

CHALMERS



KANDIDATARBETE



Longboard som elektriskt transportmedel 2

Slutrapport

Alex Bergqvist, Oscar Bodell, Andrée Centervall,
Robert Samefors, Daniel Torinsson, Sven Åkersten

Mekatronik
Institutionen för signaler och system
Chalmers tekniska högskola
Göteborg, 2014

SSYX02-14-88

Abstract

This report discusses the design and construction of a longboard as an electric vehicle. A normal longboard consists of a deck, trucks and wheels which will be complemented by components for obtaining an electric drive. The objective is to develop an electric longboard that feels like and is operated as a longboard in its original form. The longboard is constructed to be legal in Sweden as an electric bicycle. This requires it to have a maximum speed of 20 [km/h] and be able to decelerate with at least 3 [m/s²] at optimum circumstances. The components of the electric drivetrain are an energy source in the form of a battery and a motor in combination with a driver that generates motion. Force and motion are then transmitted via a transmission to the wheels which generate movement of the longboard. The longboard is controlled by a hand controller where the driver accelerates and brakes by a control system that manages the transfer of the users input from the controller to the motor. The longboard can brake regeneratively which means that the motor seizes the energy during braking. The longboard is designed to run 10 [km] on an external charge on roads with varying slope. Constant speed is to be kept while driving at 20 [km/h] in a slope of maximum 12 % (7 degrees). The design and construction are verified by simulations and testing.

Sammandrag

Denna rapport behandlar dimensionering, konstruktion samt montering av en prototyp till en longboard som ett elektriskt transportmedel. En befintlig longboard består av ett deck, truckar samt hjul vilka kompletteras med komponenter för erhålla en elektrisk drivning. Målsättningen består av att ta fram en eldriven longboard som fortfarande skall kännas och manövreras som en longboard i normalutförande. Longboarden är konstruerad efter lagstiftning gällande eldrivna cyklar med krav på maximal hastighet av 20 [km/h] samt retardation upp till 3 [m/s²] vid optimala förhållanden. Kompletterande komponenter för longboarden som elektriskt transportmedel består av en energikälla i form av ett batteri och en motor tillsammans med drivare som genererar rörelse. Kraft och rörelse överförs sedan via en remkuggstransmission till hjulen som frambringar en translaterande rörelse för hela ekipaget. Longboarden styrs med hjälp av en handkontroll där föraren gasar och bromsar varefter ett styrsystem sköter överföringen till motorn. Longboarden är försedd med regenerativ bromsning, det vill säga att den tar vara på energin i samband med bromsning. Longboarden är dimensionerad för en räckvidd av 10 [km] på en extern laddning på underlag med varierande lutning. En konstant hastighet av 20 [km/h] ska kunna hållas vid framfart i uppförsbacke med 12 % lutning (7 grader). Verifiering av dimensionering och konstruering sker via simulering samt funktionella tester.

Innehåll

1	Inledning	8
2	Utformningsförutsättningar för elektriskt driven longboard	9
2.1	Eldriftskomplettering	9
2.2	Grundläggande designkoncept	10
2.3	Lagstiftning och riktlinjer	11
3	Metod	12
4	Dimensionering samt val av komponenter	12
4.1	Plattform	12
4.1.1	Val av plattform	13
4.2	Kraft-, moment- och effektbehov	13
4.2.1	Friläggning av longboarden	14
4.2.2	Resultat kraft-, moment- och effektbehov	17
4.3	Motor	17
4.3.1	Motortyp	17
4.3.2	Motormodellering	19
4.3.3	Förluster	21
4.3.4	Val av motor och motordrivare	22
4.4	Transmission	22
4.4.1	Utväxling	23
4.4.2	Dimensionering av remkuggsväxel	25
4.4.3	Överföringskomponenter och montering	26
4.4.4	Åtdragningsmoment för stora remskivan	27
4.4.5	Val av transmission	27
4.5	Motorfäste	28
4.5.1	Hållfasthet motorfäste	30
4.5.2	Åtdragningsmoment skruvar	30
4.5.3	Resultat motorfäste	30
4.6	Styrsystem	31
4.6.1	Drivarlåda	32
4.6.2	Val samt montering av styrsystem	32
4.7	Batteri	35
4.7.1	Batterityp	36
4.7.2	Räckvidd	37
4.7.3	Montering av batteri	39
4.7.4	Val samt montering av batteri	39
4.8	Handkontroll	40
4.8.1	Resultat Handkontroll	41
5	Verifikation och utvärdering av modell	43
5.1	Funktionella tester	43
5.2	Kravspecifikationsuppfyllnad	44

6	Diskussion	44
6.1	Plattform	44
6.2	Kraft-, moment- och effektbehov	45
6.3	Motor	45
6.4	Transmission	46
6.5	Motorfäste	47
6.6	Batteri	48
6.7	Styrsystem	50
6.7.1	Drivarlåda	51
6.8	Handkontroll	51
7	Budget	52
	Referenser	54
	Bilagor	56
A	Kravspecifikation	56
B	Variabel- och konstantbetäckning	61
C	Kraft-, moment- och effektbehov	62
D	Motor	64
E	Transmission	65
E.1	Utvärdering av transmissionstyp	65
E.2	Utformning av kuggremsdraft	67
E.3	Specifikationer:	68
E.4	Beräkning av kalkyleffekt	68
E.5	Bestämning av delning	68
E.6	Bestämning av skivkombination och rembredd	69
E.7	Hållfasthetsberäkningar limspalt.	71
E.8	Åtdragningsmoment för stora remskivan	72
F	Placering av komponenter	75
G	Ritningar	76
H	Motorfäste	83
H.1	Hållfasthetsberäkning i Ansys	83
H.2	Åtdragningsmoment för att hålla fast motor	84
H.3	Åtdragningsmoment för att hålla ihop truckfäste och motorplatta	86
I	Styrsystem	88
I.1	Kretskortslayout	92
J	Kod till handkontroll	93

1 Inledning

Det finns en ständig efterfrågan för att minska emissionerna för dagens transportmedel. Miljöaspekten är en viktig del i vår teknikutveckling och gång på gång tar vi del av varnande rapporter om klimatet från många håll. I dagens samhälle införs avgifter för att framföra bil i stora städer som ett led i att minska trafiken och därmed stora lokala emissioner. Detta resulterar i att fler väljer att använda sig av samåkning och kollektivtrafik. Kraven på våra fordon blir allt högre samtidigt som ökad funktionalitet efterfrågas i allt större utsträckning. Ett fordon som kombinerar låga utsläpp med hög funktionalitet skulle därför ha en stor fördel på marknaden.

När man reser med kollektivtrafik finns ofta en bit i vardera ände av pendlingssträckan som inte täcks av kollektivtrafiken. Det hade då varit bra att kunna komplettera med ett alternativt transportmedel. Ofta uppstår problem då flera transportmedel ska kombineras i en resa. Det är exempelvis ovanligt att man får medföra sin cykel i kollektivtrafiken. En longboard är i jämförelse med en cykel mindre med avseende på sin storlek vilket gör att man får medbringa denna i kollektivtrafiken. Longboardens storlek gör även att denna är enklare att bära med sig.

En longboard i grundutförande är ett transportmedel som framförs genom att föraren själv tillför kraft genom att sparka ifrån mot marken. Då longboarden framförs i nedförsbacke behöver inte föraren anstränga sig för att denna skall röra sig framåt, men då man kommer till en uppförsbacke måste extra kraft tillföras, vilket i längden blir mycket ansträngande. Detta gör att longboarden främst framförs på plan mark eller i nedförsbacke, vilket minskar funktionaliteten av fordonet. Genom att lägga till eldrift till longboarden skulle detta transportmedels allsidighet öka samtidigt som emissionsnivåerna skulle sjunka lokalt om människor väljer den eldrivna longboarden istället för exempelvis bilen. En longboard som kompletteras med eldrift begränsas inte heller av hur långt föraren orkar sparka sig fram. Färdmedlet skulle då i kombination med kollektivtrafik vara ett attraktivt alternativ till att ta bilen.

Det finns idag longboards med eldrift på marknaden. Det finns även longboardanvändare som själva monterat elmotorer på sina longboards. Detta för att uppnå en ökad funktionalitet och därmed uppnå en större frihet med transportmedlet. Här uppstår dock viss problematik då de existerande eldrivna longboards inte följer svensk lagstiftning och därmed inte får framföras på allmänna gator i Sverige. Detta beror främst på att man i Sverige inte kunnat framföra oregistrerade elektriska fordon om de gått snabbare än 7 [km/h]. År 2010 kom dock en ändring i den svenska lagstiftningen som möjliggjorde att mindre elektriska fordon kunde klassificeras som cykel och därmed gå under dess lagstiftning [1]. Detta var i samband med att bland annat Segway introducerades på den svenska marknaden. Med denna lagändring öppnades möjligheten att göra en eldriven longboard laglig.

För att tydliggöra arbetets mål är följande målformulering framtagen:

För att effektivisera transport med longboard skall gruppen innan 19:e maj 2014 skapa en eldriven longboard med lång räckvidd och som är miljövänlig, samt skall kunna bäras utan ansträngning.

2 Utformningsförutsättningar för elektriskt driven longboard

En longboard består vanligtvis av hjul, truckar och någon form av bräda där personen som framför longboarden står. Denna bräda kallas för longboardens deck. Ett deck har alltid en rörlighet, på fackspråk kallat flex från eng. *flexibility*. Rörligheten ger föraren en känsla av att longboarden surfar fram men sänker samtidigt markfrigången. Rörligheten på en longboard med eldrift kan bli begränsad eftersom den innehåller externt monterade komponenter. Dessa komponenter behöver konstrueras med egen rörlighet så att de kan följa decks rörelser. De behöver även designas och placeras på ett sådant sätt att de inte kommer i kontakt med marken och därmed tar skada om markfrigången är för låg eller decket har för stor rörlighet.

Markfrigången påverkas av flera saker men det mest påtagliga är hjulens storlek. Med stora hjul kan ett deck med mer rörlighet väljas och med små hjul blir rörligheten mer begränsad. Plattformen påverkar många parametrar och är starten för att andra beräkningar skall vara möjliga. Exempelvis hjulens storlek tillsammans med hastigheten avgör varvtalet på hjulet och således via kraftöverföringen varvtalet på motorn.

En viktig komponent för en longboard är truckarna. Truckarna sitter monterade under decket och hjulen sitter i sin tur på truckarna. Truckarna möjliggör att longboarden kan svänga genom att åkaren lutar sig åt höger eller vänster. Då åkaren lutar sig ökar avståndet mellan de två ytterhjulens samtidigt som avståndet minskar mellan de två innerhjulens. Detta resulterar i att longboarden svänger. Truckarnas hårdhet kan ställas in så att longboarden kan manövreras på olika sätt och i olika miljöer. En longboard med lösa truckar kan svänga skarpt vid låga och mellanhöga hastigheter men blir lätt ostabil vid höga hastigheter. Truckarna bidrar till stor del till var och hur externa komponenter kan monteras. Utformningen på truckarna påverkar markfrigång och hur brett hjulen sitter. Hur mycket de tillåter longboarden att svänga påverkar även var komponenter monteras och utformningen på dessa, eftersom ytan under den svängande sidan av trucken minskar. Utöver detta begränsar truckens fäste ytan under decket.

2.1 Eldriftskomplettering

Longboarden skall enligt Bilaga A *Kravspecifikation* efter komplettering med eldrift kännas och manövreras som en longboard i normal utförande, vilket skall tillgodoses vid placeringen av komponenter. Detta krav vägs mot utrymmeskravet på och under decket. Då longboarden skall kännas som en longboard i normalutförande är det således ett krav att tillförda komponenter inte skall vara i vägen eller på något annat vis störa föraren. Därför är det naturligt att placera de tillförda komponenterna under decket i största möjliga mån. Placering av komponenter under decket är även att föredra eftersom det är där hjulen som skall drivas är placerade. Avståndet mellan monterade komponenter blir därför mindre och därmed minskar även komplexiteten.

Storleken på longboardens tillförda komponenter påverkar placeringen av dessa då de inte skall störa den ursprungliga känslan av manövrera longboarden. Fullgott skydd av de tillförda komponenterna från till exempel stötar, slag, väta och damm prioriteras inte då

longboarden som elektriskt transportmedel är en prototyp.

2.2 Grundläggande designkoncept

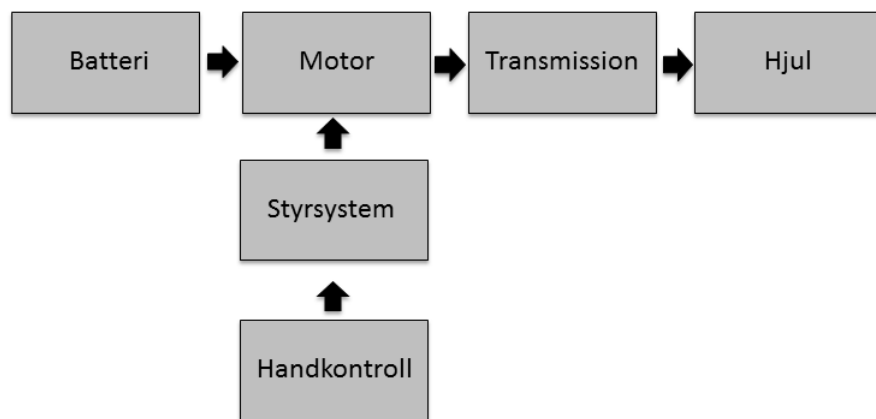
Longboarden tillförs en energikälla i form av ett batteri och samtliga komponenter monteras under longboardens deck för att bibehålla känslan av longboarden i normalt utförande. Longboardens delar i normalt utförande behålls intakta men fungerar som fästelement för de komponenter som tillförs. De komponenter som redan finns på longboarden antas vara i fullgott skick för att klara påfrestningarna orsakade av eldriftskomplettering.

Då truckarna rör sig i en sväng måste de tillförda komponenterna röra sig synkront med denna rörelse. Transmissionen blir annars mycket komplex eftersom truckarna rör sig i förhållande till decket. Av den anledningen anses det fördelaktigt att dessa komponenter kan monteras direkt på truckarna vilket möjliggör en följsam rörelse hos motor samt transmission i förhållande till truckarna.

För att erhålla mest fördelaktiga egenskaper hos den elektriska longboarden kompletteras denna med symmetrisk drivning på den bakre trucken. Detta av säkerhetskäl, då en osymmetrisk drivning medför ett nettomoment som vill rotera longboarden i horisontalplanet, något som vid snabb acceleration/retardation eller plötslig försämring av väggreppet kan resultera i att föraren tappar kontrollen. En helt symmetrisk drivning kan uppnås antingen genom att två motorer monteras på det främre eller bakre hjulparet eller en motor vid vart och ett av de fyra hjulen. Fyra motorer anses vara en onödigt komplex lösning. För att säkerställa att föraren behåller kontrollen monteras motorerna bak då en risk föreligger att trycket på bakhjulen minskar för mycket vid retardation om motorerna monteras fram. De kan då ej längre uppbringa tillräcklig friktion för att hålla longboarden stabil. I praktiken innebär det att fordonet får sladd.

På longboarden finns inga dedikerade mekaniska bromsar. Den använder motorerna för att bromsa och tar dessutom vara på energin vid inbromsning, så kallad regenerativ bromsning.

Användaren kontrollerar longboardens framdrivning genom en handkontroll, vilken ger en styrsignal som går via styrsystemet till motordrivaren. Den ger i sin tur rätt spänning till motorn som i sin tur genererar drivande respektive bromsande moment. En schematisk bild över longboarden kompletterad med eldrift visas i Figur 1.



Figur 1: Schematisk bild över de olika delarna som ingår i longboarden som elektriskt transportmedel.

2.3 Lagstiftning och riktlinjer

Eftersom longboarden som elektriskt transportmedel är ett relativt nytt transportmedel på den svenska marknaden har en omfattande lagutredning gjorts. Detta för att utreda om den eldrivna longboarden får framföras på svenska vägar och gå under svensk lagstiftning.

Innan 2010 fanns det i Sverige ingen lag som tillät mindre oregistrerade elektriska fordon, med undantag för lekfordon vars maxhastighet begränsas till 7 $[km/h]$. År 2010 kom det en uppdatering av "Föreskrifterna (TSFS 2009:31) om cyklar, hästfordon och sparkstöttningar" och går sedan dess under TSFS 2010:144 [1]. Denna ändring delar upp cyklar i följande: "Cyklar med tramp- eller vevanordning" samt "Cyklar utan tramp- eller vevanordning". Ändringen gav möjlighet för elektriska fordon, så som Segways, att gå under definitionen cykel. Det innebär att fordonet ska vara konstruerat för en maxhastighet av 20 $[km/h]$, men obegränsad effekt får tillföras. Föreskrifterna kräver även till exempel att fordonet ska vara utrustad med en bromsutrustning som ska kunna ge fordonet en retardation av minst 3 $[m/s^2]$. Detta vid såväl medveten bromsning som när manöverorgonet släpps.

Samtal med bland annat Lars Åke Gustavsson¹ och Niklas Nilsson² på Transportstyrelsen samt Mathias Gramsby³ hos Trafikpolisen Göteborg har dock visat att longboarden varken kommer att vara laglig eller olaglig att framföra. Föraren på en longboard kan nämligen inte uppfylla paragrafen i Trafikförordningen 1998:1276 [2] angående att cyklister måste hålla en hand på styret. Fram tills att en domstol har beslutat om hur den paragrafen ska tolkas i de fall då ett styre inte existerar kan varken polis eller transportstyrelsen säga att det är lagligt eller olagligt. Kravspecifikationen är därför endast skriven på ett sådant sätt att longboarden uppfyller krav för att kunna betecknas som en cykel.

¹18:e. Mars. 2014, Fordonsregler

²19:e. Mars. 2014, Lagar och regler

³28:e. Mars. 2014, Bilinspektör, Trafikpolisen Göteborg

3 Metod

Genom beräkning, simulering samt uppställning av matematiska modeller av verkligheten utformas eldriften på longboarden. Beräkningar och simuleringar verifieras sedan med funktionell testning samt mätning av mätbara variabler.

Longboarden dimensioneras utgående från kravspecifikationen Bilaga A *Kravspecifikation*, vilken beskriver prestandan som krävs av de olika komponenterna för att enheten ska fungera som en elektriskt driven longboard. Kravspecifikationen innehåller även övriga krav och önskemål som ställs på prototypen.

4 Dimensionering samt val av komponenter

Nedan följer dimensionering av longboarden som elektriskt färdmedel. Dimensioneringen utgår från en befintlig longboard som sedan kompletteras med eldrift. I avsnittet ingår 8 stycken delmoment. I varje delmoment utförs beräkningar som presenteras och sammanfattas i en resultatdel, specifik för varje delmoment. Resultaten diskuteras sedan i 6 *Diskussion* i slutet av rapporten.

För att montera externa komponenter behövs en plattform. Efter klarläggande av vilka krav som ställs på plattformen i 4.1 *Plattform* presenteras en vald plattform i 4.1.1 *Val av plattform*. För dimensioneringen krävs ett klargörande av vilket vridmoment samt vilken effekt som behövs för att föra longboarden framåt. Detta beräknas under 4.2 *Kraft-, moment- och effektbehov*. Vridmomentet som genererar rörelse tillförs longboarden med motorer. Under 4.3 *Motor* dimensioneras motordriften utgående från tidigare beräkningar. Sammanfattning och presentation av beräkningar utförs under 4.3.4 *Val av motor och motordrivare*. Kraften från motorn överförs sedan till hjulen via en transmission. Dimensionering av transmissionen sker under 4.4 *Transmission* där även val av transmissionstyp samt utväxling presenteras under 4.4.5 *Val av transmission*. Motorn hålls på plats med hjälp av ett motorfäste som dimensioneras och hållfasthetstestas under 4.5 *Motorfäste*. Resultatet av hållfasthetsanalysen presenteras sedan under 4.5.3 *Resultat motorfäste*. För att motorerna skall generera rörelse krävs tillförd energi via batterier vars utformning sker under 4.7 *Batteri* och slutligen väljs under 4.7.4 *Val samt montering av batteri*. Motordriften styrs av ett system vilket dimensioneras under 4.6 *Styrsystem* där motordrivarnas funktion beskrivs. Longboardens framdrivning styrs av en handkontroll vilken utformas i delmomentet 4.8 *Handkontroll*.

4.1 Plattform

Plattformen består av hjul, truckar och deck. På grund av sin komplexitet konstrueras plattformen inte på egen hand utan den köps istället färdig. Plattformen väljs utifrån förutsättningarna som presenteras i 2 *Utformningsförutsättningar för elektriskt driven longboard*. Valet påverkas även av budgeten på totalt 5000 [SEK] där det beslutats att plattformens pris får uppgå till maximalt 1000 [SEK] enligt Bilaga 7 *Budget*.

Plattformen behöver ha ett deck med stor yta undertill. Detta eftersom alla monterade komponenter kommer placeras där. För att komponenterna inte ska ta skada är det önskvärt att den även har bra markfrigång och stora hjul. För stabilitetens samt av utrymsskäl krävs relativt breda truckar.

4.1.1 Val av plattform

En longboard som matchar ovanstående förutsättningar och krav är Slipstream Concave Pin. Den köptes begagnad för 950 [SEK]. Concave Pin är 106 [cm] lång, 24,1 [cm] bred och truckarna som är av märket Podium är 254 [mm] breda. Hjulen är 75 [mm] i diameter och 44,5 [mm] breda. Hjulen antags vara av polyuretan [3] med en fälg av plast. Decket är gjort av kanadensisk lönn i 7-lager vilket gör att decket har relativt mycket flex [4]. Longboarden visas i Figur 2:



Figur 2: *Slipstream Concave Pin. Av de modeller som undersöktes hade den störst markfrigång och även mest utrymme runt truckar för montering av komponenter.*

4.2 Kraft-, moment- och effektbehov

För att klargöra effektbehovet friläggs de krafter som verkar på longboarden. Friläggningen är nödvändig för att beräkna kraften som krävs för att framföra longboarden vid såväl acceleration, retardation samt konstant hastighet. Kraften ger upphov till de moment och därefter de effekter som är nödvändiga för att driva longboarden framåt. Rörelseekvationerna är beaktande av den drivande kraften (F), rullmotståndet (F_r), luftmotståndet (F_{luft}) samt den totala lasten (mg) som verkar på longboarden. För momentberäkning är tröghetsmoment från hjul medräknade.

Den totala massan som longboarden skall framföra är beroende av massan på personen som skall framföras (m_d), dess utrustning ($m_{utrust.}$) samt longboardens egenvikt ($m_{longb.}$). Addition av dessa ger longboardens totalvikt. Totalvikten antags vara 100 [kg], där longboardens egenvikt enligt kravspecifikationen begränsats till 10 [kg], se Bilaga A *Kravspecifikation*. Detta visas även i följande ekvation:

$$m = m_d + m_{utrust.} + m_{longb} = 100 \text{ [kg]}$$

För att driva longboarden framåt behövs den drivande kraften (F). Denna kan delas upp i en manuellt tillförd kraft (F_d) och en maskinellt tillförd kraft (F_m).

$$F = F_d + F_m$$

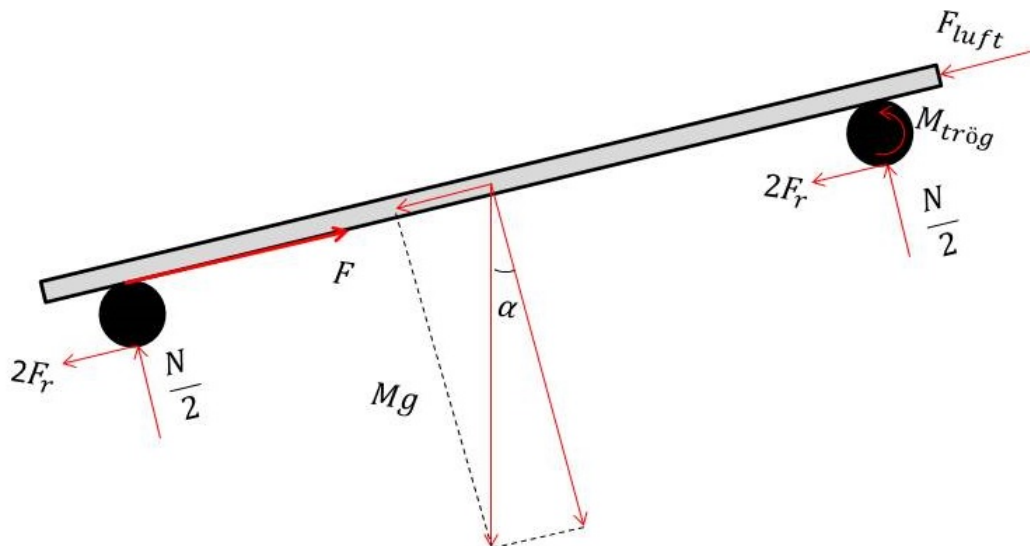
Då longboarden skall utvecklas till ett eldrivet fordon antas $F = F_m$. Detta antagande förutsätter därför att all drivande kraft tillförs via eldrift.

Punkterna som valts för undersökning av kraft-, moment- och effektbehov är följande:

- Konstant hastighet i nedförsbacke (20 [km/h]), max 7 grader
- Konstant hastighet i uppförsbacke (20 [km/h]), max 7 grader
- Retardation 3 [m/s²] på plan mark

Lutningen på 7 grader (motsvaras approximativt av en lutning på 12 %) har valts från trafikverkets riktlinjer för cykelvägar [5]. Vid fallet med högst höjdskillnad (12 [m]) är 12 % den genomsnittslutning där en kvinna och man i 20 års ålder klarar hålla en hastighet på 5 [km/h] med cykel. Värdet 7 grader motsvarar därför den lutning där den bäst presterande ålderskategorin klarar hålla lägsta hastigheten när höjdskillnaden är som störst (lägst kvalitet på cykelväg enligt riktlinjerna). Retardation på 3 [m/s²] krävs av lagen för att longboarden ska kunna klassificeras som cykel.

4.2.1 Friläggning av longboarden



Figur 3: *Friläggning av longboard. Krafter och moment som finns med på bilden: Drivande kraften, tyngdkraften, normalkraften, luftmotståndskraft, rullmotståndskraft samt tröghetsmoment från hjul. Förluster i form av friktion i longboardens kullager antas vara mycket små och negligeras därför.*

Kraftjämvikt ger:

$$\begin{aligned}
F - 4F_r - N - F_{luft} &= ma \implies \\
\implies F - 4F_r - \sin \alpha \cdot mg - F_{luft} &= ma \implies \\
\implies F &= 4F_r + mg \sin \alpha + F_{luft} + ma
\end{aligned} \tag{4.1}$$

Där a betecknar acceleration och α betecknar vägens lutning. Rullmotståndskraften på de fyra hjulen erhålls sedan genom:

$$4F_r = F_r^{tot} = C_r \cdot N = C_r \cdot mg \cos \alpha \tag{4.2}$$

Där C_r betcknar rollmotståndskoefficienten och g beskriver tyngdaccelerationen som antas vara $9,82 [m/s^2]$. Luftmotståndet ges därefter av:

$$F_{luft} = \frac{\rho_{luft}}{2} \cdot C_d A_f v^2 \tag{4.3}$$

Luftens densitet beskrivs av ρ_{luft} och v är den relativa hastigheten för longboarden. Luftmotståndskoefficienten baserat på frontalarean för en medelperson ges som:

$$C_d A_f = 0,84 [m^2] [6]$$

(4.2) och (4.3) insatta i (4.1) ger sedan den totala kraften på longboarden:

$$\Rightarrow F = C_r \cdot mg \cos \alpha + mg \sin \alpha + \frac{\rho_{luft}}{2} C_d A_f v^2 + ma \tag{4.4}$$

Longboarden skall framföras på torr vägbana. Hjulen antas vara av polyuretan och underlaget utgörs av asfalt. Rullmotståndskoefficienten (C_r) beror av vilket material som är i hjulen och vilket underlag fordonet färdas på. Förhållandena anses vara likvärdiga bildäck mot asfalt varmed rullmotståndskoefficienten ansätts till $C_r = 0.007$ [7], där vägförhållandena antas vara konstanta. Vindstilla förhållanden antas råda.

