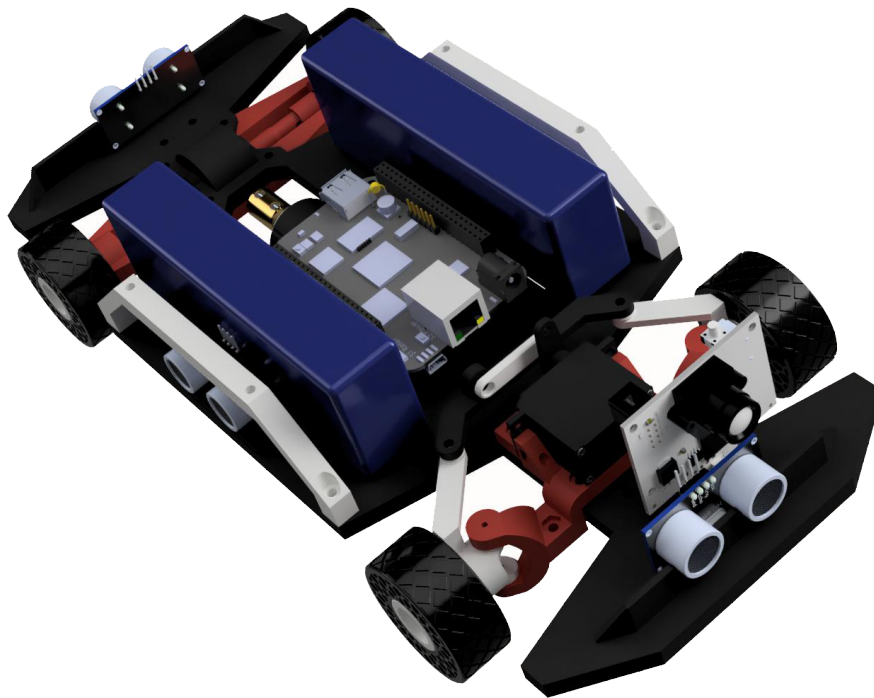




CHALMERS



Autonomt miniatyrfordon

En testplattform för utveckling och utbildning inom autonoma fordon

Kandidatarbete inom civilingenjörsprogrammet

GUSTAF ALMQUIST
JOHAN LARSSON
SIMON LILLSKOG
VICTOR HUKE

KANDIDATARBETE 2017:11

Autonomt miniatyrfordon

En testplattform för utveckling och utbildning inom autonoma fordon

GUSTAF ALMQUIST
VICTOR HUKE
JOHAN LARSSON
SIMON LILLSKOG



CHALMERS

Institutionen för Tillämpad Mekanik
Avdelningen för fordonsteknik och autonoma system
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2017

Autonomt miniatyrfordon
En testplattform för utveckling och utbildning inom autonoma fordon
GUSTAF ALMQUIST
VICTOR HUKE
JOHAN LARSSON
SIMON LILLSKOG

© GUSTAF ALMQUIST, 2017.
© VICTOR HUKE, 2017.
© JOHAN LARSSON, 2017.
© SIMON LILLSKOG, 2017.

Handledare: Ola Benderius, Tillämpad Mekanik
Examinator: Krister Wolff, Tillämpad Mekanik

Kandidatarbete nr. 2017:11
ISSN 1654-4676
Institutionen för Tillämpad Mekanik
Avdelningen för fordonsteknik och autonoma system
Chalmers Tekniska Högskola
SE-412 96 Göteborg
Telefon +46 31 772 1000

Omslag: Renderad CAD-modell av slutprodukt.

Autonomt miniatyrfordon

En testplattform för utveckling och utbildning inom autonoma fordon

GUSTAF ALMQUIST

VICTOR HUKE

JOHAN LARSSON

SIMON LILLSKOG

Institutionen för Tillämpad Mekanik

Chalmers University of Technology

Sammandrag

Detta projekt har utförts på Chalmers Tekniska Högskola och har som mål att utveckla en testplattform i form av ett fordon i skala 1:14 för utveckling och utvärdering av mjukvara för autonoma fordon. Chalmers är delaktiga i utvecklingen av mjukvaran OpenDLV, open driverless vehicle, som är en open source-mjukvara för autonoma fordon. För att enkelt och billigt kunna testa mjukvaran krävs en testplattform som dessutom ska vara enkel för intressenter att på egen hand bygga och använda.

Fokus har legat på att hålla fordonets tillverkningskostnad låg och på att göra tillverkningen simpel genom att i största möjliga mån utnyttja 3D-utskrivning. För de komponenter som inte är möjliga att tillverka genom 3D-utskrift har endast internationellt lättillgängliga komponenter använts. Filerna för 3D-utskrift samt en lista på inköpta komponenter ska publiceras tillsammans med mjukvaran OpenDLV för att erbjuda ett komplett open source-paket för autonoma fordon. Fordonet har designats för att efterlikna en personbil, det drivs på bakhjulen med hjälp av en stegmotor och styrs på framhjulen med hjälp av ett servo.

Fordonet kontrolleras med hjälp av enkortsdatorn BeagleBone Black samt ett expansionskort som utvecklats under detta projekt. För datainsamling om bilens omgivning kan en rad olika sensorer användas, i detta projekt har fyra ultraljudsavståndssensorer samt en kamera vilken blickar framåt använts. Gyroskop och accelerometer har också inkorporerats i designen.

Nyckelord: Autonom, Självkörande, OpenDLV, RC

Autonomous miniature vehicle

A testing platform for development and education in autonomous vehicles

GUSTAF ALMQUIST

VICTOR HUKKE

JOHAN LARSSON

SIMON LILLSKOG

Department of Applied Mechanics

Chalmers University of Technology

Abstract

This project has been carried out at Chalmers University of Technology with a goal of developing a testing platform in the shape of a 1:14 scale vehicle for development and evaluation of software for autonomous vehicles. Chalmers participates in the development of the software OpenDLV, open driverless vehicle, which is an open source software for autonomous vehicles. In order for interested parties to cheaply and easily test and improve the software, there is a need for a testing platform that is easy to both build and use.

During the project the focus has been to keep the manufacturing cost of the vehicle low and the manufacturing simple by utilising 3D-printing to the largest possible extent. For the components that are not possible to 3D-print, only internationally available components have been used. The files for 3D-printing along with a list of purchased components will be published together with the software OpenDLV in order to offer a complete open source package for autonomous vehicles. The vehicle has been designed to resemble an ordinary passenger car. It is rear wheel driven by a stepper motor and front wheel steered by a servo.

The vehicle is controlled by a BeagleBone Black computer with an extension board by our own design. For data collection of the vehicle's surroundings, four ultrasonic sensors have been utilized along with a camera in the front. A gyroscope and accelerometer have also been incorporated in the design.

Keywords: Autonomous, Self-driving, OpenDLV, RC

Ordlista

Ackermannvinkel Geometrisk uppbyggnad av spindeln för att framhjulens styrvinkel ska stämma överens med bakhjulens svängradie. 23

Analog signal Kontinuerligt varierbart spänningsintervall. 19

Beaglebone Black En enkortsdator likt Arduino och Raspberry Pi. 2

Boost-omvandlare DC/DC-omvandlare som höjer spänningen. 16

Buck-omvandlare DC/DC-omvandlare som sänker spänningen. 16

CAD En förkortning av Computer-Aided Design. Ger möjlighet att skapa 3D-modeller av komponenter i en dator. 5

Digital signal En signal som kan vara hög(1) eller låg(0). 20

Diod En elektrisk komponent som enbart leder i en riktning. 15

ESC En förkortning av Electronic Speed Control. En enhet som styr motorn. 10

Expansionskort Ett elektroniskt tilläggskort som används för att ge utökad funktionalitet till elektroniska apparater. 2

Float En digital signal är definierad som hög eller låg och avskiljs av ett område som inte tillhör endera. En signal som befinner sig inom detta område kallas flytande eller odefinierat. 20

GPIO General-Purpose Input/Output, Grundläggande digital eller analog kommunikationsgränssnit för kommunikation med en dator. 19

H-Brygga En krets som tillåter styrning av vilken riktning en spänning läggs över en last, vanligtvis en motor. 19

I2C Ett digitalt kommunikationsprotokoll för kommunikation mellan elektroniska komponenter. 12

Induktor En komponent som motverkar förändringar i den elektriska ström som passerar. 13

Kardanaxel En axel som överför kraft med kardanknutar i ändarna för att möjliggöra att axeln kan byta riktning. 22

Kondensator Elektronisk komponent som kan lagra elektrisk laddning. 14

Lavin-effekt Vad som händer om backspänningen blir för stor och dioden börjar leda i motsatt riktning mot vad som är tänkt . 14

LDO En förkortning av Low-Dropout Regulator. Det är en DC/DC-regulator som används för att avlägsna störningar och brus i DC-kretsar. 18

LIDAR En förkortning av Light Detection And Ranging. Det är en laser-baserad sensor för avståndsmätning. 25

Likriktarbrygga En komponent som omvandlar växelström till likström. 15

LPS En förkortning av Local Positioning System. Det är ett system som kan lokalisera objekt inom ett lokalt område. 25

Lödmask Ett isolerande lager ovanpå kopparen på ett PCB som skyddar mot oavsiktlig kortslutning. 28

Mikrokontroller En liten dator med CPU och minne som används för att styra elektriska komponenter. 6

Mikrosteg En stegmotor arbetar i steg. För utökad kontroll så kan man använda en kontroller som delar upp varje steg i flera mindre steg, så kallade mikrosteg. Standardindelningar är $1/2$, $1/4$, $1/8$ och $1/16$. 20

Mosfet En förkortning av Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor. Det är en specialtyp av en transistor som kan användas för att skapa en ideal diod. 15

OpenDLV Förkortning av Open Driverless Vehicle. 2

PCB En förkortning av Printed Circuit Board. Det är en platta av icke-ledande material med ledningar som kopplar ihop kretsens komponenter. 28

Pinjong Axel med kuggkrans som överför vridmoment till differentialen. 24

Polaritetsskydd En säkerhetslösning som gör att ström inte leds ifall kablar kopplas på med fel polaritet. På så vis kan man undvika kortslutningar. 15

PTC Termistor En komponent som utgör ett motstånd mot elektroners rörelse och bryter ledning vid specifik temperatur. 16

PWM En förkortning för Pulse Width Modulation (pulsbreddsmodulering), en fyrkantsvåg med varierbar magnitud och bredd. 19

Resistor En komponent som utgör ett motstånd mot elektroners rörelse. 14

Sensor En komponent som samlar in och konverterar data. 1

Servo En servomotor är en elmotor vars position kan ställas med stor noggrannhet. 9

SMD En förkortning för Surface Mounted Device, ytmonterad elektrisk komponent. 28

Spindel En del av hjulupphängningen som bär hjulets lagring och styrarmar. 23

Spänningsdelare En spänningsdelare är en krets som ger en utspänning som är lägre än dess inspänning. 20

Stegmotor En stegmotor är en borstlös DC-motor vars varv är indelat i ett antal lika stora steg. Motorn kan sedan stegas ett steg åt gången eller aktiveras för att förhindra förändring. 10

Säkring Elektrisk komponent som bryter ledningsförmåga vid strömmar över ett definierat värde. 16

VIA En förkortning av Vertical Interconnect Access. Det är en sammankoppling mellan två eller flera lager på ett PCB-kort. 28

Zenerdiod En diod som leder i motsatt riktning om spänningen är högre än ett specifikt värde. 15

Överspänningsskydd En säkerhetslösning som förbikopplar strömmen när spänningen blir för hög. Detta skyddar komponenterna. 15

Innehållsförteckning

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte och mål	2
1.3	Problemformulering	2
1.4	Avgränsningar	3
1.5	Metod	4
2	Teori	5
2.1	3D-utskrift	5
2.2	Expansionskort	6
2.3	OpenDLV	6
3	Konstruktionsprocess	7
3.1	Plattform	7
3.1.1	Morfologisk matris	7
3.1.2	Elimineringsmatris	8
3.1.3	Beslutsmatris	8
3.2	Komponentval	9
3.2.1	Driftmotor	9
3.2.2	Motor för styrning	10
3.2.3	Avståndssensor	11
3.2.4	Gyro & accelerometer	12
3.2.5	Sensorkamera	12
3.2.6	Batteri	12
3.3	Expansionskort	13
3.3.1	Inspänningsfiltrering	13
3.3.2	Överspänningsskydd	14
3.3.3	Polaritetsskydd	15
3.3.4	Överbelastningsskydd	16
3.3.5	Spänningsomvandling	16
3.3.6	Spänningsreglering	17
3.3.7	Inkoppling av komponenter	18
3.3.8	Trådlös kommunikation	18
3.3.9	Spänningsdelning	19
3.3.10	Motorstyrning	19
3.4	Detaljkonstruktion	21
3.4.1	Bottenplatta	22
3.4.2	Hjulupphängning, fram	23

3.4.3	Hjulupphängning, bak	24
3.4.4	Sensorhållare	24
3.4.5	Tak	25
3.4.6	Hjul	26
4	Validering av slutkoncept	27
4.1	Styrmekanism	27
4.2	Motordrift	27
4.3	Expansionskort	27
4.4	Kontroll av ultraljudssensorer och dess placering	29
4.5	Validering av övriga krav och önskemål	30
5	Diskussion	31
5.1	Slutkoncept	31
5.2	Förbättringspotential och vidareutveckling	31
5.2.1	Plattformens mekaniska detaljer	31
5.2.2	Styrkort	32
5.2.3	Expansionskort	32
5.2.4	Komponentprestanda	33
6	Slutsats	34
A	Kravspecifikation	I
B	Motorberäkning och MATLAB-kod	II
C	Expansionskortets kopplingsschema	V
D	Detaljförteckning för sprängskisser	VI
E	Externt skapade CAD-modeller	VIII
F	Avståndsmätning - Kod och resultat	IX
G	Uppfyllande av krav och önskemål	XI
H	Komponentlista och kostnadsberäkning	XIV

1 Inledning

Följande kapitel introducerar projektet, dess syfte och mål samt hur det ska genomföras.

1.1 Bakgrund

Intresset för autonoma fordon har bland annat vuxit fram från allmänheten, biltillverkare och transportbolag. Anledningar som anges är säkerhet, kostnader och miljöaspekter. Många stora fordonsaktörer är eniga om att marknaden för fordon går åt det autonoma hållet.

För att medverka till utvecklingen av autonoma fordon så har den skalbara multiplattformsmjukvaran OpenDLV, open driverless vehicle, tagits fram på Chalmers fordonslaboratorie. Mjukvaran är open-source, vilket betyder att den är öppen och tillgänglig för alla och publiceras fritt på mjukvarusidan Github. Mjukvaran används och testas idag hos Chalmers på både fullstora lastbilar och personbilar.

Att ta del av mjukvaran är idag enkelt, men att implementera, testa och utvärdera den kräver mycket arbete, resurser och tid eftersom utomstående inte har tillgång till de fordon som Chalmers har. Det krävs i princip att utomstående bygger sitt egna fordon alternativt bygger om ett existerande fordon. Det saknas alltså ett referensfordon att testa mjukvaran på för övriga intressenter. För att så många som möjligt ska kunna ta del av utvecklingen av autonoma fordon krävs därför ett billigt, lättillgängligt och enkelt referensfordon. För att involvera forskarlag, studenter och hobbyister utanför Chalmers i användandet och utvecklingen av OpenDLV, ska nu ett miniatyrfordon utvecklas.

Fordonet ska användas som en referensmall och visa på funktionalitet och fungera för utvärdering av mjukvara utanför simuleringar. Det ska i största möjliga mån tillverkas genom 3D-utskrift och använda sig av globalt tillgängliga komponenter för de delar av fordonet där 3D-utskrift inte är möjlig, så som sensorer, batterier och motorer. För dessa komponenter ska kostnaden tas hänsyn till för att se till att fordonet ska vara tillgängligt även för intressenter med begränsade resurser. Fordonet utvecklas även med stor hänsyn till enkelhet, monteringen ska vara enkel och snabb och inga specialverktyg ska behövas.

