika delsystem utifrån vad som kan kännas rimligt. I slutändan handlade det om 21 helhetslösningar för ramkonceptet tilldelade en bokstav A-U följt av en sifferkombination som beskriver de ingående delsystemen i konceptet.

Tabell 3: Morfologisk matris

	Alternativlösning 1	Alternativlösning 2	Alternativlösning 3	Alternativlösning 4	Alternativlösning 5	Alternativlösning 6	Alternativlösning 7	Alternativlösning 8
1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5			
Huvudram	Cradle ram	Cykelram	Lådrum	Trellis ram	Backbone			
2	2.1	2.2	2.3	2.4				
Hjulupphängning bak	Motorintegrerad sving	Enkelsidig sving	Dubbelsidig sving	Stel sving integrerad i ramen				
3	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8
Hjulupphängning fram	Sving och navstyrning	Teleskopisk oljedämpad framgaffel	Fjädrande icke teleskopisk "girder"	Fjädrande Hossack	Fast Gaffel	Fast, navstyrning	Framåtriktad länk	Radd Upphängning
4	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5			
Hjul	Ekrade hjul	Gjuten fälg	Smidd fälg	Luftfyllt däck	Solitt däck			
5	5.1	5.2	5.3					
Säte	Fast sittposition	Justerbar sittposition	Mjukt säte					
6	6.1	6.2	6.3	6.4				
Styre	Justerbar styrehöjd m.h.a distanser	Justerbar styrvinkel	Justerbart clip on	icke justerbart styre				
7	7.1	7.2	7.3					
Fotpinnar	Fasta fotpinnar	Fällbara fotpinnar	Fällbara justerbara fotpinnar					
8	8.1	8.2	8.3	8.4				
Broms	Skivbroms	Trumbroms	Fälgbroms	Ingen broms				
9	9.1	9.2	9.3					
Drivning	Drev-kedja-drev	Motor i fälgen	Remhjul-rem-remhjul					
10	10.1	10.2	10.3					
Energilagring	Batteripaket (litiumjon)	Bygga batteri av celler	Blybatteri					
11	11.1	11.2	11.3	11.4				
Motor	Induktionsmotor AC	Borstlös DC	DC	Universal				

4.5.2 Eliminering av ramkoncept

Samtliga koncept för ramkonstruktionen i konceptkatalogen genomgick sedan en elimineringsmatris Tabell 4. Koncept med "+" på samtliga kriterier klarade elimineringen. Även koncept där det förekom ett "?" passerade elimineringen. Anledningen till varför "?" sattes på vissa kriterier var för att det vid den tidpunkten inte fanns tillräckligt detaljerat beskrivna koncept. Dessa kriterier var "8.2 Slagtålig finish", "9.1 Vattentålig produkt" och "9.2 Korrosionsbeständig", vilket är kri-

terier som beror till stor del på hur man senare välja att konstruera produkten. Det fanns då inte tillräckligt med information för att kunna eliminera koncept baserade på dessa kriterier. Koncepten som eliminerades bort var bland annat koncept som bestod av en huvudram likt en cykelram. Motiveringen till detta var att gruppen ansåg denna design inte har tillräcklig potential till ett attraktivt utseende. Andra koncept som eliminerades bort var de som inte hade någon broms. Efter att elimineringsmatrisen genomförst återstod 15 koncept.

Tabell 4: Elimineringssmatris

Elimineringsmatris ramkoncept																		
Utfärdad av:															Skapad:		Sid 1	
															Modifierad:			
																+ Ja		+ Behåll lösning
																- Nej		- Eliminera lösning
																? Information saknas		? Sök (mer) information
																! Kontrollera kravspec.		! Kontrollera kravspec.
Koncept	Elimineringskriterier															Kommentar		Beslut
	1.4 Broms > {3 m/s^2}	2.2 Ska kunna användas i stadsmiljö	3.1 Längd livslängd > {10 år}	4.1 Storleks krav	5.1 Vikt < {40 kg}	6 Ergonomi (Körställning och ska vara lätt att flytta)	7.1 Inga vassa kanter	8.1 Attraktivt utseende	8.2 Slagtålig finish	9.1 Vattentät produkt	9.2 Korrosions beständig	10.1 Robust och pålitlig	12.1 Tillverkningsbar i prototypfabrik	15.1 Utbytbarhet	17.1 Återvinningsbar			
	A	+	+	+	+	+	+	+	+	?	?	?	+	+	+	+	8.2, 9.1 och 9.2 är svårt att avgöra i detta stadi. Utvärderas i senare skede	+
	B	+	+	+	+	+	+	+	+	?	?	?	+	+	+	+		+
	C	+	+	+	+	+	+	+	+	?	?	?	+	+	+	+		+
	D	+	+	+	+	+	+	+	+	?	?	?	+	+	+	+		+
	E	+	+	+	+	+	+	+	-								Cykelramiden anses tråkig och ful	-
	F	+	+	+	+	+	+	+	-								Cykelramiden anses tråkig och ful	-
	G	+	+	+	+	+	+	+	-								Cykelramiden anses tråkig och ful	-
	H	-															Klarar inte bromskravet	-
	I	+	+	+	+	+	+	+	+	?	?	?	+	+	+	+		+
	J	+	+	+	+	+	+	+	+	?	?	?	+	+	+	+		+
	K	+	+	+	+	+	+	+	+	?	?	?	+	+	+	+		+
	L	-																-
	M	+	+	+	+	+	+	+	+	?	?	?	+	+	+	+		+
	N	+	+	+	+	+	+	+	+	?	?	?	+	+	+	+		+
O	+	+	+	+	+	+	+	+	?	?	?	+	+	+	+		+	
P	-																-	
Q	+	+	+	+	+	+	+	+	?	?	?	+	+	+	+		+	
R	+	+	+	+	+	+	+	+	?	?	?	+	+	+	+		+	
S	+	+	+	+	+	+	+	+	?	?	?	+	+	+	+		+	
T	-																-	
U	+	+	+	+	+	+	+	+	?	?	?	+	+	+	+		+	

4.5.3 Eliminering av motortyper

Till projektet finns det flera mer eller mindre lämpliga elektriska motorer. Vi har undersökt följande alternativ på sådana modeller:

1. Asynkronmotor (AC induction motor).
2. BLDC motor (Brushless DC motor/ borstlös DC motor).
3. DC motor (med borstar).
4. Universal motor.

Enligt kravspecifikationen ska motorsystemet kunna få motorcykeln att uppnå en hastighet på minst 50 km/h. Motorcykeln ska samtidigt också minst klara av en acceleration runt 1 ms^{-2} . Sedan ska den ha en relativt lång livslängd, runt 10 år eller mer, väga maximalt 40 kg, vara säker i form av brandutveckling och utbytbar vid fel. Från de lösningsförslag som analyserades eliminerades DC motorn med borstar och Universalmotorn, båda av samma anledning, de kräver avsevärt mycket mer underhåll än de andra alternativen. Se tabell 5.

Tabell 5: Elimineringsmatris motor

Elimineringsmatris motor									
	Hastighet minst 50 km/h	Acceleration minst 1 ms^{-2}	Livslängd 10 år +	Vikt Max 40kg	Säkerhet brandrisk	Utbytbarhet, delar är utbytbara			
Lösning							Kommentarer:	Beslut:	
Induktionsmotor (AC)	+	+	+	+	+	+	Godkänd	+	
Borstlös DC motor	+	+	+	+	+	+	Godkänd	+	
DC motor	+	+	-	+	+	+	Undekänd pga underhåll	-	
Universal motor	+	+	-	+	+	+	Undekänd pga underhåll	-	

4.5.4 Relativ jämförelse av ramkoncept

I nästa steg genomfördes relativa jämförelser mellan ramkoncepten med hjälp av Pugh-matriser. Totalt genomfördes 3 Pugh-matriser med koncept A, J och B som referenser, se appendix E.1. Utöver kriterierna som även användes i elimineringsmatrisen baserade på kundkraven lades även kriterierna "Komplexitet/Tidsåtgång" och "Kostnad" till med syftet att väga in arbetsbörda och tidsåtgång samt kostnad vid konstruktion och tillverkning av konceptet.

Till en början jämfördes samtliga koncept som genomgått elimineringsmatrisen. Detta gjordes i både Pugh-matris 1 och 2 med koncept A och J som referens vilket gav olika rangordning för koncepten. Nettovärdet av poängen för var och ett av koncepten i matriserna adderades ihop och gav ett totalt nettovärde av matris 1 och 2. Baserat på rangordningen mellan koncepten som erhöles efter dessa två matriser eliminerades koncept C, N, O, Q, R, S och U då de redan efter två Pugh-matriser visat sig ha relativt dålig rangordning.

I Pugh-matris 3 jämfördes de återstående koncepten A, B, D, I, J, K och M där koncept B var referensen. Nettovärdena för koncepten i matrisen adderades ihop med respektive nettovärden från matris 1 och 2 och gav slutgiltiga nettovärden för koncepten. Koncept M blev sämst rangordnad med ett värde på -5 vilket var långt efter övriga koncept som låg på värden mellan -1 till 2. Detta medförde att även koncept M eliminerades bort. Kvarvarande koncept efter de tre Pugh-matriserna är nu koncept A, B, D, I, J och K som kan ses i Appendix D.

4.5.5 Relativ jämförelse av motortyper

Alternativen för motortyper jämfördes sedan i två olika Pugh-matriser, först med Universalmotorn som referens och sedan med induktionsmotorn. Kriterierna som jämfördes kommer direkt från kundönskemål och säkerhet. Hastighet, acceleration, livslängd, vikt, säkerhet och utbytbarhet var de egenskaper som jämfördes och den borstlösa DC motorn (BLDC) framgick som ett klart bästa alternativ.

4.5.6 Funktionsbaserad viktning av ramkoncept

I det sista steget i konceptvalsprocessen gjordes rangordning av koncepten baserat på hur bra varje koncept uppfyller var och ett av kriterierna samt hur viktigt varje kriterie är. Viktningen av kriterierna genomfördes med hjälp av en struktur i Tabell 13 i appendix E.2. Viktningen resulterade i olika medeltal (w) mellan 0 till 1 för varje kriterie som beskriver dess värde. Värdet (w) implementerades sedan i Kesselringmatrisen enligt Tabell 6. Värdet t räknades ut genom $t=v*w$ och ett slutgiltigt värde T erhöles genom att addera ihop alla t för respektive koncept. Som kan ses i tabellen är det ganska jämnt mellan koncepten då det totala viktade värdet T inte skiljer sig så mycket åt. Detta kan dels bero på att de kvarvarande koncepten är relativt lika med enstaka delsystem som skiljer dem åt, men även att koncept som skulle visat sig avsevärt mycket sämre redan sällats bort i Pugh-matriserna.

Som kan avläsas i tabellen är det konceptalternativ A som har fått bäst rangordning. Detta resultat spelar självklart in av flera parametrar men beror till stor del på att dess uppfyllnadsgrad är bland de bästa på kriterie "2.2 Ska kunna användas i stadsmiljö", "6. Ergonomi" och "7.1 Inga vassa kanter" vilket är kriterier som väger tungt för positivt kundvärde.

Tabell 6: Kesselringmatris

Kesselringmatris för ramkoncept

Utförd av: Grupp 82		Modifierad:													
Skapad: 2022-03-01															
Kriterier		Alternativ													
		ideal		A		B		D		I		J		K	
Namn	w*	v**	t***	v	t	v	t	v	t	v	t	v	t	v	t
1.4 Broms > (3m/s ²)	0,824	5	4,12	5	4,12	5	4,12	5	4,12	5	4,12	5	4,12	4	3,296
2.2 Ska kunna användas i stadsmiljö	0,559	5	2,80	4	2,236	4	2,236	2	1,118	4	2,236	2	1,118	4	2,236
3.1 Lång livslängd > (10 år)	0,118	5	0,59	4	0,472	3	0,354	3	0,354	4	0,472	3	0,354	3	0,354
4.1 Storlekskrav	0,676	5	3,38	4	2,704	4	2,704	4	2,704	4	2,704	4	2,704	4	2,704
5.1 Vikt < (40 kg)	0,471	5	2,36	3	1,413	3	1,413	4	1,884	3	1,413	4	1,884	3	1,413
6. Ergonomi	0,618	5	3,09	4	2,472	4	2,472	3	1,854	3	1,854	3	1,854	4	2,472
7.1 Inga vassa kanter	0,765	5	3,83	4	3,06	4	3,06	4	3,06	3	2,295	3	2,295	3	2,295
8.1 Attraktivt utseende	0,5	5	2,50	4	2	3	1,5	3	1,5	4	2	3	1,5	3	1,5
8.2 Slagtålig finish	0,206	5	1,03	4	0,824	4	0,824	4	0,824	4	0,824	4	0,824	4	0,824
9.1 Vattentålig produkt	0,441	5	2,21	3	1,323	3	1,323	3	1,323	4	1,764	4	1,764	4	1,764
9.2 Korrosionsbeständig	0,059	5	0,30	3	0,177	3	0,177	3	0,177	2	0,118	2	0,118	2	0,118
10.1 Robust och pålitlig	0,588	5	2,94	4	2,352	3	1,764	5	2,94	4	2,352	5	2,94	3	1,764
12.1 Tillverkningsbar i prototypplabbet	0,882	5	4,41	4	3,528	4	3,528	4	3,528	4	3,528	4	3,528	4	3,528
15.1 Utbytbarhet	0,265	5	1,33	4	1,06	4	1,06	3	0,795	4	1,06	3	0,795	4	1,06
17.1 Återvinningsbar	0,176	5	0,88	4	0,704	4	0,704	5	0,88	4	0,704	5	0,88	4	0,704
E1 Komplexitet/Tidsåtgång	0,706	5	3,53	4	2,824	4	2,824	4	2,824	4	2,824	4	2,824	4	2,824
E2 Kostnad	0,147	5	0,74	3	0,441	3	0,441	4	0,588	3	0,441	4	0,588	3	0,441
T (Totalt viktat värde)		85	40,01	65	31,71	62	30,504	63	30,473	63	30,709	62	30,09	60	29,297
T / Tideal		1		0,765		0,729		0,741		0,741		0,729		0,706	
Medel		5,00	2,35	3,82	1,87	3,65	1,79	3,71	1,79	3,71	1,81	3,65	1,77	3,53	1,72
Median		5,00	2,50	4,00	2,00	4,00	1,50	4,00	1,50	4,00	1,85	4,00	1,76	4,00	1,76
Rangordning					1		3		4		2		5		6

* w = Kriteriets viktade värde

** v = Ett konceptets uppfyllnadsgrad av ett visst kriterie

*** t = Konceptets viktade värde

4.6 Valt koncept

Det valda konceptet är alternativ A som bygger på en så kallad vaggram med alternativ I som är en lådrum på andraplats. Vaggramen är en lätt och stark konstruktion bestående av sammanfogade rörprofiler som blir förhållandevis öppen för insyn av inre komponenter vilket var ett önskemål från en av intressenterna för att göra motorcykeln tilltalande. Att ramen är formad som en vagga mellan hjulen gör att tunga delar som exempelvis batteriet kan placeras långt ner. Detta gör att motorcykelns totala tyngdpunkt hamnar längre ned vilket bidrar till lättare manövrering vid användning.

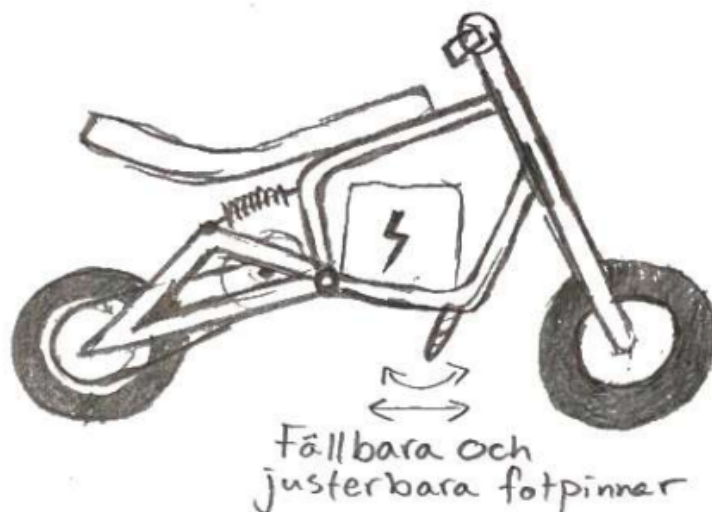
Bakvagnen utgörs av en fjädrande sving, vilket innebär att bakvagnen kan röra sig med en fjädrande effekt kring en axel normal till körriktningen. Detta ökar komforten vid användning bland annat i stadsmiljö där kullerstensgator, ojämnt asfalterade vägar och trottoarkanter ofta förekommer. I svingen är dessutom motorn placerad som en bärande komponent. Fördelar med att ha motorn integrerad i svingen är bland annat att kedjan inte behöver vara så lång, vilket minskar risken att den skulle hoppa av, men även att en konstant kedjespänning lättare kan erhållas, vilket minskar slitaget på kedjan.

Framvagnen utgörs av en stel framgaffel. Fördelen med en stel framgaffel är att ett relativt kom-

plext delsystem, jämfört med övriga, blir lättare både att konstruera och tillverka samt billigare då fjädrande komponenter inte behöver tas i beaktande.

I ergonomiskt syfte är konceptet utrustat med bland annat en mjuk sadel och justerbara och fällbara fotpinnar för att möjliggöra en bekväm körposition för personer av olika kön och olika storlekar.

Konceptet är utrustat med ett elsystem bestående av en styrenhet, motorkontroller, display och motor samt en skivbroms kopplat till ett bromshandtag. Detta möjliggör en snabb retardation vilket kan vara viktigt för förarens säkerhet. Styrenhetens huvudfunktion är att visa information på en display till föraren. Informationen som visas är motorcykelns hastighet, hur mycket föraren gasar för tillfället och den nuvarande batterikapaciteten. Styrenheten som valdes var en Arduino UNO, skärmen som användes var en SPI TFT-skärm med 1,8 tum och 128x160 pixlar och motorpaketet bestående av en BLDC-motor och en där till kompatibel motorkontroller valdes från Gagojsen på Amazon.se.



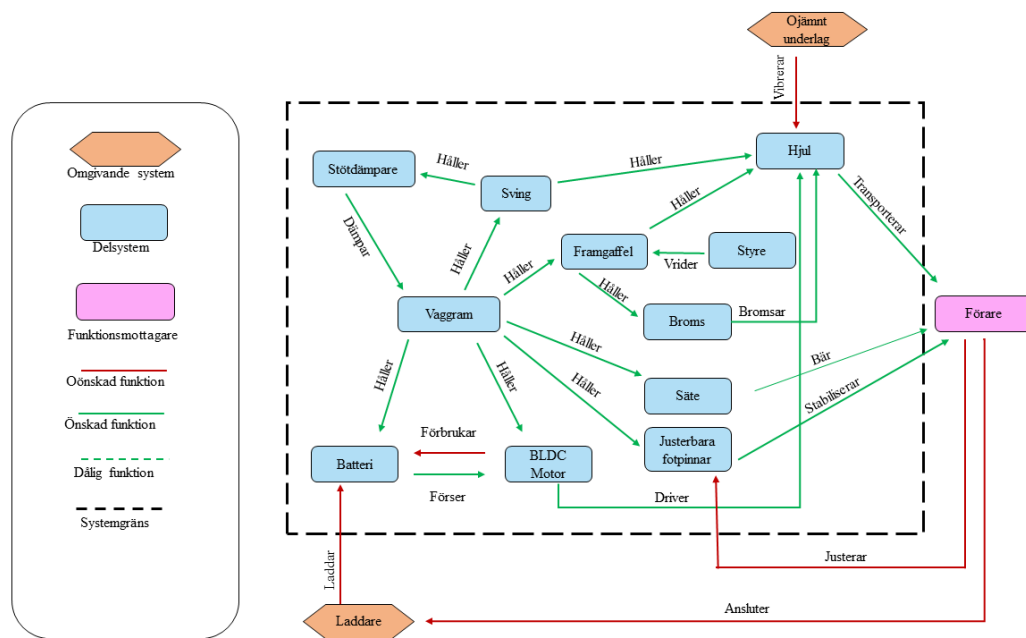
Figur 5: Skiss av det valda konceptet

4.7 Systemarkitektur

För att förtydliga hur elmotorcykeln är tänkt att fungera på en systemnivå så skapades systemarkitekturer, en för det valda konceptet men även en för den prototyp som ska tillverkas, för att underlätta det kommande konstruktions- och tillverkningsarbetet. Anledningen till varför en separat systemarkitektur gjordes för prototypen var för att samtliga delsystem från det valda konceptet inte kommer att ingå i den prototyp som skall tillverkas. Detta beslut togs för att hinna utföra ett tillfredsställande konstruktionsarbete och tillverkning av prototyp inom projektets begränsade tidsplan. Den stora skillnaden är att prototypen inte kommer att ha en fjädrande sving utan en stel bakvagn samt att fotpinnarna inte blir justerbara. Dessa justeringar ansågs ej påverka prototypens förmåga att utgöra en bas för det elsystem som ville testas samt undersökning av motorcykelns proportioner för en ergonomisk körställning, vilket var de huvudområden där det fanns flest krav och önskemål att validera med hjälp av prototypen.

4.7.1 Funktionell modell för konceptet

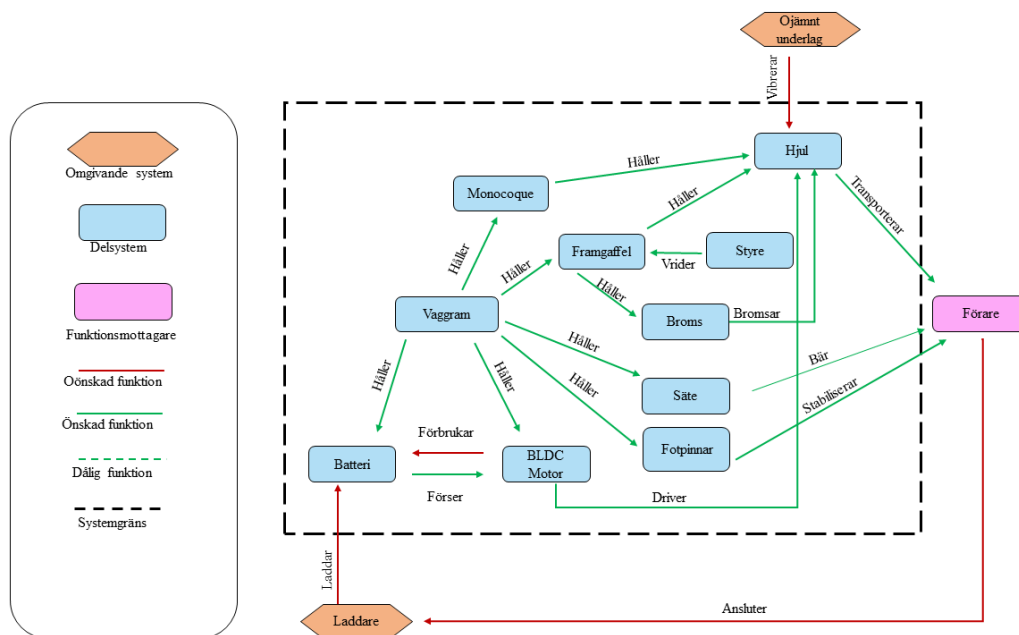
I Figur 6 beskrivs hur samtliga delsystem inklusive omgivande system interagerar med varandra enligt det valda konceptet, Figur 5. Likt de flesta motorcyklar genom historien så är det någon form av ram som utgör basen för hela motorcykeln. I detta fall är det en så kallad vaggram som håller batteri, motor, fotpinnar, sadel, framgaffel samt sving. Framgaffeln och svingen håller ramen kring en ledad axel så att de blir rörliga, varvid svingen i sin tur håller en stötdämpare som dämpar ramen från vibrationer vid ojämnt markunderlag. Utöver dessa delsystem har vi även hjul som hålls på plats av sving respektive framgaffel samt broms som hålls av framgaffeln och bromsar framhjulet. Det som krävs av föraren för att kunna köra och sitta bra är att ansluta laddaren när batteriet är slut samt justera fotpinnarna så att de hamnar i ett läge för bra sittposition. Detta anses som önskade funktioner då dessa i en perfekt värld gärna hade fått vara automatisk utfört.



