



Longboard som elektriskt transportmedel – Utveckling och tillverkning av nytt transportsätt

Erik Gulliksson
Fredrik Brüdigam
Johan Hansson
Marcus Gergely
Mergim Haxhiu
Valon Huskaj

Institutionen för Signaler och System
Avdelningen för Reglerteknik, Automation och Mekatronik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2014
Kandidatarbete SSYX02-14-28

Förord

Denna rapport behandlar ett kandidatarbete vid Chalmers Tekniska Högskola på institutionen för signaler och system hos avdelningen reglerteknik, automation och mekatronik. Projektet utförs av sex stycken teknologer som går tredje året på civilingenjörsutbildningen inom datorteknik, elektroteknik, maskinteknik samt automation och mekatronik under våren 2014.

Projektgruppen vill tacka forskningsingenjör Jan Bragee, huvudansvarig för prototypplabbet, som varit till stor hjälp med tillverkning och idéer kring projektet. Framförallt vill gruppen också tacka handledaren Nikolce Murgovski för sin tålmodighet och bidrag till projektet samt examinatorn Jonas Fredriksson för god vägledning och support under projektets gång.

Sammanfattning

Denna avhandling beskriver hur en elektrisk longboard utvecklas och tillverkas. Elektriskt framdrivna longboards finns redan idag, men dessa följer inte svensk lagstiftning. Ett av grundmålen med avhandlingen blir därför att framställa en longboard som tar det första steget att i största mån följa svensk lag. Genom beräkningar och simuleringar efter de krav som ställs designas och konstrueras den mot en kommersiell produkt. Longboarden modifieras med befintliga elmotorer och batterier. Styrsystem och drivlina utvecklas och tillverkas, varpå alla komponenter sätts samman till en enhet. Drivningen sker på båda bakhjulen där trucken anpassas med lager, kuggar och motorfäste. Transmissionen sker med kuggremmar, som även utgör utväxlingen mellan de två BLDC-motorerna som sitter fästa på trucken, och hjulen. Batterierna som används för att försörja motor och styrsystem med ström är av litumpolymer-typ, som idag används i många elektriska maskiner. Handkontrollen som används till att styra brädans framfart utgörs av en Wii-nunchuck som trådlöst kommunicerar med ett Arduino-kort. Nunchuckens signaler tolkas av Arduino-kortet där reglering av systemets framfart sker med hjälp av motordrivare. Slutresultatet resulterade i en fungerande longboard med en uppmätt räckvidd på 9,8 km på plan mark. Vikten på longboarden inklusive alla komponenter vägdes till 6,45 kg. En hastighet av 20 km/h kan hållas konstant och denna hastighet klarar longboarden av att hålla i backar med upp till 15 % lutning. Inköpskostnaden för samtliga delar blev 5000 SEK.

Abstract

This thesis describes how an electric longboard is developed and manufactured. Electrically propelled longboards already exist, but these do not follow Swedish law. One of the basic objectives of the thesis is therefore to construct an electric longboard that takes the first step towards following Swedish law to a larger degree. Through calculations and simulations according to the specified requirements, a product is designed and constructed as close to a commercial product as possible. The vehicle is modified with existing electrical engines and batteries. Control system and power train are developed and produced; then all the components are assembled into one unit. The propulsion is provided on both rear wheels where the truck is customized with bearings, gears and engine mounting. The transmission is done with a timing belt, which is also the gearing between the two BLDC motors that are attached to the truck, and the wheels. The batteries is used to power the motor and steering system are made of lithium polymer type, which is commonly used in many electrical machines. The remote control which is used to control the speed of the longboard consists of a Wii-nunchuck that is wirelessly linked to an Arduino board, where the regulation of the motor revolution occurs through an electronic speed controller. The final outcome resulted in a working longboard with a measured range of 9.8 km on level ground. The weight of the longboard including all components was weighed to 6.45 kg. A speed of 20 km/h can be kept constant on slopes with up to 15 % of incline. The purchase cost of all parts was 5000 SEK.

Innehållsförteckning

1. Inledning.....	7
1.1 Bakgrund	7
1.2 Syfte	8
1.3 Metod	8
1.4 Avgränsningar	9
1.5 Terminologi.....	10
2. Komponentlösning	12
2.1 Dimensionering av kraft och effekt.....	12
2.2 Motor.....	14
2.2.1 Val av motor.....	14
2.2.2 Uträkningar för motor	15
2.3 Drivlina.....	16
2.3.1 Val av motorplacering.....	16
2.3.2 Val av utväxling	17
2.3.3 Summering av komponenter drivlina	18
2.3.4 Detaljkonstruering.....	19
2.3.4.1 Konstruering för tillverkning	19
2.3.4.2 Konstruering med avseende på material och spänning	20
2.3.4.3. FEM-analys, rekonstruering och slutresultat	21
2.4 Batteri.....	23
2.4.1 Dimensionering av batteri	23
2.4.2 Val av batteri	25
2.5 Styrsystem	26
2.5.1 Val av ESC.....	26
2.5.2 Val av styrenhet.....	26
2.5.3 Val av handkontroll.....	27

3. Programmering & Konfigurering.....	30
3.1 Konfigurering av motorkontroller	30
3.2 Kommunikation mellan handkontroll & styrenhet.....	31
3.3 Programmering av styrenhet	32
4. Tillverkning och Montering	34
4.1 Montering och tillverkning drivlina	34
4.2 Montering och tillverkning av chassier till elektronik	35
4.3 Montering och tillverkning av elektronik.....	36
5. Slutresultat.....	38
5.1 Budget	39
6. Diskussion och slutsats.....	40
6.1 Diskussion av resultat.....	40
6.2 Begränsningar.....	41
6.3 Miljöaspekter.....	42
6.4 Vidareutveckling	42
Referenser.....	44
Figurförteckning.....	46
Appendix A – Kravspecifikation.....	48
Appendix B - Andra övervägda motorkoncept och noggrann förklaring av tandemmotor	49
Appendix C1 – Koncept drivlina	51
Koncept motorplacering.....	51
Koncept transmission	54
Appendix C2 – Kravspecifikation drivlina	55
Appendix C3 – Elimineringssmatriser drivlina	57
Appendix C4 – Pughmatriser drivlina.....	59
Appendix C5 – Övrig information för FEM-analys.....	61
Appendix D1 - Kravspecifikation för handkontroll	64

Appendix D2 - Konzeptmodell handkontroll.....	66
---	----

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Idag är det ett stort fokus på att utveckla mer miljövänliga fordon för att minska utsläppen av koldioxid. Biltrafiken, med sina förbränningsmotorer, är en stor bidragande orsak till att mängden koldioxid i atmosfären ökar och därför behöver biltrafiken minska i omfattning. En annan bidragande orsak till att det är bättre att gå ifrån konventionella förbränningsmotorer är att dessa blir allt dyrare att tillverka på grund av avgifter. Ett vanligt förslag, till att minska koldioxidutsläppen, är ett ökat användande av kollektivtrafik då detta skulle minska koldioxidutsläppen per capita.

Andelen som använder kollektivtrafiken ökar i Sverige och denna ökning tros fortsätta framöver. [1] För att människor skall ta sig till stationer och knutpunkter krävs dock antingen gång eller någon form av transportmedel. Restriktioner finns om vad som får tas med ombord på kollektivtrafiken och cykeln är ett sådant fordon som oftast inte tillåts. En longboard är däremot tillåten och är lätt att ta med sig på olika fordon i kollektivtrafiken då den är lätt att bära. Longboarden är en utveckling av skateboarden som generellt sett medger mjukare åkning och bättre svängradie till priset av att kunna göra tricks. Longboarden har därför utrustats med bredare och längre hjulbas, bättre kullager, större hjul vilket resulterar i att den är tyngre än en vanlig skateboard. Föraren använder sin egen kraft för att få fart på longboarden och bromsar genom att använda foten eller genom att svänga så kraftigt att sladd uppstår.

Flera nya typer av transportmedel har kommit fram tack vare att befintliga lösningar har bestyckats med en elmotor och batteri för att öka räckvidden och bekvämligheten. Exempel på detta är cykeln som utvecklats till en elcykel och senare även helt nya lösningar som segways uppkommit. Genom att bestycka en longboard med elmotor och batteri blir longboarden precis som elcykeln ett mer komplett transportmedel. De redan goda egenskaperna hos en longboard som vikt och komfort är viktiga att de behålls, men för att tillföra utökad räckvidd och hjälp i uppförbackar och raksträckor med elmotorn gör att den kan bättre konkurrera med befintliga alternativ på fordonsmarknaden. Att därför inte öka vikten på konstruktionen är en viktig aspekt så att den kan bäras av en person utan problem.

Det finns idag redan ett antal tidigare lösningar där longboards elektrifierats. Att utveckla en elektrisk longboard är alltså inget nytt. Problemet med flera av dessa tidigare elektriska longboards är att de inte följer den lagstiftning som finns i Sverige. Svenska lagen gällande cykeln ändrades 2010 för, att anpassas till segways. Det är denna lag som projektet initialt syftade till att falla under. Denna lag innebär bland annat att fordonet maximalt får framföras i 20 km/h vid obegränsad tillförd effekt. [2]

Med en elektrisk longboard som transportmedel kan resorna bli både roliga och effektiva. Att kunna glida fram både uppför och nedför med hjälp av elkraft och samtidigt värna om miljön genom att undvika fossila drivmedel. I och med att en longboard får tas med på kollektivtrafiken (till skillnad från cykel och segways) kan räckvidden utökas mångdubbelt upp genom att longboarden kan användas mellan stationer och slutdestinationer och på så sätt kan ett nytt transportsätt utvecklas.

1.2 Syfte

Syftet med projektet är att designa och tillverka en fungerande longboard som uppfyller svensk lagstiftning och får framföras på svenska vägar. Detta innebär maximalt 20 km/h vid obegränsad tillförd effekt. Genom att utgå från en befintlig longboard och montera drivning, styrsystem och batterier kan projektgruppen förbättra longboarden som transportmedel utan att förlora dess tidigare fördelar. En viktig aspekt är vikten, som måste hållas så låg att den kan bäras utan problem av en person, vilken är satt till 7 kg.

Att hålla en god räckvidd är en nyckelfaktor och genom energieffektiv styrning har mål om att kunna uppnå sträckor på upp till en mil satts. En helt ny lösning kommer inte tas fram, utan genom att studera tidigare lösningar och förbättra dessa kommer projektgruppen kunna erbjuda en ny attraktiv produkt på marknaden till ett rimligt pris.

1.3 Metod

Projektet utfördes genom en förstudie i vad som fanns tillgängligt idag på marknaden och vad som är på gång inom området elektrisk longboard. Projektet delades sedan upp i olika ansvarsområden där ansvarade för respektive del i projektet så som drivlina, motor och batteri och styrsystem. Varje grupp genomförde olika uträkningar och informationsstudier för att kunna bestämma vilka komponenter som skulle användas för att kunna möta kravspecifikationen. Därefter torrtestades varje komponent för att se hur den uppförde sig jämfört med gruppens egna beräkningar och specifikationer från respektive del. Efter torrtestning monterades samtliga komponenter och fordonet i sin helhet testades. För att sammanfatta vilka komponenter det är som har beställts presenteras följande lista:

- Arduino-kort
- Elmotorer
- Batterier
- Longboard
- Remmar för drivning
- Kugghjul
- ESC
- Handkontroll

Efterföljande lista är ett sammandrag av de komponenter som tillverkades av gruppen:

- Longboardhängare (eng. hanger, axel)
- Batterilåda
- Motorfästen
- Låda till Arduino-kort
- Mjukvara

Rapporten är uppbyggd så att den inleds med dimensionerande beräkningar för de krafter som inverkar på systemet och därefter varje ingående komponent redogörs var för sig i hur dessa har valts. Kravspecifikationer och Pugh-matris på alternativa lösningar redovisas i respektive bilaga och det slutgiltiga valet med motivering följer i själva rapporten under kapitel 2 komponentlösning. Vidare beskrivs konfigurering av ESC:n och dess olika parametrar följt av

programmering av Arduino-kortet med tillhörande flödesschema på hur systemet är uppbyggt och opererar. Tillverkning och montering av de olika delarna följer efter detta på hur de olika delarna tillverkades och sedan monterades. Ritningar till respektive del finns i *Appendix E - Ritningar*.

Därefter redovisas de resultat som projektet utmynnat i. Med data från testningar och hur väl de stämmer över de krav som ställts.

1.4 Avgränsningar

För att kunna genomföra projektet krävs avgränsningar som gör att kärnproblemet bibehålls och projektet mer överskådligt. Antalet timmar som kan läggas på projektet är begränsat genom antalet gruppmedlemmar och att det utförs under ett halvår. Budgeten är begränsad till 5 000 SEK som fördelas enligt *Figur 22* under *5.1 Budget*. En helt ny lösning kommer inte att tas fram utan fokus ligger i att förbättra redan befintliga lösningar och anpassa dem till de krav som ställs. Kravspecifikationen för hela longboarden är bifogat i *Appendix A - Kravspecifikation*. Longboarden kommer att anpassas till följande förhållanden:

- *Användningsområden och skydd mot yttre element*

Produkten ska anpassas efter användning i torra, relativt rena förhållanden. Detta för att ett mångsidigt skydd från yttre element skulle innebära tekniska svårigheter som antagligen skulle kosta projektet för mycket tid och pengar.

- *Svenska marknaden*

Produkten ska anpassas efter den svenska marknaden och den svenska användarbasen. Här är produkten fortfarande ny och står inför ingenjörsmässiga utmaningar och det är den marknaden som är mest känd för projektgruppen.

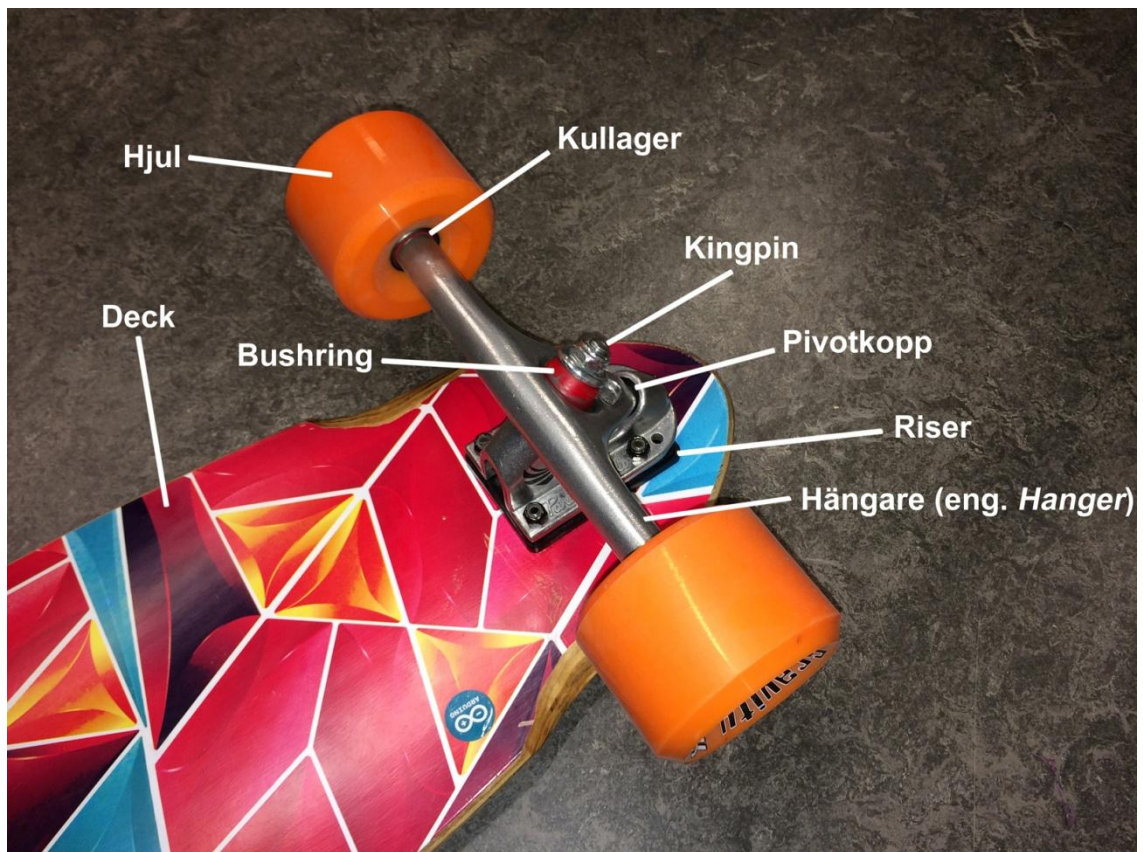
- *Fast konstruktion*

För att kunna säkerställa helhetskonceptets kvalitet och underlätta underhåll och felsökning i framtiden har en fast konstruktion valts, vilket betyder att elektriska longboarden ses som *en* enhet och produkt. Detta gör att projektgruppen kan garantera att hela produkten fungerar som den ska.

1.5 Terminologi

Då skateboarden är en amerikans uppfinning kommer även longboardens terminologi från engelskan. En longboard består bland annat av komponenter angivna i *Figur 1*. Den så kallade *trucken* består av alla komponenter bilden, som sitter mellan kullager och riser.

- **Kullager** – I hjulen sitter kullager för att minska friktionen mot axeln.
- **Deck** – Longboardens bräda, alltså det man står på, kallas deck.
- **Bushring** – En bushring är den gummitfjädring som sitter i longboardens hängare och bestämmer vilken svängförmåga trucken får.
- **Kingpin** – Kingpinnen är den axel som håller ihop hängaren med truckens basplatta och som håller bushringen på plats.
- **Riser** – Distanser som ger större avstånd från decket.
- **Hängare** – Hängaren är den rörliga delen av trucken som gör det möjligt att svänga. Genom hängaren löper hjulaxeln.
- **Pivotkopp** – I pivotkoppen vilar hängaren och är den punkt som hängaren kan vridas runt.
- **Nunchuck** – En handkontrolltyp som tillverkas initialt mot spelkonsolen Nintendo Wii.
- **Arduino** – Arduino är märket på en mikrokontrollerenhet med enkel öppen kretsdesign med stöd för in och utgångar.
- **ESC** – ESC står för Electronic Speed Control och är den hårdvara som används för att styra varvtalet på elmotorer.
- **Flexsensor** – När en flexsensor, eller underlaget den är fastsatt på, böjs indikeras detta genom att resistansen ändras.
- **Outrunner** – Outrunner är en typ av BLDC-motor som har spolarna i centrum på motorns axel med permanentmagneterna roterandes runt, till skillnad från motsatsen inrunner, där permanentmagneterna sitter på axeln med spolarna runt.
- **BLDC-motor** - BLDC står för Brushless Direct Current, och är en typ av likströmsmotor som inte har några kontaktytor mot den rörliga delen för att överföra energi. Detta sker istället induktivt med magneter och spolar.
- **CNC** – NC står för Numerical Control och det första C:et för Computer. CNC eller NC brukar användas för att beskriva datorstyrda tillverkningsmaskiner som exempelvis en svarv eller en fräs.
- **G-kod** – G-kod är benämningen på det vanligaste programspråk som används för att styra NC-maskiner.



Figur 1 - Longboardens delar. Projektgruppens inköpta longboard på bild.

2. Komponentlösning

För att kunna bestämma vilka lösningar och komponenter som kommer att användas hos longboarden behövs beräkningar och simuleringar, vilka är presenterade nedan. De komponenter och lösningar som väljs är beskrivna i denna del med ytterligare information finns i respektive appendix där olika typer av lösningar påvisas och jämförs med varandra för att uppnå önskat resultat.

2.1 Dimensionering av kraft och effekt

För att komma fram till vilka komponenter som väljs till projektet behövs data på de minimikrav som efterfrågas i kravspecifikationen. Motorn och batteriet är de komponenter vars prestanda de grundläggande beräkningarna behandlar.

Dimensioneringen av motorns effekt

$$P_m = F_t * v \quad (1)$$

beror på den maximala totala kraften

$$F_t = F_d + F_f + F_l + F_a \quad (2)$$

som krävs för att driva Longboarden framåt och den önskade maxhastigheten v . Kraften i sin tur beror på luftmotståndet F_d , brädans friktionsmotstånd F_f , lutningsmotståndet

$$F_l = \sin \alpha * m * g \quad (3)$$

samt ekipagets acceleration a och massa m i accelerationskraften

$$F_a = a * m. \quad (4)$$

Luftmotståndsekvationen

$$F_d = \rho_{l/2} * v^2 * C_{dm} * A_m \quad (5)$$

beror på luftens densitet ρ_l , luftmotståndskonstanten för en människa C_{dm} och en människas frontalarea A_m . Friktionsmotståndet

$$F_f = C_r * \cos \alpha * m * g \quad (6)$$

beror på rullmotståndskonstanten C_r , markens lutning α och gravitationen g .

