



# CHALMERS

## Elektrisk minimotorcykel Slutrappport

Kandidatarbete - IMSX15-22-14  
Maskinteknik, Chalmers, Göteborg  
Vårterminen 2022



### **Grupp 14**

Oskar Hallmans  
Yu-Han Hua  
Lucas Kallenberg  
Elin Skönborg  
Petter Overby

### **Examinator**

Erik Hulthén

### **Handledare**

Göran Stigler

Elektrisk minimotorcykel slutrapport.

© 2022 Oskar Hallmans

© 2022 Yu-Han Hua

© 2022 Lucas Kallenberg

© 2022 Elin Skönborg

© 2022 Petter Overby

Examinator: Erik Hulthén, Docent på avdelningen för Produktutveckling.  
Handledare: Göran Stigler, Forskningsingenjör.

Kandidatarbete IMSX15-22-14  
Institutionen för industri- och materialvetenskap  
Maskinteknik  
Chalmers University of Technology  
Göteborg, Sweden

## Abstract

This report covers the manufacturing process for an electric mini-motorcycle, from initial idea to finished product. The purpose is to, in a fun and interesting way, link the development of a mini motorcycle to Chalmers University of Technology's activities. The methods follow a structured and organized product development process with matrices and tree structures. The majority of the report is divided into electrical and mechanical system as this is the basis of how the motorcycle works. The result is a functioning mini-motorcycle consisting of a self-made frame of aluminum and an electrical system consisting of, among other things, a BLDC motor for a skateboard and a battery for a lawnmower.

## Sammandrag

Denna rapport täcker framtagningsprocessen för en elektrisk minimotorcykel, från idé till färdig produkt. Syftet är att på ett roligt och intresseväckande sätt knyta an framtagningen av en minimotorcykeln till Chalmers tekniska högskolas verksamhet. Metoderna följer en strukturerad och organiserad produktutvecklingsprocess med matriser och trädstrukturer. Majoriteten av rapporten är uppdelad i elektriskt system och mekaniskt system då detta är grunden i hur motorcykeln fungerar. Resultatet är en fungerande minimotorcykel bestående av en egentillverkad ram i Aluminium och ett elektriskt system bestående av bland annat en BLDC motor till en skateboard och ett batteri till en gräsklippare.

## Förord

Ett stort tack riktas till personalen på prototyp-labbet, Jan Bragee och Reine Nohlborg, som hjälpt oss med tillverkningen av minimotorcykeln och bistått med kunskap genom projektet. Vidare vill vi också tacka handledare Göran Stigler och examinator Erik Hulthén som har handlett kandidatgruppen genom arbetet. Övriga tack riktas till CASE LAB som hjälpt oss färdigställa det elektriska systemet.

# Innehåll

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>1</b>
1.1	Bakgrund . . . . .	1
1.2	Syfte . . . . .	1
1.3	Problem . . . . .	1
1.4	Intressenter . . . . .	2
1.5	Avgränsningar . . . . .	3
1.6	Resursuppskattning . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Teori</b>	<b>5</b>
2.1	Elektriska system . . . . .	5
2.1.1	Motor . . . . .	5
2.1.2	Motordrivare . . . . .	7
2.1.3	Energikälla . . . . .	8
2.2	Mekaniska system . . . . .	10
2.2.1	Skivbroms . . . . .	10
2.2.2	Design av framgaffel . . . . .	11
2.2.3	Fjädring . . . . .	13
2.2.4	Ram . . . . .	13
2.2.5	Materialegenskaper . . . . .	16
<b>3</b>	<b>Metod</b>	<b>17</b>
3.1	Arbetssätt . . . . .	17
3.2	Förberedande komponentsuppbyggnad . . . . .	17
3.3	Funktionsanalys . . . . .	18
3.4	Kravspecifikation . . . . .	18
3.5	Konceptval . . . . .	18
3.5.1	Idégenerering . . . . .	18
3.5.2	Konceptgenerering . . . . .	19
3.5.3	Elimineringsmatris . . . . .	19
3.5.4	Pugh-matris . . . . .	19
3.5.5	Kesselring-matris . . . . .	19
3.6	Metod för val av elektriskt system . . . . .	20
3.6.1	Motor . . . . .	20
3.6.2	Motordrivare . . . . .	20
3.6.3	Batteri . . . . .	20
3.7	Konstruktion och Tillverkning . . . . .	21
3.7.1	Skisser och moodboards . . . . .	21
3.7.2	CAD-design . . . . .	21
3.7.3	CAD-ritningar . . . . .	21

3.8	Prototyp tillverkning och sammansättning . . . . .	21
3.9	Testning och validering . . . . .	23
3.9.1	Deformation och Spänningar . . . . .	23
3.9.2	Testning av det elektriska systemet . . . . .	23
3.10	Demonstration . . . . .	23
<b>4</b>	<b>Resultat</b>	<b>24</b>
4.1	Kompetensuppbyggnad . . . . .	24
4.2	Funktionsanalys . . . . .	24
4.3	Kravspecifikation . . . . .	24
4.4	Morfologisk-matris för ramkoncept och mekaniska system . . . . .	25
4.5	Konceptutvärdering . . . . .	25
4.5.1	Elimineringsmatris för ramkoncept och mekaniska system . . . . .	25
4.5.2	Pugh-matris för ramkoncept och mekaniska system . . . . .	25
4.5.3	Kesselring-matris för ramkoncept och mekaniska system . . . . .	26
4.6	Slutgiltigt koncept . . . . .	26
4.7	Elektriska systemet . . . . .	27
4.7.1	Motor . . . . .	27
4.7.2	Motorstyrning . . . . .	29
4.7.3	Batteri . . . . .	31
4.7.4	Säkerhetsåtgärder . . . . .	33
4.8	Prototyp tillverkning . . . . .	34
4.8.1	Skisser, CAD och ritningar . . . . .	34
4.8.2	Tillverkning av prototypen . . . . .	37
4.9	Testning och Validering . . . . .	44
4.9.1	Deformationer och spänningar . . . . .	44
4.9.2	Testning av det elektriska systemet . . . . .	49
4.9.3	Testning enligt kravspecifikationen . . . . .	49
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>51</b>
5.1	Att dela upp gruppen i två grupper . . . . .	51
5.2	Metoder för konceptgenerering . . . . .	51
5.3	Designprocess . . . . .	51
5.4	Tillverkningsmetoderna . . . . .	52
5.5	Elektriska systemet . . . . .	53
5.6	Testning . . . . .	53
5.7	Vidareutveckling . . . . .	54
5.7.1	Mekaniska systemet och Montering . . . . .	54
5.7.2	Elektriska systemet . . . . .	56
<b>6</b>	<b>Slutsats</b>	<b>57</b>

7 Bilagor	59
Bilaga A Gantt-schema	59
Bilaga B Moodboards	60
Bilaga C Funktionsträd	61
Bilaga D Funktionsmodell	62
Bilaga E Kravspecifikation chassi	63
Bilaga F Kravspecifikation drivlina	64
Bilaga G Morfologisk matris	65
Bilaga H Konceptkatalogen	66
Bilaga I Elimineringmatris	67
Bilaga J Pugh-matriser	68
Bilaga K Kesselringmatris	69
Bilaga L Komponentval	70
Bilaga M Komponentval	71
Bilaga N Matlabscript	72
Bilaga O Matlabscript	73
Bilaga P Matlabscript	74
Bilaga Q Matlabscript	75
Bilaga R Kopplingsschema	76
Bilaga S VESC 4.12	77
Bilaga T Skisser	78
8 Referenslista	81

# 1 Inledning

En pocketbike är en typ av minimotorcykel som används flitigt i tävlingensklassen minimoto. Dessa pocketbikes är bensindrivna, men 2015 gjordes ett kandidatarbete på Chalmers tekniska högskola i Göteborg för att utveckla en elektriskt driven sådan. På grund av designen var den väldigt svår att köra och kunde därför inte användas för dess ändamål vilket detta projekt har sin grund i. Detta projekt kommer följa designen, utvecklingen och sammanställningen av en elektrisk minimotorcykel som kan användas av Chalmers tekniska högskola under allmänna arrangemang. Projektet ämnar därför att skapa en produkt som i slutändan kommer kunna användas aktivt av skolan och dess föreningar. Då arbetet är av mer praktiskt karaktär kommer mycket kunskap från Prototyplabbet på Chalmers samt från gruppmedlemmar med tidigare erfarenhet inom ämnet. Läsaren kommer få följa arbetet från idé till färdig produkt.

## 1.1 Bakgrund

Bakgrunden med projektet kommer från maskinteknikprogrammet, ett program på Chalmers som fokuserar mycket på hållfasthet, material, mekanik och produktutveckling. De vill ha en elektrisk minimotorcykel för att, på mässor och andra arrangemang, kunna visa hur man i praktiken implementerar de ingenjörskunskaper erhållna via Chalmers utbildningar. De vill skapa intresse för teknik och visa att de ligger i framkant av teknik och hållbarhet. Målsättningen är att fem studenter, under 20 veckor, ska skapa en fungerande elektriskt driven motorcykel som är tillräcklig för att visa upp och köra.

## 1.2 Syfte

Ett litet fordon som minimotorcykeln har många ingenjörsmässigt intressanta möjligheter vilket gör att det är värt att utveckla det ursprungliga konceptet. Syftet är, liksom i det tidigare kandidatarbetet, att motorcykeln även ska vara riktad mot en publik, och därför ha den eftertraktade prestandan och utseendet för att väcka intresse hos allmänheten samt knyta an till Chalmers verksamhet.

## 1.3 Problem

Då föregående koncept som tillverkades under kandidatarbetet 2015 var svårkört på grund av för liten styrvinkel, är årets största utmaning att tillverka en minimotorcykel som är lättkörd och främst går att svänga med.

För att lösa det problemet kommer följande forskningsfrågor besvaras:

- Hur bör ramen utformas för att ge tillräcklig styrvinkel?
- Hur bör körställningen vara för att kunna manövrera minimotorcykeln på ett smidigt sätt.

Övriga frågor som bör besvaras för att kunna tillverka en fungerande elektrisk motorcykel är:

- Vilken energikälla är det bästa alternativet med hänsyn till vikt och räckvidd?
- Vilken typ av elmotor är lämpligast för en minimotorcykel?

## 1.4 Intressenter

Projektet har 6 stycken nuvarande intressenter varav 3 stycken är aktiva intressenter och 3 stycken är inaktiva intressenter. Det som avgör huruvida en intressent är aktiv eller inte beror på deras del i projektet, där en aktiv intressent direkt kan påverka utvecklingen av produkten och en inaktiv inte kan det.

- Kund/Användare (XP) - Kunden i detta fall är de som aktivt kommer använda produkten i fråga. För detta projekt, där motorcykeln kommer användas för att skapa intresse för programmet, är det i huvudsak Chalmers verkstadsförening XP, Experimentverkstaden, som kommer kunna använda den under publika sammanhang. De kommer därför vara en viktig intressant, men inte en aktiv sådan då de inte kommer vara direkt involverade i att utveckla produkten.
- Potentiell kund (Racingförare inom Svemo-klass) - Mc:n ska ha en grunddesign likt denna klass och det kan därför finnas intresse för dessa förare att ta del av slutresultat samt tillvägagångssätt till slutresultat.
- Övriga intressenter (Övriga personer med ingenjörsintresse) - Gymnasieelever som är intresserade av Chalmers, nyanställda på Chalmers, någon med verkstadsintresse eller intresse för XPs verksamhet kommer ha möjlighet att ta del av en färdig motorcykel och kan därmed tänkas hitta inspiration för eller utveckla sitt tekniska intresse. Liksom för kunderna kan dessa intressenter inte direkt påverka projektet vilket gör dem till passiva intressenter.
- Examinator och handledare (Hulthén och Stigler) - Bistår med kunskap och erfarenhet och kommer hjälpa oss framåt i projektet. De har dessutom en mer ledande roll i projektet och kan därför ändra saker direkt om de inte funkar eller är feltänkta. Därför kan dessa anses som aktiva intressenter. Det är dessa som har gett projektet till gruppen och är mer inriktade på arbetsprocessen.

- Beställare (Chalmers Prototyplabb) - Beställaren för projektet är i huvudsak Chalmers prototyplabb som enligt projektbeskrivningen presenterade idén att tillverka elektriska minimotorcyklar i form av ett kandidatarbete redan 2015. Det nuvarande projektet ska därför utgå och utveckla det tidigare genom att konstruera en liknande motorcykel utifrån de krav presenterade av beställaren. Eftersom denna intressent har stor påverkan på exakt hur produkten ska utformas och tillverkas är det därför en aktiv intressent.
- Projektgruppen - Projektgruppen är de som driver projektet och slutför en eller flera prototyper, färdig motorcykel samt rapport. Gruppen har en direktlänk till att utveckla och förändra produkten och är därför aktiva intressenter.

## 1.5 Avgränsningar

Satta av projektet:

- Ska gå att tillverka i Prototyplabbet vilket orsakar begränsade tillverkningsmetoder.
- Batteri och mer komplexa komponenter ska inte tillverkas utan får beställas från en yttre part.
- Projektet bedrivs under vårterminen 2022.
- Svetsning ska minimeras.

Satta av gruppen:

- Ska gå att underhålla en lång tid framöver i Prototyplabbet med enkla verktyg och utan specialkunskap.
- Projektet och utvecklingen av motorcykeln ska optimeras för den valda kundgruppen, det vill säga för personer på skolan som kan visa upp projektet för skolans anställda och för nyintagna på programmet. Projektet avser därför denna kundgrupp i första hand.

Satt av omvärlden:

- I det rådande världsläget är coronapandemin fortfarande ett hinder då spridningen av viruset inte garanterar att alla leveranser och beställningar kommer komma i tid. Med detta i åtanke behövs det som ska köpas in beställas tidigare och med god marginal.

## 1.6 Resursuppskattning

Projektet har ingen strikt budget. Material samt de verktyg och maskiner som krävs för arbetet och som ska användas finns till stor del tillgängligt i verkstaden. Gruppens kompetenser inom ingenjörsområdet är tillräckliga för att kunna utföra projektet, men om ytterligare kunskap skulle krävas så finns den tillgänglig genom institutioner och prototypplabbet på Chalmers. Då gruppen består utav fem personer som jobbar halvtid med projektet finns 2000 timmar att tillgå.

## 2 Teori

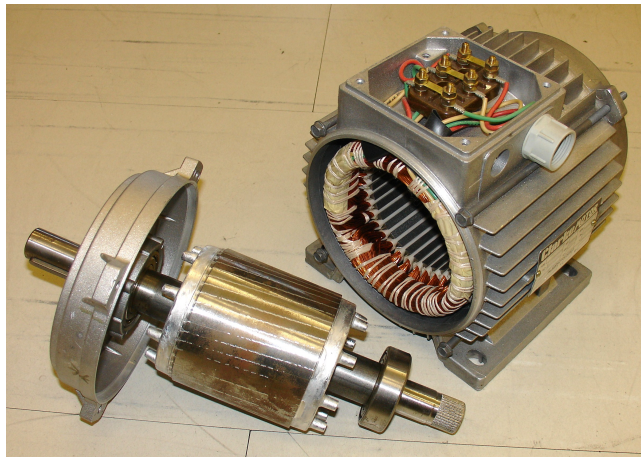
I projektet kommer minimotorcykeln delas upp i det elektriska systemet och det mekaniska systemet då dessa skiljer sig mycket. Teorin kommer därför behandla båda delarna var för sig.

### 2.1 Elektriska system

För att kunna köra en minimotorcykel behövs någon typ av motor, motordrivare(styrenhet) och energikälla. I de kommande styckena nedanför presenteras hur de fungerar och de olika varianterna som finns.

#### 2.1.1 Motor

Enligt (Jernkontorets energihandbok, 2022) är en elektrisk motor en roterande maskin som omvandlar elektrisk energi till kinetisk energi. Den kan även fungera som en generator genom att vända på processen. Det finns flera olika typer av elmotorer, men de flesta fungerar på ett liknande sätt. De består av två delar, en stillastående del (statorn) och en roterande del (rotorn). Nedan syns ett exempel på en stator och en rotor, se Figur 1. Bakgrunden till hur elmotorn fungerar är att statorns metallindningar får ström, skapar ett magnetiskt fält som i sin tur påverkar rotorns metallindningar runt metallkärnan. Rotorn är kopplad till en axel som i sin tur börjar att rotera.



Figur 1: Rotor t.v och Stator t.h (Zureks, Wikipedia 2008, CC 3.0)

Man kan dela in elmotorerna i två kategorier DC (likström) och AC (växelström) och dessa har flera underkategorier. Traditionellt har DC motorer kunnat delas

upp i shunt, serie eller separat exalterad enligt (Hughes, A., & Drury, B. (2019), egen översättning). DC motorer delades in innan tidsperioden för elektriska kraft. Detta var då för hur magnetfälten och armaturena var sammankopplade, som i sin tur avgjorde motorns egenskaper. Till exempel används shuntmotorn när man behöver konstant hastighet och seriemotorn används vid dragkrafter för att den har ett högt startmoment när den sätts igång.

Det förekommer att motorer kallas "self excited" eller "seperatly excited". Skillnaden mellan dem är hur momentet på rotorn skapas. I self excited motorer används permanentmagneter (PM) för att påverka magnetfältet. PM motorers effekt finns i spannet från ett par watt till några kilowatt medan "wound-field" motorer är kraftfullare och börjar vid ca 100 watt och går upp till (MW) effekter. Fördelen med PM motorer är att de är mindre och inte behöver någon energikälla för att skapa ett magnetfält. Dock kan styrkan på magnetfältet inte ändras vilket gör det inte går att kontrollera det.

Dock finns det nackdelar med DC och ett par AC motorer. De använder sig av kommutatorer och borstar. Kommutatorns syfte är att omvandla DC generatorns AC till pulserande DC och att strömmen alltid är i samma riktning enligt (Shultz, G. P. (1997)). Borstarna ligger i kontakt med kommutatorn och överför strömen. Problemet med borstarna är att de slits ut efter ett tag och måste bytas vilket är ett svårt och jobbigt underhåll.

Likt DC motorerna fungerar AC motorerna genom att magnetiska fält påverkar en rotor. Några skillnader är att AC motorer oftast inte behöver några borstar utan använder sig av induktion som är skapad genom elektromagnetism i statorn. Detta bidrar med att underhåll är mycket simplare på AC motorer. AC motorer är oftast tre-fas men i mindre motorer används en-fas (Hughes, A., & Drury, B.). AC motorer burkar delas in i synkronmotorer och asynkronmotorer och den vanligaste är asynkronmotorn. En-fas AC motorer har ett lågt startmoment, låg strömförbrukning och behöver ofta hjälp när man startar den (Jernkontorets energihandbok). Trefasiga växelströmsmotorer bör anses vara en näst intill ideal typ av motor. Fördelarna är att den har en hög effekt i förhållande till förbrukad mängd el, har en jämnare gång än enfasmotorn samt kräver ingen assistans vid start." (Jernkontorets energihandbok). Även (Hughes, A., & Drury, B.) skriver att det inte är så stor skillnad mellan storlek och vikt mellan AC och DC motorer som ger ut samma effekt vid samma grundhastighet. En till fördel med AC motorerna är att de oftast är billigare.

### 2.1.2 Motordrivare

Motordrivaren är den enhet som reglerar elmotorns rotation. Det finns fyra huvudtyper av motordrivare, en för respektive motortyp, det vill säga AC, DC, servo och stepper. Där varje motortyp kräver olika modifiering av signalen för att få önskat beteende på elmotorn (Thomasnet, Types of Motor Controllers and Drivers).

För att styra en DC motor finns i huvudsak tre tillvägagångssätt, "H-bridge controller", "PWM" styrning och armatur kontroll. (Thomasnet, All About DC Motor Controllers).

H-bridge bygger på fyra stycken brytare som styrs i par. När dessa par sluts så sluts kretsen i elmotorn. Genom att sluta brytarna i olika konfigurationer så kan polariteten på motorn ändras och på så vis kan motorn rotera åt båda håll (Thomasnet, All About DC Motor Controllers).

PWM - Pulse Width Modulation varierar varvtalet genom att skicka periodiska spänningspulser till motorn. Genom att använda kondensatorer slätas pulserna ut till en jämn kurva med lägre spänning. Spänningen ut till motorn bestäms av spänningen på källan och hur stor duty cycle som PWM har. Exempelvis, en 44V energikälla och 25% duty cycle motsvarar 11V ut till motorn. En PWM kan med fördel kombineras med en H-Bridge för att få både rotationsstyrning och bra varvtalsstyrning (Thomasnet, All About DC Motor Controllers).

Den sistnämnda metoden är armaturkontroller. Till skillnad från PWM, som styr spänningen, styr den här metoden strömmen. Genom att ändra strömmen genom antingen statorn eller ankarspolen ändras varvtalet på motorn. Strömmen styrs genom en variabel resistor. Ökat motstånd på ankarspolen resulterar i deacceleration och ökat motstånd på statorn leder till acceleration. Den ökade resistansen i kretsen leder till lägre verkningsgrad då värmeförlusterna ökar med ökad resistans (Thomasnet, All About DC Motor Controllers).

För att styra AC motorn finns främst två stycken tillvägagångssätt. "VVI" och "PWM" som nämnts tidigare. (Thomasnet, All About AC Motor Controllers).

VVI - Variable voltage inversion är när växelspänningen från energikällan likriktas till en likspänning, vilket sedan med diskreta steg klipps ihop till en sinusvåg. (Thomasnet, All About AC Motor Controllers).