Figur 6: Funktionell modell av det valda konceptet som visar hur olika delsystem interagerar med varandra.

4.7.2 Funktionell modell för prototypen

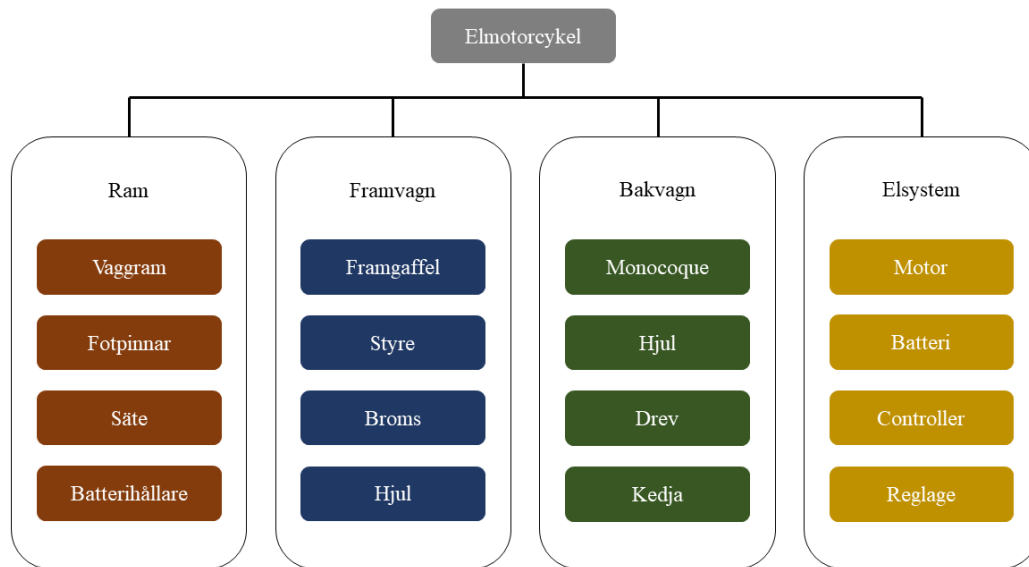
Till skillnad från systemarkitekturen för konceptet har nu svingen med stötdämparen tagits bort och ersatts av en så kallad monocoque. Monocoquen är en stel lösning av bakvagn där laster upptas av bakvagnens utvändiga chassi istället för ett inre ramverk. Detta gjordes som tidigare nämnt för att minska ned komplexiteten och antalet delsystem för att förenkla och snabba upp det kommande tillverkningsarbetet. Fotpinnarna valdes att köpas in vilket innebar att en anpassning efter utbudet på marknaden fick göras. Därav uteblev justerbarheten.



Figur 7: Funktionell modell av prototypen som visar hur olika delsystem interagerar med varandra.

4.7.3 Modularisering

Trots att den tänkta prototypen förenklats lite grann från det valda konceptet så involverar den en hel del delsystem och komponenter. För att underlätta konstruerandet av prototypen delades den upp i 4 huvudmoduler ram, bakvagn, framvagn och elsystem, Figur 8. På detta sätt delas konstruktionen upp i mindre komplexa system som kan utvecklas parallellt vilket tidseffektiviserar arbetet ända fram till slutmontering. Som kan ses i figuren så har det tillkommit delsystem som inte ingick i den funktionella modellen i Figur 7. Detta beror på att de tillkomna delsystemen endast stödjer någon av de andra delsystemens funktion men ändå ger en mer detaljerad bild över vad som ingår komponentmässigt i varje modul.



Figur 8: Moduluppdelning av prototypen

4.7.4 Gränssnitt

Tabell 7 och 8 visar systemets gränssnitt mellan moduler respektive komponenter. Genom att läsa av tabellerna erhålls en tydlig bild av vilka integrationsmått som är viktiga att ha i åtanke vid utveckling av var och ett av de olika modulerna och komponenterna för att se till att de passar när de ska monteras ihop. Många gånger krävs det endast en gränssnittsmatris på modulnivå om de flesta integrationerna sker inom modulerna. I detta fall var det en del komponenter, inte minst inom elsystemet, som sträckte sig över modulgränserna vilket innebar att en separat gränssnittsmatris för varje enskild komponent även gjordes.

Tabell 7: Gränssnittsmatris som beskriver vilken typ av integration som uppstår mellan moduler

Modul	Ram	Framvagn	Bakvagn	Elsystem
Ram		M	F	F
Framvagn				F
Bakvagn				F/M
Elsystem				

F = Fastskruvad, M = Mekaniskt

Tabell 8: Gränssnittsmatris som beskriver vilken typ av integration som uppstår mellan komponenter

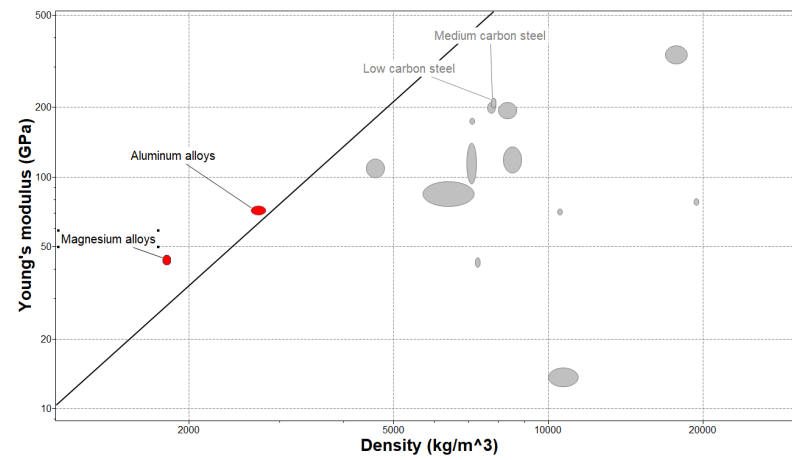
Komponent	Vaggram	Fotpinnar	Säte	Batterihållare	Framgaffel	Styre	Broms	Hjul fram	Monocoque	Hjul bak	Drev bakhjul	Drev motor	Kedja	Motor	Batteri	Controller	Reglage
Vaggram		F	F	F	M				F							F	
Fotpinnar																	
Säte																	
Batterihållare															F		
Framgaffel						F	F	M									
Styre							M										F
Broms								M									
Hjul fram																	
Monocoque										M				F			
Hjul bak											F						
Drev bakhjul												M					
Drev motor													M	F			
Kedja																	
Motor																E	
Batteri																E	
Controller																	E
Reglage																	

F = Fastskruvad, M = Mekaniskt, E = Elektriskt

4.8 Val av material & tillverkningsmetoder

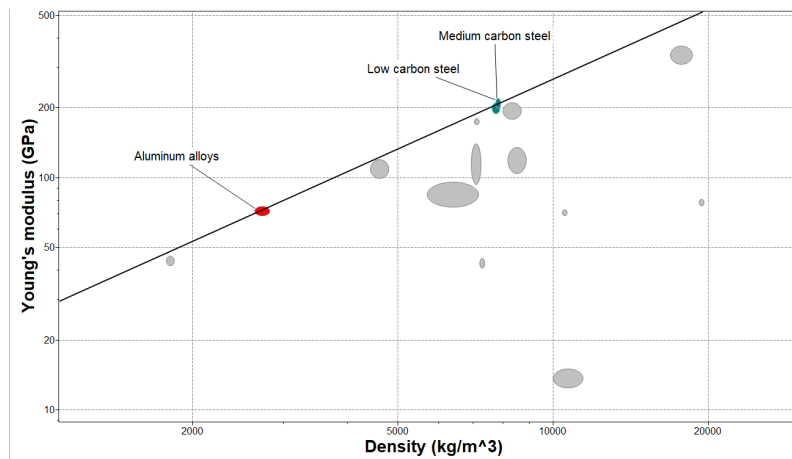
Resultatet av urvalen var i huvudsakligen två material med tillhörande tillverkningsmetoder. Rörramen beslutades göras i stål på grund av enkelheten i att svetsa det, medan den bakre monocoquen beslutades göras i aluminium.

Monocoquen kan förenklat betraktas som en balk i böjning och för att minimera vikt och maximera styvhet valdes materialindex $E^{1/2}/\rho$ var E är materialets e-modul och ρ är materialets densitet. Resultatet var att de två bästa alternativen var aluminium och magnesium. På grund av tillgänglighet och kostnad valdes magnesium bort till fördel för aluminium. Eftersom konceptet hade en monocoque i plåt beslutades att delarna skärs ut med hjälp av vattenstråleskärning. Detta möjliggör att skära ut hål för nitar utan extra bearbetning vilket gör att nitning sågs som en lämplig metod för



Figur 9: Plot av E modul och densitet med materialindex för böjning

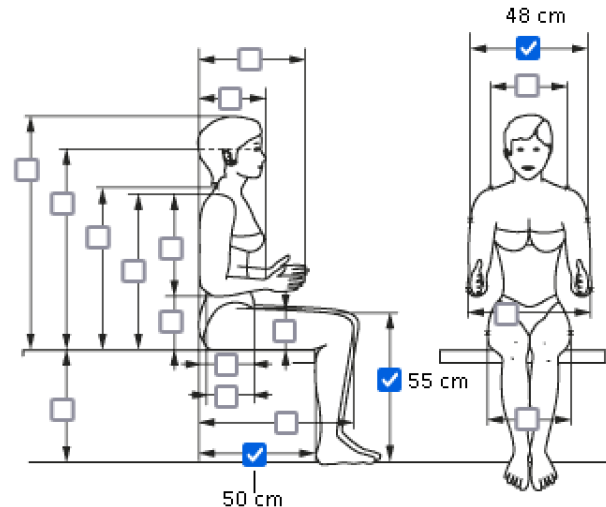
sammanfogning.



Figur 10: Plot av E modul och densitet med materialindex för drag

Rörramens lastfall var inte lika klart, då de olika delarna utsätts för såväl drag, tryck och böjning. För att optimera styvhet i drag och tryck används E/ρ och för böjning $E^{1/2}/\rho$. Aluminium presterade som tidigare bra i böjlaster. Vid drag och tryck var aluminium och stål med låg kolhalt likvärdigt. Stål valdes över hela ramen för enkelheten i att svetsa samman rören. Aluminium är en stark oxidbildare och kan därför vara svårare att svetsa. Svetsning valdes då bedömdes svårt att konstruera alternativa förband utan att öka komplexiteten.

4.9 Förarergonomi



Figur 11: Viktiga mått för sittande genomsnittsman

Personen i gruppen som agerade testdocka har kroppsproportioner som stämde överens med medelmåtten för män inom ± 1 cm med måtten från antropometrivertket.[23] Därför kunde positionerna som personen hamnade i anses vara representativa för att göra motorcykeln ergonomisk för många. Det är önskvärt med nära 90 graders vinkel i leder[25], något som är svårt att uppnå på en minimomotorcykel. Enligt detta kan det tänkas att styret bör vara ungefär axelbrett, men vid tester av de gamla minimotos konstaterades att det är fördelaktigt med ett smalare styre. På små motorcyklar slår ett brett styre emot knäna vid stora styrutslag vilket kräver att man behöver pressa ut knäna mer desto bredare styret är vilket är mycket mer obekvämt vid körning än ett lite smalare styre. På en liten motorcykel måste man tänka på avstånd mellan säte och styre för att inte slå i knäna vid styrutslag. Fotpinnar längre fram ökar knävinkeln vilket gör det bekvämare att sitta. Högre sadelhöjd ökar också knävinkeln.

4.10 Konstruktion

För att göra konstruerandet av motorcykeln mer hanterbart så delades den upp enligt de moduler som beskrevs i kapitel 4.7.4, det vill säga ram, bakvagn, framvagn och elsystem, och utvecklades parallellt.

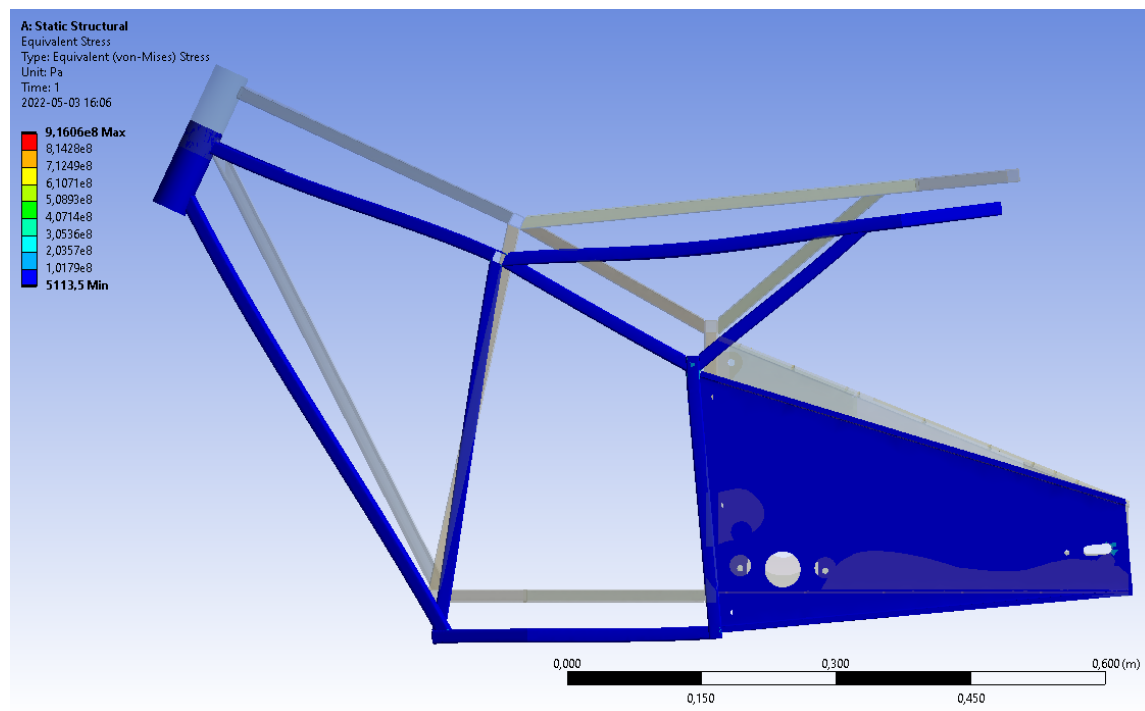
4.10.1 Ramen

Vaggramen beslutades att konstrueras av 15mm fyrkantsprofil i stål. Eftersom fyrkantsprofilerna har plana sidor lämpade de sig bra för detta projekt då det är det förhållandevis enkelt att sammanfoga rör mot plana ytor utan avancerade jigggar. Konstruerandet av ramen inleddes med att en CAD-modell i Catia V5 ritades, detaljritningar i H.3. Mått till denna utgick till en början från

förutbestämda integrationer som överskådligt beskrivits i Tabell 8 samt mått för ökad ergonomi beskrivet i föregående delkapitel, Figur 11. Därefter justerades måtten och ramens form för att möjliggöra infästning av controller och ge plats åt batterihållaren som görs som en separat komponent i vattenskuren bockad aluminiumplåt. Rörprofilerna konstruerades för att på ett så enkelt sätt som möjligt kunna tillverka ramen i prototypplabbet. Detta gjordes genom att först och främst designa så att vinklar på rören kan kapas i metallkapen. Det vill säga att alla vinklar är i ett plan och är i intervallet 0-60 grader. Dessutom var det viktigt att samtliga delar som skall fogas samman ligger bra an mot varandra. Detta för att fogning med hjälp av svetsning ska ge ett bra resultat.

Därefter gjordes en hållfasthetsanalys av ramen i Ansys Workbench Figur 12. Denna gjordes med bakvagnen monterad för att få ett så verkligt lastfall som möjligt vid infästningen av bakvagnen. De övriga randvillkoren estimerades så likt verkligheten som möjligt genom att bland annat sätta "cylindrical support" uppe vid styrlagret som ska efterlikna det moment som uppstår från framgaffeln, och "fixed support" nedtill från axeln till bakhjulet, då en last av 1500 N placeras längs med balkarna på sätet. 1500N valdes för att klara av att stödja en tung förare samt motorcykelns egenvikt. 99% av alla människor i databasen Hansson, et al.[23] väger mindre än 110kg och motorcykelns egenvikt får inte överstiga 40kg enligt kravspec. Som kan ses i figuren blir det inga extrema spänningar i fyrkantsprofilerna. Tittar man däremot närmre i fogarna där profilerna ska svetsas samman kan man se tendenser på spänningspikar som kan uppstå i konstruktioner med snäva ytövergångar. Enligt den här statistiska analysen klarar sig konstruktionen under sträckgränsen för stål på 210 GPa med ganska stor marginal. Det kan dock krävas ett par stödplattor på ett par ställen på ramen för att styva upp konstruktionen och minimera risken för utmattningsbrott vid varierande last.

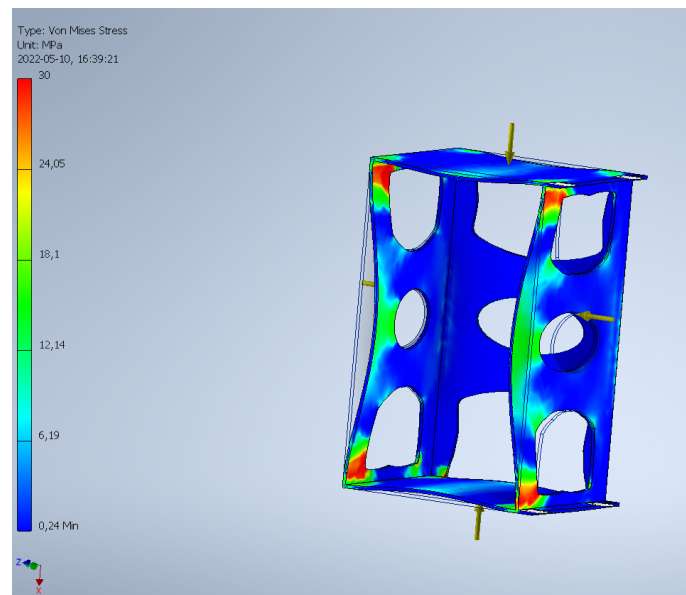
CAD-modellen för batterihållaren analyserades med Autodesk Inventors inbyggda simuleringsfunktion. Se figur 13. Konstruktionen utsätts för 400 N från topp och botten (ej inifrån) samt 250 N från sidorna och är simulerad för materialet aluminium. Notera att konstruktionen kan böjas lite, men håller förövrigt bra och är långt ifrån gränsen för materialbrott. Notera även att batteriet, av sin vikt, kommer att medföra en tröghet vid acceleration i olika former och kommer därför påverka batterihållaren med krafter inifrån, men lägg också märke till att objektet är symmetriskt och har samma egenskaper för inverterade krafter. Eftersom krafterna utifrån kan bli större simuleras dessa extremfall i figuren.



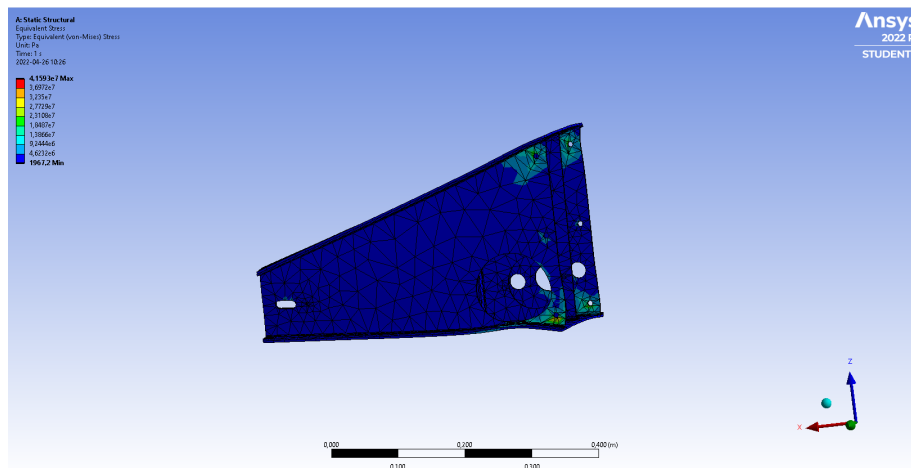
Figur 12: Analys av ramen monterad med bakvagnen

4.10.2 Bakvagnen

Konstruerandet av bakvagnen inleddes med att en CAD-modell i Catia V5 ritades, appendix H.1. Konstruktionen fick en monocoque struktur bestående av 3mm aluminiumplåt. Mått till denna utgick till en början från de förutbestämda integrationsmått och konstruerades runt motorn, samt bakhjulet. Eftersom monocoquen ska fungera som ett kedjeskydd så placerades dreven innanför sidopanelen. För att förenkla tillverkning användes så enkla böckningar som möjligt och sidorna gjordes nästan symmetriska. Detta för att undvika problem med att alla nithål ska ligga i linje. En vertikal plåt lades till för att säkerställa en stark motorinfästning då motorn placerades i mitten. För att förenkla montage togs ett hål ut ur sidopanelen bakom motorn och flera mindre hål i panelen framför. Bakvagnen förändrades något efter hållfashetsanalyser i Ansys. Randvillkoren var fixed support vid infästningshålen till ramen och en last om 1500N som verkade rakt upp i hjulaxelns infästningshål. Höga spänningar observerades vid hjulaxelns infästning och en förstärkning lades därför till. Kedjespänningen valdes att göras med ett avlångt hål för hjulaxeln och en excenter i plåt för att tvinga bak hjulaxeln och därmed öka spänningen.



Figur 13: I figuren visas en stress-analys av batterihållaren. Objektet simuleras med materialet aluminium.



Figur 14: I figuren visas en stress-analys av monocoquen

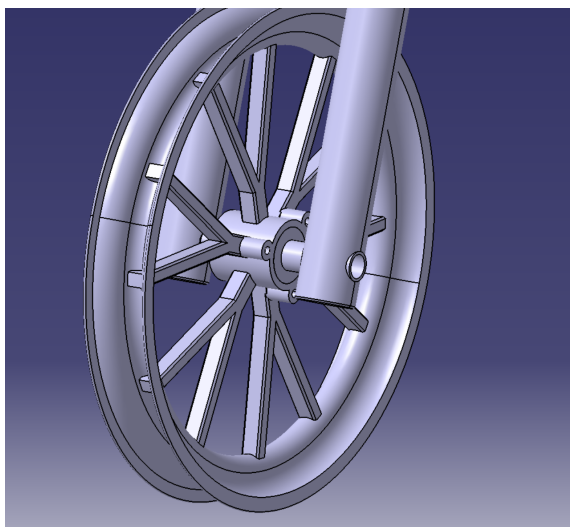
4.10.3 Framvagnen

Framvagnen på en motorcykel är kanske en av de absolut viktigaste delarna eftersom det är i framvagnen styrningen och förarens kontakt med vägen sker. En motorcykels framvagn bör således vara stabil, förtroendeingivande, säker och därmed ge föraren självförtroende. Det är många aspekter som måste tas i betraktelse vid tillverkningen av en framvagn. Aspekter såsom hållbarhet, vinkelgeometri, längd och vikt är några. Under konceptgenereringen listades många olika typer av framvagnar, många utav dem alldeles för komplicerade för att tillverka inom den givna tidsramen. Samtidigt var framvagnen på minimotorcykeln som tillverkades i kandidatarbetet 2015 mycket bristfällig. Styrningen var trög att vrida och kunde kärva när föraren satt på. Styrvinkeln var också väldigt begränsad.

