



Uppdragsrapport



JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik

Förstudie Eldriven inomgårdstraktor

Ola Pettersson
Jonas Engström
Urban Lundgren
Jan Welinder

Uppdragsrapport från JTI

Förstudie Eldriven inomgårdstraktor

Ola Pettersson ¹
Jonas Engström ¹
Urban Lundgren ²
Jan Welinder ²

¹ JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik

² SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Ett projekt utfört på uppdrag av LRF och Jordbruksverket



Europeiska jordbruksfonden för
landsbygdsutveckling: Europa
investerar i landsbygdsområden

© JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik 2014

Uppdragsgivaren har rätt att fritt föfoga över materialet.

Tryck: JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala 2014

Innehåll

Förord.....	5
Sammanfattning	7
Bakgrund.....	8
Syfte	8
Mål	9
Omvärldsanalys/Internationell utblick.....	10
Potential för minskning av energi och CO ₂ -emissioner	14
Kravspecifikation.....	14
Fältstudier	15
Aktivitetsloggning	15
Resultat/diskussion Aktivitetsloggning	17
Detaljerad loggning JD jordbrukstraktor.....	18
Detaljerad loggning Merlo teleskoplastare.....	18
Uppbyggnad av simuleringsmodell	18
Beskrivning	18
Metod	18
Resultat.....	19
Slutsatser av simuleringsresultat	20
Förändringar i marknadsläget under projekttiden.....	21
Marknadskontakter	21
Slutsatser.....	22
Referenser	22

Förord

Jordbruket behöver energieffektivisera i alla led för att nå bättre ekonomi och minska miljöpåverkan från matproduktionen. Ett led i detta arbete är att gå över till mer elektrisk energi i förhållande till diesel. Denna studie har bedömt möjligheterna att använda batteri- eller hybridmaskiner vid inomgårdsarbeten på jordbruk.

Studien har genomförts som ett samarbete mellan JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik och SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, avd. Electronics – EMC.

Projektet har finansierats med medel från Lantbrukarnas Riksförbund (LRF) och Jordbruksverket, landsbygdsprogrammet.

Uppsala i juni 2014

Anders Hartman

VD för JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik

Sammanfattning

Det projekt som rapporteras i denna skrift har utförts av JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik tillsammans med SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Electronics – EMC. Beställare och finansiär av projektet har varit LRF och Jordbruksverket via landsbygdsprogrammet.

En väsentlig del av lantbrukens förbrukning av diesel uppkommer vid inomgårdshandling på djurgårdar. Lantbruken ser en stor möjlighet i att både sänka den totala energiförbrukningen och förbrukningen av fossil energi genom att styra över energiförbrukningen mot mer eldrift i stället för via dieselmotorer. Just inomgårdsarbeten bedöms ha bra potential för just eldrift.

Hittills har det inte funnits några eldrivna maskiner som på ett bra vis kunnat ersätta den traditionella lastmaskinen eller jordbrukstraktorn försedd med lastaraggregat. Tekniken har funnits i många år, framförallt inom segmentet industri-truckar. Dessa har dock varit anpassade för hårdgjorda ytor och inomhusarbete. Arbetet på ett jordbruk har ställt andra krav vilket medfört att den marknaden inte har fyllts.

I detta projekt har undersökts vilka krav som jordbruket ställer på framförallt körtid och återladdningstider. Vidare har fältstudier genomförts som lett till att en simuleringsmodell kunnat upprättas med syfte att prediktera behovet av batteristorlek för visst arbete.

Samtal har genomförts med lantbrukare med syfte att få en uppfattning om förväntade kapaciteter på en framtida eltraktor. Samtalen visar även på ett mycket stort intresse för att gå över till eldrivna maskiner, förutsatt att arbetsförmåga och ekonomi blir jämförbara med befintliga dieselmaskiner.

Resultatet av denna studie visar att det är fullt möjligt att ersätta mindre lastmaskiner på jordbruk med batteridrivna motsvarigheter. Merparten av dessa har en körcykel som innebär ett par timmars arbete, framförallt morgon och kväll, med tid för återladdning däremellan. Sammantaget betyder det att redan vid en batteristorlek på 10 kWh monterat på en mindre lastmaskin skulle kapaciteten räckas för inemot hälften av de studerade gårdarna.

Under projektiden har samarbete inletts med återförsäljare som har för avsikt att under kommande år inleda försäljning av batteridrivna eller laddhybrid drivna maskiner.

Bakgrund

Världen står inför en avgörande utmaning att sänka förbrukningen av fossila bränslen för att minska utsläppen av växthusgaser, samtidigt som energiförbrukningen behöver minska genom energieffektivisering. Varje sektor inom samhället behöver bidra, så även lantbruket. Att minska beroendet av fossila bränslen kan ske på många olika vis. Det finns inte någon enkel lösning och problemet måste angripas från flera olika håll.

LRF bedömer att det svenska jordbruket kan minska användandet av fossil energi med 15-30 % under de närmaste 10-15 åren (LRF, 2014). Den största minskningen bedöms kunna komma från minskad användning av diesel för drift av maskiner. Jordbrukets arbetsmaskiner släpper årligen ut 545 000 ton CO₂ ekvivalenter (Vägverket, Jordbruksverket och Skogsstyrelsen, 2009). Detta motsvarar 19 % av den koldioxid som alla arbetsmaskiner i Sverige släpper ut årligen. Det som kännetecknar lantbrukets maskiner är att de ofta har få driftstimmar per år. Det i sin tur betyder att maskinerna används många år, eftersom det är svårt att få ekonomi i nya investeringar. Därmed tar ett tekniskifte till t.ex. eldrift lång tid att genomföra.

Det finns dock en identifierad grupp maskiner som skulle passa bra för ren eldrift. Denna grupp utgörs av lastartraktorer, teleskoplastare och lastmaskiner som framförallt arbetar med foderhantering inom gården på svenska djurgårdar. Dessa multifunktionella maskiner har ofta uppgiften att hålla igång flödet av förnödenheter i och omkring gårdens byggnader. De har fler driftstimmar per år än genomsnittet för en jordbrukstraktor eftersom de används varje dag året runt. De aktuella arbetscyklerna inkluderar många starter och stopp, samt att höja och sänka last. Detta körnönster är mycket lämpat för någon form av eldrift, särskilt med tanke på att en viss del av energin kan återföras genom regenerering till batteriet. Denna typ av regenerering måste dock ställas i perspektiv till nytta och lönsamhet.

Erfarenheter från andra projekt med arbetsmaskiner visar att maskin användare förväntar sig i stort sett oförändrad funktion hos fordon med nya drivlinor. Eldrivlinan eller en annan alternativ drivlina behöver upplevas och prestera likvärdigt med traditionella drivlinor för att vara attraktiv på marknaden.

Utvecklingen för hybrid- och batteridrivna arbetsmaskiner är snabb, och det finns flera företag som är på väg att introducera nya produkter på marknaden.

Syfte

LRF har satt upp en långsiktig vision om att det svenska jordbruket skall vara fritt från tillförsel av fossil energi. Som ett led i detta har man även satt upp ett kortsiktigt mål att förbrukningen av fossil diesel inom några år skall minska med 15-30 % (LRF 2014)

Detta kan uppnås genom en mängd olika typer av insatser. Det kan vara utbildning i sparsam körning jordbruk, alternativa arbetsmetoder och byte av energislag. Arbete med övergång till biogas pågår och är en metod som fungerar i vissa arbetsområden. Övergång till RME är kanske den mest utbredda metoden för minskning av fossil diesel. Att använda el som energikälla är ett oprövat område som dock kan ha en stor potential.