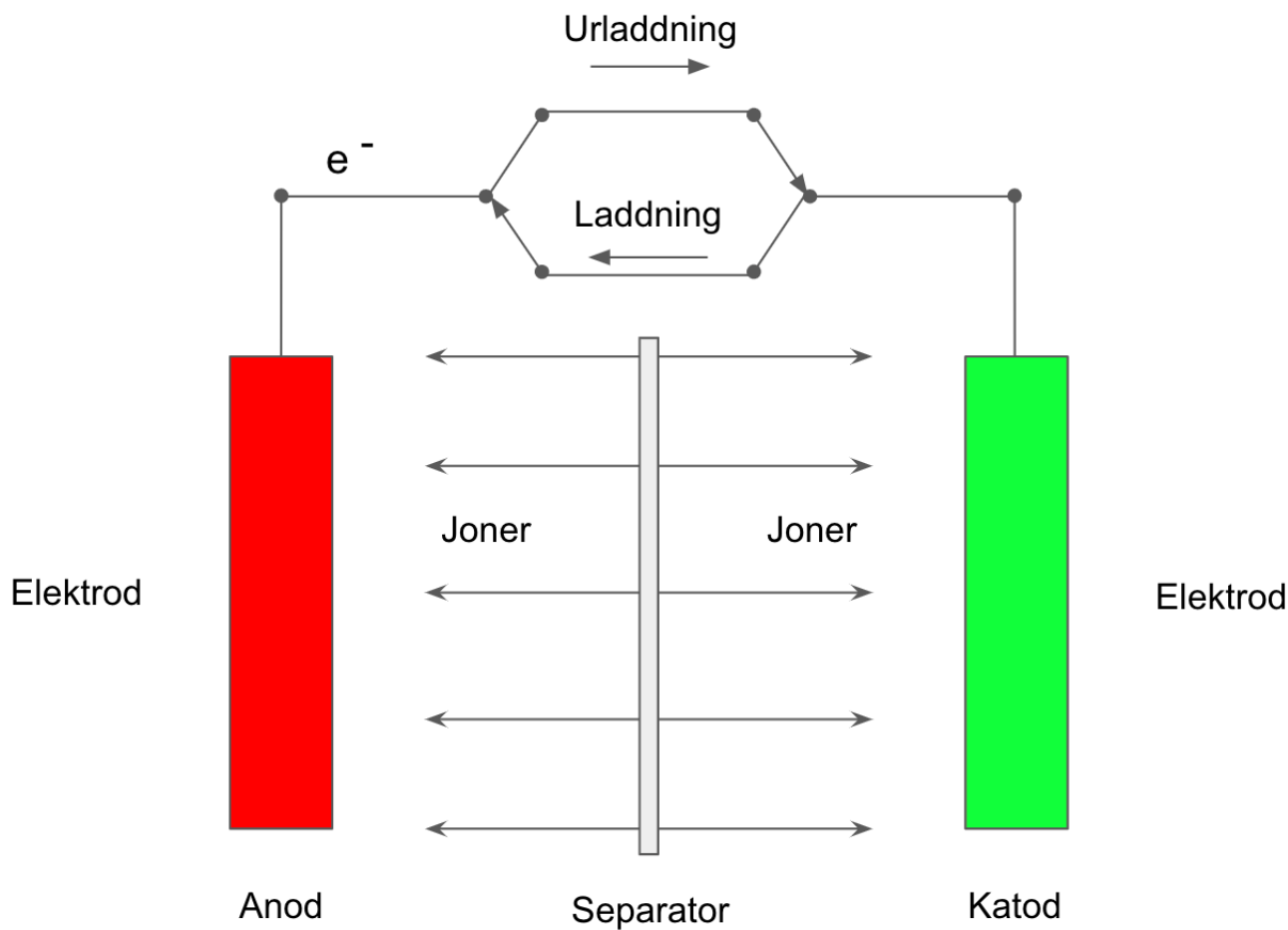
PWM - Pulse Width Modulation. Genom att snabbt pulsera strömmen kan en sinusvåg simuleras. Genom att öka/minska densiteten på dessa pulser kan stor-

leken på sinusvågen justeras vilket påverkar elmotorns varvtal. (Thomasnet, All About AC Motor Controllers).

### **2.1.3 Energikälla**

Det finns olika sätt att lagra energi. Det går att använda sig av batterier, vätgas/bränsleceller, svänghjul, fjädrar och superkondensationer med fler.

Batterier kan hittas lite överallt och dagens fordon och redskap börjar övergå till att använda sig av batterier. Ett batteri är uppbyggt av tre huvudkomponenter. Det är två elektroder och en elektrolyt. Den positiva elektroden kallas för katod och den negativa kallas för anod. Katoden och anoden är aldrig i kontakt med varandra utan är vanligast omslutna av en elektrolyt som kommer oftast i form av en vätska, dock kan det finnas elektrolyter som är fast eller gel form. Om det är en vätska kan det vara till exempel organiskt lösningsmedel eller vatten som innehåller något typ av salt för att höja jonernas ledningsförmåga enligt (Batteriföreningen, 2019). Battericellen innehåller flera delar, några av de viktigare är strömledare från elektroderna och separator som tillåter jonerna att gå mellan elektroderna utan att elektroderna rör vid varandra. Detta kan ses nedan i Figur 2.



Figur 2: *Batteriets funktion*

Ett batteri är uppbyggt av flera battericeller som kan kopplas i serie, parallell eller både och för att sedan få ut olika spänningar och kapaciteter som efterfrågas (Batteriföreningen). Materialvalet av alla komponenter i battericellen avgör battericellens egenskaper. Elektrodmaterialiet avgör spänningen, elektrolyten påverkar i vilken temperatur som batteriet kan verka. Sedan spelar alla delar samman för att påverka hur lång drifttid, effektuttag och energinnehåll. Alla batterier har olika syften och applikationer (bilbatteri, vanliga AA batterier, mobilbatteri och så vidare) och designas utefter det.

## 2.2 Mekaniska system

Under denna rubrik kommer det mekaniska systemet redogöras. Kapitlet berör mekanismer som är nödvändiga samt relevanta för att bygga och förstå hur en minimotorcykel är uppbyggd.

### 2.2.1 Skivbroms

En skivbroms är en variant av broms som används för att bromsa fordon. Bromsningen sker med hjälp av friktion tillförd indirekt från användaren. Skivbromsar kan bestå av flera delar, men bryts ofta ned till tre primära element; bromskiva, bromsok och bromsbelägg (MAT Foundry Group Limited, 2022).

Bromskivan är till utseende en cirkulär disk vars huvudfunktion är att omvandla rörelseenergi till värmeenergi, det vill säga skapa friktion som medför bromsning. För att överföra bromsmomentet är bromskivan fastmonterad på hjulaxeln. Detta betyder att hjulet bromsas ned då bromsskivan bromsas ned, vilket i sin tur leder till att hela fordonet bromsas ned. Friktionen skapas då bromskivan kläms ihop mellan två bromsbelägg som är monterade på ett bromsok. Bromsoket är fastmonterat på fordonet. Bromsbeläggens funktion är alltså att skapa friktion tillsammans med bromskivan och är därför skapade i ett visst material som ökar friktion, men även tål höga temperaturer och tryck. Bromsoket är utformat på ett sådan sätt att bromskivan kan klämmas när kraft överförs från användaren, se figur 3, (MAT Foundry Group Limited, 2022).



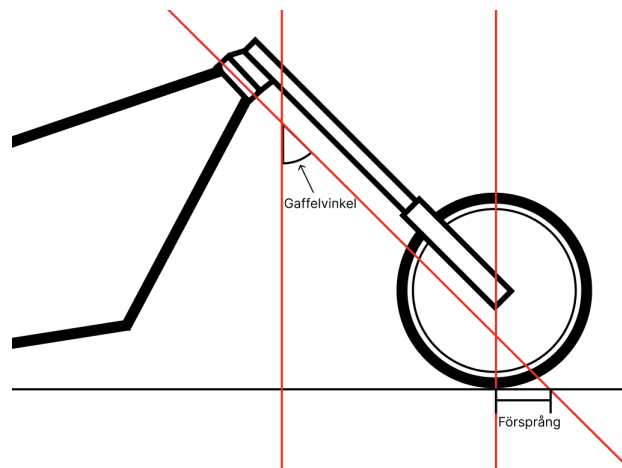
Figur 3: Bild på fastmonterad skivbroms på cykel. Figuren till vänster visar en fastmonterad skivbroms i bak på en cykel. Figuren till höger visar bromskivan mellan bromsbeläggen som i sin tur sitter i bromsoket.

Skivbromsar på tvåhjuliga fordon som motorcyklar kan monteras på bak- och/eller framhjul. Den främre skivbromsen är effektivare för bromsning i jämförelse med den bakre. Detta beror på att den främre bromsen får mer friktion/kontakt med underlaget vid nedbromsning eftersom vikten av fordonet och föraren vill röra sig framåt. När bakbromsen brukas finns det risk att det bakre hjulet släpper kontakt med underlaget, vilket leder till att fordonet hamnar i sladd och föraren utsätts för fara. Även detta beror på att fordonets och förarens vikt vill röra sig till det främre hjulet vid bromsning (Lazy Motorbike, u.å). Vid användning av hydrauliska skivbromsar kan en bromsvåg användas som justerar trycket i bromsen beroende på hur vikten av föraren fördelas fram och bak.

### 2.2.2 Design av framgaffel

En motorcykels framgaffel är essentiell för konstruktionen då det är denna del som är förarens huvudsakliga input till resten av fordonet. Utöver att i vanliga fall inneha ett styre med både broms- och gashandtag är framgaffeln, enligt (Klyve et al. (2014)), även förarens huvudsakliga sätt att dirigera motorcykelns riktning vid körning. Det är enligt dem delvis framgaffelns jobb att assistera vid svängning av motorcykeln, i kombination med förarens egen lutning som effektivt förflyttar tyngdpunkten och utnyttjar däckens rundade profil för att dra in motorcykeln mot en kurvas mitt.

Hur framgaffeln designas kommer därför ha en stor påverkan på motorcykelns svängkaraktär, vilket betyder att en handfull viktiga saker måste hållas i åtanke. Enligt (Kitrelle, R. (2009)) kommer motorcykelns stabilitet och karaktär huvudsakligen bestämmas av två olika saker som beror utav varandra. Den viktigaste av dessa och den som kommer vara enklast att designa för och justera är motorcykelns "rake" eller gaffelvinkel. Detta är liksom namnet antyder vinkeln mellan styrstången och en lodrät linje vid fästet med ramen och hur stor denna är kommer enligt (Kitrelle, R. (2009)) ha en påtaglig effekt för motorcykelns stabilitet. Denna vinkel påverkar även nästa viktiga sak att ha i åtanke, nämligen motorcykelns "trail" eller försprång som, enligt (Kitrelle, R. (2009)), definieras som det vågräta avståndet mellan en linje parallell med gafflarna och däckets kontaktyta med marken, se Figur 4.



Figur 4: Framdel av motorcykel där gaffelvinkel och försprång visas

Enligt (Kitrelle, R. (2009)) fungerar dessa genom att, då de ökas, även öka motorcykelns hjulbas. När detta sker kommer två olika karaktärsdrag för motorcykeln förändras i takt med denna ökning. Då vinkeln bli större och hjulbasen ökar kommer motorcykeln enligt (Kitrelle, R. (2009)) bli stabilare vid högre hastigheter men svårare att kontrollera vid låga. På samma sätt kommer den att bli mer ostabil vid höga hastigheter och lättare att kontrollera vid låga om vinkeln istället minskas.

Som indikerat tidigare i detta kapitel har alltså olika sorters motorcyklar olika vinkel för framgafflen, vilket kommer påverka hur den kör och svänger. Exakt hur detta implementerats för olika motorcykelsorter beskrivs av (Lindemann, M. (2015)) som fastslår att en "chopper", se Figur 5a, vanligtvis har en styrvinkel på ungefär 45 grader medans "cruisers", se Figur 5b, har 32 grader, touringmotorcyklar, se Figur 5c, 29 grader och sportmotorcyklar, se Figur 5d, 25 grader. Vinkeln, som tidigare nämnt, har alltså en påtaglig effekt på motorcykeln och små förändringar hos den kan påverka dess köregenskaper.



(a) Chopper



(b) Cruiser



(c) Touring



(d) Sport

Figur 5: Gaffelvinkel Chopper- jämfört med Cruiser-, Touring- och Sportmodell

### 2.2.3 Fjädring

Liksom bilar och en multitud av andra fordon har vanliga motorcyklar fjädring och dämpning kopplad mellan hjul och ram för att i huvudsak absorbera ojämnheter i vägen och därmed bidra med en skönare körupplevelse för föraren. Denna fjädring och dämpning kan uppnås på olika sätt med olika maskinelement, men generellt sett utförs detta arbetet av någons sorts fjäder som absorberar ojämnheter och en dämpare som förhindrar att fjädern oscillerar för mycket. Minimotorcyklar däremot förlitar sig enligt (Vlahos, J. (2004)) istället på däckens och ramens förmåga att "fjädra" vid kraftapplicering istället. Denna sorts motorcykel har alltså generellt inga extra komponenter för fjädringen utan förlitar sig helt på redan existerande komponenter.

### 2.2.4 Ram

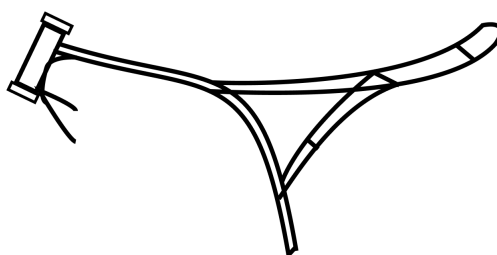
För en vanlig motorcykel har ramen som funktion att delvis både bidra med upphängning för alla viktiga komponenter såsom drivlinan, bakre fjädring och

framgafflen men utöver detta även bidra föraren med en plats att sitta och ta upp alla krafter som orsakas av dessa saker. Ramen måste därför vara stark nog att inte böjas eller knäckas vid användning, samtidigt som den är designad med tillräckligt många ankarpunkter för motorcykelns vitala komponenter.

Detta kan enligt (carbiketech.com. (2020)) implementeras på många olika sätt och genom användning av olika material. För vanliga ramar är det normalt att använda antingen stål eller aluminium, men material såsom magnesium och kol-fiber förekommer också i vissa fall. Hur ramen sedan utformas är till stor del beroende på vilken sorts motorcykel som skall konstrueras och till vilket ändamål.

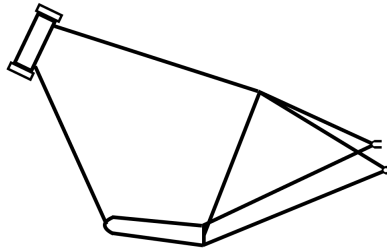
Det finns en handfull olika ramstrukturer som brukar användas, enkelt kan ramstrukturerna grupperas som ryggrads-, vagg- och "omfamnings"ramar. Grundkonceptet är detsamma för alla, nämligen att bidra med ridgidity och styrka samt skapa ankringspunkter, men tillvägagångsättet är ganska annorlunda.

Ryggradsramar, se Figur 6, består, som namnet antyder, av en "ryggrad" som går längsmed toppen av motorcykeln varpå alla komponenter sedan "hängs på". Denna ramdesign är ganska enkel och billig att tillverka, men saknar den styrka och ridgidity som kan önskas av motorcykel ämnad för högre prestanda.



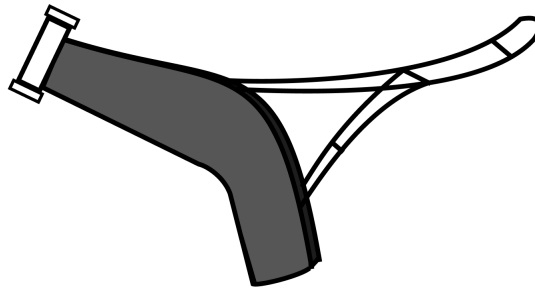
Figur 6: *Ryggradsram*

Vaggaramar, se Figur 7, liknar ryggradsramarna men utöver ryggradenså har denna design även en eller två extra "armar" som går ner runt motorfästet och bort mot svingarmen, där antalet avgör huruvida ramen är en s.k. enkelvagg eller dubbelvagg. Jämfört med Ryggradsramen är denna struktur mer komplicerad, brukar mer material och är därför även tyngre. Däremot är både enkel- och dubbelvaggan betydligt stabilare och tål högre krafter jämfört med den tidigare strukturen, och är därför betydligt bättre vid både manövrering och bromsning.

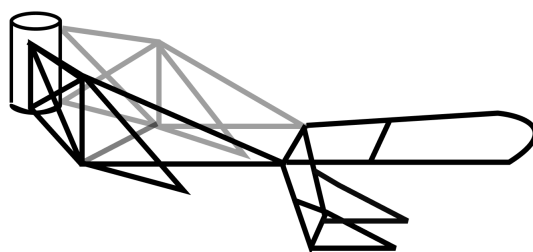


Figur 7: *Vaggaram*

Omfamningsramar, se Figur 8, däremot är väldigt annorlunda jämfört med tidigare strukturer, då dessa sällan har den "rygggrad" som är närvarande i dem. Istället fungerar dessa strukturer, såsom namnet antyder, att de "omfamnar" alla viktiga komponenter och vanligtvis skapar en väldigt kort koppling mellan styrhuvudet som håller fast framgafflarna och motorcykelns svängarm som håller fast bakhjulet. Detta gör inte bara motorcykeln stark och rigid, men minimerar även materialet som används. Denna ramstruktur är därför väldigt vanlig bland motorcyklar där prestanda är viktig, eller där en stark men lätt konstruktion krävs. En variant på detta ramkoncept är spaljeramen, se Figur 9, som också den skapar en kort, omfamnande koppling mellan styrhuvudet och svingarmen men som, till skillnad från det tidigare konceptet, designas som ett fackverk för att kunna minska materialet ytterligare men ändå behålla mycket av styrkan.



Figur 8: *Omfamningsram*



Figur 9: *Spjälram*

För att applicera detta på en minimotorcykel kan, enligt (Cavallari, D. (2022)), samma principer som för vanliga motorcyklar användas. Detta innebär alltså att ramen för minimotorcykeln kan designas likt ramen för en stor motorcykel av samma klass, och med samma kriterier som hos den motorcykeltypen. Alltså kan ramen väljas utifrån de ovanstående strukturerna och sedan endast skalas ner.

### 2.2.5 Materialegenskaper

Som tidigare nämnt är de huvudsakliga materialvalen för en motorcykel antingen stål eller aluminium då båda dessa material har egenskaper som är väldigt eftertraktade vid tillverkningen av motorcykeln. Konstruktionsstål har enligt (Stemne, D. (2015)) exempelvis en väldigt hög sträckgräns på 500 till 1300 MPa vilket gör materialet väldigt starkt och tåligt mot pålagda krafter. Det är dessutom svetsbart och relativt billigt. Däremot är stål relativt tungt i jämförelse med andra material.

Aluminium är i kontrast mycket lättare än stål och, för exempelvis aluminiumlegeringen 1050A som enligt (aalco.co.uk. (Hämtat 2022)) har en sträckgräns på 145 MPa, är denna metall ganska enkel att jobba med. Det är tydligt från denna sträckgräns att aluminium är en betydligt mjukare metall än stål, men som tidigare nämnt ändå stark nog att kunna göra upp strukturella delar av motorcykeln. Liksom stålet (ca 10kr/kg) är även aluminium också relativt billigt (ca 17kr/kg) (Hedesunda saminköp Ab, 2020) och trots att materialpriserna har gått upp senaste året är förhållandet mellan de ungefär detsamma.

Utöver dessa material används även titan och kolfiber vid tillverkning av motorcyklar. Båda dessa material är väldigt starka och lätta, men till kostanden av ett väldigt högt pris (titan ca 45 000 kr/kg (Magnus Hansén, 2013)).

## 3 Metod

Metoden som användes under arbetets gång har till viss del boken *The Value Model* (Lindstedt & Burenus, 2016) som grund. Metoden valdes ut på grund av att den innefattar vitala moment och steg som krävs för ett produktutvecklingsprojekt. Utöver det har det främst fokuserats på fyra delar; att söka inspiration och definiera projektet, att ta fram relevant teori och göra en kompetensuppbyggnad, att ta fram och sälla bland koncept, skisser och cadmodeller samt prototypbygge.

### 3.1 Arbetssätt

Vid planeringsstadiet redogjordes ett syfte och mål med projektet. Det skapades ett Gantt-schema, se Bilaga A, för att konkretisera viktiga datum, miltstolpar och deadlines. I ett tidigt stadie skedde även en diskussion kring hur arbetet skulle delas upp i mån om gruppmedlemmarnas kompetenser och preferenser. Resultatet av diskussionen blev att gruppen delades upp i två mindre grupper, en drivlinegrupp och en grupp ansvarig för chassit. Då grupperna arbetat relativt självständigt så kommer vissa kapitel i rapporten att bli indelat i de två delarna.

Som nämnts tidigare är detta en praktiskt och experimentell studie vilket medför att mycket information och kunskap kommer från Prototypplabbet och tidigare erfarenheter.

### 3.2 Förberedande kompetensuppbyggnad

I projektets första stadier skedde en kompetensuppbyggnad som lade grund för arbetet. Gruppen har mycket erfarenhet av produktutveckling och är välbekanta med hur man metodiskt kan komma fram till olika koncept. Därför lades fokus istället på att bygga upp kompetens för motorcyklar och att samla idéer om hur det skulle kunna se ut i miniformat. Detta innefattade en undersökning där det tidigare arbetet ”Elektrisk Minimotorcykel Kandidatarbete PPUX03-15-06”, undersöktes och diskuterades inom gruppen. Det samlades även inspiration från bilder, filmer, företag och generell kunskap om elektriska drivlinor och chassin. Flera företag (Cake, Vässla och Rgnt) som besitter erfarenhet inom området kontaktades för att kunna genomföra kvalitativa kundundersökningar.

