



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Institutionen för energi och teknik

Systemutformning av autonom batteridrivna traktor inom lantbruket

*System design of an autonomous battery powered
tractor for agricultural use*

Martin Ericson

Systemutformning av autonom batteridrivna traktor inom lantbruket

System design of an autonomous battery powered tractor for agricultural use

Martin Ericson

Handledare: Gunnar Larsson, institutionen för energi och teknik, SLU
Ämnesgranskare: Anders Larsolle, institutionen för energi och teknik, SLU
Examinator: Åke Nordberg, institutionen för energi och teknik, SLU

Omfattning: 15 hp

Nivå, fördjupning och ämne: Avancerad nivå, A1N, teknik

Kurstitel: Projektarbete i energisystem

Kurskod: TE0012

Program/utbildning: Civilingenjörsprogrammet i energisystem 300 hp

Utgivningsort: Uppsala

Utgivningsår: 2018

Serietitel: Projektarbete i energisystem, institutionen för energi och teknik, SLU

Delnummer i serien: 2018:1

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: systemutformning, batteridrift, framtidens lantbruk

Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap
Institutionen för energi och teknik

Abstract

In this study, data from different studies were used to find how much energy that a conventional tractor required per hectare when it was performing different operations on a field. Data for operation speed and power demand were taken from an earlier study for each task of the tractor model Valtra 6600. In this report, the operation speed for each task on the field were simulated in Excel together with a given electrical motor, a battery and a charger. This was done in order to find what affected the working time for an autonomous battery powered tractor. Two scenarios were studied in Excel; how the distance to the charger, and different charging speeds affected the working hours in order to operate a 200-hectare farm.

The size of the battery affected the results most when the distance between the field and the charger was studied. The system design was in need of a larger battery size when the distance to the charger was 10 km or more. With a smaller distance, a smaller battery was required to reach valid results. Larger power of the charger means not only lower charging time of the battery. The results also showed that if the system configuration had a larger charging power, the working days of the tractor did not decrease significantly by larger battery size. In other words, the working hours of the tractor were more affected by larger battery size for a low-powered charger than for a high-powered charger. In this study, a high-powered charger was set to 100 kW to decrease the purchasing cost.

Considering the high cost and weight of the battery, the smallest battery size as possible was chosen, without increasing the working time on the field too much. A battery of 100 kWh was chosen since the results did not improve generally by installing a larger battery size. The electric synchronous permanent magnet motor was chosen to the system configuration, due to its normally high-power density and high efficiency. The power of the motor was set to 70 kW, since a smaller motor has lower weight and can be powered by less energy per hour compared to a larger motor.

With a system configuration of a high-powered charger of 100 kW, a high energy density battery of 100 kWh and one synchronous permanent magnet motor of 70 kW, the working time for the autonomous battery-powered tractor to perform different operations on a field was calculated to 63 days. This included field operation, transport between the charger and the field and charging time. Assuming the tractor was working 24 h a day at a 200-hectare farm and that the speed of the tractor on the road between the field and the charger was 30 km/h. The cost and the weight of the system configuration was calculated to 587 000 SEK and 646 kg. Considering maintenance and whether variations, in reality the autonomous tractor would have needed more time than 63 days of working the farm.

Sammanfattning

I det här projektarbetet användes data från olika studier för att ta reda på hur mycket energi som krävdes per hektar för en konventionell traktor som utförde olika arbetsmoment på ett fält. Bland annat användes olika arbets hastigheter och effektbehov för traktormodellen Valtra 6600, tagna från en tidigare rapport. I det här projektarbetet modellerades arbets hastigheterna per arbetsmoment i verktyget Excel tillsammans med en given motoreffekt för en elmotor, ett batteri och en laddningseffekt. Detta för att ta reda på vilka faktorer som påverkade brukningstiden vid arbete på en gård med en autonom batteridrivna traktor. Bland annat studerades hur olika laddningseffekter och avståndet till laddaren påverkade tiden att bruka en 200 hektar stor gård.

Storleken på batteriet hade störst påverkan på resultatet då avståndet till laddningsstationen undersöktes. Vid ett större avstånd på 10 km var systemet i behov av en större batteristorlek, i storleksordningen 200 kWh för att minska brukningstiden under maxgränsen på 150 dagar. Med ett mindre avstånd till laddaren kunde batteristorleken hållas mindre, runt 100 kWh. En högre laddningseffekt innebar inte bara minskad laddningstid. Behovet av att öka batteristorleken för att sänka arbetstiden på gården minskades också med en högre laddningseffekt. I den här studien valdes en laddningseffekt på 100 kW för att minska inköpskostnaden.

Med tanke på att vikten och kostnaden ökades betydligt med en större batteristorlek, valdes en så låg batteristorlek som möjligt utan att öka brukningstiden för mycket. Ett större batteri än 100 kWh visade sig inte påverka brukningstiden avsevärt varför denna energimängd valdes till systemutformningen. Den synkrona permanentmagnetmotorn valdes för sin normalt höga effektdensitet med en märkeffekt på 70 kW. Den här motorn valdes eftersom en mindre motor har både lägre kostnad och vikt. Dessutom förbrukar en mindre motoreffekt också mindre energi per timme jämfört med en större motor.

Med en systemutformning bestående av en laddningseffekt på 100 kW, ett batteri på 100 kWh och en synkron permanentmagnetmotor på 70 kW, skulle brukningstiden för den autonoma batteridrivna traktorn att utföra alla arbetsmoment på gården bli 63 dagar. Detta inkluderade arbetet på fältet, transporten mellan laddningsstation och fält samt laddningstiden av batteriet. Traktorn antogs arbeta dygnet runt på en 200 hektar stor gård och hastigheten mellan laddningsstationen och fältet var 30 km/h. Kostnaden och vikten för systemutformningen beräknades till 587 000 SEK och 646 kg. I verkligheten skulle traktorn kräva mer tid än 63 brukningsdagar med anledning av underhåll av traktorn samt dåligt väder. Eftersom traktorn inte kan utföra vissa arbetsmoment vid exempelvis regn eller storm.

Förord

Följande projektarbete är en del av ett större projekt gällande autonoma batteridrivna arbetsmaskiner inom lantbruket. Det stora projektet syftar bland annat till att undersöka autonoma maskinernas energiförsörjning, batterisystem och energianvändning. Projektet kommer även att analysera hur olika teknikval och handhavanden påverkar kostnader, energi och resursanvändning. Projektgruppen utgörs av forskare från Sveriges lantbruksuniversitet i Uppsala samt Uppsala Universitet och kommer att pågå mellan 2018–2021.

Innehållsförteckning

1	Bakgrund	1
1.1	Syfte och mål	3
1.2	Begränsningar	3
2	Teori	4
2.1	Batteri	4
2.2	Laddning	5
2.3	Elektriska motorer	6
3	Metod	9
3.1	Beräkningar	10
3.1.1	Generella beräkningar	10
3.1.2	Brukningstimmar på fält per dag	11
3.1.3	Brukningstimmar på gården per arbetsmoment	12
3.1.4	Antal dagar för att bruka gården	13
4	Resultat	14
4.1	Översiktligt resultat	14
4.2	Resultat från modellen: Två olika scenarion	15
4.3	Resultat från modellen: Systemutformning	18
4.4	Pris och vikt	19
5	Diskussion	22
5.1.1	Att tänka på vid systemutformningen	23
5.1.2	Förslag på fortsatt arbete	24
6	Slutsats	25
	Referenslista	27
	Bilaga A	30

1 Bakgrund

Ur statistik från tidningen Lantbruksnytt fanns det 2013 ca 300 000 dieseldrivna traktorer registrerade runt om i Sverige (Karlsson, 2013). Dessa traktorer släpper bland annat ut koldioxid och kväveoxider i luften vilka har en negativ påverkan på miljön. Exempelvis bidrar kväveoxider till övergödning och försurning av skog, mark och vatten (Naturvårdverket, 2017). Diesel är ett pålitligt fossilt bränsle som används i förbränningsmotorer för bland annat traktorer inom lantbruket. Bränslet har många fördelar, exempelvis högt energiinnehåll jämfört med andra förnyelsebara och fossila drivmedel (Elmfors et. al, 2012). Däremot är skillnaden i verkningsgrad för en dieselmotor jämfört med en elmotor stor. Dieselmotorn har en verkningsgrad på 35 - 40 % (Cengel & Boles, 2011) medan elmotorn kan ha en verkningsgrad på över 90 % (Ewest, 2018).

Ett alternativt drivningssystem för en autonom traktor inom lantbruket kan vara elmotor, växelriktare, batteri och annan kraftelektronik. Dessa skulle bland annat ersätta dieselmotorn och bränsletanken i en konventionell traktor. En 75 kW dieselmotor kan exempelvis väga upp mot 400 kg (John Deere, 2018) jämfört med en asynkron elmotor på exempelvis 93 kW som väger omkring 70 kg (Ewest, 2018).

Totalvikten på en traktor varierar mellan olika typer och storlekar. Vikten för en konventionell traktor som exempelvis Fendt 312 Vario S4, 95 kW eller Valtra 6600 420 DS, 75 kW väger 6,9 respektive 4,4 ton (Engström & Lagnelöv, 2017), (Werktuigen, 2018). En autonom traktor är vanligen lättare eftersom den inte innehåller någon hytt, dieselmotor eller bränsletank. Vikten för en autonom batteridrivna traktor med 36 kW motor och 113 kWh batteri är 2,7 ton (Engström & Lagnelöv, 2017). Enligt Transportstyrelsen får en traktor maximalt köra 50 km/h på väglag, om fordonet innehåller en synlig km skylt och är producerad efter 2003. För traktorer producerade innan 2003 gäller en hastighetsbegränsning på 30 km/h

Intresset för eldrivna fordon med batteri ökar, trots det finns det få jordbruksmaskiner med elektrisk drivning på marknaden idag. John Deere presenterade exempelvis 2016 ett nytt projekt så kallat SESAM (Sustainable Energy Supply for Agricultural Machine), där en konventionell traktor utrustas med batterier och elmotor för att användas inom lantbruket. Jordbruksföretaget Fendt har också blicken ställd på elektrifiering och självbetående lantbruksmaskiner. 2016 släpptes en vision med ett koncept så kallat MARS (Mobile Agricultural Robot Swarm), där mindre elektriska maskiner planeras att användas autonomt till sådd, gödsling och skörd (Engström & Lagnelöv 2017).