1.2 Syfte och mål

Syftet med projektet är att främja utvecklingen av autonoma fordon genom att göra arbetet inom området billigare, enklare och mer lättillgängligt för en stor mängd människor.

Projektets mål är att konstruera ett komplett testfordon som implementerar mjukvaran OpenDLV, denna beskrivs mer i avsnitt 2.3. Detta testfordon ska sedan publiceras på Github för att lätt kunna återskapas.

1.3 Problemformulering

Ett av problemen en ny användare av OpenDLV ställs inför är att det inte finns en lättillgänglig fordon att jobba med. De mest väsentliga komponenterna en ny användare behöver är ett fordon som kan köra och ett sätt att koppla sensorer till vald hårdvaruplattform.

För att underlätta arbetet för nya användare ska ett expansionskort tas fram till Beaglebone Black. Detta kort ska hantera en bred ingångsspänning, motorkontroll och spänningsdelning för analoga signaler. Kombinationen av Beaglebone Black och expansionskortet ska gå att appliceras på flera typer av fordon oavsett skala. Dessutom ska ett referensfordon i skala 1:14 tas fram. Anledningen till att just denna skala används är för att den är en vanligt förekommande i labbmiljö.

1.4 Avgränsningar

För att förtydliga innehållet och målet med projektarbetet finns flertalet avgränsningar, dessa ger projektet en ram att förhålla sig till. Nedan följer en sammanställning av de avgränsningar som tagits fram för projektet.

- Projektet genomförs under Chalmers regi och har givits en begränsad budget på 6-7 tkr.
- Eftersom referensfordonet ska vara lättåtkomligt för en bred skara människor att tillverka så anges även avgränsningar med avseende på de material, komponenter och verktyg som ska användas. Samtliga ska vara lättillgängliga för gemene man att införskaffa och hänsyn ska tas för att göra referensfordonet tillverkningsbart för ett så lågt pris som möjligt.
- Det är endast själva hårdvaran som ska tas fram, mjukvaran som avses testas är OpenDLV vilken finns tillgänglig.
- Eftersom projektet syftar till att öppet distribuera filerna för 3D-utskrift så avgränsas arbetet till att endast skapa modeller av fordonet i öppna format. Det ska inte krävas dyra och låsta programvaror för att få åtkomst till 3D-modellerna av fordonet.
- Fordonets skala är satt till 1:14. Detta gör fordonet billigt samt enkelt att hantera och tillverka. Det möjliggör forskning och tester av autonom fordonsmjukvara utan behov av stora testanläggningar.
- Fordonet designas i huvudsak för funktionalitet och bortser till stor del ifrån estetiska aspekter, det är inte en kommersiell produkt utan en testplattform för mjukvara. Av samma anledning designas heller inte fordonet med fokus på optimal prestanda inom exempelvis topphastighet, acceleration, aerodynamik osv.
- Fordonet designas för att köras på släta ytor för testning av hur autonoma fordon beter sig på vägar. Det utvecklas ej för testning i terräng eller andra mer krävande miljöer.
- Fordonet ska kunna tillverkas i 3D-skrivare av typen MakerBot Replicator 2.
- Den drivkrets som ska designas för expansionskortet ska ha ett inspänningsintervall på 5-28 V. Utspänningen ska vara 5 V och klara en last av 10 A.

1.5 Metod

För att genomföra projektet och uppnå de satta målen har arbetet delats upp i följande segment: Förarbete, Konstruktion, Produktion, Montering och Validering av krav. Dessa segment har bitvis överlappats för att få en kontinuerlig arbetsgång. I projektet har tidigare erfarenheter från Chalmers och konstruktionsmetoder applicerats, till exempel pugh-matris och morfologisk matris (Johannesson, 2013).

- **Förarbete**

Förarbetet var den mest omfattande delen av projektet, det innefattade konceptgenerering, informationssökning, beräkning, kravsättning, komponentval och att strukturera projektet för att ge klarhet i hur konstruktionen av fordonet ska ske. Kravspecifikationen, vilken kan ses i appendix A, innehåller krav som ställts av projektgruppen men även krav från projektets handledare och examinator. Informationssökningen har huvudsakligen gjorts via web-baserad litteratur.

- **Konstruktion**

Fordonet har modellerats i 3D-miljö utefter de krav och specifikationer som fastställts under förarbetet. Ett expansionskort har designats i Autodesk EAGLE.

- **Produktion**

3D-modellerna har skrivits ut i MakerBot Replicator 2 samt Z18. Därefter har modellerna efterbearbetas i mån av behov och itereras fram för att nå en tillfredsställande produkt. Ett expansionskort har tillverkats utifrån framtiden design.

- **Montering**

De tillverkade delarna har förts samman med de elektriska komponenterna sådan att drift av fordonet är möjligt.

- **Validering**

Slutligen har fordonet, komponenter och sensorer validerats utefter de önskemål och krav som är satta.

2 Teori

I detta kapitel återges den bakomliggande teorin för de centrala områdena som behandlas i projektet. Denna teori är relevant att känna till för att få en bättre förståelse av projektet.

2.1 3D-utskrift

3D-utskrift är en tillverkningsmetod som skapar en komponent genom att bygga upp den lager för lager. Processen kallas också för friformsframställning eller additiv tillverkning. Processen inleds med att en virtuell modell av komponenten skapas i en CAD-programvara. Efter att CAD-modellen är färdigställd kan den skickas till skrivaren för utskrift.

3D-skrivare åstadkommer målet på olika sätt men grundprincipen är densamma för alla. Komponenten byggs i skrivaren upp i skikt från botten till toppen. Detta görs oftast i plast men även metall och andra material kan användas. Vissa skrivare åstadkommer detta genom att extrudera en sträng av smält plast från ett datorstyrt munstycke. Plasten steltnar snabbt och ett nytt lager kan extruderas ovanpå det föregående. Det är denna princip som använts under projektet.

Andra skrivare bygger upp lagren genom att låta ett arbetsmaterial i form av pulver vara utspritt i ett tunt skikt på arbetsytan. En laser passerar sedan över materialet och får pulvret att smälta ihop och stelna i ett solitt stycke. När lagret är färdigt sprids ett nytt skikt pulver ut ovanpå det förra och processen upprepas. Ännu ett sätt är att låta arbetsmaterialet förekomma i flytande form. En arbetsyta är placerad i en behållare av vätskan och placeras precis under ytan. Även här förs en laser över arbetsytan vilket får materialet att stelna. När det första lagret är klart höjs arbetsytan upp ur behållaren så att vätskeytan är i höjd med det stelnade materialet. Lasern kan återigen passera och lager för lager så byggs komponenten upp.

De olika metoderna har olika för och nackdelar men samtliga 3D-skrivare har fördelen att de kan skapa en i princip ändlös variation av komponenter.

2.2 Expansionskort

Ett expansionskort är ett elektriskt tilläggskort som används för att ge utökad funktionalitet till elektroniska apparater, antingen genom att lägga till funktioner som behövs eller genom att hantera ett utökat område av baskortets funktioner. Exempel på funktioner som normalt kan läggas till med ett expansionskort är:

- Utökat inspänningsintervall
- Kretsskydd
- Spänningsomvandling.
- Sensordrivning och inkoppling.
- Motordrivning
- Kommunikation så som Wifi, CAN och Bluetooth
- Sensorer för acceleration, temperatur och liknande.
- Extra mikrokontroller
- INS-system eller GPS.
- Användargränssnitt för styrning och information.

Utbyggnad med ett expansionskort ökar användningsområdet för enkortsdatorer likt BeagleBone Black markant. Kombinationen av en grundläggande enkortsdator och ett expansionskort kan också vara kostnadseffektiv då den endast innehåller precis den funktionalitet som efterfrågas för användningsområdet.

2.3 OpenDLV

Mjukvaran OpenDLV är ett Linux-baserat ramverk skapat för att köras i autonoma fordon och har utvecklats med fokus på generaliserbarhet och systemeffektivitet. Det är en skalbar mjukvara som är oberoende av fordonets typ och storlek, idag används den exempelvis av Chalmers både i en Volvo XC90 personbil och en Volvo FH16 750 lastbil. Mjukvaran innehåller hårdvarukommunikation, sensorfusion, beslutsfattning, visualisering samt säkerhetsfunktioner och kan köras på flera hårdvaror samtidigt för ökad beräkningskapacitet. Mjukvaran är huvudsakligen skriven i programmeringsspråket C++ och är uppbyggd för att kunna vidareutvecklas av flera parter. Nya versioner av mjukvaran kan lätt uppdateras med hjälp av inbyggda tjänster. OpenDLV stödjer virtuell simulering av exakt samma mjukvara som körs i de fullskaliga fordonen, vidare kan det också köras i miniatyrfordon för att skapa en brygga mellan simulering och verklighet.

3 Konstruktionsprocess

Konstruktionsprocessen beskriver arbetet från konceptgenerering till slutgiltig detaljkonstruktion för både fordonet och expansionskortet. Här motiveras beslut och lösningar presenteras.

3.1 Plattform

3.1.1 Morfologisk matris

För att bestämma utformningen av plattformen har det sökts efter dellösningar till de funktioner som plattformen ska uppfylla. För att underlätta tillverkning ska plattformen 3D-utskrivas i största möjliga utsträckning, därför har dellösningar som främjar detta eftersökts. Dellösningar som inte går eller bara delvis går att skriva ut har ändå tagits hänsyn till då de potentiellt kan förbättra den slutgiltiga lösningen eftersom dagens 3D-skrivare inte håller tillräckligt hög prestanda för att tillverka vissa komponenter. Med hjälp av den morfologiska matrisen, tabell 1, har lösningar tagits fram genom att kombinera de olika dellösningarna.

Delfunktioner	Dellösningar 1-5			
Drift/Utväxling/ Bakaxel	3D Printad eller köpt Differential	Stepmotor med genomgående axel	Fast axel med remdrift/utväxling	Drift på ett av de bakre hjulen
Basplatta	3D Printad Basplatta	Basplatta av Metall		
Styrmekanism/ framaxel	Alternativ 1 "Kuggstång"	Alternativ 2 "Servo"	Alternativ 3 "Curiosity"	
Typ av hjul	Köpta hjul	3D-Printade Hjul		
Fäste för komponenter	Modularisrade fästen för komponenter	Fästen direkt på plattan		
Fäste för sensorer	Anpassade moduler för olika typer av sensorer	Fäste direkt på plattan		
Kaross	Köpt	3D-Printad	Formgjuten	

Lösning 1 Lösning 2 Lösning 3 Lösning 4 Lösning 5

Tabell 1: Morfologisk matris för plattform

Ett urval på fem lösningar presenteras med hjälp av dragna streck genom en av dellösningarna för varje delproblem. Dessa fem utvärderas sedan med avseende på kraven i en elimineringsmatris.

3.1.2 Elimineringssmatris

Elimineringssmatrisen, tabell 2, används för att sälla bort de lösningar som inte uppfyller alla krav som är satta på plattformen. Av de presenterade lösningarna är det endast lösning 5 som elimineras, detta då den inte uppfyller de två kraven beträffande 3D-utskrivning. Det ska även noteras att kravspecifikationen omfattar fler krav än de som tas hänsyn till i tabell 2 men de berör elkretsen och sensorerna.

Krav	Lösning 1	Lösning 2	Lösning 3	Lösning 4	Lösning 5
1.1 Fyra Hjul	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
1.2 Bakhjulsdrift	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja(Delvis)
1.4 Framhjulsstyrning	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja(Delvis)
1.6 Fästpunkter för sensorer	Ja(Modulära)	Ja(Modulära)	Ja(Modulära)	Ja(Modulära)	Ja(Fasta)
1.7 Fästpunkter för övriga komponenter	Ja(Modulära)	Ja(Fasta)	Ja(Fasta)	Ja(Modulära)	Ja(Fasta)
2.10 Styrvinkel, θ	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
5.2 3D Printad Bottenplatta	Ja	Ja	Ja	Ja	Nej
6.1 Tillverkningsbar med 3D-printer	Ja(Stor utsträckning)	Ja(Medel)	Ja(Stor utsträckning)	Ja(Medel)	Nej
6.4 Hållfasthet (Egenvikt x 5)	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
9.1 Antal rödlistade material (0)	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
11.2 Komponenter är utbytbara	Ja	Ja	Ja	Ja	Nej
Resultat	Behåll	Behåll	Behåll	Behåll	Eliminera

Tabell 2: Elimineringssmatris för plattform

3.1.3 Beslutsmatris

Beslutsmatrisen, tabell 3, avser att lyfta fram den slutgiltiga lösningen för plattformen. Detta görs med hjälp av de önskemål som definierades i kravspecifikationen. Lösning 1 sätts som referenslösning, de lösningar som uppfyller önskemålen bättre eller sämre tilldelas, alternativt fråntas ett poäng.

Önskemål	Vikt (1-5)	Lösning 1 (Ref.)	Lösning 2	Lösning 3	Lösning 4
1.3 Differentialaxel	3	0	0	0	-
1.5 Bakhjulsbromsning	2	0	0	0	0
4.1 Genomskinlig kaross	1	0	0	0	0
5.1 3D printade Däck	3	0	-	0	0
6.3 Minimering av materialmängd	3	0	0	0	0
6.5 3D-Printad Differential	2	0	0	0	-
8.1 Livslängd (5 år)	4	0	0	0	0
10.1 M-Standardskruv	5	0	0	0	0
10.2 Endast en bulttyp (Gänga x L)	4	0	0	0	0
10.3 Endast en muttertyp (Gänga)	4	0	0	0	0
Summa	-	0	-3	0	-5

Tabell 3: Beslutsmatris för plattform

Av de kvarvarande lösningarna har lösning 1 och 3 fått bäst resultat i beslutsmatrisen. Dessa är snarlika men skiljer sig åt på hur sensorerna fästs på fordonet. För lösning 3 görs detta direkt på bottenplattan medans det för lösning 1 3D-utskrivs modulariserade fästpunkter för att möjliggöra användning av olika typer av sensorer. Eftersom fordonet ska rikta sig åt en så bred målgrupp som möjligt faller det slutliga valet på lösning 1.

Den slutgiltiga lösningen kan i stor utsträckning skrivas ut i en 3D-skrivare och gör det möjligt för användaren att använda de sensorer som önskas, dessutom finns det möjlighet att lätt ändra fästpunkterna för komponenterna då CAD-modellerna finns tillgängliga på Github. Lösningen använder sig av ett styrservo för svänga och en differential på bakaxeln för bättre svängprestanda.

3.2 Komponentval

Här motiveras och beskrivs de val av komponenter som inte sitter på expansionskortet. Detta innefattar exempelvis driftmotor och styrservo. Alltså de nödvändiga komponenter som inte kan tillverkas på egen hand och som krävs för att få ett komplett självkörande fordon. Med bland annat kravspecifikationen som grund väljs komponenter som når upp till de ställda kraven och riktlinjerna.

3.2.1 Driftmotor

En motor för drivning av hjulen ska väljas utefter flera kriterier. Valet av motor inleds med att välja typ av motor för att sedan dimensionera motorn efter fordonets vikt och andra egenskaper.

Motortyp

Kriterier	Vikt (1-5)	Referens (Borstlös)	Borstad	Steg
Pris	5	0	+	+
Effektivitet [W/kg]	5	0	-	-
Tröghet [kgm ²]	1	0	-	-
Underhåll	3	0	-	0
Kontrollerbarhet	4	0	+	+
Moment	3	0	-	0
Livslängd	4	0	-	0
Summa	-	0	-7	3

Tabell 4: Pughmatris för motortyper

Som tabell 4 visar, utmärker sig det borstade alternativet som särskilt olämpligt medan skillnaderna mellan borstlösa och stegmotorer är få. Borstlösa motorer levererar höga varvtal men presterar sämre vid lägre varvtal. För drift av modellen hade en borstlös motor utöver dess ESC för hastighetskontroll behövt en växellåda för att få ner varvtalet till rimliga nivåer. Av utrymmesskäl har fokus därför lagts på stegmotorer. Stegmotorer används när precision eftersträvas och är borstlösa utan att helt ärva borstlösa motorers karaktärstik. De är underhållsfria, har högt vridmoment och i och med att motorns rotation styrs av användaren kan man slippa användandet av både ESC och växel. Stegmotorer är dessutom billigare och finns hos de allra flesta elektronikdistributörer. En nackdel med stegmotorer är att om belastningen blir för hög eller att hastigheten ändras för snabbt så kan stegningen hamna ur synk med motorns faktiska position, något som leder till en förskjutning mellan faktisk och önskad vinkel om ingen enkoder används. Detta är dock endast en nackdel om motorn är feldimensionerad eller används på fel sätt.

