



CHALMERS



Utveckling av elektrisk drivlina till klassisk sportbil

Robin Aalto
Nils Hildor
Ludvig Johansson
Daniel Schmidt

Handledare: Magnus Evertsson
Examinator: Erik Hulthén

KANDIDATARBETE IMSX15-20-07

Utveckling av elektrisk drivlina till klassisk sportbil

ROBIN AALTO
NILS HILDOR
LUDVIG JOHANSSON
DANIEL SCHMIDT



CHALMERS

Institutionen för industri- och materialvetenskap
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2020

Utveckling av elektrisk drivlina till klassisk sportbil
Robin Aalto, Nils Hildor, Ludvig Johansson, Daniel Schmidt

© Robin Aalto, Nils Hildor, Ludvig Johansson, Daniel Schmidt, 2020.

Handledare: Magnus Evertsson, Biträdande professor vid Institutionen för Industri- och materialvetenskap
Examinator: Erik Hulthén, Docent på avdelningen för Produktutveckling, Institutionen för industri- och materialvetenskap.

Kandidatarbete IMSX15-20-07
Institutionen för industri- och materialvetenskap
Chalmers Tekniska Högskola
SE-412 96 Gothenburg
Telefon: 031 - 772 1000

Försättsblad: Bild på en AC Cobra (klassiker, 2009).

Typeset in L^AT_EX
Göteborg, Sverige 2020

Abstract

In today's society questions regarding climate change is an often discussed matter, where the current fleet of cars and whether its emissions can be reduced is a big part of it. Many newly produced cars are electric and in time they are to replace the current cars powered by traditional fossil fuels. The question is how this would work out for car enthusiasts, whose cars maybe are non-replaceable to them. One way of dealing with this would be to change the powertrain itself, keeping the car looking and feeling as original as possible, and by this reduce the emissions while still keeping their cars.

This bachelor thesis is written by four students at Chalmers University of Technology and aim to touch this very problem. The main intention is to explore whether a classic sportscar can be converted to run on electricity only. As object of investigation an AC Cobra is used to represent the car, and the goal is to present a theoretically working electric powertrain with the most important components for the car.

The work consists of three main parts, where the first part aims to gather information on the original powertrain of the car, the market and the group of target - the car enthusiasts. By finding the specifications of the car and the demands by the enthusiasts, this information can be put together into a list of requirements for the electric powertrain. The second part of the project consists of finding and putting together suitable components for the powertrain, creating several different concepts to evaluate. By first defining what components go into a powertrain generally, it becomes clear what to work with and not. The final part aims to test the different concepts of powertrains by simulating them. They are tested for performance and range, to find out whether or not they can keep up with the requirements set by the original car and the enthusiasts. The results of the simulations are the results of the thesis.

The results shows good potential in making an electric powertrain work in the AC Cobra. There are many concepts reaching the performance related demands of a 0-100 km/h acceleration in under 4.2 seconds, a max speed of at least 220 km/h and a range more than 200 km. To have several different concepts reaching the goals also means that different components can be used in different ways best suited for each enthusiast, and they can still get a good result. The electric powertrain is quite expensive at around 250 000 - 350 000 kronor, a bit more expensive than what the group of target is willing to pay.

Many demands and different requirements have not been discussed in detail because of the projects limitations. One of this limitations is not building a prototype which means that the results can not be verified to work in the real world. In addition, there has been no calculations on the strength of the componets used, to see if they will hold or not.

With the limitations in mind the projects should be seen as a starting point in the question of matter, but not a complete work. There are parts missing that must be filled in if further developing the work to create a more comprehensive proposition of the drivetrain. This being said, the work shows interesting aspects and a promising result for enthusiasts wanting to work towards a greener future.

Sammanfattning

I dagens samhälle är klimatfrågan ett hett ämne, däribland frågan om fordon och huruvida deras utsläpp kan reduceras. Många fordon som tillverkas nya och ersätter de äldre bilarna går idag på el istället för fossila bränslen. Frågan är dock hur det ska fungera för bilentusiaster, vars fordon kanske inte går att ersätta. En möjlighet för dem kan istället vara att byta ut själva drivlinan i bilen och på så sätt bidra till minskad klimatpåverkan men ändå behålla sin bil.

Detta kandidatarbete är utfört av fyra studenter på Chalmers tekniska Högskola och syftar till att undersöka just denna problematik. Syftet är att undersöka huruvida en klassisk sportbil kan konverteras till att ha en elektrisk drivlina. Som objekt för konvertering har en AC Cobra används i arbetet och målet har varit att ta fram en teoretiskt fungerande elektrisk drivlina med de viktigaste komponenterna.

Arbetet består av tre större delar, där den första delen handlar om att samla in information om den ursprungliga drivlinan, marknaden och målgruppen bilentusiaster. Genom att hitta de specifikationer hos originalbilen och krav hos målgruppen som gör att drivlinan skulle anses tillräckligt bra kan en kravspecifikation för den nya drivlinan tas fram. Den andra delen av arbetet handlar om att finna komponenter, få dem att fungera ihop och sätta ihop dem till olika konceptuella elektriska drivlinor. Genom att först definiera vad som faktiskt utgör en drivlina fås en tydlig bild av vad som skall bytas ut. Den sista delen handlar om att simulera de olika konceptuella drivlinorna. De testas för prestanda och räckvidd, för att se om de teoretiskt når upp till kraven satta av den ursprungliga drivlinan och målgruppen. Simuleringsresultaten är resultaten för projektet som helhet.

Resultatet av arbetet visar på goda förutsättningar för att konvertera en AC Cobra till att ha en elektrisk drivlina. Det finns många olika koncept som når upp till prestandarelaterade krav, bland annat en acceleration 0-100 km/h på under 4,2 sekunder, en maxhastighet på över 220 km/h samt en räckvidd över 200 km. I och med att det är flera olika sorters komponenter som kan nå dessa krav går det även för entusiaster med olika utgångsläge att få goda resultat. Den elektriska drivlinan blir relativt dyr på ungefär 250 000 - 350 000 kronor, något dyrare än vad kundgruppen kan tänka sig att betala.

Flertal krav och viktiga aspekter har inte kunnat undersökas djupare på grund av projektets avgränsningar. Bland annat har inga fysisk prototyper tillverkats vilket betyder att det inte går att verifiera huruvida resultaten är likvärdiga i verkligheten. Det har heller inte gjorts några hållfasthetsberäkningar för att se om komponenterna faktiskt klarar av det som dem utsätts för.

Med tanke på avgränsningarna som satts får projektet anses vara en grund för frågan om elkonvertering, men ingen djupare studie. Det finns bristfälliga delar som behöver tas upp för vidareutveckling om ett seriöst förslag på drivlina ska tas fram. Med detta sagt visar arbetet på intressanta och lovande resultat för bilentusiaster som vill jobba mot en grönare framtid.

Förord

Detta är ett kandidatarbete utfört av fyra studenter på Chalmers Tekniska Högskola under vårterminen 2020. Målet med arbetet var att undersöka huruvida en drivlina i en klassisk sportbil kan konverteras till en elektrisk drivlina. Projektet är utfört vid institutionen för industri- och materialvetenskap.

Vi författare vill i första hand uttrycka sin stora tacksamhet till Magnus Evertsson för hans ovärderliga roll som handledare och mentor för gruppen genom detta arbete. Magnus har tillfört gruppen kunskap inom området, fantastisk handledning och framförallt agerat bra mentalt stöd och förebild.

Vi vill även rikta ett stort tack till Rickard Arvidsson från Volvo Cars för att ha delat med sig av sin expertis inom fordonsbranschen, Autofab AB för att ha låtit gruppen besöka deras verkstad i Bjuv, Jörgen Nilsson för hjälp med utväxlingar och Gauti Asbjörnsson samt David Sedarsky för att ha delat med sig av sina kunskaper inom programmering och simulering.

Robin Aalto, Nils Hildor, Ludvig Johansson, Daniel Schmidt

Göteborg, Maj 2020

Innehållsförteckning

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	2
1.3	Avgränsningar	3
1.4	Problemformulering	3
1.5	Frågeställningar	4
1.6	Samhälleliga och etiska aspekter	4
2	Metod och genomförande	6
3	Informationssamling för kravspecifikation	7
3.1	AC Cobrans historia	7
3.2	AC Cobrans tekniska specifikationer	7
3.3	Marknadsundersökning	8
3.3.1	Dagens marknad för elkonverteringar	8
3.3.2	Placering på s-kurva	9
3.4	Kundundersökning	10
3.4.1	Genomförande av kundundersökning	10
3.4.2	Resultat av kundundersökning	10
3.5	Kravspecifikation	12
4	Framtagning av förslag på drivlina	13
4.1	Systemarkitektur	13
4.1.1	Black box-modell	13
4.1.2	Funktionsstruktur drivlina	13
4.2	Elmotor	15
4.2.1	Asynkronmotorer	15
4.2.2	Synkronmotorer	16
4.2.3	DC-motorer	16
4.2.4	Radial- och axialflödesmotorer	16
4.2.5	Förslag på motorer	17
4.3	Kraftelektronik och styrsystem	18
4.4	Energilagring	19
4.4.1	Litiumjon-batterier	19
4.4.2	Batteripackets specifikationer	20
4.5	Sammankoppling av den elektriska delen av drivlinan	21
4.6	Utväxling	22
4.6.1	Syftet med en utväxling	22
4.6.2	AC Cobrans ursprungliga växellåda	22
4.6.3	En- och tvåstegsutväxling	23
4.6.4	Endast slutväxel	24
4.6.5	Att välja rätt utväxling	24
4.6.6	Förslag på utväxling	25
4.7	Kringliggande system	28
4.7.1	Kylning	28
4.7.2	Laddare	29
4.7.3	Elektrisk gasreglage	29

4.7.4	Styrervo	30
4.7.5	Elschema	30
4.8	Koncept till simulering	31
5	Simulering och modellering	32
5.1	Syfte med simulering och modellering	32
5.2	Modellering av drivlina	32
5.2.1	Modellering genom CAD	33
5.3	Simuleringsmodell	34
5.3.1	Körcykel	36
5.3.2	Förare	37
5.3.3	Motor	37
5.3.4	Batteri	38
5.3.5	Växellåda och differential	39
5.3.6	Hjul och bromsar	40
5.3.7	Fordonsdynamik	41
5.3.8	Övrigt	42
6	Resultat och diskussion	43
6.1	Resultat	43
6.2	Diskussion	44
6.3	Verifiering av måluppfyllnad	47
6.3.1	Prestanda	47
6.3.2	Kostnad	47
6.3.3	Storlek	47
6.3.4	Övrigt	48
6.4	Samhälleliga och etiska aspekter	48
6.5	Framtida vidareutveckling	48
7	Slutsatser	50
	Källförteckning	51

Bilagor

Bilaga A	Målformulering	i
Bilaga B	Kundundersökning	ii
Bilaga C	YASA 750R	viii
Bilaga D	EVO AF230	x
Bilaga E	BRUSA HSM1-10.18.22	xiv
Bilaga F	Sevcon gen 4 size 10	xvi
Bilaga G	DMC544	xviii
Bilaga H	Dimensioner för Tremec TCET5008	xx

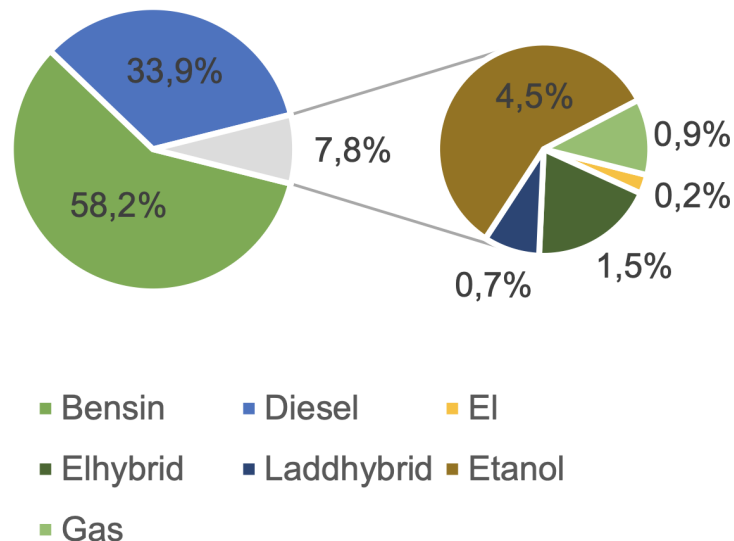
Bilaga I	Dimensioner för GM TH350	xxi
Bilaga J	Drivlina med Brusa-motor, DMC544 styrenhet & 14 batteripack	xxii
Bilaga K	Drivlina med EVO AF230-motor, Sevcon styrenhet & 12 batteripack	xxiii
Bilaga L	Drivlina med YASA 750R-motor, Sevcon styrenhet & 12 batteripack	xxiv
Bilaga M	Simuleringsresultat	xxv

1 Inledning

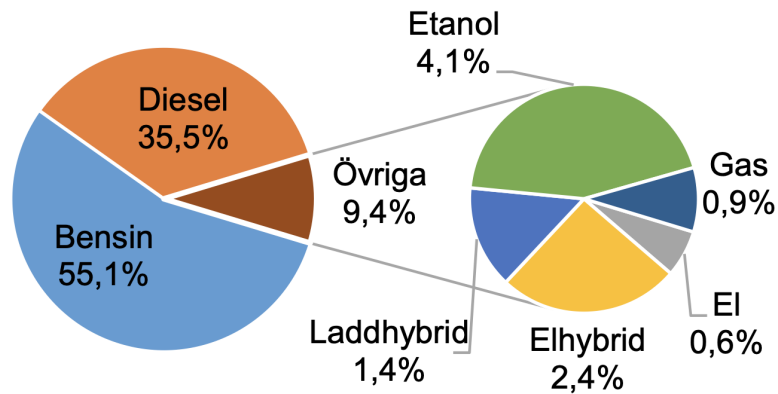
Miljömässig hållbarhet tar idag en stor plats i samhällsdebatten och bilen är en av de faktorer som ofta pekas ut som en av de stora syndabockarna när det kommer till klimatförändring. Detta har skapat en betydande efterfrågan på elbilar och traditionella fossildrivna bilar fasas sakta men säkert ut. Det som försvinner med de fossildrivna bilarna är dock av stor betydelse för till exempel bilentusiaster, som kan hävda att mycket av det sentimentala värdet hos bilen ligger i dess originalutförande. Frågan för denna grupp av människor blir då hur de kan följa med i och anpassa sig till den miljömässiga utvecklingen, utan att tappa för mycket av upplevelsen hos deras fordon.

1.1 Bakgrund

Att nyproducerade bilar skiftar mer mot att ha en elektrisk drivlina kan verka naturligt och självklart, som kan ses i figur 1 & figur 2 så har antalet bilar som drivs av el tredubblats mellan 2017 och 2019. När det däremot kommer till äldre, redan tillverkade bilar, ser bilden något annorlunda ut. Diskussionen om klimatförändring och utsläpp av koldioxid har blivit så betydande att Sverige har satt som mål att vara helt fossilfria år 2045 (Regeringskansliet, 2018). Detta innebär att redan tillverkade bilar som drivs av mer traditionella bränslen som bensin hotas, och framtiden blir således osäker för dessa bilar. Återigen kan detta inte verka som något större problem, det tillverkas nya elbilar som ersätter de gamla. Men för vissa grupper kan det vara otänkbart att deras fordon tas helt ur bruk.



Figur 1: Andel personbilar i trafik per drivmedel, 2017. Hämtad från "Fordon - 2017" s. 3 (Trafikanalys, 2018).



Figur 2: Andel personbilar i trafik per drivmedel, 2019. Hämtad från "Fordon - 2019" s. 3 (Trafikanalys, 2020).

För många bilentusiaster är deras äldre bil oersättlig, där motiveringen till detta i vissa fall kan vara helt och hållet baserad på det historiska och sentimentala värde som bilen har. Många hävdar dessutom att en förbränningsmotor är det självklara valet för en bil. Att därför föreslå att dessa bilar helt och hållet skall ersättas av nya bilar som drivs av till exempel elektricitet är i stort sett otänkbart. Frågan blir då hur denna problematik ska lösas för denna grupp av människor. En lösning på detta dilemma grundar sig i att bilen som sådan kan leva vidare, men med en drivlina som möter de krav som ställs. I praktiken skulle detta kunna innebära att bilarna i fråga byggs om på ett sådant sätt att den traditionella fossildrivna drivlinan ersätts med en elektrisk drivlina. Om sagd konvertering dessutom möter de prestandakrav och krav på upplevelse från den traditionella drivlinan är det kanske den bästa möjliga lösningen för bilentusiasterna. De får behålla sin bil, den möter de krav som framtiden inom miljödebatten kommer att ställa samt att karakteristiken för drivlinan är snarlik eller till och med bättre än den ursprungliga.

Genom att i ett projektarbete undersöka huruvida detta är möjligt kan arbetet bidra till att lösa ovan nämnda dilemma. När en elektrisk konvertering undersöks kan den dessutom tas vidare för att på sikt kunna tillämpas på fler typer av bilar än klassiska bilar. Som objekt för studie av konvertering används en AC Cobra i detta projektarbete. Anledningen till att just denna bilmodell valts är att den kan anses vara en av de mest ikoniska sportbilarna genom tiderna och således har resultatet potentiellt en stor slagkraft.

1.2 Syfte

Arbetet har som mål och syfte att inom projektets avgränsningar undersöka huruvida en drivlina i en klassisk sportbil kan konverteras till en elektrisk drivlina. Genom detta kan projektet bidra till kunskap inom ämnet och därmed en grönare framtid där även fordonsentusiaster är nöjda.

Målformulering enligt Värde modellen (Burenus & Lindstedt, 2003) återfinns i bilaga A.

1.3 Avgränsningar

Tidsramen för projektet resulterar i att omfånget av arbetet måste begränsas och anpassas för att den framarbetade målformuleringen ska kunna uppnås. Med detta i åtanke är det beslutat att arbetet är begränsat till att i första hand dimensionera en ny elmotor med tillhörande utväxling och energikälla som satisfierar ställda krav. Kringliggande system som gör drivlinan mer komplett kommer inte att vara i fokus, men i mån av tid avses det behandlas i form av diskussion. Ett exempel på detta är styrsystemet för den elektriska drivlinan som innehar en stor komplexitet. Vidare byggs ingen fysisk modell på grund av budgetrestriktioner och projektets tidsram. Det görs heller inga beräkningar av hållfasthet för framtagna koncept. När prestanda diskuteras avses endast körriktningen rakt framåt, inte i sidled. Detta medför att komponenter som behandlar väghållning inte kommer undersökas.

1.4 Problemformulering

För att säkerställa att syftet uppnås görs en mer detaljerad problemformulering. Denna sammanfattar själva problemet som ska lösas och delar upp det i frågeställningar. Genom denna formulering kan arbetet stämmas av gentemot det övergripande syftet.

Utifrån diskussion och problemanalys är ett övergripande huvudproblem uppställt som grundar sig helt i syfte och bakgrund. Det huvudsakliga problemet är att försöka få en elektrisk drivlina att leva upp till de förväntningar som finns kopplade till den befintliga drivlinan i bilen. Om den elektriska drivlinan uppnår detta kan syftet antas vara uppfyllt. Problemanalysen resulterar även i ett antal delproblem och hjälpande frågeställningar.

Det första delproblemet handlar om att kartlägga de förväntningarna som finns på bilen och därmed drivlinan. Genom att undersöka vad som ger en AC Cobra dess unika karaktär kan ett flertal krav och önskemål för den elektriska drivlinan bestämmas. Denna del består dels av en teknisk, och en mer känslomässig aspekt. Den tekniska delen behandlar krav och önskemål kopplat till specifikationer så som topphastighet, acceleration, räckvidd, effekt och vridmoment. Det är den tekniska delen som står i fokus. Den känslomässiga delen är svårare att definiera och behandlar frågor som berör bilens känsla, historia och framtid. Förväntat resultat från det första delproblemet är i första hand en kravspecifikation.

Det andra delproblemet är att ta fram den rätta kombinationen av elektriska komponenter som har förmåga att svara på de krav och önskemål som är definierade i kravspecifikationen. Relevanta frågeställningar är bland annat vilken typ av motor som kan användas, vilken lösning för utväxling drivlinan bör ha samt var systemets komponenter kan placeras. I denna del är det av vikt att mängden införskaffad information om ämnet är tillräcklig, detta för att koncept för drivlinan som senare tas fram ska bestå av komponenter som är tillgängliga och som fungerar för sitt syfte.

Det tredje delproblemet är att ta fram ett eller flera koncept på drivlinor för att analysera dem genom simulering och modellering. Genom att undersöka huruvida koncepten faktiskt uppnår krav och önskemål när de implementeras i bilen går det att se resultat som kan kopplas till syftet och huvudproblemet. Här kan även frågor som ställs resultera i förändringar i koncepten för att få dem att fungera. Delproblemet innefattar att undersöka bilens dynamik och simuleringsmöjligheter. Frågor kopplat till hur väl konceptet kan testas rent teoretiskt är också av intresse.

1.5 Frågeställningar

Genom att arbeta utefter de tre delproblemen kan huvudproblemet och därmed syftet uppnås. Samtliga problem och områden sammanfattas i följande övergripande frågor:

- Vad gör en AC Cobra till vad den är?
- Vad har en AC Cobra för tekniska specifikationer?
- Vilka olika alternativ för elektrisk drivlina finns det?
- Uppfyller utarbetat förslag på drivlina krav och önskemål för en AC Cobra?

Frågorna är avsedda att fungera som vägledning för att säkerställa att projektet går i rätt riktning.

1.6 Samhälleliga och etiska aspekter

I alla produktutvecklingsprojekt är det viktigt att vara medveten om möjliga konsekvenser av processen och resultatet. Det är därför viktigt att analysera vilka etiska och samhälleliga aspekter som är relevanta för projektet. För att analysera dessa aspekter för utveckling av den tänkta drivlinan används given analysmodell för kritiskt tänkande om etiska frågor.

Den främsta etiska aspekten i projektet är den nytta som resultatet kan komma att ha i form av färre skadliga utsläpp om drivlinan elektrifieras. De utsläpp som förekommer från en traditionell drivlina bidrar dels till global uppvärmning, men även andra typer av miljöpåverkan.

Ytterligare en nytta av projektet är att kulturarv kan bevaras eftersom många ser äldre fordon som just kulturarv. I framtiden kommer det kanske inte gå att köra bilar som släpper ut föroreningar i luften. Om det istället går att konvertera till en elektrisk drivlina så kan gamla klassiska bilar så som en AC Cobra eller liknande leva vidare i en fossilfri framtid.

Ett viktigt etiskt problem med det sannolika resultatet är kopplat till energikällan i form av batterier. Aspekter så som varifrån material kommer när det köps in samt hur det producerats är relevanta frågor att granska utifrån ett etiskt perspektiv. Det är till exempel känt att produktionen av batterier till elfordon kan vara miljöförstörande med höga utsläppsnivåer jämfört med en bil som använder bensin eller diesel som energikälla (Rabe, 2017). Även gruvdriften för att ta fram metallerna till batterierna har en negativ bakgrund. Kobolt, som är en av de viktigaste metallerna i batterier, bryts ofta i Kongo. Gruvdriften sker där i osäkra gruvor med låg säkerheten, där det även förekommer barnarbete (Suni, 2017). En viktig aspekt är att se till att råmaterialet till batterierna kommer från gruvor med bra arbetsförhållanden. Problematiken med batteritillverkning kommer inte påverka projektets genomförande då ingen fysisk modell avses byggas, men det kommer däremot att ha en påverkan på eventuella framtida tillämpningar av den framtagna teoretiska modellen.

Själva genomförandet av arbetet anses inte komma att påverka någon specifik grupp, men det kommer med hög sannolikhet resultatet av projektet att göra. De som främst kommer

att beröras av resultaten är den tänkta målgruppen, entusiaster som äger veteranfordon. Målgruppen kan få möjlighet att byta drivlina på sina bilar och således kan de köra ett mer miljövänligt fordon. De gynnas också genom att de får möjligheten att fortsätta köra sina bilar i en framtid där det kan vara olagligt eller socialt oacceptabelt att köra fordon som drivs av fossila bränslen. Huruvida det blir etiskt försvarbart eller inte verkar alltså bero på målgruppens reaktion. Några kanske uppskattar en elkonvertering eftersom det gör bilen miljövänlig och samtidigt bevarar kulturarvet. Andra kanske tycker att kulturarvet fortfarande blir förstört eftersom bilen med utbytt drivlina skiljer sig för mycket från en originalet. På grund av olika reaktioner kan resultatet komma att skapa ett etiskt dilemma mellan olika delar av målgruppen.

Utifrån diskussion kring samhällliga och etiska aspekter går det att konstatera att vissa etiska aspekter är relevanta men inte nödvändigtvis avgörande för projektet. Det är främst resultatet som påverkar människa och samhälle och det kan eventuellt skapa nytta som förutsätts i denna diskussion.

2 Metod och genomförande

Det bestämdes tidigt att använda inslag av produktutvecklingsmetodiken "Värde modellen" för att garantera att projektet har en tydlig struktur och följer en sund arbetsmetodik (Burenius & Lindstedt, 2003). Exempel på detta är den satta målformuleringen, en milstolpeplan samt bakomliggande tankesätt kopplat till att generera ett så högt kundvärde som möjligt.

Arbetet som helhet innefattar att teoretiskt undersöka en konvertering av drivlinan på en AC Cobra. Det konkreta resultatet som förväntats uppnås är en teoretisk modell av en drivlina. Den skall vid ersättande av den ursprungliga drivlinan förhoppningsvis leva upp till förväntningar hos entusiasten som äger bilen.

Metoden är uppbyggd efter den satta problemformuleringen och frågeställningarna. Den första delen bygger på att undersöka den befintliga drivlinan, marknaden och kunder inom målgruppen. För att undersöka marknaden görs en marknadsundersökning och analys av den tänkta målgruppen. En kundundersökning genomförs med hjälp av en elektronisk enkät för att kartlägga vad kunden anser vara av särskild prioritet. Denna data, tillsammans med information från relevant litteratur, används för att sammanställa en kravspecifikation vilken fungerar som referensram för den elektriska drivlinan.

Steget efter är kopplat till den nya elektriska drivlinan och börjar med att definiera vad som bör ingå i en drivlina. Detta görs genom att ställa upp en systemarkitektur och med denna kan de olika komponenterna som krävs för drivlinan sammanställas. Genom att sedan samla in relevant data och information kring dessa komponenter kan olika lösningsförslag på en elektrisk drivlina presenteras. Konceptförslag avses jämföras mot kravspecifikationen kontinuerligt.

Med tanke på projektets avgränsningar går det inte att bygga fysiska modeller eller prototyper och koncepten simuleras och modelleras därför. En simuleringsmodell som kan användas för att få reda på relevant information om de olika koncepten ställs upp. Genom att undersöka olika nyckelfaktorer kopplat till kundkrav kan vissa komponenter eller kombinationer av komponenter visa sig fördelaktiga. Simuleringsmodellen används även för att verifiera den energimängden som krävs för att tillgodose bilens krav på räckvidd, givet av kundundersökningen. Resultatet av simuleringen analyseras och olika lösningar itereras fram. Slutligen fås ett eller flera koncept som uppfyller kraven på bästa sätt, och det är dessa som presenteras som resultat.

3 Informationssamling för kravspecifikation

För att påbörja arbetet behöver en mängd information samlas in och bearbetas. Det är relevant att ta reda på mer om bilen i fråga, om marknaden för elkonverteringar samt mer om den tänkta kunden. Resultatet av informationssamlingen sammanställs i en kravspecifikation för drivlinan som skall utvecklas.

3.1 AC Cobrans historia

Biltypen AC Cobra introducerades under 60-talet. Modellen bestod till en början av ett chassi tillverkat av AC Cars från England och en Ford-motor som racinglegenden Carroll Shelby satte i bilarna. Tillsammans blev detta vad som kommer att kallas en AC Cobra. Modellen blev väldigt populär och vann många tävlingar. På grund av dess unika form och karaktär har modellen sedan dess blivit en ikon inom entusiastbilar (Carlquist, 2016), se figur 3.



Figur 3: Bilden visar AC Cobrans unika former och dess kraftfulla V8-motor (Tbear, 2011).

Originalbilarna som tillverkades på detta sättet blev inte särskilt långvariga, den sista bilen tillverkades under slutet på 60-talet. Efter att originalbilarna slutade tillverkas började många företag i Europa och USA tillverka Cobra-replikor av olika slag. Marknaden och utbudet av replikor har vuxit och idag går det att hitta olika typer av chassin och karosser från olika företag. Ett företag som tillverkar chassin till AC Cobra-replikor idag är Autofab i Helsingborg.

3.2 AC Cobrans tekniska specifikationer

Den första delen för kravspecifikationen är att samla in och undersöka de specifikationer som AC Cobran har. Det är de tekniska specifikationerna som sätter den grundläggande karaktäristiken för bilen, och det är dessa specifikationer som sätter många krav på den elektriska drivlinan.

De mest övergripande egenskaperna för AC Cobran är att den har en topphastighet på 266 km/h samt kan accelerera 0-100 km/h på 4,2 sekunder (AccelerationTimes, u.å). De fysiska dimensionerna för bilen är att den är 3962 mm lång, 1727 mm bred samt 1245 mm hög. Den har en tjänstevikt på 1147 kg och en viktfordelning på 48% fram och 52 % bak (Carfolio, 2013). Dess frontarea, som är relevant utifrån aerodynamiska perspektiv, är 1,54 m².

Det kanske mest karaktäristiska för den ursprungliga AC Cobran är dess motor, en 7,0 liters Ford FE 427 V8. Motorns maximala effekt är 410 hk samt dess maximala vridmoment är 651 Nm (Automobile-Catalog, u.å.-a). Väckellådan som används är en manuell fyrväxlad Borg-Warner T-10 Four-speed close ratio (WASAAC, u.å). Utväxlingen varierar marginellt beroende på årsmodell, men den utväxlingen som majoriteten av de producerade bilarna har presenteras i tabell 1. Utöver detta har slutväxeln i bakaxeln en utväxling på 3.54:1 (Dellis, 2016).

Tabell 1: Specifikationer för väckellåda.

Växel	Utväxling
1	2.20:1
2	1.64:1
3	1.31:1
4	1.00:1
R	2.26:1

3.3 Marknadsundersökning

För att kartlägga vilka aktörer som är aktiva inom området görs en marknadsundersökning. Undersökningen behandlar elkonverteringar överlag. Genom att undersöka marknaden kan fenomenet att konvertera en bil till att få en elektrisk drivlina tilldelas en position på s-kurvan, som beskriver i vilken fas resultatet av projektet befinner sig i.

3.3.1 Dagens marknad för elkonverteringar

Det finns idag några som redan konverterat bilar med förbränningsmotorer. Det är ofta amatörer som gör det själva och dokumenterar det på bloggar eller liknande. Det är alla typer av fordon, däribland många veteranbilar eller entusiastfordon i allmänhet. De olika bilar som konverterats följer ingen tydlig norm och liknar inte heller varandra märkbart, utan konstruktionerna skiljer sig väldigt mycket. Vissa har en elmotor, andra flera. Vissa har behållit ursprungliga väckellådan och andra har ingen utväxling alls. Gemensamt för alla är att prestandan verkar öka, men att räckvidd kan bli ett problem.

Det finns några företag som specialiserar sig inom elkonvertering av entusiastbilar. Ett av dessa heter E-drive Retro och ligger i Finland. Företaget säger sig kunna ta en veteranbil och konvertera den till elektrisk. De säljer även färdiga bilar av märket MG, konverterade till el, för cirka 1,5 miljoner kronor (Remmers, 2017). Bilens elmotor har 100 kW vilket motsvarar ungefär 140 hk och ett vridmoment på 340 Nm. Räckvidden är upp till 150 km beroende på körstil och bilen väger ganska exakt 1000 kg. Elmotorn är i denna bil inte kopplad till någon väckellåda (RETRO-EV, u.å).

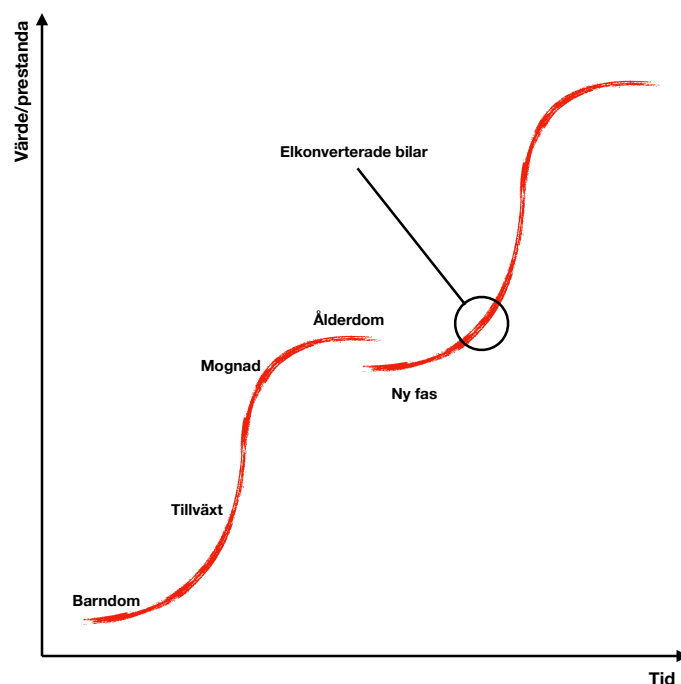
När det kommer till elkonverteringar av just AC Cobra finns det enstaka fall, men inget väl dokumenterat och beprövat. Allmänt verkar det finnas fall med både privatpersoner och företag som konverterar bilar till elektriska, men ingen har direkt arbetat fram den bästa kombinationen av komponenter i en drivlina. Detta gäller främst privatpersoner, där det inte verkar ägnas någon direkt eftertanke kring huruvida den valda elmotorn och växellåda är lämpliga för ändamålet. Företagen må göra det men det är ingen information som de går ut med. En noggrann undersökning där så många typer av drivlinor som möjligt tas med verkar inte vara gjort, det finns knappt några publikationer om det. Arbetet kan därför visa sig bidra till något nytt inom marknaden.

3.3.2 Placering på s-kurva

För att mer noggrant undersöka var en elkonverterad drivlina befinner sig marknadsmässigt definieras en position på den så kallade s-kurvan. Det är en modell som visar hur utvecklingen av liknande produkter inom marknaden sker över tid.

Elbilar i allmänhet anses vara relativt nytt marknadsmässigt. Det finns många pionjärer som tillverkat elbilar i många år, men det är först nu det börjar slå igenom på marknaden för bilar som helhet. Just elkonverterade bilar är desto nyare. Det finns ingen direkt utbredd marknad för det än, utan det är nästan bara pionjärer och privatpersoner som verkar inom området. Just elkonverteringar behandlar idag främst entusiastbilar, så det finns få skillnader mellan utvecklingen av elkonvertering av vanliga bilar och entusiastbilar.

Allmänt går det att argumentera för att elkonverterade entusiastbilar ligger tidigt, troligtvis i en ny fas. Den nya fasen borde vara elbilar i allmänhet där den nyligen gått över från den tidigare fasen, bensin- eller dieseldrivna bilar. Elkonverterade bilar kan anses ligga någonstans mellan barndomsfasen och tillväxtfasen. För approximativ placering av elkonverterade entusiastfordon, se figur 4.



Figur 4: Elkonverterade entusiastfordons placering på s-kurvan.

Vad som kännetecknar fasen är en påbörjad köpkraft. Marknaden som helhet har inte nödvändigtvis mognat helt än, men pionjärer har vågat köpa produkterna av denna typ ett tag. Det krävs ofta relativt lite ansträngning för att få det att ta fart, men det kan fortfarande finnas skeptiska åsikter kring utvecklingen. Vad detta betyder för projektet rent konkret är bland annat vetskapen om att det faktiskt är under uppgång. Elkonverterade bilar ligger i en fas där det snart kommer ta mer fart vilket betyder att det kan finnas goda marknadsfördelar inom kort. Det är också viktigt att notera och hantera skeptiska personer. Att någon är skeptisk i denna fas behöver inte betyda att den tänkta produkten är fel, utan det kan snarare betyda att personen i fråga har svårt att ställa om och acceptera det nya.

3.4 Kundundersökning

För att få en djupare förståelse av den tänkta målgruppen genomförs en kundundersökning. Från undersökningen kan viktiga aspekter kopplat till målgruppen tas med till kravspecifikationen. Det är relevant att även höra subjektiva åsikter kring konverteringen, för att uppfylla förväntningarna för den elektriska drivlina.

3.4.1 Genomförande av kundundersökning

Kundundersökningen genomförs genom en elektronisk enkät som skickas ut till relevanta grupper, bland annat till ett antal sportvagnsklubbar i Sverige. Kundundersökningen skickas även till Cobra Replica Owners Club Sweden (CROCS) för att rikta sig direkt till ägare av AC Cobras.

Frågorna är indelade i tre större kategorier som fokuserar på olika aspekter. Den första kategorin har som avsikt att undersöka användningsområde och hur ofta fordonen används hos målgruppen. Dessa frågor ställs för att förstå vad som är viktigt med fordonen för deras ägare och vad som blir viktigt att bevara från originalet i och med en elkonvertering. Om ett svar till exempel indikerar på att utseendet är det viktiga kan detta visa på mindre hårda krav på att köregenskperna.

Den andra kategorin handlar om att bedöma entusiasters inställning till elbilar och elkonverteringar. Detta är viktigt eftersom projektet till stor del grundar sig i att den tänkta målgruppen kan ha svårt att överge den ursprungliga drivlinan. Frågorna försöker därför bedöma hur stort intresset faktiskt är.

De sista frågorna i kundundersökning är enklare att kvantifiera. Frågorna handlar om bilens räckvidd, priset för en elkonvertering och vad som är viktigast att uppmärksamma när det kommer till prestanda. Frågorna ger tydliga svar som direkt kan översättas till krav i kravspecifikationen.

3.4.2 Resultat av kundundersökning

Det var totalt 23 personer som svarade på enkäten, varav två som svarade att de äger en AC Cobra. Följande är en summering av informationen som kundundersökning gav och reflektioner kring den. Fullständiga frågor och svar återfinns i bilaga B.

De flesta som svarar anger att det viktigaste med deras entusiastfordon är körglädjen men en del anger även att utseendet är viktigt. De flesta svarar att fordonen inte används mer

än någon gång i månaden, kanske bara några gånger per år. Nästan hälften anger även att fordonen främst används för nöjeskörning och ungefär en fjärdedel att fordonet främst används för klubbträffar. Kombinationen av fokus på körglädje och nöjeskörning leder till krav på att en elektrisk drivlina måste leda till en glädjefylld och njutbar körning för att få målgruppen att vilja konvertera sina bilar.

Ungefär hälften kan tänka sig att köpa en elektrisk bil, men majoriteten av svaren är negativt inställda till elkonverteringar. Några anger tydliga anledningar, där ett exempel är att klassningen av bilen inte kommer låta dem tävla i den önskade klassen om fordonet går på el. Den tydliga trenden är dock att många anser att bilen kommer ha för kort räckvidd och att det förstör kulturarvet att elkonvertera bilar. Det är därför viktigt att se till att bilens räckvidd kan imponera på de som tvekar, för att bevisa dugligheten av en elektrisk drivlina.

Det finns också en oro för att bilen blir för tung av batterierna därmed får sämre väghållning. Av projektets avgränsningar undersöks inte körningen i mer än en riktning. Kurvhantering och väghållning är därmed inte i fokus, men vikt kan ändå påverka acceleration och räckvidd, vilket är relevant. En avvägning mellan räckvidd och fordonets vikt är därför en viktig aspekt. När det kommer till kulturarv är det svårt att översätta det till något krav eller önskemål. Det går att ställa upp ett önskemål om att behålla så mycket av bilens ursprungliga komponenter som möjligt, men det blir av sin natur mycket delar som förändras när en drivlina byts ut. Svårigheten att kvantifiera något så subjektivt och abstrakt som kulturarv gör det svårt att få med i kravspecifikationen.

När det kommer till miljö och ekonomi är det delade åsikter. Några ser positiva aspekter där de bland annat tycker att bränslepriset börjar bli för högt. Andra svarar även att projektet ligger i tiden och att det kan visa andra att hobbyfordon kan vara klimatsmarta och hjälpa leda utvecklingen i rätt riktning. De som är negativt inställda påpekar att batterier kan vara sämre än vanligt bränsle ur ett miljöperspektiv. Dels om det ger en för kort räckvidd och även över en livscykel om det släpps ut mer föroreningar på grund av bland annat batteritillverkning. Några påpekar istället att priset för själva konverteringen kan komma att bli för högt. Sammanfattningsvis kan det sägas att de som tvivlar påstår att det inte blir miljönytta och för dyrt, och de som är positiva menar motsatsen. Miljönytta är något som får undersökas under en eventuell vidareutveckling av projektets resultat, men priset är av intresse att ha med i kravspecifikationen.

I den sista delen av kundundersökning har de som svarat "ja" och "kanske" på om de kan tänka sig att konvertera sin bil fått svara på specifika frågor om pris, räckvidd och prestanda. Från svaren framgår det att majoriteten kan tänka sig betala mellan 50 000 - 100 000 kr för en elkonvertering. Detta översätts direkt till krav och önskemål om pris i kravspecifikationen. När det kommer till räckvidd är svaren väldigt spridda mellan 100-300 km och ett krav på 200 km samt ett önskemål på 300 km sätts därmed. Från frågor om prestanda framgår det att prestandan måste vara likvärdig eller bättre än tidigare och att den viktigaste aspekten är att väghållningen förblir den samma. Återigen är inte väghållning i fokus, men aspekter som viktförhållande är av intresse.

