

Energiatehokas maatila

Case Välitalon tila

Lea Taina

Opinnäytetyö

Huhtikuu 2021

Luonnonvara- ja ympäristöala

Agrologi (AMK), maaseutuelinkeinojen tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Taina, Lea	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Huhtikuu 2021
	Sivumäärä 48	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Energiatehokas maatila Case -Välitalon tila		
Tutkinto-ohjelma Maaseutuelinkeinojen tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Jyrki Kataja		
Toimeksiantaja(t) Lea Taina		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Ilmastonmuutoksen hillitseminen ja kannattavampi, tehokkaampi toiminta ovat suomalaisen jo puhtaaksi ja turvalliseksi todetun ruuantuotannon seuraavia kehitysaskelia. Uusiutuvien luonnonvarojen käytön lisäämisen myötä maatalousyrittäjät voivat laajentaa tuotantopohjaansa. Pelkän lihan tai maidontuotannon lisäksi maatalousyrittäjä voi olla myös energiantuottaja. Maatilan energiaomavaraisuus voidaan saavuttaa biokaasulaitoksen avulla, kun jo suunnittelu vaiheessa se mitoitettiin oikein ja kokonaisenergiankäyttöä pilkottiin sähkö-, lämpö- ja polttoaine-energiaan. Liikennepolttoaineiden ja sähköenergian kulutustiedot kerättiin case-tilalta kirjanpidosta todelliseen kulutukseen perustuen, mutta lämpöenergia jouduttiin arvioimaan. Tämän jälkeen lähdettiin etsimään eri energiamuotojen säästö mahdollisuuksia. Appeenteko itsekulkevalla ja -kuormaavalla seosrehuvaunulla toi liikennepolttoaineiden energiaan säästöä 54 MWh/v.</p> <p>Suomessa tulisikin tehdä tulevaisuudessa energiasuunnitelmia maataloille huomattavasti enemmän. Näin saataisiin vertailevaa tietoa energiankulutuksista ja sitä kautta pystyttäisiin tehokkaammin tarttumaan energiaa hukkaaviin toimintoihin. Tunnuslukuista vertailukelpoisimpia ovat kokonaisenergiankulutus/lypsylehmä ja kokonaisenergiankulutus/tuotettu maitokilogramma, jotka case-tilalla oli lähtötilanteessa 2896 kWh/lypsylehmä ja 0,35 kWh/tuotettu maitokilogramma ja energiankäytön tehostamisen jälkeen 2628 kWh/lypsylehmä ja 0,31 kWh/tuotettu maitokilogramma. Maatilat ovat hyvin erilaisia toiminnoiltaan sekä sijainniltaan ja tämä tekeekin haasteelliseksi vertailun. Euromääräisiä tunnuslukuja ei pitäisi käyttää, koska ne tekevät vertailutiedoista nopeasti vanhenevia ja vaihtelevat riippuen kunkin maatilan maksamasta energiasta.</p>		
<p>Avainsanat (asiasanat)</p> <p>energiatehokkuus, energiankäyttö, energiaomavaraisuus,</p>		
<p>Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)</p>		

Author(s) Taina, Lea	Type of publication Bachelor's thesis	Date April 2021 Language of publication:
	Number of pages 48	Permission for web publication: x
Title of publication Energy efficient farm Case-farm Välitalo		
Degree programme Bachelor of Natural Resources, Agricultural and Rural Industries		
Supervisor(s) Kataja, Jyrki		
Assigned by Taina, Lea		
<p>Abstract</p> <p>Mitigating climate change and more profitable, more efficient operations are the next steps in the development of Finnish food production, which has already been found to be clean and safe. By increasing the use of renewable resources, farmers can expand their production base. In addition to meat or milk production alone, an agricultural entrepreneur can also be an energy producer. When energy self-sufficiency is achieved on a farm, farmer can focus with peace of mind on the developing new technologies and practices.</p> <p>In Finland, considerably more energy plans should be made for farms in the future. This would provide comparative information on energy consumption and thus be able to tackle energy-wasting activities more effectively. The cost of energy use is often calculated but comparable indicators from different farms are not calculated. The most comparable indicators are total energy consumption / dairy cow and total energy consumption / kilogram of milk produced, which in the case were 2896 kWh / dairy cow before energy efficiency and 0.35 kWh / kilogram of milk produced and 2628 kWh / dairy cow and 0.331 kWh / dairy cow after energy efficiency. Comparing the energy use of farms is challenged by the different ways in which farms operate and their different locations. Currency-based indicators should not be used as they make comparative data rapidly obsolete as the value of the currency changes and vary depending on the energy price paid by each farm.</p> <p>When studying a farm's energy consumption and comparing it with similar farms, there is often a need to improve energy efficiency and thus develop and change operations to be more efficient and often also more climate friendly.</p> <p>With the biogas plant, the case farm was found to have the potential to become self-sufficient in energy.</p>		
Keywords/tags (subjects) energy efficient, total energy consumption, energy indicators, farm's energy consumption		
Miscellaneous (Confidential information)		

Sisältö

1	Johdanto	4
1.1	Case-maatila	4
1.2	Aiheen merkitys työelämän kehittämisen kannalta	5
2	Tutkimusasetelma ja tavoitteet	6
2.1	Case maatilan esittely	6
2.2	Tutkimuskysymykset	9
2.3	Opinnäytetyön rajaus ja rajauksen perustelu	9
3	Tietoperusta	11
3.1	Keskeisten käsitteiden määrittely	11
3.2	Tietoperusta	12
3.3	Maatalouden rooli ilmastonmuutoksessa.....	14
4	Menetelmät ja aineisto.....	16
4.1	Kokonaisenergiankulutus	16
4.2	Sähköenergia	21
4.3	Liikennepolttoaineilla tuotettu energia	22
4.4	Lämpöenergia	27
5	Energiankäytön tehostamistoimenpiteitä	28
5.1	Lämpöenergian käytön tehostamisen mahdollisuuksia.....	29
5.2	Sähköenergian käytön tehostamisen mahdollisuuksia	29
5.3	Liikennepolttoaineen käytön vähentämisen mahdollisuuksia.....	30
5.4	Kokonaisenergiankulutuksen muutos	33
6	Case-tilan energiaomavaraisuus.....	34
7	Työn luotettavuus ja loppupohdinta	37
7.1	Tulosten hyödynnettävyys	40