Koefficienterna för luft- och rullmotstånd är svåra att mäta och uppskatta, så en mätning på hela systemet görs för att förenkla ekvationen. Krafterna som verkar på Longboarden och föraren mäts med hjälp av en dynamometer som fästs i ett rep som i sin tur sitter fast på dragkroken på en bil, se *Figur 2*. Motståndet mäts upp till 40[N] i 5.6[m/s] på plan väg. Luftmotståndet beror kvadratisk på hastigheten och rullmotståndet beror på underlagets lutning. I förhållande till accelerationskraften är denna kraft väldigt liten, så ett antagande görs att den kan ses som endast linjärt beroende av hastigheten enligt $F_{lr} = 7.1 * v$. Alltså ökar luft- och rullmotståndet med 7.1[N] per 1[m/s].



Figur 2 - Mätning av krafter som verkar på systemet vid konstant hastighet

Den förenklade ekvationen blir då, $F_t = F_{lr} + F_l + F_a$.

För att dimensionera motorn behövs systemets maximala effektbehov. Ingående värden till den förenklade kraftekvationen specificeras enligt följande:

- Maximal acceleration, $a = 3 \text{ [m/s}^2\text{]}$
- Maximal massa (förare och longboard), $m = 100 \text{ [kg]}$
- Maximal hastighet, $v = 20 \text{ [km/h]} = 5.6 \text{ [m/s]}$
- Kunna hålla maximal hastighet och ha maximal acceleration i uppförsbacke med 5 % lutning, $\alpha = 0.0393 \text{ [rad]}$
- Tyngdaccelerationen, $g = 9.81 \text{ [m/s}^2\text{]}$

Detta ger kraften $F_t = 378.5 \text{ [N]}$ och kraften $P_m = 2103 \text{ [W]}$.

För att dimensionera batteriets effektkrav antas en förlust i motorn på 85 %. Detta ger att batteriet måste klara av minst $P_b = P_m/0.85 = 2471 \text{ [W]}$. Batteriets kapacitet, $E_b = P_{b,plant} * s/(v * 3600)$, vid körning på plant underlag i max hastighet beror på effekten, vid körning under dessa förhållanden, och tiden det tar att köra önskad maxsträcka. Effektbehovet fås återigen av ekvationen men med nya ingående värden:

- $a("a") = 0$
- $\alpha("alpha") = 0$
- Maxsträcka, $s = 10 \text{ [km]}$

Detta ger effekten $P_{b,plant} = 261.4$ [W] och kapaciteten $E_b = 130.7$ [Wh].

2.2 Motor

Den typ av elektrisk motor som har valts till longboarden är av typen Brushless-DC (BLDC) då denna typ av motor möter kravspecifikationen och orkar driva longboarden. En BLDC-motor används för att den har ett högt vridmoment, minimalt slitage då den inte har borstar men behöver istället ett mer komplicerat styrsystem. Denna kommer omvandla den elektriska energin från batteriet till mekanisk energi via transmissionen som får fordonet att röra sig framåt.

2.2.1 Val av motor

För att lättare välja motor utefter prestanda och pris formuleras det ett prisindex, se *Tabell 1*, som är en kvot mellan pris och motorkonstant, K_v [RPM/V], där motorkonstanten representerar det maximala varvtal som motorn kan leverera.

$$\frac{2 * \text{Pris} * 6.52^1}{K_v} = \text{prisindex}. \quad (7)$$

Motorkonstantens K_v fås ifrån motorspecifikationerna givna av tillverkaren eller återförsäljaren, men kan också räknas ut enligt dess formel

$$K_v = \frac{\omega}{U_{matningspänning}}. \quad (8)$$

Modell	Kv [rpm/V]	Totalt pris, exl. Frakt [SEK]	Total effekt [W]	Prisindex
NTM Prop Drive 50-60	270	459,2688	✓ 4800	1,70
Turnigy SK3 4250-350	350	474,656	✗ 2380	1,36
Turnigy G60-300	300	698,4224	✓ 2850	2,33
Turnigy SK3 5055-320	320	641,9592	✓ 3260	2,01
Turnigy SK3 5055-280	280	641,9592	✓ 3020	2,29

Tabell 1 - Tabell över olika motorer som övervägts efter installation med tandemmotor. Samtliga motorer möter våran kravspecifikation och har därför övervägts till projektet

Det näst bästa alternativet, sett till prisindex, har visats sig vara en tandemmotor (två motorer parallellt) med motorer av typen **NTM Prop Drive 50-60**, se *Figur 3*.

Anledningen till att motorerna överdimensioneras gentemot kravet på 2.1 kW, se Dimensionering beräkningar, är för att motorerna egentligen är avsedda för radiostyrda flygplan och kylvanligtvis av propellern på dessa. Skälet till att två motorer används är att den totala effekten som krävs delas upp på två motorer vilket gör att motorerna inte behöver köras nära sitt effekttak. Större motorer har även starkare lager och infästningar vilket är



Figur 3 - NTM Prop Drive 50-60 270Kv, Motorn som har bestämts att användas

¹ Dagens dollarkurs (2014-02-28)

viktigt ur en hållfasthetspunkt. Då longboarden inte har samma luftflöde runt motorerna måste istället effekttaket höjas, för att inte motorerna ska överhettas och brinna upp. Överdimensionering kan med fördel användas om longboarden utrustas med regenerativ bromsning då kraften som appliceras för bromsverkan inte bör vara för nära effekttaket på 2400W utan skall ha god marginal.

I och med att BLDC-motorer förenklat sett fungerar som synkrona trefasmotorer, kräver även de en komplicerad styrning. För att styra motorerna krävs en extern motorkontroller, s.k. *ESC* (Electronic Speed Control), som levererar en trefasspänning vilket reglerar magnetfältet i motorn. Se 2.5.1 *Val av ESC* för mer information om detta.

2.2.2 Uträkningar för motor

Från motorspecifikationerna från grossistens hemsida², räknas den maximala effekt som en motor klarar av att utveckla. I uträkningarna används den angivna, utifrån motorspecifikationen från återförsäljaren, maxeffekten på 2400W:

$$P_{MAX,motor} = 2400 \text{ W}, K_v = 270 \frac{\text{rpm}}{\text{V}}, U_{MAX} = 30 \text{ V} \quad (9)$$

Efter dessa värden räknas maximalt varvtal ut för en motor:

$$\omega_{MAX \text{ RPM}} = 270 \frac{\text{rpm}}{\text{V}} * 30 \text{ V} = 8100 \text{ rpm} = 848,23 \frac{\text{rad}}{\text{s}}. \quad (10)$$

I kommande ekvation räknas det maximala vridmoment som en motor kan åstadkomma, vilket teoretiskt inträffar vid rotationshastigheten 0. Detta antagande kommer efter sambandet mellan moment, effekt och vinkelhastighet [3].

$$M_{max} = \frac{2 * P_{max}}{\omega_{max}} = \frac{4 * P_{max}}{\omega_{max}} = \frac{4 * 2400 \text{ W}}{848.23 \text{ rad/s}} = 11.32 \text{ Nm} \quad (11)$$

Vid halva maximala vinkelhastigheten har motorn sin maximala effekt. Den totala effekten blir det dubbla vid två motorer. Om svaret från ekvation (11) jämförs med kravspecifikationen, se *Appendix A*, ser vi att motorerna ligger inom de kraven vi ställt angående vridmomentet.

Därefter kalkyleras det vid vilket varv som motorn kommer att nå sin maximala effekt, se ekvation (12), och där fordonet kommer att framföras i den hastighet som kravspecifikationen angav, enligt ekvationerna från boken *Introduction to Mechatronics and Measurement Systems* [3].

$$\omega_{max \text{ effekt}} = \frac{\omega_{max}}{2} = 424,2 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \quad (12)$$

² http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/_22036_NTM_Prop_Drive_50_60_270KV_2400W.html, hämtad från Hobby King 2014-02-15

2.3 Drivlina

Syftet med drivlinan är att föra över kraften från motorn eller motorerna till hjulen. En longboardtruck fungerar genom att när användaren applicerar tryck på ena sidan av däckets lutas det därmed i förhållande till marken och hängaren som hjulen är monterade på roterar runt pivotkoppen, se *Figur 1*.

Rörelsen resulterar i att avståndet mellan de hjul som är innerst och ytterst i svängen och ökar, vilket medför att longboarden svänger. Avstånd och rotation mellan däckets och hängaren ändras alltså så fort longboarden svänger, vilket i sin tur innebär att drivlinan och därmed motorn bör vara fäst på hängaren på trucken för att ha ett konstant axelavstånd och vinkel i förhållande till hjulen.

Enligt 2.1 *Dimensionering av kraft och effekt* skall motorn köras i en annan vinkelhastighet än hjulen för optimal dimensionering. Detta innebär att en utväxling mellan hjul och motor bör konstrueras. Enligt ovanstående resonemang måste även utväxlingen sitta på hängaren i trucken.

Utifrån följande argumentering har 8 olika koncept på motorplacering och 4 olika utväxlingar tagits fram, se *Appendix C1- Koncept drivlina*. Därefter tas en kravspecifikation, se *Appendix C2 – Kravspecifikation drivlina*, för hela drivlinan fram med utgångspunkt från projektets mål och kravspecifikation, se *Appendix A - Kravspecifikation*. Kravspecifikationen beskriver de fysiska förutsättningarna som gäller för att kunna konstruera en drivlina som kan användas i 5 år och ändå tåla en uppskattad hård, men normal användning.

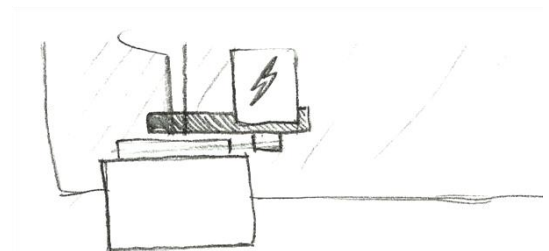
Utifrån detta upprättas en elimineringsmatris, se *Appendix C3 – Elimineringsmatriser drivlina* som sällar bort de koncept som inte uppfyller kraven. Utöver kravspecifikation formuleras och viktas attraktiva egenskaper hos drivlinan, som t.ex. användarvänlighet, varpå de kan användas i en Pughmatris, se *Appendix C4 – Pughmatriser drivlina*, där den mest lämpade motorplaceringen och transmissionen tas fram. Slutresultaten från matrismetoderna finns att läsa om i rubrik 2.3.1 och 2.3.2 nedan.

2.3.1 Val av motorplacering

Med Pugh-matrisen, se *Appendix C4 – Pughmatriser drivlina* som grund har koncept 1. Under longboarden, på trucken med kraftöverföring direkt på hjulet valts som slutgiltigt koncept att använda på longboarden.

Konceptet innebär att motorn monteras i ett fäste på hängaren, se *Figur 4*. En utväxling går därefter från motorn ner till ett kugghjul som sitter på fäst på hjulet.

Genom att montera motorn/motorerna under longboarden blir de och transmissionen skyddade, vilket naturligt innebär en robust konstruktion, utan att behöva bygga stora skydd för motorerna. Den största nackdelen med denna lösning är att konstruktionen får ont om plats. Anledningen till detta är som tidigare nämnts att den är fixerad på hängaren, som är en del av trucken som roterar i förhållande till däckets då longboarden svänger.



Figur 4 - Förklarande bild på koncept 1. Motorn sitter monterad på ett fäste som går ut från hängaren. En transmission går ner till ett kugghjul fäst på hjulet.

2.3.2 Val av utväxling

BLDC-motorers effektkurva når ett maximalt värde vid ett visst varvtal. Denna effekt kommer att krävas då accelerationen är som högst, medan fordonet åker i uppförsbacke i full fart $v_{max,c}$, vilket är specificerat till 20 km/h (se *Appendix A – Kravspecifikation*). Med hjulens radie r_{hjul} kommer hjulens rotationshastighet ω_{hjul} bli

$$\omega_{hjul} = \frac{v_{max,kravspec}}{r_{hjul}} = 146.2 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 1396 \text{ rpm} \quad (13)$$

Då motorerna i huvudsak dimensionerande egenskap är dess maximala uteffekt, är det viktigt att motorerna varvtal $\omega_{motor,maxeffekt}$ då detta inträffar motsvarar hjulens maximala varvtal $\omega_{hjul,maxhastighet}$. En utväxling i_0 ,

$$i_0 = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{\omega_{motor,maxeffekt}}{\omega_{hjul,maxhastighet}} = \frac{424.2}{146.2} = 2.90 \quad (14)$$

kompenenserar för dessa skillnader. Övriga krav och då indirekt dimensionerande faktorer på drivlinan finns presenterade i *Appendix C2 – Kravspecifikation drivlina*, t.ex. angiven maximalt vridmoment som skall överföras.

Utifrån ovanstående ekvationer, kravspecifikationen och information från tabell 7.1 Maskinelement [4] har fyra intressanta kraftöverföringar sällats fram. Dessa är

- Kedjedrift
- Kilrem/Multi-Poly V-rem
- Tandrem/kuggrem
- Kuggväxel

Pughmatrisen, se *Appendix C4 – Pughmatriser drivlina* visar att kuggremdrift inte uppvisar några större svagheter generellt sett och har en högre totalpoäng än övriga lösningar. Med detta underlag väljs tandrem/kuggrem som slutgiltig lösning för transmissionen.



Figur 5 - Tandrem/kuggrem kommer att användas som transmission i longboarden.

Tandrem eller kuggrem, se *Figur 5*, består av ett lager kord (kärnan) som tar upp lasten och tillverkas i antingen stål, glasfiber eller kolfiber. Gummi omger korden och även tänderna (kuggarna) som ligger i ingrepp (s.k. *formbetingad transmission*) mot drivhjulet, består av gummi. Transmissionsvalet grundas på de många fördelarna hos tandremdrift som finns listade i tabell se figur 1 [4] och kapitel 10 från Maskinelement del B [5]

- litet utrymme
- låg vikt
- tyst gång
- liten förspänning
- ingen risk för slirning (s.k. *formbetingad transmission*)
- hög verkningsgrad (93-98%)
- klarar stora utväxlingar (1:15 normalfall 1:50 specialfall)
- underhållsfri
- viss förslitning, men inga andra betydande nackdelar

Enligt i figur 7.5 i Maskinelement del B [6] lämpar sig remdrift utmärkt för en elektrisk longboard då både longboardens moment och varvtal ligger mitt i användningsområdet för denna typ av transmission.

Huvudargumenten till att inte välja det alternativ som rakas näst högst enligt Pugh-matrisen, är att kilremmar kräver förspänning, vilket medför större krafter i motorn och fästena och kan transmissionen kan också slira vid för låg förspänning/hög last (s.k. *kraftbetingad transmission*).

2.3.3 Summering av komponenter drivlina

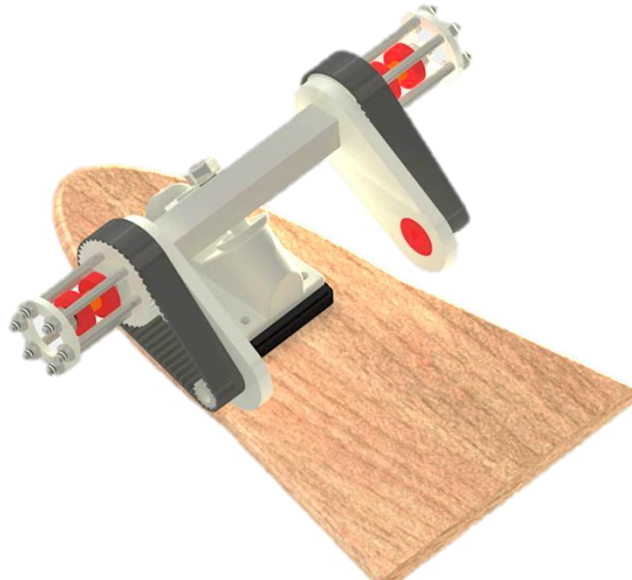
Genom dessa två delar av drivlinan har ett totalkoncept tagits fram. Dessa är som tidigare nämnt koncept 1. *Under longboarden, på trucken med kraftöverföring direkt på hjulet med kuggremdrift som transmission.* Detta totalkoncept är vedertaget och används idag (2014-03) av en av de största aktörerna på el-longboardsmarknaden. Konceptet innebär att endast en liten del av projektgruppens befintliga truck behöver dimensioneras om och att körkänslan i longboarden påverkas minimal. Detta i sin tur leder till att gamla hängaren endast behöver dimensioneras om för att klara fästningen för den extra lasten som drivningen innebär, samt designas så att motorfästet kan sättas fast på trucken.

Utifrån denna grund har den befintliga hängaren blivit 18 mm längre för att få plats med de 60 mm breda motorerna, samt att botten av hängaren fått ett rektangulärt tvärsnitt för fästning av motorfäste, se *Figur 6*.



Figur 6 - CAD-modell av koncept på drivlinan t.v. och nuvarande truck t.h. De två bronsfärgade cylindrarna är longboardens två motorer. På bilden svänger longboarden för att bättre visa hur drivlinan ser ut och fungerar.

Som tidigare beskrivits sitter motorfästet fast mellan hängaren och motorn se *Figur 7*. Motorn sitter fastskruvad i motorfästet och axelns radialkrafter tas upp av lagret (rött) som sitter fixerat mellan ett hål i motorfästet genom trycket från motorn.



Figur 7 - CAD över en prototyp av drivlinan där motorer, hjul och justeringsstaget blivit bortplockade. Här ser vi hur kraftöverföringen går från motor via kuggrem ner till kugghjulet som via genomgående skruvar sitter fast på hjulen. Motorernas axlar går igenom de röda motorkullagren som är fästa på motorfästet. Motorerna ska sitta fast i fästena med skruvförband runtomkring de röda motorlagren; dessa skruvar är dock inte utritade.

2.3.4 Detaljkonstruering

Efter att en övergripande design av drivlinan bestämts skall alla delar detaljkonstrueras där deras slutgiltiga form, material och tillverkningsmetod tas fram.

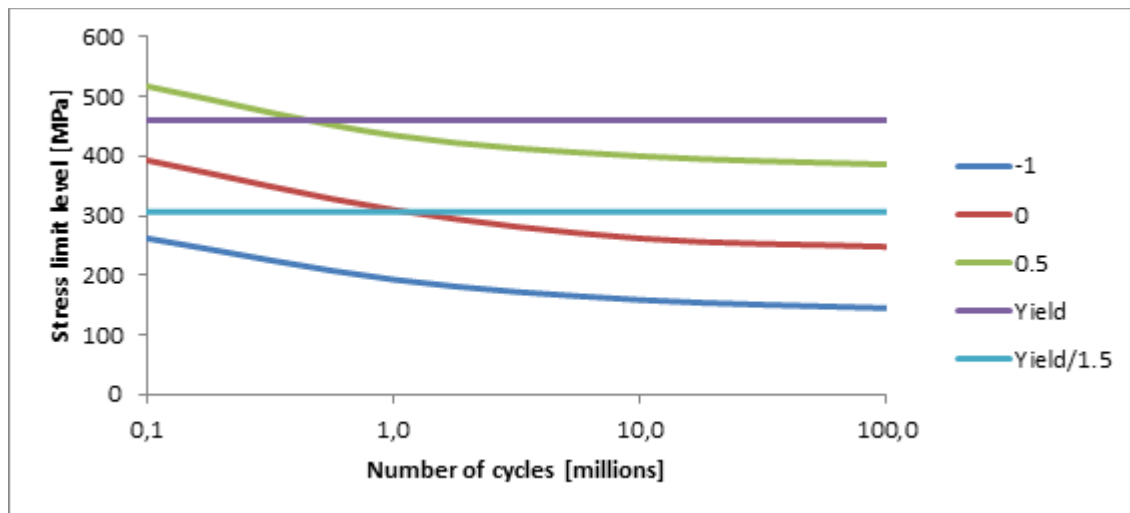
2.3.4.1 Konstruering för tillverkning

Utifrån konceptet tas en detaljkonstruktion fram som tar hänsyn till satta krav, se ritningar i *Appendix E - Ritningar*. Förutom dessa krav konstrueras truckens mekaniska delar efter DFM (Design for Manufacturing), att delarna kan tillverkas i de maskiner som finns tillgängliga. De tillgängliga maskiner som används är

- 3-axlig NC-fräs med ± 0.05 mm i tolerans, stort glapp och låg mekanisk effekt
- Manuellt styrd fräs med ± 0.01 mm i tolerans
- Pelar- samt handbormaskin (vanliga "korta" borrar)
- Svarv
- Manuella gängningsverktyg
- Mätinstrument - mikrometer, skjutmått, mätblock, vinkelhake

2.3.4.2 Konstruering med avseende på material och spänning

Material som används för tillverkning av drivlina har varit begränsat till allmänna, omärkt konstruktionsstål och aluminium 7075. Eftersom konstruktionsstålet varit omärkt, har det antagits att dessa tillhört de bättre konstruktionsstål som funnits i verkstaden och därmed haft en sträckgräns på 350 MPa. För att ta reda på den faktiskt tillgängliga maxspänningen som aluminiumdelarna kan konstrueras efter, har Wöhler-diagram [7] för Al-7075 används.