Ett ytterligare syfte med introduktion av eldrivna inomgårdstraktorer, är att sänka kostnaderna för lantbrukarna genom att minska drivmedelskostnaderna.

Oavsett vilket energislag som används i framtiden så är det viktigt att totalt sett minska energiförbrukningen. Således är ett syfte att den totala energimängden för ett arbete minskar vid en omställning från fossil diesel. Omställningen får inte leda till minskad produktion, utan tvärtom är energieffektivisering ett medel för att kunna producera mer.

En stor del av inomgårdsarbetet på en gård sker under tak. Ett syfte med omläggning av energikälla från diesel till el är att förbättra arbetsmiljön. En minskning av mängden avgasemissioner i luften är betydelsefullt för både människor och djur.

Det övergripande syftet med denna förstudie är att ta fram kunskap som kan underlätta en introduktion av eldrivna inomgårdstraktorer.

Mål

I den ansökan och projektplan som skrevs inför detta projekt beskrevs ett antal mål för den förstudie som skulle genomföras. Stor vikt lades vid att kartlägga grundläggande energi- och effektbehov samt rörelsemönster och behov av energilager för den typ av maskiner som i första hand kan komma i fråga för elkonvertering i jordbruket.

Ett ytterligare viktigt mål var att i en befintlig datamodell som individmodifieras, beskriva hur en elkonverterad maskin skulle behöva bestyckas för att kunna ersätta en typisk maskin enligt fältstudierna. I en sådan modell går det att prediktera elbehov, batterikapaciteter, behov av elmotoreffekt samt var olika förluster uppstår i drivlinan.

Vidare var målet att ta fram ett eller flera möjliga förslag på teknik för en eldriven maskin, med insamlad fältdata och modelleringsarbetet som grund.

Därutöver beräkna vilka miljömässiga och ekonomiska vinster samt vilken energibesparing en övergång till eldrift kan ge de i fältstudien studerade objekten.

Dessutom göra en marknadsöversikt för en eldriven inomgårdsmaskin genom att intervjua lantbrukare och maskinåterförsäljare på den svenska marknaden samt beskriva utvecklingsstatus genom en internationell utblick. Vad är intresset för eldrivna jordbruksmaskiner och varför finns ingen eldriven traktor på marknaden ännu?

Det framkomna materialet skall kunna användas som grund vid framtagning av en prototyp tillsammans med en maskintillverkare.

Under projektets löptid har dock några mycket intressanta alternativ börjat närma sig marknadsintroduktion, vilket betyder att behovet av prototyp till marknaden minskar. Problemställningen blir då mer inriktad på att kunna introducera en sådan maskin på ett bra och funktionellt vis. Mer om dessa förändringar kan läsas i senare kapitel.

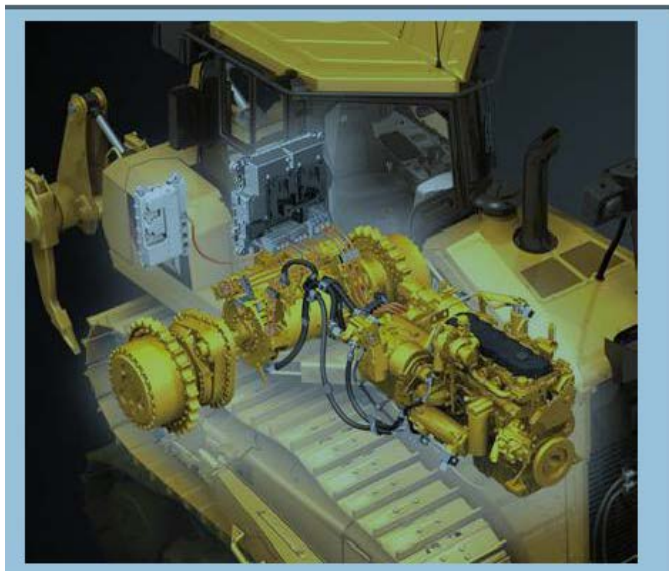
Omvärldsanalys/Internationell utblick

Det finns ganska omfattande satsningar på att få större arbetsmaskiner energi-effektivare genom att hybridisera vissa funktioner. Framförallt gäller det maskiner som hanterar tunga lyft- och sänkrörelser regelbundet och således har stora vinster att hämta på energiåterföring, alternativt har intermitterent körning med många start och stopp. Exempel på sådana maskiner är lastmaskiner och hamntruckar. I detta avsnitt presenteras några exempel på vad som finns på marknaden.

Det finns mycket litteratur och sammanställningar om hybridisering/eldrift/elektriska transmissioner för större arbetsmaskiner.

Det finns även några rapporter som på ett bra vis sammanfattar det rådande marknadsläget. Några exempel på sådana sammanfattningar är Finpro 2010 samt Hybridisering av mobila maskiner – översikt över teknikläget samt drivkrafter och begränsningar för framtida utveckling (Larsson, 2012).

Det finns exempel på maskiner där man önskar bygga en transmission som kan vara energieffektivare och även ha möjlighet att återföra bromsenergi, även om maskinens uppgift inte är så uttalat intermitterent. En stor del av potentialen finns i att undvika långa transmissionesvägar genom att flytta ut motorerna nära drivhjulena. Detta kan ge en transmission med lägre energiförluster. Exempel på detta är Caterpillar bandschaktare, figur 1 och 2, och Elforest skogsskotare.



Figur 1 och 2. Caterpillar bandschaktare med drivlina av hybridmodell (Finpro 2010).

Under de senaste 20 åren har ett antal lantbruksrelaterade maskiner dykt upp med alternativa transmissioner. Dessvärre har inget större genomslag skett.

Eltrac och Belarus 3023 har båda dieselmotor och en elektrisk transmission som ersätter främre delen av en vanlig traktortransmission. New holland har byggt en prototyptraktor som använder vätgas och bränsleceller för att producera el till en elektrisk transmission bestående av två separata elmotorer, en för framdrift och en för PTO och extraförbrukare.



Figur 3. Maskiner med alternativa drivsystem (Scmetz 2011).

Det vi söker inom detta projekt är mer att likna den teknik som finns för motvikts-truckar som traditionellt går inomhus eller under skärmtak. Dessa är ofta rent batteridrivna och har goda möjligheter att återladda batterierna vid arbetsavbrott. Det finns en stor marknad och ett stort utbud av sådana motviktstruckar. Ingen av dessa har dock riktat sig mot marknadssegmentet jordbruk.



Figur 4. Batteridrivna motviktstruck. <http://www.om-mh.com>

När man ser till arbetsmönster och arbetsuppgifter som kan förväntas av en maskin för inomgårdsarbete vid jordbruk, bör det kunna liknas med en motvikts-truck, figur 4. Skillnaden är att maskinen måste vara byggd för att klara annat än hårdjord mark.

När projektgruppen började intressera sig för frågan om batterimaskiner inom jordbruket fanns det överhuvudtaget inte några allvarligt menade produkter på marknaden. Några entusiastbyggen går att finna som är att betrakta som hembyggen, framförallt avsedda för trädgårdsodling.

Några firmor erbjuder sig att sälja konverteringssatser där man i en befintlig maskin plockar ur dieselmotorn och ersätter den med en elmotor samt lägger till ett antal batterier. Några erbjuder ombyggnad av maskiner till fast pris.

