

Utvärdering av hybridkoncept för skogsmaskiners drivlinor

Publik rapport



Författare: Anneli Lundmark och Omar Mendoza Trejo
Granskad av Magnus Karlberg, Ola Lindroos och Peter Assarsson
Datum: 2022-11-30
Projekt inom FFI Energi och Miljö

FFI Fordonsstrategisk
Forskning och
Innovation

VINNOVA

Energimyndigheten

TRAFIKVERKET

FKG

VOLVO

SCANIA

SCANIA

VOLVO

Innehållsförteckning

1 Sammanfattning	3
2 Executive summary in English.....	3
3 Bakgrund.....	3
4 Syfte, forskningsfrågor och metod	4
5 Mål	5
6 Resultat och måluppfyllelse	5
7 Spridning och publicering	6
7.1 Kunskaps- och resultatspridning	6
7.2 Publikationer.....	6
8 Slutsatser och fortsatt forskning	6
9 Deltagande parter och kontaktpersoner.....	6
10 Referenser.....	7

Kort om FFI

FFI är ett samarbete mellan staten och fordonsindustrin om att gemensamt finansiera forsknings- och innovationsaktiviteter med fokus på områdena Klimat & Miljö samt Trafiksäkerhet. Satsningen innebär verksamhet för ca 1 miljard kr per år varav de offentliga medlen utgör drygt 400 Mkr.

Läs mer på www.vinnova.se/ffi.

1 Sammanfattning

Skogstekniska klustret har tillsammans med Komatsu Forest AB, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) och Luleå tekniska universitet (LTU) under perioden 2021–2022 genomfört förstudieprojektet, tillika FFI-projektet "Utvärdering av hybridkoncept för skogsmaskinens drivlinor". Målet med projektet har varit att undersöka om hybridkoncept är möjlig för att minska bränsleåtgången och därmed koldioxidutsläppen hos skogsmaskiner under användningsfasen.

Utvärderingen har gjorts genom en jämförelse mellan en faktisk skogsmaskin (skotare), som har en hydrostatisk transmission med en förbränningsmotor och två hybridlösningar: serie och parallell. Resultaten visar en potential att minska bränsleförbrukningen med ca 40% vid användandet av hybridkoncept, däremot behöver man fortsätta validering av modellerna och ta hänsyn till fler faktorer.

2 Executive summary in English

The automotive industry produces hybrid solutions that reduce fuel consumption, and this technology is considered "highly mature." However, forest machines are far from being at the same level. This project aims to evaluate hybrid solutions as a possibility of reducing the fuel consumption of forest machines.

This project was carried out through quasistatic simulations, where a driving profile for forest machines was created. The evaluation considered a comparison between a forest machine (forwarder), which has a hydrostatic transmission with a combustion engine and two hybrid solutions: series and parallel. For this project, all elements remain the same for all simulations and models, i.e., the same combustion engine, the same electric motor, and the same battery for all the solutions. The only changes to the models are the way the elements are connected and controlled for the series and parallel solutions.

The project shows a great potential to minimize fuel consumption of forest machines if hybrid solutions are considered. Compared to a combustion engine, the fuel consumption is reduced by approximately 40% when using series and parallel hybrid concepts. Solutions presented in this report are basic hybrid concepts, however, more complex schemas and control strategies can be implemented.

3 Bakgrund

Bilindustrin producerar idag hybridlösningar som minskar bränsleförbrukningen och tekniken anses vara av hög mognadsgrad. Skogsmaskiner har dock inte nått samma mognad varpå hållbarhetspotentialen med hybridiserade drivlinor behöver utredas.