Dimensionering av motor

För att få en ungefärlig bild av motorns momentkrav frilades ett fordon med antaganden utifrån det valda konceptet i avsnitt 3.1.3. Totalt moment beräknades i accelerations- respektive konstanthastighetsfasen och multiplicerades ihop med en säkerhetsfaktor för att säkerställa motorns funktion. Beräkningar och resultat återfinns i appendix B.

Trots att det finns stegmotorer som utan växling klarar av det beräknade momentkravet har en stegmotor (Nanotec, 2009c) med tillhörande växel (Nanotec, 2009a) valts. Detta då motorns totala storlek kan minskas. Trots att stegmotorn teoretiskt inte är i behov av en enkoder, så har efter önskemål från handledare även en enkoder (Nanotec, 2009b) inkorporerats.

3.2.2 Motor för styrning

Servomotorer är en motortyp som används i lösningar där precision och en viss lägesfixering önskas. En servomotor består av kontrollerkrets, motor, växellåda och feedbackenhet. Kontrollerkretsen omvandlar inkommande pulssignaler till motorrotation medan feedbackenheten ger information om drivaxelns läge. Vid dimensionering av servomotorer förekommer en specifikation som avgör dess karaktär, [kg/s]. Denna specifikation beskriver hur stor linjär kraft som kan produceras 1 cm från rotationscentrum (kg) och hur snabbt motorn kan avverka 60 graders rotation (s). Efter samtal med ReservdelsRC Göteborg (personlig kommunikation, 7 mars 2017) sattes 5 kg som en rimlig nivå för att driva styranordningen, utan några särskilda krav på rotationshastighet. I figur 5 visas ett urval av fyra servon som

evaluerats.

Prestanda	Savox SW-0250MG	Hitec HS-5245MG	Tower Pro SG5010	Hitec HS-646WP
Pris [~kr]	345	429	45	390
Spänningsintervall [V]	-	4.8 - 6	4.8 - 6	6 - 7.4
Moment [Nm]	0.49 (6V)	0.55 (6V)	0.64 (6V)	0.94 (6V)
Hastighet [s/60°]	0.11 (6V)	0.12 (6V)	0.15 (6V)	0.2 (6V)
Strömförbrukning (vila, arbete utan last, ställström) [mA]	-	3, 230, - (6V)	-	8, 600, 2200
Dimensioner (L x B x H) [mm]	14 x 29.5 x 32.5	16.8 x 30.8 x 32.4	40.6 x 20.5 x 38	41.9 x 21 x 40
Vikt [g]	25	32	47	60

Tabell 5: Jämförelse av servomotorer

Utifrån rekommendationen på 5 kg valdes Hitec HS-5245MG (Hitec RCD, 2017), en motor som med sina 5.5 kg/0.12 s (vid 6 V) klarar drivkravet utan problem. Andra anledningar till att den valdes var att dess fysiska dimensioner var små samt att dess tillgänglighet var hög.

3.2.3 Avståndssensor

Avståndsmätningssensorer delas huvudsakligen upp två typer: ultraljud och laser. Den stora skillnaden typerna emellan är hur avståndet mäts. Ultraljudssensorer använder sig av ljudets hastighet ($\sim 340 \text{ m/s}$) medan lasersensorer använder ljusets hastighet ($\sim 3e8 \text{ m/s}$) för att beräkna avstånd till objekt. I båda fallen skickas en signal med hastigheten v ut, signalen studsar på mätobjektet och tillbaka till sensorn. Tidsdifferansen (Δt) mäts och avståndet beräknas enligt:

$$L = \frac{v \cdot \Delta t}{2} \quad (1)$$

Det framgår av hastigheterna att lasersensorer kan ha en betydligt högre uppdateringsfrekvens och ihop med en spridning på $\sim 0.5^\circ$ (Garmin Corporation, 2016) kan en väldigt tydlig bild av dess omgivning fås om den roterar. I en fullskalig modell ämnad för drift i verklig trafik hade detta varit optimalt men eftersom modellen som utvecklas inte kräver samma prestanda så har istället flertalet ultraljudssensorer använts. Dessa har placerats på modellens alla fyra sidor för att täcka av så mycket yta som möjligt. Till skillnad från lösningen där en sensor roterar erhålls med denna lösning vissa döda zoner inom vilka modellen inte "ser". I tabell 6 visas vanliga sensorers specifikationer för jämförelse sinsemellan. Slutligen har ultraljudssensorn HC-SR04 (Cytron Technologies, 2013) valts. En sensor vars prestanda är tillräckligt bra för att klara av satta krav samtidigt som den är lättillgänglig och har ett jämförelsevis lågt pris.

Prestanda	HC-SR04	Seed Grove	BAT	Makeblock	PING)))	Maxbotix		LIDAR-Lite v3	Scanse Sweep
						LV	HRLV		
Pris [~kr]	40	135	145	180	270	250	300	1350	3150
Upplösning [mm]	3	10	2	10	10 - 12 % fel	25.4	1	10	10
Noggrannhet (från mål)	15°	-	15°	-	20°	Se datablad	Se datablad	~0.5°	~0.4°
Uppdateringsfrekvens [Hz]	20	>20	-	-	-	20	10	270	1075
Avståndsintervall [cm]	2 - 400	3 - 400	2 - 500	3 - 400	2 - 300	15 - 645	30 - 500	0 - 4000	25 - 4000
Objektdetektering [cm]	2 - 400	3 - 400	3 - 500	4 - 400	2 - 300	0 - 645	0.1 - 500	0 - 4000	26 - 4000
Strömförbrukning vid arbete [mA]	15	15	100 (max = 200)	-	35	3	3.1	135	450 (max = 650)

Tabell 6: Jämförelse av avståndssensorspecifikationer

3.2.4 Gyro & accelerometer

För att läsa av modellens fysiska rörelse används elektromekaniska gyroskop och accelerometer. Gyroskopet läser av rotation medan accelerometern läser av acceleration. Accelerometern kan dessutom läsa av gravitation vilket möjliggör att den kan användas som lägesgivare. För att Beagleboneenheten ska kunna kommunicera med denna typen av sensorer bör de drivas med 3.3-5 V och kommunicera via I2C. Polulu AltIMU-10 v5 (Polulu, 2016) har valts då enheten klarar dessa önskemål och har utöver gyroskop och accelerometer även kompass och altimeter för ytterliggare avläsning av fordonets läge.

3.2.5 Sensorkamera

En bildsensor används på fordonet för att möjliggöra identifiering av föremål. Sensorn ska exempelvis kunna ge fordonet kapabilitet att ta hänsyn till skyltar och andra objekt. En Pixy CMUCam5 (CMUcam, 2012) valdes eftersom den passar storleksmässigt, har ett pris som ryms inom budgeten och är kapabel att både samla in och att själv analysera data åt styrkortet. Möjligheterna med en sensor som denna är stora och beror helt på den bakomliggande mjukvaran.

3.2.6 Batteri

Batteriet dimensioneras utifrån satta krav och önskemål. 2 timmar är satt som en önskvärd batteritid vid drift, effektförbrukningen som utgås från är 40 W. Energin som utvecklas under en timma ges av ekvation 2:

$$E = P \cdot t \quad (2)$$

Batterispänningen väljs till 22.2 V och därefter kan den elektriska laddningen som krävs i batteriet beräknas enligt ekvation 3:

$$Q = \frac{1000 \cdot E}{U} = \frac{1000 \cdot P \cdot t}{U} = \frac{1000 \cdot 40 \cdot 2}{22.2} \approx 3600 \text{ mAh} \quad (3)$$

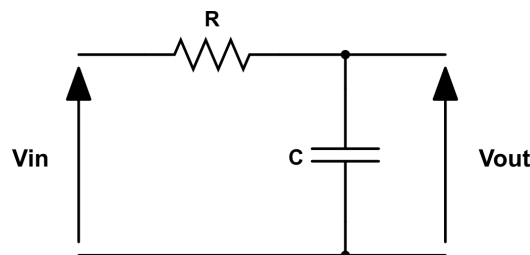
För att underlätta batteriets placering på fordonet och hålla fordonets tyngdpunkt centrerad används två likadana 11.1 V batterier. De placeras längs vardera långsida på fordonet och seriekopplas för att tillsammans erbjuda 22.2 V (Traxxas, 2017). De batterier som används är LiPo-batterier med bestämda egenskaper (Conrad Electronic SE, 2016).

3.3 Expansionskort

Expansionskortet ska designas för att erbjuda ytterligare egenskaper till Beagle-Bone Black. I följande avsnitt beskrivs expansionskortets önskade delfunktioner och möjliga lösningar samt beslut och komponentval för dessa. Det fullständiga kopplingsschemat för expansionskortet återfinns i appendix C.

3.3.1 Inspänningsfiltrering

Inspänningsfiltrering behövs delvis för att minska störningar som kommer från spänningskällan eller som tillkommer i ledarna mellan spänningskällan och kretsen, men också för att DC-omvandlaren ska fungera som tänkt. Störningar kan orsakas av radiovågor och magnetfält. Standardtyper av filter är lågpasfilter (figur 1), högpasfilter och bandpassfilter.



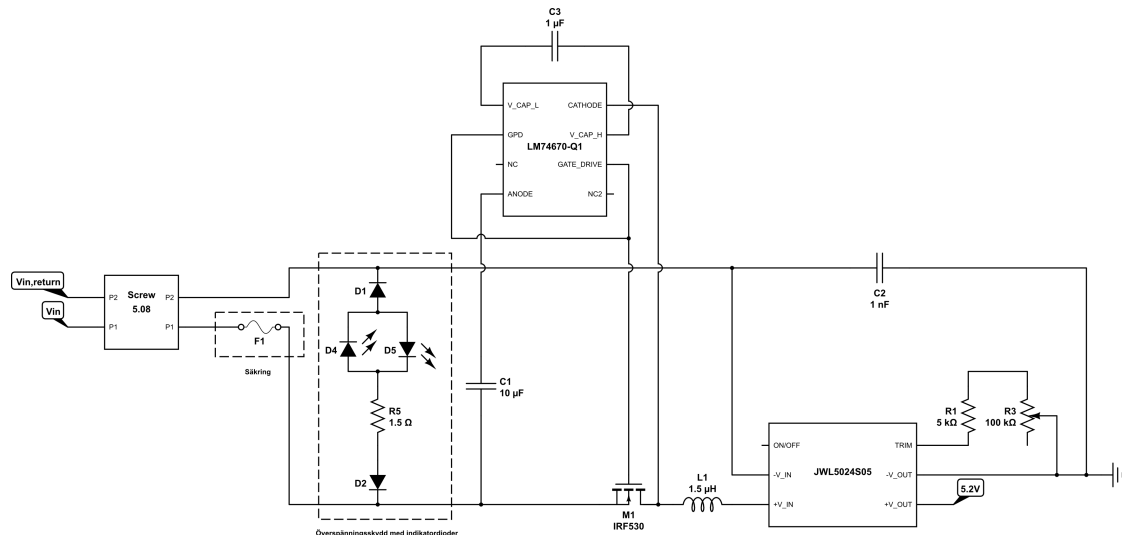
Figur 1: Lågpasfilter

Lågpasfilter tar bort brus och störningar och kan användas för att jämna ut spänningsnivåer. Högpasfilter filtrerar inte bort högfrekvent brus och störsignaler, detta gör den olämplig som inspänningsfiltrering. Bandpassfilter kombinerar ett lågpasfilter med ett högpasfilter för att lämna ett odämpat band.

För den valda designen räcker det med att lågpasfiltrera ingången vilket gör att bandpassfiltret blir onödigt dyrt och komplicerat.

Därför kommer ett lågpasfilter och en induktor användas som filtrering av inspänningen. Induktorn måste vara verksam inom de ström- och spänningsnivåer som

kretsen ska verka. Dessa egenskaper utläses genom datablad. Lågpassfiltrering sker normalt enligt figur 1 med en resistor i serie och en kondensator parallellt. Referensdesignen efterfrågar enbart en kondensator, men för att ytterligare filtrera ingången så har induktorn lagts till för att göra ett mer kompetent lågpassfilter. Ingångsfiltreringen sker enligt figur 2.



Figur 2: Ingångskrets

3.3.2 Överspänningsskydd

En vanlig orsak till att kretsar går sönder är att de kopplas mot en spänningskälla som levererar en högre spänning än den som kretsen är designad för. För höga spänningsnivåer kan skada kretsens ingående komponenter men även inkopplad kringutrustning kan ta skada om kretsen inte är byggd för att hantera en över-spänning. För att skydda kretsen, komponenter och inkopplad kringutrustning används ett överspänningsskydd som förhindrar att spänningsnivån in i kretsen överskrider de värden kretsen är designad för.

Det finns färdiga ytmonterade kretsar för överspänningsskydd som blockerar ledning vid för höga spänningsnivåer. Det går att använda dioder för att skapa en parallell krets, vilket ger en spänningsdelning så att den skyddade kretsen inte utsätts för en högre spänning än vad den designats för. Om man använder en vanlig diods lavin-effekt, leder detta till att dioden går sönder och måste bytas innan kretsen kan användas igen. Zenerdioder är designade för att fungera i omvänt läge om spänningen överstiger ett specifikt värde, dock finns det problem med höga toleranser på vilken spänningsnivå det är som gör att en zenerdiod leder i motsatt

riktning.

Ingen färdig överspänningskrets kunde hittas med lämpliga värden innan val av överspänningsskydd skedde. Detta ledde till att zenerdioder valdes istället trots att de färdiga kretsarna är små, effektiva och billiga.

Alltså består överspänningsskyddet av zenerdioder som bildar en parallell krets om spänningen överstiger 37 V. Additionen av effektmotstånd i serie leder till en sänkning av strömmen genom dioderna och fungerar som ett kortslutningsskydd av spänningskällan. För att underlätta felsökning och indikera felkoppling har överspänningsskyddet flyttats till ovansidan av kortet och två lysdioder lagts till för att indikera fel.

3.3.3 Polaritetsskydd

Vid inkoppling av spänningskällan till expansionskortet så finns det risk att förväxla vilket håll spänningskällan ska kopplas in. Om man vid inkoppling förväxlar polariteten och kretsen saknar skydd eller likriktning av ingången så är det en stor risk att komponenter och kringutrustning tar skada.

Polaritetsskydd och likriktning med dioder är vanligt förekommande men har vissa begränsningar. När en diod används som polaritetsskydd måste all ström passera genom dioden. Då spänningsspannet över en diod är strömberoende så varierar effektförlusten och spänningsspannet för kretsen. Detta är inte önskvärt på ett fordon med krav på stort inspänningsspann och hög effektivitet (Pickering, 2016). I fallet med dioder som likriktare måste strömmen passera genom två dioder vilket dubblar förlusterna.

En mosfet kan kontrolleras med en mosfetkontroller för att approximera en ideal diod, kretsen har en konstant effektförbrukning och obefintligt spänningsfall över hela verksamma området. Nackdelarna är att kretsen blir mer komplex, tar mer plats och kostar mer. Som kretsskydd, framför allt som skydd mot omvänd polaritet, är en likriktarbrygga med mosfets nära idealfallet.

Plats- och kostnadsbegränsningar ledde till valet av en mosfet som polaritetsskydd. Skyddet på inspänningen utgörs av en mosfet och en mosfet-kontroller som gemensamt verkar som en diod med minimala förluster och spänningsfall (Falin, 2003).