3.5 Kravspecifikation

Genom att sammanställa och tolka den insamlade informationen kan en kravspecifikation för den elektriska drivlinan tas fram, se tabell 2. Specifikationen sammanfattar de krav, önskemål och andra faktorer som marknadsundersökning, kundundersökning samt AC Cobras specifikationer visar på. Den fungerar som en referensmall att jämföra de framtagna koncepten mot.

Tabell 2: Kravspecifikation för den elektriska drivlinan.

Kriterier	Krav/önskemål	Målvärde	Enhet	Verifiering	Referens
1 Livslängd					
1.1 Livslängd	Krav	10 000	mil	Uppskattning	Projektgrupp
1.2 Livslängd	Önskemål	15 000	mil	Uppskattning	Projektgrupp
1.3 Batteridegradering	Önskemål	<1,5	%/år	Uppskattning	Projektgrupp
2 Miljö					
2.1 Återvinningsbar Elektronik/Batteri	Önskemål	-	-	Uppskattning	Projektgrupp
2.2 Verkningsgrad drivlina	Krav	>85	%	Analys	Projektgrupp
3 Underhåll					
3.1 Serviceintervall	Önskemål	5000	mil	Uppskattning	Projektgrupp
3.1 Möjlighet att byta ut delar	Önskemål	100	%	Analys	Projektgrupp
4 Storlek					
4.1 Volym drivlina	Krav	Få plats i existerande chassi	-	CAD	Projektgrupp
4.2 Total vikt bil	Önskemål	<1147	kg	Beräkning	AC Cobra spec.
4.3 Total vikt bil	Krav	<1500	kg	Beräkning	Projektgrupp
4.4 Viktförhållande	Önskemål	50:50	-	Beräkning	AC Cobra spec.
5 Material					
5.1 Vattentålighet	Krav	100	%	Uppskattning	Projektgrupp
5.2 Hållbar batteritillverkning	Önskemål	-	-	Analys	Projektgrupp
6 Ergonomi					
6.1 Enkelt att montera	Önskemål	-	-	Uppskattning	Projektgrupp
6.2 Ljudnivå	Krav	<80	dB	Uppskattning	Projektgrupp
7 Säkerhet					
7.1 Elsäkerhet	Krav	-	-	Uppskattning/CAD	Projektgrupp
7.2 SFRO-standard	Önskemål	-	-	Analys	Projektgrupp
8 Kostnad					
8.1 Komponentkostnad	Krav	<200000	kr	Uppskattning/Beräkning	Kund
8.2 Komponentkostnad	Önskemål	<100000	kr	Uppskattning/Beräkning	Kund
8.3 Underhållskostnad	Önskemål	<5000	kr/år	Uppskattning	Projektgrupp
9 Prestanda					
9.1 Maxhastighet	Önskemål	266	km/h	Simulering	AC Cobra spec.
9.2 Maxhastighet	Krav	220	km/h	Simulering	Projektgrupp
9.3 Acceleration 0-100 km/h	Krav	4.2	sek	Simulering	AC Cobra spec.
9.4 Räckvidd	Önskemål	30	mil	Simulering	Kund
9.5 Räckvidd	Krav	20	mil	Simulering	Kund
9.6 Vridmoment	Krav	645	Nm	Simulering	AC Cobra spec.
9.7 Effekt	Önskemål	410/306	hk/kW	Simulering/Motorspec	AC Cobra spec.

4 Framtagning av förslag på drivlina

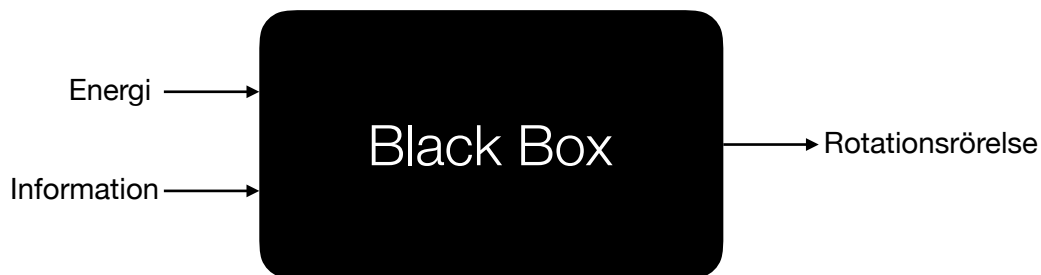
Denna del i projektet handlar om att presentera ett antal förslag på elektriska drivlinor till en AC Cobra. En grov systemarkitektur tas fram för att kartlägga de moduler och komponenter som bör ingå i den elektriska drivlinan. Därefter samlas information om dessa komponenter för att hitta de bästa alternativen för just detta ändamål. De olika komponenterna kombineras på olika sätt för att skapa olika förslag på drivlinor, som senare testas genom simulering.

4.1 Systemarkitektur

Att konvertera eller byta ut en drivlina i en AC Cobra till en elektrisk sådan kan ske på olika sätt. Beroende på vilka komponenter som anses ingå i en drivlina kan det resultera i skillnader. Genom att undersöka vad som faktiskt ingår i en drivlina och ställa upp en enkel systemarkitektur kan detta tydliggöras. Systemarkitekturen tas fram genom informationssamling och intern diskussion.

4.1.1 Black box-modell

Först görs en översiktlig modell i form av en "black box". Denna "box" sammanfattar allt som sker i drivlinan och fokuserar främst på vad som går in i systemet och vad som kommer ut. Modellen är därmed gemensam för den ursprungliga drivlinan och den elektriska. Genom att se systemet översiktligt på detta vis fås en grundlig förståelse för vad som ska åstadkommas. Arbetet är sammanställt i figur 5.

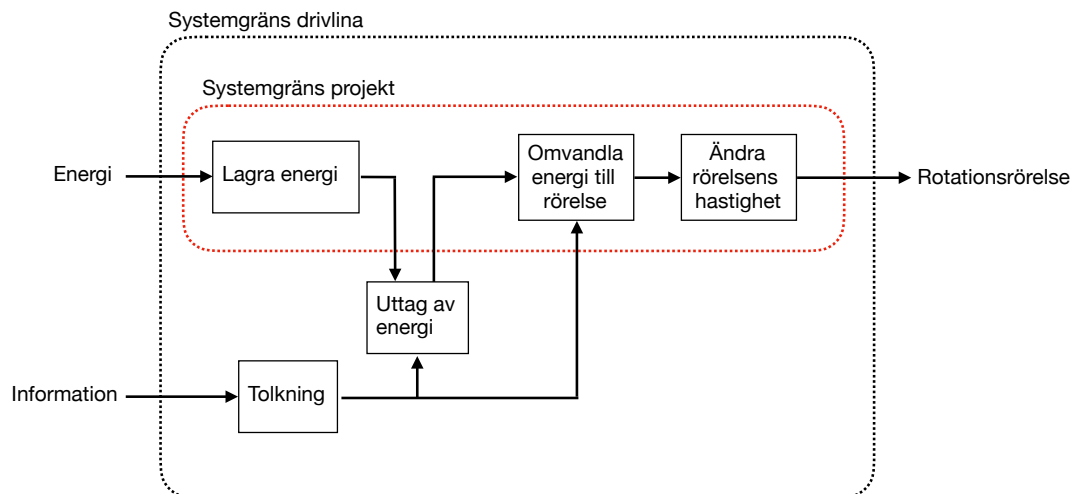


Figur 5: Black box för drivlina.

4.1.2 Funktionsstruktur drivlina

Efter att ha kartlagt vad som faktiskt går in i systemet, och vad som önskas fås ut ur det, går det att specificera systemet självt, det vill säga det som finns i "boxen". Här ställs en övergripande systemarkitektur i form av en funktionsstruktur upp för den ursprungliga drivlinan. Med hjälp av denna kan de elektriska komponenterna som tillhandahåller funktionaliteten bestämmas.

Den ursprungliga drivlinan i en AC Cobra består av ett antal huvudsakliga komponenter. De kan sammanfattas som en energikälla, en motor, en utväxling och diverse detaljer som kopplar dessa större komponenter samman. Genom att undersöka kopplingen mellan dem och fundera ut vilken funktion komponenterna faktiskt har, kan drivlinan illustreras och beskrivas i en typ av funktionsstruktur. De olika funktionerna ligger alla inom systemgränsen som avser drivlina, men alla ligger dock inte inom projektets huvudsakliga avgränsningar. Funktionsstrukturen återfinns i figur 6.



Figur 6: Funktionsstruktur drivlina.

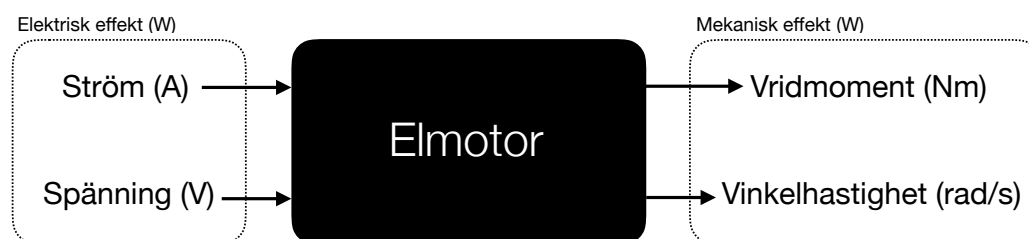
Trots att den framtagna funktionsstrukturen är översiktlig går det att urskilja några viktiga delar. Det första, och kanske viktigaste, är att det finns viktiga funktioner som projektet inte i första hand behandlar. De två funktioner som ligger utanför avgränsningarna är tolkning av information och uttag av energi. Dessa funktioner hanteras ofta i ett typ av styrsystem vilket inte kommer undersökas allt för djupt.

De funktioner som finns kvar, eller de som är inom projektets avgränsning, blir alltså de funktioner som de nya komponenterna ska svara för. De har ett stort tolkningsutrymme och kan lösas på flera olika sätt. För den ursprungliga drivlinan lagras energi med en bensintank, energin omvandlas till rörelse genom en bensinmotor och rörelsens hastighet ändras med en manuell växellåda samt en slutväxel i bakaxel. När det kommer till de elektriska komponenterna kommer även här en avgränsningsfråga in, eftersom endast några fördefinierade komponenter avses undersökas. De olika funktionerna antas därför något förenklat lösas genom något typ av batteri, en elmotor och någon typ av utväxling. Utväxlingen ska ändra rotationshastigheten mellan elmotorn och hjulen. Viktigt här är att ta med slutväxeln utväxling. Hur dessa komponenter fungerar, vilken typ som är bäst och hur systemet tillsammans kan fungera måste nu undersökas.

4.2 Elmotor

Den första och kanske viktigaste komponenten i den elektriska drivlinan är elmotorn, som ersätter bensinmotorn i den ursprungliga drivlinan. För att hitta rätt motor finns det några designparametrar från den ursprungliga motorn som kan följas för att drivlinan ska uppfylla krav och önskemål. En vägledande parameter är effekten 410 hk, vilket motsvarar 306 kW. Värt att notera är att elmotorer inte nödvändigtvis har samma momentkaraktäristik som bensinmotorer och kan därför vara fullt tillräckligt effektiva trots att de inte når upp i 306 kW. Effekt kan dessutom utnyttjas på olika sätt genom olika utväxlingar. Värdet 306 kW används därför främst för att hitta motorer som ligger i ungefärliga området, så att motorerna som studeras är lagom kraftfulla.

En elmotor omvandlar parametrarna ström och spänning till vridmoment och en vinkelhastighet ut ur motorn, se figur 7.



Figur 7: Fysikalisk beskrivning av en elmotor.

I bilindustrin används flera olika typer av elmotorer. De tre vanligaste är asynkronmotorer, synkronmotorer och DC-motorer (likströmsmaskiner). Det finns sedan varianter av de tre olika motorsorterna. Utöver dessa tre typer kan motorerna även delas upp i axialflödesmotorer och radialflödesmotorer beroende på konstruktionen med avseende på magnetfälten. Beroende på användningsområdet för fordonet är motortyperna olika lämpliga, samtliga har olika för- och nackdelar. Beroende på karaktären kan de passa olika bra för ändamålet i en elektrisk drivlina för en entusiastbil.

4.2.1 Asynkronmotorer

Asynkronmotorn, som är en växelströmsmotor eller förkortat AC-motor, är enkel i sin konstruktion och är därför en relativt billig motor. Motortypen är främst designad för uppgifter som inte kräver mycket precision, till exempel vid industrianvändning så som fläktar och pumpar. Anledningen till att systemet kan bli mindre exakt är att varvtalet är beroende av lasten, därav namnet asynkronmotor. Det går dock att styra en asynkronmotor med hjälp av en frekvensomriktare och det krävs inget avancerad styrsystem. En annan viktig faktor hos asynkronmotorer är att de enkelt kan köras i generatordrift för återvinna energi och därmed spara räckvidd (Primecom, 2019).

4.2.2 Synkronmotorer

Synkronmotorer, som också är en annan typ av växelströmsmotor, är mer exakta än asynkronmotorer eftersom de inte tappas hastighet när lasten ökar. Varvtalet är oberoende av lasten för en stor del av arbetsområdet. Vad som är viktigt här är att komplexiteten i motorn ökar för att varvtalet ska kunna hållas konstant. Synkronmotorer är därför oftast dyrare, men om precision är av prioritet för applikationen kan det vara det bättre valet (Learn Engineering, 2014).

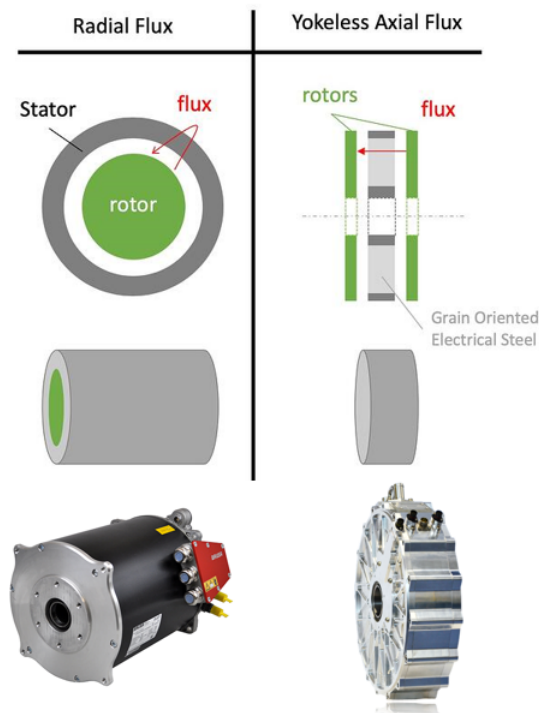
Synkronmotorer är den typ som är allra vanligast i bilindustrin. Detta beror mycket på dess precision, men också på grund av att de har en hög kraftdensitet. Detta leder till att motorerna tar mindre plats och väger mindre. Minskad vikt är bra för räckvidden på fordonet och en mindre volym minskar risken att motorn inte får plats. Vidare har synkronmotorer generellt högst verkningsgrad av alla motortyper. Den är dessutom, precis som asynkronmotorn, enkel att styra med hjälp av en frekvensomriktare. Även denna motortyp kan enkelt köras i generatordrift för att spara räckvidd (Primecom, 2019).

4.2.3 DC-motorer

DC-motorer är av alla elektriska motorer den typ som har enklast konstruktion. Den stora skillnaden mot AC-motorer är, som namnet antyder, att motorn använder sig av likström istället för växelström. Motorerna är enkla och billiga men detta kan dock bli problematiskt beroende på användningsområde. Några exempel är att DC-motorer som standard inte kan byta rotationsriktning och de kan heller inte köra i generatordrift eller bromsa genom att ladda batteriet. För att en DC-motor ska få dessa egenskaper behövs mer avancerad styrteknik till motorn vilket leder till större komplexitet och högre kostnader. Utan möjligheten till generatordrift får fordonet även en kortare räckvidd (Primecom, 2019).

4.2.4 Radial- och axialflödesmotorer

Ledande företag inom elmotorutveckling så som Avid Technology och YASA Motors jobbar båda med att utveckla motorer som är kompakta men som fortfarande har hög effektdensitet. En relativt ny teknologi som utvecklats med detta som bakgrund är axialflödesmotorer. Skillnaden mellan en radial- och en axialflödesmotor ligger i hur magnetflödena är riktad. Som namnen antyder går flödena i en radialflödesmotor radiellt i förhållande till axeln och i en axialflödesmotor längs med axeln. Den stora fördelen med axialflödesmotorer är att motorn går att göra mindre. Diametern ökar lite, men längden på motorn minskar avsevärt. Totalt kan motorn få hälften så stor volym för samma effekt. Teknologin är dock ny och inte adopterad i stor skala i bilindustrin än. Detta gör att axialflödesmotorer idag är dyrare än radialflödesmotorer. En intressant aspekt är att det går att sätta ihop flera axialflödesmotorer för att få ut högre vridmoment med samma motordynamik. Generellt kan både radialflödesmotorer och axialflödesmotorer vara av typen synkron, asynkron och DC-motor (Alatalo, 2018). För illustrering av forskillnaden mellan radial- och axialflödesmotorer, se figur 8.



Figur 8: Formskillnad mellan radial- och axialflödesmotorer (Moreels, 2018).

4.2.5 Förslag på motorer

Utifrån det som diskuterats ovan har tre förslag på motorer tagits fram. Inga DC-motorer finns med eftersom de anses vara för enkla och således inte tillräckligt väl anpassade till användningsområdet. Det gick heller inte att hitta någon rimlig asynkronmotor. De som hade tillräckligt med effekt och vridmoment var främst ämnade för industrianvändning och inte lämpliga när det kommer till storlek och vikt för en bil. Samtliga motorförslag är därför synkronmotorer varav en är av den vanliga och billigare radialflödes typen och de andra två av den nya typen axialflödesmotorer. Samtliga motoralternativ återfinns i tabell 3. Informationen om motorerna är tagna från deras datablad se bilaga C, D och E. Priserna i tabellen har fått via kontakt med de olika företagens kundtjänster. Brusa motors pris gavs av E. Tauro, Brand & Communication Specialist på Brusa Elektronik AG (personlig kommunikation, 23 april 2020). Priset för YASA 750R gavs av A. Karim (personlig kommunikation, 19 mars 2020), som är anställd på YASA motors. Till slut erhålls priset på den dyraste motorn EVO AF230 av P. Middlemiss, Business Development Manager på Avid Technology (personlig kommunikation, 23 april 2020).

Tabell 3: Förslag på elmotorer.

Modell	Tillverkare	Motortyp	Maxeffekt [kW]	Vikt [kg]	Pris [SEK]
EVO AF230	Avid Technology	Axialflöde AC	280	57,5	164 710
YASA 750R	YASA Motors	Axialflöde AC	200	37	111 850
HSM1-10.18.22	Brusa	Radialflöde AC	220	76	76 680

Till samtliga motorer finns tillräckligt med information för att kunna utföra simuleringar. Det finns också fysiska mått som är användbara vid geometrimodellering. Alla motorer har också styrsystem och kraftelektronik utvecklade specifikt för dem, eller som rekommenderas av tillverkaren. Detta gör det enkelt att kommentera styrsystemet utan att behöva gå in djupare inom området vilket ligger utanför avgränsningarna.

Det är ett aktivt val att ta fram motorer med olika effekt. Problemet med stor effekt är att motorerna ofta tar upp en stor volym, väger mer och kostar betydligt mycket mer. Det är därför av intresse att även undersöka huruvida mindre och svagare motorer uppfyller kraven väl placerade i drivlinan. Till exempel väger motorn från YASA betydligt mindre än de andra. Motorn från Brusa har lägst effektdensitet, men är enklast i sin konstruktion eftersom det är den enda som är en radialflödesmotor. EVO-motorn har precis som YASA-motorn en god effektdensitet.

Med detta sagt kräver olika motorer olika spänning, utväxlingar och andra komponenter för att fungera optimalt. Det är därför av större intresse att diskutera drivlinan som helhet när motorerna är ihopsatta med resterande komponenter till kompletta förslag.

4.3 Kraftelektronik och styrsystem

Mellan elmotorn och batteriet behövs någon typ av kraftelektronik för att kunna styra ström- och spänningen från batteriet. Idag integreras kraftelektronik och styrenheter så att det inte behövs två separata enheter. Styrenheten tar in signaler från användaren i form av gas och broms. En inbromsningssignal kan användas för att få motorn att gå i generatordrift. Styrenheten tar även in signaler från motorn för att veta vilket varvtal och moment motorn håller, för att sedan kunna anpassa signalen ut till motorn. Även andra värden så som temperatur i motor och batteri återkopplas till styrenheten.

Med hänvisning till projektets avgränsningar studeras inte kraftelektronik och styrenheter djupare än att de enheter som motorleverantörerna rekommenderar utvärderas. För att göra en heltäckande undersökning av styrsystem krävs ytterligare kunskap, tid och senare arbete med att förstå hur enheterna måste programmeras för att drivlinan ska fungera optimalt.

För EVO AF230 och YASA 750R rekommenderar de båda leverantörerna en enheten Sevcon Gen 4 size 10. Det är även denna enhet som både YASA motors och Avid Technology har använt sig av för att ta fram data för motorerna. Brusa tillverkar sin egen styrenhet och har tagit fram all data till sin motor med en enheten DMC544 invertercontroller. För ett optimalt resultat bör därför denna enhet användas för motorn från Brusa. De olika enheterna med respektive motor samt specifikationer återfinns i tabell 4. För fullständig teknisk data se bilaga F och G. Priset på DMC544 gavs av E. Tauro, Brand & Communication Specialist på Brusa Elektronik AG (personlig kommunikation, 23 april 2020). Priset för Sevcon Gen 4 size 10 gavs av A. Karim (personlig kommunikation, 19 mars 2020), som är anställd på YASA motors.

Tabell 4: Styrenhet till motorer.

Modell	Sevcon gen 4 size 10	DMC544
Kompatibla motorer	YASA 750R, EVO AF230	HSM1-10.18.22
Max supply voltage [V]	800	450
Ideal supply voltage [V]	750	400
Max power output [kW]	300	212
Vikt [kg]	10,9	15,5
Pris [SEK]	93 280	67 830

4.4 Energilagring

När det kommer till att lagra energi används i de flesta fall någon typ av batteri. För att mäta och jämföra olika sorters batterier finns det ett antal olika viktiga faktorer att ta i beaktning. Beroende på ändamålet för bilen och därmed batteriet måste det prioriteras mellan dessa kriterier. Tyvärr finns det inte riktigt några batterier som uppnår alla kriterier, utan när man väljer batterityp behöver det göras så kallade "tradeoffs".

De olika typer av kriterier som undersöks när det kommer till batterier är faktorer så som till exempel vikt och storlek, säkerhet, livslängd, allmän prestanda, laddtid, specifik energi samt olika typer av effekttätheter. Vissa faktorer är intressant för samtliga batterier, till exempel säkerhet. Går det att kompromissa med till exempel kostnad är det möjligt att få mycket goda egenskaper hos ett flertal andra kriterier (Dinger, A. et. al, 2020).

Med tanke på projektets avgränsningar är någon typ av effekttäthet det viktigaste att undersöka. Genom att veta hur mycket energi per vikt ett typ av batteri kan ge går det att räkna ut vikt och storlek på batteriet som skall placeras in i bilen. Andra kriterier så som kostnad och säkerhet är också viktigt, men får anses komma i andra hand.

4.4.1 Litiumjon-batterier

Den absolut vanligaste typen av batteri som används i elbilar är idag litiumjon-batterier. Denna teknik har funnits relativt länge och populariteten grundar sig till stor del i just energitäthet. Datan varierar mycket beroende på vilka typer av material batteriet består av, så energitätheten för ett litiumjon-batteri kan vara mellan 90 - 250 Wh/kg. Detta är dock betydligt högre än andra batterityper, och det finns fortfarande utvecklingspotential för att öka energitätheten ännu mer. Ytterligare fördelar är att cellerna av litiumjon-batterier håller en mycket hög cellspänning jämfört med andra batterityper. Detta medför att det går att få ut mycket energi ur batteriet (Zubi, G. et. al, 2018).

Batteripaket i bilar består ofta av sammankopplade battericeller. Genom att konfigurera dem på olika sätt går det att få ut olika mycket spänning och kilowattimmar. Den krävda spänningen bestäms till stor del av elmotorn, för att den ska få full prestanda krävs en viss spänning från batteriet. Batteripackets totala antal kilowattimmar är egentligen ett mått på hur länge batteriet räcker. Genom att seriekoppla battericeller fås en högre spänning, och genom att parallellkoppla cellerna kan en större strömstyrka tas ut ur batteripaket. Enligt F. Mannerhagen, Projektassistent, Elektroteknik (personlig kommunikation, 30 mars 2020), påverkas inte batteriets urladdningstid av hur cellerna

är kopplade eftersom energimängden som finns i systemet är konstant. Det går alltså att konfigurera batteripacket i bilen så att det får önskad spänning och strömstyrka och bevara en god räckvidd för bilen.

Genom att bestämma den krävda spänningen går det med hjälp av energitätheten att räkna ut vikten på batteripacket som skall placeras in i bilen. Med den fysiska storleken på battericellerna går det även att räkna ut hur stort det totala batteripacket är. Batteripacket behöver inte vara fysiskt sammanhängande, det går att placera moduler annorlunda vid behov men nackdelen är att fler kablar behövs.

4.4.2 Batteripackets specifikationer

När det kommer till att välja ett batteripack för den elektriska drivlinan i AC Cobran är det i första hand de olika elmotorernas krävda spänning som blir dimensionerande. Detta avgör hur många celler som behöver vara placerade i serie. När detta är bestämt handlar det egentligen om att öka strömstyrkan genom att parallellkoppla fler celler om det behövs. Fler celler i serie är dock fördelaktigt då hög spänning och lägre ström generellt minskar förluster. Hur batteriet kopplas får även göras med kostnad och fysiska attribut i åtanke. Från kundundersökningen framgår det några riktlinjer för räckvidd och kostnad som kan försöka följas. Sammanfattningsvis går det inte riktigt att bara bestämma en typ av batteripack, utan det behöver itereras, där olika parametrar ändras efter val av elmotor och räckvidd. För detta krävs dock specifikationer för batteritypen vars celler avses kopplas samman till ett pack.

Det finns tre förslag på batterier som kan användas för ändamålet. Det första är ett begagnat batteri från en bil av märket Tesla (EV West, u.å-a). Det andra är från företaget LG Chem (EV West, u.å-b) och det tredje batteriet kommer från CALB (EV West, u.å-c). Alla tre är olika typer av litiumjon-batterier och deras specifikationer återfinns i tabell 5.

Tabell 5: Förslag på batterier.

Tillverkare	Energitäthet [Wh/kg]	Kapacitet [kWh]	Spänning [V]	Vikt [kg]	Pris [SEK]
Tesla	212	5,3	22,8	25	15 890
LG CHEM	153	2,6	60,8	17	7 390
CALB	100	0,32	3,2	3,2	1 530

Viktigt att poängtera är att de olika förslagen är uppbyggda på olika sätt. I grund och botten är samtliga endast olika sorters litiumjon-celler, där de två första är ihopsatta till mindre batteripack, och den sista bara är cellen självt. Detta betyder dock att det går att konfigurera det totala batteripacket för bilen ungefär som önskas, oavsett om de redan är ihopsatta på olika sätt.

Tesla-batteriet har helt klart högst energitäthet av alla alternativen. Nackdelen med detta batteri är att det kommer från en använd bil. Det är möjligt att det går att få tag på, men det känns säkrast att välja ett batteri som är nyttillverkat. Detta argument stärks ytterligare då begagnade batteriers prestanda kan vara varierande. Batteriet från CALB har en relativt låg energitäthet, vilket skulle leda till en hög vikt för att få ut en godkänd räckvidd. Batteriet från LG CHEM har tillräckligt bra energitäthet, är relativt billigt och

det finns att köpa helt nytt. Detta betyder att batteriet från LG CHEM är det batteriet som kommer att användas som representativ data vid simulering. Det är dock viktigt att poängtera att dimensionering och uträkning av batteripacket är något begränsat. Det finns fler specifikationer på batterier att ta i beaktning. Detta får anses mer som en representation av ett batteripack för den elkonverterade AC Cobran, som ger grund för något att räkna på.

4.5 Sammankoppling av den elektriska delen av drivlinan

För att kunna ta fram olika koncept för simuleringen behöver de elektriska komponenterna fungera ihop. När det kommer till denna del är det viktigt att respektive motor får rätt strömstyrka och spänning samt styrs av en lämplig styrenhet.

För YASA 750R och EVO AF230 används enheten Sevcon gen 4 size 10. Motorerna kräver olika spänningsnivåer, men Sevcon-enheten kan omvandla en spänning från batteriet till rätt spänning ut för respektive motor. Enheten behöver en ingående spänning på ungefär 750 V och kommer inte att behöva hantera mer än 480 A för EVO-motorn respektive 450 A för YASA 750R. Spänningen från batteriet får heller inte överskrida 800 V eftersom detta är den största spänningen som styrenheten klarar. Det valda batteriet från LG Chem klarar att leverera upp till 800 A i 10 sekunder. Eftersom en motor bara producerar höga strömmar över kort tid, främst under till exempel acceleration, är detta mer än tillräckligt. Med en nominell spänning på 60,8 V behövs 12 batteripack i serie. Då erhålles en nominell spänning till styrenheten på 729,6 V. Batterikapaciteten blir då 31,8 kWh. Den totala vikten för batterimodulerna blir 204 kg.

För motorn från Brusa blir det lite annorlunda eftersom den styrs av en enhet som ska ha en in-spänning på 400 V DC, men klarar upp till 450 V DC. En lämplig konfiguration av batteriet för att klara detta är två parallellkopplade serier av sju moduler. Då fås en batterispänning på 425 V och en energikapacitet på 36,4 kWh. Den totala vikten för batteripacket blir 238 kg.

En sammanställning av de olika elektriska konfigurationerna återfinns i tabell 6, där p står för antalet parallellkopplad moduler och s för antalet seriekopplad moduler. Batterikonfigurationen kan komma att justeras vid behov.

Tabell 6: Förslag på elektriska konfigurationer.

Alternativ	Batterikonfiguration	Styrenhet	Motor
1	12s	Sevcon gen 4 Size 10	YASA 750R
2	12s	Sevcon gen 4 Size 10	EVO AF230
3	7s 2p	Brusa DMC544	Brusa HSM1

Ett problem som kan uppstå är när batteripacket tappar i spänning då det laddas ur under användning. Detta gör att styrenheterna inte nödvändigtvis får önskad in-spänning genom hela battericykeln. För att undvika detta går det att använda en DC/DC-konverterare mellan batteripacket och enheten. Denna enhet ser till att spänningen hålls konstant och motorerna riskerar därför inte att tappa i prestanda med en lägre in-spänning till styrenheten. En konverterare ger också möjlighet till andra typer av batterikonfigurationer

där batteriet har en lägre spänning, men istället fler kilowattimmar eller en bättre förmåga att producera ström. En DC/DC-konverterare är dock ytterligare en komponent som ökar vikten, komplexiteten och priset på den totala drivlinan. Vidare har konverteraren som alla andra komponenter en verkningsgrad som i det stora hela kan minska verkningsgraden på hela systemet. Sämre verkningsgrad leder till kortare räckvidd på fordonet då energi går förlorad. Konverteraren kan därför motarbeta sitt syfte. Främst på grund av komplexiteten och priset på komponenten är det valt att inte undersöka effekten av att ha med en konverterare i drivlinan.

4.6 Utväxling

I de flesta fordon, både eldrivna och fossildrivna, behövs en utväxling av något slag för att anpassa varvtalet mellan motor och drivhjul. Vad som är bäst för en elkonvertering går dock att diskutera. Möjligheten att behålla den ursprungliga växellådan måste ställas mot att byta ut utväxlingen till andra alternativ. I slutändan måste utväxlingen fungera ihop med den elektriska delen, och bidra till att nå upp till kraven och önskemålen som satts.

4.6.1 Syftet med en utväxling

En utväxling, ofta genom en växellåda, har som huvudsakligt syfte att justera rotationshastigheten mellan motor och resten av drivlinan. En utväxling överför och anpassar motorns kraft till rådande belastning utan att överstiga motorns maximala varvtal. Förbränningsmotorer har generellt ett relativt lågt vridmoment inom det nedre varvtalsintervallet och behöver därför ofta en växellåda för att generera ett större vridmoment (ARADEx, u.å). Utöver behovet av en växellåda vid just låga varvtal innehåller ofta motorer även ett begränsat varvtalsintervall varvid motorn arbetar optimalt. Med en flerstegsväxellåda tillåts motorn att verka inom detta intervall under merparten av de begärda hastighetsintervallen. Det är även utväxlingen som bidrar till bilens maximala hastighet och acceleration.

4.6.2 AC Cobrans ursprungliga växellåda

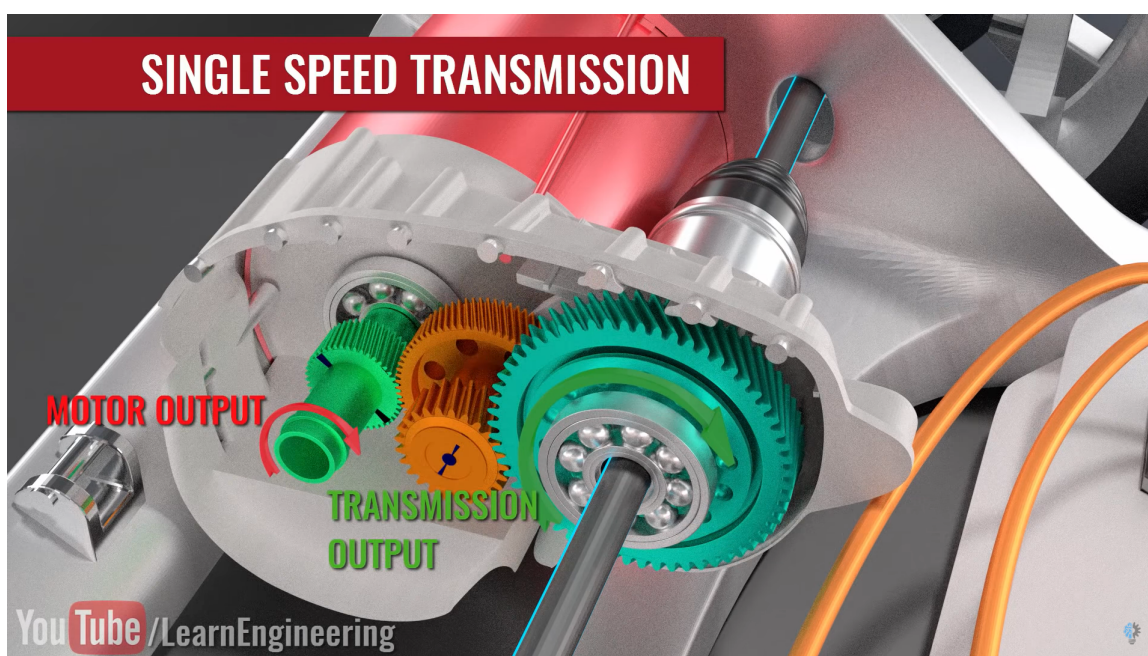
Den ursprungliga växellådan som finns i AC Cobran är som tidigare presenterat en fyrväxlad manuell Borg-Warner med utväxlingsförhållanden enligt tabell 1. I och med att kundundersökningen visar att körglädjen samt utseende är viktiga aspekter är det relevant att undersöka möjligheten att behålla den ursprungliga växellådan. Det kan finnas ett stort sentimentalt värde i att behålla en klassisk växelspak och att själv inneha full kontroll över bilens växlingar.

Den ursprungliga bensinmotorn och tillhörande växellåda är tillverkade som ett par och dess dimensioner är unika. Att byta ut bensinmotorn till en elektrisk medför att dimensionerna inte längre stämmer överens och modifikationer måste göras för att den elektriska motorn ska passa ihop med växellådan. Det kan till exempel vara en utmaning att få kopplingen att fungera mellan växellåda och motor, samt säkerställa hållfastheten för komponenterna. Det finns dock exempel där liknande har gjorts på andra entusiastbilar, däribland en 356 Porsche Speedster som elkonverterats av EV West (Garcia, 2018).

Värt att nämna är aspekten gällande replika-fordon, som försöker efterlikna en AC Cobra. Finns det entusiaster som äger en replikamodell kanske den har en liknande manuell växellåda installerad till en bensinmotor. Det blir för denna växellåda samma resonemang som för den ursprungliga lådan i originalversionen av AC Cobran. Det som kan variera är dock utväxlingsförhållanden, vilket kan ses både som en fördel och nackdel. En annan växellåda kanske har utväxlingsförhållande som passar elmotorer bättre än den ursprungliga Borg-Warner.

4.6.3 En- och tvåstegsutväxling

Elbilstillverkare väljer ofta att implementera en enstegsutväxling för att minimera produktionskostnaden, upptagen volym, energiförluster eller drivlinans massa (Ahssan, Ektesabi & Gorji, 2018). Utväxlingen sker genom att en kuggväxel från motoraxel överför rotationsrörelsen till en annan kuggväxel med annorlunda storlek i växellådan. Denna överföring behöver inte ske i ett steg utan från figur 9 framgår det till exempel att Tesla Model S har implementerat en enstegsväxellåda i två steg (Learn Engineering, 2017).

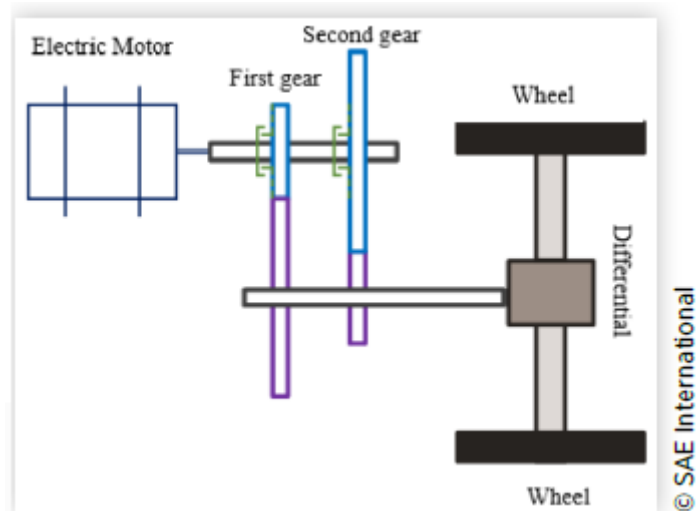


Figur 9: En enstegsutväxling i två steg på en Tesla model S (Learn Engineering, 2017).

Med en enstegsutväxling blir bilens prestanda mer beroende av motorns kapacitet då en kompromiss måste göras mellan större acceleration, energieffektivitet eller en högre maximal hastighet (Ahssan et al., 2018). Ett större växelförhållande medför ett lägre varvtal och ett högre vridmoment efter utväxlingen och därmed en kraftigare acceleration men en lägre maximal hastighet. Därtill är även en låg energiförbrukning en mycket åtråvärd egenskap för att uppnå krav på räckvidd. Att finna en medelväg som uppfyller kravet på acceleration, räckvidd samt maxhastighet, om en sådan finns, är alltså med enstegsväxellåda en optimeringsfråga.

Med en tvåstegsväxellåda tillåts en större valmöjlighet vad det gäller elmotorns kapacitet. Beroende på vad som anses vara av särskild prioritet kan utväxlingen på samma sätt som innan fokusera på att gynna accelerationen, minska energiförbrukningen eller öka

maximala hastigheten. För en tvåstegsväxellåda kan dock två av dessa parametrar optimeras till fullo, alternativt görs en avvägning för att uppnå en acceptabel nivå av alla tre. Även här är det en optimeringsprocess för att beräkna de korrekta växelstegen. Ett exempel på hur en drivlina med en tvåstegsväxellåda och en elmotor kan se ut illustreras i figur 10.



Figur 10: En tvåstegsväxellåda med en elmotor (Ahssan et al., 2018, figur 6).

4.6.4 Endast slutväxel

Utan någon växellåda kommer motorns egenskaper att dominera hur väl bilen presterar. Innan vridmomentet förs ned till hjulen justerar endast slutväxeln i bakaxeln på fordonet rotationshastigheten för drivlinan. Den ursprungliga slutväxeln i en AC Cobra har som tidigare presenterat ett reduktionsförhållande på 3.54:1. Utöver detta kommer det vridmoment och varvtal som motorn levererar överföras direkt till hjulen. Vad som talar för en direktdrivande motors fördel är eliminering av förluster vid varje växelsteg (ARADEx, u.å). Därtill undviks eventuell service av en mekanisk växellåda, komplexitet samt risken att den i framtiden fallerar. Frågan är huruvida en rimlig motor kan uppnå de ställda kraven i kravspecifikationen gällande acceleration, räckvidd samt maximal hastighet. Det är dock möjligt att byta ut drevet i bakaxeln för att justera utväxlingen, utbytesdrev finns att köpa hos bland annat Summit Racing (Summit Racing, u.å.-a).