Momentet beräknas sedan genom att multiplicera kraften (F) med hjulets radie ($r_{hj\ddot{u}l}$):

$$M = (F \cdot r_{hj\ddot{u}l}) + M_{tr\ddot{o}g,hj\ddot{u}l}^{tot} \tag{4.5}$$

Tröghetsmoment från hjulen (fyra stycken) beräknas enligt:

$$M_{tr\ddot{o}g,hj\ddot{u}l}^{tot} = 4 \cdot M_{tr\ddot{o}g,hj\ddot{u}l} = 4 \cdot J_{hj\ddot{u}l} \cdot \dot{\omega} \tag{4.6}$$

Där J_{hjul} betecknar hjulets masströghetsmoment och $\dot{\omega}$ beskriver vinkelaccelerationen.

Hjulen approximeras som solida cylindrar av polyuretan. Densiteten för polyuretan anges efter samtal med A.Boldizar⁴ till 1100 [kg/m³] [8]. Masströgheten för en cylinder ges som:

$$J_{hjul} = \frac{1}{2} m \cdot r_{hjul}^2 \quad (4.7)$$

Vinkelaccelerationen ges därefter av:

$$\omega = \frac{v}{r_{hjul}} \implies \dot{\omega} = \frac{a}{r_{hjul}} \quad (4.8)$$

(4.7) och (4.8) insatta i (4.6) ger sedan det totala tröghetsmomentet:

$$\Rightarrow M_{trög,hjul}^{tot} = 4 \cdot \left(\frac{1}{2} m \cdot r_{hjul}^2 \right) \cdot \left(\frac{a}{r_{hjul}} \right) = 2 \cdot m_{hjul} \cdot r_{hjul} \cdot a \quad (4.9)$$

Totala momentet fås sedan genom att sätta in (4.4) och (4.9) i (4.5):

$$\begin{aligned} M &= (F \cdot r_{hjul}) + M_{trög,hjul}^{tot} \\ &= (C_r \cdot mg \cos \alpha + mg \sin \alpha + \frac{\rho_{luft}}{2} C_d A_f v^2 + ma) \cdot r_{hjul} \\ &\quad + (2 \cdot m_{hjul} \cdot r_{hjul} \cdot a) \end{aligned} \quad (4.10)$$

Effekten som verkar på hjulen beräknas sedan enligt:

$$P = M \cdot \omega = M \cdot \frac{v}{r_{hjul}} \quad (4.11)$$

Med (4.10) insatt i (4.11) tillsammans med insatta värden på longboardens hastighet och hjulens radie fås effekten som:

$$\begin{aligned} P &= \left((C_r \cdot mg \cos \alpha + mg \sin \alpha + \frac{\rho_{luft}}{2} C_d A_f v^2 + ma) \cdot r \right. \\ &\quad \left. + (2 \cdot m_{hjul} \cdot r_{hjul} \cdot a) \right) \cdot \frac{v}{r_{hjul}} \end{aligned}$$

⁴5:e feb. 2014, professor, Polymera material och kompositer, Material- och tillverkningsteknik

4.2.2 Resultat kraft-, moment- och effektbehov

Värden i Tabell 1 erhålls genom beräkningar med ovanstående ekvationer. Dessa värden kan härledas till kravspecifikationen, se Bilaga A *Kravspecifikation*, för longboard som elektriskt transportmedel.

	Konstant hastighet i nedförsbacke (20 $[km/h]$, max 7 grader)	Konstant hastighet i uppförsbacke (20 $[km/h]$, max 7 grader)	Retardation 3 $[m/s^2]$ på plan mark
Kraft $[N]$	-97,2	141,9	-293,1
Moment $[Nm]$	-3,6	5,3	-11,0
Effekt $[W]$	-539,9	788,5	-1549,4

Tabell 1: Kraft-, moment- och effektbehov för longboard som elektriskt transportmedel

Den dimensionerande effekten är vid retardation på plan mark. Effekten som beräknas är den effekt som slutgiltigt skall överföras till och verka på hjulen. Denna är den största effekten som erhålls vid de förhållande som longboarden skall kunna framföras. Effektbehovet är maximalt 1549,4 $[W]$.

Plottningar av kraft-, moment- samt effektbehov finns i Bilaga C *Kraft-, moment- och effektbehov*. Plottningarna visar effekten i förhållande till hastighet och acceleration i olika lutningar.

4.3 Motor

För att driva longboarden krävs en kraftkälla som i detta fall är en elektrisk motor. I en elmotor skapas ett roterande magnetfält genom en process kallad kommutering. Magnetfältet driver runt motorns roterande del och på så sätt omvandlas elektrisk energi till mekanisk energi. Energikällan är batterier vilket gör att den tillgängliga elektriska effekten levereras i form av en likström. Det är därmed lämpligt med någon form av DC-motor.

4.3.1 Motortyp

På grund av ekonomiska och tidsmässiga begränsningar saknas utrymme att använda andra motorer än enkelt kommersiellt tillgängliga, vilket gör att två typer av motorer finns att välja mellan. Antingen en konventionell borstad DC-motor eller en borstlös DC-motor (hädanefter benämd BLDC-motor, BrushLess Direct Current). Skillnaden mellan en borstad DC-motor och en BLDC-motor är att i en borstad DC-motor genereras det roterande fältet mekaniskt i rotern (roterande del i motorn) och i en BLDC-motor genereras det roterande magnetfältet i statorn (stationär del i motorn) med hjälp av elektronisk styrning. Det betyder att en borstad motor endast kräver en enkel styrning för att kunna

kontrolleras medan en BLDC kräver en relativt avancerad motordrivare. Detta eftersom en BLDC-motor i praktiken är en trefas synkronmotor som anpassats för att drivas med fyrkantsvåg istället för sinusvåg. Den borstade DC-motorn behöver endast en variabel likspänning för att variera varvtalet. Detta då den via sin mekaniska konstruktion sköter rotationen av det drivande magnetfältet [9]. De olika motortyperna utvärderas i en Pugh-matris som återfinns i Bilaga *D Motor*.



Figur 4: *Delad BLDC-motor av modell Turnigy Aerodrive SK3 - 6354-215kv. Till vänster visas statorn och till höger visas rotorn. Notera att rotorn endast har permanentmagneter medan statorn endast har elektromagneter.*

En BLDC-motor är inte komplett utan en drivare som sköter kommuteringen. För att generera det roterande magnetfältet som driver motorn runt måste drivaren veta var i sin rotation rotorn är. Detta för att kunna leda strömmen genom rätt fas vid rätt tidpunkt och på så vis driva rotorn runt. När motorn nått ett visst varvtal kan drivaren uppskatta detta genom att mäta motorns inducerade spänning i de olika faserna och på så vis räkna fram var motorn befinner sig. Vid låga varvtal är den inducerade spänningen för låg för att beräkna fram positionen. Det ger en oexakt kommutering vilket gör att startmomentet blir väldigt lågt.

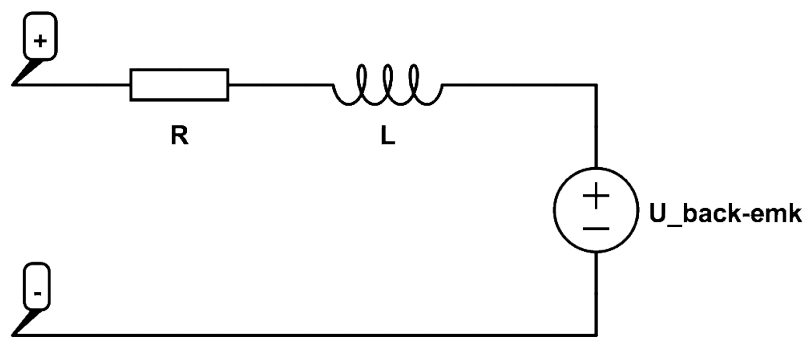
Med hjälp av hallsensorer kan drivaren mäta rotorns position på magnetisk väg. Det gör att drivaren alltid vet motors position, även vid stillstående, och därmed fås fullt moment från start. Hallgivare kan vara integrerade i motorns konstruktion, eller kan monteras i efterhand. Nackdelen med sensorer är att antalet delar ökar, därmed ökar kostnaden och antalet komponenter som kan gå sönder.

Nedanstående egenskaper värderas hos drivaren:

- Möjlig maxström
- Tillgänglighet
- Kostnad
- Möjlighet till loggning av data under drift
- Möjlighet till regenerativ bromsning
- Startmoment

4.3.2 Motormodellering

En BLDC-motor kan tillsammans med sin drivare approximeras linjärt till en elektrisk krets som består av en spänningskälla i serie med en induktans och en resistans, vilket syns i Figur 5 [10]. Samma modell kan användas för att modellera borstade DC-motorer.



Figur 5: *Linjär modell av en DC-motor.*

Induktansen (L) och resistansen (R) är motorspecifika egenskaper, i en ideal motor är båda dessa noll. Spänningskällans ($U_{back-emk}$) spänning kallas för back-emk (elektromotorisk kraft) och är spänningen som induceras när magnetfälten rör sig mot varandra när motorn roterar. Back-emk:n är proportionell mot vinkelhastigheten på motorn [11]. Strömmen som går i seriekretsen är proportionell mot det moment som tas ut på motorn. Spänningens (motorns back-emk) förhållande till vinkelhastigheten definieras med hjälp av konstanten K_v [RPM/V] [10] härnäst benämnd spänningskonstanten:

$$K_v = \frac{\omega}{U_{spänningskälla}} \quad (4.12)$$

Momentets förhållande till strömmen definieras K_t [Nm/A] [10] härnäst benämnd

momentkonstanten:

$$K_t = \frac{M}{I_{motor}} \quad (4.13)$$

Förhållandet mellan motorns moment- och spänningskonstant (K_t och K_v) är samma för alla elmotorer som kan beskrivas med modellen i Figur 5. Modellens spänningskälla har en verkningsgrad på 1 (100%), det vill säga den elektriska effekten in i spänningkällan är densamma som den mekaniskt tillgängliga på motoraxeln innan friktionsförluster [10] vilket ger:

$$P_{elektriskspänningskälla} = P_{mekaniskmotoraxel} \quad (4.14)$$

Definitionen av elektriskt effekt är:

$$P = U \cdot I \quad (4.15)$$

Skrivs (4.14) om med definitionerna för elektrisk (4.15) och mekanisk effekt (4.11) fås förhållandet:

$$U_{spänningskälla} \cdot I_{motor} = w_{motor} \cdot M_{motoraxel} \quad (4.16)$$

Moment- och spänningskonstant är definierade i ekvationerna (4.13) och (4.12), som vid insättning i (4.16) ger:

$$\frac{w_{motor}}{K_v} \cdot I_{motor} = w_{motor} \cdot I_{motor} \cdot K_t \quad (4.17)$$

Efter förenkling av ekvation (4.17) fås förhållandet:

$$\frac{1}{K_v} = K_t \quad (4.18)$$

Ett motsatsförhållande råder därför mellan hög spänningskonstant och hög momentkonstant. Spänningskonstanten bestämmer tillsammans med matningsspänningen (minus eventuella förluster) det maximala varvtalet. Det teoretiska maxvarvtalet fås genom att multiplicera matningsspänningen med spänningskonstanten. Detta är ett varvtal som skulle uppnås om det inte fanns några elektriska eller mekaniska förluster och är inget som uppnås i verkligheten [10]. Momentkonstanten bestämmer tillsammans med möjlig maxström vad det maximalt tillgängliga momentet blir. Valet av motor sker därför med hänsyn till nedanstående:

- Moment- och effektbehov
- Möjlig batterispänning
- Möjlig ström från batteriet
- Möjlig ström genom motordrivaren
- Mekaniska förluster
- Transmissionens möjliga utväxlingar
- Elektriska förluster
- Fysiskt utrymme
- Kostnad
- Leveranstid
- Motordrivarens begränsningar

4.3.3 Förluster

Verkningsgraden (η) på motorn definieras enligt kvoten mellan effekt in i motorn (P_{in}) och effekten ut ur motorn (P_{ut}):

$$\eta = \frac{P_{ut}}{P_{in}} \quad (4.19)$$

Ineffekten är den av motorn upptagna effekten medan uteffekten är den avgivna. Då motorn omvandlar elektrisk energi till mekanisk, som vid acceleration, upptas energi från batteriet och avges på motoraxeln. När motor istället genererar elektrisk energi, som i fallet med regenerativ bromsning upptas mekanisk energi från motoraxeln och avges till batteriet. De elektriska effektförlusterna i alla rent resistiva ledare är proportionella mot kvadraten på strömmen enligt:

$$P_{förlust} = I^2 \cdot R$$

Då i princip alla elektriska förluster är resistiva önskas en så låg ström som möjligt för att minska effektförlusterna i de elektriska delarna av systemet. En av de viktiga faktorerna i batterivalet är möjligheten till hög uppladdningsström (se avsnitt 4.7 *Batteri*) för att batteriet ska klara att ta upp den bromsande effekten. Den upptagna effekten är spänningen multiplicerat med strömmen enligt (4.15). Det betyder att för att reducera uppladdningsströmmen och därmed förlusterna krävs en högre spänning för att effekten skall hållas konstant.

En hög spänning på batterisidan av drivaren betyder att en så hög spänning på motorsidan som möjligt är önskvärd. Detta då drivaren tillsammans med motorinduktansen agerar

likspänningsomvandlare vars verkningsgrad minskar kraftigt med minskad spänning när den behöver transformera upp spänningen. För samma effekt enligt (4.15) är det därför fördelaktigt att hålla spänningen hög och strömmen låg.

För att uppnå det momentbehov som finns (se avsnitt 4.2 *Kraft-, moment- och effektbehov*) krävs en så hög momentkonstant som möjligt vilket enligt ekvation (4.18) betyder en så låg spänningskonstant som möjligt.

4.3.4 Val av motor och motordrivare

Effekten som krävs för att uppnå specifikationerna har tidigare räknats fram (se 4.2 *Kraft-, moment- och effektbehov*). Den maximala effekt som krävs enligt specifikationerna är den när longboarden ska bromsas med $3 [m/s^2]$ och är enligt beräkningarna 1549,4 [W]. Med en uppskattad verkningsgrad på ca 86% från motor till hjul (motorns samt transmissionens verkningsgrad på 90% samt 95%) blir den minsta märkeffekt som krävs runt 1812 [W]. Eftersom motorn även agerar broms är det mycket viktigt att den alltid fungerar och inte överhettas. Därför dimensioneras motorn med en säkerhetsfaktor på 2 för god marginal. Detta ger en nominell effekt på ca 3624 [W].

En motor som klarar dessa krav är Turnigy Aerodrive SK3 - 6354-215kv. Den har en märkspänning på 37 [V] och har en märkeffekt på 2100 [W]. Två stycken motorer används och total märkeffekt är då 4200 [W]. Motorn är en borstlös DC-motor (BLDC) av outrunnertyp, vilket innebär att rotorn roterar runt statorn som är fast i centrum, vilket i sin tur gör att hela höljet roterar.

Motorerna används tillsammans med en BLDC-motordrivare som B. Vedder⁵ har utvecklat och publicerat som open source [12]. BLDC-motordrivarna finns förklarade under 4.6 *Styrsystem*.

4.4 Transmission

För att driva ett fordon framåt behövs en transmission från motorn. Transmission överför det moment som motorn genererar till hjulen vilket ger upphov till den kraft som hjulen utövar på underlaget. Denna kraft accelererar fordonet och ger den translaterande rörelse som söks.

Transmission används för att överföra kraften från motorn till hjulen men också för att anpassa hastighet och belastning mellan drivkällan (motorn) och det som skall drivas. En elmotor har ett givet driftvarvtal men det som skall drivas kräver andra varvtal för att erhålla god funktion samt för att möta de krav och önskemål som ställs på det som ska drivas. Genom att påverka såväl varvtal som moment påverkas slutligen effekten som utgör produkten av de båda.

Utväxlingen är den mest framträdande storheten i en transmission. Den är definierad som kvoten mellan in- och utgående hastighet och benämns i . Vinkelhastigheterna räknas

⁵10:e mars. 2014, Industridoktorand, Datateknik, SP - Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

som positiva oavsett rotationsriktning. Då man bortser från förluster i transmissionen är ingående effekt lika med utgående effekt vilket ger:

$$P_{in} = P_{ut} \implies M_{in} \cdot \omega_{in} = M_{ut} \cdot \omega_{ut}$$

Detta är dock inte överensstämmande med verkligheten, där lägre uteffekt än ineffekt erhålls. Det är genom detta som verkningsgraden definieras. Verkningsgraden, η , definieras som utgående effekt dividerat med ingående effekt enligt (4.19).

Denna verkningsgrad multipliceras sedan med andra verkningsgrader i systemet för att erhålla det verkliga effektbehovet. Detta verkliga effektbehov är det som ger upphov till val av batteri.

Utvärdering av transmissionstyper görs med beaktande av nedanstående egenskaper:

- Verkningsgrad
- Bullernivå
- Noggrannhet i utväxling
- Överförbar effekt
- Överförbart moment
- Underhåll (risk för haveri)
- Storlek
- Komplexitet i montering

I Bilaga E *Transmission*, finns egenskaper för vardera transmissionstyp.

Valet av transmissionstyp genomförs med hjälp av en Pughmatris (belslutsmatris). Denna matris finns i Bilaga E *Transmission*. Vald transmissionstyp är kuggremsväxel, då denna anses fördelaktig ur de aspekter som beaktas.

4.4.1 Utväxling

Varvtalet på det drivna hjulet beror på den hastighet som longboarden framförs i. Maximal hastighet är vald till 20 $[km/h]$ (5,56 $[m/s]$). Hjulens diameter är 75 $[mm]$ vilket medför att vinkelhastigheten blir 148 $[rad/s]$. Vidare beräkningar ger sedan varvtalet på hjulet, vilket är 1416 $[RPM]$.

Varvtalsval Utväxlingsstorleken beror på storlek på hjulet (75 $[mm]$ i diameter) samt minsta möjliga storlek på remhjulet som skall placeras på motorn. Höga varvtal ger ett högre effektbehov vid antagande om konstanta momentförluster. Därför är en låg utväxling att föredra. Då motorn skall fungera som en generator (regenerativ bromsning) är ett högt varvtal att föredra för att erhålla hög spänning för att ladda batteriet, då spänningen är proportionell mot varvtalet.

Enligt J.Fredriksson⁶ är en lämplig tumregel att dimensionera transmissionen så att motorns arbetsvarvtal är 70 % av motorns maxvarvtal.

Motorerna som valts för att driva longboarden har ett $maxvarvtal = 7955 [RPM]$

Belastning är ojämn över tid då longboarden rör sig i varierande förhållanden. Arbetsvarvtalet är i beräkningar baserat på varvtalet då longboarden färdas i 20 $[km/h]$.

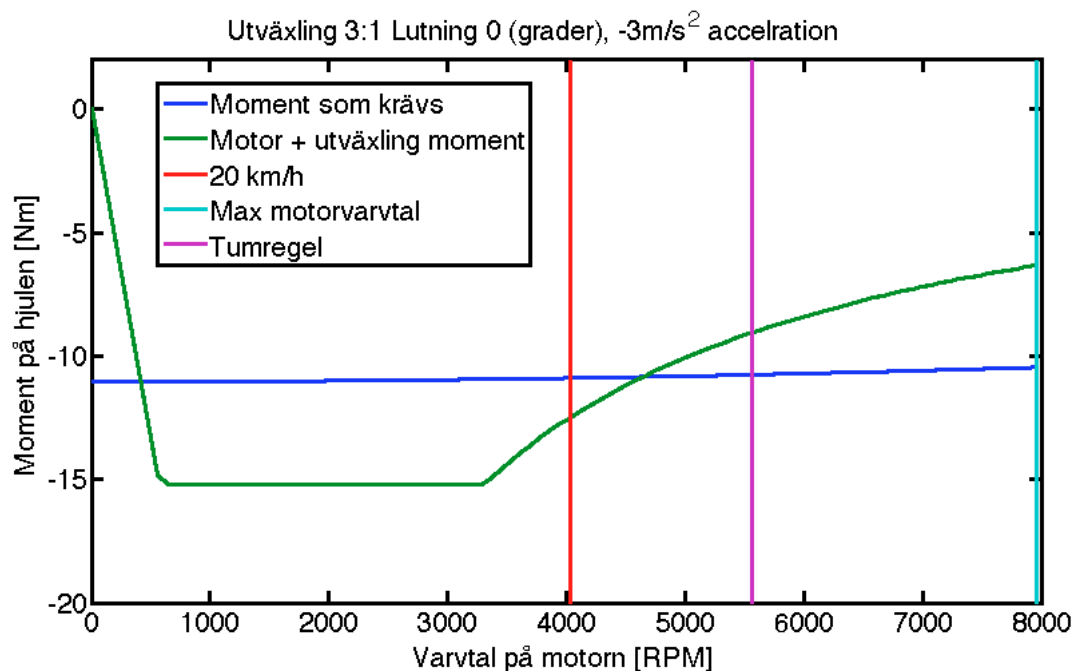
Varvtalet för arbetspunkten:

$$Arbetsvarvtal \approx 0,7 \cdot 7955 = 5569 [RPM]$$

Sammantaget finns det motstridiga villkor gällande utväxling i transmissionen, vilket gör att en kompromiss är nödvändig. Då ingen konstant arbetspunkt finns för longboarden används tumregeln för arbetsvarvtalet som en hänvisning om ungefärligt varvtal som är att föredra för motorn.

Utväxlingen som valts till longboarden är 1:3. Utväxling 1:3 ger ett lågt varvtal på motor vilket således ger låg effektförlust, men ligger dock lägre än rekommenderat arbetsvarvtal. Det är dessutom en utväxling som storleksmässigt får plats under longboardens deck.

I Figur 6 finns en linje för varvtalet vid hastigheten 20 $[km/h]$. Denna linje jämförs med tumregeln för arbetsvarvtal.



Figur 6: Moment som kan levereras vid utväxling 1:3 som funktion av varvtal. Upp till ca 3200 $[RPM]$ begränsas momentet av strömmen genom motorerna, över det begränsas det av strömmen till batteriet.

⁶9:e maj, 2014. Docent i forskargruppen för mekatronik vid avdelningen för Reglerteknik, Automation och Mekatronik

4.4.2 Dimensionering av remkuggsväxel

Effekten för att bromsa longboarden på plan mark är beräknat till 1549,4 [W] (dimensionerande enligt *A Kravspecifikation*). Antagande om verkningsgrad på 95 % har gjorts och därmed blir den högsta effekten 1630,9 [W]. Då två motorer används samt två separata transmissioner och effekten som skall överföras från motorn är där med 813,5 [W]. Utväxling bestämmer den drivande skivans varvtal beroende på hastighetsbegränsningen 20 [km/h]. Nedanstående beräkningar är gjorda med hjälp av beräkningsmall enligt [13].

Motorns effekt:	813,5 W
Drivande skivans varvtal:	4248 [RPM]
Drivande axelns diameter:	8 mm
Hjulets varvtal:	1416 [RPM]
Axelavstånd:	81 ± 2 [mm]
Belastningstyp:	Ojämn
Övrigt:	Hjulets diameter är 75 [mm]

Tabell 2: *Specifikationer för utformning av remkuggsväxel.*

Bestämning av delning: Dimensionering av transmissionen sker efter en beräkning av kalkyleffekt. Kalkyleffekten beräknas sedan genom att multiplicera effekten med en driftsfaktor. Driftsfaktorn för transportband för tungt gods är 1,4 [13] .

$$Kalkyleffekten = 1.4 \cdot 813,5 = 1138,8 [W]$$

Med kalkyleffekt (1138,8 [W]) samt varvtalet på den drivande axelns beräknas kuggdelningen. Kuggdelningen för transmissionen beräknas till 3 [mm].

Bestämning av skivkombination och rembredd: För att transmissionen skall kunna överföra den effekt som krävs utvärderas olika rembredder. Effekten är beräknad med remlängdsfaktor = 1 för att uppfylla kravet på 1138,8 [W]

För att transmissionen skall rymmas inom storleksbegränsningarna och inte vara överdimensionerad anses 15 [mm] vara bra för ändamålet.

Utväxlingsförhållandet som används för att föra över effekten till hjulen är 1:3. Denna utväxling väljs då utrymmet under longboardens deck anses vara den största dimensionerande faktorn. Beräkningar för nedanstående resultat finns i Bilaga *E Transmission*.

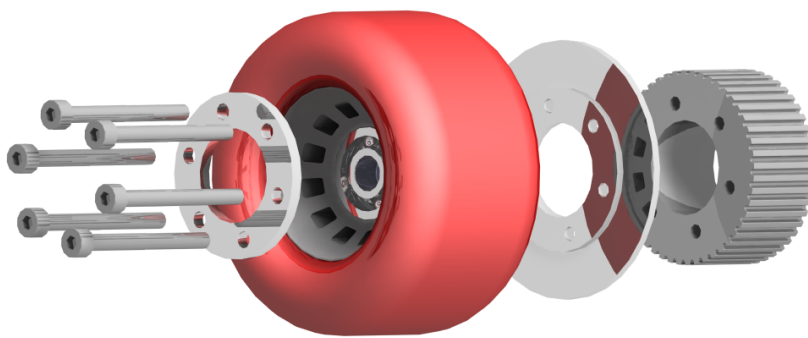
Remlängden beräknas approximativt i Bilaga *E Transmission* med avseende på axelavstånd samt diameter på remskivorna. Axelavståndet, A , beräknas vara cirka 80 [mm].

4.4.3 Överföringskomponenter och montering

Den lilla remskivan monteras på motoraxlen med hjälp av ett limförband. Limförband väljs på grund av dess snabba och enkla montering som inte kräver ytterligare bearbetning än håltagande för motoraxeln i den lilla remskivan. Limförbandet approximeras till ett rent skjuvningsspänningsbelastat limförband eftersom de belastningar som finns endast kan verka antingen som ett vridmoment eller en axiell dragkraft. Limförbandet antas maximalt kunna utsättas för en temperatur på $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ och dimensioneras efter att konstant utsättas för det.

För att kunna överföra motorns moment används Loctite 641 vilket är ett anaeroblim avsett för cylindrisk fastlåsning av exempelvis metallager och -bussningar. Vid limning får inte den diametrala spalten överstiga $0,1\text{ [mm]}$ för att nå maximal hållfasthet [14]. För beräkning av hållfastheten se Bilaga *E Transmission*.