Det finns många fördelar med autonoma traktorer inom lantbruket. Jordbruksfältet är oftast avgränsat och arbetet är relativt monotont. Oförutsägbara störningsmoment i form av människor eller djur som hoppar fram framför traktorn är också mera sällsynt på fält, än i exempelvis tätorter för en autonom bil eller buss. Idag finns teknik som kan anpassas till jordbrukets autonoma behov. Men det är egentligen inte fältarbetet som är utmaningen, utan de största svårigheterna ligger i transporten på väg till och från laddningsstationen (Engström & Lagnelöv 2017).

I studien ”Batteridrivna autonoma jordbruksmaskin – Simulering av maskinaktiviteter på en svensk gård” beräknades effekterna av att ersätta en konventionell traktor (165 kW) med två mindre batteridrivna autonoma traktorer vilka hade en motoreffekt och batteristorlek på vardera 36 kW och 113 kWh. Resultatet visade bland annat att inköpskostnaden, energianvändningen och växthusgaserna minskade. Däremot lämnas flera frågor obesvarade. Exempelvis hur mycket energi som krävs för att utföra olika arbetsmoment på en gård samt hur systemutformningen av traktorn bör se ut till motor, batteri och laddare även praktiska problem och möjligheter med autonom batteridrift behöver besvaras för fortsatt arbete (Engström & Lagnelöv 2017).

1.1 Syfte och mål

Syftet med projektarbetet var att undersöka vilka systemutformningar (motoreffekt, laddningseffekt och batteristorlek) som kunde genomföra arbetet med att bruka en lantbruksgård tillräckligt snabbt för att ersätta en konventionell traktor. Detta sett till batteriets kemiska sammansättning, energiinnehåll, vikt och kostnad samt elmotorns typ, märkeffekt, vikt och kostnad. Syftet var att visa vilka faktorer som påverkar resultatet och ge en generell bild över hur en systemutformning i en autonom batteridrivna traktor kan se ut. Arbetet kommer att jämföra olika systemutformningar där motoreffekt och energilagring i batteriet varieras mot brukningstiden för traktorn för två olika scenarion. Därefter kommer den optimala motor och batteristorleken identifieras. Målet med projektet var att:

- Ta reda på hur mycket energi som krävs för att utföra olika arbeten på ett fält.
- Undersöka vilken typ av motor och batteri som är lämplig för att ersätta drivningen hos en mindre dieseldrivna traktor som utför arbetsuppgifter på ett fält.
- Få en uppfattning om vilka storlekar på batterier och motorer som krävs i en autonom batteridrivna traktor.
- Undersöka vilken systemutformning som skulle kräva minst antal dagar för att bruka en gård, ur ett viktmässigt och ekonomiskt perspektiv
- Undersöka sambandet mellan motorstorlek, batteristorlek och laddningshastighet.

1.2 Begränsningar

I modellen studerades endast hur sambandet mellan olika effekter och energiinnehåll på elmotor, laddare och batteri påverkar en utvald traktors brukningstid på en gård. Hur olika typer av elmotorer eller batterier påverkade resultatet, studerades inte. Inte heller kraftelektroniken i systemet, det vill säga verkningsgrader på växlarriktaren eller andra möjliga energiförluster som skulle ha uppkommit i praktiken. Modellen grundar sig på resultat som baseras på traktormodellen Valtra 6600 olika arbetshastigheter, där drivningen teoretiskt bytts ut från dieselmotor och bränsletank till elmotor och batteri.

2 Teori

2.1 Batteri

För att kunna driva en elektrisk traktor trådlöst behövs ett batteri. Litiumbatteriet är det batteri som är mest framträdande i elektriska fordon på grund av dess höga energi- och effektdensitet (Hosseinzadeh et. al, 2018). Det har också låg självurladdning och lång livstid (Yang et. al, 2017).

Litiumbatterier är känsliga för arbetstemperaturen. En högre arbetstemperatur medför mindre resistans i battericellen vilket ger batteriet en högre prestanda. Där- emot ökar även sidoreaktionerna i cellen med en ökad temperatur, vilka förkortar livslängden på batteriet. En lägre temperatur försämrar prestandan på batteriet främst på grund av högre resistans i cellen. Den optimala arbetstemperaturen för ett litiumbatteri är mellan 25 och 35 °C (Hosseinzadeh et. al, 2018).

Kostnaden på litiumbatteripaket för elektriska fordon har sedan 2010 minskat med nästan 80 %, från 1 000 \$/kWh till 227 \$/kWh (2016) skriver Knupfer et. al (2017) i deras studie om hur bilförsäljare kan driva försäljningen av elektrifierade fordon. De skriver att kostnaden på litiumbatterier dessutom väntas sjunka till 190 \$/kWh till 2020 och vidare ner under 100 \$/kWh efter 2030.

Det finns idag få separat sålda batteripaket ämnade att driva elektriska fordon på den kommersiella marknaden. De flesta batterier som används är framtagna av företaget där pris och energiinnehåll hemlighetsstämplats. Som exempel för den här studien har två batterier från företaget Tesla använts. Dessa är Tesla Smart Litium-jon batteri 18650 EV modul och Tesla Modell S Litium-jon batteri EV modul och visas i tabell 1. Katoderna i dessa batterier är gjorda av LiNiCoAlO_2 , också kallat NCA, och har en högre energidensitet än exempelvis LiFePO_4 som främst används för stationär energilagring (Engström & Lagnelöv, 2017).

Tabell 1 – Batterispecifikation för Tesla Smart Litium jon batteri EV modul och Tesla Modell S Litium jon batteri EV modul. Källa: www.evwest.com.

Batteri	Tesla Smart	Tesla Modell S
Kapacitet [Ah]	57	232
Kapacitet [kWh]	3	5,3
Nominell modulspänning [V]	57	22,8
Antal Celler	330	444
Maximal laddningsspänning [V/cell]	4,2	4,2
Maximal Laddningsström [A/cell]	4	4
Urladdning [V/cell]	3,3	3,2
Höjd [m]	0,18	0,08
Bredd [m]	0,07	0,30
Längd [m]	0,99	0,67
Vikt [kg]	19,1	24,9
Pris [\$]	690	1 450

2.2 Laddning

En batteriladdare behövs för att ladda upp batteriet vid behov. Batteriets livslängd påverkas bland annat av hur batteriet laddas. En högre ström än maximala laddningsströmmen och en ökad temperatur vid laddning kan bidra till överhettning och minskad livslängd (Zhang et. al 2017). Djupa urladdningar och överladdning av litiumbatteriet bör också undvikas (Prochazka et. al, 2016). Batteriladdare från företaget Siemens ses i tabell 2.

Tabell 2 – Batteriladdare med olika maxeffekter, strömstyrka och pris. Källa: Engström & Lagnelöv, 2017

Batteriladdare	Maxeffekt [kW]	Strömstyrka [A]	Pris [\$] (med installationskostnad)
Siemens Plug-in DC Charging	25	63	33 131
Siemens Plug-in DC Charging	60	150	33 131
Siemens Plug-in DC Charging	100	250	33 131
Siemens Integrated Bottom-Up Pantograph	120	300	66 262
Siemens Plug-in DC Charging	150	375	82 767
Siemens Off-Board top-down Pantograph	300	750	248 422

2.3 Elektriska motorer

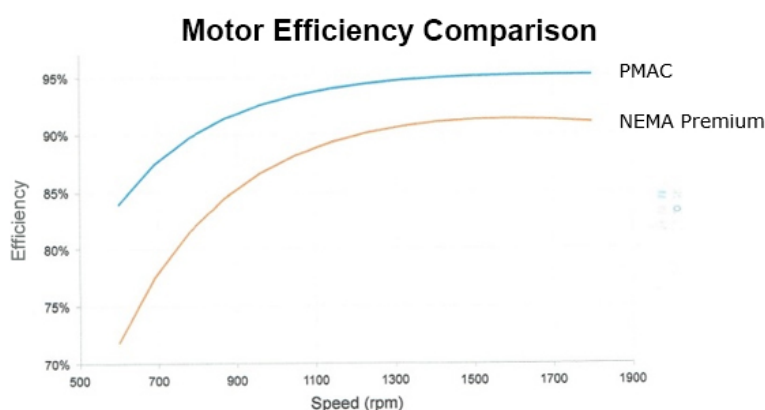
Det finns olika typer av elektriska motorer både likströmsmotorer och växelströmsmotorer tillverkade för drivning av fordon. Dessa är bland annat asynkronmotor, synkron permanentmagnetmotor eller likströmsmotor med borste. De elmotorer som tagits fram för modellen visas i bilaga A tabell 2A.

För att överföra ström från batteriet till spolen använder vissa likströmsmotorer kolborstar. Dessa behöver ofta bytas ut och därmed blir likströmsmotorn inte lika pålitlig och underhållsvänlig som växelströmsmotorer i ett elektriskt fordon skriver författarna i studien ”An Overview of Power Electronics in Electric Vehicles”. Detta då en växelströmsmotor har högre effektdensitet, högre verkningsgrad och är nästintill underhållsfri (Chan & Chau 1997).