Det valdes att göras en kvalitativ undersökning med en representant från en av intressenterna. Det innebar en semi-strukturerad intervju, alltså en intervju där vissa frågor är förberedda och vissa kan komma under tiden. Till skillnad från en enkät, där man kan få många, men kortfattade svar, har en semi-strukturerad intervju fördelen att man, både som intervjuare och deltagare, kan ställa följdfrågor om det

är något svar eller någon fråga som är svårförstådd och där med få ett kvalitativt resultat. Detta gjordes för att kunna specificera kundbehov kravspecifikationen.

### **3.3 Funktionsanalys**

En funktionsanalys användes för att bryta ner systemet i mindre delar. En funktionsanalys kan utföras på flera olika sätt, exempelvis trädstruktur, flödesschema eller funktionell modell. Syftet är att få en tydligt organiserad struktur på organ och funktioner och förenkla arbetet med att hitta lösningar, koncept och komponenter för att längre fram sedan förverkliga dem. För att få en tydlig bild över systemet användes det ett funktionsträd med alla delsystem. Utifrån funktionsträdet gjordes sedan en funktionsmodell där alla delsystem kopplades ihop med verb för att bilda tydliga funktioner. Vissa av funktionerna var oönskade och markerades därför med en röd linje, medan de önskade funktionerna markerades med en grön linje.

### **3.4 Kravspecifikation**

I en kravspecifikation ska krav och önskemål tydligt specificeras. Detta gjordes för att få en bra bild över vad intressenternas önskemål var och vilka krav detta ställer på de ingående komponenterna. Önskemålen har en viktning för hur önskvärt det är att de uppnås där 5 är hög prioritet och 1 är låg prioritet. Kravspecifikationen var en central del i utvecklingsstadiet då koncepten som tas fram måste uppfylla kraven som ställts. Då minimomotorcykeln består av två centrala system, drivlina och chassi, upprättades två kravspecifikationer för dessa.

### **3.5 Konceptval**

I detta kapitel presenteras de olika metoderna som använts för att generera ett slutgiltigt koncept. Konceptvalet är till för att gallra ut de olika problem och lösningar tagits fram från idégenereringen med hjälp av matriser. De som användes var morfologisk, eliminering-, Pugh- och Kesselring-matris. Dessa används för att systematiskt kombinera dellösningar och få fram många olika koncept och sedan kunna objektivt välja ett eller flera koncept att jobba vidare med. Det går även att med hjälp av dessa matriser att korsbefrukta framtagna koncept och plocka fram den bästa lösningen.

#### **3.5.1 Idégenerering**

För att ta fram så många olika koncept som möjligt genomfördes en idégenerering för alla de olika delfunktioner som identifierats. Till varje funktion genererade

gruppen ett antal olika dellösningar.

### 3.5.2 Konceptgenerering

Efter att dellösningar tagits fram skapades en koncepttabell med flera olika helhetskoncept genom att kombinera alla olika dellösningar för varje enskild funktion.

### 3.5.3 Elimineringssmatris

För att sälla genom alla de olika koncept som hade tagits fram gjordes en elimineringsmatris som är en effektiv metod för att underkänna de koncept som inte uppfyller de mest grundläggande kraven för minimomotorcykeln. Kriterierna i matrisen är de krav som har ställts i kravspecifikationen. Elimineringssmatrisen ställdes upp där ett '+' innebar att kravet uppfylls och ett '-' innebar att det inte uppfylls. Om ett koncept fick ett eller fler '-' underkändes det och eliminerades med undantag för om något koncept eller kriterium var vagt och då behövde vidare information eller kontrolleras i kravspecifikationen.

### 3.5.4 Pugh-matris

Pugh-matrisen är ett verktyg som används för gradera olika lösningar utefter utvalda kriterier. Matrisen gör det möjligt för analytikern att strukturera upp och jämföra olika egenskaper samt funktioner effektivt och samtidigt få det lätt överskådligt.

En Pugh-matris användes för att ännu en gång skulle sälla ner koncepten till färre alternativ. Ett koncept användes som referens och utifrån det graderades resterande koncept med +, 0 eller - beroende på om kriterierna som jämfördes var bättre, lika bra eller sämre, i respektive ordning. Kriterierna som koncepten jämfördes med var önskemålen i kravspecifikationen. En ytterligare Pugh-matris gjordes sedan för att säkerställa och få ett mer tillförlitligt resultat. I det andra genomförandet användes det koncept som tidigare fått högsta rangordning som referens och koncepten genomgick graderingen igen.

### 3.5.5 Kesselring-matris

För att få fram ett slutgiltigt koncept användes en Kesselring-matris. Detta är ett effektivt hjälpmedel för att komma in på detaljnivå i de olika koncepten. Då det var många koncept som endast hade små skillnader användes denna metod för att kunna få fram den allra bästa lösningen. Kriterierna kom från genomförd intervju samt krav från examinator och handledare. Med en Kesselring-matris ges ett värde för vilka kriterier som är viktigast samt ett poäng för hur väl varje

koncept uppfyller det kriteriet. Detta räknades sedan till slutgiltigt värde och det med högst värde var det slutgiltiga konceptet.

## 3.6 Metod för val av elektriskt system

I detta avsnitt beskrivs hur motor, motordrivare och batteri kommer att väljas för att uppnå de krav som ställs av kravspecifikationen.

### 3.6.1 Motor

För att välja en motor räknades först dess påverkande krafter ut. Då krävdes en friläggning där tillhörande värden kom från kraven och önskemålen i kravspecifikationen. Därefter gjordes ekvationer som kunde räkna ut olika parametrar. Några parametrar som behövdes var:

- Moment och effekt för acceleration i uppförsbacke
- Moment och effekt för acceleration på plan mark
- Moment och effekt för konstant hastighet i uppförsbacke
- Moment och effekt för konstant hastighet på plan mark
- Varvtal
- Snitteffekten för att räkna ut batteriets kapacitet

Med de värdena gick det att räkna ut vad för batteri som behövdes och vilken motordrivare som skulle passa med den utvalda motorn.

### 3.6.2 Motordrivare

Viktiga aspekter vid val av motordrivare är vilken typ av motor som ska användas, högsta tillåtna ström och spänning samt vilka sensorer som önskas.

### 3.6.3 Batteri

Innan valet av batteri behövde motor och motordrivare bestämmas då batteriet måste kunna förse resten av systemet med rätt spänning. En annan viktig batteriparameter, utöver spänningen, är kapaciteten mätt i Amperetimme (Ah), detta står för hur mycket ström batteriet kan leverera under ett visst antal timmar. Exempelvis om ett batteri på 60 Ah laddas ur med en konstant ström på 10 A kommer det vara urladdat efter 6 timmar. För att kunna räkna ut kapaciteten behöver energiåtgången under en normal körcykel beräknas, vilket utfördes med hjälp av

ett Matlabscript då det är ett bra verktyg för att göra beräkningar på ett smidigt och överskådligt sätt.

## **3.7 Konstruktion och Tillverkning**

När det bästa konceptet hade tagits fram började planeringen och utförandet av hur den skulle tillverkas. För att kunna uppfylla de krav som tidigare satts i kravspecifikationen behövdes det göras beräkningar och olika prototyper för att testa detta. Under projektets gång skapades olika prototyper av olika dellösningar för att säkerställa att de fungerade och om det behövdes ändras på något gjordes justeringar var efter. Därefter sammanställdes allt till en färdig prototyp. Detta kapitel presenterar de olika metoder som använts för att ta fram det slutliga resultatet. Underrubrikerna som behandlas redovisas i kronologisk ordning.

### **3.7.1 Skisser och moodboards**

För att få en idé kring hur utseendet och designen på motorcykeln skulle kunna vara gjordes flertalet skisser och moodboards. Moodboardsen skapades för att se hur designidéer såg ut hos olika personer i gruppen och vilka uttryck samt tankar som vara gemensamma. Då kravspecifikationen hade etablerats gjordes en mall utifrån de dimensioner som hade satts, som fick fungera som en grund för skisserna. Skisserna sållades sedan ner för att komma fram till ett slutgiltigt designförslag.

### **3.7.2 CAD-design**

När en skiss var vald börjades CAD-modelleringen. Med de krav och önskemål på dimensioner och övriga funktioner modellerades de olika delarna med mycket dialog mellan formgivarna för att fastställa en så bra och verklighetstrogen design som möjligt.

### **3.7.3 CAD-ritningar**

Då många av delarna bearbetades genom vattenskärning behövdes ritningar anpassade just för det. Detta innebar att alla delar som skulle bockas behövde ha ritningar med obockade kanter, så kallad "sheet metal design". Övriga ritningar behövde göras och måttsättas både på delmonteringar, men även på enskilda delar för att sedan kunna tillverka dem.

## **3.8 Prototyp tillverkning och sammansättning**

Med hjälp av 3D-skrivning, pappmodeller och metallbearbetning gjordes ett antal prototyper. Prototyper är en vital del av produktutveckling eftersom det är här

mycket svar fås kring hur de tänkta delarna fungerar i tillverkning och passform.

Pappmodellen gjordes i kapa-papp och skars ut med en mattkniv. Därefter konstruerades den utefter CAD modellen för att få en idé om hur motorcykeln skulle kunna komma att se ut. Att göra en pappmodell är betydligt mycket enklare, billigare och snabbare än att göra en prototyp i metall då papper/kartong är lätt att arbeta i, väger mindre och går att bearbeta med enkla verktyg.

När det sedan var dags att realisera konceptet i metall användes många olika bearbetningsmetoder. Bockning användes för att vika metallplåt till olika vinklar. Fördelarna är att det går fort att tillämpa och det kan göras precis efter önskad vinkel. Nackdelarna, då det görs manuellt, är att det inte blir ett exakt resultat som förväntat då vinkeln på bocken kan bli för stor eller för liten. Vid bockningen var det viktigt att tänka på vilket håll valsriktningen i plåten går. Om bocken görs tvärs över valsriktningen töjs det ut och i kanten blir bocken stark. Bockas det istället längs med är det större risk för sprickbildning. En annan variant av bockning som användes var kantpressning. Detta gjordes i en maskin där plåten, istället för att vikas upp för hand, trycktes ner i en klyka och bildade en kant.

Svarvning användes för att avverka metallrör och solida stänger för att få de till rätt dimensioner och för att få en bättre yta. Att svarva är ett väldigt bra hjälpmedel för att få jämna och exakta dimensioner. I en svarv kan man även borra och gänga hål, något som utnyttjades många gånger då man i en svarv har kvar biten inspänd på samma ställe och därmed vet att man kommer få helt raka hål.

Trots att svetsar skulle minimeras krävdes det svetsing på vissa ställen. Svetsning är en bearbetningsmetod som används för sammanfoga två metaller av samma sort så de sitter ihop. Det fungerar lite som ett lim fast man smälter ihop metallerna. Vidare används ofta även ett tillsatsmaterial för att försäkra sig om att det finns tillräckligt med metall att smälta. Viktigt är att använda ett svetsbart material och för detta lämpar sig bäst vanligt stål. Fördelen med en bra svetsning är att man kan försäkra sig om att inga delar kommer vibrera loss eller trilla av under normal körning.

Mycket utav prototyp tillverkningen gjordes även med handverktyg, så som plåtsax, skruvmejslar och handhållen bormaskin, för att göra mindre justeringar i efterhand.

## 3.9 Testning och validering

För att effektivt kunna avgöra huruvida den framtagna designen var realiserbar i verkligheten behövde tester utföras för att bekräfta om en tillverkad modell hade fungerat utefter de krav som var satta på den. Detta gjordes både kontinuerligt för delmonteringar och enskilda delar genom prototyp tillverkning, pappmodeller, metallbearbetning och 3D-skrivning, men även ett slutgiltigt funktionstest för hela sammansättningen.

### 3.9.1 Deformation och Spänningar

Eftersom projektet ifråga skulle ackommoderas för relativt höga krafter och därav höga spänningar och deformationer, samtidigt som designen ämnade att vara både snygg och viktmässigt lättare, fanns det vissa begränsningar för den slutgiltiga designen. Problem i designen kunde, vid applicering av en eftertraktad last, orsaka för höga spänningar och deformationer i produkten vilket både kunde leda till en design som inte uppfyllde de krav satta på den eller som i värsta fall inte fungerade alls. Detta kunde vara allt från en svag ram som försämrade manövreringen till en ram som knäcktes eller sprack vid användning.

För att effektivt motverka detta och garantera att den framtagna designen inte inkluderade dessa fel analyserades varje framtagen modell i ANSYS där de i kravspecifikationen specificerade krafterna applicerades varpå både deformation och spänningar räknades fram för modellen. De värden som ANSYS producerade analyserades sedan genom att delvis betrakta deformationen och avgöra om den var för stor, samt genom att jämföra spänningarna med varje ämnes specifika sträckgräns och bekräfta att de inte övergick de satta värdena. Om spänningskoncentrationerna var för höga vid vissa områden gjordes sedan modellen om och testades igen.

### 3.9.2 Testning av det elektriska systemet

För att testa det elektriska systemet behövde de elektriska komponenterna kopplas ihop enligt kopplingschemat K. Systemet kopplades ihop på ett bord för att enkelt kunna hitta brister och se så allt funkade som planerat.

## 3.10 Demonstration

Det slutliga steget i arbetsprocessen är demonstrationen. I detta skede demonstrerades den slutgiltiga produktens alla aspekter som utseende, uttryck, komfort och prestanda. Målet vid demonstrationstillfället var att visa upp en minimotorecykel som uppfyller det satta syftet med projektet.

## 4 Resultat

Under denna rubrik presenteras resultatet som åstadkommit under arbetet. Kapitel redogörs i kronologisk ordning, vilket innebär att underrubrikerna introduceras i den ordning arbetet utförs. Dock presenteras det mekaniska systemet i den först delen av kapitlet, därefter presenteras det elektriska systemet. Detta görs för att förhindra förvirring.

### 4.1 Kompetensuppbyggnad

Från det tidigare arbetet ”Elektrisk Minimotorcykel Kandidatarbete PPUX03-15-06” erhöles information om hur det generella upplägget skulle kunna planeras då projekten var väldigt lika. Det tidigare arbetet gav även insikter om vad som skulle kunna överträffas och vidareutvecklas.

Det kontaktades ett antal företag (Cake, Vässla och Rgnt) som tillverkar elektriska motorcyklar och mopeder. Dock gavs ingen respons vilket tvingade gruppen att söka information på egen hand. Det hölls en intervju med David Hanås som har suttit i föreningen XP-eXPerimentverkstaden i drygt två år och har mycket erfarenhet av att jobba med motorer, små motordrivna fordon och mekaniska lösningar.

Utifrån den information och inspiration som samlats gjorde var och en i chassi-gruppen en så kallad moodboard som ska fånga känslan och det allmänna intrycket som motorcykeln ska ge. Utifrån moodboardsen, se Bilaga B, kunde en gemensam idé om hur motorcykeln skulle se ut formas.

### 4.2 Funktionsanalys

För att få en tydlig bild av systemet delades minimotorcykeln först upp i delarna ’Chassi’ och ’Drivsystem’ där chassi innefattar ram och styre med respektive delsystem och drivsystemet innefattar alla de elektriska komponenter som driver motorcykeln framåt. Utifrån funktionsträdet, se Bilaga C, gjordes sedan en funktionsmodell, se Bilaga D. Vid detta steg delades gruppen upp i två mindre grupper; en som skulle fokusera på det elektriska drivsystemet och en som skulle fokusera på chassi och ram.

### 4.3 Kravspecifikation

Utifrån den kompetensuppbyggnad som gjordes upprättades två kravspecifikationer; en för chassi, se Bilaga D och en för drivsystem, se Bilaga D. Kraven

och önskemålen som ställdes på dimensionerna för chassit kommer från ergonomimätningar som gjorts i prototypplabbet där olika sittpositioner undersöktes i förhållande till hur andra pocketbikes har utformats, intervju med XP och kandidatarbetet från 2015. Att minimotorn ska klara av vissa väder, ha en så kallad killswitch och vara lätt att underhålla är något användaren önskade. Önskemålet att motorcykeln ska vara estetiskt tilltalande är på grund av det syfte som har definierats.

#### **4.4 Morfologisk-matris för ramkoncept och mekaniska system**

Den morfologiska-matrisen som togs fram hade 14 stycken funktioner med 2-5 olika lösningar vardera, se bilaga G. För att effektivt generera en stor mängd olika koncept och designidéer för projektet utnyttjades alla de viktiga funktioner som den slutgiltiga produkten skulle behöva uppfylla. Genom att föreslå potentiella lösningar till varje funktion, exempelvis hur motorcykeln skulle bromsas, kunde sedan olika koncept genereras utifrån detta. Olika lösningar från alla produktens nödvändiga funktioner kombinerades och under konceptgenereringen genererades slutligen totalt 76 unika koncept, se Bilaga H.

#### **4.5 Konceptutvärdering**

För att effektivt kunna sälla bland alla koncept gjordes en handfull matriser vars uppgift var att strukturellt finkamma konceptkatalogen till den punkt att endast det bästa konceptet kvarstod.

##### **4.5.1 Elimineringmatris för ramkoncept och mekaniska system**

In i eliminering matrisen, se bilaga I, lades 76 olika koncept. Efter att alla koncept hade kontrollerats mot kriterierna kvarstod sedan nio koncept.

##### **4.5.2 Pugh-matris för ramkoncept och mekaniska system**

Det första genomförandet av Pugh-matrisen resulterade i att koncept 3 och 4 hamnade på delad förstaplats. Koncept 2 på andraplats, koncept 8, 11 och 14 på tredjeplats, koncept 5 på fjärdeplats och koncept 19 på femteplats.

I det andra genomförandet blev resultatet följande. Koncept 2 och 4 på delad förstaplats, koncept 1, 8 och 14 på tredjeplats. Sedan koncept 11, 5 och 19 i respektive ordning. För fullständig matris, se Bilaga J.

### 4.5.3 Kesselring-matris för ramkoncept och mekaniska system

Med koncept utgallrade från föregående matriser återstår endast en handfull exempel som ansågs vara de främsta för projektet. För att fortsätta gallra mellan dessa specifika exempel behövde metodiken förbättras och göras mer precis utifrån vad som krävs av den slutgiltiga produkten. Genom användning av en Kesselringmatris kunde specifika kriterier ges högre värde om de var viktigare för slutprodukten än andra kriterier, vilket i detta fall inkluderade bl.a. ”Ergonomisk manövrering och ”Estetiskt tilltalande”. För en komplett bild av matrisen, se Bilaga K.

I Kesselrings-matrisen jämfördes koncept 1, 2, 3, 4 och 19, där det sistnämnda endast var med som ett exempel. Kriterierna som användes togs fram under funktionsanalysen. Viktningen fördelades på följande sätt:

- Ergonomi sittställning: 0.13
- Bromssträcka: 0.12
- Livslängd: 0.1
- Estetiskt tilltalande: 0.18
- Modulariserad: 0.15
- Underhållskostnad: 0.05
- Ergonomisk manövrering: 0.17
- Korrosionsbeständig: 0.1

Med alla kriterier viktade jämfördes koncepten mot varandra för att bestämma vilket av dem som var det absolut bästa, nu med extra hänsyn till de aspekter som var viktigast för slutprodukten. Efter två iterationer av matrisen var det uppenbart att koncept nummer 1 var det mest överlägsna, varpå det valdes som centralt koncept för arbetet.

## 4.6 Slutgiltigt koncept

Koncept nummer 1 var lösningen där brukaren greppar styret på ett gummihandtag, framgaffeln styr hjulen med handkraft och lutning, gashandtaget signalerar till reglersystemet elektriskt, växellådan justerar kraftöverföringen mekaniskt, en kedja överför kraft till hjulen, bromshandtaget signalerar bromsning med vajer, en skivbroms bromsar hjulen, det är en metallram och en sätesram, en extra dyna finns på sätet, chassit skyddar komponenter och brukare med plåt, kylning av batteri och övriga komponenter sker via luftgenomsläpp och batteriet slås av och på med en toggleswitch.

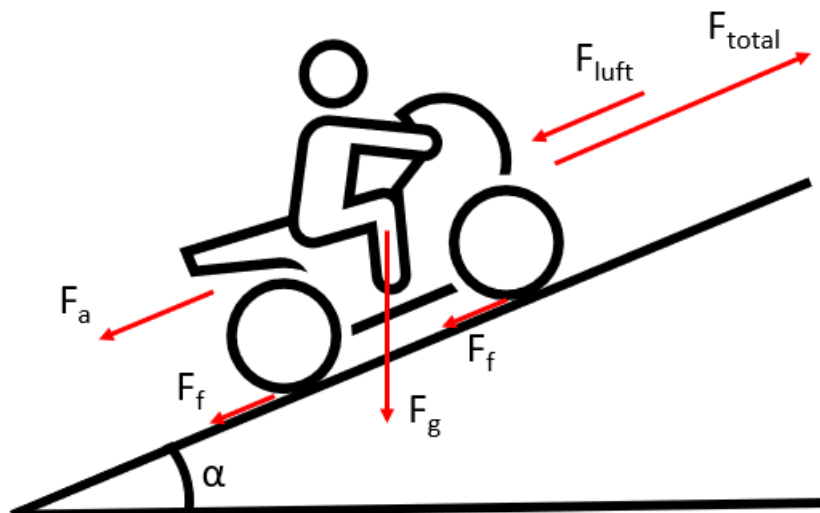
Det som skiljde sig framförallt från de andra koncepten var att skivbroms och kedja anses visuellt mer intressant och att kedja och extra dyna gör det mer ergonomiskt, vilket båda var kriterier som eftersträvades.

## 4.7 Elektriska systemet

Det elektriska systemets komponenter valdes inte genom att använda sig av de matriser som tidigare nämnts i rapporten. Komponenterna som valts har utgått ifrån det tidigare projektet och andra befintliga externa lösningar. Alla komponenterna valdes ut genom att jämföra olika produkter inom samma kategori. De parametrar som användes för att jämföra produkterna mot varandra var leveranstid, krav på att uppfylla alla de funktioner som önskat, kompatibilitet mellan de olika komponenterna och därefter pris. Detta kan ses i Bilaga K där olika produkter jämfördes.

