



CHALMERS

Elmotordriven Longboard

ETT ALTERNATIVT TRANSPORTMEDEL



Mattias Karlsson
Sebastian Nilsson
Kevin Nordenhög
Albin Nykvist
Mikael Pähn
Jonas Åkesson

Kandidatarbete inom Datateknik och Informationsteknik

Institutionen för data- och informationsteknik
Chalmers tekniska högskola
Göteborgs universitet
Göteborg, Sverige 2017

Kandidatarbete

Elmotordriven Longboard

Ett alternativt transportmedel

Mattias Karlsson

Sebastian Nilsson

Kevin Nordenhög

Albin Nykvist

Mikael Pähn

Jonas Åkesson

Institutionen för data- och informationsteknik

Chalmers tekniska högskola

Göteborgs universitet

Göteborg, Sverige 2017

Elmotordriven longboard
Kandidatarbete, våren 2017

Mattias Karlsson, Sebastian Nilsson, Kevin Nordenhög
Albin Nykvist, Mikael Pähn, Jonas Åkesson

©Mattias Karlsson
©Sebastian Nilsson
©Kevin Nordenhög
©Albin Nykvist
©Mikael Pähn
©Jonas Åkesson

Examinator: Arne Linde

Kandidatarbete DATX02-17-05
Institutionen för data- och informationsteknik
Chalmers tekniska högskola
SE-412 96 Göteborg
Sverige
Telefon +46 (0)31-772-1000

The Author grants to Chalmers University of Technology and University of Gothenburg the non-exclusive right to publish the Work electronically and in a non-commercial purpose make it accessible on the Internet. The Author warrants that he/she is the author to the Work, and warrants that the Work does not contain text, pictures or other material that violates copyright law.

The Author shall, when transferring the rights of the Work to a third party (for example a publisher or a company), acknowledge the third party about this agreement. If the Author has signed a copyright agreement with a third party regarding the Work, the Author warrants hereby that he/she has obtained any necessary permission from this third party to let Chalmers University of Technology and University of Gothenburg store the Work electronically and make it accessible on the Internet.

Förord

Denna rapport behandlar ett kandidatarbete vid Chalmers tekniska högskola på institutionen för data- och informationsteknik. Arbetet utfördes av sex teknologstudenter på civilingenjörsprogrammen datateknik och elektroteknik under våren 2017.

Projektgruppen vill tacka handledare Lars Svensson för god handledning under projektets gång samt Lars Norén för hjälp med leveranser och rådgivning. Vi vill också tacka Jens S. Transmissioner AB för sponsring av transmission samt E-sektionens Teletekniska Avdelning (ETA) för rådgivning och tillgång till verkstad.

Abstract

This report examines the possibilities of dimensioning and constructing an electric driven longboard with the purpose of it being used as an environmental friendly, practical and legal transportation unit. This for a lower cost than other longboards available on the market. The longboard is, in addition to the trucks and wheels, equipped with electrical and mechanical components. Two motors have been attached to the motor pulleys at the rear truck, that together with the transmission makes the longboard move. There are two electronic speed controllers connected to the motors which controls the communication to the wireless controller and the battery. The controller is equipped with a throttle, a brake function and a button to activate the horn. The longboard will be specified for legal use in Sweden which means a maximum velocity of $20[km/h]$ and a deceleration of $3[m/s^2]$. It is specified to ride at a varied velocity for at least $10[km]$. During the verification of the longboard, a range of $17,1[km]$ was measured as possible with a rider of $80[kg]$. The total cost of the longboard was 5650 SEK. This was over the budget of 5000 SEK but almost half the price compared to other actors on the market.

Sammanfattning

Denna rapport behandlar möjligheten att dimensionera och konstruera en elmotordriven longboard med syfte att användas som ett miljövänligt, praktiskt och lagligt transportmedel. Detta för en mindre kostnad än de elektriska longboards som finns tillgängliga på marknaden. Longboarden är, utöver truckar och hjul, utrustad med elektroniska samt diverse mekaniska komponenter. Två motorer fästes med egentillverkade motorfästen på den bakre trucken, som med hjälp av kugghjulstransmission får hjulen i rullning. Till motorerna är två motorstyrningskort kopplade som sköter kontakten med den trådlösa handkontrollern samt batteriet. Handkontrollern är utrustad med ett gas- och bromsreglage samt en knapp för att aktivera signalhornet. Enligt svensk lag behöver longboarden ha en begränsad maxhastighet på $20[km/h]$, samt en retardation vid bromsning på $3[m/s^2]$. Vid varierad hastighet skall longboarden kunna framföras minst $10[km]$. Vid verifikation av longboarden uppmättes att en sträcka på $17,1[km]$ kan köras av en förare med en vikt på $80[kg]$. Den totala slutkostnaden för longboarden blev 5650 kr, vilket var över budgeten på 5000 kr men drygt hälften av priset andra aktörer på marknaden begär.

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte och mål	1
1.3	Metod	1
1.4	Avgränsingar	2
2	Friläggning av krafter och effektbehov	3
2.1	Krafter	3
2.1.1	Friktion	3
2.1.2	Lutning	4
2.1.3	Luftmotstånd	4
2.1.4	Rotationströghet	4
2.1.5	Resulterande kraften	4
2.2	Dimensionering av effekt	5
3	Elektroniska komponenter	6
3.1	Motor	6
3.2	Batteri	7
3.2.1	Beräkning av kapacitet samt val av batteri	7
3.2.2	Laddning och inbromsning	8
3.3	Motorstyrning	8
3.3.1	VESC	9
3.4	Styrsystem	10
3.5	Viktsensor	11
3.6	Ljus- och ljudanordning	12
4	Mekaniska komponenter	15
4.1	Plattform	15
4.2	Motorfäste	16
4.3	Transmission	16
4.3.1	Val av remskivor	17
4.3.2	Val av kuggrem	17
4.4	Montering och inkapsling	18
4.4.1	Inkapsling av komponenter	18
4.4.2	Montering av motorer	19
4.4.3	Montering av lilla remskivan	19
4.4.4	Montering av stora remskivan	19
4.4.5	Montering av kuggrem	20
5	Simulering	21
5.1	Regulatormodell	21
5.2	Modell av BLDC-motor	21
5.3	Modell av kraftpåverkning	23
5.4	Körstäcka	23
5.5	Fullständig modell av systemet	24
5.6	Simuleringsdata	25

6	Resultat	27
7	Diskussion	30
7.1	Plattform	30
7.2	Motor	30
7.3	Batteri	31
7.4	Styrenhet	31
7.5	Styrsystem	32
7.6	Viktsensor	32
7.7	Motorfäste	32
7.8	Transmission	33
7.9	Inkapsling	33
7.10	Simulering	34
7.11	Lagkrav och säkerhet	34
7.12	Vidareutveckling	35
8	Slutsats	36
A	Kravspecifikation	40
B	Motor	41
C	Batteri	42
D	Broms	43
E	Styranordning	44
F	Handkontroll	45
G	Transmission	46
H	Ritningar	47
I	Simuleringskod	51
J	BLDC-Tool	54

1 Inledning

I detta kapitel presenteras varför projektet utförs, både genom en bakgrund och ett syfte. Under avsnitt 1.3 presenteras även hur projektet kommer utföras och under avsnitt 1.4 beskrivs de avgränsningar som gjordes.

1.1 Bakgrund

Miljöhotet världen står framför är både kritiskt och oroväckande. Det är allmänt bekant att de mest använda transportmedlen är fordon drivna av fossila bränslen, samt att detta är en av de största anledningarna till den allt för höga koldioxidhalten i atmosfären. För att motverka detta krävs att fler människor väljer miljövänligare alternativ, så som kollektivtrafik eller cykel. Tyvärr är inte cykeln alltid praktisk att medta och den kan även vara för fysiskt krävande för att välja. Detta medför att andra alternativ bör undersökas.

Longboarden har under flera år används som ett transportmedel för korta sträckor. Dess starka rullningsförmåga på plan mark samt i nedåtlutning gör den till ett bekvämt färdmedel. Möjligheten att bära med sig den på till exempel buss eller bil finns också, vilket kan vara en svårighet med cykeln. En styrka longboarden har gentemot andra liknande produkter är dess förmåga att åka över underlag av varierande kvalitet vilket vanliga skateboards samt inlines har problem med.

Problemet med longboarden kommer med uppförsbackar då den skjutkraft som resenären skapar genom att trycka ifrån mot marken inte kan övervinna gravitationskraften som uppkommer då backens lutning är för stor. En lösning på detta är att göra longboarden elmotordriven. Denna lösning skapar även en mer avslappnad åkning på plan mark då resenären inte behöver trycka ifrån för fart.

1.2 Syfte och mål

Syftet med arbetet är att tillverka ett miljövänligt, praktiskt och lagligt transportmedel. Det har under tidigare år gjorts liknande kandidatarbeten på andra institutioner [1], [2], [3], och på olika platser i världen har eldrivna longboards nått ut på marknaden [4], [5]. Arbetet syftar även till att fungera som ett hjälpmedel för andra som vill bygga en elmotordriven longboard. Målet är således att konstruera en longboard som är av samma eller högre kvalitet än tidigare års. Det finns även ett mål att nå upp till den kvalitén som finns på marknaden, fast till en lägre kostnad samt med högre säkerhet.

1.3 Metod

För att kunna genomföra målet att bygga ihop en longboard krävdes det att ett flertal olika komponenter valdes ut, alla med avseende på olika parametrar. Komponenterna valdes ut med hjälp av Pughmatriser för att på ett så objektivt och systematiskt sätt som möjligt kunna välja de bäst lämpade. Pughmatriser har även använts för andra val, som att välja ut det bäst lämpade sättet för styrning av longboarden. Innehållet i dessa matriser har tagits fram genom egna erfarenheter samt bakgrundsstudier om valet i fråga.

Det var även lämpligt att, i ett tidigt skede, ta fram en fysisk modell av longboarden och

dimensioneringen av dess krafter. Detta för att få en bra inblick i vad olika komponenter behövde ha för prestanda. För att göra detta har det dels använts kunskap om grundläggande mekanik, dels bakgrundsstudier över hur andra projekt har gått till väga och dels experiment, specifikt för att ta fram friktionskonstanten mellan underlag och hjul. Detta för att på ett så ingenjörsmässigt sätt som möjligt fått fram en fungerande och så verklig modell som möjligt.

Det krävdes även viss egendesign av komponenter samt simuleringar för att kunna skapa en välfungerande produkt. De egendesignade komponenterna har designas upp i programmet AutoCAD för att sedan tillverkas med hjälp av en CNC-maskin (Computer Numerical Control). Simuleringar har gjorts med hjälp av programmet Matlab Simulink. Dessa gjordes för att få en bra bild över hur olika komponenter skulle klara av specifikationerna listade i kravspecifikationen, se appendix A. Samma teststräcka som simulerades testkördes sedan för att kunna avgöra hur pass korrekt simuleringen var. En testkörning var även viktig eftersom det inte gick att köra i en konstant hastighet under hela den utsatta sträckan, vilket gjordes i simuleringen.

1.4 Avgränsingar

Longboarden konstruerades för att hålla de lagkrav som ställs på fordonet av transportstyrelsen i TSFS 2010:144 [6]. Dessa lagar är anpassade i största del för eldrivna cyklar och vad dessa krav innebär framgår i kravspecifikationen (se appendix A). År 2015 utfärdades även SFS 2015:793, som är en ändring i lagen om vägtrafikdefinitioner, av Sveriges riksdag [7]. Denna lagändring innebär bland annat att longboarden som fordon endast får ha en märkeffekt på högst 250[W]. Denna lagändring bortsågs tidigt i projektets skede då en märkeffekt på endast 250[W] ansågs vara orimligt att klara av samtidigt som resterande lagkrav skulle uppfyllas. Detta hade även konstaterats av tidigare kandidatprojekt som stött på samma problem [3].

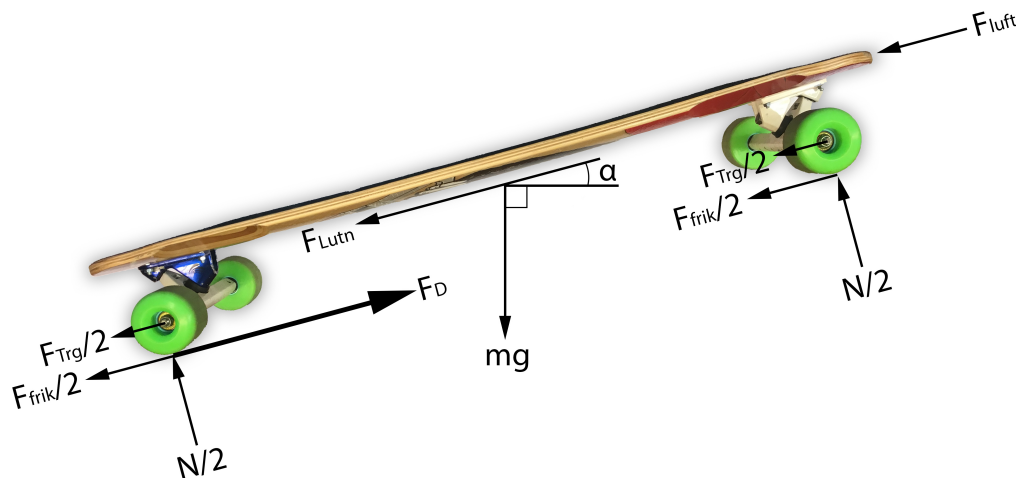
För att försöka hålla budgeten på 5000 kr (se kravspecifikation, appendix A) krävdes att longboard och komponenter köptes in till förmånliga priser. På grund av tidsbegränsningen på 2400 timmar inhandlades de flesta komponenter färdiga istället för att konstrueras från grunden.

2 Friläggning av krafter och effektbehov

För att kunna dimensionera de komponenter som behövde köpas in så behövdes först en friläggning av alla krafter som verkar på longboarden under färd genomföras. Detta för att kunna räkna på dessa och klarlägga vilken drivande och bromsande kraft som krävdes för att uppfylla de krav som ställts i kravspecifikationen (se appendix A).

2.1 Krafter

För att identifiera de krafter som verkar på longboarden under färd och räkna på dessa behövdes först en fysikalisk modell ställas upp. Detta genomfördes genom friläggning vilket gjorde att fysiska samband kunde ställas upp som baserades på de krav som ställdes på acceleration och hastighet. De krafter som behövdes tas hänsyn till var friktionskraft mellan hjul och underlag $F_{frik}[N]$, den lutande kraften som kan uppkomma vid färd i backe $F_{lutn}[N]$, luftmotståndskraften $F_{luft}[N]$, kraften som uppstår på grund av rotationströghet i hjulen $F_{trg}[N]$, den kraft som krävs för att accelerera longboarden $F = m \cdot a[N]$, samt den drivande kraften $F_d[N]$, se figur 1.



Figur 1: Figur över longboard och alla krafter som verkar på den.

2.1.1 Friktion

Friktionskraften som verkar mellan hjul och underlag kan förenklas till ett uttryck som endast beror på normalkraften $F_N[N]$, samt en friktionskonstant f_r som beror på materialet i hjulen och underlaget. Hjulen som valdes är gjorda av polyuretan. Friktionskonstanten för polyuretan med asfalt som underlag var svår att hitta uppgifter om. Av den anledningen utfördes ett experiment för att bestämma friktionskonstanten, vilket gav konstanten $f_r = 0,028$. Experimentet utfördes genom att dra longboarden obelastad i konstant hastighet på plan asfalt med en dynamometer, sedan lästes värdet på dynamometern av. Genom att göra detta ett flertal gånger och sedan beräkna ett medelvärde kunde en rimlig friktionskonstant tas fram. I det fall då longboarden inte utsätts för någon lutning ($\alpha = 0$) utan rullar på

plan mark beräknades friktionskraften då till

$$F_{frik} = F_N \cdot f_r = mg \cdot \cos(\alpha) \cdot f_r = 107 \cdot 9,82 \cdot \cos(0) \cdot 0,028 = 29,42 [N]. \quad (1)$$

2.1.2 Lutning

Den kraft som kan uppstå vid färd i backe till följd av normalaccelerationen beror på backens lutning α° och tyngdkraften $m \cdot g$. I och med att kraften byter riktning beroende på om lutningen är positiv eller negativ så valdes $\alpha = 0$ i det dimensionerande fallet. Därmed blev kraften lika med 0 enligt

$$F_{lutn} = mg \cdot \sin(\alpha) = 107 \cdot 9,82 \cdot \sin(0) = 0 [N]. \quad (2)$$

2.1.3 Luftmotstånd

För att kunna beräkna luftmotståndets storlek behövdes först luftmotståndskoefficienten C_D multiplicerat med arean $A[m^2]$ på föremålet som färdas fram. Enligt [8] så kan denna produkt approximeras till $C_D \cdot A = 0,84[m^2]$. Detta antagande är gjort för en stående genomsnittlig människa vilket är ett realistiskt scenario. Den tar däremot inte hänsyn till luftmotståndet på själva longboarden, vilket dock kan försummas i jämförelse mot en människa. Beräkningarna tar heller inte hänsyn till vindhastigheten som därmed antas vara noll. Kraften beror också på densiteten för luft som är $\rho_{luft} = 1,2047[kg/m^3]$ vid rumstemperatur [9], vilket är ett rimligt antagande då longboarden med största sannolikhet kommer att användas mest under vår och sommar. Kraften kunde då räknas ut enligt

$$F_{luft} = \frac{1}{2} \rho_{luft} C_D A \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,2047 \cdot 0,84 \cdot 5,56^2 = 15,64 [N]. \quad (3)$$

2.1.4 Rotationströghet

Den rotationströghet som uppstår när hjulen försöker accelereras $J = \frac{mr^2}{2}[kgm^2]$ ger upphov till ett krafttillskott $F_{trg}[N]$. Momentet som krävs kan definieras som $M = F \cdot r[Nm]$ som också kan uttryckas $M = J\dot{\omega}[Nm]$ där $\dot{\omega}$ är vinkelaccelerationen $\dot{\omega} = \frac{a}{r}$. Kraften kunde beräknas genom att sätta momenten lika med varandra och sedan lösa ut F_{trg} . Observera att tröghetsmomentet måste multipliceras med 4 som är antalet hjul. Hjulens massa vägdes till $m_{hjul} = 175[g]$ st och deras radie mättes till $r_{hjul} = 34[mm]$.

$$M = F \cdot r_{hjul} = 4 \cdot J\dot{\omega} = 4 \cdot \frac{m_{hjul}r_{hjul}^2}{2} \cdot \frac{a}{r_{hjul}} = 2 \cdot m_{hjul}r_{hjul} \cdot a \rightarrow \quad (4)$$

$$\rightarrow F_{trg} = \frac{M}{r_{hjul}} = \frac{2 \cdot m_{hjul}r_{hjul} \cdot a}{r_{hjul}} = 2 \cdot m_{hjul} \cdot a = 2 \cdot 0,175 \cdot -3 = -1,05 [N]. \quad (5)$$

2.1.5 Resultande kraften

Den resulterande drivande kraften $F_d[N]$ räknades ut genom att summera alla krafterna som verkar på longboarden. Kraften som detta resulterade i var alltså den kraft som minst behöver appliceras på hjulen för att kunna accelerera fordonet med $a = -3[m/s^2]$ vid $v = 20[km/h]$ med en total vikt på $m = 107[kg]$ som specificerats i kravspecifikationen (se appendix A).

$$F_d - F_{frik} - F_{lutn} - F_{luft} - F_{trg} - m \cdot a = 0 \rightarrow \quad (6)$$

$$\rightarrow F_d = F_{frik} + F_{lutn} + F_{luft} + F_{trg} + m \cdot a \rightarrow \quad (7)$$

$$\rightarrow F_d = 29,42 + 0 + 15,64 + (-1,05) + (107 \cdot -3) = -277 \text{ [N]}. \quad (8)$$

Anledningen till att kraften blev negativ är att den måste verka mot färdriktningen för att kunna retardera fordonet. Vad som även bör noteras är att friktionskraften och luftmotståndet alltid förblir positiva oavsett om fordonet accelererar eller retarderas. Detta gör att vid inbromsning så hjälper dessa krafter till och sänker den kraft som behövs för att bromsa fordonet men tvärtom vid acceleration. Det bör minnas att detta var kraften som krävdes för att retardera fordonet vid plan mark ($\alpha = 0$). Av den anledningen samt att longboarden även dimensionerades för att kunna hålla hastigheter högre än $v = 20 \text{ [km/h]}$ användes endast denna kraft som ett mått på minimumkrav då fordonet fortfarande skulle kunna framföras lagligt. Den resulterande kraften i vissa extremfall redovisas i tabell 1 nedan.