Från remskivan monterad på motoraxeln sker kraftöverföringen till hjulet med en rem till den större remskivan monterad på hjulet. Den större remskivan samt en centreringskomponenten (insats) kläms mot hjulet med hjälp av genomgående skruvar. Centreringsdelens uppgift består i att centrera remskivan på hjulet för att få en jämn överföring. Kraften överförs sedan via friktion mellan centreringsdelen samt hjulet som ett skruvförband genererar. Det för longboarden specifika hjulet har en fälg gjord i plast med genomgående hål samt en liten nedsänkning. Det är denna nedsänkning som centreringsdelen utnyttjar för att centrera remskivan. Centreringskomponenten visas tillsammans med hjulet, remskivan samt genomgående skruvar i Figur 7. Skruvarna fästes på utsidan av hjulet i en ring och går sedan genom hålen i fälgen och fästes i remskivan.



Figur 7: Överföringen från remskiva till hjul. Komponenter från vänster: Skruvar, ring, hjul, centreringsdel samt remskiva.

4.4.4 Åtdragningsmoment för stora remskivan

De genomgående skruvarna har till uppgift att hålla ihop centreringsdelen och hjulet med sådan kraft att effekten från motorn överförs via friktion mellan centreringsdelen och hjulet. Skruvarna måste då dras åt med ett visst moment. Momentet beror på den axiella kraften som uppstår i skruvarna. Sex stycken skruvar per hjul delar på kraften för att överföra effekten. I beräkningarna antas enbart ett hjul driva longboarden framåt. Skruvarna som används har M4-gänga och specifikationer för denna gängtyp finns i Bilaga E *Transmission*.

I Bilaga E *Transmission* finns även beräkningar som beskriver beräkningen av åtdragningsmomentet och spänningen i skruvarna.

4.4.5 Val av transmission

Valet av transmission är kuggremsväxel. Kuggremsväxeln är en kombination av en remväxel och en kuggväxel och anses besitta de egenskaper som eftersöks i projektet. Kuggremsväxeln dimensioneras med 3 [mm] delning samt med 15 [mm] rembredd. Utväxlingsförhållandet är valt till 1:3.

Utväxling 1:3:

- Kuggantal drivande remskivan: 16 st.
- Kuggantal driven remskiva: 48 st.
- Diameter drivande remskiva d_o : 15,28 [mm].
- Diameter driven remskiva D_o : 45,85 [mm].

$$Remlängd = 270.3 [mm] = 270 [mm] \rightarrow 90 \text{ kuggar (delning 3 [mm])}$$

Varvtalet på motorn vid utväxling 1:3 är 4248 [RPM] vid 20 [km/h] (5,56 [m/s]). Detta är 53 % av maximalt varvtal, att jämföra med tumregeln (70 % av maximalt varvtal) ovan.

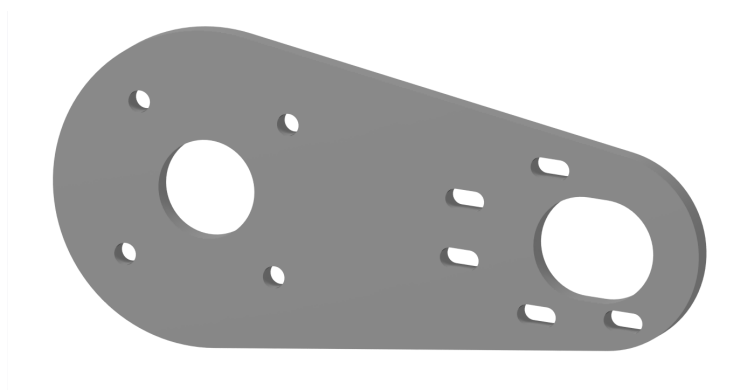
Åtdragningsmomentet för att precis överföra maximal effekten är beräknad till 0,16 [Nm]. Åtdragningsmomentet beror på axialkraften i skruvarna och spänningen som uppstår vid den beräknade vid beräknad axialkraften är 13,5 [MPa] vilket jämförs med skruvarna med hållfasthetsklassificering 8,8 vilket medför en sträckgräns på 640 [MPa] (gränsen för plasticering). Skruvarna kommer därmed att hålla vid överföring av maximal effekt. Förspänning av skruvarna rekommenderas motsvarande 65-90% av sträckgränsen enligt Maskinelement [15]. Detta motsvarar ett åtdragningsmoment på 4,9-6,8 [Nm].

4.5 Motorfäste

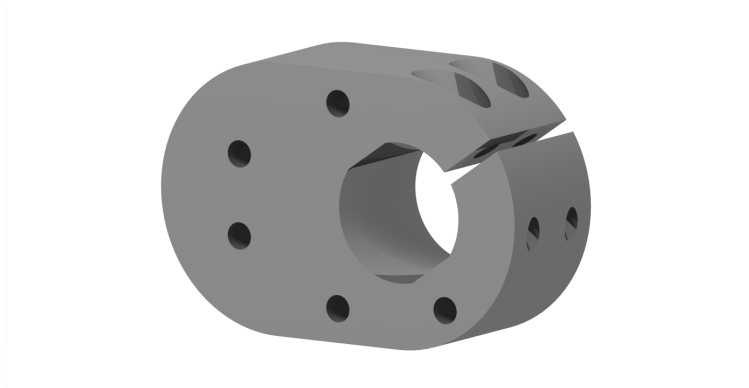
Eftersom decket rör sig relativt truckarna är antal monteringsplatser för motorerna begränsade. Motorerna måste därmed fästas på trucken med ett motorfäste för att möjliggöra en stabil kraftöverföring till hjulen. Då motorerna fästes på trucken följer de truckens rörelse och därmed är avstånd och vinkel mellan motor och hjul densamma under all framfört med longboarden och kraften kan därmed överföras med stor precision via remtransmissionen.

Motorerna placeras under longboardens deck för att longboarden enligt Bilaga A *Kravspe-cifikation* skall kännas och manövreras som en longboard i normalutförande. Utrymmet under longboardens deck är begränsat och därmed är motorfästet utformat för att klara detta utrymmeskrav.

Motorfästet är uppdelat i två delar, ett truckfäste samt en monteringsplatta. De två delarna fästes ihop med fem skruvar. Hålen i monteringsplattan är ovala vilket möjliggör att fästena kan justeras mot varandra och på så sätt kan remmen spännas efter montering på trucken. Motorn fästes med fyra skruvar i monteringsplattan. Truckfästet monteras på trucken där det kläms fast med två skruvar. Fästet har ett hål med två plana ytor för trucken då den specifika trucken också har två plana ytor. Denna utformning motverkar motorfästets rotation kring truckens axel. Figur 8 och Figur 9 visar monteringsplattan samt truckfästet.



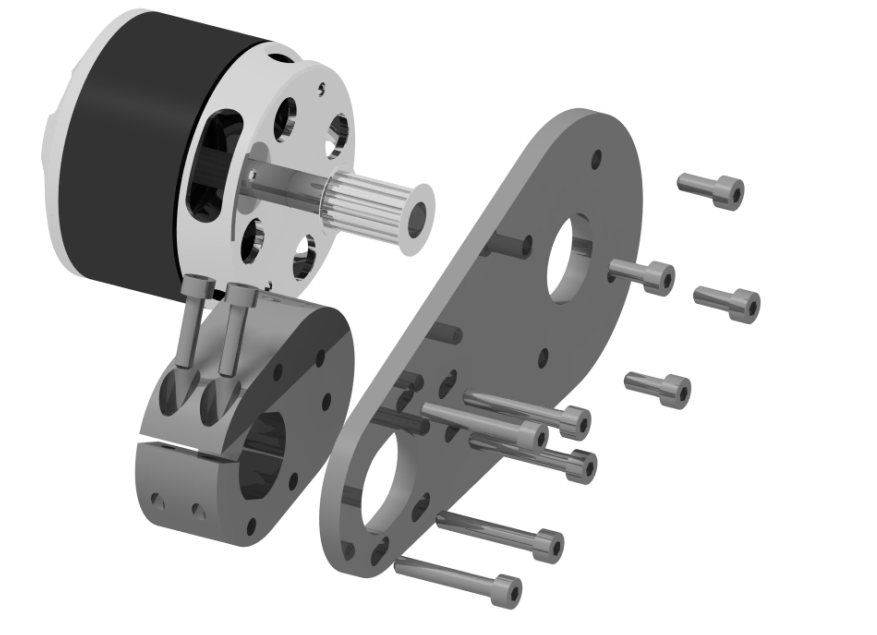
Figur 8: *Monteringsplattan med dess ovala hål för justerbar montering. I det stora cirkulära hålet går motorns roterande axel.*



Figur 9: *Truckfästets utformning. De fem genomgående hålen är gängade.*

Monteringsplattan har en tjocklek på 5 [mm] och truckfästet har en tjocklek på 20 [mm]. Hålen i truckfästet där monteringsplattan fästs samt där truckfästet fästs till trucken är gängade.

Motorfästena visas i Figur 10 nedan och dess placering i förhållande till varandra med tillhörande skruvar för ihopmontering. Ytterliggare förklaring för placeringen av komponenter finns i Bilaga F *Placering av komponenter*.



Figur 10: *Motorfästets utformning och den valda motorn. Trucken förs in genom det stora hålet med plana ytor. Truckfästet fästes samman med monteringsplattan med skruvar. Truckfästets hål är gängade för att göra monteringen enkel.*

4.5.1 Hållfasthet motorfäste

Materialet i motorfästena är valt till aluminium (EN AW-7075) med sträckgräns på 260 $[MPa]$ på grund av tillgängligheten samt dess låga kostnad och vikt i förhållande till hållfasthet [16]. Motorfästet påverkas av olika krafter; dels motorns egentygnd och dels det moment som motorn ger upphov till när den driver respektive bromsar longboarden. Motorfästet är analyserat med FEM-verktyget Ansys för att verifiera dimensioneringen.

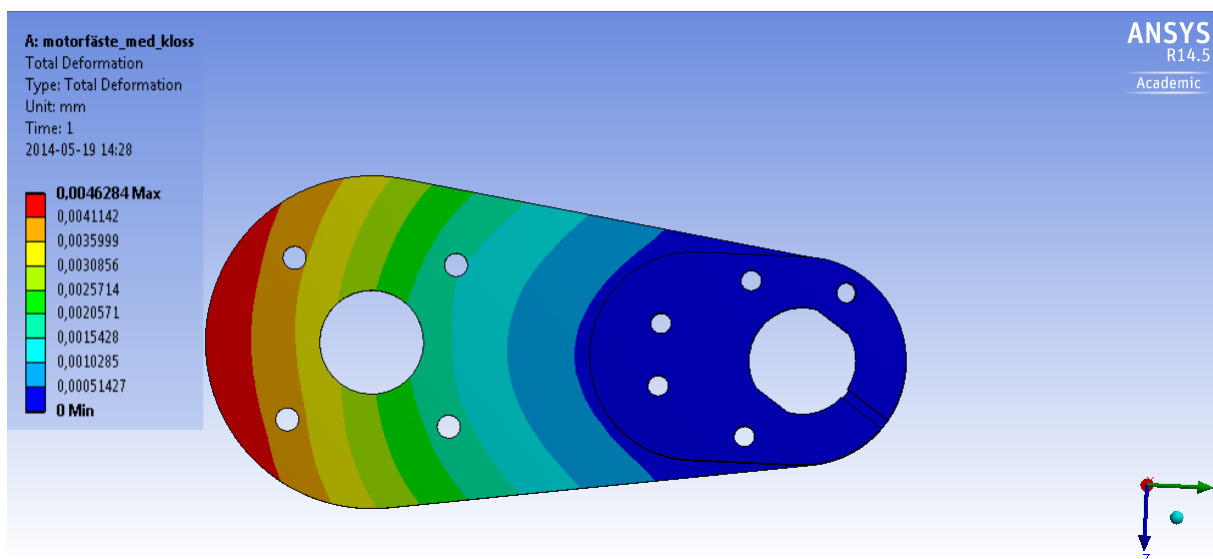
4.5.2 Åtdragningsmoment skruvar

Motorn skruvas fast i motorplattan med fyra stycken skruvar. Skruvarnas uppgift är således att hålla fast motorn. Motorplattan sedan fästes i truckfästet med fem stycken skruvar. Utgående från den maximala effekten beräknas de axialkrafter som skruvarna måste belastas med för att hålla kvar motorn under drift. Gängans storlek är M4 och beräkningar presenteras i Bilaga H *Motorfäste* och resultatet i 4.5.3 *Resultat motorfäste*.

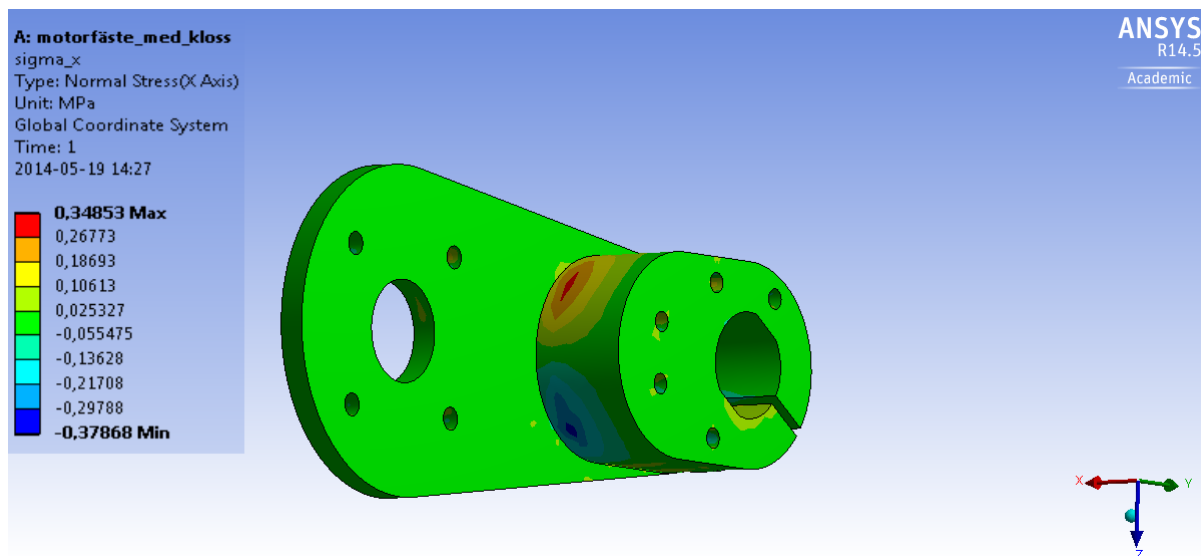
4.5.3 Resultat motorfäste

Vid analys tas det totala momentet som uppstår vid den dimensionerande punkten upp av ett motorfäste. För analysen används säkerhetsfaktor två vilket innebär att ett fäste tar upp all kraft vid longboardens framfart. Den totala deformationen visas i Figur 11 och spänningarna visas i Figur 12.

Fästets maximala deformation under belastning är 0,0046 $[mm]$. Maximala spänningen i motorfästet uppkom vid analys till 0,38 $[MPa]$.



Figur 11: Total deformation av motorfästet. Utböjningen är störst i fästets yttersta del.



Figur 12: Spänningar i motorfästet. Spänningskoncentrationer ses i truckfästets övre och undre del.

Beskrivning av hållfasthetsberäkningen finns i Bilaga H Motorfäste.

Åtdragningsmomentet för att motorn inte skall lossna från fästet är $0,18 \text{ [Nm]}$ på varje skruv. Åtdragningsmomentet för att hålla ihop truckfästet med motorplattan är $0,19 \text{ [Nm]}$ på varje skruv. Vid uträknade åtdragningsmoment uppnås en spänning på $15,0 \text{ [MPa]}$ för skruvarna som håller motorn och $16,2 \text{ [MPa]}$ för skruvarna som håller ihop truckfäste och motorplatta. Resultatet jämförs med skruvarnas hållfasthetsklassificering $8,8$ med sträckgräns 640 [MPa] . Åtdragningsmoment då skruvarna förspänns till $65\text{--}90 \%$ av sträckgränsen ligger då mellan $4,9\text{--}6,8 \text{ [Nm]}$.

4.6 Styrsystem

För att bestämma longboardens hastighet måste motorerna styras. För att få en intuitiv körupplevelse är systemet utformat så att användaren styr strömmen som går genom motorerna. Då momentet är proportionellt mot strömmen enligt Ekvation 4.13 blir det i praktiken momentet som användaren styr.

Styrsystemet består av två stycken drivare och dessa får styrsignal från handkontrollen. Med handkontrollen skickar föraren en signal till motordrivarna, vilka i sin tur individuellt reglerar motorernas ström mot insignalen. Detta är en funktion som finns inbyggd i drivarna som valts.

För att undvika störningar på styrsignalen från handkontrollen är det lämpligt att separera signaljorden mellan de två drivarna. Detta kan göras genom att använda någon form av isolatorkrets, till exempel optokopplare eller digitalisatorkretsar.

När någon av motorerna når det varvtal som motsvarar maxhastigheten enligt 2.3 Lagstiftning och riktlinjer kommer de sluta driva och enbart frirulla. Kör föraren rakt fram kommer detta ske i stort sett samtidigt för båda motorerna. Men om longboarden svänger

kommer ytterhjulet rotera snabbare än innerhjulet. Det innebär att om föraren svänger och longboarden når sin maxhastighet kommer ytterhjulet sluta driva och bara frirulla. Innerhjulet kommer fortsätta driva och motverka svängen. För den specifika longboarden som används uppstår en hastighetsskillnad på 9 % vid maximal sväng. Skillnaden mellan hjulens rotationshastighet antas vara tillräckligt liten för att momentet som motverkar svängen ska kunna negligeras.

4.6.1 Drivarlåda

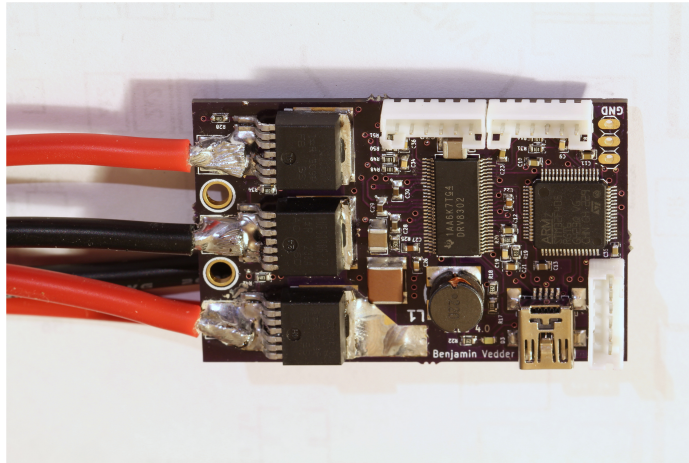
För att hålla drivarkort och kablar på plats på deckets undersida behövs någon slags låda där kort och kablar kan sättas fast. Eftersom lådan ska passa den specifika lösningen är det enklast att 3D-skriva den. Detta görs genom att först rita lådan i en 3D-miljö och sedan skriva ut lådan i en 3D-skrivare. Det går att använda flera olika typer av plaster men den vanligaste och billigaste är en termoplast. Locket till lådan behöver utöver sin tjocklek inga dimensioner i höjddled och kan med fördel skäras ut med laser.

Drivarlådan behöver fästas i longboarden på något sätt. Olika metoder för att göra detta inkluderar limning, skruvning och fästning med kardborreband. För att inte skada longboarden samt då drivarlådan skall kunna tas bort från longboarden har olika fästningsmetoder utvärderas. Kardborreband väljs efter utvärdering som fästningsmetod för drivarlådan.

4.6.2 Val samt montering av styrsystem

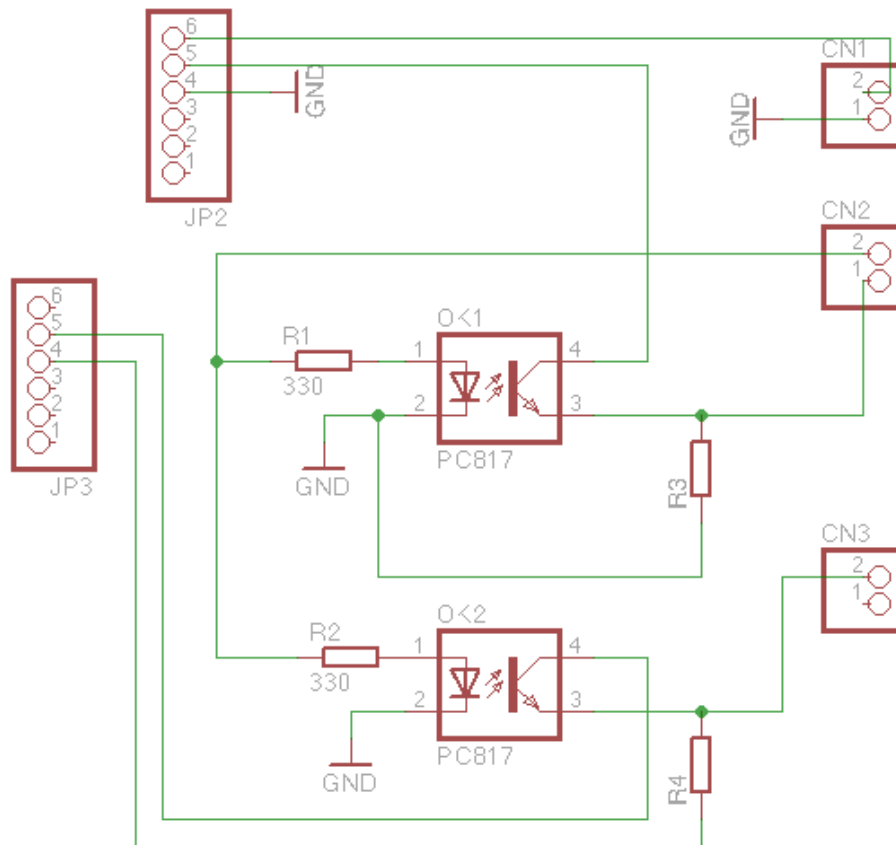
Drivaren är framtagen av B. Vedder⁷ som har utvecklat och publicerat projektet inklusive dokumentation som open source [12]. Drivarens mjukvara är på begäran av projektgruppen modifierad av B. Vedder för att ha de önskade funktionerna strömstyrning, toppfartsbegränsning och kraftig regenerativ bromsning. Drivaren har stöd för motorstyrning både med och utan sensorer. De motorer som har valts saknar sensorer för positionsmätning varpå drivaren arbetar med sensorlös styrning av motorerna.

⁷10:e mars. 2014, Industriadokument, Datateknik, SP - Sveriges Tekniska Forskningsinstitut



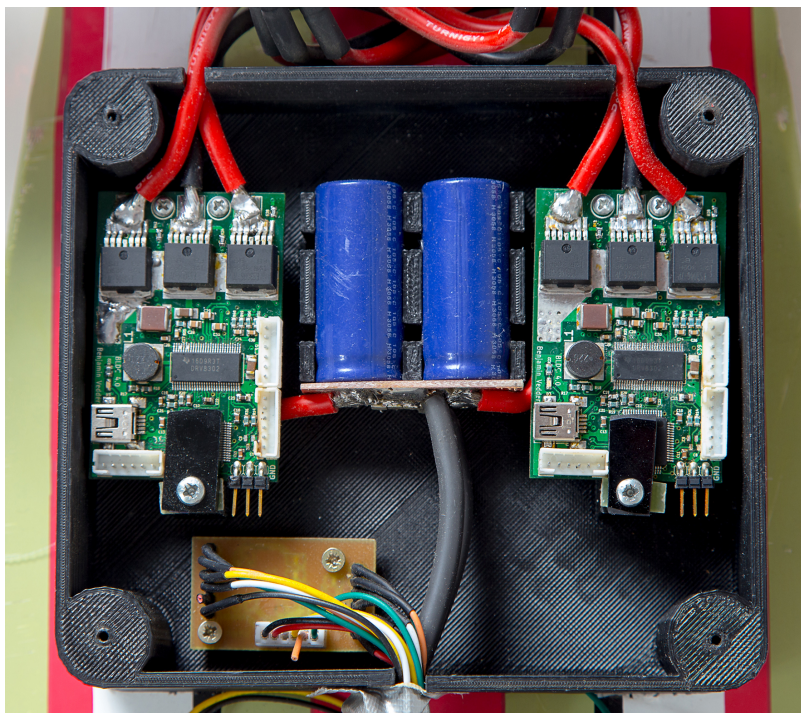
Figur 13: *Ett färdigmonterat drivarkort med komponenter och kablar fastlödda. Motordrivarna har ett mått på 40×60 [mm] [17]*

Enligt B.Vedder är det lämpligt med isolation mellan signaljorden på varje drivare. Detta för att säkerställa att inga jordslingor skall ge upphov till störningar på styrsignalen. Ett kretskort med optokopplare är framtaget (se Figur 14) och tillverkat för att få fullständig galvanisk isolation. Kortet ses monterat längst ner till vänster i drivarlådan i Figur 15.



Figur 14: Krets med optokopplare som används för att isolera signaljorden mellan de två drivarna för att undvika störningar, för kretskortlayout se bilaga I.1 Kretskortslayout.

Drivarlådan är 3D-utskriven i termoplast. Den har plats för två drivarkort och två kondensatorer och utrymmet är ganska väl tilltaget om fler komponenter behöver läggas i lådan. Drivarkorten sitter i ena änden fast med skruvar och i den andra vilar de mot ett stöd. Detta gör att korten inte skakar under färd. Kondensatorerna sitter mellan de två korten och fästs med snäppning i vertikalled och hålls sedan fast i horisontalled med buntband vilket drivarlådan har uttag för. Utöver detta har drivarlådan hål för kablar som kommer in från handkontrollen och ut till motorerna. För att skydda elektroniken sätts ett plastlock på och skruvas sedan i varje hörn. Drivarlådan fästs på longboardens undersida med hjälp av kardborreband för att inte skada longboarden samt för enkelhetens skull. Drivarlådan i sin helhet åskådliggörs i Figur 15.



Figur 15: Drivarlådan utan lock med två drivarkort och två kondensatorer. Kortet med optokopplare är nederst i bild. Här ses även kabeln in från batterierna och kablarna ut till motorerna.

4.7 Batteri

På en longboard i normalutförande är det föraren själv som tillför energi till systemet genom att stå på brädan och sparka ifrån mot marken. Energiöverföring sker också då föraren färdas i nedförsbacke, då lägesenergi omvandlas till rörelseenergi. När en elmotor placeras på longboarden omvandlar den elektrisk energi till rörelseenergi. Den elektriska energin är i detta fall lagrad som kemisk energi i ett eller flera batterier.

När batteri ska väljas måste hänsyn tas till fyra viktiga parametrar:

- Spänning
- Kapacitet
- Maximal ström
- Typ

Batteriets spänning avgör motorns maximala varvtal. Denna benämns $[K_v]$ och betecknas $[RPM/V]$ (se 4.3 Motor). Strömmens storlek påverkas vid ett specifikt effektuttag från motorn enligt ekvation (4.15). Vilken spänning som behövs kan avgöras när effektbehov, utväxling och motor är fastställt. Effekten som krävs av batteriet beskrivs enligt:

$$P_{tot} = P_m + P_{förlust}$$

$$P_{förlust} = P_{f,motor} + P_{f,transmission}$$

Maximal urladdnings- och uppladdningsström är specificerad som antal C, där C har enheten $[1/h]$. Med denna märkning menas att maximal ström är så många gånger större än batteriets kapacitet enligt:

$$I_{max} = C \cdot Kapacitet [A]$$

Den maximala urladdningsströmmen innebär hur mycket ström som kan gå från batteriet vid ett givet tillfälle utan att skada batteriet. Detta bestäms av motorn och hur mycket moment som krävs, då strömmen är proportionell mot momentet (se avsnitt 4.3 *Motor*). Eftersom regenerativ bromsning används är uppladdningsströmmen relevant då strömmen går in i batteriet vid inbromsning.