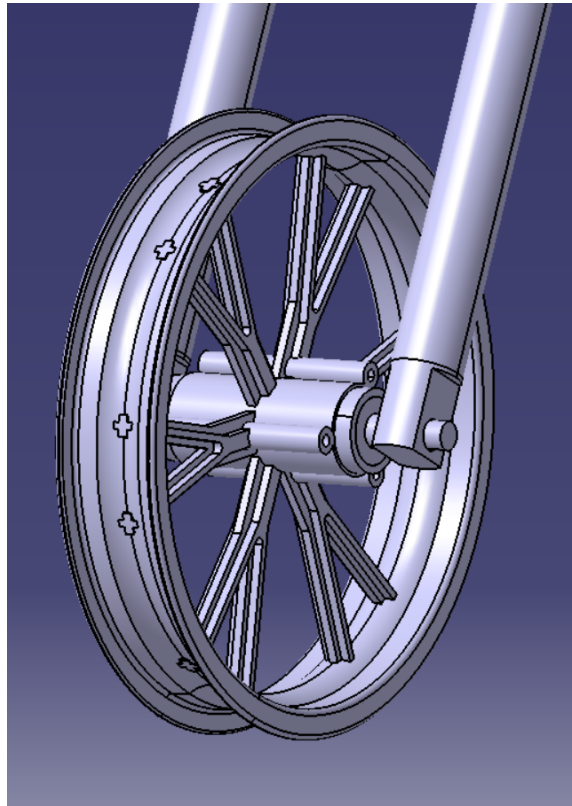
Efter beslutet om att utesluta stötdämpning fram togs i ett försök att sänka komplexiteten skapades några första CAD-modeller för framgaffeln. Bilden av denna återfinns i figur 15. I denna konstruktion har långa rör utgjort gaffelbenen och en platta har svetsats fast i botten för att ge stabilitet och styvhet. Hjulaxeln löper genom en insatshylsa inuti gaffelbenen på vardera sida. Hylsan inuti gaffelbenet sprider ut lasten över en större area än om bara ett genomgående hål hade använts.

Konstruktionen i sin helhet såg länge lovande ut, men efter diskussion med verkstadspersonalen konstaterades att det både skulle vara svårt att placera hålen rakt och att det fanns stor risk för att insatshylsan och gaffelbenet skulle slå sig, dvs hamna snett efter svetsning i så pass tunt gods.

Därför valdes en mer robust, men samtidigt mer komplicerad konstruktion, se figur 16. Konstruktionen utnyttjar precisionsfrästa insatser av rundstång som förs in i gaffelbenens ändar och svetsas fast på utsidan. Hålen för hjulaxeln är betydligt kraftigare och brotschade för optimal passform. Den frästa ytan ger också muttrarna som håller ihop fälgen en plan yta att skruvas mot.



Figur 15: Första versionen av gaffel och hjulgeometrin, på bilden syns framfälgan i mitten och gaffelbenen på vardera sida.



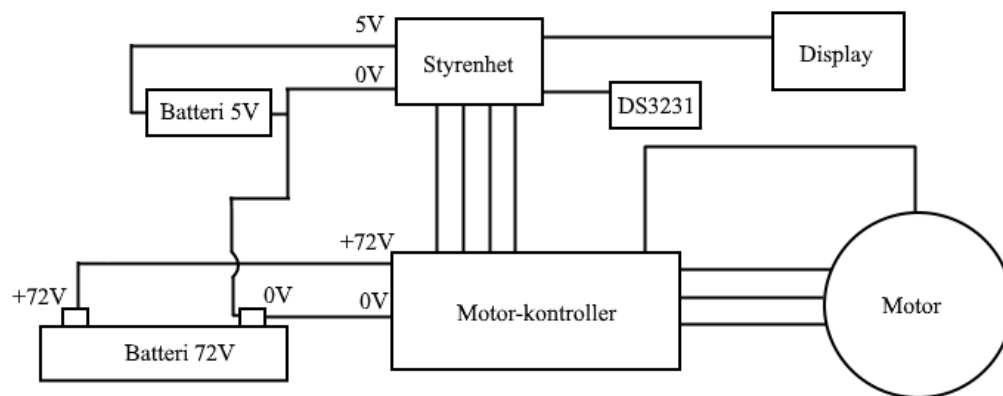
Figur 16: Slutliga versionen av gaffel och hjulgeometrin, på bilden syns framfälgarna i mitten och gaffelbenen på vardera sida.

4.10.4 Elsystem

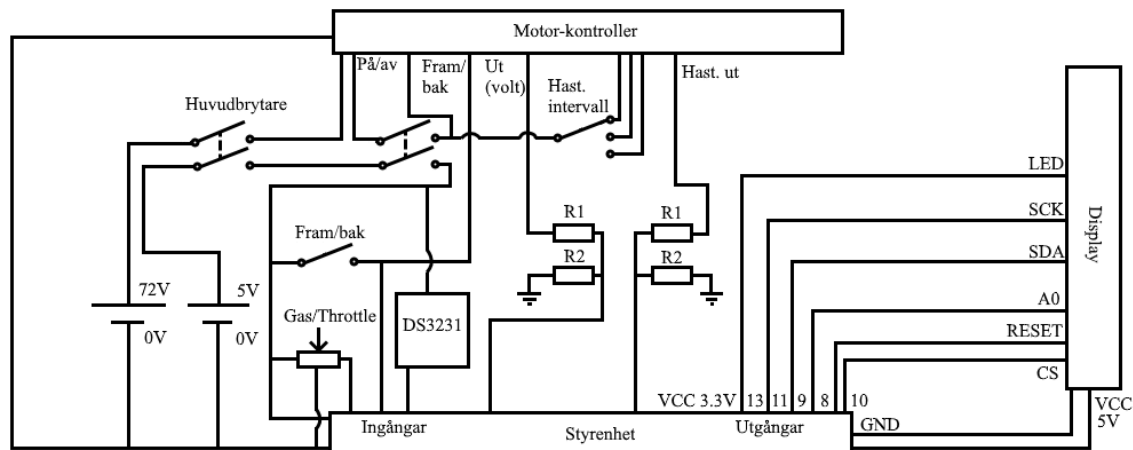
Från krav, leveranstider och jämförelser valdes en BLDC motor på 3 kW från Gaojsen genom Amazon. Tillsammans med motorn ingick en kompatibel motorkontroller. Enligt beräkningar i MATLAB-programmet som tidigare nämnts bör motorn vara runt 2,5-3kW för att uppnå efterfrågad hastighet och acceleration. Detta med en utväxling om 11/64 vilket bedömdes som rimligt eftersom det är en utväxling som kan göras i ett steg med drev som finns att köpa. Eftersom motorn opererar med en matningspänning på 72V, valdes ett batteri med samma spänning, storleken 20 Ah valdes eftersom det var lättillgängligt och det gav en lämplig räckvidd på upp till 1 timma om man antar genomsnittsström på 20A vid en körning ($20\text{Ah}/20\text{A} = 1\text{h}$). Batteriet som valdes har en maximal urladdningsström runt 40 A (kontrollern klarar att ta emot maximalt 80 A), vilket gör att kabelarean ideellt bör vara runt 10 mm^2 för att med marginal kunna hantera 40A kontinuerligt utan att bli för varmt. Vi fick dock bara tag i $2,5\text{ mm}^2$ ledare från batteriet, detta fungerar för 20A kontinuerligt.

Huvudbatteriet kopplades till en motor-kontroller som i sin tur är kopplad till en brushless DC

motor (BLDC). Detta batteri har en spänning på 72 V och en kapacitet runt 20 Ah och kan avge en maxström runt 40 A, vilket är betydligt mindre än motorkontrollerns märkström (80 A). Motor-kontrollern opererar på samma spänning som batteriet och styr motorn. Motor-kontrollern har flera möjliga insignaler för att kunna justera hastighet, aktivera motorbroms (inducerar ström), med mera. I projektet skickas dessa signaler från en styrenhet som i sin tur får signaler direkt från givare som påverkas av motorcykelns förare och från motorn. Gashantaget är bundet till en potentiometer som fungerar som ett gasreglage, en tryckknapp som används för att backa och en tryckknapp med tre lägen som anger vilket hastighets- eller varvtals-intervall som motorn snurrar med. Styrenheten kräver en lägre spänning, 5 V, och är därför kopplad till ett separat batteri som jordas gemensamt med huvudbatteriet i ramen. För en grov uppskattning över hur delsystemen samverkar, se figur 17. Det finns även ett elschema med mer detaljer som presenteras i figur 18. Två spänningsdelare skalar ned batterispänningen respektive spänningen som motsvarar motorhastigheten som kontrollern ger ut.



Figur 17: I figuren visas en schematisk bild av motorcykelns elsystem.



Figur 18: I figuren visas ett komplett elschema för motorcykelns elektriska system. Notera resistanserna R_1 och R_2 vilka fungerar som spänningsdelare vid två tillfällen.

4.11 Styrenhet

Styrenheten har flera funktioner. Informationen som visas till föraren är motorcykelns hastighet, hur mycket föraren gasar för tillfället, batterikapaciteten och den nuvarande tiden. Dessa funktioner har möjliggjorts med hjälp av en programkod till en Arduino, som fungerar som styrenheten. Programmet är skrivet i C++ och använder standardbibliotek samt grafikbiblioteket Adafruit_GFX.h, Adafruit_ST7735.h och SPI.h.

För att dimensionera ned spänningen från huvudbatteriet så att styrenheten kan mäta spänningen används en spänningsdelare. Den maximala överspänningen på batteriet är 84 V, vilket då ska motsvara 5 V efter delningen. Alltså fås sambandet enligt $2 R_1 = \frac{79}{5} R_2$. En resistans $R_1 = 470 \text{ k}\Omega$ och $R_2 = 7,5 \text{ M}\Omega$ valdes till detta, vilket orsakade en maximal läckström runt $10,6 \mu\text{A}$. En likadan spänningsdelarkrets med samma egenskaper användes för att dimensionera ned motorhastigheten från motor-kontrollern.

4.12 Tillverkning

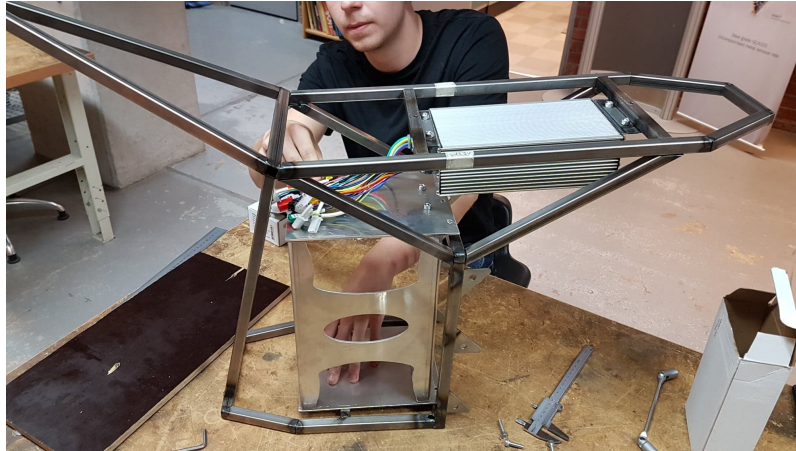
Tillverkningen av motorcykeln genomfördes enligt samma modulsystem som konstruerades efter i avsnitt 4.10. Det vill säga komponenter som behövde tillverkas ingick i modulen ram, bakvagn eller framvagn.

4.12.1 Tillverkning av ramkonstruktionen

Tillverkningen av rammodulen involverade ett antal delsystem och komponenter. I detta delkapitel presenteras i grova drag tillverkningen av de mest betydande delsystemen.

Huvudram

Tillverkningen av Vaggramen påbörjades genom att kapa ut samtliga fyrkantsprofiler i prototypplabets kallsåg enligt konstruktionsritningarna i appendix H.3. Därefter klipptes "öronen" ut och hål borrades för infästning mot monocoquen. Därefter markerades ut på profilerna var de skulle fogas samman med varandra varvid de sedan till en början enbart punktsvetsades ihop med TIG-svetsning. Efter passningskontroll mellan övriga komponenter som ska integrera med ramen såsom batterihållare, controller, bakvagn och framvagn, Figur 19, gjordes sedan den slutgiltiga svetsningen då samtliga fogar ämnade åt svetsning gjordes.



Figur 19: Provmontage av batterihållare och controller innan färdigsvetsning av ramen.

Fotpinnar

På grund av projektets begränsade tidsplan valdes att införskaffa färdiga fotpinnar. Det krävdes dock anpassningar på ramen för att kunna implementera dem. Detta gjordes genom att klippa ut två fyrkantiga skivor i stål 50*80 mm. Hål borrades sedan genom dessa för att möjliggöra infästning av fotpinnarna genom att gänga på muttrar på baksidan av plåtskivan. Plåtbitarna svetsades sedan fast på lämplig plats på ramen.



Figur 20: Fotpinnar

Tillverkning av Batterihållare

De tre väggarna är gjorda från ett stycke 3 mm aluminium som vattenskurits ut. Sedan bockades denna plåt vid fästen till toppen och botten, samt två gånger lodrätt så att det blev tre väggar. Botten och toppen klipptes ut till 216*161 även de i 3 mm aluminium. Sedan märktes hålplacering från väggarna på botten och toppen samt var fästpunkter till vaggramen ut. Därefter borrades dessa 14 hål med pelarborr.



Figur 21: Batterihållare från framsida



Figur 22: Batterihållare från baksida

4.12.2 Tillverkning av Bakvagn

Bakvagnen tillverkades genom att först och främst skicka digitala ritningar av ingående plåtkomponenter i monocoquen till verkstadspersonalen i prototyplabbet. Enligt dessa ritningar skars plåtbitarna ut med hjälp av vattenstråleskärning. Plåtbitarna bockades sedan i kantpressen för att erhålla önskad form. Slutligen sammanfogades plåtbitarna med nitar. 3,2mm nitar i aluminium valdes för att de är små nog att lätt kunna nita med en handdriven nitpistol. Efter en första provmontering visade det sig att ett par hål hamnat ur position på grund av att bockningen med kantpressen inte resulterat i samma toleranser som det var konstruerat för i ritningarna. Efter att ett par justeringar i CAD-modellen genomförst så skickades ritningar på nytt personalen i prototypverkstaden och ett par nya komponenter skars ut. En ny provmontering med motor, däck och drev genomfördes som resulterade i ett gott resultat, Figur 23.



Figur 23: Testmontering av ingående komponenter i bakvagnen.

4.12.3 Tillverkning av framvagnen

Framvagnen tillverkades i olika etapper. Först och främst tillverkades hjulaxeln och fälgspacern som monteras inuti fälgen och gör att hjullagren inte belastas axiellt. Därefter svarvades, frästes, borrades och brotschades de nedre gaffelbenen till tolerans för att erhålla minimalt glapp med hjulaxeln och fälgspacern. När den nedre hjulgeometrin var tillverkad var det dags att ägna tid åt de mest komplexa geometrierna av framvagnen, nämligen styrkronan. Innan tillverkningen börjat köptes styrlager till en Yamaha PW50, en mindre crossmotorcykel som tillverkats sedan början på 2000 talet. Från början var tanken att använda koniska styrlager både eftersom de är lätta och montera och för att de erbjuder bra styregenskaper. Dessvärre var det svårt att hitta mått och kompletta kit för dessa lager, därför togs beslutet att införskaffa styrlager från en Yamaha PW50 med lösa kuler.

Muttern som förspänner styrlagrena, både det övre och nedre hade gruppen efter snabb efterforskning tagit reda på skulle ha en metrisk gängstigning, en M26 som med lätthet hade kunnat gå att svarva i verkstaden. Till gruppens förvåning visade det sig att det fanns några tidiga årsmodeller som använde sig av en tungängad mutter, och det var just denna gruppen beställt och fått hem. Efter mätning med gängtolkar konstaterades att detta var en 1"24 TPI (threads per inch) gänga. Detta motsvarar cirka 1.056 mm stigning. För att svarva denna behövde kugghjulen på en av svarvarna bytas. Försök gjordes att svarva en metrisk 1 mm gängstigning för att se om det kunde fungera. Muttern gick då att skruva på några enstaka varv men det krävdes obekvämt högt moment för att skruva på den. Därför byttes kugghjulen och snart efter det gick det alldeles utmärkt att skruva på muttern.

Styrlagren presspassades med en passning på 1 hundradel per 10 millimeter. Lagren hade en ytterdiameter på 30 mm och pressades således ner i en svarvad lagerhållare med diametern 29.97 mm. Inuti lagerhållaren löper den tungängade axeln som ger en förspänning på styrlagren när muttern skruvas åt. Konstruktionen kan ses i figur 24.

Sist men inte minst vattenskrädes först den övre och nedre delen av styrkronan. Därefter AR-borrades hålen där gaffelbenen skulle löpa genom till tolerans. Sedan gängades och slitsfrästes ett klämförband på vardera sida som gaffelbenen löper genom. En illustrativ bild på den ihopmonterade styrkronan med framgaffeln kan ses i figur 25. Slutligen kan en mer eller mindre komplett bild av de ingående delarna av styrkronan ses i figur 26.



Figur 24: Kompletst styrkrona med en av två styrhållarna monterade.



Figur 25: Gaffelben monterad i styrkronan



Figur 26: Styrkronans delar, från vänster syns först den övre styrkronan, lagerhållaren med de ipressade lagerbanorna, den tunggängade axeln och styrhållare, en färdigbearbetad, en endast vattenskuren.

4.13 Slutresultat

Nedan presenteras slutresultatet i en serie bilder. Att observera är att elsystemet inte var färdigt vid tillfället bilderna togs och lösa kablar kan därför ses i bilderna.



Figur 27: Vy snett från sidan



Figur 28: Vy bakifrån



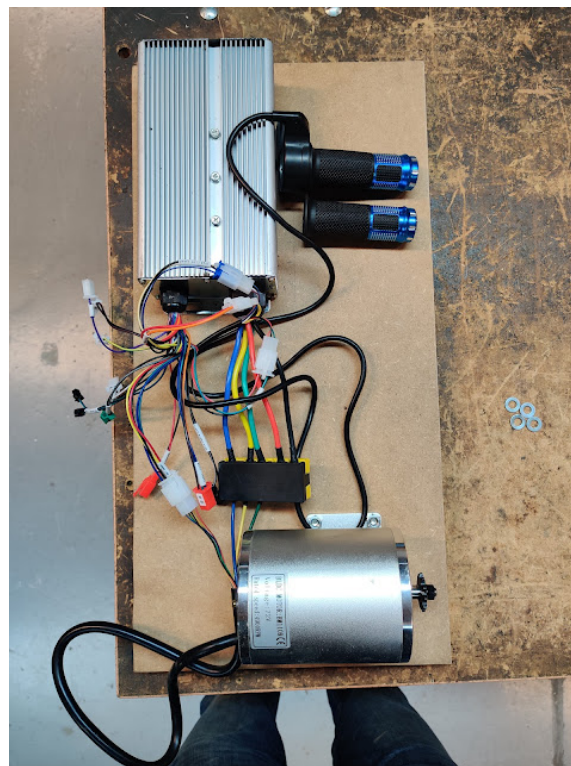
Figur 29: Sida samt körställning

4.14 Testning

I följande avsnitt presenteras testningen av motorcykeln där motorcykelns generella funktion till en början testades för att kalibrera och se till att samtliga delsystem och gränssnitt utgör sin funktion och samverkar med varandra på ett önskvärt sätt. Därefter gjordes en mer systematisk testningar där krav och önskemål från den tidigare kravspecifikationen verifierades för att se om de uppfylls.

4.14.1 Testning på komponentnivå

Delar och delsystem har testats på komponentnivå under byggandets gång för att verifiera funktion och kompatibilitet. Motorpaket har testats, både mot ett nätaggregat och med batteriet. Efter lite detektivarbete för att förstå alla in och utgångar till kontroller fungerade motorn som förväntat i testmiljön utan last. Hela bakre och mitten av motorcykeln har testmonterats med elektriska komponenter, hjul, kedja och sadel.



Figur 30: Test av elsystem

4.14.2 Testning av den färdiga motorcykeln

Resultaten från testningen baserad på kravspecifikationens krav och önskemål presenteras i sin helhet i appendix A.1. Kriterier där krav och önskemål testades var bland annat först och främst de

prioriterade från Tabell 2, vilka var 1. "prestanda", 4 "storlek", 5 "massa", 6 "ergonomi" samt 10 "kvalitet och tillförlitlighet".

Prestandatestet resulterade i en acceleration på 2.57 m/s^2 och en retardation på 1.85 m/s^2 . Räckvidden testades aldrig då det inte fanns tid och av säkerhetsskäl ingen tillräckligt riskfri vägslinga att testa detta på. Accelerationen möter önskemålet med råge, men retardationen kommer inte upp i kravsatta 3 m/s^2

Storleken på motorcykeln mättes till 1248 mm hjulbas, 600 mm säteshöjd, 580 mm styresbredd. Motorcykeln har kunnat transporteras inomhus utan problem vilket innebär att storlekskravet godkändes.

Massan har uppmätts till 39.4kg och uppfyller därmed precis kravet om en massa under 40kg, men inte riktigt önskemålet om en massa under 25kg.

Ergonomin har enligt samtliga av gruppens medlemmar bedömts som god, särskilt gentemot mindre motorcyklar. Medlemmarna har ett längdspann mellan 167cm och 191cm. Ledvinklar i anklar, knä och höfter är mer mot 90 grader än tidigare 60 grader, mjuk stor sadel, och axelbrett styre leder alla till ökar komfort. Däremot har motorcykelns storlek ökat en del från jämförelse produkterna. De längre medlemmarna hade problem med att styret slog i knäna något, på grund av att fotpinarna placerades något högre än tänkt för att ge tillräcklig markfrigång vid kurvtagning. Det var inte ett så stort problem att motorcykeln blev obehaglig eller obekväm att köra, dels tack vare möjligheten att justera sittpositionen på den relativt stora sadeln. Skillnaden i sittposition mellan den nya motorcykeln och motorcykeln från 2015 syns i Figur 31 & 32. (Notera: I Figur 32 är den nya motorcykeln inte färdig)



Figur 31: Körställningen på motorcykeln från 2015



Figur 32: Körställningen på den nya motorcykeln

Inom kriteriet "Kvalitet och tillförlitlighet" ingick kravet "robust och pålitlig" rent konstruktionsmässigt samt önskemålet "robust och enkel att ladda" vilket syftar till hanteringen av motorcykeln vad gäller laddning och allt därtill. "Robust och enkel att ladda" ansågs uppfyllt då endast

en sladd behöver anslutas till batteriets c13 port för att ladda samt att batteriet kan stå kvar i motorcykeln under laddning då uttaget för laddning är placerad på ett välåtkomligt ställe. Kravet "robust och pålitlig" valdes att inte testas genom ett välttest för att bibehålla motorcykelns ytfinish för framtida presentation. Robustheten betraktades ändå som godkänd utifrån en känsla av en styv och välbyggd konstruktion under provkörningen.

Kriterier relaterade till säkerheten vid användning av motorcykeln testades också. Det var kraven 7.1 "Inga vassa kanter", 7.2 "brandsäker" och 7.3 "elsäkerhet". 7.1 undersöktes genom att helt enkelt känna på samtliga kanter för att på så vis känna om någon känns för vass. Testet resulterade i ett godkänt resultat då samtliga kanter rundats av med en fil. 7.2 testades genom att provköra motorcykeln med en aggressiv körstil. Inför testerna fanns en oro att kabeln från batteriet var all ström kommer ifrån skulle vara för klen dimensionerad. Efter provkörningen märktes däremot inga tendenser på att kabeln skulle brinna av vilket resulterade i att kravet 7.2 ansågs godkänt. Kravet 7.3 testades genom att undersöka elsystemet i sin helhet. Montering av komponenter ansågs fungera och blev godkänt. Med en multimeter mättes även potentialskillnader mellan olika komponenter efter provkörning för att på så vis försäkra om att motorcykeln inte är strömförande och en potentiell fara att använda. Här upptäcktes ett problem med att kontrollerns kondensator inte laddade ur sig som tänkt om stoppknappen är intryckt. Om knappen inte lämnas på efter körning höll kontrollern kvar spänning en lång stund efter att strömkabeln kopplats ur vilket kan vara en säkerhetsrisk vid servicearbeten. Kravet betraktas trots detta som godkänt.