De växelströmsmotorer som anses lämpliga i drivsystem för traktorer är asynkronmotorer och synkrona permanentmagnetmotorer. Det är på grund av deras enkla design som erbjuder hög pålitlighet och mindre underhåll samt deras höga verkningsgrad. Dessa motorer är också välstuderade tekniker som länge har funnits på den kommersiella marknaden för elmotorer till elektriska bilar (Santiago et. al, 2012).

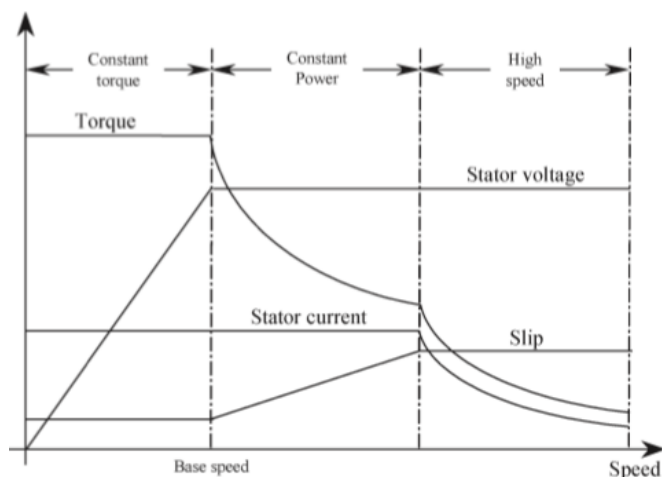
De största skillnaderna mellan en synkron permanentmagnetmotor och en asynkronmotor är att permanentmagnetmotorn tenderar att vara storleksmässigt mindre och mer kompakt sett till effekt och massa än asynkronmotorn. Dessutom har permanentmagnetmotorn en högre verkningsgrad och har möjligheten att utnyttja fullt vridmoment vid lägre varvtal. Kostnaden för en permanentmagnetmotor är dock initialt dyrare på grund av de högre materialkostnaderna för permanentmagneter. En annan nackdel är att en synkron permanentmagnetmotor inte startar lika lätt som en asynkronmotor (Bistak & Kim, 2017).

En översiktsbild av hur varvtalet beror av verkningsgraden för respektive motor kan ses i figur 1. Där ”PMAC” och ”NEMA Premium” står för permanentmagnetmotorn respektive asynkronmotorn. I figur 1 ses att permanentmagnetmotorn har en högre verkningsgrad än asynkronmotorn.



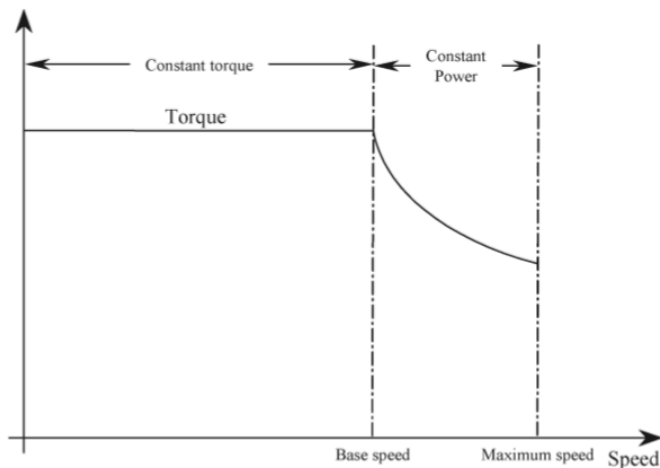
Figur 1 – Verkningsgrad som funktion av varvtal (Bistak & Kim 2017).

Verkningsgraden för en elmotor påverkas av hur motorn används och vilken spänning den tilldelas från batteriet. En lägre spänning än märkspänningen på motorn resulterar bland annat i en sänkt verkningsgrad. Hur motorn presterar för olika vridmoment och hastigheter beror på hur elmotorn är utformad och vilken arbetsuppgift den är ämnad för. (Santiago et. al 2012) Hur vridmoment-hastighetsrelationerna ser ut för en asynkronmotor och en synkron permanentmagnetmotor kan ses i figur 2 respektive 3.



Figur 2 - Vridmoment-hastighetsrelationen för asynkronmotor (Zeraoulia et. al 2010).

I figur 2 ses att asynkronmotorns vridmoment minskar då hastigheten ökar. Vid hög hastighet har asynkronmotorn mycket lågt vridmoment.



Figur 3 - Vridmoment-hastighetsrelationen för synkron permanentmagnetmotor (Zeraoulia et. al 2010).

I figur 3 ses att permanentmagnetmotorn till skillnad från asynkronmotorn endast minskar sitt vridmoment till hälften vid maximal hastighet.

Kostnaden på permanentmagnetmotorer beror till stor del på det dyrare materialet i permanentmagneter. Permanentmagneter är tillverkade av sällsynta jordartsmetaller så som neodymium, dysprosium och kobolt. Dessa grundämnen finns bland annat i NdFeB som är en av de permanentmagneter med högst magnetiseringsflöde

och används i synkrona permanentmagnetmotorer. Framtidsprognoser visar att priserna för dessa grundämnen kommer att öka och därmed ge ett högre pris för permanentmagneter i framtiden (Statista, 2014). Försök har gjorts för att komma ifrån den dyrare prisbilden genom att tillverka permanentmagnetmotorer med andra magnetmaterial så som ferromagneter, men dessa tenderar att ha sämre prestanda (Widmer och Kimiabeigi, 2015).

Stefan Östlund, professor på Kungliga Tekniska Högskolan menar att det kan vara svårt att sätta ett specifikt pris på permanentmagnetmotorer. Ett rimligt värde kan antas ligga på 100 \$/kW för asynkronmotorer och cirka 150 \$/kW för synkrona permanentmagnetmotorer. Priset för de motorer som används i projektarbetet ses i bilaga A tabell 1A.

3 Metod

I arbetet har verktyget Excel använts för att utveckla en modell. Modellen har använts för att ta reda på vilken systemutformning (märkeffekt på motor, batteristorlek och laddningseffekt) som skulle kräva minst antal dagar för att bruka en gårdsarea. Två scenarion har jämförts med olika systemutformningar. I scenario 1 varierades avståndet till laddningsstationen och i scenario 2 varierades laddningseffekten. Olika motorer, batterier och laddare har också tagits fram och satts in i modellen för att få en verklighetsbild av priser, vikt och dimensioner. Modellen har utvecklats med hjälp av flera antaganden;

- Traktorns arbetstid: 24h om dygnet (ingen tid för underhåll)
- Gårdens storlek: 200 ha (något större än en snittgården i Sverige, har kapacitet att satsa på ny teknik)
- Hastigheten på väglag till och från laddningsstationen: 30 km/h
- Traktorn återgår till laddningsstationen med $\leq 20\%$ kvar av batteristorleken (av hållbarhetssynpunkt för batteriet)
- Laddningseffekten: 43 kW vid scenario 1
- Sträckan till laddningsstationen: 2,5 km vid scenario 2

I studien ”American Machinery Management Data” (ASAE, 1999), användes en ekvation samt tre olika redskapsparametrar för att ta reda på hur dragkraften från ett plogredskap påverkas av arbetsbredd, hastighet och djup. Detta gjordes för att ta reda på hur mycket energi som krävs per hektar samt för att ge en generell bild över hur ett redskap påverkas av olika hastigheter och djup på ett fält.

I Lindgren et. al (2002) har data mätts upp för olika jordbruks- och arbetsmaskiner. Bland annat uppmättes effektbehov och arbetshastighet för jordbruksmaskiner på fält med olika redskap. Data för exempelvis; stubbearbetning, plöjning, harvning, konstgödselspridning, sådd, vältning samt spridning av urin samlades in för traktormodellen Valtra 6600(SISU) 420 DS, 75 kW från 1996. Dessa värden kan ses i bilaga A tabell 3A.

De olika arbetsmomenten för att odla spannmål på ett fält togs från studien ”Optimering av lantbrukets maskinsystem – metodik baserat på blandad heltalsprogramering. Undervisningskompendium” där beskrivs arbetsmomenten för vårbruk i ordning; stubbearbetning, plöjning, sladdning, harvning, konstgödselspridning, harvning, sådd, vältning, spridning av urin (gödselspridning) och sprutning. Studien är baserad på ”Planering av jordbrukets maskinsystem – Problem, modeller och tillämpningar” (Nilsson, 1976)

Alla arbetsmoment från Nilsson (1976) fanns inte med i studien Lindgren et. al (2002). Därför antogs sladdning ha samma uppmätta arbetseffekt och arbetshastighet som vältning och sprutning antogs ha samma uppmätta arbetseffekt och arbetshastighet som spridning av urin (gödselspridning).

Antaganden för de olika arbetsmomenten ses i tabell 3, där perioden för när de bör utföras är beskrivet. Här ses också att maxtiden för att bruka gården under ett år är cirka 150 dagar.

Tabell 3 – Antaganden för bruksperioderna för de olika arbetsmomenten.