Figur 8 - Wöhler-diagram för al-7075. Linjerna (-1, 0, 0.5) beskriver spänningsamplituden. T.ex. beskriver linje 0 vid 1.8 miljoner cykler att spänningen kan tillåtas mellan 0 och 300 MPa innan brott sker.

Wöhler-diagrammet visar att beroende på lastfall kommer den tillåtna maximala spänningen i konstruktionen att variera avsevärt. En rimlig approximation som gjorts i projektet är att lasten varierar mellan halva och hela spänningsvidden av förarens vikt + en säkerhetsfaktor på 1.5. Den utmattande lasten räknas alltså variera mellan 70kg och 140 kg. Det totala cykelantalet, det vill säga antalet vibrationer som longboarden kommer att utsättas för under sin livslängd på 5 år är ytterst svårt att approximera, varför trucken konstrueras efter diagrammets maximala antal cykler (100 milj.). Maximalt tillåtna spänningen för aluminiumdelarna i konstruktionen sett från det normala lastfallet blir alltså 395 MPa. Detta är i samma storleksordning som lågcykelutmattning av 0 till maximal spänning. Eftersom inga delskadeteorier används här avrundas dessa tillsammans ner till 330 MPa, för att ha lite marginal.

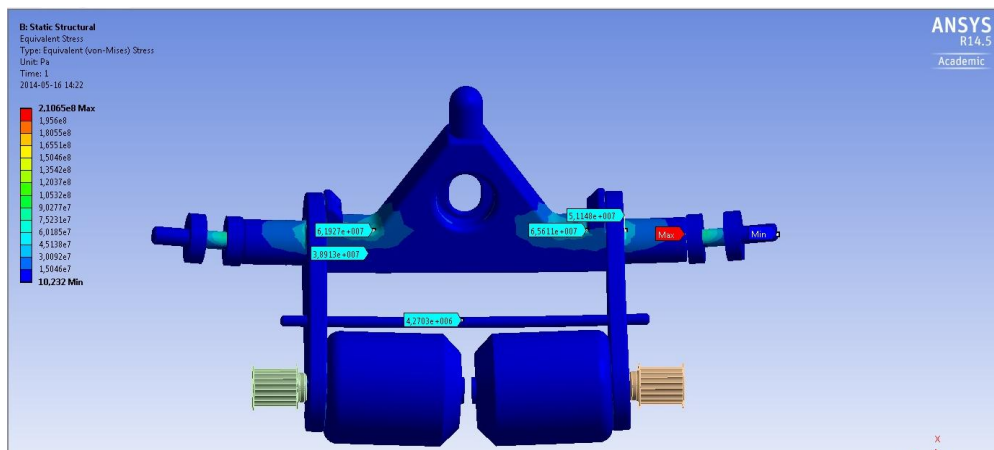
2.3.4.3. FEM-analys, rekonstruering och slutresultat

Genom CAD-modellering i Autodesk Inventor, se *Figur 9*, modelleras koncept och testas därefter i finita element-programvaran ANSYS 14.5 - *Static structural* för att få fram spänningsbilden och se var konstruktionen skall förstärkas. Utifrån dessa resultat dimensioneras trucken om tills testet i FEM-programvaran visar godkända värden och därmed slutdesignen bestäms.



Figur 9 – Olika vyer och renderingar av drivlinan modellerad i Autodesk Inventor 2014

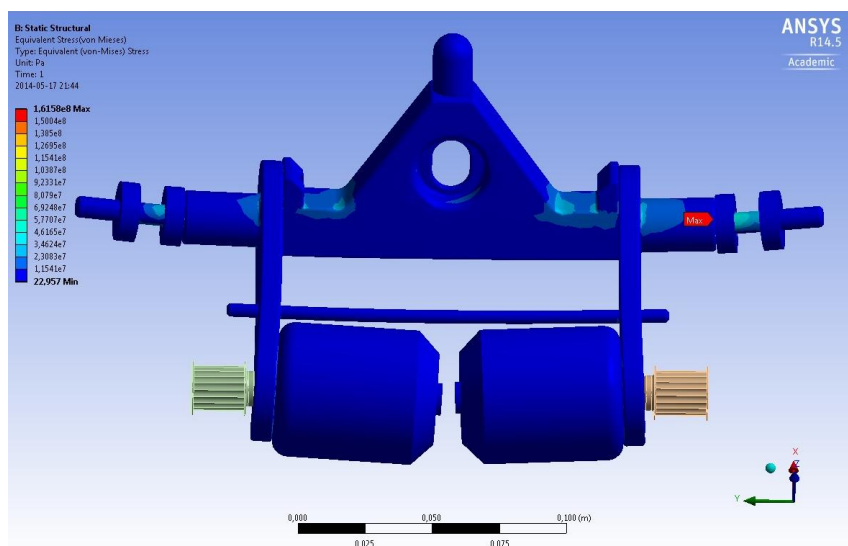
De större skillnaderna i designen som uppkommit genom denna metod är ett stabiliserings- och justeringsstag mellan motorfästena, samt minskade dimensioner av trucken och infästningspunkter. Då projektet varken har tid, budget eller tillgång till adekvata testmetoder är dessa FEM-genererade bilder över spänningarna den slutgiltiga mekaniska validering mot kravspecifikationen som genomförs. De olika lastfallen tagna ur kravspecifikationen finns beskrivna nedan. Samma FEM-beräkningsnät är använda i alla analyser under och finns i *Appendix C5 – Övriginformation för FEM-analys*. Krafterna som verkar på baktrucken har antagits vara hälften av den totala lasten, eftersom framtrucken antas ta upp den andra hälften.



Figur 10 - Dessa spänningar och utböjningar (överdrivet visualiserat) sker utifrån vertikallasten 2700 N, som är direkt taget ur kravspecifikationen för drivlinan. För utböjningar och pålagda krafter, se Appendix C5 – Övrig information för FEM-analysis.

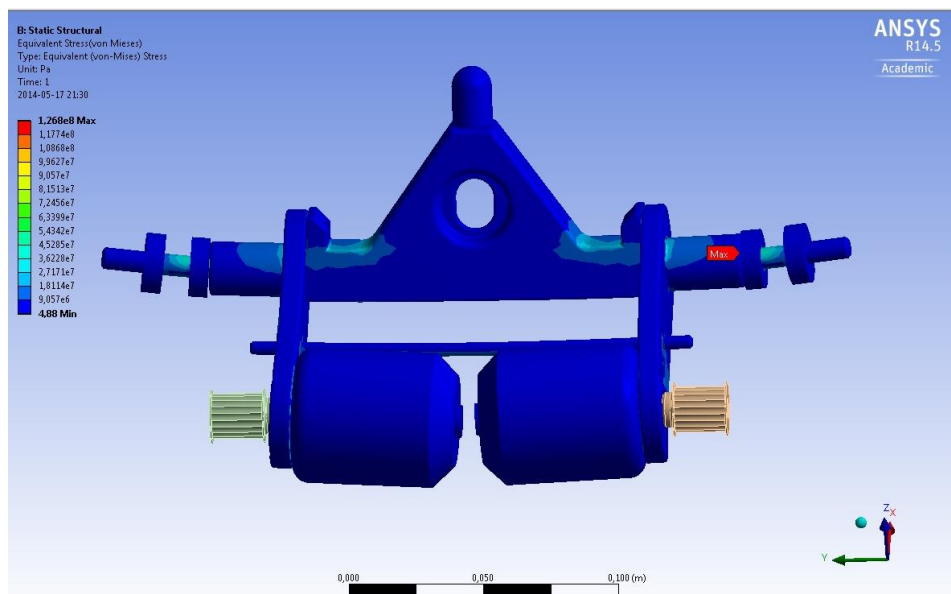
Figur 10 visar på en spänningskoncentration på hjulaxeln av stål, så stor att axeln beroende på stålqualiteten hos axeln kan böja och skjuvas av. Denna analys av maximal vertikal kraft visar också att den vedertagna diametern, 8 mm, som används i hjulaxeln är den svagaste punkten i konstruktionen, varför det är i denna punkt som longboarden kommer att haverera först vid brott. Longboardtruckars axlar har i dagens läge uteslutande denna dimension, vilket också innebär att hjul, distanser och kullager är anpassade för dessa. Det är med denna motivation, samt projektets budget som denna konstruktion kan tillåtas. I ett större sammanhang där el-longboards har blivit en stor marknad och komponenter massproduceras, kan axelns materialkrav sänkas till förmån för specialanpassade kullager, hjul och distanser som hör ihop med en större diameter på hjulaxeln.

Lastfallet med 1500 N i sidled, se Figur 11 resulterar endast en liten spänningskillnad gentemot normalfallet som visas i Figur 12 och är därför inte dimensionerande.



Figur 11- Spänningarna som uppstår när longboarden belastas med 1500 N i sidled.

Utmattningsanalysen i Figur 12 visar på en maximal spänning på 128 MPa, vilket är långt under de 330 MPa som konstruktionen skall dimensioneras för i utmattning (se 2.3.4.2).



Figur 12 - Visar spänningen i konstruktionen vid normal last från en förare på 93 kg med en säkerhetsfaktor på 1.5. Säkerhetsfaktorn finns för att simulera **spänningsskillnaderna** som tas ur Wöhler-diagramet i 2.3.4.2.

Konstruktionen bestäms dock ändå till denna överdimensionerade design eftersom

- programmet inte räknar på de imperfektioner som uppkommer i och med manuell tillverkning,
- spänningarna på ytan mellan motorfäste och snabbt ökar vid mindre dimensioner på den kvadratiska delen av infästningen samt att tillverka konstruktionen i denna dimension är även enklare än vid mindre dimensioner, eftersom kravet på toleranser då ökar.
- det är troligt att denna del kommer att få olika typer av slumpmässiga slag under normal användning.
- det beaktas att trucken är en av longboardens viktigaste delar, som vid ett brott även kommer att förstöra större delen av de dyra komponenter som sitter under longboarden (det vill säga batterier, motorkontrollerna, Arduino-kort, motor).
- att ANSYS FEM-approximering innebär att de små radier som finns i gängor inte beaktas korrekt. I det stora hela anses dock metoden vara tillförlitlig för att approximera spänningar i konstruktionen.

2.4 Batteri

För att lagra energin som behövs för att driva motorer och styrsystem används ett batteri. Batterier har utvecklats under lång tid, men är likväl en av de största begränsningarna när de kommer till elektriska fordon, då de innehåller relativt lite energi i till förhållande till sin vikt jämfört med t.ex. fossila energislag[8]. En annan nackdel är att de tar lång tid att ladda vilket ger ett annorlunda användningssätt gentemot konventionella typer av drivmedel samt att batterier är dyra i inköpspris. [9]

2.4.1 Dimensionering av batteri

För att kunna bestämma och dimensionera batteriet behöver fyra parametrar tas i beaktning: Dess spänning U [V], maximalt strömuttag $I_{\max}$ [A], kapacitet K [Ah] samt vilken typ av

batteri det är. Motorn bestämmer här flera av parametrarna där spänningen hos batteriet kommer att begränsa motorns maximala varvtal enligt motorns K_v -värde [RPM/V] (se mer om detta i avsnitt 2.2 *Motor*). Spänningen påverkar också den effekt som kommer behöva överföras till motorn enligt

$$P = U * I. \quad (15)$$

Förluster förekommer i överföringen både i motorn och i drivningen. Batteriet måste därför kunna leverera en högre effekt än vad som behövs på hjulen för att hålla den begärda hastigheten. Effekten hos batteriet blir då

$$P_{Batteri} = P_{Motor} + P_{Förluster} \quad (16)$$

Kapaciteten är ett mått på energiinnehållet vilken mäts i amperetimmar och motsvarar hur många timmar en ampere kan levereras från batteriet. Kapaciteten hos batteriet kommer att bestämma den totala räckvidden för longboarden som enligt kravet är 10 km. Två faktorer som påverkar kapaciteten positivt är vikten och volymen på batteriet, vilka är negativa egenskaper i avseendet med platsen på longboarden. En annan viktig faktor som tas i beaktning när det gäller kapaciteten är priset.

Den maximala ström som batteriet kan leverera kommer att ges av hur mycket effekt som motorn behöver vid ett visst tillfälle, enligt (15). Hos specifikationerna på batteriet anges inte denna ström i ampere utan i ett C-värde [h^{-1}]. Den maximala strömmen som batteriet kan leverera beror på dess kapacitet K [Ah] och blir

$$I_{max} = C * K \quad (17)$$

och beror på kapaciteten hos batteriet. Oftast anges två olika C-värden på batteriet där det ena indikerar hur stor ström som kan dras kontinuerligt från batteriet utan att det tar skada och det andra indikerar en högre ström som tillfälligt kan dras från batteriet, vid till exempel en kraftig acceleration av longboarden.

Det finns olika typer av batterier på marknaden och de som används oftast till elektriska maskiner och elektroniska apparater är någon typ av litiumjonbatterier. Deras fördel är att de har låg vikt i förhållande till volym samt ett högt energiinnehåll. Det sistnämnda är en viktig egenskap vid val av batteri då totalvikten av longboarden är en begränsande faktor både när det gäller hur lätt den blir att kunna bära med sig och när det gäller ökat rullmotstånd med ökad vikt. I och med att batteriet är fäst under longboarden är volymen en begränsande faktor för att inte förlora markfrigång och ta för mycket plats för andra komponenter. En annan fördel hos litiumjonbatterier är att de kan hantera en hög uttagsström vilket behövs då motorerna kommer kräva mycket effekt. Då litium reagerar kraftigt med vatten krävs någon typ av elektrolyt som inte är vattenliknande eller en polymer.

Spänningen på batteriet bestäms genom att välja märkspänningen hos motorn för att erhålla maximala varvtalet som motorn kan leverera. Det är också där som motorn arbetar som mest effektivt, alltså för att minska förlusterna i motorn. Högre spänning ger en mindre ström vid en viss effekt enligt (15). Märkspänningen för motorn är 30 V vilket även batteriet kommer ligga på.

Den maximala strömmen I_{max} [A] bestäms utifrån hur mycket effekt P_{max} [W] som maximalt kommer att utvecklas av motorn samt vilken spänning U [V] som motorn matas med. Tidigare bestämdes maxeffekten till 2103 W som ger strömmen

$$I_{max} = \frac{P_{max}}{U} \quad (18)$$

För att vara på den säkra sidan väljs batteriets maxström till något högre för att ge lite utrymme ifall mer effekt skulle behövas i extrema situationer som mycket branta backar eller liknande fall.

Kapaciteten bestäms utifrån hur lång räckvidden kommer att bli. Kravet är ställt till att uppnå 10 km på plan mark vilket innebär att den totala energi som krävs tillsammans med verkningsgraden som systemet har blir

$$E_{Tot} = \frac{P_{Platt} * t}{\eta} \quad (19)$$

Då det antas att longboarden hela tiden går i maxfart 20 km/h blir tiden som det tar att åka 10 km 0,5 timmar. Verkningsgraden för hela systemet antas vara 85 % vilket innefattar motorns och drivlinans verkningsgrad. Den effekt som krävdes för att åka 20 km/h på plan mark var 261,4 W ger en total energi på 130,7 Wh. Då batteriets kapacitet mäts i amperetimmar fås denna genom tillsammans med verkningsgraden hos batteriet som antas till 90 %

$$K = \frac{E_{Tot}}{U * \eta} \quad (20)$$

vilket ger ett kapacitetskrav på minst 4,8 Ah för att kunna åka 10 km. Vad som också begränsar kapaciteten hos batteriet är priset och storlek för att hålla budget och att det måste få plats under brädan.

2.4.2 Val av batteri

Valet av batteri föll på ett av Litiumpolymer-typ (LiPo). Detta ger ett bra vikt till effektförhållande vilket krävs för longboarden. De är också mer robusta än t.ex. andra Li-jontyper, då de har en fast polymer som elektrolyt. LiPo batterier har egenskapen att de kan leverera konstant spänning under hela urladdningscykeln. För att uppnå 30 V hos batteriet krävs 8 celler för ett LiPo batteri då varje cell har en spänning på 3,7 V. Ett färdigt batteripack kommer att användas då detta är enklare att implementera på longboarden och då de har färdiga specifikationer som kan användas direkt för beräkningarna. Ett färdigt paket har färdig elektronik för laddning vilket också underlättar. Då ett färdigbyggt paket med den krävda kapaciteten har en finit storlek kommer det att vara ett problem att minska markfrigången. Därför väljs två paket på vardera 4 celler som seriekopplas för att uppnå krävd spänning.

I och med valet av två paket kan de placeras oberoende av varandra vilket gör det mer flexibelt. Batterierna placeras under longboarden, bakom den främre trucken då motorerna sitter bak. Detta görs för att upprätthålla viktförhållandet hos longboarden så att balansen bibehålls genom att jämna ut vikten. Batterierna kommer även sitta något skyddade bakom trucken men kommer att kräva någon form av skal omkring sig för att skyddas. När batterierna är helt slut kommer de att laddas från ett vanligt eluttag med tillhörande laddare.

Valet föll på två stycken 4 cells Turnigy nano-tech batterier med specifikationer på 4500 mAh, ett konstant C-värde på 35 och ett spikvärde på 75 [h⁻¹]. Detta ger ett konstant

strömuttag på 157 A och 335 A som max enligt (25). Kapaciteten för att klara 10 km kommer således inte uppnås då det skulle krävas ytterligare 300 mAh hos batterierna.

2.5 Styrsystem

Styrsystemet är ”hjärnan” i systemet som kopplar ihop motor, batteri, handkontroll och sensor och tar hand om kommunikationen mellan dem. Förarens önskade hastighet skickas genom signaler från handkontrollen med joystickmodul till ett mikrokontroller kort (styrenhet). Mikrokontrollern behandlar signalerna utifrån utvecklad mjukvara och sänder de vidare till motorkontrollen genom dess inbyggda PWM portar. Motorkontrollen, även kallad Electronic Speed Control (ESC), är nödvändig för att kunna driva BLDC-motorn som fungerar som en synkronmotor. I motsats mot en synkronmotor som matas med en trefas sinusformad växelspanning skickar ESC:n tre fyrkantsvågor där frekvensen hos signalen bestämmer hastigheten hos motorn.

I detta avsnitt presenteras vad som togs i åtanke och slutgiltiga valen av ESC, styrenhet och handkontroll.

2.5.1 Val av ESC

Den begränsande faktorn hos ESC:n är hur stor ström som den kan klara av att hantera. Motorerna som används har en märkström på 90 A och man rekommenderar ca 10 % extra för ESC:n. Då budgeten är begränsad samt att motorerna är överdimensionerade effektmässigt för ställda ändamål krävs inte att ESC:n klarar märkströmmen för motorerna utan istället sätts vissa funktioner hos ESC:n före högre strömtålighet. Om strömmen överstiger märkströmmen hos ESC:n kommer den att begränsas. Sedan görs en kontroll av att batterierna inte laddas ur för mycket och ESC:n kan skicka vidare batteristatus och leverera den spänning som styrenhetskortet kräver. Valet föll då på ESC:n Castle Creations Phoenix Edge som uppfyllde de ställda kraven och hade en märkström på 75 A.

Då två motorer används krävs också två stycken ESC:er, en för varje motor då det ej är möjligt att koppla två motorer till en ESC. Detta beror på olika timings i motorerna samt att lindningarna inte är helt lika heller. ESC:erna placeras under longboarden nära motorerna för att hålla nere kabellängden till motorerna. Då ESC:erna har kylflänsar placeras de inte med något skydd eller skal för att få luftflöde till kylningen och därmed minska risken för överhettning.

