

Traktori-noukinvaunuyhdistelmän integroitu automaatio säilörehun täsmäkorjuussa

Antti Suokannas¹, Antti Kunnas², Matts Nysand¹, Raimo Linkolehto¹, Liisa Pesonen¹ ja Juha Backman²

¹ MTT Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, Kasvintuotannon tutkimus, Vakolantie 55, 03400 Vihti, antti.suokannas@mtt.fi

² Aalto Yliopisto, Sähkötekniikan korkeakoulu, Automaatio ja systeemitekniikan laitos, Otaniementie 17, 00076 Espoo, antti.kunnas@aalto.fi

Tiivistelmä

Maatalouskoneteollisuus on pyrkinyt parantamaan tuotteidensa toimintoja ja ominaisuuksia tutkimalla ihminen-kone-rajapintaa. Sopeutuva säätö ja automaatio ovat keinoja, jotka lisäävät maatalouskoneiden kilpailukykyä. Automaattisten toimintojen käytettävyyden parantaminen on yhä merkittävämpi myyntiargumentti Euroopassa. Esimerkiksi rehunkorjuu noukinvaunulla vaatii kuljettajalta useiden asioiden lähes yhtäaikaista havainnointia ja säätöjen tarkennusta. Agromassi-hankkeessa yhtenä työpaketin osiona on säilörehun korjuun optimointi. Siinä tavoitteena oli säilöntäaineen annostelun ja ajonopeuden optimointi. Optimaalinen annostelu luo edellytykset parempilaatuiseen säilörehuun, ja ajonopeuden optimointi estää noukinvaunun ali- ja ylikuormittumisen ja samalla se aikaansaa lyhyemmän ja tasamittaisemman silpun. Viime mainittu helpottaa rehun tasaamista, talleamista ja tiivistymistä siilossa ja siten parempia säilöntäedellytyksiä. Lisäksi paikkatiedon käyttö mahdollistaa satokartan teon korjuulohkolta.

Vuosina 2009 – 2012 tutkittiin älykästä mittaus- ja säätöjärjestelmää, joka oli instrumentoitu traktori-noukinvaunuyhdistelmään. ISO11783 (ISOBUS) standardi traktorin ja työkoneen väliseen kommunikointiin (säätö, ohjaus ja tiedonsiirto) tarjoaa yleisen alustan uusien säätösystemien soveltamiseen ja omaksumiseen. Testitraktorissa on class 3 TECU (Tractor electronic control unit), joka käsittää peruskäskyjen kuten esimerkiksi VOAn ja ulkopuolisen hydraulikan hallinnan lisäksi ajonopeuden säädön. Vuonna 2009 selvitettiin osajärjestelmien soveltuvuutta karhon poikkipinta-alan ja rehun kosteuden mittaamiseen. Karhon poikkipinta-alan mittaamisessa päädyttiin traktorin eteen asennettavaan laser-skanneriin, joka mittaa 90-asteen kulmassa karhon pinnan profiilia. Kosteuden mittaamiseen selvitettiin kirjallisuuden perusteella eri vaihtoehtoja ja päädyttiin NIR-sensoriin (near-infrared photometric analyzer), joka asennettiin noukinvaunun etusermin alaosaan. Rehun kokonaisuudessa vaunussa mitattiin kolmella painesensorilla ja pohjakuljettimen liikettä pulssianturilla. Vaunun sivuun asennettiin kahdella kalvopumpulla varustettu hapotinlaite, johon ECU (Electronic control unit) suunnitteli ja teki Aalto yliopiston tutkijat. Vaunun analogiset mittausviestit muutettiin digitaaliseen muotoon väylälle Axiomatic CAN -controllerilla. Noukinvaunun ECU emolevyyn liitettiin NIR-sensori sarjaportin kautta. Traktorin ohjaamossa oli noukinvaunulla ja hapottimella omat käyttöliittymät, joissa oli valittavissa joko manuaali- tai automaattimoodi. Dataa kerättiin tarkoitukseen räätälöidyllä mittausohjelmalla.