3.3.4 Överbelastningsskydd

Överbelastning innebär att man drar mer ström än vad komponenterna i kretsen är designade för att hantera. Det kan leda till överhettning av komponenter, vilket kan orsaka att komponenterna går sönder eller att de börjar brinna. Detta problem kan uppstå om man vid användning av expansionskortet ansluter för många strömkrävande komponenter eller vid kortslutning mellan ledningsbanor på kortet.

Överbelastningsskydd kan skapas på flera olika sätt, det går exempelvis att göra med en krets som läser av strömmen och bryter ledaren om strömmen blir för hög. Det hittades dock ingen färdig krets som både klarade spänningsnivåerna och den höga strömmen som krävs vid de lägsta spänningsnivåerna. Ett beslut fattades att heller inte egendesigna ett överbelastningsskydd med en mikrokontroller och transistorstyrning då det varken var kostnads- eller platseffektivt.

En PTC termistor ökar sin resistans med temperaturen och blir varmare ju mer ström som leds igenom den. När temperaturen har nått ett tröskelvärde så blir termistorn isolerande och slutar leda. Den har fördelen att den börjar leda igen när den har svalnat, vilket betyder att den inte behöver bytas efter utlösning. Dock så är det en långsam och effektkrävande lösning, då det tar tid för termistorn att nå bryttemperaturen och det är en kontinuerlig effektförlust.

Detta ledde till att en säkring valdes som lösning för överbelastningsskyddet, då det är en effektivare lösning. Nackdelen är att den går sönder för att skydda kretsen om det behövs. Fördelarna är att förlusterna är små och att den går att anpassa till spänningsnivån på vald spänningskälla.

3.3.5 Spänningsomvandling

Ett av kraven på expansionskortet är att hantera ett brett inspänningsspann och fortfarande leverera 5 V till BeagleBone-kortet, servomotor och sensorer, medans stegmotorn ska matas med 24 V. Detta innebär att oavsett vilken spänning som ansluts till expansionskortet så ska expansionskortets levererade spänning hållas stabil vid 5 V och 24 V för varierande laster. Som underlag för val av omvandlingslösning har Texas Instruments (2013) använts.

Om en spänning ska sänkas kan detta göras med en så kallad buck-omvandlare eller step down-omvandlare. Om spänningen skall ökas kan en boost-omvandlare användas då den höjer spänningsnivån.

Det är även möjligt att använda en omvandlare som klarar att både höja och sänka spänningen, en så kallad buck/boost omvandlare, dessa kostar mer och är normalt svårare att implementera.

Det övervägdes att designa en egen krets som skulle sköta buck-omvandlingen. Det betraktades dock som en risk att gå vidare med den egna designen då den utnyttjade fem stycken switchade buck-omvandlare kopplade parallellt för att klara av det höga strömkravet.

Efter konsultation blev gruppen avrådd från att satsa på lösningen då det finns en stor risk att switchade omvandlare stör varandra om de inte är specifikt designade för att verka tillsammans. Kostnaden för en egen design blev dessutom jämförbar med en färdigtillverkad modul, därför valdes denna istället. Därmed kunde fokus läggas på övriga delar av expansionskortet.

Då inspänningsspannet ligger mellan 9-39 V kommer en buck-converter användas för att sänka spänningen till 5 V. Valet av inspänningsmodul föll på JWL5024S12 då den var den billigaste som uppfyllde kraven. För kretskortsdesignen har referensdesignen från XP Power (2016) använts.

För att uppfylla kraven har motorspänningsomvandlingen boost-omvandlas från 5 V istället för inspänningen. Motorspänningsomvandlingen sker normalt inte seriellt med den övriga spänningsomvandlingen för kretsen. Detta eftersom omvandlarnas verkningsgrader multipliceras och switchningen kan leda till störningar på lastsidan av den första omvandlaren. Men det valdes då samtliga effektkrav låg på 5 V-matningen, därför frångås praxis och en seriell lösning används.

Det beslutades att konfigurera en egen boost-omvandlare som gör det enklare och billigare att modifiera spänningsnivåerna i ett senare skede för att kunna anpassas till en annan motor. Kretsen ska hantera strömnivån som krävs av motorn och vara lätt att implementera. Kretsen ska klara av att leverera 1 A kontinuerligt och ha en referensdesign för önskad spänningsomvandling som innehåller få komponenter.

Boost-omvandlarkretsen som valts är LTC3872 och kretsen bygger på referensdesignen för 5 V till 24 V (Linear Technology, 2013).

3.3.6 Spänningsreglering

Med flera komponenter och sensorer kopplade parallellt finns det risk att störningar stör ut funktionalitet eller leder till falska signaler. För att undvika detta behövs

spänningsreglering och filtrering. Spänningsreglering kan utföras på flera sätt och det varierar vad som passar bäst för olika applikationer. Ett servo bör ha en avkopplingskondensator för att minska de störningar som sprids via spänningsmatningen eller genom jordplanet. För sensorer och BeagleBone Black används LDO:er för att minimera störningar och för att säkerställa att spänningen ligger på en korrekt nivå. En switchad spänningsomvandlare behöver avskiljas från resterande komponenter med en spole på ingången för att minska de störningar som uppstår genom switchningen.

För att undvika att störningar från switchningen i boost-omvandlaren skapar störningar i sensoravläsningen används LDO:er (Analog Devices, 2011) som reglerar bort dessa. LDO:er används också som ett sista spänningsregleringssteg som säkerställer att spänningsmatningen håller sig vid 5 V eller marginellt lägre för att skydda Beaglebone-kortet.

3.3.7 Inkoppling av komponenter

För att ansluta kringutrustning som motorer och sensorer till expansionskortet behövs någon typ av inkoppling. För sensorer och motorinkoppling avvägs vad som kommer förmonterat och vilka spänningar och strömmar som ska dras genom kontakterna. Sensorer förbrukar relativt låg effekt och kopplas ofta in via stiftlistor, det är därför förmånligt att använda stiftlistor till det ändamålet.

Motorer drivs ofta med högre spänningar och starkare strömmar än sensorer vilket leder till ett behov av tjockare kablar och kraftigare inkoppling. Hålmonterade skruvplintar har använts för detta ändamål.

Sensorer för rörelseavkänning kan monteras centralt på expansionskortet för att ge snabb och exakt avkänning, alternativet är att koppla in motsvarande sensorer genom de sensorkontakter som finns på expansionskortet. Fördelar som fås genom att koppla in sensorerna genom sensorkontakterna är att val av sensor och placering är friare, det innebär också att man inte blir låst till den specifika sensor som expansionskortet designas för. Därför valdes den senare principen.

3.3.8 Trådlös kommunikation

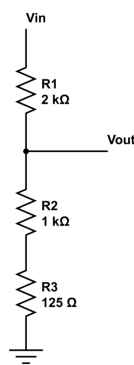
För att kommunicera med styrkortet när fordonet testas så krävs det en annan lösning än att ansluta med kabel. Det lättaste sättet att kommunicera med en mobil plattform är någon form av trådlös kommunikation.

Trådlös kommunikation med styrkortet kan ske med en modul inkopplad via USB

eller genom en krets på expansionskortet som ansluter genom GPIO-pinnarna. För att lämna så många GPIO-pinnar som möjligt fria för sensorinkoppling så föll valet på ett nätverkskort som ansluts via USB.

3.3.9 Spänningsdelning

De analoga signalingångarna på Beaglebone kortet är designade för analoga signaler mellan 0-1.8 V, då de sensorer som används har en utspänning mellan 0-5 V krävs det en linjär skalning till det lägre spannet. Spänningsdelarna som sitter innan de analoga signalingångarna, se figur 3, är designade för en 0-5 V analog signal. För att beräkna resistansen för sökt signalspänning användes ekvation 4.



Figur 3: Spänningsdelare

$$V_{ut} = V_{in} \cdot \frac{R_2 + R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \quad (4)$$

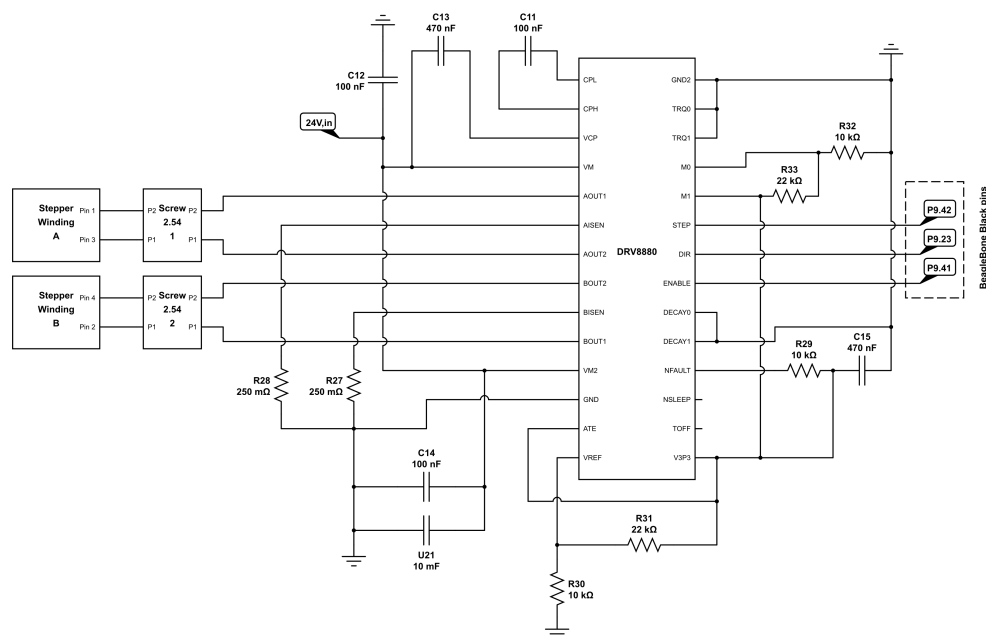
3.3.10 Motorstyrning

Motorstyrningen bestäms av valet av driftmotor, den är beroende av motortyp och motoreffekt. I projektet valdes en stegmotor för drift. Detta lämnar stegmotordrivare som enda logiska val av motorstyrning. Det som sedan återstår att bestämma är drivarens önskade funktioner samt att välja en motordrivare som är kraftig nog att driva motorn vid önskad belastning.

En stegmotordrivare kontrollerar stegmotorn genom att styra en H-brygga per motorlindning. Mikrostepping uppnås genom precis spännings- och strömreglering. Drivkretsen tar bland annat in en pulssignal (PWM) som resulterar i en bestämd stegning av axeln, varje steg har en viss rotationsvinkel, denna vinkel kan justeras

genom att dela upp varje steg i flera mindre steg, så kallade mikrosteget. Tack vare detta kan man med en relativ hög precision räkna ut vilken signal som krävs för att driva fordonet ett bestämt avstånd. Stegmotordrivaren tar också in en digital signal som kallas för Enable, den styr när kretsen är aktiv. Om motordrivaren inte får en pulssignal och Enable är hög, så motverkas förändring av axeln vilket gör att fordonet bromsas. Detta medför att fordonets bromssträcka kan kontrolleras även om den inte är utrustad med en mekanisk broms. Den sista signalen som skickas till drivkretsen är DIR vilket är en förkortning av Direction och bestämmer vilket håll som motorn ska rotera.

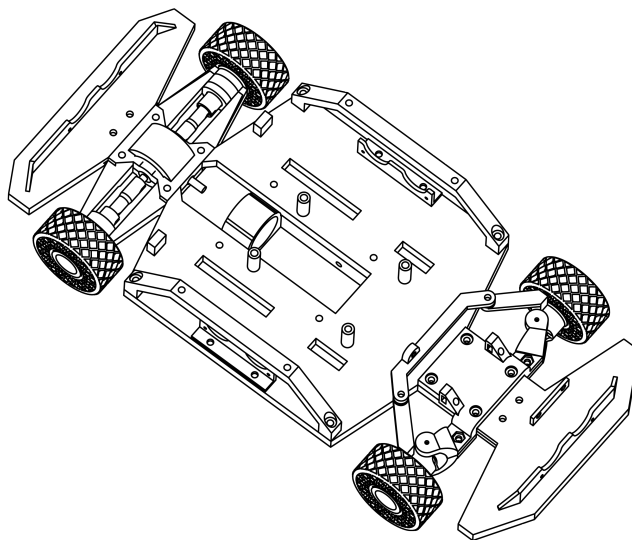
Den valda motorkontrollerkretsen består av stegmotordrivaren DRV8880 (Texas Instruments, 2015). För att minska mängden signaler från BeagleBone Black så ställs mikrostegetsgrad och aktivering in genom spänningsdelare, se figur 4. För att ställa in mikrostegetsstorleken på stegmotordrivaren utnyttjas intervallet mellan digital etta och nolla för att skapa ett flytvärde, en så kallat float. Detta flytvärde tillåter användning av färre pinnar för samma mängd inställningsmöjligheter. Nackdelen med att hårdvarukonfigurera signalerna är att komponenter måste lödas bort och bytas ut för att ändra inställningar.



Figur 4: Motordrivare

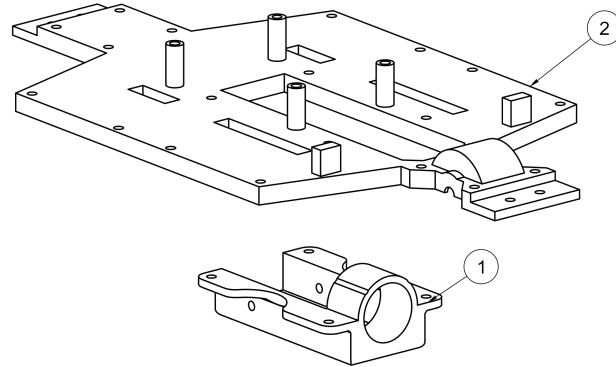
3.4 Detaljkonstruktion

Från det koncept som togs fram i avsnitt 3.1 designades de ingående delarna genom att dra inspiration från fullskaliga fordon och sedan skissera och modellera dem i CAD. Nedan följer beskrivningar av själva fordonets olika huvuddelar och de komponenter som ingår i dessa. I figur 5 visas den monterade plattformen exklusive elektronik. Detaljförteckning för ingående delar i sprängskisser, figur 6-11, hittas i appendix D. Nyttjade CAD-modeller från tredje part återfinns i appendix E.



Figur 5: Överblick av monterad plattform

3.4.1 Bottenplatta



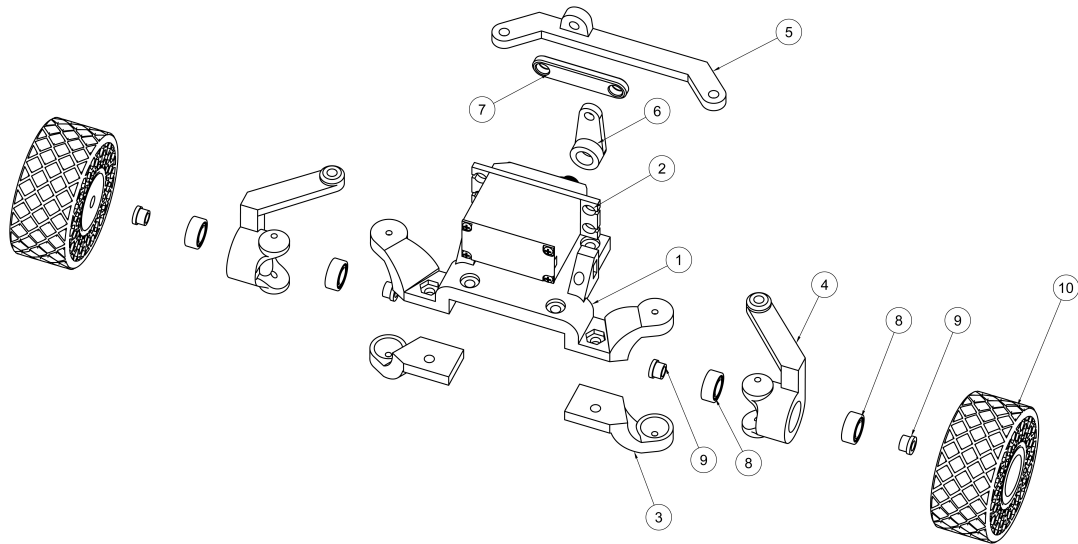
Figur 6: Bottenplatta

Bottenplattan, figur 6, fungerar som chassi. Det är fordonets stomme eller skelett som resterande komponenter sedan monteras på. Det följer de skalenliga dimensioner som ställts upp i kravspecifikationen. På varje sida finns fästpunkter för montering av sensorhållare vilka kommer att beskrivas mer nedan. Ytterligare fästpunkter för tak, BeagleBone och liknande har också skapats. Fästpunkterna för BeagleBone har höjts upp med distanser integrerade i bottenplattan. Anledningen är att ge plats åt enkodern, stegmotorn och växellådan.