4.6.5 Att välja rätt utväxling

För att välja ut några förslag på utväxlingar behöver det först diskuteras huruvida en manuell växellåda med flera växlar faktiskt bidrar något till bilen. Som tidigare nämnt kan det finnas fördelar med att ha flera växelsteg, även för elmotorer. Det är dock inte lika viktigt, eftersom elmotorer generellt har ett högre vridmoment vid lägre varvtal och ett bredare arbetsområde med högre effekt än förbränningsmotorer (Butcher, 2014). Det går därför att argumentera för att det inte nödvändigtvis behövs fler än möjligtvis två utväxlingssteg för en elektrisk drivlina. Det tillkommer dock ingen extra komponentkostnad utöver eventuella modifikationskostnader om den ursprungliga växellådan behålls. Det som talar för att behålla den ursprungliga växellådan, oavsett

original Borg-Warner eller annan manuell växellåda är nostalgi, då det bevarar en större del av originalet samt att färre komponenter behöver införskaffas.

Frågan blir istället om det behövs en eller två växlar och vilka förhållande dessa bör ha, alternativt om bilens slutväxel tillsammans med motorn är tillräckligt, det vill säga ingen ytterligare utväxling. Utväxlingen i slutväxeln skulle även vid behov gå att byta ut och detta alternativet kräver ett relativt sätt liten extra kostnad, oavsett om det finns en växellåda eller inte. Det går att argumentera för att detta är den enklaste lösningen, men det finns inte många parametrar som kan ändras för att optimera bilens köregenskaper.

Att ha en extra utväxling genom en enstegsväxellåda innebär en extra inköpskostnad. Mer fokus skulle behöva läggas på motorns prestanda eftersom att utbudet av olika växelsteg är begränsat. Växelsteget kan endast optimera en av parametrarna: acceleration, att uppnå en högre maximal hastighet eller energieffektivitet. Komplexiteten är högre än att inte ha någon utväxling, men minskar något jämfört med en tvåstegsväxellåda eller att behålla den ursprungliga växellådan. Förlusterna i växellådan är dessutom mindre än i de båda. En tvåstegsväxellåda tillåter större flexibilitet vad gäller val av motorer. Det går även att optimera två parametrar av bättre acceleration, lägre energiförbrukning vid konstant hastighet eller högre maximal hastighet.

Ytterligare ett alternativ att överväga är att en ursprunglig växellåda kan användas som både en ensteg- och en tvåstegsväxellåda. Beroende på om den ursprungliga växellådan, oavsett original eller annan, beror kompatibiliteten helt på vilka växelförhållandena som finns i växellådan. Om drivlinan till exempel kräver en reduktion på 1.3:1 kan det teoretiskt sätt fungera med att endast använda växel nummer tre i originallådan. Om drivlinan istället fungerar bäst med två utväxlingar kanske det går att finna dessa två förhållanden mellan två växelsteg i den ursprungliga växellådan. Förutsatt att växeln går att ändra blir effekten detsamma som att installera en ny tvåstegsväxellåda. Resterande växlar som inte används kommer göra varken till eller från.

För att summera handlar val av utväxling egentligen om antal växelsteg och förhållandet för dessa. Det finns olika sätt att ändra dessa parametrar och vissa komponenter kan fungera bättre än andra.

4.6.6 Förslag på utväxling

Som tidigare nämnt är det med högsta sannolikhet inte nödvändigt att ha fler än två växlar för en elmotor. Det är även rimligt att börja räkna på topphastigheten och låta denna vara dimensionerande i första hand. Genom att räkna på rotationshastighet för systemet som helhet, med bilens hjuldiameter på 704 mm (Automobile-Catalog, u.å-b), går det att med olika utväxlingar skapa olika topphastigheter från motorns maximala varvtal. Det sätta kravet på hastighet är 220 km/h och önskemålet är 266 km/h, båda från kravspecifikationen. För att även maximera acceleration 0-100 km/h är det valt att en eventuell första växel skall räcka till strax över 100 km/h. Detta betyder, förutsatt att drivlinan har två växlar, att motorn kommer varva fullt vid 100 km/h på första växeln, respektive vid 220 km/h på andra växel.

Genom att för de olika motorernas maximala varvtal räkna ut utväxlingsförhållandena för att uppnå rätt varvtal vid rätt hastighet, fås datan presenterad i tabell 7.

Tabell 7: Elektriska koncept med teoretiskt optimala utväxlingsförhållanden.

Elmotor	Växel 1	Växel 2
YASA 750R	1.16:1	0.55:1
EVO AF230	2.86:1	1.36:1
Brusa HSM1	4.28:1	2.05:1

För motorn från YASA behövs en sista växel som har ett förhållande på 0.55:1, oavsett om det är andra växeln i en tvåstegslåda eller den enda växeln i en enstegslåda. Detta är en uppväxling, vilket inte är så vanligt. Slutväxeln, som har en reduktion på 3.54:1 motverkar även detta, men det är svårt att hitta utbytesdrev som har lägre reduktion. Vad som kan vara ett alternativ är att ha en bakåtvänd en- eller tvåstegslåda som normalt sätt reducerar varvtalen men som i detta fall skulle öka dem. Med denna informationen i åtanke är utväxlingarna som presenteras i tabell 8 framtagna som förslag.

Tabell 8: Förslag på utväxlingar, YASA 750R.

Växellåda	Typ	Växel 1	Växel 2	Slutväxel	Pris [SEK]
NWF BlackBox	Bakåtvänd 2-steg	1:1	0.37:1	3.54:1	14 570
NWF BlackBox	Bakåtvänd 2-steg	1:1	0.37:1	4.09:1	16 430
Tremec TCET5008	Manuell 5-växlad	1:1	0.64:1	3.54:1	26 100

Den tvåstegade växellådan från NWF (Northwest Fabworks, u.å) är en lösning som kan skapa en uppväxling, genom att installera en tvåstegslåda baklänges. Detta är något osäkert vilket bör tas i åtanke. Två olika förslag med denna växellåda finns med, med två olika utväxlingar på slutväxeln i bakaxeln. Den sista utvalda växellådan är av tillverkaren Tremec (Summit Racing, u.å.-b) och har tagits med eftersom denna växellådan ofta sitter i replikavarianter av AC Cobras. Finns det intresse för att göra en elkonvertering hos en person med en replika kan detta vara ett alternativ. Fjärde samt femte växeln ger förhållanden som liknar de som krävs.

När det kommer till EVO AF230-motorn som varvar betydligt mer krävs en växellåda som har en reduktion i båda växlarna. Det första som är intressant är att de optimala utväxlingarna liknar förhållandena hos första och tredje växeln på originallådan ur AC Cobran. Det kan därför vara ett alternativ att behålla originallådan och bara använda växel ett och tre. Vad som även är intressant med EVO-motorn och att den kräver en reduktion är att slutväxeln bidrar till detta. Det går även att relativt enkelt hitta utbytesdrev med en högre reduktion, vilket skulle göra att själva växellådan inte behöver reducera lika mycket. Om till exempel ett drev med 4.88:1 installeras i bakaxeln kommer växelförhållandena bli 2:1 för första växeln respektive 1:1 för andra växeln. Det blir då enklare att hitta en tvåstegsväxellåda med dessa förhållanden, men möjligheten att helt ta bort växellådan och endast köra med den nya drevningen som slutväxel kanske är desto mer intressant. Då ingen växellåda används så finns det viss risk att accelerationen blir lidande, men om motorn är tillräckligt stark är det möjligt få en godkänd acceleration och nå krav på maximal hastighet ändå, genom att endast ändra förhållandet i bakaxeln. De olika koncepten för en utväxling till EVO AF230 återfinns i tabell 9.

Tabell 9: Förslag på utväxlingar, EVO AF230.

Växellåda	Typ	Växel 1	Växel 2	Slutväxel	Pris [SEK]
NWF BlackBox	2-steg	2.72:1	1:1	3.54:1	14 570
Original Borg-Warner	Manuell 4-växlad	2.2:1	1.3:1	3.54:1	-
-	-	-	1:1	4.88:1	1 860
Brinn Original 70001	2-steg	1.9:1	1:1	4.88:1	20 290
Tremec TCET5008	5-växlad manuell	2.87:1	1.28:1	3.54:1	26 100

Växellådan från NWF som kan användas baklänges till motorn från YASA kan här användas åt rätt håll. Det finns även ett koncept där AC Cobrans ursprungliga utväxlingsförhållanden testas. Vidare är ett av de mer intressanta koncepten det helt utan växellåda. Genom att byta drevningen i bakaxeln kan ett 1:1-förhållande fås fram för växellådan, det vill säga ingen växellåda alls. Detta skulle betyda att motorn kopplas rakt in i bakaxeln och att det endast är reduktionsutväxlingen där som ändrar rotationshastigheten för drivlinan som helhet. Ytterligare ett alternativ är en tvåstegad växellåda från Brinn Original (Summit Racing, u.å.-c). Det alternativet kräver även ett annat förhållande för slutväxeln. Sist finns även växellådan från Tremec med, vilken som tidigare nämnts ofta används i replikamodeller av AC Cobras.

Sist är det motorn från Brusa som ska förses med en utväxling. Här appliceras samma resonemang som för EVO-motorn: det krävs reducering. Det krävs dock en relativt stor reducering eftersom motorn från Brusa varvar ännu högre. I originallådan är det endast första växelns förhållande som kan användas med originalutväxling i bakaxeln, då fungerande som andra växel i drivlinan. Om slutväxeln ändras kan den ursprungliga växellådan användas likt för EVO-motorn, med första och tredje växel. Det finns också en väldigt låg drevning som gör att motorn kan köras utan en extra växellåda, med endast slutväxel som utväxling. Samtliga koncept, inkluderat andra växellådor, finns för motorn från Brusa i tabell 10.

Tabell 10: Förslag på utväxlingar, Brusa HSM1.

Växellåda	Typ	Växel 1	Växel 2	Slutväxel	Pris [SEK]
Original Borg-Warner	Manuell 4-växlad	-	2.2:1	3.54:1	-
Original Borg-Warner	Manuell 4-växlad	2.2:1	1.3:1	4.88:1	1 860
-	-	-	1:1	5.89:1	2 253
NWF BlackBox	2-steg	2.72:1	1:1	5.89:1	16 830
Tremec TCET5008	5-växlad manuell	2.87:1	1.28:1	3.54:1	26 100

Det finns två olika koncept där originallådan först testas med ursprungliga slutväxeln och endast första växel, och sedan med ändrad slutväxel samt första och tredje växel. En hög reducering i bakaxeln är även intressant att undersöka eftersom detta kan göra att en växellåda inte behövs. Sist kan även NWF BlackBox användas tillsammans med en hög reducering i bakaxeln.

Samtliga koncept och förslag på utväxlingar till motorerna är principiella och teoretiskt möjliga, men det kan uppstå problem. I och med att det inte byggs någon prototyp och tidsramen inte tillåter beräkningar för detta går det inte att testa hållfasthet på de

olika komponenterna. Förslagen blir därför endast baserade på specifikationer angivna av tillverkaren, men dessa är inte alltid tänkta för elmotorer. Viktigt att poängtera är även priset på de olika komponenterna som presenteras ovan. Mer specifikt att dessa priser kan komma och variera beroende på vilka förutsättningar den specifika bilen har, detta då det inte är säkert att en person med en AC Cobra faktiskt har en originalväxellåda med de förhållandena som tas upp här.

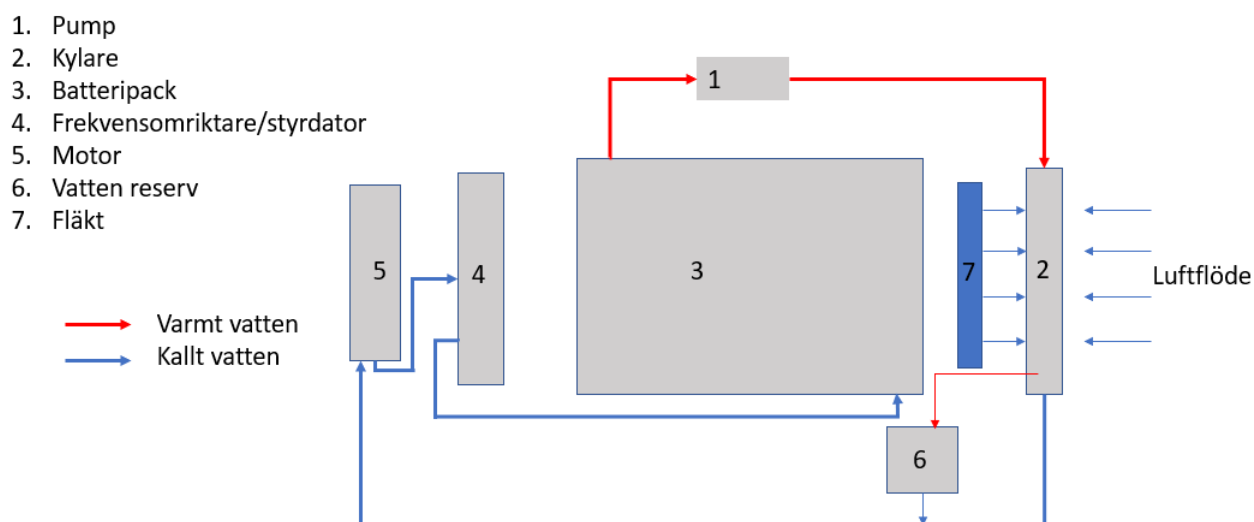
4.7 Kringliggande system

Vid en elkonvertering är det av förklarliga skäl en stor mängd komponenter och system som behöver bytas ut eller anpassas. Av projektets avgränsningar tas inte alla dessa upp utan det är endast ett fåtal som ligger i fokus. Det finns dock några delar som är viktigt att kommentera för att göra drivlinan mer komplett. Dessa komponenter eller system är relevanta för att drivlinan som helhet skall fungera och vissa påverkar i någon annan aspekt, till exempel energikonsumtion.

4.7.1 Kylning

Många elektriska komponenter har, likt ursprungliga drivlinan, en optimal arbetstemperatur och de kan även vara känsliga för överhettning. Vid normal arbetstemperatur är effektiviteten som högst och livslängden på komponenterna som längst.

Delarna i drivlinan som främst behöver kylas är elmotorn, batterier och frekvensomriktare. Samtliga komponenter går att kyla med vatten eller glykol, likt ett traditionellt kylsystem på bilar. Med detta i åtanke antas det gå att behålla en stor del av det gamla kylsystemet, bland annat kylaren och reservtanken som kan användas tillsammans med en extern vattenpump. Aktuell temperatur på de olika komponenterna kan skickas till styrsystemet som kan använda denna data för att styra vattenpumpen och en fläkt på kylaren. Kylslingen liknar tidigare drivlina där kylmedlet leds genom motorn, men för den elektriska drivlinan även genom frekvensomriktaren, styrsystemet och batteripacket. Se figur 11 för en modell över ett principiellt kylsystem.



Figur 11: Enkel beskrivning av kylsystemets uppbyggnad.

Det ska dock påpekas att kylbehovet är mindre i en elektrisk drivlina eftersom elektriska komponenter har en väldigt hög verkningsgrad. Verkningsgraden för motorn från YASA motors med frekvensomriktare är till exempel oftast över 80%, upp emot 90%. En hög verkningsgrad leder till att mindre värme produceras som restprodukt.

4.7.2 Laddare

Från kundundersökningen framgick det inget behov av att kunna ladda batterierna snabbt. Entusiastfordon går nödvändigtvis inte som vardagsfordon, utan ägaren kan ha framförhållning inför en tur. Med tanke på detta kan det antas att snabbbladdning inte behöver undersökas något vidare. Det kommer istället öka komplexiteten i elsystemet, vikten på fordonet och priset. Snabbbladdning hanterar även mer energi och högre strömstyrkor vilket gör att det behövs extra laddutrustning hos ägarens hem för att det ska kunna utnyttjas.

Istället behövs en enkel laddare, som fungerar i vanliga eluttag. I vanliga eluttag i Sverige ligger en spänning på 230 V och de klarar en strömstyrka upp till 16 A (Eluttag, u.å). Ett bra exempel på en laddare som är kompatibel med vanliga nätspänningen är ELCON PFC2500 (EV West, u.å-d). Specifikationer för laddaren återfinns i tabell 11.

Tabell 11: PFC2500 specifikationer.

Laddeffekt [kW]	2,5
Vikt [kg]	7
Dimensioner[mm]	140 x 198 x 353
Pris [USD]	729
Spänning [V]	220
Ström [A]	15

Laddaren behöver 220 V och har en maximal ström in på 15 A. Den är som tidigare nämnt specifikt designad för att användas i ett normalt eluttag i hemmet. Priset ligger på 729 dollar. Laddaren kan som maximalt ladda med en effekt på 2,5 kWh. Det skulle därför ta minst 12,5 timmar att ladda hela batteripackat. Detta anses vara tillräckligt, ägaren behöver en natt mellan turerna för att batteriet ska ha möjlighet att ladda upp. Laddaren är även relativt smidig, den väger inte för mycket och får plats i bagaget om bilen behöver laddas på en annan plats än i hemmet.

4.7.3 Elektrisk gasreglage

För att kunna styra elmotorn och drivlinan behövs ett elektriskt gasreglage. Styrenheterna till motorn kan ta in analoga signaler. De variabla insignalerna kan användas för att styra strömmen till motorn och på så sätt styra momentet och även hastigheten på motorn. Eftersom AC Cobran är en äldre bil är det ursprungliga gasreglaget mekaniskt, vilket behöver ersättas helt med ett elektriskt. Det elektriska gasreglaget kan kopplas in i de analoga portarna på styrenheten och sättas ihop med pedalerna för att styra gaspådraget. En följd effekt är att styrenheten behöver programmeras för att ge korrekt kraftpådrag till motorn, för en godtycklig signal in från gasreglaget.

Det skulle även behövas ett elektrisk gasreglage till både gas- och bromspedal om inbromsning avses styra motorn till att gå i generatordrift för att bromsa fordonet. Att använda generatordrift gör att slitaget på det mekaniska bromssystemet minskar markant. Det skulle även bidra till att fordonets räckvidd ökar.

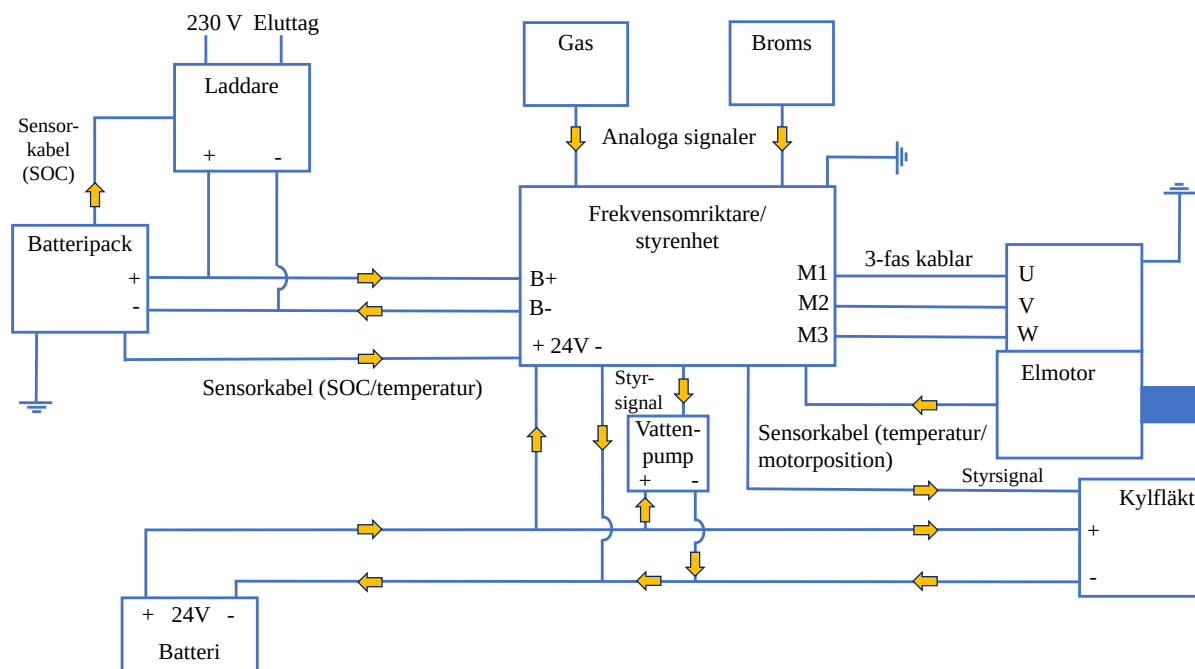
Ett förslag på elektriskt gasreglage är modellen ET-126 från Thunderstruck EV. Reglaget ger en utsignal på 0-5 V som kan kopplas till de analoga portarna på styrenheten. Gasreglaget är även fjädrat så det åker tillbaka till positionen för 0 V när föraren inte trycker på pedalen. Komponenten är i jämförelse med andra delar av drivlinan billig och går att köpa på Thunderstruck EV för 135 dollar styck (Thunderstruckmotors, u.å).

4.7.4 Styr servo

AC Cobran har i originalutförande inget styr servo utan använder sig bara av en styrväxel (R. Kulle, personlig kommunikation, 23 april 2020). I moderna replikavarianter är det dock vanligt att ett styr servo används, främst för bekvämlighet och enklare styrning. Eftersom den elektriska drivlinan använder sig av en elektrisk motor är det inte lämpligt att använda ett hydrauliskt styr servo vars pump i vanliga fall är kopplat till motorblocket. Det är istället mer rimligt att använda ett elektriskt styr servo.

4.7.5 Elschema

För att illustrera hur ett det elektriskt systemet i koncepten hänger ihop har ett principiellt elschema tagits fram. Schemat visar hur batteri, motor, styrenhet och de övriga diskuterade komponenterna sitter ihop med kablar. Elschema återfinns i figur 12



Figur 12: Framtaget elschema.

4.8 Koncept till simulering

Efter att de viktigaste komponenterna som bygger upp den elektriska drivlinan undersökts går det att sätta ihop färdiga koncept för simulering. Det blir en variation av motorer och olika sorters utväxlingar, med passande batteripack. Styrsystem finns med, och vilken utväxling i slutväxeln som används. Ungefärlig vikt samt pris finns även med för koncepten. Samtliga koncept med deras respektive benämningar återfinns i tabell 12.

Tabell 12: Koncept till simulering.

Koncept	Batteri	Kontroller	Motor	Växellåda	Slutväxel	Pris [SEK]	Vikt [kg]
Y1	12s	Sevcon	YASA 750R	Bakåtvänd NWF BlackBox	3.54:1	308 000	1097,4
Y2	12s	Sevcon	YASA 750R	Bakåtvänd NWF BlackBox	4.09:1	310 000	1097,4
Y3	12s	Sevcon	YASA 750R	Tremec TCET5008 (vxl. 4 & 5)	3.54:1	312 000	1099,7
EVO1	12s	Sevcon	EVO AF230	NWF BlackBox	3.54:1	361 000	1117,9
EVO2	12s	Sevcon	EVO AF230	Original AC Cobra (vxl. 1 & 3)	3.54:1	347 000	1132,9
EVO3	12s	Sevcon	EVO AF230	Ingen växellåda	4.88:1	349 000	1072,9
EVO4	12s	Sevcon	EVO AF230	Brinn Original 70001	4.88:1	367 000	1096
EVO5	12s	Sevcon	EVO AF230	Tremec TCET5008 (vxl. 1 & 3)	3.54:1	373 000	1120,2
B1	7s 2p	DMC544	Brusa HSM1	Original AC Cobra (vxl. 1)	3.54:1	248 000	1175
B2	7s 2p	DMC544	Brusa HSM1	Original AC Cobra (vxl. 1 & 3)	4.88:1	250 000	1175
B3	7s 2p	DMC544	Brusa HSM1	Ingen växellåda	5.89:1	250 000	1130
B4	7s 2p	DMC544	Brusa HSM1	NWF BlackBox	5.89:1	264 000	1175
B5	7s 2p	DMC544	Brusa HSM1	Tremec TCET5008 (vxl. 1 & 3)	4.89:1	274 000	1177,3

För att räkna ut den totala vikten har ett antal beräkningar gjorts. Vikten på originalfordonet är 1147 kg med fylld tank (Carfolio, 2013). Den totala vikten som försvinner från fordonet när motor, växellåda och bränsletank tas bort är 380,5 kg vilket gör att en "tom" bil väger 768,5 kg. Motorvikten för en original AC Cobra ligger på runt 590 lbs eller 265,5 kg (Car Memories, u.å). Vidare har AC Cobra en 68,2 liters bränsle tank (Carfolio, 2013). Med en bränsle densitet på 737 kg/m³ fås en vikt på 50,3 kg bränsle (Preem, 2019). Det uppskattas sedan att själva tanken i stål med tillhörande bränslesystem väger ca 20 kg. Totala vikten som tas bort för bränslesystemet sätts alltså till 70 kg. Vikten för växellådan uppskattas till 45 kg. Till den nya totalvikten tillkommer också kabelvikt på ungefär 30 kg för elektriska fordon (Fujikura, 2013).

5 Simulering och modellering

För att utvärdera förslagen på koncept och komponenter för den elektriska drivlinan tas en simuleringsmodell fram. Detta bestämmer vilken eller vilka kombinationer som är de bästa för ändamålet, och visar på den utvecklade drivlinans teoretiska prestanda. Resultatet från simulering av drivlinan ligger till stor grund för resultatet av projektet som helhet. Innan koncepten simuleras är de även modellerade digitalt i CAD för att verifiera att de valda komponenterna får plats i bilen.

5.1 Syfte med simulering och modellering

För att ta fram den bästa kombinationen av elmotor, batteri och utväxling för den utvecklade drivlinan är en simuleringsmodell framtagen. En simuleringsmodell fungerar som ett virtuellt test, där de olika komponenterna kan köras för att undersöka deras prestanda.

Huvudanledningen till att ta fram en simuleringsmodell är att inte behöva bygga en prototyp och köpa in många dyra komponenter. Som presenterat är elmotorer och framför allt batterier väldigt dyra. Genom att istället ta fram data för komponenterna och simulera olika test går det att kostnadseffektivt testa komponenterna mot varandra. Detta medför att ett flertal komponenter kan elimineras och de teoretiskt bästa drivlinorna, baserad på simulering, kan undersökas vidare.

För projektets helhet är simulering en viktig del i att dra slutsatser kring måluppfyllnad. På grund av projektets avgränsningar byggs ingen fysisk prototyp, vilket betyder att det beslutsunderlag och resultat som presenteras bygger helt på simuleringsresultat. Simulering blir för detta projekt alltså nyckeln för att kunna, inom projektets ram, presentera ett förhållandevis trovärdigt resultat.

Det är simuleringsmodellen som är det huvudsakliga sättet att jämföra olika koncept, men det blir egentligen irrelevant om något av koncepten inte får plats i det ursprungliga chassit. Därför modelleras även komponenterna digitalt i CAD, för att på samma sätt som simulering, priseffektivt testa om lösningarna fungerar rent geometriskt.

5.2 Modellering av drivlina

För att verifiera att de föreslagna konceptuella drivlinorna inte överskrider de fysiska dimensionerna av chassit är huvudkomponenterna i drivlinan modellerade. Detta är ett avgörande steg eftersom det direkt visar på om det föreslagna koncepten går att förverkliga eller inte och om outnyttjad potential i form av extra utrymme finns tillgänglig för ytterligare modifikationer.

Att skapa digitala modeller gentemot att framställa prototyper av alla enheter är både mer tidseffektivt och billigare. Med resultatet av modelleringen kan även kraven och önskemålen från kravspecifikationen utvärderas, särskilt relaterade till volymen.

5.2.1 Modellering genom CAD

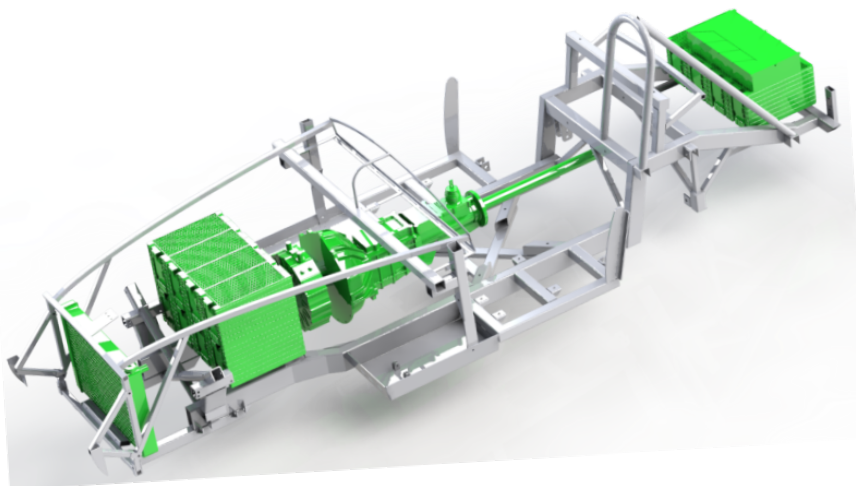
Drivlinan är sammanställd i programmet Solidworks och är relativt överskådligt. Det har, av tidsrelaterade avgränsningar, inte gjorts på en hög detaljnivå utan enbart principiellt.

Det går inte att hitta ett chassi för en original AC Cobra så istället används ett chassi för en Hurricane 427 roadster som ofta används vid replikabyggen (Smith, u.å). Modellen av chassit är nedladdat och filen är importerad som ett PDF 3D-objekt som sedan omvandlats till ett SolidWorksformat och skalats upp till korrekt storlek (Hurricane Motorsport, u.å). Detta innebär att modellen är låst och att det inte går att modifiera chassit.

När det kommer till motorerna är en modell av motorn från Brusa importerad från företaget hemsida. De två andra motorerna, EVO AF230 och YASA 750R, är uppritade efter tillgängliga ritningar och bilder. Eftersom ritningsunderlaget inte är helt komplett är komponenterna inte identiska när det kommer till formdetaljer, men alla avgörande fysiska dimensioner stämmer enligt ritning. Detta gäller för även för styrsystemen och batteripacken som efterskapades från ritningar.

På grund av tidsrelaterade avgränsningar och begränsade uppgifter kring dimensioner valdes det att utgå från en TH350 växellåda från General Motors i samtliga drivlinor. Denna växellåda har liknande dimensioner som en Tremec TCET5008 och det går att anta att om TH350 får plats kommer även TCET5008 samt resterande växellådor som är mindre att få plats. Dimensionerna för TCET5008 redovisas i bilaga H (Tremec, 2016) och dimensionerna för TH350 redovisas i bilaga I (TCI Auto, u.å). På detta sätt kan samtliga koncept representeras av endast tre drivlinor eftersom den enda komponenten som skiljer dem åt är motorn och antal batterier.

För drivlinorna med EVO AF230 och YASA 750R placeras åtta batteripack mellan motorn och X-balken, staplade på varandra i grupper om fyra. I bagageutrymmet placeras fyra batteripack samt styrsystemet. I figur 13 visas hur den kompletta drivlinan med YASA 750R motorn, TH350 växellåda, radiator, batteripack och styrsystem ser ut. För drivlinan med motorn från Brusa placeras åtta batteripack mellan motorn och X-balken i grupper om fyra staplade på varandra, fyra i bagageutrymmet, två på vardera sida om motorn och styrsystemet är placerat i bagageutrymmet.



Figur 13: Iso-vy över en drivlina med en YASA 750R motor.

Modellerna i bilaga J, K och L illustrerar de tre sorters drivlinor som diskuterats ovan. I och med att samtliga drivlinor får plats i ramen som det var tänkt kan alla koncepten tas vidare till simulering utan vidare modifieringar. Det kan även konstateras att det finns utrymme för modifieringar för att återställa viktförhållandet mellan bak- och framvagn.

5.3 Simuleringsmodell

Den simuleringsmodell som används är framtagen genom att konkretisera syftet med simuleringen. Detta syfte kan sägas bestå av två huvudsakliga delar där den första delen är att undersöka vilken prestanda de olika koncepten har i form av accelerationsförmåga och topphastighet och den andra delen är att undersöka räckvidden för de olika koncepten.

Det första steget i att ta fram de simuleringsmodeller som ligger till grund för resultatet är att bestämma vilket program som ska användas samt att specificera vilken typ av modell som ska tas fram. När det kommer till typer av modeller finns det övergripande två olika typer som skulle kunna användas: en statisk eller en dynamisk modell. Skillnaden på dessa två typer är att den dynamiska modellen är tidsberoende, vilket den statiska modellen inte är. Detta kan vidare förklaras som att resultatet från en dynamisk modell vid tiden $t = t_i$ är beroende av resultatet vid tiden $t = t_{i-1}$, detta till skillnad från den statiska modellen som ser simuleringarna vid $t = t_i$ och $t = t_{i-1}$ som helt oberoende. Med detta som bakgrund kan det vidare sägas att en dynamisk modell visserligen är mer komplex att ställa upp, men att dess resultat i de flesta fall är mer representativt för verkligheten.

Vid konsultation med individer insatta i simulering av fordon är QSS ett förslag som ofta tas upp och det är därmed relevant att undersöka dess potential för ändamålet. QSS eller QSS TB står för "QuasiStatic Simulation Toolbox" och är en toolbox till MATLAB simulink, framtaget vid ETH Zürich och tillgängligt via MathWorks "File Exchange". Den beskrivs i tillhörande dokumentation som "A Matlab/Simulink toolbox for the backward quasi-static modelling and simulation of Hybrid and Electrical Power-trains" (Mahmoud Khalid, 2020). Med andra ord så kan den användas för att sätta upp statiska simuleringsmodeller för el- och hybridfordon, vilket anses lämpligt utifrån syftet med simuleringarna. Vid närmare undersökning konstateras det däremot att denna toolbox enbart kan användas för att undersöka räckvidden på ett adekvat sätt, medan undersökning av prestanda blir bristande. Detta anses vara en följd av att denna toolbox är statisk till sin natur och medger följaktligen att det under vidare undersökning läggs större fokus på dynamisk modellering.

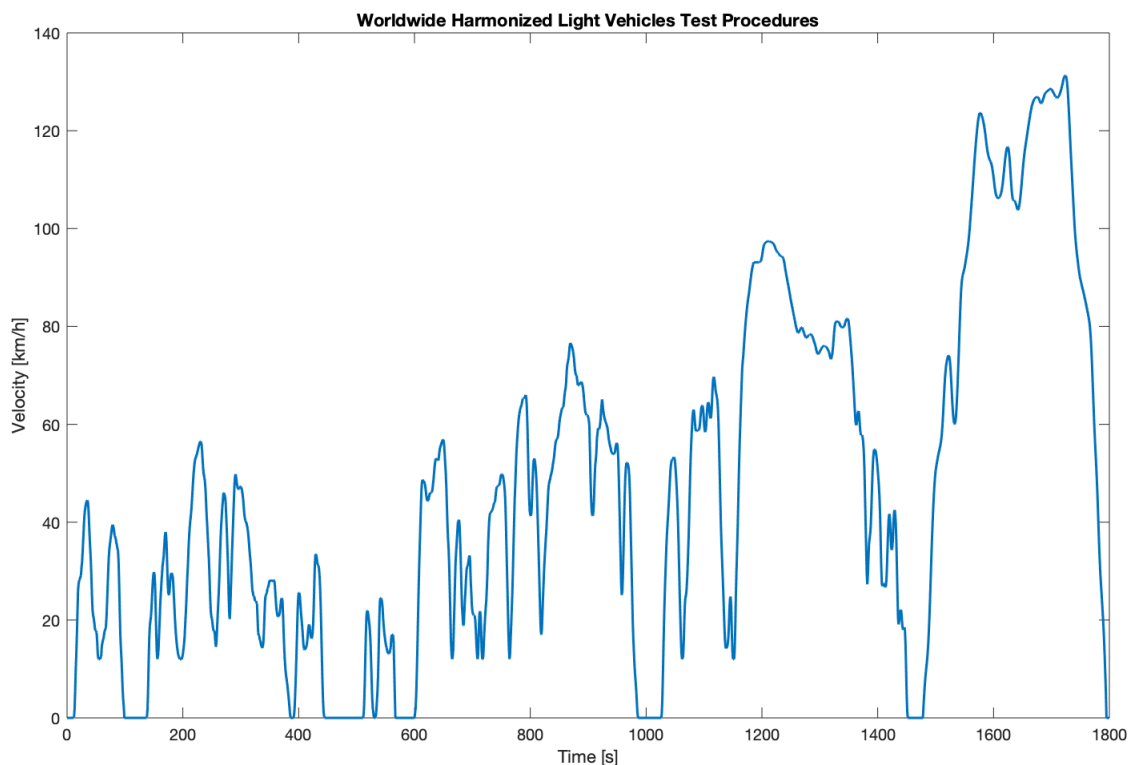
Efter en övergripande undersökning av möjliga alternativ för dynamisk modellering framkommer "Powertrain Blockset" som ett lämpligt alternativ. Powertrain Blockset är även det en toolbox till MATLAB Simulink, men till skillnad från QSS så är det ett toolbox som tillhandahålls av MathWorks själva, vilket även innebär att det finns en betydligt mycket mer omfattande dokumentation om hur det fungerar. Powertrain Blockset möjliggör dynamiska simuleringsmodeller av fordon utifrån ett bibliotek av fördefinierade "block". Dessa block representerar olika komponenter i bilen och de som är relevanta för modellen kommer att presenteras mer ingående.

- Motormapping

En möjlighet är att göra mer omfattande modifieringar mellan de olika simuleringsmodellerna, men risken finns att resultatet inte korrekt speglar skillnaderna mellan de olika drivlinorna, utan att det istället är andra aspekter av bilen som speglas i resultat. Trots att detta möjligen ger mer verklighetstrogna modeller så anses det av denna anledningen inte tjäna syftet då det är just de olika drivlinorna som skall jämföras.

5.3.1 Körcykel

Blocket för körcykel ger en referenshastighet $v(t)$ som varierar med tiden. När räckvidden simuleras används WLTP-körcykel, se figur 16 där WLTP står för "Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure" och är en standardiserad körcykel uppsatt av ACEA (European Automobile Manufacturers Association). Denna körcykel är den som enligt EU-lagstiftning skall användas vid undersökning av personbilers bränsleförbrukning, koldioxutsläpp samt övriga utsläpp av föroreningar (WLTP facts, u.å.). WLTP började tillämpas år 2017 då den ersatte den tidigare använda NEDC (New European Driving Cycle). Anledningen till detta var att NEDC inte ansågs representera verklig körning på ett adekvat sätt utan att den istället representerade teoretisk körning.



Figur 16: Graf av WLTP-cykeln.

WLTP-körcykeln är 1800 sekunder lång (30 minuter) och täcker en sträcka på 23,25 km, den har en genomsnittlig hastighet på 46,5 km/h samt en topphastighet på 131 km/h. Eftersom denna körcykel i det här fallet används för att undersöka räckvidden på bilen så repeteras den cykliskt tills dess att bilens batteri är tomt.

När prestandan undersöks så används funktionen "Wide open throttle" i blocket för körcykeln. Då anges en önskad referenshastighet som är högre än vad bilen maximalt

kommer att klara av, detta medger att bilen aldrig når referenshastigheten utan att hastigheten istället begränsas av bilens egenskaper. Detta leder i sin tur till att information om bilens topphastighet samt accelerationsförmåga erhålls.

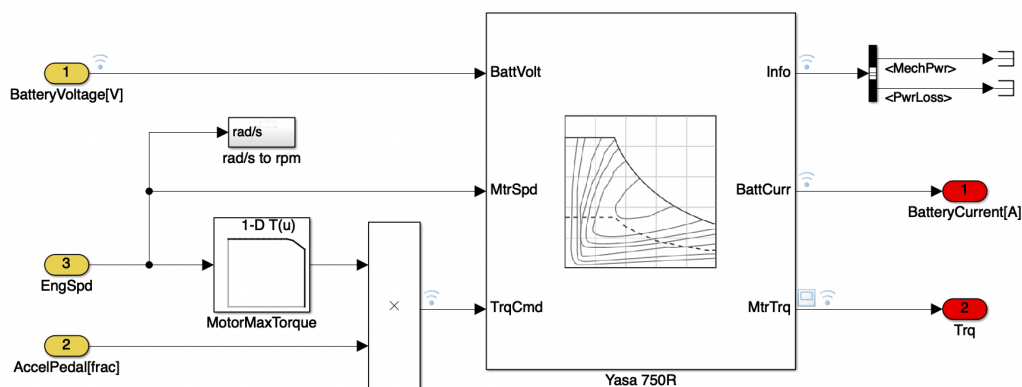
5.3.2 Förare

Det andra blocket i simuleringsmodellen representerar föraren av bilen och tar in tre variabler: referenshastigheten, bilens hastighet och lutningen på underlaget. Då lutningen på underlaget inte är något som anses vara en relevant aspekt att ta hänsyn till vid simulering av de olika koncepten så sätts denna konstant till noll. Referenshastigheten fås från blocket för körcykeln och fordonshastigheten återkopplas från blocket för fordonsdynamik. Utifrån dessa två in-variabler fungerar blocket som en regulator för att bilen skall komma upp i referenshastigheten. Detta resulterar i att blocket ger ifrån sig ett accelerations- och deaccelerationskommando, vilket motsvarar positionen på gas- samt bromspedalen i procent.

5.3.3 Motor

Blocket för motorn, se figur 17 baseras på de data som tillverkarna anger för sina respektive motorer. Denna data används för att ställa upp en motormappning bestående av två olika delar. Den första delen beskriver motorns prestanda genom en moment-hastighetskurva vilken anger det från motorn utgående vridmomentet vid ett givet varvtal. Den andra delen beskriver motorns effektivitet genom en en matris för motorns verkningsgrad beroende på moment och varvtal.