Lähteet	42
----------------------	-----------

Kuviot

Kuvio 1. Välitalan peltojen sijainti kartalla (Maanmittalaitos 2021).....	7
Kuvio 2. Välitalon maatilán kokonaisenergiankulutus MWh/v.....	17
Kuvio 3. Välitalon tilán viiden vuoden keskiarvon mukainen kokonaisenergiankulutuksen jakautuminen %.....	18
Kuvio 4. Välitalon maatilán kokonaisenergiankulutuksen jakautuminen %.....	19
Kuvio 5. Välitalon kokonaisenergiankulutus sisältäen pelkán maatalouden liikennepolttoaineen kulutuksen MWh/v.....	19
Kuvio 6. Välitalon maatilán vuosittainen kokonaisenergian käyttö maatalouteen kWh/v.....	20
Kuvio 7. Välitalon tilán sähköenergiankulutus vuosittain MWh/v.....	22
Kuvio 8. Välitalon maatilán sähköenergian jakautuminen vuosittain kuukausitasolla kWh/kk.....	22
Kuvio 9. Vuosittaiset liikennepolttoaineostot Välitalon maatilalle kWh/v.....	23
Kuvio 10. Liikennepolttoaineostot luokiteltuina kesään ja talveen Välitalon maatilalla l/vuodenaika/v.....	24
Kuvio 11. Maatalouden liikennepolttoaineen kulutus case-tilalla kWh/v.....	26
Kuvio 12. Case-tilán uusi itsekulkeva- ja lastaava seosrehuvaunu.....	30
Kuvio 13. Case-tilán vankkuriperäkärryn ja lannoitteenlevittimen yhteiskuljetus.....	32
Kuvio 14. Case-tilán kokonaisenergiankulutuksen jakaantuminen uudistusten jälkeen %.....	34

Taulukot

Taulukko 1. Rakennukset tilakeskuksessa.....	8
Taulukko 2. Eri tutkimusten mukaan maatilojen energiankulutus, MJ, tuotettua maitokilogrammaa kohten, MJ/maitokg (Frorip & kump. 2012, 46).....	14
Taulukko 3. Välitalon vuosittaiset energiankulutukset jaoteltuina eri energiamuotoihin kWh/v.....	20

Taulukko 4. Välitalon energiankulutuksen keskiarvot 2015-19 kWh/v.	21
Taulukko 5. Case-tilan urakoinnissa käytetty liikennepolttoaineiden energia keskimäärin l/v.	24
Taulukko 6. Investointeihin käytetty liikennepolttoaine case-tilalla vuonna 2015 l/v.	25
Taulukko 7. Investointeihin käytetty liikennepolttoaine case-tilalla vuonna 2016 l/v.	25
Taulukko 8. Investointeihin käytetty liikennepolttoaine case-tilalla vuonna 2017 l/v.	25
Taulukko 9. Investointeihin käytetty liikennepolttoaine case-tilalla vuonna 2018 l/v.	26
Taulukko 10. Investointeihin käytetty liikennepolttoaine case-tilalla vuonna 2019 l/v.	26
Taulukko 11. Case-tilan biokaasulaitoksen lämmitysenergian kulutus laskennallisesti MWh/v.	27
Taulukko 12. Case-tilan biokaasulaitoksen reaktorin teoreettinen CH ₄ -tuotanto/v MWh/v.	28
Taulukko 13. Case-tilan koko biokaasulaitoksen energiantuotto MWh/v.....	28
Taulukko 14. Appeenteko traktorivetoiseen apevaunuun case-tilalla kWh/v.	31
Taulukko 15. Itsekulkevalla apevaunulla appeenteon energiankulutus kWh/v.	31
Taulukko 16. Kahden työkoneen siirto samalla traktorilla kWh/v.....	33
Taulukko 17. Case-tilan kokonaisenergiankulutuksen muutos uudistusten jälkeen kWh/v.	33
Taulukko 18. Case-tilan biokaasulaitoksen energiantuotantopotentiali MWh/v.....	36
Taulukko 19. Biokaasun puhdistamiseen käytetty sähköenergia MWh/v.....	36
Taulukko 20. Case-tilan maatalouden liikennepolttoaineiden energian tarve kWh/v.	37
Taulukko 21. Case-tilan kokonaisenergiankulutus omavaraisuudessa kWh/v.	37
Taulukko 22. Energiatehokkuuden tunnuslukuja eri tutkimuksista.	40

1 Johdanto

Maatiloilla käytetään energiaa keskimäärin 150 000 kWh/v, josta 33 % on liikenne- polttoaineilla tuotettua energiaa, 25 % sähköenergiaa ja loput n. 45 % lämpöenergiaa (ProAgria, 2014). Opinnäytetyön case-maatila on hieman keskimääräistä suurempi, joten energiankokonaiskulutus on hieman suurempi, mutta eri energioiden jakaantumisista voidaan pitää tavoiteltavana. Jokaisen yksittäisen henkilön sekä yrityksen, myös maatilayrityksen, tulisikin tutkailla energiankulutustaan ja käyttöään etenkin tänä aikana, jolloin ilmastonmuutoksen jarruttamiseksi tarvitaan muutoksia energiankäytössä. Energian tehokas käyttäminen parantaa myös taloudellista tulosta sekä auttaa kehittämään omia käytäntöjä.

Suomessa tulisi tehdä tulevaisuudessa energiasuunnitelmia maatiloille huomattavasti enemmän. Näin saataisiin vertailevaa tietoa energiankulutuksista ja sitä kautta pystyttäisiin tehokkaammin tarttumaan energiaa hukkaaviin toimintoihin. Usein laskeaan kustannuksia energiankäytöstä muttei lasketa vertailukelpoisia tunnuslukuja eri maatiloilta. Maatilat ovat hyvin erilaisia toiminnoiltaan sekä sijainniltaan ja tämä tekee haasteelliseksi vertailun. Euromääräisiä tunnuslukuja ei pitäisi käyttää, koska ne tekevät vertailutiedoista nopeasti vanhenevia ja vaihtelevat riippuen kunkin maatilalan maksamasta energiasta. Tutkittaessa maatilalan energiankulutusta ja verratessa sitä vastaaviin tiloihin löytyy usein energiankäytön tehostamiseen tarve ja näin päästään kehittämään ja muuttamaan toimintoja tehokkaammiksi ja usein myös ilmastoja säästäväksi.

1.1 Case-maatila

Tämä opinnäytetyö on case-tutkimus Välitalon tilan energian käytöstä ja tässä työssä selvitetään mihin energiaa kuluu ja minkä verran. Sen jälkeen pyritään löytämään Välitalon maatilalle energiaa säästäviä järjestelmiä hyväksi käyttäen jo olemassa olevia rakenteita. Työssä pyritään löytämään uusia, tehokkaampia käytänteitä maatilalan toimien suorittamiseen mahdollisimman energiatehokkaasti ja fossiilisten polttoaineiden kulutusta vähentäen. Tilalla ei ole biokaasulaitoksen rakentamisen jälkeen tarkkaan laskettu mihin energiaa kuluu ja minkä verran, joten ensin selvitetään tämänhetkinen

tilanne ja kuinka se on kehittynyt viimeisen viiden vuoden aikana. Isännän päätavoitteena on vähentää fossiilisen polttoaineen käyttöä ja etsiä erilaisia keinoja tavoitteen saavuttamiseksi. Maatilan kokonaisenergiakulutus on tällä hetkellä 571 000 kWh/v ja se jakautuu lämpöenergiaan 31 %, sähköenergiaan 17 % ja liikennepolttoaineiden energiaan 52 %.