Strömmen på motorsidan och batterisidan är inte samma. Spänningen över motorn varierar med varvtalet och batterispänningen är konstant, samtidigt som den överförda effekten alltid är konstant på båda sidor om motordrivaren (jämför med ekvation (4.15)). Då kan strömmen approximeras enligt:

$$I_{batteri} = I_{motor} \cdot \frac{\omega}{K_v \cdot V_{batteri}}$$

Varvtalet hos motorn vid en viss hastighet beror linjärt av utväxlingen enligt 4.3 *Motor*. Även momentet som krävs av motorn för en viss hastighet är proportionell mot utväxlingen enligt ekvation (4.17). Eftersom de är omvänt proportionella innebär det att strömmen till batteriet vid ett givet moment på hjulen är samma vid batteriet oavsett utväxling. Strömmen till batteriet är alltså alltid lägre än strömmen genom motorn. Därför kan ett batteri som tål lägre ström än strömmen genom motorerna väljas.

Motorns maximala varvtal beror av spänningen (se avsnitt 4.3 *Motor*) och för att få ut maximalt varvtal ur motorn och därmed hålla nere förluster väljs batteriets spänning till högsta möjliga, dvs motorns märkspänning. På detta vis kan samma överförda effekt överföras med en mindre ström än om en lägre spänning valts enligt ekvation (4.15).

När batteriet anses urladdat (cellspänning 3,3[V]) skall det laddas upp genom att anslutas till elnätet via en balanserande LiPo-laddare. Batteriet har balanseringskontakter utdragna från varje cell som ansluts till laddaren ihop med de vanliga kontakterna. Sedan laddas batteriet tills varje cell har nått sin maximala spänning, 4.2 [V].

4.7.1 Batterityp

Det finns många olika typer av batterier på marknaden där var och en har sina fördelar och nackdelar. Den vanligaste typen av batteri när det kommer till eldrivna färdmedel är någon

typ av litium-jon batteri, främst för att de klarar av att lagra mycket energi för sin vikt och volym. Det finns flera olika varianter av litium-jon batteri och den vanligaste typen av litium-jon batteri är det då elektrolyten ligger i ett organiskt lösningsmedel. Dock existerar det även en speciell typ där lösningsmedlet byts ut mot en fast polymer vilket leder till bland annat ett tåligare batteri [18]. De här batterierna går istället under namnet litium-jon polymerbatteri och har lägre effektdensitet än de med flytande lösningsmedel.

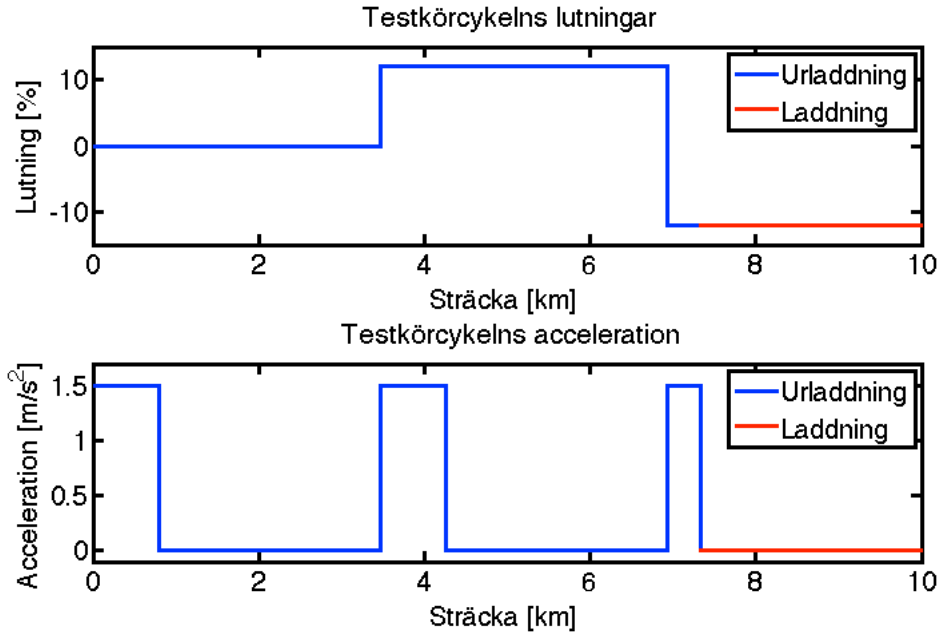
4.7.2 Räckvidd

Batteriets kapacitet är det som avgör fordonets räckvidd. Det som begränsar hur stor kapacitet batteriet kan ha är främst kostnaden men även dess vikt och storlek. Batteriets kapacitet mäts i amperetimmar [Ah], vilket alltså är i hur många timmar man kan dra en ampere [A] ur batteriet tills det är urladdat.

För att bestämma hur stor kapacitet batteriet behöver för att nå målet med en räckvidd på 10 [km] (se Bilaga A *Kravspecifikation*) antas följande körcykel för att beskriva hur longboarden ska kunna köras:

- 25% körning på plan mark vid maxhastighet (20 [km/h]).
- 25% körning i max uppförslutning (12%) vid maxhastighet (20 [km/h]).
- 25% körning i max nedförslutning (12%) där hastigheten begränsas till maxhastighet (20 [km/h]) och en verkningsgrad på 50% för den regenerativa bromsningen antas.
- 10% acceleration med 1,5 [m/s^2] från 15 [km/h] på plan mark.
- 10% acceleration med 1,5 [m/s^2] från 15 [km/h] i max uppförslutning (12%).
- 5% acceleration med 1,5 [m/s^2] från 15 [km/h] i max nedförslutning (12%).

Denna körcykel åskådliggörs mer utförligt i Figur 16.



Figur 16: Förenklad figur som visar hur testkörningscykeln är uppbyggd och när batteriet laddas genom regenerativ bromsning.

Körningscykeln beräknas med hjälp av ekvation (4.11) från 4.2 Kraft-, moment- och effektbehov enligt:

$$P = 0,25 \cdot P_{plan} + 0,25 \cdot P_{uppför} + 0,25 \cdot 0,5 \cdot P_{nedför} + 0,1 \cdot P_{acc, plan} + 0,1 \cdot P_{acc, uppför} + 0,05 \cdot P_{acc, nedför}$$

Detta ger ett genomsnittligt effektbehov på 358,8 [W].

Med en antagen verkningsgrad på 90% hos motorn och 95% hos transmissionen fås effektbehov från batteriet genom:

$$P_{körningscykel} = \frac{P_{el, körningscykel}}{\eta_{motor} \cdot \eta_{transmission}} = \frac{358,8}{0,9 \cdot 0,95} = 419,6 \text{ [W]}$$

Den genomsnittliga hastigheten i testcykeln är 18,75 [km/h], således behöver man köra i 0,533[h] för att komma 10 [km]. För cykeln krävs det alltså en energimängd enligt:

$$E_{motor, körningscykel} = P_{motor, körningscykel} \cdot t_{körningscykel} = 223,8 \text{ [Wh]}$$

Då motorns märkspänning är 37[V] och ett batteri med 37[V] nominell spänning används, blir kapaciteten som krävs inklusive en verkningsgrad hos batteriet på 90 % [19]:

$$C_{batteri} = \frac{1}{\eta_{batteri}} \cdot \frac{E_{környkel}}{V_{batteri}} = \frac{1}{0,9} \cdot \frac{223,8}{37} = 6,7 [Ah]$$

Det krävs alltså ett batteri med en kapacitet på 6,7 [Ah] för att longboarden ska kunna köras 10 [km].

4.7.3 Montering av batteri

Batterierna placeras under longboardens deck för att bibehålla den ursprungliga känslan av att framföra en longboard. Batterierna placeras även så att dessa följer decks rörelse då föraren står på longboarden. För att batterierna inte skall skadas placeras dessa nära trucken. Då batterierna placeras nära trucken kommer de längre från marken samt påverkas bara av decks rörlighet i en riktning. Batterihållaren samt dess fästningsmetod behöver vara stöttåligt samt måste klara att bära batteris egenvikt samt klara vibrationer som uppstår vid dess framfart.

4.7.4 Val samt montering av batteri

Batteriet som valts är ett Turnigy nano-tech 5000mAh 10S 25 50C LiPo Pack med följande specifikationer:

- Batterityp: LiPo (Litium Polymer).
- Nominell spänning: 37 [V].
- Kapacitet 5 [Ah].
- Maximal uppladdningström: 10 [C] (50 [A]).
- Maximal urladdningström: 25 [C] (125 [A])

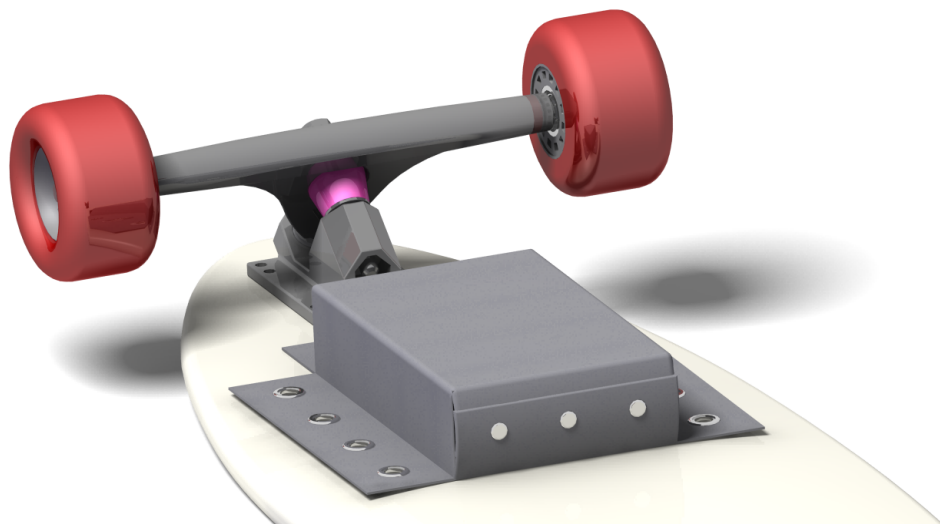
Batteriet har 10 celler som är uppdelade i block om fem stycken och kopplade i serie. Dimensionerna är tvungna att modifieras för att passa under decket. Detta åstadkoms genom att dela batteriet i två delar med fem celler i varje. Dessa kan då placeras i bredd istället för i längd för att få en mer fördelaktig placering.

För batteriet som valts räknas räckvidden ut enligt ovan beskrivna környkel genom ekvationen nedan:

$$v_{nykel} \cdot \frac{C_{batteri} \cdot U_{batteri}}{P_{nykel} \cdot \eta_{batteri}} = 7,4 [km]$$

Batteriet har mindre kapacitet än vad som behövs enligt környkeln. Av kostnadsskäl har detta mindre batteri valts.

För att batterierna skall kunna följa decks rörelse tillverkas en batterihållare i tyg. Batterihållaren är av tyg med påsydda fickor där plexiglasskivor placeras för att skydda batteriet mot stötar. Plexiglasskivorna är placerade under batteriet (mot marken då longboarden framförs) samt på alla sidor runt batteriet. Batterihållaren monteras direkt på longboardens deck med skruvar. Öljetter monteras vid skruvfästningen på longboardens deck på batterihållaren för att tyget skall stå emot påfrestningar utan att gå sönder. Tyget som används har hög slitstyrka och är av samma slag som används till industrikaPELL. Vid öljetterna är det tre lager tyg. I Figur 17 syns batterihållaren monterad på longboarden. I Bilaga G *Ritningar* finns en tvådimensionell ritning över batterihållarens utformning.



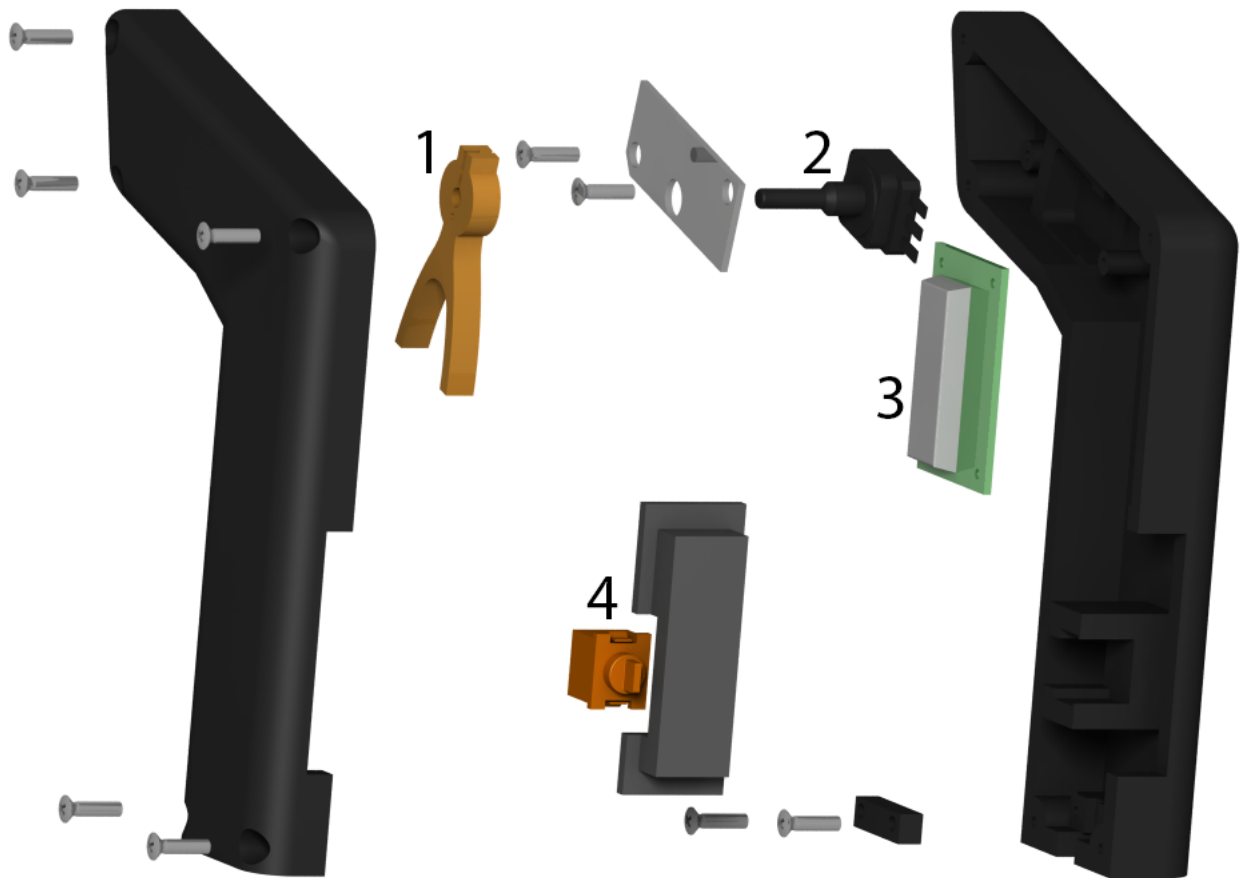
Figur 17: *Batterihållaren monterad på longboardens deck. Batterihållaren placeras för att undvika kontakt med marken samt för att batteriet inte skall böjas och på så sätt skadas. Batterihållaren skruvas direkt på longboardens deck.*

4.8 Handkontroll

Användaren av longboarden som elektriskt transportmedel skall på ett enkelt vis ange dess framdrivning. Detta görs genom ett handkontroll varigenom användaren på ett enkelt vis styr longboardens framdrivning. Då användaren styr longboardens framdrivning styrs alltså inte longboardens riktning med handkontrollen. Styrning av longboardens riktning utförs likt en longboard i normalutförande; att luta kroppen och på så sätt minska avståndet mellan innerhjulen. Enligt svensk lagstiftning [1] skall fordonet besitta egenskaper som är direkt kopplade till handkontrollen. Handkontrollen utformas därmed så att den eldrivna longboarden är i enlighet med bestämmelser för fordon på svenska vägar. Handkontrollen designas för att ge en användarvänlig manövrering av longboardens framfart.

4.8.1 Resultat Handkontroll

Handkontrollen har utformats på samma sätt som manöverorganet till RC-bilar, ett pistolgrepp med en avtryckare där användaren styr longboardens framdrivning. Handkontrollen är i huvudsak 3D-utskriven i termoplast. I handkontrollen sitter även en PIC16F886 mikrokontroller, en återfjädrande strömbrytare och en potentiometer med en fjäder. Kontrollen är ansluten till motordrivarna med en treledad kabel. Från drivarna kommer 5 [V] och jord och kontrollen skickar signal tillbaka genom den tredje ledaren. För en mer utförlig beskrivning se Figur 18, 19 och Bilaga *J Kod till handkontroll*.



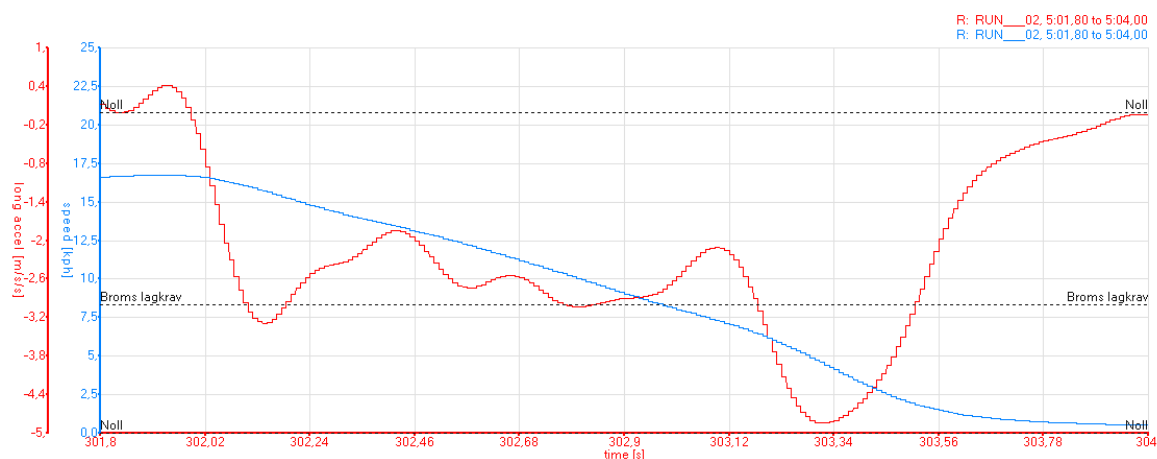
Figur 18: *Handkontrollen med ingående delar som sprängskiss. 1, Avtryckare. 2, Potentiometer. 3, Kretskort. 4, Återfjädrande strömbrytare.*

5 Verifikation och utvärdering av modell

Under dimensionering utformades och konstruerades longbarden som elektriskt transportmedel. De matematiska modeller som använts för att longboarden skall uppföra sig som i verkligheten har med hjälp av funktionella tester kontrollerats. Utgående från kravspecifikationen har testerna skett genom mätning av mätbara variabler och bedömning av longboarden som elektriskt transportmedel genomförts.

5.1 Funktionella tester

Med hjälp av en datalogger⁸ [20] har retardation samt hastighet mätts upp. Toppfartbegränsningen träder i kraft mellan 19,6 och 21 [km/h]. Maximal retardation är drygt 4,8 [m/s²] momentant. Retardationskravet uppfylls både vid en högre hastighet (16 [km/h]) och vid nästan stillastående, se Figur 20. Retardationen begränsades av förarens vana att framföra longboarden snarare än drivlinans kapacitet. Med övning bör en konstant retardation på drygt 3 [m/s²] kunna uppnås.



Figur 20: Loggdata från en inbromsning där den röda linjen är acceleration i längsgående riktning (negativt innebär retardation) och den blå är hastigheten.

Longboardens räckvidd uppgår vid testning till 19,4 [km] vid körning på relativt plan mark i slottskogen enligt 6.6 Batteri.

Longboardens egenvikt som komplett fordon med monterade komponenter för eldrift uppgår vid vägning med våg⁹ till 7,3 [kg]. Longboardens längd och bredd har inte påverkats av kompletteringen med eldrift.

⁸Race teknologi, modell: DL1 mk2, 2G accelerometer samt GPS med uppdateringsfrekvens 5 [Hz]

⁹OBH Nordica, badrumsvåg

5.2 Kravspecifikationsuppfyllnad

Longboarden ger inga lokala emissioner då elmotorer används för drivning av den elektriska longboarden. Då longboarden klarar att uppfylla ovanstående krav klarar den elektriska longboarden att uppfylla kravet om att kunna generera samt överföra önskad effekt. Hastighetsbegränsning samt retardationskrav uppfylls enligt de tester som utförts.

Vid eldriftskomplettering av longboarden har longboardens markfrigång ändrats då det placerats komponenter under longboardens deck samt på truckarna. Dock kan longboarden framföras på samma vägar som en longboard i normalt utförande. De tillförda komponenter som monterats under longboardens deck har därmed dessa komponenter klarat storleksbegränsningen. Longboardens vikt har ändrats men denna kan fortfarande bäras med en hand och anses därmed som ett funktionellt transportmedel. Kravspecifikationen uppfylls därmed gällande att longboarden skall kännas samt manövreras som en longboard i normalt utförande.

Longboarden som elektriskt transportmedel uppfyller inte till fullo svensk lagstiftning då denna inte innehar signalhorn, parkeringsbroms samt inget fullgott skydd för rörliga delar. I övrigt följer longboarden som elektriskt transportmedel samtliga lagkrav för gå under svensk lagstiftning [1].

En fullständig målvärdesuppfyllnad finns i Kravspecifikationen som återfinns i sin helhet i Bilaga A *Kravspecifikation*.

6 Diskussion

I denna del diskuteras de resultat som fåtts fram i varje delmoment. Här belyses framgångar och problem som uppstod under arbetets gång. Diskussionen innehåller även rekommendationer för framtida projekt.

6.1 Plattform

Eftersom utbudet av högkvalitativa longboards i prisklassen under 1000 [SEK] är ganska begränsat behövde ingen omfattande utredning göras. Totalt togs tre olika longboards under övervägande. Dessa var Slipstream Concave Pin, Slipstream Lowrider och Slipstream Platypus. Lowrider och Platypus föll på att de har ofördelaktig utformning och därmed liten yta under decket. Lowrider har även låg markfrigång på grund av sitt drop-deck (decket monteras ovanpå truckarna men sveper sedan närmare marken för att ge lägre tyngpunkt). Platypus har drop-through-monterade truckar (truckarna går igenom decket och skruvas i på ovansidan) och har även den dålig markfrigång.

Decket på longboarden har relativt mycket rörlighet. Det leder till att framförallt deckets mitt kan komma mycket nära marken. Detta i sin tur leder till att komponenter inte kan placeras där. Komponenterna placeras istället så nära truckarna som möjligt där flexen har mindre betydelse.

Truckarnas horisontella axel är inte helt rund utan har två plana ytor. Dessa möjliggör en enkel montering av fästen för att hålla motorn på plats. Utan de plana ytorna hade förmodligen en annan truck behövt inhandlas eller konstrueras, något som hade blivit antingen dyrt eller tidsödande.

Hjulen är av uretan men har fälgar av plast. Fälgarna har genomgående hål vilket möjliggör en enkel montering av kraftöverföring från motor via remhjul till hjul. Hade hjulen saknat genomgående hål hade förmodligen andra hjul behövt inhandlas eller så hade hålen behövt borraras i efterhand. Detta hade blivit tidsödande och det hade även blivit en extra felkälla.

Utan en begränsad budget hade det varit fördelaktigt att köpa en ny longboard av hög kvalitet. Detta eftersom en ny longboard har bättre prestanda och längre livslängd än en begagnad. Då hade även utbudet varit större och en longboard som bättre uppfyller de krav som ställs hade kunnat väljas. I de fall där budgeten inte begränsar köpet av longboard rekommenderas det att köpa en fabriksny sådan.

6.2 Kraft-, moment- och effektbehov

Det teoretiskt maximala effektbehovet uppkommer vid maximal acceleration och hastighet i maximal uppförsbacke. Ur plottarna under Bilaga C *Kraft-, moment- och effektbehov* kan det maximala effektbehovet i detta läge utläsas till 2362,3 [W]. Detta är inte dimensionerande då det inte är något krav att longboarden skall kunna accelerera maximalt i maximal lutning. De dimensionerade kraven har valts utifrån svensk lagstiftning. Det högsta effektbehov som uppkommer vid normal användning är vid full broms på plan mark, vilket är något lägre än det teoretiskt maximala effektbehovet. Det är detta longboarden dimensioneras efter.

Teoretiskt är effektbehovet noll vid start från stillastående. Detta beror på att momentet multipliceras med vartalet som precis vid startögonblicket är noll. Momentet som krävs vid startögonblicket är dock stort varvid en motor som klarar av generera detta moment samt en samt motordrivare som kan hantera den ström som behövs har valts.

Kraften (F), ekvation (4.4) innehåller termer som är små i storleksordningen; luftmotstånd (F_{luft}) och rullmotstånd (C_r). Om hastighetsreglering, likt en farthållare, införs skulle dessa termer således kunna negligeras för att erhålla en snabbare reglering då longboardens dynamik implementeras.

6.3 Motor

Motorerna har väldigt starka permanentmagneter och stora ventilationshål, vilket medför att dessa är väldigt känsliga för magnetiska partiklar. Detta kan orsaka skada på motorerna vilket kan leda till haveri. Eftersom detta endast är en prototyp prioriteras inte fullgott skydd av komponenterna, men för vidareutveckling rekommenderas någon typ av skydd för motorerna. Eftersom motorerna är av outrunner-typ och därmed har externa roterande delar hade det även varit fördelaktigt om motorerna kapslades in så att de

inte går att komma åt. Samtidigt måste motorerna få kylning vilket gör detta problem komplext.

Motorerna är överdimensionerade med avseende på möjlig effekt att leverera i förhållande till det beräknade effektbehovet. Motorer som valts och används på longboarden är avsedda för radiostyrda flygplan där det förutsätts att de kylvats av propellrar. Eftersom detta inte är fallet när de monteras på longboarden är de något överdimensionerade för att klara de temperaturpåfrestningar de utsätts för. Motorerna har dessutom ett lågt K_v -värde vilket anses fördelaktigt för den elektriska longboarden.

En faktor som inte har tagits i beaktande är att motorspecifikationerna kan vara kraftigt överdrivna från leverantören. Dessutom är det sannolikt att den angivna effekten är elektrisk effekt istället för mekanisk effekt vilket antogs vid inköp. Enligt A. Grauers¹⁰ är det mer troligt att specifierad effekt är elektrisk effekt in och att verkningsgraden kan i värsta fall vara så låg som 60 % vid maximal specifierad stöm. Det skulle i så fall tillsammans med det faktum att kylningen av motor är sämre än fram på ett modellflygplan innebära att de motorer som verkar kraftigt överdimensionerade inte är det. En grundlig utredning med temperaturmätningar och mätning av mekanisk effekt mot elektrisk effekt skulle behöva genomföras.