Ett exempel på detta är ombyggnad av en bobcat, som erbjuds för 28 000 Kanadensiska dollar (CAD) (ca 170 000 SEK), varav 14 CAD är batteri och 6 CAD arbetskostnad (Randy Holmquist, Canev.). Detta är relativt enkla ombyggnader som har sina brister i kapacitet och räckvidd. Framförallt finns frågetecken kring garanti, service och eftermarknad.

Den här typen av ombyggnader visar kanske mest på vad som är tekniskt möjligt. En ombyggnad måste föregås av en riktig värdering av energilagringsskapacitet och utgå ifrån kundens behov.

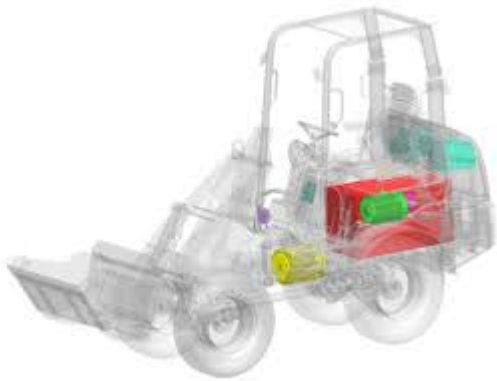
Bobcat är en skeedsteer. En reflektion från referensgruppen via BAE Systems, är att dessa har stora förluster av energi i själva styrningskonceptet och kommer att kräva ett större energilagring än traditionellt styrda maskiner.

Vi konstaterar med stort intresse att det under projektiden börjar hända saker på marknaden. På den stora lantbruksmässan Agritechnica i Tyskland visades hösten 2013 en teleskoplastare från den italienska tillverkaren Merlo, Merlo TF 40.7 Hybrid, som även vann pris som årets innovation på mässan, figur 5. Denna teleskoplastare är en mycket intelligent byggd maskin som kan betraktas som laddhybrid. Den kan köras på diesel, men också på ren batteridrift upp till två timmar. Föraren kan med ett vred välja driftmod. Det är även valbart med ett ekonomiläge där maskinen väljer det minst energikrävande. Det är dessutom valbart att låta dieselmotorn gå hårdare för att effektivt ladda upp batterierna inför att man till exempel skall köra inomhus. Maskinen kan även laddas separat via elkabel. Detta är en fullständigt komplett maskin med stora förutsättningar att klara de arbeten och driftsförutsättningar som efterfrågas på ett jordbruk. Någon prisuppgift har ännu inte kunnat presenteras. Ett villkor för pristagaren på Agritechnica var att innovationen skall finnas på marknaden under 2014. Om inte prisnivån blir alltför hög har denna maskin goda förutsättningar att fylla ett marknadssegment.



Figur 5. Merlo hybrid teleskoplastare som presenterades på Agritechnica 2013.
www.merlo.com

En annan mycket intressant maskin som kan passa för lättare arbeten på jordbruk och som presenterats under senare delen av 2013 är Weidemanns e-hof traktor, figur 6 och 7.



Figur 6. Weidemann e-hoftrac. www.Weidemann.de



Figur 7. Weidemann e-hoftrac. www.landwird.de

Weidemann e-hoftrac är en liten, midjestyrd lastmaskin med lyftkapacitet strax under 1 ton. Maskinen saknar dieselmotor och är en rent batteridriven maskin. Aktionstiden är det för tidigt att bedöma. Maskinen håller just nu på att genomgå sista stegen i utprovning hos tillverkaren. I Sverige är det maskinföretaget Wacker Neuson som är representanter för dessa maskiner. De hoppas kunna visa upp första demomaskinen under slutet av 2014.

Potential för minskning av energi och CO₂-emissioner

Vi har gjort en beräkning över potentialen för minskning av dieselförbrukningen och följaktligen minskning av CO₂-emissioner. Vi har gjort det försiktiga antagandet att varje mjölkgård har en särskild arbetsmaskin som arbetar med uppgifter i anslutning till foderhantering och nära gårdscentrum ungefär två timmar varje dag. Av dessa maskiner antar vi att var tredje skulle vara möjlig att ersätta med en elektriskt driven motsvarighet. Övriga maskiner bedöms användas även på fältarbeten i så stor utsträckning att det blir svårt att utnyttja eldrift med tanke på energilagrens storlek. Om den gruppen möjliga maskiner skulle skifta diesel mot elektricitet skulle det ge en minskning i CO₂-utsläpp med 28 900 ton. Se vidare i bilaga 1 för ytterligare detaljer. Det är en relativt stor andel av lantbrukets utsläpp från dieselanvändningen, men återspeglar att det här är en maskingrupp som används dagligen vilket ger en stor förbrukning av diesel på årsbas, även om det är små maskiner.

Kravspecifikation

Bakgrund till kravspecifikation.

LRF har delfinansierat projektet och har varit starkt pådrivande att det startats. LRF är även en av de största intressenterna i JTI:s ägarstiftelse. På dessa grunder är det naturligt att vi i den här typen av projekt använder oss av det befintliga kontaktnät som finns uppbyggt mellan JTI och LRF.

LRF driver även just nu det stora projektet GAFE, "goda affärer på förnybar energi", där JTI medverkar inom FoU-delen. Sammantaget betyder det att det finns ett starkt forum där just förutsättningar och teknik för förnybara bränslen inom jordbruket diskuteras och förankras.

Därutöver har BAE-systems i Örnsköldsvik deltagit i referensgruppen tillsammans med LRF.

Vi har inom detta projekt gjort fältstudier som ger en bild över hur dagens maskiner används, vilket även det är en del i kravspecifikationen.

Inom lantbrukarkåren finns det ett mycket stort intresse för just denna typ av eldrivna fordon. Dock framförs många gånger en stor osäkerhet från lantbrukarna om det finns förutsättningar för en tillfredsställande funktion och ekonomi på kommande maskiner.

Följande krav framkommer i de samtal och diskussioner vi fört med lantbrukare.

- Maskinerna bör inte vara dyrare än motsvarande dieselmaskin.
- Hjulaxlar eller midja som tillåter pendling över ojämnt underlag.
- Något grövre däck än vad som brukar finnas på vanliga industritruckar (dock ej nödvändigtvis terrängdäck).
- Minimikrav på lastare, 500 kg lyftkapacitet och 2 meter lyfthöjd (många lantbrukare har krav på större maskiner).
- Önskemål om kontinuerlig drifttid, kan sammanfattas med att det största antalet användare nyttjar dessa truckar eller lastmaskiner några timmar i taget. Drifttiderna under ett dygn ger i många fall flera möjligheter till återladdning under tre timmar eller mer, även under dagtid. Det är även relativt vanligt med stilleståndstider som åtminstone överstiger en timme, som då kan användas för viss återladdning.
- Det finns önskemål om att maskinerna ska kunna dra något redskap via dragkrok. Detta är inte ett absolut krav. Större dieseldrivna teleskoplastare och även midjestyrd lastmaskiner har ofta möjligheten att koppla på något på en dragkrok och utföra ett dragande arbete. Denna möjlighet utnyttjas ibland för att flytta saker, men inte så ofta i direkt arbete.