2.5.2 Val av styrenhet

Det finns flera färdiga mikro-kontroller på marknaden som kan programmeras till att styra en motor-drivare och allmänt ta emot, behandla och skicka ut signaler. För att uppnå målen med brädan ställdes ett antal krav på mikro-kontrollen.

Projektgruppen blev från institutionen, utan avdrag från budgeten, erbjudna en Arduino

mikro-kontroller (specifikt Arduino UNO³), vilket var en av de större anledningarna till att just en sådan valdes.

Andra anledningar var att Arduino UNO följer specifikationskraven som ställdes. Den har en klockfrekvens på 16MHz vilken eliminerar märkbara fördröjningar i mjukvaran helt. Dessutom uppfyller den antalet portar som behövs för att koppla ihop den med ESC, handkontroll och flexsensor. Den är liten och kompakt vilket är viktigt då brädan har begränsad plats för montering. Det största skälet är förmodligen att communityn för Arduino-kort är otroligt stor. Det är en mikro-kontroller med öppen hårdvara och källkod, vilket gav mycket inspirationskällor till styrsystemet. På grund av detta blir det även enkelt att duplicera arbetet till ett nytt, lättillgängligt Arduino-kort. Kortet hade alla egenskaper som krävdes och önskades, så det hade endast varit slöseri med tid och pengar att frångå denna som lösning.

2.5.3 Val av handkontroll

Kontrollen är den centrala punkten för integration mellan användaren och produkten. Kraven för denna och beskrivning av dem tas fram under kravspecifikationen i *Appendix D1 – Kravspecifikation för handkontroll*, där användarvänlighet och säkerhet sätts i fokus utifrån.

Det togs fram en Pugh-matris, *Tabell 13*, med fyra olika koncept vilka diskuterades och studerades på hur väl dessa förslag går att implementera. Antalet stjärnor, där 3 är högst, beskriver hur väl ett koncept uppfyller motsvarande krav eller hur svårt det är att implementera denna.

	Egen utvecklad	Smartphone	Tredjeparts	Trådbunden kontroll
Trådlös	X	X	X	
Display	X	X		X
Användarvänlig	***	**	**	**
Säkerhet	***	**	***	*
Svårighetsgrad	***	**	**	*
Kostnad	600 :-	50 :-	100 – 200 :-	150 :-

Tabell 13 - Handkontroll koncept

*Detaljerad förklaring av koncept hittas i *Appendix D2*

Det slutgiltiga valet är ”*Utveckling av tredjeparts*”, av den enkla anledningen att det uppfyller samtliga krav mer än väl, är billigt och lagom svårt att utveckla. Den enda funktionen som den inte uppfyller, främst p.g.a. sin lilla storlek, är stöd för display vilket påverkar användarvänligheten en aning.

Lösningen bygger på en trådlös Wii-Nunchuckhandkontroll med joystick och två funktionsknappar för broms och farthållning av aktuell hastighet. Wii-Nunchucken har en

³ <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>

sändare och en mottagare som kommunicerar via 2.4 GHz radiovågor. Då en Wii-Nunchuck fungerar på både 3.3V och 5 V, har stöd för I2C-protokollet [10] så finns det redan en stor community och support, vilket är då ett bra val för att kopplas till ett Arduino-kort.

I2C-protokollet gör hela implementeringen väldigt kompatibel med resterande lösning av projektet och underlättar stora delar utav styrningen och programmeringen.

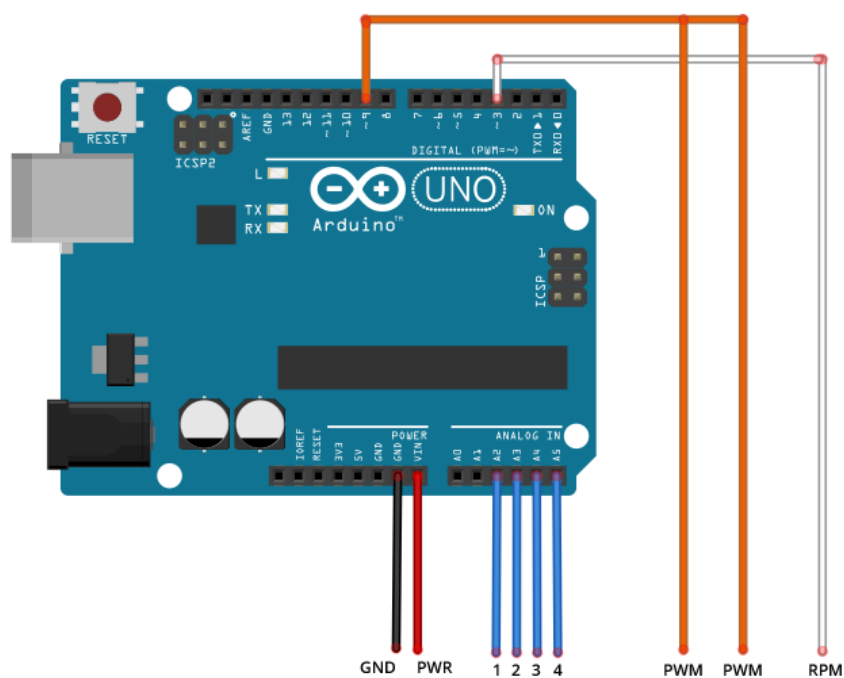
Figur 14 visar portarna från kontrollens kontakt, dessa motsvarar in-portar på ett Arduino-kort (UNO) som visas i Tabell 14.



Figur 14 - Wii-Nunchuck mottagare (ut-portar)

	Arduino UNO	Kabelnummer (Figur. Koppling)
1. Power	Power: 5V eller A03	2
2. Clock	A5: SCL	4
3. Data	A4: SDA	3
4. GND	Power: GND eller A02	1

Tabell 15 – Kontaktportar



Figur 16 – Arduino-kortets kopplingsschema för de olika signalerna med tillhörande portar

I Figur 16 syns en fullständig koppling från styrkortet, var av siffrorna 1-4 motsvarar dem kontakter för kontrollen. För att underlätta kopplingen införskaffas en s.k. ”Wii-chuck”, vilken är en liten kontaktmodul som underlättar lödning från handkontrollmotagaren till Arduino-kortet.

3. Programmering & Konfigurering

Arduino-kortet är den centrala styrenheten i systemet. Den står för all trådlös kommunikation mellan handkontroll (användare) och ESC genom att det är programmerat att ta emot, behandla och skicka rätt signaler från handkontrollen vidare till motordrivare. Det tar även emot signaler från en flexsensor som sitter under brädan för att bestämma om brädan saknar förare. På så sätt implementeras dödmansgrepp, fast istället för att bryta strömmen så bromsas brädan ner. ESC:n kan läsa motorns aktuella varvtal och skicka detta till Arduino-kortet som reagerar om hastigheten på brädan överstiger 20km/h.

ESC:n styr motorns varvtal utifrån Arduino-kortets PWM-signaler. Castle Creations Phoenix Edge har dock även egna konfigurationsinställningar för att styra motorn på olika sätt. Undersökningen av ESC:n visade dock att den innehöll en egen regulator som försöker hålla kvar motorns varvtal vid ökad last. Att programmera Arduino-kortet till att också fungera som en regulator blev därför endast en osäkerhet. Då det inte går att veta vad för slags regulator som sitter i ESC:n skulle de två regulatorerna interferera med varandra. Diskussion kring detta under avsnitt *6.1 Diskussion av resultat*.

Styrsignalen till ESC:n är en PWM-signal där bredden översätts till motsvarande hastighet hos motorn. Frekvensen skall ligga på 50 Hz eller signallängden 20 ms och signalen regleras från 1 ms till 2 ms eller en duty cycle på 5 -10 % där 1ms är minsta hastighet och 2 ms är högsta möjliga hastighet hos motorn. Hastighetssambandet är linjärt fördelat längs signalen.

3.1 Konfigurering av motorkontroller

För konfiguration av Electronic Speed Controller (ESC) används en färdig programvara där olika inställningar finns att ändra på. Med hjälp av ett kretskort som kopplas till ESC:n och sedan med hjälp av USB kopplas den till en PC. De inställningarna som finns att konfigurera är vilken typ av fartreglage som används, inställningar för motorn, batteri, broms samt flertalet andra mindre viktiga funktionen.

Det fartreglage som används är av typen "governor mode" som innebär att ESC:n försöker hålla den fart som anges och tillför så mycket effekt som krävs för att nå den farten. Om lasten ändras kommer ESC:n att kompensera för detta för att hålla den begärda farten. Governor mode är på så sätt energieffektivt då det endast tillför så mycket momentaneffekt som behövs för tillfället. Med den ESC:n som används kan endast bromsfunktionen aktiveras i governor mode vilket också bidrog till valet. De inställningar som kan göras under governor mode är bland annat spoolup-tid och hur fort som varvtalet ska ändras från ett läge till ett annat (regleringen). Motor inställningar är hur mycket effekt som kan tillföras vid startögonblicken, hur energieffektivt motorn ska arbeta samt vilken typ av motor som används. Funktionen för broms kan aktiveras och inaktiveras, att ställa in dess bromsverkan i procent samt att det går att lägga till en fördröjning innan bromsen slår till.

Då ESC:n är främst anpassad för rc- helikoptrar väljs reglering, spoolup-tid och starteffekt så kraftigt som ESC:n klarar av då longboarden med förare kräver mer effekt på grund av vikten. Då motorerna är specificerade över vad ESC:n klarar att leverera blir inte motorerna överbelastade. Inledande tester visade att accelerationen från start varit långsam vilket bidrog att inställningarna fick höjas upp till vad ESC:n maximalt kunde leverera. Vidare diskussion om detta följs upp i kapitel *6 Diskussion*.

ESC:n har även funktionen att kunna logga data från körning. Värden som kan loggas är bland annat batterispänning, momentanström, momentaneffekt, temperatur för ESC:n, varvtal hos motorn, insignal till ESC:n vilka sedan kan visas i en graf när ESC:n kopplas till en PC. Loggningen har använts under testning av systemet för utvärdering och förbättringar samt även att acceleration och retardation kan bestämmas.

3.2 Kommunikation mellan handkontroll & styrenhet

Det som presenteras i detta avsnitt är programmeringen av Arduino-kortet så att det kan läsa signaler från handkontrollen. De drivrutinbibliotek som finns idag fungerar främst med en trådbunden original Wii-Nunchuck. För projektet används en billig tredjeparts trådlös Wii-Nunchuck, vilket betyder att egna drivrutiner måste skrivas för handkontrollen eller befintliga måste modifieras så att dessa fungerar.

En standard initiering utav kontrollen för samtliga Wii-Nunchuck som hittades på internet har undersökt [11] och visat sig fungera. Även ett modifierande bibliotek fanns med den önskade initieringen som öppen källkod och har också verifierats, kod till detta finns att ladda ner⁴. Källkoden används idag dock med flera modifikationer, koden optimeras för prestanda och accelerometerfunktionen i kontrollen har tagits bort.

Den viktiga delen utav koden som gör en initiering möjligt och som används för kontrollen gjordes på följande sätt (pseudo-kod):

*En handskakning följ av 2 olika register och 2 olika data värden.
När anslutningen har etablerats skrivs värdet "0" till en specifik adress som i sin tur returnerar 6 Bytes från handkontrollens aktuella värden.*

*Handskakning:
Skriv (nunchuck-adress, register1, data1)
Skriv (nunchuck-adress, register2, data2)*

*Läsa:
Skriv (nunchuck-adress, data(värdet 0))
Läs 6-Bytes från nunchuck-adress*

Varje byte utav dessa 6 representerar olika funktioner utav kontrollen, en lista över funktioner finns i *Tabell 17 – Nunchuck Bytes* och med rätt mappning ger kontrollen som används följande värden.

⁴ longboard.huskaj.se

Byte	Innehåller	Värde
1	Joystick x-axel (kommer inte att användas)	
2	Joystick y-axel	Fullt ner: -126
		Mitten: 0
		Fullt upp: 127
3	Accelerometer x (kommer inte att användas)	
4	Accelerometer y (kommer inte att användas)	
5	Accelerometer z (kommer inte att användas)	
6	Z och C knappen – 1/0 för intryckt eller ej.	Bit 1: Z-knapp
		Bit 2: C-knapp

Tabell 17 - Nunchuck Bytes

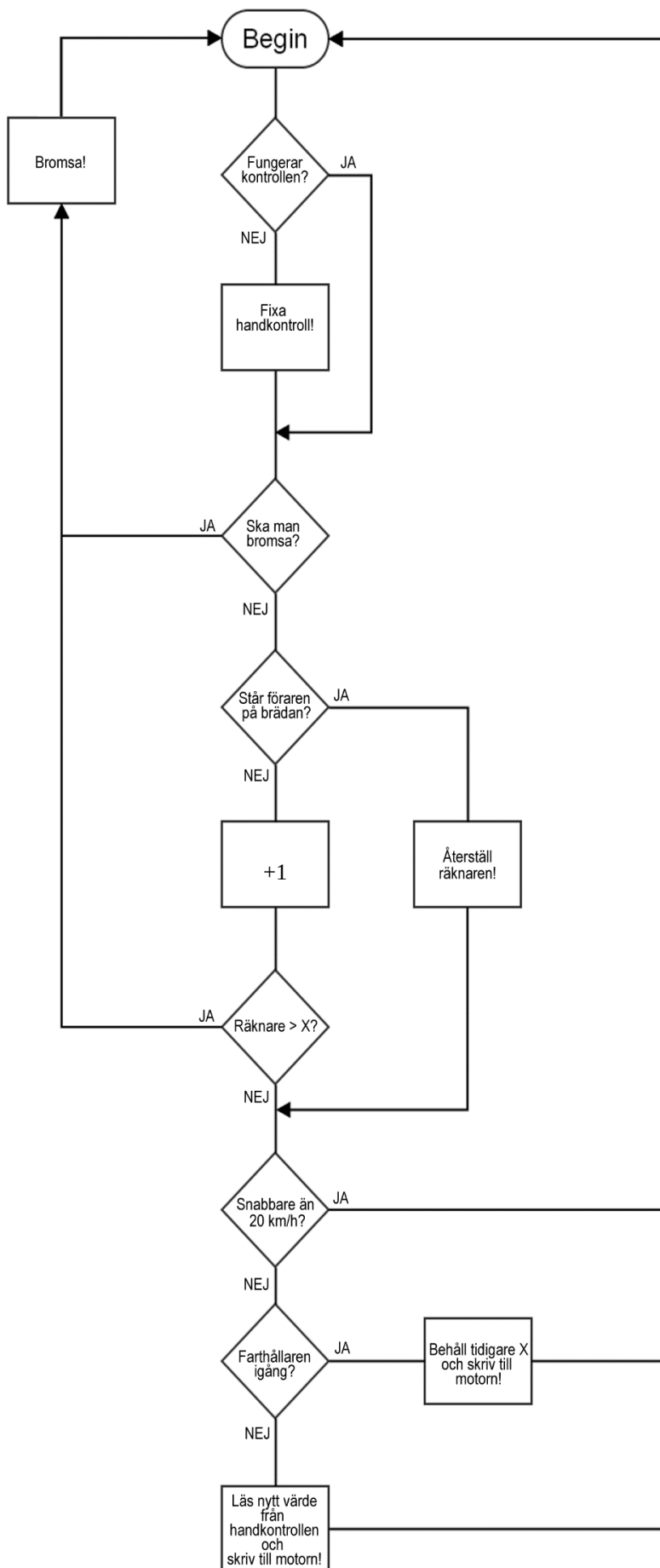
Dessa värden är nu nåbara för Arduino-kortet och kan användas för att skicka vidare signaler till motorkontrollern. Värdet från kontrollen behöver motsvara en viss längd av PWM signal, detta uppnås via en matematisk funktion och ett motorbibliotek, kallad för "servo.h". Servo.h biblioteket skickar en PWM signal som motsvarar 1ms till 2ms, där 90 motsvarar 1ms och 180 motsvarar 2ms.

*Läs värdet från Y-joystick och lägg det på X
Matematisk funktion som omvandlar X till ett värde för servo.h
Skicka PWM signal till ESC med servo.h (write-fuction)*

3.3 Programmering av styrenhet

Det som främst togs i åtanke då mjukvaran konstruerades var förarens säkerhet. De flesta villkorssatser (kontroll av handkontroll, flexsensor m.m.) är ett resultat utav detta. Delay-funktioner undveks nästan helt då en delay-funktion tar tid i loopar och fördröjer systemet. Istället användes därför räknare (eng. counters) vilka fick agera som delayer vid önskade tillfällen. Hårdkodade funktioner implementerades endast i de fall där bugg-liknande problem kom upp. Ett exempel på detta är då handkontrollen skickar en signal större än y-axelns maximala värde då den tappar kontakt och kopplas upp igen. Detta löses genom en villkorssats som återställer värdet om detta inträffar. All använd kod finns att ladda ner⁵.

⁵ longboard.huskaj.se



Initiera portar, sätter startvärden och laddar bibliotek.

Gör en kontroll om handkontrollen fungerar. Om fallet är så att den fungerar fortsätter programmet, om inte så utförs en fix genom en ny initiering och ett nytt startvärde på X för att undvika okontrollerbara hastighetsfel.

Om knappen för broms eller joystick pekar nedåt utförs en bromsfunktion.

Om brädan är förarlös böjs flexsensorn mindre och brädan ska då bromsa. För att undvika att den råkar bromsa om trycket tillfälligt skulle minska, införs en räknare vilken måste uppnå X (motsvarar delay på Y s) innan brädan bromsar. Då föraren står på brädan igen återställs räknaren och brädan bromsar inte.

Om farten är snabbare än 20km/h tillförs ingen effekt till motorerna och låter friktion samt inte motstånd mjukt bromsa ner brädan.

Är farthållaren igång skickas det gamla X till ESC och inget nytt värde hämtas från kontrollen.

Är farthållaren inaktiverad hämtas aktuell värde från joystick och önskad effekt skickas till ESC.

4. Tillverkning och Montering

Montering och tillverkningen av longboarden kan parallelliseras långt eftersom dess fysiska layout även hänger ihop med de olika modulerna drivlina, chassi till elektronik, samt elektronik.

4.1 Montering och tillverkning drivlina

Sammanfattningen av alla delar i drivlinan finns beskrivna i Tabell

Komponenter drivlina	
Antal	Del
1	Motorfäste vänster
1	Motorfäste höger
1	Hängare
1	Pivot
2	Hjulnav
2	Litet kugghjul
2	Stort kugghjul
2	Kuggremmar
2	NTM PropDrive 50
20	M5 bricka
12	M5 x 90 skruv
16	M5 låsmutter
8	M5 x 12 försänkt skruv
1	Komplett longboard med paris 180 truckar
1	Lim

Tabell 2 - Delar drivlina

Tillverkningen av hängaren (se *Appendix E –Ritningar*) har skett genom CNC-pinnfräsning ur ett solitt block Al-7075 aluminium där CAD-ritningen konverterats till g-kod med mjukvaran EdgeCam. Efter detta svarvades ändarna på axlarna runda och hål för hjulaxel borrades och gängades i svarven. Hål för pivoten och fastsättning av motorfästen borrades och gängades därefter i pelarborrmaskin.

Tillverkning av motorfästena (se *Appendix E –Ritningar*) har skett på samma sätt som hängaren, alltså huvudsakligen genom användning av CNC-fräs. För att få rätt toleranser av hål för lagerna har en försänkare med snäva toleranser använts i pelarborrmaskin. En 45-graders försänkare har även används för försänkning av hål i pelarborrmaskin.

Hjulnavens hål (se *Appendix E –Ritningar*) har tillverkats med hjälp av en manuell fräs ut ett block aluminium och ytterdimensionerna har sedan skapats genom svarvning. Hjulaxlarna har sedan svarvats ur ett omärkt konstruktionsstål som därefter gängats. Pivoten har gjorts på samma sätt, men ur aluminium.

Kuggremhjulens och kuggremmarnas dimensioner har beräknats utifrån tillverkarens specifika beräkningsmetod. Detta är inte generellt och är därför av föga intresse för uppföljning av projektet och redovisas därför inte i denna rapport. Resultatet av beräkningarna

blev att lilla kugghjulets dimension blev 18 tänder och stora 48 tänder "HTD" med delning 3 mm. Tillhörande remmar har 15 mm bredd och längd 273 mm.