Hastighet [km/h]	Acceleration [m/s ²]	Lutning [°]	F_d [N]
20	-3	0	-277
20	-3	10	-94,5
20	-3	-10	-459,5
20	0	0	45
20	0	10	227,5
20	0	-10	-137,4

Tabell 1: Resulterande kraften i olika extremfall.

2.2 Dimensionering av effekt

Motoreffekten som behövdes definieras av produkten mellan kraft och hastighet vilket ger den minimeffekt som behövdes appliceras på hjulen för att kunna bromsa enligt kraven. Effekten som elmotorn var tvungen att kunna ta upp för att kunna motorbromsa enligt dessa krav påverkas dock också av en verkningsgrad i transmissionen mellan hjul och motor. Den valda transmissionstypen kuggrem (se avsnitt 4.3) har en verkningsgrad på cirka $\eta_{trans} = 95\%$, enligt [10], vilket betyder att 5 % förloras i överföringen av effekt mellan motor och hjul och motorn kunde därför dimensioneras för att kunna ta upp lite lägre effekt än vad som tas upp av hjulen.

$$P = F_d \cdot v \cdot \eta_{trans} = -277 \cdot \frac{20}{3,6} \cdot 0,95 = -1462 \text{ [W]}. \quad (9)$$

3 Elektroniska komponenter

De elektroniska komponenterna som behövs för att konstruera en eldriven longboard är motor, batteri, motorstyrning och ett styrsystem. Utöver detta har denna longboard även en ljus- och ljudanordning samt en viktsensor. De ovannämnda komponenterna kommer diskuteras i kapitlet.

3.1 Motor

Motorn är en central komponent för en eldriven longboard. Eftersom ett batteri är kraftkällan till brädan så krävdes en motor som kunde drivas av den likspänning batteriet levererade. Det finns huvudsakligen två typer av motorer som kunde drivas på likspänning, en borstad DC-motor eller en borstlös DC-motor (BLDC). De största skillnaderna mellan de två typerna är att den borstade har komponenter som slits ut med tiden (dess borstar) medan den borstlösa inte har det problemet, samt att en BLDC-motor är tvungen att ha någon form av motorkontroller för att kunna köras [11]. För att välja motor användes en Pughmatris (se appendix B) vilket avgjorde att valet föll på BLDC. Borstlösa motorer är även den mest dominerande typen av motor för eldrivna longboards på marknaden vilket visar på att en sådan var ett lämpligt val [4], [5].

I en BLDC-motor skapas den roterande kraften på motorn genom kraftelektronik vilket gör att motorn kräver växelspänning. Denna växelspänning skapas från likspänningen genom pulse width modulation som, enkelt förklarat, tar likspänningen och släpper igenom den olika lång tid av ett intervall [11]. Medelvärde av varje intervall ger olika hög spänning beroende på hur lång tid av intervallet likspänningen släpps igenom. Genom att variera tiden likspänningen släpps igenom skapas en sinusvåg vilket är den form en vanlig växelspänning har [11].

Eftersom kopparförlusterna i ledningar och motor utgör de största förlusterna samt att de är proportionella mot strömmen i kvadrat så var det fördelaktigt att kunna ha en lägre ström [11]. Av denna anledning var det rimligt med en så hög spänning som möjligt i batteriet samt motor.

För att bestämma vilken motor som skulle användas till projektet kom valet att bero på dess maximala effekt, spänning och varvtal samt dess storlek och pris. Det maximala varvtalet går att lösa ut ur motorkonstanten $K_v = \frac{n}{U} [rpm/V]$ vilken definierar proportionaliteten mellan spänning och varvtalet på motorn. För att göra detta behövdes det först ta reda på vilket batteri som skulle användas så att spänningen som matar motorn skulle vara känd. Batteriet som valdes har 8 celler vilket motsvarar en maxspänning på 29,6[V], som nämns i avsnitt 3.2.1. Detta betydde att det behövdes en motor som klarar av att drivas på den spänningen samt ha en motorkonstant som passar bra för det önskade varvtalet.

Varvtalet som motorn skall kunna rotera med är direkt relaterat till varvtalet på hjulen. Då de BLDC-motorer som fanns tillgängliga till förmånliga priser opererade på höga varvtal behövdes transmission med en viss utväxling. Utväxlingen bestämmer varvtalsproportionaliteten mellan motor och hjulen. Vald utväxling blev 1:3 som berodde bland annat på fysiska begränsningar. Mer om transmissionsdimensioneringen nämns i avsnitt 4.3. Utväxling 1:3 betyder alltså att motorn kommer att ha ett varvtal som är 3 gånger högre än hjulens.

För att veta vilket varvtal $n[rpm]$ som då krävs för en viss hastighet så behövdes varvtalet på hjulen först definieras. Varvtalet går att tecknas som en funktion av vinkelhastigheten $\omega_{hjul}[rad/s]$ som i sin tur beror av hastigheten $v[m/s]$ samt hjulens radie $r_{hjul}[m]$. Hastigheten som motorn dimensioneras efter är satt till $v = 20[km/h]$ eftersom longboarden har som krav att kunna köras lagligt och därmed inte får överstiga denna maxhastighet.

$$n_{hjul} = \omega_{hjul} \cdot \frac{60}{2\pi} = \frac{v}{r_{hjul}} \cdot \frac{60}{2\pi} = \frac{20/3,6}{0,034} \cdot \frac{60}{2\pi} = 1560,3 [rpm] \quad (10)$$

$$\rightarrow n_{motor} = 3 \cdot n_{hjul} = 3 \cdot 1560,3 = 4681 [rpm]. \quad (11)$$

Då motorn helst inte skall arbeta på sitt maximala varvtal vid vald hastighet, då det kan hända att det uträknade varvtalet överstigs, så behövde det finnas en marginal. För att lösa denna marginal så valdes motorns arbetsvarvtal vid dimensionerad hastighet till 70 % av maxvarvtalet. Detta har även studerats och fungerat bra som tumregel för tidigare års kandidatarbeten [3],[1]. Detta betydde att den motorkonstant $K_v[rpm/V]$ som motorn var tvungen att uppnå var

$$K_v = \frac{n_{motor}/0,7}{U} = \frac{4681/0,7}{29,6} = 225,9 [rpm/V] \quad (12)$$

Motorn var också tvungen att kunna ta upp den uträknade effekten som beräknades i 2.2 till $-1462[W]$, alltså fungera som en generator under retardation och därmed motorbromsa. En begränsning blev också att motorn skulle få plats framför trucken mellan bakhjulen på longboarden samt inte väga för mycket. Med tanke på dessa krav föll valet av motor på två stycken *Turnigy Aerodrive SK3* [12], som har en motorkonstant på $K_v = 280[rpm/V]$ och en märkeffekt på $1510[W]$ vilket ger en totaleffekt på $3020[W]$. Dessa motorer uppfyllde även de fysiska förutsättningarna som krävdes.

3.2 Batteri

För att longboarden skulle kunna färdas de $10[km]$ som sattes i kravspecifikationen krävdes ett batteri som var litet nog att få plats under brädan samtidigt som det skulle kunna leverera ström nog för att brädan skulle kunna uppnå detta krav. Nyckelpunkterna för batteriet blev då hög strömtålighet samt hög energidensitet. De ledande batterier som finns tillgängliga är blyaccumulatorer, Ni-metal hybrid samt olika typer av litumbatteri [13]. För att avgöra vilken batterityp som var den bäst lämpade användes en Pughmatris (se appendix C). Detta visade att litiumjonbatteri är bäst lämpad för projektet. Som nämnt tidigare så var det föredraget med så hög spänning som möjligt i motorn vilket uppnås genom att seriekoppla 8 stycken battericeller på $3,7[V]$ vardera.

3.2.1 Beräkning av kapacitet samt val av batteri

Ett estimerat värde på lägsta batterikapacitet räknades fram genom ekvation 13 där det antogs en verkningsgrad på 80 %, en konstant hastighet på $20[km/h]$ samt att brädan kör hela sträckan på plan mark. Motorernas verkningsgrad på 80 % valdes efter diskussion med tillverkaren [14]. Observera att detta var en väldigt förenklad uppskattning gjord endast för att kunna få en ungefärlig bild av batterikapaciteten. Den totala verkningsgraden blir därefter 76 % efter multiplikation med verkningsgraden för transmissionen. Den mekaniska effekten (P) som krävs för detta fall kan beräknas med hjälp av uträkningarna i avsnitt 2.1.5

som presenteras i tabell 1, där accelerationen sattes till $a = 0[m/s^2]$. Den uträknade kraften $F_d = 45[N]$ multiplicerades sedan med hastigheten vilket gav $P = 250[W]$.

$$E = \frac{P \cdot t}{3600 \cdot U \cdot \eta} [Ah]. \quad (13)$$

Med insatta värden i ekvation 13 ledde detta till en batterikapacitet på $5,56[Ah]$ för $10[km]$ samt $11,11[Ah]$ för $20[km]$. För att kunna uppnå kravet på $10[km]$ ledde detta till att ett batteri på $5,8[Ah]$ införskaffades i form av *ZIPPY Compact 5800[mAh] 8S 25C Lipo Pack* [15], vilket är av typen litiumjonpolymerbatteri som tillhör litiumjonfamiljen. 8S betyder att det är åtta stycken seriekopplade battericeller med $3,7[V]$ och $5,8[Ah]$ kapacitet vardera vilket gör att batteriet levererar en nominell spänning på $29,6[V]$. Batteriet kan även leverera $25[C]$ ut vilket innebär 25 gånger kapaciteten, $25 \cdot 5,8 = 145[A]$, vilket räcker med råge för att leverera den dimensionerade effekten.

3.2.2 Laddning och inbromsning

Batteriet hade även en maximal uppladdningsström på $5[C]$, vilket innebär $29[A]$. För att kunna uppfylla lagkravet på inbromsning så krävdes det, enligt ekvation 9, $1462[W]$. Eftersom inbromsningen skedde genom regenerativ bromsning krävdes det således att batteriet kunde laddas med denna effekt. Efter kontakt med tillverkaren stod det klart att denna gräns på $5[C]$ ej kunde tänjas på, inte ens under någon sekund, samt att verkningsgraden i uppladdning låg på cirka 80 % [14]. Med denna kunskapen gick det att med hjälp av ekvation 14 att räkna ut maximal bromsningseffekt som batteriet kunde ta upp. Observera att verkningsgraden för transmissionen var 95 %.

$$P = \frac{U \cdot I}{\eta_{trans} \cdot \eta_{batteri}} = \frac{29,6 \cdot 29}{0,95 \cdot 0,8} = 1129[W] \quad (14)$$

Detta betyder att batteriet endast kan ta upp runt 77 % av kravet. En lösning på detta var att bygga ut någon form av krets som tar upp effekten som batteriet inte kunde hantera, men denna idén ströks efter första testkörningen vilken visade på att det ej går att stå kvar på longboarden vid en sådan kraftig inbromsning.

Batteriet bör även undvikas att laddas upp genom inbromsning då det är nära fulladdat. Detta eftersom det, som för alla litiumjonbatterier, kan få batteriet att svälla och gå sönder [16]. För att motverka detta användes en motorstyrning (ESC) som begränsar inbromsning om batteriet är fulladdat.

3.3 Motorstyrning

För att kunna styra motorerna och reglera dess hastighet behövdes en Electronic Speed Controller (ESC). En ESC används ofta till radiostyrda bilar för att kommunicera med motor samt kontrollera dess hastighet och riktning. Borstlösa motorer kräver mer avancerad motorstyrning jämfört med borstade motorer då den måste omvandla likströmmen från batterierna till växelström. Valet av ESC berodde på dess funktioner samt pris [17].

Ett populärt val i liknande projekt var en ESC vid namn VESC (Vedder's Electronic Speed Control) [18]. VESC är en open source-ESC som utvecklades av Benjamin Vedder med elektriska longboards i åtanke [19]. Till VESC finns ett konfigurationsprogram som kallas

för BLDC-Tool. I BLDC-Tool finns en mängd olika inställningar som konfigurerar batteri och motor [20]. Nackdelen med VESC är att den kostar mycket jämfört med en mer grundläggande ESC som ofta används i till exempel radiostyrda bilar. Ett annat alternativ var att konstruera en egen ESC baserat på Benjamin Vedders ritningar. Kunskapen för detta inom gruppen ansågs inte vara tillräcklig så detta alternativ slopades.

Efter rekommendationer från andra som gjort liknande projekt och för att uppfylla de ställda kraven på longboarden valdes att VESC skulle användas [1], [2], [3]. Eftersom två motorer skulle användas behövdes även två VESC-kort då ett kort inte kan styra fler än en motor.

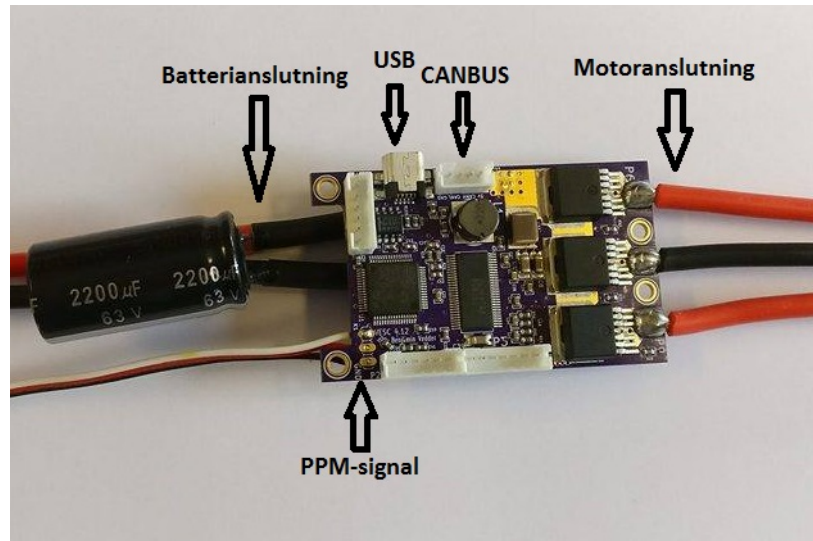
3.3.1 VESC

VESC är byggd på en STM32F4 mikrokontroller med firmware baserad på ChibiOS/RT, ett operativsystem för inbyggda system där fokus ligger på prestanda [21]. Med mikrokontrollern finns det processorkraft över vilket ger möjlighet att utöka med fler funktioner. VESC har stöd för regenerativ bromsning vilket möjliggjorde det kravet på longboarden. Regenerativ bromsning innebär att den motsatta ström som uppstår utnyttjas av styrenheten och bidrar till att ladda batteriet. Utöver det finns BLDC-Tool där man kan konfigurera motor och ESC precis som man vill. Programmering av firmware till styrenheten sker via en ST-Link/V2 programmerare. Det bör noteras att de VESC-korten som inhandlades för detta projekt redan var programmerade till firmware version 4.12. Efter att VESC har programmerats med sin firmware kan den konfigureras i BLDC-Tool. För att konfigurera VESC-korten kopplades de till ett nätaggregat och till en dator med Ubuntu 16.04 via Mini-USB [19].