Välitalon maatila sijaitsee Itä-Suomessa Nurmeksessa ja tilalla on 300 ha viljeltyä, 146 lypsylehmää kahden robotin pihatossa sekä yhteensä 141 lehmävasikoita ja hiehoja nykyaikaistetussa navetassa. Maatilan peltotyöt tehdään omilla koneilla ja koneet huolletaan itse. Lisäksi maatilalla harjoitetaan urakointina likakaivojen tyhjennystä sekä uudistetaan investoinnein vuosittain maatilaa hankkien uusia koneita ja rakentaen tiloja nykyaikaiseen maatalouden toimintaan soveltuviksi. Tällä hetkellä sähkö- ja liikennepolttoaine-energia ostetaan tilalle, mutta lämpöenergia tuotetaan biokaasulaitoksessa, johon on jo rakennusvaiheessa suunniteltu myös sähköenergiantuotanto sekä liikennebiokaasuntuotanto. Välitalon maatilaa kehitetään koko ajan ja siksi maatilan energiankäyttöä on alettu seuraamaan entistä enemmän ja sitä pyritään saamaan tehokkaammaksi ja etsitään keinoja optimaaliseen energiankäyttöön.

1.2 Aiheen merkitys työelämän kehittämisen kannalta

Maatilojen kannattavuuteen vaikuttavia tekijöitä on paljon, mutta yhtenä suurimpana tekijänä on energian tehokas käyttäminen ja sen tuotannon kannalta optimaalinen kohdentuminen. Haasteena ovat myös ilmastoasiat ja sitä kautta fossiilisten polttoaineiden käytön vähentäminen. Tottuminen olemassa oleviin käytäntöihin pitäisi pystyä kyseenalaistamaan ja miettimään sekä oppimaan uudenlaisia, erilaisia ratkaisuja tehdä arkiset työt. Tutkimus energiankäytöstä herättää ajattelemaan toimintojen muuttamista ja kehittämistä, jonka takia tämä opinnäytetyö on juuri tälle tilalle ja itselleni merkityksellinen.

Työ voisi toimia mallina muille mautiloille, mutta jokaisen maatilan toimintaperiaatteet ovat erilaiset, joten suoraan se ei sovellu monistettavaksi kaikille tiloille, mutta sovellettuna malli voisi toimia muillekin ainakin joiltakin osin. Lisäksi työ näyttää esimerkkiä ja mallia muille mautiloille, kuinka maatilat voisivat tehdä ilmastotekoja vaik-

kakin hieman kustannuksia lisäenkin, mutta lisäen samalla liiketoimintamahdollisuuksia. Liikennebiokaasuntuottaminen ja jakeluasemien lisääminen yleisesti, etenkin haja-asutusalueille, joilla maatilat useimmiten sijaitsevat, olisi yksi keino päästöjen vähentämiselle ja maatalan uudelle tuotannolle.

2 Tutkimusasetelma ja tavoitteet

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia vain tämän yhden case-tilan energiankulutusta lähtötilanteessa ja selvittää mihin ja minkä verran sähkö- ja lämpöenergiaa sekä polttomoottorien käyttämää energiaa kuluu. Olisiko mahdollista päästä vähentämään liikennepolttoaineen kulutusta tai sähkö- ja lämpöenergiaa ja millä keinoilla. Olisiko case-tilalla mahdollisuuksia energian suhteen omavaraisuuteen. Opinnäytetyö perustuu haastatteluihin sekä kirjanpidon tietoihin.

2.1 Case maatalan esittely

Välitalon maatila sijaitsee Pohjois-Karjalassa Nurmeksessa. Tilalla on 287 nautaa, joista 146 on lypsylehmiä verhoseinäpihatossa, jossa on kaksi Lelyn lypsyrobotia. Loput 141 ovat lehmävasikoita ja hiehoja navetassa, joka on remontoitu nuorelle karjalle sopivaksi karjasuojaksi kennolevyseinin. Kummassakin karjasuojassa on painovoimainen, luonnollinen ilmastointi. Lypsykarjatilalla sonnivasikat lähtevät välitykseen ja lehmävasikat jäävät tilalle kasvatettavaksi lypsylehmien uudistamisen turvaamiseksi. Tilalla on viljelyssä noin 300 ha, joista noin 100 ha on ohra-kaura-seosviljalla ja loput säilörehunurmella ja koko sato käytetään tilalla karjan ruokintaan. Tila kuuluu tuotosseurantaan ja tilalla noudatetaan viljelykiertoa eli säilörehunurmet perustetaan suojaviljaan ja säilörehunurmia pidetään viisi vuotta samoilla lohkoilla ennen uudistamista.

Pelloista omia on 145 ha ja 25 ha vuokrapeltoja tilakeskuksen ympärillä. Peltojen sijainnin takia tulee siirtoajoa vuosittain jonkin verran (Kuvio 1.):

- Sivakkajoella 30 ha vuokrapeltoa, jonne tilakeskuksesta on matkaa 16 km,
- Jyrkänkoscilla 20 ha vuokrapeltoa, joka on matkalla Sivakkajoelle ja tilakeskuksesta on matkaa 14 km

- Nuolijärvellä 30 ha vuokrapeltoa, tilakeskuksesta 6 km sekä
- Pajukoskella 20 ha vuokrapeltoa, jonne on matkaa 6 km.
- Ylä-Valtimolla 10 ha omaa peltoa, jonne on matkaa tilakeskuksesta 6 km ja joka on matkalla Sivakkajoelle ja
- Kalliojärvellä 20 ha omaa peltoa, jonne on matkaa tilakeskuksesta 12 km, joka taas on aivan eri suunnalla kuin muut pellot.



Kuvio 1. Välitilan peltojen sijainti kartalla (Maanmittalaitos 2021).

Lämmitettäviä rakennuksia tilakeskuksessa on kaksi konehallia, omakotitalo 200 m² ja navetan toimisto ja varasto 40 m² sekä pihatton toimisto ja maituhuone 40 m². Navetta ja pihatto sekä lato ovat kylmiä tiloja (Taulukko 1.). Lisäksi on lämmitettävä bio-kaasureaktori, joka on tilavuudeltaan 680 m³.

Taulukko 1. Rakennukset tilakeskuksessa.

<i>Rakennuksen nimi</i>	<i>ikä</i>	<i>kunto</i>	<i>käyttöaste</i>	<i>eläinpaikkojen määrä, koko tms.</i>
Konehalli	1987, 1995	hyvä	100	250 m ²
Konehalli	1998	hyvä	100	400 m ²
Lato	1974, 1980	hyvä	100	200 m ²
Navetta	1973, 1990, 2000, 2017	hyvä	100	24 parsipaikkaa, 5 yksilökarsinaa, 20 karsinaa 5 vasikkaa/karsina
Pihatto	2014	hyvä	100	140 lehmää, 20 umpiosastopaikkaa, 2 sairaskarsinaa, joissa 3 paikka/karsina
Lämpökeskus	1995, 2017	hyvä	100	Biokaasupoltin, generaattori, agrigaattori

Kaikki viljelytyöt tehdään tilan omilla koneilla ja säilörehunkorjuu tehdään noukinvaunuilla laakasiiloihin ja vilja puidaan omalla puimurilla ja tuoresäilöntään melasilla laakasiiloon. Karjan ruokinta on toteutettu seosrehuruokintana ajettavalla itsekuormaavalla apevaunulla pihattoon ja täyttöpöydän kautta jakovaunulla navettaan.