Fältoperation	Tidsperiod
Sladdning	16 mars – 15 maj
Harvning	16 mars – 15 maj
Konstgödsling	16 mars – 15 maj
Harvning	16 mars – 15 maj
Sådd	16 mars – 15 maj
Vältning	16 mars – 15 maj
Gödselspridning	16 mars – 15 maj
Sprutning	15 juni – 15 juli
Stubbearbetning	1 aug – 30 sep
Plöjning	1 aug – 30 sep

3.1 Beräkningar

3.1.1 Generella beräkningar

Från studien ”American Machinery Management Data” har en ekvation använts för att beskriva hur jorddjupet och hastigheten på ett traktorredskap beror av dragkraften. Denna ses i ekvation 1. Eftersom olika marktyper kräver olika mycket dragkraft kan markparametern ändras beroende på vilka jordegenskaper som finns på platsen som undersöks. I ekvation 1 betecknas markegenskaperna av F_1 som är en dimensionslös jordkonsistens parameter (1 = finfördelad jord, 2 = mellan, 3 = grov). F är beteckningen för dragkraften [N]. A_1 , B_1 och C_1 är maskinspecifika parametrar tagna för ”molded plow” (plog) från ASAE (1999), v är fälthastigheten [km/h], T är jordbearbetningsdjupet [cm] och W är bredden på redskapet [m].

$$F = F_1[A_1 + B_1(v) + C_1(v^2)] \cdot T \cdot W \quad (1)$$

Ekvation 2 beskriver det effektbehov [kW] som redskapet behöver dras med, där hastigheten v_1 [m/s] multipliceras med dragkraften [N] från ekvation 1.

$$P = \frac{v_1 \cdot F}{1\,000} \quad (2)$$

Energiförbrukningen tas fram genom att dividera effektbehovet från ekvation 2 med bredden [m] och hastigheten på redskapet [km/h]. För att få enheten i [kWh/ha] multipliceras det beräknade värdet med 10 000 [m²/ha].

$$E_{redskap} = \frac{P}{W \cdot v} \cdot 10\,000 \quad (3)$$

I studien Lindgren et. al (2002) uppmättes värden för olika arbetseffekter och arbetshastigheter med traktormodellen Valtra 6600. För att ta reda på hur mycket energi per hektar som krävdes för varje arbetsmoment används ekvation 4, där arbetseffekten [kW] divideras med arbetshastigheten [ha/h] för varje moment.

$$E_{arbetsmoment} = \frac{P_{Arbete}}{v_a} \quad (4)$$

3.1.2 Brukningstimmar på fält per dag

I den här delen beräknas hur många timmar som den autonoma traktorn kunde köras på fält per dag med en given systemutformning.

Tiden till och från laddningsstationen per laddning [h/laddning] beräknas med ekvation 5, där sträckan, S [km] divideras med hastigheten, v [km/h].

$$t_{till\ och\ från\ laddning} = 2 \cdot \frac{S}{v} \quad (5)$$

Tiden för att ladda batteriet [h/laddning] beräknas med ekvation 6. Där Q är det valda batteriets kapacitet [kWh] och P den valda laddningseffekten [kW]. I varje modellering används 80 % av kapaciteten i batteriet. På både urladdning och fulladdningssidan finns en marginal som inte används för att förbättra hållbarheten av batteriet.

$$t_{laddningstid} = \frac{Q}{P_{laddare}} \cdot 0,8 \quad (6)$$

Körningstiden per laddning beräknas utifrån antagandet att batteriet inte skulle laddas ur helt på grund av hållbarhetsskäl. Traktorn skulle återgå till laddstationen först då batteriet hade nått $\leq 20\%$ kvar av kapaciteten. Körningstiden per laddning [h/laddning] beräknas genom att dividera energikapaciteten [kWh] av batteriet med märkeffekten [kW] på motorn. Detta ses i ekvation 7.

$$t_{körningstid} = \frac{E_{Batteri}}{P_{motor}} \cdot 0,8 \quad (7)$$

Körningstiden på fält beräknas med ekvation 8, där körningstiden subtraheras med tiden till och från laddningsstationen. På så sätt fås körningstiden som spenderas på fält per laddning [h/laddning].

$$t_{\text{körningstid på fält}} = t_{\text{körningstid}} - t_{\text{till och från laddning}} \quad (8)$$

Antal laddningar per dag beräknas med ekvation 9 med antagandet att traktorn var i drift 24 h om dygnet. C står för antalet laddningar per dag och tiderna har enheten [h/laddning].

$$C = \frac{24}{t_{\text{till och från laddning}} + t_{\text{laddningstid}} + t_{\text{körningstid på fält}}} \quad (9)$$

Körningstiden på fältet per dag [h/dag] beräknas med ekvation 10. Antalet laddningar under en dag multipliceras sedan med körningstiden på fält [h/laddning].

$$t_{\text{körningstiden på fält per dag}} = C \cdot t_{\text{körningstid på fält}} \quad (10)$$

3.1.3 Brukningstimmar på gården per arbetsmoment

I den här delen beräknas tiden i timmar för den autonoma traktorn att bruka gården per arbetsmoment med en given motoreffekt. De uppmätta arbetshastigheterna [ha/h] per arbetsmoment för Valtra 6600 är tagna från (Lindgren et. al, 2002).

Tiden att bruka gården per arbetsmoment för den autonoma traktorn beräknas genom att först räkna ut förhållandet X, mellan motoreffekten från Valtra 6600 (75 kW) och en vald motoreffekt. Detta ses i ekvation 11.

$$X = \frac{P_{\text{Valtra 6600}}}{P_{\text{motor}}} \quad (11)$$

Arbetstiden per hektar och arbetsmoment beräknas sedan genom att dividera förhållandet X, med den uppmätta arbetshastigheten per arbetsmoment för Valtra 6600. Detta ses i ekvation 12 där v_a står för arbetshastigheten [ha/h].

$$t_{\text{arbete}} = \frac{X}{v_a} \quad (12)$$

Den totala tiden att bruka gårdsarean visas i ekvation 13 där arbetstiden per hektar och arbetsmoment multipliceras med gårdens storlek, $A_{\text{gård}}$ [ha].

$$t_{\text{total}} = t_{\text{arbete}} \cdot A_{\text{gård}} \quad (13)$$

3.1.4 Antal dagar för att bruka gården

För att få fram tiden att utföra arbetsmomentet i dagar divideras sedan resultatet i ekvation 13 med ekvation 10. Detta ses i ekvation 14, där D är antalet dagar för att bruka gården per arbetsmoment.

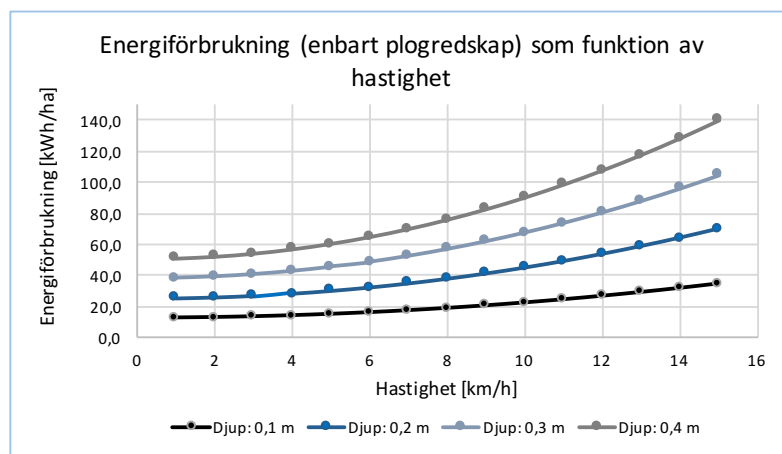
$$D = \frac{t_{total}}{t_{körning\ på\ fält\ per\ dag}} \quad (14)$$

Det totala antalet dagar summeras sedan för alla 10 arbetsmomenten. Med olika motoreffekter, batterikapaciteter och laddningseffekter undersöktes vilken systemutformning som krävde minst antal dagar för att bruka gården för två olika scenarion.

4 Resultat

4.1 Översiktligt resultat

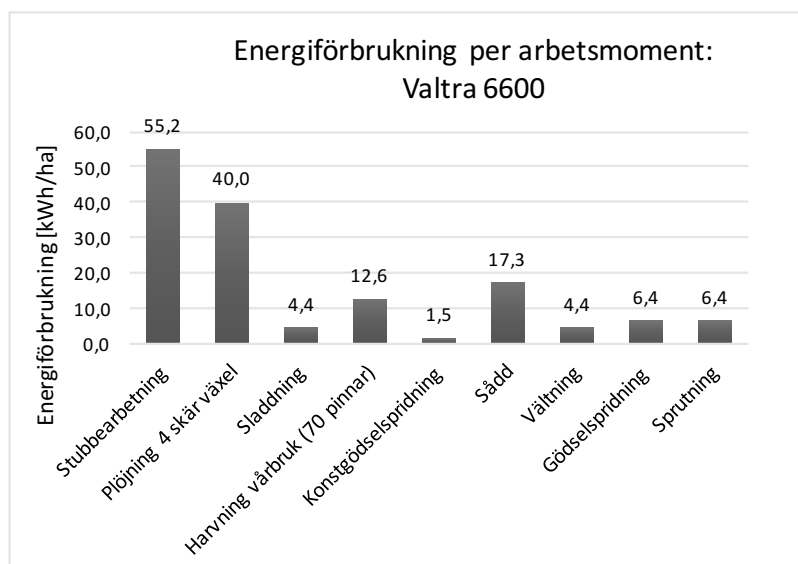
För att ge en generell bild över hur lantbruksredskap påverkas av hastighet och arbetsdjup har ekvationerna 1 - 3 använts. Parametrarna A_1 , B_1 och C_1 tagna för ”molded plow” sattes till 602, 0 och 5,1. Markkvaliteten F_i sattes till 2 och bredden på redskapet sattes till 5 m. I figur 4 nedan ses hur energibehovet per hektar beror av hastigheten och arbetsdjupet av ett plogredskap på ett fält.



Figur 4 – Energiförbrukningen för ett plogredskap som funktion av hastighet för olika djup.

I figur 4 ses att mer energi per hektar förbrukas med högre arbetshastighet och större arbetsdjup. Djupet på redskapet är den faktor som har störst påverkan på energiförbrukningen per hektar.