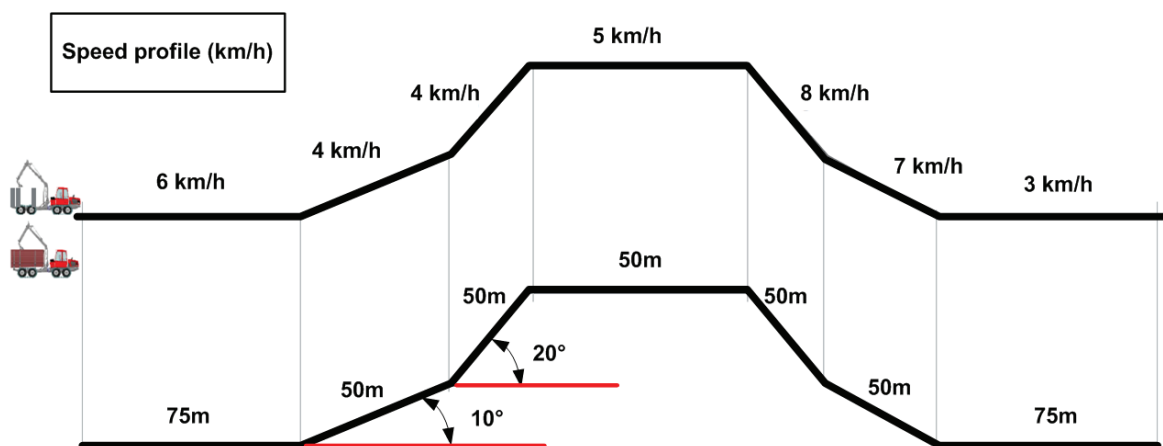
Svenska företag är världsledande när det gäller tillverkning av skogsmaskiner, med en global marknad för svensktillverkade skördare och skotare. Skördare faller, kvistar och sågar upp trädet i stockar. Skotare transporterar de producerade stockarna till bilväg där de kan hämtas upp av lastbil för vidaretransport till massafabriker och sågverk. Redan 2007 skapade Volvo en elhybridskotare - El-Forest - i syfte att utveckla en skotare med 30 procent lägre bränsleförbrukning samt minskade markskador tack vare lägre vikt och en design med elektriska hjulmotorer som gjorde det möjligt med samspårning och individuell hastighet på de sex hjulen. Försöket visade på svårigheter med att uppfylla arbetsproduktiviteten med specifika körcykler och konceptet utvecklades aldrig till någon kommersiellt tillgänglig produkt. Utvecklingen av elhybridskördare har dock gått snabbare, och den finska maskintillverkaren Logset erbjuder i dagsläget två skördarmodeller som kombinerar el och förbränningsmotor som energikälla (Logset, 2022). Svenska Malwa utvecklar i ett FFI-projekt en eldriven liten kombimaskin som ska kunna både avverka träd och transportera ut virke i tätortsnära miljö (Malwa, 2021). El-hybridvarianten för konventionellt skotningsarbete finns däremot inte vilket gör att det finns utvecklingspotential i att minska bränsleförbrukningen bland skogsmaskiner ytterligare och därmed också skogsmaskinernas sammantagna klimatpåverkan. Detta bekräftas exempelvis av den finska maskintillverkaren Ponsse's pressmeddelande som i augusti offentliggjorde deras utveckling av en konceptmaskin i form av en skotare med elhybriddrift (Ponsse, 2022).

Som en del i skogsbrukets bidrag till att minska samhällets fossilberoende har branschens aktörer strävat efter att hitta lösningar som kan vara konkurrenskraftiga på den globala marknaden. Skördare och skotare står för en signifikant andel (15%) av arbetsmaskinsektorns totala utsläpp och genom ökad elektrifiering i dessa maskiners driv- och hjälpsystem kommer utsläppen under användningsfasen kunna reduceras avsevärt. Denna utveckling kommer ske stegvis i takt med att energilagrings- och laddningssystemens mognadsgrad ökar och hybridisering är därför ett lämpligt första steg.

4 Syfte, forskningsfrågor och metod

Syftet med förstudieprojektet har varit att på vetenskaplig grund studera olika hybridkoncept för att få en bild av vad som är möjligt och vad som kan vara en bra lösning för just skogsbranschen. Fokus har lagts på skotarens arbete, eftersom det är den maskin som utför merparten av körningen i sitt arbete med att transportera ut stockar från skogen till bilväg.

Projektet genomfördes genom kvasistatistiska simuleringar, där en körprofil för skogsmaskiner skapades. Inom bilindustrin finns det standardiserade testkörningar som används för att utvärdera olika hybridkoncept, men eftersom det inte finns en liknande cykel för att testa skogsmaskiner har körcykeln anpassats efter projektets syfte. Denna körcykel har de egenskaper som visas i figur 1 och skapades med hjälp av Komatsu Forest.



Figur 1. Körcykeln som använts för att utvärdera hybridkoncepten. Totalsträckan för hela cykeln är 400 m.