Från motormappen erhålles i sin tur två värden; batteriström och utgående vridmoment. Batteriströmmen återkopplas till blocket för batteriet och det utgående momentet förs in i blocket för drivlinan.



Figur 17: Blocket för elmotorn.

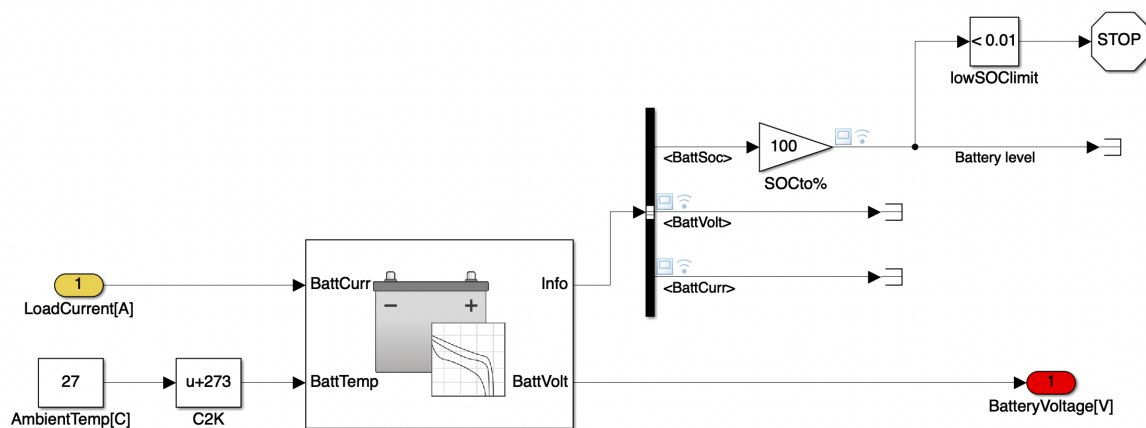
Som kan ses i figur 17 behöver själva motormappningen tre variabler in: batterispänning, motorhastighet och önskat vridmoment. Batterispänningen beskrivs mer ingående i blocket för batteriet. Motorhastigheten kommer som en återkoppling från drivlinan, då rotationshastigheten på drivaxeln är ekvivalent med motorns rotationshastighet. Det

önskade vridmoment tas fram genom att använda samma kurva för moment-hastighet som används för motormappningen. Även här används den återkopplande motorhastigheten för att ta fram motsvarande moment. Detta moment multipliceras sedan med det accelerationskommando som kommer från föraren för att slutligen få fram det önskade momentet.

Det skulle vara möjligt att ställa upp en mer ingående modell för motorn, vilket skulle bidra med mer utförlig information om till exempel värmeutvecklingen i motorn. Den viktigaste anledningen till att motorn istället mappas är för att det skulle krävas en stor mängd modellspecifik data för att kunna ställa upp en mer ingående motormodell och denna data finns inte publicerad av motortillverkarna. Med detta sagt anses en mappning av motorn medge en tillräckligt representativ bild av de olika elmotorerna för detta syfte.

5.3.4 Batteri

Batteriblocket, se figur 18, sitter i en loop med blocket för motorn, där strömmen ut från motorn går in i batteriet, för att sedan ge upphov till den spänning som går in i motorn. Detta sker enligt ekvation 1.

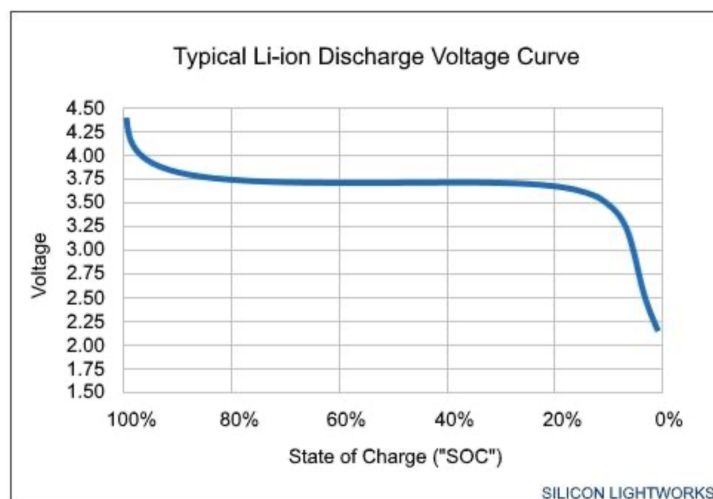


Figur 18: Block för batteri.

$$V_{out} = N_s(E_m + I_{batt}R_{int}) \quad (1)$$

V_{out} är den totala spänningen ut från batteriet, N_s är antalet battericeller i serie, E_m är batterietcellens tomgångsspänning, I_{batt} är batteriströmmen som återkopplas från motorn och R_{int} är battericellens inre resistans.

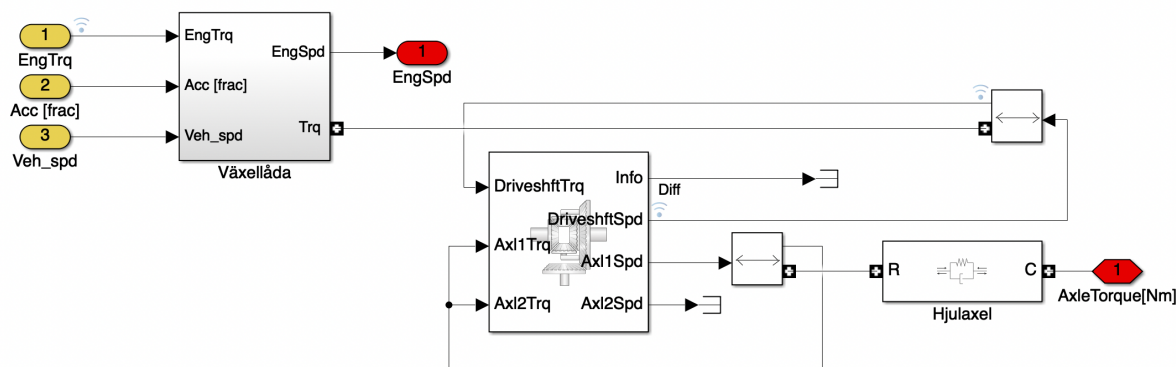
Vidare är batteriets tomgångsspänning E_m varierande med batteriets SOC (state of charge). Det finns inte någon ingående data för detta hos tillverkarna så en karaktäristisk kurva för litiumjonbatterier används istället, se figur 19, som indata i batteriet. Denna kurva anpassas sedan till datan som anges av tillverkaren i form av max-, min- och nominalspänning.



Figur 19: Karaktäristisk kurva för Lithiumjonbatteri (Silicon Lightworks, u.å).

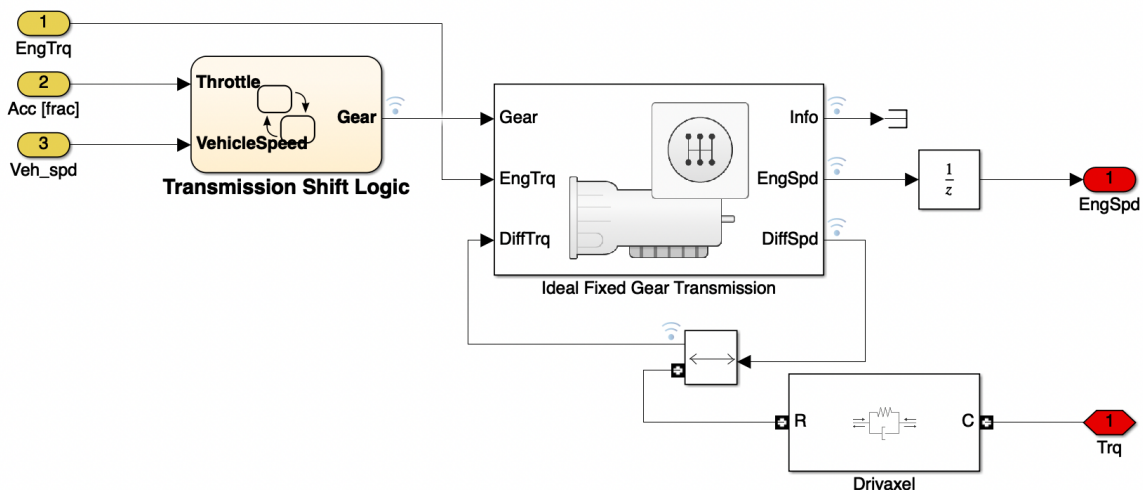
5.3.5 Växellåda och differential

Blocket för växellådan och slutväxeln är uppdelad i två nivåer. I den första nivån, se figur 20, återfinns slutväxeln samt hjulaxlar. Slutväxeln antas ha en verkningsgrad på 95%. Då bilen enbart skall köra rakt och således verkar helt symmetriskt modelleras enbart den ena hjulaxeln vid det drivande hjulparet, denna antas sedan vara representativ för båda hjulaxlarna.



Figur 20: Block för växellåda och slutväxeln.

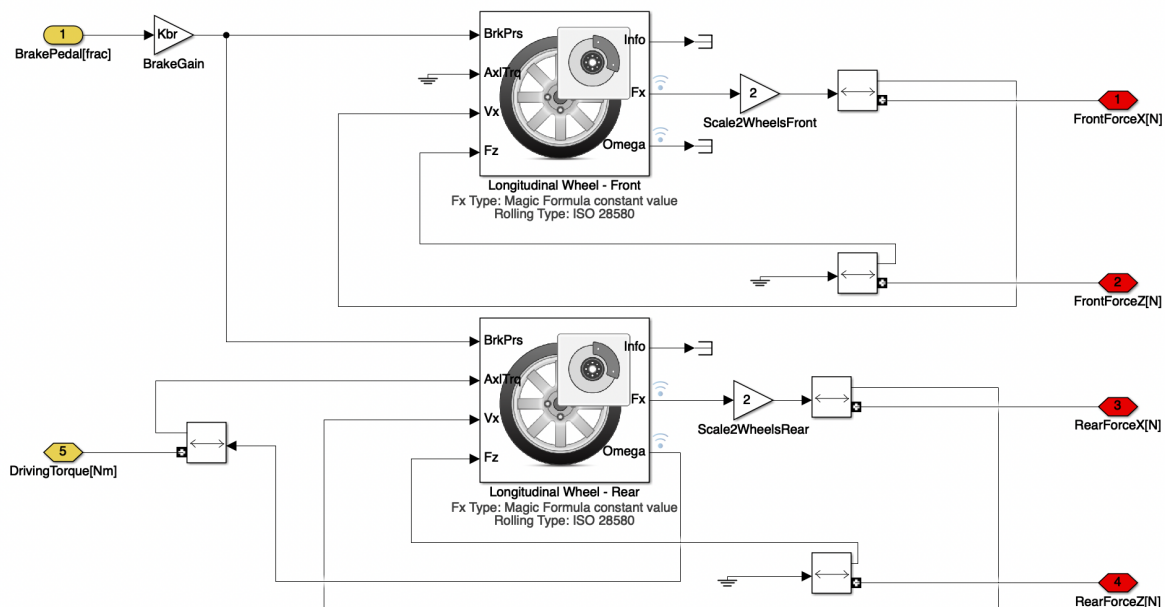
I nästa nivå, se figur 21, återfinns växellådan samt drivaxeln som sitter mellan växellådan och slutväxeln. Växellådans växlar konfigureras beroende på vilket koncept det är som undersöks. I koncept med enbart en växel ersätts växellådan med en enstegsväxel. Samtliga växlar hos växellådan antas ha en verkningsgrad på 95%. Modeller med två växlar använder blocket "Transmission Shift Logic", detta block innehåller en enkel MATLAB-funktion som väljer växel baserat på bilens hastighet. I samtliga fall där två växlar används har det angetts att växellådan skall växla till andra växeln vid hastighet 101 km/h.



Figur 21: Sub-block för växellåda.

5.3.6 Hjul och bromsar

I blocket för hjul och bromsar, se figur 22 konverteras rotationsrörelses från hjulaxlarna till krafter som sedan kan föras in i fordonmodellen. Ett antagande som görs är att bilens axlar verkar symmetriskt och således modelleras enbart ett framhjul och ett bakhjul, krafterna som dessa ger upphov till multipliceras med två.



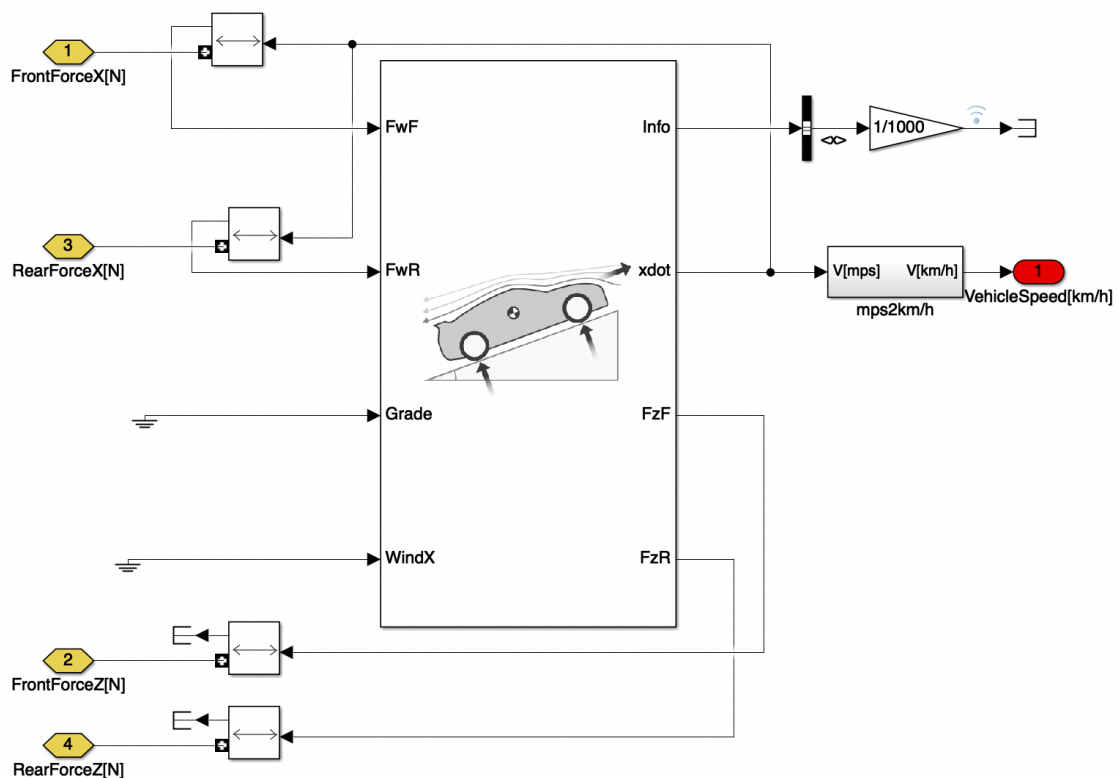
Figur 22: Block för hjul.

Däckens interaktion med underlaget modelleras genom "Magic formula" där parametrarna i samtliga fall är satta till datan som motsvarar förhållandet torr asfalt. (MathWorks, u.å.) Däckens rullmotstånd modelleras med ISO 28580, vilket är en standard för beräkning av rullmotstånd för passagerarbilar, lastbilar samt bussar (International Organization for Standardization, 2018).

Eftersom bromsarna inte är något som undersöks modelleras dessa godtyckligt. Värt att notera är att en för svag bromsverkan kan komma att påverka resultatet samt jämförbarheten mellan koncepten då det skulle till att körcykeln inte kan följas på ett tillräckligt bra sätt; därav modelleras bromsarna så att bilen alltid kommer att ha en tillräcklig bromsverkan.

5.3.7 Fordonsdynamik

Blocket för fordonsdynamik, se figur 23, tillämpar jämviktsekvationer över alla de krafter som verkar på bilen vilket resulterar i att en hastighet för bilen erhålls. Bilens acceleration eller retardation erhåller sedan differensen mellan hastigheten i punkten $t = t_i$ samt $t = t_{i-1}$.



Figur 23: Block för fordonsdynamik.

Den huvudsakliga avgränsningen som görs i detta block är att bilen antas enbart ha en frihetsgrad, vilket är förflyttningen i x-led (longitudinellt i bilens körriktning). Det skulle vara möjligt att istället ange att bilen har tre frihetsgrader; förflyttning i x-led, förflyttning

i z-led (uppåt och nedåt för bilen) samt rotation kring y-axeln. Att använda en modell med tre frihetsgrader skulle kunna komma att öka modellens exakthet, men på grund av den ökade komplexitet i kombination med projektets tidsplan och satta avgränsningar anses den enklare modellen ge ett tillräckligt bra resultat, i synnerhet då det är skillnaden mellan de olika konceptet som är av störst intresse.

5.3.8 Övrigt

Samtliga simuleringsmodeller löses med ODE-lösaren ode23t (mod. stiff/Trapezodial) med en varierande steglängd som sätts automatiskt. För simuleringarna gällande acceleration används den relativa toleransen $1 \cdot 10^{-3}$ samt tidskonstanten 0,1 sekunder och för simuleringarna gällande räckvidd används den relativa toleransen $1 \cdot 10^{-2}$ samt tidskonstanten 0,5 sekunder.

6 Resultat och diskussion

Genom att simulera samtliga framtagna koncept med avseende på acceleration, topphastighet samt räckvidd, fås ett resultat fram. Beroende på förutsättningar och andra faktorer kan olika koncept vara bättre än andra.

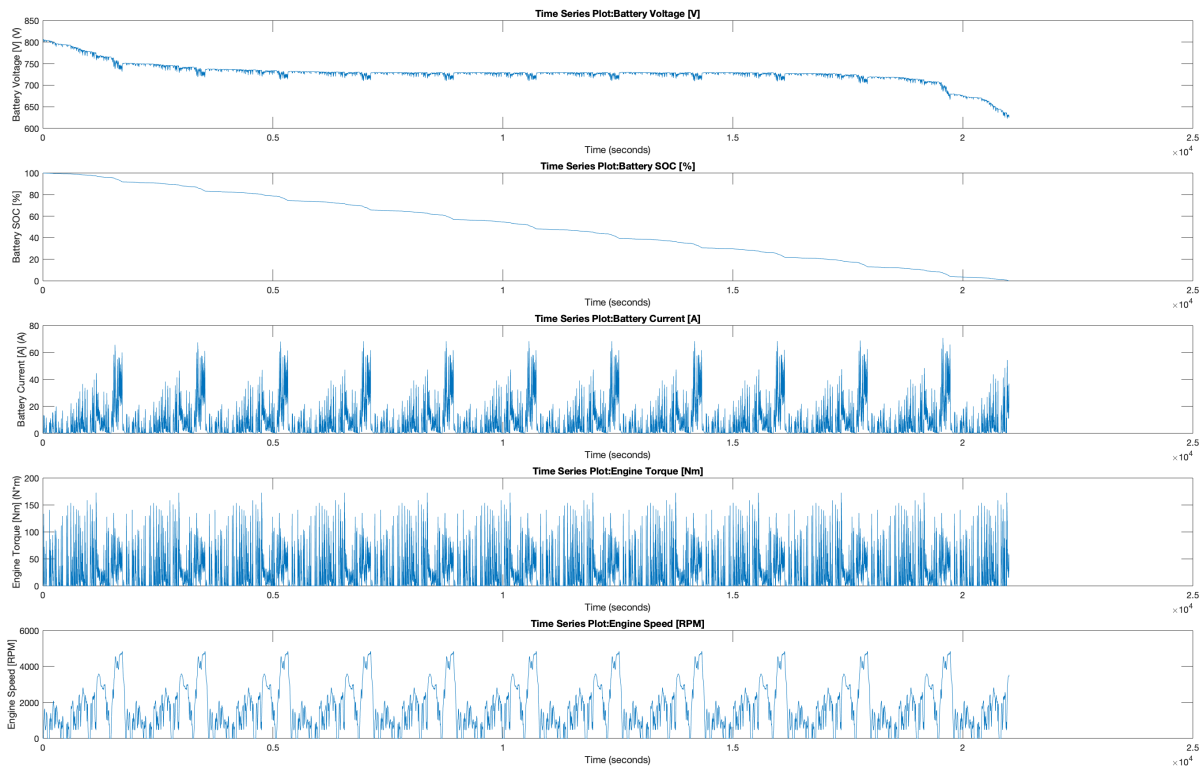
6.1 Resultat

Samtliga koncept är simulerade med den presenterade modellen i MATLAB Simulink. Resultaten är sammanställda i tabell 13 och namnen på koncepten är enligt tidigare benämningar.

Tabell 13: Resultat från simulering.

Koncept	Acceleration 0-100 km/h [s]	Topphastighet [km/h]	Räckvidd [km]
Y1	4,32	275,6	251,2
Y2	3,80	278,7	252,2
Y3	4,32	192,1	253,8
EVO1	2,42	294,4	221,5
EVO2	2,65	226,5	230,6
EVO3	3,44	212,4	268,1
EVO4	2,48	216,1	217,0
EVO5	2,65	226,6	231,6
B1	3,85	200,2	242,1
B2	3,21	242,3	286,7
B3	4,55	263,8	323,45
B4	3,19	259,1	263,26
B5	3,02	253,2	274,51

Ett exempel på simuleringsresultat för simulering av räckvidd för koncept EVO3 återfinns i figur 24. Den totala simuleringstiden för konceptet är ungefär $2,2 \cdot 10^4$ sekunder, vilket motsvarar 6,1 timmar. I graferna visas hur batterispänningen, batteriladdningen, batteriströmmen, motorns vridmoment samt motorns rotationshastighet varierar med den cykliskt repeterade WLTP-körcykeln. För fullständigt simuleringsresultat, se bilaga M.



Figur 24: Resultat från simulering av räckvidd för koncept EVO3.

6.2 Diskussion

I allmänhet visar resultatet av simuleringarna på goda förutsättningar. Det finns flera koncept som klarar samtliga prestandarelaterade krav i simuleringarna. Resultatet är relativt varierande vilket tyder på att vilka komponenter som tas med till drivlinan är av avgörande betydelse.

I det stora hela är de framtagna koncepten på den elektriska drivlinan egentligen förslag på olika sätt att kombinera olika komponenter. Genom att kombinera dem rätt uppnås de krav och önskemål som en entusiast har på sin bil. Detta behöver dock inte betyda att entusiastbilen i fråga faktiskt behöver alla dessa komponenter. Alla bilar är olika, och förslagen presenterade som resultat täcker några. När det kommer till just AC Cobras är det en väldigt speciell bil i den mån att det var få som tillverkades. Det finns därför inte många som faktiskt äger en originalbil med de originalspecifikationer som koncepten försöker eftersträva att uppfylla. Det kan därför vara irrelevant eller omöjligt för många att använda den ursprungliga växellådan- av den enkla anledningen att de inte har en AC Cobra med originalväxellåda. De kanske inte har samma slutväxel som räknats på heller. Det är just denna problematik som gör det svårt att undersöka varför några koncept är bättre än andra. Ett koncept kan vara både billigare och enklare för en bil, medan det kan vara det absolut dyraste och mest omständiga för en annan.

Detta resonemang betyder dock inte att den ursprungliga drivlinan ur originalbilarna är helt irrelevant. I fallet med just AC Cobra är det som tidigare nämnt vanligt att replikamodeller byggs för att efterlikna originalutförandet på bilen. Om dessa modeller har som mål att vara så lika originalet som möjligt, blir all prestanda och övriga specifikationer

relevant. Liknar den elektriska drivlinan AC Cobrans ursprungliga drivlina kommer även replikamodellen att göra det.

Med detta sagt är en fråga huruvida den uppsatta kravspecifikationen skall följas exakt eller inte. Det kan tyckas självklart att ett krav är ett krav, men olika entusiaster värdesätter olika saker. Kravspecifikationen ses som övergripande mall för den elektriska drivlinan och koncepten måste ändå ligga i närheten av kraven. Men det vore synd att förkasta ett koncept som nästan når upp i topphastigheten, när det finns aspekter hos konceptet som gör det bättre på andra sätt. Att ställa de olika koncepten mot varandra bör därför göras med helheten i åtanke. Är helheten bra, men någon mindre detalj är sämre, får det fortfarande antas vara ett bra koncept.

När det kommer till projektet som helhet går det att diskutera huruvida resultatet är trovärdigt eller inte. Av projektets natur är det avgränsat på flera olika sätt, främst på grund av tid och pengar, men även för att göra omfattningen rimlig. Dessa avgränsningar och i förlängning vissa antaganden gör att resultatet kan ha blivit påverkat. En stor del av detta är som tidigare nämnt att koncepten testas genom simulering, och inte genom fysiska modeller. En simuleringsmodell kan vara väldigt heltäckande och exakt, men det kan också finnas brister och detaljer som gör att den inte stämmer helt överens med verkligheten, resultaten kan således bli missvisande. Det finns dock några aspekter som talar mot ett mindre trovärdigt resultat. Det första är att simuleringarna är konsekventa genom alla koncept. Själva modellen där komponenterna testas ändras inget mellan koncepten, vilket gör att skillnaderna mellan dem borde vara korrekta. Detta medför att, relativt varandra, visar simuleringarna rätt prestanda hos koncepten. Vidare går det att argumentera för att resultaten som fås från simuleringen är verklighetstroga. Detta baserat på att siffrorna i resultaten utifrån erfarenhet och andra likvärdiga applikationer anses vara rimliga. Resultatet som helhet kan med tanke på den relativa skillnaden mellan koncepten och verklighetstroga siffror antas vara godkänt.

Med detta sagt bör det ändå sällas lite mellan de olika koncepten. Det finns några som kan anses bättre eller sämre än andra, och vissa koncept ligger relativt långt ifrån viktiga krav. Några av de krav som ställs i kravspecifikationen anses vara av större vikt än andra där de krav som baseras på svaren i kundundersökningen är extra viktigt. Ett krav som med anledning av detta är av särskild stor vikt är bilens accelerationsförmåga, att bilen ska kunna accelerera från 0 - 100 km/h minst lika snabbt som originalbilen, alltså under 4,2 sekunder. I och med vikten av kravet medger detta att de koncepten som inte klarar kravet i simuleringen väljs bort. Ytterligare en anledning till detta är att om ett koncept inte klarar detta krav i simulering, under perfekta förhållanden, kommer det med stor sannolikhet få sämre resultat i verkligheten. De koncept som väljs bort på grund av undermåligt resultat vid acceleration är koncept Y1, Y3 och B3.

Konceptet Y2 är således det enda konceptet med YASA-motorn som klarar kraven. Med detta sagt skulle detta koncept innebära att den tänkta växellådan körs baklänges. Detta är något som innebär en viss osäkerhet när det kommer till aspekter så som hållfasthet och hur bra det fungerar i praktiken. Detta i kombination med att konceptet inte direkt sticker ut prestandamässigt gör att även Y2 väljs bort.

När det kommer till koncepten där EVO AF230-motorn används kan det generellt sägas att samtliga koncept har bra accelerationsförmåga. Vad som även kan sägas om dessa

koncept är att de har väsentligt mycket högre pris än övriga koncept. EVO3 kan antas vara en av de enklaste lösningarna som finns i och med att den endast använder sig av slutväxel och ingen ytterligare växellåda. Konceptet klarar krav på acceleration och nästan kravet på maximal hastighet. Det är även ett av koncepten med längst räckvidd. I och med att det inte är någon växellåda och endast ett byte av slutväxeln anses konceptet även ha goda förutsättningar vad det gäller hållfasthet. Som resterande av EVO-koncepten är det dock dyrt, men frågan här blir huruvida enkelheten väger tyngre än priset. Vidare kan det argumenteras för att det kan bli billigare än övriga koncept i slutändan då kostnader för underhåll minimeras. EVO4 har kortast räckvidd och med endast 216 km finns det risk att kravet på 200 km inte uppnås i verkligheten då ytterligare energianvändning som värme i bilen och elektriskt styrservo spelar en roll. EVO1 klarar samtliga krav och här används en relativt enkel lösning på utväxling. Konceptet har högst topphastighet, men det kan nästan anses onödigt högt på 294 km/h.

Samtliga koncept med motorn från Brusa är billiga och har en bra räckvidd. Motorn är dock tyngst och har störst geometrisk volym. Konceptet B1 har en något låg topphastighet på 200 km/h. Både B1 och B2 är koncept med den ursprungliga växellådan vilket som tidigare diskuterat kan vara problematiskt för ett flertal entusiaster. Det är dock några av de absolut billigaste alternativen. Koncepten B4 och B5 har bra räckvidd, bra acceleration samt lämpliga topphastigheter. Eftersom B4 är något billigare med den tvåstegade växellådan NWF BlackBox anses den mest lämplig. B5 kan dock bli väldigt billigt om det finns en Tremec manuell växellåda monterad med den ursprungliga drivlinan.

Kravet på pris sattes i kravspecifikationen till 200 000 kronor, vilket faktiskt samtliga koncept överskrider. Med det sagt innebär inte detta att samtliga koncept ska förkastas, eftersom det vid kravspecifikationens uppförande inte fanns någon djupare kunskap om kostnaderna. Däremot ger detta en indikation på att priset ska hållas så lågt som möjligt för att det ska vara attraktivt för eventuella kunder.

Om mindre hänsyn tas till pris verkar det mest rimliga konceptet vara EVO3 som inte har någon extra växellåda. Det är enkelt och har samtidigt en god prestanda. Konceptet går att bygga oavsett utgångsläge. Alternativet till detta koncept, om priset spelar större roll, är B4. Det är ett prisvärt koncept som ger god prestanda. Om elkonverteringen avses göras på en AC Cobra med den ursprungliga växellådan från Borg-Warner är B2 det bästa alternativet. Det är billigt och har samtidigt bra prestanda. Är det istället en replikamodell som har en Tremec-låda kan B5 vara ett bra alternativ.

Sammanfattningsvis går det återigen att konstatera den stora betydelsen av utgångsläge för entusiasten och bilen som skall konverteras. Det går inte riktigt att välja endast ett koncept, utan beroende på mål, budget, utgångsläge och egna preferenser kan något koncept visa sig vara bättre.

6.3 Verifiering av måluppfyllnad

Det övergripande syftet med projektet är att, inom projektets avgränsningar, undersöka huruvida en drivlina i en klassisk sportbil kan konverteras till en elektrisk drivlina. Den satta målformuleringen konkretiserar syftet till att teoretiskt konvertera en drivlina hos en AC Cobra. Hur väl målet är uppfyllt verifieras genom att jämföra den elektriska drivlinan mot kravspecifikationen som skapats med den ursprungliga drivlinan i åtanke.

Det övergripande målet och därmed syftet får antas vara uppfyllt. Projektet har, inom satta avgränsningar, teoretiskt konverterat drivlinan på en AC Cobra, och därmed undersökt huruvida en drivlina i en klassisk sportbil kan konverteras till en elektrisk sådan. Genom att ta upp några av de olika delarna i kravspecifikationen och jämföra med de mest lämpade koncepten kan det undersökas om kraven faktiskt är uppfyllda, och huruvida måluppfyllandet kan verifieras ytterligare.

6.3.1 Prestanda

De främsta kraven inom detta projekt har varit prestandarelaterade. Den elektriska drivlinan ska motsvara den ursprungliga, prestandamässigt. Resultatet visar på att den elektriska drivlinan uppfyller en maxhastighet på mer än 220 km/h, en acceleration 0-100 km/h på under 4,2 sekunder samt en räckvidd på över 200 km. Vridmoment och effekt fungerar som tidigare nämnt inte på riktigt samma sätt för elmotorer och den ursprungliga motorn, så det får anses vara irrelevant. Prestandakraven som helhet får antas vara uppfyllda.

6.3.2 Kostnad

Inga av de koncept som togs fram och inte heller de som rekommenderats klarar det ställda kravet på ett komponentpris under 200 000 kronor. Kravet baserades på kundundersökningen eftersom det i slutändan är någon typ av kund i målgruppen som betalar. I och med att det inte finns så mycket komponenter på marknaden är det svårt att hitta billiga sådana. Kravet har dock hjälpt för att hålla nere kostnaderna så mycket som möjligt. Ett exempel på detta är motorn från Brusa som är ett försök att använda lite äldre teknik i förhoppningen om att det skulle vara billigare. Komponentpriset för samtliga koncept överskrider dock kravet så det blir upp till entusiasten själv att avgöra om det är värt. En anledningen till de höga priset kan vidare antas bero på att elektriska bilar överlag är ett relativt nytt marknadssegment, och att komponentpriserna i framtiden kommer att minska avsevärt då fler aktörer ger sig in på marknaden.

6.3.3 Storlek

När det kommer till krav om fysisk storlek för den elektriska drivlinan ansågs det viktigt att i alla fall principiellt se att samtliga komponenter ryms i det existerande chassit. Samtliga drivlinor har, som tidigare presenterats, placerats in i ett chassi för en AC Cobra-replika utan problem och kravet på fysisk storlek får därmed antas vara uppfyllt.

6.3.4 Övrigt

Det finns många andra delar i kravspecifikationen som inte diskuterats i projektet. Detta med anledningen att dessa delar visat sig vara svåra att bedöma då det kräver en drivlina utvecklad till en högre detaljnivå för att avgöra hur de ställer sig gentemot kravspecifikationen. På grund av projektets avgränsningar så får resterande delar ur kravspecifikationen därför tas hänsyn till vid en vidareutveckling av projektet.

6.4 Samhälleliga och etiska aspekter

I början av projektet diskuterades det huruvida samhälleliga och etiska aspekter kan komma att behöva tas upp men själva arbetet har inte berört något specifikt inom området. En anledning till detta är att det är svårt att hitta data på det som behövs för att kunna kommentera om projektet kommer ha en samhällsnytta eller inte. Ett exempel är att det inte går att hitta information om var materialet till batterimodulerna kommer från, och hållbarhetsaspekten kan därmed inte tas med i beaktning. En möjlig anledning till detta kan vara att företagen som tillverkar batterier inte vill marknadsföra sina produkter med var materialet kommer från.

När det kommer till miljönyttan med projektet som helhet är inte detta vidare diskuterat i projektet. Det kan anses som en självklarhet att en elektrisk drivlina under drift leder till mindre utsläpp, men en faktor är också vilka utsläpp som skapas vid produktion av komponenterna till drivlinan. Det är rimligt att anta att ett entusiastfordon inte heller körs som ett vardagsfordon. Det kan därför ta lång tid innan användningen av bilen kompenserar för utsläppen från produktion av komponenterna. Denna aspekt anses rimlig att ta med under en eventuell vidareutveckling. Att göra en ingående miljöanalys för att veta om projektet kan ge nytta genom minskade utsläpp. Framtida arbete kan till exempel komma att fastställa hur mycket fordonet behöver användas för att de olika drivlinorna ska gynna klimatet. Detta hade då kunnat var ytterligare en aspekt för att sälla mellan de olika koncepten.

Ytterligare en del av detta är det etiska dilemmat huruvida en elkonvertering bidrar till att bevara ett kulturarv eller om det istället anses förstöra kulturarvet. Det framgick i kundundersökningen att många entusiaster tycker att det förstör kulturarvet snarare än bevarar det. Detta har varit i åtanke under projektet och det finns på grund av detta koncept med till exempel den ursprungliga växellådan. Med detta sagt påverkas bilen av naturliga skäl, men alternativet att inte kunna köra med den alls kanske är sämre.

6.5 Framtida vidareutveckling

För att ta projektet vidare rekommenderas det att utvidga avgränsningarna gällande flertalet aspekter. En första rekommendation är att undersöka styrsystemet samt kringliggande system mer ingående. Genom att göra detta skulle en helt komplett drivlina kunna tas fram, med alla detaljkomponenter som kablar och reläer. Eventuellt skulle även simuleringsmodellen kunna utvidgas till att använda mer exakt data från dessa komponenter, till exempel om regenerering vid inbromsning undersöks. Ytterligare en aspekt är att bygga en fysisk prototyp. Genom att testa något av koncepten i verkligheten kommer det visa sig huruvida simuleringen är lik verkligheten och huruvida den elektriska drivlinan når upp till krav och önskemål i verkligheten.

Vidare har detta projekt avgränsats till endast en korriktning. Vid en vidareutveckling av drivlinan behöver aspekter som väghållning vid kurvtagning studeras. Det är svårt att bestämma om placeringen av komponenterna leder till att fordonet får en bra väghållning. Komponenterna kan placeras på olika sätt, för att få olika bra resultat och körkänsla. Många elbilar har till exempel batteripacket placerat längs med undersidan vilket ger en låg tyngdpunkt och därmed goda köregenskaper. Genom ytterligare arbete med detta kan även viktförhållande mellan fram och bakvagn verifieras.

Hållfasthet och montering är ytterligare en del som behöver undersökas vidare. Det är inte självklart att samtliga komponenter klarar momentkaraktärstiken av en elmotor. För en förbränningsmotor ökar momentet med varvtalet och för en elmotor kan maximalt moment fås ut direkt. Detta kan leda till en ökad belastning på växlar, axlar och andra chassikomponenter. Samtliga komponenter måste även gå att montera på ett hållbart sätt. Det som gjorts i projektet är endast en verifiering av att komponenterna får plats i chassit. De fästeanordningar som finns i bilen kanske inte går att använda och nya måste konstrueras utifrån chassit och vart komponenterna skall sitta. Även fästeanordningen behöver dimensioneras för att hålla.

7 Slutsatser

Med bakgrund i de förändringar som sker inom fordonsflottan på grund av klimatförändringar kommer vissa grupper av människor påverkas negativt. För att undersöka alternativ för dessa grupper, däribland bilentusiaster, har projektet haft som mål att undersöka om klassiska sportbilar kan konverteras till el. Mer specifikt för projektet har målet varit att teoretiskt konvertera en drivlina på en AC Cobra. Visar det sig att det med en rimlig insats är möjligt att få en bil med liknande egenskaper kan entusiasterna kanske se en framtid med sina bilar, trots att de måste släppa sin ursprungliga drivlina.

Det finns idag inte något större utbud av komponenter på marknaden som fungerar optimalt för en elkonvertering likt den som projektet undersökt. Det är relativt dyrt, och det finns lite information att erhålla gällande komponenter, montering och liknande aspekter. Med detta sagt finns det dock komponenter, som redan nu, visar på lovande resultat. Sett till den genomförda marknadsundersökningen och s-kurvan kommer utbudet på komponenter dessutom bli ännu bättre och billigare, förhoppningsvis inom bara några år.

Resultatet från arbetet går att diskutera utifrån många aspekter, där avgränsningar, förhållandet till kravspecifikationen och variationer på utgångsobjekt för konvertering är de viktigaste. Entusiaster bör därför ta till sig informationen och med sin egna utgångspunkt bilda sig en uppfattning om huruvida det är rimligt för bilen i fråga. Vad som dock visats, och som presenterats i verifiering av måluppfyllnaden, är att det borde vara möjligt att erhålla god prestanda och uppnå ett flertal andra ställda krav på en elektrisk drivlina.

Projektet som helhet skulle kräva viss vidareutveckling och bredare avgränsningar för att ge ett mer exakt och detaljerat resultat, och ett resultat som kan tilltala fler entusiaster om inte fler målgrupper. Genom att till exempel bygga fysiska prototyper tas trovärdigheten och därmed projektets relevans till en högre nivå. Med detta sagt får projektet ändå anses ha bidragit till början på utvecklingen och banat grund för att vidare undersöka möjligheten att konvertera fossildrivna bilar för en grönare framtid.

Källförteckning

AccelerationTimes. (u.å). *1966 AC Cobra 427 specs.*

Hämtad 2020-02-20, från <http://accelerationtimes.com/models/ac-cobra-427>

Alatalo, M (2018). *Axial flux machine as a traction motor for electric and hybrid vehicles.* Chalmers University of Technology

Hämtad 2020-03-02, från https://research.chalmers.se/publication/508121/file/508121_Fulltext.pdf

Ahssan, R., Ektesabi, M.M., & Gorji S.A. (2018) *Electric Vehicle with Multi-Speed Transmission: A Review on Performances and Complexities.* SAE International Journal of Alternative Powertrains.

Hämtad 2020-03-12, från https://www.researchgate.net/publication/329749410_Electric_Vehicle_with_Multi-Speed_Transmission_A_Review_on_Performances_and_Complexities

ARADEx. (u.å). *Gearbox vs. direct drive: a comparison.*

Hämtad 2020-03-15, från <https://www.aradex.de/en/system-solutions/whitepaper-power-electronics/gearboxes-vs-direct-drive/>

Automobile Catalog. (u.å-a). *1963 Ford Galaxie Lightweight 427.*

Hämtad 2020-02-02, från https://www.automobile-catalog.com/car/1963/798275/ford_galaxie_lightweight_427.html

Automobile Catalog. (u.å-b). *1965 Shelby Cobra 427 tire and wheel sizes.*

Hämtad 2020-05-05, från https://www.automobile-catalog.com/tire/1965/212855/shelby_cobra_427.html

Burenius, J. & Lindstedt, P. (2003). *The Value Model: How to master product development and create unrivalled customer value.* Ödesborg: Nimba.