Då den mekaniska utväxlingen redan är maximerad mot vad som är fysiskt rimligt att montera på longboarden behövs en motor med lågt varvtal per spänningseenhet och högt moment per strömenhet för att få upp utnyttjandegraden av motorn. De motorer som möter momentkraven har rent praktiskt påtagligt mycket högre märkeffekt än vad som är nödvändigt för att driva longboarden och ger en utnyttjandegrad av varvtalsområdet på ca 50 % istället för önskvärda 70 %. Hade en högre mekanisk utväxling varit möjlig med rimliga lösningar hade en mindre motor med lägre märkeffekt kunnat användas.

På longboarden som ett elektriskt transportmedel används en avancerad motordrivare med möjlighet till regenerativ bromsning. Detta är den grundläggande anledning till varför BLDC-motordrivaren utvecklad av B.Vedder använts. Utan möjligheten till kraftig regenerativ bromsning hade det inte varit möjligt att uppfylla lagkraven utan fler bromsar, något som hade komplicerat hela konstruktionen ytterligare i onödan. Dessutom tas all bromseffekt tillvara och återladdar batteriet. Det faktum att longboarden kan färdas en längre sträcka gör longboarden till ett fordon som inte ger lokala emissioner men även bidrar till ett mer hållbart och resurseffektivt transportsmedel.

6.4 Transmission

Den valda transmissionstypen besitter hög noggrannhet i utväxlingen samt behöver ingen smörjning (underhåll). Den lämpar sig för höga varvtal och dess verkningsgrad är även hög och kommer således att mer exakt överföra effekten från motor till longboardens hjul.

Att transmissionen är tystgående ses som en fördel då föraren inte skall ta skada av den ljudbild som skapas kring longboarden. En tyst transmission är även att föredra för att

¹⁰15:e maj. 2014. Docent i forskargruppen Reglerteknik vid avdelningen för Reglerteknik, Automation och Mekatronik.

bibehålla känslan av en vanlig longboard. Ljudbilden som uppstår kring en kuggremsväxel är generellt sett mindre än för exempelvis en planetväxel [21], vilket kan motivera valet av just denna transmission även om longboarden rör sig i låga hastigheter. En planetväxel har dock generellt sett högre verkningsgrad.

Utväxlingen valdes på grund av utrymmeskrav, vilket kontrollerades genom 3D-utskrift av remhjul och motorfäste, varefter ett slutgiltigt beslut togs. Genom utskriften kunde mått verifieras samt utväxlingsförhållande bestämmas vilket gjorde att aktuella delar kunde beställas och sedan bearbetas så att de passade longboarden. Att arbeta på detta sätt rekommenderas starkt eftersom det säkerställer att delarna passar vilket sparar tid och pengar.

Monteringen av transmissionen är överdimensionerad vad gäller antal skruvar som har till uppgift överföra kraften till hjulet. Spänningen som uppstår i skruvarna är långt under sträckgränsen och skulle därmed kunna minskas i antal eller storlek. På grund av överdimensionering är det dock en mycket robust lösning som inte havererar. Longboarden är ett fordon som transporterar människor samt skall vistas i trafiken med andra fordon skall haveri i någon form därför undvikas i största möjliga mån. Det är dessutom en förmånlig lösning att använda fler skruvar för att få en jämn kontakt mellan hjul och centreringsdel.

En nackdel med utformningen av transmissionen, med de fysiska delar som tillverkats samt bearbetats är att dessa är utformade för en specifik longboard. Lösningen kan därmed inte appliceras på andra longboards utan justeringar. Exempelvis är centrering av den stora remskivan utformad efter den nedsänkning som finns på hjulets plastfälg. Plastfälgerna har dessutom genomgående hål varigenom skruvarna, som håller fast det stora remhjulet, löper.

Säkerhetsfaktorn på limspalten vid det lilla remhjulet anses tillräcklig då temperaturpåfrestningarna är kraftigt överdrivna. Dessutom är hållfastheten enligt limmets datablad [14] större än eller lika med det angivna värdet och limspalten är påtagligt mycket mindre än angivna maximala $0,1 \text{ [mm]}$.

6.5 Motorfäste

De maximala spänningarna i motorfästet är $0,35 \text{ [MPa]}$, att jämföra med sträckgränsen för det aluminium som valts som är 260 [MPa] . Säkerhetsfaktorn mot plasticering är därför hög och fästet håller med god marginal för de påfrestningar det utsätts för. Att fästet inte rör sig betydande är bra eftersom detta annars kan påverka hur motor och andra komponenter uppför sig. Böjer sig fästet något kan till exempel remmen mellan motor och hjul bli mer eller mindre spänd vilket i sin tur kan leda till att remmen belastas mer än nödvändigt eller hoppar över kuggar.

Motorfästets dimensioner är satta för att det ska vara lätt att konstruera, då ett mycket litet fäste anses vara svårt att bearbeta. Ur hållfasthetssynpunkt är motorfästet dock överdimensionerat och framtida lösningar skulle kunna göra fästet mindre. Det skulle dra ner vikten och till viss mån priset eftersom metall ofta köps per viktenhet. Dock är en

robust lösning av motorfästena att föredra då avstånd och vinklar till andra komponenter hålls intakta samt risken för haveri är liten.

Precis som transmissionen är motorfästet utformat för en specifik truck. Motorfästet utnyttjar truckens utformning med plana ytor för att motverka rotation kring truckens axel. Det är därmed ingen generell lösning och kan således inte användas på andra truckar än just de som använts i detta projekt, vilket ses som en nackdel.

6.6 Batteri

Beräkning av longboardens räckvidd gjordes med hjälp av en antagen körcykel (se 4.7.2 *Batteri, Räckvidd*). Resultatet av denna gav att longboarden skulle kunna framföras 7,4 [km] på en extern laddning. Testning av longboardens räckvidd gav enligt 5.1 *Funktionella tester* 19,4 [km] på en extern laddning. Denna räckvidd var långt över den beräknade körcykeln då denna är väl tilltagen vad gäller andel körning i branta nedför och uppförsbackar samt stor andel accelerationer. Därmed är det totala effektbehovet över hela cykeln högre än det funktionella testets. För att få en mer rättvisande bild av den matematiska modellen har en ny körcykel tagits fram motsvarande den sträckan som kördes vid räckviddtestet. Banan var en 800 [m] lång rund väg i slottsskogen i Göteborg. Det var nästan plan mark hela vägen, med en liten stigning och en liten nedförsbacke, konstant maxhastighet kunde hållas i stort sett hela tiden. Förare byttes vid varje varv, så vid varje varv skedde acceleration och retardation. Banan har uppskattats till följande:

- 70% körning på plan mark vid maxhastighet (20 [km/h]).
- 9% körning i uppförslutning (2°) vid maxhastighet (20 [km/h]).
- 9% körning i nedförslutning (2°) där hastigheten begränsas till maxhastighet (20 [km/h]) och med en antagen verkningsgrad på 50% vid regenerativ bromsning.
- 4% acceleration med $2 [m/s^2]$ från 10 [km/h] på plan mark.
- 8% retardation med $1 [m/s^2]$ från 10 [km/h] på plan mark, med en antagen verkningsgrad på 50% vid regenerativ bromsning.



Figur 21: Gpsmätning av ett varv på testbanan i slottsskogen. Färgen indikerar hastigheten i $[km/h]$ enligt skalan i övre vänstra hörnet

Beräkningarna har skett på precis samma sätt som i 4.7.2 *Batteri, Räckvidd*.

Vid denna körcykel blev den beräknade räckvidden $21,2 [km]$ att jämföra med den uppmätta sträckan på $19,4 [km]$. Det betyder att den framtagna matematiska modellen av brädans effektbehov stämmer väl med verkligheten. Det som gör att sträckan avviker kan vara att körcykeln inte stämmer exakt med verkligheten, att verkningsgraden hos motorerna överskattats, eller felaktiga termer i de mekaniska beräkningarna i 4.2 *Kraft-, moment- och effektbehov*. Därmed kan det konstateras att den ursprungliga körcykeln som batteriet dimensionerats efter motsvarar en användning som inte sker under normalaförhållanden.

Batteriet är även dimensionerat för att ta emot uppladdningsströmen vid regenerativ bromsning. Storleken på strömmen vid inbromsning är ett problem, eftersom batteriet bara tål en viss uppladdningsström, och hela bromskraften är regenerativ kan det hända att den maximala uppladdningenströmmen överskrids. Därför hade det varit lämpligt att i motordrivaren ha en resistor som tål hög effekt, så att om strömmen blir för stor leds den till resistorn och blir till värme istället för att skada batteriet. En sådan lösning skulle även kunna kopplas ihop med ett batteriövervakningssystem, så att strömmen går till resistorn istället för batteriet då batteriet blivit fulladdat. Det ger möjlighet till val av enklare batteri eftersom uppladdningströmmen då skulle kunna minskas.

Att batteriet har liten storlek och låg vikt i förhållande till hur mycket energi det kan lagra är fördelaktigt. Utrymmet på elektriska longboards är begränsat samt att vikten ökar friktion och rullmotstånd, vilket betyder att det krävs mer energi för att färdas samma sträcka. Batteriets egen vikt är dock en mycket liten del av fordonets totalvikt (longboard med förare) men en mycket signifikant del av longboardens vikt utan förare. Vikten spelar därmed stor roll för hur lätt longboarden är att bära med sig men liten roll för hur mycket energi som krävs för att färdas en viss sträcka. Eftersom longboarden som elektriskt transportmedel ska vara lätt att bära med sig och kombinera med till exempel kollektivtrafik ses ett lätt batteri som en stor fördel.

Eftersom det inte finns något system för övervakning av batterierna finns en risk med den regenerativa bromsningen. Om batterierna är fulladdade och föraren börjar med att åka ner för en lång backe och bromsar hela vägen kommer batterierna överladdas och med stor sannolikhet ta skada. Detta skulle kunna lösas med ett batteriövervakningssystem som mäter spänningen på varje individuell cell. Om spänningen närmar sig den maximala spänningen så skulle ett effektmotstånd kunna kopplas över cellen och ladda ur batteriet tills det återigen ligger på en säker spänning.

Vid en kommersialisering av longboarden är det rimligt att utveckla en egen motordrivare där man integrerar möjligheter att göra av med en del av den bromsande effekten i ett motstånd när man inte kan ladda batteriet med högre ström. Även ett batteriövervakningssystem som mäter spänning på varje battericell och kanske även en inbyggd balanseringsladdare, så att det räcker med att koppla in en sladd i longboarden och ladda istället för att ladda fem celler i taget som gjorts under projektets gång.

6.7 Styrsystem

Motordrivaren från B. Vedder används för den elektriskt drivna longboarden på grund av sina möjligheter till regenerativ bromsning, loggning och dess höga startmoment. Genom loggning kan en mer fullständig mätning och utvärdering utföras på prototypen. Val av drivare skedde på mycket enkla premisser då arbetstiden och kunskapen som krävs för att utveckla en motordrivare för en BLDC-motor ej rymdes inom projektet.

Det krävs långt mycket mer moment i detta användningsområde än den tänkta för denna typ av BLDC-motor, det vill säga att få en propeller på ett modellflygplan att börja rotera. Det är vanligt att BLDC-motorer i kombination med en sensorlös motorkontroller har ett mycket lågt startmomentet. Det beror på att en sensorlös kontroller baserar sin positionsmätning av rotern på den back-emk (spänning) som motorn generar. Den spänningen är proportionell mot varvtalet och därmed noll vid hastigheten noll (stillastående). Enligt B. Vedder klarar den valda drivaren flerfaldigt antal gånger mera startmoment i sensorlöst läge än andra kommersiellt tillgängliga drivare då en speciell metod används av drivaren för att hitta optimal kommuteringspunkt vid lågt varvtal.

Att användaren styr strömmen som går genom motorerna och därmed momentet ger longboarden en mycket bra körkänsla. Eftersom samma utslag på handkontrollens avtryckare alltid ger samma moment är styrningen mycket naturlig.

Valet att inte reglera hastigheten togs då användaren i så fall skulle behövt ange vilken

hastighet som den skulle vilja färdas i vilket sedan skulle regleras i drivarna. Detta ansågs vara irrelevant då föraren använder sina egna sinnen till att se om farten behöver ökas respektive minskas. Därför ses användarens perception som den mest relevanta hastighetsregulatorn.

Då användaren är regulatorn blir fördröjningen från att användaren ger insignal till systemet via handkonrollen mindre kritiskt eftersom fördröjning endast beror på responsen från användaren och ifrån elektroniken vilken är försumbar och denna signal behöver inte köras genom en regulator. Detta skulle kunna fördröja responsen (de flesta regulatorer har någon form av lågpass/integrerande del). En kort responstid är att föredra för att körupplevelsen ska bli så bra som möjligt då lång responstid ger en känsla av mindre kontroll vid framförandet av longboarden.

Även om användaren väljs som regulator behöver strömmen begränsas för att skydda batteri och motordrivare samt när hastigheten närmar sig maximal hastighet inte överskrida lagkravet på maximalt 20 [km/h]. Eftersom målet med projektet var att bygga en fungerande prototyp för att kunna verifiera modeller var det utanför tidsramarna att testa andra typer av lösningar.

Då hastigheten på det långsammaste hjulet begränsas uppstår ett problem med det ekipagets totala hastighet. Då det snabbaste hjulet tillåts rotera snabbare än hastighetsbegränsningen kommer hela ekipagets hastighet vara något över hastighetsbegränsningen. Den maximala hastighetsökningen är 4,5 % för hela ekipaget vid maximal sväng. Detta försummas då det antas att man inte kommer svänga maximalt vid toppfart.

6.7.1 Drivarlåda

Drivarlådan är 3D-utskriven i termoplast. Det är varken särskilt hållfast eller exakt vad gäller dimensioner. Det användes som lösning då det är ett snabbt och billigt sätt att tillverka något i plast. Det fungerar för en prototyp men för framtida, mer utförliga projekt rekommenderas det att tillverka lådan med någon mer exakt metod och något mer passande material.

Att använda kardborreband för att fästa drivarlådan i longboarden är fördelaktigt eftersom det medför att drivarlådan kan tas av och sättas på nästan hur många gånger som helst utan att fästet blir sämre. Kardborreband är även mycket starkt och fungerar bra till lådan som inte väger särskilt mycket. Limning har den nackdelen att komponenten som limmas inte går att ta bort och skruvning anses ge onödig påverkan på decket.

6.8 Handkontroll

För att användaren skall kunna påverka hastigheten som longboarden färdas med används ett manöverdon. Användarvänligheten antogs vara bäst då användaren anger signalen med en handkontroll. Användaren har vid färd ofta någon hand ledig och därmed antas en handkontroll inte störa longboardens ursprungliga känsla. Handkontrollen tillverkades efter egen design med en säkerhetsaspekt i dödmansgreppet som måste vara intryckt för att longboarden skall drivas med motorer. Dödmansgreppet är ett lagkrav och en

nödvändighet då longboarden skall färdas i trafiksituationer samt transportera och vistas i miljöer med människor.

För den elektriska longboarden används den första prototypen av handkontrollen som efter testning är något stor för att passa alla typer av händer. Denna skulle behöva vidareutvecklas för en mer ergonomisk manövrering.

Pistolgreppet anses dock som en framgångsrik lösning som ger god användarvänlighet och skulle användas i vidareutveckling av longboarden. Koden i handkontrollen har uppdaterats ett flertal gånger men den slutgiltiga koden som används finns i Bilaga *J Kod till handkontroll*.

7 Budget

Longboarden som elektriskt transportmedel har tilldelats en budget på 5000 [SEK]. För att realisera longboarden som elektriskt transportmedel har komponenter köpts. Det budgeterade utgiften per delprojekt i framtagningen av den eldrivna longboarden samt kostanden för inköpta komponenter åskålliggörs i Tabell 3 nedan. Då budgeten är snävt satt har kostnaden begränsat inköp av till exempel batteri.

<i>Kategorier</i>	<i>Budgeterat [SEK]</i>	<i>Spenderat [SEK]</i>	<i>Kvar [SEK]</i>
Batterier			
Batteri		-787,03	
Tryckknappar		-89,00	
Tyg		-59,50	
Öljetter, distans till öljetter, rampamuffar, skruvar		-155,28	
Totalt	1000,00	-1090,81	-90,81
Motor/kraftöverföring			
Motorer		-822,97	
Lödpasta		-355,00	
Rem och remkuggshjul		-400,00	
Loctite 641		-313,00	
Totalt	2000,00	-1890,97	109,03
Longboard			
Longboard		-950,00	
Totalt	1000,00	-950,00	50,00
Motorstyrning			
Drivare		-1400,00	
Kardborrband		-84,15	
Totalt	200,00	-1484,15	-1284,15
Oförutsedda kostnader			
Totalt	800,00	0,00	800,00
Sponsring			
Motordrivare		1400,00	
Totalt	0,00	1400,00	1400,00
Totalt	5000,00	-4015,93	984,07

Tabell 3: *Budget*

Referenser

- [1] Transportstyrelsen, "Tsfs2010:144," augusti 2010, https://www.transportstyrelsen.se/tsfs/Tsfs%202010_144.pdf.
- [2] Näringsdepartementet, "Trafikförordning 1998:1276," September 1998, http://www.riksdagen.se/sv/Dokument-Lagar/Lagar/Svenskforfattningssamling/Trafikforordning-19981276_sfs-1998-1276/.
- [3] Boardlife, "Din guide till köp av longboard: Hjul," Februari 2014, <http://boardlife.se/longboardguiden/hjul/>.
- [4] "Concave pin 2012 — slipstream longboards," April 2014, <http://slipstreamlongboards.com/quiver2012/concave-pin-2012/>.
- [5] Trafikverket, *Grundvärden för gående och cyklister*, Maj 2004, http://www.trafikverket.se/TrvSeFiler/Foretag/Bygga_och_underhalla/Vag/Vagutformning/Dokument_vag_och_gatuutformning/Vagar_och_gators_utformning/Grundvarden/4_grundvarden_for_gaende_och_cyklister.pdf.
- [6] F. M. White, *Fluid Mechanics*. McGraw-Hill, 2011, vol. 7.
- [7] HowStuffWorks, "How tires work: How tires support a car," Februari 2014, <http://auto.howstuffworks.com/tire4.htm>.
- [8] C. Prisacariu, *Polyurethane elastomers: from morphology to mechanical aspects*. Wien; New York: Springer, 2011. [Online]. Available: www.summon.com
- [9] P.Yedamale, "Brushless dc (bldc) motor fundamentals," Februari 2014, <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00885a.pdf>.
- [10] W.Brown, "Brushless dc motor control made easy," Februari 2014, <http://ww1.microchip.com/downloads/en/appnotes/00857a.pdf>.
- [11] R.Krishnan, *Permanent Magnet Synchronous and Brushless DC Motor Drives*. CRC Press, 2009.
- [12] B.Vedder, "A custom bldc motor controller (a custom esc)," Mars 2014, <http://vedder.se/2014/01/a-custom-blhc-motor-controller/>.
- [13] Jens S. Transmissioner AB, www.jens-s.se.
- [14] Henkel, *Loctite 641*, Maj 2004, <http://tds.henkel.com/tds5/docs/641-EN.PDF>.
- [15] K. M. M. Mägi, *Lärobok i maskinelement*. EcaDev International, 2012.
- [16] Tibnor, *Tekniska data aluminium*, Maj 2014, <http://www.tibnor.se/BinaryLoader.axd?OwnerID=74afd10e-c6a3-401d-86bc-2ba5e95a6ea2&OwnerType=0&PropertyName=Files&FileName=Tekniska+data+aluminium.pdf&Attachment=True>.
- [17] "Front1.jpg," <http://vedder.se/wp-content/uploads/2014/01/Front1.jpg>.

- [18] B. University, “Advantages and limitations of the lithium-ion battery,” Maj 2014, http://batteryuniversity.com/learn/article/is_lithium_ion_the_ideal_battery.
- [19] Hobbyking, “Batteri,” Maj 2014, https://www.hobbyking.com/hobbyking/store/14609--Turnigy_nano_tech_5000mah_10S_25_50C_Lipo_Pack.html.
- [20] “Race technology ltd -automotive technical excellence,” Maj 2014, <http://www.race-technology.com>.
- [21] J. Energihandbok, “Formbetingade växlar,” <http://energihandbok.se/x/a/i/10303/Form-betingadevaxlar.html>.

Bilagor

A Kravspecifikation

En kravspecifikation Tabell 4 nedan över vad som krävs av longboarden samt vad som begränsar denna har tagits fram för att åskådliggöra punkter som beaktas i dimensioneringen.

Chalmers

Dokumenttyp:
Projekt:

Kravspecifikation
Elektrisk longboard

Utfärdare: Longboard som elektrisk transportmedel 2

Skapad: 140214

Modifierad: 140315

Sammanställt: 140516

<i>Kriterier</i>	<i>Målvärde</i>	<i>K/Ö</i>	<i>Prio</i>	<i>Kravställare</i>	<i>Verifieringsmetod</i>	<i>Uppfylld</i>
1 Funktion						
1.1 Fungera som elektriskt transportmedel	Räckvidd: 10km	K		Projektgruppen	Testning	JA
1.2 Gå under svensk lagstiftning	TSFS2010:144	K		Svensk lagstiftning	Testning	NEJ
2 Miljö						
2.1 Ej frambringa lokala emissioner	Inga utsläpp	K		Projektgruppen	Mätning	JA
3 Hastighet						
3.1 Maximal hastighet uppförsbacke	20km/h (5.56m/s)	K		Projektgruppen	Mätning	JA
3.3 Maximal hastighet plan mark	20km/h (5.56m/s)	K		Svensk lagstiftning	Mätning	JA
4 Acceleration/Retardation						
4.1 Maximal retardation på plan mark	Minst 3m/s	K		Svensk lagstiftning	Mätning	JA
4.2 Acceleration	Följd av max retardation					JA
5 Regenerativ bromsning						
5.1 Regenerativ Bromsning	Utöka räckvidd	Ö	1	Projektgruppen	Mätning	JA
6 Livslängd						

6.1	Longboardens livslängd som elektriskt fordon	Fram till och under presentation	K		Examinator	Livslängds-uppskattning	JA
6.2	Longboardens livslängd som elektriskt fordon	3 år	Ö	5	Projektgruppen	Livslängds-uppskattning	Ej testbart
7 Underhåll							
7.1	Longboarden	Ej mer än i normalutförande	K		Projektgruppen	Testning	NEJ
7.2	Laddning av batteri	Efter körning i varierande terräng 10 km	Ö	4	Projektgruppen	Testning	JA
7.2	Elektriska komponenter	Rengöring	Ö	4	Projektgruppen	Testning	JA
8 Vikt							
8.1	Longboard	Max 10 kg	K		Projektgruppen	Vägning	JA
8.2	Longboard	Max 7 kg	Ö		Projektgruppen	Vägning	NEJ
8.3	Totalvikt (Förare + longboard)	100 kg	K		Projektgruppen		JA
9 Yttre storlek							
9.1	Höjd	Så att stabilitet erhålls	K		Projektgruppen	Mätning	JA
9.2	Bredd	Max 300 mm	K		Projektgruppen	Mätning	JA
9.3	Längd	Max 1200 mm	K		Projektgruppen	Mätning	JA
9.4	Markfrigång	Makrfrigång så inga skador	K		Projektgruppen	Mätning/ simulering	JA
10 Effektbehov							
10.1	Konstant hastighet i uppförsbacke (7 grader)	789 W	K		Projektgruppen	Testning/ simulering	JA

10.2	Konstans hastighet i nedförsbacke (7 grader)	-540 W	K		Projektgruppen	Testning/ simulering	JA
10.3	Maxretardation plan mark (3m/s)	-1549 W	K		Projektgruppen	Testning/ simulering	JA
11	Transmission						
11.1	Överföra effekt	Överföra given effekt	K		Projektgruppen	Dimensionering/ funktionell testning	JA
11.2	Verkningsgrad	> 90%	Ö	3	Projektgruppen		JA
11.3	Storlek	Ej vara större markfrigång	K		Projektgruppen		JA
12	Motor						
12.1	Verkningsgrad	> 90%	Ö	3	Projektgruppen	Beräkning/ testning	JA
12.2	Generera effekt	3252 W	K		Projektgruppen	Beräkning/ testning	JA
13	Batteri						
13.1	Verkningsgrad	> 90%	Ö	4	Projektgruppen	Beräkning/ testning	JA
13.2	Generera effekt	1789 W	K		Projektgruppen	Beräkning/ testning	JA
13.3	Spänning	37 V	Ö	3	Projektgruppen	Beräkning/ testning	JA
13.4	Kapacitet	6,7 Ah	Ö	2	Projektgruppen	Beräkning/ testning	JA
14	Styrsystem						
14.1	Begränsa hastighet	Mätning	K		Svensk lagstiftning	Simulering	JA
15	Ekonomi						
15.1	Budget	Max 5000 SEK	K	1	Chalmers	Kostnadsuppskattning	JA
16	Ergonomi						
16.1	Kunna hanteras som en longboard i normalutförande	Skall ej väga mer än 10 kg och kunna bäras med en hand			Projektgruppen	Testning	JA

16.2	Ljudnivå	<75dB (ej skadligt)			Projektgruppen	Ljudmätning	JA
17	Säkerhet						
17.1	Mjukstart	Kunna manövereras utan att förare tar skada			Projektgruppen	Testning	JA
17.2	Mjuk inbromsning	Kunna manövereras utan att förare tar skada			Projektgruppen	Testning	JA
17.3	Låg skaderisk	Inga synliga roterande delar, inga vassa kanter	Ö	2	Projektgruppen	Testning	NEJ
17.4	Dödmansgrepp (1)	Full retardation då förare faller av Longboard	K		Projektgruppen	Testning	JA
17.5	Dödmansgrepp (2)	Full retardation då manöverorgan släpps	K		Svensk lagstiftning	Testning	JA
17.6	Återfjädrande gasreglage	Ska kunna startas endast genom avsiktlig påverkan	K		Svensk lagstiftning	Testning	JA

Tabell 4: Visar kravspecifikationerna som prototypen är utformad efter.