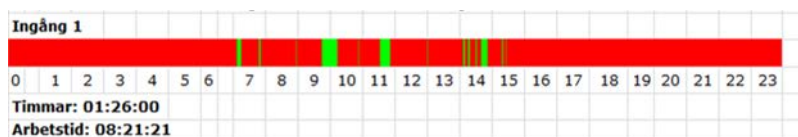
Fältstudier

De fältstudier som har skett har haft som syfte att skapa en uppfattning om hur de dieselmaskiner som används idag verkligen används, och hur deras arbetsmönster ser ut. Det ger en uppfattning om vad det är som skall ersättas med en elektriskt driven maskin. Självklart finns det ett brett spann av maskiner i olika storlekar. De mätningar vi genomfört kan delas in i tre kategorier.

- Aktivitetsloggning från 8 st Merlo teleskoplastare i lantbrukstjänst under 6 månader (registrerar motor på/av och om maskinen rör sig).
- Detaljerad loggning av vardagliga arbetsmoment för en JD jordbruks-traktor med frontlastare.
- Detaljerad loggning av specifika arbetsmoment med Merlo teleskoplastare.

Aktivitetsloggning

Aktivitetsloggningen har skett i samarbete med Hüllert Maskin AB som är generalagent för Merlo i Sverige. Merlo tillverkar främst teleskoplastare. Hüllert Maskin har utrustat ett antal maskiner med en så kallad aktivitetslogger som registrerar några enklare parametrar, dels om maskinen rör sig, dels om motorn är på eller av. I figur 8 visas hur dataunderlagen kan visualiseras. Ett mer utförligt utdrag ur rapporten finns i bilaga 2.



Figur 8. Gantt-diagram som visar hur stor del av ett dygn som en maskin använts. Grönt är när maskinen använts (total 1:26 h under det aktuella dygnet), och rött är när maskinen ej använts. Arbetstiden räknas från första till sista aktiviteten per dygn.

Dessa data fjärravlästes och därefter fick vi tillgång till anonymiserade data-sekvenser. I den här studien ingick mätdata från 6 månaders användning av 8 teleskopplastare som säljarna visste var sålda till jordbruk. Målet med att studera dessa mätserier var att få en uppfattning om hur långa arbetspass som maskinerna uträttade och hur mycket energi de använt i förhållande till möjlig tid för uppladdning av batterier.

I tabell 1 beskrivs hur stort energibehov de olika 8 maskinerna har per dygn under ett halvår i genomsnitt, hur stor standardavvikelsen är och vilket maximalt energibehov per dygn de har.

Tabell 1. Medel, standardavvikelse och max energibehov för de åtta maskinerna per dygn under ett halvårs användning.

Maskin	Medel av Energibehov batteri (kWh per dygn)	Stdavv av Energibehov batteri (kWh per dygn)	Max av Energibehov batteri (kWh per dygn)
Maskin 1	10	7	32
Maskin 2	10	8	44
Maskin 3	16	12	57
Maskin 4	10	9	62
Maskin 5	12	14	73
Maskin 6	16	14	76
Maskin 7	28	20	84
Maskin 8	25	19	92
Alla	16	15	92

I tabell 2 visas hur stor andel av de drygt 1400 maskin-dygnen (8 maskiner x 182 dygn) som en viss batteristorlek skulle räcka för att täcka användningens energibehov. I den första kolumnen listas batterier med olika storlek (energiinnehåll). I andra kolumnen visas hur stor andel av de ungefär 1400 maskin-dygnen där en viss batteristorlek skulle räcka. Till exempel om ett batteri med 10kWh energiinnehåll användes, skulle hälften av maskin-dygnens behov tillgodoses. Skulle batteristorleken istället vara 100 kWh skulle 99,7 % av maskin-dygnen vara tillgodosedda. En laddning under natten förutsätts för detta fall.

I kolumn tre kombineras en laddning per dygn med laddning vid varje uppehåll längre än tre timmar, i kolumn fyra laddning vid varje uppehåll längre än en timme.

Tabell 2. Tabell över hur stor andel av de drygt 1400 maskin-dygnen där energilagret skulle räcka vid olika batteristorlekar och laddningsupplägg.

Energiinnehåll batteri (kWh)	Andel av maskin-dygn som energiinnehållet räcker – vid en laddning per dygn	Andel av dygn då energiinnehållet räcker – om det laddas vid alla uppehåll längre än tre timmar	Andel av dygn då energiinnehållet räcker – om det laddas vid alla uppehåll längre än en timme
10	50%	59%	75%
20	73%	77%	88%
50	97%	96%	98%
75	99,4%	98,9%	99,4%
100	99,7%	99,2%	99,5%

Vid beräkningarna har följande antaganden gjorts:

- Medelförbrukning beroende på motorstorlek antas de dra 5 l/h för 75kW, 7 l/h för 105 kW (ungefär vad som brukar gå åt vid lastningsarbete med traktor med de motorstorlekarna).
- Vid körning (skaksensor aktiv) antas de dra medelförbrukningen.
- Vid stillastående med motorn igång (tändning på, skaksensor av) antas de dra 50 % av medelförbrukningen, och 50 % av stilleståndstiden antas utgöras av kraftbehov för hydraulik, dvs. andra 50 % kan bortses från vid elmotor.
- 20 % verkningsgrad vid dieseldrift, 85 % vid batteri.
- Beräkning av energibehov i batteri sker vid två olika scenarior: En laddning per dygn respektive en laddning per 3 timmars stillestånd. Ingen hänsyn har tagits till om det är möjligt att ladda batteriet tillräckligt mycket under en respektive tre timmar för att energin ska räcka till det nästkommande arbetspasset. Om det inte skulle gå att ladda batteriet tillräckligt skulle ett batteriutbytessystem användas.

Resultat/diskussion Aktivitetsloggning

Undersökningen visar att med en batterikapacitet på 10 kWh skulle energibehovet för hälften av de maskin-dygn som ingick i undersökningen klaras av. Om det gick att ladda tillräckligt vid varje uppehåll längre än en timme skulle 75 % av maskindygnen klaras av.

Om man ökade batterikapaciteten till 50 kWh skulle energibehovet för 97 % av maskinen-dygnen täckas. Detta skulle också innebära att batterikostnaderna skulle öka kraftigt, och eftersom behovet av ett stort batteri inte finns varje maskin-dygn blir utnyttjandet av den extra kapaciteten dyr.

Om en laddhybridmaskin med 10 kWh batterikapacitet skulle användas skulle mellan hälften och två tredjedelar av maskin-dygnen klaras av på enbart el, och resterande dygn med större energibehov skulle kunna köras med diesel eller annat flytande bränsle.

Detaljerad loggning JD jordbrukstraktor

Del två i fältmätningarna var att studera en vanlig jordbrukstraktor med frontlastare vid inomgårdsarbete. Målet med de mätningarna var att finna representativa körcykler som kan vara grund för en datorbaserad simuleringsmodell där en tilltänkt batterihybridmodell skall kunna dimensioneras. Vid dessa mätningar studerades en John Deere traktor av modellen 6930 försedd med frontlastare, 2010 års modell. Denna traktor är på ca 160 hk. Traktorn utrustades med en avläsningsenhet för CAN-bussignaler, en GPS-enhet samt en datalagringsenhet. Ett 15-tal olika körningar dokumenterades. Det var olika uppgifter, från t.ex. längre transportsträckor, lastning av fodermixer till väldigt isolerade specifika rörelser som var viktiga inför byggandet av en simuleringsmodell.

De mätvärden som registrerades ses i bilaga 3.

Resultaten av mätningarna överlämnades som grunddata till byggandet av simuleringsmodell.