För att fästa de stora kugghjulen på hjulen har skruvinfästningar borrats och försänkts i fräs för att uppnå små toleranser på hålens cirkularitet. Det lilla kugghjulet har borrats, brotschats och frästs för att tillslut limmas fast på motoraxeln. Beräkningar utifrån tillverkaren Hansels data på limmet Locketite 648 som används, visar en säkerhetsfaktor över 2 för de små hjulens momentöverföring. Eftersom även dessa beräkningar är tillverkarspecifika och inte generella publiceras inte dessa i denna rapport.

Monteringen av drivlinan fungerar så att hjulen monteras individuellt som varsin modul, hängaren som en modul och motorfästen med motorer och lager som ytterligare två moduler.

Monteringen av hjulmodulerna sker genom isättning av de 6st M5 x 90 skruvarna genom kugghjulen, hjulen träs på och hjulnavet kommer efter. Sist skruvas 6st låsmuttrar åt mot hjulnavet och dras åt med momentnyckel ställd på 15 Nm.

Motorfästes-modulerna monteras genom att sätta i kullagret i motorfästet och motorn skruvas fast med 4st försänkta M5 x 12 skruvar, med brickor mellan motorfästet och motorn. Därefter limmas det lilla kugghjulen fast på motoraxeln. Hängar-modulen monteras genom att hjulaxlarna och pivoten skruvas in i hängaren. Stabiliseringsstaget, gängstång M5 x 164 sätts fast med två muttrar på var sin sida av det första motorfästet. Denna modul träs sedan på hängaren och skruvas fast med en försänkt M6 x 12. Därefter skruvas den inre muttern in på stabiliseringsstaget och motorfäste-modul 2 träs på utanför och skruvas fast med en försänkt M6 x12 i hängaren. Motorfästena justeras därefter så att de är raka genom att skruva på muttrarna på stabiliseringsstaget och fixeras sedan genom att skruva på den sista M5 muttern på stabiliseringsstaget. Därefter fästs hela hängaren och därmed drivlinan i longboarden på vanligt sätt.

4.2 Montering och tillverkning av chassier till elektronik

Montering av de två batterierna sker i en låda som tillverkas av 4 mm plexiglas. Detta för att batterierna behöver skyddas mot yttre påverkan vilket plexiglas ger ett fullgott skydd emot. Plexiglas valdes då det är lätt bearbeta, hållbart, kostnadseffektivt och låg vikt. De olika delarna till lådan limmades ihop med epoxi för bästa hållbarhet och helheten visas i *Figur 18*. Inuti lådan limmandes det även fast skumgummi för att ge dämpning av batterierna samt att de inte ska åka runt inuti lådan. Hela lådan skruvas sedan fast med genomgående försänkta M6-skruv och muttrar och placeras närmast främre trucken för att jämna ut vikten gentemot motorerna bak som placerats bak. För storlek och mått se *Appendix E- Ritningar*.



Figur 18 - Hur den färdiga lådan ser ut och fästs under longboarden och gjordes så låg som möjligt för markfrigången

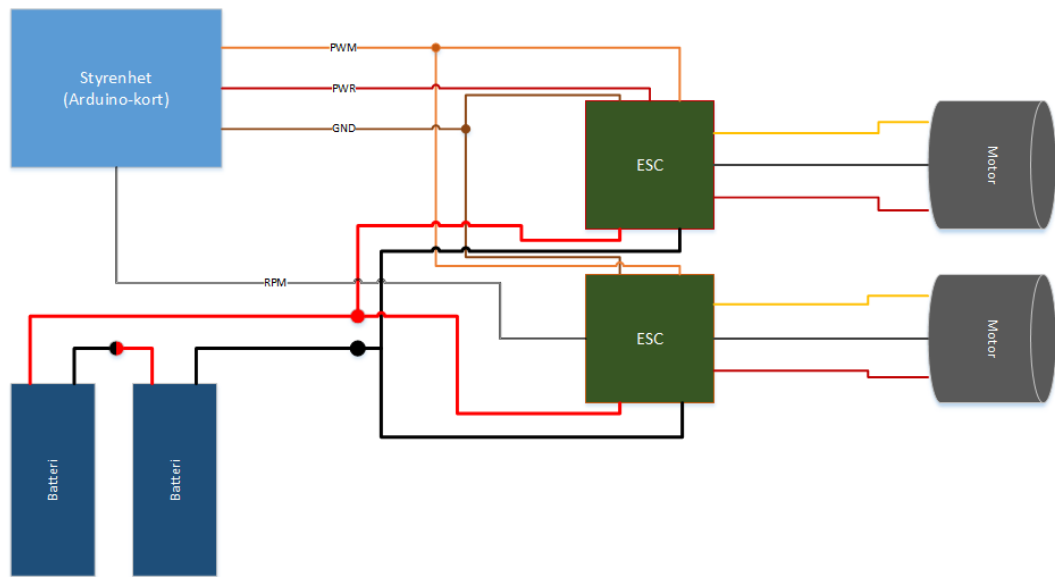
Till Arduino-kortet görs en 3D-utskriven låda i plast som skydd och infästning. Den gjordes med hjälp av en 3D-skrivare för att testa på en ny teknik och den ger precis de former man eftersträvar samt att produktionstiden minskar mot ifall den skulle tillverkas för hand istället. Lådan utgörs av en bottendel där kortet skruvas fast samt ett lock för förslutning. Lådan fästs sedan under brädan med dubbelhäftande tejp då detta tillgodoser de krafter som verkar på lådan samt att ingreppen i själva brädan minimeras, se *Figur 19* på placering och utformning.



Figur 19 - Lådan för Arduino-kortet

4.3 Montering och tillverkning av elektronik

För uppkopplingen av batteri, motor, ESC samt styrenhet (Arduino-kortet) visas detta i *Figur 20*. Här ses att batterierna seriekopplas för att uppnå krävd spänning och hur dessa driver ESC:erna. Varje motor har tre kopplingar en för varje fas som kopplas till ESC:n. Samma PWM-signal skickas sedan till både ESC:erna från styrenhet samt att systemet är ihopkopplat till samma jord. Spänning till Arduino-kort förses via en ESC och även RPM signalen tillbaka till styrenheten skickas från en ESC.



Figur 20 - Schema över det elektriska systemet

5. Slutresultat

Slutresultatet blev som följer av *Figur 21* vilket visar de komponenter som tillverkats och inhandlats för att sedan sättas ihop till en fungerande longboard. Batteripaketets placering ses nära den främre trucken skyddade i en låda av plexiglas. Snett bakom följer lådan för Arduino-kortet följt av de båda ESC:erna som styr motorerna. Längst bak ses den modifierade hängaren med tillhörande motorfästen. Därefter sitter motorerna i motorfästena som överför effekten till hjulen via kugghjul och tandremmar.



Figur 21 - Undersidan av longboarden som visar komponenterna hur de är placerade

Vikten på longboard uppmättes till 6,45 kg med all utrustning och elektronik monterad. Detta innebär att den väger mindre än det uppsatta målet på maximalt 7 kg för longboarden.

Räckvidden uppmättes till 9,8 km för longboard med förare under testning. Färden skedde på en plan sträcka på ca 300 meter med en svag upp/nedförslutning de sista 70 metrarna. Medelhastigheten under testet var 13,5 km/h och testet tog knappt 42 minuter att genomföra och på plan mark var hastigheten ca 18-21 km/h. Målet var en räckvidd på 10 km med en totalvikt av 100 kg vilket enligt beräkningar skulle krävas ett batteri på 4800 mAh. Det batteripaket som används har en kapacitet på 4500 mAh. Dock vid testet var totalvikten på longboarden 93,5 kg vilket ändå gjorde att målet inte kunde uppnås till fullo.

Accelerationen för longboarden är en aning svår att reglera och fungerar på ett måttligt användarvänligt sätt. Den är nästan stillastående från start i någon sekund innan den börjar accelerera ordentligt. Efter starten agerar accelerationen dock i realtid utefter hastighetsändringarna för att skapa en behaglig resa. Detta beror till stor del på att ESC:n för helikoptrar fungerar på det sätt att de skickar lite ström till motorerna i startögonblicket för att ta reda på motorns läge innan den börjar skicka mer ström för att öka accelerationen. Accelerationen mättes från nästan stillastående upp till maximalfart vilket blev 1,9 m/s. Detta är under målet som var 3 m/s² men det är en bekväm acceleration för föraren. Start i uppförsbacke från stillastående går ej då den inte orkar men om föraren hjälper till med första kicken klara den att accelerera i backar med 15 % lutning.

Då bromsningen endast kan ställas i en förutbestämd styrka och inte kan ändras under körning, kan det ge en svårkontrollerad bromssituation då full bromskraft slår till när bromsen

aktiveras. Därför konfigureras inte ESC:erna till full bromskraft och bromsretardationen mättes till $2,1 \text{ m/s}^2$. Lagkravet innebär 3 m/s^2 vilket då inte uppfylls.

Under de tidiga provkörningarna av el-longboarden gick ena hjulaxeln sönder då testföraren körde in hjulet i en vägg i hög fart. Precis som FEM-analysen teoretiskt visat så skjuvades den av i infästningen i verkligheten. Axeln byttes senare till ett höghållfast stål (Chromoly 4130) som projektgruppen fått.

Styrning med den trådlösa Wii-nunchuckkontrollen blev som väntat ett väldigt användarvänligt alternativ. Kommunikationen med Arduino-kort sker i realtid utan fördröjningar och användaren kan röra sig fritt vid körning. Fördelen med att den har en ergonomisk och liten design bidrog dock till nackdelen att en display inte kunde placeras i handkontrollen. Under avsnitt 6.4 *Vidareutveckling* diskuteras hur en typ av display kan placeras på brädan.

5.1 Budget

Budgeten har varit av betydande karaktär under projektets gång då den varit en begränsande faktor. Hur kostnaderna ser ut och vad som det spenderats pengar på redovisas i *Figur 22* nedan. Största posten är för motorkontrollerna och därefter själva longboarden följt av batterierna.

Enhet	Kostnad [SEK]
Longboard	1000
Motorer	650
Batterier	900
Styrsystem	1500
Drivning	500
Övrigt	400
Totalt	5000

Figur 22 – Budgeten olika poster

6. Diskussion och slutsats

Under projektets gång har en rad problem stöts på och vissa av projektets målsättningar har fått omformuleras. Ett problem som konfronterats är att slutprodukten inte kan placeras inom ramarna för någon befintlig lagstiftning för eldrivna fordon, då ingen liknande produkt finns i Sverige. Detta problem hanteras genom att skriva om projektets mål om att longboarden ska följa lagstiftningen till att longboarden *i största mån* ska följa den, utan att ändra allt för mycket på konceptet. Denna lösning ska också resultera i ett underlag för att eldrivna longboards i framtiden ska kunna bli ett lagligt fordon. Mer specifikt har detta inneburit att projektgruppen avstått från att följa lagkravet att kunna bromsa 3 m/s^2 med en broms installerad på fordonet samt lagkravet på att ha ett styre, vilket på grund av longboardens naturliga utformning inte går att uppnå.

I detta kapitel diskuteras resultat i projektet, begränsningar som påverkat produkten, miljöaspekter kring projektet samt hur produkten är öppen för vidareutveckling.

6.1 Diskussion av resultat

Helhetsintrycket av longboarden blir att den är en prototyp som fungerar tillfredställande under de tester som genomförts. Målvikten var 7 kg vilket slutligen landade i 6,45 kg för att enkelt kunna bäras av en person. När den har burits omkring har den ändå känts något tung och klumpig att hantera så att minska vikten ytterligare hade varit önskvärt. Dock är de flesta delar tillverkade i aluminium för att hålla vikten nere även lådorna för elektroniken är gjorda i ett lätt material som plexiglas, så att minska vikten ytterligare hade därför varit svårt för projektet. De inköpta komponenternas vikt kan inte ändras i efterhand som motorer, batterier och motorkontroller vilket är den största viktökningen för produkten, i så fall skulle andra komponenter köpts för att minska vikten ytterligare. Dock är designen relativt kompakt vilket inte påverkar allt för mycket på markfrigången.

Att räckvidden inte blev den målsatta 10 km utan 9,8 km får ses som fullt acceptabelt med tanke på att batterierna är underdimensionerade för den målsatta räckvidden. För en yngre förare som ett barn eller en tonåring som väger mindre än testföraren skulle målet troligtvis kunna uppnås. Då 10 km är en ganska lång sträcka kommer behovet att kunna uppfyllas med nuvarande konfiguration som mellan hållplatser och träningen.

Under tester och olika färder med longboarden har det upplevts att motorernas prestanda har sjunkit något. Detta beror på att motorerna inte har något skydd för smuts eller damm vilket har lett till att någon form av beläggning har lagts sig inne på motorernas lindningar. Vid monteringen visade det sig att motorerna inte satt tillräckligt långt ifrån varandra vilket åtgärdades genom att slipa ner motorernas ena sida. Efter modifieringen märktes även då en skillnad i prestanda då metallspån hamnade i motorerna på deras magneter. Detta antas med största sannolikhet har gjort det största avtrycket hos motorernas prestandaminskning.

Styrningen av motorerna som sköts av ESC:erna har inte fungerat som tänkt och inte riktigt bromsverkan heller. Den långsamma starten som brädan får i början var något väntat när det upptäcktes hur ESC:n till RC helikoptrar fungerar, dock var den lite längre än förväntat (1-2s). Bromskraften ställdes inte in till maximalt, utan 80 %, eftersom den valda retardationen ($2,1 \text{ m/s}^2$) ansågs bekväm och eliminerade i stort sett risk för att ramla av brädan.

Då mycket av styrningen sker med Arduino-kortet var det från början tänkt att det skulle fungera som en PID regulator där acceleration regleras. Detta hade förmodligen bidragit till en lite större kontroll över brädans framfart och förmodligen även en bättre farthållning (gentemot "governor mode" i ESC:n) vid ökad last. Eftersom det visade sig att "governor mode" var ett krav för att ESC:n ska kunna bromsa motorerna, var det omöjligt att frånga aktivering av den och därmed försvann implementeringen av PID-regulatorn i Arduino-kortet. Risken för konflikter mellan regulatorerna hade varit för stora då det är svårt att veta hur regulatorn i ESC:n fungerar. Detta var ett oväntat resultat att fördröjningen vid accelerationen var så pass lång och att bromsverkan inte kunde ställas som önskat.

6.2 Begränsningar

Budgeten på 5000 Kr begränsar delvis projektet då det tvingades att göra avkall på en del punkter. Med en större budget hade slutresultatet kunna blivit annorlunda då vissa av målen inte helt uppfylls. För att hålla budgeten nere inhandlades longboarden som en demovara vilket bidrog till att projektet grundar sig på en bättre longboard än om man skulle köpt en ny för samma pris. Om en liknande longboard skulle köpas nypris skulle den gått på minst det dubbla. Bredare truckar valdes också till för att bättre få plats med motorer och drivlina.

Med en större budget hade även bättre motorer kunnat användas med bättre verkningsgrad samt tystare gång. Kvaliteten på den motorn som används är inte helt optimal då det skiljer en del i timings mellan dem. Om de håller brädans livslängd kan också ifrågasättas då under den korta tid som de testats börjat låta mer än när de var nya.

Batterierna var en punkt som inverkade på ett missat mål i och med att räckvidden inte blev 10 km som uppsatt utan istället 9,8 km. Med ett större batteri energimässigt (Amperetimmar) kunnat användas hade detta målet blivit uppfyllt. Istället på batteriet prioriterades hög maximal uttagningsström för att inte få problem med det skulle brinna upp istället. En annan variant hade varit om en annan typ av batteri använts istället för LiPo-batterier som är billigare och på så sätt kunna uppnå den satta räckvidden men istället hade vikt och volym ökad hos batterierna vilket kanske hade stjälpit andra mål istället.

För ESC:n begränsades den också av budgeten i fallet med att den inte klarar av den maximala ström som motorerna är specificerade för. Detta kan ge upphov ESC:n inte kan mata tillräckligt med ström till motorerna i mycket kritiska lägen men då effektbehovet är specificerat till ungefär halva motorns effekt uppfylls kravet som ställts. Priset för ESC:erna kunde förhandlas ned med 15 % vilket också bidrog till att budgeten kunde hållas och en starkare ESC kunde väljas.

Den budget vi hade begränsade oss till att inte kunna köpa en display eller LED-strip. Dessa var tänkta att använda för hastighetsvisning och batteristatus och var tänkta att monteras på handkontrollen eller longboarden. Den egenkonstruerade handkontrollen med display och Bluetooth-kommunikation verkade rent funktionsmässigt vara den lösning som bäst skulle likna en kommersiell produkt. Den förväntades vinna i alla avseenden förutom ergonomin då den såg ut att bli stor med alla komponenter som behövdes. De avgörande orsakerna till att den i slutändan inte valdes som lösning var dock att komponenterna som behövdes var för kostsamma med för långa leveranstider för att anses rimligt till projektet. Det är dessutom en ganska osäker lösning tekniskt med få källor på bra, fungerande lösningar. Med liten budget och kort tid hade detta varit en stor risk för oss.

6.3 Miljöaspekter

Elmotorer släpper inte ut några avgaser när de körs vilket inte påverkar miljön i negativ bemärkning. Detta gör att när longboarden körs är den ett miljövänligt fordon. Om den kan ersätta andra typer av transporter med fossildrivna motorer kan miljöpåverkan minskas med en elektrisk longboard. Samtidigt kan en elektrisk longboard tas med ombord på kollektivtrafiken så som buss, spårvagn och tåg vilket utökar den totala räckvidden avsevärt mycket. Detta kan leda till en ökad andel av användandet av kollektivtrafik samtidigt som biltrafiken minskas.

Till det motsatta är tillverkning det som påverkar miljön negativt på grund av industrier. Aluminium kräver mycket energi för att framställas och behöver därför återvinnas korrekt för att minska energikrävande processer. Ofta när det handlar om eldrivna fordon och maskiner innehåller batterierna miljöskadliga ämnen och ämnen i bristande mängd som litium i detta fall. Därför är det extra viktigt att batterierna när de är förbrukade återvinns på rätt sätt för att inte påverka miljön negativt.

6.4 Vidareutveckling

Under projektets gång har det uppkommit flertalet vidareutvecklingsalternativ som skulle velats implementeras men som inte fanns tid, budget eller kunskap om. Dessa kan ses som ett projekt att fortsätta utveckla longboarden för den svenska marknaden och mot en kommersiell produkt. Alternativen redovisas under.

Som tidigare har nämnts är BLDC-motorer av outrunner-typ är känsliga mot damm och smuts som kan åka in mellan spolar och magneter. Därför skulle motorerna med fördel skyddas genom någon form av skydd som placeras runt motorerna. För att fortfarande kunna kyla motorerna kan någon form av luftkanal med filter och fläktar monteras längs med longboarden. Motorkontrollern som användes begränsade produkten då regleringen inte kunde bestämmas mer exakt. För att förbättra motorstyrningen kan en ESC egenutvecklas och tillverkas för ändamålet vilket skulle ge en bättre reglering av systemet.

För att bättre kunna tillgodose volymen och estetiken under longboarden kan ett egenbyggt batteripaket byggas. Markfrigången kan förbättras och då varje cell kan placeras individuellt för bästa möjliga volymbesparing då longboarden är konvex kan lådan göras gjuten efter dess form. Även fler celler kan läggas till för att utöka räckvidden hos longboarden. Laddningen idag är något komplicerad då batterierna behöver kopplas till en extern laddare för att laddas upp. Genom att montera en laddare direkt på longboarden skulle det krävas endast en strömladd för att ladda longboarden. Idag krävs det två sladdar till laddaren från batteriet (en för varje pol) och en balanseringskontakt samt sedan en eliminator mellan laddaren och väggen. En annan viktig poäng är att idag krävs det att de två batteripaketerna måste laddas individuellt vilket ger en ökad laddningstid. Med ett enhetligt paket och starkare laddare kunna korta ner uppladdningstiden.

Något som kom att efterfrågas under projektets gång var någon typ av strömbrytare till hela systemet under longboarden. Att enkelt kunna bryta strömmen i systemet med istället ett knapptryck som för nu att bryta isär systemet. Då strömmen i systemet kan bli upp till 150 A (då båda ESC:erna ligger på 75 A vardera) krävs en brytare som klarar utan detta utan att ta skada.

I boxen där Arduino-kortet sitter, har vi medvetet gjort en öppen USB-port för att kunna utveckla mjukvaran vidare. Då Arduino-kortet är utvecklat på ett sätt som gör det enkelt att utnyttja nya portar och koppla in flera sensorer så kan man bygga vidare mjukvaran på flera punkter.