I BLDC-Tool görs först en motor detection där programmet beräknar vissa motorparametrar för att optimera motorernas funktion. Inställningar för hur mycket ström motorerna kan utnyttja ställs också in enligt batteriets specifikation. För att uppnå de krav som ställts på longboardens maxhastighet konfigurerades detta i BLDC-Tool. Detta verkställs genom att ändra inställningen för maximal electrical revolutions per minute (erpm) eller Soft RPM Limit. Parametern för Soft RPM Limit användes istället då denna ger mjukare acceleration och åkning vid maxhastighet. Denna parameter beräknades till 28086 enligt motorns varvtal vid $20[km/h]$ som är $4681[rpm]$ multiplicerat med antalet polpar (6) i motorn vilket ger $28086[erpm]$. För att säkerställa att regenerativ bromsning fungerade behövde parametrar för detta ställas in i BLDC-Tool. De värden som konfigurerades var Battery min (regen) och Motor min (regen). Dessa ställdes in med avseende på batteri och motor till $-29[A]$ och $-60[A]$ respektive. En inställning som gör att motorn bromsar då handkontrollern tappar kontakten med mottagaren ställdes också in. För att hjälpa till vid uppstart i uppförsbackar ställdes Startup boost in till 0,15. Alla inställningar i BLDC-Tool finns nedan i Appendix J.

För att få korten att arbeta synkroniserat finns två alternativ. Med hjälp av en CANBUS-anslutning kan korten kopplas samman och mottagaren kopplas endast till det kort som är master. Det andra alternativet är att använda en servo Y-kabel mellan VESC-korten och mottagaren så att mottagaren istället ansluts till båda VESC-korten. Efter problem med CANBUS-anslutningen användes det andra alternativet, Y-kabeln till mottagaren. För att skydda VESC-korten från jordströmmar användes en signaldelare. I BLDC-Tool konfigurerades korten så att de skulle använda sig utav PPM (Pulse Position Modulation). PPM

är vad sändare och mottagare använder för att överföra signaler mellan sig, för att styra enheten. När detta hade konfigurerats kunde motorerna styras trådlöst med hjälp av handkontrollern.



Figur 2: Övergripande bild av VESC-kortet.

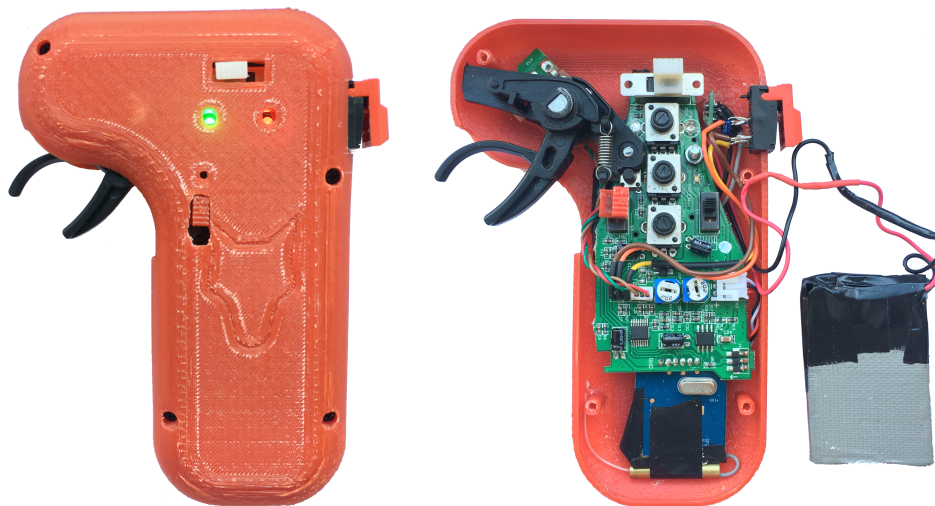
3.4 Styrsystem

För att styra longboarden krävdes ett styrsystem. För att utvärdera vilken typ av styrning som var lämpligast gjordes en Pughmatris, se appendix E, för att sätta de olika styrsystemen mot varandra. De fyra olika styrsystemen som undersöktes var trådlös handkontroll, trådbunden handkontroll, viktbaserad fotkontroll och pedalstyrd fotkontroll. Tanken med viktbaserad fotkontroll var att acceleration och retardation skulle styras med viktfördelningen mellan främre och bakre fot och en pedalbaserad fotkontroll innebär att acceleration och retardation skulle styras med två pedaler. Från Pughmatrisen gick det att utläsa att en trådlös handkontroll var det bästa valet. Trådlös handkontroller är det vanligaste styrsystemet på marknadens elmotordrivna longboards [4], [5].

Kraven för handkontrollen var att det skulle finnas ett gasreglage samt ett önskemål på två eller fler knappar för att styra funktioner som ljudhorn och dödmansgrepp för att nämna de viktigaste två. Den ska även kunna kommunicera med VESC-korten trådlöst. För att utvärdera vilken typ av handkontroller som passade projektet bäst användes en annan Pughmatris, se appendix F. Detta visade att det bästa valet vore en trådlös handkontroller till spelkonsolen Wii som heter Nyko Kama. Tyvärr var denna handkontroll inte tillgänglig på marknaden när beställningarna gjordes. Detta gjorde att valet av handkontroller föll på en trådlös handkontroll, HobbyKing GT2B [22], för radiostyrda bilar. Handkontrollern har fungerat för liknande projekt enligt ett inlägg på *electric.skateboard-builders.com* [23], vilket är ett forum för gör-det-själv elektrisk longboard [4]. Handkontrollern kommunicerar med VESC-korten via en mottagare som kopplas till PPM-utgången på VESC-kortet. Kabeln delades i två så att den kunde kopplas till båda korten samtidigt. I handkontrollern finns

sändare som kommunicerar med mottagaren.

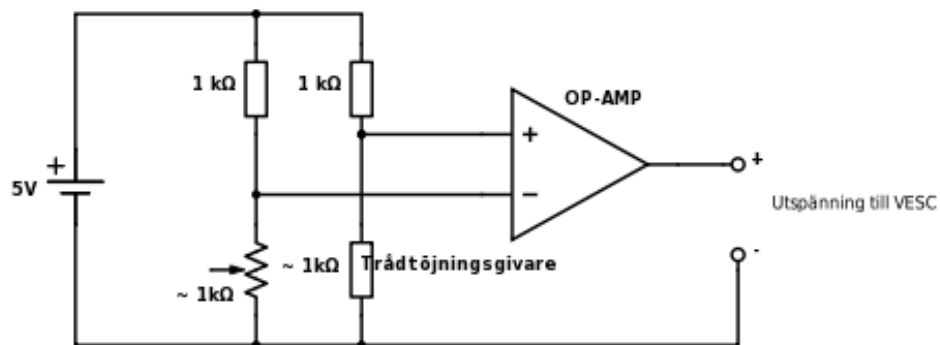
Då longboarden ska vara enkel att ha med sig valdes det att även handkontrollern skulle modifieras till en mindre och smidigare modell. Skalet som användes för modifieringen heter BadWolf och är ett populärt skal skapat specifikt för GT2B vars CAD-ritningar är gratis att använda [24]. Till detta handkontrollskal fanns även en steg-för-steg-guide för modifiering [25]. Resultatet av modifieringen visas nedan i figur 3.



Figur 3: Resultatet av den modifierade handkontrollern.

3.5 Viktsensor

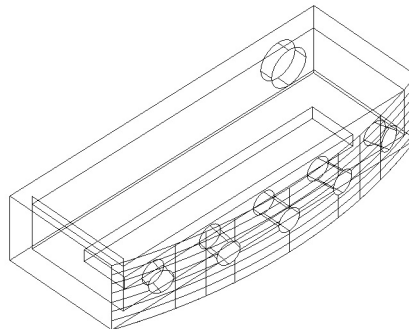
Utöver det tänkta dödmansgreppet i handkontrollen specificerades att longboarden skulle kunna känna av ifall någon står på den. För att känna av ifall en person står på longboarden behövdes någon sorts mekanik eller elektronik användas. Trådtöjningsgivare har tidigare använts i liknande projekt [26]. Trådtöjningsgivare är en liten enhet bestående av metallisk tråd som i detta fall fästes på longboardens truckar. När truckarna utsätts för tryck så töjs trådarna i trådtöjningsgivaren vilket förändrar resistansen i tråden. För att sedan göra denna resistans mätbar används en Wheatstone-brygga. En Wheatstone-brygga är en krets som medför ett enkelt sätt att mäta en okänd resistans på. Det finns tre olika sorters bryggor, en kvartsbrygga, en halvbrygga och en helbrygga [27]. Skillnaden mellan dessa är deras förmåga att mäta resistanser med hög precision. En operationsförstärkare som förstärker signalen från Wheatstone-bryggan skulle eventuellt också behövas för att kunna mäta vikten som föraren applicerar på brädan, figur 4 visar tänkt kretsschema. I diskussionen förklaras varför detta inte kunde implementeras.



Figur 4: Wheatstone-brygga med operationsförstärkare.

3.6 Ljus- och ljudanordning

Transportstyrelsen kräver att det finns ljusanordning fram och bak på brädan för mörkerkörning [6]. Dessa ljus ska enligt samma lag kunna synas på ett avstånd av 300[m] och skall lysa vitt eller gult i fören samt rött i aktern. För att uppnå detta konstruerades ett lysdiodhus upp i CAD som sedan skrevs ut i hårdplast av en 3D-skrivare, vilket kan ses i figur 5. Mer detaljerade ritningar går att finna i appendix H. Detta lysdiodhus användes endast för ljus bak. Lysdioderna som användes för ljuset framtill kopplades direkt på en plastram vilket gjordes att ett diodhus framtill inte var nödvändigt eller möjligt. Bakre uppsättningen hade plats för fem lysdioder, för att med råge kunna synas på 300[m] medan den främre uppsättningen hade plats för sex lysdioder för att kunna lysa upp så stor del av körbanan som möjligt.



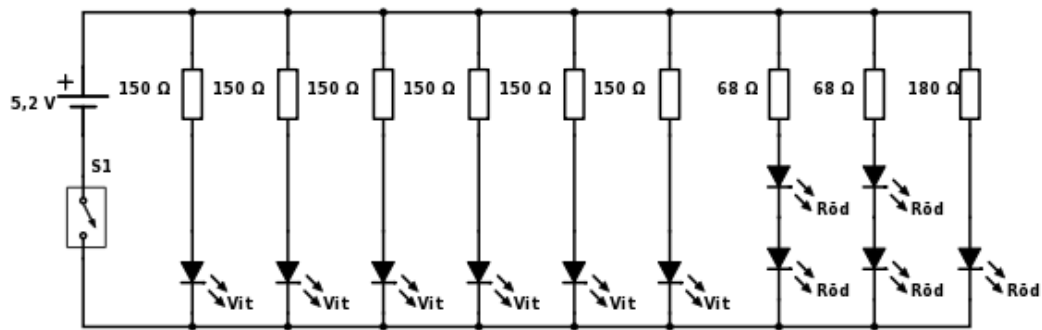
Figur 5: Diodhus för montering av röda lysdioder i aktern på longboarden.

Lysdioderna, Luxeon Rebel 5000K, som monterades i fören var även tänkta att användas som färdljus och skulle därför lysa upp så mycket av färdbanan som möjligt. Lysdioderna som ämnades till färdljus var så kallade kraft-lysdioder som lyser med 106[Lm] (Lumen) per diod vid 350[mA]. För att få en känsla för hur mycket 106 Lumen är går det att jämföra en

lysdiod med en Halogenlampa på $16[W]$. Däremot strömbegränsades de vita lysdioderna så de inte tillsammans skulle dra mer än $120[mA]$ från strömkällan. Dessa lysdioder monterades på en kylplatta för att sedan placeras i ett plastskal med fokuserande lins.

Baktill behövdes det däremot inte starkare ljus än att det skulle gå att se ifrån $300[m]$ i mörker. Ändå användes kraftlysdioder för att i framtiden kunna tillämpa bromsljus med samma dioder. Även dessa lysdioder strömbegränsades så den totala strömmen de röda lysdioderna drog från strömkällan blev $60[mA]$.

Följande kretsschema visar hur lysdioderna fram och bak designades.



Figur 6: Kretsschema för lysdioderna.

För att kunna slå på och av ljuset vid färd användes kanal tre på handkontrollen som av- och på-knapp. Kanal tre gav en utgående PWM-signal som gick från $1[ms]$ i pulsbredd till $2[ms]$ när knappen blev intryckt. I handkontrollen fanns det en inbyggd hållkrets som gjorde att pulsbredden höll sig i det bredare läget tills nästa gång knappen blev intryckt.

På radiomottagarsidan byggdes en elektronisk strömbrytare som beror på vilken pulsbredd som går in i strömbrytaren. Kretskortet togs av en servomotor, vilket fungerar som när pulsbredden är mindre än $1[ms]$ håller sig servoaxeln på $0[^\circ]$, när pulsbredden går upp till $2[ms]$ vrider sig axeln $180[^\circ]$. Genom att montera isär servomotorn, titta på spänningen som matas till motorn vid en pulsbredd på $1[ms]$ och vrida den återkopplade potentiometern tills dess att utspänningen blev $0[V]$ och sedan ersätta potentiometern med fasta resistanser konstruerades en radiostyrd av-/på-knapp. Utspänningen från kontrollkortet för servomotorn gav $5,2[V]$ vid aktiverat tillstånd, vilket är vad lysdiodkretsen senare designades för.

Enligt lag måste man ha ett signalhorn på fordonet [6]. För att konstruera en styrkrets för signalhornet användes samma metod som för av-/på-knappen för ljusannordningen. En servomotor skruvades isär och den återkopplande potentiometern ersattes av två fasta resistanser. Kanal ett på handkontrollern var kopplad till en potentiometer, vilken ersattes med två fasta resistanser och en strömbrytare. Det gjorde att pulsbredden från radiomottagaren kunde varieras från $1[ms]$ till $2[ms]$ med ett knapptryck. När knappen släpps går pulsbredden tillbaka till sin ursprungliga bredd på $1[ms]$. Utgående spänning på servokortet

varierade mellan $0[V]$ vid $1[ms]$ i pulsbredd till $5,2[V]$ vid $2[ms]$ i pulsbredd. På utgången från kretskortet monterades ett signalhorn som hade inbyggd oscillator vilket gjorde att den gick att driva med DC.

4 Mekaniska komponenter

De mekaniska komponenterna som behövdes för longboarden var en bräda, truckar och hjul. För att fästa motorn behövdes ett motorfäste och en klämhylsa, samt någon form av transmission mellan motorn och hjul. För att skydda batteri och motorstyrningskort tillverkades även inkapsling. Dessa delar och hur de monterades kommer diskuteras i kommande kapitel.

4.1 Plattform

Alla komponenter monterades enligt avsnitt 4.4 på en downhill-longboard från Slipstream [28] som är byggd för höga hastigheter. Longboarden har väldigt liten flexibilitet som betyder att själva brädan inte böjer sig vid belastning vilket gör att de monterade komponenterna på undersidan inte har samma risk att komma i kontakt med marken vid åkturer.

Truckarna är tillverkade av Caliber Truck Co [29]. Truckarnas hanger, mittendelen av trucken, är $180[mm]$ lång och har en asymmetrisk form med två räta vinklar och en avrundad del, se figur 7. Hangerns form var avgörande för designen av klämhylsorna och motorfästet i avsnitt 4.2. Totallängden på hela trucken med hjulaxlarna inräknat är standardmättet $10[\"{m}]$ vilket motsvarar $254[mm]$.

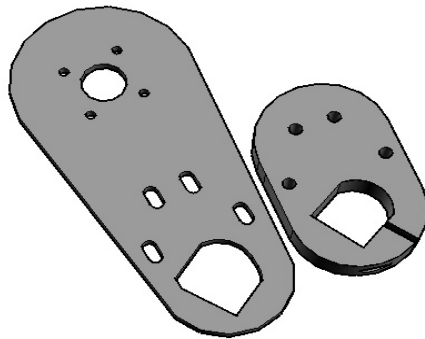


Figur 7: Hangeraxeln.

Longboardhjulen som användes hade en diameter på $68[mm]$ och var tillverkade av polyuretan. Stor vikt lades på val av hjul eftersom dessa hade en direkt påverkan av varvtalet som motorerna behöver rotera med för att föra fordonet framåt i $20[km/h]$. Dessa hjul med relativt låg diameter valdes eftersom de skulle ge tillräckligt högt arbetsvarvtal på motorerna vid den dimensionerade hastigheten.

4.2 Motorfäste

För att motorn skulle hållas på plats krävdes ett fäste. Då däckan rör sig tillsammans med truckarna krävdes ett motorfäste som fästes i truckarna. Fästet var tvunget att vara av tillräckligt starkt material för att kunna garantera att motorn sitter på plats. Det var även önskvärt att kunna justera avståndet mellan truck och motor till viss del, detta för att kunna spänna transmissionens drivrem. För att kunna uppnå dessa egenskaper användes AutoCAD för att skissa upp två delar som fäste motorn till trucken. Dels ett motorfäste mellan motor och truck och dels en klämhylsa som fäste motorfästet i trucken. Resultatet kan ses i figur 8. Det skapades avlånga hål i motorfästet där det skulle fästas med klämhylsan, detta för att kunna ändra hårdheten drivremmen är spänd med. För mer detaljerade ritningar se appendix H.



Figur 8: Motorfäste (till vänster) samt klämhylsa (till höger) för fästning mellan motor och truck.

Komponenterna tillverkades med hjälp av en kombination av metallsåg, pelarborr samt metallfil. Detta eftersom det ej fanns tillgång till någon CNC-maskin. Efter att en aluminiumbit av rätt tjocklek valts ut sågades grundgeometrin ut i form av ett rätblock. Avrundningarna samt hålen tillverkades sedan genom att fästa olika stora borrar i en pelarborr och fräsa ut. Finjusteringarna fixades till sist med olika grova metallfilar. Vad angår snittet för åtdragning i klämhylsan så tillverkades även det med metallsågen. Denna process gjordes fyra gånger för de fyra olika komponenterna.

4.3 Transmission

Effekten och momentet som skapas av motorn var tvunget att på något sätt överföras till longboardens hjul. För att kunna åstadkomma detta krävdes någon form av transmission. Transmissionen som valdes var tvungen att klara av att leverera den dimensionerade effekten samt vara enkel att implementera och helst klara sig utan eventuella underhåll. För att bestämma vilken typ av transmission som skulle brukas så genomfördes först en undersökning där de olika alternativen viktades i en Pughmatris, för att ta reda på vilken typ av transmission som skulle lämpa sig bäst. Denna undersökning kan finnas under Appendix G. De transmissionstyper som undersöktes var kuggrem, kedja samt alternativet att inte bruka någon transmission och istället använda sig av hubmonterade motorer direkt på longboardhjulen. Undersökningen visade att kuggrem var det bäst lämpade alternativet.