Noukinvaunun ECU estimoit rehun massavirran Kalman-suodinta käyttäen. Suodin estimoit massavirran kolmen mittauksen perusteella: 1) karhon tilavuusvirta laskettuna laserskannerilta, 2) rehun kokonaisuudessa painesensoreilta ja 3) karhon tiheys, joka lasketaan NIR-sensorin mittauksesta. Traktorin ajonopeutta säädetään sumealla säätimellä, joka laskee sopivan nopeuden perustuen traktorin tilaan (nopeus ja kierrosluku), estimoituun massavirtaan sekä karhon pinta-alan muutokseen. Säilöntäaine levitetään rehun estimoituun massavirtaan perustuen käyttäen PID-säädintä, joka virtausmittarin avulla säätää virtauksen oikeaksi. Adaptiivinen säätöjärjestelmä on osoittanut, että se pystyy vastaamaan sille hankkeessa asetettuihin tavoitteisiin. Vaikka käyttöliittymä (terminaali ohjaamossa) on toimiva ja havainnollinen, sitä varmasti voi kehittää edelleen.

Osa tästä tutkimuksesta on tehty Agromassi-hankkeessa, joka on osa FIMECCin EFFIMA-ohjelmaa.

Asiasanat: ISOBUS, täsmäviljely, rehunkorjuu, automaatio, sumea logiikka, äly

Johdanto

Rehunkorjuukoneiden koko ja tehokkuus ovat kasvaneet huomattavasti viimeisen vuosikymmenen aikana. Koneiden toimintaperiaatteet ovat pitkälti säilyneet samana, mutta niissä käytetty tekniikka on kehittynyt. Mittausta, säätöä ja automaatiota on tullut lisää helpottamaan työtä ja tehostamaan koneen käyttöä. Koneen käyttö voi tulla yhä monimutkaisemmaksi ja jotta kuljettajan työ psyykkisesti helpotuisi, käytettävyyden merkitys kasvaa. Yksittäisen koneen tai koneyhdistelmän aiempaa parempi käytettävyyden on yhä tärkeämpi myyntiargumentti. Esimerkiksi traktorin ja noukinvaunun käyttö rehunkorjuussa vaatii kuljettajalta jatkuvaa havaintojen tekemistä ja osittain samanaikaisesti tehtäviä muutoksia säätöihin. Uudet isot traktorit ja osa uusista työkoneista hyödyntää ISOBUS-väylätekniikkaa. ISO11783 (ISOBUS) standardi traktorin ja maatalouskoneen välillä tarjoaa yleisen alustan uusien säätöjärjestelmien toteuttamiseen ja niiden lisääntyvään omaksumiseen.

Noukinvaunujen koko ja kapasiteetti ovat kasvaneet ja niistä on tullut aiempaa nopeampia ja tehokkaampia korjuukoneita. Noukivaunussa rehun massavirran pitää olla optimaalinen, jotta työjälki ja korjuuteho ovat hyviä. Vaunun sullojakoneiston alikuormittaminen lisää huomattavasti silpun keskipituutta ja luonnollisesti hidastaa korjuuta. Silpun pituus voi vaikuttaa rehun laatuun ja ruokintalaitteiden toimivuuteen (Suokannas ja Nysand 2008). Liian suuri rehun massavirta aiheuttaa sullojakoneiston ylikuormittumisen ja tukkeutumisen. Pahan tukkeuman purkamiseen voi kulua jopa puoli tuntia työaika. Säilöntäaineen oikean käyttömäärän seuranta vaatii aina jatkuvaa valvontaa kuljettajalta. Tämä artikkeli esittelee traktori-noukinvaunuyhdistelmään optimoidun säilörehun korjuuprosessiratkaisun, jossa on kehitetty älykäs ajonopeuden ja säilöntäaineen annostelun säätö.