### 4.7.1 Motor

För att kunna välja rätt motor behövs information om hur kraftfull den behöver vara. Detta räknas ut med hjälp av en friläggning av de krafter som påverkar motorcykeln tillsammans med parametrar som topphastighet, massa och acceleration från kravspecifikationen, se Bilaga D.



Figur 10: *Friläggning av krafter*

$$F_{total} = F_{luft} + F_f + F_g + F_a \quad (1)$$

$$F_{luft} = \frac{\rho_{luft}}{2} \cdot A_{frontal} \cdot C_d \cdot v \quad (2)$$

$$F_f = \mu \cdot m \cdot g \cdot \cos(\alpha) \quad (3)$$

$$F_g = m \cdot g \cdot \sin(\alpha) \quad (4)$$

$$F_a = m \cdot a \quad (5)$$

Där  $\rho$  är densiteten för luft,  $A_{frontal}$  är frontal arean och  $C_d$  samt  $\mu$  är luftmotstånds- respektive rullmotstånds-koefficienten.

Dessa ekvationer utgör grunden för matlabskriptet, se Bilaga K, vilket användes för att räkna ut viktiga motorparametrar som vridmoment, effekt och varvtal.

Några viktiga parametrar för att klara önskemålen är:

- $F_{plan\ acceleration} = 302\text{ N}$
- $F_{Uppför\ konstant\ hastighet} = 176\text{ N}$
- $P_{plan\ acceleration} = 4.2\text{ kW}$
- $P_{Uppför\ konstant\ hastighet} = 2.4\text{ kW}$

Det högsta effektkravet ställs vid acceleration i uppförsbacke vilket blir 5.9 kW. Det anses dock inte nödvändigt att kunna accelerera med max acceleration vid uppförsbacke.

Efter att ha studerat teori, letat inspiration från andra elektriska produkter som cyklar, sparkcyklar, skateboards och radiostyrda fordon samt bildat en bra uppfattning om vilka fysiska krav som ställs på motorn kunde det bästa alternativet tas fram för applikationen.

Majoriteten av de elektriska produkter som undersöktes använde sig av BLDC-motorer. Det är inte någon slump då BLDC-motorer är passande enligt teorin. Motortypen levererar hög effekt i förhållande till sin storlek, har en hög verkningsgrad och lång livslängd till ett rimligt pris. Dock för att kunna välja en motor behövdes det först väljas en motordrivare som ska kunna passa med motorn och resten av systemet. Efter motordrivaren valdes behövdes det en BLDC-motor med hall-sensor.

Valet föll på Bioboards 65100 BLDC-motor som kan ses nedan, se Figur 11. Den

uppfyllde, och i många fall översteg, de satta önskemålen. Den var av bra kvalitet, hade de funktioner som söktes och hade en snabb leveranstid. Det gjorde att priset för motorn var motiverat.



Figur 11: Bioboards 65100

Med en maxeffekt på 5,4 kW har den i många situationer ett par kW tillgodo förutom vid acceleration uppför nära önskad topphastighet. Detta är positivt då motorn inte kommer överbelastas under normal körning vilket bör förlänga livslängden, utöver det så förbättras även körupplevelsen när det finns mer effekt tillgängligt.

Då Bioboards 65100 dessutom har en hallsensor kommer den kunna göra mjuka starter från stillestånd. Detta var något som nämnts i kandidatarbetet från 2015, att den använda motorn och motordrivaren inte kunde göra det och var något som skulle tas med till nästa gång. För att den tidigare motorn skulle fungera behövdes motorcykeln rullas igång. Därför var det viktigt med att motorn hade hallsensorer för att kunna känna av motorpositionen och kunna starta mjukt.

#### 4.7.2 Motorstyrning

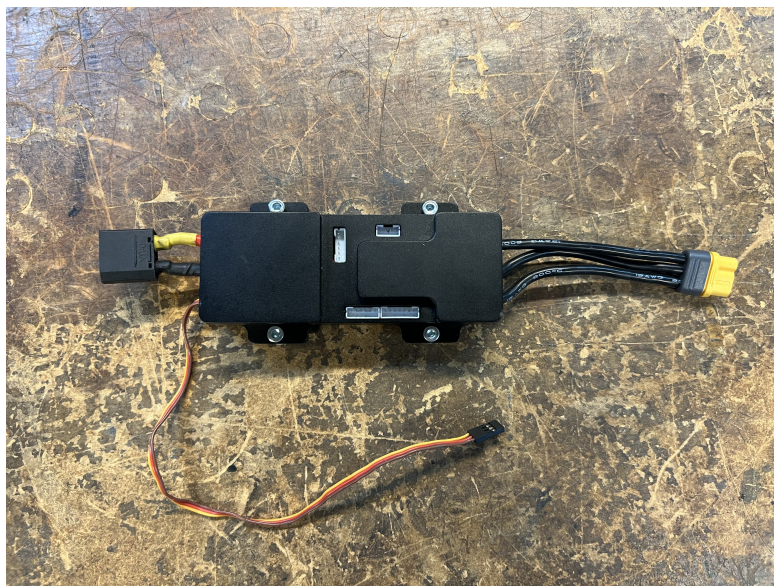
Motorstyrningen består i detta projekt av en motordrivare och ett gasreglage. Först letades kompletta system med motorstyrning, motor och batteri fram. De flesta av de färdiga systemen var inte tillräckligt kraftfulla. Det fanns flera olika typer av motordrivare men många var inte tillräckligt kraftfulla eller små och smidiga nog för att passa en minimomotorcykel. Sedan hittades VESC 6 MKVI som uppfyllde alla krav.

VESCen är byggd av Benjamin Vedder och Trampa. Förra gången detta projekt utfördes (2015) användes en tidig version som Vedder designat. Idag har Vedder

utvecklat den prototyp som användes för flera år sedan och skapat ett projekt som heter VESC Project som är open source och där flera tillverkare använt hans design och program. Den används främst inom elektriska skateboards, men även inom andra områden där det behövs styra elektriska motorer.

Efter att vidare undersökning om VESCens funktion, medföljande program och all dokumentation som finns tillgängligt valdes den jämfört med andra produkter. I matrisen för komponentval, se Bilaga K, kunde alla andra produkter som jämförts med gallras bort då VESCen har alla de funktioner som behövs till ett rimligt pris i jämförelse mot konkurrerande produkter. Den har även bra recensioner och har testats av många vilket visar på att den fungerar och det finns även mycket dokumentation för hur man ska bygga ihop ett fungerande system. Programmet som följer med är väldigt användarvänligt och det finns som tidigare nämnt mycket dokumentation för hur det fungerar.

Pågrund av en försenad betalning av VESCen uteblev den och försenade byggandet av elektriska systemet. Efter att pratat med CASE (Chalmers Autonomous Systems and Electronics) utlånades det en äldre och mindre kraftfull VESC 4.12 som använde samma program som VESC 6 MKVI och hade alla de funktioner som också eftersökts, se Figur 12. Programmet som motordrivaren använder sig av heter VESC Tool.



Figur 12: VESC 4.12

För att kunna styra motorn behöver VESCen en input från föraren. Flera olika

typer av inputs stöds men det som valdes var ADC, analog to digital converter i form av ett klassiskt vrid-gasreglage med inbyggd potentiometer, se Figur 13. Den här metoden valdes då det dels söktes den typen av gasreglage för ergonomins skull samt då det är en enkel och beprövad metod. För att koppla gashandtaget behöver kablarna kopplas till 3.3V, “-” och ADC 1, se Bilaga S. Där går det även att se var hallsensorn ska kopplas.



Figur 13: Gasreglage

### 4.7.3 Batteri

När motor och motordrivare var bestämt kunde ett lämpligt batteri hittas. Då motorn har en maxspänning på 72 V och motordrivarens tak är 60 V söktes ett batteri med 60 V då högre spänning behöver färre Ampere timmar för samma energimängd enligt matlab-scriptet.

För att veta hur många Ah som krävs behövs en normal körcykel defineras. Det antogs följande till en normal körcykel uppdelad på följande delsträckor.

- $S_1 = 0.6 \cdot 5000$ , 60 % av sträckan körning på plan mark
- $S_2 = 0.1 \cdot 5000$ , 10 % av sträckan körning i uppförsbacke
- $S_3 = 0.1 \cdot 5000$ , 10 % sträckan körning i nedförsbacke
- $S_4 = 0.1 \cdot 5000$ , 10 % av sträckan acceleration på plan mark

- $S_5 = 0.05 \cdot 5000$ , 5 % av sträckan acceleration i uppförsbacke
- $S_6 = 0.05 \cdot 5000$ , 5 % av sträckan acceleration i uppförsbacke

Sedan räknas medelvärdet ut av sträckorna multiplicerat med respektive effektbehov för att få snitteffekten som behövs från elmotorn vilket blev  $P_{snitt} = 1.4$  kW. Med en uppskattad medelhastighet för körcykeln på 30 km/h fås efter lite extra beräkningar som ses i matlabskriptet, ett krav på 4.4 Ah för att uppnå 5 km räckvidd.

Valet föll på ett batteri från Powerworks med 6 Ah (60V) vilket ger en räckvidd på 6.8 km, lite kortare än 10 km som satts som önskemål men längre än kravet på 5 km, se Figur 14. För att förlänga livslängden på litiumjonbatterier ska djupurladdning undvikas. För att klara kravet på 5 km behövs bara 74 % av batteriets kapacitet, vilket betyder att djupurladdning kan undvikas. För att sedan kunna utöka räckvidden skulle det endast behövas köpas ett till batteri som parkopplas med det första.



Figur 14: Powerworks 60 V batteri

Det finns 60 V batterier med högre kapacitet men då stiger både volym och kostnad. Därför anses 6 Ah vara ett lämplig kompromiss mellan pris och funktionalitet. En stor fördel med batteriet från Powerworks är att det är slagtåligt då det är tänkt att användas till trädgårdsverktyg som motorsågar och lövblåsar där de sitter relativt oskyddat samt tas i och ur dessa för laddning. Batteriet gick även att hämta i närliggande butik vilket gjorde att det inte var någon leveranstid. Det är även

fördelaktigt om man skulle behöva köpa ett nytt eller om det skulle vara problem med det att byta ut det snabbt. För att ladda batteriet köptes tillhörande laddare från Powerworks.

#### 4.7.4 Säkerhetsåtgärder

Då säkerhet är av högsta prioritet har en huvudströmbrytare och en säkring monterats. När motorcykeln inte används eller när underhåll/repairation utförs ska kretsen kunna brytas för att på ett säkert sätt kunna handskas med motorcykeln. Säkringens syfte är att bryta kretsen vid oönskat hög ström vid exempelvis en kortslutning. En ström högre än vad systemets komponenter är designade för genererar mycket värme och kan resultera i brand.

Huvudströmbrytaren placeras lättåtkomligt precis framför föraren och klarar en ström på 100A. Det är viktigt att strömbrytaren är lättåtkomlig för föraren om motorcykeln skulle skena då man med hjälp av den kan bryta strömmen och på så vis få motorcykeln att sluta drivas.



Figur 15: Huvudströmbrytare

Säkringens som valts är en automatsäkring på 70 A. Motorns maxeffekt kan inte plockas vid 70 A, för det krävs 90 A vilket resten av systemet är designat att klara av, men fördelen att säkringens redan fanns i prototypplabbet i kombination med en viss tidsfrist dominerade nackdelen att maxeffekt inte kan plockas ut. En stor fördel med automatsäkringens är att den kan återställas efter att den utlöst.



Figur 16: Automatsäkring

## 4.8 Prototyp tillverkning

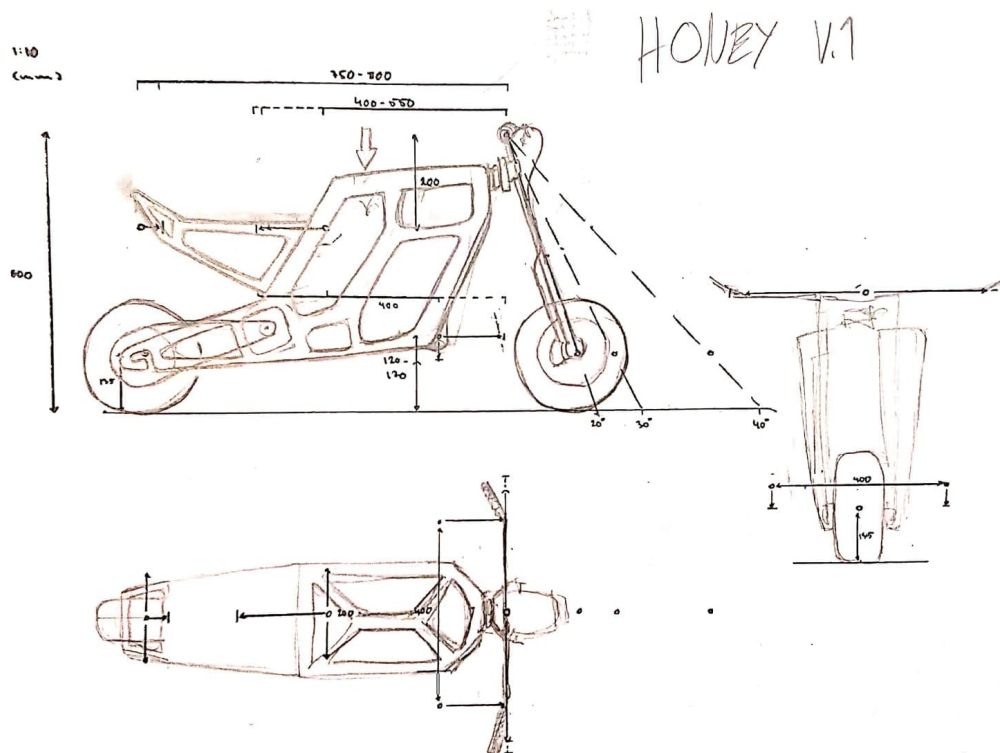
En av de främsta anledningarna till att ha en elektrisk motorcykel är att det inte ger direkta utsläpp, vilket är positivt ur miljösynvinkel, samt att detta är en motorcykel som ska gå att underhålla och renovera under många år framåt. Därför lades mycket fokus under prototyp tillverkningen på att få den modulariserad. Detta innebar att ha många utbytbara delar så om något eventuellt skulle gå sönder kan denna del tas av och bytas ut mot en ny istället för att behöva byta ut större delar av ramen.

Prototypen krävdes det mycket revidering av och det var i detta steg som CAD-modelleringen återupptogs för att kunna förändra och förbättra.

### 4.8.1 Skisser, CAD och ritningar

Totalt gjordes cirka 60 olika skisser, ett urval kan ses i bilaga T. Då många av skisserna har en komplex tredimensionell form valdes många av de bort på grund av tillverkningsmöjligheterna samt tidsbegränsningen. Den ritning som ansågs mest attraktiv samt tillverkningsbar kan ses i figur (17). Då styret var den del som var lik på alla skisser var det styret som caddades först. Det valdes även till en smalare gaffelvinkel som låg runt 20 grader, detta för att, som tidigare nämnt i kapitel 2.2.2, öka stabiliteten vid lägre hastigheter. Därefter anpassades den valda skissen för att kunna göra sidorna i endast en vattenskuren del. Sedan gjordes alla delar för att

hålla samman ramen samt sätet som även det gjordes i en enklare tillverkningsbar design. När hela chassit var gjort importerades motorfäste, motor, kedja och drev och cadmodellerna uppdaterades sedan för att passa drivsystemet, se Figur 18. Sedan utfördes flertalet tester i ANSYS, vilket förklaras mer i kommande kapitel och modellerna reviderades där efter. Hur stagen i och mellan ramdelarna satt ändrades samt ett extra rör i sätet lades till under testernas gång.

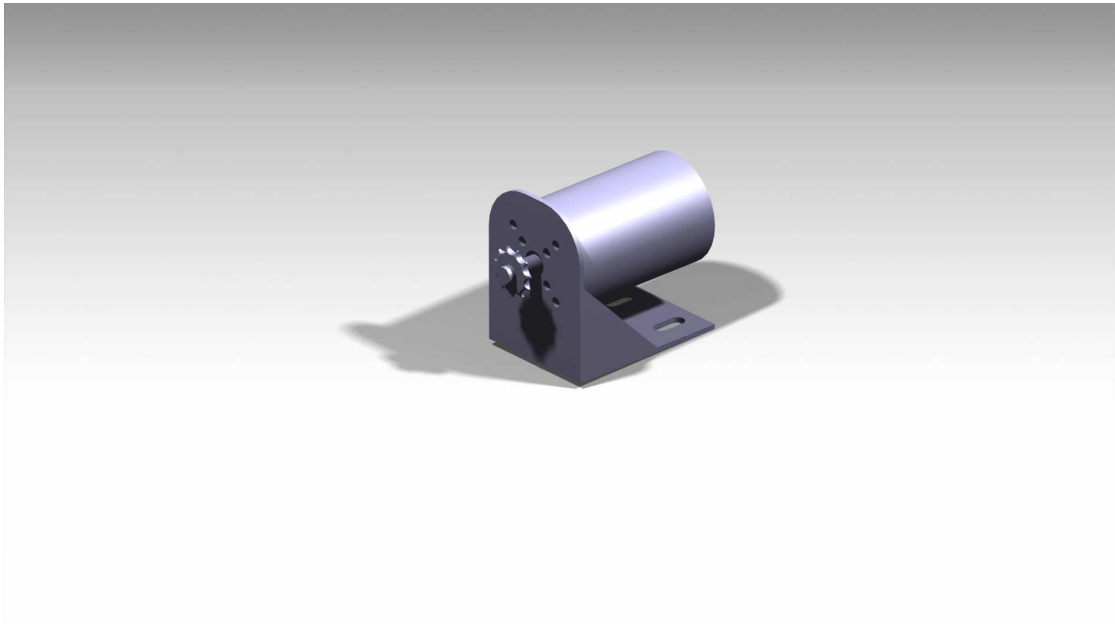


Figur 17: Slutgiltig skiss av motorcykeln



Figur 18: *Rendering av CAD-modell*

Motorn behövde ett motorfäste för att hållas fast på chassit. En prototyp gjordes i CAD, se Figur 19. Efter att motorn ankommit upptäcktes det att en utskärning på ovansidan av fästet behövdes för kablar från motorn. Det färdiga motorfästet kan ses i Figur 11.



Figur 19: *Cad-prototyp av motorfäste med motor*

#### 4.8.2 Tillverkning av prototypen

I första steget av prototyp-tillverkningen gjordes en prototypmodell i kartong. Ritningarna som tidigare skapats, med relevanta mått, längd och vinklar, skrevs ut. Dessa var ritningar på en uppsättning av ramsidor, sätet samt underdel-s/tänkskydd. Med hjälp av måtten skissades det ut stömlinjer i form av delarnas profilsidor på en kartongskiva som sedan kunde skäras ut.

En diskussion i gruppen tillsammans med personalen i verkstaden skedde kring hur flänsarna på ramsidorna skulle bockas, i vilken ordning samt om det var möjligt med verktygen i verkstaden. För att bockningen skulle kunna genomföras krävdes det ändringar på flänsarnas mått. Ritningarna samt de utskurna kartongbitarna var därför tvungna att justeras. Flänsarnas längd kortades därför ned för att möjliggöra bockningen. Skårer gjordes där bockarna skulle bockas för att förhindra att kartongen sprack och därmed gav oönskade deformationer.

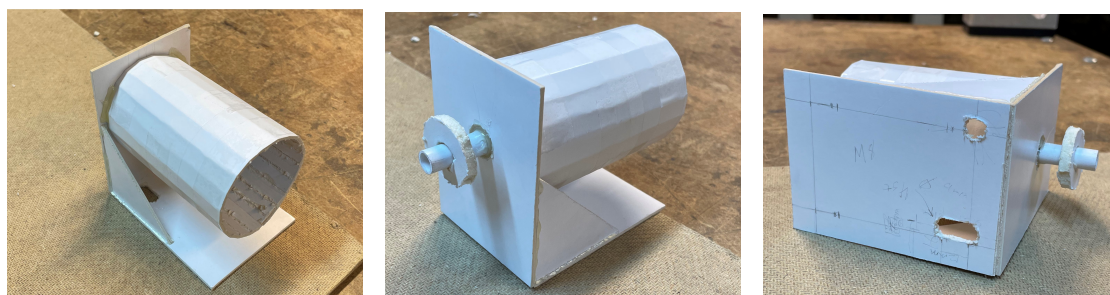
De längre bockarna skapades med hjälp av den manuella bockningsmaskinen medan de kortare bockarna gjordes för hand. Detta val berodde på att bockarna över huvudet skulle gå att genomföras med avseende på maskinernas begränsningar. När bockningen senare utfördes på aluminiumplåt skedde respektive bock med hjälp av den automatiska bockningsmaskinen (kantpressen). När alla bockarna var gjorda påbörjades ihopsättningen av delarna. De limmades ihop med limpistol i

följande ordning, Vänster sidoram med underdel/stänkskydd, underdel/stänkskydd med höger sidoram och slutligen säte med vänster- samt högersidoram, se Figur 20.



Figur 20: *Den färdiga pappmodellen*

För att se hur stor volym sammansättningen av motor och motorfäste hade skapades det ytterligare en pappmodell, se Figur 21. Detta gjordes även för att se hur den ska tillverkas. Här upptäcktes det att hålen som var i CAD-modellen från början var svåråtkomliga för att kunna spänna fast skruvarna på motorfästet med chassit. Då förflyttades hålen närmare mitten av motorfästet som kan synas på det avlånga hålet på pappmodellen, se Figur 21c.