Tilalla on investoitu rakennuksiin ja peltoihin lähes joka vuosi. Työt on tehty tilan omilla koneilla. Pihatto on rakennettu 2013, navetan laajennus eli vasikkalaosion rakentaminen tehtiin 2018 ja yksi laakasiilo rakennettiin 2019 sekä biokaasulaitos rakennettiin 2016 - 2017, joka alkoi tuottamaan metaania helmikuussa 2018. Peltoa on raivattu vuosina 2015 - 2016 15 ha ja 2019 10 ha. Tilalle hankittiin toinen noukinvaunu ja kelalevitin rehuntekoon 2015 ja 2020 ajettava apevaunu. Kesällä 2016 testattiin pyöräkuormaajaa Volvo B90 laakasiiloissa rehun tiivistämiseen. Testaaminen päättyi yhden kesän jälkeen, kun todettiin ettei rehu tiivistynyt paremmin pyöräkuormaajalla kuin traktorillakaan. Lisäksi isäntä hoitaa Valtimon alueen likakaivojen tyhjennyksiä kiinteistöille urakointina.

Tilalla on kaksi Lännen-kaivuria sekä Samsung SE280 30 t -telakaivuri ja neljä Fendt-merkkistä traktoria, jotka ovat 180 hv, 200 hv ja 270 hv ja 400 hv. Näitä käytetään pääsääntöisesti peltotöissä. Marraskuussa 2020 tilalle hankittiin ajettava Kuhn-merkinen 27 m³ apevaunu ja vanha apevaunu veturinaan Massey Ferguson 6190 150 hv traktori jäi varajärjestelmäksi appeen tekoon ja lisäksi kevyempiin töihin on Massey Ferguson 590 66 hv. Kaikki maatalouskoneet tilan viljelyyn ja karjanhoitoon löytyvät tilalta. Ainoastaan leikkuupuimuri on yhteinen naapuritilan kanssa. Konekantaä uusia ja kehitetään koko ajan sekä kaikki huollot ja kunnossapito hoidetaan tilalla.

Valaistus on hoidettu osittain loisteputkilla navetassa ja konehalleissa. Pihatossa on led-valot sekä suurpurkauslamput yleisvalona. Rakennusten ulkovalot ja käytävien valot ovat liiketunnistimella varustettuja. Lietelannan siirtäminen hoidetaan slalom-järjestelmällä, jossa on sekoittimia ja pumppuja.

Sähköllä toimivia koneita on mm. tilasäiliö, Lelyn lypsyrobotit kaksi kappaletta, navetan täyttöpöytä ja jakovaunu. Sähkön tuotannon varajärjestelmänä on generaattori ja biokaasulaitoksen varajärjestelmänä on hakelämpökeskus toimivine laitteineen.

Tilalla on mesofiilinen, jatkuvatoiminen biokaasulaitos, jossa on mikseriallas 235 m³, reaktori 680 m³ ja jälkikaasutusallas 1006 m³ sekä lopputuotteelle kumialtaita 2523 m³ ja 2500 m³ sekä 800 m päässä tilakeskuksesta 2688 m³.

2.2 Tutkimuskysymykset

Opinnäytetyössä selvitetään mihin ja minkä verran energiaa case maatilalla kuluu vuosittain. Vastaukset pyritään saamaan energialajeittain. Seuraavaksi etsitään keinoja, kuinka energian käyttöä case tilalla voidaan kehittää ja viimeisenä, tutkitaan, onko case tilan mahdollista olla energiaomavarainen.

Tutkimuskysymykset:

1. Mihin ja minkä verran energiaa kuluu case maatilalla.
2. Miten Väliatalon tilan energian käytön tehokkuutta voidaan kehittää.
3. Onko tilalla mahdollisuus päästä omavaraiseen energian käyttöön.

2.3 Opinnäytetyön rajaus ja rajauksen perustelu

Tässä opinnäytetyössä käsitellään vain yhden case-maatilalan suoran energiankäyttöä ja -tehostamista maataloudessa. Investointien ja urakoinnin energiatehokkuus sekä peltoviljelyyn käytetty energiantehostaminen rajataan opinnäytetyöstä pois. Energiaa käsitellään tehoyksiköissä kilowattitunti, kWh ja megawattitunti, MWh. Taloudellista puolta ja kustannuslaskentaa ei tässä työssä käsitellä eli euromääräisiä lukuja ei esitetä.

Biokaasulaitoksen hakiessa vielä optimaalisia säätöjä käytetään laskennallisia arvioita biokaasulaitoksen tuottaman ja käyttämän energian käsittelyssä. Biokaasulaitos tuottaa kaiken lämpöenergian tilalla, muttei vielä muuta energiaa ja kaasuntuotannon mittaaminen oli ongelma tarvittavan laitteiston saamisen takia ja olisi aiheuttanut kuluja opinnäytetyöntekijälle. Biokaasulaitoksen tarkempi tutkiminen jää työn ulkopuolelle, mutta antaa tulevaisuudessa useita erilaisia mahdollisuuksia kehittää energiantuotantoa tilalla ja vaikuttaa energiaomavaraisuuteen. Biokaasulaitosta tarkastellaan energiaomavaraisuuden tutkimisessa, mutta laskelmat perustuvat teoreettisiin laskelmiin. Lämpöenergian tuotannossa sekä kulutuksessa ja sähköenergian kulutuksessa biokaasulaitos otetaan huomioon, koska ne vaikuttavat tarkastelujakson aikana tämän työn tuloksiin.

Tärkeimpänä on liikennepolttoaineella tuotetun energiankäytön vähentäminen ja siihen erilaisten keinojen etsiminen. Liikennepolttoaineen kulutus perustuu ostetun liikennepolttoaineen määrään sekä rakennuspäiväkirjojen ja investointitukien maksatushakemusten työmääriin sekä päiväkohtaisten polttoainemaksujen perusteella keskimääräisiin työtunteihin. Liikennepolttoaineilla tuotetun energian mittaaminen onnistui jo olemassa olevilla laitteilla eli työkone kohtaisilla mittareilla sekä vuosien varrella satunnaisesti tehdyillä mittauksilla. Tilalla on seurattu eri työvaiheissa polttoaineen kulutusta jo vuosia, koska Fendt-merkkiset traktorit antavat mahdollisuuden käyttää portaaton vaihteistoa, joka itse säätää moottorin kierrokset optimaaliselle tasolle, kun voimanulosottoa ei tarvita. Esimerkiksi äestettäessä tai lautasmuokkauksessa sekä siirtoajoissa tämä ominaisuus säästää selvästi polttoaineen kulutusta. Uuden seosrehuvaunun kulutus ja ajankäyttö mitattiin kahden viikon ajan maaliskuussa 2021.

Sähköenergian laitekohtaisen kulutuksen mittaamiseen ei myöskään löytynyt kustantajaa, joten sen tarkempi tutkiminen jäi tästä työstä pois. Sähköenergia käsitellään top down-periaatteella eli sähkön kuukausikohtainen kulutus on saatu laskutuksesta ilman laitekohtaista kulutusta. Lämpöenergiankulutus arvioitiin ennen biokaasulaitoksen valmistumista käytetyn hakemäärän perusteella sekä laskennallisella biokaasulaitoksen lämmittämiseen käytetyllä energian määrällä.

Omakotitalon sähkö- ja lämmitysenergia sisältyvät maatalouden käyttämään energiaan, koska esimerkiksi sähköenergiankulutuksen osuus on vain 6000 kWh/v tiedon

perustuessa verotukseen ja osa omakotitalon huoneista on maatilan käytössä eli toimisto ja työvaatehuolto.