Kriteriet 11.1 "Totalkostnad" anses vara uppfyllt då gruppen totalt har spenderat 14900,07 kr. Kriteriet 12.1 "Tillverkningsanläggning" Motorcykeln var till stor del tillverkningsbar i prototyp-labbet och delar av elsystemet har byggts och testats i föreningen ETAs lokaler kravet anses därmed uppfyllt. Kriteriet 12.2 "tillverkningspotential" anses vara uppfyllt då konstruktionen utnyttjar standardkomponenter och anses vara enkel nog att återskapa. Kriteriet 17.1 "Slutanvändaren ska kunna plocka isär och lämna in delar för återvinning." Motorcykelns olika delar går förhållandevis enkelt att sära på inför återvinning då de i huvudsak är sammanfogade med skruvförband. Hur stor del som ska vara återvinningsbar specificerades aldrig. Motorcykelns vikt består till ca 3/4 av stål och aluminium vilka båda är enkelt återvinningsbara material. Resterande vikt kommer från elsystemet vilket består av en mängd olika material och kan vara mycket svårare att återvinna.

5 Diskussion

Diskussionen omfattar tankar kring den elektriska motorcykelns plats i samhället, en diskussion av vår slutgiltiga produkt, de etiska aspekterna som rör denna och slutligen tankar kring hur arbetet genomförts och förslag för framtida utvecklingar och projekt.

5.1 Omvärldsanalys

Fler elektriska fordon är en stark trend sedan flera år tillbaka med de vanligaste implementeringarna: elbilar, elcyklar och sparkcyklar men även senaste åren många elmopeder vid till exempel matlevaranser. Märken som Cake, Vässla och andra mindre företag syns ofta på gatorna. Just för kortare resor i stadsmiljö är elektriska tvåhjulingar väldigt bra anpassat. De har gott om vridmoment från start, slipper växla, stör inte omgivningen som en förbränningsmotor och utsätts inte för sina svagheter: långa distanser och höga hastigheter. Som resmedel för kortare turer kommer vi nog se fortsatt tillväxt i detta segment, även bland fullskaliga motorcyklar kommer det nog bli vanligare men kanske inte lika dominant, då motorcykeln här i Sverige ofta är ett hobbyfordon. Som ett hobbyfordon kan upplevelsen av ljudet och motorkarakteristiken med en förbränningsmotor vara en fördel.

5.2 Testning

Som nämndes i kapitel 4.2 Kravspecifikation, var det svårt att lyckas testa samtliga krav och önskemål i kravspecifikationen. Detta på grund av den korta period som fanns kvar för testning inom projektets begränsade tidsplan. För att fullständigt validera samtliga krav och önskemål hade en längre testperiod behövts eller mer påkostad teknik för att kunna utvärdera vissa krav. Det handlar främst om test såsom 2.1 "temperatur i användningsmiljö", 3.1 "livslängd" och 16.1 "service" som var krav och önskemål som kräver testning över längre perioder och under speciella väderförhållanden vilket inte ryms inom den period som erhöles för testningen. Dessutom testades inte 9.1 "vattentålig produkt" och 9.2 "korrosionsbeständig" på grund av säkerhetsskäl då elsystemet tyvärr i detta skede inte ansågs lämpligt att använda i fuktiga miljöer.

De krav och önskemål som prioriterades att testa var sådana som XP uttalat. Detta för att XP över huvud taget skulle kunna förvärva motorcykeln efter detta kandidatarbete. Detta betyder inte att XP som intressent prioriterats före Erik Hultén som representant för maskinsektionen utan beslutet är enbart av praktiska skäl vid överlämnandet av motorcykeln.

De tester som genomfördes gjordes med relativt enkla medel och en viss mätosäkerhet uppkommer därför, testerna genomfördes under ett antal försök och gruppen tror därför att resultaten är tillräckligt noggranna för att avgöra om lösningen möter kraven eller ej. Mätningarna av prestandan har en viss osäkerhet då hastigheten mättes med gps och tiden togs av ett manuellt aktiverat stoppur. Ergonomin bedömdes väldigt primitivt genom att dels subjektivt bedöma bättre/sämre gentemot existerande minimotos och observera om ledvinklar var större/mindre. En utveckling vore att ha ett numeriskt värde för att jämföra, ex genom att använda PULA-metoden. Storleken fick bara vara så stor att den var lätt att hantera inomhus. Det enklaste sättet att mätbart kontrollera detta var att säkerställa att den gick igenom en vanlig dörr. Vid testning har motorcykeln kunnat transporteras genom korridorerna i maskinhusets källare utan problem.

5.3 Den slutliga motorcykeln

När detta stycke skrivs är motorcykeln fortfarande under utveckling. Ramkonstruktion och drivlina bedöms vara mer eller mindre färdigställda medan el-systemet uppgraderas med bättre isolering kring anslutningar och kabelskydd monteras för ökad säkerhet.

Hittills har motorcykeln provkörts under totalt cirka 20 minuter under hård belastning med många accelerationer för att främst testa el-systemets integritet. Fler och betydligt längre tester är planerade efter att kablarna isolerats och spänts fast, huvudsäkringar och strömbrytare är monterade och det resterande el-systemet är på plats. I detta avsnitt kommer de ingående systemen av motorcykeln diskuteras mer ingående.

Testningarna överträffade gruppens förväntningar inom flera områden. Samtliga mekaniska och elektriska system är fullt fungerande och trots den begränsade testning som genomförts bedöms motorcykeln ha stor potential att kunna användas av XP under event som exempelvis cortègen. Köregenskaper, prestandan och ergonomin upplevdes alla som goda.

5.3.1 Chassi

Chassit ska enligt simuleringar utan problem hålla för vikten av en förare och under testningen har inte några problem relaterat till chassits hållfasthet noterats. Motorcykeln blev något tyngre än vad som hade förhoppats och denna vikt kommer till stor del från chassit. Extra vikt har delvis tillkommit då infästningar av vissa komponenter har lösts på plats och extra detaljer då behövts tilläggas. Vidare var lastfallet inte helt säkert strukturella delar har därför möjligen överdimensionerats något för att säkerställa tillräcklig hållfasthet.

Förarens position, hjulbasen och framgaffelns vinkel anses vara lyckade då motorcykeln upplevs väldigt stabil och lättmanövrerad i såväl höga som låga hastigheter. Som tidigare nämnt i testningsavsnittet så är avståndet mellan förarens knän och styret lite för litet för längre förare efter att fotpinnarnas position ändrats. Vid stora styrutslag måste därför föraren anpassa sin körställning något. Detta kan enkelt lösas genom att ändra infästningen av styret eller byta till ett styre med större höjdskillnad mellan infästning och handtag. Eftersom problemets inverkan på körupplevelsen har bedömts vara förhållandevis liten har detta för tillfället utelämnats.

5.3.2 Hastighet och bromsar

Motorcykeln ska enligt beräkningarna ha en toppfart över 50km/h F detta har i skrivande stund inte kunnat verifieras eftersom en tillräckligt säker provkörningsplats inte varit tillgänglig. Den högsta hastigheten som uppmättes under testning av bromsar och acceleration var 37km/h. Bromsarna uppmätte inte det specificerade kravet, vilket i kombination med den ryckiga gasen och en acceleration som var högre än förväntat gör säkerheten sämre än vad som var tidigare specificerats som önskemål. Det kan finnas flera anledningar till varför bromsens resultat inte uppfyllde det satta önskemålet. Bromsarna är först och främst inte inkörda ännu, detta eftersom hela frambromsen tillverkades samma dag som testningen utfördes. När bromskomponenterna är helt nya, mer specifikt bromsskivan och bromsbelägg som finns inuti bromsoket, är anliggningsytorna inte jämna. Det betyder mer konkret att hela bromsbelägg inte används för att bromsa ner fordonet eftersom belägg måste slitas in efter bromsskivan. Mindre bromsbelägg i kontakt med skivan sprider ut den

bromsande kraften från bromshandtaget över en mindre area, därmed utnyttjas inte full bromspotential. Bromskapaciteten förväntas därför öka i takt med att motorcykeln används och slits in. En annan aspekt som bör belysas är att den använda bromsen använder en vajer och inte hydraulik för att initiera bromsningen. Vajerbromsar kan inte generera i närheten av så mycket bromskraft jämfört med hydrauliska bromssystem som används på de allra flesta typer av fordon idag. Anledningen till varför just denna typ av bromsok användes var för tillgänglighetens skull. Den hade tillhandahållits tidigt i projektet av verkstadspersonalen.

5.3.3 Elsystem

I projektet köptes motor och motor-kontroller in färdiga som standardkomponenter. Alternativen på marknaden var begränsade av rimliga leveranstider för projektet vilket ledde till att en motor och motor-kontroller av något lägre kvalitet än vad som önskats valdes. Motorpaketet har ett flertal funktioner, men halkar efter i verkningsgrad, vridmoment och varvtal. Gällande prestandatestet observerades en ojämn motorgång vid hög belastning och låg fart och övergång från stängd till öppen gas. Exakt vad detta beror på är inte klarlagt. Samtidigt är det viktigt att poängtera att karaktären av en elmotor är mer ryckig än den av en förbränningsmotor. Gasrullen för motorn som troligen använder en potentiometer för att reglera effekten till motorn är också mycket kort vilket kan vara en av källorna till den ryckiga gasen.

Kablage kan vara underdimensionerat för att nyttja full effekt under lång tid, men under testning har kablarna inte uppvisat någon temperaturhöjning. företaget som sålde batteriet och kabel menar på att det är de kablarna de använder på sina elmopeder med liknande effekt.

Det var ett önskemål att den skulle kunna köras i olika väderförhållanden. Elsystemet bedöms inte vara tillräckligt välskyddat för att motorcykeln ska kunna användas riskfritt i väta. Placeringen av de flesta komponenter är under sitsen, var de förhoppningsvis inte är utsatta för stänk från hjulen och ovanifrån, däremot är kopplingar inte tillräckligt välkapslade för att hålla fukten ute om de skulle utsättas för det.

För att öka säkerheten vid oerfarna förare tillåter styrenheten begränsning av prestandan i tre nivåer, tyvärr begränsas enbart toppfarten, accelerationen är oberörd av de olika lägena. Det lägsta läget har även överdrivet hög prestanda om motorcykeln provkörs av någon oerfaren exempelvis vid ett evenemang. Därtill är det väldigt enkelt att ändra läge av misstag. Det hade därför varit fördelaktigt att ändra dessa lägen och hur skifte mellan dem sker. Detta hade kunnat göras genom att modulera styrsignalen från gasreglaget genom arduinon som finns installerad och placera en brytare på ett mer dolt/skyddat ställe. Detta hann dock inte tillämpas då bristen upptäcktes först vid prestandatestningen.

Det är säkringar både i kontrollern och batteriet men för att ytterligare förbättra säkerheten hade det varit önskvärt med ytterligare en säkring, som är planerad att implementeras innan överlämnande. En stor huvudbrytare med dödmansgrepp för att undvika att motorcykeln fortsätter accelerera vid eventuellt fel eller om föraren skulle trilla av hade också varit önskvärt, men kommer inte att hinna implementeras.

På grund av rådande tidsbrist, av flera anledningar, har några av styrenhetens funktioner pri-

oriterats bort. För tillfället har gasreglagefunktionen och klock-funktionen inte implementerats. Dessa funktioner var mer ett önskemål än ett krav och prioriterades därför bort.

5.4 Etik

I alla produktutvecklingsprojekt kommer många svåra beslut behöva tas. Det handlar bland annat om beslut som påverkar samhälleliga, etiska och ekologiska aspekter. I detta stycke belyser, diskuterar och motiverar gruppen kort vilka aspekter som riskerar att uppkomma.

Elektrifiering används som en strategi för att nå hållbarhetsmål, men elfordon är inte fria från ekologiska och etiska problem. Beroende på hur elen är framställd kan det vara mer eller mindre hållbart att köra. Driften är bara så ren som elproduktionen. Metallerna litium och kobolt som används i litiumbatterier bryts ofta i gruvor med bristande arbetsförhållanden i länder som Kongo, Kina eller Chile. [26] [27]

Eftersom detta projekt utnyttjar antropometri kan även de etiska aspekterna av måttsättning av produkten diskuteras. Produkten måttsätts efter den tänkta kundgruppen, men med en bred kundgrupp finns det svårigheter i att anpassa måtten för alla. Man kan exempelvis måttsätta efter större män efter som de i genomsnitt är större och tyngre med tanken att om det fungerar för övre spannet bör det fungera för alla under det. Detta kan dock leda till att det inte passar bra till kvinnor som i regel är mindre. Även om de får plats, så blir det inte bra position. Proportioner mellan olika kroppsdelar kan också variera mellan könen som ytterligare kan försvåra användning. Ett känt exempel är hur man använde små manliga krocktestdockor för att representera kvinnor vid bil-krocktester men på grund av att kvinnor har andra proportioner skadades de oftare vid olyckor eftersom säkerheten var designad efter mindre manliga dockor. [28] Därför har vi funderat på hur måtten vi väljer kan passa såväl kvinnor som män. Men eftersom motorcykeln görs i ett litet format är det framförallt passform för de största personerna som varit begränsande.

5.5 Erfarenheter

En liten motorcykel har fler delar och gränssnitt än vad man skulle kunna tänka sig. För att kunna på ett välstrukturerat sätt behandla dessa så bör alla delar som kan tänkas finnas på en motorcykel listas och fördela ansvar för vissa delar eller delsystem. Fundera på vad som ska köpas och vad som ska tillverkas. Vad har längst beställning eller tillverkningstid samt vilka delar som är beroende av mått från andra delar och börja därifrån.

En stor del av utmaningen i detta projekt var att få alla gränssnitt att fungera. För att få en uppskattning av hur dessa samspelar kan det vara hjälpsamt att skissa eller bygga prototyper tidigt. Detta var något som gruppen hade som målsättning att göra, men inte blev av. Detta eftersom gruppen var osäkra på vad som kunde göras före konceptvalet.

Köp så mycket som möjligt, vi var rädda att det skulle bli för simpelt att köpa färdiga delar och bara sätta ihop dem. Men det blir tillräckligt mycket jobb att få saker att passa och fungera med varandra. Risken är att man försöker bygga för många komplexa delar och hinner därför inte bygga klart.

Tvårt emot rådet vi fick om att köpa med fakturor vore det bättre att köpa delar kontant och ligga ute med pengar istället för att vänta för att få information och sedan krångla med att försöka få företagsfakturor.

Ett problem med att bedöma ergonomin på en fysisk prototyp är att motorcykeln behöver vara färdigställd nog att kunna sitta på. Att göra en väldigt grov prototyp för att testa vore en möjlighet, men den behöver vara välbyggd nog för att sitta på. För att kunna testa detta i ett tidigare stadium hade det varit intressant att utnyttja digitala verktyg som exempelvis CATIA:S Ergonomics Design & analysis.

Det kan ha varit fördelaktigt att införskaffa lite dyrare produkter med mer fullständig information som datablad och mått, även om det skulle innebära att man inte fullt uppnår kravspecifikation samt att det blir dyrare produkter. Detta för att öka chanserna att man får saker i tid, att mått stämmer och slipper gissa hur elektroniken är uppbyggd. Något vi tar med oss är att beställningen sällan går som man har tänkt sig och att det är viktigt att börja med den så tidigt som möjligt.

5.6 Förslag för utveckling av kandidatarbete

I detta stycke presenteras de förslag på utvecklingsområden för projektet, antingen områden som kan belysas mer, komponenter som kan utvecklas mer/bytas ut eller nya områden som uppkommit och som inte har hunnit utvärderas.

5.6.1 Utveckling av komponenter

Möjligheten till utveckling av en motorcykel och dess delsystem kommer troligen att fortsätta i all evighet. Det vill säga att den perfekta motorcykeln kommer sannolikt aldrig att uppnås. I detta avsnittet beskrivs några av de komponenter detta projekt kan vidareutvecklas inom.

Bromsar

Bromsarna som användes på motorcykeln är av vajertyp med ett litet bromsok och en bromsskiva på 120 mm. Så att börja kan och borde troligen hydrauliska bromsar användas i framtiden såväl fram som bak. Motorcykeln som väger 40 kg + med en person på 70 kg väger totalt 110 kg, en vikt som borde betraktas som tillräckligt hög för att motivera användandet av kraftigare och rejälare bromsar. Samtidigt finns risken att låsa frambromsen vid användandet av en för kraftig frambroms, därför borde kanske en kraftigare bakbroms än frambroms användas. Detta är särskilt viktigt om man ska låta oerfarna personer provköra motorcykeln.

Motorstyning

Motorgången är för tillfället något ojämn vid låga gaspådrag och därtill är gasreglaget inte särskilt förlåtande då det krävs en väldigt liten rörelse att gå mellan inget till ganska mycket gaspådrag. Det kan eventuellt gå att åtgärda detta genom att skala om signalerna från gasrullen via Arduinon innan de skickas till kontrollern.

5.6.2 Utveckling av projektet som helhet

Det svåra med ett så pass öppet projekt som detta, med egentligen bara tid som den begränsande faktorn, handlar egentligen inte om att designa och bygga en hel motorcykel från grunden och uppåt,

det handlar om att kunna avstå från att vidareutveckla delarna för långt. Alla små delsystem, exempelvis framgaffeln går att utveckla hur långt som helst, och i det här fallet underskattades tiden det faktiskt tog att bearbeta alla ingående delar. Det handlade om allt från lagersäten som skulle matcha styrlagren, styrkronans klämförband som skulle passa runt gaffelbenen mm. Det slutade med att många många extra timmar fick läggas sent in på natten i verkstaden för att ens kunna testa om motorcykeln skulle kunna röra sig framåt. Därför är ett av förslagen att man kan dela in ett tungt konstruktionsprojekt som detta i två team. En grupp ansvarar för att bygga och optimera den elektriska kretsen med drivlina, elmotor och elsystem, medan den andra gruppen fokuserar helt på att ta fram en optimal ramkonstruktion och exempelvis FEM testa fler delar och utforska fler tillverkningsmetoder än de traditionella såsom svetsning och vattenskärning av plåt som till exempel gjutning och metall-3d-printning.

Samtidigt har det faktum att 6 personer behövt konstruera och bygga en hel motorcykel från grunden med elsystem varit otroligt roligt och givande. Vissa i gruppen har tyckt att det varit mycket trevligt att stå 12h i fräsen på en dag och bearbeta de framtagna specialdelarna. Problemet med att ha 6 personer i en chassigrupp och 6 personer i en elgrupp som förslaget ovan är att ledtiderna blir längre än om färre personer är inblandade. Man riskerar att gå miste om goda idéer om färre personer är inblandade men eftersom projektet endast löper över 16 veckor är tidspressen alltid närvarande. Ett krav om det delade projektet med 2 grupper ska genomföras är att detta står tydligt i beskrivningen av kandidatarbetet. Anledningen till varför det inte blev uppdelat för oss var för att gruppen hade ställt in sig på att bygga en hel motorcykel eftersom det stod i beskrivningen av kandidatarbetet. Därför var vår grupp inte villig att dela upp sig och utelämna konstruktionen av flera spännande delar (antingen allt med el-systemet eller hela ramen). Med det sagt, detta koncept borde testas i framtiden, varför inte redan nästa år?

Att sätta tydligare ramar och önskemål kring vad som förväntas åstadkommas under projektet kan ge en rakare väg från start. Det kan finnas vissa redan centrala produkter att bygga runt så att det inte precis alla komponenter måste väljas helt fritt.

Alternativt kan man som föreslagits i början på projektet dela upp det i två separata och parallella projekt där till exempel den ena ansvarar för chassi och andra för elsystem för att specialisera gruppen och låta båda ta sin del ett steg längre. Förslag på andra problemställningar inom området förutom det enkla men effektiva: bygg ett fordon, skulle kunna vara exempelvis bygga ett chassi optimerat för gokartbana, optimering av drivlina i form av verkningsgrad, och/eller acceleration och/eller kostnad. Ett annat förslag skulle kunna vara reducera vindmotstånd för höga hastigheter.

6 Slutsats

Efter att ha genomfört en produktutvecklingsmetodik som till stor del följer Värde modellen, har ett koncept för en elektrisk minimomotorcykel tagits fram, konstruerats och sedan förverkligats i Chalmers prototypplabb och ETA:s verkstad. Projektets huvudsakliga mål var att utveckla, konstruera och bygga en körbar elektrisk motorcykel som ska användas för att skapa ett intresse för Chalmers verksamhet. I rapportens inledning delades detta in i ett antal delmål som bemöts nedan.

Gruppen har undersökt hur en elektrisk minimomotorcykel kan användas för att skapa intresse för Chalmers verksamhet. Det kan göras bland annat genom verkstadsföreningen XP som med sina lösningsnummer syns på flera evenemang och skapar intresse för fordon och verkstaden. Ett elektrifierat lösningsnummer kan även stå som exempel för engagemang inom elektrifiering och hållbarhet.

Ett chassi har konstruerats med beaktande för tillräcklig hållfasthet, låg vikt och tillverkningsbarhet.

En drivlina med korrekt dimensionering av framförallt motor och batteri för önskad prestanda till det tänkta användningsområdet har konstruerats.

Målsättningen var att den ska gå att tillverkas av gruppens medlemmar i Chalmers verkstadslokaler. Detta har lyckats då den nu har tillverkats i prototypplabbet av gruppens medlemmar med hjälp från verkstadspersonalen och elsystemet har delvis tillverkats i föreningen ETA:s lokaler.

Alla av delproblemen för projektet har lösts. Sett till projektets huvudsakliga mål att utveckla, konstruera och bygga en körbar elektrisk motorcykel har det målet även uppfyllt. Motorcykeln visar på hur en motorcykel skulle se ut om civilingenjörsstuderande på sitt tredje år fick designa en motorcykel. Alla tester har tyvärr inte kunnat genomföras. Däremot har motorcykeln potential att uppfylla flera av de krav som ännu inte testats. Av de tester som har genomförts håller motorcykeln tyvärr inte upp till alla krav som ställts, bromsförmågan var sämre än vad som hade specificerats. Trots detta är förhoppningen att motorcykeln har högt demonstrationsvärde och kan verka som ett körbart utställningsobjekt.