(a) Bak

(b) Fram

(c) Under

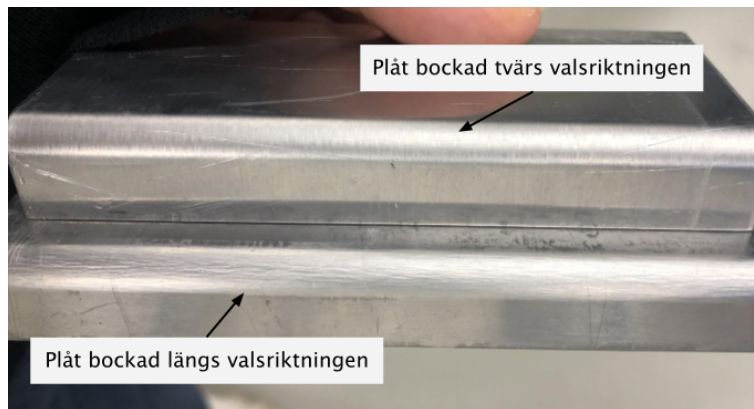
Figur 21: Pappmodell av motorfäste

Det första som sedan gjordes var att vattenskära ramsidorna, bottenplattan och sätesdelarna, se Figur 22. För att få en bra ordning i monteringen hade det sedan innan redan planerats vilka delar som skulle sättas ihop när. Då botten, ramen och sätet är det som håller ihop hela chassit, gjordes dessa först. På styret var det två delar i stål som skulle skruvas ihop med ramen och det beslutades därför att endast vattenskära hål på ramen för att försäkra en bra passning. För bottenplattan gjordes inga hål i förväg då det i CAD var svårt att veta exakt hur bockarna skulle bli.



Figur 22: *De första vattenskurna delarna upplagda*

Alla ramsidor skulle även bockas och på grund av en komplicerade vinklar (över  $90^\circ$ ) med en relativt lång ramsida användes en kantpress då ramsidan kunde sticka utanför kantpressen. Hade en manuell bock använts hade det inte gått att vika upp ramsidan. Som nämndes tidigare, i kapitel 3.8, är det stor skillnad på vilket håll bockningen sker. Detta märktes tydligt när två aluminiumbitar testades där den som hade bockats längs med valsriktningen hade tydliga ojämna deformationer, se Figur 23.



Figur 23:  *Två testbitar, den övre bockad tvärs över valsriktningen och den nedre bockad längs med.*

Mellan ramsidorna var det sex stycken så kallade stöttepinnar som skulle planas, borraras och gängas. Alla dessa steg gjordes i en svarv. Stöttepinnarna användes för att få det önskade mellanrummet mellan ramsidorna och för att skapa stabilitet. Därefter monterades dessa på ramsidorna med bultar och små justeringar gjordes för att få alla stöttepinnar lika långa.

Därefter bockades bitarna till styret och underdelen, varpå dessa sedan borrhades för att passa ramen. Dessa monterades sedan på med skruvar och muttrar. Det var i denna process en utmaning att få till den exakta vinkeln då man i en bock endast har en chans att få det helt rätt. Vissa av delarna fick därför vattenskäras på nytt och göras om.

När hela underdelen av motorcykeln var monterad, gjordes överdelen, alltså sätesram, säte och lucka. Sättesdelarna hade vattenskurits så de behövde bockas och skruvas fast. Luckan vattenskäras och bockades, men sattes inte fast. I detta steg började minimotorcykeln likna det slutgiltiga resultatet, se Figur 24.



Figur 24: *Efter ramsidorna satts ihop med stöttepinnar, säte och underdel*

Därefter tillverkades och monterades sätesdyna samt uppfällbara fotstöd, se Figur 25. De uppfällbara stöden har en viktig funktion. Om motorcykeln skulle luta så pass mycket att stödet tar i marken snurrar inte motorcykeln runt kontaktpunkten utan stödet fälls istället upp.



Figur 25: *Prototyp utan styre, men med fotstöd och säte samt bakhjul*

I cad-designen hade föga hänsyn till bromsoket tagits då bromsskiva och bromsok inte fanns på plats och de exakta dimensionerna inte gick att kontrollera. Detta medförde att bromsoket tog i ramen och det fick göras en snabb omställning där en bit av ramen fick kapas och det fick bockas en extra plåtbit som förlängning för att kunna skruva fast bromsoket.

Då broms och hjul var en av de få delar som inte tillverkades på plats var detta en utmaning att utföra. Varje del behövdes noggrant testas, kontrolleras och justeras. Detta var också en process som inte hade kontrollerats i CAD innan då de delarna inte fanns tillgängliga förrän sent i arbetet. Det fanns även en viss osäkerhet om vad för dimensioner på rör och stänger som fanns till förfogande. Det fick den väntade konsekvensen, för styre och framgaffel, att delar fick caddas om, filas ned, klippas och svarvas och ett antal gånger återupptogs processen med prototyper, CAD och ritningar. Styret behövde svetsats vilket förändrade geometrin och kullagrena inte riktigt gick ner i passningen som innan.

För att koppla ihop motorn, motordrivaren och batteriet behövdes det köpas in lite extra delar listade nedan:

- 8 - gauge silikonkabel 1m svart & röd
- 3 st, 4 mm hane Bullet Connectors
- 1 st, XT90 kontakt
- 1 st, strömbrytare
- små connector pins (JST PH)

För att fästa batteriet på ramen och för att göra kontakter för att ta ut ström från batteriet behövdes det en batterihållare. Först 3D skrevs en prototyp ut i PET plast, som kan ses i Figur 26a, för att kontrollera att passformen till batteriet skulle fungera. Här upptäcktes det att det var lite för exakta mått och därför behövdes det göras en ny prototyp där det var lite mer spelrum. Efter detta skapades en enklare struktur av bockad metallplåt och en 3D skriven kontakt, se Figur 26b. Det behövdes även göras en hållare för att montera säkringen och motordrivaren.



(a) 3D skrivning för passform av batteriet



(b) Kontakten för batteriet

Figur 26: Prototyper för batterihållaren

Efter alla komponenter kopplats ihop enligt kopplingsschemat, se Bilaga K, kunde VESCen kopplas in till VESC Tool programmet och alla inställningar konfigureras.

Därefter var hela motorcykeln klar, se Figur 27.



Figur 27: *Färdig motorcykel*

## 4.9 Testning och Validering

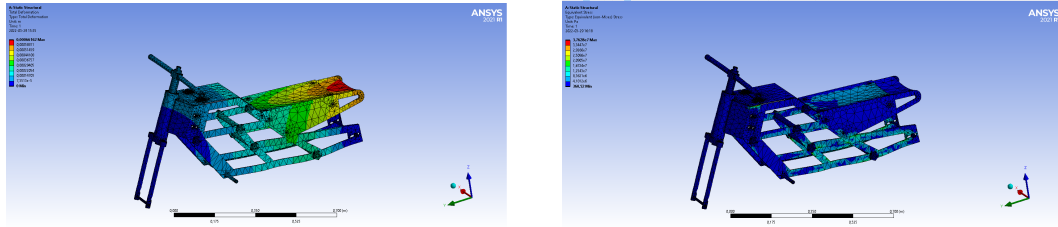
Under arbetets gång behövde prototypen testas konstant för att avgöra huruvida det som tagits fram fungerade som tänkt. Detta inkluderade allt från ramens struktur och hållbarhet under last till det elektriska systemets funktion.

### 4.9.1 Deformationer och spänningar

Efter det att en design valts ut och en modell skapats i CAD kunde denne nu testas jämt mot de satta kraven från kravspecifikationen. Som tidigare nämnt användes stål och aluminium för tillverkningen av ramen, varav stålet var vanligt konstruktionsstål med en sträckgräns mellan 500 och 1300 Mpa och aluminiumet var en aluminiumlegering av modell 1050A med en sträckgräns på 145 MPa. Genom att applicera de satta krafterna i kravspecifikationen på både styre och säte kunde därför spänningarna och deformationerna räknas ut och jämföras.

För den första designen, se Figur 28, saknades mycket kunskap om grundläggande hållbarhet för materialen och därmed utgick denne från större och säkrare mått för att försäkra en struktur som skulle hålla för de satta kraven. Denna design var därför konstruerad av 3mm aluminiumplåt på alla ramsidor och inkluderade alla nödvändiga hål som sedan skulle användas för att sätta samman prototypen. Däremot inkluderade inte denna design några fästningselement såsom skruvar och muttrar, utan delarna hölls endast på plats av tidigare satta begränsningar. Detta

medförde därför att endast spänningarna i just ramen kunde observeras, utan att andra värden påverkade resultatet.



(a) Deformation av första designen i Ansys (b) Spänning hos första designen i Ansys

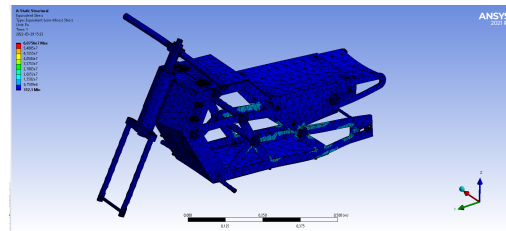
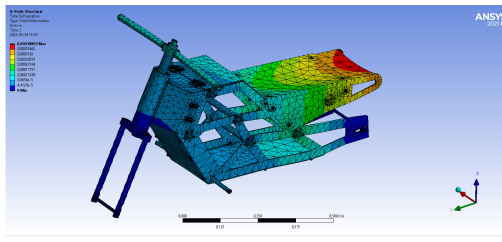
Figur 28: Första CAD-modellen i ansys

Utifrån dessa första tester var det uppenbart att de största spänningarna i ramen uppkom strax under sätet, som störst 37,6 MPa vilket är långt under gränsen på 145 MPa vilket betyder att ramen inte kommer deformeras permanent och risken för sprickbildning dessutom är låg. Det var även uppenbart att spänningskoncentrationerna var centrerade kring de vassa kanterna hos hålen som kapas ut ur sidorna. Detta är logiskt och något som är konstant inom hållfasthetsläran, vilket kan lösas genom att vid vattenskarningen runda av dessa hörn istället för att lämna dem vassa.

Detta var dock inte det enda som behövdes förändras då det var tydligt från figuren att deformationen i sätet, om än liten på bara 0.66 mm, ändå påverkar ramens stabilitet då sätet expanderar åt sidorna och orsakar större spänningar där det ligger i kontakt med resten av ramen. Detta behövdes därför förändras i nästa design.

Utöver detta var det även uppenbart alla övriga ytor som ska ta upp krafter, nämligen styret och fotpinnarna, inte uppnådde några höga spänningar alls. Detta betydde alltså, med en sträckgräns på 500 till 1300 MPa respektive 145 MPa, att även dessa element var säkra med denna design.

För den andra designen, se Figur 29, behövde vikten minskas för modellen, och därmed testades istället 2mm tjock aluminiumplåt. Utöver detta lades det dessutom till fler stöttepinnar för att sprida ut kraften i fler ankarpunkter på ramen och för att motverka problemet i sätet som beskrevs tidigare. Två stöttepinnar applicerades på ramen vid ställen där höga spänningar eller krafter kunde hittas. Detta innebar en placerad uppe vid styret och en under sätet, medans ytterligare en placerades i sätet för att hålla ihop de två sidorna. Sist men inte minst användes även temporära, men korrekt dimensionerade, skruvar och muttrar vid alla hål för att se efter så även dessa skulle tåla de applicerade krafterna.



(a) Deformation av andra designen i Ansys (b) Spänning hos andra designen i Ansys

Figur 29: Andra CAD-modellen i ansys

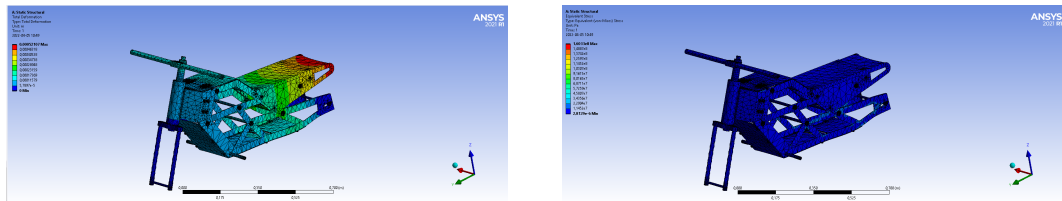
Det var nu uppenbart att de största krafterna som var närvarande i detta andra test uppgick till ungefär 60 Mpa, vilket är lägre än sträckgränsen för både det använda aluminiumet och stålet. Detta betydde alltså att även fast ramens sidor minskat i tjocklek från 3 till 2 millimeter så var ändå spänningarna lägre än den maximala sträckgränsen. Liksom tidigare betydde detta att ramen inte kommer deformera permanent och eftersom spänningarna fortfarande inte är alltför nära sträckgränsen är den dessutom säker från sprickbildning.

Vid närmare examination av ramen var det även tydligt att fastän spänningarna ökat i den och dessa spänningar fortfarande var koncentrerade kring alla vassa kanter, så uppnådde inga av dem de 60 MPa beskriva tidigare utan var som störst runt 40 MPa. De största spänningarna uppkom istället på skruvarna, både på deras gängor och huvuden. Med detta fastställt var det därför viktigt att kolla upp så att de skruvar som skulle användas hade en sträckgräns väl över 60 MPa. De skruvar som planerades att användas var av grad 8.8 med en diameter på 10 mm och enligt (Navstar Steel Corporation. (Hämtat 2022)) har denna sorts skruv en sträckgräns mellan 580 och 640 MPa, alltså kommer den, liksom ramen, varken permanent deformeras eller riskera sprickbildning.

Det är även uppenbart att den stöttepinne som placerats i sätet för att både minska deformationen ovanpå det, samt minska utbuktningen på sidorna, gjorde sitt jobb då den övre deformationen minskade från 0,66 mm till 0,39 mm och sidorna rent visuellt buktade ut mindre.

För den tredje designen, se Figur 30, användes återigen 2mm tjock aluminiumplåt men nu användes istället bättre och mer verkliga modeller för de skruvar och muttrar som senare skulle hålla samman motorcykeln. Förutom de vassa hörnen var detta planerat att bli den slutgiltiga designen om de spänningar som uppmättes stämde överens med de satta sträckgränserna för både ram, styre, fotpinnar och

skruvar.



(a) Deformation av tredje designen i Ansys (b) Spänning hos tredje designen i Ansys

Figur 30: Tredje CAD-modellen i ansys

Det är nu tydligt att övergången från temporära skruvar till de aktuella och verkliga skruvarna kraftigt ökade de maximala spänningarna i hela systemet. Genom att liksom tidigare observera var de olika spänningskoncentrationerna kan upptäckas är det återigen uppenbart att de största spänningarna, som i detta fall når 160 MPa, uppkommer endast i skurvarna vars sträckgräns var mellan 580 och 640 MPa. Alltså är de skruvar som planeras att användas inte i riskzonen för varken plastisk deformation eller sprickbildning.

De högsta spänningarna i ramen däremot är även de centrerade kring de vassa hörnen som tidigare, men har nu ökat ytterligare till ca 45 MPa. Detta är dock inte ett problem då sträckgränsen för ramen som sagt ligger på 145 MPa, alltså är den liksom skruvarna utanför riskzonen för både plastisk deformation och sprickbildning.

Precis som tidigare är även spänningarna i både styre och fotpinnar betydligt lägre än båda metallers sträckgränser och därför finns det ingen risk för varken plastisk deformation eller sprickbildning här heller.

För den sista designen, se Figur 31, så tillverkades prototypen som beskrivet ovan, där alla korrekta skruvar och muttrar användes samt alla vassa hörn rundades av innan delarna vattenskars ut. Delarna monterades sedan ihop tills en modell av ramstrukturen hade skapats. När alla viktiga delar sedan hade satts på utfördes det sista testet för att se huruvida ramen designats på ett sätt som inte medförde permanenta deformationer, sprickbildningar eller knäckningar.



Figur 31: *Test av slutgiltig, fysik prototyp*

Modellen testades genom att vikt applicerades på styre, säte och fotpinnar varpå konstruktionen observerades mer noga. Utöver detta utfördes även tester där en förare fick sätta sig på modellen och röra sig från sida till sida för att testa stabiliteten ytterligare.

Här visade det sig att, liksom alla tidigare tester indikerat, modellen klarade av alla direkta laster utan problem, och föraren kunde sitta väldigt stabilt. Det visade sig dock att fastän denna stabilitet var hög så hade stabiliteten då föraren rörde sig från sida till sida inte var lika bra. Fastän det inte var stora deformationer var det tydligt att modellen ville skjuva sig lite vid denna sorts påfrestning. Tyvärr hann detta inte åtgärdas på grund av tidsbrist, men deformationen ansågs så pass

liten att den kunde försummas.

#### 4.9.2 Testning av det elektriska systemet

Efter att kopplat ihop VESCen och motorn med ett nätaggregat testades programmet och inställningarna. Programmeringen av motordrivaren började med att följa en automatisk konfigureringsprogrammet vilket var att sätta in de parametrar som motorn hade och hur stor spänning det var på batteriet. Här upptäcktes det att motordrivaren bara fungerade med en spänning på ca 41V. Efter att läst VESC-forumet och andra med samma problem kom det fram att motorn skulle använda andra inställningar. Därför kopplades alla komponenter tillsammans och testning med hjälp av batteriet istället. För att få systemet att fungera användes BLDC som motortyp istället för att använda FOC (field-oriented control). FOC fungerar något mjukare och låter mindre, dock fungerar det bara upp till ca 41V. Därefter konfigurerades systemet med de inställningar som listas nedanför i Tabell 1 och det fungerade.

Tabell 1: *Viktiga inställningar i VESC Tool*

<b>Motor Settings</b>	
<b>General</b>	
Motor Type:	BLDC
Sensort Port Mode:	Hall Sensor
<b>Current</b>	
Motor Current Max:	100,00 A
Motor Current Max Brake:	-60,00 A
Absolute Maximum Current:	130,00 A
Battery Current Max:	90,00 A
Battery Current Max Regen:	-1,00 A
<b>Voltage</b>	
Battery Voltage Cutoff Start:	57,80 V
Battery Voltage Cutoff End:	52,70 V
<b>BLDC</b>	
Sensor mode:	Hybrid
Detect BLDC Parameter:	Start detection → Apply

#### 4.9.3 Testning enligt kravspecifikationen

Kraven satta i kravspecifikationen kan delas upp i några huvudsakliga kategorier; dimensioner, prestanda samt design och hållbarhet. För den första gruppen sattes krav på att prototypen inte fick övergå satta mått för både storlek och vikt.

Medans vikten inte kunde uppmätas förens senare så kunde storleken kontrolleras hela tiden, alltså övergick denna aldrig de satta kraven. Testerna för dimensionerna innebar därför att endast väga prototypen, där viken 22 kg kunde uppmätas. Detta låg 3 kg under kravet på 25 kg men 2 kg över önskemålet på 20 kg.

När det kom till prestanda var det huvudsakligen körbarheten som behövde testas, och det var därför viktigt att prototypen både kunde framföras av egen kraft, bromsas och styras. Efter körtest av nästan hela gruppen kunde det konstateras att de krav som satts var uppnådda. Rent mätbart kunde exempelvis bromsträckan ses som betydligt kortare än de 5 meter satta av kravspecifikationen. Utöver detta var kraven också hårda på att styrningen skulle vara enkel och ergonomisk vilket inte kunde mätas, men som kunde kännas av genom provkörningar. Utifrån dessa tester kunde, som tidigare nämnt, en konsensus om att styrningen följde kraven väl fastslås.

Den sista kategorin som behövde testas var om prototypen följde alla krav som satts för design och hållbarhet. Detta innebar bland annat att stora delar av prototypen var modulär, inkluderade standardiserade fästningselement såsom skruvar och muttrar samt att den hade en bra livslängd både med och utan reparationer. Liksom för dimensionerna var detta något som kontrollerades och testades under arbetes gång då material som inte ansågs uppfylla dessa krav utslöts. Detta betyder att både kravet på en modulär design och standardiserade delar är uppfyllda. Dock kan inte livslängden undersökas noggrannare då tiden inte räcker till.

Utöver detta ingår i denna kategori även att chassit inte är strömförande, att det skyddar alla elektriska komponenter, är korrosionsbeständig, klarar en viss temperatur och är stöttålig. Återigen är det en handfull av dessa krav som behandlats under prototypstillverkningens gång. De fyra första är alla saker som har tagits i beaktning under arbetet och därför behöver inga tester utföras för att bekräfta att den prototyp som skapats uppnår dem. Däremot måste ett fysiskt stötest ske för att avgöra om det sista kravet är uppfyllt, då detta inte hanns med. Däremot testades prototypens tålighet för belastningar aktivt i ANSYS under projektet, vilket påvisade att chassit är starkt nog för att klara av högre laster än vad som preciserats i kravspecifikationen.

## 5 Diskussion

Syftet var att skapa en minimotorcykel som på ett intresseväckande sätt knyter an till Chalmers verksamhet. Detta anses uppfyllt. Trots att målet är uppfyllt och de frågor som ställdes i början har blivit besvarade så finns det fortfarande mycket som går att förbättra och analyseras. Många olika metoder har använts och det har varit en lång process. Därför kommer det i detta kapitel tas upp reflektioner och diskussion om hur arbetsgången har varit och hur det har gått.

### 5.1 Att dela upp gruppen i två grupper

Att dela upp gruppen i två mindre grupper var helt klart rätt val, men för att det ska fungera effektivt måste grupperna ha god kommunikation sinsemellan då delsystemen är beroende av varandra. Det blir mycket extra jobb om delar som tillverkas eller köps in inte passar med varandra.

Gruppen anser att kommunikationen har funkat bra då vi i största utsträckning jobbat som en enhet, fast med olika uppgifter inom gruppen. Detta har gjort att det är enkelt att fråga andra halvan av gruppen om en viss lösning skulle funka för dem.

### 5.2 Metoder för konceptgenerering

Många i gruppen var sedan tidigare välbekanta med de matriser och funktionsmodeller som användes vilket förenklade denna process mycket. Rådet som gavs var att börja bygga så fort som möjligt, men detta var svårt då det behövdes en metodisk process för att generera ett koncept. Dessa metoder är användbara, men tar tid från själva prototypande och byggande när det redan från kompetensuppbyggnaden fanns en relativt klar bild av hur motorcykeln skulle designas.