4.3.1 Val av remskivor

När typen av transmission var vald till kuggremmsdrift så återstod det endast att dimensionera remskivorna samt kuggremmen att klara av att överföra den effekt och moment som motorn genererade. Som nämnts tidigare i avsnitt 3.1 valdes transmissionen i ett tidigt skede till 1:3. Detta val grundades främst i att varvtalet på motorn inte skulle bli för högt vid dess arbetspunkt samt att den stora remskivan inte skulle ha för stor diameter gentemot longboardhjulen som har diameter $D_{hjul} = 68[mm]$. Eftersom den stora remskivan skulle monteras på longboardhjulen fick inte remskivan vara såpass stor att kuggremmen som sluter om skivan låg för nära väglaget och därmed vara i ett utsatt läge för eventuella ojämnheter och sten på väglaget. För att ha så små remskivor som möjligt valdes först kuggdelningen till $3[mm]$ som var det minsta möjliga avståndet mellan kuggarna som fanns att tillgå från företaget Jens S. Transmissioner AB [30]. Eftersom utväxlingen beror på sambandet mellan antalet kuggar på remskivorna enligt ekvation 15, som i sin tur bestämmer diametern på skivorna, var antalet kuggar på lilla och stora remskivan det som behövde bestämmas därefter.

$$i = \frac{z_{stor}}{z_{liten}} = 3 \quad (15)$$

Efter konsultation med Jens S. Transmissioner AB [31] rekommenderades kuggantalet till $z_{liten} = 20$ respektive $z_{stor} = 60$ som med god marginal skulle kunna överföra den dimensionerade effekten. Dessa kuggantal skulle motsvara delningsdiametrar på remskivorna på $D_{y,liten} = 19,10[mm]$ respektive $D_{y,stor} = 57,30[mm]$. Då själva kuggremmen också hade en tjocklek på $d = 1,2[mm]$ betydde detta att avståndet mellan kuggrem och väglag skulle motsvara $4,75[mm]$. Detta avstånd ansågs vara för litet då kuggremmen skulle vara väldigt utsatt vid ett så lågt avstånd. Av den anledningen konsulterades Jens S. Transmissioner AB ännu en gång och nya remskivor togs fram. De slutgiltiga remskivorna blev istället valda till $z_{liten} = 16$ och $z_{stor} = 48$ vilka har delningsdiametrar på $D_{y,liten} = 15,28[mm]$ respektive $D_{y,stor} = 45,84[mm]$. Dessa remskivor gjorde att avståndet mellan kuggrem och väglag istället motsvarade $d = 10,48[mm]$ vilket ansågs räcka. Att gå ner ytterligare i kuggantal hade gjort att transmissionen inte skulle klara av att överföra den dimensionerade effekten vid det varvtal som motorn arbetar på vid den valda hastigheten. Däremot var marginalen inte lika stor jämfört med det första alternativet men efter övervägning mellan lägre marginal och för litet avstånd mellan kuggrem och väglag valdes det andra alternativet.

4.3.2 Val av kuggrem

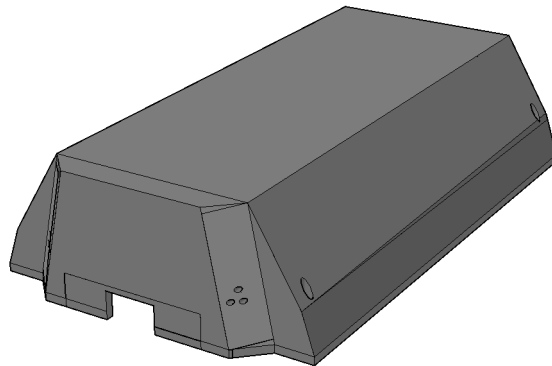
Utifrån den kuggdelning som valdes ($3[mm]$) samt det varvtal som krävdes vid den valda hastigheten rekommenderade Jens S. Transmissioner AB kuggremmen *CONTI SYNCHRO-FORCE CXP HTD* [32] som skulle vara lämplig att bruka för ändamålet. Utöver det så behövdes även en kuggremsbredd och längd bestämmas. Enligt beräkningshjälp av Jens S. Transmissioner AB så behövde rembredden vara minst $13,78[mm]$ vilket gjorde av valet föll på en rembredd på $15[mm]$ som var närmast tillgängliga rembredd. När det kom till remlängden så beror denna på centrumavståndet mellan den lilla och stora remskivan. Detta avstånd ansågs behöva vara mellan $70 - 80[mm]$ för att motorerna skulle kunna fästas på truckarna med goda avståndsmarginaler. Av den anledningen valdes en rem med en längd på $252[mm]$ som med hjälp av beräkningsverktygen gav ett centrumavstånd på $76,47[mm]$. Givet detta avstånd kunde motorfästen designas som uppfyllde detta, se appendix H.

4.4 Montering och inkapsling

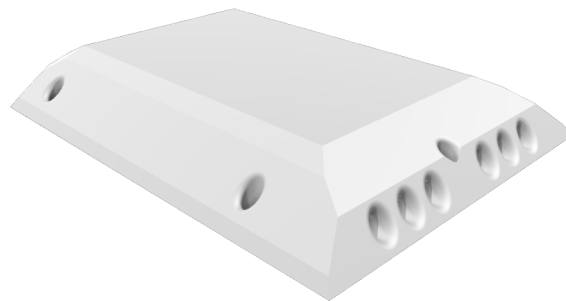
När konstruktionen av de mekaniska komponenterna var färdig behövde de monteras tillsammans med motorerna. För att skydda elektroniken från väta och stötar kapslades den in i ett skyddande skal.

4.4.1 Inkapsling av komponenter

För att skydda batteriet och VESC-korten mot smuts och väta behövde två komponenthus konstrueras. Båda komponenthusen konstruerades med en 3D-skrivare för att hålla ner vikten så mycket som möjligt. Plasten som användes vid 3D-skrivningen var Mankati mPLA. Komponenthuset för batteriet ritades upp i AutoCAD, se figur 9. Höljet designades för att få plats med batteriet, tillhörande kablage samt switchen för strömbrytaren. För att spara tid så designades inget eget komponenthus för elektroniken, istället användes en design från [33] som på förhand var gjort för att rymma två stycken VESC-kort, tillhörande komponenter och kablage, se figur 10.



Figur 9: Komponenthus för batteri.



Figur 10: Komponenthus för VESC-korten.

4.4.2 Montering av motorer

De två BLDC-motorerna monterades på longboardens truckaxel med hjälp av de tillverkade motorfästena och klämhylsorna. Klämhylsan monterades först på trucken vilka spändes åt med insex-skrivar. Motorfästena monterades sedan på klämhylsorna med genomgående skruv och muttrar. Motorerna kunde sedan enkelt fästas på fästena med genomgående skruvar. Se figur 12 för färdig installation.

4.4.3 Montering av lilla remskivan

För att montera den lilla remskivan på motorns drivande axel så användes cylindriskt fastsättning i form av Loctite 641 [34]. Loctite valdes att brukas då denna var smidig att använda för eventuell demontering. Detta då Loctite tillåter demontering vid lägre temperaturer vilket var bra för att undvika skador på motorerna vid en eventuell demontering i monteringsfasen. Momentet som Loctite klarar av att överföra definieras av ekvation 16 och beror på dimensionen av fästningen på remskivan, nämligen motoraxelns radie $r = 0,003[m]$, längden av remskivan som fästes på axeln $L = 0,014[m]$ samt lastupptagningsförmågan för Loctite, $F_A = 6,5 \cdot 10^6[Nm/m^2]$, vilket definieras i dess datablad [35].

$$M = F \cdot r = F_A \cdot A \cdot r = F_A \cdot 2\pi Lr \cdot r = 6,5 \cdot 10^6 \cdot 2\pi \cdot 0,014 \cdot 0,003^2 = 5,15[Nm] \quad (16)$$

Den uträknade kapaciteten gäller dock för stål-mot-stål-förband men eftersom remskivorna är gjorda av aluminium så blir kapaciteten något lägre. Ur databladet [35] kunde kompenseringsfaktorn för aluminium läsas ut från diagram till cirka 63 %, vilket istället gav kapaciteten $M = 5,15 \cdot 0,63 = 3,24[Nm]$. För två stycken transmissioner gav detta alltså en total maxkapacitet på $M = 6,48[Nm]$ vilket multiplicerat med utväxlingen 3 gav $M_{tot} = 19,45[Nm]$. Detta motsvarade drygt 2 gånger större moment än det uträknade dimensionerande behovet vilket alltså gav en säkerhetsfaktor på cirka 2.

4.4.4 Montering av stora remskivan

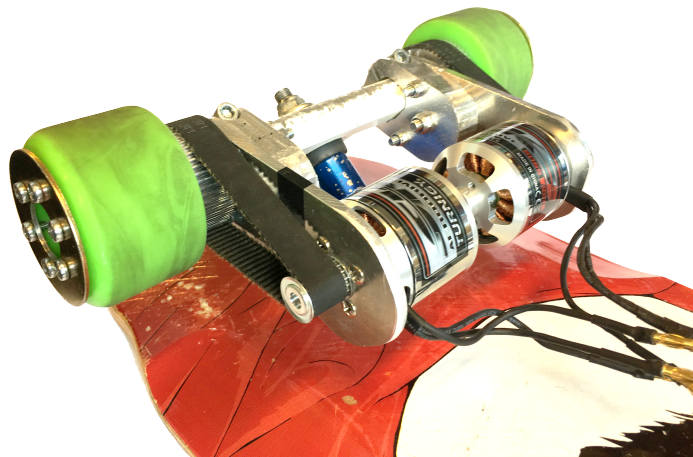
Den stora remskivan monterades direkt på longboardhjulen innersida. Eftersom de valda longboardhjulen hade släta innersidor ansågs det inte behövas någon centreringsskiva mellan remskivan och hjulen. Remskivan utformades av leverantören så att skivan skulle kunna rotera fritt runt trucken utan att stöta emot. Därav kunde remskivan monteras centralt på longboardhjulen med hjälp av genomgående skruv som fästes i de gängade hålen på remskivan. För att fördela kraften så jämnt som möjligt användes cirkulära brickor på framsidan av hjulen för fastsättning. Se figur 11 för en närbild av de färdigmonterade drivhjulen.



Figur 11: Monterade remskivor på drivhjul.

4.4.5 Montering av kuggrem

När både de lilla och stora remskivorna var färdigmonterade kunde remmen monteras. Remmen monterades genom att lägga remmen över den lilla remskivan och truckaxeln. Sedan kunde longboardhjulen med de färdigmonterade stora remskivorna sättas på och försiktigt träs på remmen på kuggarna. För att spänna remmen lossades motorfästet från klämhylsorna och remmen kunde spännas eftersom fästet var designat med avlånga hål. Detta gjorde det möjligt att spänna remmen tillräckligt hårt så att remmen hålls på plats med hjälp av spännkraften. Den färdiga monteringen illustreras i figur 12.



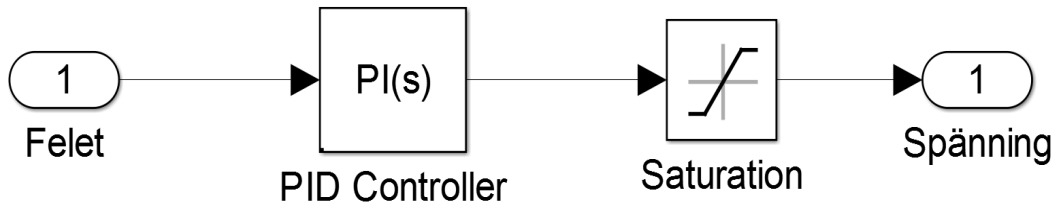
Figur 12: Monterade motorer på motorfästena med kuggrem installerad.

5 Simulering

För att kunna verifiera dimensioneringen och val av komponenter samt få en bild av hur den färdiga produkten skulle prestera genomfördes en simulering av systemet, detta med hjälp av programmet MATLAB Simulink. Att simulera systemet var också ett smidigt och ekonomiskt sätt att verifiera tidigare beräkningar, samt undersöka energiåtgången för en viss körsträcka. För att kunna genomföra simuleringen behövdes först en matematisk modell av hela systemet konstrueras i Simulink. Systemet delades därför upp i olika delar för att sedan sättas samman till en slutgiltig modell. De olika delarna som behövde modelleras var regulatorer som motsvarar VESC-korten, en motormodell som stämmer så bra överens med de använda BLDC-motorerna samt en modell för de olika krafter som verkar på longboarden under färd. För att göra simuleringen så verklighetstrogen som möjligt inhämtades GPS-data på den valda körsträckan som gjorde att påverkan från elevationen kunde tillgodoses, se 5.4.

5.1 Regulatormodell

För att kunna simulera systemet behövdes en regulator modelleras som reglerar spänningsnivån in till motorn. I det verkliga systemet var det VESC som skötte detta men styrenheten ansågs kunna modelleras med hjälp av Simulinks egna inbyggda funktion för en PID-regulator. Regulatorn får in "felet" som motsvarar referensvärdet för hastigheten subtraherat med den verkliga hastigheten i en feedback-loop. Regulatorn skickar sedan ut en styrsignal i form av spänningsnivå till motorn. Denna spänningsnivå är i verkligheten begränsad av batteriets maximala utspänning. Av den anledningen begränsades PID-regulatorns utsignal med ett mättningsblock som såg till att spänningsnivån ut till motorn ej översteg $\pm 29,6[V]$. I och med att två stycken VESC-kort användes, ett för vardera motor, så användes samma regulatormodell för båda motorerna, se figur 24 i 5.5.



Figur 13: Modell av regulatorstruktur.

5.2 Modell av BLDC-motor

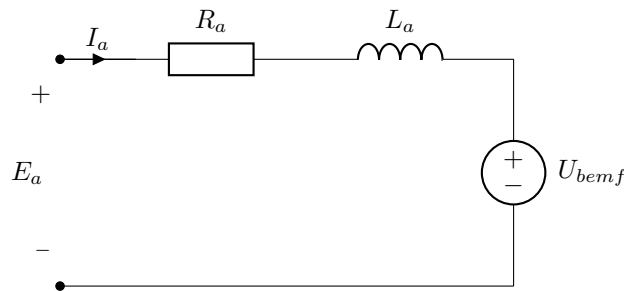
För att kunna simulera de två BLDC-motorerna så behövdes först en matematisk modell för en BLDC-motor tas fram. Enligt [36] kan en BLDC-motor modelleras enligt det ekvivalenta schemat i figur 14, där $E_a[V]$ är den ingående spänningen, $U_{bemf}[V]$ är den spänning som induceras i motorn på grund av de roterande magnetfälten och $R_a[\Omega]$ samt $L_a[H]$ är motorspecifika värden på det interna motståndet. Ur det ekvivalenta schemat kunde ekvation 17 tas fram. Den inducerade spänningen $U_{bemf}[V]$ är proportionell mot varvtalet dividerat med motorkonstanten $K_v[rpm/V]$ och hade i ideala fall (då $R_a[\Omega]$ samt $L_a[H]$ är

lika med noll) varit lika med den ingående spänningen $E_a[V]$. Vridmomentet som motorn generar är proportionellt mot strömmen $I_a[A]$ och $K_t[Vs/rad]$, som är direkt relaterad till motorkonstanten $K_v[rpm/V]$.

$$L_a \frac{di_a}{dt} = E_a - R_a I_a - U_{bemf} \quad (17)$$

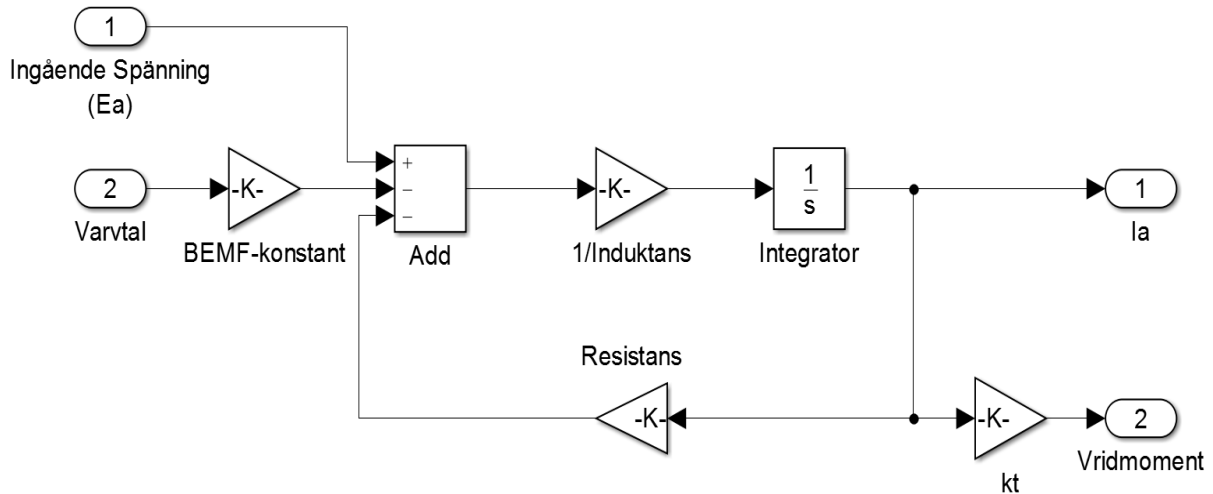
$$U_{bemf} = \frac{n}{K_v} \quad (18)$$

$$T = K_t I_a = \frac{60}{2\pi K_v} \cdot I_a \quad (19)$$



Figur 14: Ekvivalent schema för en BLDC-motor.