Display kan enkelt utvecklas genom att koppla LED-strips eller LCD-display till Arduino-kortet som visar aktuell hastighet i form av siffror eller LED-lampor på brädan. En sensor som mäter aktuella amperetimmor i batterierna kan implementeras som sedan kan visa när nästa laddning bör ske. En ytterligare sensor kan vara en temperaturmätare för dem olika delar som undviker överhettning utav dem olika komponenterna. ESC:n har redan en inbyggd.

En storskalig kommersiell tillverkning av longboarden hade med största sannolikhet involverat gjutning där komplexare, lättare och bättre strukturellt optimerade truckar hade kunnat tillverkas. Nackdelen hade varit att en sämre, sett till hållfasthet, aluminiumlegering hade fått väjas. Noggranna val av material och hårdprocess för hjulaxlarna hade också inkluderats, där även omdimensionering kan vara en möjlighet, förutsatt att hjul, lager och distanser även kan omkonstrueras. En annan möjlig vidareutveckling är att inkludera motorfästet i hängaren för att minska antalet delar och därmed kostnaderna.

Projektgruppens truck är överdimensionerad mot verkligheten enligt argumentation i 2.3.4.3 *FEM-analys, rekonstruering och slutresultat*. Med strukturell optimering och förstörande provning kan billigare truckar fås fram. Huvudvikt i projektet har legat på att ta fram en fungerande prototyp som överlever även misslyckade test, men i verkligheten är det andra faktorer så som lönsamhet som spelar in.

Ett bättre alternativ än att limma fast kugghjulen på motoraxeln hade varit med hjälp av kil och kilspår. Anledningen till detta är att konstruktionen då kan tas isär på ett enkelt sätt för byte, av till exempel motor. Eftersom projektgruppens motorer inte gick att skruva isär gick det heller inte att fräsa nödvändigt kilspår, varför denna tillverkningsmetod inte kunde användas.

Referenser

- [1] S. Sedin, 11 Februari 2014. [Online]. Available: http://www.mynewsdesk.com/se/svensk_kollektivtrafik/pressreleases/kollektivtrafiken-oekar-sin-marknadsandel-959362. [Använd 1 Mars 2014].
- [2] Transportstyrelsen, "Cykel," 21 Augusti 21. [Online]. Available: <http://www.transportstyrelsen.se/sv/vag/fordon/fordonsregler/cykel/>. [Använd 5 Februari 2014].
- [3] D. G. Alciatore och M. B. Histan, "DC Motors," i *Introduction to Mechatronics and Measurement Systems*, 4:e upplagan red., Fort Collins, Colorado: McGraw-Hill, 2012, pp. 441-446.
- [4] G. Gerbert, "Tabell 7.1," i *Maskinelement del B*, Göteborg, Maskin- och fordonskonstruktion Chalmers Tekniska Högskola, 1993, p. 76.
- [5] G. Gerbert, "Kapitel 10," i *Maskinelement del B*, Göteborg, Maskin- och fordonskonstruktion Chalmers Tekniska Högskola, 1993, pp. 207-209.
- [6] G. Gerbert, "Figur 7.5 Effektförmåga för olika typer av transmissioner," i *Maskinelement del B*, Göteborg, Maskin- och fordonskonstruktion Chalmers Tekniska Högskola, 1993, p. 77.
- [7] Knovel, "Fatigue strength of 7075-T651 as function of stress level and stress ratio. Test temperature 15°C-38°C," Knovel, Norwich, 2004.
- [8] T. B. Reddy, *Linden's Handbook of Batteries*, 4:e upplagan red., New Brunswick, New Jersey: McGraw-Hill, 2011.
- [9] Pröckl, "Därför slår inte laddbart bland svenskarna," *NyTeknik*, 4 Oktober 2013.
- [10] "I2C-Bus," [Online]. Available: <http://www.i2c-bus.org/>. [Använd 9 Mars 2014].
- [11] D. G. Alciatore och M. B. Histan, *Introduction to Mechatronics and Measurement Systems*, 4:e upplagan red., New York: McGraw-Hill, 2012.
- [12] NXP, "UM10204," i *I2C-bus specification and user manual*, Eindhoven, NXP, 2012, pp.

55-56.

- [13] "Wiibrew," 15 September 2012. [Online]. Available:
http://wiibrew.org/wiki/Wiimote/Extension_Controllers/Nunchuck. [Använd 8 Mars
2014].

Figurförteckning

Figur 1 - Longboardens delar. Projektgruppens inköpta longboard på bild.....	11
Figur 2 - Mätning av krafter som verkar på systemet vid konstant hastighet	13
Figur 3 - NTM Prop Drive 50-60 270Kv, Motorn som har bestämts att användas	14
Figur 4 - Förklarande bild på koncept 1. Motorn sitter monterad på ett fäste som går ut från hängaren. En transmission går ner till ett kugghjul fäst på hjulet.	16
Figur 5 - Tandrem/kuggrem kommer att användas som transmission i longboarden.	17
Figur 6 - CAD-modell av konceptet på drivlinan t.v. och nuvarande truck t.h. Observera att skruvar och motsvarande hål kommer att tillkomma i mellan motor och motorfäste för fixering. De två bronsfärgade cylindrarna är longboardens två motorer. På bilden svänger longboarden för att bättre visa hur drivlinan ser ut och fungerar.	18
Figur 7 - CAD över en prototyp av drivlinan där motorer, hjul och justeringsstaget blivit bortplockade. Här ser vi hur kraftöverföringen går från motor via kuggrem ner till kugghjulet som via genomgående skruvar sitter fast på hjulen. Motorernas axlar går igenom de röda motorkullagren som är fästa på motorfästet. Motorerna ska sitta fast i fästena med skruvförband runtomkring de röda motorlagren; dessa skruvar är dock inte utritade.	19
Figur 8 - Wöhler-diagram för al-7075. Linjerna(-1, 0, 0.5) beskriver spänningssamplituden. T.ex. beskriver linje 0 vid 1.8 miljoner cykler att spänningen kan tillåtas mellan 0 och 300 MPa innan brott sker.	20
Figur 9 – Olika vyer och renderingar av drivlinan modellerad i Autodesk Inventor 2014.....	21
Figur 11- Spänningarna som uppstår när longboarden belastas med 1500 N i sidled.	22
Figur 10 - Dessa spänningar och utböjningar (överdrivet visualiserat) sker utifrån vertikallasten 2700 N, som är direkt taget ur kravspecifikationen för drivlinan. För utböjningar och pålagda krafter, se Appendix C5 – Övrig information för FEM-analys.	22
Figur 12 - Visar spänningen i konstruktionen vid normal last från en förare på 93 kg med en säkerhetsfaktor på 1.5.Säkerhetsfaktorn finns för att simulera spänningsskillnaderna som tas ur Wöhler-diagramet i 2.3.4.2.	23
Tabell 13 - Handkontroll koncept *Detaljerad förklaring hittas i Appendix D2	27
Tabell 15 – Kontaktportar	28
Figur 14 - Wii-Nunchuck mottagare (ut-portar)	28
Figur 16 – Arduino-kortets kopplingsschema för de olika signalerna med tillhörande portar	29
Tabell 17 - Nunchuck Bytes.....	32
Figur 18 - Hur den färdiga lådan ser ut och fästs under longboarden och gjordes så låg som möjligt för markfrigången	36

Figur 19 - Lådan för Arduino-kortet	36
Figur 20 - Schema över det elektriska systemet.....	37
Figur 21 - Undersidan av longboarden som visar komponenterna hur de är placerade	38
Figur 22 – Budgeten olika poster	39
Figur 23, Turnigy SK3 6374 192Kv, Detta var motorn som övervägdes vid installation med en motor.....	49
Figur 24 - Förklarande bild på koncept 1	51
Figur 25 - Förklarande bild på koncept 2	51
Figur 26 - Förklarande bild på koncept 3	51
Figur 27 - Beskrivande bild på koncept 4	52
Figur 28 - Beskrivande bild på koncept 5	52
Figur 29 - Beskrivande bild på koncept 6	52
Figur 30 - Beskrivande bild av koncept 7	53
Figur 31 - Beskrivande bild av koncept 8	53
Figur 32 - Kedjedrift är vanlig bland annat hos cyklar	54
Figur 33 - Tandemkuggrem. Här demonstreras hur flexibelt det är.....	54
Figur 34 - Beräkningsnätet som används i alla FEM-approximationer i rapporten.....	61
Figur 35 - Anlagda krafter från lastfall, sidkraft på 1500 N.	61
Figur 36 - Ekvivalent spänning (von Mises) på drivlinan underifrån från lastfallet 2700 N vertikalt.....	62
Figur 37 - Anlagda krafter för lastfallet 2700 N vertikalt.	62
Figur 38 - Utböjning [m] längs med hjulaxeln, lastfall 2700 N vertikalt.....	63
Figur 39 - Utböjning [m] längs med vertikalaxeln (vinkelrätt mot marken). Lastfall 2700 N vertikalt.....	63
Figur 40 - Total utböjning [m]. Lastfall 2700 N vertikalt.	63

Appendix A – Kravspecifikation

I följande kravspecifikation sammanställs de ingående krav som projektet har och dessa krav avgör olika komponenters utformning.

- *Acceleration*
Systemet ska klara av att accelerera med 3 [m/s²].
- *Hastighet*
Systemet ska klara av att hålla en hastighet på 20 [km/h].
- *Lutning*
Systemet ska klara av att framföras i max hastighet och kunna accelerera fullt då underlaget lutar med 5 %.
- *Vikt*
Systemet ska klara av en maximal vikt på 100 [kg], varav föraren står för 93[kg].
- *Räckvidd*
Systemet ska klara av att, på plant underlag vid maxhastighet, färdas 10 [km] på en batteriladdning.
- *Livslängd*
Systemet ska fungera och hålla kvalitet i 5 år i svenska förhållanden.
- *Kostnad*
Kostnaden för projektet ska hållas nere så mycket som möjligt, men får inte överskrida budgeten på 5 000 kr.
- *Användarvänlighet*
 - *Bärbarhet*
Systemet ska vara lätt att bära och kunna transporteras på kollektivtrafik på ett enkelt och säkert sätt därför är totalvikten satt till max 7 kg.
 - *Känsla*
Frånsett krafttillskottet från motorn ska systemets kännas och bete sig som en vanlig, omodifierad longboard.
 - *Säkerhet*
Systemet ska vara driftsäkert och fungera utan stopp eller problem samt inte orsaka personskador på varken förare eller andra trafikanter.
- *Svensk lagstiftning*
Longboarden ska följa svensk lagstiftning om elcykel i så stor utsträckning som möjligt, med undantag från styret och kravet på inbromsning.
- *Användningsområden och skydd mot yttre element*
Produkten ska anpassas efter användning i torra, relativt rena förhållanden. Detta för att ett mångsidigt skydd från yttre element skulle innebära tekniska svårigheter som antagligen skulle kosta projektet för mycket tid och pengar.

Appendix B - Andra övervägda motorkoncept och noggrann förklaring av tandemmotor

En motor

Fördelen med att använda en motor är att den totala installationen blir billigare. Detta gör också att det endast krävs en ESC-modul (Electronic Speed Control) för att styra motorn vilket i sin tur gör att den totala kostnaden blir lägre. En annan anledning som gör att en layout med en motor är attraktiv är att den blir som sagt lättare att ansluta till det elektriska systemet. Om en stor motor jämförs med vad en motor kan göra i de flermotoriga layouterna, så har en stor motor ett mycket högre spänningstak vilket gör att man kan få ut mer effekt per gram.

En av nackdelarna med att använda en motor är att kraften appliceras endast på en punkt vilket gör att om föraren skulle luta sig vid en sväng så skulle fordonet blir mer oroligt i fall motorn skulle vara placerad vid sidan av longboarden. Bland de största nackdelarna med en större motor är att den får väldigt stora proportioner jämfört med de mindre motorerna, se *Figur 23*, för att möta samma effektkrav. Detta gör i sin tur att blir allt svårare att montera motorn på undersidan av longboarden och detta äventyrar motorns säkerhet pga. den låga frigången. Detta leder till att manöverförmågan minskas avsevärt.



Figur 23, Turnigy SK3 6374 192Kv, Detta var motorn som övervägdes vid installation med en motor

Två motorer (Tandemmotor)

Till skillnad från en layout med en motor så har en layout med tvåmotorer fördelen att kraften kan appliceras jämnt utöver en axel. Detta leder till mer stabilitet då layouten hamnar i jämvikt. Att använda två motorer gör också att storleken på motorerna hålls nere då kraften istället fördelas mellan två motorer. Då dimensionerna blir mindre gör detta att frigången för motorerna blir större vilket gör att motorernas säkerhet inte äventyras. Att använda två motorer gör också att det går att installera mer effekt till fordonet och ändå hålla vikten nere. Det som gör att en layout med två motorer kan verka avstötande är att det är mycket svårare att styra då varje motor måste ha en egen ESC-modul. Det går inte att koppla samman två motorer till samma ESC-modul då detta gör att synkroniseringen av signalerna stör ut varandra och detta i sin tur gör att motorerna inte opererar önskvärt, som t.ex. abrupta ryck i driften och plötsliga stopp. Att varje motor behöver var sin ESC-modul gör också att priset kan öka avsevärt jämfört med en motor. En annan aspekt som måste tas i åtanke är också monteringsarean. Longboarden har begränsat med plats för montering av motorerna och en motorlayout med två motorer tar upp ganska stor yta.

Fyra motorer

En annan layout som kan has i åtanke är den med fyra motorer. Fördelen med fyra motorer är att varje hjul kan drivas individuellt vilket gör att en jämn kraft appliceras utöver fordonet. Detta i sin tur gör att longboarden får väldigt bra väggrepp. Att dela upp kraften ytterligare mellan fler motorer gör också att vikten fördelas optimalt utöver longboardens undersida. Nackdelarna med just fyrehjulsdriften är däremot att det totala priset för fyra motorer och fyra

ESC-moduler blir väldigt dyrt. Sedan gör detta också att styrningen av samtliga motorer med dess ESC-modul blir väldigt svårt att programmera och få synkront, då det är tolv olika signaler som måste behandlas. Än en gång spelar longboardens yta roll då fyra motorer och deras styrenheter tar upp allt för mycket plats under longboarden vilket gör att batterierna och drivlinan kommer få ont om plats. Det som har observerats genom studier och undersökning hos grossister tyder också på att det är väldigt svårt att hitta små motorer som ändå har lågt K_v -värde. Det blir uppenbart att ju större motorn är desto lägre K_v -värde går att få. Detta beror på allra största sannolikhet pga. att de större motorerna allt fler kopparlindningar i sina spolar och har starkare magneter än de mindre motorerna.

Appendix C1 – Koncept drivlina

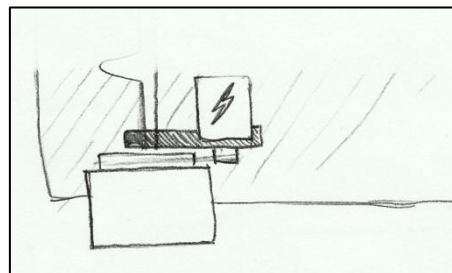
I denna bilaga finns de olika koncepten för motorplacering och transmission presenterade:

Koncept motorplacering

Nedan följer de olika koncepten för motorplacering:

1. Under longboarden, på trucken med kraftöverföring direkt på hjulet

Motorn är monterad i ett fäste på trucken, se *Figur 24*. En utväxling går från motorn ner till ett kugghjul som sitter på fäst på hjulet. Genom att montera motorn/motorerna under longboarden blir de och kraftöverföringen relativt skyddade, vilket leder till att konstruktion kan anses som robust, utan att behöva bygga stora skydd för motorerna. Den största nackdelen med denna lösning är att konstruktionen får ont om plats. Detta beror på att den sitter under brädan och måste ha spelrum för att brädan rör sig i förhållande till trucken där motorerna sitter fixerade.



Figur 24 - Förklarande bild på koncept 1

2. Utanför longboarden, på trucken med kraftöverföring direkt på hjulet

Lösning 2, se *Figur 25* är precis likadan som 1. ovan, med skillnaden att motorerna sitter monterade på utsidan trucken. Fördelarna med detta är att motorerna får mer utrymme i och med att de inte längre behöver få plats under brädan. Nackdelen med denna lösning jämfört med 1. är att den är mycket mindre skyddad. Detta resulterar i slutändan i att livslängden och användarvänligheten försämras tydligt.



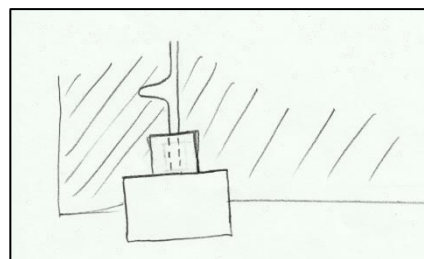
Figur 25 - Förklarande bild på koncept 2

3. Hjul direkt fästa på elmotor (motorn är en del av trucken)

Motorn är fastskruvad i trucken och hjulet sitter direkt fastskruvat på axeln ut ur motorn, se *Figur 26*. Fördelen med detta är, sett till antalet komponenter den simplaste av de sju helhetskoncepten av drivlinan. Nackdelarna med denna lösning innefattar avsaknaden på möjlighet till att integrera en utväxling, samt problemen med extremt stora moment på axeln och radiella krafter på lagren i motorn

som till stor del uppkommer från förarens tyngdkraft.

Andra oönskade konsekvenser av detta koncept innefattar låg markfri gång, helt oskyddad motor, väldigt stora moment på axeln samt motorn med största sannolikhet behöver omkonstrueras.

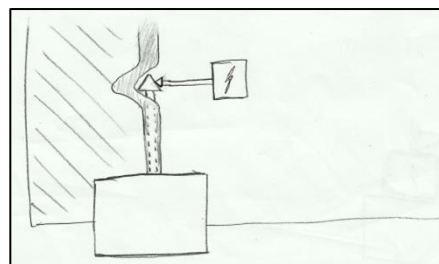


Figur 26 - Förklarande bild på koncept 3

4. Motor under longboarden, kuggstång till drivaxel

Denna lösning innebär att motorns drivaxel ställs längs med longboarden och driver ett kugghjul som sitter fäst på hjulaxeln, se *Figur 19*. Fördelarna med denna lösning är att storleken på motorn kan utökas mycket jämfört med de andra lösningarna där motorn sitter under brädan, slitaget blir lågt, samt att elasticiteten (oönskad effekt) blir lägre än motsvarande remlösningar. Nackdelarna är

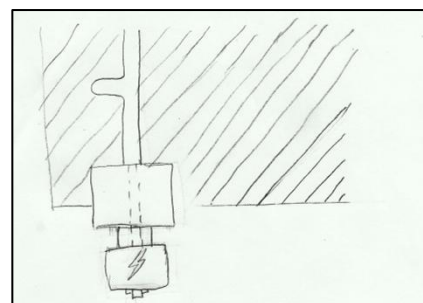
att hängaren tvingas bli väldigt stor och tung för att klara hållfasthetskraven, en inneslutning för kugghjulen behöver konstrueras och komplexiteten på lösningen blir ännu större om drivning skall ske på två hjul istället för ett.



Figur 27 - Beskrivande bild på koncept 4

5. Motorfäste bredvid hjulet på utsidan

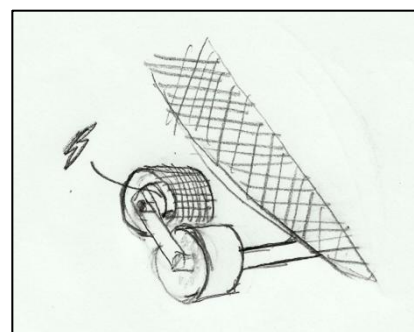
Denna lösning är även den relativt simpel. Motorn sitter monterad på utsidan hjulet och är fäst i trucken, se *Figur 28*. Skillnaden mot koncept 3 är att hjulet sitter på trucken och att motorn därefter sitter på hjulmuttern. I och med att motorn sitter utanför är den väldigt exponerad mot yttre våld och därför mindre användarvänlig. Dessutom måste rotorn i elmotorn vara ihålig och sitta runt trucken och komplicerar konstruktionen. En fördel blir dock att lösningen går att använda på i princip alla befintliga longboardtruckar utan att modifiera dem. En sista, men bytande nackdel är att det inte går att montera någon utväxling på dem.