### 5.3 Designprocess

En viktig del av projektet var att skapa en minimotorcykel som överträffade minimotorcykeln designad av den tidigare kandidatgruppen PPUX03-15-06. För att åstadkomma detta var de första stegen att analysera den gamla minimotorcykeln för att hitta brister, delar som kunde vidareutvecklas, men även delar som skulle kunna implementeras till nästa iteration. I detta steg var det dock viktigt att inte utgå allt för mycket från PPUX03-15-06s minimotorcykel och därmed begränsa sig. Den slutliga minimotorcykeln har trots detta i åtanke ett flertal likheter. Dessa likheter är nödvändigtvis inte skapade medvetet. En likhet som påverkar minimotorcykelns helhet och som därför är värd att diskutera är det yttre materialvalet

och metoderna som använts för att forma det. Båda minimotorcyklarna har ett vattenskuret chassi i aluminiumplåt. Med de tillgängliga verktygen, kunskaperna och möjligheterna i gruppen och verkstaden så var materialvalen och metoderna begränsade. Den största anledningen till att just aluminium valdes var dock att minimera vikten. Om den slutliga prototypen skulle se annorlunda ut om den förgående motorcykeln skulle sett annorlunda ut är svårt att säga.

För att motverka att den nya minimotorcykeln skulle bli allt för lik påbörjades en skissprocess där flera olika idéer, koncept och funktioner skapades. Idén med skisserna var att skapa ett flertal udda och intressanta utkast som skulle bryta sig loss från normen, det vill säga existerande former på marknaden. I denna process låg alltså fokus i att få ut ett flertal designer som gruppen senare kunde sälla ned och slutligen utgå från i nästa steg. Det som var mest utmanande med skissprocessen var att just komma på nya unika koncept. Dessutom skulle koncepten vara estetisk tilltalande och samtidigt realistiska, det vill säga tillverkningsbara.

I CAD-stadiet var det viktigt att tillverka en så realistisk modell som möjligt. Detta för att senare kunna skapa ritningar som underlättade prototypstadiet, men även för att kunna vattenskära ut delar. Svårigheterna låg i att gruppen inte visste om modellen i huvudtaget gick att tillverka med existerande verktyg vilket i sin tur innebar att mycket arbete under den digitala modelleringen kunde gå till spillo.

## 5.4 Tillverkningsmetoderna

Vattenskarningen fungerade bra då stora och många delar kunde skäras ut fort och dimensionerna stämde bra överens med det som hade ritats i CAD. De metoderna som användes för metallbearbetning lämpade sig bra och gick nästan som det var tänkt från början. Vissa moment hade kunnat effektiviserats genom att gruppen jobbat mer parallellt och enskilt. Om några hade börjat bygga på ramen medan någon annan caddade styret hade det antagligen gjort att prototypen blev klar tidigare. Samtidigt hade det då funnits en risk att delar hade behövts göras på nytt då mått och passningar eventuellt inte hade stämt.

Det svåraste i prototyp-tillverkningen var att svarva styret till rätt dimensioner, där kullagrena skulle ligga. Det som hade kunnat göras var att svetsa styret först och sen svarva ut för kullagrena alternativt haft ett helt rör som inte behövde svetsas. Gängning och borrar fungerade bra, men det tar tid, och tyvärr finns det inget effektivare sätt om man har den lösningen som valdes för detta projekt. Det som tog mest tid var de så kallade stöttepinnarna då det var totalt 12 hål som skulle borrar och gängas. Bockningen hade sina utmaningar i att hitta rätt vinkel när det var två delar som skulle passa ihop, exempelvis underdelen och ramen då det

inte går att mäta någon vinkel medan biten sitter i bocken. Det hade kunnat göras någon typ av passbit att mäta mot i bocken som hade rätt vinkel då vinkelmåttet inte passar i maskinen.

I prototyp tillverkningen av batterihållaren började vi med att göra en för komplex utformning för att hålla fast batteriet. Detta ledde till att det tillverkades en extra prototyp och mer tid lades ner vilket var onödigt. Detta är något som kan tas vidare i andra projekt och tillverkning av andra komponenter, nämligen att enkla och enkla designer fungerar mycket bra för att få saker att fungera. Det är lätt hänt att man lägger för mycket tid på något som inte behöver en komplex lösning.

## 5.5 Elektriska systemet

På grund av att en faktura blev försent betalad fick vi inte den motordrivaren vi ville använda. Detta gjorde att det blev fördröjningar med att sätta samman och testa det elektriska systemet. Efter att vi fick låna en motordrivare tog det kort tid att kombinera alla komponenter och få det att fungera. Hade vi fått motordrivaren i tid som planerat hade "elgruppen" kunnat hjälpa till med att tillverka flera komponenter till motorcykeln i verkstaden och det gått snabbare att bli klara och testa motorcykeln.

## 5.6 Testning

Testningsmetoden för ramen var väldigt effektiv då den tillät mycket planering och undersökning innan produkten behövde börja monteras. Därför kunde de viktigaste sakerna för ramen, huvudsakligen dess hållbarhet både materialmässigt och mellan olika komponenter, testas i god tid och säkerhetsställas innan något behövde byggas.

Det visade sig dock till en viss längd även vara en negativ sak då den multitud av tester som utfördes och all logistik som ingick i att skapa nya CAD-modeller tog väldigt lång tid. Denna tid hade istället kunnat läggas på att tillverka mindre och enklare fysiska modeller, eller en stor modell som sedan modifierades utifrån fysiska tester. Hade denna metod istället implementerats vid testningen av ramen hade bygget kunnat påbörjas tidigare. Fler mindre eller större modeller hade kunnat skapas och sammanfogningen med andra mekaniska eller elektriska system hade kunnat strömlinjats mer. Utöver detta visade sig även vissa problem då modellen var ihopsatt som inte hade ansetts under testerna i ANSYS, och detta var huvudsakligen deformationer i sidled vid krafter i denna riktning. Detta hade varit något som kunnat observerats tydligt vid en fysisk modell, men även genom

tydligare och mer utvecklade tester i ANSYS.

Denna ovanstående metod hade dock haft sina nackdelar då projektet hade saknat många viktiga uppgifter och mätdata om huvudsakligen spänningarna i materialen. Detta hade i värsta fall resulterat i problem som inte är synliga under framtagningen av nya, fysiska prototyper som exempelvis spänningar nära sträckgränserna för materialen. Detta hade inte enkelt kunnat observeras under metoden beskriven ovan, men konsekvenserna hade kunnat vara påtagliga då höga spänningar kan resultera i utmattning och sprickbildning längre in i prototypens användning. Detta var ett problem som testning och mätning med hjälp av ANSYS antingen underlättade eller löste då exakta data för spänningarna i materialen kunde tas fram.

Testningen av det elektriska systemet kunde inte utföras med digitala hjälpmedel, utan det fick istället enbart utföras fysiskt med alla komponenter utlagda på ett bord. Nackdelen med detta är att det tar längre tid och är mer kostsamt om något i systemet inte skulle funka, då en ny del behöver köpas in. Dess bättre fungerade allt som tänkt efter rätt inställningar valts i VESC-Tool.

Testningen enligt kravspecifikationen blev, på grund av tidsbrist, komprimerad och därför kunde inte testerna utföras i samma kapacitet som önskat. Dock kunde de utföras i en sådan utsträckning att de absolut viktigaste kraven, huvudsakligen de med grund i prestanda och design, kunde testas. Utifrån detta var det uppenbart att dessa eftertraktade krav för prototypen var uppnådda då körbarheten för denne ansågs väldigt bra och lyckad.

## **5.7 Vidareutveckling**

Fastän en fullständig och fungerande prototyp har tagits fram finns det en handfull punkter där den existerande modellen kan förbättras. Det finns nämligen en del områden som inte blev fullt utvecklade där kommande prototyper kan bygga på gångna erfarenheter.

### **5.7.1 Mekaniska systemet och Montering**

För ramen, styret och de mekaniska systemen som dessa bar upp såsom bromsar, kedjor och handtag finns det huvudsakligen två punkter där arbetet kan utvecklas och prototypen förbättras.

För ramen var det uppenbart att den, fastän den kunde ta upp alla de laster som placerades på den, reagerade konstigt då krafter applicerades mot dess sidor genom att föraren rörde sig från sida till sida. Dessa sidokrafter fick motorcykeln

som tidigare nämnt att skjuva sig och deformera sidleds, dock med ganska små distanser. Detta orsakades huvudsakligen av icke-tillräckliga tester som inte påvisade detta beteende för modellen, samt att designen var framtagen för huvudsakligen direkta laster på sätet. De stöttepinnar som placerats mellan ramsidorna fungerade nämligen bra för att ta upp dessa laster och hålla modellen stabil, men så fort den började skjuvas så visade de sig inte vara tillräckliga då deras mindre kontaktyta mot ramsidorna möjliggjorde just skjuvning.

För att därför gå vidare hade en eller flera av dessa stöttepinnar kunnat ersättas av ett annat stödelement, vars förmåga att förhindra skjuvningar och deformationer i sidled var högre än för stöttepinarna. En lösning som betraktades men som inte hann implementeras var att ersätta stöttepinen placerad vid sätesfästet med en aluminiumplatta som bockats på alla sina sidor. Som känt tidigare förstärks ett material genom att bocka det, och med sin större kontaktyta hade denna platta garanterat motverkat skjuvningsproblemet samtidigt som den hade bidragit med den redan existerande styrkan hos stöttepinen. Detta hade även kunnat utvecklas längre genom att ersätta fler stöttepinnar på utsatta ställen med bockade element för att därmed få en ännu starkare konstruktion, dock hade detta kommit med ökad vikt hos prototypen.

Den andra punkten som kommande prototyper kan fokusera ytterligare på, och som i viss grad togs i åtanke vid framtagning av den nuvarande prototypen, är att i vidare utsträckning designa utifrån element som inte tillverkats på plats. Detta innefattar alla mekaniska system såsom broms- och gashandtag, kedja med drev, hjul med däck samt bromsok och skivor som alla i någon utsträckning måste kunna monteras antingen på ramen eller styret. Till exempel upptäcktes det vid montering av bromsok att det inte var möjligt att montera på det utan att göra drastiska förändringar i ramen. Det upptäcktes även att kedjan smattrade på stänkskyddet vid körning, även detta krävde förändringar i ramen.

Vid framtagningen av designen för dessa valdes som tidigare nämnt att ta hänsyn till några av elementen. Mer exakt valdes styret att designas för att både gas- och bromshandtaget skulle vara möjliga att sätta på, underdelen av motorcykeln och sidorna på svingarmen för att inte kedjan skulle dra emot dessa samt bredden på svingarmen och framgafflarna för att respektive bak- och framhjul skulle få plats däremellan. För svingarmen togs även hänsyn till tjockleken för bakre drev och bromskiva. Tack vare att denna extra hänsyn togs gick monteringen av prototypen betydligt bättre och var mycket enklare då alla, för de mekaniska systemen, viktiga områden redan var korrekt designade.

Det visade sig dock att hänsyn inte hade tagits till allting, då monteringen av bromsoken inte gick som planerat. Detta härstammade inte bara från icke-tillräcklig design men även problem med beställningen av dessa, då skivorna som tillhörde de ok som levererades blev restade och därför aldrig kom. Detta betydde att en gammal bromsskiva fick användas som inte passade till de beställda bromsoken, vilket resulterade i att hela bromsupphängningen fick göras om och därmed följa en helt annan design. Detta var tyvärr inte kompatibelt med den dåvarande designen på prototypen, utan en nödlösning fick utföras för att fästa bromsen. Detta resulterade inte bara i en mindre snygg design, men även en försämrad bromsförmåga.

Detta problem hade kunnat motverkas eller minskas genom att, under designprocessen, inkludera bromsoken ytterligare och genom att ta hänsyn till alla mekaniska system oavsett hur små de var.

### 5.7.2 Elektriska systemet

Det elektriska systemet kan vidareutvecklas på några punkter.

Det vore mer optimalt att använda sig av en motor med lägre kv, dvs hur många varv per minut motorn snurrar per Volt. En motor med lägre kv ger generellt mer vridmoment till kostnaden av ett lägre maxvarv. I vårt fall har vi ett maxvarv på drygt 10 000 rpm vilket betyder att det krävs en väldigt låg utväxling för att få ner toppfarten och få upp vridmomentet. Ett lägre varvtal ger en tystare gång och en elmotor som bör hålla längre.

Ett annat utvecklingsområde är att göra det elektriska systemet mer vattensäkert. I nuvarande konfiguration sitter inte komponenterna speciellt skyddat från väder och vind. Mindre vattenpölar och regn går bra då de är skyddade rakt uppifrån och nedifrån men från sidan saknas skydd. En lösning vore att tillverka täta lådor till batteriet och VESCen.

Som nämnts tidigare är inte säkringen och VESCen kapabla till att leverera full effekt. Ett byte till den planerade, men inte levererade motorstyraren VESC 6 MkV och en 100 A säkring är en enkel vidareutveckling för att få ut det mesta av det elektriska systemet.

## 6 Slutsats

Målet med att ha en minimotorcykel som kan tillverkas i prototyplabbet, är körbar och kan representera Chalmers ingenjörsmässiga kunskaper anses uppfyllt.

Under 20 veckor har en elektrisk minimotorcykel designats, tillverkats och testats av 5 studenter. Motorcykeln har ett modulärt chassi i aluminium och ett svetsat styre i stål. Många bearbetningsmetoder har utforskats i prototyplabbet och enligt gruppen är tid, till att omdesigna och bygga, det enda som har saknats.

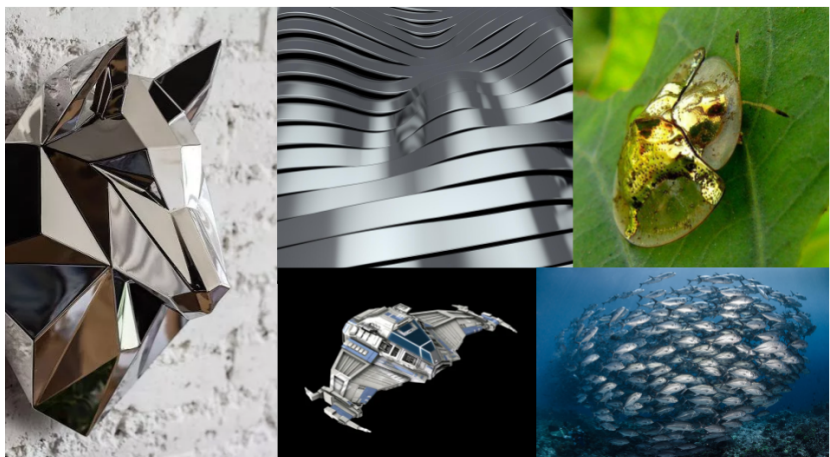
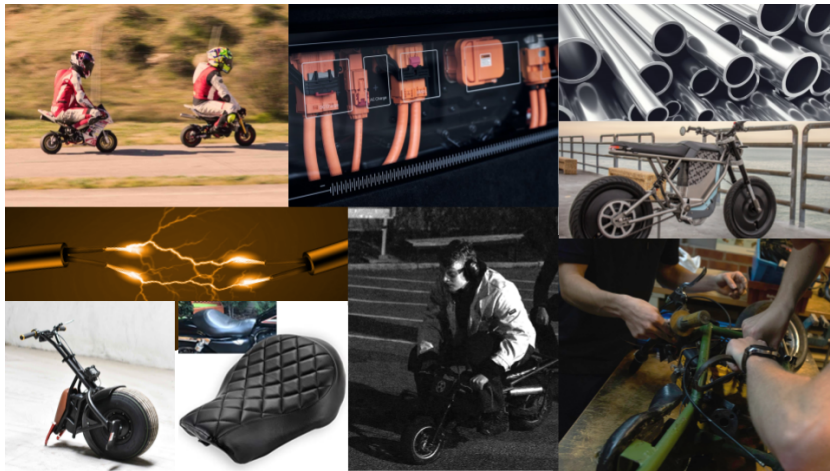
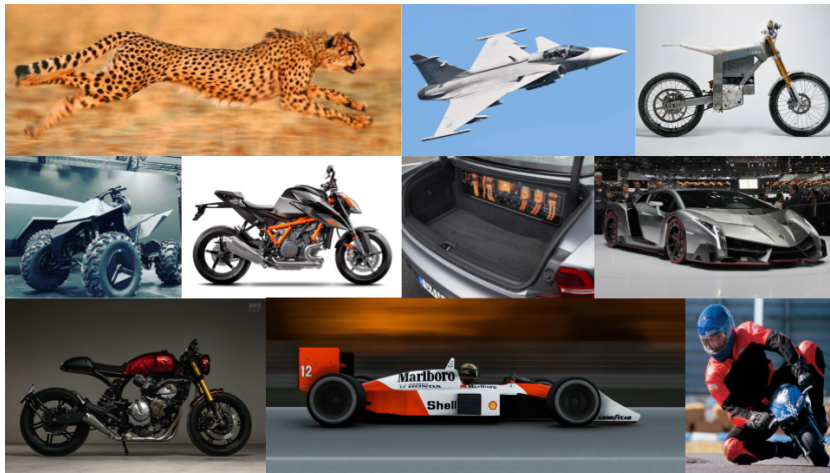
På det stora hela kan det konstateras att alla de krav som testats har uppfyllts. Att vissa krav inte har verifierats beror till stor del på den tidsbrist som var i slutet av projektet. Skulle detta projekt ha fortgått skulle dessa krav med störst sannolikhet kunna nås inom ett par månader.

Utöver de satta kraven i kravspecifikationen samt det syfte som fanns i uppgiftbeskrivningen satte även gruppen interna mål i form av design och utseende. Efter inspiration hade hämtats, idéer hade sållats fram och skisser hade gjorts hade gruppen ett tydligt mål med vilken inriktning minimotorcykeln skulle ha. Visionen var en unik tagning på en vanlig motorcykel i krympt format och detta anses ha uppnåtts.