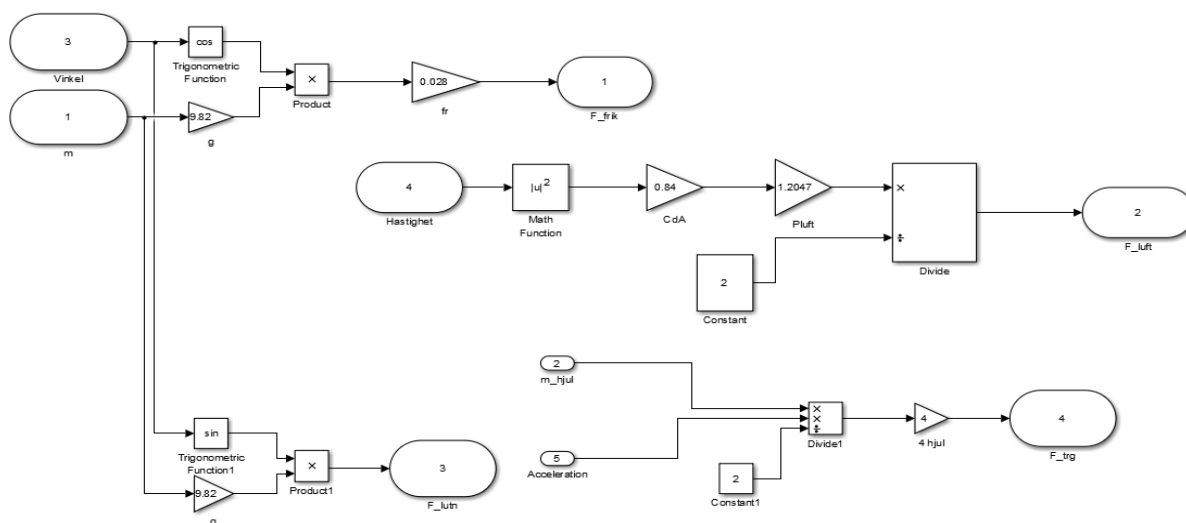
Med hjälp av dessa uttryck samt de specificerade värdena på den interna induktansen och resistansen för motorn kunde en modell för BLDC-motorn skapas i Simulink. Då två stycken likadana motorer användes så skapades två stycken likadana modeller enligt figur 15, där insignalerna är spänningen från regulatoren samt motorns varvtal och utsignalerna är vridmomentet som ger upphov till longboardens rörelse samt strömmen som dras från batteriet.



Figur 15: Modell av BLDC-motor.

5.3 Modell av kraftpåverkning

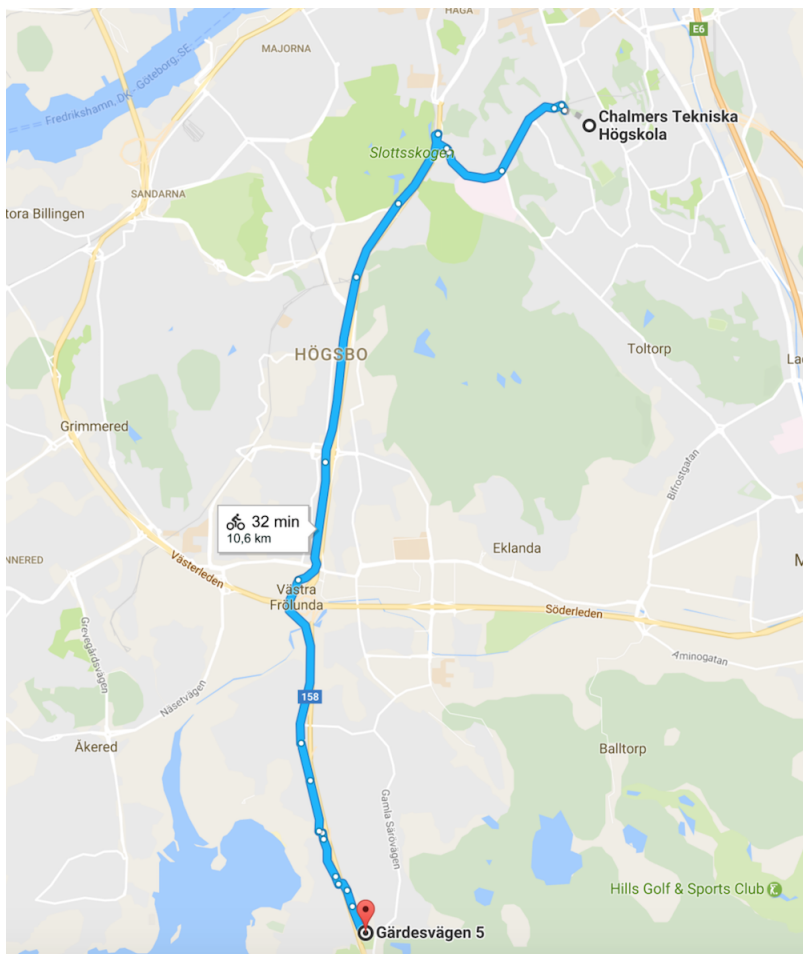
Då BLDC-motorerna skapar det drivande momentet och därmed den accelerande och drivande kraften så behövdes också de negativt påverkande krafterna från 2.1 tas hänsyn till. Dessa krafter modellerades helt enkelt enligt de uttryck som definierats tidigare där insignalerna är de varierande parametrarna hastighet, acceleration och lutningen som beror på var under körsträckan longboarden befinner sig. I figur 16 ses modellen av samtliga krafter vilket motsvarar insidan av blocket "krafter" i den slutgiltiga modellen av hela systemet i figur 24, se 5.5.



Figur 16: Modell av negativa krafter som verkar på systemet.

5.4 Körsträcka

Sträckan som användes för simuleringen sträcker sig från Chalmers till Askim och är ungefär 10,6[km] lång, se figur 17. Denna körsträcka valdes då dess längd var ungefär ekvivalent med den uppsatta målsträckan samt att startpunkten vid Chalmers förenklade den fysiska teståkningen över samma körsträcka. Sträckan hämtades med hjälp av färdbeskrivningar från Google Maps och laddades sedan ned som en GPX-fil. GPX-filen hanterades sedan i MATLAB där koordinaterna samt amplituder användes för att beräkna lutningen i alla punkter på sträckan. MATLAB kod återfinns i appendix I. För att snabbt kunna genomföra simuleringen med samma teststräcka flera gånger under korta perioder, så skrevs först lutningen för varje punkt på sträckan till en textfil som sedan kunde läsas av i Simulink. Kod för detta återfinns även i appendix I.

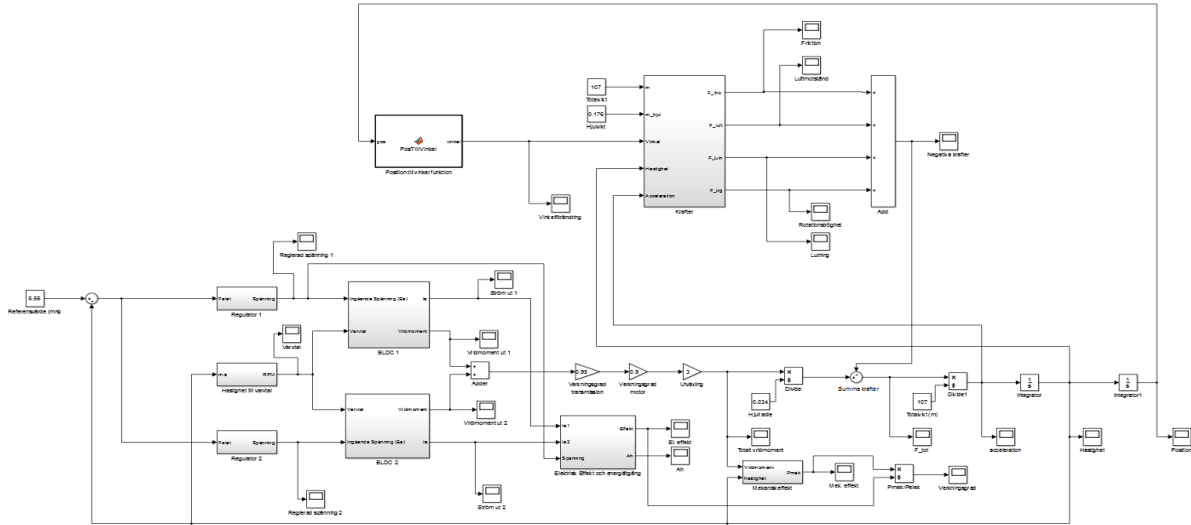


Figur 17: Körsträckan från Chalmers till Askim.

5.5 Fullständig modell av systemet

Den fullständiga modellen av systemet som illustreras i figur 24 byggdes upp enligt ett feedback-system där en referenssignal på $v = 5,56[m/s] = 20[km/h]$ förs in och subtraheras med den nuvarande hastigheten som blir "felet", alltså avvikelsen mellan referensvärdet och hastigheten. Signalen regleras sedan av två stycken regulatorer enligt figur 13 som skickar vidare styrsignaler till respektive motor i form av en spänning. BLDC-motorerna från figur 15 drar ström från batteriet som adderas och integreras över tiden för att ge en uppskattning om energiåtgång, samtidigt som de levererar ett moment som ger upphov till rörelse. Det totala momentet adderades från båda motorerna och multipliceras med utväxlingen samt verkningsgrader för transmission och motor, vilket ger det totala momentet som appliceras på longboardens hjul. Det totala momentet divideras sedan med hjulradien vilket ger den drivande kraften, som sedan adderas med de negativa krafterna vilket ger den totala verkande kraften i färdriktningen vilken ger upphov till acceleration. Accelerationen tas enkelt fram med Newtons andra lag och integreras en gång vilket ger hastigheten och ytterligare

en gång vilket ger position. Positionen återkopplas till MATLAB-funktionen "PosTillVinkel" som genererar vinkeln beroende på positionen som visades i 5.4 samtidigt som hastigheten återförs genom feedback samt görs om till nuvarande varvtal som behövs som insignal för motorerna.



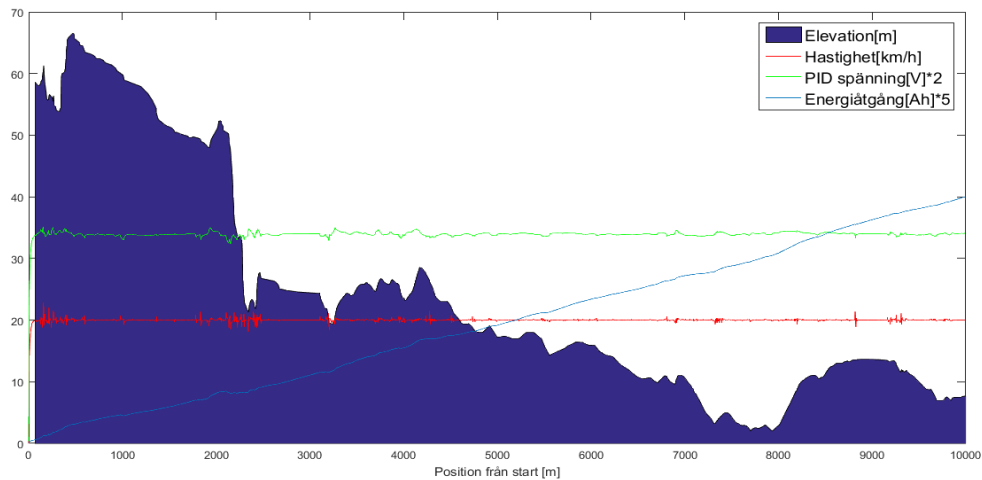
Figur 18: Fullständig modell av hela systemet. (För större bild se appendix I)

5.6 Simuleringsdata

Datan som simuleringen resulterade i användes för att jämföra och diskutera huruvida dimensioneringen av framförallt motor och batteri stämde överens med teoretiska värden och begränsningar. Även de transmissionsbegränsningar som effekt och momenttak på kuglgrem och skivor kunde analyseras. Med dessa begränsningar i åtanke togs lämpliga PID-parametrar fram i Simulink vilket resulterade i $P=0,01$, $I=1,07$ och $D=0$. Med dessa parametrar samt maxvikten $m = 107[kg]$ gav simuleringen data enligt tabell 2 och figur 19.

Data	Värde
Körtid	$1800[s]$
Körsträcka	$10000[m]$
Energiåtgång	$8,00[Ah]$
PID-spänning	$\approx 16,9[V]$

Tabell 2: Simuleringsdata.



Figur 19: Simuleringsdata.

Simuleringsdatan visade att energiåtgången kunde variera kraftigt beroende på körsträcka samt att den valda batterikapaciteten på $5,8[Ah]$ inte skulle räcka för en åkare på $100[kg]$. Då beräkningar från 3.2.1 uppskattade en ungefärlig energiåtgång på $5,56[Ah]$ då vid plan mark samt utan åtgången från eventuella accelerationer så ansågs ändå resultatet rimligt. Resultatet visade också att inga oväntade oscillationer uppstod utan avvikelser från referenshastigheten skedde endast under väldigt korta perioder vid elevationsförändringar, vilket kan ses i figur 19. PID spänningen låg i medel på $16,9[V]$ vilket motsvarade 57 % av maximalt möjliga $29,6[V]$ från batteriet vilket också förväntades eftersom motorns varvtal vid $v = 20[km/h]$ motsvarar 56,5 % av motorns maximala varvtal. Sammanfattningsvis så kunde datan från simuleringen ge en överskådlig bild av vad för samt i hur stor grad alla parametrar påverkade systemet. Det gav i sin tur en större förståelse för projektet och uppfattning av eventuella problem som kunde förekomma.

6 Resultat

I detta avsnitt presenteras en sammanfattning av projektet och en fullständig redovisning för longboardens slutgiltiga specifikationer.

De slutgiltiga måtten för longboarden blev $91,3[cm] \times 27,6[cm] \times 12,3[cm]$ samt en vikt på $6,89[kg]$. Den blev utrustad med både ljus- och ljudanordning, samt regenerativ bromsning. Handkontrollern till longboarden är en GT2B som modifierats för att passa i ett mindre skal vid namn BadWolf. Två knappar installerades på handkontrollern för att möjliggöra ljud- och ljusanordningen. Ett dödmansgrepp på handkontrollern implementerades genom att longboarden blev en vanlig longboard så fort gasreglaget släpptes. Kommunikationen mellan handkontroll och VESC-korten fungerade felfritt och hade en stabil räckvidd på över $30[m]$.

De två motorerna har vardera en effekt på $1510[W]$ vilket uppfyller effektkravet på $1500[W]$. Längden på varje motor uppmättes till $59[mm]$ med en diameter på $49[mm]$. Batteriet består av 8 celler som vardera har en nominell spänning på $3,7[V]$. Batteriet har således en total nominell spänning på $29,6[V]$ och en kapacitet på $5,8[Ah]$. Det kan leverera en maximal ström på $145[A]$ och därmed leverera en maxuteffekt på $4292[W]$. Batteriet har en maxineffekt på $858[W]$, vilket inte uppfyller kravet på $1500[W]$ och därmed inte lagkravet på en retardation med $3[m/s^2]$, även om förluster räknas med.

Körsträckan som testades var den samma som i simuleringen, se figur 17. Åkaren som utförde testet hade en vikt på $80[kg]$ och den slutgiltiga körtiden blev $37[min]$ och $42[s]$. Vid teståkning var en motor under reparation då dess motoraxel hade gått av. Detta var ett resultat av snett borrarade hål i hjulen, vilket bidrog till varierad spänning i kuggremmen och därmed slitage på axeln. På grund av detta kördes teststräckan med enbart en motor, vilket fortfarande fungerade då en motor klarar av att driva en person på $80[kg]$. Teståkning utfördes med en genomsnittlig hastighet på $17[km/h]$ och sträckan som kördes är $10,6[km]$ lång. Efter körning av sträckan hade 62 % ($3,6[Ah]$) av batteriets kapacitet förbrukats. Detta gav longboarden en teoretisk maximal räckvidd på $17,1[km]$ vid liknande vägförhållanden. Både mjuk acceleration och retardation fungerade väl. Med antagandet att vikten har en linjär påverkan på batteriåtgången mellan $80[kg]$ till $100[kg]$ så hamnade den förbrukade batterikapaciteten på 76 % ($4,4[Ah]$), för en förare som väger $100[kg]$, vilket gav en teoretisk maximal räckvidd på $13,2[km]$. I jämförelse med simuleringsresultaten som gav en teoretisk energiförbrukning på $8[Ah]$ för samma sträcka för en förare på $100[kg]$ blev resultatet nästan det dubbla vilket kan förklaras i att en simulering aldrig kan efterlikna verkligheten till fullo. Vad som hade störst påverkan på energiåtgången var de yttre krafterna på systemet där friktion och luftmotstånd spelar stor roll och har störst osäkerhet, vilket i stor grad påverkade resultatet.

Alla lagkrav som ställts av Transportstyrelsen [6] förutom lagen om inbromsning har uppfyllts och presenteras i tabell 6. Kraven på retardation och hastighet regleras elektroniskt av VESC-korten genom inställningar som verifierats med teoretiska beräkningar och tester. Styrreglaget i handkontrollen fungerar som ett dödmansgrepp då motorerna ej kommer att föra longboarden framåt om reglaget släpps. Ljus- och ljudanordning har installerats och uppträder i enlighet med lagkraven. Lagkravet som ställs av Sveriges Riksdag [7] med en begränsning av märkeffekten på $250[W]$ har inte uppfyllts. Då kravet påverkar möjlig-

heten att uppfylla resterande lagkrav lades ingen prioritet i att upprätthålla just detta krav.

Den totala kostnaden hamnade på 5650 kr, vilket var något över den satta budgeten, men uppfyller däremot målet om att vara billigare än brädorna på marknaden. I tabell 3 listas kostnaden för varje komponent som använts i tillverkningen.

Komponent	Pris
VESC-korten	2242 kr
Longboard (med truckar och hjul)	1050 kr
Batteri	769 kr
Handkontroller	245 kr
Motorer	1140 kr
Reservmotoraxlar	204 kr
Totalkostnad	5650 kr

Tabell 3: Kostnad för de olika komponenterna.

Longboarden kan ses som ett miljövänligt fordon i den mån om att transportmedlet inte har någon direkt inverkan på koldioxidutsläppen. Det kan däremot diskuteras huruvida tillverkningen av de inköpta komponenterna påverkar miljön men det sträcker sig utanför projektets gränser.

