

Ville Ketomäki, Jori Lahti

Sähkökäyttöiset koneet maataloudessa

Akuuttia tietoa maatilayritysten kannattavuudesta lannoite- ja energiansäästö-
toimissa -hanke

Akuutti Agrotekno



Opas/Tietokortti

22.04.2024



Euroopan maaseudun
kehittämisen maatalousrahasto:
Eurooppa investoi maaseutualueisiin

Sähkö energianlähteenä

Liikkuvien maatalouskoneiden yleisin energialähde on kevyt polttoöljy, jota kului moottorikäytössä vuonna 2020 yli 238 miljoonaa litraa (Luonnonvarakeskus). Kevyt polttoöljy perustuu raaka-ainelähteissään pääsääntöisesti fossiiliseen raakaöljyyn. Osana ruokaketjua maatalouden edellytetään osallistuvan ilmastonmuutoksen vastaiseen toimintaan. Kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä tulee osaltaan tarkastella vaihtoehtoisia energialähteitä, jotka perustuvat uusiutuviin lähteisiin.

Uusiutuviin energialähteisiin siirtyminen tuo monia haasteita. Parhaimmillaan voidaan nestemäistä polttoainetta vaihtamalla saavuttaa merkittäviä kasvihuonekaasupäästöjen vähennyksiä tai jopa nollaantumista. Tällöin ei tule investointikulua kalustoon. Kuitenkin polttoaineen vaihtuminen voi nykytilanteessa nostaa polttoainekustannuksia tuotettua yksikköä kohti. Sähköenergian käyttö maatalouskoneissa sekä varsinkin pääasiallisena voimanlähteenä pakottaa kalustossa investointeihin. Investoinnit voivat olla hyvin kalliita, joten koneen soveltuvuudessa ja takaisinmaksuajassa tulee huomioida monenlaisia tekijöitä.

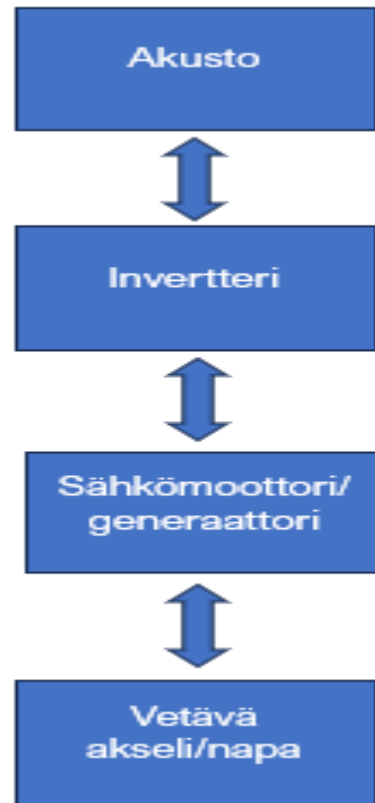
Korkean investointikustannuksen lisäksi suurin haaste on tarpeeksi suuren energiamäärän mukaan saaminen. Polttonesteiden energiatiheys on hyvin suuri (yksi litra sisältää noin yhden kilowattitunnin verran energiaa), jolloin paljon energiaa saadaan pakattua pieneen tilaan. Tarpeeksi suurella polttoainetankilla pystytään selviämään raskaissakin töissä koko työpäivä. Tämä siitä huolimatta, että polttomoottoreiden hyötysuhteet jäävät noin 40 prosenttiin. Energiaa kadotetaan kitkan sekä lämmöksi muuttumisen myötä. Akustoissa koko ja massa kasvavat tehontarpeen mukaan. Haasteeksi voi tulla myös akuston vaatima latausaika, joka vie osan työpäivästä (Pohjola 2022, 14 & 23). Nykyisillä akkuteknologian ratkaisuilla yli 200 kW:n täyssähköisen traktorin valmistaminen ei onnistu (Kuorikoski 2021). Nykyiset akkukäyttöiset ratkaisut painottuvat pienempiin tehoihin.

Sähköenergian käytön hyviin puoliin kuuluu mahdollisuus hyödyntää energiantalteenottoa, jossa muuten hukkaan menevä liike-energia muunnetaan sähköenergiaksi sekä varastoidaan myöhäisempää käyttöä varten. Osittain sähköisellä voimansiirrolla varustettujen työkoneiden (nk. hybridikoneet) polttoainekulutusta on keskimäärin saatu laskemaan 20-30 % (Mäkitalo 2018). Lisäksi sähköistymisasteen noustessa koneissa ei tarvita öljyä

moottoriin tai vaihteistoon (Pohjola 2022, 15). Toisaalta hydrauliiikan etuja on vaikea korvata sähköllä. Haasteina on myös sähkökäyttöisten koneiden polttomoottori-käyttöistä korkeampi investointikustannus sekä huollon haasteellisuus että paloturvallisuus. Litiumioniakustossa tapahtuvan rajun sähköpalon mahdollisuus on ainakin tunnistettava ja siihen on varauduttava.