Referenser

- [1] *Globala målen för hållbar utveckling*. 2021 citerad 3 feb 2022. URL: <https://fn.se/globala-malen-for-hallbar-utveckling/>.
- [2] *Elektrisk minimomotorcykel*. 2015 citerad 3 feb 2022. URL: <https://hdl.handle.net/20.500.12380/218725>.
- [3] *motorcykel*. citerad maj 2022. URL: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/motorcykel>.
- [4] *Motorcykeln*. citerad maj 2022. URL: <https://www.tekniskamuseet.se/lar-dig-mer/100-innovationer/motorcykeln/>.
- [5] *minimoto*. citerad maj 2022. URL: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/minimoto>.
- [6] Ogden Bolton. "ELECTRICAL BICYCLE." US552271A. 1895. URL: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/002621012/publication/US552271A?q=US552271A>.
- [7] *fordon 2021-220303*. citerad 3 maj 2022. URL: <https://www.trafa.se/vagtrafik/fordon/>.
- [8] SIGBI SYSTEM AB. *Asynkronmotorn – den idealiska industrimotorn*. Hämtad den 10 maj 2022. URL: <https://sigbi.se/teknik/handbok-drivsystem/val-av-motor/asynkronmotor/>.
- [9] Renesas Electronics Corporation. *What are brushless DC motors?* Hämtad den 10 maj 2022. URL: <https://www.renesas.com/us/en/support/engineer-school/brushless-dc-motor-01-overview>.
- [10] Kiran Daware. *Universal Motor - Construction, Working And Characteristics*. Hämtad den 10 maj 2022. URL: <https://www.electricaleasy.com/2014/02/universal-motor-construction-working.html>.
- [11] *Magnetic field of a solenoid*. 2022 citerad 3 mars 2022. URL: <https://web.ua.es/docivis/magnet/solenoid.html#:~:text=In%20physics%2C%20the%20term%20solenoid,can%20be%20used%20as%20electromagnets..>
- [12] *Brushless DC electric motor*. 2022 citerad 3 mars 2022. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Brushless_DC_electric_motor.
- [13] *Batteries for Hybrid and Plug-In Electric Vehicles*. citerad 22 mars 2022. URL: https://afdc.energy.gov/vehicles/electric_batteries.html.
- [14] "Design and Simulation of Lithium-Ion Battery for Electric Vehicle". I: 2021 12th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies (ICCCNT), 6-8 juli 2021. DOI: 10.1109/ICCCNT51525.2021.9580169. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9580169>.
- [15] *Li-ion Voltage Analysis*. citerad 8 april 2022. URL: <https://siliconlightworks.com/li-ion-voltage>.
- [16] Lennart Hågeryd, Stefan Björklund och Matz Lenner. *Modern produktionsteknik*. Liber, 2018. ISBN: 9789147113439. URL: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat07470a&AN=clc.ef0de780.c97f.495c.9e2b.d0edc140ebbb&site=eds-live&scope=site&authtype=guest&custid=s3911979&groupid=main&profile=eds>.

- [17] *TIG (Tungsten Inert Gas) svetsning*. citerad 3 maj 2022. URL: <https://www.esab.se/se/se/education/blog/tig-svetsning.cfm>.
- [18] Serope Kalpakjian och Steven R. Schmid. *Manufacturing processes for engineering materials*. Pearson Education, 2008. ISBN: 0132272717. URL: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat07470a&AN=clc.63a38102.e76f.49d4.abd6.bfe5efadc354&site=eds-live&scope=site&authtype=guest&custid=s3911979&groupid=main&profile=eds>.
- [19] M. F. Ashby, Hugh Shercliff och David Cebon. *Materials : engineering, science, processing and design*. Butterworth-Heinemann, 2019. ISBN: 9780081023761. URL: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat07470a&AN=clc.631ed703.9782.44ea.a1ae.e3aefc20a8ee&site=eds-live&scope=site&authtype=guest&custid=s3911979&groupid=main&profile=eds>.
- [20] Mart Mägi, Kjell Melkersson och Magnus Evertsson. *Maskinelement*. Studentlitteratur, 2017. ISBN: 9789144109053. URL: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat07470a&AN=clc.11f62b30.4070.4462.ad68.5f3b8c33af0d&site=eds-live&scope=site&authtype=guest&custid=s3911979&groupid=main&profile=eds>.
- [21] Per Lindstedt. *The Value Model*. 2003. URL: <https://valuemodel.com/>.
- [22] *Table of performance indices*. citerad 10 maj 2022. URL: https://support.grantadesign.com/resources/grantaedupack/2021R2/learn/topic.htm#t=html%2Fref_indices%2Findices_edulander.htm.
- [23] *Antropometri-räknare*. citerad 8 april 2022. URL: <https://antropometri.se/calc.php>.
- [24] Autodesk. *About shape generator*. Hämtad den 5 maj 2022. URL: <https://knowledge.autodesk.com/support/inventor/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2021/ENU/Inventor-Help/files/GUID-D74F47F3-FE22-44EF-85BE-7C6B1F56DCF9-htm.html>.
- [25] Arbetsmiljöverket. *Belastningsergonomi*. Stockholm, 2017. URL: <https://www.av.se/arbetsmiljoarbete-och-inspektioner/publikationer/foreskrifter/belastningsergonomi-afs-20122-foreskrifter/>.
- [26] U.S. Geological Survey. *Mineral Commodity Summaries 2022 - Lithium*. 2022. URL: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022-lithium.pdf>.
- [27] Amnesty. *Exposed: Child labour behind smart phone and electric car batteries*. 2016. URL: <https://www.amnesty.org/en/latest/news/2016/01/child-labour-behind-smart-phone-and-electric-car-batteries/>.
- [28] Anna Carlsson m.fl. "Design and Evaluation of the Initial 50th Percentile Female Prototype Rear Impact Dummy, BioRID P50F – Indications for the Need of an Additional Dummy Size". I: *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology* 9 (2021). ISSN: 2296-4185. DOI: 10.3389/fbioe.2021.687058. URL: <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fbioe.2021.687058>.

A Appendix: Kravspecifikation

Kravspecifikation		Projekt: Elektrisk minimotorcykel		Chalmers tekniska högskola		
Utfärdare: IMSX15-22-82				Skapad: 2022-02-22		
				Modifierad: 2022-05-17 (Slutgiltigt reviderad)		
Kriterier	Målvärde	K/Ö	Vikt	Verifieringsmetod	Referens (kravställare)	
1. Prestanda						
1.1 Hastighet	50 km/h	Ö	2	GPS-test	XP	
1.2 Acceleration	1 m/s ²	Ö	2	g-kraft	XP	
1.3 Räckvidd	3 mil	Ö	3	Testkörning	XP	
1.4 Bromsar	3 m/s ²	K		g-kraft	Kund	
2. Miljö (omgivande)						
2.1 Temp. i användningsmiljö	0 till +30 °C	K		Test olika årstider	XP	
2.2 Ska kunna användas runt Chalmers (stadsmiljö)		K		Test på plats	XP	
3. Livslängd						
3.1 Lång livslängd	5 + år	Ö	2	Omfattande testkörningar	XP	
4. Storlek						
4.1 Storlekskrav	Ska kunna gå igenom en 0.8x2m dörr	K		Mäta	XP	
5. Massa						
5.1 Vikt	Max 40 kg	K		Väga	XP	
5.2 Vikt	Max 25 kg	Ö	2	Väga	XP	
6. Ergonomi						
6.1 Min. längdkrav 180 cm, någorlunda bekväm ställning		Ö	3	Test med person	XP	
6.2 Lätt att transportera	Handtag lämpligt placerade fram och	Ö	2	Rulltest, bärtest	XP	
7. Säkerhet						
7.1 Inga vassa kanter	Minsta radie=0.5mm på alla kanter och hörn	K		Radiemått	XP, Chalmers	
7.2 Brandsäker	Det ska inte föreläggas någon risk för brand	K		Slutbesiktning av elsystem	XP, Chalmers	
7.3 Elsäkerhet	Ska inte föreligga någon risk för elrelaterade personskador	K		Mäta med multimeter på det isolerade elsystemet	XP, Chalmers	
8. Estetik och ytfinish						
8.1 Attraktivt utseende		Ö	2	Opinionsundersökning	Chalmers	
8.2 Slagtålig finish		Ö	2			
9. Material						
9.1 Vattentät produkt		Ö	1	Test i regn	XP	
9.2 Korrosionsbeständig		Ö	1	Test i fuktig miljö	Chalmers	
10. Kvalitet och tillförlitlighet						
10.1 Robust och pålitlig	Ska vidbehålla funktion efter mindre krasch/vältning	K		Vält från stillastående	XP	
10.2 Robust och enkel att ladda	Ska gå att ladda utan att ta ut batteriet och genom att endast ansluta en sladd	Ö	3	Låta en utomstående ansluta laddaren och avgöra enkelheten	XP	
11. Totalkostnad						
11.1 Kostnadsönskemål	15 000kr	Ö	2	Summering av inköpskostnader	XP	
12. Tillverkning						
12.1 Tillverkningsbar i verkstadslokaler på Chalmers		K		Planering, övervägning	Design	
12.2 Tillverkningspotential	Använda standardiserade komponenter	Ö	3	Konsultation verkstadspersonal Chalmers	Chalmers, XP	
15. Drift						
15.1 Utbytbarhet	Delar ska vara utbytbara	K			XP	
16. Underhåll						
16.1 Service	Få och långa serviceintervaller	Ö	2	Uppskattnings av serviceintervall	XP	
17. Återvinning						
17.1 Återvinningsbar	Slutanvändaren ska kunna plocka isär och lämna in delar för återvinning.	K		Säkerställa att det går att särskilja de olika materialen.	Chalmers	

A.1 Kravuppfyllnad

Kravuppfyllnad		Projekt: Elektrisk minimotorcykel		
	Kriterier	Målvärde	Värde	Kravuppfyllnad
1.	Prestanda			
1.1	Hastighet	50 km/h	-	-
1.2	Acceleration	1 m/s ²	2.57 m/s ²	Ja
1.3	Räckvidd	3 mil	-	-
1.4	Bromsar	3 m/s ²	1.85 m/s ²	Nej
2.	Miljö (omgivande)			
2.1	Temp. i användningsmiljö	0 till +30 °C	-	-
2.2	Ska kunna användas runtom Chalmers (stadsmiljö)		-	Ja
3.	Livslängd			
3.1	Lång livslängd	5 + år	-	-
4.	Storlek			
4.1	Storlekskrav	Ska kunna gå igenom en 0.8x2m dörr	-	Ja
5.	Massa			
5.1	Vikt	Max 40 kg	39,4kg	Ja
5.2	Vikt	Max 25 kg	39,4kg	Nej
6.	Ergonomi			
6.1	Min. längdkrav 180 cm, någorlunda bekväm ställning		-	Ja
6.2	Lätt att transportera	Handtag lämpligt placerade fram och bak	-	Ja
7.	Säkerhet			
7.1	Inga vassa kanter	Minsta radie=0.5mm på alla kanter och hörn	-	Ja
7.2	Brandsäker	Det ska inte förelägga någon risk för brand	-	Nej
8.	Estetik och ytfinish			
8.1	Attraktivt utseende		6/6	Ja
8.2	Slagtålig finish		-	Ja
9.	Material			
9.1	Vattentålig produkt			
9.2	Korrosionsbeständig			
10.	Kvalitet och tillförlitlighet			
10.1	Robust och pålitlig	Ska vidbehålla funktion efter mindre krasch/vältning	-	-
10.2	Robust och enkel att ladda	Ska gå att ladda utan att ta ut batteriet och genom att endast ansluta en sladd	-	Ja
11.	Totalkostnad			
11.1	Kostnadsönskemål	15 000kr	14900kr	Ja
12.	Tillverkningsanläggning			
12.1	Verkstadslokaler på Chalmers		-	Ja
12.2	Tillverkningspotential	Använda standardiserade komponenter	-	Ja
15.	Drift			
15.1	Utbytbarhet	Delar ska vara utbytbara	-	Ja
16.	Underhåll			
16.1	Service	Få och långa serviceintervaller	-	-
17.	Återvinning			
17.1	Återvinningsbar	Slutanvändaren ska kunna plocka isär och lämna in delar för återvinning.		Ja

B Appendix: Idégenerering

Delfunktion 1: Huvudram		
Lösning	Beskrivning	För- och nackdelar
1.1 Cradle ram	Ensam övre och undre rör	+ Sempel konstruktion + Stark - Kräver svetsning
1.2 Cykelram	Två balkar och drivlina placeras mellan	+ Simple konstruktion + Stark + Kräver svetsning - Svag
1.3 Lådra	Låda som binder samman svingen och styrkronan. Innuti lådan kan drivlinan placeras	+ Enkel + Stark + Bra skydd - Ful
1.4 Trellis ram	Korta ihopsvetsade rör av trianglar. Motorn används som del i upphängningen.	+ Styv och stark + Snygg + Lättare än cradle - Många svetsfogar - Komplicerad
1.5 Backbone	Större diameter på rören. Fungerar som ryggrad i konstruktionen vilket gör att ramen lätt kan täckas över.	+ Stark + Kan gömma ram - Tung

Delfunktion 2: Hjulupphängning bak		
Lösning	Beskrivning	För- och nackdelar
2.1 Motorintegrerad sving	Motorn placeras i svingen/ramen och utgör en bärande del i konstruktionen.	+ Konstant förspänning vid användning av ex kedja + Kräver mindre sving/rammaterial då motorn används som bärande del + Nära placering av motorn till bakhjul => kortare kedja + Bättre prestanda - Mottaglig för smuts

		från däck utan skydd
2.2 Enkelsidig sving	Bakhjulet förbinds med ramen med en arm på ena sidan	Lättare hjulbyte/service. Svingen måste motstå vridning -> tyngre coolare
2.3 Dubbelsidig sving	Bakhjulet förbinds med ramen med en arm på vardera sida.	Svingen måste inte motstå lika mycket vridning i sidled -> lättare.

Delfunktion 3: Hjulupphängning fram

Lösning	Beskrivning	För- och nackdelar
3.1 Sving och navstyrning	Svingarm binder samman hjulet med ramen, hjulet är ledat i navet.	+ Inbromsning påverkar inte - Begränsad styrvinkel - Komplex - Inte robust
3.2 Teleskopisk oljedämpad framgaffel	Traditionell mc-dämpning med olja och fjädrar i två separata gaffelben fästa i en styrkrona.	+ Beprövad + Bekväm + Estetisk - Kan börja läcka - Krävs mycket inställning och testning - Svårare att tillverka - Dyr att köpa
3.3 Fjädrande icke teleskopisk "girder"	Fjädrat och dämpad länkage mellan ramen och en fast gaffel.	jmf med teleskopisk
3.4 Fjädrade Hossack	Fjädrat och dämpad länkage mellan ramen och en fast gaffel.	+ Inbromsning påverkar inte + Mindre vikt jmf med teleskop - Komplex - Måste byggas i stort sätt själva

3.5 Fast Gaffel	Ingen dämpning, styvt monterade rör som gaffelben.	+ Billig + Enklare att tillverka + Beprövat + Robust - Större lagerbelastning - Mindre bekväm
3.6 Fast, navstyrning	Hjulet ledat i navet.	- Begränsad styrvinkel - Komplex - Måste konstrueras själva
3.7 Framåtriktad länk	Gaffel med framåtriktad länk	+ Inbromsning påverkar inte + Lättare än teleskop - Måste byggas själva - Kan anses ful
3.8 Radd Upphängning	Länkarmar binder samman hjulet med ramen.	+ Inbromsning påverkar inte - Komplex - Måste byggas i stort sett själva

Delfunktion 4: Hjul

Lösning	Beskrivning	För- och nackdelar
4.1 Ekrade hjul	Fälgbanan styvs upp av många smala ekrar.	+ Liten vikt + Beprövat + Relativt billig - Måste köpas in - Ekrar behöver efterspännas med jämna mellanrum - Tål mycket höga belastningar - Gammal design
4.2 Gjuten fälg	Fälgbanan är gjuten till en solid.	+ Beprövat + Låg vikt + Stark + Billigare än ekerhjul + Styvare än ekerhjul + Bättre köregenskaper + Möjliggör anv. av slanglösa däck

		- Måste köpas in - Kan spricka vid för höga belastningar
4.3 Smidd fälg	Fälgen är gjord av en stor sold bit material som bearbetas.	+ Starkare än gjutna + Mindre risk för materialdefekter ex. porer + Mekaniskt starkare - Mycket dyra
4.4 Luftfyllt däck		
4.5 Solit däck		

Delfunktion 5: Säte

Lösning	Beskrivning	För- och nackdelar
5.1 Fast sittposition	Att den ska placeras på en bestämd position	+ Enkelt + Stabil + Liten vikt + Billig + Mindre vikt
5.2 Justerbar sittposition	fram/bak justering höjdjustering	+ Spännande + Fler kan sitta bekväm - Komplex - Svårare att tillverka
5.3 Mjukt säte	Mjukt säte som formar sig efter röva	+ Skönare att sitta på - Slits fortare - Svårare att hålla rent

Delfunktion 6: Styre

Lösning	Beskrivning	För- och nackdelar
6.1 Justerbar styrhöjd mha roterbara distanser.	Distans som medger rotation i nedre fästet placeras mellan styret och styrkronan	+ Kompatibelt med färdiga styren och styrkronor. + Steglös inställning - Höjdinställningen påverkar avståndet

6.2 Justerbar styrvinkel mha skruvar	Styrets vinkel kan regleras med skruvar	+ Steglös inställning - Ställer enbart in vinkeln
6.3 Justerbar styrhöjd med arm	Fungerar likt 5.5 men med annan infästning för en annan typ av styrkrona.	+ Steglös inställning - Höjdinställningen påverkar avståndet

Delfunktion 7: Fotpinnar

Lösning	Beskrivning	För- och nackdelar
7.1 Fasta fotpinnar	Fast stöd för foten	+ Billigt + Enkel att tillverka - Farligare att åka med
7.2 Fällbara fotpinnar	Stöd för foten som fälls in om man råkar köra in i något	+ Säkrare + Enkel att tillverka - Mindre robust än fasta fotpinnar
7.3 Fällbara justerbara fotpinnar	Fällbara fotpinnar som kan justeras beroende på förare	+ Bättre ergonomi och fäste för foten - Ännu mindre robust än fällbara fotpinnar - Dyrare och mer tidskrävande att konstruera - Svårare att tillverka

Delfunktion: Broms

Lösning		
8.1 Skivbroms	Bromshandtag med wire ned till skivbroms	+ Pålitlig broms
8.2 Trumbroms	Bromshandtag med wire ned till trumbroms	+ Plåtlig broms - Något mer klumpig än skivbroms
8.3 Fälgbroms	Bromshandtag med wire ned till kloss som trycks mot fälgen.	- Mer känslig mot smuts och väta - Slitage mot fälgen + Lite billigare
8.4 Ingen broms		+ Kostar inget + Kräver inget

		konstruktionsarbete - Farligt att åka med
--	--	--

Delfunktion: Drivning

Lösning	Beskrivning	För- och nackdelar
9.1 Drev-kedja-drev	Standard utformning som finns på cyklar och motorcyklar med motorn i mitten av chassi.	+enkelt och billigt eftersom det är standard. +går lätt att justera olika utväxlingar -gör att motorn tar plats i mitten av motorcykeln (det är dock positivt att ha vikten långt fram) -det finns viss risk att saker (sladdar, fingar, skosnören osv) fastnar i kedja eller drev om det inte är skyddat.
9.2 Motor i hjulet	Hub-motor, ofta lite större diameter på motorn och den sitter fast i mitten av fälg. Finns på vissa el-cyklar är mest för att hjälpa med kraft när man trampar	+Starkt vrid -inte lika högt varvtal -ingen utväxlingsmöjlighet beror bara på däckradie så med våra lite mindre däck kommer topfart vara begränsad -gjorda för större däck
9.3 Drev-Rem-drev	ser ut på liknande sätt som kedje drift men kräver också en spännare någonstans på svingen.	+kan vara tystare än kedja -jobbigare att justera och laga än kedja

Delfunktion: Energikälla

Lösning	Beskrivning	För- och nackdelar
10.1 Batteripaket	Färdigt batteripaket (litium-jon) med laddningskit	+ Skyddade battericeller mot vatten och stötar. + Inkluderat laddningskit + Inkluderat överströmsskydd - Ej justerbar form -> Påverkar chassi - Mindre "discharge-rate" än max-strömmen för motor.

10.2 Battericeller	Egenbyggt batteri gjort av flera parallell och seriekopplade litium-jon battericeller.	+ Justerbar form + Justerbara egenskaper - Dyrt ~ upp till 100 000 kr - Extra material
10.3 Blybatteri	Äldre batteri som finns det gott om	+ Billig << litiumjon + Lättillgänglig - Mycket tyngre per Ah (energi) än litiumjon - tungt

Delfunktion: Motor

Lösning	Beskrivning	För- och nackdelar
11.1 Induktionsmotor	3 fas AC motor (400V) som även kan fungera som generator	+ Billig ~ $\frac{1}{4}$ av kostnaden för en liknande DC motor + Hållbar, lite underhåll (inga permanentmagneter) + Låg ström + Kan generera ström genom induktion - Hög spänning ~400V - Lågt kraftmoment vid låga varvtal ~ $\frac{1}{3}$ av max - Tung ~20 kg för 3kW
11.2 Borstlös DC motor	Borstlös DC motor (72V) med medföljande styrenhet (controller)	+ Låg spänning ~72V + Liknande vridmoment för alla varvtal -> Högt kraftmoment vid start + Kan generera ström + Ingående controller + Lätt ~4,6 kg - Högre ström ~ max 80 A - Mer underhåll än motsvarande induktionsmotor
11.3 DC motor	DC motor med borstar	+ Låg spänning ~72V + Liknande vridmom. för alla varvtal + Lätt - Mycket underhåll pga borstar - Högre ström ~80 A

11.4 Universalmotor	DC och AC kompatibel motor med borstar	+ Lättkontrollerad + AC och DC kompatibel + Högt vridmoment vid låga varvtal + Billig - Mycket underhåll - Högre ström ~80 A - Låter mycket
----------------------------	--	---

C Appendix: Intervjuer

C.1 Erik Hulthén

Frågor Erik Hultén (Chalmers) - Jesper, Johannes

Svaren som är antecknade är vad gruppen tog med sig från intervjun inte exakta citat.

1. Ställdes den gamla motorcykeln någonsin ut?
 - Nej inte vad jag känner till
 - Tas fram under ingenjörsmetodiken
2. Om nej, varför inte?
 - Vet inte.
3. Vad var bra med den gamla motorcykeln?
 - Den tillverkades, visade att det går att göra
 - Fyllt ett behov, kunnat tas fram och visa vid ing metodiken
 - Inte särskilt dyr
4. Vad var mindre bra med den gamla motorcykeln?
 - Behöver inte vara så mini. Ser mer inbjudande att sitta på om den vore lite större
5. Vad krävs för att få representera Chalmers?
 - Kan se på sådant som ställs ut under Chalmersdagen.
 - karthållaren som visas upp under IKOT-kursen. Något likt den som man kan peka ut intressanta tekniska detaljer på
6. Behöver det finnas en "Wow-faktor"?
 - Vore bra
7. Hade det varit uppskattat om den kunde köras på evangemang?
 - Ja
8. Vilka problem ser du med det?
 - Säkerhet framförallt
9. Vem vill ni rikta er åt genom att ställa ut minimotorcykeln? (Nya studenter/gymnasieelever, företag)
 - Gymnasieelever, visa för unga personer
 - Varför? Bredda rekryteringen till Chalmers
 - Vi vill visa upp elfordon ex Volvo Cars vill bara ha elfordon Trucks vill ha både och
 - Visa för egna studenter vad som händer
10. Var ska motorcykeln stå?
 - Borde placeras i säker miljö, ingen säkerhetsrisk
 - Tänkbart att bygga monter
 - Tänkbart att donera till xp
11. Finns det något hastighetskrav (även tänkbart med krav för spärr)?
 - Väldigt låga krav, hastighetsbegränsare rimlig idé
 - Mindre krav på hastighet kräver ex mindre bromsar
 - Samtidigt kan motorcykeln upplevas som mer "riktig" om den gick lite snabbare.

C.2 XP

Intervju med Daniel Andersson som representerar XP

Jonathan Viktorsson, Gustav Zetterlund, Wahid Yousefi ställer frågor

Fredag 11 februari

Det finns befintliga pocketbikes:

Två pocketbikes. En köpt och en tillverkad. Bensindrivna.