Detaljerad loggning Merlo teleskoplastare

Del tre i fältmätningarna var att på motsvarande vis som för John Deere lantbrukstraktor följa upp hur energiförbrukningen ser ut i olika arbetsmoment för en Merlo teleskoplastare. Registreringen av mätdata gick till på liknande vis som för lantbrukstraktorn, dvs. med hjälp av CAN-bussystem och GPS. Det som registrerades var en rad specifika arbetsmoment.

Uppbyggnad av simuleringsmodell

Beskrivning

En jordbrukstraktor kan simuleras med datorberäkningar där man beskriver alla traktorns delar som påverkar energiförbrukningen. Man kan sedan låta traktormodellen förflytta sig på en bana, och kan då visa effektförluster i traktorns olika delar samt den momentana energiförbrukningen. Om dieselmotorn i en traktor byts ut mot en elektrisk motor med en typisk verkningsgrad så kan man uppskatta energibehovet för den simulerade arbetsuppgiften. Det kan användas för att avgöra hur mycket energi som behöver lagras i batterier för en eldriven traktor som ska ersätta en dieseldriven, men i övrigt likadan, traktor.

Metod

Den traktormodell som studerades i del två av fältmätningarna ovan har även utgjort grund för simuleringsmodellen. Det är alltså en John Deere av modellen 6930 och 2010 års modell, figur 9. Denna traktor är på ca 160 hk. Tillverkarens datablad anger nominell effekt 155 hk och maximal effekt 163 hk (enligt EU-direktiv 97/68/EC).



Figur 9. John Deere 6930. www.deere.se

För att simuleringsmodellen ska fungera som den riktiga traktormodellen anges data som massa (vikt), hjuldiametrar, utväxling, bromskraft, motoreffekt och parametrar som styr beteende hos dieselmotor och växellåda.

I simuleringen av en körcykel måste också bansträckningen anges som en tabell för att styra vilken hastighet traktorn ska hålla, och vinkel och längd på motlut och medlut längs körsträckan. Data för att skapa den simulerade bansträckningen har också hämtats från del två av fältmätningarna ovan, för att kunna jämföras med mätdata från den riktiga traktorn, se bilaga 4.

Beräkningarna sker i programmet Matlab Simulink där körsträckan på knappt 2,5 km avverkas i en simulering med olika önskade hastigheter på 51 olika bansegment, som därmed tar en viss beräknad tid att passera, i detta fall 420 sekunder. Efter att beräkningarna utförts får man ut momentan effekt, förluster i olika delar av transmissionen, total omvandlad energi, total mängd förbrukat dieselbränsle m.m. Man kan också simulera vad det skulle innebära att konvertera traktorn till elektrisk drift genom att byta ut dieselmotorn till en elektrisk motor men behålla övriga delar i traktorn oförändrade. Elmotorn antas då ha en verkningsgrad på 85 %.

Resultat

De resultat som simuleringen ger kontrolleras mot mätdata från fältmätning så att hastigheter i de olika bansegmenten stämmer och att den totala körtiden stämmer. Det är ett tecken på att traktormodellen fungerar och efterliknar den riktiga traktorn.

Sedan jämförs momentan bränsleförbrukning under körningen, se bilaga 5. Man kan se att i vissa ögonblick skiljer det en del mellan simulerad och uppmätt momentan förbrukning. Det beror framförallt på att hastighetsförändringar troligen sker snabbare i simuleringen än i verkligheten, där föraren ofta använder gaspedalen på ett mjukare sätt. Det är svårt att i simuleringen exakt efterlikna förarens beteende om föraren inte kör med bitvis konstant hastighet. De övergripande variationerna över hela vägsträckan visar liknande tendens för simulering och mätning, då de ju båda i hög grad beror på hastigheten och banans motlut/medlut.

Den momentana bränsleförbrukningen summeras över tiden för att få fram den totala bränsleförbrukningen för körsträckan, se bilaga 6. Den loggade EngFuelRate kan summeras till en totalförbrukning på 0,84249 liter diesel för körmomentet. Det motsvarar 0,70095 kg (0,815 kg/l för diesel) källa: SPBI 2014. Total bränsleförbrukning i simulering är 0,6902 kg eller 0,84692 liter diesel när modellen trimmats in. Det visar en god överensstämmelse.

En uppskattning har genomförts, avseende hur en elkonvertering av traktorn kan utformas, genom att beräkna vilken ackumulerad energi som skulle krävas för att tillryggalägga den simulerade vägsträckan när dieselmotorn bytts ut mot en elmotor med 85 % verkningsgrad. I bilaga 6 framgår det att dieselmotorn behöver 30,3 MJ i form av dieselbränsle medan elmotorn behöver 10,1 MJ från batterier. Energimängden kan också skrivas som 2,806 kWh.

Förluster i drivlinan i simuleringsmodellen antyder att en elektrisk traktor kan bli ännu energieffektivare om elmotorn kan monteras närmare drivaxeln och enklare växellåda/transmission kan användas. Det är dock inte bekräftat att drivlinans förluster i modellen stämmer väl med den verkliga traktorn.

Hjulens hastighet används som indata i simuleringen eftersom den antas stämma bättre än GPS-hastigheten.

Andra svårigheter som påverkar hur bra modellerna stämmer är framförallt dessa:

Simuleringsmodellen för traktorn är baserad på en generell dieselmotor och en generell automatväxellåda eftersom traktorspecifika tekniska data inte har varit tillgängliga. Modellen kan förbättras med mer detaljerade indata.

Som nämnts ovan är det en begränsning i simuleringsmodellen av körsträckan att hastighet måste anges per bansegment. En mjuk, flexibel körstil med kontinuerlig hastighetsförändring är svår att återspegla i modellen.

Slutsatser av simuleringsresultat

Den elektriska energimängd som krävs för körcykeln kan exempelvis lagras i ett batteripaket av samma typ som används i personbilar av typen plug-in hybrid. Ett sådant batteri har typiskt nominell energikapacitet på ca 11 kWh, varav ca 8 kWh kan användas under en laddningscykel. Traktorn skulle då kunna köra denna kör-cykel nästan tre gånger innan batteriet måste laddas igen. Vikten för batteripaketet med kapsling och kraftelektronik är 200 kg och kostnaden kan uppskattas till 5500 USD enligt tumregeln 500 USD per kWh. Kostnaden förutsätter att ett serietillverkat batteri kan användas. Att tillverka ett enstaka specialanpassat batteri kostar betydligt mer.

Batteriinstallationen kan skalas upp till exempelvis fem gånger större kapacitet. Det innebär 56,5 kWh och vikten 730 kg (lite vikt kan sparas på kapsling och kraftelektronik som utgör ca 1/3 av vikten på det lilla batteripaketet). Kostnaden för denna lösning skulle vid stora serier bli uppskattningsvis 27500 USD. Kör-cykeln kan då avverkas 14 gånger innan batterierna måste laddas igen. Kostnaden för elmotorn som ersätter dieselmotorn har inte räknats in i denna uppskattning.

Förändringar i marknadsläget under projekttiden

När ansökan till projektet skrevs och projektet startades, var marknadsläget sådant att det var väldigt svårt att finna batteridrivna eller batteri/dieseldrivna hybridmaskiner med anpassning för jordbruket. Ambitionen med projektet då, var att visa maskinföretag möjligheten till ett nytt marknadssegment. Detta skulle ske genom att samla så mycket bakgrundskunskap och detaljkunskap att det skulle vara möjligt att med hjälp av detta intressera och föra en dialog med dessa företag. En önskad fortsättning på projektet skulle då vara att en prototyp eller demomaskin togs fram av ett maskinföretag, med hjälp av den kunskap som detta projekt tillfört.