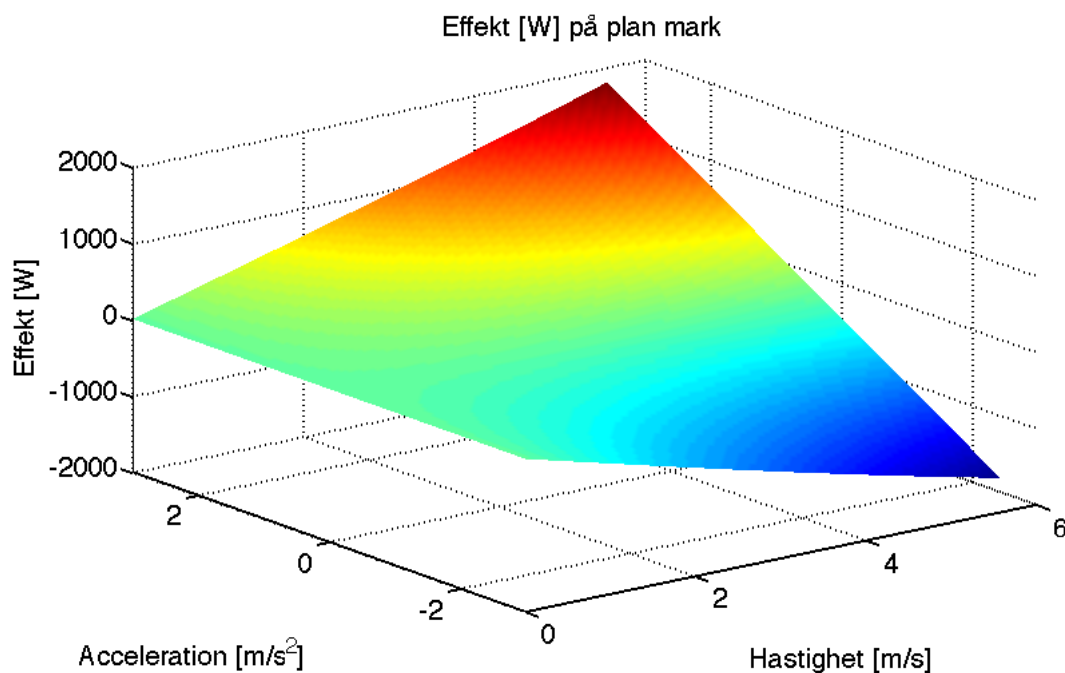
B Variabel- och konstantbetäckning

<i>Parameter</i>	<i>Benämning</i>	<i>Värde [SI-enheter]</i>
$I, i(t)$	Elektrisk ström	Ampere (A)
$w(t)$	Vinkelhastighet	rad/sec & RPM
R	Resistans	Ohm
L	Induktans	Henry (H)
K_t	Volt/RPM	Volt/RPM
U	Spänning	Volt (V)
K_v	RPM/Volt	RPM/Volt
M	Moment	Nm
F	Drivande kraft	N
F_r	Rullmotstånd	N
F_{luft}	Luftmotstånd	N
F_d	Tillförd kraft (manuellt)	N
F_m	Tillförd kraft (maskin)	N
α	Underlagets vinkel	rad
C_r	Rullmotståndskoefficienten	Enhetslös
a	Total aceleration	m/s^2
$A_f \cdot C_d$	Frontalarea multiplicerat med koefficient	m^2
v	Hastighet	m/s
r_{hjul}	Hjulets radie	m
N	Normalkraft	N
$M_{trög,hjul}$	Tröghetsmoment hjul	Nm
J_{hjul}	Yttröghetsmoment hjul	m^4
P	Effekt	Watt
i	Utväxling	
d_o	Lilla skivans diameter	mm
D_o	Stora skivans diameter	mm
A	Axelavstånd	mm
σ	Böjspänning	Pascal
τ	Skjuvspänning	Pascal
m	Total massa	Kg
g	Gravitationskonstanten	m/s^2
m_d	Användarens massa	Kg
m_{utrust}	Utrustningens massa	Kg
m_{longb}	Longboardens massa	Kg

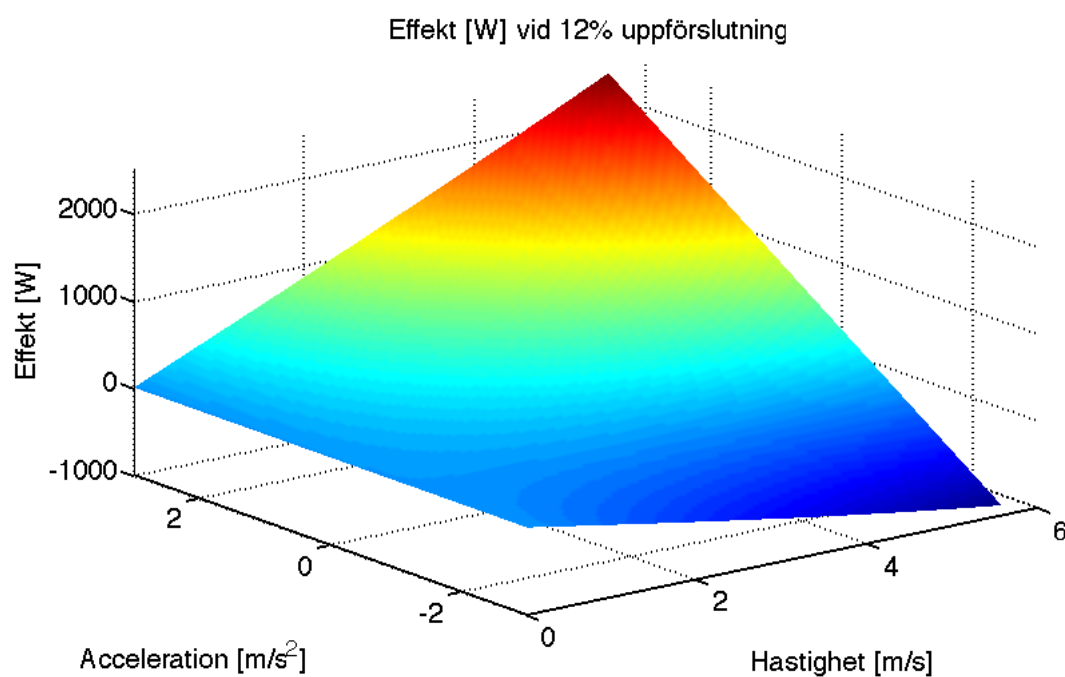
Tabell 5: Variabel- och konstantbetäckning

C Kraft-, moment- och effektbehov

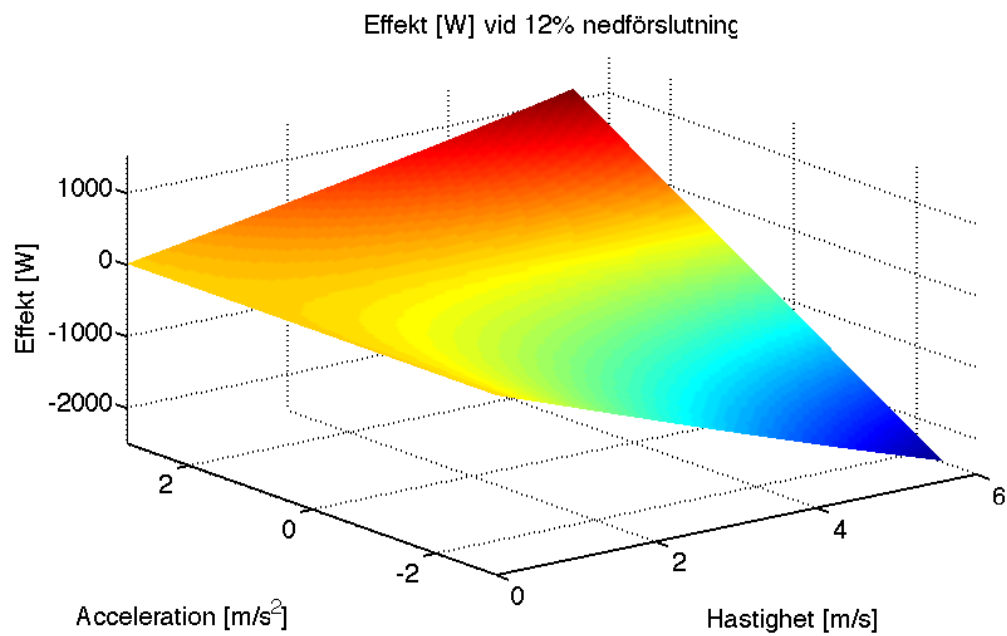
Plottarna nedan visar hur effektbehovet förändras med hastighet och acceleration. Vardera visar plottarna effekten vid olika lutning på underlaget. Effekten återges på den vertikala axeln.



Figur 22: Figuren visar hur effektbehovet ändras vid åkning på plan mark.



Figur 23: Figuren visar hur effektbehovet ändras vid åkning i uppförsbacke.



Figur 24: Figuren visar hur effektbehovet ändras vid åkning i nedförsbacke.

D Motor

Chalmers <i>PughMatrix (Relativ beslutsmatrix)</i>			
Utfärdare: Longboard som elektriskt transportmedel 2			
Skapad: 20140218		Modifierad: 20140315	
<i>Kriterier</i>	<i>Alternativ</i>		
	Referens	Borstad DC motor	BLDC
Verkningsgrad	R	S	+
Bullernivå	E	-	+
Effekt per vikt	F	S	+
Moment per vikt	E	S	+
Kontrollerbarhet	R	S	+
Underhåll (livslängd)	E	S	+
Storlek	N	S	+
Kontrollens komplexitet	S	+	-
Pris		+	-
Utvecklingstid		+	-
Antal +		3	7
Antal S		6	0
Antal -		1	3
Nettovärde	0	2	4
Rangordning	3	2	1
Vidareutveckling			Ja

Tabell 6: *Beslutsmatrix för typ av motor.*

E Transmission

E.1 Utvärdering av transmissionstyp

Då mekaniska transmissioner beaktas finns det två olika huvudkategorier; Formbetingade samt kraftbetingade. Skillnaden ligger i hur de överför rörelsen och effekten. I formbetingade transmissioner överförs detta genom normalkrafter mellan exempelvis kuggar medan vid kraftbetingade transmissioner sker denna överföring via friktionskrafter som uppstår mellan till exempel en slät rem och remskiva.

Förlusterna vad gäller transmissioner kan delas upp i två grupper: Belastnings- och hastighetsförluster och ger därmed upphov till varsin verkningsgrad.

η_w Hastighetsverkningsgrad

η_M Belastningsverkningsgrad

De olika verkningsgraderna multipliceras således till en total verkningsgrad för transmissionen. Formbetingade transmissioner uppvisar inga hastighetsförluster. Detta då de antas arbeta synkront utan att någon slirning uppstår. Eftersom formbetingade transmissioner använder sin geometriska form för att överföra effekten blir dess utväxling mycket exakt.

För att slutligen välja transmission bestäms de egenskaper som anses vara viktiga för att överföra kraft och hastighet till hjulen på longboarden.

Följande överföringstyper beaktas i utvärderingen:

- Kugghjulsväxel (Formbetingat)
- Kilremsdrift (Kraftbetingat)
- Flatremsdrift (Formbetingat)
- Kuggremsväxel (Formbetingat)

För att avgöra vilken transmissionstyp som är bäst lämpad för ändamålet vägs deras egenskaper mot varandra och är listade i Tabell 7.

Egenskaper/ Typer	Kugghjulsväxel	Kilremsdrift	Flatremsdrift	Kuggremsdrift
Kraftöverföringstyp	Formbetingat	Kraftbetingat	Kraftbetingat	Formbetingat
Verkninggrad	94-98%	92-97%	92-97%	93-98%
Bullernivå	Hög	Låg	Låg	Måttlig
Noggrannhet i utväxling	Hög	Måttlig	Måttlig	Hög
Överförbar effekt [kW]	10000	1000	1000	500
Överförbart moment [M]	10^8	10^4	10^4	10^4
Underhåll (risk för haveri)	Ja (smörjning)	Nej	Nej	Nej
Storlek	Liten	Måttlig	Måttlig	Måttlig
Komplexitet vid montering	Måttlig	Måttlig	Måttlig	Låg
Anskaffningsekonomi	Måttlig	Måttlig	Måttlig	Dålig

Tabell 7: *Egenskaper transmissionstyper enligt referens [15]*

De olika transmissionstyperna värderas sedan mot varandra enligt kriterier enligt Tabell 8 Detta gjordes för att erhålla en lättare urvalsprocess.

Chalmers						<i>PughMatrix (Relativ beslutsmatrix)</i>					
Utfärdare: Longboard som elektriskt transportmedel 2											
Skapad: 20140213						Modifierad: 20140315					
<i>Kriterier</i>		<i>Alternativ</i>									
		Referens	Kugg- hjulsväxel	Kil- remsväxel	Flat- remsväxel	Kugg- remsväxel					
Verkningsgrad		R	+	S	S	+					
Bullernivå		E	-	+	+	S					
Noggrannhet i utväxling		F	+	S	S	+					
Överförbar effekt		E	+	+	+	+					
Överförbart moment		R	+	+	+	+					
Underhåll (risk för haveri)		E	S	+	+	+					
Storlek		N	+	S	S	+					
Komplexitet vdi montering		S	S	+	+	S					
Anskaffningsekonomi			S	S	S	-					
Antal +			5	5	5	6					
Antal S			3	4	4	2					
Antal -			1	0	0	1					
Nettovärde		0	4	5	5	5					
Rangordning		3	2	1	S	S					
Vidareutveckling						Ja					

Tabell 8: *Pughmatrix för val av transmission*

Vald transmissions typ är kuggremsväxel, då denna i konkurrans med andra erhöill flest plus och därmed klassades som den mest ändamålsenliga transmissionen.

E.2 Utformning av kuggremsdraft

Longboarden har två stycken motorer som driver varsitt bakhjul. Maximala effektbehovet för hela longboarden är 1626.2 [W]. Fördelat på två motorer blir detta 813.1 [W]. Belastningstypen är ojämn och därför dimensioneras det för den maximala effektöverföringen.

Longboarden skall framföras i maximalt 5.56 [m/s] och hjulens radie är 37.5 [mm]

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{5.56}{0.0375} = 148.3 \text{ [rad/s]} \implies n = \frac{\omega \cdot 60}{2 \cdot \pi} = \frac{148.3 \cdot 60}{2 \cdot \pi} = 1416 \text{ [rpm]}$$

E.3 Specifikationer:

Dimensioneringen har skett för utväxlingsförhållande 1:3.

Effekt att överföra:	813.5 [W]
Drivna skivans varvtal:	1416 [rpm]
Driven skivans varvtal:	4248 [rpm] (Lilla skivan placerad på motorn)
Axelavstånd:	ca 80 [mm]

Tabell 9: *Förutsättningar för remdimensionering.*

E.4 Beräkning av kalkyleffekt

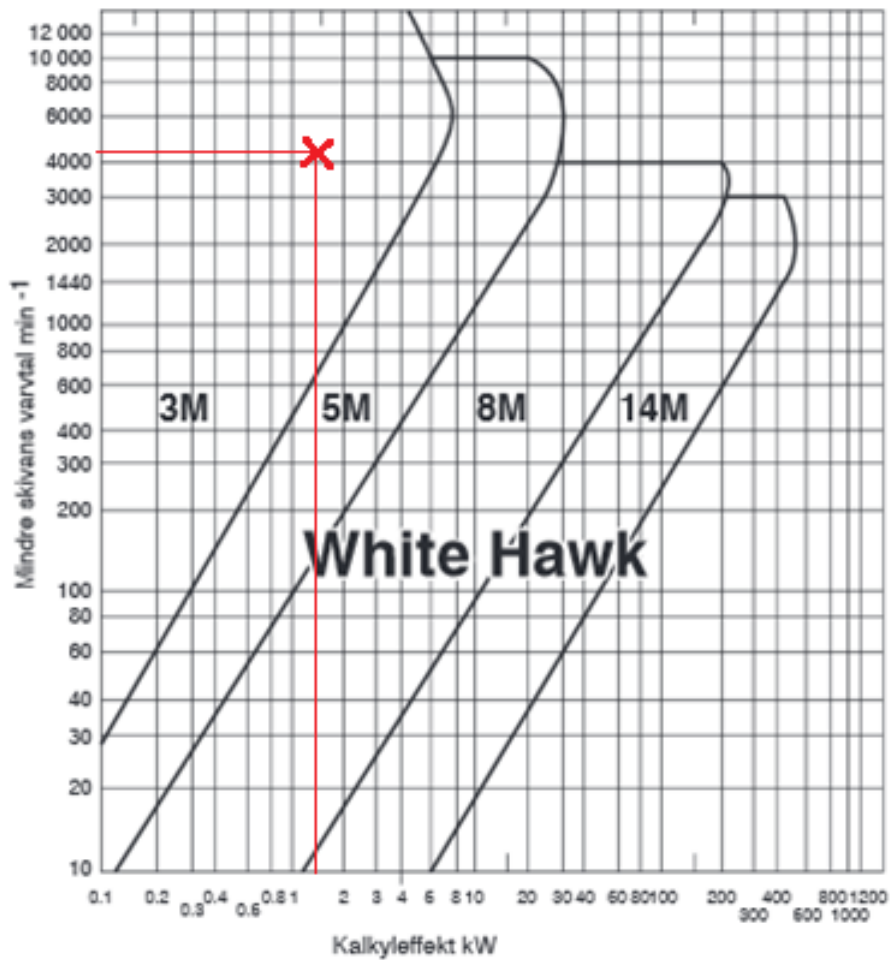
Driftsfaktorn för transmissionen är samma som för transportband med tungt gods:

$$Driftsfaktor = 1.4$$

$$Kalkyleffekt = 1.4 \cdot 813.5 = 1138,8 \text{ [W]}$$

E.5 Bestämning av delning

Med varvtal på den mindre skivan samt den effekt som skall överföra kunde delningen fås ut.



Figur 25: Mindre skivans varvtal och kalkyleffekten för bestämning av delning.

Enligt bild räcker det med 3M (3 [mm] delning).

E.6 Bestämning av skivkombination och rembredd

Sedan bestäms den lilla skivans tandantal samt rembredden:

$$\text{Rembredd} = 15 \text{ [mm]} \rightarrow \text{rembreddsfaktor} = 2.98$$

En skiva med 16 tänder med en rembredd på 15 [mm] skulle beräknas klara effektbehovet vid ett varvtal på 4284 [rpm]:

$$0.384 \text{ [kW]} \cdot 2.98 = 1.1443 \text{ [kW]} = 1144.3 \text{ [W]}$$

Kuggremmar

3M

Effektöverföringsvärden kW för 3M

Lilla skivans Varvtal min ⁻¹	Lilla skivans Tandantal								Delningsdiameter							
	10	12	14	16	18	20	24	28	32	40	48	56	64	72	80	
	9,55	11,46	13,37	15,28	17,19	19,10	22,92	26,74	30,56	38,20	45,84	53,48	61,12	68,75	76,39	
6mm	Rembredd															
20	0,002	0,003	0,004	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,010	0,013	0,015	0,018	0,021	0,024	0,027	
40	0,004	0,006	0,007	0,008	0,009	0,011	0,013	0,016	0,018	0,024	0,029	0,034	0,040	0,045	0,051	
60	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,015	0,019	0,023	0,026	0,034	0,042	0,049	0,057	0,065	0,073	
100	0,009	0,013	0,015	0,018	0,021	0,024	0,030	0,036	0,042	0,054	0,066	0,078	0,091	0,103	0,116	
200	0,016	0,023	0,028	0,034	0,039	0,044	0,055	0,066	0,077	0,099	0,122	0,145	0,168	0,191	0,214	
300	0,023	0,032	0,040	0,048	0,055	0,063	0,079	0,094	0,110	0,142	0,174	0,207	0,239	0,273	0,306	
400	0,029	0,041	0,051	0,061	0,071	0,081	0,101	0,121	0,141	0,182	0,223	0,265	0,307	0,350	0,392	
500	0,034	0,049	0,062	0,074	0,086	0,098	0,122	0,146	0,171	0,220	0,271	0,321	0,372	0,423	0,475	
600	0,039	0,057	0,072	0,086	0,100	0,114	0,142	0,171	0,200	0,258	0,316	0,375	0,435	0,494	0,554	
700	0,044	0,064	0,081	0,098	0,114	0,130	0,162	0,195	0,227	0,293	0,360	0,427	0,495	0,562	0,629	
800	0,049	0,072	0,091	0,109	0,127	0,145	0,181	0,218	0,254	0,328	0,403	0,478	0,553	0,628	0,702	
900	0,054	0,079	0,100	0,120	0,140	0,160	0,200	0,240	0,281	0,362	0,444	0,527	0,609	0,691	0,773	
950	0,056	0,082	0,104	0,126	0,147	0,167	0,209	0,251	0,294	0,379	0,465	0,550	0,636	0,722	0,807	
1000	0,058	0,086	0,109	0,131	0,153	0,175	0,218	0,262	0,306	0,395	0,485	0,574	0,663	0,752	0,841	
1200	0,067	0,099	0,126	0,152	0,178	0,203	0,254	0,305	0,356	0,459	0,562	0,665	0,768	0,870	0,971	
1400	0,075	0,112	0,143	0,172	0,201	0,230	0,288	0,346	0,404	0,520	0,636	0,752	0,866	0,980	1,092	
1450	0,077	0,115	0,147	0,177	0,207	0,237	0,296	0,356	0,415	0,535	0,654	0,773	0,890	1,007	1,121	
1600	0,083	0,124	0,159	0,191	0,224	0,256	0,320	0,385	0,449	0,578	0,707	0,834	0,960	1,084	1,206	
1800	0,090	0,136	0,174	0,210	0,246	0,281	0,352	0,423	0,493	0,634	0,774	0,913	1,049	1,182	1,313	
2000	0,097	0,147	0,189	0,228	0,267	0,306	0,383	0,459	0,536	0,688	0,839	0,987	1,133	1,275	1,413	
2400	0,110	0,169	0,217	0,263	0,308	0,352	0,441	0,529	0,617	0,790	0,961	1,127	1,289	1,445	1,596	
2850	0,123	0,191	0,247	0,300	0,351	0,402	0,503	0,603	0,702	0,897	1,086	1,269	1,445	1,614	1,773	
3200	0,133	0,208	0,269	0,327	0,383	0,438	0,548	0,657	0,764	0,974	1,176	1,370	1,555	1,729	1,892	
3600	0,144	0,226	0,293	0,356	0,418	0,478	0,598	0,715	0,831	1,056	1,271	1,475	1,667	1,845	2,009	
4000	0,153	0,243	0,316	0,384	0,451	0,516	0,645	0,771	0,894	1,133	1,359	1,571	1,766	1,945	2,107	
5000	0,175	0,283	0,369	0,450	0,528	0,604	0,753	0,897	1,037	1,303	1,547	1,767	1,962	2,130	2,270	
6000	0,193	0,319	0,417	0,509	0,597	0,683	0,849	1,008	1,161	1,443	1,694	1,909	2,088	2,227	2,325	
7000	0,209	0,351	0,461	0,563	0,660	0,754	0,934	1,105	1,266	1,557	1,804	2,001	2,148	2,241	2,279	
8000	0,223	0,380	0,501	0,611	0,716	0,817	1,010	1,189	1,355	1,647	1,878	2,046	2,147	2,178	2,136	
10000	0,245	0,430	0,570	0,696	0,814	0,926	1,134	1,322	1,490	1,757	1,931	2,004	1,973	1,832	1,580	
12000	0,261	0,471	0,627	0,765	0,893	1,012	1,228	1,414	1,570	1,785	1,864	1,799	1,584	1,213	0,683	
14000	0,272	0,505	0,674	0,822	0,956	1,079	1,294	1,469	1,602	1,736	1,686	1,441	0,994	-	-	

Ovanstående effektöverföringsvärden multipliceras med nedanstående bredd- och remlängdsfaktorer för att erhålla rätt effektöverföring för vald skiva och varvtal.

3M	Rembredd mm	3	6	9	12	15	20
	Breddfaktor	0,43	1,00	1,66	2,30	2,98	4,17
	Remlängd mm	111-177	204-246	262-390	420-570	608-1569	
	Remlängdsfaktor KR	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	

Standardbredder med fet stil.

Figur 26: Effektöverföringsvärden och rembredd för rem med 3 mm delning.

Utväxlingen som det utgås ifrån är 1:3 och därför kommer den stora skivan att behöva 48 tänder. En skiva med 48 stycken tänder finns tillgänglig.

Följande värden har därmed erhållits för utväxling 1:3:

Tandantal lilla skivan:	16 [st]
Tandantal stora skivan:	48 [st]
Rembredd:	15 [mm]

Med ovanstående värden kan skivor väljas ut:

Lilla skivan	16 3 M 15 FB
Lilla skivans diameter	15.28 [mm]
Stora skivan	48 3 M 15 FB
Stora skivans diameter	45.84 [mm]

Approximativ remlängd beräknas via formel. D_o beskriver den stora skivansdiameter och d_o avser den lilla skivans diameter.

$$Remlängd \approx 2 \cdot A + 1.57 \cdot (D_o - d_o) + \frac{(D_o - d_o)^2}{4A} \quad (E.1)$$

Utväxling 1:3: Approximativt ger detta $remlängd = 270.3$ [mm]. Denna remlängd finns inte i ett standardsortiment. Närmsta remlängd är 267 [mm] $\rightarrow$ 89kuggar (delning 3 [mm]).

E.7 Hållfasthetsberäkningar limspalt.