Kategori	Krav/Önskemål	Värde	Kravställare	Uppfylld
1. Funktioner				
1.1 Eldriven longboard	K	-	Projektgrupp	Ja
1.2 Vanlig longboard	Ö	-	Projektgrupp	Ja
1.3 Hastighetsmonitor	Ö	-	Institution	Nej
1.4 Miljövänligt fordon	K	-	Projektgrupp	Ja
2. Motor				
2.1 Effekt	K	1500[W]	Projektgrupp	Ja
2.2 Verkningsgrad	K	$\geq 80\%$	Projektgrupp	Ja
2.3 Längd	K	65[mm]	Projektgrupp	Ja
2.4 Bredd	K	60[mm]	Projektgrupp	Ja
3. Batteri				
3.1 Kapacitet	K	5, 6[Ah]	Projektgrupp	Ja
3.2 Spänning	K	$\geq 25[V]$	Projektgrupp	Ja
3.3 Uteffekt	K	3000[W]	Projektgrupp	Ja
3.4 Ineffekt (Uppladdning)	K	1500[W]	Projektgrupp	Nej
4. Transmission				
4.1 Överförbar effekt	K	1500[W]	Projektgrupp	Ja
4.2 Verkningsgrad	K	$\geq 90\%$	Projektgrupp	Ja
4.3 Underhållsfri	K	-	Projektgrupp	Ja
4.4 Bullerfri	K	-	Projektgrupp	Ja
5. Motorstyrning (ESC)				
5.1 Mjuk acceleration	K	-	Transportstyrelsen	Ja
5.2 Mjuk retardation	K	-	Transportstyrelsen	Ja
5.3 Varvtalsbegränsning	K	-	Projektgrupp	Ja
6. Broms				
6.1 Regenerativ broms	K	$\leq -3[m/s^2]$	Transportstyrelsen	Nej
6.2 Automatisk inbromsning vid utlöst dödmansgrepp	Ö	$\leq -3[m/s^2]$	Projektgrupp	Nej
7. Räckvidd och livslängd				
7.1 Räckvidd	K	10[km]	Projektgrupp	Ja
7.2 Räckvidd	Ö	20[km]	Projektgrupp	Nej
7.3 Livslängd	K	2017-05-31	Projektgrupp	Ja
8. Vikt				
8.1 Longboard	K	7[kg]	Projektgrupp	Ja
8.2 Tillfredsställande prestanda vid 100[kg] last	K	-	Projektgrupp	Ja
9. Lagar				
9.1 Uppfylla TSFS 2010:144	K	-	Transportstyrelsen	Nej
9.1.1 Maxhastighet	K	20[km/h]	Transportstyrelsen	Ja
9.1.2 Synas i mörker med vitt/gult ljus fram och rött bak	K	-	Transportstyrelsen	Ja
9.1.3 Inneha signalhorn	K	-	Transportstyrelsen	Ja
9.1.4 Inneha dödmansgrepp	K	-	Transportstyrelsen	Ja
9.2 Uppfylla SFS 2015:793	K	-	Sveriges Riksdag	Nej
9.2.1 Maximal installerad märkeffekt	K	250[W]	Sveriges Riksdag	Nej
10. Ekonomiskt				
10.1 Budget	K	5000 kr	Institution	Nej

Tabell 4: Kravspecifikationsuppfyllnad.

7 Diskussion

För en genomgående analys över projektet och resultaten krävs en diskussion, den presenteras i detta kapitel. Det diskuteras fördelar såväl som nackdelar av olika tillvägagångssätt, samt möjlig vidareutveckling.

7.1 Plattform

Longboarden från slipstream var som tidigare nämnt en downhill longboard vilket fungerade mycket bra för sitt ändamål som elektrisk driven eftersom den är gjord för höga hastigheter samt att flexibiliteten var tillfredsställande låg. Den låga flexibiliteten gjorde framförallt att de monterade komponenterna på undersidan aldrig kom i närkontakt med väglaget.

Vad som dock plattformsmässigt var ett stort bekymmer i ett tidigt skede av projektet var valet av truck. I och med att det beslutades att inte tillverka egna truckar, så behövdes tillräckligt breda truckar för att kunna få plats med motormonteringen. Det beräknades att truckarnas hangers var tvungna att vara minst $178[mm]$ breda, samt att totalbredden behövde vara runt $250[mm]$. Det visade sig att just denna bredd inte var det enklaste att få tag på, men truckarna som till slut köptes var från Caliber Truck Co. och uppfyllde dessa krav med viss marginal. Det bästa alternativet för att ej få platsbrist hade varit att special-designa egna truckar och tillverka i en CNC-maskin, men eftersom det varken fanns tillgång till CNC-maskin eller tillräcklig kunskap för att genomföra det så beslutades att det var smidigare att köpa färdiga truckar.

Beslutet angående vilka typ av longboardhjul som skulle användas var ett stort dilemma i projektets början. Det som spelade väldigt stor roll var dess storlek. I och med att hjulens storlek påverkade vilka varvtal motorn skulle arbeta på vid dimensionerad hastighet så hade det en väldigt stor inverkan. Hjulen som till slut valdes hade, som tidigare nämnt, en radie på $34[mm]$ vilket gjorde att hjulen var tvungna att rotera med $1560,3[rpm]$ för att färdas i $20[km/h]$. I ett tidigt skede diskuterades huruvida longboarden skulle innehålla så stora hjul som möjligt, detta för att ha så stor marginal mellan de stora remskivornas diameter och hjulens diameter. Dock vid användning av större hjul, så behöver inte hjulens varvtal vara lika högt för att gå i samma hastighet, vilket istället hade betytt att motorerna skulle behöva arbeta på lägre varvtal vid den valda utväxlingen. För att kompensera för detta hade antingen andra motorer med lägre motorkonstant behövts, vilket hade kostat betydligt mer än de valda motorerna. Alternativt så hade utväxlingen kunnat höjas till 1:4 eller 1:5 men då hade de stora remskivorna behövt vara större vilket hade motverkat syftet med att ha större hjul. Därför gjordes en avvägning mellan dessa punkter samt tillgänglighet och pris vilket resulterade i de valda hjulen.

7.2 Motor

Motorerna som valdes är så kallade utombordare, vilket medför att smuts och väta relativt enkelt kan komma i direkt kontakt med motorerna och i värsta fall skada dem. För att undgå detta hade det gått att montera skydd runt motorerna, men då uppstår problem med både kylning och platsbrist. En annan lösning på detta skulle kunna vara att istället driva longboarden med inombordare, motorer som sitter inne i hjulen. Problemet med denna lösning är att motorerna då måste gå i samma hastighet som hjulen, alltså inte tre gånger snabbare

som de gör med den valda lösningen. Sådana lågvarviga motorer i rätt storlek var avsevärt mycket dyrare vilket gjorde att det valdes bort.

Det valdes att longboarden skulle drivas med två motorer istället för en. Detta gjordes med hänsyn till säkerhet och prestanda. Det ansågs av gruppen säkrare i både drift såväl som inbromsning att driva två parallella hjul och på det sättet få en jämnare belastning. Detta medförde även två styrenheter vilket var dyrt, men ansågs ändå vara prioriterat ur ett budgetperspektiv.

7.3 Batteri

Inköp av batteri var av planeringsskäl tvunget att göras innan den detaljerade simuleringen var färdig, vilket gjorde att en mer primitiv estimering av kapaciteten gjordes. Denna estimering visade på att det skulle kunna gå att transportera longboarden de tio kilometrarna som ställdes av kravspecifikationen. Lithiumpolymerbatteri med tillräckligt hög spänning var inte så vanligt på marknaden, vilket gjorde att ett batteri med något längre uppladdningskaraktistik än behövt införskaffades. Detta var tänkt att lösas eftersom att kravet på uppladdning, som blir maximerat vid inbromsning med $-3[m/s^2]$, endast sker under en kort tid. Denna lösningen hade motiverats av tidigare års kandidatgrupp, men vid diskussion med tillverkaren av batteriet stod det klart att detta inte var säkert nog [3]. Av denna anledning valdes det istället att inte uppfylla lagkravet om inbromsning, vilket diskuteras ytterligare under 7.11.

Ett LiPo-batteri med 8 celler har nackdelen att det är tjockt, vilket kan göra det svårare att skydda batteriet från smällar. Alternativet hade varit att koppla samman två batterier med 4 celler vardera då de är smalare. Detta kunde dock inte utföras på grund av begränsad budget. Batteriet är också den enda omiljövänliga komponenten, men tillräckligt miljövänlig i jämförelse med utsläppen från bensin eller dieselmotorer.

7.4 Styrenhet

Till en början användes en master/slave-konfiguration för att synkronisera korten med varandra. Det ena VESC-kortet använde sig av id 0 och fick agera master. Det andra kortet tilldelades id 1 och var därmed slave till master-kortet. Korten kopplades via en CANBUS-anslutning, över kontakterna CANL och CANH. På slave-kortet ställdes 'Send status over CAN' in för att den skulle skicka data till master-kortet som istället ställdes in för att ta emot data från slave (id 1). Detta fungerade till en början, men efter en förmodad kortslutning av CANBUS-kontakterna fungerade detta inte längre, då mastern inte kunde hitta slave-enheten. Detta ledde till att den sekundära metoden, att dela styrsignalerna från mottagaren, valdes. Nackdelen med detta är att traction control inte fungerar utan en CANBUS-anslutning, men enligt många VESC-användare är detta alternativ smidigare och mer pålitligt jämfört med master/slave-konfigurationen. Traction control innebär att varvtalet på de båda motorerna hela tiden regleras så att de är samma.

Val av motorstyrning stod mellan det vanliga BLDC-läget och FOC (Field-Oriented Control). FOC introducerades i de nyare versionerna av mjukvaran på VESC-korten och vad FOC innebär för elektriska longboards är framförallt tystare motorer samt mjukare acceleration. FOC valdes bort då det inte är lika smidigt att implementera som BLDC, samt

att många användare har rapporterat att de förstört sina VESC-kort vid konfigurering av FOC.

7.5 Styrsystem

Ett problem som uppstod vid beställning av handkontroll var, som tidigare nämnt, brist på handkontrollen Nyko Kama och därför valdes kontrollern HobbyKing GT2B. Detta medförde problem då GT2B enbart har en åtkomlig knapp utöver gasreglaget, vilket innebar en uppoffring på en av de två funktioner som tidigare sattes som krav på handkontrollern. GT2B bidrar däremot till en mer pålitlig anslutning då den använder sig av en radiomottagare jämfört med bland annat Nyko Kama som använder sig av Bluetooth, vilket prioriterades över funktionen dödmansgrepp på handkontrollern. Kontrollern GT2B är också större samt mindre portabel än traditionella handkontroller och valdes på grund av detta att modifieras för att longboarden ska bli så portabel som möjligt. Som tidigare nämnts installerades därför GT2B-kortet i skalet BadWolf. BadWolf valdes då det var den mest rekommenderade kostnadsfria handkontrollsmodifikationen i förhållande till både passform och hållbarhet.

Vid modifieringen av handkontrollern installerades tre knappar. På grund av knapparnas position valdes det dock att en säkrare form av dödmansgrepp inte skulle implementeras, då ingen av knapparna ergonomiskt kunde hållas intryckta när åkaren håller i kontrollern. Vid konstruktion var det två problem som gjorde att en säkrare form av dödmansgrepp prioriterades bort. Det första kom från att skalet till kontrollern är väldigt litet och det blev därför väldigt trångt inne i kontrollern, detta bidrog till att tillagda knappar inte kunde placeras var som helst. Det andra problemet var att gasreglaget till GT2B fungerar som en avtryckare och är därför placerad på baksidan på kontrollern, vilket hade varit den optimala positionen för en säkrare form av dödmansgrepp.

7.6 Viktsensor

Då handkontrollern inte hade tillräckligt med knappar för att tillgodose alla olika funktioner, var tanken att få longboarden att känna av ifall någon stod på den eller inte. En idé var att använda en trådtöjningsgivare som ett extra steg i säkerheten för dödmansgrepp. Tanken var att om gasreglaget var släppt och longboarden var obelastad, skulle longboarden bromsas in för att inte fortsätta sin färd okontrollerat i trafiken. Tyvärr visade sig trådtöjningsgivare inte vara lätta att få tag på då de endast kunde beställas i paket med 10 givare, vilket budgeten inte tillät. När väl en trådtöjningsgivare till rimligt pris gick att få tag på, fanns det inte tillräckligt med tid att integrera den i arbetet.

Som ett ännu senare alternativ användes endast inställningen i BLDC-Tool för timeout då sändaren i handkontrollern tappar kontakt med mottagaren på VESC-kortet. Detta är förstås inte lika säkert jämfört med ett dödmansgrepp på handkontrollern.

7.7 Motorfäste

Då de valda motorerna var utombordare behövdes någon speciell typ av motorfäste för att fästa motorerna på rätt avstånd. Gruppen hade inte tillgång till en CNC-maskin, vilket gjorde att alla mekaniska delar, inklusive motorfästena, var tvungna att tillverkas själva. Lösningen med både en klämhylsa och ett motorfäste per motor hade tidigare används med

god framgång av tidigare års kandidatgrupper, vilket gjorde att denna lösningen applicerades även i år [1], [2]. Delarna frästes ut med en pelarborr, vilket medförde att utseendet på delarna inte blev optimalt, men funktionaliteten blev den samma.

7.8 Transmission

Både valet av transmission och dess direkta inverkan på valet av resterande komponenter var väldigt viktigt att tänka igenom grundligt innan bestämmandet av vilket typ av transmission som skulle brukas. Som tidigare nämnt så användes en Pughmatris (se appendix G) för att bestämma vilken typ som var mest fördelaktig. Hubmonterade motorer hade egentligen varit att föredra om inte priset hade haft så stor inverkan på beslutet. Detta beror på att hubmonterade motorer måste operera på så låga varvtal för att fungera för så låga hastigheter som $20[km/h]$. Om hubmonterade motorer ändå hade valts att användas så hade förhoppningsvis inte lika många problem med monteringen uppkommit. Kuggremsdrift är i sig en väldigt smidig transmission och har tidigare brukats vid samtliga projekt [1], [2], [3], men tyvärr så uppkom en del problem under monteringen av kuggremskivorna. Framförallt så var det väldigt svårt att centrera de stora remskivorna på longboardhjulen, vilket medförde att monteringen var tvungen att göras om ett flertal gånger, vilket gjorde att plasten i hjulen hade större potential att spricka. I slutändan blev det omöjligt att få skivorna helt centrerade vilket gjorde att skivorna inte kunde rotera symmetriskt. Detta ledde till större risker för haveri då spännkraften i kuggremmarna inte blev konstant. Detta ledde faktiskt till att en av motoraxlarna under en av de första testkörningarna gick av, vilket gjorde att den slutgiltiga testkörningen på $10[km]$ fick genomföras med endast en av motorerna i drift.

Monteringen av de lilla remskivorna kunde också ha blivit mer problematisk. I och med att den cylindriska fastsättningen behövde användas på så stor del av skivorna som möjligt för att vara tåligt för större moment, behövdes marginalerna vid monteringen vara ytterst minimala. Som tidigare nämnt i avsnitt 4.4.3 så kunde endast $14[mm]$ användas för fastsättningen vilket medförde en säkerhetsfaktor på endast 2. Hade hela remskivans bredd på $20[mm]$ använts, så hade denna faktor legat på cirka 3 istället vilket hade medfört större säkerhetsmarginaler. I och med att dessutom en av motorerna havererade sjönk marginalerna med hälften, vilket medförde att en förare på $100[kg]$ vid testkörningen skulle ha ytterst stor risk att få den cylindriska fastsättningen att lossna. Detta var en av de största anledningarna till att en förare på $80[kg]$ istället genomförde testkörningen. För att kunna använda sig av hela remskivornas bredd hade längre motoraxlar varit att föredra, men detta var svårt att genomföra då axlarna som leverades med motorerna är specialanpassade och färdigmonterade.

7.9 Inkapsling

Att kapsla in batteriet och styrenheterna ansågs som ett måste, eftersom båda är känsliga mot stötar och väta. Då det redan fanns färdigdesignade skydd på internet för de styrenheterna som användes, ansågs det lämpligast att använda sig av dem. Batteriskyddet behövdes däremot vara lite mer unikt för just det valda batteriet och den påkopplade strömbrytaren som ansågs behövas. Därför designades ett eget skydd för batteriet i AutoCad. För att minimera risken att slå i marken, men samtidigt ha ett tillräckligt stöttåligt skal designades väggarna till tre millimeter tjocka. Dessa skydd skrevs ut i hårdplast av en 3D-skrivare och ansågs räcka tack vare hårdheten i plasten. Valet att ha små kylningshål i batteriskalet val-

des för att batteriet inte skulle bli överhettat, vilket kan orsaka skador på det. Det ansågs viktigare att ha små hål för kylning än att ha ett hundra procentigt vattenskyddat skal, eftersom longboarden ändå inte kan köras i regn på grund av saknaden av motorskydd.

7.10 Simulering

Ett simulerat resultat ger en bra bild på huruvida rätt komponentval samt konfigureringar har gjorts. Det bidrar dock inte till en speciellt verklighetstrogen bild av systemet på grund av att simuleringen är en förenklad modell av verkligheten. Både systemet i sig samt de störningar som påverkar de olika komponenterna bygger på en del uppskattningar och är orimliga att få exakt som verkligheten. De yttre kraftpåverkningarna på systemet från friktion och luftmotstånd påverkade framförallt resultatet väldigt stort och eftersom dessa är väldigt svåra att på förhand uppskatta påverkade detta simuleringsresultatet som skiljde sig mycket från verkligheten.

Då axeln till en av motorerna gick av, samt att beställningen av en nya axel inte levererades i tid, utfördes teståkningen dessutom med enbart en motor. Detta påverkade också jämförelsen mellan testet och simuleringen till viss grad då det påverkar bromsstyrka samt acceleration. Lyckligtvis klarade longboarden att hålla maxhastigheten $20[km/h]$ under stora delar av sträckan med bara en motor och den största skillnaden låg i bromsstyrkan. Medelhastigheten kan också ha haft en stor inverkan på resultatet. Enligt simuleringen skulle en hastighet på $20[km/h]$ hållas under hela sträckan vilket var svårt att bibehålla under testet på grund av bland annat trafik. För att kunna hålla maxhastigheten hela sträckan hade en ny teststräcka behövts. Denna sträcka hade behövt vara fullständigt rak med mindre varierande lutningar, tyvärr hittades ingen sådan sträcka i närheten av Chalmers som var önskad utgångsposition.