Följande koncept har utvärderats och jämförts:

- Förbränningsmotor med hydrostatisk transmission. Dagens konventionella koncept, i vilket skotarens dieselmotor är dess enda energikälla. Värdet för bränsleförbrukningen i denna modell har varit utvärderingens referenspunkt.
- Seriehybrid. För denna konfiguration användes ett system där ett batteri, en generator och en elmotor ingår. I detta koncept kommer skotaren att drivas av elmotorn, och förbränningsmotorn fungerade som en hjälpkraftenhet.
- Parallellhybrid. För denna konfiguration ger både förbränningsmotorn och elmotorn dragkraften, antingen enskilt eller gemensamt.

Under utvärderingen har beståndsdelar varit desamma för alla simuleringar och modeller. Det vill säga att samma förbränningsmotor, samma elmotor och samma batteri har modellerats för samtliga lösningar. De enda förändringarna i modellerna är hur elementen kopplas och styrs för serie- och parallelllösningarna. Samtliga modeller har utvecklats och simulerats i Matlab/Simulink.

5 Mål

Minskad energiförbrukning i transmissionsdelen på en maskin som går i terräng kan göras med en mängd olika metoder och vad industrin behöver är vägledning. Målet med projektet har varit att undersöka om hybridkoncept är möjlig för att minska bränsleåtgången och därmed koldioxidutsläppen hos skogsmaskiner under användningsfasen. Precisering av de koncept som skulle ingå i utvärderingen har gjorts under projektets gång, där fokus landade på tre koncept; förbränningsmotor med hydrostatisk transmission, seriehybrid och parallellhybrid.

6 Resultat och måluppfyllelse

Projektet har resulterat i simuleringar som visar den slutliga bränsleförbrukningen vid användning av den hydrostatiska transmissionen, seriehybriden och parallellhybriden under en på förhand bestämd körcykel. Generellt sett visar simuleringresultaten en stor potential att minska bränsleförbrukningen för skogsmaskiner genom användandet av hybridlösningar. Tabell 1 visar en jämförelse av bränsleförbrukningen när man beaktar de tre alternativen som beskrivs i avsnitt 4, där minskningarna med båda elhybrid-koncepten är cirka 40 %. Det är viktigt att nämna att modellerna har utgått ifrån att batteriet haft en viss initial laddningsgrad och att det inte skett någon laddning av batteriet under själva körcykeln. Det betyder att laddning av batteriet sker när det är anslutet till en stationär laddstation. Möjligheten att kunna ladda batteriet under själva körcykeln är något som behöver studeras mer i framtida projekt. Projekresultaten har utgått ifrån att batteriet haft en initial laddningsgrad på cirka 20 % (för båda hybridkoncepten). Valet att ha en relativt låg laddningsgrad är för att visa att även när batteriet har låg laddning kan energibesparingar uppnås. Det är viktigt att nämna att energibesparingar kan variera om komplexa kontrollsystem eller laddning under arbetscykler används.

Tabell 1. Jämförelse av bränsleåtgång mellan olika koncept.

Koncept	Bränsleåtgång	Minskning (%)
Förbränningsmotor	1,5333 l/km	0%
Seriehybriden	0,8896 l/km	41,44%
Parallellhybriden	0,8679 l/km	42,83%

Även om dessa värden indikerar att det är möjligt att minska bränsleförbrukningen finns det vissa begränsningar. Simuleringarna som gjorts har tagit hänsyn till flertalet fysiska faktorer men experimentella valideringar av dessa modeller behövs. Till exempel finns det några forskningsartiklar som rapporterar en bränsleförbrukning på 6,2 l/km (Manner, Nordfjell & Lindroos, 2016) och 2,3 l/km (Nordfjell, Athanassiadis & Talbot, 2003). Simuleringarna i detta projekt visar förbrukning under dessa värden och där idealiska förhållanden antagits, såsom låg uppvärmning, inga mekaniska förluster på grund av friktioner och hög effektivitet hos komponenterna. På grund av denna situation är det viktigt att utföra en experimentell validering av modellerna genom en detaljerad systemidentifiering. Genom att överväga en detaljerad systemidentifiering kommer man känna till de verkliga värdena som kan användas i framtida simuleringar. En annan viktig faktor att diskutera är komponenterna som använts för hybridkoncepten. I detta projekt har det använts komponenter som finns tillgängliga i litteraturen och som kan ge de krafter och vridmoment som man kan behöva. Alla dessa komponenter bör väljas på ett optimalt sätt, vilket innebär att ett optimeringsproblem bör anges. När detta problem är fastställt och löst kommer vi att få den nödvändiga och optimala storleken på alla komponenter. Denna situation kommer att leda till billigare och effektivare system. Dessutom bör man nämna att de kontrollstrategier som använts i detta projekt inte är fullt optimala för projektets syfte. Optimala kontrollstrategier för hybridfordon är fortfarande ett forskningsämne inom fordonsindustrin, vilket innebär att även detta område bör studeras i detalj med fokus på skogsbranschen.