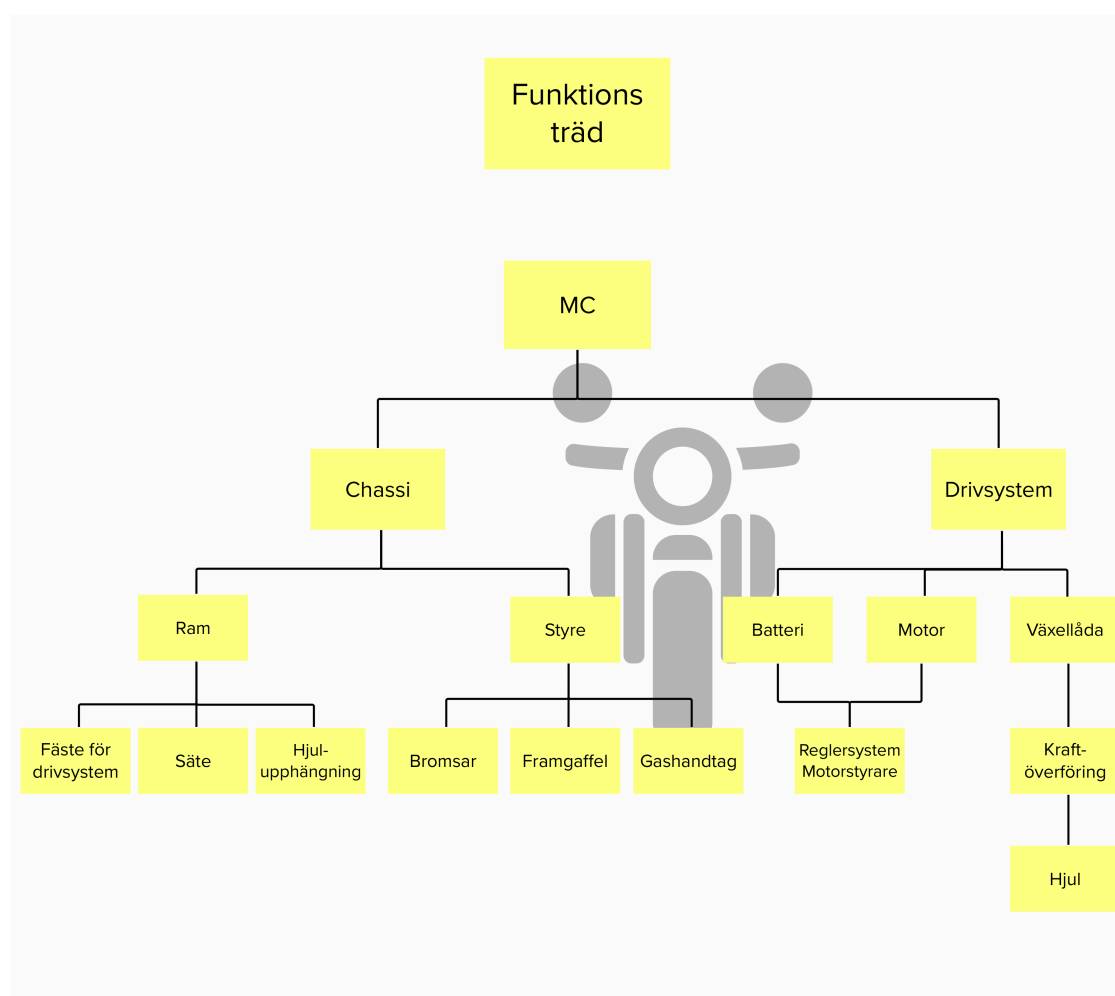




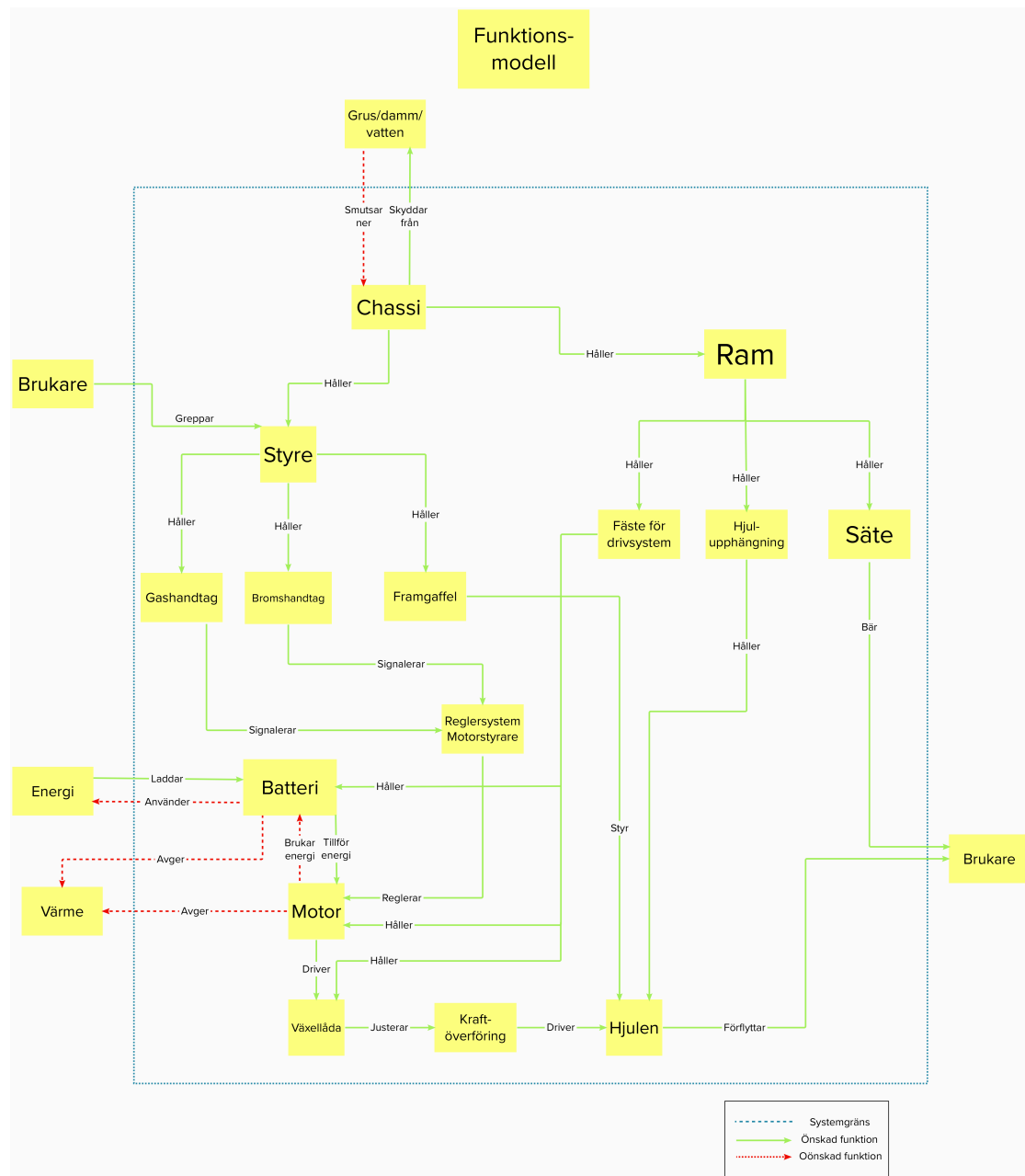
## B Moodboards



## C Funktionsträd



# D Funktionsmodell



# E Kravspecifikation chassi

Projekt: IMSX15-22 Kandidatarbete Mini-motorcykel				Kravspecifikation-chassi		
Datum skapad: 3/2 - 2022						
Datum modifierad: 15/2-2022						
Grupp: 14						
Kriterier	Målvärde	Enhet	K/Ö	Viktning(1-5)	Verifikation	Referens (kravställare)
<b>1. Prestanda</b>						
1.1 Vikt	<25	kg	K		Prototyp	Utvecklare
	<20	kg	Ö	4	Prototyp	Utvecklare
1.2 Höjd mark till ovasida säte	350<hs<500	mm	K		Analys CAD-ritning	Utvecklare
1.3 Höjd mark till ovasida styre	450<hf	mm	K		Analys CAD-ritning	Utvecklare
	500<hf<650	mm	Ö	5	Analys CAD-ritning	Utvecklare
1.4 Bredd säte	130<bs<350	mm	K		Prototyp	Utvecklare
1.5 Bredd styre	350<bf<700	mm	K		Prototyp	Utvecklare
	500<bf<600	mm	Ö	5	Prototyp	Utvecklare
1.6 Bredd hela	<700	mm	K		Analys CAD-ritning	Utvecklare
1.7 Längd fotstöd	90<lf<120	mm	K		Prototypen	Utvecklare
	100<lf<150	mm	Ö	3	Prototyp	Utvecklare
1.9 Längd hela chassit	600<lh<1100	mm	K		Analys CAD-ritning	Utvecklare
1.10 Ramen ska inte vara strömförande			K		Prototyp mätverktyg	Utvecklare
1.11 Chassit ska skydda viktiga komponenter från smuts			K		Analys CAD-ritning	Utvecklare
1.12 Avstånd från strömbrytare/"killswitch" till handposition	10<lk<200	mm	K		Prototyp	Användare
1.13 Bromssträcka från maxfart	<15	m	K		Körttest	Utvecklare
	<5	m	Ö	4	Körttest	Utvecklare
<b>2. Produktion</b>						
2.1 Standardisering	SS-ISO 261(metriska gängor)		K		Kontroll	Användare
<b>3. Material/konstruktion</b>						
3.1 Korrosionsbeständig	Regnvatten		K		Materialval	Användare
3.2 Temperatur	-30<T<60	°C	K		Materialval	Utvecklare
3.3 Stöttålig	>20	N	K		Stötttest	Utvecklare
<b>4. Miljö</b>						
4.1 Återvinningsmöjlighet	70	%	K		Analys	Utvecklare
	100	%	Ö	5	Analys	Utvecklare
4.2 Utsläpp av giftiga ämnen under tillverkning	0	g	Ö	5	Beräkning	Utvecklare
<b>5. Ekonomi</b>						
5.1 Underhållskostnad (exkl. inflation)	<500	kr/år	K		Beräkning	Användare
	<200	kr/år	Ö	3	Beräkning	Användare
<b>6. Design</b>						
6.1 Modulariserad			Ö	4	Analys CAD-ritning	Utvecklare
6.2 Ergonomisk sittställning			K		Kundtest prototyp	Utvecklare
6.3 Ergonomisk manövrering			K		Kundtest prototyp	Utvecklare
6.4 Estetisk tilltalande			Ö	5	Kundtest	Uppdragsgivare
<b>7. Övrigt</b>						
7.2 Livslängd utan reparationer	0.5	år	K		Analys	Utvecklare
	1	år	Ö	3	Analys	Utvecklare
7.2 Livslängd med reparationer	10	år	K		Analys	Utvecklare
	20	år	Ö	3	Analys	Utvecklare

# F Kravspecifikation drivlina

Projekt: IMSX15-22 Kandidatarbete Mini-motorcykel				Kravspecifikation-Drivlina		
Datum skapad: 3/2 - 2022						
Datum modifierad: 15/2-2022						
Grupp: 14						
Kriterier	Målvärde	Enhet	K/Ö	Viktning(1-5)	Verifikation	Referens (kravställare)
<b>1. Prestanda</b>						
1.1 Acceleration	>1	m/s <sup>2</sup>	K		Uträkning	Utvecklare
	>2	m/s <sup>2</sup>	Ö	3	Uträkning	Utvecklare
1.2 Topp hastighet	>8.3 (30)	m/s (km/h)	K		GPS / Laser plan mark	Utvecklare
	>11.1 (40)	m/s (km/h)	Ö	4	GPS / Laser plan mark	Utvecklare
1.3 Hastighet 5% Lutning	>6.9 (25)	m/s (km/h)	K		GPS / Laser	Utvecklare
1.4 Hastighet 10% Lutning	>4.2 (15)	m/s (km/h)	K		GPS / Laser	Utvecklare
1.5 Räckvidd	>5 000	m	K		GPS	Utvecklare
	>10 000	m	Ö	1	GPS	Utvecklare
1.6 Laddtid	<12	h	K		Timer	Utvecklare
	<8	h	Ö	2	Timer	Utvecklare
1.7 Livslängd energikälla	>500	Antal cykler	K		Räkna	Utvecklare
	>1000	Antal cykler	Ö	5	Räkna	Utvecklare
<b>2. Produktion</b>						
2.1 Standardisering	SS-ISO 261(metriska gängor)		K		Kontroll	Utvecklare
2.2 Material	Vattentålig		K		Materialtest	Användare
<b>3. Miljö/omgivning</b>						
3.1 Klara av regn och vattenstänk			K		Fälttest	Användare
3.2 Klara realistiska mängder damm och lera			K		Fälttest	
<b>4. Underhåll</b>						
4.1 Möjligt att utföras med prototypplabbets verktyg			K		Kontroll	Utvecklare
4.2 Möjligt att utföras av personer utan specialkunskap			K		Kontroll	Utvecklare
<b>5. Övrigt</b>						
5.1 Livslängd utan reparationer	0.5 år		K		Analys	Utvecklare
	1 år		Ö	3		
5.2 Livslängd med reparationer	7 år		K		Analys	Utvecklare
	20 år		Ö	3		

## G Morfologisk matris

IMSX15-22 Grupp: 14	Konceptgenerering				
Skapad: 17/2-2022 Modifierad: 17/2-2022					
Funktion	Alternativa Lösningar				
Brukare greppar styre	Gummihandtag	Metallrör			
Framgaffeln styr hjulen	Reglerteknik	Handkraft/lutning			
Gashandtag signalerar reglersystem	Vajer	Elektriskt	Vrider handtag		
Växellåda justerar kraftöverföring	Elektriskt	Mekaniskt			
Kraftöverföring driver hjulen	Kedja	Rem	Kugghjul	Kardan	
Bromshandtag signalerar bromsning	Vajer	Elektrisk signal	Hydraulik		
Bromsa hjul	Handbroms	Fot i marken	Skivbroms	Cykelbroms	Elektrisk
Ram håller hjul	Metallram	Magnetism			
Ram håller drivsystem	Metallram	Påse	Spännband	Låda	Plastram
Ram håller säte	Skruv	Lim	Sätetsram	Gångjärn	
Sätet bär brukaren	Rakt på chassi	Extra dyna	Stolssits		
Chassi skyddar komponenter och brukare	Stänkskärmar hjul	Plåt	Stänkskydd gummi		
Kylning kylar batteri	Luftgenomsläpp	Vattenkylning	Fläkt		
Strömbrytare slår på/av batteri	Double pole knapp	Toggleswitch	Single pole knapp	Vred	





# J Pugh-matriser

Chalmers		Pughmatris 1 (Relativ beslutsmatris):								
Utfärdare: Grupp 14 IMSX-15-22-14		Skapad: 2022-02-18 Modifierad: 2022-02-18							Sid 1	
Kriterier	Koncept					5	8	11	14	19
	1	2	3	4						
Vikt	<b>R</b>	+	+	+		+	+	0	+	0
Ergonomi sittställning	<b>E</b>	0	0	0		0	0	0	-	0
Bromssträcka	<b>F</b>	-	0	-		-	-	0	0	0
Livslängd utan rep.	<b>E</b>	-	-	-		-	-	0	0	-
Estetiskt tilltalande	<b>R</b>	-	-	-		-	-	0	-	-
Modulariserad	<b>E</b>	0	+	+		0	+	0	+	0
Underhållskostnad	<b>N</b>	0	0	0		0	0	0	0	-
Ergonomisk manövrering	<b>S</b>	+	0	+		-	-	-	-	0
Korrosionsbeständig		+	+	+		+	+	0	0	0
$\Sigma+$			3	3	4	2	3	0	2	0
$\Sigma 0$			3	4	2	3	2	8	4	6
$\Sigma -$			3	2	3	4	4	1	3	3
Nettovärde		0	0	1	1	-2	-1	-1	-1	-3
Rangordning		2	2	1	1	4	3	3	3	5
Vidareutveckling										
Beslut										

		Pughmatris 2 (Relativ beslutsmatris):								
Kriterier	Koncept					5	8	11	14	19
	3	1	2	4						
Vikt	<b>R</b>	-	0	+		-	+	+	0	-
Ergonomi sittställning	<b>E</b>	0	0	0		0	0	0	0	0
Bromssträcka	<b>F</b>	0	-	-		-	-	0	0	0
Livslängd utan rep.	<b>E</b>	+	+	0		-	-	-	0	-
Estetiskt tilltalande	<b>R</b>	+	0	-		0	-	+	0	+
Modulariserad	<b>E</b>	-	-	0		0	0	-	0	-
Underhållskostnad	<b>N</b>	0	0	0		0	+	0	0	-
Ergonomisk manövrering	<b>S</b>	0	+	+		-	0	-	-	0
Korrosionsbeständig		-	+	+		+	0	-	0	-
$\Sigma+$			2	3	3	1	2	2	0	1
$\Sigma 0$			4	4	4	4	4	3	8	3
$\Sigma -$			3	2	2	4	3	4	1	5
Nettovärde		0	-1	1	1	-3	-1	-2	-1	-4
Rangordning		2	3	1	1	5	3	4	3	6
Vidareutveckling										
Beslut						Elimineras	Elimineras	Elimineras	Elimineras	Elimineras

## K Kesselringmatrix

Utfärdare: Grupp 14				Skapad: 22-02-22				Modifierad: 22-02-22					
Kriterier		Alternativ											
		Ideal		1		2		3		4		19	
Namn	w	v	t	v	t	v	t	v	t	v	t	v	t
Ergonomi sittställning	0,13	5	0,65	5	0,65	5	0,65	2	0,26	2	0,26	4	0,52
Bromssträcka	0,12	5	0,6	5	0,6	4	0,48	5	0,6	4	0,48	5	0,6
Livslängd utan rep.	0,1	5	0,5	3	0,3	4	0,4	4	0,4	4	0,4	2	0,2
Estetiskt tilltalande	0,18	5	0,9	5	0,9	3	0,54	4	0,72	2	0,36	4	0,72
Modulariserad	0,15	5	0,75	4	0,6	4	0,6	4	0,6	4	0,6	3	0,45
Underhållskostnad	0,05	5	0,25	4	0,2	4	0,2	5	0,25	5	0,25	1	0,05
Ergonomisk manövrering	0,17	5	0,85	4	0,68	5	0,85	4	0,68	5	0,85	4	0,68
Korrosionsbeständig	0,1	5	0,5	3	0,3	4	0,4	4	0,4	4	0,4	2	0,2
<i>T (Totalt viktat värde)</i>		40	5	33	4,23	33	4,12	32	3,91	30	3,6	25	3,42
<i>T / Tideal</i>		1,00	1,00	0,83	0,85	0,83	0,82	0,80	0,78	0,75	0,72	0,63	0,68
Medel		5,00	0,63	4,13	0,53	4,13	0,52	4,00	0,49	3,75	0,45	3,13	0,43
Std-avvikelse		0,00	0,16	0,66	0,20	0,44	0,15	0,50	0,16	0,88	0,15	1,13	0,21
Median		5,00	0,63	4,00	0,60	4,00	0,51	4,00	0,50	4,00	0,40	3,50	0,49
Antal svaga punkter		0		0		0		0		0		1	
Rangordning													
Beslut		Välj nr 1											

# L Komponentval

	Specs	Pris	Leverans	Övrigt
<b>Elmotorer</b>				
Turnigy CA120 BLDC	150 kv, 30-70V, min 250 A ESC?	4 233,00 kr	Gratis 3-14 dagar, 510 kr 2-8 dagar	Ingen sensor, lite dåligt med info
Turnigy Rotomax BLDC	167 kv, 44V, 170 A max	5 020,00 kr	Gratis 3-14 dagar, 510 kr 2-8 dagar	Ingen sensor, lite dåligt med info
Flipsky Brushless DC Motor Battle hardened 63100 190KV 5500W	140 kv, 14.8-44.4V 5500W, 100A, 10 Nm	1 552,00 kr	Minst 1 månad 418kr	Sensor rekommenderas att använda vesc 6
Bioboards 65100 5400W Moto	138 KV or 205 KV, 120A, 74 V, 5400W	2180 kr + 590 kr skatt	1-7 dagar, 181 kr	Sensor, vesc rekommenderas
Tourge 63100 5500W	190 kv, 80A, 5500 W	1 523,00 kr		Sensor, vesc rekommenderas
HP-505/50 B20 P14	6 Nm, 5kw, 10-60V, 3-10 krpm	20 360,00 kr	2 veckor, okänd frakt från tyskland	Väldigt dyr
<b>Vårt val:</b>				
Bioboards 65100 5400W Moto	138 KV, 120A, 74 V, 5400W	2180 + 590 kr skatt	1-7 dagar, 181kr	Sensor, vesc rekommenderas
Vi har valt bioboards motor då den har Hall-sensor, lägre kv-värde än de andra vilket bör ge bättre vridmoment från start,				
<b>Motordrivare / Fartreglage</b>				
VESC 6 MkV	11.1-60 V, 80 A, 120-150A max	3 026,00 kr	3-5 dagar, 280-344 kr	Benjamin Vedder är utvecklare
YEP ESC	14.8-51.8 V, 180 A	3 782,00 kr	Gratis 3-14 dagar, 511 kr 2-8 dagar	Ingen sensor
<b>Vårt val:</b>				
VESC 6 MkV	11.1-60 V, 80 A, 120-150A max	3 026,00 kr	3-5 dagar, 280-344 kr	Benjamin Vedder är utvecklare
Vi har valt VESC utvecklad av Benjamin Vedder då den har många smarta funktioner som kalibrering av gashandtag etc. Den har även Hall-sensor vilket är ett plus. Den rekommenderades dessutom av Bioboards till motorn vi valt. De flesta speed controllers är baserade på Benjamin Vedders open code och VESC är något han tagit fram tillsammans med trampa. Programmet som VESC använder är väldigt avancerat.				
<b>Batteri</b>				
POWERWORKS P60B6	60 V, 6 Ah	1 995,00 kr	3-5 dagar, 49 kr/ Eller hämta i sisjön	Behöver 2 för 10 km räckvidd
Pellenc 520	43 V, 12 Ah	7 290,00 kr	3-5 dagar, gratis	1 ger nästan 10 km räckvidd
DeWalt XR	18V, 5 Ah	932,00kr	Skickas inom 24h, gratis frakt	Behöver 6 st, 3 i serie med paralkoppling (för 10 km räckvidd)
Turnigy high capacity	6s, 12 Ah	1 333,00 kr	Gratis 3-14 dagar, 511 kr 2-8 dagar	Inte stöttåligt, brandrisk
<b>Vårt val:</b>				
POWERWORKS P60B6	60 V, 6 Ah	1 995,00 kr	3-5 dagar, 49 kr/ Eller hämta i sisjön	Behöver 2st
Vi har valt Powerworks batteri då har lämplig spänning och är stöttåligt. Denna ger en räckvidd på 5 km vilket vid behov skulle kunna utvidgas till 10 km vid inköp av ett extra batteri				
<b>Gasreglage</b>				
Ebike Twist Gasreglage	12/24/36/48V	201,00kr	3-5 dagar/gratis prime frakt	
Gashandtag el Superbilligt		363,00kr	2-5 dagar, 59 kr	Art:12404
<b>Vårt val:</b>				
Ebike Twist Gasreglage	12/24/36/48V	201,00kr	3-5 dagar/gratis prime frakt	
Vi har valt Ebike twist gasreglage för att det har funktionen vi letar efter iform av analog to digital converter (ADC). Det ska vara kompatibelt med VESC 6. Den har snabb leverans och ett lågt pris				
<b>Övrigt</b>				
POWERWORKS P60UC 60V	60V	749,00kr	3-5 dagar, 49kr/ Eller hämtas i sisjön	Laddare till batteri
Huvudströmbrytare	250A max, 100 A kontinuerligt	79,90kr	Köpes på Biltema	
Pluskabel	141A max, 50 mm*2 ändrat oss till 25	89,90kr	Lagershop Göteborg	

# M Komponentval

Minus kabel	141A max, 50 mm <sup>2</sup> ändrat oss till 25	89,90kr	Lagershop Göteborg
XT90 kontakt	90-120A max, används på VESC	25,00kr	1-3 dagar, 20 kr
Bullet connectors	4mm, 3 par	125,00kr	ReservdelsRC Göteborg
kablar V2	100A max för 125 grader	110,00kr	Kullagerrosisten
		0,00kr	
		0,00kr	
<b>Ram/Chassi</b>		0,00kr	
Kullager Styre	SKF: 3204 A (1st), 16004 (1st)	1 200,00 kr	Prel. val. Köpes hos Momentum
Kullager Hjul	SKF: W 63803 (4st)	196,00kr	1-3 vardagar, 29 kr
Skumgummi säte	0,45*0,2*0,05 m * 2 st	219,00kr	3-6 vardagar, 50 kr
Material	Läder/Tyg - ca 0,3 m2	109,00kr	1-3 vardagar, 29 kr
Fästning	Div. muttrar/brickor	200,00kr	
	<b>Total kostnad inköpspris</b>	11 074,70 kr	
	<b>Total kostnad med frakt</b>	11 776,70 kr	