Aineisto ja menetelmät

Tutkimusalustana oli Valtra T132 traktori (kehitysversio) varustettuna portaattomalla voimansiirrolla, ISO11783 luokan 3 TECU:lla ja Krone ZX 45-GL noukinvaunu varustettuna hydraulisella jousituksella. Noukinvaunuun rakennettiin CAN-väylä. Traktorin eteen sijoitetulla laserskannerilla mitattiin karhon poikkileikkauksalaa ja rehun kosteutta vaunun etusermiin asennetulla NIR (near infrared) sensorilla. Rehun kokonaisuudessa vaunussa mitattiin kolmella painelähettimellä, joista kaksi (160 bar) asennettiin taka-akseleiden hydraulipiiriin ja yksi vaunun etusylintereiden (250 bar) hydraulikkaan. Noukkimen asemaa mitattiin sensorilla, noukin työasennossa tai noukin ylhäällä. Pohjakuljettimen liikettä seurattiin hydraulimoottorin akselin päähän asennetun pulssianturin avulla. Säilöntäainepumpun yhteyteen oli rakennettu ECU ja PID-säädin. Säilöntäaine levitettiin neljän suuttimen kautta, jotka oli asennettu puomiin noukkimen yläpuolelle. Noukinvaunun ECU estimoit rehun massavirtaa käyttäen Kalman-suodinta (extended Kalman-filter) perustuen kolmeen syötteeseen: karhon tilavuusvirta, korjatun rehun kokonaisuudessa ja rehun tiheys karhossa. Mittausdata siirtyi vaunusta CAN-väylällä Labview-ohjelmalla tehtyyn tiedonkeruuseen. Mittaustaajuus oli 10 Hz.

Rehun punnitusjärjestelmä kalibroitiin 1000:sta 8000 kiloon alueella käyttäen betonipainoja, ja NIR kalibroitiin 15 – 50 % KA-alueella uunikuivatuilla referenssinäytteillä.

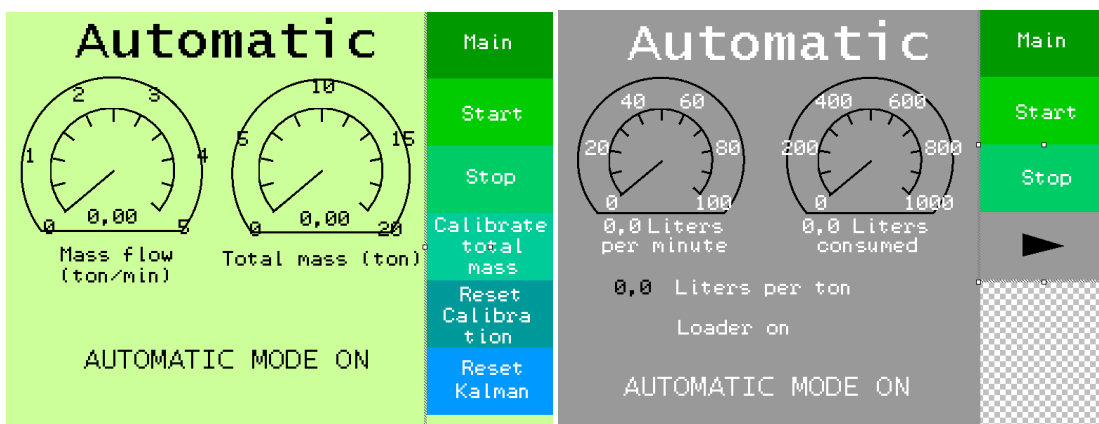
Korjuukokeissa käytössämme oli pääasiassa kaksi lohkoa: tasainen 5 ha toisen sadon timoteinurminata kasvusto ja 2 ha toisen niiton puna-apilakasvusto. Kasvusto niitettiin 3,2 m leveällä niittomurskaimella ja 3 – 24 tunnin esikuivauksen jälkeen niittokarhot yhdistettiin karhottimella 9 – 12 m leveydeltä. Rehukarhoista pyrittiin tekemään isoja eli käytäntöä vastaavia.