- Hur stora och hur mycket väger dem?
 - Inget jätteproblem. Inte för små så att de blir obekväma.
- Är vikten lagom som dem är, eller hade man velat ha dem större för bättre ergonomi och då göra det jobbigare att ta dem med sig?
 - ska vara rimligt att sitta på, mer najs om den är bekväm att sitta på än att göra mindre, svårt att säga vilket håll som är bäst sikta på någonstans i mitten, vikten är viktigare att minimera snarare än storlek, ska kunna lyfta den med 1 person, måste få plats i ett bagage, komma igenom vanliga dörrar.
 - förutom cortegen kör man aldrig länge, ofta max 5-10 minuter, det är något att tänka på
 - Cortegen är cirka 5km per varv hur många timmar håller det på?
- Är de befintliga redan nu för tunga och svåra att ta med?
 - den egenbyggda är ganska trevlig. lite åt de tyngre laget men lagom i storlek
- Vad ser du för problem med elektriska lösnummer?
 - Egentligen inte. risk att för långsamma. Ingen självklar batterilösning (laddning, batteri)
 - ingen enhetliga batteri, svårt att veta hur man ska ladda
- Varför finns inte fler elektriska fordon?
 - det hade kunnat byggats något i el senaste åren men med inställd med cortege har det inte funnits något motivation
 - har redan så många förbränningsmotorer
 - dyrt med batteri, 5-10k på ett lösnummer är för mycket dom har kanske 5k till flera lösnummer
- Fördelar med el?
 - lättare och renare att visa upp
- Vad gör ett lösnummer roligt/bra?
 - 2sidor. specialbyggda lösnummer roligt/oväntat fordon skapar intresse fordon men jobbiga att köra, gokart hållet inte så sjukt fordon men rolig att köra.
 - välkonstruerat, om det är bra från början så det inte behövs laga hela tiden
- Vad gör ett lösnummer dåligt/tråkigt?
 - att det går sönder ofta och behöver repareras, grunddesignen jobbar emot en, så det är bra om det finns en väl genomtänkt bas.

- Har ni möjlighet att ladda lösnummer?
 - ja de borde gå bra
 - större risk att man glömmer sätta den på laddning
- Vilka kommer köra lösnummer?
 - först och främst de inom xp, men vissa saker låter man folk testa, om dem är hyffsat "säkra" att köra
 - hade varit trevligt om man har flera lägen om den är snabb
- Kraschar lösnummer ofta?
 - inte ofta, men behandlas inte jätte varsamt kan välta osv, bra om den är lite stöttålig, skyddad el och kablar
- Hur ofta går lösnummer sönder?
 - tex motorfästen går av ibland
- Vilken typ av drift har de flesta lösnummer(ex. kedja/rem)?
 - väldigt blandat, kedja kan nog vara vanligaste och de dom föredrar, anledningar till att använda rem är att det går att göra en koppling på enkelt sätt men går ofta fel, men det är bara för att det måste. kedeja slirar inte och håller mycket längre
- Vilken är den bästa typen av drift för er, varför?
 - kedja slirar inte och håller mycket längre. smidigare
- Finns det några säkerhetskrav?
 - ska finnas döda knapp lättillgängligt. ,speciellt om det inte finns bra bromsar
 - om det finns risk för hänggas eventuellt dödmansgrepp? hade kunnat var bra grej, viktigt om man tex kör cortege och det står människor runt om
 - bra med bromsar
- Andra tankar och ideer

man hade kunnat ha tumgas om det går att fixa, är lite svårt att dra fullgas på rulle när man sitter så cramped, och det minskar kanske farligheten precis som skotrar. men det är inte något jätteproblem. spelar inte så stor

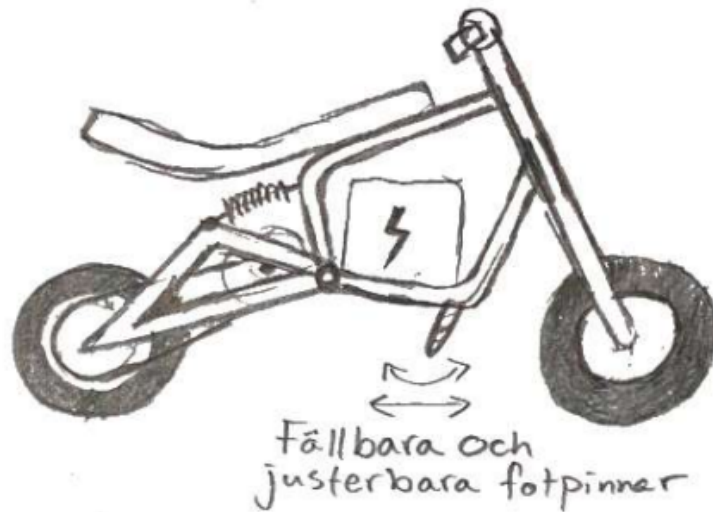
Se till att kolla på dom pocketbikes som finns det är nog givande.

D Appendix: Konceptkatalog

Tabell 9: Konceptkatalog med helhetslösningar för ramkonstruktionen utifrån delsystemen i den morfologiska matrisen.

Lösningsnummer	1	2	3	4	5	6	7	8
A	1.1	2.1	3.5	4.2	5.1 + 5.3	6.4	7.3	8.1
B	1.1	2.3	3.5	4.2	5.1+5.3	6.4	7.3	8.1
C	1.1	2.3	3.7	4.1	5.1 + 5.3	6.4	7.2	8.2
D	1.1	2.1 + 2.4 + 2.3	3.5	4.2	5.1 + 5.3	6.4	7.3	8.1
E	1.2	2.1	3.2	4.1	5.2+5.3	6.4	7.1	8.3
F	1.2	2.2	3.5	4.1	5.1+5.3	6.4	7.3	8.2
G	1.2	2.3	3.4	4.5	5.2+5.4	6.1	7.1	8.3
H	1.2	2.4	3.2	4.3	5.1+5.3	6.4	7.1	8.4
I	1.3	2.1	3.5	4.2	5.1+5.3	6.4	7.2	8.1
J	1.3	2.1 + 2.4 + 2.3	3.5	4.2	5.1 + 5.3	6.4	7.3	8.1
K	1.3	2.3	3.5	4.2	5.1+5.3+5.6	6.3	7.1	8.2
L	1.3	2.3	3.4	4.2	5.2+5.3	6.4	7.2	8.4
M	1.3	2.4	3.2	4.2	5.1+5.3	6.4	7.1	8.1
N	1.4	2.2	3.2	4.2	5.1	6.4	7.1	8.2
O	1.4	2.3	3.2	4.2	5.1	6.4	7.1	8.1
P	1.4	2.4	3.2	4.2	5.1	6.4	7.3	8.4
Q	1.4	2.1	3.5	4.2	5.1+5.3	6.4	7.3	8.1
R	1.4	2.3	3.5	4.2	5.1+5.3	6.4	7.3	8.3
S	1.5	2.1	3.1	4.2	5.1+5.3	6.4	7.1	8.1
T	1.5	2.1	3.2	4.2	5.2+5.5	6.2	7.2	8.4
U	1.5	2.3	3.5	4.1	5.1+5.3	6.4	7.3	8.1

D.1 Koncept A



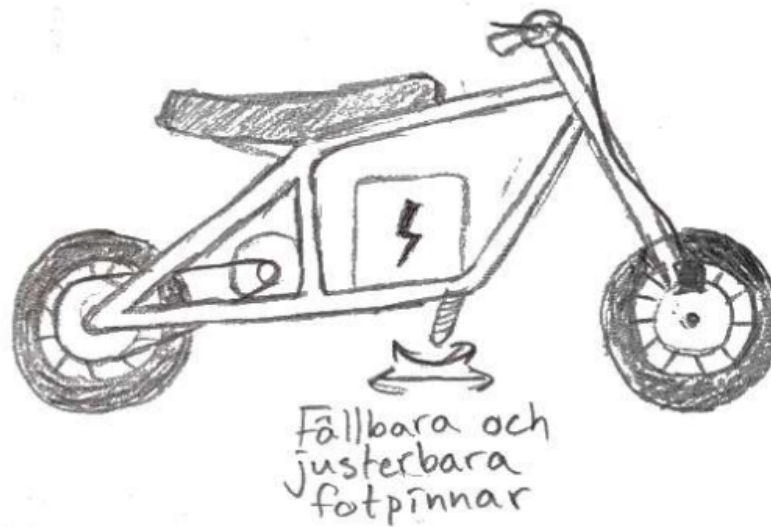
Figur 33: Ramkoncept A. Konceptet består av en vaggram kombinerat med en motorintegrerad fjädrande sving, stel framgaffel, ett fast mjukt säte fällbara justerbara fotpinnar samt skivbromsar.

D.2 Koncept B



Figur 34: Ramkoncept B. Konceptet består av en vaggram kombinerad med en fjädrande sving, stel framgaffel, ett fast mjukt säte, fällbara justerbara fotpinnar samt skivbromsar. Skillnaden mot koncept A är att motorn här är monterad i ramen istället för i svingen.

D.3 Koncept D



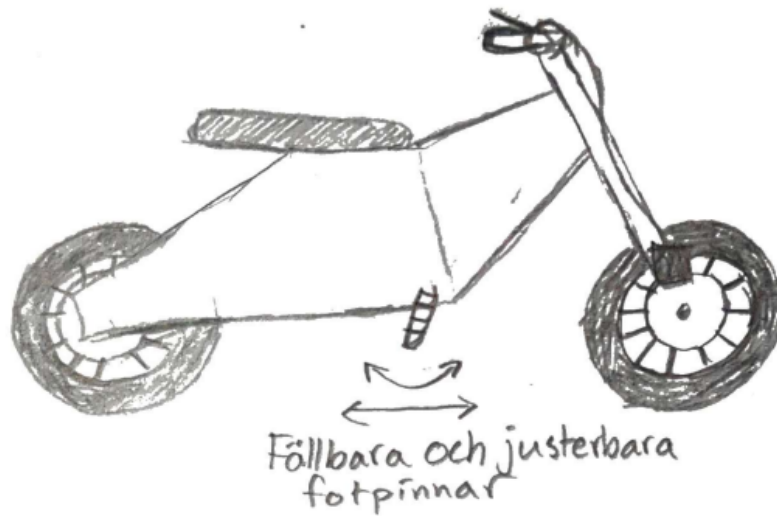
Figur 35: Ramkoncept D. Konceptet består av en vaggram där ramen även utgör bakvagnen. Konceptet har en stel framgaffel, fällbara justerbara fotpinnar, ett fast mjukt säte samt skivbromsar.

D.4 Koncept I



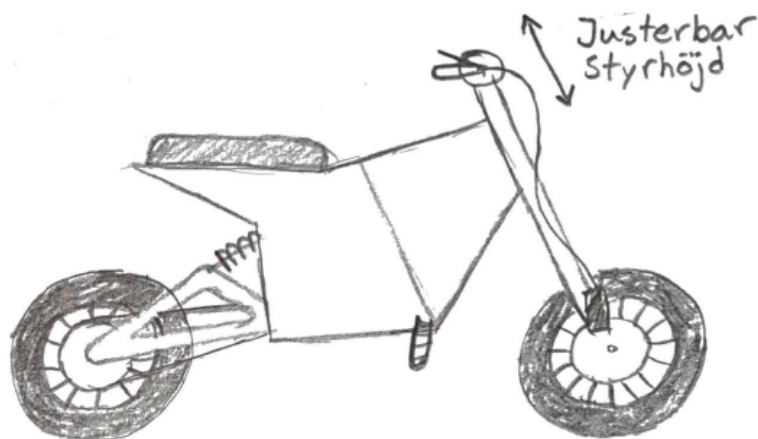
Figur 36: Ramkoncept I. Konceptet består av en lådrum kombinerad med en motorintegrerad fjädrande sving, stel framgaffel, fällbara fotpinnar, ett mjukt fast säte samt skivbromsar.

D.5 Koncept J



Figur 37: Ramkoncept J. Konceptet består av en lådrum som även utgör bakvagnen, en stel framgaffel, fällbara justerbara fotpinnar, ett mjukt fast säte samt skivbromsar.

D.6 Koncept K



Figur 38: Ramkoncept K. Konceptet består av en lådrum kombinerad med en fjädrande sving, justerbar stel framgaffel, fasta fotpinnar, ett fast mjukt säte samt skivbromsar.

Tabell 11: Pugh-matris 2 för ramkoncept.

Pugh-matris 2 för ramkoncept																
Utförd av:																
Kriterier	Alternativ															
	A	B	C	D	I	J	K	M	N	O	Q	R	S	U		
1.4 Broms > (3m/s ²)	0	0	0	0	0	REFERENS	0	0	0	0	0	-	+	0		
2.2 Ska kunna användas i stadsmiljö	+	+	+	0	+		+	+	+	+	+	+	+	+		
3.1 Lång livslängd > (10 år)	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0		
4.1 Storlekskrav	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0		
5.1 Vikt < (40 kg)	0	0	0	0	-		-	0	-	-	-	-	-	-		
6. Ergonomi	+	+	0	0	0		+	-	-	-	+	+	0	+		
7.1 Inga vassa kanter	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0		
8.1 Attraktivt utseende	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	+	0		
8.2 Slagtålig finish	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	-	-		
9.1 Vattentålig produkt	-	-	-	-	0		0	0	-	-	-	-	-	-		
9.2 Korrosionsbeständig	+	+	+	+	0		0	0	+	+	+	+	+	+		
10.1 Robust och pålitlig	-	-	-	0	-		-	0	-	-	-	-	-	-		
12.1 Tillverkningsbar i prototypplabbet	0	0	-	0	0		0	0	-	-	-	-	-	0		
15.1 Utbytbarhet	+	+	+	0	+		+	0	+	+	+	+	+	0		
17.1 Återvinningsbar	0	0	0	0	0		0	-	-	-	0	0	0	0		
Komplexitet/Tidsåtgång	0	0	-	0	0		0	0	-	-	-	-	-	0		
Kostnad	-	-	-	0	-		-	-	-	-	-	-	-	0		
Σ+	4	4	3	1	2	0	3	1	3	3	4	4	5	3		
Σ0	10	10	9	15	12	0	11	13	6	6	7	6	5	10		
Σ-	3	3	5	1	3	0	3	3	8	8	6	7	7	4		
Nettovärde	1	1	-2	0	-1	0	0	-2	-5	-5	-2	-3	-2	-1		
Rangordning	1	1	8	3	6	3	3	8	13	13	8	12	8	6		
Nettovärde ink. Pugh 1	1	0	-5	0	0	-1	-1	-3	-10	-11	-5	-8	-5	-4		
Rangordning ink. Pugh 1	1	2	9	2	2	5	5	7	13	14	9	12	9	8		
Vidareutveckling	Ja	Ja	Nej	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej		

Tabell 12: Pugh-matris 3 för ramkoncept.

Pugh-matris 3 för ramkoncept							
Utfärdad av:							
Kriterier	Alternativ						
	A	B	D	I	J	K	M
1.4 Boms > (3m/s ²)	0	REFERENS	0	0	0	0	0
2.2 Ska kunna användas i stadsmiljö	0		-	0	-	0	0
3.1 Lång livslängd > (10 år)	0		0	0	0	0	0
4.1 Storlekskrav	0		0	0	0	0	0
5.1 Vikt < (40 kg)	0		+	0	+	0	0
6. Ergonomi	0		-	-	-	0	-
7.1 Inga vassa kanter	0		0	0	0	0	0
8.1 Attraktivt utseende	0		0	0	0	0	0
8.2 Slagtålig finish	0		0	0	0	0	0
9.1 Vattentålig produkt	0		0	+	+	+	+
9.2 Korrosionsbeständig	0		0	-	-	-	-
10.1 Robust och pålitlig	+		+	+	+	0	+
12.1 Tillverkningsbar i prototypplabbet	0		0	0	0	0	0
15.1 Utbytbarhet	0		-	0	-	0	-
17.1 Återvinningsbar	0		0	0	0	0	-
Komplexitet/Tidsåtgång	0		0	0	0	0	0
Kostnad	0		+	0	+	0	0
Σ+	1	0	3	2	4	1	2
Σ0	16	0	11	13	9	15	11
Σ-	0	0	3	2	4	1	4
Nettovärde	1	0	0	0	0	0	-2
Rangordning	1	2	2	2	2	2	7
Vidareutveckling	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nej

Chalmers	Pughmatris (Relativ beslutsmatris):				
Utfärdare:			Skapad: 2022-02-22	Sid 1	
			Modifierad: 2022-02-22		
Kriterier	Alternativ				
	DC	Induktion	DC brushless	Ref	
Hastighet	0	+	0	REFERENS	
Acceleration	0	-	0		
Livslängd	0	+	+		
Vikt	0	-	0		
Säkerhet	+	0	+		
Utbytbarhet	0	0	0		
$\Sigma +$	1	2	2	X	
$\Sigma 0$	5	5	4	X	
$\Sigma -$	0	2	0	X	
Nettovärde	1	0	2		
Rangordning	2	3	1	3	
Vidareutveckling					
Beslut					

Figur 39: Pugh-matris för motor med universalmotor som referens.

Chalmers	Pughmatris (Relativ beslutsmatris):				
Utfärdare:			Skapad: 2022-02-22	Sid 1	
			Modifierad: 2022-02-22		
Kriterier	Alternativ				
	DC	Universal	DC brushless	Ref	
Hastighet	-	-	-	REFERENS	
Acceleration	+	+	+		
Livslängd	-	-	-		
Vikt	+	+	+		
Säkerhet	+	0	+		
Utbytbarhet	0	0	0		
$\Sigma +$	3	2	3	X	
$\Sigma 0$	1	2	1	X	
$\Sigma -$	2	2	2	X	
Nettovärde	1	0	1		
Rangordning	1	2	1	2	
Vidareutveckling					
Beslut					

Figur 40: Pugh-matris för motor med induktionsmotor som referens.

Chalmers	Pugh-matris (Relativ beslutsmatris):		
			Skapad: 2022-02-22
			Modifierad: 2022-02-22
Kriterier	Alternativ		
	6.1 (ref)	6.2	6.3
1.1 Hastighet		-	0
1.2 Acceleration		-	0
2.1 Temp. i användningsmiljö		0	0
2.2 Ska kunna användas runt om Chalmers		0	0
3.1 Lång livslängd		0	-
8.2 Slagtålig finish		0	0
9.1 Vattentålig produkt		0	-
9.2 Korrosionsbeständig		0	+
10.1 Robust och pålitlig		0	0
11.1 Kostnadsönskemål		-	-
12.2 Tillverkningspotential		-	-
15.1 Utbytbarhet		-	-
16.1 Service		-	-
17.1 Återvinningsbar		0	-
$\Sigma +$	0	0	1
$\Sigma 0$	0	7	4
$\Sigma -$	0	2	4
Nettovärde	0	-2	-3
Rangordning			
Vidareutveckling			
Beslut			

Figur 41: Pugh-matris för drev, Drev-kedja-drev 6.1, Motor i fäljen 6.2, Remhjul-rem-ewmhjul 6.3 med 6.1 som referens.

Chalmers	Pugh-matris (Relativ beslutsmatris):					
				Skapad: 2022-02-22		
				Modifierad: 2022-02-22		
Kriterier	Alternativ			Kommentar		
	6.1	6.2 (ref)	6.3			
1.1 Hastighet	+		-			
1.2 Acceleration	+		-			
2.1 Temp. i användningsmiljö	0		0			
2.2 Ska kunna användas runtom	0		0			
3.1 Lång livslängd	0		-			
8.2 Slagtålig finish	0		0			
9.1 Vattentålig produkt	0		-			
9.2 Korrosionsbeständig	0		-			
10.1 Robust och pålitlig	0		0			
11.1 Kostnadsönskemål	+		-			
12.2 Tillverkningspotential	+		-			
15.1 Utbytbarhet	+		-			
16.1 Service	+		-			
17.1 Återvinningsbar	0		-			
Σ+	2	0	0			
Σ 0	7	0	4			
Σ -	0	0	5			
Nettovärde	2	0	-5			
Rangordning						
Vidareutveckling						
Beslut						
kan justera utväxling lättast med 6.1 vilket gör det lättare att uppfylla både 1.1 och 1.2 därför får 6.1 bäst betyg på 1.1 och 1.2						
6.2 Kräver också att vi har en stor fälgstorlek vilket är begränsat eftersom motorcykeln i sin helhet inte får vara för stor						

Figur 42: Pugh-matris för drev, Drev-kedja-drev 6.1, Motor i fäljen 6.2, Remhjul-rem-ewmhjul 6.3 med 6.2 som referens.

E.2 Viktningstabell

Tabell 13: Viktning av kriterier

Viktningstabell för Kesselring

Kriterier	1.4	2.2	3.1	4.1	5.1	6	7.1	8.1	8.2	9.1	9.2	10.1	12.1	15.1	17.1	E1	E2	Summa:	Medel (w)
1.4 Broms > (3m/s ²)	-	1	1	1	1	1	0,5	1	1	1	1	1	0	1	1	0,5	1	14	0,824
2.2 Ska kunna användas i stadsmiljö	0	-	1	0,5	1	0,5	0	0,5	0,5	1	1	0,5	0	1	1	0	1	9,5	0,559
3.1 Lång livslängd > (10 år)	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0,5	1	0	0	2	0,118
4.1 Storlekskrav	0	0,5	1	-	1	0,5	0	0,5	1	1	1	1	0,5	1	1	0,5	1	11,5	0,676
5.1 Vikt < (40 kg)	0	0	1	0	-	0	0	0,5	1	1	1	0,5	0	0,5	1	0,5	1	8	0,471
6. Ergonomi	0	0,5	1	0,5	1	-	0	0,5	1	1	1	0,5	0	1	1	0,5	1	10,5	0,618
7.1 Inga vassa kanter	0,5	1	1	1	1	1	-	1	1	1	1	0,5	0	1	1	0	1	13	0,765
8.1 Attraktivt utseende	0	0,5	1	0,5	0,5	0,5	0	-	1	0,5	0,5	0,5	0	1	1	0	1	8,5	0,500
8.2 Slagtålig finish	0	0,5	1	0	0	0	0	0	-	0	1	0	0	0	0,5	0	0,5	3,5	0,206
9.1 Vattentålig produkt	0	0	1	0	0	0	0	0,5	1	-	1	0,5	0	1	1	0,5	1	7,5	0,441
9.2 Korrosionsbeständig	0	0	0,5	0	0	0	0	0,5	0	0	-	0	0	0	0	0	0	1	0,059
10.1 Robust och pålitlig	0	0,5	1	0	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0,5	1	-	0,5	1	1	0,5	1	10	0,588
12.1 Tillverkningsbar i prototypplabbet	1	1	1	0,5	1	1	1	1	1	1	1	0,5	-	1	1	1	1	15	0,882
15.1 Utbytbarhet	0	0	0,5	0	0,5	0	0	0	1	0	1	0	0	-	0,5	0	1	4,5	0,265
17.1 Återvinningsbar	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0	1	0	0	0,5	-	0	1	3	0,176
E1 Komplexitet/Tidsåtgång	0,5	1	1	0,5	0,5	0,5	1	1	1	0,5	1	0,5	0	1	1	-	1	12	0,706
E2 Kostnad	0	0	1	0	0	0	0	0	0,5	0	1	0	0	0	0	0	-	2,5	0,147