3 Tietoperusta

3.1 Keskeisten käsitteiden määrittely

Energiatehokkuus tarkoittaa energiansäästämistä eli kulutuksen pienentämistä. Maataloudessa energiatehokkuutta voidaan parantaa eri energiaa kuluttavien toimintojen muuttamista siten, että energiankäyttöä voidaan pienentää työsaavutusta huontamatta. Usein energiatehokkuutta parantamalla myös työsaavutus ja tulos paranee, mutta sen saavuttaminen voi vaatia investointeja.

Energiaomavaraisuus tarkoittaa, että maatilalla energiaa käytetään saman verran kuin tuotetaan tai osa energiasta voidaan myydä ja vastaava määrä voidaan ostaa. Tätä voidaan tutkia eri aikaväleillä eli vuorokaudessa, viikossa, kuukaudessa tai vuodessa. Case-tila ei ole vielä omavarainen, mutta biokaasulaitoksen mitoituksessa se on jo rakennusvaiheessa otettu tavoitteeksi.

Energiankulutusta voidaan lähteä mittaamaan joko top down -periaatteella eli perusanalyysillä, jossa kulutettua energiamäärää jaetaan eri osa-alueisiin tai bottom up -periaatteella eli yksityiskohtaisemmalla analyysillä, jolloin lähdetään laskemaan ja mittaamaan kunkin osa-alueen kuluttamaa energiamäärää ja näistä saadaan yhteenlaskettuna kulutettu energiamäärä (Ahokas 2013, 21, 22). Jos samassa kohteessa tehdään molemmin päin mittaukset, on yleensä tulos eri ja se johtuu usein siitä, ettei kaikkia energiankulutuskohteita saada mitattua tai toiminnassa on häiriö, kuten huolto- tai korjaustyö ja siksi mittaustuloksiin ei saada kaikkea käytettyä energiaa.

Energia voidaan jakaa epäsuoraan ja suoraan energiankulutukseen. Suora energia tarkoittaa tilalle ostettua tai tilalla tuotettua energiaa ja epäsuora energia taas tarkoittaa lannoitteiden, kasvinsuojeluaineiden ja koneiden valmistamiseen käytettyä energiaa (Ahokas 2013, 14).

Energian optimaalinen käyttö tarkoittaa, että energiantuotanto on mitoitettu energian huippukuormituksen huomioon ottaen ja että ylimääräiselle energialle olisi käyttöä vähemmän energiaa kuluttamana hetkenä. Eli tuotetaan energiaa sen verran kuin sitä kulutetaan huippukuormat huomioiden.

3.2 Tietoperusta

Maatilojen energiatehokkuudesta on tehty paljon tutkimuksia ja kirjoitettu paljon, mutta yksityiskohtaisia vertailukohteita on hyvin vähän. Pääasiassa tehdyt tutkimukset oppilaitosten taholta keskittyvät koulutilojen energiankäyttöön. Koulutilojen energiankäytön tarkastelu ei anna oikeaa kuvaa maatilojen energiankäytöstä, koska toiminta niissä on opettamista, oppimista ja harjoittelua, jolloin energiaa kaikilla osaluilla kuluu enemmän ja opetukseen tarvitaan lämpimiä tiloja huomattavasti enemmän kuin normaalilla maatilalla on. Mustialan opetusmaatilán sähköenergian osuus kokonaisenergiankulutuksesta on 21 %, liikennepolttoaineiden energiankulutus 10 % ja lämpöenergiankulutus 69 % (Kujala 2011, 32).

Kokonaisenergian jakautuminen eri energiamuotoihin on yksi näkökulma tarkastella energiankulutusta. Vaihtelua on kuitenkin hyvin paljon maatilojen kesken riippuen tilan sijainnista, tuotantosunnasta ja sääolosuhteista. Keskimäärin maatilojen kokonaisenergian kulutus jakautuu lämpöenergiaan n. 44-56 %, työkoneiden liikennepolttoaineiden energiaan 9-25 % ja sähköenergiaan 20-30 % (Sohlo 2013, 5).

Maatilojen energiankulutusta voidaan kuvata myös kWh/tuotettu maitokilogramma ja Ahokas on vuonna 2013 kirjoittanut, että keskimäärin lypsykarjatilojen energiankulutus on 0,1–0,3 kWh/tuotettu maitokilogramma (Ahokas 2013, 26). Tämä tarkastelutapa antaa paremman mahdollisuuden tehdä vertailua tilojen kesken.

Toinen maatilán tulokseen perustuva energiankulutuksen mittari on kWh/lypsylehmä, jonka avulla maatilojen energiankäytön vertailu on mahdollista. Kun kokonaisenergia jaetaan vielä eri energiamuotoihin ja sen jälkeen lasketaan kunkin energiamuodon kWh/lypsylehmä -kulutus, päästäänkin jo paremmin vertailemaan maatilojen energiankulutuksia toisiinsa ja tutkimaan energiaa erityisesti kuluttavia toimenpiteitä. Työtehoseuran tutkimuksen mukaan yhtä lypsylehmää kohti vuodessa keski-

määrin kuluu 1,5 MWh sähköä ja 2,2 MWh lämpöä, joka tarkoittaa case-tilan lypsy-lehmämäärällä 0,18 kWh/tuotettu maitokilogramma sähköä ja lämpöä 0,27 kWh/tuotettu maitokilogramma (Rantala 2014). ProAgrian esityksessä Maataloustieteen päivillä 2018 on esitelty maatalan lypsykarjan kokonaisenergiankulutuksen tunnusluvuiksi 281 kWh/1000 l tuotettua maitoa ja 2560 kWh/eläinpaikka (Kari 2018, 10).

Mikko Posion pro gradu -työssä on pihaton robottilypsyssä laskettu teoreettiseksi kokonaisenergiankulutukseksi 2555-4214 kWh/lehmäpaikka/v ja keskiarvoksi 3385 kWh/lehmäpaikka/v. Todellinen energiankulutus on kuitenkin ollut 1513-7763 kWh/lehmäpaikka/v, jonka keskiarvo on 5134 kWh/lehmäpaikka/v. Kokonaisenergiankulutus jakaantui teoreettisesti laskettuna sähköenergiaksi 1074 kWh/lehmäpaikka/v, lämpöenergiaksi 349 kWh/lehmäpaikka/v ja liikennepolttoaineiden energiaksi 2353 kWh/lehmäpaikka/v. Todelliset vastaavat luvut olivat sähköenergia 1819 kWh/lehmäpaikka/v, lämpöenergia 1804 kWh/lehmäpaikka/v ja liikennepolttoaineiden energia 1511 kWh/lehmäpaikka/v. (Posio 2010, 74.)

Enpos-hankkeen artikkelissa on esitelty virolainen opinnäytetyö, jossa on koottu eri maiden tutkijoiden saamat energiankulutukset tuotettua maitokilogrammaa kohden (Taulukko 2.). Tutkimukset ovat vuosilta 1998-2009 ja kulutusmäärät ovat 1,6-7 MJ/tuotettu maitokilogramma. Vaihteluväli on suuri, joka kertonee maatilojen erilaisuudesta. (Frorip, Kokin, Praks, Poikalainen, Ruus, Veermäe, Lepasalu, Schäfer, Mikola ja Ahkas 2012, 46.)