Det totala momentet på båda hjulen är 10,96 [Nm] (referens till ett par stycken ner). Med hänsyn tagen till transmissionens verkningsgrad ger det att varje motor skall överföra.

$$\begin{aligned} M_{totalt} &= 10,96 \text{ [Nm]} \\ \eta &= 0,95 \\ i &= 3 \\ r_{motoraxel} &= 0.004 \text{ [m]} \\ bredd_{limförband} &= 0,012 \text{ [m]} \end{aligned}$$

$$M_{motor} = \frac{M_{totalt} \cdot \eta \cdot 0,5}{i} = \frac{10,96 \cdot 0,5}{3 \cdot 0,95} = 1,92 \text{ [Nm]}$$

Det moment som överförs ger kraften som limförbandet skall överföra.

$$F_{limförband} = \frac{M_{motor}}{r_{motoraxel}} = \frac{1,92}{0,004} = 480,1 \text{ [N]}$$

Kraften som skall överföras ger tillsammans med limförbandets area den skjuvspänning som limfogen kommer utsättas för.

$$\tau = \frac{F_{limförband}}{(2 \cdot r_{motoraxel} \cdot \pi \cdot bredd_{limförband})} = \frac{480,1}{2 \cdot 0,004 \cdot \pi \cdot 0,012} = 1,59 [MPa]$$

Maximal skuvspänning för limmet Loctite 641 fås ut databladet [14] där man under antagna temperaturförutsättningar (konstant minst 100 grader C, samt temperaturåldring 120 grader C) och liming mellan stål och aluminium får värdet:

$$\tau_{maximal-641} = 6,5 [MPa] \cdot 0,7 \cdot 0,75 \cdot 0,6 = 2,0475 [MPa]$$

Det ger en säkerhetsfaktor på

$$Säkerhetsfaktor_{limförband} = \frac{\tau_{maximal-641}}{\tau} = \frac{2,0475}{1,59} = 1,3$$

E.8 Åtdragningsmoment för stora remskivan

Den maximala effekten som skall överföras är 1549 [W], vilket med transmissionens verkningsgrad blir 1626 [W]. Effekten ger upphov till ett moment beroende på varvtalet på det som skall hjulet har. Kraften antas sedan vara verksam på randen av centreringsdelen. Beräkningarna nedan är gjorda för att överföra den totala effekten för att driva/ bromsa longboarden. Skruvarna som används är av storlek M4. Data har hämtats ur [15].

$$P = 1549 [W]$$

$$\eta = 0.95$$

$$P_{verklig} = 1626 [W]$$

$$\omega_{hjul} = 148.3$$

$$r_{centreringsdel} = 0.03 [m]$$

$$M = \frac{P}{\omega} = \frac{1626}{148.3} = 10.96 [Nm]$$

$$F = \frac{M}{r_{centreringsdel}} = \frac{10.96}{0.03} = 365.5 [N]$$

Friktionen, $[\mu]$ mellan centreringskomponenten och hjulet antas vara relativt hög då hjulet är av gummi.

$$\mu = 0.5$$

Normalkraften, $[N]$, som håller ihop remskiva och hjul blir då:

$$F = F_f = \mu \cdot N$$
$$N = \frac{F_f}{\mu} = \frac{365.5}{0.5} = 730.9 [N]$$

Varje remskiva har sex stycken skruvar vilket medför:

$$F_{skruv} = \frac{730.9}{6} = 121.8 [N] = F_{ax} \quad (E.2)$$

Åtdragningsmomentet beräknas med nedanstående formel:

$$M_{\dot{a}t} = F_{ax}(0.16\kappa + 0.58\mu_g d_2 + \mu_b r_m) \quad (E.3)$$

$$\begin{aligned}\kappa &= Delning = 0.7 [mm] \\ \mu_g &= frisktionig\ddot{a}ngor = 0.25 \\ d_1 &= 3.242 [mm] \\ d_2 &= medeldiameterg\ddot{a}ngor = 3.545 [mm] \\ \mu_b &= Friktionskruvskallemotunderlag = 0.25 \\ r_m &= 2.75 [mm]\end{aligned}$$

Ins\ddot{a}ttning av ovanst\ddot{a}ende data i E.3 ger:

$$M_{\dot{a}t} = 0.16 [Nm]$$

Medelarean f\ddot{o}r skruven ges av:

$$A_{sp} \approx \frac{\pi}{16} \cdot (d_1 + d_2)^2 [mm]$$

Ins\ddot{a}ttning skruvens specifikationer ger:

$$A_{sp} = 9.04 [mm^2] \quad (E.4)$$

Sp\ddot{a}nningen i skruven ges av:

$$\sigma = \frac{F_{ax}}{A_{sp}}$$

Som med ovanstående värden ger:

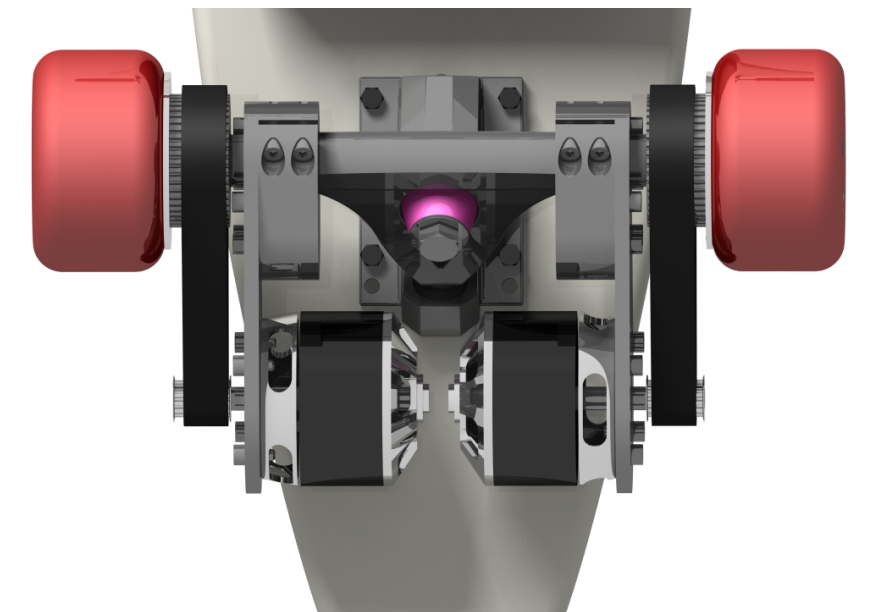
$$\sigma = \frac{121.8}{9.04} = 13.5 \text{ [MPa]}$$

Tillåtna spänningsamplituden i skruven ges nedan:

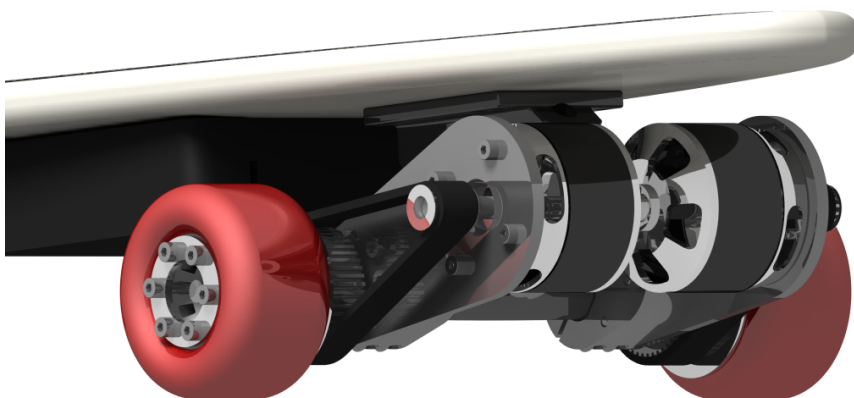
$$\sigma_{a,till} = 0.75\left(\frac{180}{d} + 52\right) = 0.75\left(\frac{180}{4} + 52\right) = 72.75 \text{ [MPa]}$$

F Placering av komponenter

För att avgöra placeringen av komponenter görs en CAD-skiss över den befintliga longboarden samt de komponenter som denna skall kompletteras med. I Figurer 27 och 28 visas principiella bilder över hur komponenter skall placeras. CAD-skisserna har gjort för att bedömma utrymmet i samband med komponentplacering. Valda komponenter har därefter arbetats fram som CAD-modeller för att virtuellt visa longboardens utseende då denna kompletterats med eldrift.

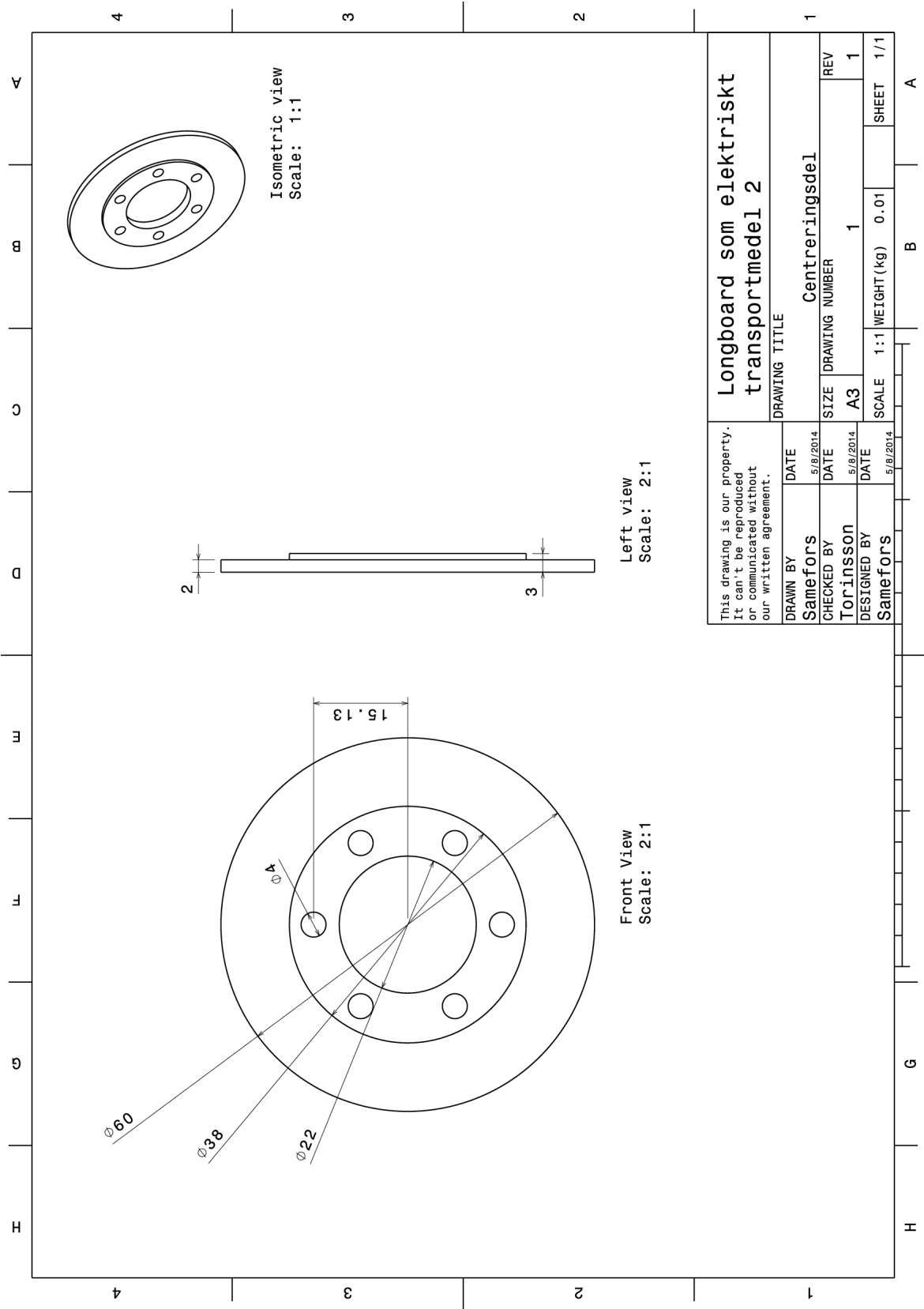


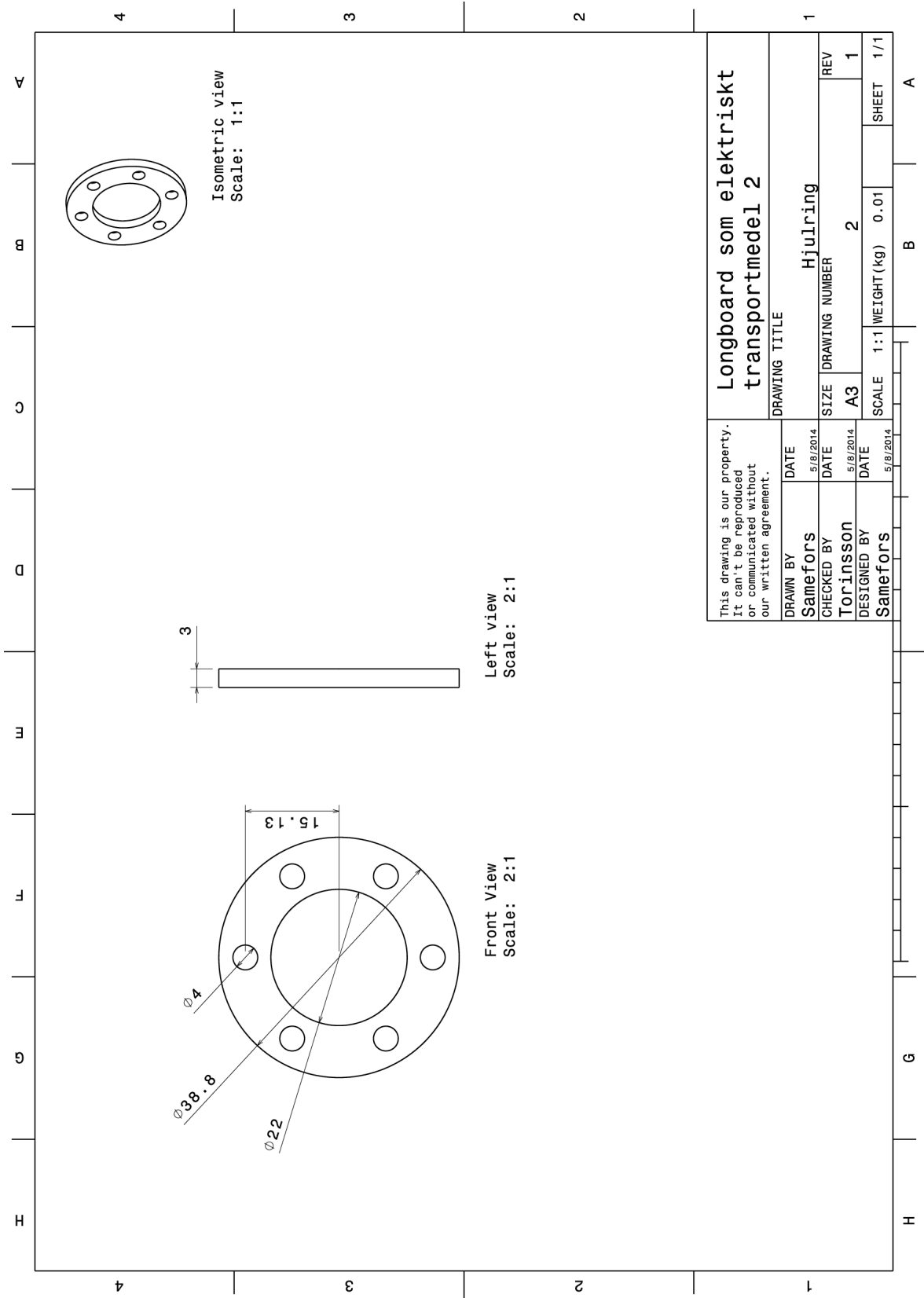
Figur 27: CAD-skiss över hur motorer skall sitta i förhållande till trucken.

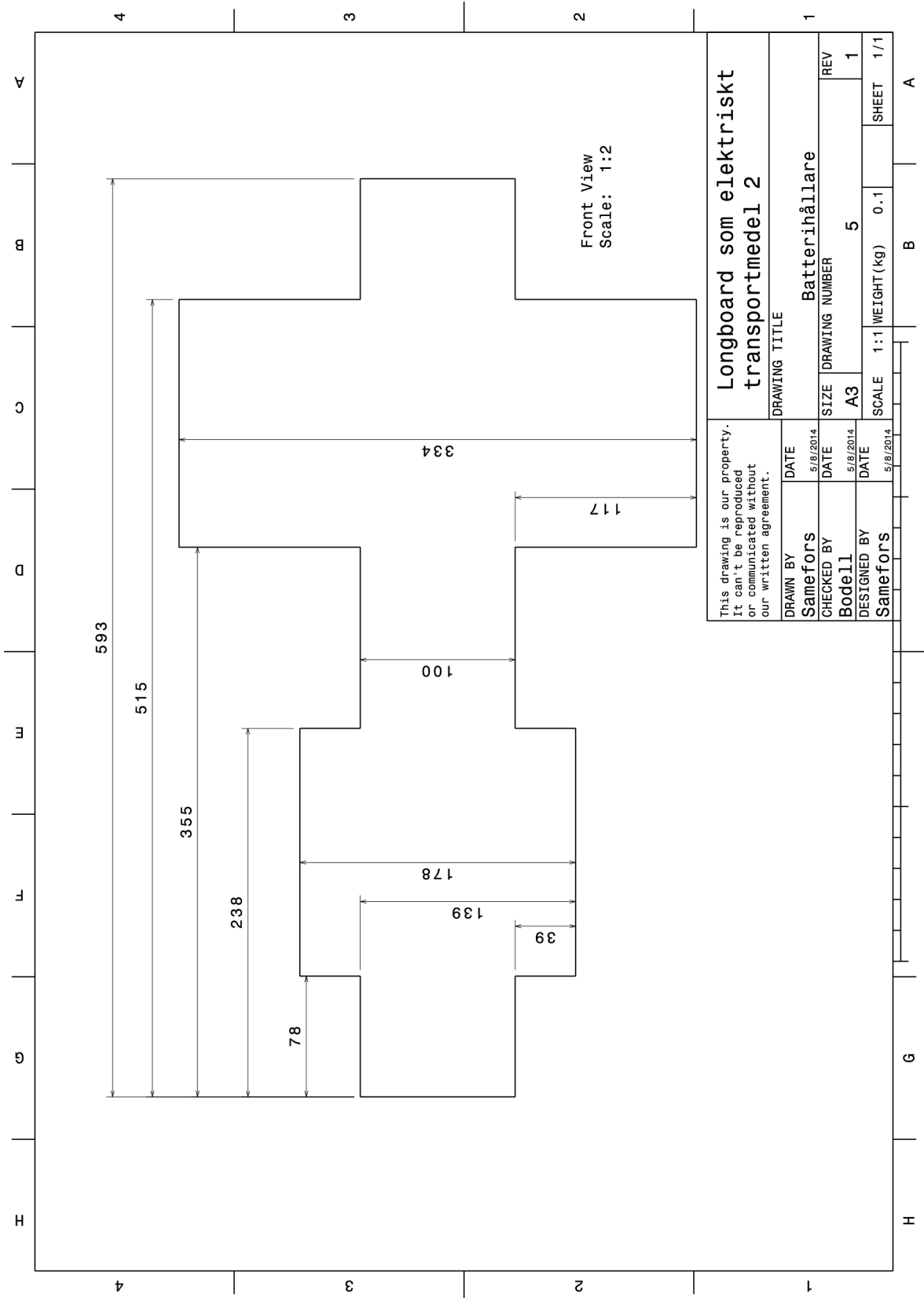


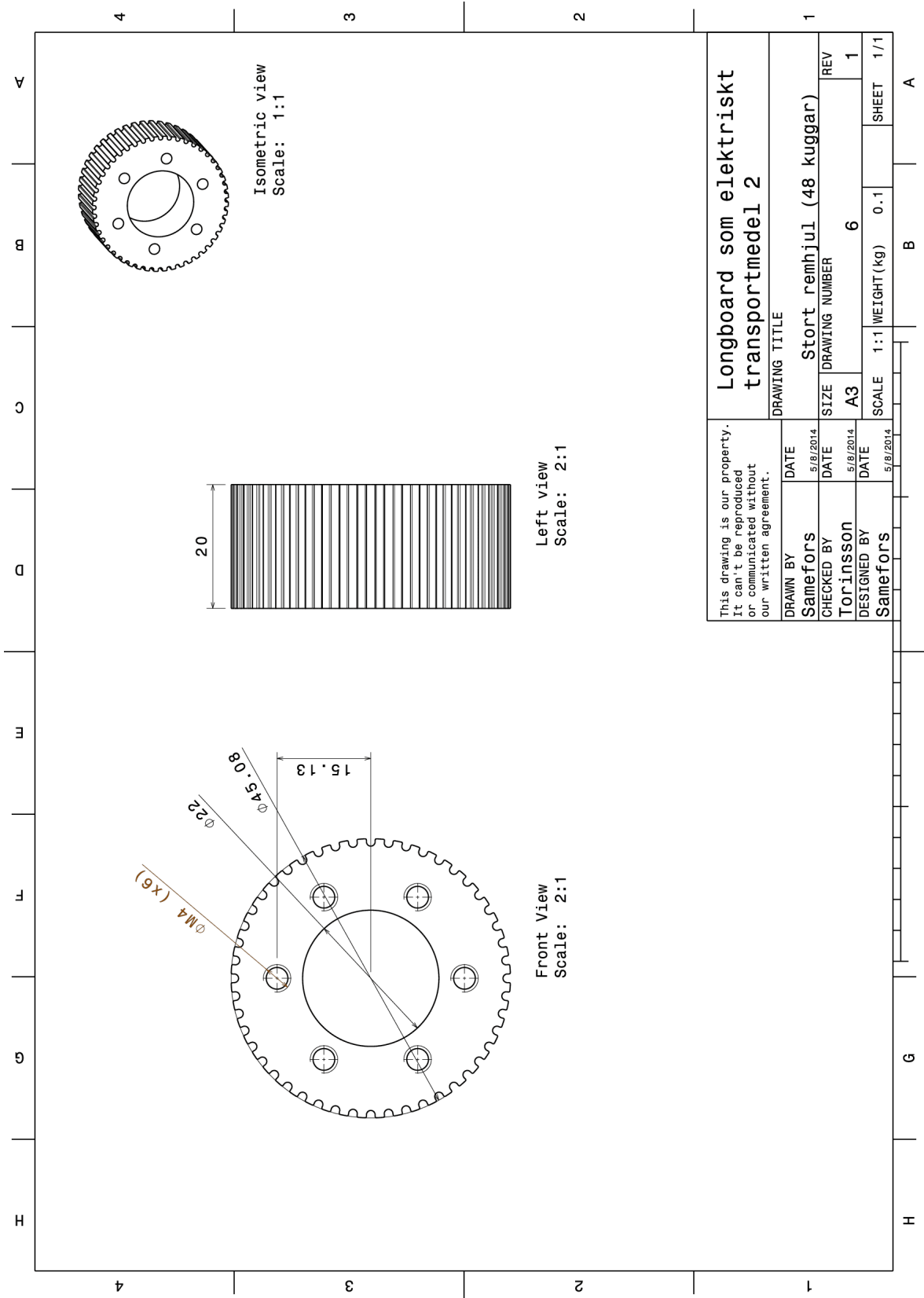
Figur 28: Motor med transmission till hjul.

G Ritningar









H Motorfäste

Motorfäste är designat för att hålla bibehålla motorns position i förhållande till övriga komponenter samt för att motorn inte skall skadas på något sätt. Motorfästet är dessutom designat för att utrymmet under longboardens deck som är begränsat till volym.

Motorfästet är uppdelat i två delar för att underlätta montering samt att remmen till transmission kan spännas. Motorfästet är även konstruerat för att passa den specifika trucken. Hållfasthetsberäkningar finns under *H.1 Hållfasthetsberäkning i Ansys*.

H.1 Hållfasthetsberäkning i Ansys

Krafterna som verkar på motorfästet beror på det moment motorn genererar när den roterar. Ur detta moment beräknas fyra delkrafter som i analysen verkar på vardera skruvhål. Då dessa krafter är variabla antogs den maximala kraften verka. På motorfästet verkar även en konstant last; motorns egentynghet. Krafternas placering och storlek visas i Figur 29.

Krafterna som uppkommer då motorn arbetar beräknas enligt nedan. Krafterna beräknas från det maximala momentet som uppkommer vid longboardens drift.

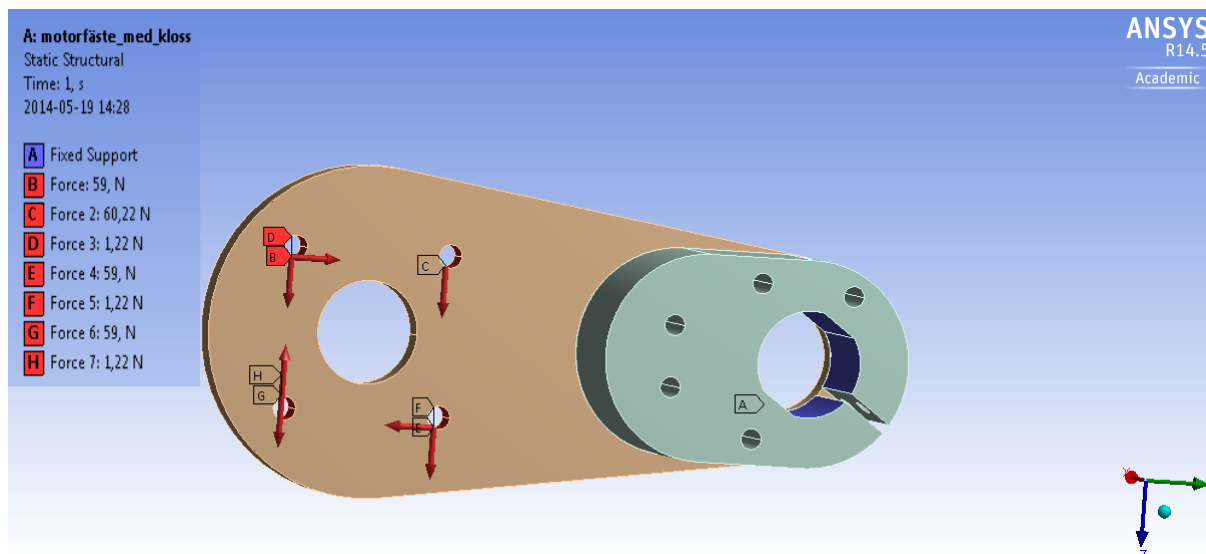
$$P_{max} = 1549,5 [W]$$

$$P_{verklig} = \frac{P_{max}}{\eta_{transmission}} = \frac{1549,4}{0,95} = 1630,9 [W]$$

$$M_{motor} = \frac{P_{verklig}}{\omega_{motor}} = \frac{1630,9}{444} = 3,67 [Nm]$$

$$F_{skruv} = \frac{M_{motor}}{4 \cdot r} = \frac{3,67}{4 \cdot 0,01559} = 59,0 [N]$$

$$F_{egenvikt} = \frac{m_{motor} \cdot g}{4} = \frac{0,495 \cdot 9,82}{4} = 1,22 [N]$$



Figur 29: *Krafterna utgår från skruvhålen där motorn fästs. De variabla krafterna är placerade så att de följer motorns rotationsriktning och motorns tyngd (konstant kraft) är jämt fördelad över de fyra hålen*

H.2 Åtdragningsmoment för att hålla fast motor

Den maximala effekten som skall överföras är 1549 [W], vilket med transmissionens verkningsgrad blir 1626 [W]. Effekten ger upphov till ett moment beroende på varvtalet på det som skall hjulet har. Kraften antas sedan vara verksam på randen av motorn. Beräkningar är gjorda för att en motor skall överföra hela effekten. Egenvikten på motorn försummas. Skruvarna som används är av storlek M4. Data har hämtats ur [15].

$$P = 1549 \text{ [W]}$$

$$\eta = 0,95$$

$$P_{\text{verklig}} = 1626 \text{ [W]}$$

$$\omega_{\text{motor}} = 444 \text{ [rad/s]}$$

$$r_{\text{motorl}} = 0,027 \text{ [m]}$$

$$M = \frac{P}{\omega_{\text{motor}}} = \frac{1626}{444} = 3,67 \text{ [Nm]}$$

$$F = \frac{M}{r_{\text{centrerings}}} + m_{\text{motor}} \cdot g = \frac{3,67}{0,027} = 136,0 \text{ [N]}$$

Friktionen, $[\mu]$ mellan motor och fäste är antagen enligt nedan:

$$\mu = 0,25$$

Normalkraften, $[N]$, som håller ihop remskiva och hjul blir då:

$$F = F_f = \mu \cdot [N]$$

$$N = \frac{F_f}{\mu} = \frac{136,0}{0,25} = 544.2 [N]$$

Varje remskiva har fyra stycken skruvar vilket medför:

$$F_{skruv} = \frac{563,6}{4} = 136,0 [N] = F_{ax}$$

Åtdragningsmomentet beräknas med nedanstående formel:

$$M_{\dot{a}t} = F_{ax}(0,16\kappa + 0,58\mu_g d_2 + \mu_b r_m) \quad (\text{H.1})$$

$$\begin{aligned} \kappa &= \text{Delning} = 0,7 [mm] \\ \mu_g &= \text{friktion i gängor} = 0,25 \\ d_1 &= 3,242 [mm] \\ d_2 &= \text{medeldiameter gängor} = 3,545 [mm] \\ \mu_b &= \text{Friktion skruvskalle mot underlag} = 0,25 \\ r_m &= 2,75 [mm] \end{aligned}$$

Insättning av ovanstående i H.1 ger:

$$M_{\dot{a}t} = 0,178 [Nm]$$

Medelarean för skruven ges av:

$$A_{sp} \approx \frac{\pi}{16} \cdot (d_1 + d_2)^2 [mm]$$

Med via insättning av data erhålls värde på medelarean:

$$A_{sp} = 9,04 [mm^2]$$

Spänningen i skruven ges av:

$$\sigma = \frac{F_{ax}}{A_{sp}} = \frac{136,0}{9,04} = 15.0 [MPa]$$

H.3 Åtdragningsmoment för att hålla ihop truckfäste och motorplatta

Den maximala effekten som skall överföras är 1549 [W], vilket med transmissionens verkningsgrad blir 1626 [W]. Effekten ger upphov till ett moment beroende på varvtalet på det som skall hjulet har. Kraften antas sedan vara verksam på randen av motorn. Beräkningar är gjorda för att en motor skall överföra hela effekten. Egenvikten på motorn försummas. Skruvarna som används är av storlek M4. Data har hämtats ur [15].