Under tiden som detta projekt har pågått har marknadsläget glädjande nog förändrats till det bättre, då det nu är två maskintillverkare som introducerar väldigt intressanta maskinmodeller. Dels finns Merlo som introducerar en laddhybrid, dels finns Weidemann som planerar för introduktion av en liten batteridrivna lastmaskin med jordbruk som en tänkt kundgrupp. Projektet ser nu som främsta uppgift att använda den kunskap som framkommer för att i samarbete med återförsäljare av nämnda maskiner underlätta vid marknadsintroduktion, så att de kommer att visas och demonstreras under förutsättningar som ger rätt potential för dessa maskiner.

Marknadskontakter

Under projektets gång har ett direkt samarbete upprättats med Hüllert Maskin som finns i Vara. Hüllert är generalimportör av det italienska märket Merlo.

Merlo har byggt upp ett erkänt kompetent maskinprogram kring segmentet teleskoplastare. Dessa har blivit mycket populära inom byggindustrin, men även i ökande grad på jordbruk. Merlo introducerar nu en laddhybrid på marknaden i en maskinstorlek som kan passa även jordbruken ganska väl.

Under projekttiden har projektgruppen samarbetat med Hüllert Maskin genom att vi kunnat presentera vår bild av lantbrukets krav och önskemål på maskiner, samtidigt som de har hjälpt oss med dataloggningar över drifttider.

Projektgruppen har även inlett ett samarbete med Wacker Neuson AB som är återförsäljare för lastmaskiner av märket Weideman. De planerar att introducera en mindre batteridrivna maskin under slutet av 2014. Projektgruppen och Wacker Neuson har inlett ett projektsamarbete som skall underlätta introduktion och demonstrationer i Sverige.

Under projekttiden har kontinuerlig kontakt hållits med LRF:s medlemmar. Specifikt via de samarbetsföretag som anslutits till det pågående projektet GAFE och dess framtidsgårdar. Där finns ett fungerande kontaktnät av intresserade lantbrukare som har energieffektivisering som utstakat mål. Den gruppen har varit värdefull för diskussioner om introduktion av till exempel laddbara inomgårds-traktorer. I framtiden är det mycket troligt att någon eller några av dessa lantbrukare kommer att fungera som demonstrationspartner när nya eltraktorer skall marknadsintroduceras.

Slutsatser

Det avslutade projektet kan sammanfattas i följande slutsatser.

- Vi står inför en väldigt intressant utveckling när ett par stora marknadsaktörer presenterar laddhybrid respektive rent batteridrivna maskiner på maskiner avsedda för inomgårdshandling på jordbruk.
- Det finns en relativt stor potential till bränsle- och CO₂-minskning genom övergång till eldrift, då maskiner för inomgårdsarbete på djurgårdar står för en stor del av dieselförbrukningen på jordbruk.
- Det finns ett stort intresse från lantbrukare att gå över till eldrivna inomgårdsmaskiner.
- Investeringen för en batterimaskin bör inte överstiga kostnaden för en dieselmaskin mer än marginellt om de skall vara intressanta för jordbruket.
- Det är främst i det minsta segmentet av maskiner som det hos lantbrukare bedöms som troligast att det kommer att ske ett skifte mot batteridrivna maskiner.
- Användningen av åtta teleskoplastare på lantbruk har undersökts under ett halvår (drygt 1400 maskin-dygn).
- De körcykler som projektet registrerat för representativa dieselmaskiner visar på goda möjligheter för återuppladdning av batterier varje dygn.
- Vid hälften av de 1400 studerade maskin-dygnen skulle en batterikapacitet på 10kWh ha räckt. Om batteriet kunde laddas vid varje stillestånd längre än en timme skulle 75 % av maskindygnen klaras av via samma batterikapacitet.
- Om användningsmönstret skulle förändras skulle ren batteridrift kunna användas. Om behovet av att kunna köra mycket några få dygn per år kvarstår skulle en laddhybrid kunna användas.

Referenser

- LRF, 2014. De gröna näringarnas klimatlöfte - sammanfattning LRF.se
- Schmetz 2011: Elektrische Traktorantriebe Electrical Drives for Agricultural Tractors Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.Ing. Roland Schmetz
(Randy Holmquist, Canev.) mailkonversation april 2014
- Finpro 2012. Bildpresentation 2012. <http://www.finpro.fi/documents>
- Larsson 2012. Hybridisering av mobila maskiner – Översikt av teknikläget samt drivkrafter och begränsningar för framtida utveckling. SLU, Sveriges lantbruksuniversitet Institutionen för energi och teknik. ISSN 1654-9392 2012:043
- SPBI,2014. Svenska Petroleum och Biodrivmedel Institutet. Beräkningsfaktorer, www.SPBI.se 2014

Bilaga 1. Överslagsberäkning av klimatnytta vid byte till eltraktorer

Scenario	Drivmedel	Antal maskiner*	Antagen genomsnittlig användning av traktor per företag och dag inomgård (h)	Antagen genomsnittlig förbrukning per traktortimme (liter diesel, resp kWh el**)	Förbrukning diesel per år (liter)	Förbrukning el per år (kWh)	Koldioxidutsläpp per enhet (kg CO ₂ per liter diesel, resp kg CO ₂ per kWh el, Svensk elmix)	Koldioxidutsläpp per år (ton)	Summa koldioxidutsläpp (ton/år)	Absolut minskning koldioxidutsläpp (ton/år)	Relativ minskning koldioxidutsläpp (%)
Nuläge: Enbart dieseltraktor	Diesel	1 639	2	10	11 967 912		2,48 kg/liter	29 680	29 680	0	0%
	El	0		33		0	-	0			
Eldriven traktor på 10% av gårdarna, 90% dieseltraktor	Diesel	1 475	2	10	10 771 121		2,48 kg/liter	26 712	26 791	-2 890	-10%
	El	164		33		3 909 518	20 gram/kWh	78			
Eldriven traktor på 100 % av gårdarna	Diesel	0	2	10	0		2,48 kg/liter	0	782	-28 899	-97%
	El	1 639		33		39 095 179	20 gram/kWh	782			

* Enligt SCB var det 4968 gårdar med mjölkkor i Sverige 2012. En tredjedel av dessa antas ha dieseldrivna maskiner som kan bytas ut mot eldrivna motsvarigheter.