Utrymmen har skapats för hjulen så att de inte ska sticka ut, detta för att bättre efterlikna en faktisk personbil. Drivlinan har getts utrymme att placeras i bottenplattan. Det är alltså det avlånga hålrummet i bottenplattans mitt. Anledningen till detta är att få en enklare konstruktion där man slipper kardanaxel eftersom motorns axel ligger på samma höjd som hjulens centrum. Under bottenplattan fästs en låda i vilken enkodern, stegmotorn och växellådan är placerade.

Den övre halvan av differentialhuset har integrerats i bottenplattan av anledning att förenkla montering och minimera antalet komponenter. Bottenplattan har givits en tjocklek på 7 mm med en inre stödstruktur vilket ger en stabil och hållfast bas för fordonet. Samtliga skruvhål i bottenplattan möjliggör användning av M3-skruv.

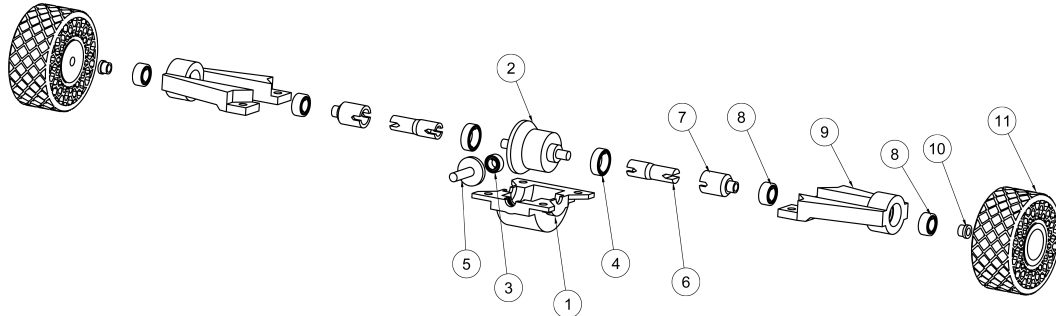
3.4.2 Hjulupphängning, fram



Figur 7: Främre hjulupphängning

För att fordonet ska kunna svänga har den främre hjulupphängningen, figur 7, utrustats med ett styrservo som sitter monterat på den bärande armen mellan hjulen. Spindeln spänns fast mellan två koppformade delar som även fungerar som dess pivotpunkt. För att minska glapp i denna inspanning förstärks den med skruv. Hjulen i sin tur sitter monterade på kullager i spindlarna. Servot stadgar och bestämmer styrvinkeln för spindlarna via en styrarm som länkar dem med servot. För att hjulutslaget ska bli så bra som möjligt har ackermannvinkeln tagits hänsyn till.

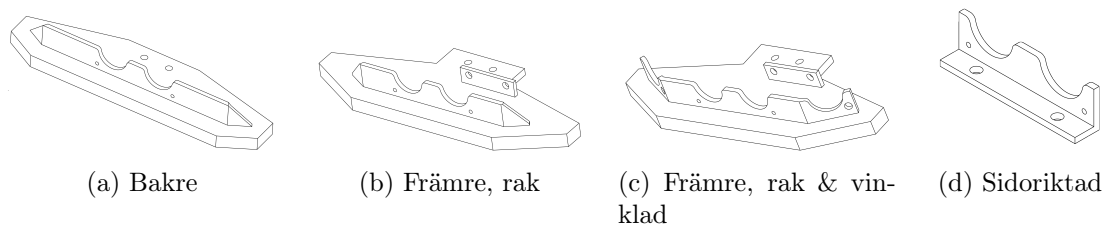
3.4.3 Hjulupphängning, bak



Figur 8: Bakre hjulupphängning

Den bakre hjulupphängningen, figur 8, utgörs av differentialhusets undre halva och två stycken bärarmar, en på vardera sida. Differentialhuset är modellerat efter Traxxas (2009) för att möjliggöra en kraftöverföring utan glapp. Differentialen och pinjongen inuti huset är båda lagrade för minskad friktion och för ökad stabilitet. Pinjongen är fast monterad i motorn medan differentialen roterar fritt. Axlarna ut från differentialen fästs i drivaxlar vilka i sin tur fästs i lagrade koppleder fast monterade med fälgarna. Vidare har den bakre hjulupphängningen fästpunkter för montering på bottenplattan samt för påbyggnad av bakre sensorhållare.

3.4.4 Sensorhållare

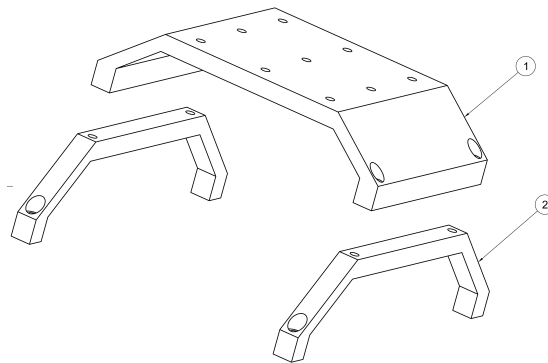


Figur 9: Utformning av sensorhållare

Fordonet är designat på så vis att sensorer monteras på sensorhållare, figur 9, vilka i sin tur monteras på bottenplattan. En av anledningarna till detta är att man kan designa nya sensorhållare om andra sensorer ska användas och utnyttja befintliga fästpunkter på basplattan för att fästa dessa. Man slipper därmed modifiera bottenplattans design. Fordonet har fyra sensorhållare (fram, bak samt

höger respektive vänster sida). Den främre sensorhållaren har fästpunkter för både ultraljudssensorer och en kamera av typen Pixy CMUCam. De tre övriga har fästpunkter för ultraljudssensorer. De främre och bakre sensorhållarna är designade för att skydda sensorerna. Den yttersta punkten på fordonet är alltid sensorhållaren och inte sensorerna för att undvika att de skadas vid kollision med väggar och liknande.

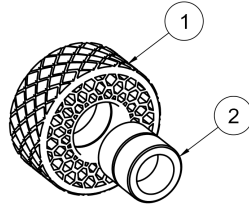
3.4.5 Tak



Figur 10: Fordonets tak

Taket, figur 10, är designat för att möjliggöra montering av ytterligare komponenter på fordonet. Här kan eventuellt LIDAR monteras eller markörbollor för positionering med LPS. Taket är enkelt att montera av och på för att ge tillgång till de komponenter det täcker. Takkonstruktionen byggs upp av tre segment, ett tak och två konsoler. Konsolerna monteras längs fordonets långsidor och taket monteras sedan på dessa. Anledningen till att konsoler används är att 3D-utskrivningen förenklas.

3.4.6 Hjul



Figur 11: Hjul

Även däck och fälg, figur 11, har valts att tillverkas genom 3D-utskrift. Däcket skrivs ut i ett mjukt och gummiliknande material för ökad friktion och för att efterlikna ett verkligt däck. För att göra däcket ännu mer flexibelt har det designats med en ihålig stödstruktur. Däckets inre diameter är något mindre än fälgens yttre diameter, tack vare däckets flexibla egenskap erhålls därför greppfixering när de förs samman. För att ytterligare förhindra däcket från att glida av fälgan, fixeras det med en klack och fåra. Fälgan har en mutterficka vilken används för att med skruv och mutter montera fälgan. Kullager används för att minimera friktion och slitage vid rotation.

4 Validering av slutkoncept

För att säkerställa att det framtagna konceptet uppfyller syftet och faktiskt kommer att kunna utgöra en användbar testplattform har en valideringsprocess genomförts där konceptets olika dellösningar systematiskt kontrolleras.

4.1 Styrmekanism

Validering av styrmekanismen skedde genom att de 3D-utskrivna komponenterna monterades för att sedan testas manuellt för att säkerställa att de fungerar mekaniskt korrekt. Därefter genomfördes test med det styrservo som kontrollerar styrvinkeln. Servot monterades och med hjälp av en signalgenerator testades servots förmåga att ställa hjulen i olika vinklar.

Testerna visade att lösningen för styrningen fungerade väl. Det påträffades inga problem med servot och det enda mekaniska problemet var att det förekom glapp i hjulupphängningen på grund av krympning vid 3D-utskrivning. Detta åtgärdades genom att justera relevanta mått och verifiera att problemet åtgärdats.

4.2 Motordrift

På grund av leveransproblem har den valda motorn inte kunnat valideras, för att kringgå detta har motordrivarkretsen validerats med goda resultat på en likvärdig stegmotor. Dock har inte hela drivlinan kunnat valideras tillsammans då testmotorns dimensioner inte stämmer överens med differentialen, därför har differentialaxeln validerats separat genom att fysiskt kontrollera funktionaliteten. Resultatet visar på att pinjongen driver hjulen väl, däremot påträffades ett visst glapp mellan pinjongen och differentialhuset, detta kan glapp försummas när motorns axel monteras på pinjongen.

4.3 Expansionskort

Trots utnyttjande av referensdesign för alla ingående delmoduler så uppstod det problem vid testning och felsökning av expansionskortet. Då expansionskortet testades fallerade en av de två spänningsomvandlarna vilket förstörde den andra. Avsaknad av avlödningsstation försvårade demontering av inspänningsomvandlaren innan samtliga delar av expansionskortet kunde kontrolleras för skador och testas separat. Kontrollen identifierade vilka komponenter som var defekta men inte vad som orsakat det initiala felet. Det kan vara en defekt komponent från fabrik som orsakade problemen men det går inte att säga utan vidare testning.

Designen för motordrivaren saknade en vital koppling som hindrade funktion tills felet hittades och åtgärdades, varvid motordrivaren testades och visade full funktion.

Ett problem som visade sig vid montering var att kopparn mellan ledningsbanorna inte var fullt bortfräst efter tillverkning i kretskortsfräsen, för att åtgärda detta så behövde överbliven koppar skrapas bort med skalpell. Vid tillverkning av expansionskort i CNC-fräs finns alltså en risk att inte alla banor är fullt isolerade och att begränsningar i programvara och utrustning lämnar vissa segment obearbetade.

Då PCB-arken som används i fräsen ligger oskyddade och oxiderar under i detta fallet okänd tid, bör ett efterarbete där elektronikrengöring appliceras utföras. Detta tillåter bortfrätning av oxidskikt och fettavlagringar, vilket underlättar senare lödning.

Avsaknaden av dragskåp och därmed möjligheten att applicera elektronikrengöring innan lödning ledde till extra kontroller av lödningskvaliten. Vidare ledde avsaknad av färsk lödpasta inför lödningen av SMD-komponenter till otillräcklig smältning i lödugnen, vilket i sin tur ledde till ett behov av efterbearbetning för att säkerställa god kontakt och funktion.

Handmontering av vior kan leda till brutna eller skadade ledningsbanor och oxidskikt och avlagringar kan ge dålig eller bruten kontakt mellan VIA och koppar. Osäkerheten och skadorna leder till ett stort efterarbete i form av lödning, skrapning och tester. Lödning krävs för att säkerställa god kontakt mellan koppar och VIA samt för att laga skadade kopparbanor. Bortskrapning av koppar mellan ledningsbanor genomförs för att bryta kortslutningar. Tester utförs sedan för att kontrollera att det inte finns avbrott i kopparbanor och att det inte finns några oönskade sammankopplingar mellan ledarbanor.

Avsaknaden av lödmask ledde till kortslutningar som behövde åtgärdas genom omlödning av komponenter. Vidare komplicerades felsökningen genom brist av utrustning som elektriska laster, nätaggregat och multimetrar. Även tillgång till oscilloskop med loggningsfunktion skulle ha underlättat processen.

Vid testning av komponenter utan tillgång till en elektrisk last så kan högeffektsmotstånd användas. Först utnyttjas Ohms Lag för att beräkna storleken på resistorn då spänning och önskad ström är känd. Sedan används ekvation 5 nedan för att beräkna vilken effekt resistorn behöver klara av.

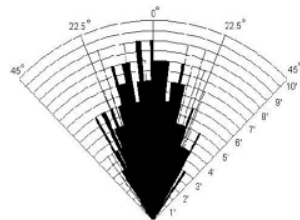
$$P = RI^2 \tag{5}$$

Därefter kan komponenten testas som om den vore inkopplad mot den tänkta lasten, detta minskar risken att förstöra komponenter. För att testa hur kretsen svarar mot variationer i lasten så kan en potentiometer designad för höga effekter användas. Potentiometern utgör då en analog ersättning till en programmerbar elektrisk last.

4.4 Kontroll av ultraljudssensorer och dess placering

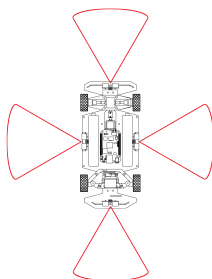
Ultraljudssensorernas prestanda testas genom att för olika förmål registrera det uppmätta avståndet från sensorn och mäta avvikelsen från det verkliga avståndet. Föremålen placeras ut innan 10 uppmätningar sker, medelvärdet av dessa uppmätningar är vad som jämförs med verkligt avstånd. Olika typer av material och former har testats och resultatet av varje enskilt fall har visualiserats med grafer, appendix F. Testet är baserat på ModMyPi (2014). Ur graferna noteras att sensorn tillförlitligt kan mäta avstånd till objekt av varierande material och form (K.2.4). Det fastställs även att sensorn kan mäta avståndet till objekt inom det satta intervallet med efterfrågad noggrannhet (K.2.3). Sensorn kan dessutom läsa av avståndsdata med en frekvens på 20 Hz (20 gånger/sekund) vilket innebär att kravet om uppdateringsfrekvens uppfylls (K.2.5).

Även om något krav gällande sensors synfält inte satts är det ur projektsynpunkt intressant att undersöka detta. Ur sensors produktblad framgick dess effektiva avläsningsvinkel enligt figur 12 nedan.



Figur 12: Spridning hos HC-SR04, hämtad från (Cytron Technologies, 2013)

Sensorn kan alltså notera objekt så brett som $\sim 30^\circ$ från normalvinkeln men med viss reducerad prestanda. Om samma bredd appliceras på plattformens valda sensorlayout fås en tydlig bild av plattformens döda vinklar enligt figur 13.



Figur 13: Spridning hos monterade avståndssensorer

De döda vinklarna utgör en tillsynes stor yta samtidigt som det kan tänkas önskvärt att fram och bak täcka av optimalt 180° . Här finns således stor förbättringspotential.

4.5 Validering av övriga krav och önskemål

Kravspecifikationen, appendix A, som ställdes upp i ett tidigt skede i projektet har använts som grund till flera beslut under projektets gång. Kraven som ställts upp är absoluta måsten som det färdiga fordonet måste uppfylla för att anses kunna fungera som testtrigg för mjukvaran.

Av denna anledning är det därför viktigt att följa upp denna och säkerställa att det slutgiltiga fordonet verkligen når upp till de krav som ställts. Detta har gjorts för samtliga krav och önskemål som ställts upp. I appendix G följer en beskrivning av valideringen för varje rubrik i kravspecifikationen.

En kostnadsberäkning har även utförts vilken ger ett uppskattat pris för tillverkning av fordonet. Denna återfinns i samma tabell som komponentlistan i appendix H.