Sähkökäyttöisten koneiden perusrakenne

Maatalouskoneissa voidaan soveltaa sähköautoista tuttuja ratkaisuja, joissa voimansiirto on kokonaan tai osittain toteutettu sähkötekniikan ratkaisuilla. Energiansaannin tapa vaikuttaa jonkin verran voimansiirron rakenteisiin. Sähköenergia voidaan ottaa joko akustosta tai suoralla verkkovirtasyötöllä. Akuston avulla toimintasäde on laajempi kuin verkkovirtaan perustuvalla ratkaisulla. Yksinkertaistettu perusrakenne rakentuu energialähteestä, invertteristä ja sähkömoottorista/generaattorista tai -moottoreista/generaattoreista (Mäkitalo 2018, Mäki 2022 & Pohjola 2022.).



Kuva 1. Sähköisten koneiden voimansiirron periaate.

Puhuttaessa täyssähköisestä maatalouskoneesta tarkoitetaan ratkaisua, jossa polttomoottorin tilalla on joko mahdollisimman suuri akusto, tai sähköenergia syötetään kaapelia pitkin. Hyvin yleisesti akut perustuvat litiumioniakkuihin. Mahdollisina akkutyyppeinä voi olla litium-rauta-fosfaattiakku (LiFePO₄) tai tulevaisuudessa nikkelimetallihybridiakku (Mäki 2022, 5-6; Pohjola 2022, 12). Akkuteknologia on voimakkaan kehitystyön alaisena, jossa etsitään uusia valmistukseen soveltuvia raaka-aineita, energiatihedden ja massan suhteen parantamista sekä

elinkaaren pidentämistä. Akusto on energiavarasto, johon sähköenergia on kemiallisesti varattuna. Akusto kykenee varastomaan energiaa pitkäaikaisesti sekä purkamaan varausta pitkäkestoisesti (Mäkitalo 2018, 7). Akusto ei kestä suuria jännitepiikkejä, eikä se pysty luovuttamaan suuria energiamääriä nopeasti.

Energiaa voidaan väliaikaisesti varastoida ns. kondensaattoriin, jolla on kyky varastoida nopeasti sekä purkaa nopeasti suuria sähkömääriä. Käytettäviä kondensaattoreita luokitellaan joko super- tai ultrakondensaattoreiksi. (Mäkitalo 2018, 10.) Kondensaattoreiden erona ovat varauskyky (kapasitanssi), energiatiheys (W/kg) sekä ominaisuuksien kestävyys lataus- ja purkusyklien toistuessa (Hulttinen 2019, 16). Nämä tekijät vaikuttavat osien kestävyteen, käyttöjännitteisiin sekä fyysiseen kokoon. Kondensaattorit ovat sähköturvallisuuden kannalta vaarallisia, sillä niissä voi säilyä hengenvaarallinen sähkölataus. Tämä tulee huomioida huolto- ja korjaustöissä.

Kannattaa huomata, että täyssähköisissä maatalouskoneissa on kaksi erillistä sähköjärjestelmää: perinteinen 12 V tai 24 V sähköjärjestelmä akkuineen pienemmille laitteille, kuten valoille. Varsinaiseen voimansiirtoon tarkoitettu akusto on omassa järjestelmässä. Voimansiirron osalta

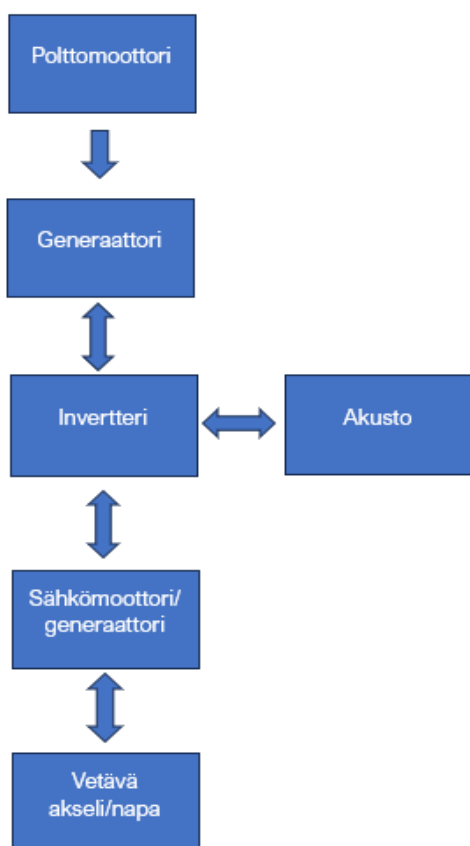
sähköjärjestelmän jännitetasot vaihtelevat paljon sisäisten muuntajien takia.