På det stora hela har projektet genom ett vetenskapligt angreppssätt studerat och visat på möjligheterna till att minska energiförbrukningen genom hybridisering av skogsmaskiners drivlina. Resultaten kan användas i det fortsatta arbetet att minska skogsmaskiners koldioxidutsläpp och därmed bidra till omställningen till ett fossilfritt samhälle.

7 Spridning och publicering

7.1 Kunskaps- och resultatspridning

Hur har/planeras projektresultatet att användas och spridas?	Markera med X	Kommentar
Öka kunskapen inom området	x	Forskning har bedrivits och projektarbeten har dokumenterats där utvärderingen i sig kommer att resultera både forskningsartiklar och tekniska rapporter.
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt	x	Resultaten har god potential att användas inom mer avancerade tekniska utvecklingsprojekt
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt	x	Resultaten har god potential att användas inom mer avancerade utvecklingsprojekt
Introduceras på marknaden		
Användas i utredningar/regelverk/tillståndsärenden/ politiska beslut		

7.2 Publikationer

Projektet har inte lett till publicering av några peer-review-granskade artiklar under den ettåriga projektperioden. Resultaten planeras dock att publiceras efter projektperioden.

8 Slutsatser och fortsatt forskning

Simuleringsresultaten visar på en stor potential att rejält kunna minska bränsleåtgången. Resultaten motiverar därför tydligt att det finns skäl att överväga hybridlösningar som en lösning för att minimera bränsleförbrukningen hos skogsmaskiner. Det krävs dock mer studier för att utforska området ytterligare och hitta optimala elhybrid-lösningar. Målen för detta projekt uppnåddes framgångsrikt och det ger riktlinjer för framtida arbete. Framtida arbete bör överväga att inkludera:

- 1 - Experimentell validering av modellerna.
- 2 - Strukturerande av ett optimeringsproblem för komponentval.
- 3 – Skapande av en kontrollstrategi som är lämplig för de olika uppgifter som utförs av skogsmaskiner.

9 Deltagande parter och kontaktpersoner

Projektet har varit ett samarbete mellan den ekonomiska föreningen Skogstekniska klustret, maskintillverkaren Komatsu Forest AB och universiteten LTU och SLU.

Skogstekniska klustret, koordinerande part. Kontaktperson Anneli Lundmark

Komatsu Forest AB, projektpart och behovsägare. Kontaktperson Peter Assarsson

Sveriges lantbruksuniversitet, projektpart och forskningspart. Kontaktperson Ola Lindroos

Luleå tekniska universitet, projektpart och forskningspart. Kontaktperson Magnus Karlberg



10 Referenser

Logset. 2022. *Towards greener forestry together*. <https://logset.fi/hybrid-technology/>.

Malwa. 2021. *Malwa vill elektrifiera det tätortsnära skogsbruket - utvecklar batteridrivna kombi tillsammans med RISE*. <https://www.malwa.se/lasvar/123-malwa-vill-elektrifiera-det-t%C3%A4rtortsn%C3%A4ra-skogsbruket-utvecklar-batteridrivna-kombi-tillsammans-med-rise>.

Manner, J., Nordfjell, T & Lindroos, O. 2016. Automatic load level follow-up of forwarders' fuel and time consumption, *International Journal of Forest Engineering*, 27:3, 151–160.

Nordfjell, T., Athanassiadis, D. & Talbot, B. 2003. Fuel Consumption In Forwarders, *International Journal of Forest Engineering*, 14:2, 11-20.

Ponsse. 2022. *Ponsse launches new technology: an electric forest machine*. https://www.ponsse.com/en/company/news/-/asset_publisher/P4s3zYhpxHUQ/content/ponsse-launches-new-technology-an-electric-forest-machine#.