Kuva 1. Sensoreiden sijainti traktorissa ja noukinvaunussa. Oikeassa yläkulmassa on säätöjärjestelmien hallintapääte eli virtuaaliterminaali.

Ajonopeutta ja säilöntäaineen annostelua voi säätää traktorin ohjaamossa olevalla hallintapäätteellä. Hallintapäätteessä (Kuva 2.) oli omat päävalikot ajonopeuden säätöön ja säilöntäaineen annosteluun, joissa kummassakin oli valittavissa käsisäätö- tai automaattitoiminto. Molemmissa oli nollaus ja konfigurointivalikko ja lisäksi ajonopeuden säätövalikossa oli oma painikkeensa Kalman-suotimen resetointiin. Vaunun hydraulisten toimintojen ohjaus tehtiin Kronen omalla hallintapäätteellä.

Säätöjärjestelmää testattiin simuloimalla sitä ennen varsinaisia pellolla tehtyjä korjuukokeita. Korjuukokeissa punnittiin kaikki täydet kuormat ja välillä tehtiin välipunnituksia yksittäisen karhon korjuun jälkeen, myös säilöntäaineastia punnittiin ennen testiajtoa ja testiajon jälkeen. Osasta kuormia otettiin myös rehunäyte, josta määritettiin rehun kuiva-ainepitoisuus.

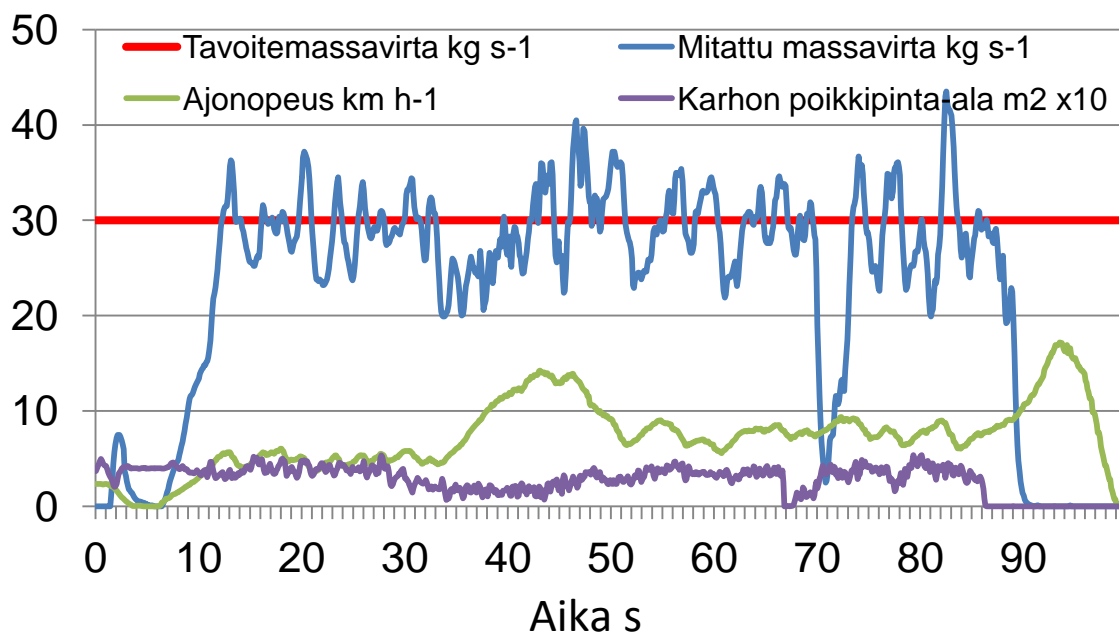


Kuva 2. Nopeussäädön ja säilöntäaineen annostelun käyttöliittymä traktorin ohjaamossa.