Energiförbrukningen per hektar och arbetsmoment har tagits fram genom ekvation 4 för att se hur mycket energi som traktormodellen Valtra 6600 kräver för de 9 olika arbetsmomenten. Detta ses i figur 5.



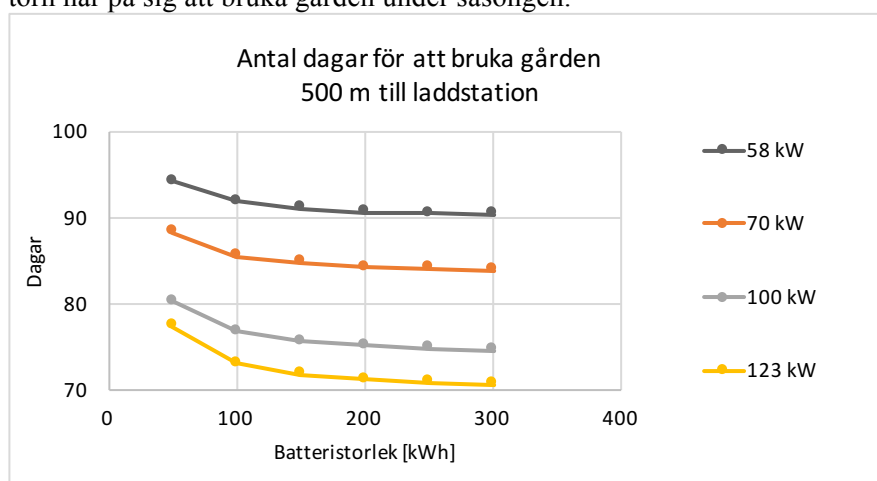
Figur 5 – Energiförbrukningen per hektar för nio olika arbetsmoment för den dieseldrivna traktorn Valtra 6600.

I figur 5 ses att stubbearbetning och plöjning är de moment som kräver mest energi per hektar.

4.2 Resultat från modellen: Två olika scenarion

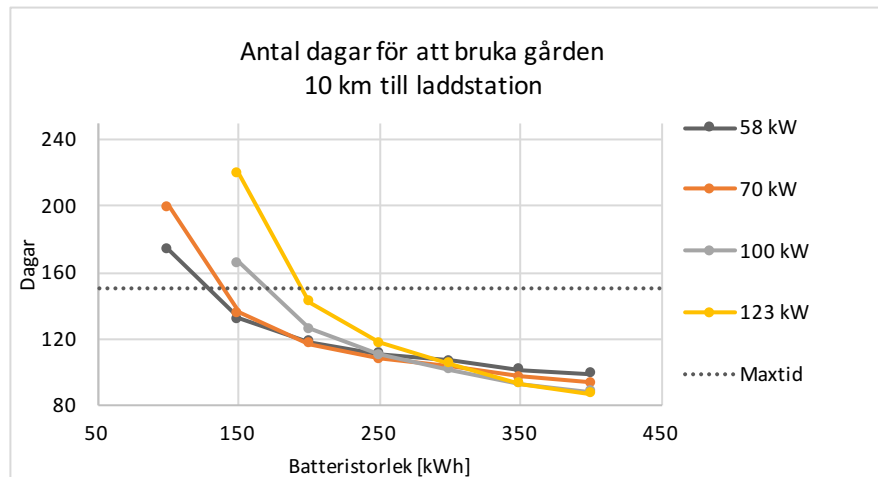
För att få en uppfattning om vilken laddningshastighet, motor- och batteristorlek som är lämplig för systemutformningen av en autonom traktor simulerades olika scenarion. I figur 6 och 7 ses hur antalet bruksdagar beror av sträckan till laddningsstationen. I dessa figurer var avståndet till laddningsstationen 0,5 km respektive 10 km. I figurerna 8, 9 och 10 ses hur antalet bruksdagar beror av laddningshastigheten av batteriet. I de figurerna varierades laddningseffekterna mellan 25, 43 och 120 kW. Figurerna 6 – 10 har tagits fram genom ekvationerna 5 – 14.

Den streckade linjen i vissa figurer representerar den maxtid (150 dagar) som traktorn har på sig att bruka gården under säsongen.



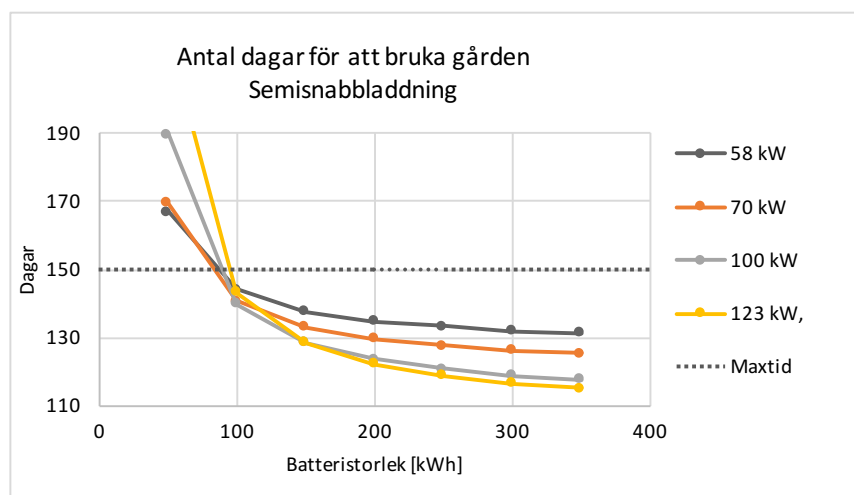
Figur 6 – Antalet dagar som krävs för att utföra alla 10 arbetsmoment och bruka den 200 hektar stora gården. Avståndet till laddningsstationen är 500 m och batteriet laddas med en laddningseffekt på 43 kW.

Från figur 6 ses att om laddningsstationen befinner sig i närområdet kan batteristorleken hållas mindre. Det ses genom att antalet bruksdagar inte sjunker avsevärt mycket med en högre batteristorlek. I det här scenariot kräver de större motorerna minst tid för att bruka gården, 100 kW motorn kräver exempelvis 76 dagar för att bruka gården med en batteristorlek på 100 kWh och 74 dagar för att bruka gården med en 300 kWh batteristorlek.



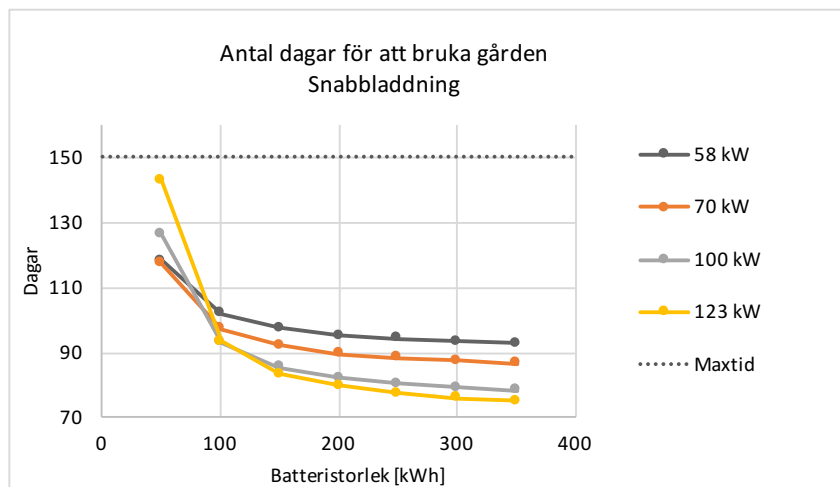
Figur 7 - Antalet dagar som krävs för att utföra alla 10 arbetsmoment och bruka den 200 hektar stora gården. Avståndet till laddningsstationen är 10 km och batteriet laddas med en laddningseffekt på 43 kW

I figur 7 är en högre batteristorlek fördelaktig särskilt för de större motorerna. Här krävs minst en batteristorlek på 250 kWh för att de större motorerna med marginal ska hamna under den streckade linjen, vilken representerar maxtiden på 150 dagar. En mindre motor runt 70 kW skulle också gynnsamt kunna bruka gården med en mindre batteristorlek.



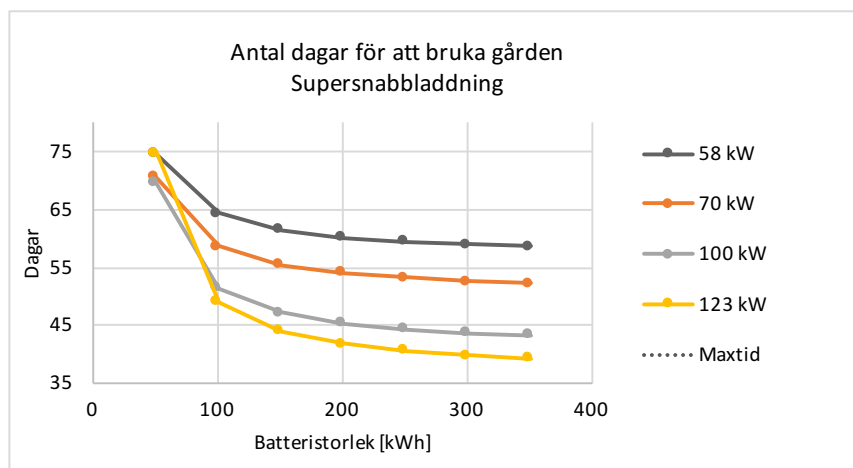
Figur 8 - Antalet dagar som krävs för att utföra alla 10 arbetsmoment och bruka den 200 hektar stora gården. Avståndet till laddningsstationen är 2,5 km och batteriet laddas med en laddningseffekt på 25 kW.