Butcher, L. (2014, 9 juli). EV transmissions. *High Power Media.* Hämtad 2020-03-20, från <https://www.highpowermedia.com/Archive/category/transmission/ev-transmissions>

Carfolio. (2013). *1966 AC Cobra 427 specifications.*

Hämtad 2020-02-15, från <https://www.carfolio.com/specifications/models/car/?car=51678>

Carlquist, C. (2016). Klassikern: Shelby Cobra. *Vi bilägare*

Hämtad 2020-02-09, från <https://www.vibilagare.se/klassiska-bilar/klassikern-shelby-cobra>

Car Memories. (u.å). *Ford 427 428 429 Specs*

Hämtad 2020-05-05, från <https://www.carmemories.com/ford-engine-specifications/ford-427-428-429-specs/>

Classic Pony Cars. (u.å). *Carroll Shelby's AC Cobras.*

Hämtad 2020-03-15, från <https://classicponycars.com/cobra.html>

- Dellis.N. (2016, 23 mars). 1966 Shelby Cobra 427 S/C. *Supercars*.
Hämtad 2020-03-22, från <https://www.supercars.net/blog/>
- Dinger, A., Martin, R., Mosquet, X., Rabl, M., Rizoulis, D., Russo, M., Sticher, G. (2020). *Batteries for Electric Cars. Challenges, Opportunities, and the Outlook to 2020*.
Hämtad 2020-03-26, från <https://www.bcg.com/documents/file36615.pdf>
- Elluttag. (u.å.). *Sverige har eluttag av typ C / F*.
Hämtad 2020-04-15, från <http://www.eluttag.se/Sverige>
- EV West. (u.å.-a). *Tesla Model S Lithium Ion Battery 18650 EV Module - 22.8 Volt, 5.3 kWh*
Hämtad 2020-03-20, från https://www.evwest.com/catalog/product_info.php?cPath=4&products_id=463&osCsid=d72rc2pqscfeekfhd6vispogl3
- EV West. (u.å.-b). *LG CHEM Lithium Ion Battery - 60.8V, 2.6kWh*
Hämtad 2020-03-21, från https://www.evwest.com/catalog/product_info.php?cPath=4&products_id=481&osCsid=d72rc2pqscfeekfhd6vispogl3
- EV West. (u.å.-c). *CALB 100 Ah SE Series Lithium Iron Phosphate Battery*
Hämtad 2020-03-24, från https://www.evwest.com/catalog/product_info.php?cPath=4&products_id=51&osCsid=d72rc2pqscfeekfhd6vispogl3
- EV West. (u.å.-d) *Elcon PFC2500 Charger*.
Hämtad 2020-04-24, från https://www.evwest.com/catalog/product_info.php?cPath=12&products_id=98&osCsid=spfnf4cnm12qumj4jadpmpd516
- Fujikura Technical Review. (2013, mars). *Wiring harnesses for Next Generation Automobiles*
Hämtad 2020-04-08, från https://www.fujikura.co.jp/eng/rd/gihou/backnumber/pages/_icsFiles/afieldfile/2013/05/23/42e_20.pdf
- Garcia. J. (2018, 15 december). *356 Porsche Speedster Electric Car Build - EVoutpost [Videofil]*.
Hämtad 2020-03-12, från https://www.youtube.com/watch?time_continue=561&v=7z0eBYIeAkg
- Hurricane Motorsport. (u.å.). *Frame*.
Hämtad 2020-04-22, från <http://hurricane-motorsports.com/427-roadster/standard-parts/frame/>
- International Organization for Standardization. (2018). *Passenger car, truck and bus tyre rolling resistance measurement method — Single point test and correlation of measurement results* (ISO Standard No. 28580:2018). <https://www.iso.org/standard/67531.html>
- Klassiker. (2009, 8 oktober). *Grattis Cobra!* [Elektronisk bild]
Hämtad 2020-02-03 från <https://www.klassiker.nu/namnsdagsbilen/grattis-cobra-359>
- Learn Engineering. (2017, 30 maj). *How does an Electric Car work ? | Tesla Model S [Videofil]*.
Hämtad 2020-03-18, från <https://www.youtube.com/watch?v=3SAxXUIre28&t=432s>

- Learn Engineering. (2014, mars 9). Working of Synchronous Motor. *Learn Engineering* [Video]. YouTube.
Hämtad 2020-03-02, från <https://www.youtube.com/watch?v=Vk2jDXxZIhs>
- NorthWest Fabworks. (u.å.), *NWF BlackBox Underdrive*
Hämtad 2020-04-19, från http://www.northwestfab.com/NWF-BlackBox-Underdrive_c_7.html
- Mahmoud Khalid. (2020). *Qss Toolbox*, MATLAB Central File Exchange.
Hämtad 2020-04-01, från <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/73483-qss-toolbox>
- MathWorks (u.å). *Longitudinal Wheel*
Hämtad 2020-03-29, från <https://se.mathworks.com/help/autoblks/ref/longitudinalwheel.html>
- Moreels, D. (2018 31 Jan). *Axial Flux vs Radial Flux: 4 Reasons Why Axial Flux Machines have a Higher Power Density* [Elektronisk bild].
Hämtad 2020-04-20, från <https://www.magnax.com/magnax-blog/axial-flux-vs-radial-flux.-4-reasons-why-does-axial-flux-machines-deliver-a-higher-power-density>
- Preem. (2019, maj). *Bensin 95 och Bensin 98*
Hämtad 2020-05-03, från <https://www.preem.se/contentassets/07d60593be8d4d528cc15acde6d73910/bensin-95-bensin-98.pdf>
- Rabe, M. (2017, 29 maj). Elbilars batterier påverkar klimatet kraftigt. *Teknikens Värld*
Hämtad 2020-02-05, från <https://teknikensvarld.se/elbilars-batterier-paverkar-klimatet-kraftigt-481493/>
- Regeringskansliet. (2018). *Sverige ska bli ett fossilfritt välfärdsland*.
Hämtad 2020-01-27, från <https://www.regeringen.se/artiklar/2018/06/sverige-ska-bli-ett-fossilfritt-valfardsland/>
- Remmers, J. (2017, 17 april). E-Drive Retro: Framtidsanpassade bakåttsträvare. *Klassiker*
Hämtad 2020-02-15, från <https://www.klassiker.nu/reportage/e-drive-retro-framtidsanpassade-bakatstravare>
- RETRO-EV. (u.å). *MG. MGA E-ROADSTER. MGA E-COUPÉ* Hämtad 2020-02-15, från <http://retro-ev.com/mga>
- Silicon Lightworks. (2019). *Li-ion Voltage Analysis*
Hämtad 2020-04-15, från <https://siliconlightworks.com/li-ion-voltage>
- Smith, D.B. (u.å). *The Ultimate Guide to Cobra Kit Car Manufacturers*.
Hämtad 2020-04-22, från <https://www.diyford.com/ultimate-guide-cobra-kit-car-manufacturers/>
- Summit Racing. (u.å.-a). *1966 SHELBY COBRA Ring and Pinion gears*
Hämtad 2020-04-19, från <https://www.summitracing.com/int/search/year/1966/make/shelby/model/cobra/part-type/ring-and-pinion-gears?SortBy=BestKeywordMatch&SortOrder=Ascending>

- Summit Racing. (u.å.-b). *American Powertrain Tremec TKO 600 Manual Transmissions TCET-5008*
Hämtad 2020-04-20, från <https://www.summitracing.com/parts/awr-tcet5008>
- Summit Racing. (u.å.-c). *Brinn Original Two Speed Transmissions 70001*
Hämtad 2020-04-20, från <https://www.summitracing.com/parts/brn-70001>
- Suni, A. (2017, 19 oktober). Metall från Kongo nyckel till batteriföretagens framgång. *Svenska Dagbladet*
Hämtad 2020-02-05, från <https://www.svd.se/metallen-fran-kongo-nyckel-till-northvolts-framgang>
- Tbear, S. (2011 26 augusti). *Vintage Shelby Cobra* [Elektronisk bild]. Hämtad från: <https://www.flickr.com/photos/sptphotographe/11274920056/>
- TCI Auto. (u.å.). *Automatic Transmission Dimensions*.
Hämtad 2020-04-30, från <https://www.tciauto.com/trans-dim#TH350>
- Thunderstruckmotors. (u.å.). *Curtis ET-126*.
Hämtad 2020-04-29, från <https://www.thunderstruck-ev.com/curtis-et-126.html>
- Trafikanalys. (2018). *Fordon 2017* (Sammanfattning av statistiken ur: Fordon 2017 - statistik 2018:5).
Hämtad från https://www.trafa.se/globalassets/statistik/vagtrafik/fordon/2018/fordon_2017_blad.pdf
- Trafikanalys. (2020). *Fordon 2019* (Sammanfattning av statistiken ur: Fordon 2019 - statistik 2020:5).
Hämtad från https://www.trafa.se/globalassets/statistik/vagtrafik/fordon/2020/fordon_2019.pdf
- TREMEC. (2016). *TREMEC: 2016 PERFORMANCE PRODUCT GUIDE* [Produktblad]. TREMEC.
Hämtad 2020-04-30, från <https://www.tremec.com/anexos/File/TREMEC-Performance.Product.Guide.pdf>
- Primecom.Tech. (2019, mars 14). *WHAT TYPES OF MOTORS ARE USED IN ELECTRIC VEHICLES?*
Hämtad 2020-03-02, från <https://www.primecom.tech/blogs/news/what-types-of-motors-are-used-in-electric-vehicles>
- WASAAC (Washington Shelby American Automobile Club). (u.å.). 260 / 289 Cobra Borg Warner T10 Identification, Gear Ratios & Tooth Counts
Hämtad 2020-02-15, från <http://wasaac.org/techdocs/T10.pdf>
- WLTP facts. (u.å.). *What is WLTP and how does it work?*
Hämtad 2020-04-15, från <https://www.wltpfacts.eu/what-is-wltp-how-will-it-work/>
- Zubi, G., Dufo-López, R., Carvalho, M. and Pasaoglu, G. (2018). *The lithium-ion battery: State of the art and future perspectives. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 89, pp.292–308*. Hämtad 2020-03-26, från <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032118300728>

Bilagor

A Målformulering

Målet med detta projekt är att under våren 2020, med slutpresentation den 26:e Maj, teoretiskt konvertera drivlinan i en AC Cobra till en elektrisk drivlina. Detta skall ske genom ett strukturerat produktutvecklingsarbete och görs för lärande och undersökandet av möjligheter för en fossilfri framtid.

B Kundundersökning

Kundundersökning elektrisk drivlina till klassisk sportbil

Vilket veteranfordon äger du?

Caterham R400, Caterham SV 485R, 2st Ginetta G20R

Saab sport Mb 200

Ferrari 308-85, Porsche 928-87 med flera.

BMW motorcykel

Porsche 944

många. Men en Cobra kan ju vara nybyggd. Det är skillnad på hobbyfordon och museifordon

Pegasus Super Seven Plus

Ingen just nu

Lotus Cortina mk1 x 2, Porsche 930, Ferrari 308, Marcos 1600, Lotus Cortina MK2 och fler

Lotus Seven

Ford Cortina MK1

Alfa Romeo Alfetta

ja

Mg tf

Super seven och saab 900 v6 som klassas som blivande klassiker

Volvo 1800E 1972

Ac Cobra och några till

Vw 1600 tl

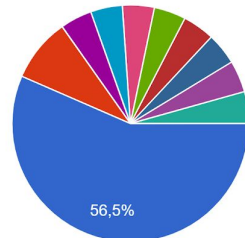
Porsche turbo 1984

AC Cobra

Replica av tidig AC Cobra 289 "Slabside"

Vad är det viktigaste för dig med din veteranbil?

23 svar

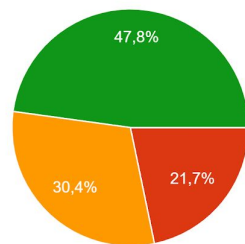


- Körglädjen
- Utseendet
- Prestanda
- Sammanhållningen i veteranklubben
- Körglädje prestanda och klubbens nät...
- Mysiga utflykter
- Allt ovan inkl ljudet är lila viktiga delar...
- Alla svaren ovan

▲ 1/2 ▼

Hur ofta använder du ditt veteranfordon?

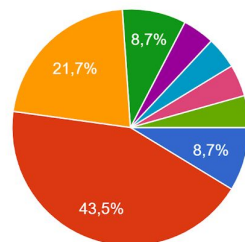
23 svar



- Dagligen
- Nån gång i veckan
- Nån gång i månaden
- Några gånger per år
- Mindre än en gång per år

Vad använder du främst din veteranbil till?

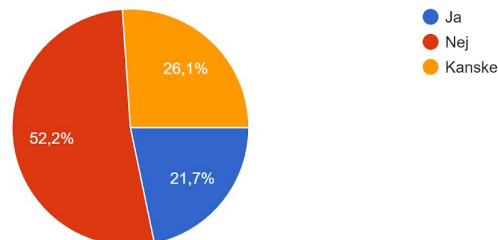
23 svar



- Racing på bana
- Nöjeskörning
- Klubbträffar
- Vardagsfordon
- Ginnettorna är rena racers ej gatureggade, Caterhamarna bara nöjeskörning och klubbevent
- Alla dom tre översta
- Alla överstående alternativ
- En kombo av alla fyra

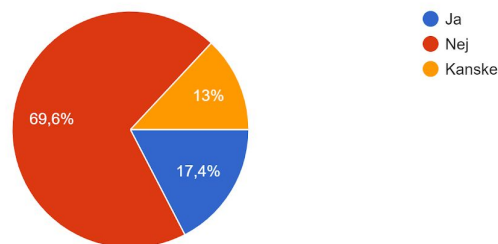
Skulle du kunna tänka dig att köpa en ny elbil idag?

23 svar



Hade du varit intresserad av att konvertera drivlinan i ditt veteranfordon till en elektrisk drivlina?

23 svar



Om ja. Vad är den främsta anledningen till att du kan tänka dig att konvertera till en elektrisk drivlina?

redan 2008 i samband med lansering av Tesla roadster funderade jag på en elCaterham. Varför! bara för att se om det gick och ha en snabbare bil än Teslan.

bränslet börja snart passera smärtgränsen

Driftsäkerhet, Miljö.

Det ligger i tiden, visa andra att hobbyfordon kan vara klimatsmarta och jag vill vara med o påverka utvecklingen åt det hållet

Om nej. Dom få milen gör att den blir ett riktigt miljösvin med så stora batterier

Det förstör originalutförande och sänker troligen värdet. Det skulle bli tung vilket skulle påverka köregenskaper negativt. Tveksamt om hur det fungerar med regbesikning och godkännande. Skulle troligen bli dyrt.

El är ingen slutlig lösning.

Historiskt intressanta fordon är det synd att förstöra. Dom går väldigt få mil så nyttan med batterier kan verkligen ifrågasättas ur miljösynpunkt. Eldrift har fortfarande många olösta

tekniska frågor. När vi redan idag har problem med att startbatterierna dör över vintern. Dessutom är eldrift ännu inte sant cirkulärt då frågan om återvinning av batterier inte är löst. Bättre att köra på vanligt fossilfritt bränsle. Eller att konvertera till fossilfri etanol. Det finns ju att köpa så.....I mitt vardagsfordon har jag kört biogas i 15 år! Dvs fossilfritt med låga emissioner. Och cirkulärt och lokalt producerat.....

Vikt, kostad och upplevelsen på en gammal sportbil kommer är förstöras. En bruksbil av nyare sort eller en stor veteran bil som jaguar skulle jag kunna tänka mig el.

Många anledningar! Som att ta själen ur bilen, gör en annars mekanisk lätt underhållen maskin känslig och dålig. Uttagning av Kobalt förstör halva Afrika, brand, Dålig känsla vid körning, samhällsmässigt ohållbart utveckling...

Jag är inte emot det, har bara inte undersökt möjligheterna.

Det som dock kan vara problematiskt är att hålla ner vikt. En bil som denna bygger på lågt vikt. En bil med låg vikt går fortare i kurvor.

Jag har dock för mig att Westfield har någon elvariant på Lotus Seven.

Den är avsedd för historisk racing och därför bara godkänd i originalutförande

En stor del av bilens själ är i förbränningsmotorn.

Då försvinner allt vad som har med Historisk att göra. Vi har ett kulturarv att ta hand om. Ni är totalt fel ute med det här. Det lilla som denna grupp skulle smutsa ner är inte ens mätbart. Jag är för att förbättra miljön men det här är att sila elefanter och jaga mygg. Jag installerar idag elmotorer i båtar och byter ut gamla dieslar från 60, 70, och 80talet. rör inte våra veteranbilar.

Hoppas verkligen att cobran inte är en originalbil

Motorljudet. Men en annan typ av bil tex en bubbla hade varit trevligt att el konvertera.

Det är ännu inte tillräckligt utvecklat. Miljö påverkan relativt en effektiv diesel är större om man ser livscykel. Sverige kan inte leverera El om alla har el bil och det är en måndag morgon med 20 graders kyla. Om vi behåller och utökar kärnkraft kan denna ekvation gå ihop inte annars

Skulle ju fördärva hela syftet med veteranbilen, sedan vill man ju värna miljön oxå.

Kommer inte vara en säker bil, ingen plats för batteri. Om man skulle tynga ned bilen är den inte designad för vikten. Det finns krav på chassi, hållfasthet, bromsar, etc. maxvikt. Det finns många fler skäl!!

Ofta är ju mina körningar på sommaren 300-400 km vilket kommer att kräva 70-80kwh batteri.

Blir ingen bra kombination. Skulle inte lägga något jobb på att konvertera gamla bilar, skall designas med rätt kravspecifikation från start. Att bygga om något enstaka fordon för skoj skull är något annat, bara för att visa att det går. Vad kan man räkna med för range? På ett ombyggt fordon, utan att ge avkall på säkerhet och krav.

Ser ingen anledning till det. Men att bygga en eldriven bil från start är en annan sak.

Om kanske. Vad är det som får dig att tveka över att konvertera till en elektrisk drivlina?

Priset

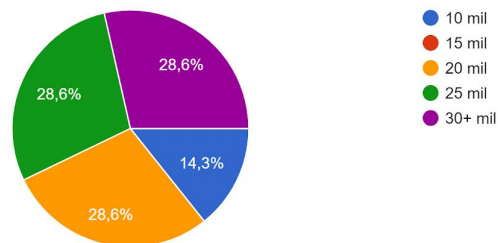
Kostnaden och viktökningen.

Risk att tappa känslan som finns idag, risk att få en sämre prestanda.

Specifika Kriterier

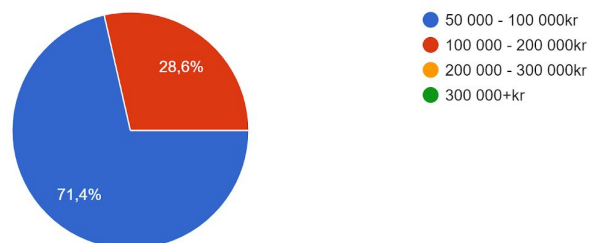
Hur långt måste bilen klara av att köra på el?

7 svar



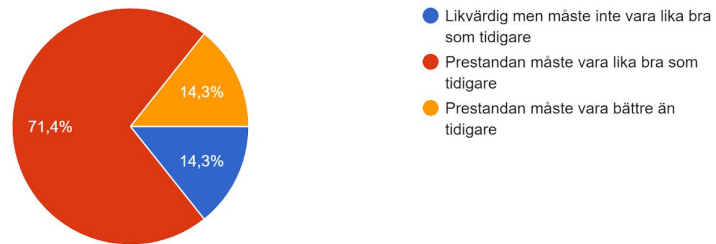
Vad skulle du kunna tänka dig att betala för att konvertera din bil till el?

7 svar



Vad har du för förväntan på prestandan vid en elektrisk konvertering? Alltså saker som acceleration, toppfart och väghållning.

7 svar



Vad är viktigast att bibehålla från tidigare?

7 svar

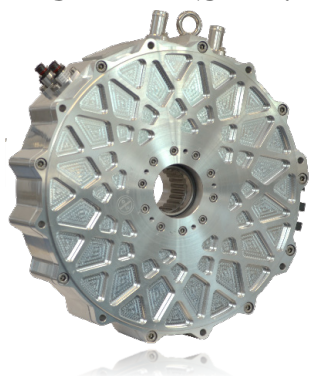


Övriga kommentarer

Bekvämlighet med en tyst elmotor.

Kul och intressant projekt, lycka till!

C YASA 750R



YASA 750R E-Motor

YASA motors and generators are the smallest and lightest in their performance class. Based on YASA's unique Yokeless and Segmented Armature topology, the motors use less materials more efficiently to provide higher torque and power densities than any comparable motor or generator.

The YASA 750 R is a lower-speed, high-torque motor with leading torque and power densities. The YASA 750 R offers 790Nm of peak torque, 200kW of peak power, and a speed range of 0-3250rpm all within an axial length of just 98mm.

The YASA 750 R is a high torque motor that has been developed from the proven YASA 750 and features a revised mechanical design for easier installation and integration, including additional mechanical strength and rigidity.

YASA 750 R Motor / Generator:

Peak Torque @ 450 A _{RMS}	790 Nm
Peak Power @ 700 V _{DC}	200 kW
Peak Power @ 400 V _{DC}	100 kW
Continuous Torque (40°C coolant)	400 Nm
Continuous Power @ 3000 rpm (40°C coolant)	Up to 70 kW
Speed	0 – 3250 rpm
Peak Efficiency	>95%
Mass	37 kg

- Best-in-class torque and power density. Peak power density >5 kW/kg
- Dimensions just 368mm (D) x 98mm (L)
- Through-shaft mounting, may be stacked for increased torque and power
- Integrated position and temperature sensors

Applications where the YASA 750 R excel include:

- Traction motors.
For on-road, off-road, rail and marine transport.
Full electric, hybrid and range-extended vehicle designs where minimum volume and mass are key requirements.
- Generation.
Especially where size and weight are important in mobile and variable speed generation.
- Hydraulic replacement. Compact and efficient alternatives for hydraulic motors and starters.



AUTOMOTIVE



OFF ROAD



MARINE



INDUSTRIAL



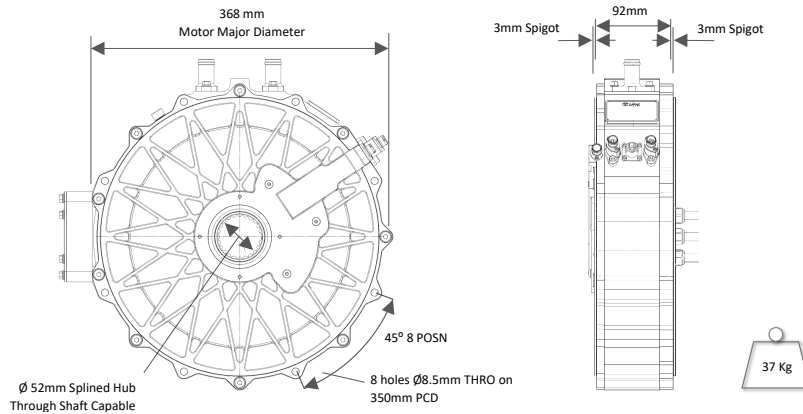
AEROSPACE



MOTORSPORT

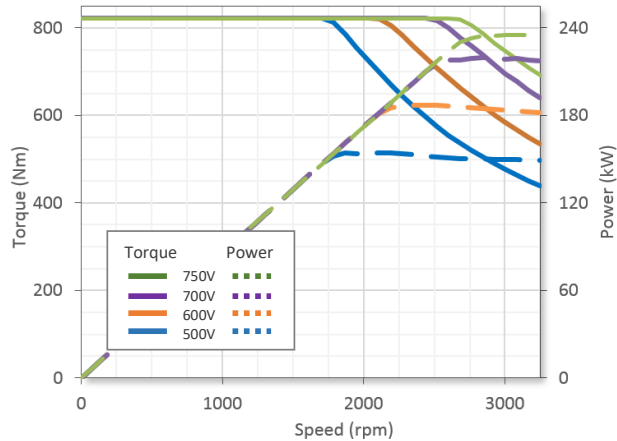
The YASA 750 R is available in a range of torque, power and mechanical configurations. Please call +44 (0) 1865 952100 or email sales@yasa.com to discuss your requirements.

Mechanical

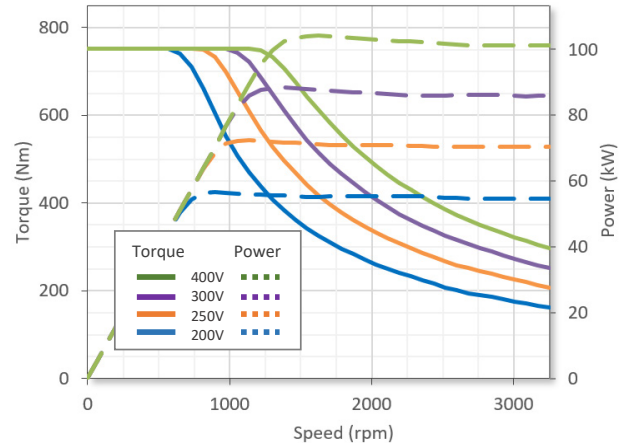


Example peak electrical performance

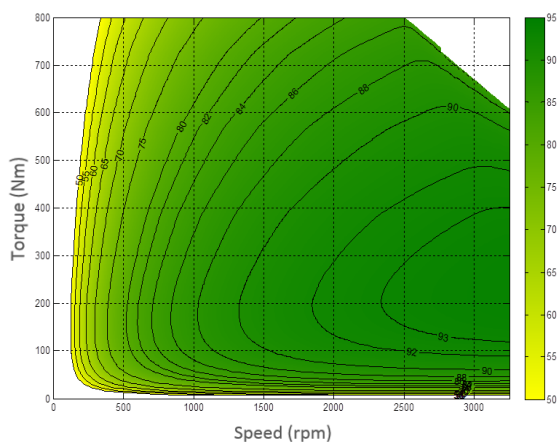
With 800 Vdc & 450 Arms Controller



With 400 Vdc & 400 Arms Controller



Combined Motor AND Controller Efficiency



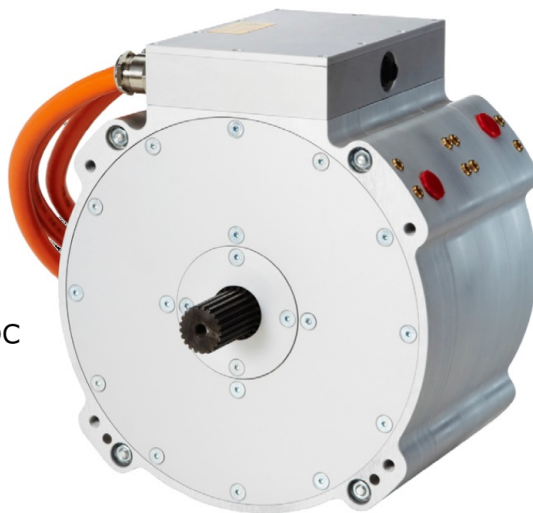
Specifications are based on dynamometer test data with coolant at 60°C (inlet), 20 L/m and in a 30°C ambient unless stated otherwise.

Actual performance will vary with drive cycle, cooling and installation details.

Please **contact us** to discuss your application requirements. We can then supply detailed information on the YASA products and options that may be suitable for you.

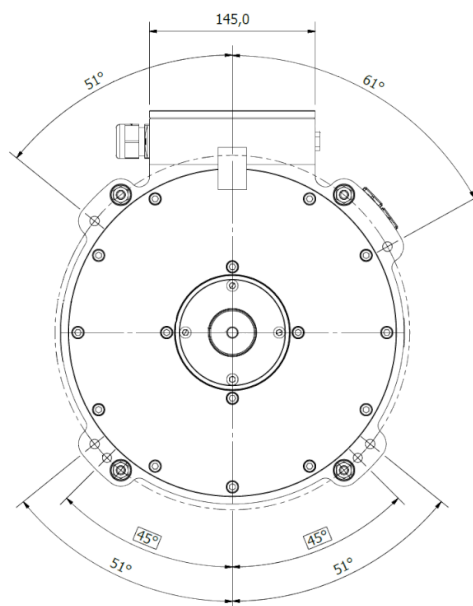
Key Features

- Very high torque and power density, 4.9 kW/kg* off the shelf and >10 kW/kg achievable in custom applications[†]
- >95% efficiency.
- Low cogging and low ripple torque gives smooth, quiet operation in direct drive applications
- Low inertia composite rotor with excellent rotor dynamic stability
- Suitable for inverter supply voltages up to 800 VDC
- Compact design with flat front & back faces for mounting
- Liquid cooling for enhanced performance, using water/glycol for simplified system integration
- Integrated PT100 temperature sensors and sin/cos resolver compatible with most commercially available inverters
- Through shaft and customised versions available[†]



Specifications at 600 VDC^{††}

PM Synchronous Axial Flux Motor	AF 230
Maximum Speed (rpm)	8000
Nominal Torque (Nm)	290
Peak Torque - for up to 60s (Nm)	500
Peak Torque - for up to 20s (Nm)	700
Nominal Output Power (kW)	128
Peak Output Power - for up to 60s (kW)	200
Peak Output Power - for up to 20s (kW)	280
Coolant Flow Rate (litre/min)	8
Length (mm)	212
Diameter (mm)	300
Weight (kg)	57.5



*Weight as delivered (fully dressed, dry)

[†]Please contact info@avidtp.com for details on our bespoke design service.

^{††}All values in table are quoted for 45 °C ambient with coolant at 55 °C inlet temperature and 8 l/min flow rate.

www.AVIDTP.com

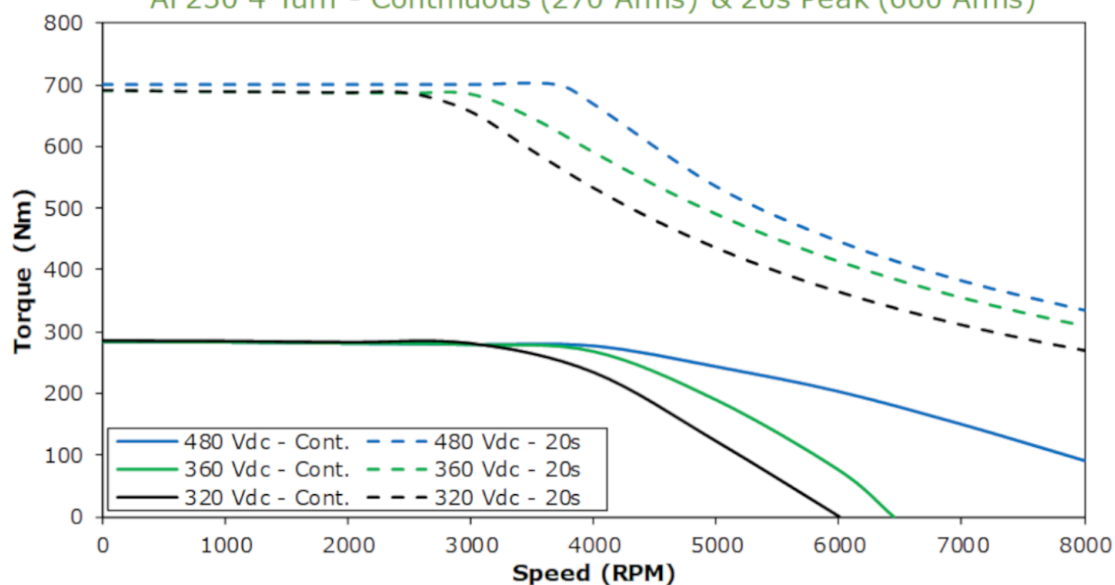
Tel: +44 (0)1670 707040

E-Mail: info@avidtp.com

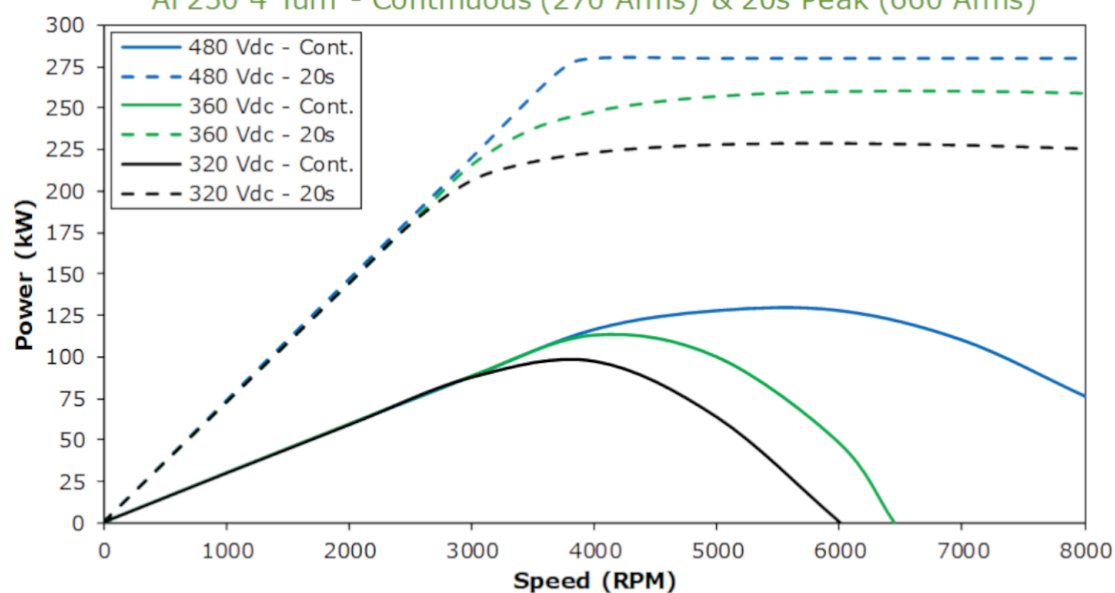
Address: Unit 3D, Admiral Business Park, Nelson Way, Cramlington, Northumberland, NE23 1WG, United Kingdom.



AF230 4 Tum - Continuous (270 Arms) & 20s Peak (660 Arms)



AF230 4 Tum - Continuous (270 Arms) & 20s Peak (660 Arms)



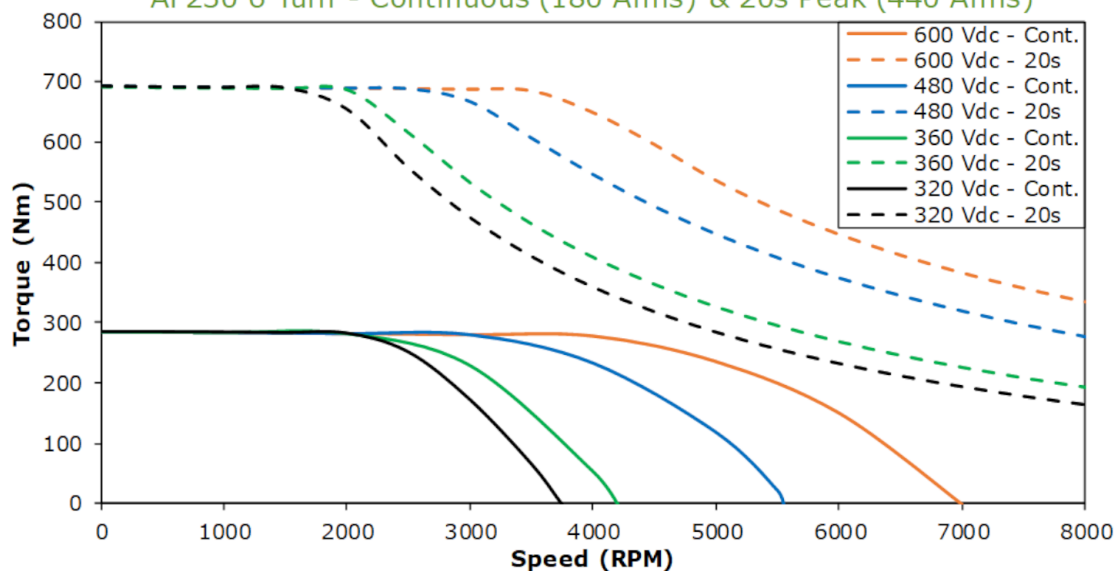
www.AVIDTP.com

Dimensions and specifications are subject to change and are for indication only.

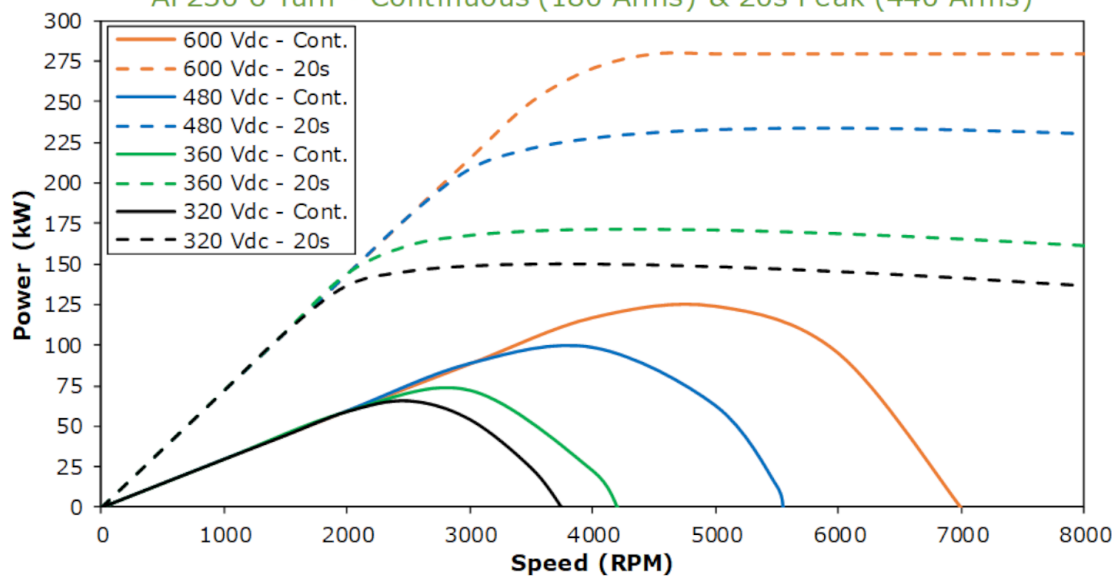
©2019 AVID Technology Ltd. All rights reserved.



AF230 6 Turn - Continuous (180 Arms) & 20s Peak (440 Arms)



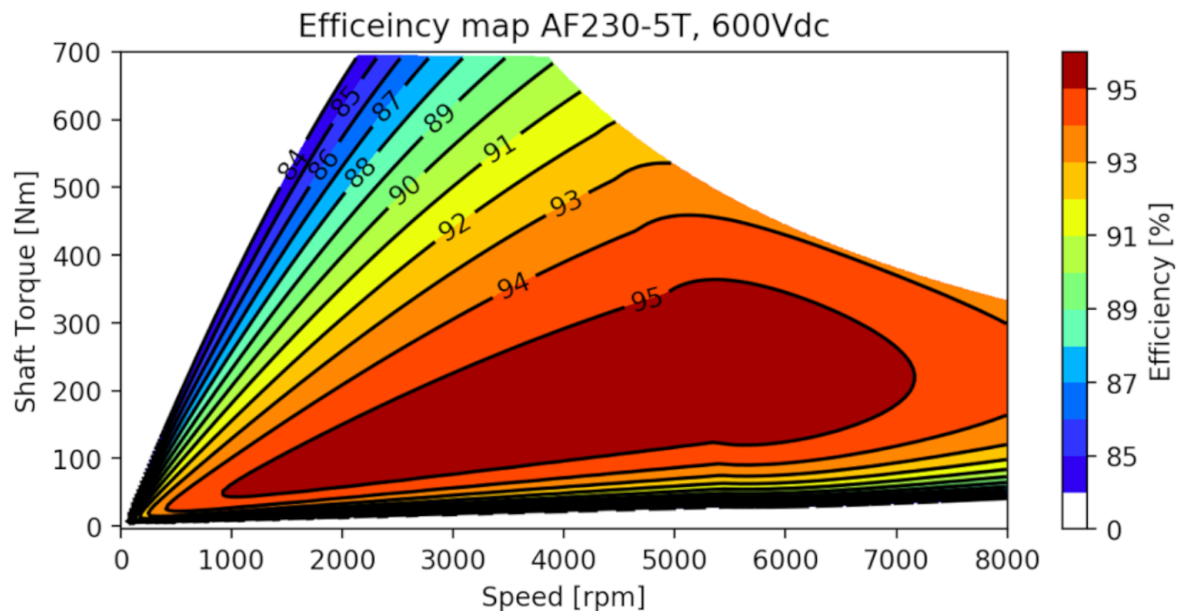
AF230 6 Turn - Continuous (180 Arms) & 20s Peak (440 Arms)



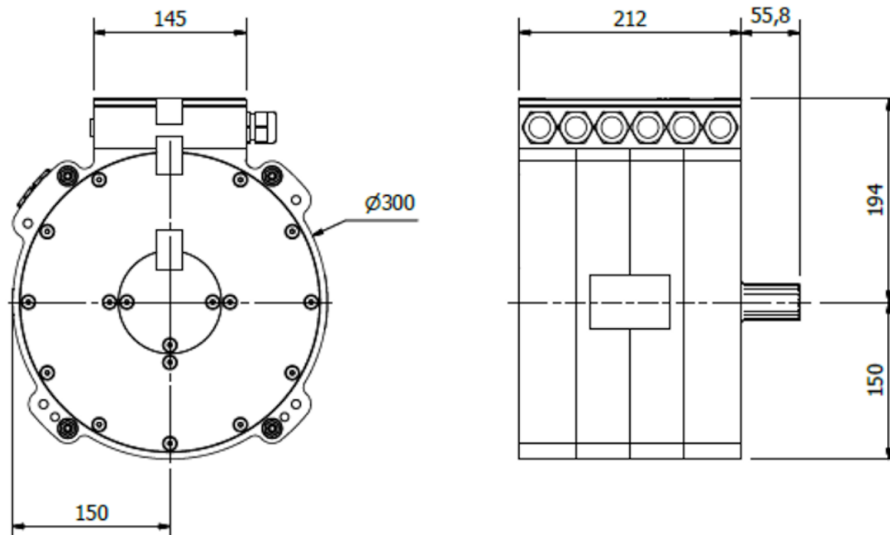
www.AVIDTP.com

Dimensions and specifications are subject to change and are for indication only.