Tulokset ja tulosten tarkastelu

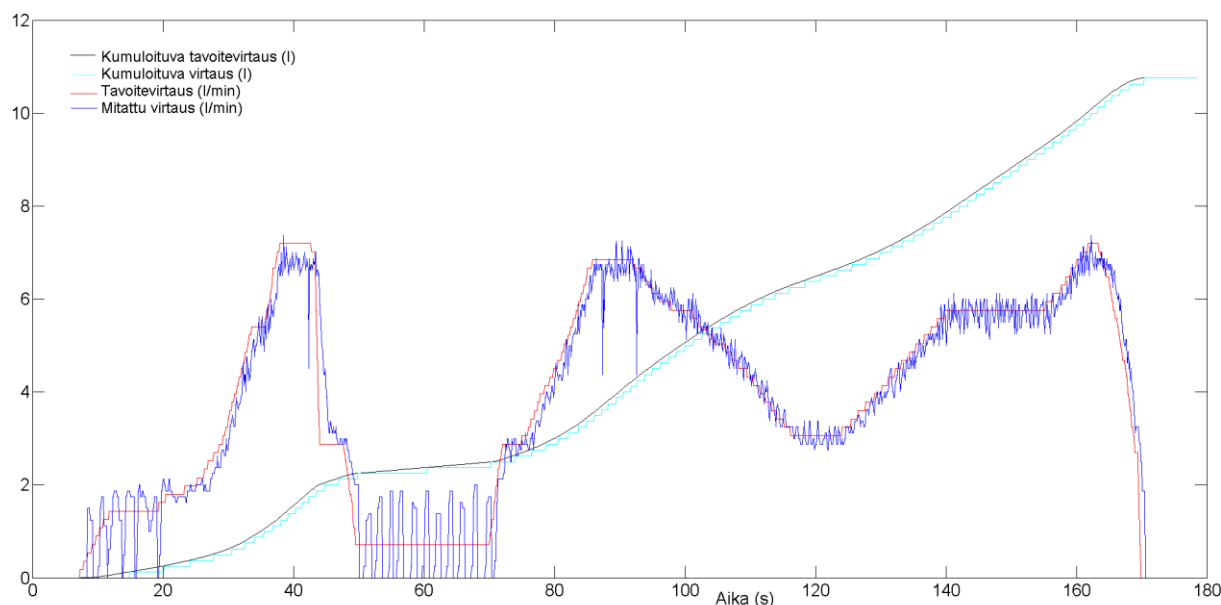
Kun karhon koko pienenee, ajonopeus kasvaa ja 30 kg/s tavoitemassavirta (punainen viiva) saavutetaan (Kuva 2.); mitatun massavirran (sininen viiva) keskiarvo on 29,1 kg/s ja keskihajonta 4,15 kg/s. Säättösystemi pyrkii pitämään rehun massavirran vakiona, jotta noukinvaunun syöttökoneisto ei ylikuormitu eikä siten tukkeudu. Vaunun syöttökoneiston optimaalisen kuormituksen säätöarvo (tavoitemassavirta) on saatu osittain Suokannaksen ja Nysandin (2008) tutkimuksesta, jossa selvitettiin noukinvaunun tehontarvetta ja muita ominaisuuksia ja osittain ennen testiajoja tehdyistä havainnoista. Samassa tutkimuksessa tuli ilmi, että liian alhainen massavirta lisää silpun keskipituutta ja pituuden vaihtelua. Edellä mainittu voi aiheuttaa ongelmia rehun tiivistymisessä ja siten rehun laadussa sekä automaattisten ruokintalaitteiden toiminnassa.

NIR-sensorin kuiva-ainelukemat vaihtelivat -6,17 ja 5,49 prosenttiyksikön välillä verrattuna uunikuvattuihin näytteisiin. Thurnerin *et al* (2011) tutkimuksessa absoluuttinen kuiva-ainepitoisuuden vaihtelu ajosilppurissa merkki A (NIR-sensori) oli -0,97 ja -6,81 % ja ajosilppurissa merkki B (sähköjohtavuus ja rehun lämpötila) +0,46 ja -6,57 %, kun niitä verrattiin referenssarvoihin.