7.11 Lagkrav och säkerhet

Lagarna om eldrivna färdmedel är i störst del anpassade för eldrivna cyklar, vilket gör att de inte alltid direkt går att på ett säkert sätt appliceras på en longboard. Lagkravet om både ljus och ljud blev uppfyllt utan problem, så blev även lagen om ett dödmansgrepp då longboarden slutar att gasa när gasreglaget på kontrollen ej är intryckt. Lagkravet om inbromsning blev dock inte uppfyllt, men det ansågs mycket farligt att kunna bromsa med $3[m/s^2]$ då man direkt ramlar av longboarden vid en sådan inbromsning. För att bromsen skulle gå att använda säkert var det tvunget att ha en mjuk retardation programmerat i VESC-korten. Lagkravet om en maximal märkeffekt på $250[W]$ är inte heller uppfyllt, men detta var dock redan begränsat i avgränsningarna. Författningen av denna lag är dessutom väldigt diffus eftersom lagen säger att fordonet måste "ha en elmotor vars kontinuerliga märkeffekt inte överstiger 250 watt" [7] för att klassas som en elcykel. Detta skulle eventuellt kunna tolkas som att fordonet får framföras med en kontinuerlig effekt på $250[W]$ för att hålla konstant hastighet men inte under inbromsning som i detta fall krävde $1462[W]$, vilket är fullt uppnåbart. En extra säkerhetsfaktor i form av viktsensor ville även användas för att bromsa longboarden om föraren trillar av. Detta kändes som ett användbart tillägg till säkerheten för närgående trafik. Som tidigare nämnt så implementerades det dock aldrig.

7.12 Vidareutveckling

Vidareutveckling på longboarden hade kunnat vara att lägga till fler funktioner. Ett passande sätt att tillägga funktioner hade varit att vidare modifiera handkontrollern, exempelvis förflytta gasreglaget så att dödmansgrepp kan implementeras i kontrollern på ett säkrare sätt. Det hade möjligtvis varit lämpligt att försöka efterlikna gasreglaget på de populära handkontrollerna från Boosted Board som har reglaget på ovansidan av kontrollern [4]. Ytterligare något som kort diskuterades kring modifikationen av handkontroll var att installera en display för att visa hastighet och möjligtvis batterinivå, vilket kan vara ett bra tillägg för vidareutveckling.

Laddningen av batteriet har varit besvärligare än nödvändigt då inkapslingen täcker hela batteriet och måste därför tas loss vid varje laddning. En lösning på detta hade varit att konstruera ett skal med en öppning som ger utrymme till de aktuella sladdarna för att ladda batteriet. För ytterligare bekvämlighet inom laddningen skulle en vidareutveckling kunna vara att bygga in en krets i batteriskalet som skapar en möjlighet att direkt kunna ladda ur ett vanligt 230[V] vägguttag.

8 Slutsats

Syftet med arbetet var att designa ett miljövänligt, praktiskt och lagligt transportmedel, vilket till största del uppfylldes. Som tidigare nämnts i diskussionen så blev longboarden inte laglig, delvis på grund av att lagarna inte är anpassade för longboards. Miljövänligheten var något som inte prioriterades under projektets gång, men fordonet är ändå mer miljövänligt än de flesta motordrivna färdmedlen. Den största miljöpåverkan longboarden har kommer ifrån batterierna, men i jämförelse med diesel- eller bensindrivna fordon är även de ansedda som miljövänliga. Målet att nå upp till tidigare års arbeten blev även det uppfyllt. Det är svårt att jämföra de olika produkterna rakt av, men skillnaden från tidigare års byggen samt kommersiella elektriska longboards är att denna longboard var en fungerande slutprodukt som samtidigt hade fungerande färdljus för mörkerkörning samt ett ljudhorn, något som allmänt höjer säkerheten i trafik. Tidigare arbeten hade även stor kompetens inom mekanik och tillgång till en CNC-maskin vilket förenklade tillverkningsprocessen. Detta år saknade både den djupa mekanik- och tillverkningskunskap som tidigare år har haft. Trots detta blev kvalitén på produkten minst lika hög som tidigare arbeten. Budgeten hamnade på cirka 5650 kr vilket är betydligt lägre än produkterna på marknaden, men det skall också tilläggas att dessa har något högre kvalité än denna produkt.

Resultatet av simuleringen blev, som tidigare nämnts, mycket högre i form av batterianvändning jämfört med det riktiga resultatet från testkörningen. Detta på grund av att testkörningen endast utfördes med en motor och med en förare på 80[kg], vilket förvrängde resultaten en aning. Detta kan ha gjort att det slutgiltiga simuleringsresultatet ej ger en helt rättvis bild av produkten.

Det uppmärksammades också att longboarden forfarande uppnår många av kraven med enbart en motor. För en privatperson med begränsad budget kan det därför vara aktuellt att prioritera bort en del av longboardens prestanda och bara använda sig av en motor.

Sammanfattningsvis så blev den resulterade produkten användningsbar och ett bekvämt och lätthanterligt alternativ till andra fordon. För att få produkten laglig krävs det främst lagändringar som passar denna typ av fordon framför några modifikationer av produkten i fråga.

Referenser

- [1] A. Bergqvist et.al. *Longboard som elektriskt transportmedel 2*. Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola: Institutionen för signaler och system, 2014.
- [2] C. Alm et.al. *Longboard som elektriskt transportmedel*. Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola: Institutionen för signaler och system, 2015.
- [3] M. Ekelund et.al. *Longboard som elektriskt transportmedel*. Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola: Institutionen för signaler och system, 2016.
- [4] Boosted Boards. *2nd Gen Boosted Board*. 2017. URL: <https://shop.boostedboards.com/products/board> (hämtad 2017-02-06).
- [5] Evolve Skateboards. *Home collection*. 2017. URL: <https://www.evolveskateboards.com/#home-collection> (hämtad 2017-02-28).
- [6] Transportstyrelsen. *Transportstyrelsens författningssamling: Transportstyrelsens föreskrifter om ändring i föreskrifterna (TSFS2009:31) om cyklar, hästfordon och sparkstöttingar*. 2010. URL: http://transportstyrelsen.se/TSFS/TSFS%202010_144.pdf (hämtad 2017-02-04).
- [7] Sveriges Riksdag. *Svensk författningssamling: Lag om ändring i lagen (2001:559) om vägtrafikdefinitioner*. 2015. URL: <https://www.notisum.se/rnp/sls/sfs/20150793.pdf> (hämtad 2017-02-04).
- [8] F. M. White. *Fluid Mechanics*. 7. utg. New York, USA: McGraw-Hill, 2011, s. 491.
- [9] C. Nordling och J. Österman. *Physics Handbook for Science and Engineering*. 8. utg. Lund: Studentlitteratur AB, 2006, s. 35.
- [10] M. Mägi och K. Melkersson. *Lärobok i maskinelement*. Göteborg: Cremona Chalmers Bokhandel, 2012.
- [11] *Elteknik*. Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola: Institutionen för Energi och Miljö, 2016.
- [12] HobbyKing. *Turnigy Aerodrive SK3 - 5055-280kv Brushless Outrunner Motor*. URL: https://hobbyking.com/en_us/turnigy-aerodrive-sk3-5055-280kv-brushless-outrunner-motor.html (hämtad 2017-02-21).
- [13] C. D. Rahn och C. Wang. *Battery Systems Engineering*. Chichester, UK: John Wiley Sons Inc, 2013.
- [14] HobbyKing. *HOBBYKING HELP CENTER*. 2016. URL: <https://support.hobbyking.com/hc/en-us> (hämtad 2017-05-03).
- [15] HobbyKing. *ZIPPY Compact 5800mAh 8S 25C Lipo Pack*. 2017. URL: https://hobbyking.com/en_us/zippy-compact-5800mah-8s-25c-lipo-pack.html (hämtad 2017-03-17).
- [16] F. Larsson och B. Mellander. "Abuse by External Heating, Overcharge and Short Circuiting of Commercial Lithium-Ion Battery Cells". I: *Journal of the Electrochemical Society*, vol. 161.10 (2014), s. A1611–A1617.
- [17] Steven Keeping. *Introduction to BLDC Motor Control*. 2013. URL: <https://www.digikey.com/en/articles/techzone/2013/mar/an-introduction-to-brushless-dc-motor-control> (hämtad 2017-05-11).

- [18] Electric Skateboard Builders Forum. *Best ESC for electric longboards*. 2016/2017. URL: <https://www.electric-skateboard.builders/t/what-esc-to-use/908/3> (hämtad 2017-05-11).
- [19] B. Vedder. *VESC - Open Source ESC*. 2016. URL: <http://vedder.se/2015/01/vesc-open-source-esc/> (hämtad 2017-02-28).
- [20] B. Vedder. *BLDC-Tool på GitHub*. 2016. URL: <https://github.com/vedderb/bldc-tool> (hämtad 2017-02-28).
- [21] Giovanni Di Sirio. *ChibiOS/RT*. 2017. URL: <http://www.chibios.org/dokuwiki/doku.php?id=chibios:product:rt:start> (hämtad 2017-05-10).
- [22] HobbyKing. *HobbyKing®™HK-GT2B 3CH 2.4GHz Transmitter and Receiver w/Rechargeable Li-ion Battery*. 2017. URL: https://hobbyking.com/en_us/hobbykingr-tmhk-gt2b-3ch-2-4ghz-transmitter-and-receiver-w-rechargeable-li-ion-battery-1.html (hämtad 2017-03-21).
- [23] Electric Skateboard Builders Forum. *Good Radio Transmitter Hand Controller for use with DIY Electric Skateboard*. 2016. URL: <http://www.electric-skateboard.builders/t/good-radio-transmitter-hand-controller-for-use-with-diy-electric-skateboard/928> (hämtad 2017-03-08).
- [24] Björn Wallsten. *BadWolf GT2B Case mod v2*. 2015. URL: <http://www.thingiverse.com/thing:922378> (hämtad 2017-05-03).
- [25] sl33py. *How-To: GT2B -> Badwolf v2*. 2015. URL: <https://endless-sphere.com/forums/viewtopic.php?f=35&t=71922> (hämtad 2017-05-03).
- [26] Justin Lemire-Elmore. *Weight sensing longboard*. 2014-2016. URL: <https://endless-sphere.com/forums/viewtopic.php?f=35&t=49557> (hämtad 2017-05-12).
- [27] Transducer Techniques. *Wheatstone Bridge*. URL: <https://www.transducertechniques.com/wheatstone-bridge.aspx> (hämtad 2017-05-12).
- [28] Slipstream Scandinavian Longboarding. *Brick 2015*. 2015. URL: <http://slipstreamlongboards.com/quiver2015/brick-2015/> (hämtad 2017-03-15).
- [29] Caliber Truck Co. URL: <https://calibertruckco.com/> (hämtad 2017-03-15).
- [30] Jens S. Transmissioner AB. *Kuggremskivor med fast nav*. URL: <http://www.jens-s.se/produkter/remdrifter/kuggremmar-och-skivor/kuggremskivor-fast-nav/> (hämtad 2017-03-23).
- [31] Jens S. Transmissioner AB. URL: <http://www.jens-s.se>.
- [32] Jens S. Transmissioner AB. *Kuggremmar i Gummi*. URL: <http://www.jens-s.se/produkter/remdrifter/kuggremmar-och-skivor/htd-cxp-cxa/> (hämtad 2017-03-23).
- [33] Offline. *Dual VESC case for Electric longboards*. 2016. URL: <http://www.thingiverse.com/thing:1917090> (hämtad 2017-05-02).
- [34] Loctite Sweden. *Loctite 641*. URL: <http://www.loctite.se/loctite-4457.htm?nodeid=8802627649537> (hämtad 2017-04-16).
- [35] Henkel. *Loctite 641*. 2004. URL: <http://tds.henkel.com/tds5/Studio/ShowPDF/641-EN?pid=641&format=MTR&subformat=REAC&language=EN&plant=WERCS> (hämtad 2017-04-16).

- [36] W. Brown. *Brushless DC Motor Control Made Easy*. 2002. URL: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/appnotes/00857a.pdf> (hämtad 2017-03-25).

A Kravspecifikation

De olika kraven och önskemålen i kravspecifikationen kommer främst ifrån projektgruppens egna idéer, tankar från institutionen och diverse lagar som måste uppfyllas för fordonet. Vissa av tankarna och idéerna är inte lika viktiga eller centrala som andra, vilket gör att dessa listas som önskemål istället för krav. För att kunna kontrollera de olika punkterna så finns det en kolumn som beskriver sättet varje punkt kontrolleras.

Kategori	Krav/Önskemål	Värde	Kravställare	Kontrollering
1. Funktioner				
1.1 Eldriven longboard	K	-	Projektgrupp	Test
1.2 Vanlig longboard	Ö	-	Projektgrupp	Test
1.3 Hastighetsmonitor	Ö	-	Institution	Test
1.4 Miljövänligt transportmedel	K	-	Projektgrupp	Jämförelse av befintliga fordon
2. Motor				
2.1 Effekt	K	1500[W]	Projektgrupp	Test / Val av motor
2.2 Verkningsgrad	K	$\geq 80\%$	Projektgrupp	Test
2.3 Längd	K	65[mm]	Projektgrupp	Mätning / Val av motor
2.4 Bredd	K	60[mm]	Projektgrupp	Mätning / Val av motor
3. Batteri				
3.1 Kapacitet	K	5, 6[Ah]	Projektgrupp	Test / Val av batteri
3.2 Spänning	K	$\geq 25[V]$	Projektgrupp	Val av batteri
3.3 Uteffekt	K	3000[W]	Projektgrupp	Test / Val av batteri
3.4 Ineffekt (Uppladdning)	K	1500[W]	Projektgrupp	Test / Val av batteri
4. Transmission				
4.1 Överförbar effekt	K	1500[W]	Projektgrupp	Test / Val av transmission
4.2 Verkningsgrad	K	$\geq 90\%$	Projektgrupp	Test / Val av transmission
4.3 Underhållsfri	K	-	Projektgrupp	Val av transmission
4.4 Bullerfri	K	-	Projektgrupp	Test / Val av transmission
5. Motorstyrning (ESC)				
5.1 Mjuk acceleration	K	-	Transportstyrelsen	Test
5.2 Mjuk retardation	K	-	Transportstyrelsen	Test
5.3 Varvtalsbegränsning	K	-	Projektgrupp	Val av ESC
6. Broms				
6.1 Regenerativ broms	K	$\leq -3[m/s^2]$	Transportstyrelsen	Test
6.2 Automatisk inbromsning vid utlöst dödmansgrepp	Ö	$\leq -3[m/s^2]$	Projektgrupp	Test
7. Räckvidd och livslängd				
7.1 Räckvidd	K	10[km]	Projektgrupp	Test
7.2 Räckvidd	Ö	20[km]	Projektgrupp	Test
7.3 Livslängd	K	2017-05-31	Projektgrupp	Test
8. Vikt				
8.1 Longboard	K	7[kg]	Projektgrupp	Vägning
8.2 Tillfredsställande prestanda vid 100 kg last	K	-	Projektgrupp	Beräkningar / Test
9. Lagar				
9.1 Uppfylla TSFS 2010:144	K	-	Transportstyrelsen	Test
9.1.1 Maxhastighet	K	20[km/h]	Transportstyrelsen	Konfigurera ESC / Test
9.1.2 Synas i mörker med vitt/gult ljus fram och rött bak	K	-	Transportstyrelsen	Test
9.1.3 Inneha signalhorn	K	-	Transportstyrelsen	Test
9.1.4 Inneha dödmansgrepp	K	-	Transportstyrelsen	Test
9.2 Uppfylla SFS 2015:793	K	-	Sveriges Riksdag	Test
9.2.1 Maximal installerad märkeffekt	K	250[W]	Sveriges Riksdag	Val av motor / Val av batteri
10. Ekonomiskt				
10.1 Budget	K	5000 kr	Institution	Inköps sammanställning

Tabell 5: Kravspecifikation.

B Motor

De två olika motortyperna som jämfördes var borstlös motor och borstad motor. Egenskaperna som jämfördes var *Storlek*, *Slitage*, *Verkningsgrad*, *Styrssystem*, *Vikt*, *Pris* och *Tillgänglighet*.

Egenskaper	Vikt	Borstlös	Borstad
Storlek	4	Ref	0
Slitage	4	Ref	–
Verkningsgrad	3	Ref	–
Styrssystem	2	Ref	+
Vikt	2	Ref	0
Pris	2	Ref	+
Tillgänglighet	1	Ref	–
Oviktad summa +		0	2
Oviktad summa –		0	3
Viktad summa +		0	4
Viktad summa –		0	8
Viktat resultat		0	–4

Tabell 6: Pughmatris för val av motortyp.

C Batteri

De olika batterityperna som valdes att jämföras var Nickel-metallhydridackumulator, Litiumjonbatteri och Blyackumulator. De olika egenskaperna som jämfördes var *Energidensitet*, *Strömtålighet*, *Pris*, *Miljöpåverkan* och *Tillgänglighet*.

Egenskaper	Vikt	Nickel-metallhydridackumulator	Litiumjonbatteri	Blyackumulatorer
Energidensitet	5	Ref	+	–
Strömtålighet	3	Ref	+	–
Pris	2	Ref	–	0
Miljöpåverkan	2	Ref	0	–
Tillgänglighet	1	Ref	0	0
Oviktad summa +		0	2	0
Oviktad summa –		0	1	3
Viktad summa +		0	8	0
Viktad summa –		0	2	10
Viktat resultat		0	6	–10

Tabell 7: Pughmatris för val av batteri.

D Broms

De olika alternativen för broms var mekanisk skivbroms och elektrisk, regenerativ broms. Egenskaperna som valdes att jämföras var *Manöverbarhet*, *Batterislitage*, *Jämnhet vid inbromsning*, *Pris*, *Vikt* och *Storlek*.