Figur 28 - Beskrivande bild på koncept 5

6. Motor fäst på utsidan hjulet med drivning rakt på drivytan av hjulet

Precis som koncept 5 är denna konstruktion fäst på yttre hjulmuttern, se *Figur 29*. Genom en ställning driver motorn med hjälp av friktion direkt på hjulens drivyta, vilket förutom att överföra kraft från motor till hjul, medför betydande förslitning på hjulen. Konstruktionen är mindre känslig mot yttre våld på sidorna jämfört med koncept 5, men behöver istället kapslas för att den inte ska bli farlig för användaren. De största fördelarna hos denna konstruktion är att det är en enkel lösning att konstruera, på

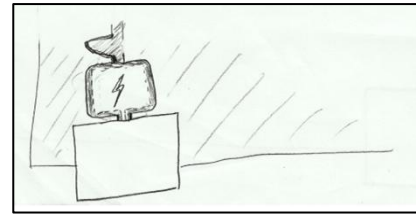


Figur 29 - Beskrivande bild på koncept 6

grund av att det är så få rörliga delar. Andra nackdelar är att den antagligen kommer få mycket ont om utrymme om inte en betydande omkonstruktion av longboarden genomförs samt att drivningen kan få problem med slirning (s.k. *kraftbetingar transmission*).

7. Motor inuti i trucken

Koncept nummer 7, se *Figur 30*, är en vidareutveckling av att sätt motorn direkt på trucken. Genom att sätta in motorn inuti hängaren (den hängande delen av trucken) finns det inga yttre rörliga delar förutom hjulen. Koncept 7 är mycket likt koncept 3, med skillnaden att radiella

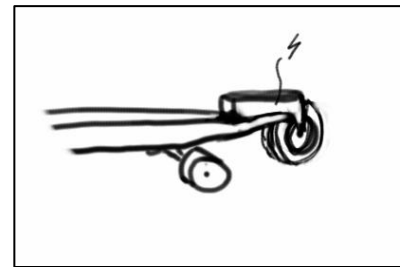


Figur 30 - Beskrivande bild av koncept 7

lagerkrafter och moment tas upp av trucken. Detta gör detta koncept mycket mer sannolikt att fungera i praktiken och genom att fullständigt ta bort yttre exponerade delar är koncept ytterst robust. Nackdelarna är att utväxling inte kan integreras i konstruktionen, elmotorn är ytterst limiterad storleksmässigt, huset för motorn det vill säga hängaren blir komplicerad att tillverka, samt att den markfria gången kommer att bli väldigt liten.

8. Motor som driver ett extra hjul som inte nödvändigtvis måste sitta på trucken

Att bygga ett extra drivhjul har alltid funnits som alternativ och detta tas med i rapporten för att poängtera att detta är ett möjligt sätt att lösa problemet med att driva en longboard. Att genomföra detta på ett rimligt sätt är dock en stor utmaning då kravspecifikationen tydligt specificerar att känslan av att åka longboard inte skall påverkas. Fördelarna med denna lösning är att den är enkel att genomföra, att det



Figur 31 - Beskrivande bild av koncept 8

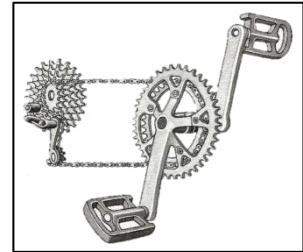
finns gott om plats, samt att det enkelt blir en simpel konstruktion med få rörliga delar, se *Figur 31*.

Koncept transmission

Utifrån projektet krav har fyra olika transmissioner valts för utvärdering. Dessa finns beskrivna nedan. Information om dessa är hämtade ur. [4]

1. Kedjedrift

Kedja med kuggar är en lösning som idag är väldigt vanlig hos bl.a. cyklar, se *Figur 32*. Kedjan innehåller många rörliga delar och blir därför mer komplex än motsvarande remlösning. Fördelarna är dock att den är väldigt stark och har hög verkningsgrad. Några av nackdelarna är dock buller, begränsad utväxling, krav på smörjning och kostnad.



Figur 32 - Kedjedrift är vanlig bland annat hos cyklar

2. Remdrift

Remmar är populära val i smutsiga miljöer där utomordentlig livslängd inte måste prioriteras. De har låg vikt i förhållande till styrka.

Tandrem

Tandrem (kallas även *kuggrem*), se *Figur 33* består av ett lager kord, d.v.s. kärnan, som tar upp lasten och tillverkas i antingen stål, glasfiber eller kolfiber. Tänderna (kuggarna) som ligger i ingrepp mot kugghjulet (s.k. *formbetingad transmission*) består av gummi och samma material omger även korden. Fördelar med denna transmission är att den har liten storlek, låg vikt, liten förspänning, frånvaro från slirning, hög verkningsgrad samt att den klarar stora utväxlingar. Nackdelen är att lösningen utsätts för förslitning.



Figur 33 - Tandemkuggrem. Här demonstreras hur flexibelt det är

Kilremmar (Poly-V remmar med flera)

Kilremmar är en vanlig och enkel lösning för kraftöverföring i smutsiga miljöer. En kilformad rem dras ner i skåran på drivhjulet och genom friktion längs med sidorna på remmen överförs kraften (s.k. *kraftbetingad transmission*). En kärna av stål, nylon, polyester, glasfiber eller kolfiber står för den långsgående kraftöverföringen. Många kilar bredvid varandra på samma rem kallas för Poly-V remmar och är en till tjockleken sett, effektivare variant. Fördelar hos denna lösning är att den är enkel att tillverka och har låg bullernivå. Nackdelar är att den kräver stor förspänning, inte kan hantera stora utväxlingar, har risk att slira samt utsätts för förslitning.

3. Kugghjul

Kugghjul är en mycket klassisk lösning inom maskinteknik och finns i de flesta växellådor idag. Kugghjul har fördelarna av att vara mycket starka, ha mycket hög verkningsgrad samt lågt slitage i rena miljöer. Nackdelar är att konstruktionen är komplex och tar stor plats då kräver ett chassi samt en inneslutning för att inte förslitas. Andra problem med denna lösning innefattar oljud, krav på smörjning, komplex dimensionering (gällande toleranser med mera), höga inköpskostnader, samt svårigheter att tillverka.

Appendix C2 – Kravspecifikation drivlina

Detta dokument innehåller kravspecifikationen för drivlinan, se rubrik Kravspecifikation, samt hur dessa krav tagits fram, se motsvarande nummer under rubriken Bestämma krav.

Konstruktionen ska:

1. kunna utsättas för 14.4 Nm med en säkerhetsfaktor 2, d.v.s. 28 Nm totalt på hjulen.
2. klara en vinkelhastighet på hjulen motsvarande en hastighet 40 km/h.
3. vara beständig mot vibrationer.
4. tåla normalkraft på 2700 N.
5. tåla sidokrafter på 1500 N.
6. ha livslängd på 5 år, exklusive slitdelar.
7. vara korrosionstålig under torra förhållanden med hög (90 %) luftfuktighet.
8. kunna tillverkas/beställas
 - med avseende på teknik, i den mekaniska verkstad som Chalmers tillhandahåller.
 - med avseende på tid
9. vara möjlig att på ett ingenjörsmässigt sätt dimensioneras.
10. tåla lätta slag (motsvarande att släppa hammare från 10 cm).
11. tåla grus och damm från vägen.
12. vara säker för användaren.
13. kunna svänga som en vanlig longboard.
14. sammankoppla motor med hjul med ett maximalt glapp på 30 grader på hjulaxeln då motorn hålls stilla
15. hålla budget
 - a) 1400 kr i materialkostnad i tillverkningslabbet
 - b) 400 kr övriga kostnader
16. kunna utväxla hjulet mellan 2 – 5 ggr.

Bestämma krav

Att bestämma krav är något som är viktigt att göra för att definiera vad som är en fungerande produkt. Många av de värden som står i kravspecifikationen är framtagna enligt rimlighetsbedömningar utifrån de allmänna krav och mål som är satta på den elektriska longboarden.

1. Det totala momentet kommer från den maximala kraften $F_{max, mekanisk}$ * som longboarden ska leverera, med en säkerhetsfaktor $\eta_1 = 2$.

$$M_{max} = (F_{max, mekanisk} * r_{hjul}) * \eta_1 = 378 * 0.038 * 2 = 28.7 \text{ Nm}$$

2. Denna vinkelhastighet kommer från hastigheten 40 km/h, vilket motsvarar 292 rad/s på hjulen. Hastigheten är satt till maxhastigheten som longboarden skall framföras i (20 km/h) med en säkerhetsfaktor $\eta_2 = 2$. I händelse av att föraren åker snabbare än longboarden kan bromsa, skall konstruktionen tåla minst dubbla maxhastigheten innan någon komponent går sönder.

$$\omega_{hjul} = \frac{V_{max} * \eta_2}{r_{hjul}}$$

3. Härleds ur kraven att kunna användas under normala svenska förhållanden på asfalt och krav nr 6, livslängd.
4. Tåla statiska laster ovanifrån, motsvarande förare med säkerhetsmarginal $\eta_2 = 3$ Detta ger att $F_{normal} = \eta_2 * m_{förare} * g \approx 2700 \text{ N}$
5. Sidokrafter som longboarden ska tåla kommer från användarperspektiv. I praktiken kommer alla typen av sidokrafter som uppstår och hur dessa distribueras på konstruktionen från faktiska mätningar där verkliga störningar kan förekomma. Ett "worst case" scenario innebär dock att föraren ställer longboarden på högkant. Detta ger med totala massan

$$m_{total} = m_{longboard} + m_{förare} = 100$$

och gravitationskonstanten g och en säkerhetsfaktor $\eta_3 = 1.5$, en sidkraft på

$$F_{sida} = m_{förare} * g \approx 1500 \text{ N}.$$

6. En livslängd på 5 år uppskattas i dagens läge vara rimlig hos hela fordonet, då den snabba utvecklingen hos bl.a. batterier ändå kommer att motivera användaren att köpa en ny produkt efter denna tid.
7. Detta utgår ifrån kravet att vara anpassad efter svenska marknaden och även kravet på livslängd.
8. Att kunna tillverka de komponenter som inte går att beställa är essentiellt. Gruppen är limiterad till att använda de verktyg som Chalmers tillhandahåller.

9. Lösningen måste kunna dimensioneras och dokumenteras. Detta i linje med hela projektets mål.
10. Kravet att vara slagtålig är en summering av kravet på livslängd och kravet på att fungera i vanliga svenska förhållanden. En enhet och mängd våld som konstruktionen on skall tåla är satt enligt en uppskattad livscykel på en longboard.
11. Kravet är en aspekt av att tåla svenska förhållanden.
12. Precis som alla vanliga fordon måste denna lösning vara säker för användaren. Skador som uppkommer på föraren på grund av dåligt konstruerad drivlina får inte hända.’
13. Detta är ett krav för att säkerställa att produkten blir användarvänlig.
14. Att ha för stora glapp i drivlinan kommer att medföra stora accelerationer och minska helhetsintrycket hos kunder. Därför är ett maximalt glapp på 30 grader satt för att motverka detta.
15. Budgeten är satt. Se rubrik 5.2 *Budget*.
16. Detta krav tillkom i slutet av konstruktionsdelen. Detta för att motorerna ska kunna hållas rimligt små. Storleken på utväxlingen kommer ifrån beräkningar på extremfallen hos en grossists hemsida.

Appendix C3 – Elimineringssmatriser drivlina

Följande elimineringssmatriser sällar bort de koncept på drivlinan och de alternativ av transmissionen (se *Appendix C1- koncept drivlina*) som inte uppfyller ställda krav (se *appendix C2 - kravspecifikation drivlina*):

Drivlina koncept

	Koncept 1	Koncept 2	Koncept 3	Koncept 4	Koncept 5	Koncept 6	Koncept 7	Koncept 8
1. Moment 28 Nm	-	-	-	-	-	-	-	-
2. Vinkelhastighet 146 rad/s	-	-	-	-	-	-	-	-
3. Statisk last på 2700 N rakt uppifrån	-	-	X	-	-	-	-	-
4. Beständig mot vibrationer	-	-	-	-	-	-	-	-
5. Sidokrafter 1000 N	-	-	-	-	-	-	-	-
6. Livslängd 5 år	-	-	-	-	-	-	-	-
7. Korrosionsmotstånd (90 % luftfuktighet)	-	-	-	-	-	-	-	-
8. Kunna tillverkas	-	-	-	-	-	-	X	-
9. Möjlig att dimensionera	-	-	-	-	-	-	-	-
10. Slagtålig	-	-	-	-	-	-	-	-
11. Tåla damm och grus	-	-	-	-	-	-	-	-
12. Säker för användaren	-	-	-	-	-	-	-	-
13. Kunna svänga som en vanlig longboard	-	-	-	-	-	-	-	X
14. Sammankoppla motor med hjul och ha maximalt glapp på 30 grader	-	-	-	-	-	-	-	-
15. Hålla budget	-	-	-	-	-	-	-	-
16. Kunna utväxla hjulet 2 – 5 ggr	-	-	X	-	X	-	X	-
Vidareutveckling	Ja	Ja	Nej	Ja	Nej	Ja	Nej	Nej

Kraftöverföring

	Kedja	Kuggrem	Kilrem	Kugghjul
1. Moment 48 Nm	-	-	-	-
2. Vinkelhastighet 146 rad/s	-	-	-	-
3. Statisk last på 2700 N rakt uppifrån	-	-	-	-
4. Beständig mot vibrationer	-	-	-	-
5. Sidokrafter 1000 N	-	-	-	-
6. Livslängd 5 år	-	-	-	-
7. Korrosionsmotståndig (90 % luftfuktighet)	-	-	-	-
8. Kunna tillverkas	-	-	-	-
9. Möjlig att dimensionera	-	-	-	-
10. Slagtålig	-	-	-	-
11. Tåla damm och grus	-	-	-	-
12. Säker för användaren	-	-	-	-
13. Kunna svänga som en vanlig longboard	-	-	-	-
14. Sammankoppla motor med hjul och ha maximalt glapp på 30 grader	-	-	-	-
15. Hålla budget	-	-	-	-
16. Kunna ha en utväxling	-	-	-	-
Vidareutveckling	Ja	Ja	Ja	Ja

Appendix C4 – Pughmatriser drivlina

Pughmatrisen är en metod för att poängsätta egenskaper hos olika koncept och utifrån viktad totalpoäng kunna bestämma bästa lösning. Högst totalpoäng motsvarar bäst lösning. Poäng skrivs [viktad poäng(poäng)], t.ex. 6[2] om ett önskemål varit viktat 3.

Egenskaperna är en uppskattning av alla tilltalande egenskaper hos drivlinan/transmissionen och viktade efter hur signifikanta de är relativt varandra i en skala 1-5, där 5 är viktigast. Poängsättning på varje egenskap är satt 1-5 där 5 är bäst.

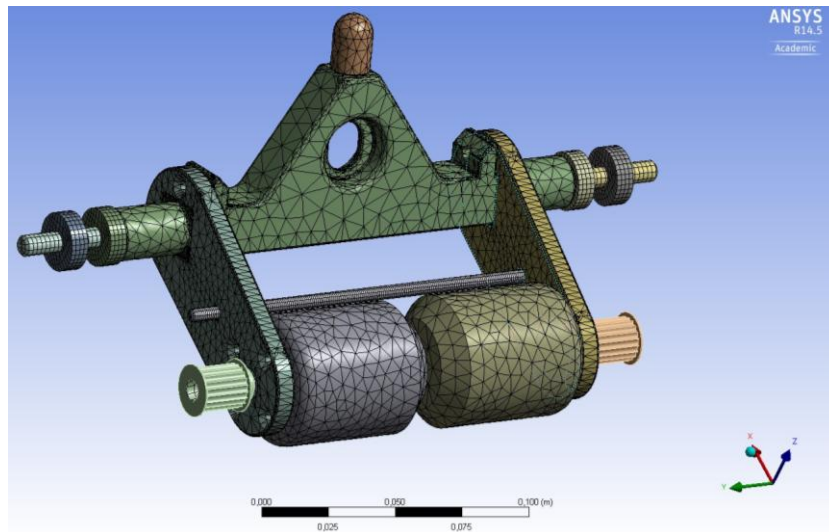
Pughmatris drivlina

	Koncept 1	Koncept 2	Koncept 4	Koncept 6
1. Pris [2]	6[3]	6[3]	2[1]	10[5]
2. Robusthet [4] (hållfasthetsmässigt)	16[4]	8[2]	8[2]	8[2]
3. Prestanda [3] (lågt glapp, motstånd m.m.)	12[4]	12[4]	9[3]	6[2]
4. Tillverkningsmöjligheter [4]	12[3]	12[3]	4[1]	16[4]
5. Användarvänlighet [5] (ljud, känsla i longboarden, risk att fastna m.m.)	25[5]	20[4]	15[3]	10[2]
6. Estetik [1]	4[4]	3[3]	5[5]	1[1]
7. Möjlighet att arbeta med och laga [3]	12[4]	12[4]	6[2]	15[5]
8. Slitning & underhåll [3]	12[4]	12[4]	15[5]	6[2]
9. Kunna driva på båda hjulen [5]	25[5]	25[5]	15[3]	25[5]
Viktad totalpoäng	124	110	85	97
Rangordning	1	2	4	3
Valt koncept	Ja	Nej	Nej	Nej

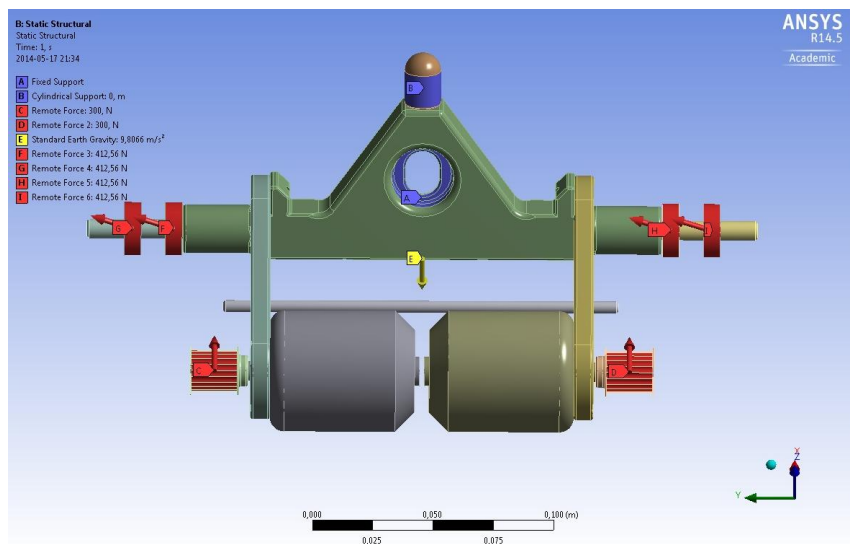
Pughmatris kraftöverföring

	Kedja	Tandrem	Kilrem	Kugghjul
1. Pris [2]	4[2]	8[4]	10[5]	2[1]
2. Robusthet [4] (hållfasthetsmässigt)	20[5]	16[4]	8[2]	16[4]
3. Prestanda [3] (lågt glapp, motstånd m.m.)	12[4]	12[4]	8[2]	16[4]
4. Tillverkningsmöjligheter [4]	12[3]	12[3]	20[5]	4[1]
5. Användarvänlighet [5] (ljud, känsla i longboarden, risk att fastna m.m.)	10[2]	25[5]	20[4]	10[2]
6. Estetik [1]	2[2]	4[4]	2[2]	2[2]
7. Möjlighet att arbeta med och laga [3]	6[2]	9[3]	12[4]	2[1]
8. Slitning & underhåll [3]	15[5]	6[2]	15[5]	15[5]
9. Utväxling [5]	10[2]	25[5]	15[3]	20[4]
Viktad totalpoäng	91	117	110	87
Rangordning	3	1	2	4
Vald lösning	Nej	Ja	Nej	Nej

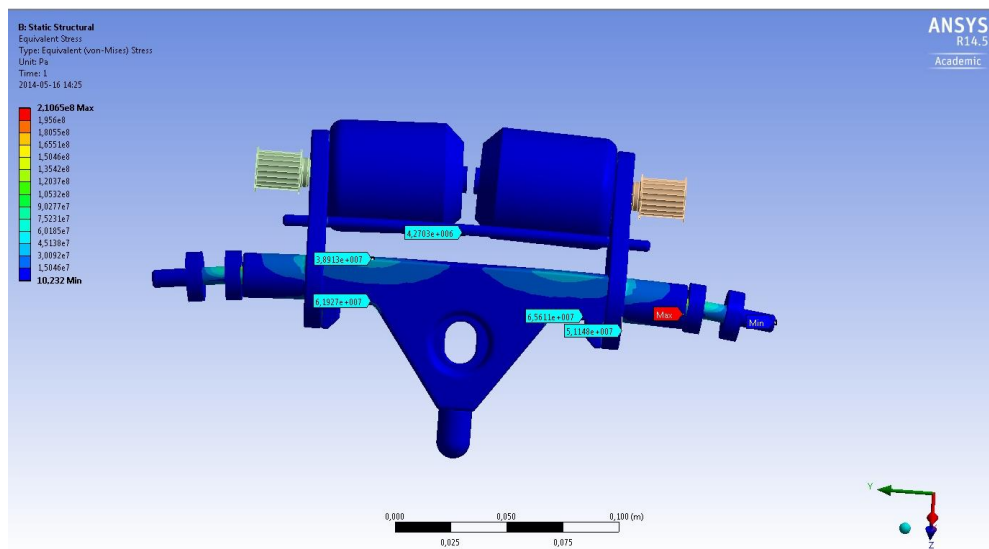
Appendix C5 – Övrig information för FEM-analys



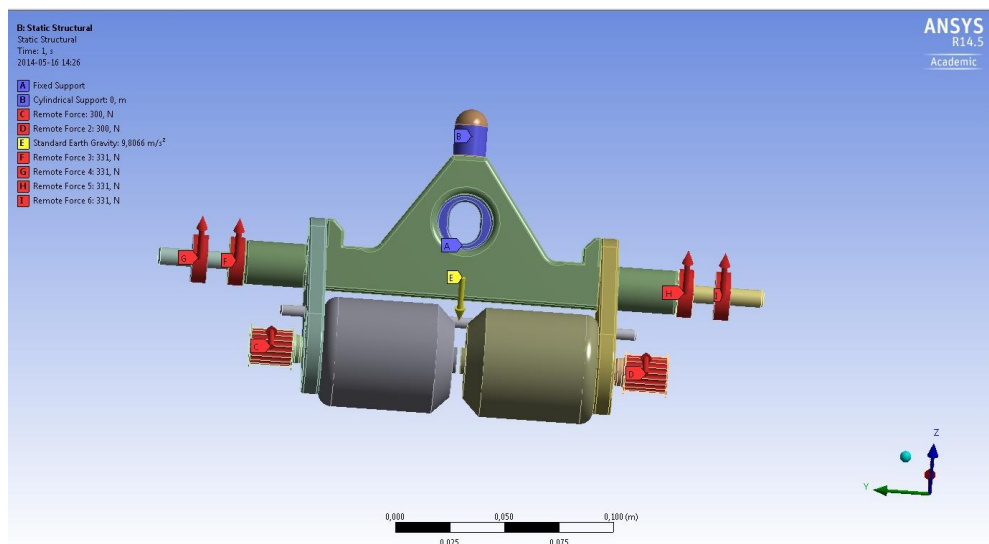
Figur 34 - Beräkningsnätet som används i alla FEM-approximationer i rapporten.