Kuva 3. Kuvassa yhden karhon mittausdata, kun käytössä on ollut automaattinen ajonopeuden säätö. Kuvan karhon poikkipinta-alan kuvaajan mittausarvot on kerrottu kymmenellä, jotta se erottuisi vaaka-akselilta.

Rehumassan mittaus noukinvaunussa painelähtimillä oli ongelmallinen johtuen ajossa vaunuun ja sen sylintereihin kohdistuvista hitaus- ja kiihtyvyysovoimista sekä hydraulisyntereiden kitkavoimista. Mittauksissa NIR-sensorin vertailunäytteiden edustavuutta niin laboratorioissa kuin vaunun etusermin rehuvirrassa voi pohtia johtuen sensorin mittaustavasta eli rehun pinnasta heijastuvasta säteilystä. Vertailunäytteen olisi pitänyt olla vain hyvin ohut kerros rehua ympyrän mallisesta mittausalasta.



Kuva 4. Säilöntäaineen annostelun tavoite- (punainen viiva) ja mitattu virtaus (tummansininen viiva).

Säilöntäaineen annostelu toimii tarkasti asetetun tavoitevirtauksen mukaan (Kuva 3.) PID-säädin sää-
tää annostelua rehun estimoituun massavirtaan perustuen.

Implementoitu älykäs säätöjärjestelmä optimoi noukinvaunun kuormittumista ja täten vähentää häiriöiden esiintymistä ja siten parantaa rehunkorjuun työturvallisuutta. Yhdessä automatisoidun säi-
löntäaineen annostelun kanssa kuljettajan työ helpottuu ja säilöntäaineen annostelu tarkentuu. Säilön-
täainetta voi säästyä noin 30 – 40 %, joka merkitsee vastaavaa rahallista säästöä säilöntäainemenoina.
Paikkatieto ja sadon määrän mittaus mahdollistaa paikkakohtaisen lannoitesuunnitelman teon ja toteu-
tuksen. Mittausjärjestelmän kuiva-ainepitoisuus yhdessä satotiedon kanssa mahdollistaa tarkan koko-
naiskuiva-ainesadon laskennan ja paremmat lähtötiedot ruokinnan suunnitteluun.

Johtopäätökset

Nurmirehun korjuukoneissa on massavirran mittaukseen ja eri toimilaitteiden säätöön useita ratkaisuja, mutta vastaavaa tässä artikkelissa esiteltyä älykästä adaptiivista säätöjärjestelmää, jossa yhdistyy massavirran estimointi sumeaa logiikkaa käyttävään portaattomaan ajonopeuden säätöön ja tarkkaan säilöntäaineen annosteluun, ei ole aikaisemmin toteutettu. Nopeussäädin pystyi pitämään rehun mas-
savirran tavoitearvon mukaisena ja säilöntäaineen säädin annosteli säilöntäaineen tarkasti.

Kiitokset

Osa tästä tutkimuksesta on tehty Agromassi-hankkeessa, joka on osa FIMECCin EFFIMA-ohjelmaa.

Kirjallisuus

Suokannas, A. & Nysand, M. 2008. Loader wagon compared to metered chopper for forage harvest. In: Edited by A. Hopkins et al. Biodiversity and animal feed : future challenges for grassland production : proceedings of the 22nd general meeting of the European Grassland federation, Uppsala, Sweden 9-12 June 2008. Grassland Science in Europe 13: p. 648-650.

Turner, S., Fröhner, A., Köhler, B. & Demmel, M. 2011. Online measurement of yield and dry matter of wilted grass with two forage harvesters – comparison with and verification of reference measurements. In: Edited by J. V. Stafford, Precision agriculture 2011: the 8th European Conference on Precision Agriculture, Prague, Czech Republic 11-14 July 2011: p. 628-637.