©2019 AVID Technology Ltd. All rights reserved.



All graphs show performance when operating at 45°C Amb & 55°C inlet coolant temp and 8l/min flow rate



www.AVIDTP.com

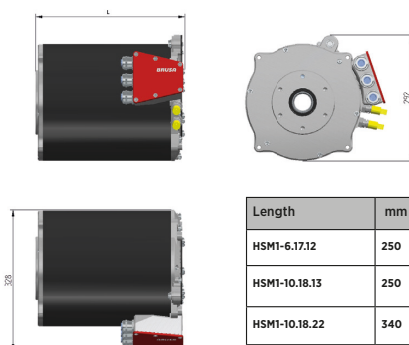
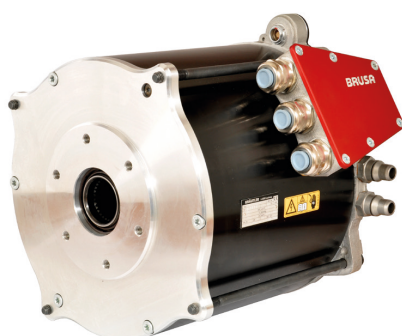
Dimensions and specifications are subject to change and are for indication only.

©2019 AVID Technology Ltd. All rights reserved.



HSM1 - Hybrid Synchronous Motor

Optimum performance from zero speed



Length	mm
HSM1-6.17.12	250
HSM1-10.18.13	250
HSM1-10.18.22	340

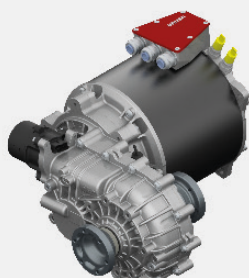
Optimum safety

- Intrinsically safe (induced voltage at max. speed and passive inverter < 520 V)
- Low short circuit torque
- Integrated overload protection against overheating
- Temperature-derating for self-protection of the engine

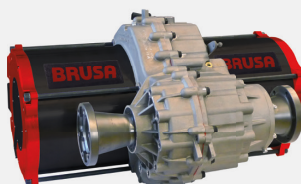
Technical highlights

- Very good power density
- Minimal torque ripple
- Minimal drag losses
- Dynamic torque control through high PWM frequency
- Constant power and high efficiency over a very wide speed range
- Continuous power up to 145 kW
- Optimally matched to the motor inverters available

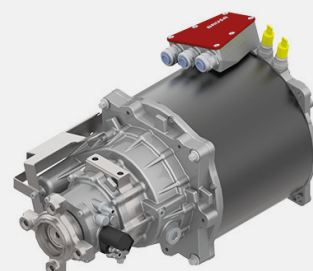
**Single Offset
Traction Drive (DTSO1)**



**Double Offset
Traction Drive (DTD01)**



**Single Planetary
Traction Drive (DTSP1)**





BRUSA

Specifications HSM1

Performance data at 400 V_{DC}

	HSM1-6.17.12	HSM1-10.18.13	HSM1-10.18.22	
Nominal speed	4'200	4'900	4'400	rpm
Continuous torque (ECE R85) at 25°C	130	165	270	Nm
Max. torque at max. inverter current	220 / 320	305 / 385	460	Nm
Continuous power (ECE R85) at 25°C	70	93	145	kW
Max. power at max. inverter current	96 / 120	156 / 185	220	kW
Max. speed	12'000	13'000	12'000	rpm

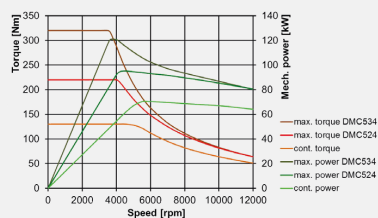
Basic electrical data

Compatible inverter	DMC524 / 534	DMC534 / 544	DMC544	--
Recommended input voltage of device (min. / max.)	300 - 450	300 - 450	300 - 450	V
Typ. efficiency	95	95	95	%
Number of pole pairs	3	5	5	--
Number of turns	7	9	6	--
Insulation class	H	H	H	--
Nominal frequency (400 V _{DC})	210	408	367	Hz
Max. frequency	600	1'083	1'000	Hz
Cos(φ) (typical) at cont. power	0.94	0.94	0.94	--
Recommended cable diameter phase U, V, W and GND	35	50	70	mm ²

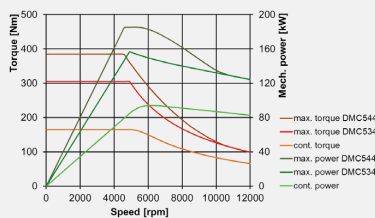
Mechanical data / Cooling system

Weight without gearbox	51.5	51.0	76.0	kg
Rotor inertia torque	0.06	0.06	0.11	kgm ²
IP-protection	IP67	IP67	IP67	--
Coolant flow rate	6 - 8	6 - 8	6 - 8	l/min
Pressure drop at 6 l/min, coolant temperature = 25°C	150	150	180	mbar
min. / max. coolant temperature at inlet	- 40 / + 65	- 40 / + 65	- 40 / + 65	°C

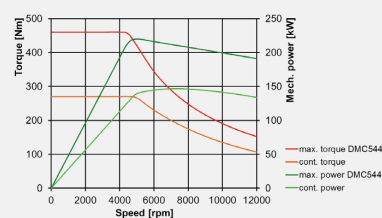
HSM1-6.17.12



HSM1-10.18.13



HSM1-10.18.22



Each possible configuration at 400 V_{DC} and at 25°C.

www.brusa.biz

BRUSA Elektronik AG
Neudorf 14
CH-9466 Sennwald
+41 81 758 19 00
info@brusa.biz

F Sevcon gen 4 size 10

SEVCON[®]
Electrification Partner

Gen4 Size 10

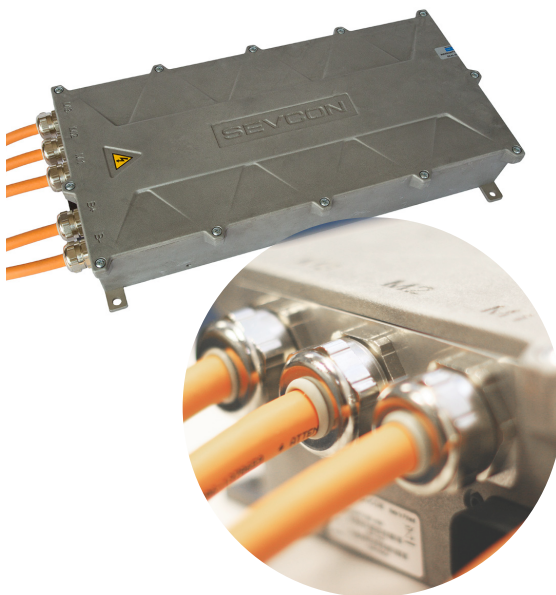
AC Motor Controller

An AC motor controller designed to meet the high performance requirements of on-road and off-road Electric (EV) and Hybrid Electric Vehicles (HEV).

A compact, rugged and cost effective design, the Gen4 Size 10 is well suited for EV OEMs, EV conversions and EV drive train system integrators. Its high voltage range, up to 800VDC, is well matched to the needs of the automotive and commercial transport markets. The same hardware platform handles both AC Induction and Permanent Magnet AC motor technologies.

Features

- AC Permanent Magnet synchronous motor
- AC Induction motor
- Up to 800VDC peak supply voltage
- Up to 300kW peak power output
- Up to 150kW continuous power output
- Advanced flux vector control
- Integrated logic circuit
- Includes an additional dedicated safety supervisory processor
- 12V or 24V nominal supply
- Designed for ISO26262 ASIL C compliance
- Safety interlock pulsed enable signal



Key Parameters

- Operating voltage range at full current 50V to 800V
- Output motor phase current:
 - o 400A rms (2 min)
 - o 200A rms (Continuous)
- Water/Glycol coolant. Oil cooling available, contact Sevcon
- Safety:
 - o Electrical safety to ISO 6494, IEC 60664 and UL840
 - o Functional safety to ISO26262
 - o Pulsed safety enable input
 - o Pulsed status output
- Environmental:
 - o -40°C to +85°C operation
 - o IP6k9k and IP67 protection
 - o ISO 16750
- 12V or 24V nominal supply
- Weight: 10.9kg

Multiple Motor Sensor Feedback Options

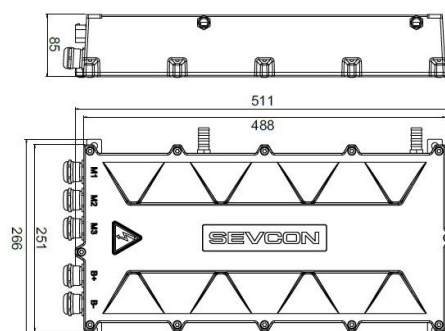
Gen4 Size 10 provides a number of motor feedback possibilities from a range of hardware inputs and software control, allowing a great deal of flexibility.

- Absolute UVW encoder input
- Absolute Sin/Cos encoder input
- Incremental AB encoder input
- Resolver input
- Programmable 5V to 10V encoder power supply

Integrated I/O

Gen4 Size 10 includes a fully-integrated set of inputs and outputs (I/O) designed to handle a wide range of vehicle requirements. This eliminated the need for additional external I/O modules or vehicle controllers and connectors.

- All I/O protected to 40V
- 4 analogue inputs 0-10V
- 4 digital inputs
- 3 power supplies 0-10V 100mA
- 3 digital outputs PWM max 2A



Other Features

- A CANopen bus allows easy interconnection of controllers and devices such as displays and driver controls
- The CANbus allows the user to wire the vehicle to best suit vehicle layout since inputs and outputs can be connected to any of the controllers on the vehicle and the desired status is passed over the CAN network to the relevant motor controller
- The Gen4 Size 10 controller can dynamically change the allowed battery current by exchanging CAN messages with a compatible Battery Management System
- Configurable as vehicle control master or motor slave

Configuration Tools

Sevcon offers a range of configuration tools for the Gen4 Size 10 controller, with options for Windows based PC or calibrator handset unit. These tools provide a simple yet powerful means of accessing the CANopen bus for diagnostics or parameter adjustment. The handset unit features password protected access levels and a customized logo start-up screen.



For more
information visit
sevcon.com

DMC5 - High Power Inverter

The solid, powerful basis for electric motors



Safe in all respects

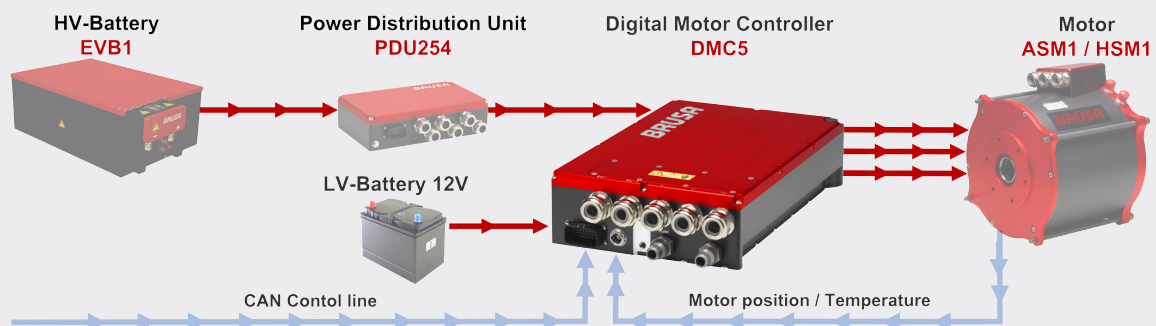
- Control of all types of three - phase motors
- Prepared design for ISU - integration according to ISO26262 (optional)¹
- Passive interlock
- Fully galvanic separation between HV and LV
- High IP - protection

Advanced technology

- Resonant SoftSwing® topology for minimal switching losses
- Very compact and lightweight design
- Patented Liquid Pin® cooling system for optimal temperature behavior and best performance
- Individual programmable motor tables for control of electric motors
- CAN interface
- User software CVI in delivery

¹ = Not DMC544

Example of use





BRUSA

Specifications DMC5x4

Power supply HV and LV

	DMC514	DMC524	DMC534	DMC544	
Min. input voltage KI. 15 (switch on DMC)	6	6	6	6	V
Min. input voltage KI. 15 (automatically shut down DMC)	2	2	2	2	V
Range HV - input voltage for operation	120 - 450	120 - 450	120 - 450	120 - 450	V
Min. HV - input voltage for full current output	200	200	200	200	V
X - capacity (for pre - charging HV)	200	380	560	740	μF
Y - capacity (for dimensioning isolation guard)	98 + 98	128 + 128	158 + 158	188 + 188	nF
Recommended conductor size U, V, W, HV*, HV*	25	35	50	70	mm²

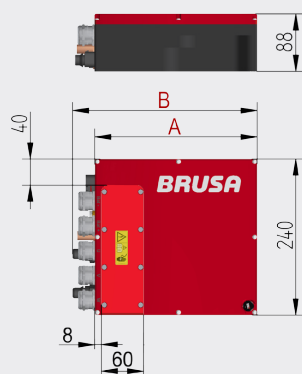
Three phase output U, V, W (R, S, T)

	DMC514	DMC524	DMC534	DMC544	
Continuous RMS current (I _{ACcont})	112	225	337	450	A
Periodic cycle with max. current 30 s 100%, 90 s 50%	150	300	450	600	A
Continuous power	39	79	118	160	kW
Max. power	52	105	157	212	kW
Efficiency	0.97	0.97	0.97	0.97	---

Thermal & mechanical data

	DMC514	DMC524	DMC534	DMC544	
Weight (inclusive coolant medium)	6.5	9.5	12.5	15.5	kg
IP - protection	IP67	IP67	IP67	IP67	---
Coolant quantity in device	0.3	0.6	0.9	1.2	l
Outside diameter of cooling water connection pieces	16	16	16	16	mm
Coolant temperature range at input	- 40 to + 65	- 40 to + 65	- 40 to + 65	- 40 to + 65	°C
Coolant pressure loss @ 6l / min, T _{coolant} = 25°C (at mixing ratio water / glycol = 50 / 50)	70	120	150	180	mbar
Max. coolant pressure	1	1	1	1	bar
Ambient temperature range for operation	- 40 to + 85	- 40 to + 85	- 40 to + 85	- 40 to + 85	°C

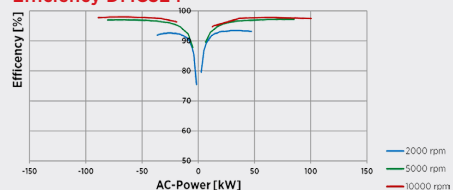
Dimensions



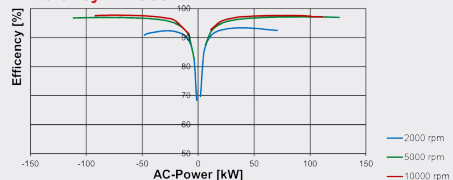
	A	B	
DMC514	250	276	mm
DMC524	360	386	mm
DMC534	470	496	mm
DMC544	580	606	mm



Efficiency DMC524



Efficiency DMC534



BRUSA Elektronik AG
Neudorf 14
CH-9466 Sennwald
+41 81 758 19 00
info@brusa.biz

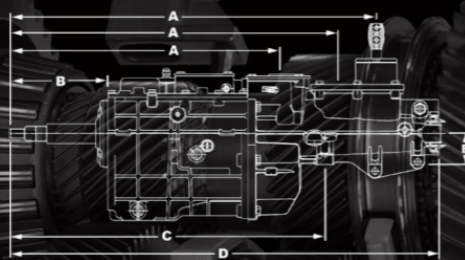
www.brusa.biz

H Dimensioner für Tremec TCET5008

TKO 5-SPEED



It's the take-no-prisoners gearbox that started a 5-speed retrofit revolution! TREMEC's TKO series of 5-speeds was first made famous by the 5-liter Mustang movement and has since been fitted into nearly every rear-wheel-drive performance application imaginable. Far and away the most versatile 5-speed on the market, the TKO offers an impressive array of flexibility features including multiple shifter locations, mounting configurations, gearing options, and speedometer pickups (*electric & mechanical*). Serving up 600 lb-ft. of tire-melting torque capacity along with confidence-inspiring shifts and fuel-saving overdrive, the TKO offers an ideal blend of brute strength and street manners—which may be why it's the manual transmission behind more boulevard-bruising street machines and sportsman race victories than all of its competitors combined.



Application	Installation Dimensions (Inches)					Bellhousing
	A	B	C	D	E	
GM (All)	19.0/23.0/25.8	6.71	22.1	30.4	2.2	O.E. 4-speed (most)
Ford (All)	19.6/23.7/25.4	7.21	22.7	31.0	2.2	O.E. 4-speed or TCEP8639

Note: Dimensions are approximate and intended for reference only. Dimensions will vary based on tolerances and pilot depth.

- A.** Shifter location from rear face of engine block
- B.** Input shaft length from face of trans case to tip of shaft
- C.** Crossmember mounting location from rear face of block
- D.** Overall length from rear face of block to end of casting
- E.** Crossmember mounting location from centerline



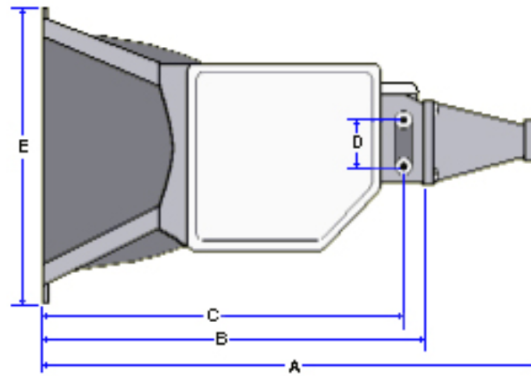
Part Number	Application	Engine	Torque Capacity (lb-ft.)	RPM Rating	Includes Clutch Housing	Clutch Type	Speedo Type	Spline Count		Gear Ratios						
								Input	Output	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	Rev
TCET4616	GM	Any	500	6,200	No	Mech	Mech/Elec	26	31	3.27	1.98	1.34	1.00	.68	N/A	3.00
TCET4618	GM	Any	600	6,200	No	Mech	Mech/Elec	26	31	2.87	1.89	1.28	1.00	.82	N/A	2.56
TCET5009	GM	Any	600	6,200	No	Mech	Mech/Elec	26	31	2.87	1.89	1.28	1.00	.64	N/A	2.56
TCET4615	Ford	Any	500	6,200	No	Mech	Mech/Elec	10	31	3.27	1.98	1.34	1.00	.68	N/A	3.00
TCET4617	Ford	Any	600	6,200	No	Mech	Mech/Elec	26	31	2.87	1.89	1.28	1.00	.82	N/A	2.56
TCET5008	Ford	Any	600	6,200	No	Mech	Mech/Elec	26	31	2.87	1.89	1.28	1.00	.64	N/A	2.56
TCET5201	Ford	Any	500	6,200	No	Mech	Mech/Elec	26	31	3.27	1.98	1.34	1.00	.68	N/A	3.00

NOTE: Torque and RPM ratings may vary based on vehicle use, driveline configuration, and quality of product installation.

TREMEC recommends Synchronesh ATF fluid for all TKO series transmissions.

I Dimensioner för GM TH350

GM Turbo 350 and 400 Transmission Measurements

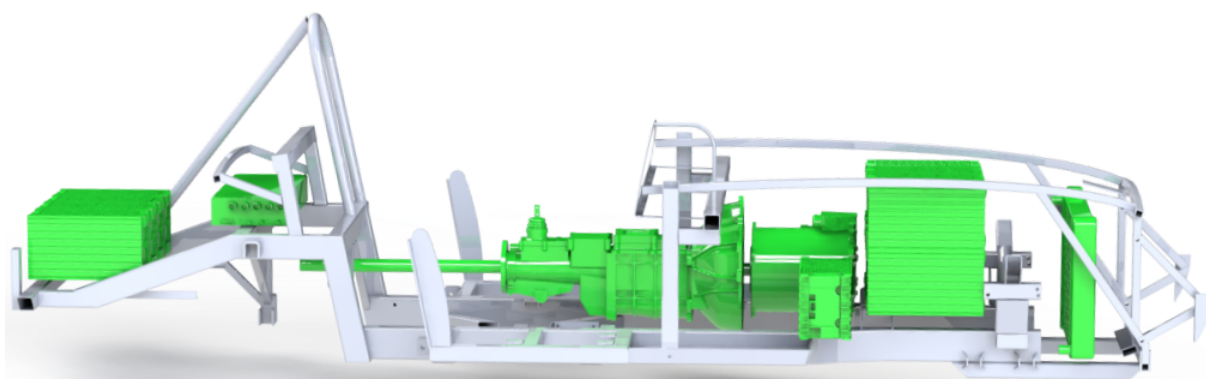
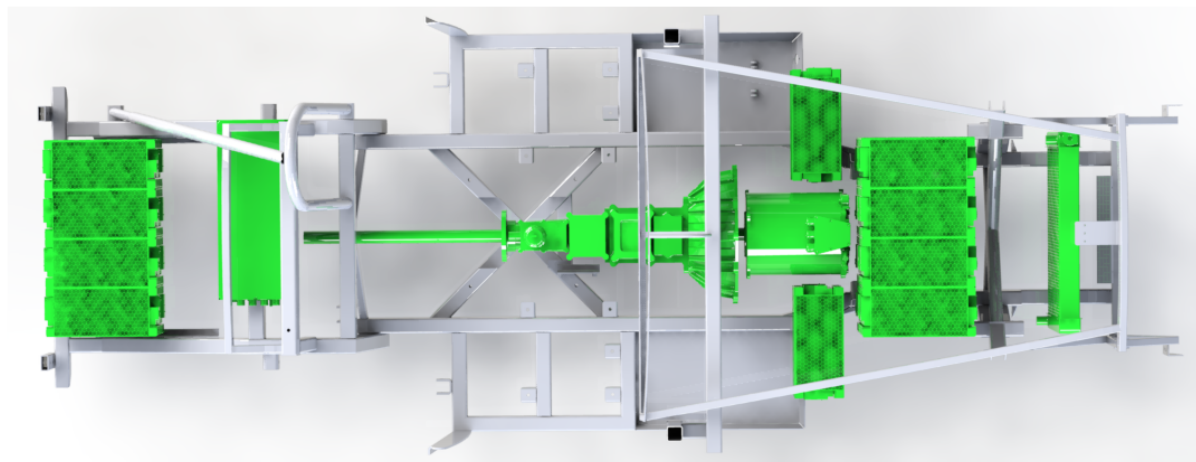


TH-350

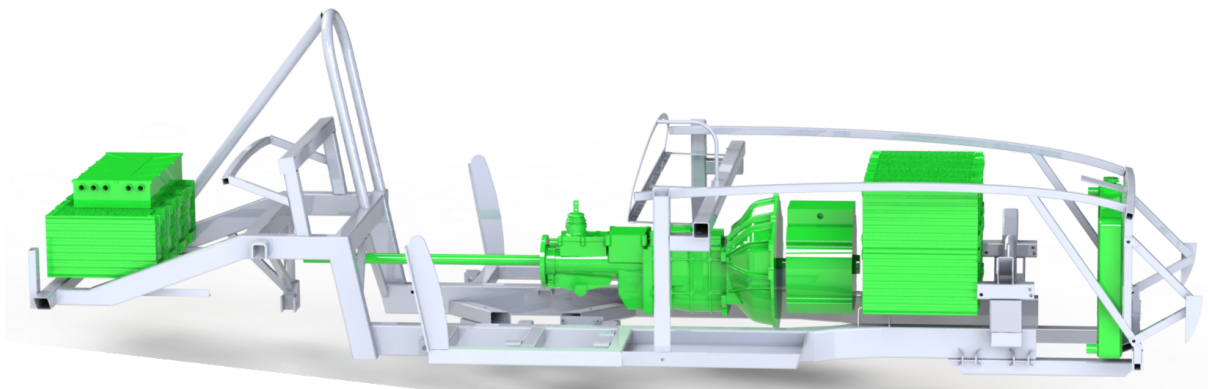
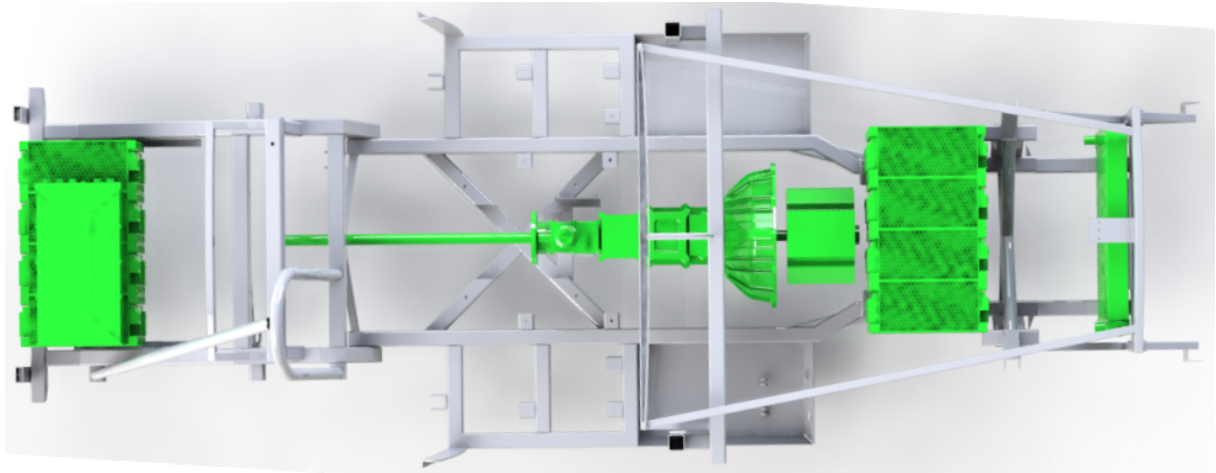
Bellhousing pattern - Chevrolet, BOP, Fit-All

Style	A	B	C	D	E
6 in. Tailshaft	27 11/16 in.	21 5/8 in.	20 3/8 in.	3 3/4 in.	19 1/8 in.
9 in. Tailshaft	30 11/16 in.				
12 in. Tailshaft	33 27/32 in.				

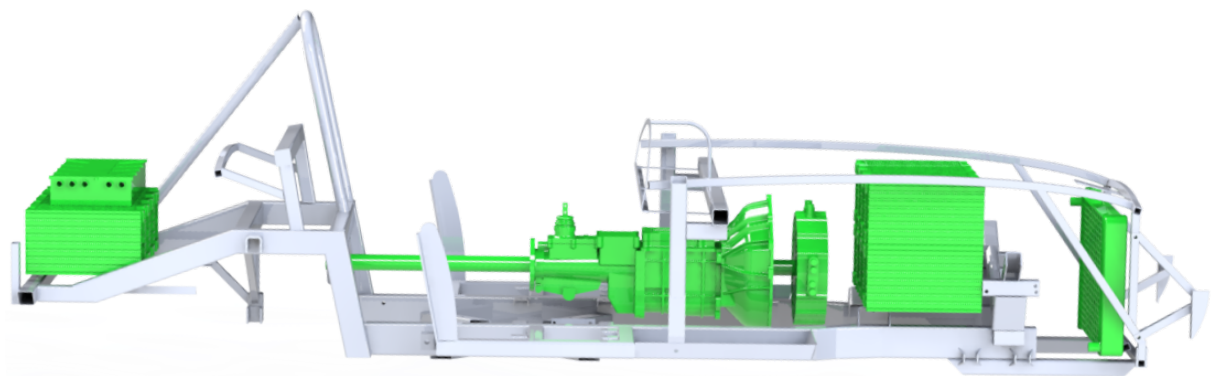
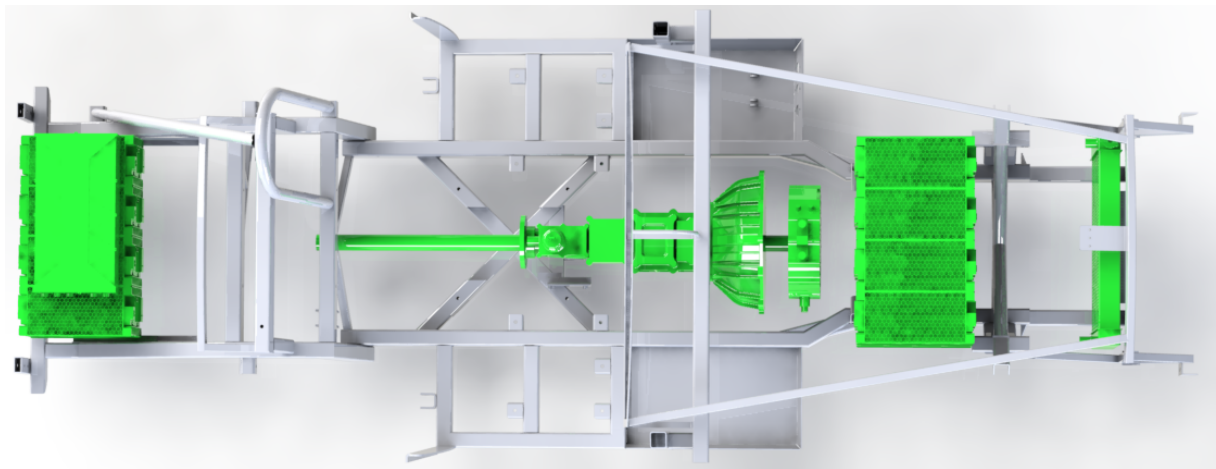
J Drivlina med Brusa-motor, DMC544 styrenhet & 14 batteripack