** 1 liter diesel=9,8 kWh, dieseltraktorns verkningsgrad uppskattas till 20% i aktuell tillämpning, eldriven traktors verkningsgrad uppskattas till 60%. Detta ger att 10 liter diesel/h motsvarar ungefär 33 kWh el

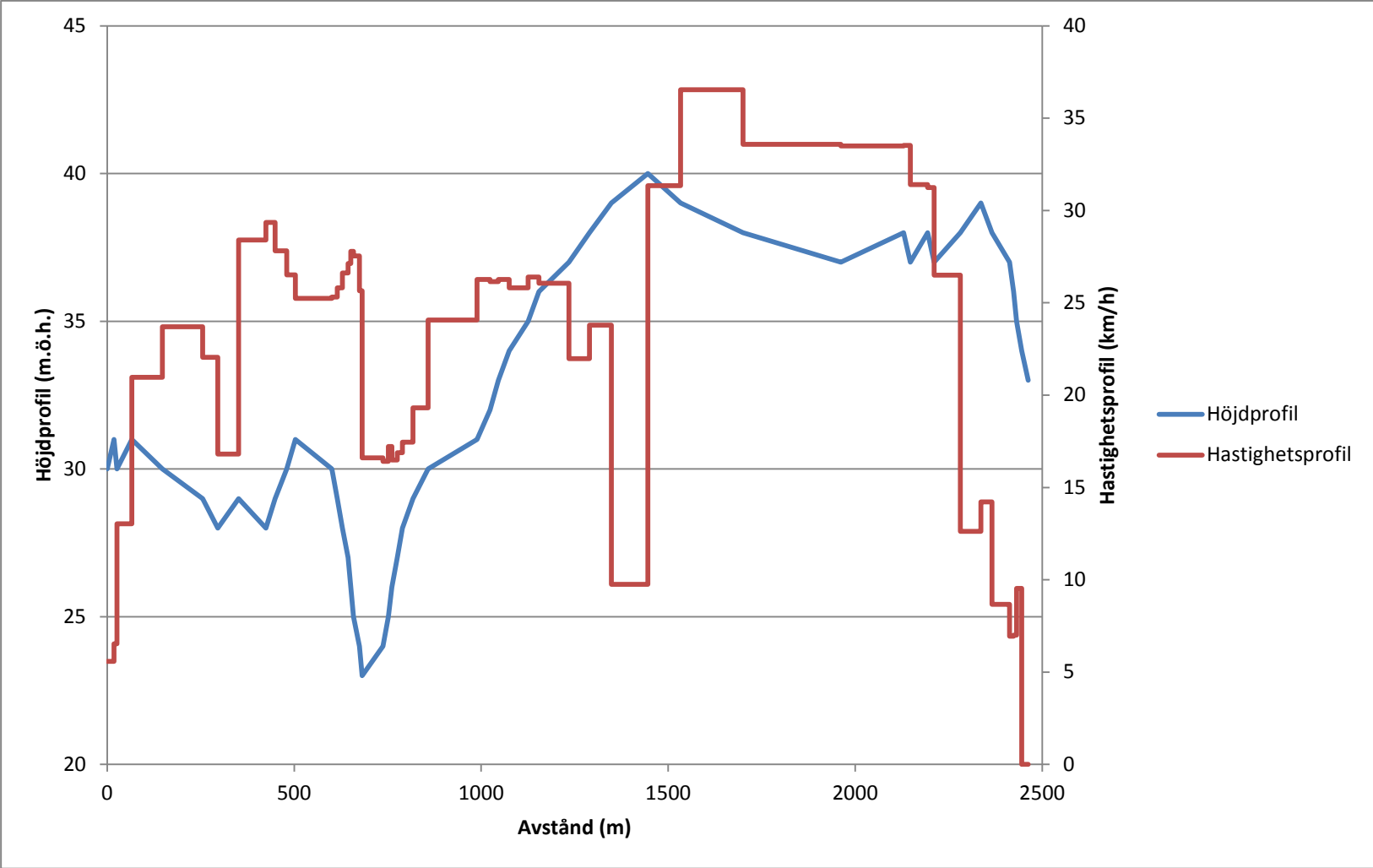
Bilaga 2. Användningsfrekvens Merlo teleskoplastare, exempel på dataunderlag

	AB	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF
1	Avvikelserapport																														
2	2014-03-04 - 2014-03-14																														
3																															
4																															
5	Datum		Start					Stop					Timmar					Totala timmar					Arbetstid								
6	2014-03-04		07:06:38					15:27:59					01:26:00										518 08:21:21								
7																															
8																															
9	Sverige															Sverige															
10	Ingång 1																														
11																															
12	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23																														
13	Timmar: 01:26:00																														
14	Arbetstid: 08:21:21																														
15	Ingång 2																														
16																															
17	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23																														
18	Timmar: 01:28:00																														
19	Weekendaktivitet																														
20	Aktiviteten inom (00:00 - 23:59)																														
21																															
22	Datum		Start					Stop					Timmar					Totala timmar					Arbetstid								
23	2014-03-05		10:53:30					14:57:26					01:24:00										518 04:03:56								
24																															
25																															
26	Sverige															Sverige															
27	Ingång 1																														
28																															
29	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23																														
30	Timmar: 01:24:00																														
31	Arbetstid: 04:03:56																														
32	Ingång 2																														
33																															
34	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23																														
35	Timmar: 01:22:00																														
36	Weekendaktivitet																														
37	Aktiviteten inom (00:00 - 23:59)																														
38																															
39	Datum		Start					Stop					Timmar					Totala timmar					Arbetstid								
40	2014-03-06		09:53:00					15:19:13					01:30:00										518 05:26:13								
41																															
42																															

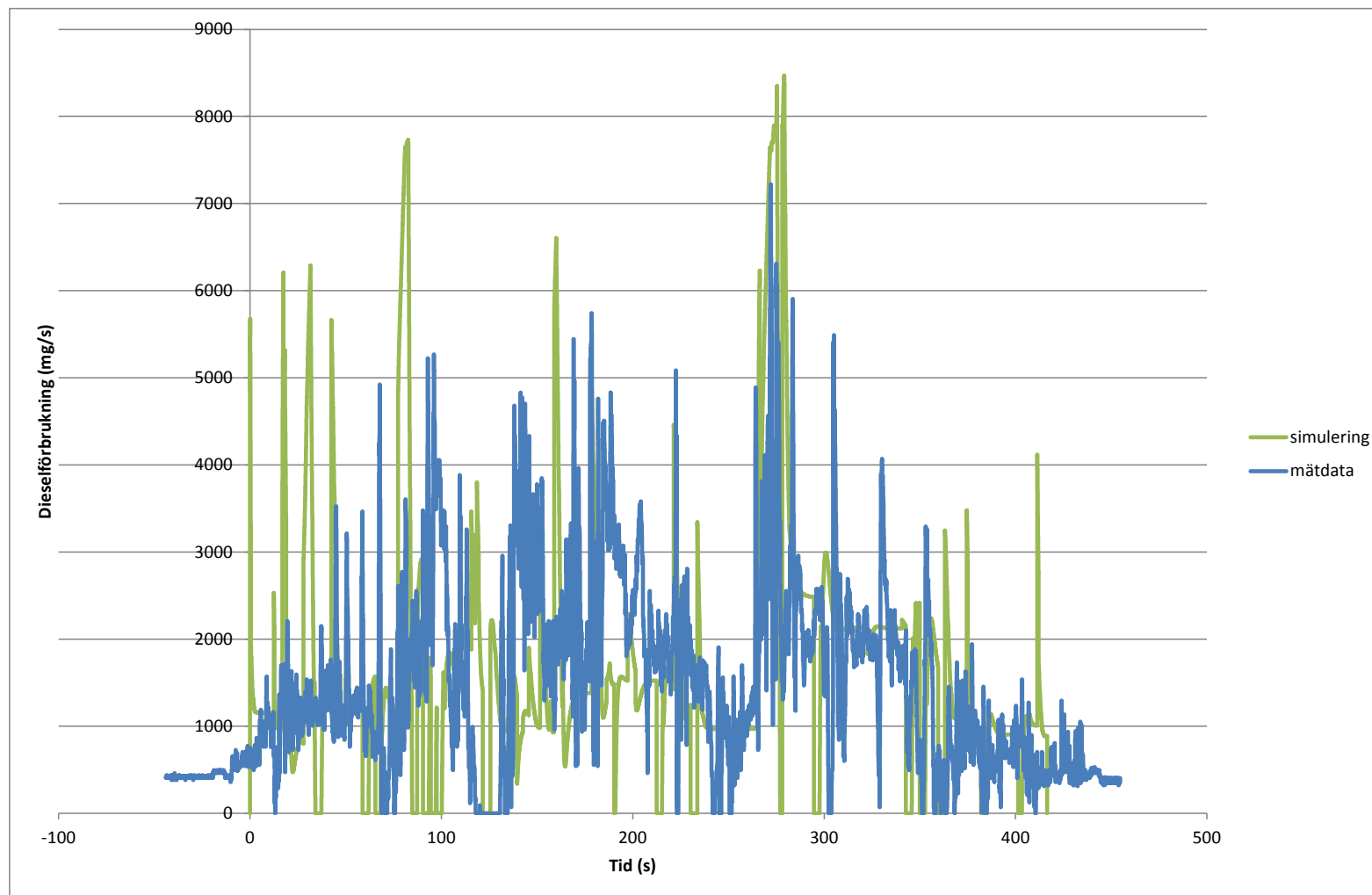
Bilaga 3. Uppställning av mätvärden som samlats in för John Deere traktor