0p: Mindre viktig

0.5p: Lika viktigt

1p: Viktigare

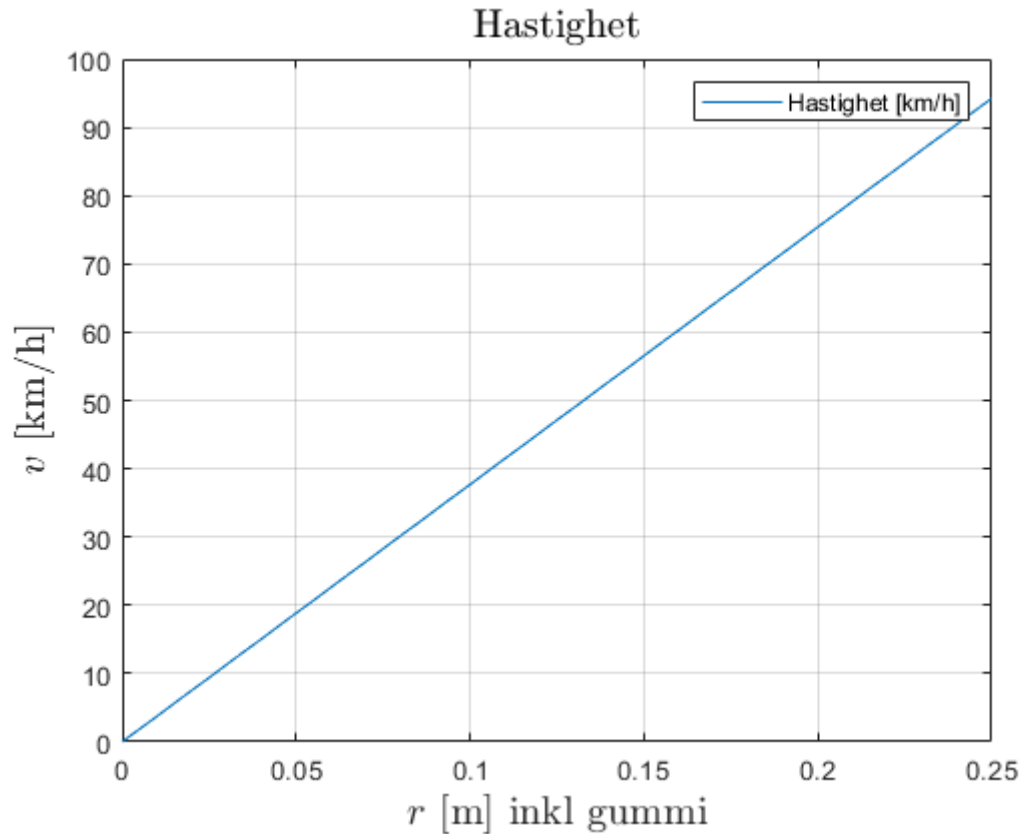
F Appendix: MATLAB kod

```
clc; clf;

r = linspace(0,0.25);
P = 3000; %W
m = 120;
UtV = 0.2; %cirka 11/52 drev
M = 5.4; %Nm

rpm_max = 5000;
v = 3.6.*UtV.*rpm_max.*pi.*r./30;
a = M./(m.*r.*UtV);

figure(1)
plot(r,v);
grid
xlabel('$r$ [m] inkl gummi', 'FontSize', 15, 'Interpreter', 'latex');
ylabel('$v$ [km/h]', 'FontSize', 15, 'Interpreter', 'latex');
title('Hastighet', 'FontSize', 15, 'Interpreter', 'latex');
legend('Hastighet [km/h]')
```

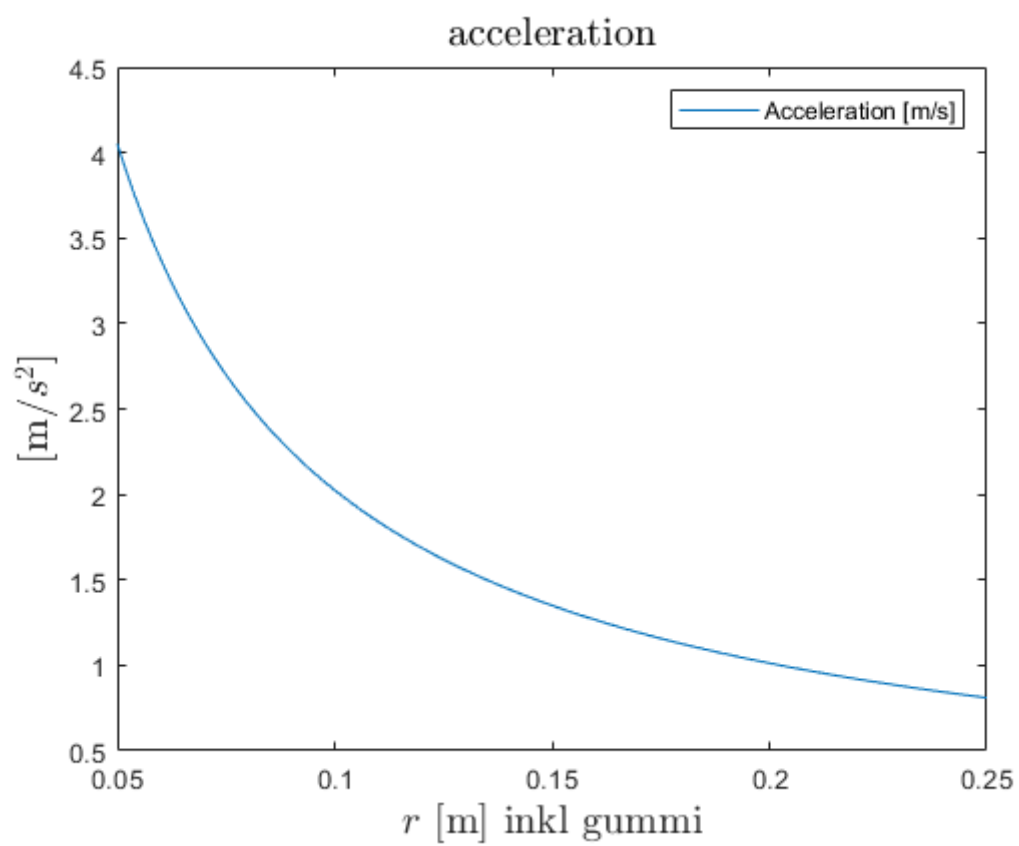


```
clc; clf;

r = linspace(0.05,0.25);
P = 3000; %W effekt
m = 120; %siktat på att komma under 40kg motorcykel+ 70-80kg person
UtV = 0.2; %cirka 11/52 drev
M = 5.4; %Nm
L=0.9; %förlust i drivlina

rpm_max = 5000;
v = 3.6.*UtV.*rpm_max.*pi.*r./30;
a = L*M./(m.*r.*UtV);

figure(2)
plot(r,a);
xlabel('$r$ [m] inkl gummi', 'FontSize', 15, 'Interpreter', 'latex');
ylabel('$m/s^2$', 'FontSize', 15, 'Interpreter', 'latex');
title('acceleration', 'FontSize', 15, 'Interpreter', 'latex');
legend('Acceleration [m/s^2]')
```



Published with MATLAB® R2020a

G Appendix: Programkod

Följande C++ program har utvecklats till projektet.

```
//Main program
//Grupp 82
//Author Tim Johansson

#include <Adafruit_GFX.h> // Core graphics library
#include <Adafruit_ST7735.h> // Hardware-specific library for ST7735
// #include <Adafruit_ST7789.h> // Hardware-specific library for ST7789
#include <SPI.h>

#define TFT_Display_CS 10
#define TFT_Display_RST 8 // Or set to -1 and connect to Arduino RESET pin
#define TFT_Display_DC 9

#define pi 3.1416
#define ThrottlePin A0
#define VelPin 1
#define SpeedPin A2
#define OffPin 0
#define ThrottlePinOut A5
#define VoltmeterPin A1

Adafruit_ST7735 tft = Adafruit_ST7735(TFT_Display_CS, TFT_Display_DC, TFT_Display_RST);

bool batLow = false;
int Throttle = 0;
int Vel = 0;
int Speed = 0;
int volt;
int batteryCap;
int batLowLim = 56; //Volt
int K = 11; //Conversion factor. Depends on R1 and R2
float voltage;
String ThrottleString;
char *Names[] = {"Tim Johansson", "Johannes Lindholm", "Jesper Nordling", "Jonathan Viktorsson", "Wahid
    Yousefi", "Gustav Zetterlund"};
char ThrottleChar[10];
char VelChar[10];

void setup() {
    pinMode(ThrottlePin, INPUT);
    pinMode(SpeedPin, INPUT);
    pinMode(OffPin, INPUT);
    pinMode(VoltmeterPin, INPUT);
    pinMode(VelPin, OUTPUT);
    pinMode(ThrottlePinOut, OUTPUT);
    tft.initR(INITR_BLACKTAB); // Init ST7735S chip, black tab

    Serial.begin(9600);

    //Init pins;
    digitalWrite(VelPin, LOW); //Begin as off

    //Logo
    tft.fillScreen(ST77XX_BLACK);
    tft.setCursor(18, 50);
    tft.setTextSize(2);
```

```
drawText("Grupp 82", ST77XX_WHITE);
tft.setTextSize(1);
for(int i = 1; i <= 6; i++){
    tft.setCursor(4, 80+10*i);
    drawText(Names[i-1], ST77XX_WHITE);
}

delay(4000); //Delay logo
tft.fillScreen(ST77XX_BLACK);
}

void loop() {

    //Battery
    if(batLow == false){
        //Check analog inputs
        Throttle = analogRead(ThrottlePin)/1023;
        ThrottleString = String(Throttle);

        Speed = analogRead(SpeedPin)/1023;

        //Draw textures:

        //Draw Velocity
        tft.setCursor(18, 10);
        tft.setTextSize(2);
        drawText("Velocity", ST77XX_WHITE);
        tft.setCursor(18, 30);
        tft.setTextSize(4);
        IntToChar(Vel, VelChar);
        drawText(VelChar, ST77XX_WHITE);

        //Draw Throttle
        tft.setCursor(18, 80);
        tft.setTextSize(2);
        drawText("Throttle", ST77XX_WHITE);
        tft.setCursor(18, 100);
        tft.setTextSize(4);
        IntToChar(Throttle, ThrottleChar);
        drawText(ThrottleChar, ST77XX_WHITE);
        delay(1000);

        //Clear space
        ClearSpace(18, 30, VelChar);
        ClearSpace(18, 100, ThrottleChar);
    }

    //Battery logic
    //Voltmeter
    volt = analogRead(VoltmeterPin);
    Serial.print(volt);
    voltage = volt * 30/(405/2); //2V->60V

    //Draw battery
    drawRectangle(35, 140, 20, 60, ST77XX_GREEN);

    //Battery capacity (20-80 percent)
    if(voltage < batLowLim){
```

```

    batteryCap = 0;
    drawFilledRec(37, 142, 16, 12, ST77XX_BLACK);
    drawFilledRec(51, 142, 16, 12, ST77XX_BLACK);
    drawFilledRec(65, 142, 16, 12, ST77XX_BLACK);
    drawFilledRec(79, 142, 16, 12, ST77XX_BLACK);
}
else if (voltage < batLowLim + (75-batLowLim)/4){
    batteryCap = 1;
    drawFilledRec(37, 142, 16, 12, ST77XX_RED);
    drawFilledRec(51, 142, 16, 12, ST77XX_BLACK);
    drawFilledRec(65, 142, 16, 12, ST77XX_BLACK);
    drawFilledRec(79, 142, 16, 12, ST77XX_BLACK);
}
else if (voltage < batLowLim + 2*(75-batLowLim)/4){
    batteryCap = 2;
    drawFilledRec(37, 142, 16, 12, ST77XX_YELLOW);
    drawFilledRec(51, 142, 16, 12, ST77XX_YELLOW);
    drawFilledRec(65, 142, 16, 12, ST77XX_BLACK);
    drawFilledRec(79, 142, 16, 12, ST77XX_BLACK);
}
else if (voltage < batLowLim + 3*(75-batLowLim)/4){
    batteryCap = 3;
    drawFilledRec(37, 142, 16, 12, ST77XX_GREEN);
    drawFilledRec(51, 142, 16, 12, ST77XX_GREEN);
    drawFilledRec(65, 142, 16, 12, ST77XX_GREEN);
    drawFilledRec(79, 142, 16, 12, ST77XX_BLACK);
}
else {
    batteryCap = 4;
    drawFilledRec(37, 142, 16, 12, ST77XX_GREEN);
    drawFilledRec(51, 142, 16, 12, ST77XX_GREEN);
    drawFilledRec(65, 142, 16, 12, ST77XX_GREEN);
    drawFilledRec(79, 142, 16, 12, ST77XX_GREEN);
}

//Low battery check
if (voltage < 56){
    tft . fillScreen (ST77XX_BLACK);
    tft .setCursor(18, 50);
    tft .setTextSize(2);
    drawText("BATTERY", ST77XX_RED);
    tft .setCursor(22, 70);
    tft .setTextSize(2);
    drawText("LOW!", ST77XX_RED);
    delay(500);
    batLow = true;
    tft . fillScreen (ST77XX_BLACK);
}
else {
    batLow = false;
}

//Outputs
analogWrite(ThrottlePinOut, ThrottleToSpeed(Throttle, 90));
}

// Methods

```

```
//Regulates the throttle
float ThrottleToSpeed(int Throttle, int Percent){
    float result;
    int scale = 1;
    result = Throttle*Percent*scale/100;

    return result;
}

//Text
void drawText(char *text, uint16_t color) {
    tft.setTextColor(color);
    tft.setTextWrap(true);
    tft.print(text);
}

//String to char array
char IntToChar(int integer, char *NameChar){
    String s;
    s = String(integer);
    s.toCharArray(NameChar,10);

    return 0;
}

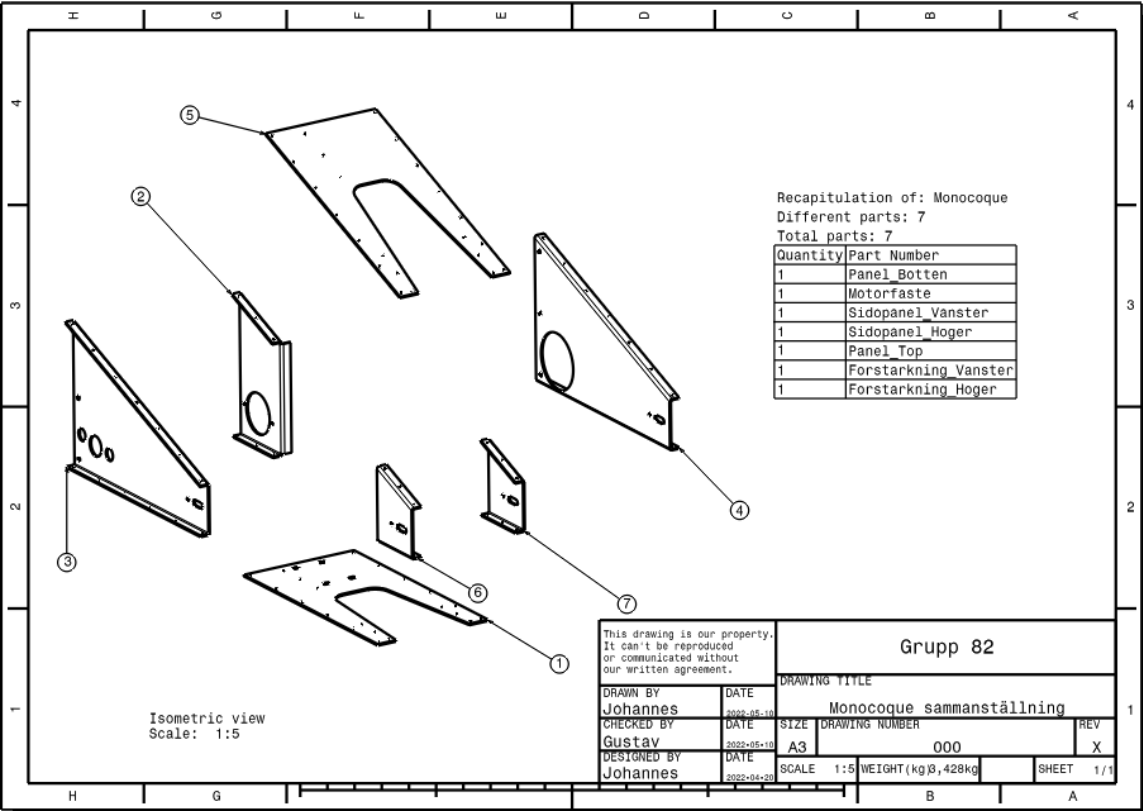
//Clears written space
void ClearSpace(int x, int y, char *NameChar){
    tft.setCursor(x, y);
    tft.setTextSize(4);
    drawText(NameChar, ST77XX_BLACK);
}

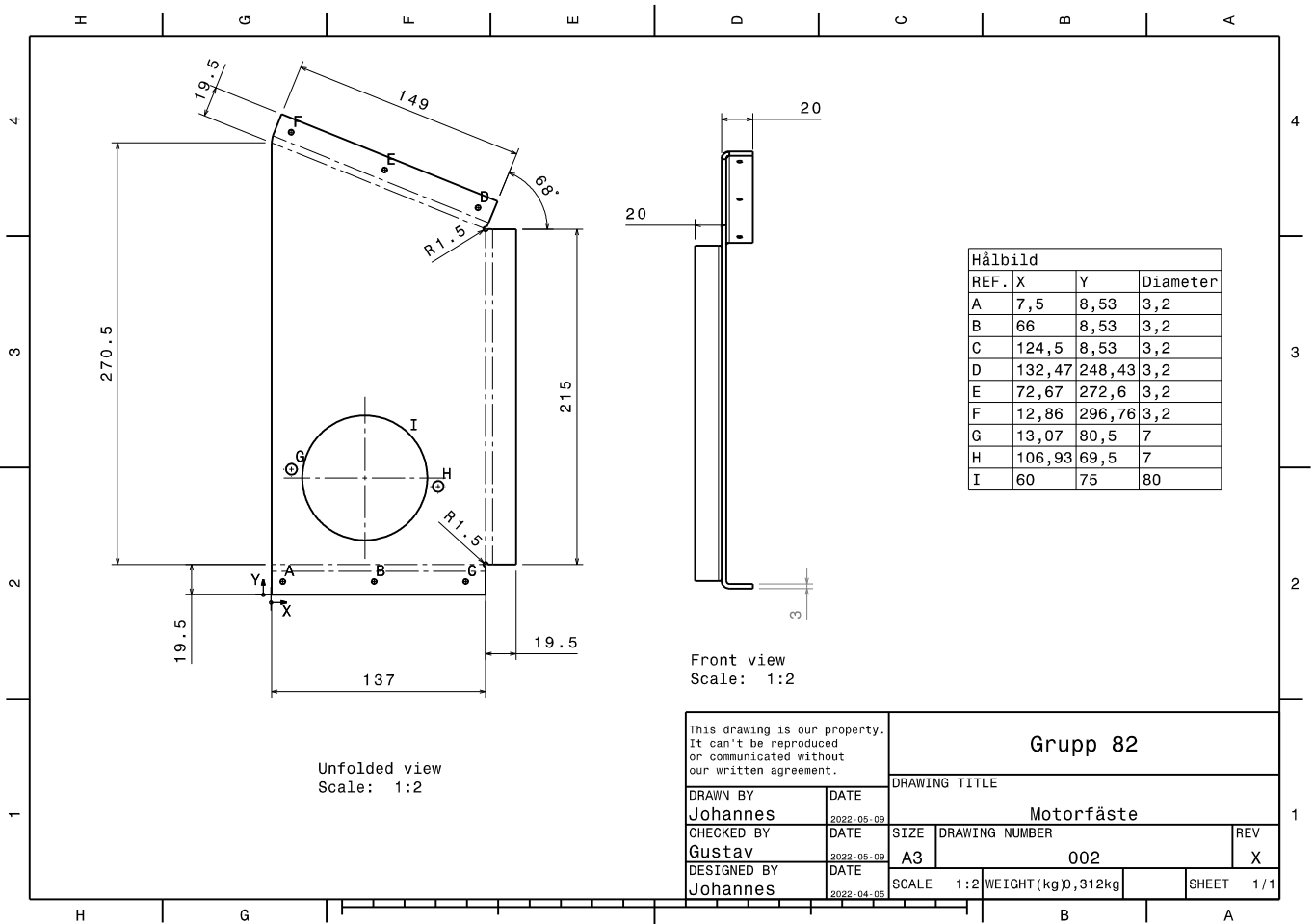
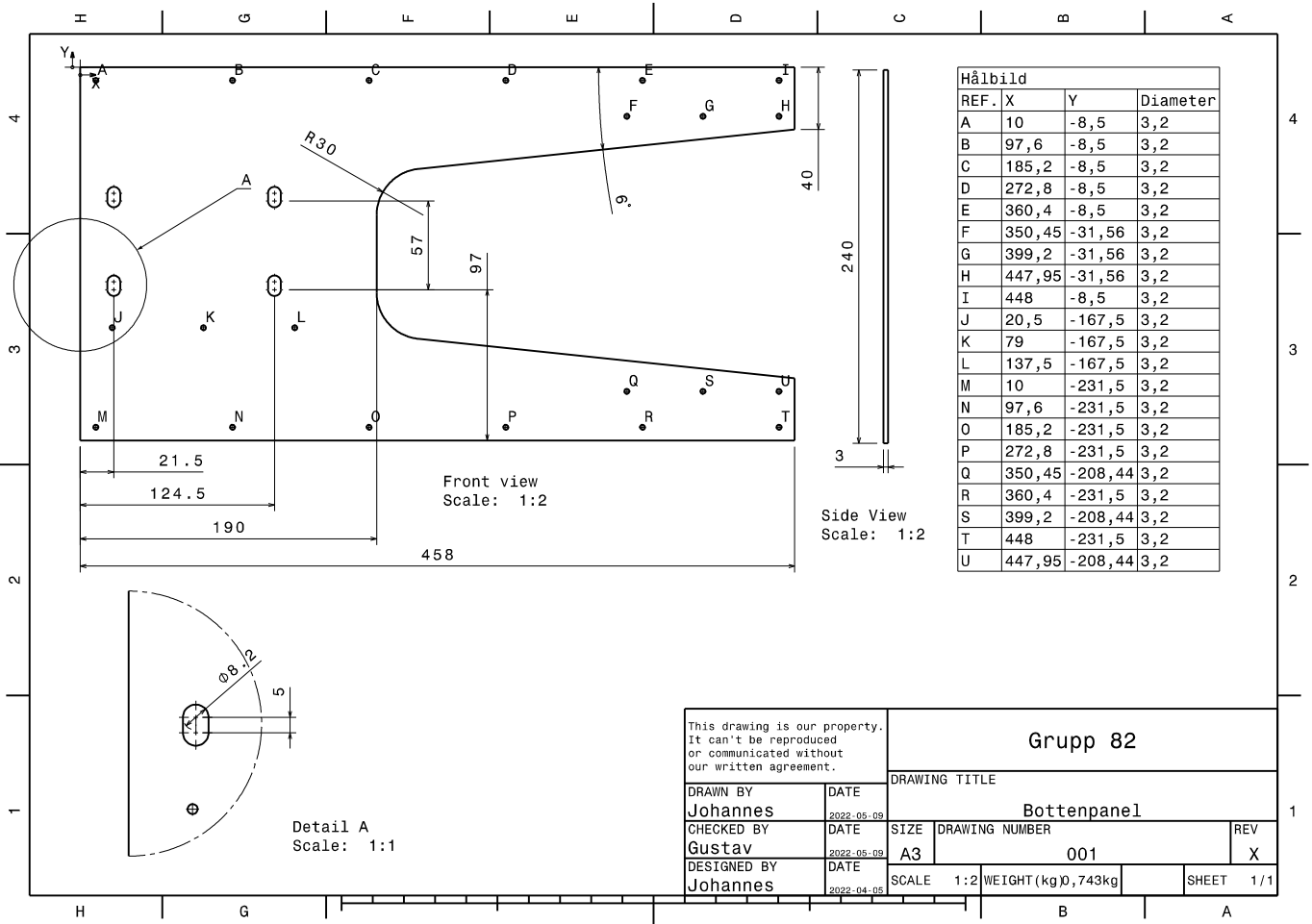
void drawRectangle(int x, int y, int b, int a, uint16_t color) {
    tft.drawRect(x, y, a, b, color);
}

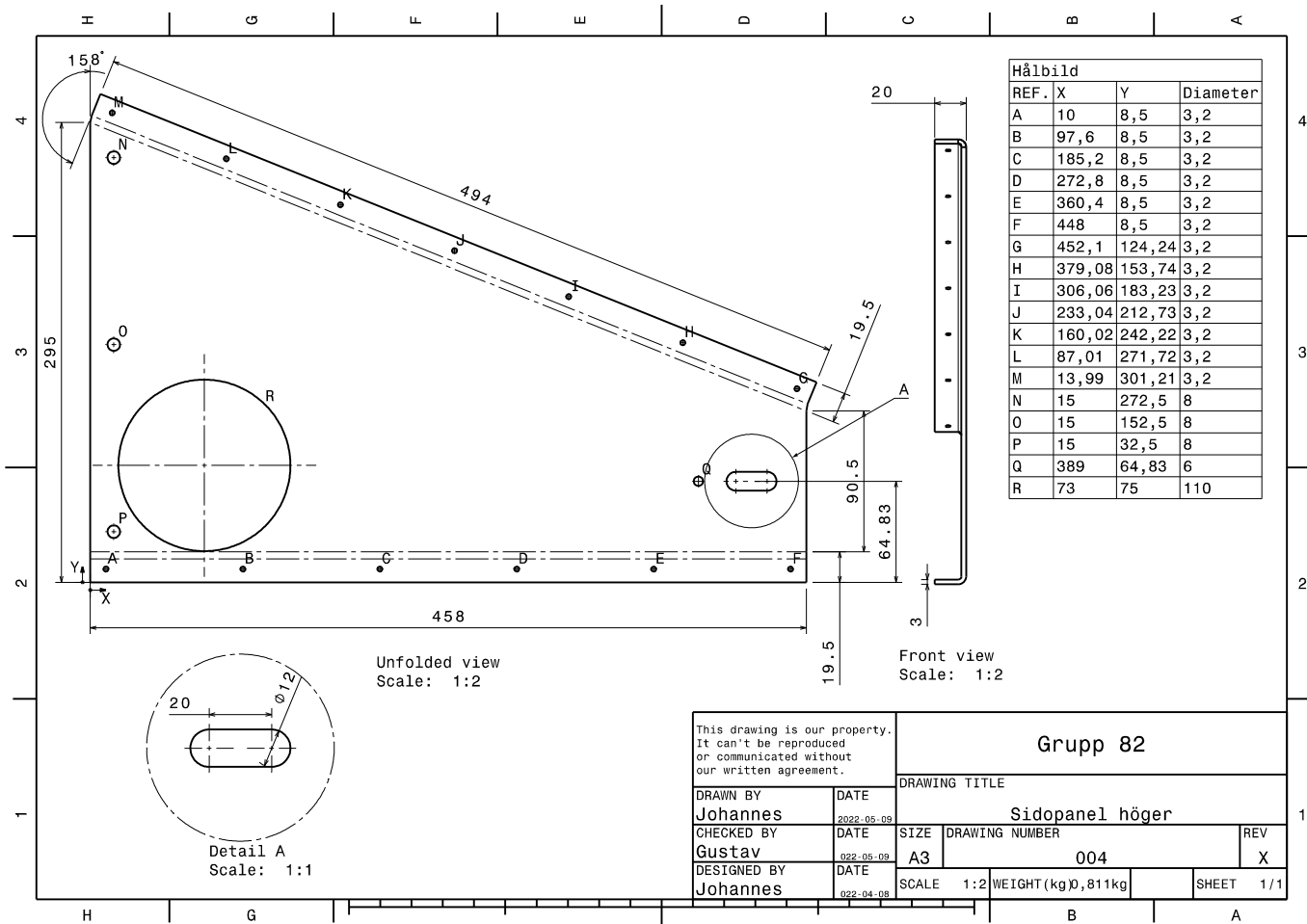
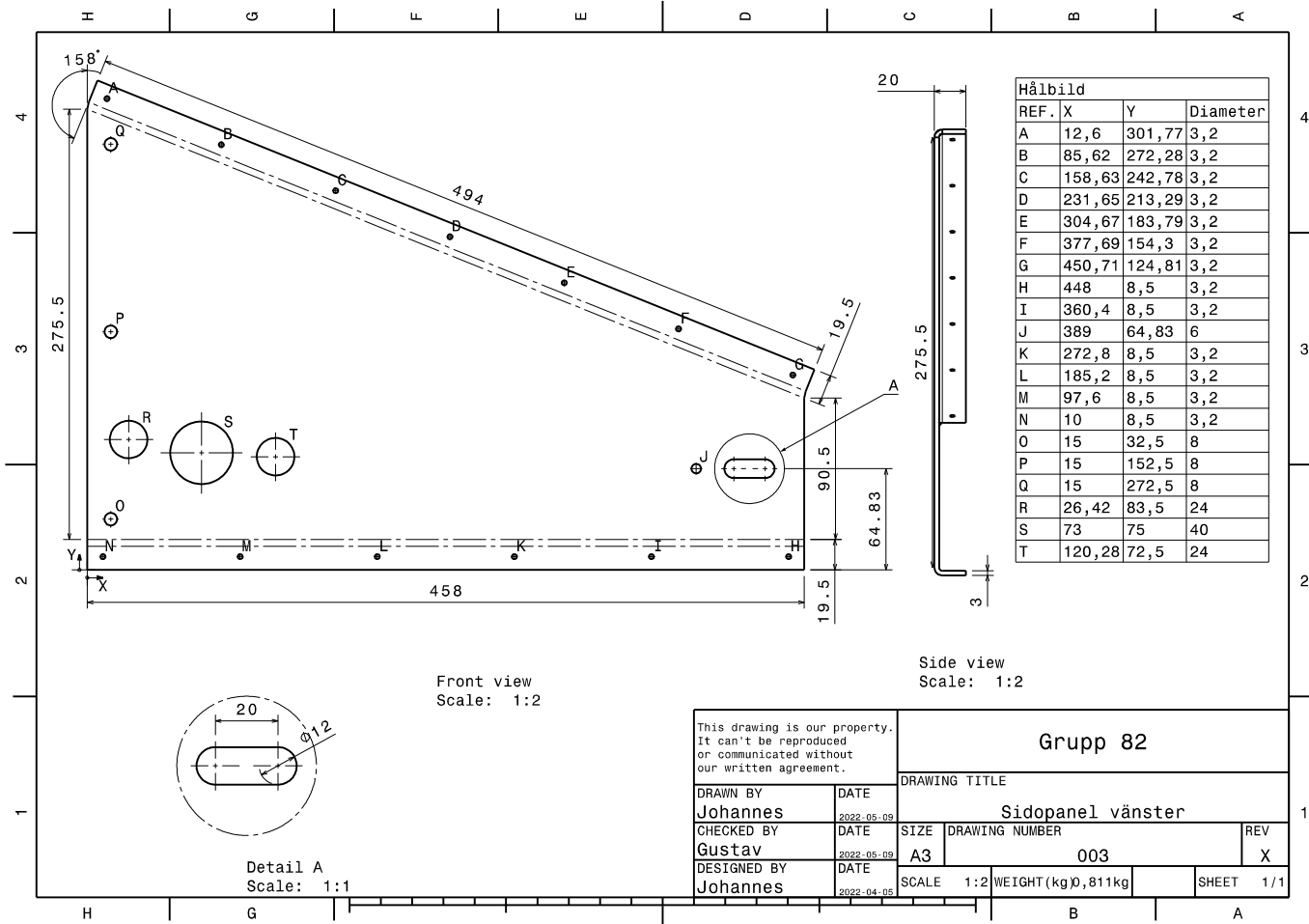
void drawFilledRec(int x, int y, int b, int a, uint16_t color){
    tft.fillRect(x, y, a, b, color);
}
```