Egenskaper	Vikt	Skivbroms	Regenerativ broms
Manöverbarhet	4	Ref	+
Batterislitage	3	Ref	–
Jämnhet vid inbromsning	3	Ref	+
Pris	2	Ref	+
Vikt	1	Ref	+
Storlek	1	Ref	+
Oviktad summa +		0	5
Oviktad summa –		0	1
Viktad summa +		0	11
Viktad summa –		0	3
Viktat resultat		0	8

Tabell 8: Pughmatris för val av bromssystem.

E Styrnanordning

I tabell E visas Pughmatrisen för jämförelser mellan vilken typ av handkontroll mot vilken typ av fotkontroll var att föredra som styrning för longboarden. Valet av handkontroll stod mellan trådlös eller trådbunden. Mellan fotkontroll stod valet mellan viktbaserad eller pedalstyrning.

Egenskaperna som togs i beräkning var *Säkerhet*, *Funktionalitet*, *Implementation*, hur enkelt systemet implementeras till longboarden, *Ergonomi*, *Reglerbarhet*, *Dödmansgrepp* och *Farthållare*.

		Handkontroll		Fotkontroll	
Egenskap	Vikt	Trådlös	Trådbunden	Viktbaserad	Pedaler
Säkerhet	4	Ref	+	–	–
Funktionalitet	4	Ref	–	–	–
Implementation	2	Ref	0	–	–
Ergonomi	2	Ref	–	+	+
Reglerbarhet	2	Ref	0	–	–
Dödmansgrepp	2	Ref	0	+	+
Farthållare	1	Ref	0	–	–
Oviktad summa +		0	1	2	2
Oviktad summa –		0	2	5	5
Viktad summa +		0	4	4	4
Viktad summa –		0	6	13	13
Viktat resultat		0	–2	–9	–9

Tabell 9: Pughmatris för val av styrning.

F Handkontroll

Valet av handkontroll stod mellan Nyko Kama och HobbyKing GT2B. Egenskaperna som jämfördes var *Ergonomi*, hur enkelt och bekvämt det går att styra longboarden, *Estetik*, *Tillgänglighet*, *Implementation* och *pris*.

Egenskaper	Vikt	Nyko Kama	HobbyKing GT2B
Ergonomi	3	Ref	–
Estetik	3	Ref	–
Tillgänglighet	3	Ref	+
Implementation	2	Ref	0
Pris	1	Ref	–
Oviktad summa +		0	1
Oviktad summa –		0	3
Viktad summa +		0	3
Viktad summa –		0	7
Viktat resultat		0	–4

Tabell 10: Pughmatris för val av handkontroll.

G Transmission

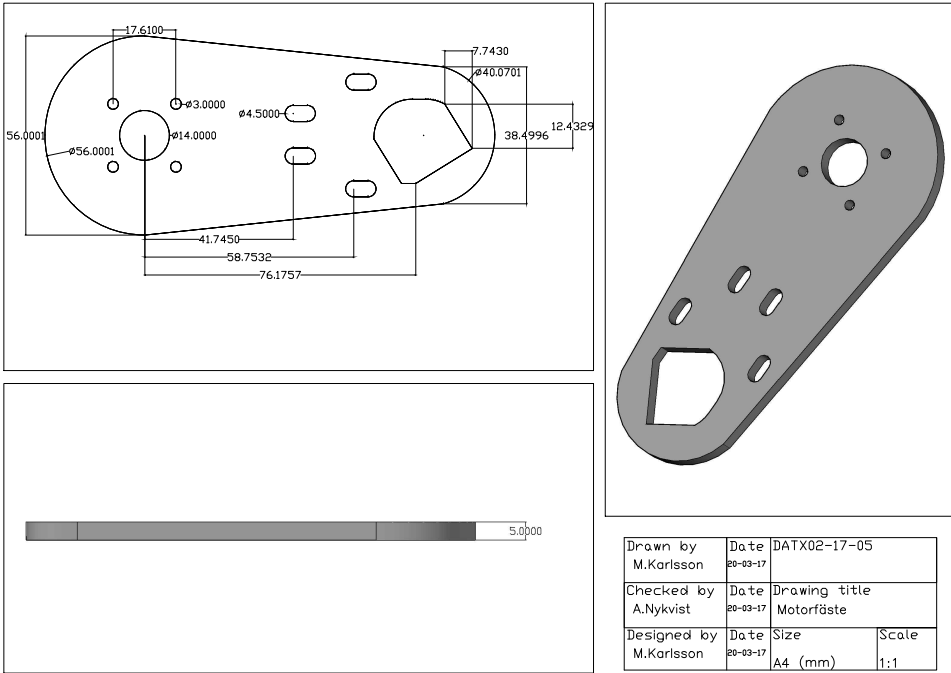
Valet av transmissionstyp stod mellan tre olika typer; kuggremstransmission, hubmonterad motor, det vill säga motorn sitter placerad i hjulet och kedjetransmission. Egenskaperna som jämfördes var *Storlek*, på grund av platsbristen under longboarden, *Pris*, *Körkänsla*, *Underhåll*, *Bullernivå*, *Slitage* och *Montering*.

Egenskaper	Vikt	Kuggrem	Hubmonterad motor	Kedja
Storlek	4	Ref	+	0
Pris	4	Ref	–	0
Körkänsla	3	Ref	–	0
Underhåll	2	Ref	0	–
Bullernivå	1	Ref	0	–
Slitage	1	Ref	0	+
Montering	1	Ref	+	0
Oviktad summa +		0	2	1
Oviktad summa –		0	2	2
Viktad summa +		0	5	1
Viktad summa –		0	7	3
Viktat resultat		0	–2	–2

Tabell 11: Pughmatris för val av transmissionstyp

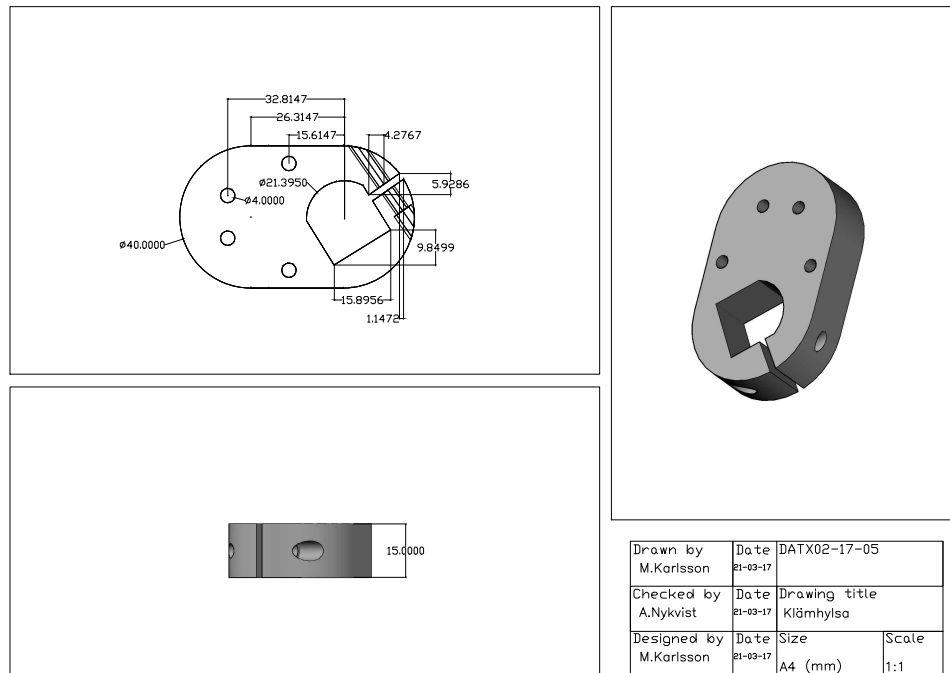
H Ritningar

Motorfäste



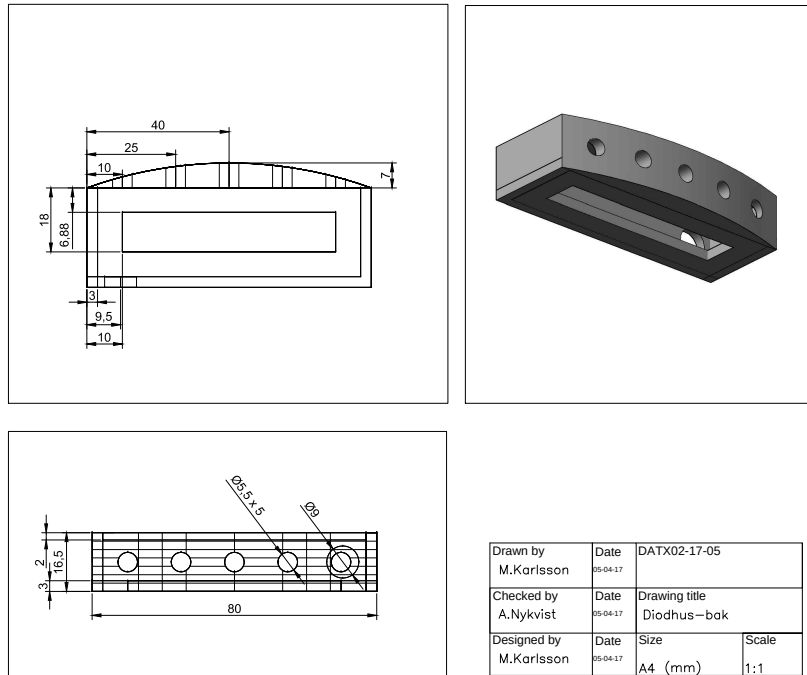
Figur 20: CAD-ritning av motorfäste.

Klämhylsa



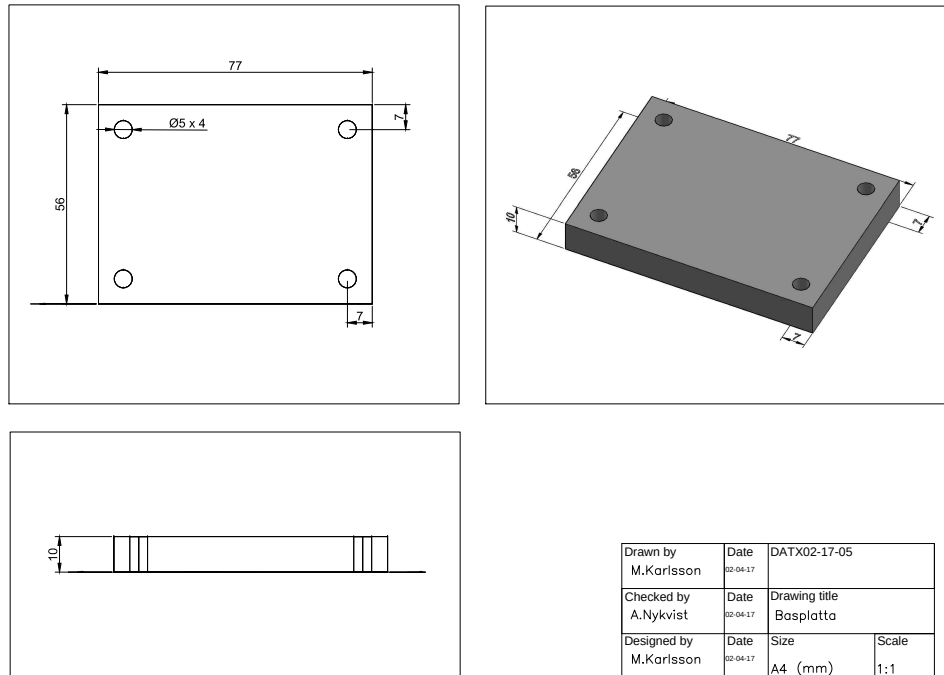
Figur 21: CAD-ritning av klämhylsa.

Diodhus



Figur 22: CAD-ritning av diodhus.

Basplatta



Figur 23: CAD-ritning av basplatta.

I Simuleringskod

```
1
2 function vinkel = PosTillVinkel(pos)
3     % Läser GPX fil.
4     path = gpxread('ChalmersAskim', 'FeatureType', 'track');
5
6     e = wgs84Ellipsoid;
7     lat = path.Latitude;
8     lon = path.Longitude;
9     ele = path.Elevation;
10    d = distance(lat(1:end-1),lon(1:end-1),lat(2:end),lon(2:end),e
11               );
12
13    [~, j] = size(d);
14    k = 0;
15    positioner = zeros(1, j+1);
16
17    for i = 1:j
18        positioner(1,i) = k;
19        k = k+d(1,i);
20    end
21    positioner(1,j+1) = k;
22
23    % Räkna ut vinklarna.
24    for i = 1:j
25        angles(i) = atan((ele(i+1)-ele(i))/d(i));
26    end
27
28    % Hämtar vinkel vid specifik distans.
29    diff = abs(positioner-pos);
30    [~, i] = min(diff);
31    vinkel = angles(i);
32 end
```

Listing 1: MATLAB-funktion som gör om position till vinkel.

```

1 %% Generera txt fil
2
3 LIST=[];
4 for i=0:10000
5     m = PosTillVinkel(i);
6     LIST = [LIST m];
7 end
8 fid = fopen('vinklar.txt','w');
9 fprintf(fid,'%f\r\n',LIST);
10 fclose(fid);

```

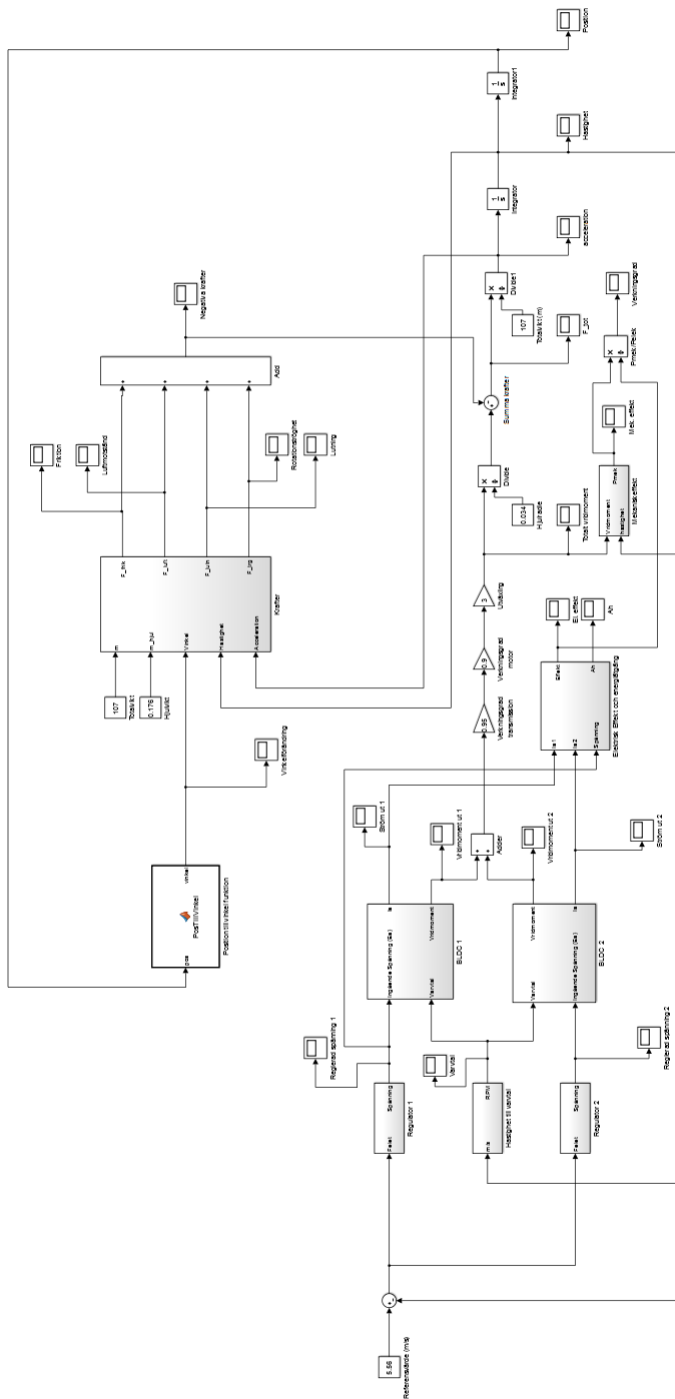
Listing 2: Kod för att fylla text fil med vinklar.

```

1 function vinkel = PosTillVinkel(pos)
2     coder.extrinsic('fopen','fscanf','fclose')
3     % Initialiserar vinkel vektorn och fyller den med data från
4     % txt filen
5     fid = fopen('vinklar.txt','r');
6     Angles=zeros(10001,1);
7     Angles = fscanf(fid,'%f\r\n');
8     fclose(fid);
9
10    % Avrundar positionen till närmsta integer
11    position=round(pos);
12
13    % Initialiserar vinkeln och tar position+1:e värdet ur vinkel
14    % vektorn
15    vinkel = 0;
16    vinkel = Angles(position+1);
17 end

```

Listing 3: MATLAB-funktion för avläsning av txtfil i Simulink.



Figur 24: Fullständig modell av hela systemet.

J BLDC-Tool

Parameter	Värde	Beskrivning
Motor max	60[A]	Största tillåtna ström i motorn.
Motor min (regen)	-60[A]	Minsta tillåtna ström i motorn vid regenerativ bromsning.
Battery max	60[A]	Största tillåtna ström i batteriet.
Battery min (regen)	-29[A]	Minsta tillåtna ström i batteriet vid regenerativ bromsning.
Minimum input voltage	8[V]	Standardvärde för minsta spänning till motor.
Maximum input voltage	50[V]	Standardvärde för maximal spänning till motor.
Battery cutoff start	27,2[V]	Motorn börjar sakta ner vid den här gränsen.
Battery cutoff end	26,4[V]	Lägsta spänningen, motorn stängs av för att skydda batteriet.
Startup boost	0,15	Parameter som hjälper longboarden att starta i lutning.

Tabell 12: Inställda parametrar i BLDC-Tool under fliken Motor configuration.

Parameter	Värde	Beskrivning
Soft RPM limit start	20000	Hastigheten då accelerationen börjar bli mjukare.
Soft RPM limit end	28086	Ställer in topphastigheten.
Startup boost	0,15	Förenklar start vid lutning.

Tabell 13: Inställda parametrar i BLDC-Tool under fliken App configuration.