<u>Parameter</u>	<u>Enhet</u>	<u>Förklaring</u>
Time	sekunder	Tid mellan mätvärden
Altitude	meter	Höjd över havet
LongitudeS	sekunder	GPS koordinat
LongitudeM	minuter	GPS koordinat
LongitudeD	grader	GPS koordinat
LatitudeS	sekunder	GPS koordinat
LatitudeM	minuter	GPS koordinat
LatitudeD	grader	GPS koordinat
EngPercentLoadAtCurrentSpeed	%	The ratio of actual engine percent torque (indicated) to maximum indicated torque available at the current engine speed,
EngSpeed	rpm	Actual engine speed which is calculated over a minimum crankshaft angle of 720 degrees divided by the number of cylinders.
ActualEngPercentTorque	%	The calculated output torque of the engine.
EngFuelRate	l/h	Amount of fuel consumed by engine per unit of time.
BrakeSwitch	0-1	Switch signal which indicates that the driver operated brake foot pedal is being pressed.
WheelBasedVehicleSpeed	km/h	Speed of the vehicle as calculated from wheel or tailshaft speed.
EngDesiredOperatingSpeed		
NominalFrictionPercentTorque	%	The calculated torque that indicates the amount of torque required by the basic engine itself added by the loss torque of
FrontWheelDriveActuatorStatus	0-1	Feedback on the front wheel drive actuator.
Seconds	sekunder	GPS tid
Minutes	minuter	GPS tid
Hours	timme	GPS tid
Course	grader	GPS kurs
Speed	km/h	GPS hastighet

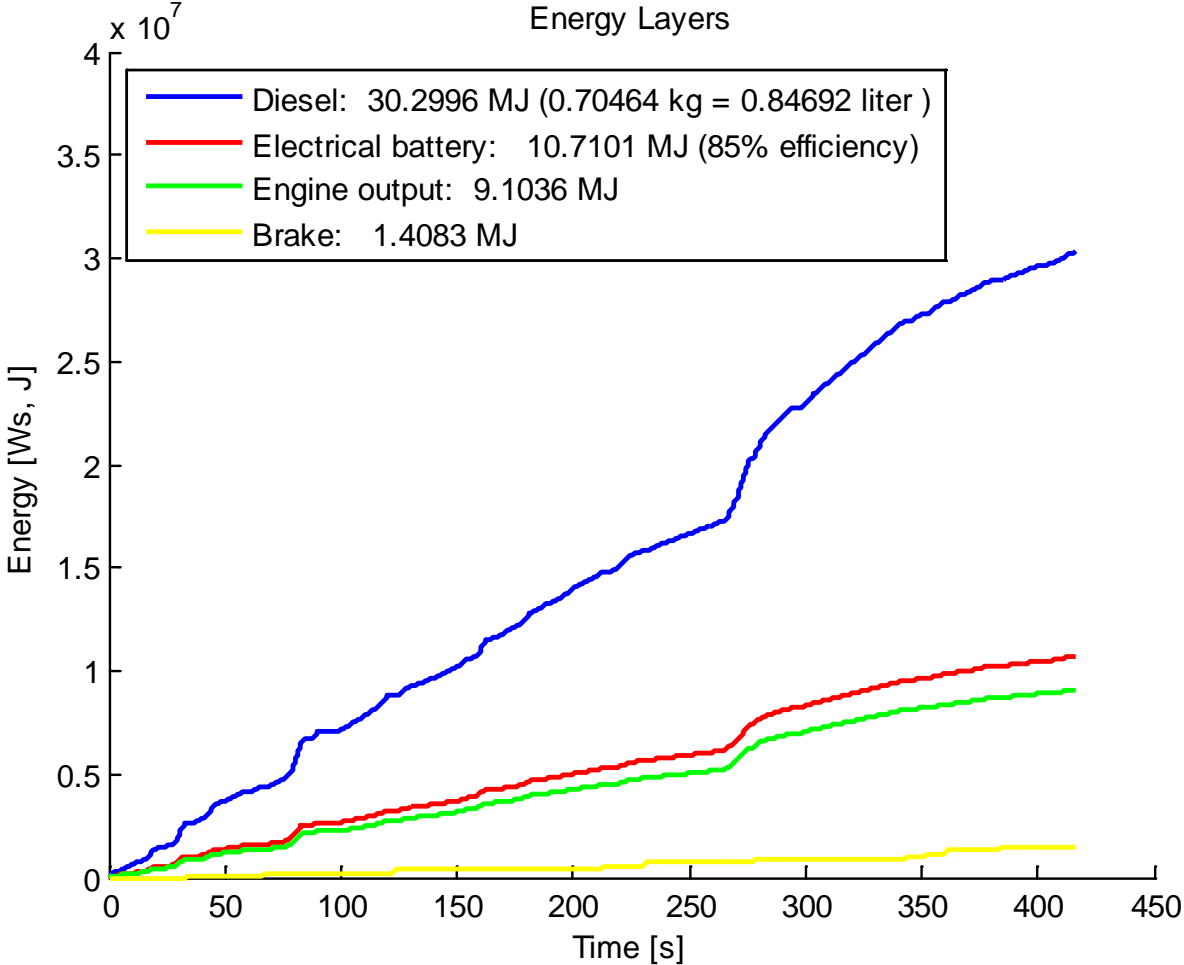
Bilaga 4. Bana för simulering har baserats på mätdata



Bilaga 5. Jämförelse av momentan bränsleförbrukning för simulering och mätdata



Bilaga 6. Jämförelse av omvandlad energi som ackumuleras över tid i simulering respektive mätdata



JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik

Vi är ett tekniskt jordbruksinstitut med tydlig miljö- och energiprofil. Institutets fokus ligger på innovation och utveckling i nära samarbete med företag, organisationer och myndigheter.

På vår webbplats publiceras regelbundet notiser om aktuell forskning och utveckling vid JTI. Gratis mejlutskick av JTI:s nyhetsnotiser kan beställas på www.jti.se

På webbplatsen finns publikationer som kan läsas och laddas hem gratis. Se www.jti.se under fliken Publicerat.

Vissa publikationer kan beställas i tryckt form. För trycksaksbeställningar, kontakta oss på tfn 010-516 69 00, e-post: info@jti.se



JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik
Box 7033, 750 07 Uppsala
Telefon: 010-516 69 00, Telefax: 018-30 09 56
E-post: info@jti.se
www.jti.se