Taulukko 2. Eri tutkimusten mukaan maatilojen energiankulutus, MJ, tuotettua maitokilogrammaa kohten, MJ/maitokg (Frorip & kump. 2012, 46).

Tutkijat	MJ/tuotettu maitokg	Huomiot
Refsgaard & kump. 1998	3,3	
Refsgaard & kump. 1998	2,1	luomu
Ceberberg & Mattsson, 2000	3,5	
Ceberberg & Mattsson, 2000	2,5	luomu
Wells, 2001	1,84	Vaihteluväli 0,9-5,6
Hartman & Sims, 2006	3,9	Vaihteluväli 3-5,4
Grönroos, 2006	6,4	
Grönroos, 2006	4,4	luomu
Smil, 2008	5-7	
Thomassen & kump. 2008	5	
Thomassen & kump. 2008	3,1	luomu
Kraaz & Berg, 2009	3,5	
Mikkola & Ahokas, 2009	1,6	Rehuntuotannon energiankulutus
Mikkola & Ahokas, 2009	3,2	Rehuntuotannon ja asumisen energiankulutus

Maatilojen energiatehokkuudesta mainitaan useassa lähteessä ongelmana vertailutiedon puute ja maatilojen energiankäytön erilaisuus (Ahokas 2013, 17). Energia -akatemia -hankkeessa Ahokas mainitsee ongelmaksi maatilojen energian käytön tiedon puuttumisen eli tiedetäänkö mautiloilla, miten siellä energiaa käytetään ja mitä käytön tehostamismahdollisuuksia voisi olla sekä energian säästön todentamisen vaikeus ja maatalousalan perusopetuksen heikko taso (Ahokas n.d., 3). Suomen maatilojen vertailua on vaikea tehdä keskieurooppalaisiin mautiloihin, koska ilmasto on aivan erilainen ja siten lämmitykseen kuluva energiamäärä aivan erilainen (Ahokas 2013, 12).

3.3 Maatalouden rooli ilmastonmuutoksessa

Maatalouden pyrkimys on vähentää päästöjä ja näin hillitä ilmastonmuutosta ja se vaatii jokaiselta maatilalta toimia ja asiaan perehtymistä. Energiankäyttäjät muuttuvat koko ajan enemmän energiantuottajiksi ja varastoijiksi, kuten esimerkiksi teollisuudessa jo on tapahtunutkin. Tuotannon sivuvirrat käytetään yhä enenevässä määrin energian tuotantoon. Tämä ilmiö tuo haasteen myös maatalouteen. Ruuantuotannossa syntyy hyvinkin paljon erilaisia sivuvirtoja, kuten karjanlanta ja pientareiden sekä luonnonhoitopeltojen nurmimassat sekä esimerkiksi kasvihuoneissa naatit ja

syötäväksi kelpaamattomat kasvien varret. Maatalous ymmärretään niin vahvasti vain ruuan tuotannoksi, ettei energiantuotantomahdollisuuksia ole usein edes mietitty. Maatiloilla syntyy erilaisia jätteitä, joiden kierrättäminen ja hyötykäyttäminen olisi mahdollisimman tehokkaasti kannattavuutta parantava tekijä. Karjatililla karjanlannan kierrättäminen ja hyödyntäminen energian tuotantoon ja sitä kautta saata- vat muut hyödyt tulisikin ottaa huomioon paremmin.

Suomen hallituksen työ- ja elinkeinoministeriö on laatinut eri alojen kanssa yhteistyössä Suomen vähähiilisyteen pyrkivät toimialakohtaiset tiekartat. Hallituksen tavoite on saada Suomi hiilineutraaliksi vuoteen 2035 mennessä. Maatalous on omana toimialanaan saanut oman tiekarttansa, jossa todetaan Suomen maatalouden toimijoiden erilaisuus ja maatilojen erilainen sijainti toisiinsa nähden haasteeksi saavuttaa hiilineutraalius. Maatalouden kasvihuonepäästöjä tuotettiin 16 Mt CO₂-ekv vuonna 2018 ja tiekartassa nousee pellonkäyttötapojen, erityisesti turvepeltojen, ja tuotantoeläinten sekä lannankäsittelyn lisäksi energiankulutuksen vähentäminen ensisijaisiksi tavoitteiksi. Maatalouden vähähiilitiekartassa on esitelty kolme skenaariota, joissa nousee esille biokaasu- ja aurinkoenergian tuotanto maatiloilla. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2020, 83.)

Työ- ja elinkeinoministeriön energiatehokkuustyöryhmän raportissa mainitaan maatalouden energiatehokkuuden parantamiseen ja uusiutuviin energialähteisiin lisäyksenä vain hake- ja aurinkoenergia (Työ- ja elinkeinoministeriö 2019, 80). Näiden toimien lisäksi MTK:n tekemässä Maatalouden Ilmastotiekartassa mainitaan myös muutokset maatalouden energian käytössä ja tuottamisessa (MTK 2020, 98).

Maatalouden kannattavuus on yksi tärkeimpiä asioita toimialalla ja energian tehokkaalla käytöllä parannetaan kannattavuutta sekä vähennetään päästöjä. Energiatehokkuus on maataloudessa monen eri tekijän summa ja maatalouden kulurakenteen kokonaisuus on otettava huomioon. Esimerkiksi suuri polttoaineen kulutus investointeja tehtäessä omilla koneilla voi säästää ostettavien palveluiden määrää, jolloin polttoaineen kulutus siirtyy ulkopuoliselta palvelun tuottajalta maatilalle ja näin nostaa polttoainekuluja, mutta investoinnin kokonaiskuluissa säästää maatilalan menoja. Samoin työntehokkuus eli työhön kulutettu henkilötyövuosien määrä tulee ottaa huomioon muutettaessa työmenetelmiä energiatehokkaammiksi.

Toimeksiantaja tälle opinnäytetyölle on kirjoittaja itse, koska kirjoittaja katsoo käytännössä olevansa case maatilan edustaja vaikkei sitä juridisesti olekaan.