Sisäisistä muuntajista tärkein on invertteri, joka tunnetaan myös taajuusmuuntajana. Invertteri kykenee muuttamaan akustolta tulevan tasasähkön (DC) sähkömoottoria varten vaihtosähköksi (AC). Invertterin toimintaan vaikuttamalla voidaan säätää esim. vaihtosähkön taajuutta (Hz), jolloin sähkömoottori saadaan toimimaan nopeammin tai hitaammin. Samalla invertteri kykenee ohjauselektronikan avulla vaihtamaan sähkövirran suuntaa ja laatua toimintatilan muuttuessa (Mäkitalo 2018, 7; Pohjola 2022, 13).

Viimeisenä komponenttina järjestelmässä on sähkömoottori, joka muuntaa energiavarastosta tai -lähteestä saatavan sähköenergian liike-energiaksi. Sähkömoottorit ovat useimmiten nestejäähdytteisiä kestopagneettikoneita (Mäkitalo 2018, 7). Rakenteeltaan sähkömoottorit ovat kestäviä ja pitkäikäisiä. Sähkömoottorit voivat tilanteen mukaan toimia myös generaattoreina, jolloin ne keräävät esimerkiksi jarrutusenergiaa talteen. Tämän tyylisiä rakenteita esiintyy hybridivoimansiirroilla varustetuissa koneissa.

Hybridirakenteet voidaan jakaa kahteen pääratkaisuun: **sarja- ja rinnakkaishybridiin**. **Sarjahybridissä** voimansiirto

energiälähteineen on kytketty nimensä omaisesti sarjaan, jolloin käytetään vain yhtä voimalinjaa. Ratkaisuna voi olla tilanne, jossa polttomoottorilla pyöritetään generaattoria. Generaattorilta sähkövirtaa siirtyy taas invertterin kautta akustoon, josta ohjauselektroniikka syöttää virtaa sähkömoottori/generaattorille. Rakennusratkaisuissa ei välttämättä tarvita vaihteistoa, vaan sähkömoottorit voidaan sijoittaa vetoakselille tai suoraan pyörännapoihin (Mäkitalo 2018, 3; Mäki 2021 8–9.) Tällöin periaateratkaisussa hyödynnetään hydrostaattisen voimansiirron ajatusta, jossa sama toteutuu hydraulikalla.



Kuva 2. Sarjahybridin periaatekuva.

Rinnakkaishybridissä useampi energia-lähde kykenee toimimaan erikseen sekä yhdistämään tuotetun voiman samaan linjaan. Sähkömoottorin ja -generaattorin yhdistelmä toimii eri tilanteissa joko avustamalla polttomoottoria huipputehotilanteissa tai keräämällä jarrutusenergian sähkönä talteen. Akustoa voidaan myös ladata polttomoottorilla, kun työn tehovaatimus on alhainen. Rinnakkaishybridin suurin heikkous on polttomoottorin jatkuva yhteys kuormitukseen, jolloin ei aina pystytä hyödyntämään optimaalista kierrosaluetta. (Mäkitalo 2018, 4–6 & Mäki 2022, 13–14.)

Traktoreille hybridikonseptit ovat vasta kehitteillä, mutta erilaisten suunnitelmien mukaan rinnakkaishybridissä voisi olla mekaaninen vaihteisto ja voimanulosotto. Hydraulikkapumppua voitaisiin pyörittää erillisellä sähkömoottorilla. Lisäksi sarja- ja rinnakkaishybrideissä on mahdollista ottaa ulos sähkövirtaa. (Mäkitalo 2018, 4–6; Mäki 2022, 7–9 & Pohjola 2022, 13–14.)



Kuva 3. Rinnakkaishybridin periaatekuva.

Nykyiset sähkökäyttöiset koneet ja tulevaisuuden ratkaisuja

Traktoreiden sähköistymisen lisäksi myös traktoreilla käytettävät työkonet seuraavat sähköistymistä. Maatalouskonevalmistajista koostuva Agricultural Industry Electronics Foundation (AEF) onkin jo standardoinut traktorin ja työkonen välille tulevaa korkeajänniteliitäntää. Liitäntä toimii joko 700 V tasavirralla tai 480 V vaihtovirralla ja kykenee välittämään 150 kW maksimitohon (AEF i.a.).

Esimerkiksi John Deere on kehittänyt portaattoman vaihteiston, tuotenimeltään eAutoPowr, jossa hydrauliset osat on korvattu sähköisillä (John Deere 2022). Vaihteiston lisäksi sähköä on käytettävissä

edellä mainittuun standardiliitäntään.