I figur 8 minskar också antalet dagar med en ökad batteristorlek. Skillnaden mellan en batteristorlek på 150 och 300 kWh är drygt 10 dagar med en motoreffekt på 100 kW.



Figur 9 - Antalet dagar som krävs för att utföra alla 10 arbetsmoment och bruka den 200 hektar stora gården. Avståndet till laddningsstationen är 2,5 km och batteriet laddas med en laddningseffekt på 43 kW.

Figur 9 har liknande struktur som figur 8, skillnaden är att antalet brukningsdagar har reducerats betydligt. En ökad batteristorlek har även här betydelse för arbetstiden, men inte med så mycket. Här kräver 100 kW motorn och 150 kWh batteriet 85 dagar för brukning av gården medan 300 kWh batteriet kräver 79 dagar med samma motor.

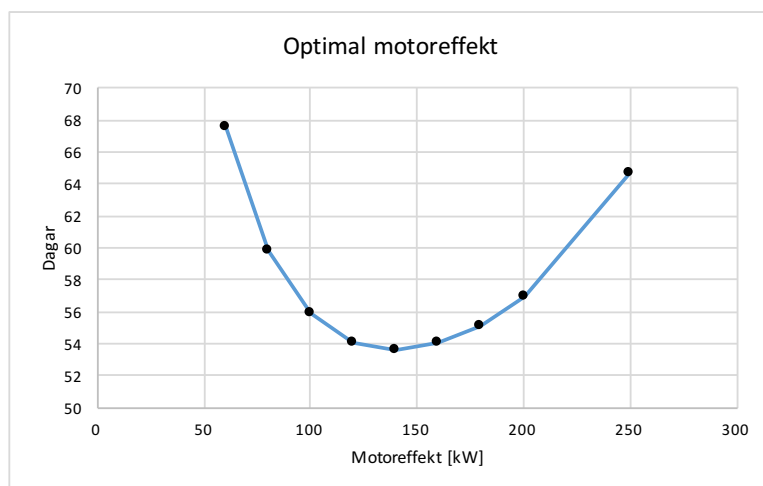


Figur 10 - Antalet dagar som krävs för att utföra alla 10 arbetsmoment och bruka den 200 hektar stora gården. Avståndet till laddningsstationen är 2,5 km och batteriet laddas med en laddningseffekt på 120 kW.

I figur 10 ses det resultat som kräver minst antal dagar. Här skiljer det endast 3 dagar mellan 150 och 300 kWh batteriet med en 100 kW motor. Tiden för 100 kW motorn med en batteristorlek på 150 kWh är exempelvis 47 dagar.

4.3 Resultat från modellen: Systemutformning

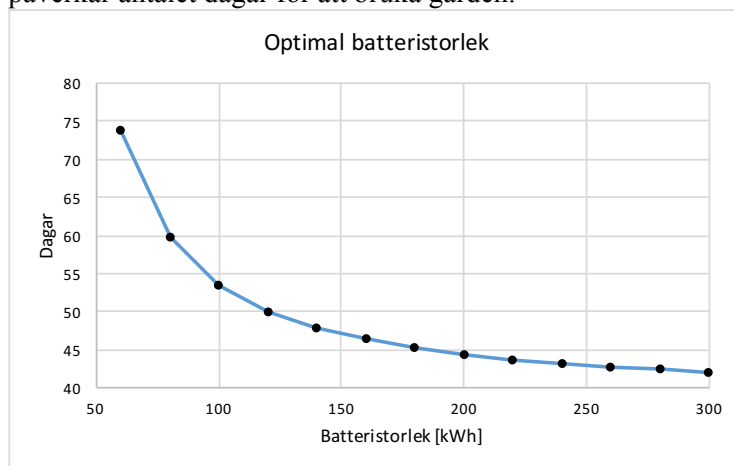
För att se hur traktorns brukningstid på gården förändras med olika motor och batteristorlekar visas figurerna 11, 12 och 13. Den optimala motoreffekten för en 100 kW laddare och ett 100 kWh batteri visas i figur 11.



Figur 11 – Optimala motoreffekten då batteristorleken på 100 kWh och laddningseffekten på 100 kW är konstanta. Avståndet till laddaren var 2,5 km och hastigheten på väglag var 30 km/h.

I figur 11 ses att en ökad motorstorlek inte alltid förbrukar mindre tid då laddningseffekten på 100 kW och batteristorleken på 100 kWh hålls konstanta. Minipunkten hittas vid en motoreffekt på 140 kW då med en brukningstid på 54 dagar. För mindre motoreffekter är brukningstiden 56 dagar med 100 kW och 63 dagar med 70 kW.

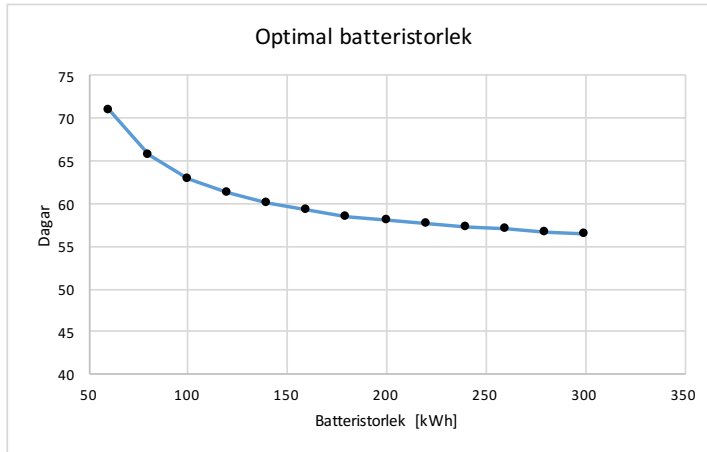
I figur 12 nedan har 140 kW motorn valts för att se hur en varierande batteristorlek påverkar antalet dagar för att bruka gården.



Figur 12 – Antalet dagar som funktion av batteristorleken då laddningseffekten på 100 kW och motoreffekten på 140 kW var konstanta.

I figur 12 ses att antalet brukningsdagar kraftigt minskar mellan 60 och 100 kWh. Efter 100 kWh minskar bruksdagarna inte lika betydligt.

I figur 13 nedan har en 70 kW motor valts för att visa hur en mindre motor påverkas av en ökande batteristorlek.



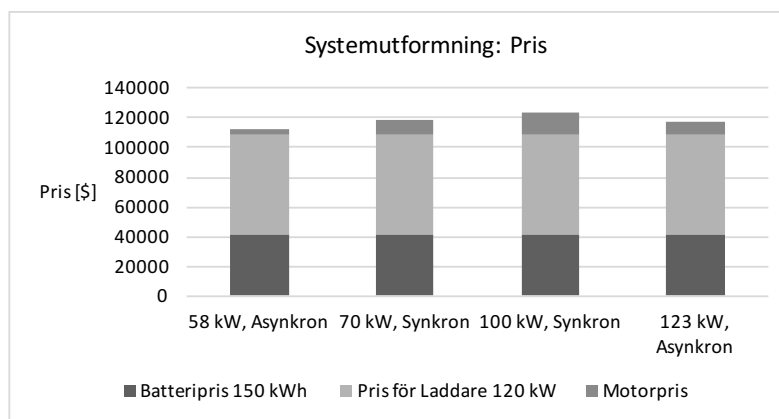
Figur 13 - Antalet dagar som funktion av batteristorleken då laddningseffekten valdes till 100 kW och motoreffekten till 70 kW.

I figur 13 ses att brukningstiden för 70 kW motorn är 63 dagar med ett batteri på 100 kWh och 60 dagar med ett batteri på 150 kWh. Här ses också att brukningstiden bromsas upp vid 100 kWh. Därefter minskas brukningstiden mellan 100 - 300 kWh från 1,7 - 0,2 dagar per 20 kWh. Under 100 kWh är skillnaden större. Här uppmättes 3 dagars skillnad mellan 80 och 100 kWh samt 5 dagars skillnad mellan 60 och 80 kWh.

Figur 13 har dessutom likartad struktur som figur 12. Här ses att skillnaderna mellan 140 och 70 kW motorn med en laddningseffekt på 100 kW och ett batteripaket på 100 kWh endast är 9 dagar.

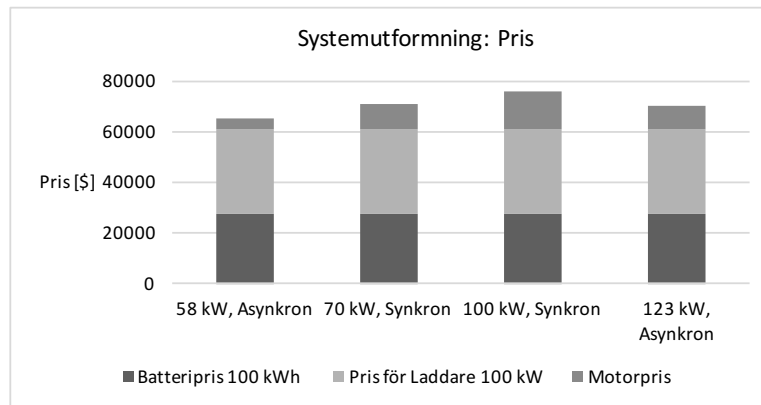
4.4 Pris och vikt

I figur 14 och 15 ges prisexempel på systemutformningar för den autonoma traktorn, där kostnaden för varje komponent summerats. Kostnaden för respektive motor kan ses i bilaga A, tabell 1A.



Figur 14 - Den totala kostnaden för ett 150 kWh batteripaket av Tesla Modell S och 120 kW laddare från Siemens samt de olika motorer som använts i modellen.