4 Menetelmät ja aineisto

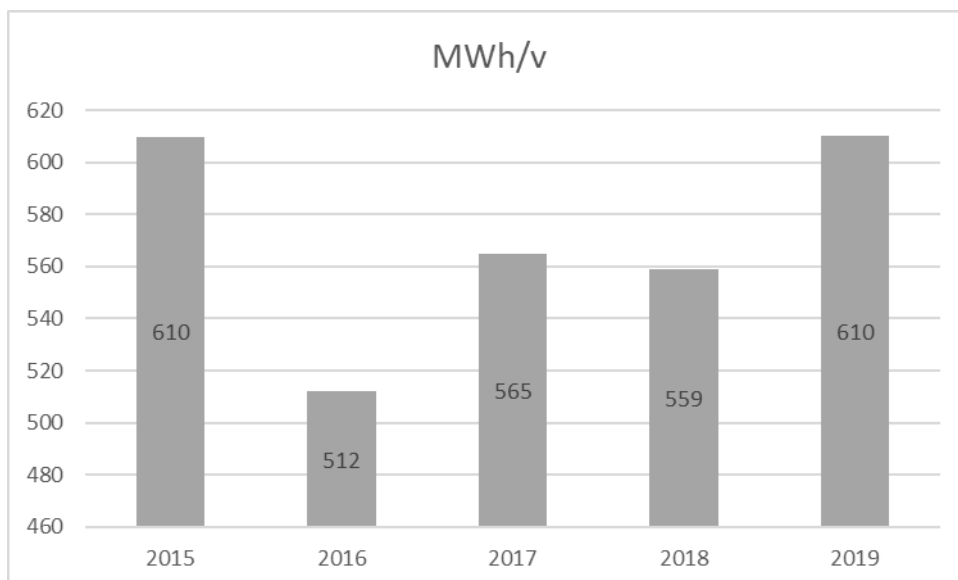
Tässä opinnäytetyössä energia jaetaan lämpö- ja sähköenergiaan sekä liikennepolttoaineiden sisältämään energiaan, jotka analysoidaan kaikki erillään. Liikennepolttoaineiden kantama energia jaetaan vielä investointeihin, urakointiin ja maatalouteen. Omakotitalon sähkö- ja lämpöenergiankäyttö on mukana analyysissä, eikä sitä ole niistä erilleen laskettu, koska osa omakotitalon tiloista on maatalouden käytössä. Investoinnit ovat investointitukien mukaisia rakennustöitä ja urakointi on kunnan lika-kaivojen tyhjennystä. Maatalouden liikennepolttoaineiden energiaan kuuluu peltoviljely, seosrehuruokinta ja muut maatalouden työt, kuten talvella lumityöt tilakeskuksessa ja kesällä avo-ojien perkaus, peltoteiden lanaus sekä muut tilakeskuksen tai peltojen hoitotyöt. Lämpöenergian kulutukseen kuuluu lämpimän käyttöveden lämmitys, rakennusten lämmitys sekä vuodesta 2018 alkaen biokaasulaitoksen reaktorin lämmitys. Sähköenergian kulutukseen kuuluu valaistus koko tilakeskuksessa, navetan täyttöpöydän ja rehunjakovaunun käyttö, pihaton kaksi lypsyrobotia ja 10 000 litran tilatankki sekä navetan, pihaton slalom-lietelantajärjestelmä ja vuodesta 2018 alkaen biokaasulaitoksen pumput ja sekoittimet.

4.1 Kokonaisenergiankulutus

Tässä opinnäytetyössä on mitattu energiankulutusta viiden vuoden ajalta eli vuosilta 2015-19 maatilalta kirjanpitoon, rakennuspäiväkirjoihin ja haastatteluihin perustuen. Sähköenergian kulutus on saatu kirjanpidon sähkölaskuista ja polttoaineen kulutus polttoainelaskuista. Liikennepolttoainekulut on jaoteltu maatalouteen, urakointiin ja investointeihin. Lämpöenergian kulutus perustuu vuosittaiseen hakkeen käytön määrään ja 2018 vuoden jälkeen metaanin tuotannon määrään. Menetelmä on siis top down -periaatteella laskettu energiankulutus. Lisäksi on haastateltu isäntää eri työvaiheiden liikennepolttoainekulutuksista eri koneilla sekä lämpöenergian määrien ar-

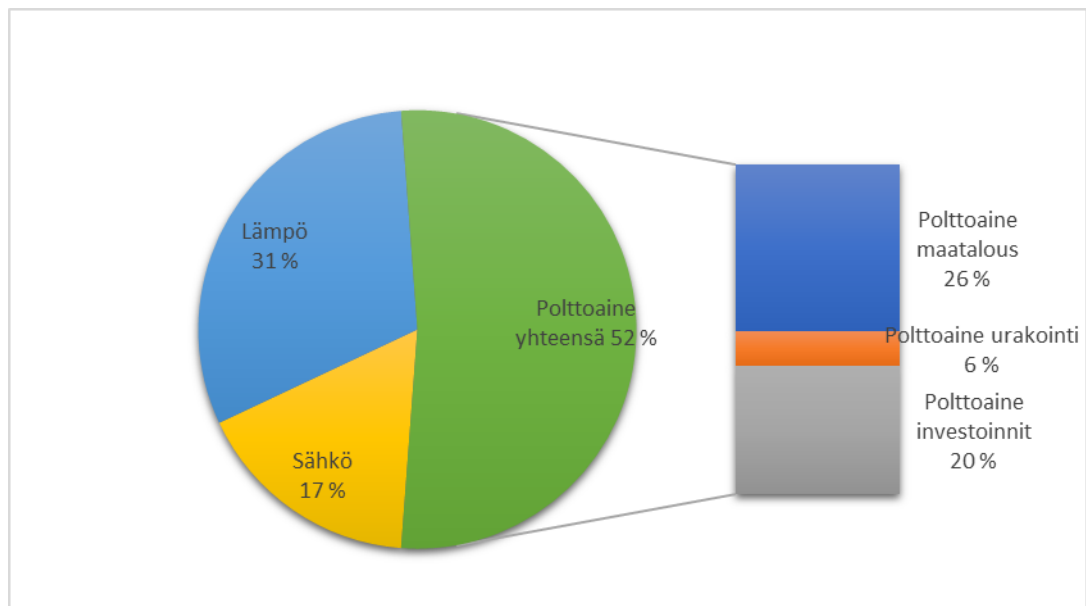
vioista. Liikennepolttoainekulutuksia on vuosien 2015-19 aikana seurattu satunnaisesti eri työvaiheissa ja nämä on otettu huomioon Työtehosteuran työkoneiden keski-kulutusten lisäksi.

Kokonaisenergiankulutus vaihteli vuosien välillä 512-610 MWh/v riippuen investointien määrästä ja laadusta. Vuonna 2015 energiankulutus oli 610 MWh hyvin raskaiden investointien takia eli pellon raivaus kulutti liikennepolttoainetta erityisen paljon. Vuonna 2016 on maatalouden harjoittamisen lisäksi rakennettu biokaasulaitosta normaalin urakoinnin lisäksi, joten energiaa on kulutettu 512 MWh. Vuonna 2017 maatilalla rakennettiin edelleen biokaasulaitosta ja kumialtaan pohjatöitä, jonka takia energiankulutus oli 565 MWh. Kumialtaan pohjatyöt ja maansiirtotyöt nostivat erityisesti polttomoottorien käyttämää energian kulutusta. Vuonna 2018 tilalla rakennettiin navettaan vasikkalan laajennusosa ja kumiallas rejektille, jolloin energiankulutus oli 559 MWh. Vuonna 2019 tilalla rakennettiin laakasiilo ja appeen tekoon kenttä sekä raivattiin peltoa ja energiankulutus oli 610 MWh. Kokonaisenergiankulutuksen vaihteluväli eri vuosina on 512–610 MWh, joka korreloi selvästi investointien kanssa. (Kuvio 2.)