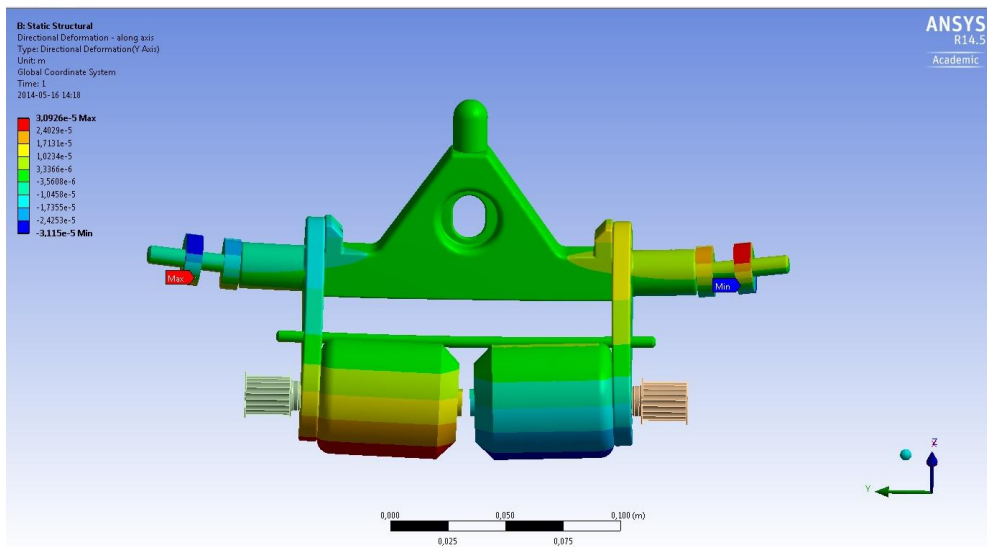
Figur 35 - Anlagda krafter från lastfall, sidkraft på 1500 N.



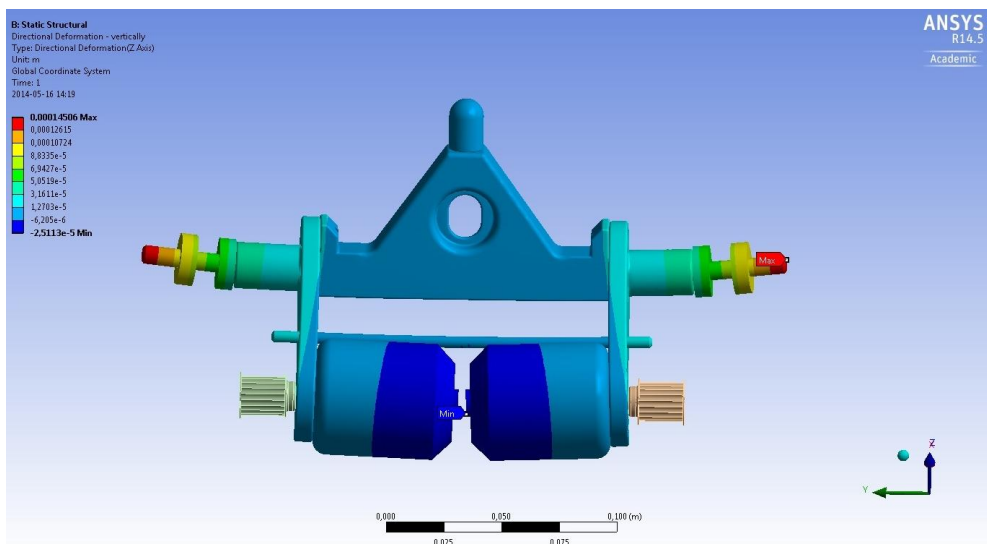
Figur 36 - Ekvivalent spänning (von Mises) på drivlinan underifrån från lastfallet 2700 N vertikalt.



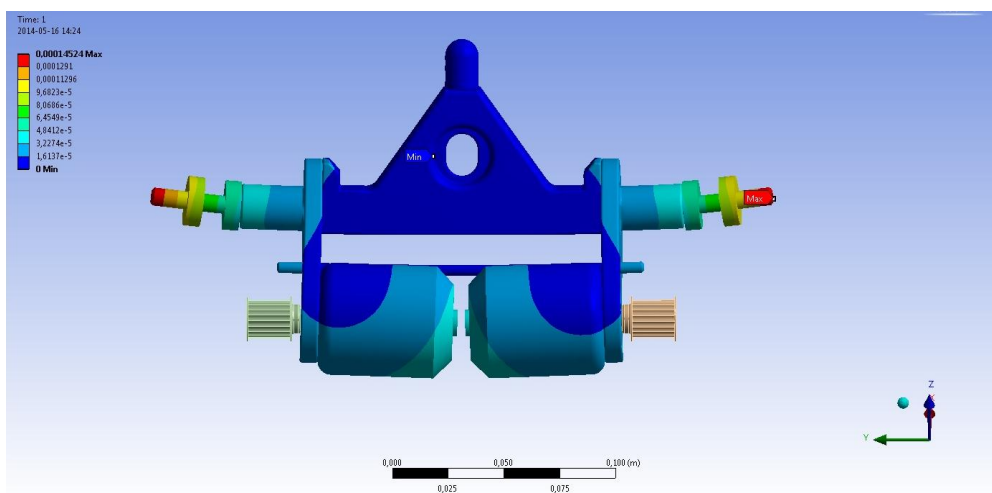
Figur 37 - Anlagda krafter för lastfallet 2700 N vertikalt.



Figur 38 - Utböjning [m] längs med hjulaxeln, lastfall 2700 N vertikalt



Figur 39 - Utböjning [m] längs med vertikalaxeln (vinkelrätt mot marken). Lastfall 2700 N vertikalt.



Figur 40 - Total utböjning [m]. Lastfall 2700 N vertikalt.

Appendix D1 - Kravspecifikation för handkontroll

Nedan följer kravspecifikationer som sattes vid val av handkontroll och vad de innebär.

Säkerhet

Risken för skador och olyckor vid körning måste minimeras med de kunskaper/teknikmöjligheter och den budget som finns tillgodo. Handkontrollens utveckling och design spelar en huvudroll i säkerheten av användarens framfart.

Det som ansågs vara bidragande faktorer till en säker handkontroll togs fram och presenteras nedan:

- **Kommunikation med mikro-kontrollen under brädan**
Trådlös kommunikation är otroligt mycket säkrare. Användaren får röra sig fritt vid körning och risken för trassel med kabel elimineras.
- **Dödmansgrepp**
Brädan får inte förlöst åka för långt och skada andra trafikanter.
- **Trygghet under åkturen**
Handkontrollen och brädan är säkrare om den är lättanvänd och förser användaren med information om ex. hastighet, när broms trycks in m.m. Detta eftersom föraren kan koncentrera sig på körningen mer om han/hon känner sig trygg.
- **Ergonomi**
Handkontrollen får inte vara för otymplig eller tung och därmed möjligtvis störa föraren. Detta är en mindre viktig säkerhetsaspekt.

De två sistnämnda är egenskaper som även är viktiga för en användarvänlig produkt. Mer om detta nedan.

Användarvänlighet

Det är oftast användarvänligheten som är den mest attraktiva egenskapen bland kunder när de värdesätter en produkt, resterande egenskaper tycks vara mer självklara.

De faktorer som ansågs vara mest bidragande till användarvänligheten presenteras nedan:

- **Lätt att använda**
Det ska vara enkelt att starta systemet, åka på brädan osv.
- **Enkel att förstå**
Användaren får någon slags feedback från produkten vid användning.

Information till användaren och handkontrollens ergonomi är som nämnt tidigare viktiga säkerhetsaspekter. Främst på grund av att de gör brädan mer användarvänlig och detta bidrar till tryggheten. En display kan dock även visa batteristatus, körsträcka kvar m.m. vilket endast gör brädan mer användarvänlig och inte mer säker.

Display

Med display menas allt från enkla dioder till mer informationsgivande LCD-displayer. Det är helt enkelt ett tillägg som gör det möjligt att visa information om brädans tillstånd till användaren genom handkontrollen.

För att uppfylla kraven för handkontrollens ergonomi får displayen inte vara för stor. Det finns många färdiga LCD-displayer på marknaden kompatibla med Arduino-kort, men de flesta är för stora.

Appendix D2 - Konceptmodell handkontroll

Kontrollen är den centrala punkten för integration mellan användaren och produkten. Kraven för denna togs fram under kravspecifikationen för handkontrollen i tidigare avsnitt.

Det har tagits fram en mall på fyra olika koncept som har diskuterats och studerats på hur dessa förslag går att implementera och om dessa är möjliga att utföra.

Koncept 1 – Trådbunden kontroll

En handkontroll som är direkt kopplad till styrenheten under produkten via en kabellösning. Detta koncept är lätt att komma igång med, det krävs inte några större lösningar i varken koden eller konstruktionen.



Tanken är att en joystick-modul införskaffas, vilken kopplas direkt till styrenhetens in-portar. Från styrenhetens ut-portar kan en variant av en display och en joystick-modul kopplas. Skalet och dess design tas fram i CAD och skalet skrivs ut via en 3D skrivare på Chalmers.

Trådlös:

Nej, detta koncept stöder ej trådlös kommunikation.

Display:

Ja, detta koncept har stöd för display. Klarar av flera varianter av display så som LCD-skärm med menyval för all information som skall visas.

Användarvänligt:

Få komponenter i handkontrollen gör själva fysiska designen och konstruktionen lätt, snygg och ergonomisk. Problemet uppstår dock vid kabeln, denna hänger/dras ner till styrsystemet som sitter under brädan. Detta leder till en lös kabel antingen rätt genom brädan eller vid sidan/runt om. Spänningen på kabeln kan lösas med en så kallad ”jojo-drag” som spänner kabeln så långt som behövs men detta löser inte kraven som är satta då körförmågan påverkas alldeles för mycket.

Säkerhet:

Denna typ av handkontroll är den minst säkra bland alla koncept. Hur handkontrollen än ser ut, med en kabeldragning finns stora risker att föraren råkar illa ut. Detta då en kabel som denna kan låsa sig i något och kasta föraren ur balans oavsett fart. Skulle handkontrollen tappas i den höga farten kan även medtrafikanter skadas i form av den lösa handkontroll bakom fordonet. Föraren kan även trassla sig i dragningen vid en skarp sväng eller vid byte av kroppsposition, vilket är något en longboardförare gör ofta.

Svårighetsgrad:

Att programmera, designa och utveckla denna typ av kontroll är relativt lätt jämfört med

andra koncept. Små komponenter, direkta signaler till och från styrsystemet samt ingen avancerad programmering leder till att handkontrollen kan införas relativt fort.

Kostnad:

Inköp av joystick-modul, LCD-skärm samt material kostnader för 3D-utskriften av skalet gör att beloppet för denna modell landar på ca 150 :- SEK.

Koncept 2 – Smartphone med Applikation

Kontrollen är mobiltelefonen, vilket gör att införskaffande och utveckling av handkontroll specifikt för longboarden inte görs. Smartphonen kopplas via Bluetooth till styrenheten, vilken i sin tur har möjlighet att ta emot data och skicka data via en Bluetooth-modul, mer specifikt en HC05 modul som är en billig och standard modul som används flitigt utav massvis av Arduino ägare.



En applikation utvecklas till smartphonen, troligen med fokus på Android på grund utav licenssystemet för Google Play. Med detta koncept finns även möjligheten för många extra funktioner, så som GPS-track eller låsning utav produkten. Möjligheten till extrafunktioner är många på grund av utnyttjandet av mobiltelefonens alla hårdvarukomponenter.

Trådlöst:

Ja, via en Bluetooth-modul (HC05 RS232) och en Smartphone.

Display:

Ja, en smartphone har en stor och högkontrast skärm som används för att både visa data och skicka styrsignaler.

Säkerhet:

Hur säker en sådan lösning kan vara är svårt att avgöra då fokus ligger mest på hur användaren använder handkontrollen och vilket operativsystem som körs på telefonen. Om man utgår från Googles Android, blir problemet att applikationen pausas när ett samtal kommer in, p.g.a. den högre prioritet som systemapplikationer har. Detta orsakar större risker då användaren förlorar hela möjligheten att kontrollera produkten vid ett samtal. Användaren kan varken öka eller sänka farten vid inkommande samtal. Delar av problemet kan lösas genom att införa en säkerhetsmekanism i form av mjuk inbromsning vid avbrott men trygghetskänslan för användaren försvinner. Oavsett vad användaren väljer att göra, svara eller inte svara på ett inkommande samtal så kommer applikationen förr eller senare i ett "PAUS" scenario under själva uppringningen och användaren förlorar fullständig kontroll. Ett "worst-case" scenario vore om användaren bromsar och det ringer vid samma tidpunkt, då kan föraren inte stanna produkten.

Användarvänlighet:

De flesta moderna mobiltelefoner har oftast skärm på minst 4-tums idag (*), detta ger en stor och fin skärm som kan presentera mycket data men till kostnaden att kontrollen är relativt stor. En stor kontroll gör det väldigt svårt att uppfylla dem ergonomiska kraven som är satta.

Den största batteri-boven i en modern mobiltelefon är själva skärmen, denna behöver vara igång under hela körningen samtidigt som Bluetooth är aktiv. Med andra ord så påverkas batteriet på handkontrollen kraftigt med denna lösning.

Svårighetsgrad:

Att utveckla en applikation för detta tar tid då mycket fokus måste ligga i hur kontrollen skall användas. Exempelvis så fungerar inte gyro-tekniken i fart och enbart en hand kan användas för att ge bäst stabilitet för föraren på produkten. Själva svårigheten ligger i designen och programmeringen utav applikationen och dess gränssnitt.

Kostnad:

Applikationen laddas upp på Google Play vilket inte kostar några utvecklingslicenser. Telefonen antas finnas hos användare och ha stöd för en känd och välanvänd Bluetoothstandard. En liten modul för styrenheten köps in för att kunna ta emot Bluetooth signaler på denna. Modulen kostar ca 30-50:- SEK.

Koncept 3 – Utveckling av tredjeparts:

Detta koncept baserar på en befintlig mottagare och sändare för att sedan modifiera dessa till en anpassad lösning, det kan handla om från allt vanliga RC-lösningar som används i radiostyrda bilar eller diverse andra enheter som använder sig utav tillräckligt bra radiovåglösning, så som kontroll till spelkonsoler.



Sändaren och mottagaren modifieras för att kunna kommunicera med styrsystemet, tekniken i den trådlösa är inte relevant, de flesta lösningar finns i en tillräckligt stabil bandbredd för att kunna utföra kontrollens uppgifter utan några brus, signalstörning eller behov utav filter.

Trådlöst: Ja

Radiovågslösning likt många andra handkontroller.

Display: Nej

Eventuellt är detta möjligt med olika dioder där ”AV/PÅ” signaler skickas. Det är dock inte säkert att genomföra då lösningen beror på valet av handkontroll. Eftersom lösningen kan sakna display kan detta koncept anses att det inte har en display.

Säkerhet: ***

Av den enkla anledningen att samtliga delar från kravspecifikationen uppfylls.

Användarvänlighet: **

Utbudet på befintliga kontroller är stort, vilket gör att en liten, smidig och ergonomisk kontroll enkelt kan hittas. Utan en display sjunker användarvänligheten lite då ingen feedback skickas till användaren på ett snyggt och smidigt sätt.

Svårighetsgrad: **

Kan variera lite beroende på val av kontroll men desto mer kommersiell produkten är desto

lättare att hitta relevant information kring denna. Om special lösningar undviks och fokus läggs på standardprotokoll är uppgiften någorlunda enkel med standardbibliotek då Arduino har stöd för många öppna standarder.

Kostnad: 100 - 200 SEK

Det som kostar är sändaren och mottagaren, detta säljs oftast i en paketslösning och går även att köpa separat. En kort sökning på några få modeller ger en ungefärlig prisbild på vad detta kostar, vilket är mellan.

Koncept 4 – Egenutvecklad trådlös handkontroll

En egen designat och utvecklad handkontroll som kommunicerar trådlöst och byggs ut efter kraven som är satta. Design, programmering och konstruktion sker på egenhand och komponenter som display, trådlös-modul etc. köps in och byggs ihop.



I handkontrollen sätts ett till Arduino-kort och kopplas med olika komponenter som behövs. Arduino NANO är mest lämpligt för detta på grund utav dess storlek. Även Bluetooth-modulen, utan shield om så möjligt, och LCD-display finns i kontrollen och kopplad till Arduino-kortet utan att använda ett kopplingskort. Förutom detta behöver det även tänkas på batteriplats.

Trådlöst:

Ja, Bluetooth på båda korten för att kunna ta emot och skicka större data via samma modul samtidigt.

Display:

Ja, önskemål är dock att kontrollen inte får vara allt för stor, så val av display är väldigt viktig för att få en optimal storlek för att förmedla information men inte ta för mycket utrymme.

Säkerhet:

Kontrollen utvecklas utefter kraven som är satta vilket betyder att samtliga krav för säkerhet uppfylls.

Användarvänlighet:

Det finns en viss oro att denna modell blir relativt stor då modulerna som har undersökts är stora och många.

Svårighetsgrad:

Att lösa uppgiften kräver mycket tid, två Arduino-kort som pratar med varandra via Bluetooth verkar inte vara en populär lösning, och dem få lösningar som finns är i behov utav många komponenter. Även programmeringen kan bli en stor utmaning då ingen öppen källkod finns och i princip måste hjulet uppfinnas på nytt.

Kostnaden:

Det största problemet man ser med detta koncept är att kostnader skjuter upp i höjden.

Komponenterna är väldigt dyra och kräver beställningar främst från utlandet med lång leveranstid och höga fraktkostnader.