John Deere on tehnyt yhteistyötä Joskinin kanssa, jonka lietevaunuun on asennettu sähkökäyttöiset moottorit perävaunun vetoa varten. Se, että perävaunun pyörien veto on toteutettu sähköisesti, on mahdollistanut luiston vähentämisen. Sähkökäyttöisen moottorin tarkka säätö tekee tämän mahdolliseksi.

Hybridivoimansiirrollisia koneita on ilmestynyt John Deeren lisäksi muitakin, esimerkiksi Steyr CVT (Pentti 2023), jossa etupyörien veto on toteutettu sähköisesti. Täyssähköisten koneiden kehitys on ymmärrettävästi lähtenyt liikkeelle kevyistä koneista. Esimerkiksi pienkuormaajia on saatavilla monilta merkeiltä akkukäyttöisinä. Pienkuormaajille voi usein löytyä päivittäisiä käyttökohteita, joissa tasapainottelu ajoajan ja latausajan välillä saadaan onnistumaan. Kun käyttökohde on pellolla, törmätään nykyisellä teknologialla akkujen suhteen usein lisäpainon aiheuttamiin haasteisiin. Pickelin (2019) mukaan 50 kW teholuokan traktorissa, jossa akkukapasiteettia olisi 100 kWh, akku painaisi 600 kg ja vastaavasti 290 kW teholuokan traktorissa, jossa akkukapasiteettia olisi 1740 kWh, jo pelkästään akku painaisi 12 tonnia. Tämän vuoksi esimerkiksi Fendtillä on täyssähköinen traktorimalli Fendt e100 V Vario, jonka teholuokka on juurikin 50 kW ja se on

suunniteltu erityisesti viinitarhoille (AGCO i.a.), mutta suuremmat teholuokat kuitenkin vielä odottavat markkinoille saapumistaan ja luottavat todennäköisesti akkuteknologian kehitykseen. Aiemmin mainittua virran syöttämistä verkosta on kokeiltu myös pelto-olosuhteissa (Pickel 2019). Vertailukohtia johdon vetämiseen

traktorin perässä löytyy esimerkiksi kairosteollisuudesta ja lietteen vetoletkulevitysmenetelmistä. Näissäkin huomataan, että mikäli infrastruktuuri on sopiva, voidaan välttää suuren lisämäärän mukana kuljettaminen. Sama asia pätee myös sähköön.

Lähteet:

- AEF – Agricultural Industry Electronics Foundation e.V. (i.a.). *Electrification of agricultural machinery*. https://www.aef-online.org/fileadmin/user_upload/Content/pdfs/AEF_HV_EN.pdf
- AGCO (i.a.). *Fendt e100 Vario: The future of agriculture at Agritechnica*. Haettu 22.4.2024. <https://www.fendt.com/int/agricultural-machinery/tractors/fendt-e100-v-vario>
- Kuorikoski, J. (2021). Sähkötraktori tulee hitaasti, mutta suhteellisen varmasti. Ilkka-Pohjalainen 23.8.2021. <https://pointti.fi/teema/sahkotraktori-tulee-hitaasti-mutta-suhteellisen-varmasti/>
- Luonnonvarakeskus. (2021). Maa- ja puutarhatalouden energiankulutus (GWh). Valitut muuttujat: vuosi, energialähde ja tieto. https://statdb.luke.fi/PxWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE_02%20Maatalous_02%20Rakenne_08%20Maa-%20ja%20puutarhatalouden%20energiankulutus/01_Maa_ja_puutarhatal_energiankulutus.px/table/tableViewLayout1/?loadedQueryId=73a3c987-9220-4e0a-b18e-1d46b2d4db28&timeType=from&timeValue=2010
- Hulttinen, V. (2019). *Superkondensaattorit*. [AMK-opinnäytetyö, Tampereen ammattikorkeakoulu]. Theseus. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2019060113974>
- Mäki, O. (2022). *Maataloustraktorien sähköistäminen*. [Kandidaatintyö, Tampereen Yliopisto]. Trepo. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:tuni-202205054429>
- Mäkitalo, J-M. (2018). *Työkoneiden hybridiratkaisut*. [Kandidaatintyö, Tampereen Yliopisto]. Trepo. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:ty-201805081615>
- Pentti, S. (2023). *Steyr Hybrid CVT esitteli traktoreiden taloudellisen hybridikonseptin – dieselmoottori tuottaa perusvoiman, mutta eturenkaat toimivat sähköllä*. <https://www.koneviesti.fi/maatalous/1dbd140b-e0ee-4064-8bd2-57db3db2c63d>
- Pickel, P. (2019). *Electricity for tractors and tractor-implement systems*. https://www.clubofbologna.org/ew/ew_proceedings/2019_KNR_S2.1_Pickel_original.pdf
- Pohjola, A. (2022). *Täyssähköisten traktoreiden kannattavuus maataloudessa*. [AMK-opinnäytetyö, Savonia Ammattikorkeakoulu]. Theseus. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202205169480>