**K Drivlina med EVO AF230-motor,
Sevcon styrenhet & 12 batteripack**

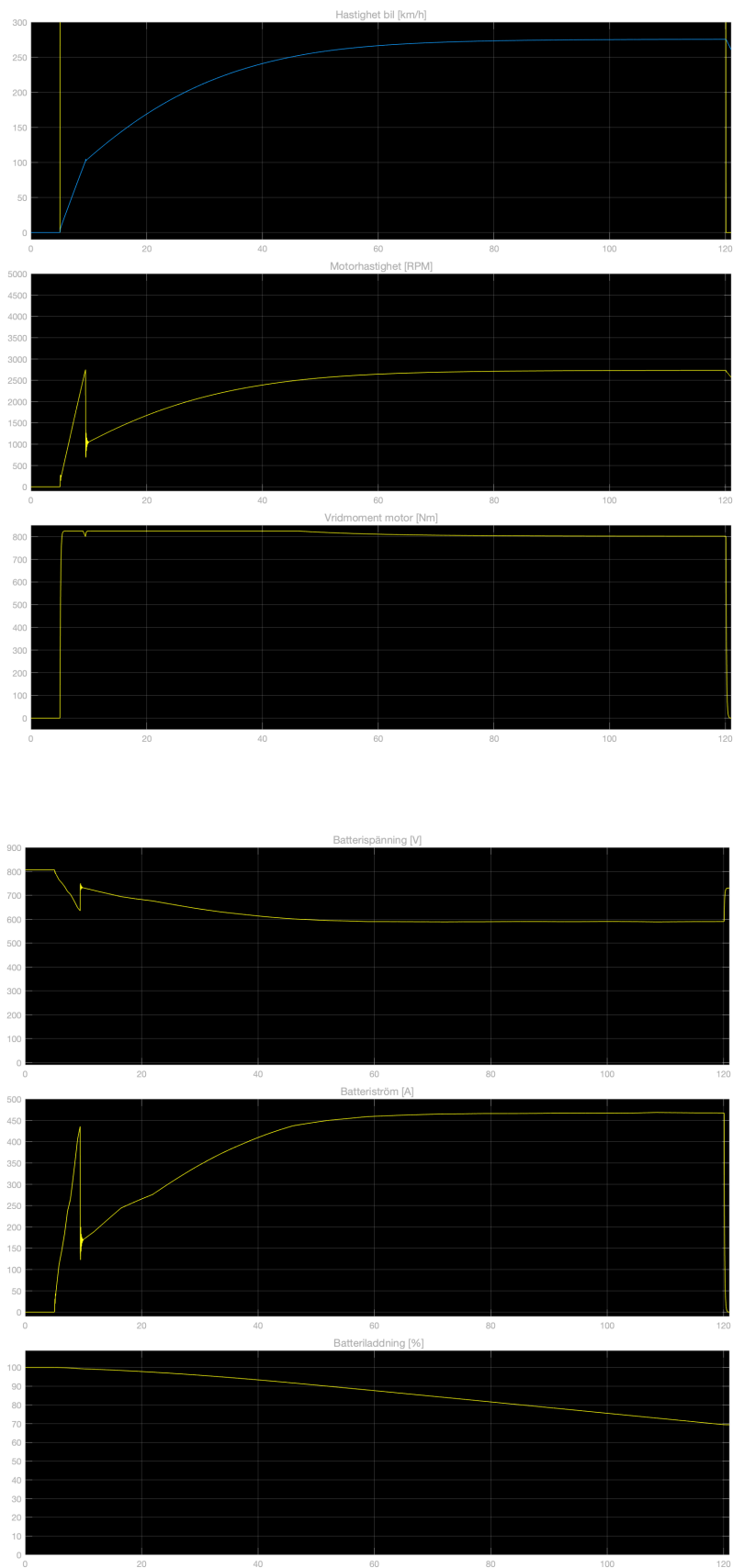


L Drivlina med YASA 750R-motor,
Sevcon styrenhet & 12 batteripack

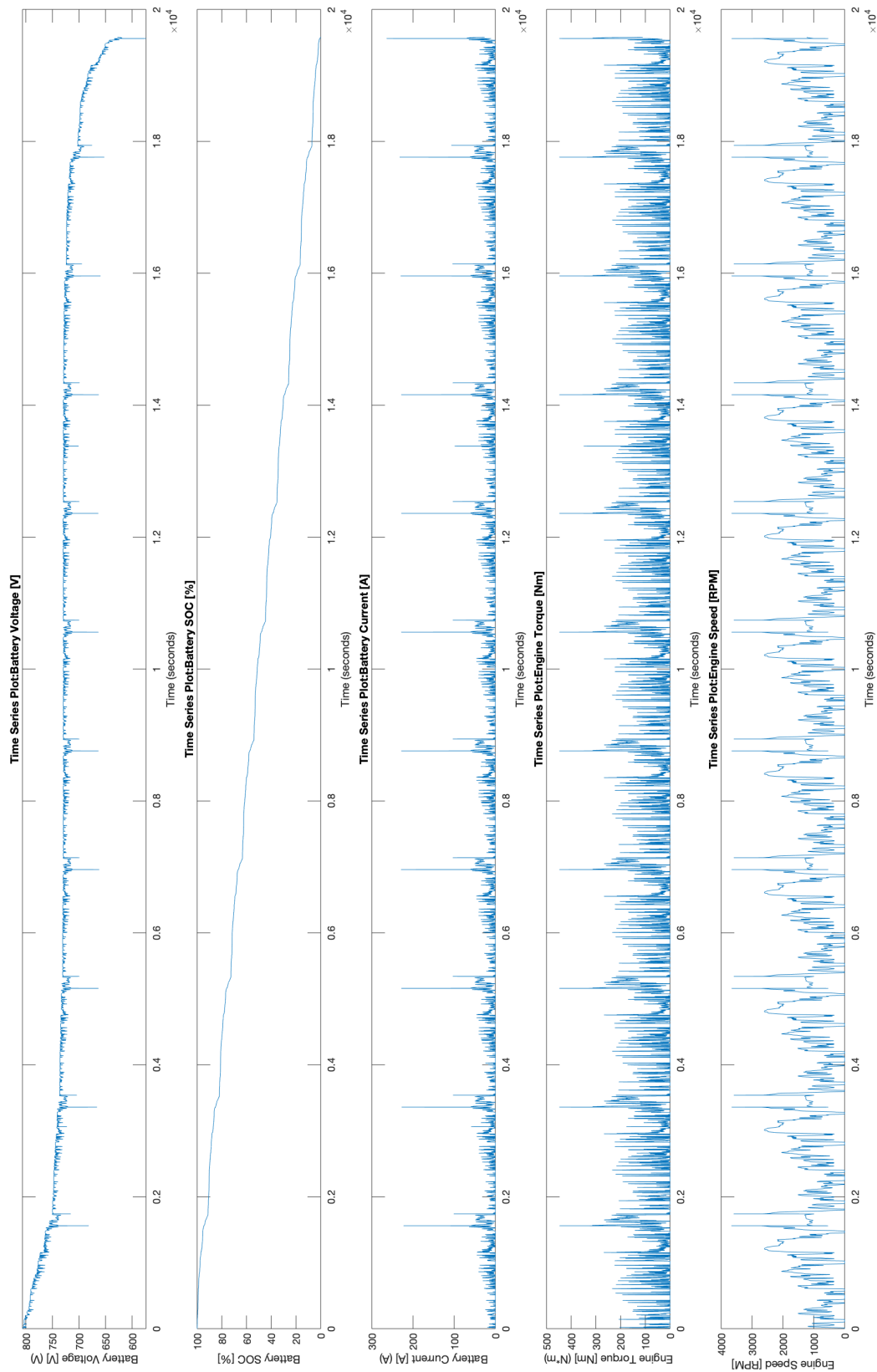


M Simuleringsresultat

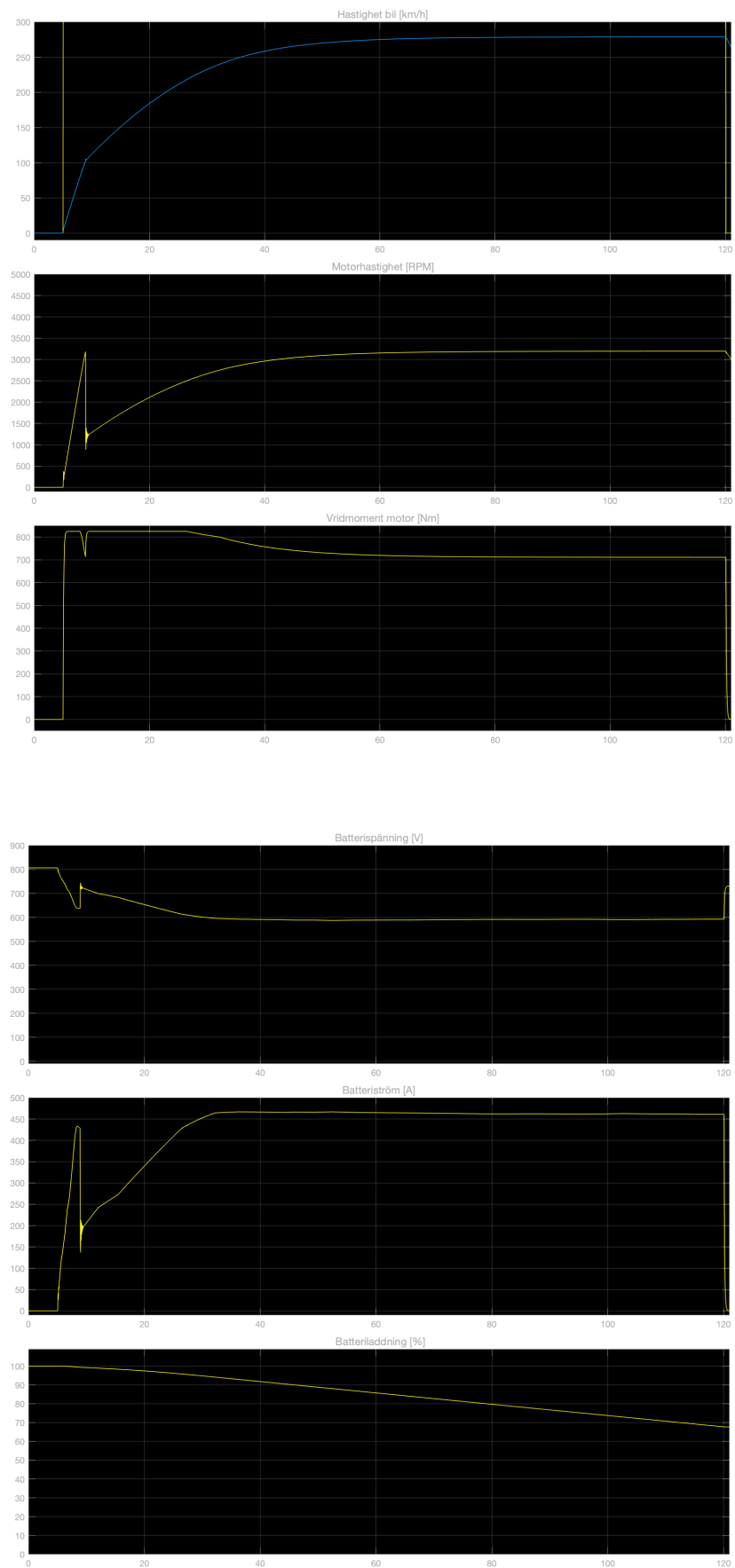
Acceleration för koncept Y1



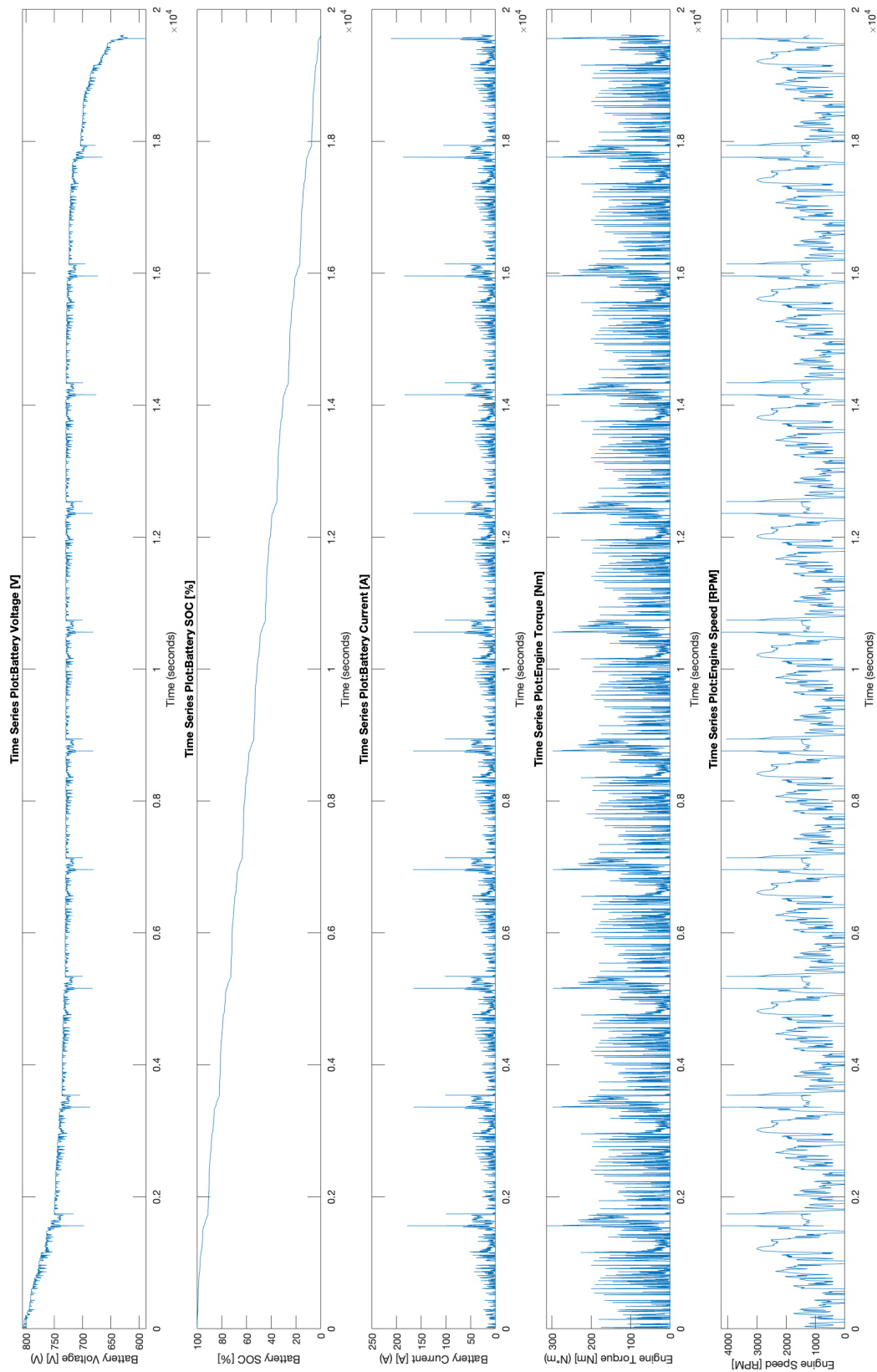
Räckvidd för koncept Y1



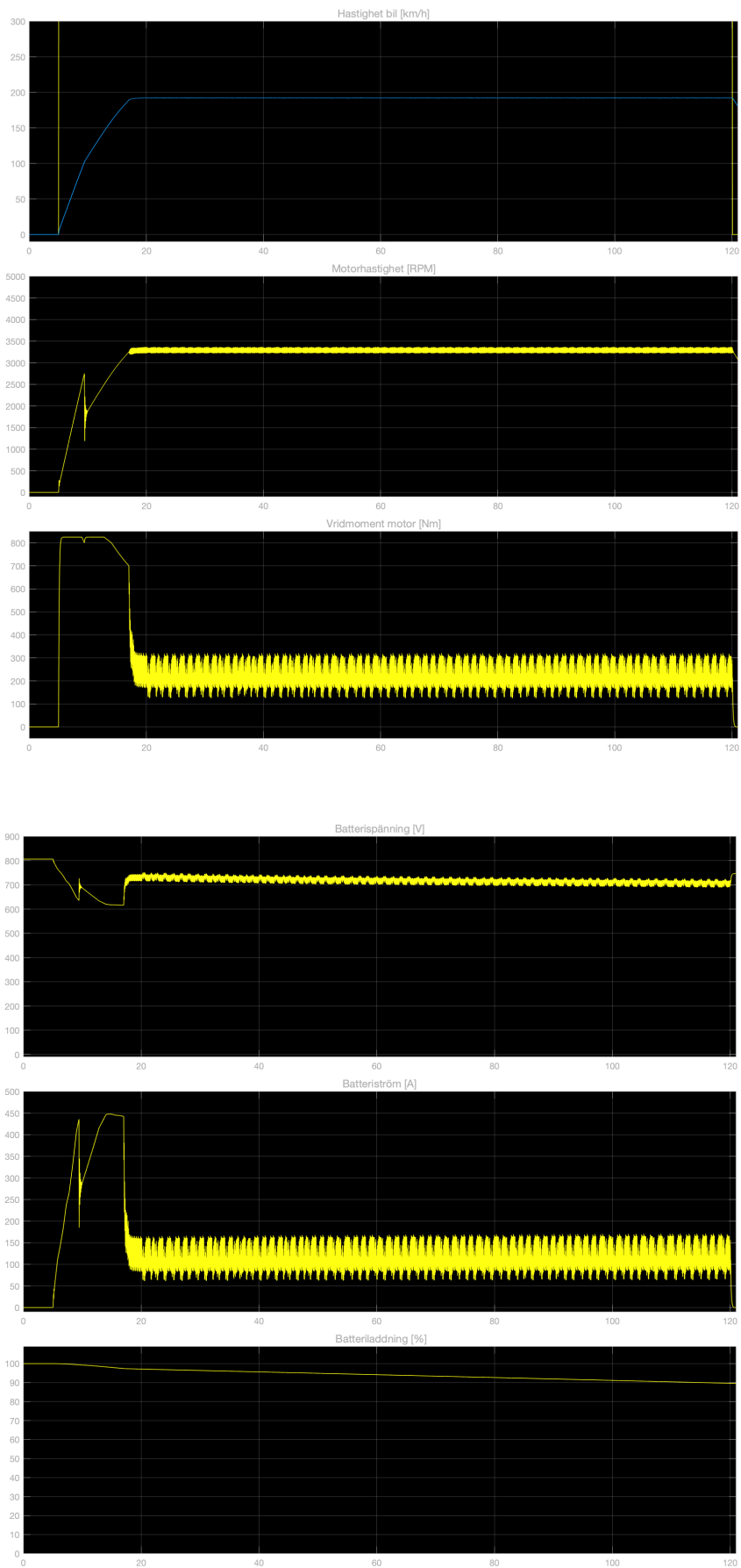
Acceleration för koncept Y2



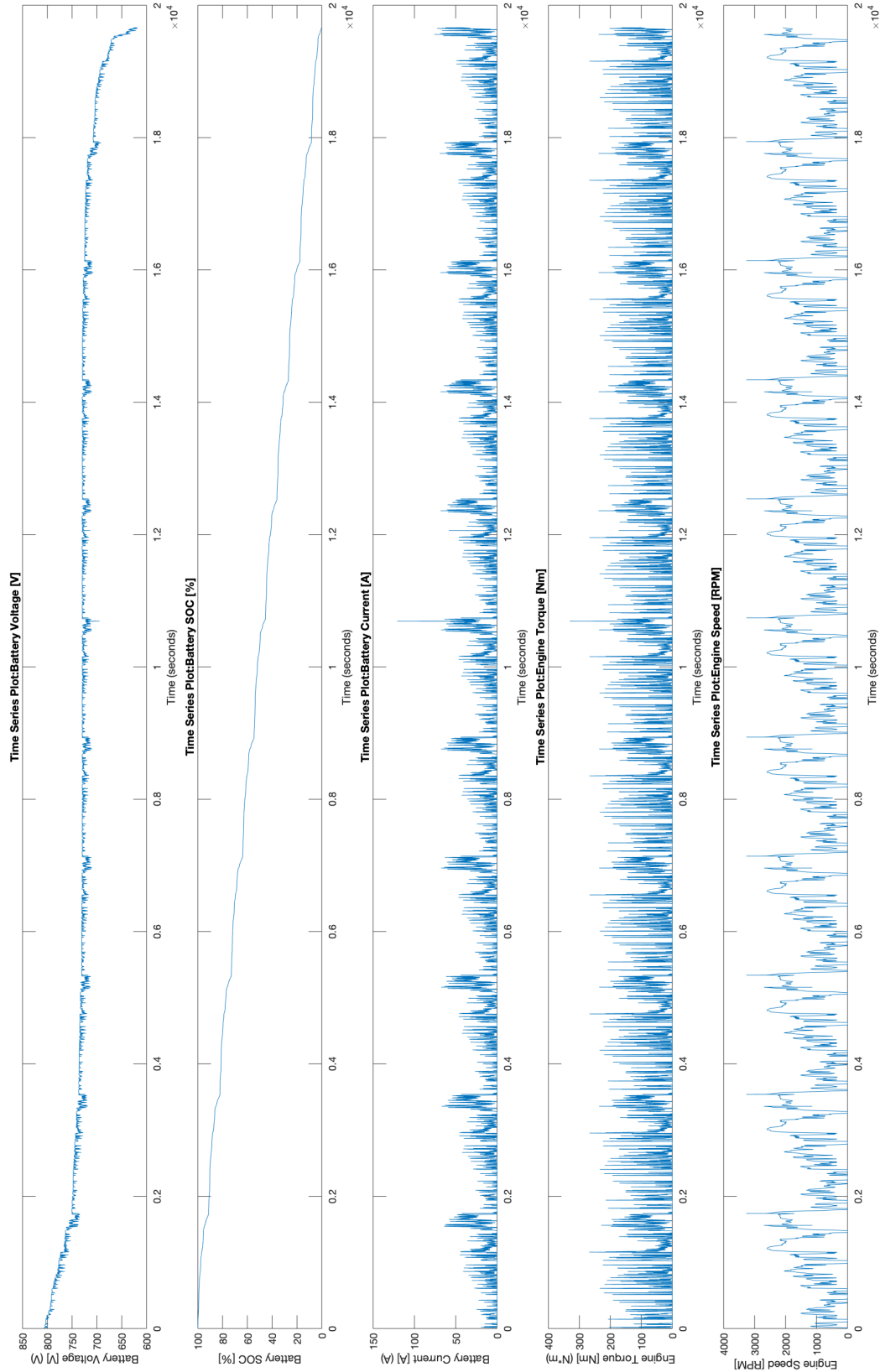
Räckvidd för koncept Y2



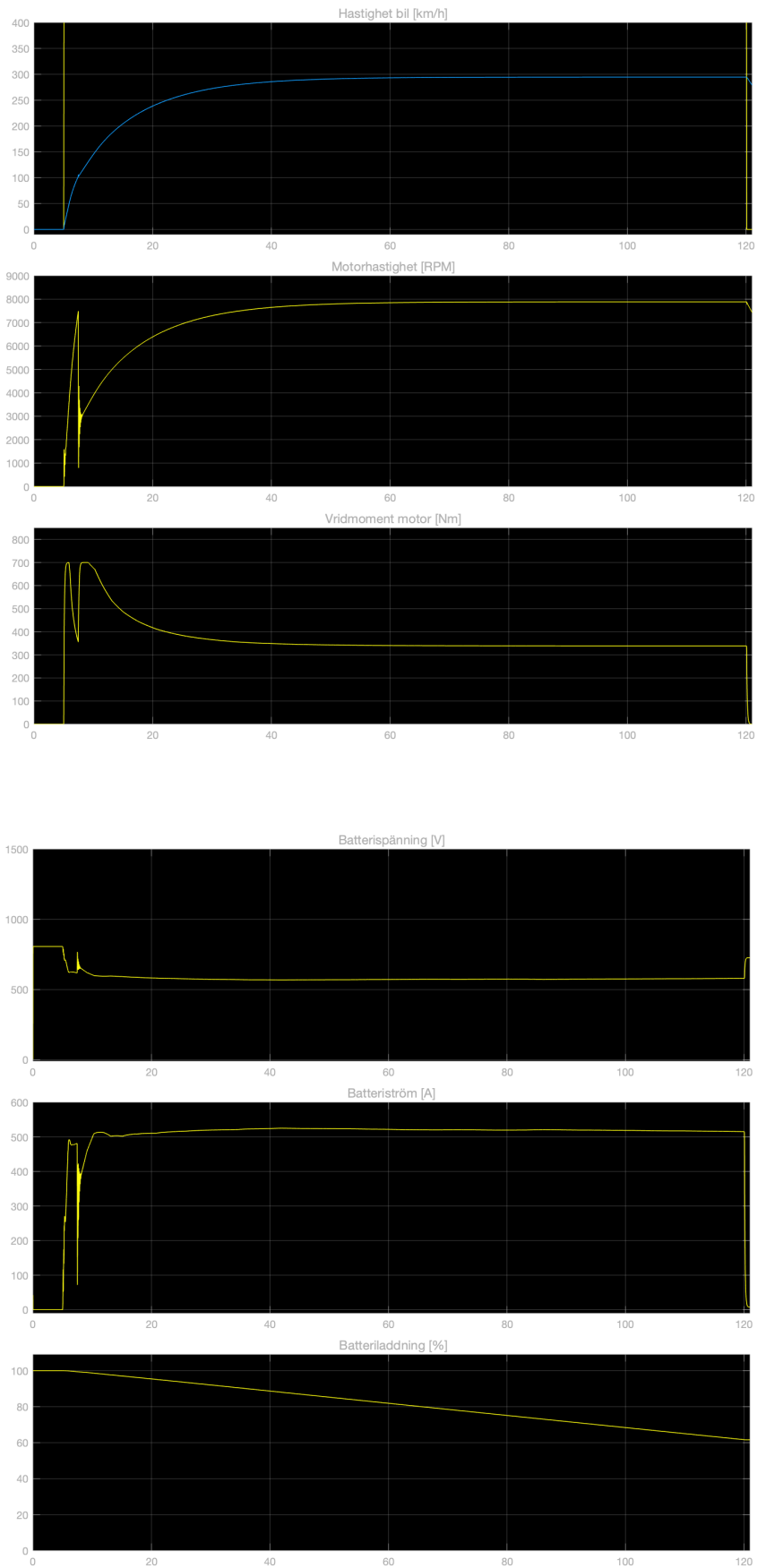
Acceleration för koncept Y3



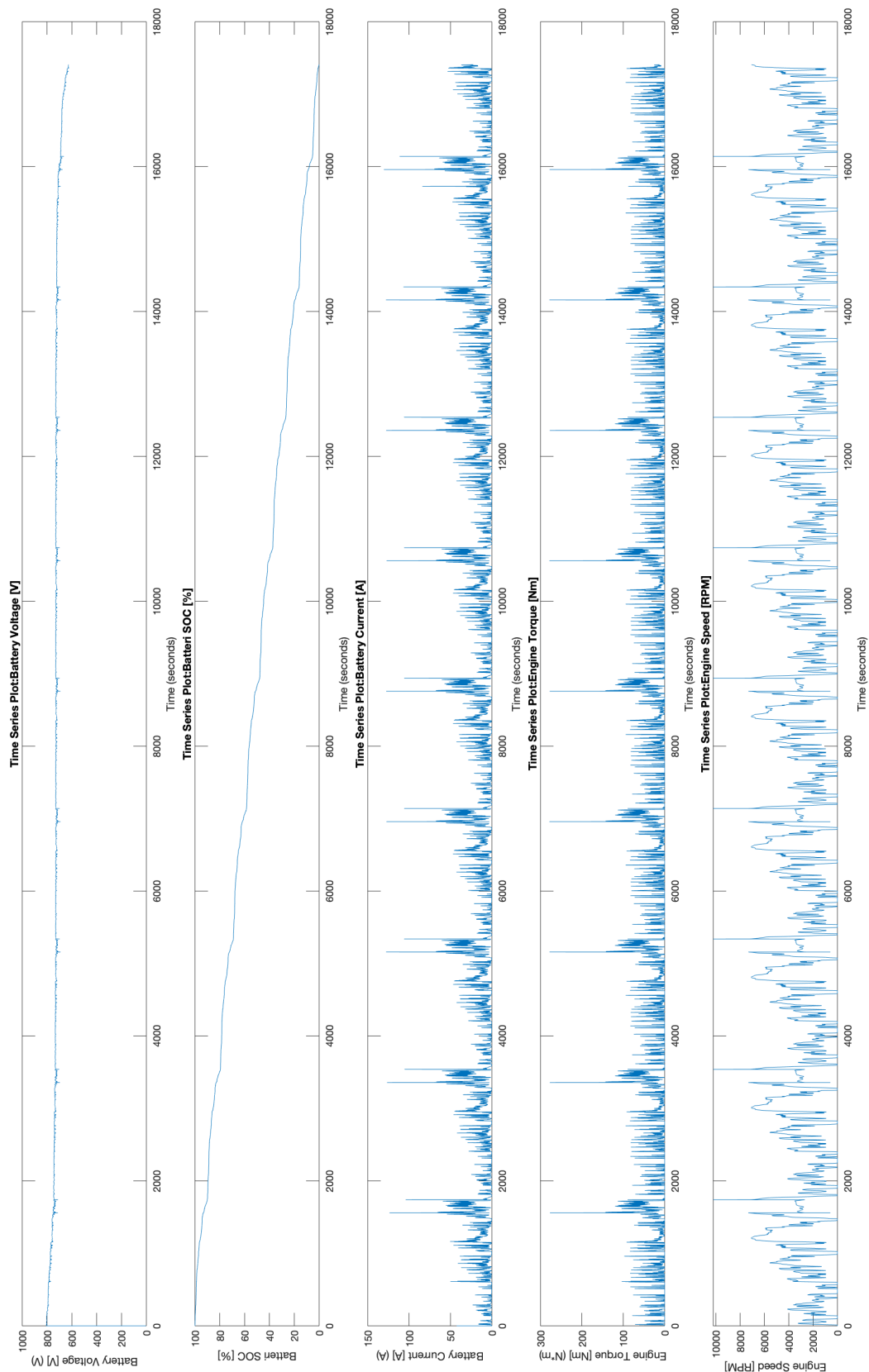
Räckvidd för koncept Y3



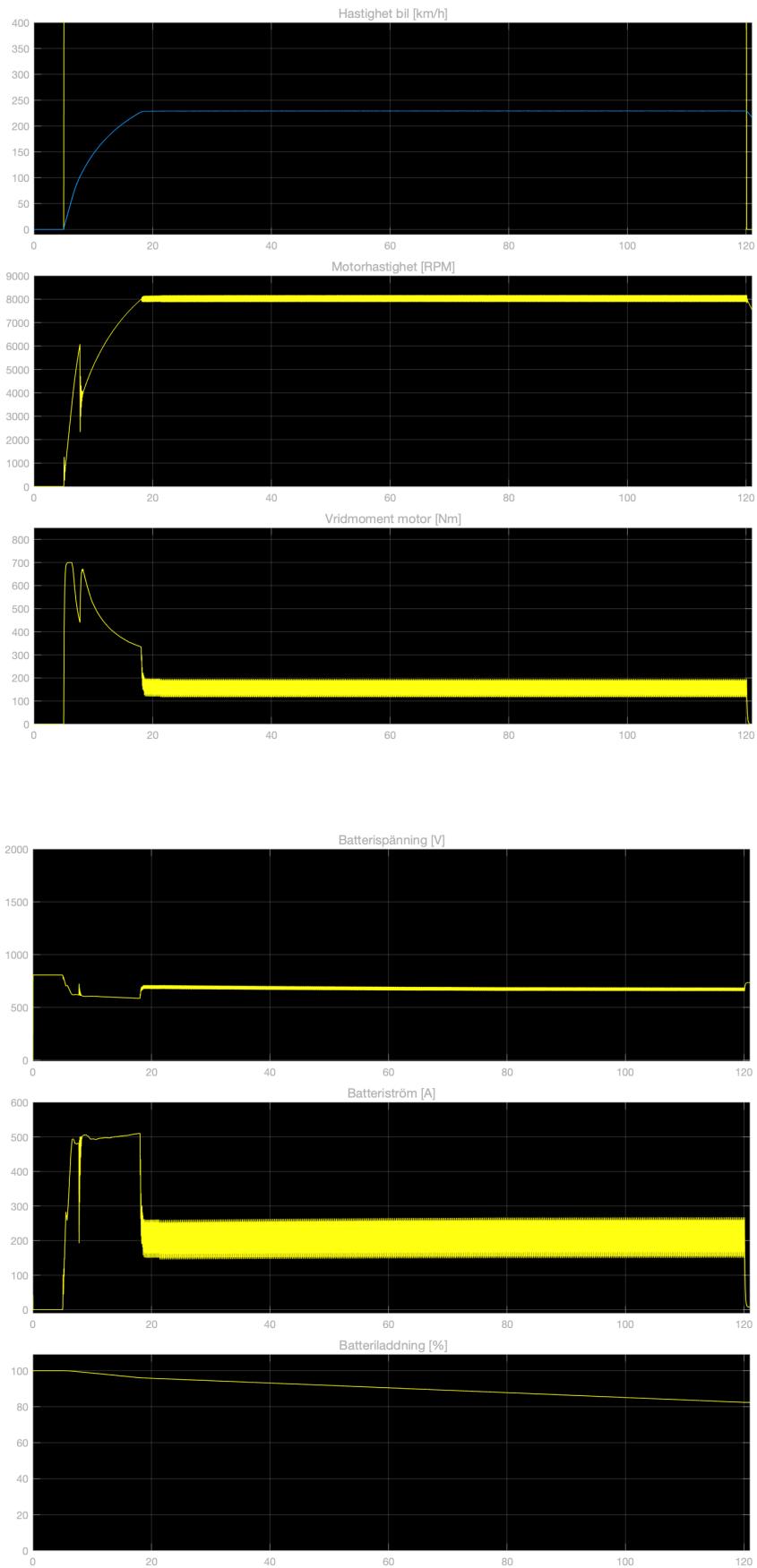
Acceleration för koncept EVO1



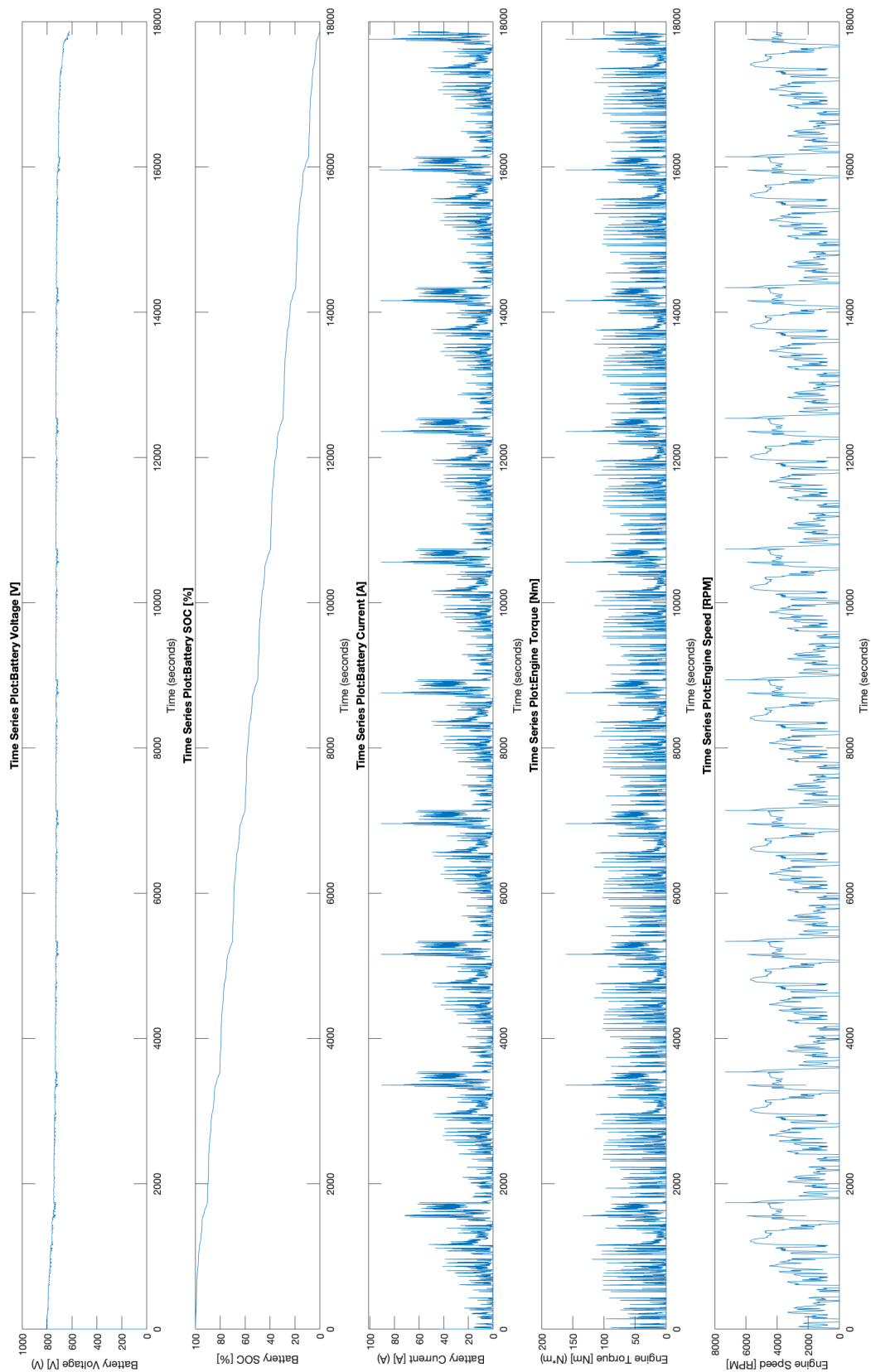
Räckvidd för koncept EVO1



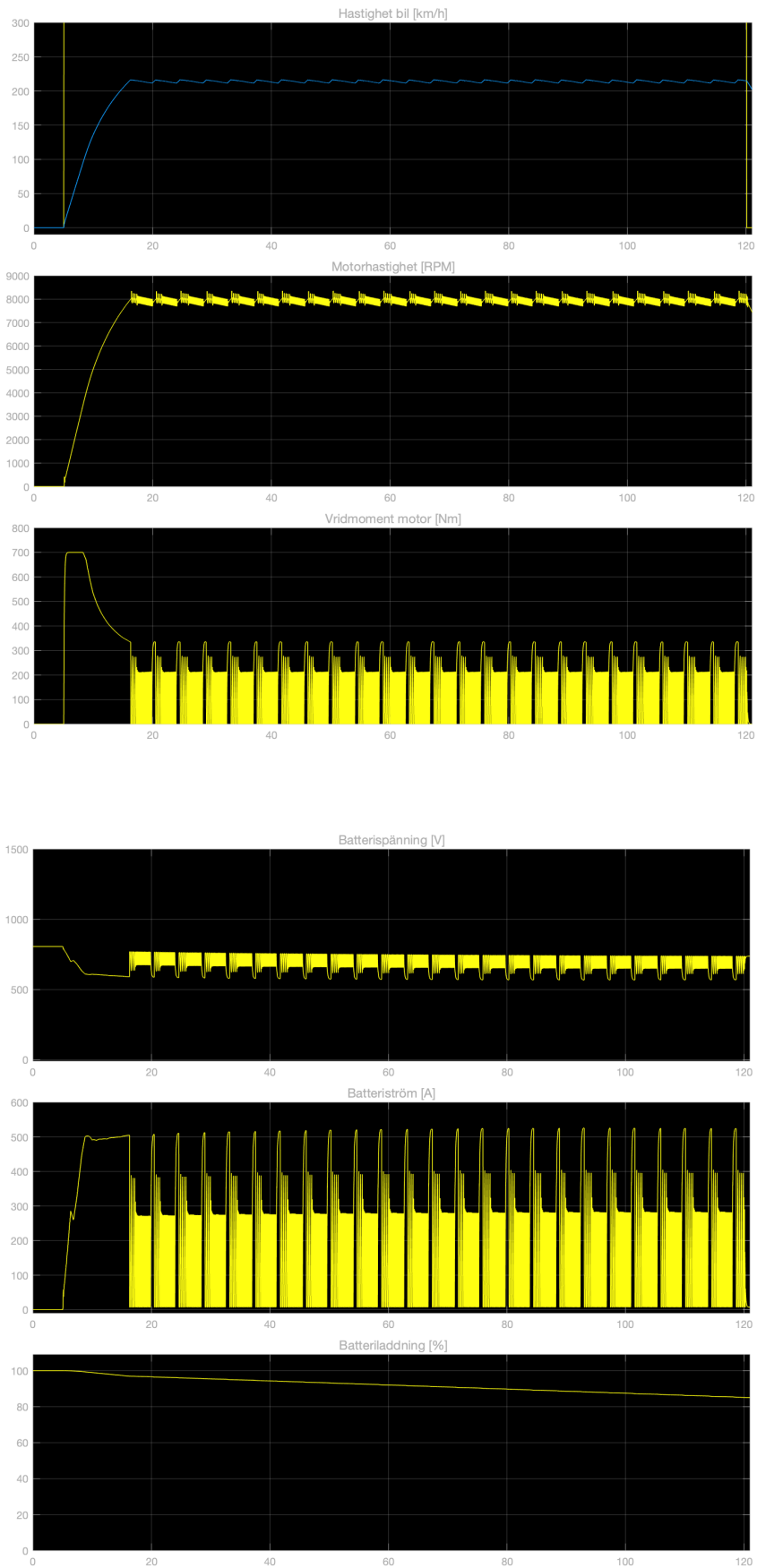
Acceleration för koncept EVO2



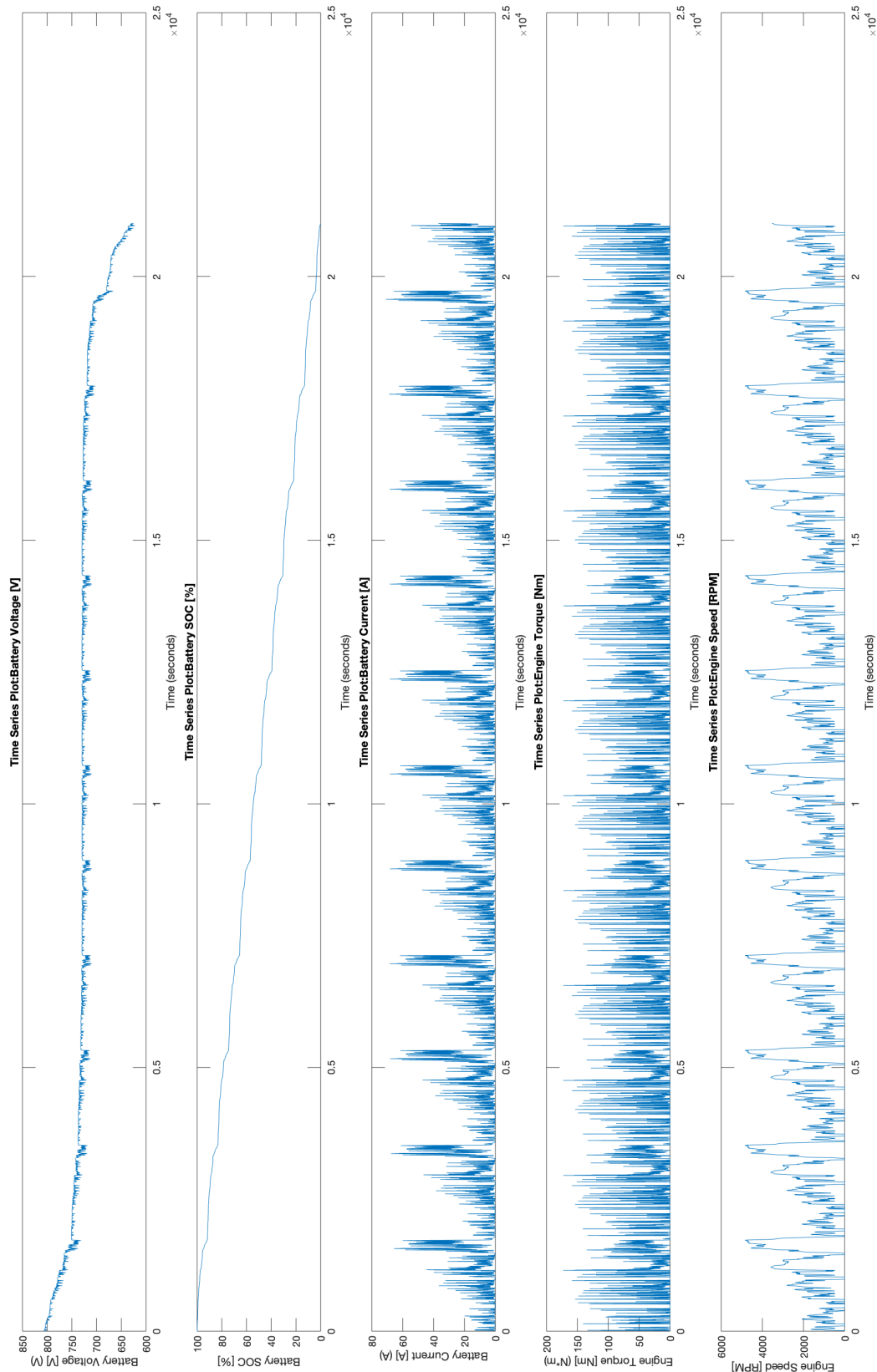
Räckvidd för koncept EVO2



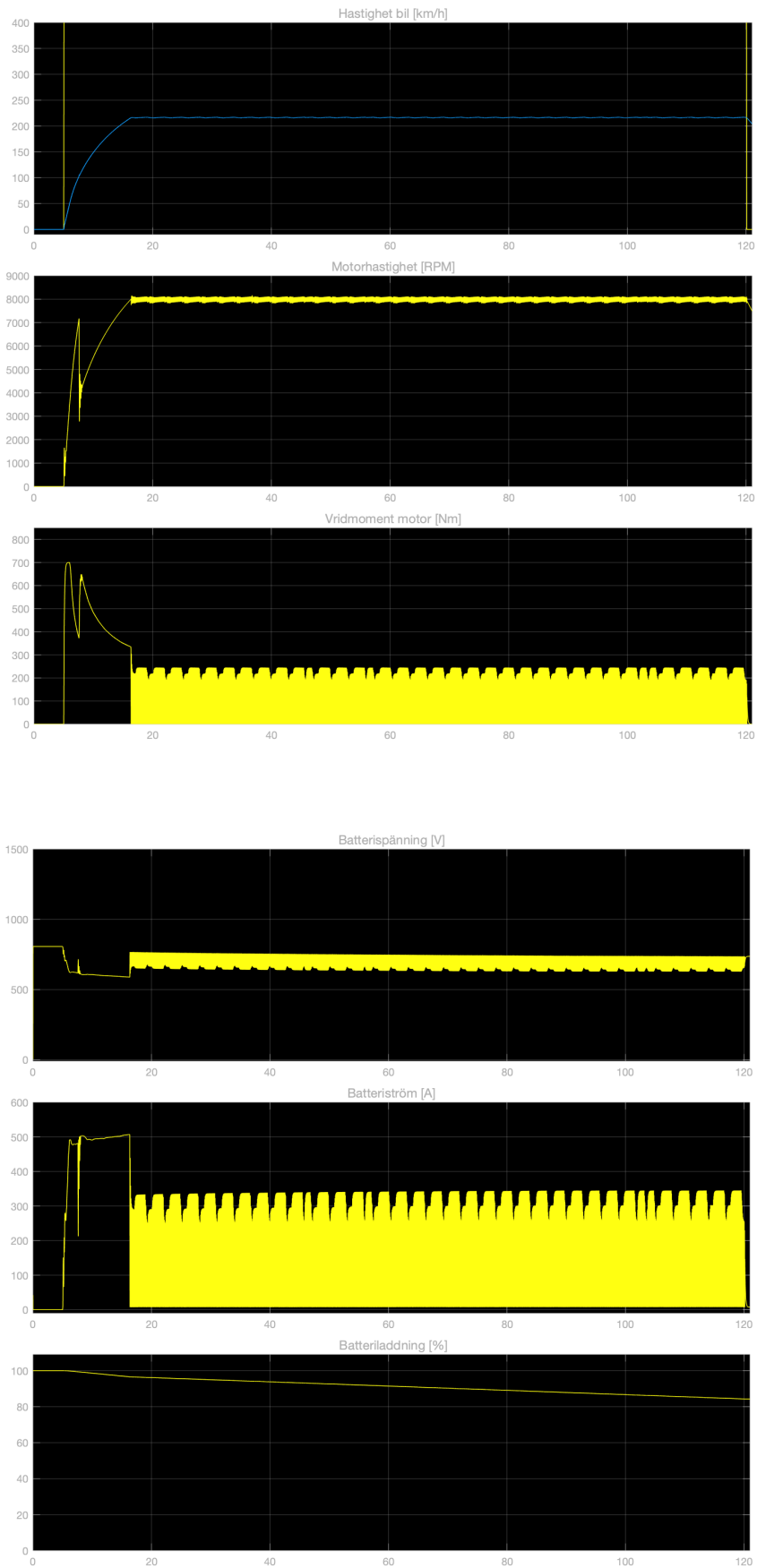