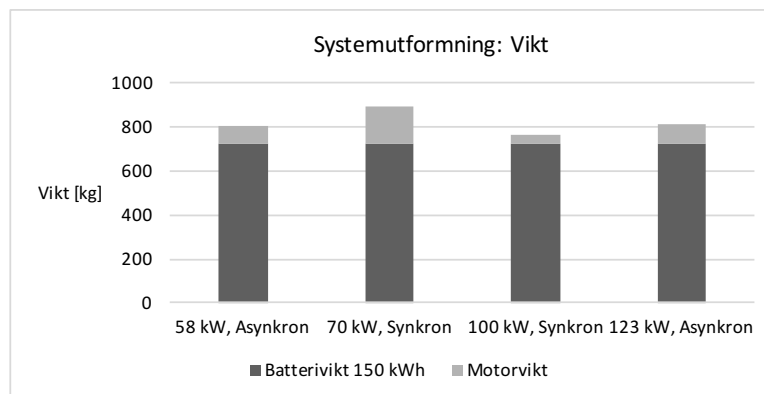
I figur 14 ses att systemutformningen med 70 kW synkron permanentmagnetmotor, 150 kWh Tesla Modell S batteri och 120 kW laddare från Siemens uppgår till \$118 812 eller drygt 979 000 SEK (9 mars 2018).



Figur 15 - Den totala kostnaden för ett 100 kWh batteripaket av Tesla Modell S och 100 kW laddare från Siemens samt de olika motorer som använts i modellen.

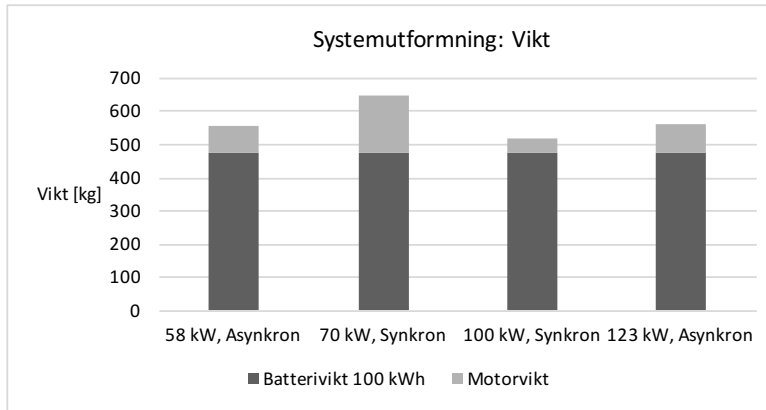
I figur 15 ses att systemutformningen med 70 kW synkron permanentmagnetmotor, 100 kWh Tesla Modell S batteri och 100 kW laddare från Siemens uppgår till \$71 181 eller drygt 587 000 SEK (9 mars 2018).

I figur 16 och 17 ses viktexempel på systemutformningar av den autonoma traktorn.



Figur 16 - Totala vikten för olika motorer och ett 150 kWh batteripaket av Tesla Modell S.

I figur 16 ses att systemutformningen med den 100 kW synkrona permanentmagnetmotorn och 150 kWh Tesla Modell S batteriet väger minst, med en vikt på 766 kg. Systemutformningen med 70 kW synkron motor väger i det här exemplet mest på 895 kg. (Observera att det 70 kW motorn som visas i exemplet har ovanligt hög massa).



Figur 17 – Totala vikten för olika motorer och ett 100 kWh batteripaket av Tesla Modell S.

I figur 17 ses att den totala vikten har minskat jämfört med figur 16. Vikten för systemutformningen med 70 kW synkron permanentmagnetmotor och 100 kWh Tesla Modell S batteri minskar med nästan 250 kg, till 646 kg på grund av den minskade batteristorleken.

5 Diskussion

Syftet med projektarbetet var att undersöka vilken systemutformning (motoreffekt, laddningseffekt och batteristorlek) som krävde minst tid för att bruka en lantbruksgård. Vilken typ av elmotor, batteri och laddare som är lämpliga för att användas i ett tyngre elektriskt fordon och vilka storlekar som tillsammans gav bäst resultat studerades.

Resultatet visar att det krävs mer energi för att dra ett bredare och mer djupgående redskap. Detta behövs för bland annat stubbearbetning och plöjning under en säsong. Med en hög motoreffekt skulle det vara möjligt att bruka gården snabbare, antingen med ett bredare redskap eller en högre hastighet. En högre motoreffekt kan motiveras för att snabbare kunna bruka gårdens fält, men samtidigt innebär en högre motoreffekt också högre energiförbrukning per timme. Exempelvis kan en 100 kW motor med 100 kWh batterikapacitet användas i drygt en timme vid körning på märkeffekt. Medan en 50 kW motor kan köras i två timmar. Detta betyder att en större motor behöver laddas fler gånger per dag än en mindre motor med ett lika stort batteri. Detta skulle resultera i ökad laddningstid och minskad körningstid per dag. Det är därför storleken på motorn inte avgör hur snabbt den autonoma traktorn kan bruka gården, utan det är sambandet mellan elmotor, batteri och laddningseffekt som bestämmer brukningstiden på gården.

Kortare avstånd mellan laddningsstationen och fältet visade sig bero ganska lite på storleken av batteriet. Därför kan batteristorleken hållas mindre vid kortare avstånd till laddaren. Vid längre avstånd till laddningsstationen ökade dock behovet av ett större batteri betydligt, för att minska traktorns brukningstid. Vid längre avstånd kan det vara fördelaktigt att minska motorstorleken istället för att öka batteristorleken. Detta för att kostnaden och vikten ökar kraftigt med ett större energiinnehåll i batteriet.

Laddningshastigheten visade sig vara den komponent som påverkade resultatet mest. En högre laddningshastighet på gården skulle leda till att minska arbetstiden på gården samt minska behovet av att installera en större batteristorlek. Genom att studera figur 8, 9 och 10 (där enda skillnaden mellan figurerna är laddningseffekten) minskar antalet bruksdagar mellan batteristorlekarna 150 och 300 kWh i varje fall. För 25 kW laddaren är skillnaden 10 dagar, för 43 kW laddaren är skillnaden 6 dagar och för 120 kW laddaren är skillnaden 3 dagar. En högre laddningseffekt minskar alltså behovet av att behöva installera en större batteristorlek.

Det finns många fördelar med att välja en så låg batteristorlek som möjligt, exempelvis mindre vikt och inköpskostnad. Samtidigt är det viktigt att inte välja en för

liten batteristorlek med tanke på att energiförbrukningen är generellt högre i verkligheten, exempelvis med traktorns strålkastare. I resultatet i figur 13, sågs att den minskande brukningstiden bromsades ganska kraftigt upp vid en batteristorlek på 100 kWh. Efter 100 kWh minskades brukningstiden inte lika betydligt, varför en högre batteristorlek än 100 kWh kan anses omotiverat. Speciellt då totalvikten och inköpskostnaden kraftigt ökar med ett högre energiinnehåll.

Den optimala motoreffekten var 140 kW med en konstant laddningseffekt på 100 kW och en batteristorlek på 100 kWh. Trots det visar resultatet i figur 11 endast en skillnad på 2 brukningsdagar mellan en 100 kW och en 140 kW motor. En mindre motor än 100 kW kan motiveras eftersom brukningstiden inte ökar avsevärt. En 70 kW motor ger exempelvis endast 9 dagars ökning (63 dagar) jämfört med 140 kW motorn.

I modellen har resultatet av traktorns brukningstid inte berott på vilken typ av motor som använts. Däremot har asynkrona och synkrona permanentmagnetmotorer använts i systemutformningarna för pris och vikt. Här visade sig den synkrona motorn normalt ha en mindre effektdensitet men till ett högre pris per kW.

Med en 70 kW synkron permanentmagnetmotor, ett 150 kWh batteripaket och 120 kW laddningseffekt skulle kostnaden summeras till drygt 979 000 SEK. Med tanke på att själva traktorn, växelriktaren, annan kraftelektronik inte är medräknad, kan priset verka högt. Om batteristorleken och laddningseffekten skulle sänkas till 100 kWh respektive 100 kW, skulle kostnaden summeras till 587 000 SEK vilket skulle minska inköpskostnaden.

Med en minskad batteristorlek minskar också den totala vikten på traktorn. Vikten för en 70 kW synkron permanentmagnetmotor och en batteristorlek på 100 kWh väger tillsammans 646 kg, vilket är 1,6 gånger högre än en 75 kW dieselmotor exklusive vätskor från John Deere. (Observera att vikten för 70 kW motorn är ovanligt hög för att vara en synkron permanentmagnetmotor). En mindre vikt på traktorn kan medföra svårigheter att dra tyngre redskap vid exempelvis plöjning, dessutom är det enklare att lägga till vikt på en traktor än att ta bort vikt. Därför är det fördelaktigt att installera komponenter med mindre vikt.

I modellen har kraftelektronikens verkningsgrader inte tagits hänsyn till. Inte heller vädret som är en viktig del i lantbruket. Det innebär att resultaten behöver åtderas med ännu fler dagar för att resultaten ska få verklighetsanknytning.

5.1.1 Att tänka på vid systemutformningen

Både den asynkrona och den synkrona permanentmagnetmotorn skulle generellt kunna fungera som drivning för den autonoma traktorn. Men det finns fortfarande frågetecken om vilken motor som skulle agera bäst under autonoma förhållanden på en gård. Likväl avser den synkrona permanentmagnetmotorn ha bättre verkningsgrad vid lägre varvtal vilket är fördelaktigt vid traktorarbete på ett fält. Den här motortypen har också en högre effektdensitet vilket skulle minska traktorns totala vikt. En lättare traktorvikt är att föredra då traktorn också skulle kräva mindre energi vid brukning av ett fält, då det också krävs energi för att flytta på traktorn. Kostnaden på den synkrona permanentmagnet motorn kommer dock att öka i samband med att materialkostnaderna för de sällsynta jordartsmetallerna ökar i framtiden.