5 Diskussion

Fordonet avser i huvudsak att fungera som en modulariserbar plattform för forskning. Under projektets gång har intresset för detta fordon växt inom Chalmers. Fordonets potential att användas inom utbildningen och andra områden har diskuterats. För att detta ska vara möjligt behöver fordonet kunna anpassas för en snävare alternativt större budget, hur detta påverkar plattformens prestanda kommer behandlas i diskussionen.

5.1 Slutkoncept

Fordonet som tagits fram under detta projekt är en testplattform som är högt modulariserbar. Då i princip alla komponenter kan ersättas genom att enkelt modifiera komponenternas monteringspunkter och form har användaren möjlighet att anpassa fordonet efter sina önskemål. Detta reflekterar syftet med att främja utvecklingen av autonoma fordon då nya användare med ändamål som skiljer sig från OpenDLVs kan modifiera plattformen och utveckla funktioner som inte annars kommit till.

De komponentval som presenteras i denna rapport har gjorts dels för att hålla nere priset men även med ändamålet att klara av längre testning med god prestanda i labbmiljö.

I nuläget är expansionskortet den svåraste delen att återskapa, det förutsätter att man antingen har tillräckligt med kunskap och tillgång till verktyg för att tillverka och montera den själv, eller att man beställer den av en extern tillverkare. Det senare alternativet är dock en kostsam metod om den inte serietillverkas.

5.2 Förbättringspotential och vidareutveckling

För att underlätta vidareutveckling av fordonet diskuteras i detta avsnitt delar av projektet som kan byggas vidare på och hur konstruktion av fordonet kan förenklas.

5.2.1 Plattformens mekaniska detaljer

Nuvarande plattform har haft fokus på pris och enkelhet och omfattar endast grundläggande mekaniska funktioner. Följaktligen finns potential i att förädla konstruktioner till att närmre efterlikna en verklig bil.

Hjulupphängningen kan utrustas med ett dämpningssystem om test utanför ett fordonslabb är aktuellt. Detta skulle ge fordonet en högre prestanda på bekost-

nad av ett högre pris, det är relativt enkelt genomförbart då främre och bakre hjulupphängning är skilda från basplattan.

5.2.2 Styrkort

Det styrkort som används som grund för hela projektet är inte kapabelt nog för att hantera den fortlöpande bildprocessering som krävs av ett fullt autonomt fordon, det saknar också grundläggande funktioner för autonoma fordon så som GPU-accelerering och multipel kamerainkoppling. För att komma runt detta används nu multipla kort eller hjälpdatorer för beräkningar när fler sensorer eller kameror ska användas.

Ett jämförbart styrkort i liknande storlek och effektförbrukning men som är mer lämpad för att vara en enkortslösning i en liten testplattform är t.ex. Jetson TX2 som är framtaget av Nvidia för utveckling av små autonoma fordon.

5.2.3 Expansionskort

För att underlätta kommande projekt så borde det finnas tillgång till ett fullt utrustat elektroniklabb med lödugn och programmerbar elektrisk last, utöver det så borde det beställas färdiga kort med vior monterade samt lödmask. Detta för att minska problemen med kortslutningar och dålig kontakt i ledningsbanor.

I framtiden bör kortets delfunktioner delas in i moduler vilka tillverkas på separata kort. Dessa bör sedan testas var för sig och verifieras innan designen sammanfogas stegvis på ett PCB-kort. Vid oväntade kretsproblem riskeras därmed inte alla komponenter utan endast den komponenten som för tillfället testas, vilket gör det möjligt att ringa in ett eventuellt fel och underlätta vidare felsökning och revidering. Modulernas funktion förutom att separera komponenter kan dessutom vara att utvidga antalet möjliga varianter så att exempelvis flertalet motortyper kan användas med samma expansionskort. Det möjliggör också för användaren att välja bort funktioner som inte behövs för användarens applikation, eller att välja en billigare lösning för delfunktioner.

För vidareutveckling av expansionskortet så bör spänningsnivåerna skötas med separata omvandlingsmoduler, detta för att enkelt kunna byta spänningsnivåer efter behov, minska effektförlusten och isolera från störningar. Ytterligare fördelar är om en nivå inte behövs så kan den delen exkluderas vilket ger ett billigare kort. Denna lösning övervägdes inte i projektet då hela effekten var kravsatt till 5 V linan.

5.2.4 Komponentprestanda

De avståndssensorer som använts är en enkel och billig lösning men har vissa brister. Totalt fyra ultraljudssensorer har använts vilka med nuvarande placering ger blinda vinklar enligt figur 13. Prestandamässigt finns alltså en hel del att förbättra med nuvarande lösning, vilken valts främst baserat på pris. Förbättringen som går att åstadkomma kan ske på olika sätt. Antingen kan nuvarande lösning förse med extra sensorer riktade åt sidorna eller så kan LIDAR-sensorer implementeras. LIDAR har som tidigare nämnt överlägsen upplösning gentemot ultraljudssensorer, varför de också är vad som används i fullskaliga fordon. Med detta sagt så kostar de också betydligt mer. Plattformens tak har försetts med monteringspunkter för 360°-roterande LIDAR och möjliggör alltså denna typ av förbättring. Alternativt skulle två stycken 180°-roterande LIDAR kunna placeras på främre och bakre sensorhållare för att ihop med kompletterande sensorer på sidorna erhålla en heltäckande avläsning av hinder. Någon typ av förbättringsåtgärd bör tillämpas för att uppnå tillfredsställande autonoma egenskaper. Extra ultraljudssensorer är en tänkbar förbättringsåtgärd för vidareutveckling av testplattformen med utbildning som ändamål, där priset bör hållas nere och prestandan kan vara relativt låg. För vidareutveckling av ett forskningsobjekt är istället implementering av LIDAR att föredra. Detta för att erhålla bästa möjliga datainsamling.

Som undersökt i 3.2.1 ansågs stegmotorer vara den optimala motortypen i en kontrollerad testmiljö. Under projektets gång har gruppen introducerats för en tävling inom autonom teknik, Carolo Cup. Till skillnad från projektets mål om en grundläggande plattform som möjliggör utvärdering av autonom mjukvara, läggs här fokus på prestanda i form av tävlingstider och autonoma egenskaper. Det har meddelats av Federico Giaimo, Carolo Cup-ansvarig på Chalmers, att en möjlig vidareutveckling av plattformen för Carolo Cup ska undersökas. Blir detta verklighet bör motortypen ändras till en borstlös variant för optimal motorprestanda och kan ihop med någon av ovan nämnda sensorförbättringar utgöra en optimal plattform för tävling.

6 Slutsats

Syftet med detta projekt har varit att främja utvecklingen av autonoma fordon, för att uppfylla detta har målet varit att ta fram ett miniatyrfordon som körs med mjukvaran OpenDLV. Detta fordon har sedan publicerats öppet på Github för att kunna återskapas.

I projektet specificerades krav som fordonet bör uppfylla för att det ska vara en lämplig testrigg. Dessa krav har i stort sett uppfyllts genom att konstruera en modulär plattform som ihop med komponentval lever upp till kraven. Resultatet är ett fordon som kan anpassas utefter användarens behov. Tillsammans med framtaget expansionskort kan fordonet erbjuda förberedande tester på en liten yta och verifiera testkod innan slutligt test sker med fullskaliga fordon. Miniatyrfordonet skapar en brygga mellan virtuell simulering och verklighet, en brygga som medför fördelar ur såväl effektivitets-, ekonomisk som utbildningssynpunkt.

Fordonet avser att användas internt på Chalmers för forskning och utbildning, men dess möjlighet att modifieras uppmuntrar också utveckling av plattformen och OpenDLV utanför Chalmers väggar. Forskning kring autonoma fordon är fortfarande i utvecklingsstadiet, detta minityrfordon har därför tagits fram för att sänka instegsbarriären för nya intressenter.

Källförteckning

- Analog Devices (2011). *High Accuracy, Ultralow I_Q , 1.5 A, anyCAP Low Dropout Regulator* [Produktblad]. <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADP3339.pdf> (Besökt 2017-05-04).
- CMUcam (2012). *CMUcam5 Pixy* [Produkt]. <http://cmucam.org/projects/cmucam5> (Besökt 2017-03-28).
- Conrad Electronic SE (2016). *Material Safety Data Sheet* [Produktblad]. http://www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/225000-249999/239027-si-01-en-11_1_V_LIPO_FLUGAKKU_3600_MAH__20_C.pdf (Besökt 2017-05-09).
- Cytron Technologies (2013). *HC-SR04 User's Manual* [Produktblad]. https://docs.google.com/document/d/1Y-yZnNhMYy7rwhAgyL_pfa39RsB-x2qR4vP8saG73rE/edit (Besökt 2017-04-27).
- Doppia, C. (2012). *Servo Hitec 5245MG* [3D-modell]. <https://grabcad.com/library/servo-hitec-5245mg> (Besökt 2017-05-04).
- Falin, J. (2003). *Reverse Current/Battery Protection Circuits*. <http://www.ti.com/lit/an/slva139/slva139.pdf> (Besökt 2017-05-11).
- Garmin Corporation (2016). *Lidar Lite v3 Operation Manual and Technical Specifications* [Produktblad]. http://static.garmin.com/pumac/LIDAR_Lite_v3_Operation_Manual_and_Technical_Specifications.pdf (Besökt 2017-04-27).
- Hitec RCD (2017). *HS-5245MG Mini Metal Gear Servo* [Produkt]. <http://www.hitecrcd.com/products/servos/micro-and-mini-servos/digital-micro-and-mini-servos/hs-5245mg-mini-metal-gear-servo/product> (Besökt 2017-03-28).
- Jiménez, I. (2016). *Ultrasonic Module HC-SR04* [3D-modell]. <https://grabcad.com/library/ultrasonic-module-hc-sr04-1> (Besökt 2017-05-04).
- Lapeyre, M. (2014). *Pixy camera (CMUcam5)* [3D-modell]. <https://grabcad.com/library/pixy-camera-cmucam5-1> (Besökt 2017-05-04).
- Linear Technology (2013). *LTC3872, No R_{SENSE} Current Mode Boost DC/DC Controller* [Produktblad]. <http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/3872fc.pdf> (Besökt 2017-05-04).

- Logic Supply (2014). *BeagleBone Black 3D Model [3D-modell]*. <https://github.com/lgxlogic/BeagleBoneBlack-3D-Model> (Besökt 2017-05-04).
- ModMyPi (2014). *HC-SR04 Ultrasonic Range Sensor on the Raspberry Pi*. <https://www.modmypi.com/blog/hc-sr04-ultrasonic-range-sensor-on-the-raspberry-pi> (Besökt 2017-05-11).
- Nanotec (2009a). *GPLL22-5 [Produktblad]*. https://en.nanotec.com/fileadmin/files/Datenblaetter/Getriebe/Planetengetriebe_GPLL/GPLL22.pdf (Besökt 2017-03-28).
- Nanotec (2009b). *NOE1-05-C14 [Produktblad]*. https://en.nanotec.com/fileadmin/files/Baureihenuebersichten/Encoder/Product_Overview_NOE1.pdf (Besökt 2017-03-28).
- Nanotec (2009c). *Stepping Motor [Produktblad]*. <https://en.nanotec.com/fileadmin/files/Datenblaetter/Schrittmotoren/ST2818/S/ST2818S1006-B.pdf> (Besökt 2017-03-28).
- Naturskyddsföreningen (2017). *De vanligaste plasterna och tillsatssämnena*. <http://www.naturskyddsforeningen.se/node/35087/#H> (Besökt 2017-05-08).
- Pickering, P. (2016). *Reverse-Polarity Protection in Automotive Design*. <http://www.electronicdesign.com/power/reverse-polarity-protection-automotive-design> (Besökt 2017-05-11).
- Polulu (2016). *AltIMU v5 [Produkt]*. <https://www.pololu.com/product/2739> (Besökt 2017-03-28).
- Texas Instruments (2013). *Wide V_{IN} DC/DC Power Solutions - For Industrial, Automotive, and Communications Applications*. <http://www.ti.com/lit/sg/slpt033/slpt033.pdf> (Besökt 2017-05-11).
- Texas Instruments (2015). *DRV8880 2-A Stepper Motor Driver With AutoTune™ [Produktblad]*. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/drv8880.pdf> (Besökt 2017-05-04).
- Traxxas (2009). *Differential assembly, complete [Produkt]*. <https://traxxas.com/products/parts/7078> (Besökt 2017-03-28).
- Traxxas (2017). *Using Dual Batteries in Your Traxxas 1/16-Scale Model*. <https://traxxas.com/support/Dual-Batteries-116-Models> (Besökt 2017-03-28).

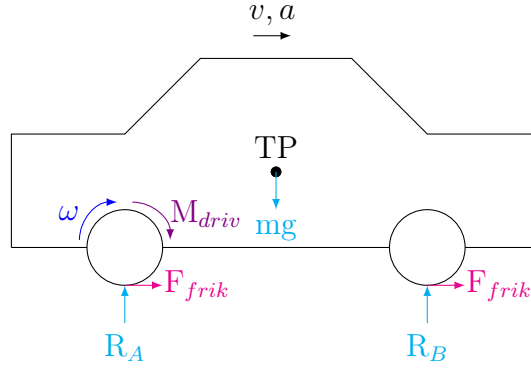
XP Power (2016). *JWL50 Series, DC-DC Converter [Produktblad]*. http://www.xppower.com/Portals/0/pdfs/SF_JWL50.pdf?ver=2016-08-23-151100-460 (Besökt 2017-05-04).