Acceleration för koncept EVO3



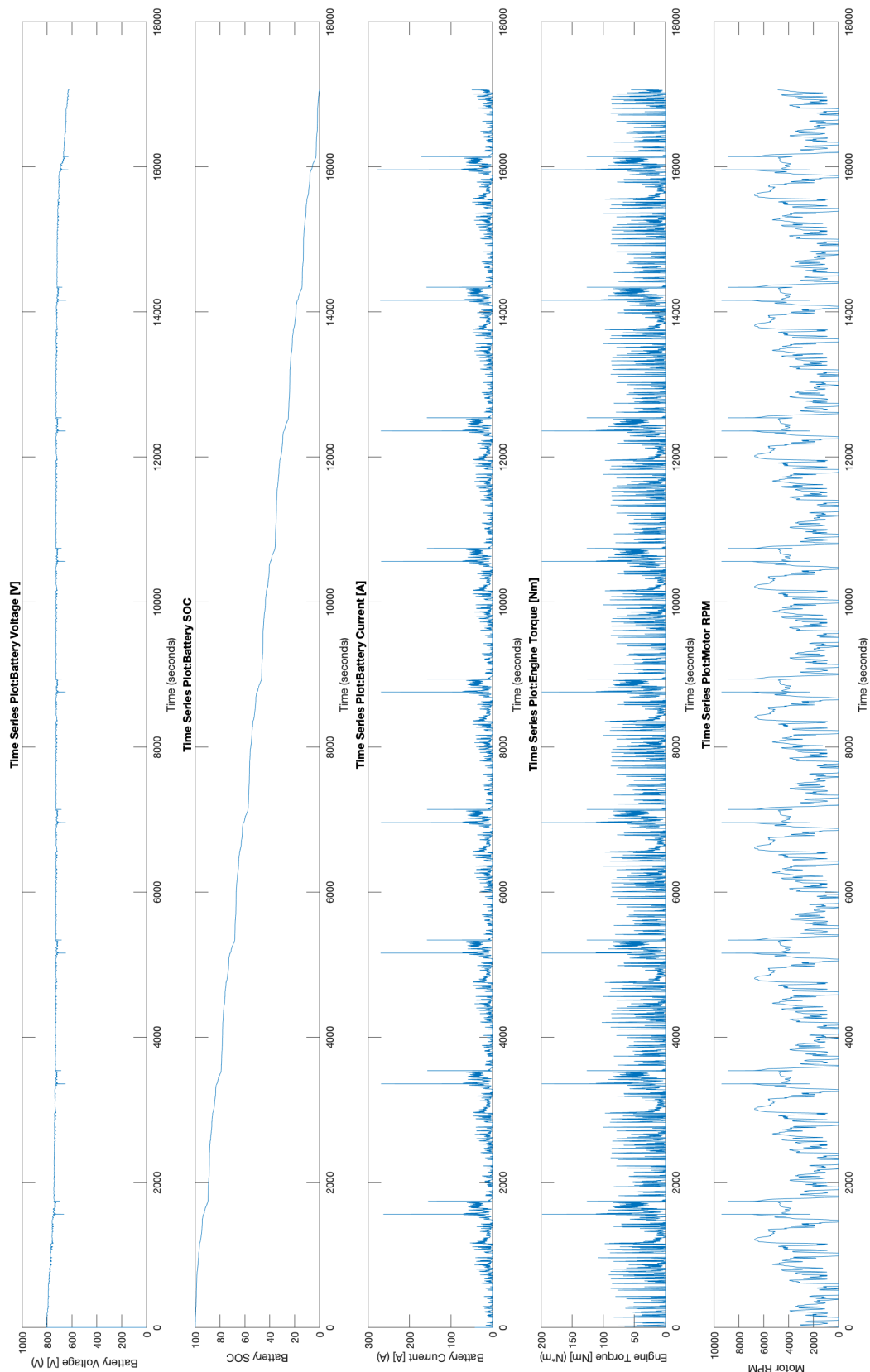
Räckvidd för koncept EVO3



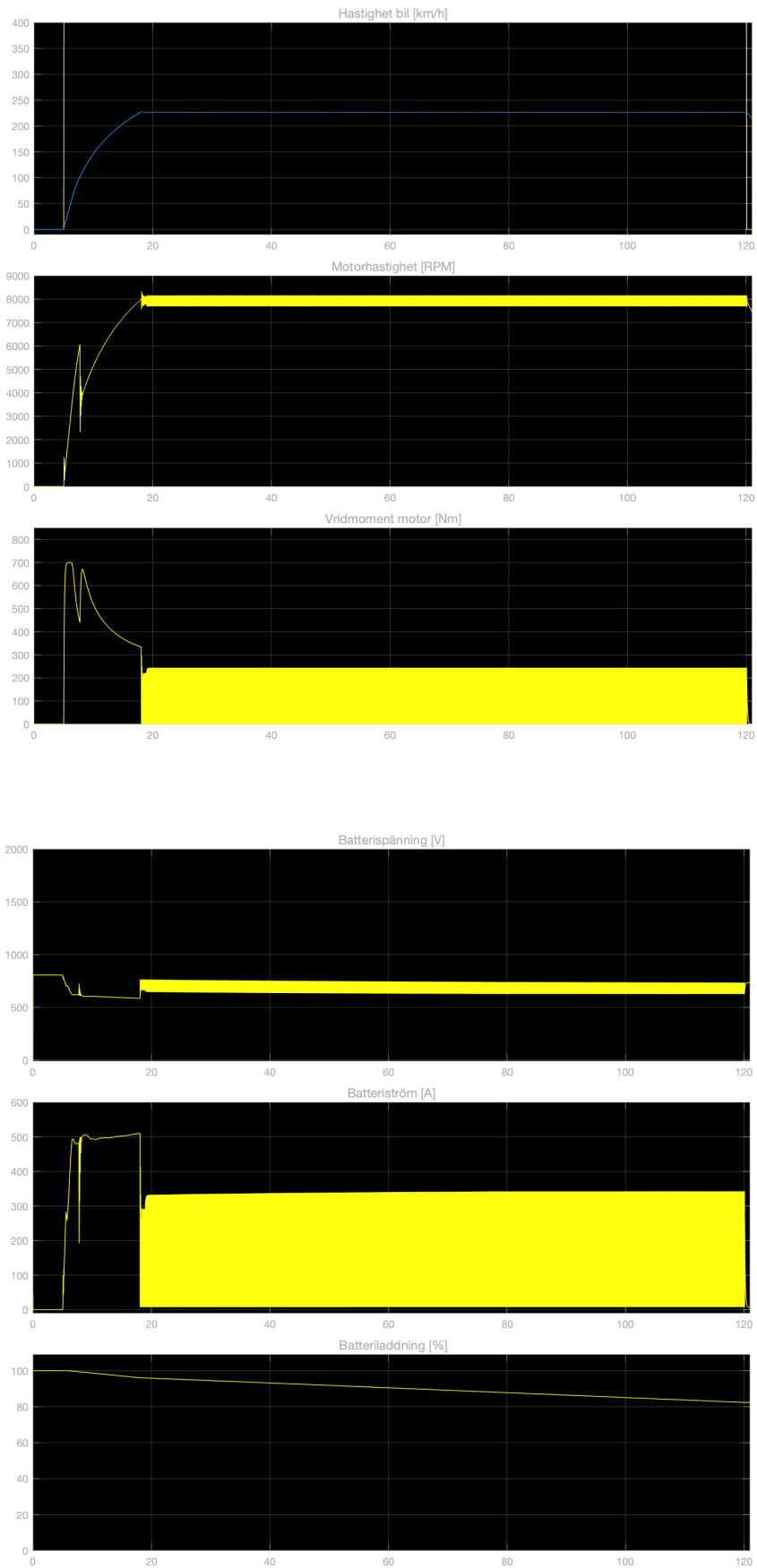
Acceleration för koncept EVO4



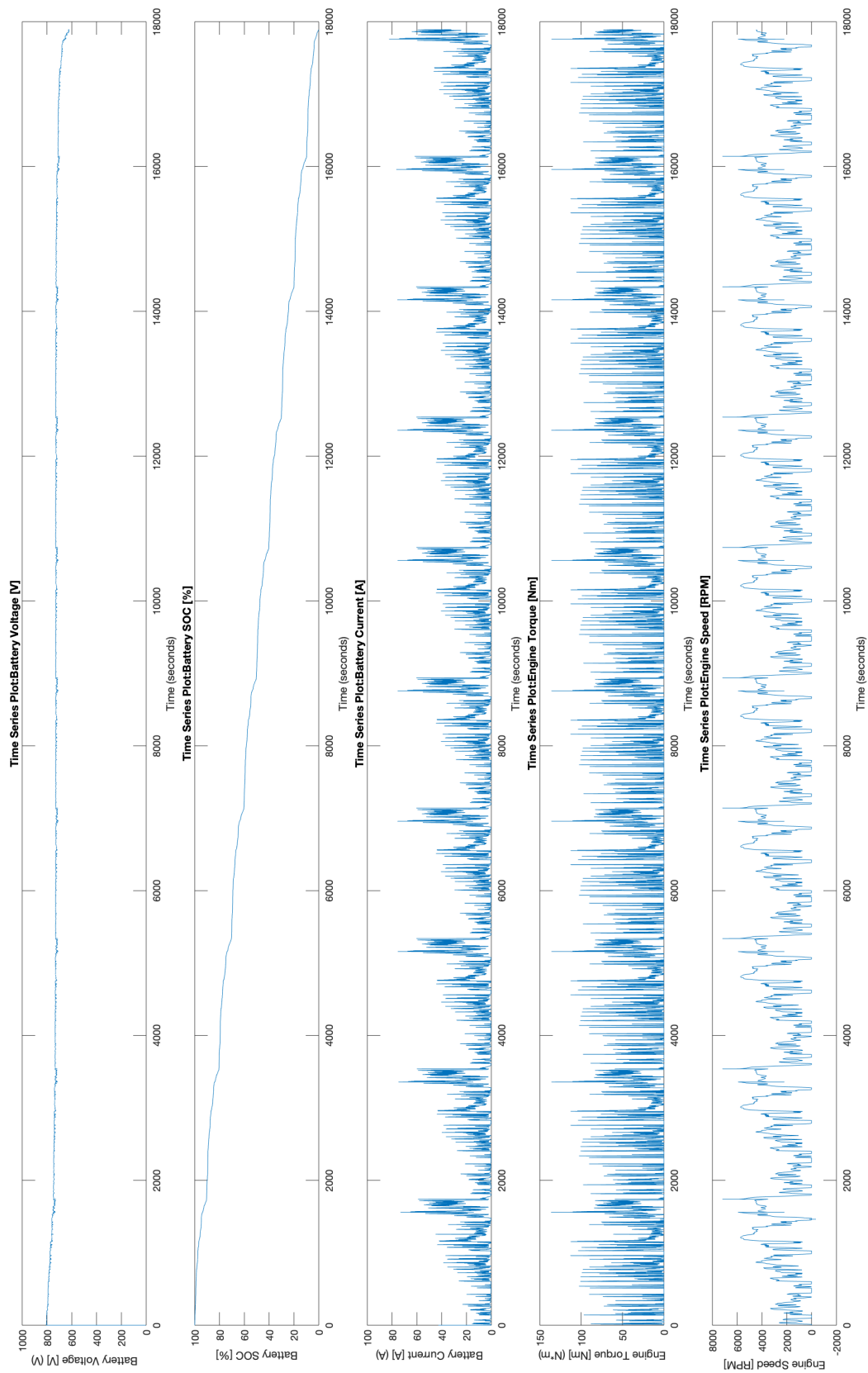
Räckvidd för koncept EVO4



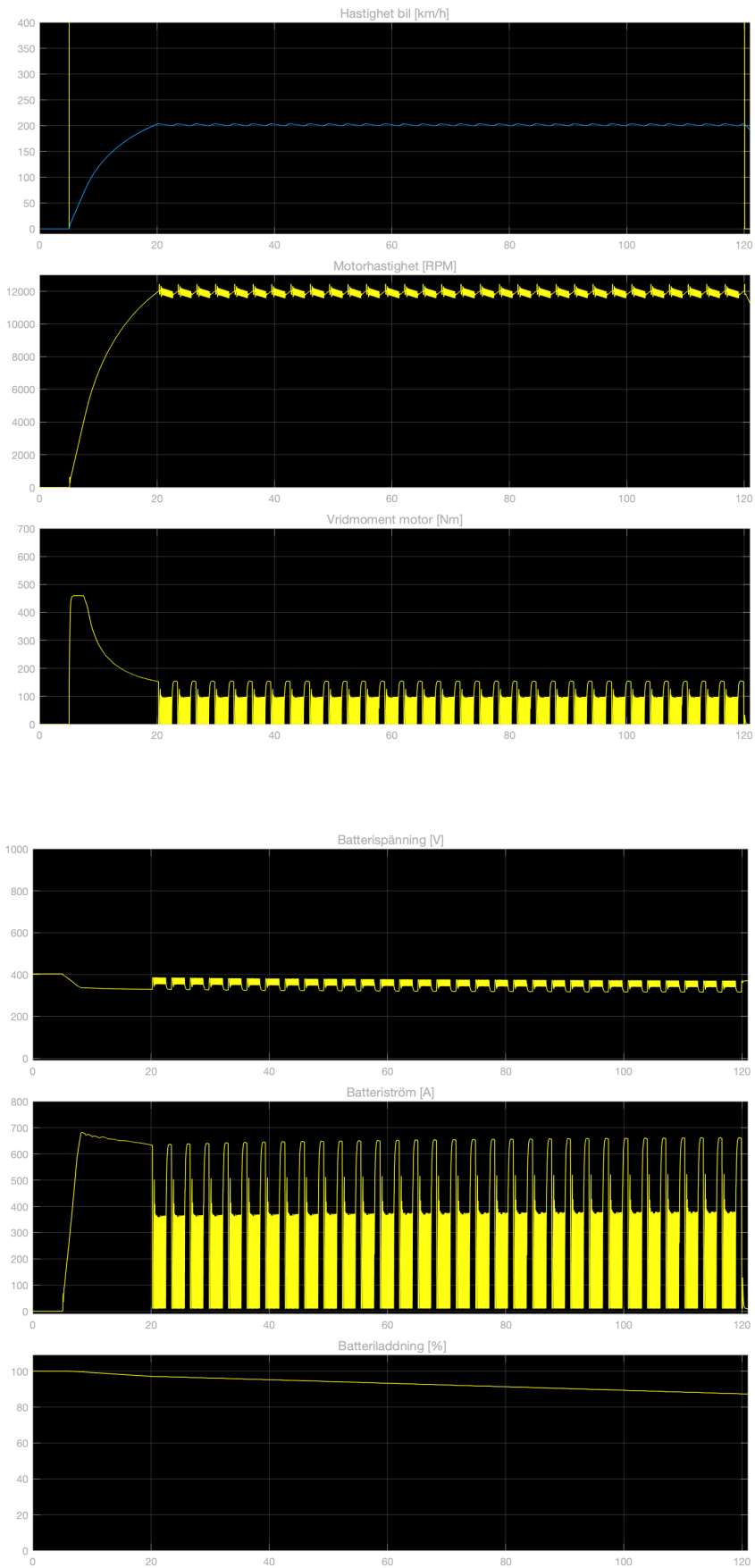
Acceleration för koncept EVO5



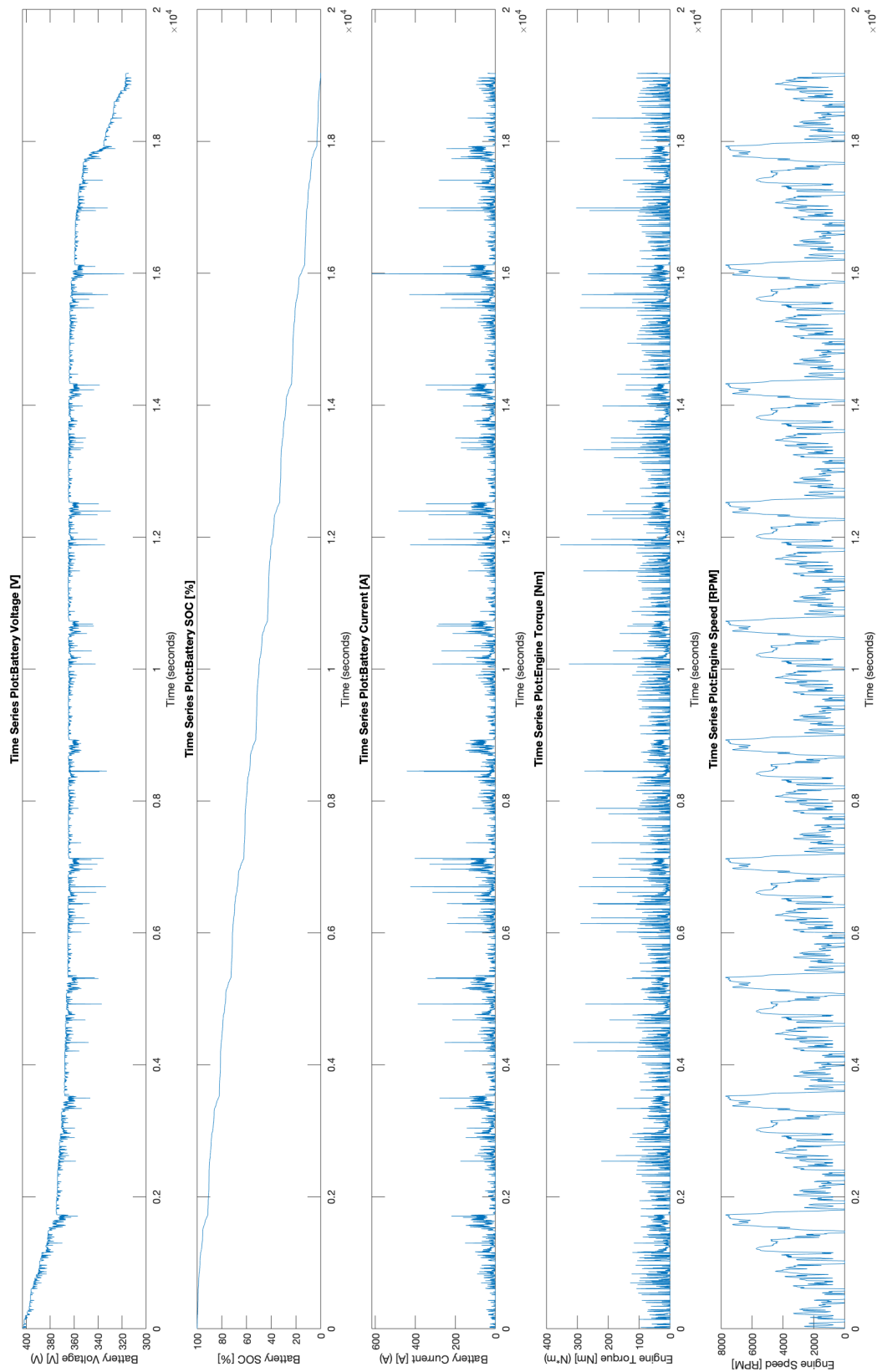
Räckvidd för koncept EVO5



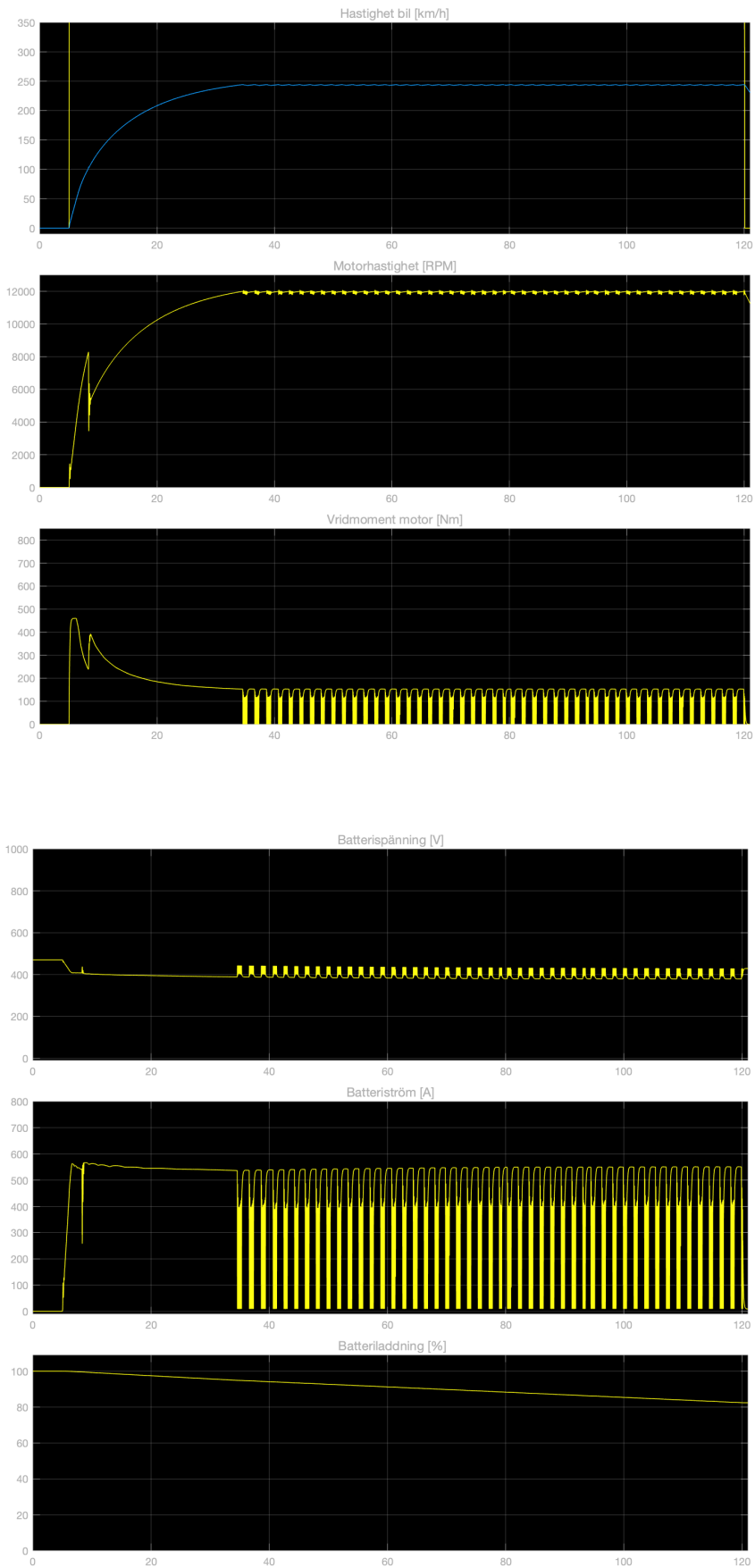
Acceleration för koncept B1



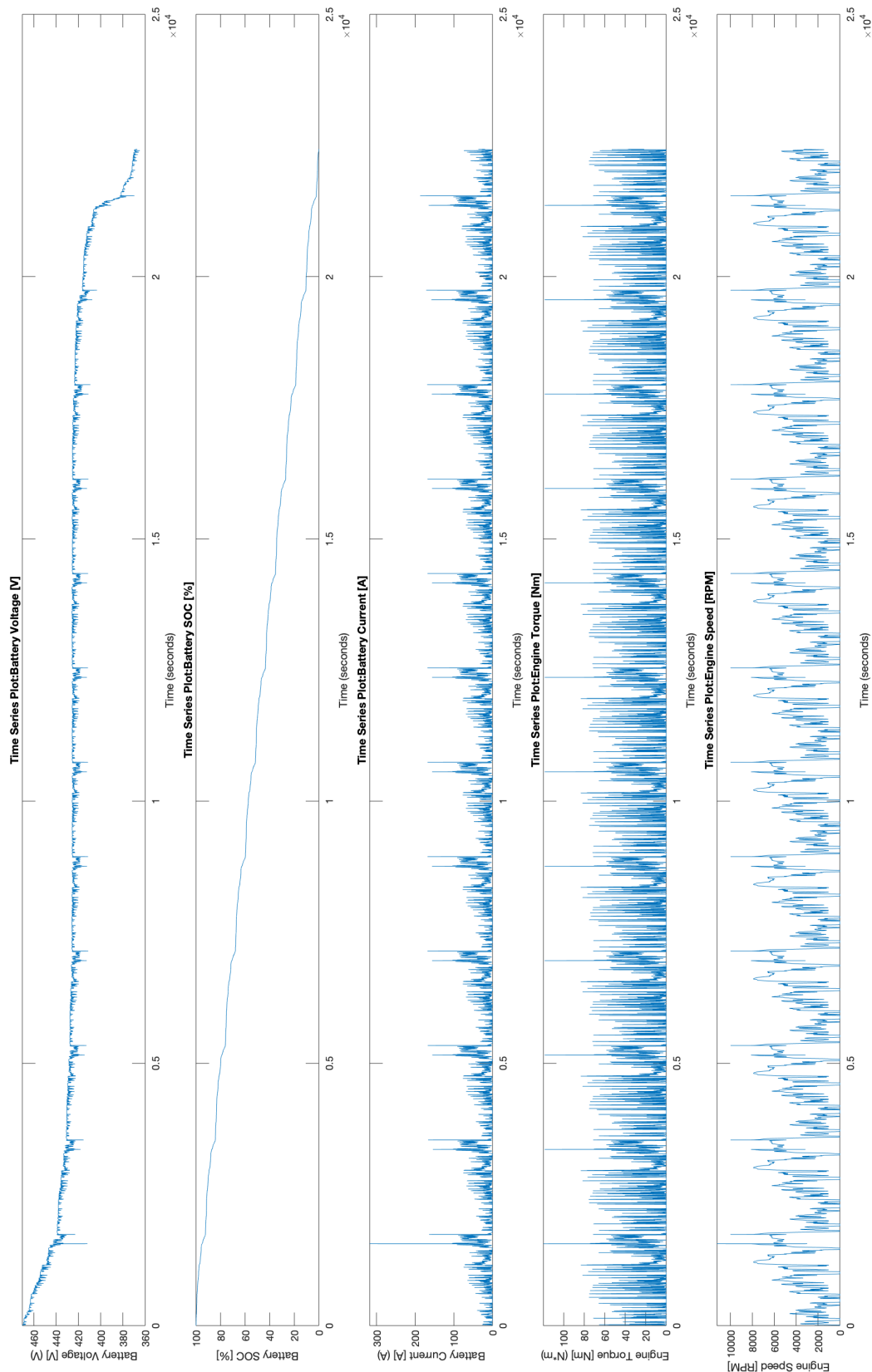
Räckvidd för koncept B1



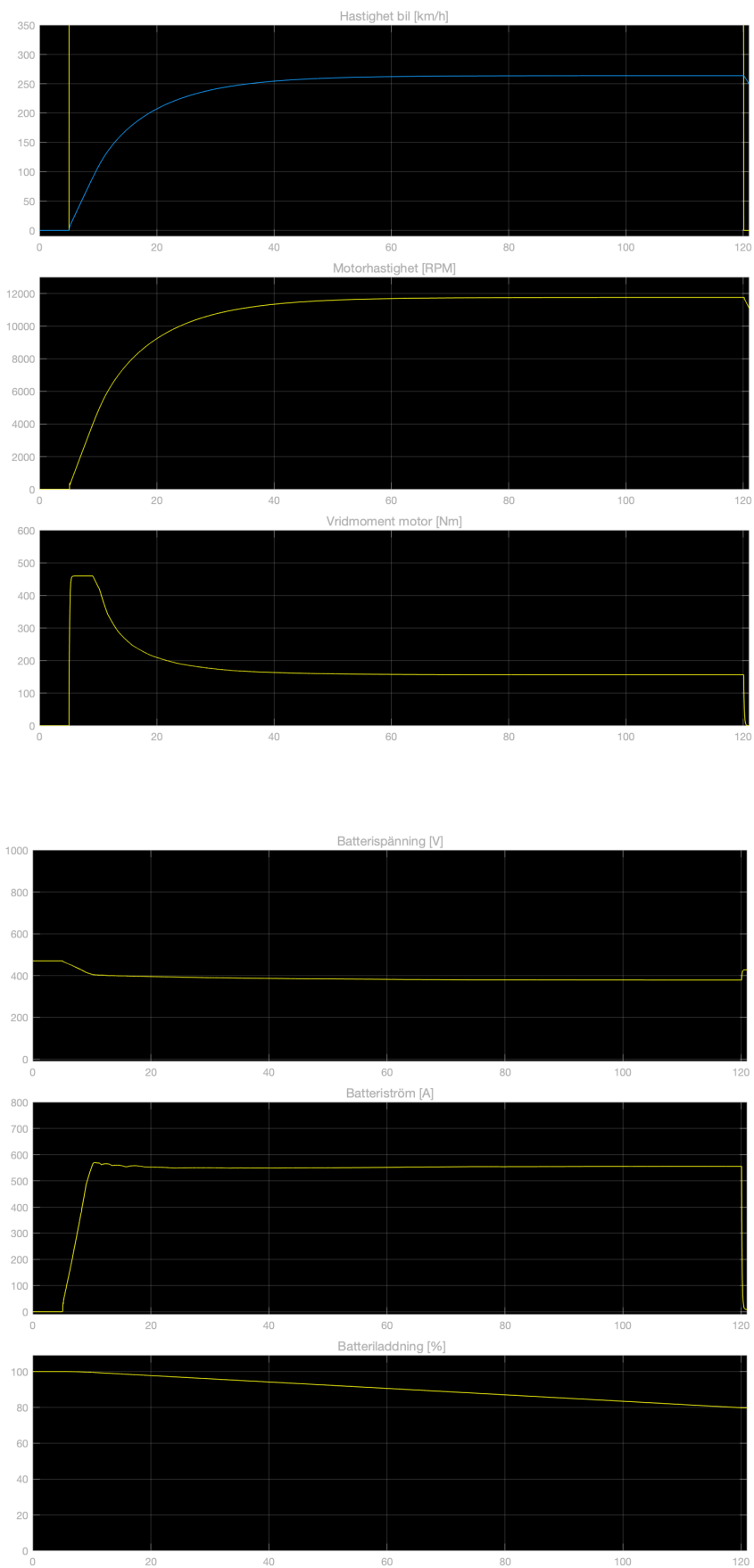
Acceleration för koncept B2



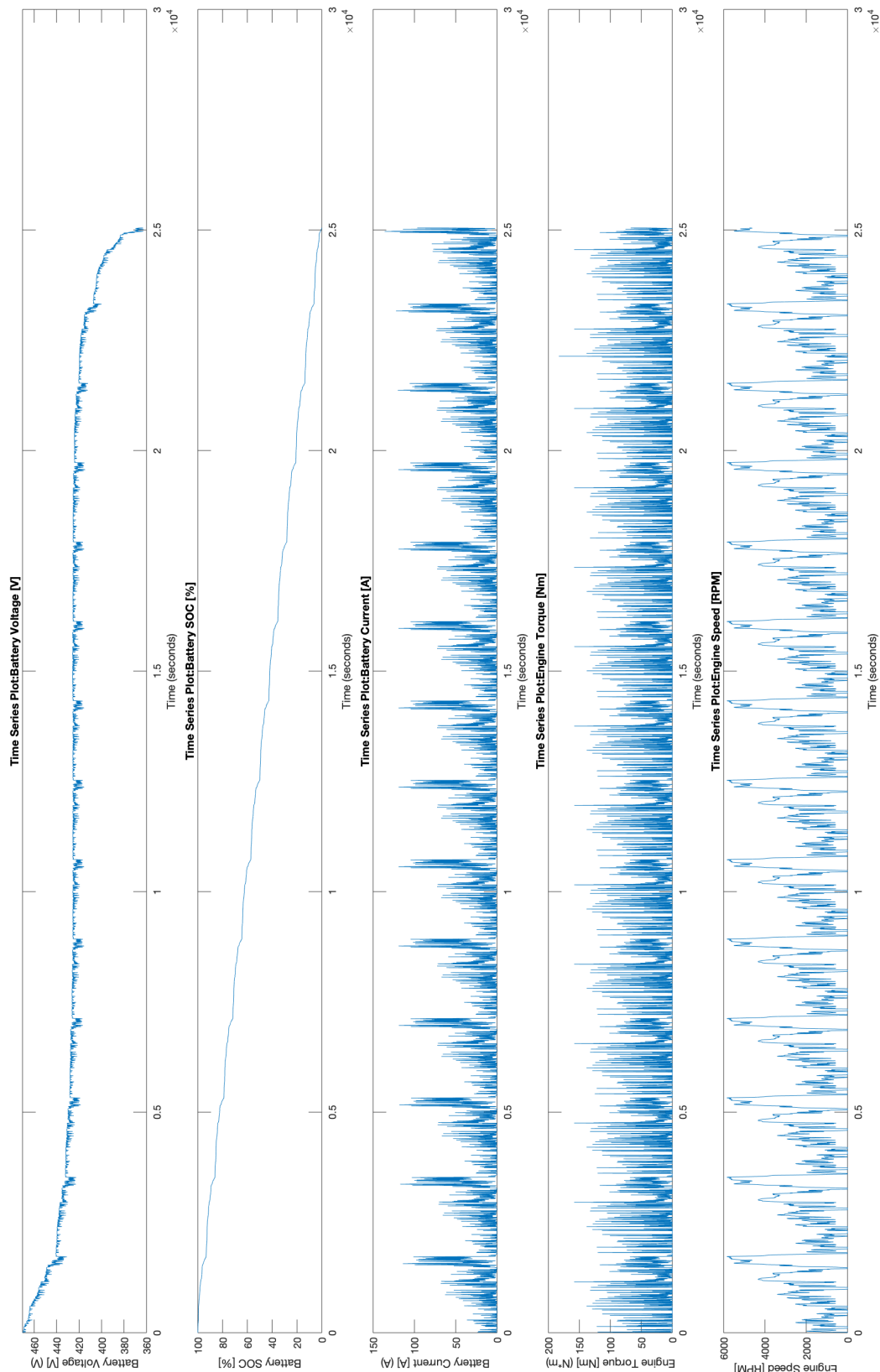
Räckvidd för koncept B2



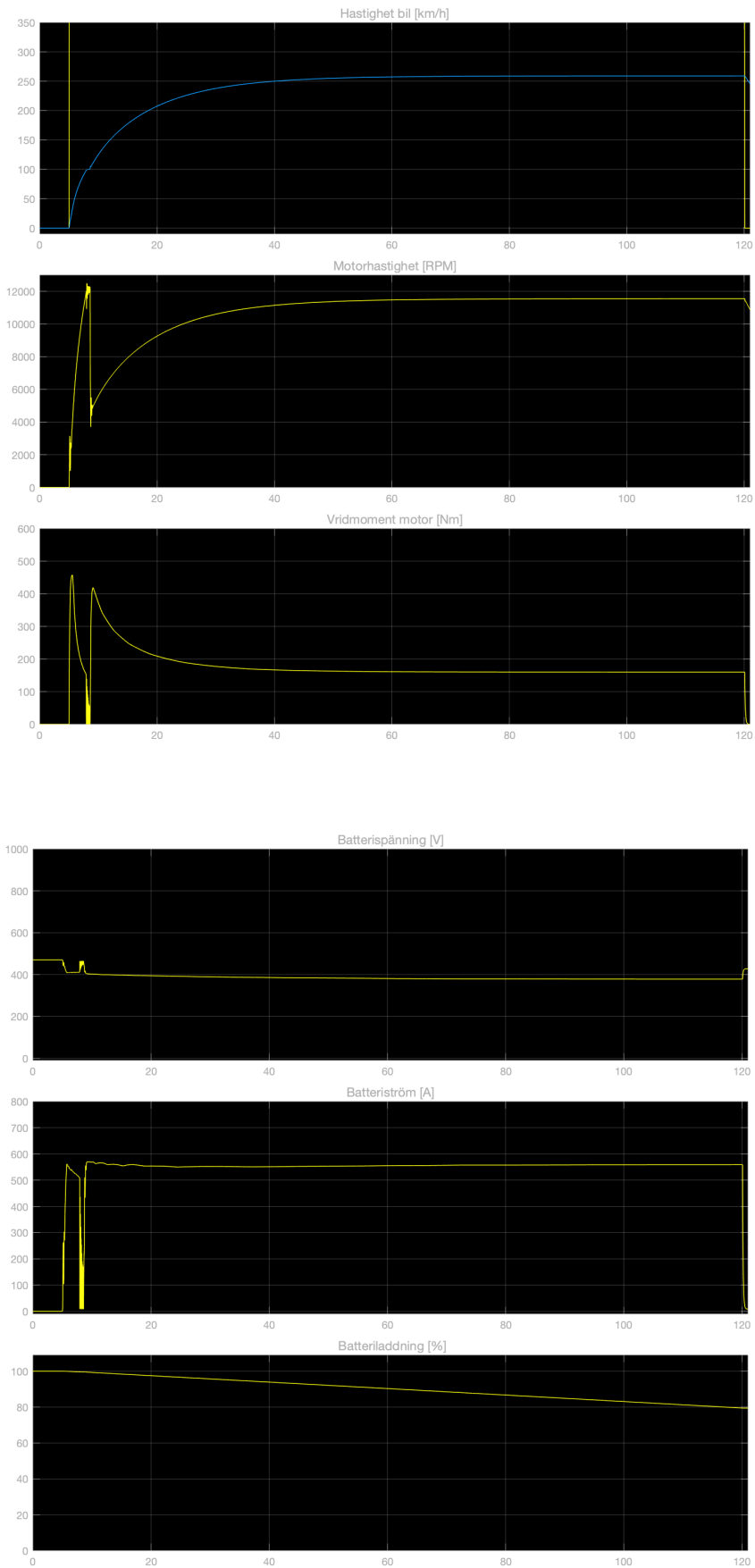
Acceleration för koncept B3



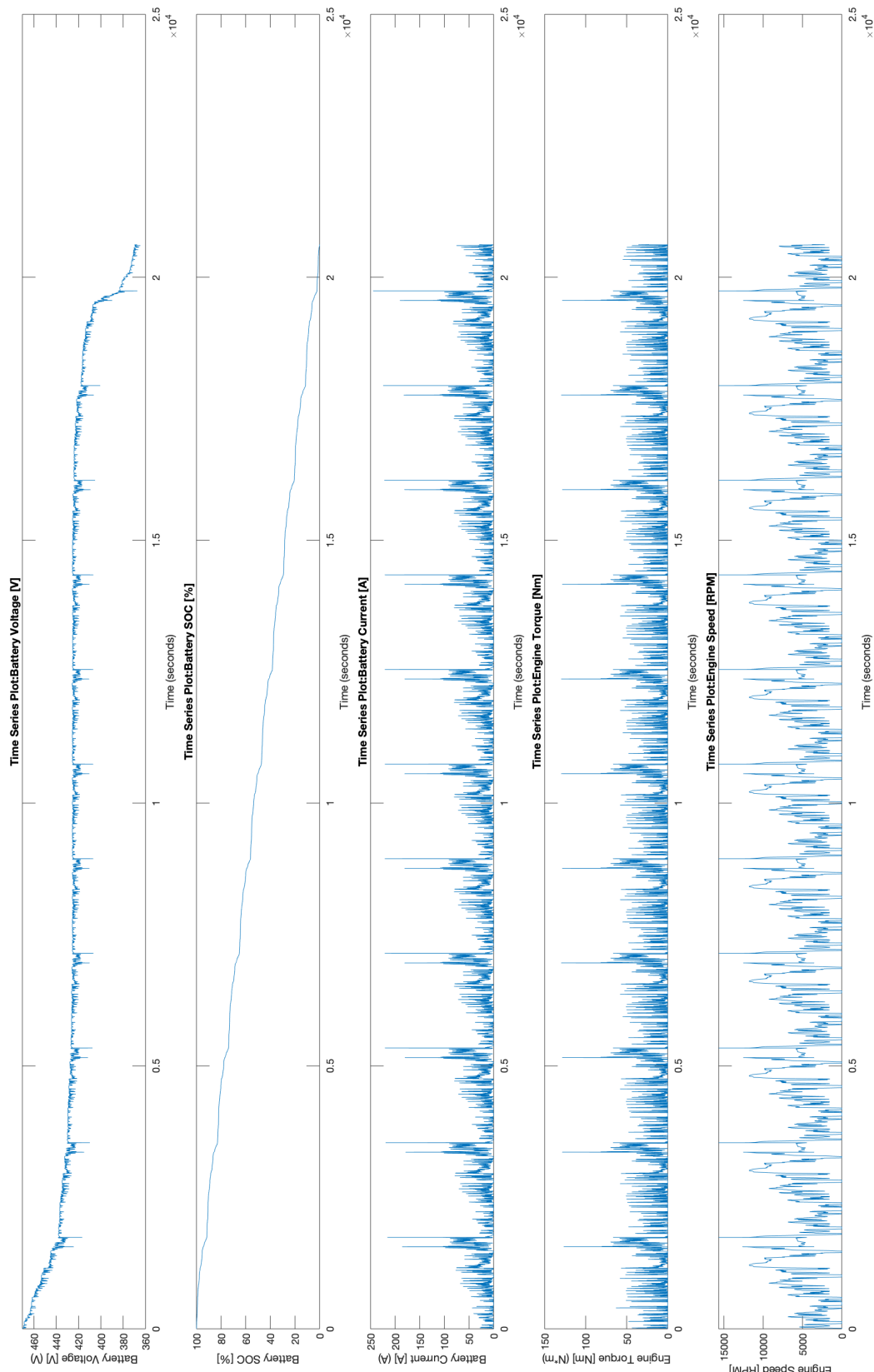
Räckvidd för koncept B3



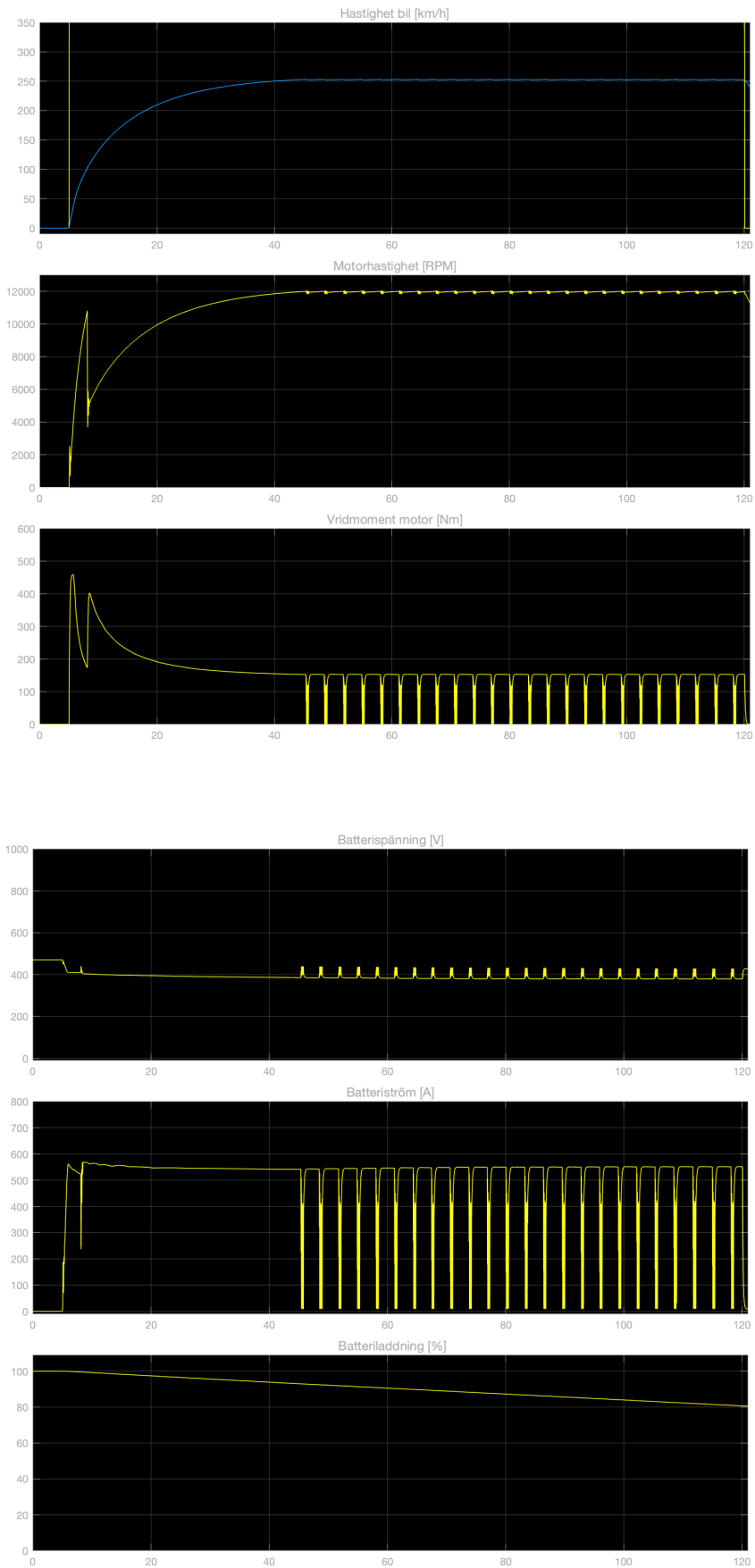
Acceleration för koncept B4



Räckvidd för koncept B4



Acceleration för koncept B5



Räckvidd för koncept B5