$$P = 1549 [W]$$

$$\eta = 0,95$$

$$P_{verklig} = 1626 [W]$$

$$\omega_{motor} = 444 [rad/s]$$

$$r_{motor} = 0,01559 [m]$$

Krafterna delas upp enligt figur 29 varefter en resulterande kraft (F) beräknas vilken verkar på monteringsplattan vid mitten av truckfästet.

$$F = 183,3 [N]$$

Friktionen [μ] mellan truckfäste och motorplatta är antagen enligt nedan:

$$\mu = 0,25$$

Normalkraften, [N], som håller ihop remskiva och hjul blir då:

$$F = F_f = \mu \cdot [N]$$

$$N = \frac{F_f}{\mu} = \frac{183,3}{0,25} = 733,2 [N]$$

Varje remskiva har fem stycken skruvar vilket medför:

$$F_{skruv} = \frac{733,2}{5} = 146,6 [N] = F_{ax}$$

Åtdragningsmomentet beräknas med nedanstående formel:

$$M_{\dot{a}t} = F_{ax}(0,16\kappa + 0,58\mu_g d_2 + \mu_b r_m) \quad (H.2)$$

$$\begin{aligned}
\kappa &= \text{Delning} = 0,7 \text{ [mm]} \\
\mu_g &= \text{friktion i gängor} = 0,25 \\
d_1 &= 3,242 \text{ [mm]} \\
d_2 &= \text{medeldiameter gängor} = 3,545 \text{ [mm]} \\
\mu_b &= \text{Friktion skruvskalle mot underlag} = 0,25 \\
r_m &= 2,75 \text{ [mm]}
\end{aligned}$$

Insättning av ovanstående i H.2 ger:

$$M_{\dot{a}t} = 0,193 \text{ [Nm]}$$

Medelarean för skruven ges av:

$$A_{sp} \approx \frac{\pi}{16} \cdot (d_1 + d_2)^2 \text{ [mm]}$$

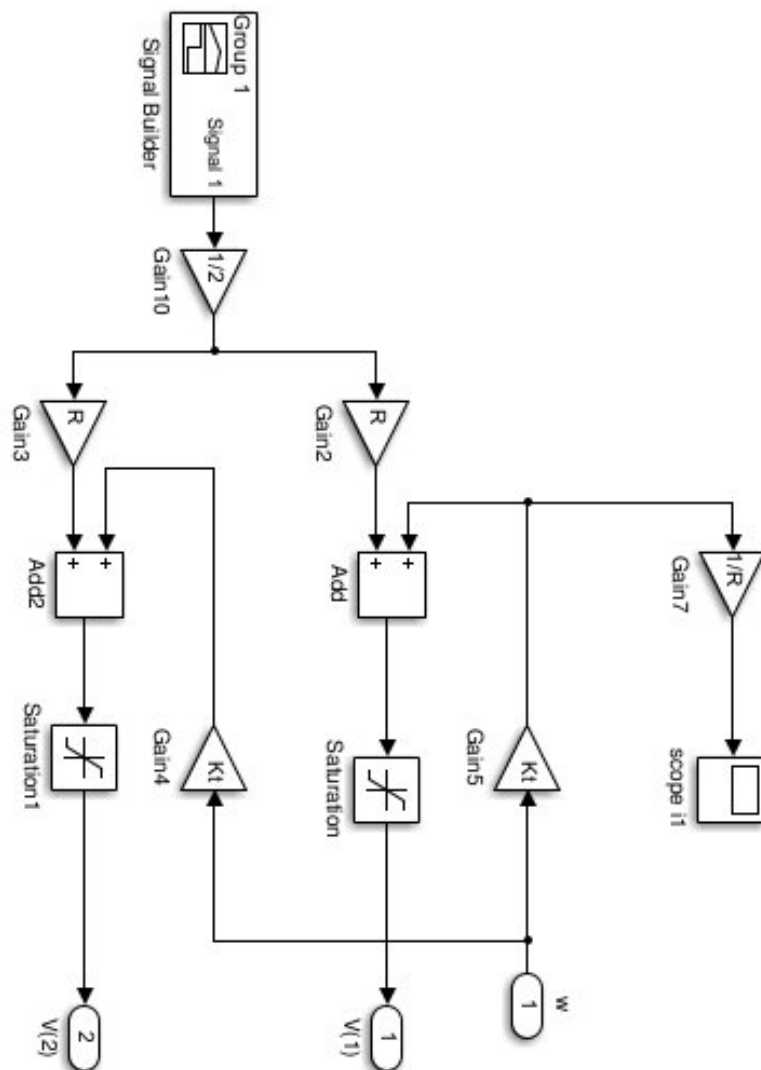
Med via insättning av data erhålls värde på medelarean:

$$A_{sp} = 9,04 \text{ [mm}^2\text{]}$$

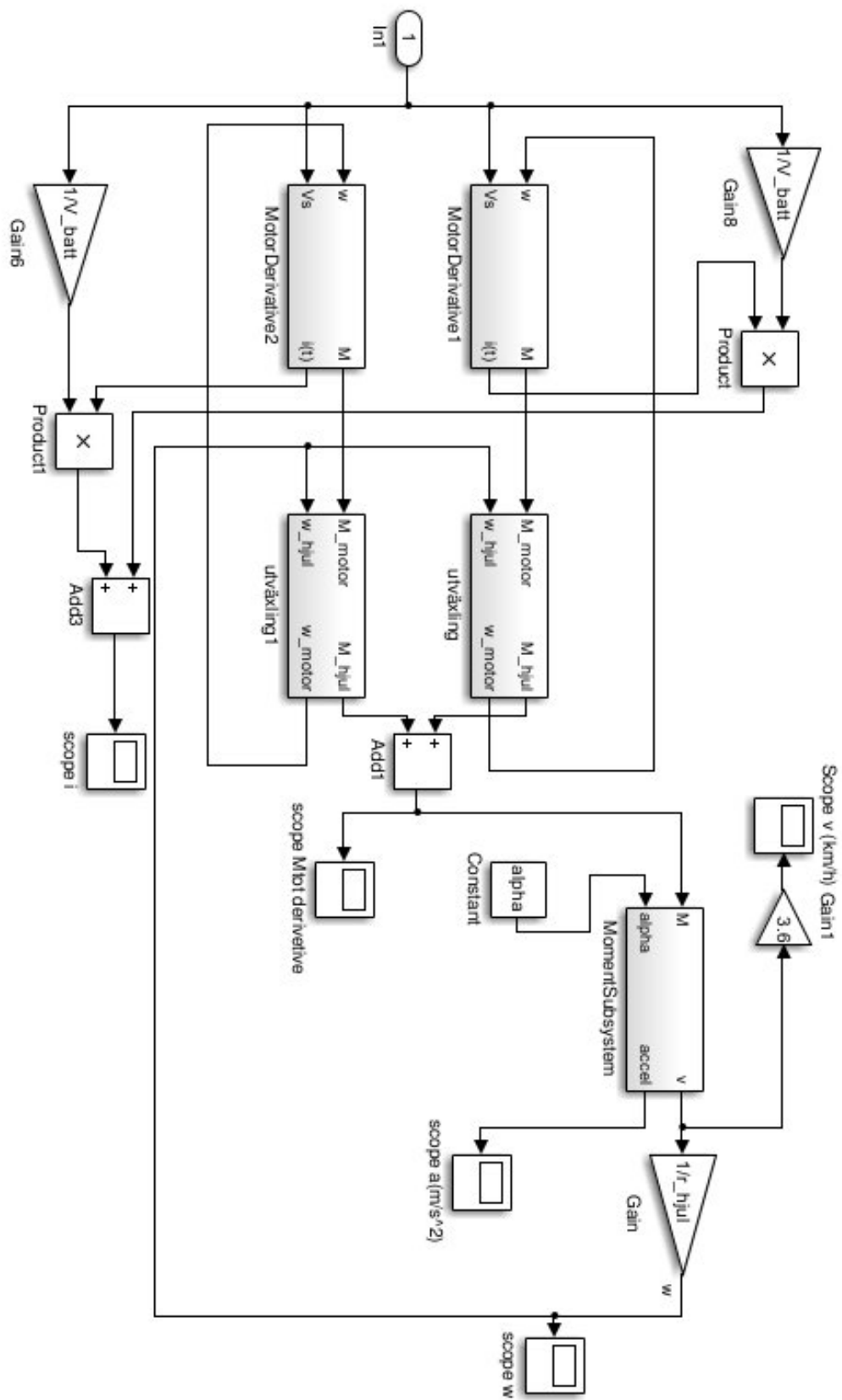
Spänningen i skruven ges av:

$$\sigma = \frac{F_{ax}}{A_{sp}} = \frac{146,6}{9,04} = 16,2 \text{ [MPa]}$$

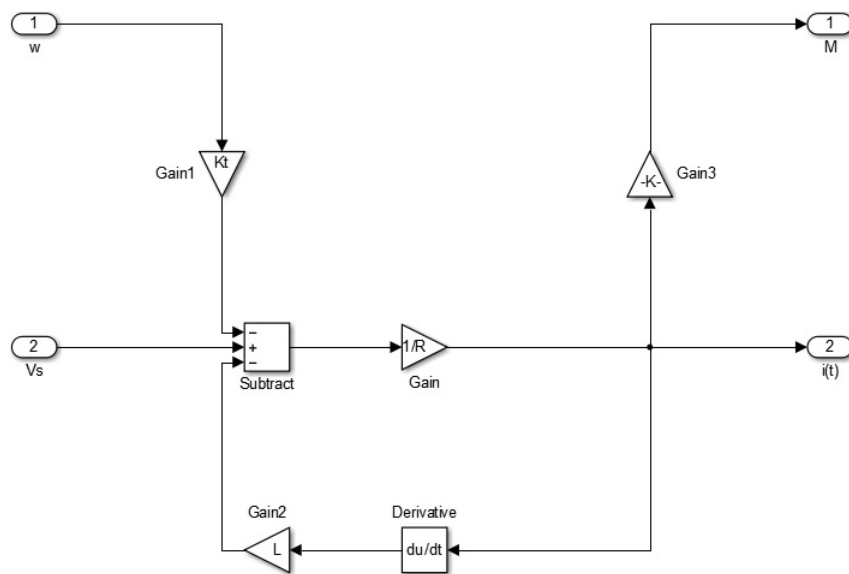
I Styrsystem



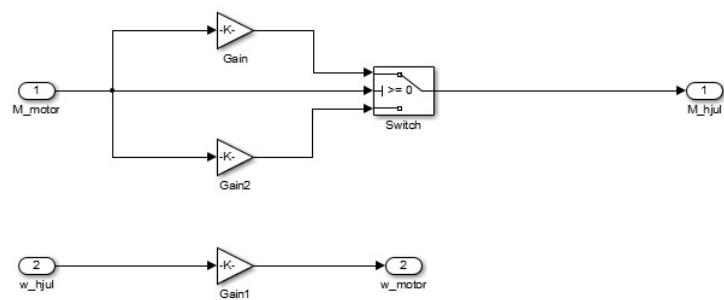
Figur 30: Visar en signalgenererare som delas upp och skickas in i Figur 31 och tar in $[w]$ som insignal för att justera spänningen.



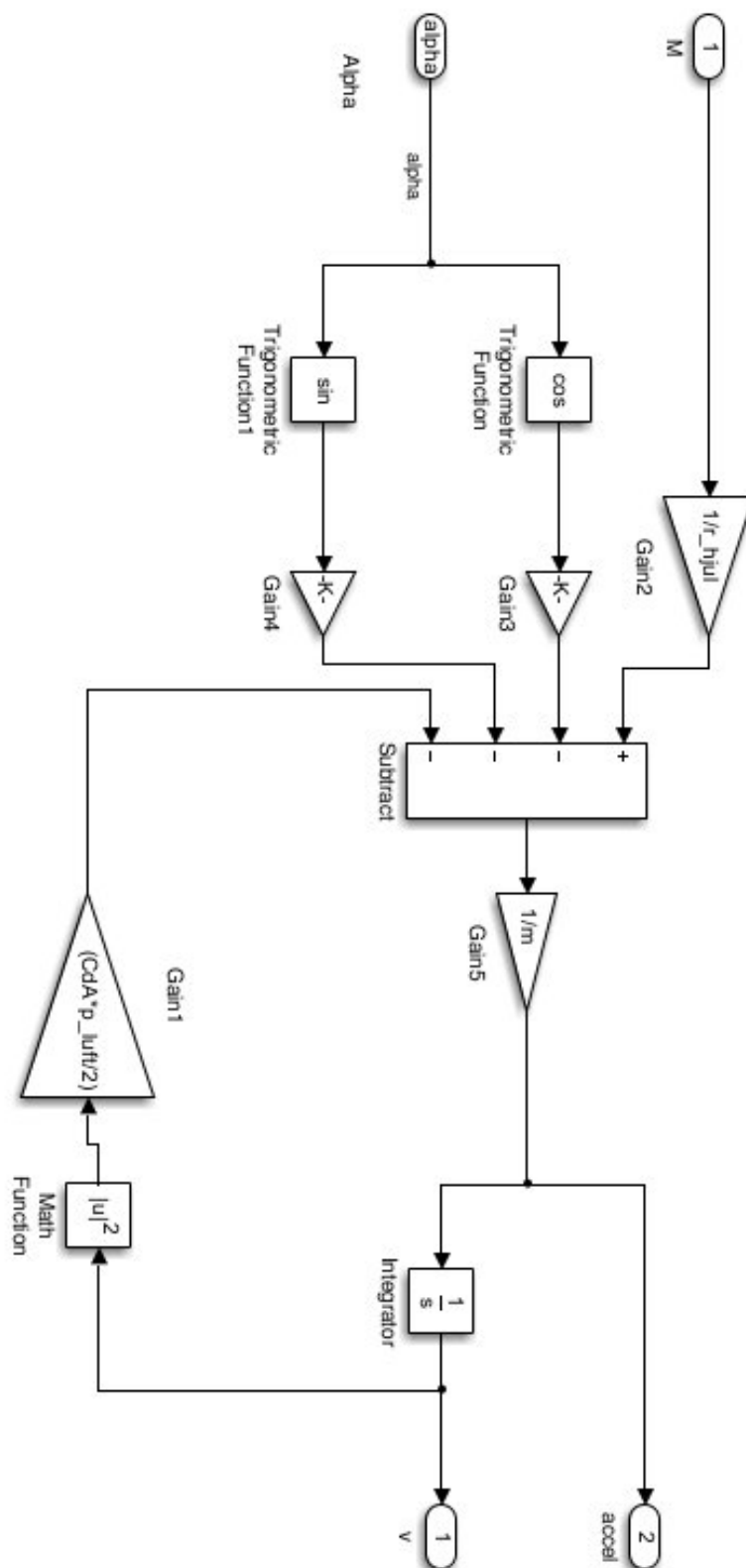
Figur 31: Block över hur hela mekaniken sker.



Figur 32: Subsystem som beskriver hur motorerna är modulerade.

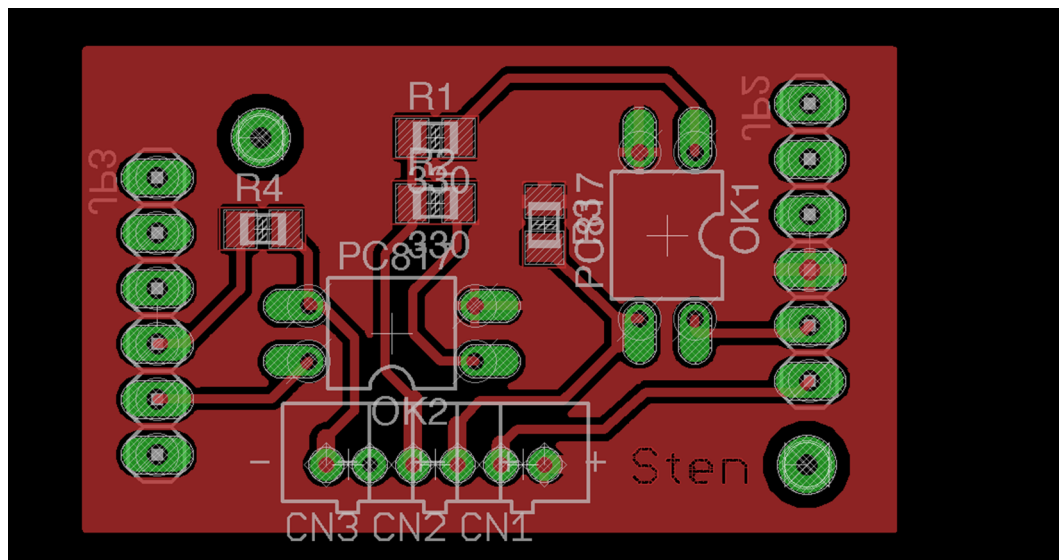


Figur 33: Subsystem som visar utväxlings omvandling.



Figur 34: Subsystem som visar longboardens dynamik.

I.1 Kretskortslayout



Figur 35: Kretskortslayout för kretsen som galvaniskt skiljer signaljorden mellan de två motordrivarna

J Kod till handkontroll

```
1  /*
2  * File:   handkontroll.c
3  * Author: Alex Bergqvist, Oscar Bodell, Andree Centervall,
4  *         Robert Samefors, Daniel Torinsson, Sven Akersten
5  *
6  * Created: 2012-09-05, 18:10
7  * Modified for Longboard: 2014-05-15, 14:36
8  */
9
10 #include <pic.h>
11 #include <stdint.h>
12 #define XTAL_FREQ 8000000
13
14 __CONFIG(FOSC_INTRC_CLKOUT & WDTE_OFF & LVP_OFF);
15 __CONFIG(BOR4V_BOR21V & WRT_OFF);
16
17 void initiering(void);
18 void calc_position(uint8_t servo, uint8_t new_position);
19 uint16_t adc_read(void);
20 void adc_init(uint8_t channel);
21 uint16_t map(uint16_t pot_value);
22
23 #define false 0
24 #define true 1
25
26 #define servo_0_active false
27 #define servo_1_active false
28 #define servo_2_active false
29 #define servo_3_active false
30 #define servo_4_active false
31 #define servo_5_active false
32 #define servo_6_active true
33 #define servo_7_active false
34
35
36 #define bitmask_pin_0 (0x01*servo_0_active)
37 #define bitmask_pin_1 (0x02*servo_1_active)
38 #define bitmask_pin_2 (0x04*servo_2_active)
39 #define bitmask_pin_3 (0x08*servo_3_active)
40 #define bitmask_pin_4 (0x10*servo_4_active)
41 #define bitmask_pin_5 (0x20*servo_5_active)
42 #define bitmask_pin_6 (0x40*servo_6_active)
43 #define bitmask_pin_7 (0x80*servo_7_active)
44
45 #define end_position (0xFFFF - 0x00FA)
46 #define time_between_pulses 0xEC76 //~ 20 ms
47
48
49 #define number_of_servos 8
50 #define output_channel 6
51 #define error_tolerance 10
52 #define deadman_pressed (deadman_status < 2)
53 #define deadman_released (deadman_status > 8)
```

```

54
55 #define max_pot 0x03B8
56 #define min_pot 0x02C4
57 #define kvot (1023/(max_pot-min_pot))
58
59 //new gloabal variable.
60
61
62 const uint8_t pattern_portc[]={ bitmask_pin_0 ,bitmask_pin_1 ,bitmask_pin_2 ,
        bitmask_pin_3 ,bitmask_pin_4 ,bitmask_pin_5 ,bitmask_pin_6 ,bitmask_pin_7 ,0
        x00};
63 const uint8_t position[number_of_servos]={0x00,0x00,0x00,0x00,0x00,0x00,0
        x00,0x00};
64 volatile uint8_t deadman_max_throttle=0,timeout=0,deadman_status = 0;
65 volatile uint16_t result_global=0;
66
67
68 volatile union{
69 uint16_t W;
70 uint8_t B[2];
71 } time[9];
72
73
74 void interrupt isr(void){
75 static uint8_t time_buff_h , time_buff_l , pattern , servo;
76 union{
77 uint16_t W;
78 uint8_t B[2];
79 } result;
80
81 PORTC=pattern;
82 TMR1ON=false;
83 TMR1H=time_buff_h;
84 TMR1L=time_buff_l;
85 TMR1ON=true;
86
87 if(++servo > number_of_servos ){
88     servo=0;
89
90     if(!RB7 && deadman_status > 0)
91         deadman_status--;
92     else if(deadman_status < 10)
93         deadman_status++;
94
95     if(deadman_pressed && deadman_max_throttle < 255)
96         deadman_max_throttle++;
97     else if(deadman_max_throttle > 0)
98         deadman_max_throttle--;
99
100     if(GO!=1){
101         //Save High / Low registers
102         result.B[1]=ADRESH;
103         result.B[0]=ADRESL;
104         result_global=result.W;
105         timeout=0;
106         GO=true;

```

```

107         } else if (timeout >= error_tolerance){
108             if(result_global > min_pot)
109                 result_global--;
110         } else {
111             timeout++;
112         }
113     }
114
115     pattern=pattern_portc[servo];
116     time_buff_h=time[servo].B[1];
117     time_buff_l=time[servo].B[0];
118     TMR1IF=false;
119 }
120
121 void main (void){
122     uint8_t i=0, throttle_value = 0;
123     for ( i=0 ; i <= 7 ; i++ ){
124         time[i].B[1]=0xFE;
125         time[i].B[0]=position[i];
126     }
127
128     initiering();
129
130     __delay_ms(10);
131
132     TMR1ON=true;
133
134     while (1){
135
136         throttle_value = map(result_global)>>2;
137
138         if (deadman_max_throttle < throttle_value){
139             calc_position(output_channel,deadman_max_throttle);
140         }else{
141             if(deadman_pressed)
142                 deadman_max_throttle = 255;
143             else
144                 deadman_max_throttle = throttle_value;
145
146             calc_position(output_channel,throttle_value);
147         }
148     }
149 }
150
151 void calc_position(uint8_t servo, uint8_t new_position){
152     uint16_t time_position, time_left;
153     if (servo < number_of_servos){
154         time_position = end_position - (new_position);
155         time_left = time_between_pulses;
156         for (uint8_t i=0 ; i < number_of_servos ; i++ ){
157             if(i == servo)
158                 time_left -= time_position;
159             else
160                 time_left -= time[i].W;
161         }
162

```

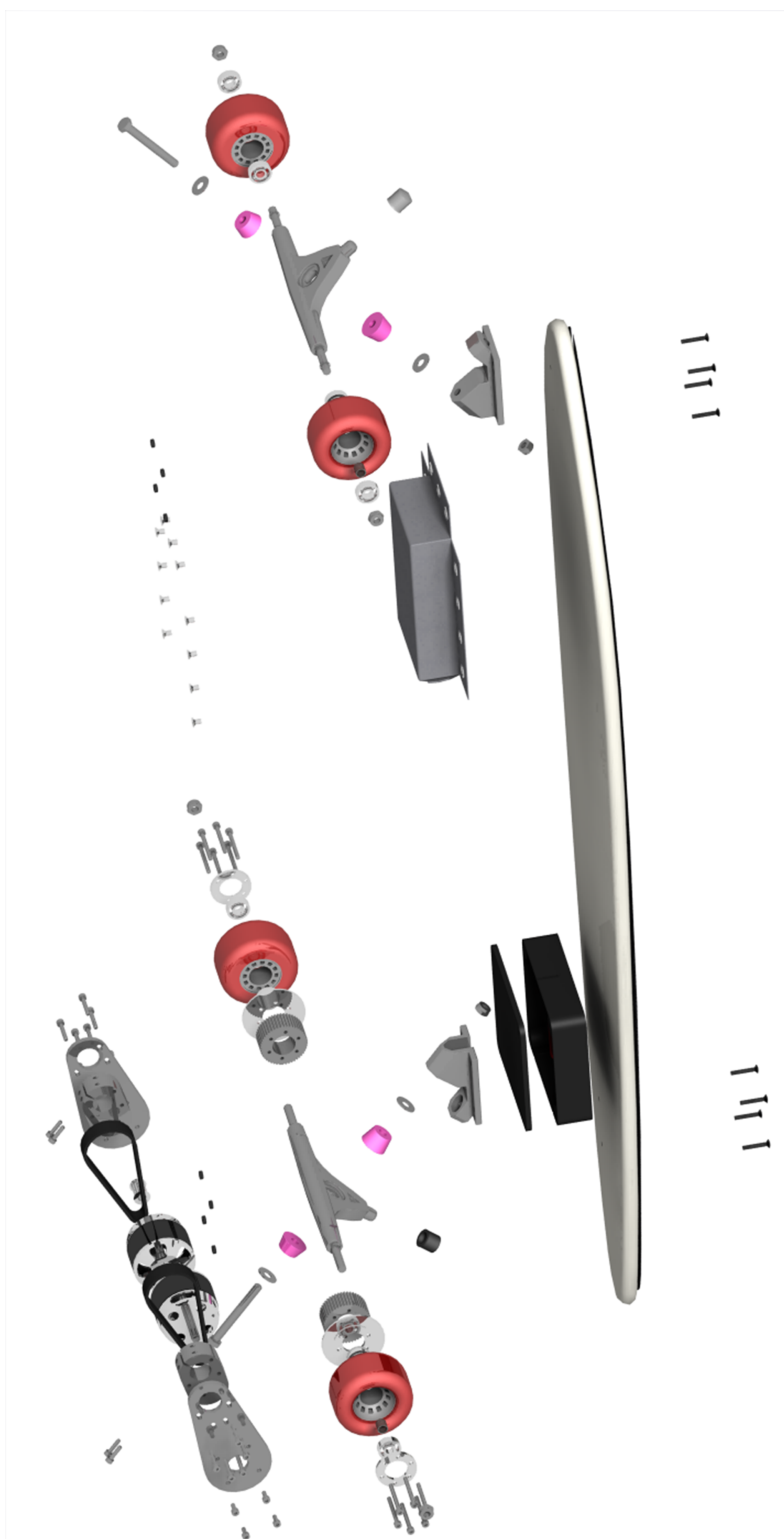
```

163     GIE=false;
164     time[servo].W = time_position;
165     time[8].W = time_left;
166     GIE=true;
167 }
168 }
169
170 uint16_t map(uint16_t pot_value){
171     if(pot_value > max_pot)
172         pot_value = max_pot;
173     if(pot_value < min_pot)
174         pot_value = min_pot;
175     return (pot_value - min_pot)*kvot;
176 }
177
178
179 void adc_init(uint8_t channel){
180     ADCON0= ADCON0 | 0b10000000;
181     VCFG1=false;
182     VCFG0=false;
183     ADCON0=ADCON0 | (channel<<2);
184     ADFM=true;
185     ADON=true;
186     GO=true;
187     __delay_ms(5);
188 }
189
190 void initiering (void){
191     TRISA=0b00000010;
192     TRISB=0b10000000;
193     TRISC=0b00000000;
194     OSCCON=0b01110111;
195     ANSEL=0b00000010;
196     ANSELH=0b00000000;
197     adc_init(1);
198
199     INTCON=0b11000000;
200     T1CON=0b00110100;
201     TMR1IE=true;
202     TMR1IF=false;
203     PORTA=0b00000000;
204     PORTB=0b00000000;
205     PORTC=0b00000000;
206     nRBPU=0;
207     WPUB=0b10000000;
208 }

```

Listing 1: Fullständig C-kod av handkontrollen.

K Sprängskiss



Figur 36: *Sprängskiss över hela longboarden.*