A Kravspecifikation

Kravspecifikation	K/Ö	Vikt 1-5	Målvärde	Enhet	Verifiering	Referens	Syfte
1.0 Egenskaper							
1.1 Fyra Hjul	K		Ja	Ja/Nej	Kontroll	Projektgrupp	Efterlikna verklig bil
1.2 Bakhjulsdrift	K		Ja	Ja/Nej	Kontroll	Projektgrupp	Efterlikna verklig bil
1.3 Differentialaxel	Ö	3	Ja	Ja/Nej	Kontroll	Projektgrupp	Efterlikna verklig bil/förbättra prestanda
1.4 Framhjulsstyrning	K		Ja	Ja/Nej	Kontroll	Projektgrupp	Efterlikna verklig bil
1.5 Bakhjulsbromsning	Ö	2	Ja	Ja/Nej	Kontroll	Projektgrupp	Efterlikna verklig bil
1.6 Fästpunkter för sensorer	K		Ja	Ja/Nej	Kontroll	Projektgrupp	Skapa förutsättningar för att autonom drift
1.7 Fästpunkter för övriga komponenter	K		Ja	Ja/Nej	Kontroll	Projektgrupp	För att kunna montera viktiga komponenter
2.0 Prestanda							
2.1.1 Spännings-input	K		5-28	V	Produktval/Kontroll	Projektgrupp	För att möjliggöra flera spänningskällor
2.1.2 Spännings-output	K		5	V	Produktval/Kontroll	Projektgrupp	Sensordrivning
2.2 Batteritid	Ö	3	≥ 120	min	Produktval/Kontroll	Projektgrupp	Underlätta vid testning och körning
2.3 Avståndsmättningsintervall, Ultraljud	K		30-4000	mm	Produkbeskrivning/Kontroll	Projektgrupp	Detektera hinder
2.4 Avståndsmättningsnoggrannhet, Ultraljud	K		± 50	mm	Produkbeskrivning/Kontroll	Projektgrupp	Definera prestandan
2.5 Uppdateringsfrekvens, Ultraljud	K		≥ 20	Hz	Produkbeskrivning/Kontroll	Projektgrupp	Definera prestandan
2.6 Avståndsmättningsintervall, LIDAR	Ö	3	30-40000	mm	Produkbeskrivning/Kontroll	Projektgrupp	Rumsupplåtning
2.7 Avståndsmättningsnoggrannhet, LIDAR	Ö	3	± 30	mm	Produkbeskrivning/Kontroll	Projektgrupp	Definera prestandan
2.8 Uppdateringsfrekvens, LIDAR	Ö	3	100	Hz	Produkbeskrivning/Kontroll	Projektgrupp	Definera prestandan
2.9 Hastighet	K		6	Km/h	Beräkning/Komponentval/Test	Projektgrupp	Efterlikna verklig bil i relation till skala
2.10 Styrvinkel, θ	K		θ < -15, θ > 15	grader	Beräkning/Komponentval/Test	Projektgrupp	Efterlikna verklig bil
2.12 Effekt	K		40	W	Produktval/Kontroll	Projektgrupp	Effekt i drift
3.0 Dimensioner							
3.1 Längd	K		300 - 400	mm	Mätning	Projektgrupp	Korrekt nedskalning till 1:14
3.2 Bredd	K		133 - 200	mm	Mätning	Projektgrupp	Korrekt nedskalning till 1:14
3.3 Höjd	K		103 - 180	mm	Mätning	Projektgrupp	Korrekt nedskalning till 1:14
3.4 Vikt	Ö	4	< 2000	gram	Vägning	Projektgrupp	Köregenskaper
4.0 Design							
4.1 Genomskinlig kaross	Ö	1	Ja	Ja/Nej	Kontroll	Prototypabbet	Estetiskt
5.0 Material							
5.1 3D printade Däck	Ö	3	Flexibelt filament	Plast-typ	Research	Projekgrupp	Bättre grepp
5.2 Bottenplatta	K		ABS	Plast-typ	Research	Prototypplabbet	Tillverkningsbarhet
6.0 Tillverkning							
6.1 Tillverkningsbar med 3D-printer	K		Ja	Ja/Nej	Analys	Projektgrupp	Enkel distribution och åtkomst av fordonet
6.2 Minsta mått på print-volym (L x B x H)	K		28.5 x 15.5 x 15.5	cm	Kontroll	Prototypplabbet	Standardisering för printers
6.3 Minimering av materialmängd	Ö	3	Ja	Ja/Nej	Trial and error	Prototypplabbet	För att andra tillverkare skall veta materialåtgången
6.4 Hållfasthet	K		Bära egenvikt x 5	kg	Test	Prjoektgrupp	Bära komponenter och tåla lätta stötar
6.5 3D-Printad Differential	Ö	2	Ja	Ja/Nej	Kontroll	Projektgrupp	Undvika inköp av differential
7.0 Kostnader							
7.1 Kostnad	K		< 7000	kr för utveckling	Analys	Projektgrupp	Budget
7.2 Kostnad för slutanvändare	Ö	4	< 5000	kr per fordon	Analys	Projektgrupp	Tillgänglighet för slutanvändare
8.0 Livslängd							
8.1 Livslängd	Ö	4	5	år	Analys	Projektgrupp	Bruk i fordonslabb
9.0 Miljö							
9.1 Antal rödlistade material	K		0	st	Lista på rödlistade material	Projektgrupp	Minskad miljöpåverkan
9.2 Återvinningsbar	Ö	3	50%	Vikt i kg	Materialdata	Projektgrupp	Minskad miljöpåverkan
9.3 Miljövänlig tillverkningsprocess	Ö	3	Ja	Ja/Nej	Analys	Projektgrupp	Minskad miljöpåverkan
10.0 Montering							
10.1 M-Standardskruv	Ö	5	Ja	Ja/Nej	Tabell över standardsortiment	Projektgrupp	Bra pris och tillgänglighet
10.2 Endast en bulttyp (Gänga x L)	Ö	4	M3 x 20	ISO x mm	Referensblad	Projektgrupp	Underlättad montering
10.3 Endast en mutternyp (Gänga)	Ö	4	M3	ISO	Referensblad	Projektgrupp	Underlättad montering
10.4 Monteringstid plattform	Ö	2	<60	min	Test	Projektgrupp	Säkerställa enkel montering
10.5 Demonteringstid Plattform	Ö	2	<30	min	Test	Projektgrupp	Säkerställa enkel demontering
11.0 Underhåll							
11.1 Underhållsfri	Ö	3	Ja	Ja/Nej	Analys	Projektgrupp	Tillgänglighet för slutanvändare
11.2 Komponenter är utbytbara	K		Ja	Ja/Nej	Analys	Projektgrupp	Tillgänglighet för slutanvändare

B Motorberäkning och MATLAB-kod

B.1 Friläggning



Figur B.1: Friläggning av bil

$$\uparrow: R_A + R_B - mg = 0 \Rightarrow R_B = mg - R_A \quad (\text{B.6})$$

$$\begin{aligned} \hat{TP}: R_A x - R_B x - F_{frik,A} y - F_{frik,B} y &= 0 \Rightarrow [F = N\mu] \Rightarrow \\ \Rightarrow R_A (x - \mu y) - R_B (x + \mu y) &= 0 \end{aligned} \quad (\text{B.7})$$

(B.6) in i (B.7):

$$R_A = mg \left(1 - \frac{\mu y}{x} \right) \quad (\text{B.8})$$

$$\hat{A}: M_{driv} - R_A \mu r = J\dot{\omega} \Rightarrow M_{driv} = J\dot{\omega} + mg\mu r \left(1 - \frac{\mu y}{x} \right) \quad (\text{B.9})$$

B.2 Moment för drivaxelns momentbehov

$$M_{axel} = \frac{M_{driv}}{i \cdot \eta_{diff}} \quad (\text{B.10})$$

Ekvation (B.10) ger drivaxelns momentbehov i konstant- resp. accelerationsfasen:

$$\begin{aligned} M_{axel,acc} &= \frac{M_{driv,acc}}{i \cdot \eta_{diff}} \\ M_{axel,konst} &= \frac{M_{driv,konst}}{i \cdot \eta_{diff}} \end{aligned}$$

B.3 Moment för att accelerera motor och differential

$$M_{acc} = J\dot{\omega} \quad (\text{B.11})$$

Ekvation (B.11) appliceras på motorn och differentialen för att beräkna dess moment vid acceleration:

$$M_{diff,acc} = \frac{J_{diff} \cdot \dot{\omega}}{\eta_{diff}}$$

$$M_{motor,acc} = J_{motor} \cdot \dot{\omega}$$

Därefter kan det totala momenten i de båda faserna beräknas:

$$M_{tot,acc} = M_{motor,acc} + M_{diff,acc} + M_{axel,acc}$$

$$M_{tot,konst} = M_{axel,konst}$$

Motorn dimensioneras så att momentet inte underskrider applikationens maxmoment med en faktor 1.4 som säkerhetsmarginal och momentet i båda faserna fås som:

$$M_{tot,acc} = 0.1790 \text{ Nm}$$

$$M_{tot,konst} = 0.1637 \text{ Nm}$$

MATLAB-kod

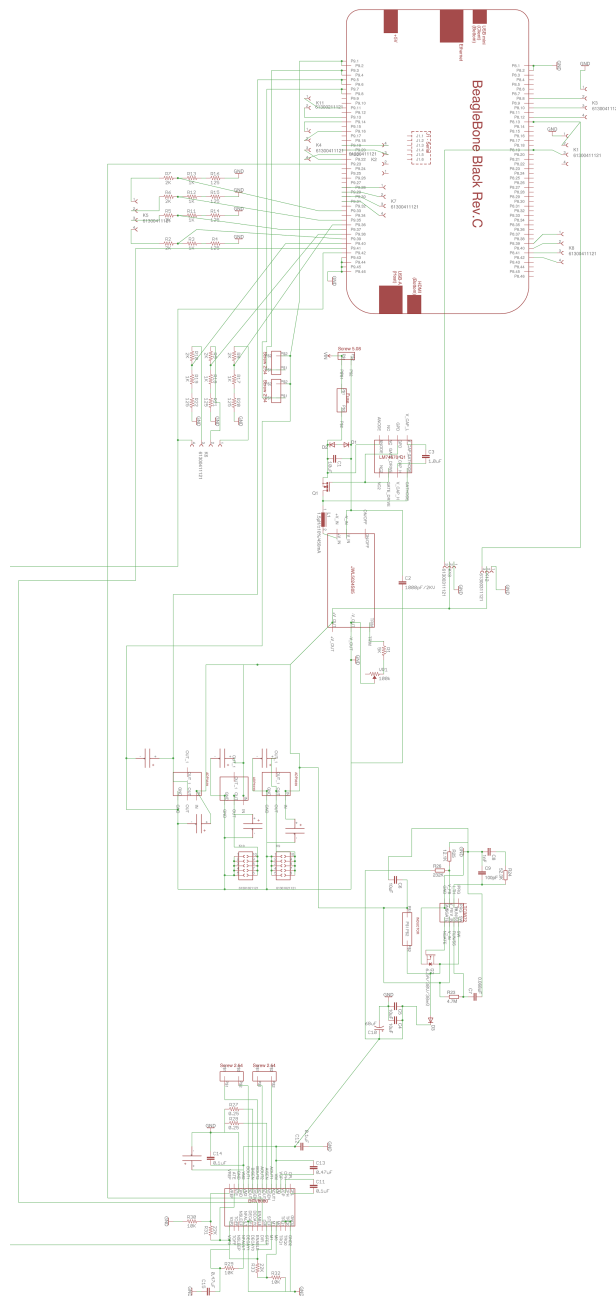
```
1 %% Motorspecifikationer
2 J_motor = 83*1e-6; %Motorns tröghetsmoment [kg*m^2]
3 M_max = 0.40; %Holding torque [Nm]
4
5 %% Variabler
6 m = 2; %Bilens massa [kg]
7 m_hjul = 0.01; %Hjulets massa [kg]
8 r_hjul = 0.0225; %Hjulradie [m]
9 J_axel = 2700 * pi * 0.02 * 0.004^4; % [kg*m^2] (Alu) *
10 xtillTP = 0.10; %Avstånd från hjulmitt till TP [m]
11 ytillTP = 0.02; %Avstånd från mark till TP [m]*
12 v = 6/3.6; % Bilens hastighet [m/s]
13 COF = 0.725; %Coefficient of friction [-] (Gummi <-> Torr
    betong)*
14 g = 9.81; %Gravitationskonstanten [m/s^2]
15 J_diff = J_motor; %Differentialens tröghetsmoment [kg*m^2]*
16 Diff_eff = 0.9; %Differentialens verkningsgrad [-]*
17 i = 2.6; %Differentialens utväxling [-]
```

```

18 safety = 1.4; %Säkerhetsfaktor
19
20 %* = antagande
21
22 %% Beräkningar
23 J_hjul_axel = m_hjul * r_hjul^2 + J_axel; %Tröghetsmoment,
    hjul+drivaxel (x2)
24 a = v^2 / 2; %Acceleration, (vo=0 i (v^2-vo^2)/2)
25 W_acc = a / r_hjul; %Vinkelacceleration
26 R_bak = m * g * (1-COF*ytillTP/xtillTP); %Reaktionskraft
    (bak)
27 M_driv_acc = J_hjul_axel * W_acc + COF * R_bak * r_hjul;
    %Moment under acceleration
28 M_driv_konst = COF * R_bak * r_hjul; %Moment under konstant
    hastighet (a=0, W_acc=0)
29
30 % Differentialens moment för att klara drivaxelns
    momentbehov
31 M_axel_acc = M_driv_acc / (i*Diff_eff);
32 M_axel_konst = M_driv_konst / (i*Diff_eff);
33
34 % Moment för motor och differential
35 M_diff_acc = J_diff * W_acc / Diff_eff;
36 M_motor_acc = J_motor * W_acc;
37
38 % Totalt moment med säkerhetsfaktor
39 M_tot_acc = (M_diff_acc + M_motor_acc + M_axel_acc) *
    safety;
40 M_tot_konst = M_axel_konst * safety;

```

C Expansionskortets kopplingsschema



D Detaljförteckning för sprängskisser

D.1 Bottenplatta

1. Motorhållare
2. Bottenplatta

D.2 Hjulupphängning, fram

1. Bärande arm
2. Styrervo
3. Spindelfäste
4. Spindel
5. Styrarm
6. Servohorn
7. Länk
8. Kullager
9. Distans
10. Hjul

D.3 Hjulupphängning, bak

1. Undre differentialhus
2. Differential
3. Kullager
4. Kullager
5. Pinjong
6. Drivaxel
7. Koppled
8. Kullager
9. Bäarm
10. Distans
11. Hjul

D.4 Tak

1. Tak
2. Konsol

D.5 Hjul

1. Däck
2. Fälg

E Externt skapade CAD-modeller

För rendering av den slutliga konstruktionen har såväl egendesignade som tredjeparts 3D-modeller använts. Detta för att åstadkomma en så verklighetstrogen konstruktion som möjligt. Stegmotorn, enkodern och växeln har hämtats från tillverkarens hemsida men då tillverkarna av de valda kullagrena inte tillhandahållit modeller av dessa, har kullager i respektive storlek hämtats från SKFs sortiment.

Valda kullager i relation till SKFs sortiment:

Traxxas, 7020 $\leftrightarrow$ SKF, W637/-2Z

Traxxas, 7019 $\leftrightarrow$ SKF, W637/4X-2Z

GForce RC, GF-0500-004 $\leftrightarrow$ SKF, WBB1-8705-2Z

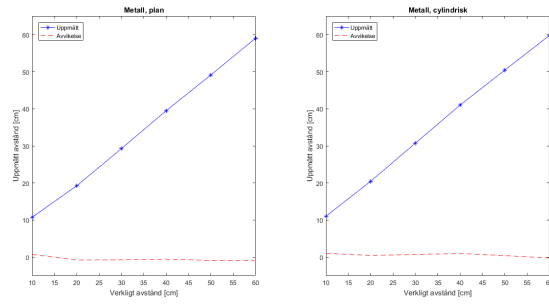
En lista av övriga externa CAD-modeller samt deras ursprung redovisas nedan.

- CAD-modell av styrservo, hämtad från Doppia (2012)
- CAD-modell av sensorkamera, hämtad från Lapeyre (2014)
- CAD-modell av BeagleBone Black, hämtad från Logic Supply (2014)
- CAD-modell av ultraljudssensor, hämtad från Jiménez (2016)

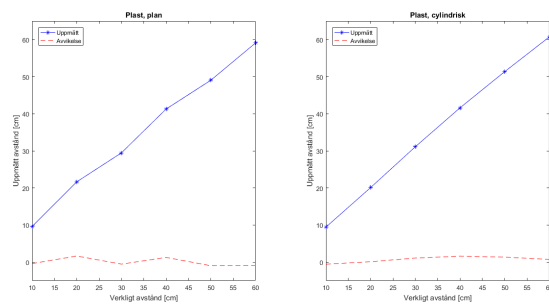
F Avståndsmätning - Kod och resultat

Python-kod

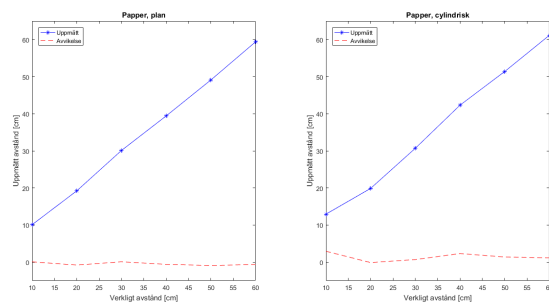
```
1 import RPi.GPIO as GPIO
2 import time
3 GPIO.setmode(GPIO.BCM)
4
5 TRIG = 23
6 ECHO = 24
7
8 temp = 20 # degrees in celsius
9 v_sound_air = 331.4 + 0.6 * temp # m/s
10 v_conversion = 50 # Conversion from m/s to cm/s and half the
    distance
11 dist_data = []
12
13 print("Distance Measurement In Progress")
14 GPIO.setup(TRIG, GPIO.OUT)
15 GPIO.setup(ECHO, GPIO.IN)
16
17 for i in range(10):
18     GPIO.output(TRIG, False)
19     print("Waiting For Sensor To Settle")
20     time.sleep(1)
21     GPIO.output(TRIG, True)
22     time.sleep(0.00001)
23     GPIO.output(TRIG, False)
24
25     while GPIO.input(ECHO) == 0:
26         pulse_start = time.time()
27
28     while GPIO.input(ECHO) == 1:
29         pulse_end = time.time()
30
31     pulse_duration = pulse_end - pulse_start
32     distance = pulse_duration * v_sound_air * v_conversion
33
34     print("Distance: ", distance, "cm")
35     dist_data.append(distance)
36
37 avg_dist = sum(dist_data)/len(dist_data)
38 print("Average distance: ", avg_dist, "cm")
39
40 GPIO.cleanup()
```



Figur F.1: Mätning av metallobjekt



Figur F.2: Mätning av plastobjekt



Figur F.3: Mätning av pappersobjekt

G Uppfyllande av krav och önskemål

Slutkonceptet har granskats för att säkerställa att samtliga krav från kravspecifikationen har uppnåtts. Uppfyllandet av önskemålen har också undersökts. Genomförandet och resultaten från dessa undersökningar återfinns i denna bilaga.