För elmotorns verkningsgrad är det viktigt att motorn inte är över- eller underdimensionerad för de redskap som den är ämnad att dra. Om motorn är underdimensionerad måste motorn arbeta på maxeffekt vilket kan skada motorn och ladda ur batteriet fortare. Dessutom hinner inte traktorn utföra uppgifterna så snabbt som det förväntas. Om motorn däremot är överdimensionerad och redskapet kräver mycket mindre energi än vad motorn är konstruerad för att dra, måste motorn arbeta under sin märkeffekt. Detta resulterar i mer energiförluster och minskad verkningsgrad. Eftersom arbets hastigheterna för Valtra 6600 är verklighetsbaserade kan det vara fördelaktigt att bruka fältet med en högre hastighet eller ett bredare redskap. Detta för att öka effektbehovet för de arbetsmoment som inte kräver lika mycket effekt i dagsläget. Hur mycket energiförluster som en överdimensionerad motor påverkar brukningstiden med är dock svårt att avgöra utan fortsatt efterforskning.

5.1.2 Förslag på fortsatt arbete

Några saker att titta närmare på i fortsatta studier:

- Hur ska systemutformningen se ut inuti traktorn och hur ska batteripaketten placeras? På en liten yta måste battericellerna kylas för att inte utsättas för överhettning.
- Är det möjligt att ta med sig laddningsstationen till fältet för att slippa köra på allmänväg? Då skulle exempelvis extra kostnader kunna undvikas eftersom körning på allmänväg kräver mer avancerad teknik.
- Hur den autonoma traktorn kan känna igen olika vädertyper och därmed avgöra om den bör lämna gården för att utföra sitt arbetsmoment.

6 Slutsats

Från resultatet i modellen visades att en så hög laddningseffekt som möjligt bör användas på gården för att minska laddningstiden av batteriet. I den här studien rekommenderas en laddningseffekt på 100 kW för att minska inköpskostnaden. Med tanke på att vikten och kostnaden ökades betydligt med en större batteristorlek, valdes en så låg batteristorlek som möjligt, utan att öka brukningstiden allt för mycket. Ett större batteri än 100 kWh visade sig inte påverka brukningstiden avsevärt när avståndet var 2,5 km till laddningsstationen. Därför valdes ett batteri med ett energiinnehåll på 100 kWh till systemutformningen.

Genom att välja en motoreffekt på 70 kW, är motorn tillräckligt stark för att klara av de tyngre arbetsmomenten på gården. Samtidigt som mindre energi förbrukas från batteriet per timme. Med en synkron permanentmagnetmotor kan arbetstiden på fältet optimeras genom att traktorn kan röra sig på fältet med mindre vikt och högre verkningsgrad.

Systemutformning 2.0

- Synkron permanentmagnetmotor med en märkeffekt på 70 kW
- 100 kWh litiumbatteri med hög energidensitet
- 100 kW laddningseffekt

Tiden för att bruka gården skulle bli 63 dagar med den ovannämnda systemutformningen då traktorn antogs arbeta dygnet runt på en 200 hektar stor gård. Kostnaden och vikten för systemet beräknades till 587 000 SEK och 646 kg.

Referenslista

American Society of Agricultural Engineers, (ASAE). 1999. *Agricultural Machinery Management Data*

Bistak, S & Kim, S. 2017. *AC induction motors vs permanent magnet synchronous motors*

Chan, C & Chau, K. 1997. *An Overview of Power Electronics in Electric Vehicles*

Cengel, Y & Boles, M. 2011. *Thermodynamics An Engineers Approach*
7th edition. Sid. 496 – 499.

Elmefors, E. Karlsson, E. Pettersson, O & Eksvärd, J. 2012. *Biodrivmedel inom lantbruket – hur det vardagliga arbetet påverkas, regler och erfarenheter*

Engström, J & Lagnelöv, O. 2017. *Batteridrivnen autonom Jordbruksmaskin – Simulering av maskinaktiviteter på svensk gård*

Evwest *Electrical motors and batteries*
<http://evwest.com/catalog/>
Hämtad 2018-01-25

Hansson, P. Institutionen för lantbruksteknik, SLU. *Optimering av lantbrukets maskinsystem – metodik baserat på blandad heltalsprogrammering. Undervisningsskpendium*

Hosseinzadeh, E. Genieser, R. Worwood, D. Barai, A. Marco, J Jennings, P. 2018. *A systematic approach for electrochemical-thermal modelling of a large format lithium-ion battery for electric vehicle application*

John Deere, 2018. *Industrial Diesel Engine: 4045HF280 4.5L (74kW)*
<https://www.deere.com/en/industrial-engines/tier-3-stage-iii-a/powertech-m-4-5l-hf280/>
Hämtad 2018-04-10

Karlsson, A. 2013. *Antal traktorer i Sverige mellan 1960 - 2013*
<https://jordbruketisiffror.wordpress.com/2013/11/25/antal-traktorer-i-sverige-1960-2013/>
Hämtad 2018-03-18

Knupfer, S. Hensley, R. Hertzke, P. Schaufuss, P. Laverty, N & Kramer, N. 2017. *Electrifying insights: How automakers can drive electrified vehicle sales and profitability*

Lindgren, M. Pettersson, O. Hansson, P & Norén, O. 2002. *Jordbruks- och anläggningsmaskiners motorbelastning och avgasemissioner – samt metoder att minska bränsleförbrukning och avgasemissioner*

Nilsson, B. Rapport 78. 1976. *Planering av jordbrukets maskinsystem – Problem, modeller och tillämpningar*

Naturvårdsverket. 2017. *Utsläppen av kväveoxider (NOx) har halverats sedan 1990. Huvudorsaken är minskade utsläpp från transporter, som minskat med två tredjedelar sedan 1990*
<https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-A-O/Kvaveoxid-till-luft/>
Hämtad: 2018-03-27

Prochazka, P. Cervinka, D. Martis, J. Cipin, R & Vorel, P. 2016. *Li-ion Battery Deep Discharge Degredation*

Santiago, J. Bernhoff, H. Ekergård, B. Eriksson, S. Ferhatovic, S. Waters, R & Leijon, M. 2012. *Electrical Motor Drivelines in Commercial All Electric Vehicles: A Review*

Statista. 2014. *Neodymium oxide price worldwide from 2009 to 2025*
<https://www.statista.com/statistics/450152/global-reo-neodymium-oxide-price-forecast/#rar>
Hämtad 2018-02-07

Werktuigen, 2018. *Valtra/Valmet 6600*
<https://www.werktuigen.nl/machine-specificaties/models/63195/valtra-valmet-6600.html>
Hämtad 2018-04-06

Widmer, J & Kimiabeigi, M. 2015. *Electric vehicle traction motors without rare earth magnets*

Zeraoulia, M., Benbouzid, M & Diallo, D. 2010. *Electric motor drive selection issues for HEV propulsion systems: A comparative study*

Transportstyrelsen. 2018. *Traktor*
<https://www.transportstyrelsen.se/sv/vagtrafik/Fordon/Fordonsregler/Traktor/>
Hämtad: 2018-03-15

Yang, F. Dong, W. Xing, K. & Tsui, K-L. 2016. *Prognostics of Li(NiMnCo)O₂-based lithium-ion batteries using a novel battery degradation model*

Zhang, C. Jiang, J. Gao, Y. Zhang, W. Liu, Q & Hu, X. 2017. *Charging optimization in lithium-ion batteries based on temperature rise and charge time*

Bilaga A

Tabell 1A – Data för de motorer som använts i modellen, tagna från Ewest (2018).

Motor nr i Excel	Motortyp	Namn	Kylning	Pris [\$]	Källa
8	Asynkron	Curtis 1238-7601 HPEVS AC-75 Brushless AC Motor Kit - 96 Volt	Luft	4 590	www.ewest.com
16	Asynkron	Oil-Cooled Curtis 1239-8501 Olja Dual HPEVS AC-35 Brushless AC Motor Kit - 144 Volt Marine Motor		9 550	www.ewest.com
19	Synkron	Three-phase AC Permanent-magnet Synchronous Motor	Vatten	10 500	www.ewest.com
20	Synkron	HVH250 HT High Flow Cooling	Vatten	15 000	www.ewest.com

Tabell 2A - Motorspecifikation för de motorer som använts i modellen, tagna från Ewest (2018).

Motor	Märkeffekt [kW]	Märkvridmoment [Nm]	Varvtal vid märkeffekt [rpm]	Maximal inspänning [V]	Axeldiameter [mm]	Verkningsgrad [%]	Vikt [kg]
8	58	244,8	2500	130	28,6	88	81,6
16	123	257,04	5000	165	28,6	92	88,4
19	70	558	1 200	486	35,6	95	172
20	100	440	2 600	650	35,6	93	43

Tabell 3A - Valtra 6600 uppmätta arbetseffekter och arbetshastigheter för olika arbetsmoment tagna från Lindgren et. al (2002).

Arbetsmoment	Effekt [kW]	Arbetshastighet [ha/h]
Stubbearbetning	69	1,25
Plöjning 4 skär växel	54	1,35
Harvning vårbruk (70 pinnar)	54	4,29
Konstgödselspridning	16	11
Sådd	39	2,26
Vältning	16	3,67
Spridning av urin	28	4,38

SLU
Institutionen för energi och teknik
Box 7032
750 07 UPPSALA
Tel. 018-67 10 00
pdf.fil: www.slu.se/energiogteknik

SLU
Department of Energy and Technology
P. O. Box 7032
SE-750 07 UPPSALA
SWEDEN
Phone +46 18 671000