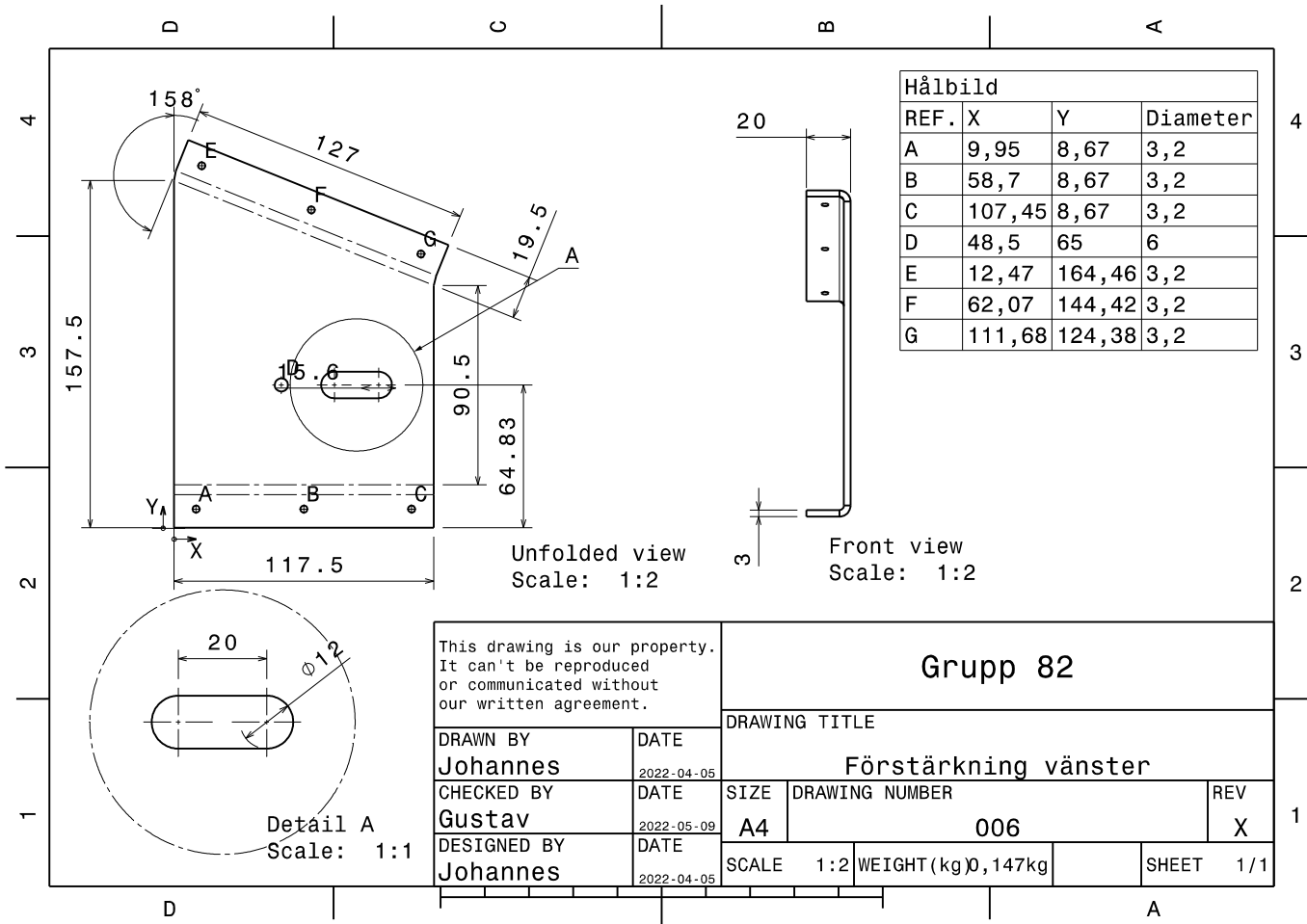
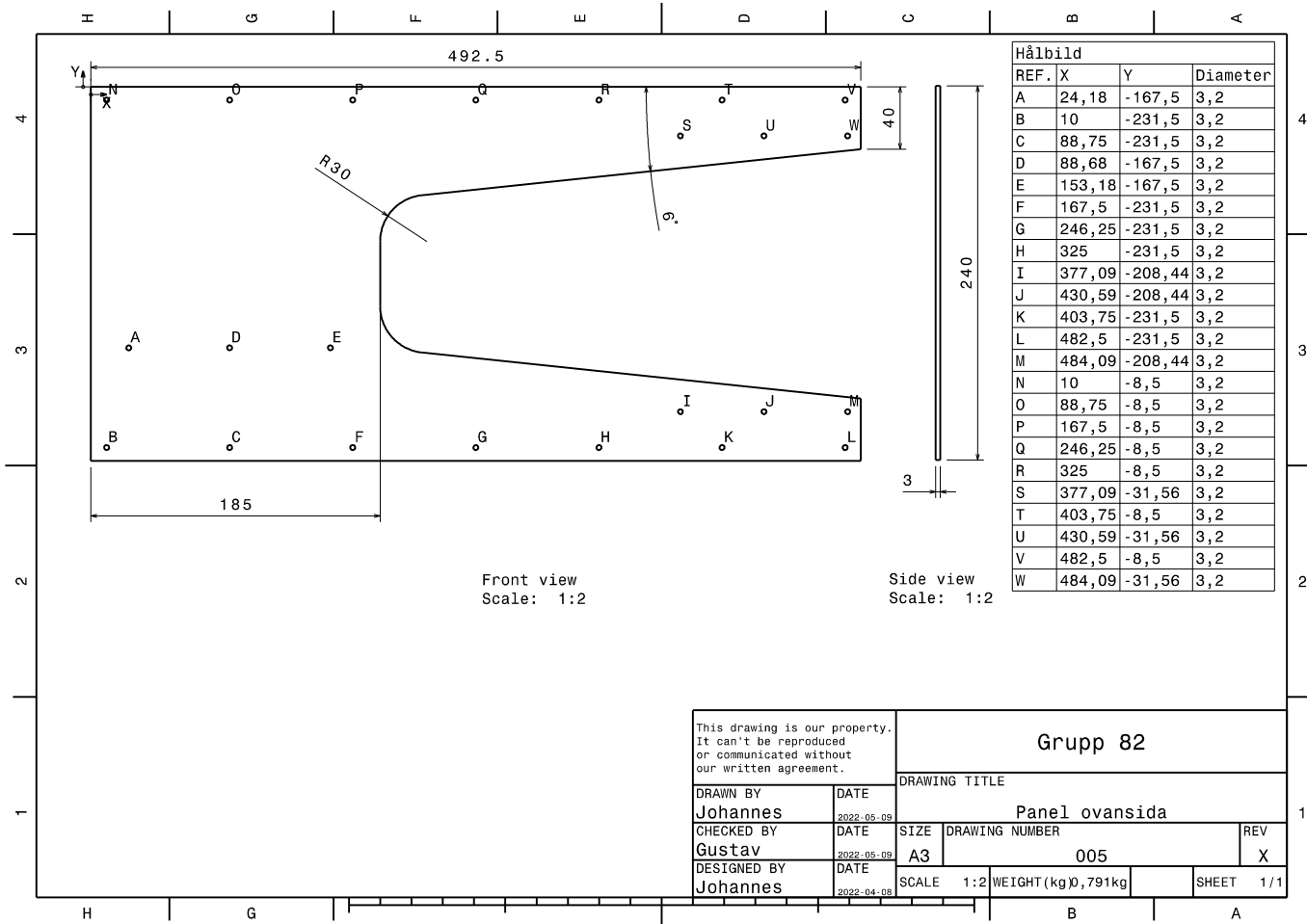
H Appendix: Konstruktionsritningar

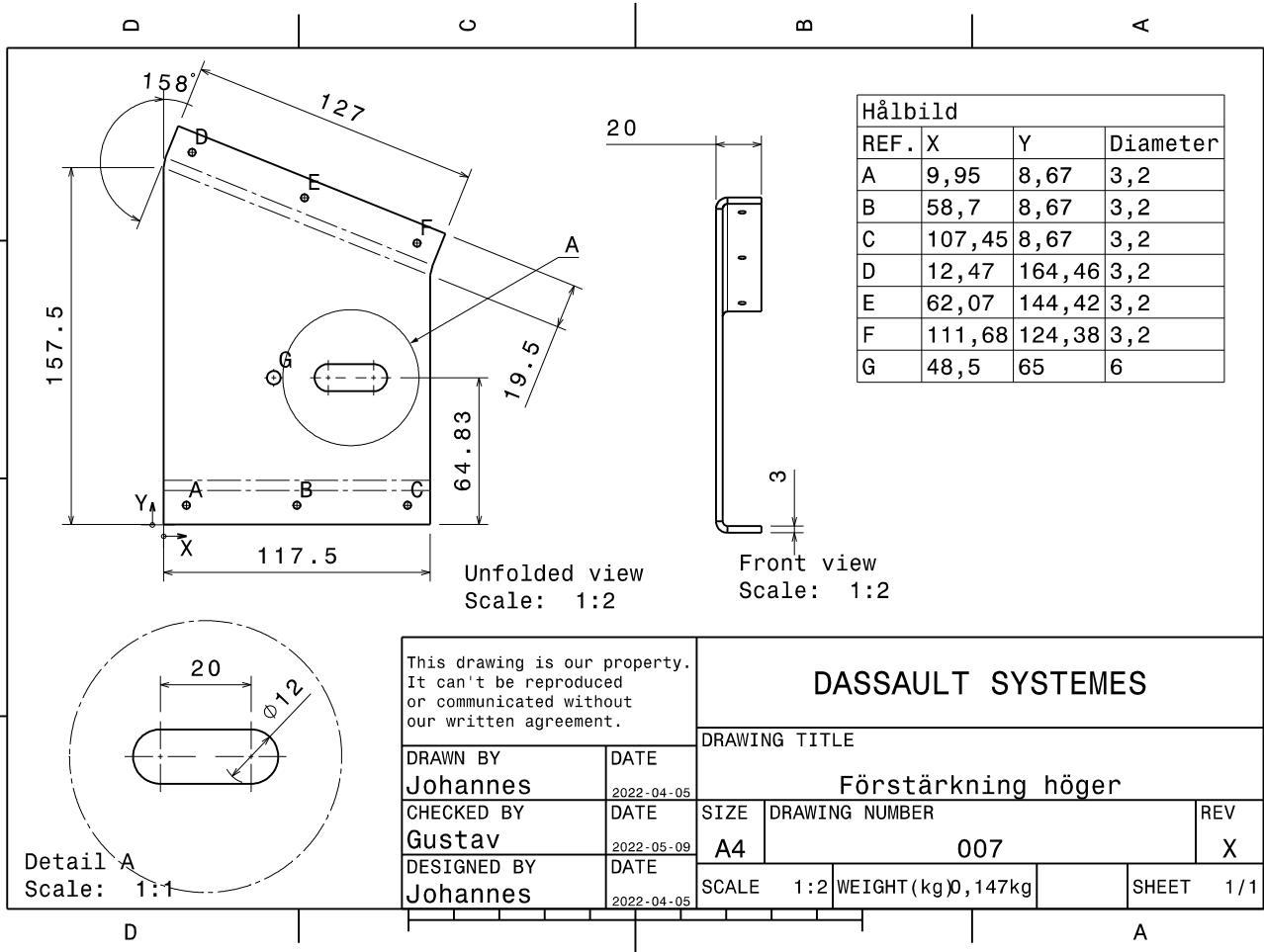
H.1 Monocoque



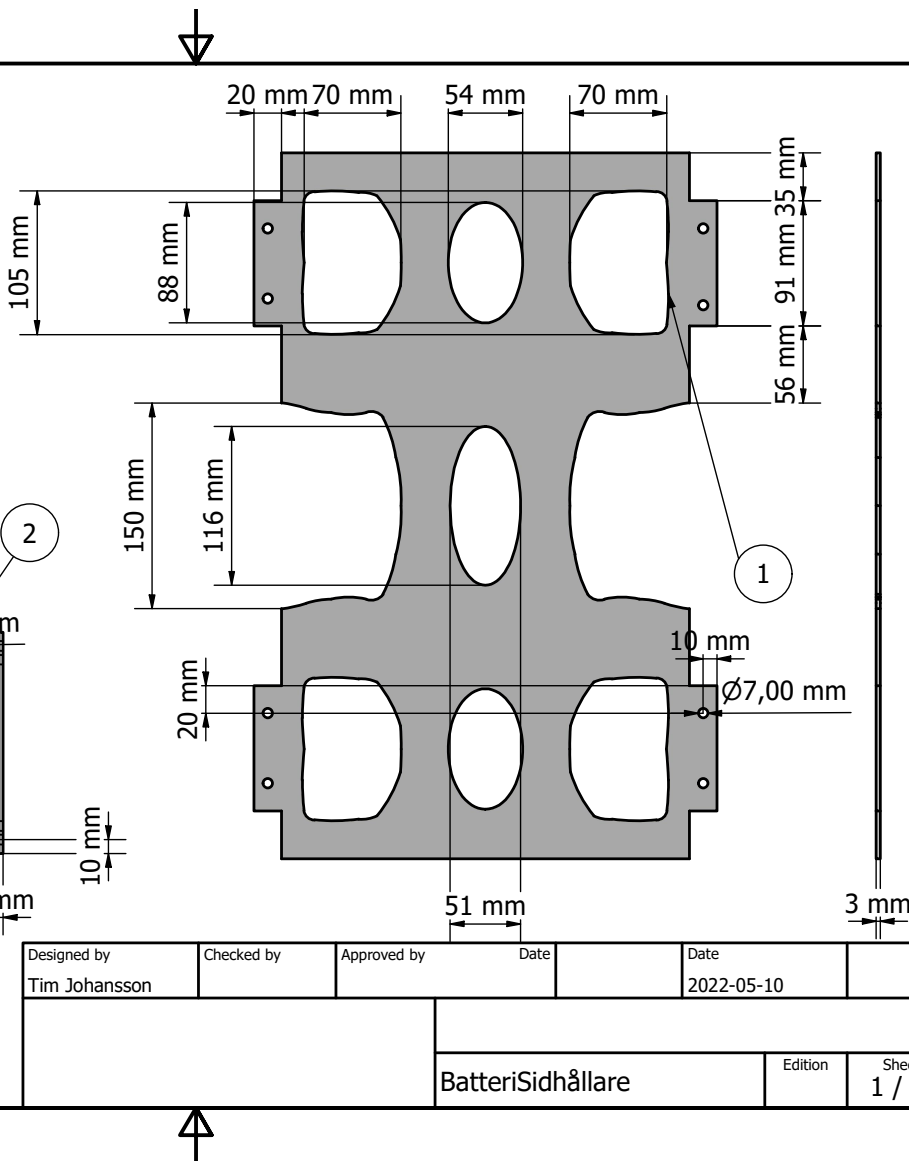
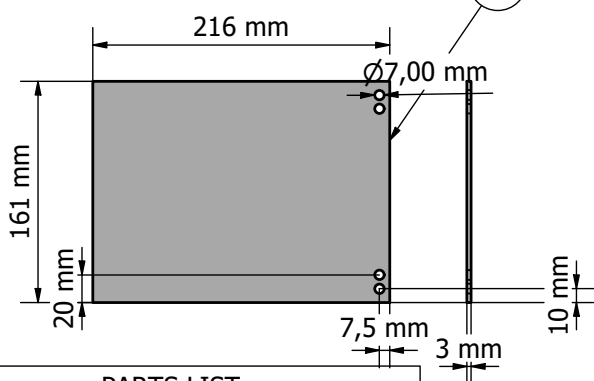
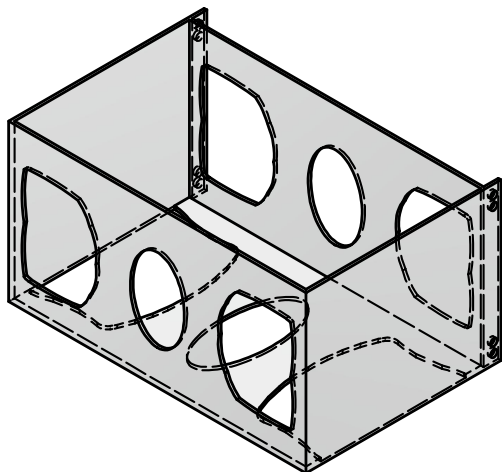








H.2 Batterihållare



PARTS LIST		
ITEM	QTY	PART NUMBER
1	1	Part 1
2	2	Part 2

Designed by Tim Johansson	Checked by	Approved by	Date	Date 2022-05-10	
			BatteriSidhållare		
			Edition	Sheet 1 / 1	

H.3 Ram