G.1 Egenskaper

Samtliga krav i denna kategori har uppfyllts samt ett av två önskemål, att ha en differential på bakaxeln. Att verifiera att kraven i denna kategori är uppfyllda görs enkelt genom att bekräfta att fordonet utrustats med de grundläggande egenskaper som specificerats. Önskemålet som inte uppfylldes var bromsar monterade på bakhjulen vilket valdes bort i samråd med handledare för att få en mer simpel konstruktion.

G.2 Prestanda

Alla krav har uppfyllts under denna kategori. Kraven på in- och utspänning har följts för expansionskortet. Batteritiden har uppskattats med beräkning. Avståndssensorerna har testats och uppfyller både kravet på intervallet, noggrannheten och uppdateringsfrekvensen. Då LIDAR valts bort för slutkonceptet har heller inte önskemålen kring LIDAR-sensorn uppfyllts.

G.3 Dimensioner

Kraven på fordonets dimensioner har följts och verifierats genom mätning av det färdigmonterade fordonet. Ett önskemål fanns att hålla fordonets vikt under 2 kg vilket också uppnåtts.

G.4 Design

En kaross har inte skapats för fordonet. Det finns flera anledningar till detta men främst är det för att en kaross inte fyller någon funktion på fordonet. Utöver det så blir tillverkningstiden och monteringstiden längre.

G.5 Material

Under denna kategori ställdes krav på att materialet för fordonets bottenplatta skulle vara ABS vilket inte efterföljts. Materialet blev istället PLA då utskrivningsprocessen inte avger några hälsofarliga ångor när PLA används. PLA är ett bra ersättningsmaterial för ABS och har likvärdiga egenskaper. Efter samråd med

utskriftsansvarig på Chalmers valdes PLA istället. Önskemålet om att även skriva ut fordonets däck i ett mjukare material gick dock att uppfylla.

G.6 Tillverkning

Samtliga krav har här uppfyllts. Här fanns dock ett önskemål om att ta fram en egen differential för 3D-utskrift vilket inte genomfördes. Detta på grund av att det är svårt att erhålla tillräcklig ytfinhet på små komponenter likt de kuggar som används i differentialen. Kuggar i plast skulle även snabbt nötas ut och kräva underhåll ofta. Istället köptes en differential i metall.

G.7 Kostnader

Ett krav ställdes på att utvecklingsbudgeten skulle vara ca 7000 kr. Detta överskreds dock på grund av en bränd DC/DC-omvandlare, felbeställning av stegmotor samt att flera komponenter till expansionskortet endast kan köpas i stora kvantiteter. En total sammanställning över kostnader under projektet och en beräknad tillverkningskostnad kan ses i bilaga H.

G.8 Livslängd

Här har inget konkret krav ställts utan istället ett önskemål på 5 år. Livslängden beror både på de 3D-utskrivna komponenterna och på de inköpta elkomponenterna. Skulle någon av de 3D-utskrivna delarna gå sönder eller nötas ut är det lätt att skriva ut dessa på nytt.

G.9 Miljö

PLA-plasten (Poly lactic acid) som har använts för de 3D-utskrivna delarna är en ofarlig termoplast som är biologiskt nedbrytbar. Den kan dessutom återvinnas och förbrännas, dock har bioplaster en negativ inverkan på den återvunna plastens livslängd eftersom dagen plaståtervinning inte särskiljer plast typer. En positiv följd av att mycket av delarna tillverkas genom 3D-utskrift är att det blir lite restmaterial vid tillverkning. Naturskyddsföreningen (2017)

G.10 Montering

I denna kategori har endast önskemål ställts upp. Önskemålet om att endast använda M-standardskruvar har uppfyllts, dock har önskemålet om endast M3-skruvar inte kunnat efterföljas då flera inköpta komponenter kräver mindre skruvar än så. Önskemål ställdes upp angående monteringstid och demonteringstid.

Dessa valdes att inte sättas som krav då det var svårt att uppskatta en rimlig monterings- och demonteringstid i projektets uppstartsfas. Monterings- och demonteringstiden har ej validerats.

G.11 Underhåll

Fordonet har designats för att kräva så lite underhåll som möjligt. Anledningen till att detta endast satts som önskemål och inte krav är att i princip ingen maskin är 100 % underhållsfri. Kravet på utbytbara komponenter har uppfyllts, samtliga 3D-utskrivna komponenter kan enkelt bytas och de inköpta komponenterna bör vara enkelt tillgängliga globalt inom en rimlig framtid.

H Komponentlista och kostnadsberäkning

Produkt	Tillverkare	Tillverkarens art.nr.	Antal totalt	Totalpris [kr]	Antal enheter per plattform	Komponentpris per plattform
Elektronik						
Enkorts dator	Beagleboard	BBONE-BLACK-4G	1	398	1	398
Batteripack (LiPo), 11.1 V, 3600 mAh, 20 C	Conrad Energy	239027 (Conrad)	2	938	2	938
Batterikontakt XT60 (20 pack)	Reely	1399717 (Conrad)	20	149	3	22.35
Batterisockel XT60 (20 pack)	Reely	1399713 (Conrad)	20	149	3	22.35
Sensorer						
SEN-US01 (HC-SR04)	Linker Kit	1274216 (Conrad)	4	396	4	396
AltIMU-10 v5	Polulu	2739	1	203	1	203
CMUCam5 Pixy	CMUCam	-	1	610	1	610
Motorer						
Stegmotor	Nanotec	ST4118L1804-A	1	308	0	0
Servomotor	Hitec	HS-5245MG	1	429	1	429
Stegmotor	Nanotec	ST2818S1006-B	1	378.5	1	378.50
Encoder	Nanotec	NOE1-05-C14	1	479	1	479
Planetväxel	Nanotec	GPLL22-5	1	445	1	445
Montering av motor och komponenter	Nanotec	-	1	800	0	0
Differential						
Diff.ring & pinjong	Traxxas	7079	1	135	1	135
Täckplattor & tätning	Traxxas	7080	1	30	1	30
Diff kuggar & axlar	Traxxas	7082	1	124	1	124
HPI Racing Z168, Diff fett	HPI Racing	Z168	1	40	0,1	4
Fästelement						
M3 skruv	-	-	-	-	-	0
M3 mutter	-	-	-	-	-	0
M3 låsmutter	-	-	-	-	-	0
Hollow balls (22 pack)	Traxxas	7028X	22	97	2	8.82
M2X10 skruv (10 pack)	G-Force RC	GF-0100-002	10	40	6	24
Kullager						
Differential (2st)	Traxxas	7019	2	45	2	45
Pinjong (2st)	Traxxas	7020	2	46	2	46
Hjul (4st)	G-Force RC	GF-0500-004	8	60	8	60
Expansionskort (Från Farnell, OBS! Pris utan moms och rabatt)						
Kabel-till-kort kopplingsplint (5 08mm, 2-vägs)	Multicomp	MC000048	2	6.58	1	3.29
Kabel-till-kort kopplingsplint (2.54mm, 2-vägs)	TE Connectivity	282834-2	4	19.36	4	19.36
Kort-till-kort kontaktdon (2.54mm, 2 kontakter)	Multicomp	2211S-02G	1	0.136	1	0.136
Kort-till-kort kontaktdon (2.54mm, 3 kontakter)	TE Connectivity	826629-3	10	25.1	2	5.02
Kort-till-kort kontaktdon (2.54mm, 4 kontakter)	Harwin	M20-9990446	10	10.4	8	8.32
Kort-till-kort kontaktdon (2.54mm, 10 kontakter)	Molex	10-89-7102	4	19.36	2	9.68
Säkring, Ytmonterad, 7A, 125 VAC, 125 VDC	Littelfuse	0154007 DR	10	270	1	27
Säkring, Ytmonterad, 7A, 125 VAC, 32 VDC	Littelfuse	0453007 MR	5	59.9	0	0
Specialfunktion IC-krets, Diod-OR styrkrets, 550 mV till 42 V in (VSSOP-8)	Texas Instruments	LM746700DGKQT1	2	58.18	1	29.09
MOSFET transistor, N kanal, 170 A, 75 V, 0.0035 ohm, 10 V, 2 V	Infineon	AUIRF2907Z	2	57.9	1	28.95
SMD flerskiktig keramik kondensator, 2012 (metrisk), 1 µF, 25V ± 5%	Kemet	C0805C105J3RACTU	5	32	1	6.4
Zener singeldiod, 36 V, 3 W, DO-214AA, 5%, 2 stift, 150°C	ON Semiconductor	1SMB5938BT3G	5	16.55	2	6.62
Zener singeldiod, 36 V, 400 mW, SOD-323, 2%, 2 stift, 150°C	Nexperia	PDZ36B.115	5	13	0	0
Ytmonterad effektpole, 2.2 µH, 4.76 A, 7.06 A, skärmad	Coiltronics	DR74-2R2-R	2	48.06	1	24.03
SMD flerskiktig keramik kondensator, 3225 (metrisk), 10 µF, 50V ± 10%	Kemet	C1210C106K5RACTU	2	18.74	1	9.37
Isolerad PCB-monterad DC/DC omvandlare, 1 utgång, 9 V, 36 V, 50 W, 5 V	XP Power	JWL5024S05	2	1438.74	1	719.37
Ytmonterat chipmotstånd, 5 kohm, 75 V, 1608 (metrisk), 150 mW ± 0.1%	Vishay	PNM0603E5001B5T5	2	70.38	1	35.19
Trippotentiometer, 100 kohm, 100 mW ± 25%	Bourns	TC33X-2-104E	5	16.25	1	3.25
SMD flerskiktig keramik kondensator, 3216 (metrisk), 1000 pF, 2 kV ± 5%	Kemet	C1206C102JGRACTU	5	15.15	1	3.03
DC/DC regulator, 2.75 V till 9.8 V, 1 utgång, Boost, 650 kHz	Linear Technology	LTC3872ETS8WPBF	2	77.38	1	38.69
Ytmonterad effektpole, 8.6 µH, 17 A, 25 A, skärmad, 7190 µohm	Würth Elektronik	7443300860	2	113.5	1	56.75
MOSFET transistor, N kanal, 17 A, 30 V, 7.8 mohm, 10 V, 1 V	Vishay	Si4174DY-T1-GE3	2	14.5	1	7.25
Schottky-likriktare, 40 V, 8 A, DO-214AA, 2 stift, 550 mV	AVX	SD2114S040S8R0	2	12.12	1	6.06
SMD aluminium-elektrolytkondensator, Ytmontering, 68 µF, 35 V	Panasonic Electronic Components	EEEFK1V680XP	2	8.54	1	4.27
SMD aluminium-elektrolytkondensator, Ytmontering, 68 µF, 100 V	Panasonic Electronic Components	EEEFK2A680Q	2	31.38	1	15.69
SMD flerskiktig keramik kondensator, 2012 (metrisk), 10 µF, 35 V, ± 10%	TDK	C2012X5R1V106K085AC	10	70.5	3	21.15
Ytmonterat chipmotstånd, 4.7 Mohm, 150 V, 2012 (metrisk), 125 mW, ± 1%	Vishay	CRCW0805M470FKEA	10	2.73	1	0.27
SMD flerskiktig keramik kondensator, 2012 (metrisk), 0.068 µF, 50 V, ± 5%	Vishay	VJ0805Y683JCAAJ	4	13.04	1	3.26
Ytmonterat chipmotstånd, 52.3 kohm, 150 V, 2012 (metrisk), 125 mW, ± 1%	Panasonic Electronic Components	ERJ6ENF5232V	10	2.48	1	0.25
SMD flerskiktig keramik kondensator, 2012 (metrisk), 100 pF, 100 V, ± 5%	Walsin	0805N101J101CT	10	4.75	1	0.48
SMD flerskiktig keramik kondensator, 2012 (metrisk), 1000 pF, 100 V, ± 5%	Walsin	0805N102J101CT	10	7.93	0	0
Ytmonterat chipmotstånd, 12.1 kohm, 150 V, 2012 (metrisk), 125 mW, ± 1%	Panasonic Electronic Components	ERJ6ENF1212V	10	2.48	1	0.25
Ytmonterat chipmotstånd, 232 kohm, 150 V, 2012 (metrisk), 125 mW, ± 1%	Panasonic Electronic Components	ERJ6ENF2322V	10	2.36	1	0.24
Fast LDO spänningsregulator, 2.8V till 6V, 230mV bortfall, 5Vout, 1.5Aout, SOT-223-3	Analog Devices	ADP3339AKCZ-5-R7	3	119.52	3	119.52
SMD aluminium-elektrolytkondensator, Ytmontering, 1 µF, 50 V	Panasonic Electronic Components	EEEH01H1R0R	15	35.55	1	2.37
Ytmonterat chipmotstånd, 124 ohm, 100 V, 2012 (metrisk), 100 mW, ± 0.1%	TE Connectivity	RN73C2A124RBTDF	10	125.7	7	87.99
Ytmonterat chipmotstånd, 1 kohm, 75 V, 1608 (metrisk), 100 mW, ± 0.1%	Panasonic Electronic Components	ERA3AEB102V	10	18.4	7	12.88
Ytmonterat chipmotstånd, 2 kohm, 75 V, 1608 (metrisk), 100 mW, ± 0.1%	Panasonic Electronic Components	ERA3AEB202V	10	17.8	7	12.46
Motordrivkrets, Stegmotor, 6.5V till 45V in, 1.4A/1 utgång, HTSSOP-28	Texas Instruments	DRV8880PWPR	1	47.22	1	47.22
Ytmonterat chipmotstånd, 10 kohm, 75 V, 1608 (metrisk), 100 mW, ± 0.1%	Panasonic Electronic Components	ERA3AEB103V	10	18.4	3	5.52
Ytmonterat chipmotstånd, 22 kohm, 25 V, 1005 (metrisk), 63 mW, ± 0.1%	Panasonic Electronic Components	ERA2AEB223X	10	41.5	2	8.3
Ytmonterat chipmotstånd, 0.24 ohm, 1608 (metrisk), 100 mW, ± 1%	Bourns	CRL0603-FW-R240ELF	10	13.2	2	2.64
SMD flerskiktig keramik kondensator, 2012 (metrisk), 0.1 µF, 50 V, ± 5%	Kemet	C0805C104JSRACTU	10	7.98	3	2.39
SMD flerskiktig keramik kondensator, 2012 (metrisk), 0.47 µF, 50 V, ± 10%	Kemet	C0805C474K5RACTU	10	15.3	2	3.06
Kort-till-kort kontaktdon, 2.54 mm, 46 Kontakter, Hona, Hålmontering, 2 rader	Samtec	ESQ-123-14-G-D	2	203.22	2	203.22
Värmetejp, 100mm x 100mm ark	3M	8940	1	51.91	0.25	12.98
Kyfläns, Fyrkantig, Stift, För CPU, Universal processor, 9.8 °C/W, 10 mm, 14 mm, 14 mm	Fischer Elektronik	ICK S 14 X 14 X 10	4	75.44	3	56.58
Övrigt						
RC skrot	-	-	1	100	0	0
Axelkoppling (Ø4mm och Ø6mm)	Mentor	720.64	1	18	1	18
Lödhjälpsmedel för batterikontakt	Reely	HY021-02303	1	199	0	0
Wifi-adapter	D-Link	DWA-121	1	139	1	139
			SUMMA:	9167,12	Enhetspris:	6624,86