# N Matlabscript

3/31/22 5:02 PM Z:\Matlab\Kan...\Berakning drivlina V3.m 1 of 4

---

```
clear
clc

% ----- VARIABLER MC -----
% Vikter
m_mc = 25;           % Vikten på motorcykeln [kg]
m_person = 100;     % Maxvikt på en person [kg]
m = m_mc + m_person; % Totalvikten [kg]

% Hjul
m_hjul = 1;           % Massan per hjul [kg]
hjuldiameter = 0.27; % Hjuldiameter [m]
hjulomkrets = pi*hjuldiameter; % Omkrets hjul [m]

% Chassi/Drivlina
A_frontal = 0.8;     % Frontalarea inkl förare [m^2]
Cd = 0.9;           % Luftmotstånd koefficient för tävlingsmotorcykel
utvaxling = 10;     % Utvaxling 10:1
eta_trans = 0.9;    % Verkningsgrad för transmission
eta_motor = 0.9;    % Verkningsgrad för motor

% Hastighet och acceleration
v_kmh = 40;           % Maxhastighet [km/h]
v_ms = v_kmh/3.6;    % Maxhastighet [m/s]
Bromsstracka = 20;   % Bromssträcka [m]
a = 2;               % Acceleration [m/s^2]

% ----- VARIABLER MOTOR, bioboards 65100 -----
Kv = 205;           % Konstant [rpm/V]
m_motor = 1;       % Vikten på motorn [kg]
I_max = 120;       % Maxström motor [A]
U_max = 74;        % Maxspänning motor [V]
P_max = 5400;      % Maxeffekt motor [W]

% ----- VARIABLER BATTERI, Powerworks P60B6 -----
U = 60;           % Spänning [V]

% ----- OMVÄRLDSVARIABLER -----
% Lutning på 10% motsvarar ca 5.8 grader
vinkel_uppfor = 5.8*(pi/180); % Vinkel i uppförsläget
vinkel_plan = 0;           % Vinkel på plan mark
vinkel_nedfor = -5.8*(pi/180); % Vinkel i nedförläget
rho_luft = 1.146;         % Densiteten på luft
g = 9.82;                % Gravitation m/s^2

%% ----- BERÄKNING AV KRAFT [N] -----

% Hjälp tas från Modern electric hybrid fuelcell vehicles
fr = 0.0015; % Friktionskonstant

% Beräkning av friktionskraft från hjulen
F_f_uppfor = fr*m*g*cos(vinkel_uppfor);
```

# O Matlabscript

3/31/22 5:02 PM Z:\Matlab\Kan...\Berakning drivlina V3.m 2 of 4

```
F_f_plan = fr*m*g*cos(vinkel_plan);
F_f_nedfor = fr*m*g*cos(vinkel_nedfor);

% Beräkning av extra kraft pga lutning
F_n_uppfor = m*g*sin(vinkel_uppfor);
F_n_plan = m*g*sin(vinkel_plan);
F_n_nedfor = m*g*sin(vinkel_nedfor);

% Luftmotstånd
F_luft = (rho_luft/2)*A_frontal*Cd*(v_ms.^2);

% Beräkning av accelerationskraft
F_a = m*a;

%% ----- BERÄKNING AV TOTAL KRAFT [N] -----

% Kraft i uppförsbacke vid acceleration
F_uppfor_acc = F_f_uppfor + F_n_uppfor + F_luft + F_a;

% Kraft på plan mark vid acceleration
F_plan_acc = F_f_plan + F_n_plan + F_luft + F_a;

% Kraft i nedförsbacke vid acceleration
F_nedfor_acc = F_f_nedfor + F_n_nedfor + F_luft + F_a;

% Kraft i uppförsbacke vid konstant hastighet
F_uppfor = F_f_uppfor + F_n_uppfor + F_luft;

% Kraft på plan mark vid konstant hastighet
F_plan = F_f_plan + F_n_plan + F_luft;

% Kraft i nedförsbacke vid konstant hastighet
F_nedfor = F_f_nedfor + F_n_nedfor + F_luft;

%% ----- BERÄKNING AV MOMENT [Nm] -----

omega_hjul = v_ms/(hjuldiameter/2); % Vinkelhastighet på hjulet [rad/s]
omega_motor = omega_hjul*utvaxling; % Vinkelhastighet på motorn [rad/s]
n_hjul = (60/(2*pi))*omega_hjul; % Varvtal på hjulet [rpm]
n_onskad = U*Kv*0.7 % Önskat varvtal på motorn vid marsch hastighet, ✓
70% av maxvarv [rpm]

ddt_omega = a/(hjuldiameter/2); % Vinkelacceleration [rad/s]
mtroghet_hjul = (m_hjul)*((hjuldiameter/2).^2/2); % Masströgheten för en cylinder ✓
[Nm]
trogmoment = mtroghet_hjul*ddt_omega; % Tröghetsmoment på ett hjul [Nm]
trogmomenttot = 2*trogmoment; % Tröghetsmoment på 2 hjul [Nm]

% Totala momentet vid acceleration uppför
moment_uppfor_acc = (F_uppfor_acc*(hjuldiameter/2))+trogmomenttot;

% Totala momentet vid acceleration på plan mark
moment_plan_acc = (F_plan_acc*(hjuldiameter/2))+trogmomenttot;

% Totala momentet vid acceleration nedför
```

# P Matlabscript

3/31/22 5:02 PM Z:\Matlab\Kan...\Berakning drivlina V3.m 3 of 4

```
moment_nedfor_acc = (F_nedfor_acc*(hjul diameter/2))+trogmomenttot;

% Totala momentet vid konstant hastighet uppför
moment_uppfor = (F_uppfor*(hjul diameter/2))+trogmomenttot;

% Totala momentet vid konstant hastighet på plan mark
moment_plan = (F_plan*(hjul diameter/2))+trogmomenttot;

% Totala momentet vid konstant hastighet nedför
moment_nedfor = (F_nedfor*(hjul diameter/2))+trogmomenttot;

% Moment för motor [Nm]
moment_motor_acc_uppfor = moment_uppfor_acc/utvaxling % Acceleration uppför
moment_motor_acc_plan = moment_plan_acc/utvaxling % Acceleration plan mark
moment_motor_konst_uppfor = moment_uppfor/utvaxling % Konstant hastighet uppför
moment_motor_plan_konst_v = moment_plan/utvaxling % Konstant hastighet plan mark

%% ----- BERÄKNING AV EFFEKT MHA MOMENT [W] -----

P_acc_uppfor_M = moment_uppfor_acc*omega_hjul; % Effekt acceleration uppför
P_acc_plan_M = moment_plan_acc*omega_hjul; % Effekt acceleration plan mark
P_acc_nedfor_M = moment_nedfor_acc*omega_hjul; % Effekt acceleration nedför

P_uppfor_M = moment_uppfor*omega_hjul; % Effekt uppför
P_plan_M = moment_plan*omega_hjul; % Effekt plan mark
P_nedfor_M = moment_nedfor*omega_hjul; % Effekt nedför

%% ----- BERÄKNING AV EFFEKT MHA HASTIGHET [W] -----

P_acc_uppfor_v = F_uppfor_acc*v_ms; % Effekt acceleration uppför
P_acc_plan_v = F_plan_acc*v_ms; % Effekt acceleration plan mark
P_acc_nedfor_v = moment_nedfor_acc*v_ms; % Effekt acceleration nedför

P_uppfor_v = F_uppfor*v_ms; % Effekt uppför konstant hastighet
P_plan_v = F_plan*v_ms; % Effekt plan mark konstant hastighet
P_nedfor_v = F_nedfor*v_ms; % Effekt nedför konstant hastighet

%% ----- VIKTIGA EFFEKTER MED VERKNINGSGRAD [W] -----

% Ger maxeffekt då verkningsgraden < 1
P_uppfor_acc = (P_acc_uppfor_v)/(eta_trans*eta_motor) % Effekt acceleration uppför
P_uppfor_konst_v = (P_uppfor_v)/(eta_trans*eta_motor) % Effekt uppför konstant
hastighet
P_plan_acc = (P_acc_plan_v)/(eta_trans*eta_motor) % Effekt acceleration plan
mark
P_plan_konst_v = (P_plan_v)/(eta_trans*eta_motor) % Effekt plan mark konstant
hastighet

%% ----- VARVTAL -----

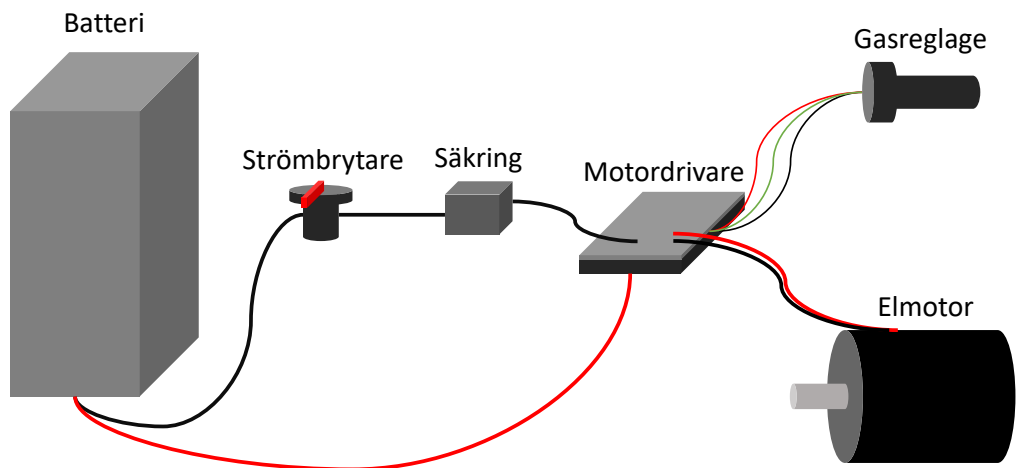
f = v_ms/hjulomkrets; % Frekvens [Hz]
rpm_hjul = 60*f; % Varvtal hjul [rpm]
n_motor = rpm_hjul*utvaxling % Varvtal motor [rpm]
n_max_teoretisk_motor = Kv*U; % Teoretiskt maxvarv [rpm]
```

## Q Matlabscript

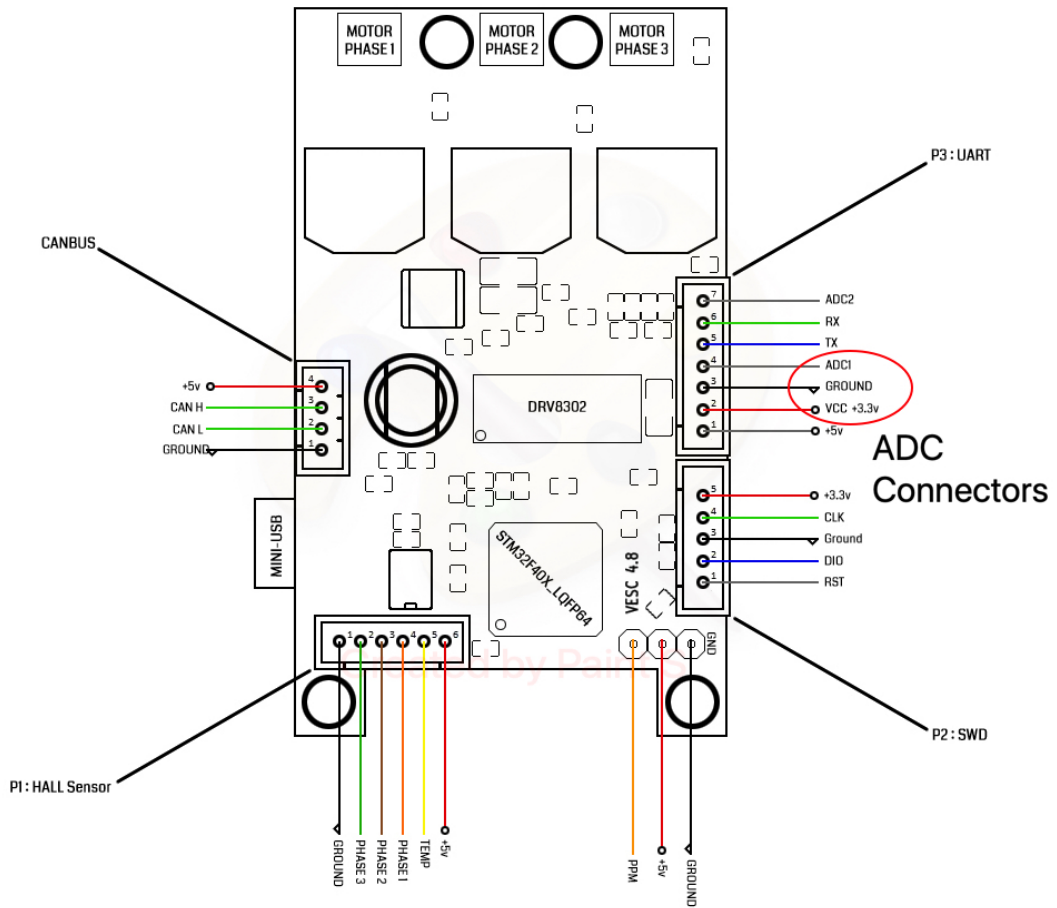
3/31/22 5:02 PM Z:\Matlab\Kan...\Berakning drivlina V3.m 4 of 4

```
v_max_teoretiskt = n_max_teoretisk_motor*hjulomkrets*3.6/(60*utvaxling) % Teoretisk✓  
topphastighet [km/h]  
  
%% ----- RÄCKVIDD -----  
  
S_tot = 5000; % Sträckan [m]  
  
% Uppdelning av sträcka  
p1 = 0.6; % Procent av sträckan körning på plan mark  
p2 = 0.1; % Procent av sträckan körning i uppförsbacke  
p3 = 0.1; % Procent av sträckan körning i nedförsbacke  
p4 = 0.1; % Procent av sträckan acceleration på plan mark  
p5 = 0.05; % Procent av sträckan acceleration i uppförsbacke  
p6 = 0.05; % Procent av sträckan acceleration i nedförsbacke  
  
% Olika typer av sträckor [m]  
s1 = p1*S_tot; % körning på plan mark  
s2 = p2*S_tot; % körning i uppförsbacke  
s3 = p3*S_tot; % körning i nedförsbacke  
s4 = p4*S_tot; % acceleration på plan mark  
s5 = p5*S_tot; % acceleration i uppförsbacke  
s6 = p6*S_tot; % acceleration i nedförsbacke  
  
% Genomsnittlig effektbehov [W]  
P_avg = (p1*P_plan_M)+(p2*P_uppfor_M)+(p3*P_nedfor_M)+(p4*P_acc_plan_M)+  
(p5*P_acc_uppfor_M)+...  
(p6*P_acc_ned_M);  
  
% Effekt vid normal körcykel med verkningsgrad [W]  
P_korcykel = P_avg/(eta_trans*eta_motor)  
  
%% ----- BERÄKNING BATTERIKAPACITET, C [Ah] -----  
  
v_medel = 25; % Uppskattad medelhastighet [km/h]  
eta_batt = 0.9; % Verkningsgrad för batteriet  
  
t = (S_tot/1000)/v_medel; % Körtid i timmar [h]  
E = P_korcykel*t;% Energiåtgång körcykel [Wh]  
  
Ah_korcykel = (1/eta_batt)*(E/U) % Batterikapacitet som krävs för en körcykel på 5km✓  
[Ah]
```

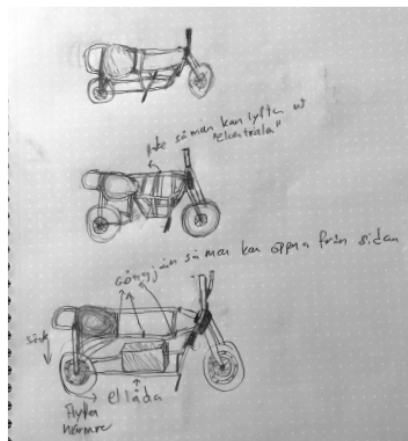
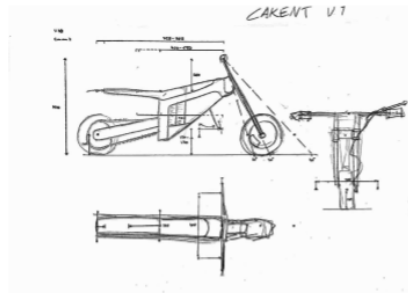
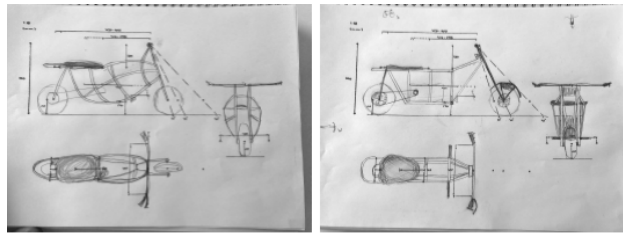
## R Kopplingschema

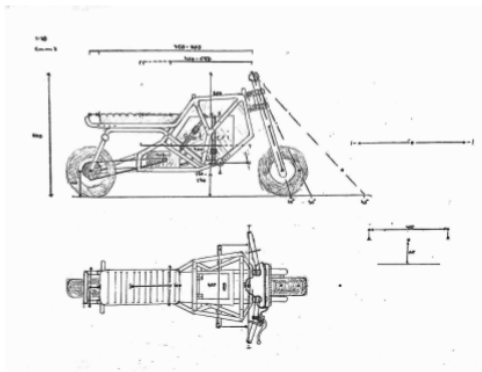
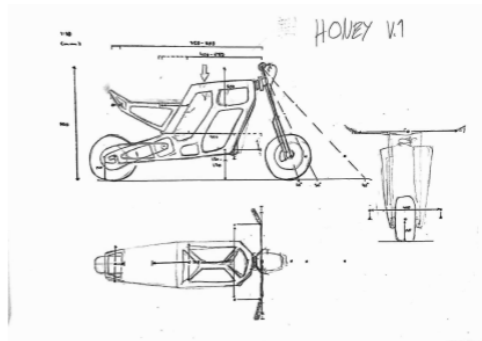
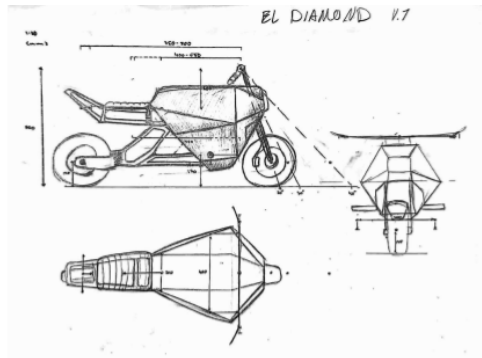


# S VESC 4.12



# T Skisser







## 8 Referenslista

Jernkontorets energihandbok, (2022-02-17) *Elmotorer, teknik och funktion* <https://www.energihandbok.se/elmotorer-teknik-och-funktion/>

Kitrelle, R. (2009-06-30). Understanding Motorcycle Rake and Trail. Ridersmagazine. <https://ridermagazine.com/2009/06/30/understanding-motorcycle-rake-and-trail/>

Klyve, L. Kubberöd, G. & Enoksen, H., (2014). Full kontroll. Nummer 8, s.3-4, [https://www.svmc.se/smc\\_filer/school/full%20kontroll/001-016%20full\\_kontroll2014.pdf](https://www.svmc.se/smc_filer/school/full%20kontroll/001-016%20full_kontroll2014.pdf)

Lindemann, M. (2015-05-22). Understanding a Motorcycle's Rake and Trail. Cycleworld. <https://www.cycleworld.com/2015/05/22/cycle-world-tips-and-tricks-understanding-mo>

Lazy Motorbike. u.å. Tips for braking on a motorcyle. <https://www.lazymotorbike.eu/tips/braking/>

Vlahos, J. (2004-12-07). The Pocket Bike Craze. Popular Mechanics. <https://www.popularmechanics.com/adventure/outdoors/a220/1278186/#>

CarBikeTech. (2020-05-01). Motorcycle Frame: Types, Design & Construction. <https://carbiketech.com/motorcycle-frame/>

Cavallari, D. (2022-04-07). What are the Different Types of Mini Bike Frame?. Wikimotors. <https://www.wikimotors.org/what-are-the-different-types-of-mini-bike-frame-htm>

Stemme, D. (2015). Möjligheter och begränsningar hos höghållfasta stål. Svetsen, #3, s.35 [https://svets.se/download/18.60a7678514fae95caec8391/1444304025013/3.2015\\_st%C3%A5l.pdf](https://svets.se/download/18.60a7678514fae95caec8391/1444304025013/3.2015_st%C3%A5l.pdf)

Aalco Metals Limited. u.å. aalco: The UK's largest independant multi-metals stockholder <https://www.aalco.co.uk/>

Hedesunda saminköp AB. (16 november 2020). *Prisexempel*. <https://www.hsiab.se/prisexempel.html>

Hansén, M. (2013). *Titan*. Periodiska Systemet. <https://periodiskasystemet.nu/titan>

MAT Foundry Group Limited. (2022). How do Brake Discs Work?. [https://www.matfoundrygroup.com/blog/How\\_do\\_brake\\_discs\\_work](https://www.matfoundrygroup.com/blog/How_do_brake_discs_work)

Navstar Steel Corporation. u.å. Class 8.8 Nuts, High Tensile Class 8.8 Studs Manufacturer in India <https://www.navstarsteel.com/grade-8-8-bolts.html#chemical>

Hughes, A., & Drury, B. (2019) *Electric Motors and Drives* (Fifth Edition) DOI <https://doi.org/10.1016/C2017-0-03226-3>

Shultz, G. P. (1997) *Transformers and Motors* DOI <https://doi.org/10.1016/C2009-0-26786-9>

Thomasnet. uå. Types of Motor Controllers and Drivers. <https://www.thomasnet.com/articles/instruments-controls/types-of-motor-controllers-and-drives/>

Thomasnet. uå. All About DC Motor Controllers. <https://www.thomasnet.com/articles/instruments-controls/dc-motor-controllers/>

Thomasnet. uå. All About AC Motor Controllers. <https://www.thomasnet.com/articles/instruments-controls/ac-motor-controllers/>

Batteriföreningen. u.å. Battericellens uppbyggnad. <https://batteriforeningen.se/battericellens-uppbyggnad/>

Lindstedt, P., & Burenius, J. (2016). *The Value Model: how to master product development and create unrivalled customer value*. Nimba.