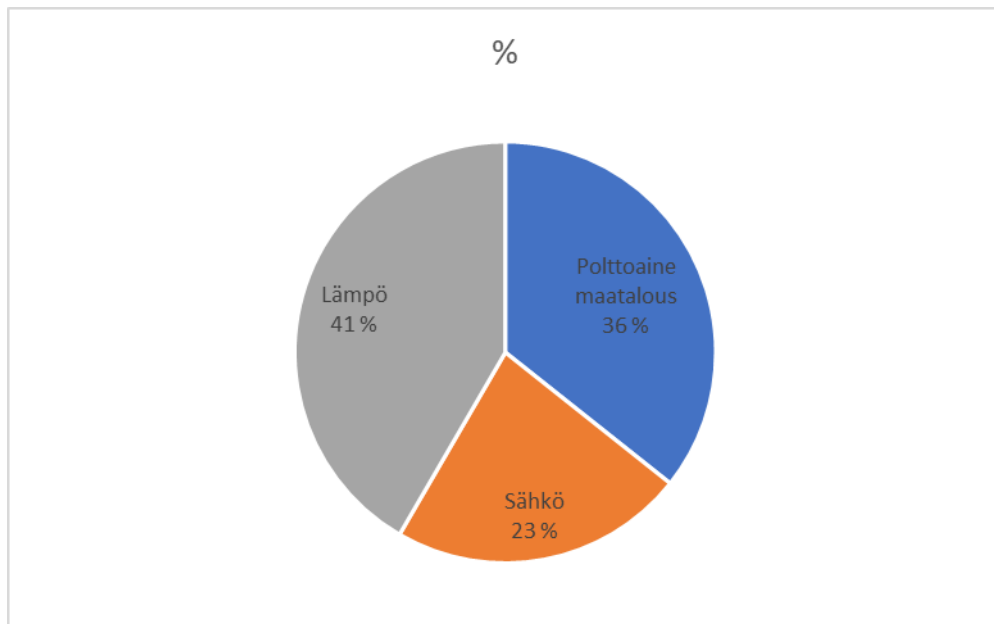
Kuvio 2. Välitalon maatilan kokonaisenergiankulutus MWh/v.

Kokonaisenergiankulutus maatilalla jakautui kuvion 3. mukaisesti eli lämpöenergian kulutus oli n. 31 %, sähköenergian 17 % ja liikennepolttoaineiden 52 %. Laskenta on tehty viiden vuoden 2015-19 eri energiamuotojen kulutusten keskiarvoista. Liikennepolttoaineen kulutus on jaettu investointeihin ja pellon raivaukseen 20 % sekä urakointiin 6 % ja maatalouteen 26 % (Kuvio 3.). Kuviossa 3 on kuitenkin sähkö- ja lämpöenergian kulutus suhteessa kokonaisenergiankulutukseen, jossa on mukana kaikki liikennepolttoaineiden energia.



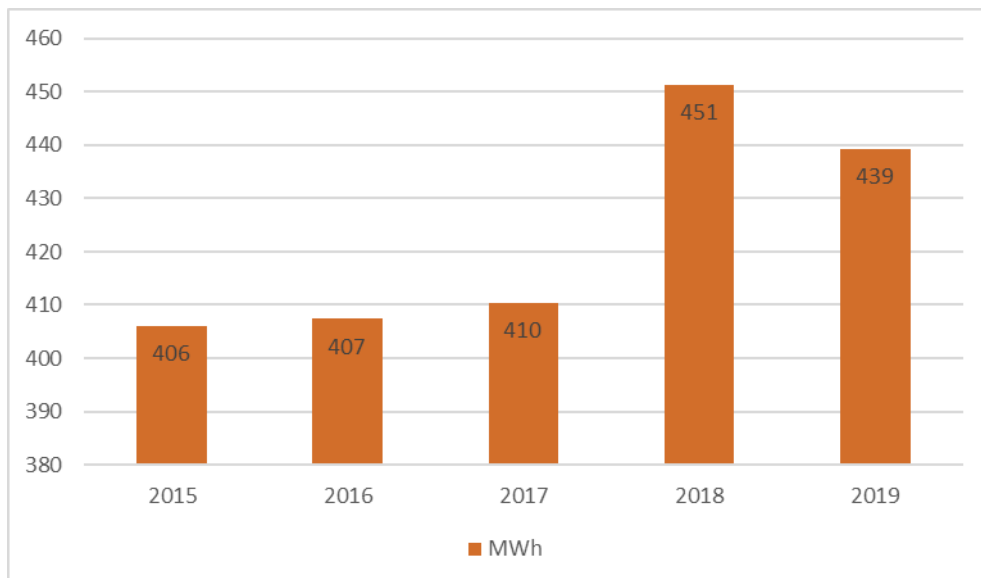
Kuvio 3. Välitalon tilan viiden vuoden keskiarvon mukainen kokonaisenergiankulutuksen jakautuminen %.

Kun otettiin huomioon liikennepolttoaineen kulutuksessa investoinnit ja urakointi ja ne vähennettiin kokonaisenergiankulutuksesta, saatiin energiankulutus pelkkään maatalaan (Kuvio 4.). Lämpöenergian osuudeksi saatiin 41 %, sähköenergian 23 % ja liikennepolttoaineiden energian 36 %.



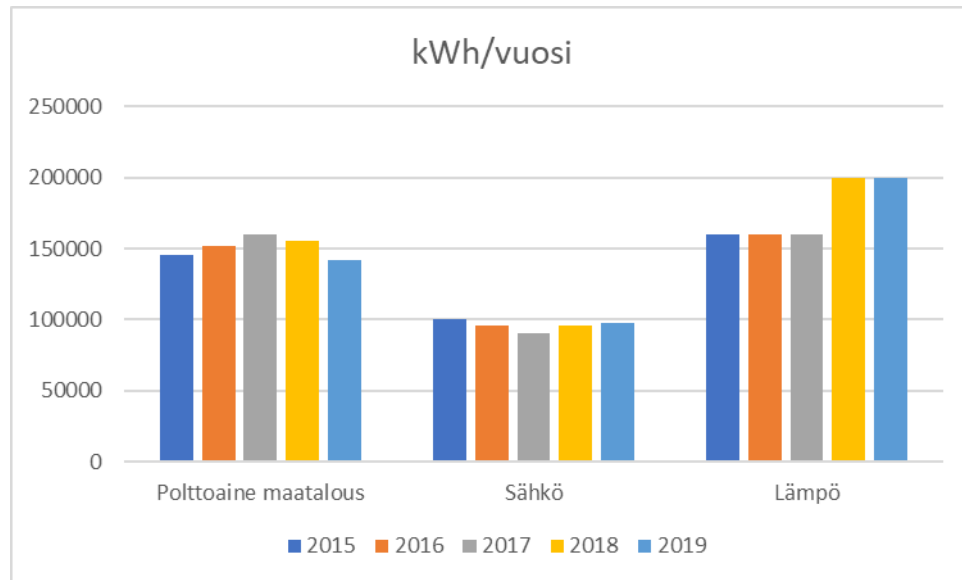
Kuvio 4. Välitalon maatalan kokonaisenergiankulutuksen jakautuminen %.

Maatalouden energiankulutus näyttäisi siis olevan 406-439 MWh/vuosi. Biokaasulaitoksen valmistumisen jälkeen vuonna 2018 reaktorin lämmitys ja sekoitus näyttäisi tarvitsevan n. 29-41 MWh/vuosi energiaa. (Kuvio 5.)



Kuvio 5. Välitalon kokonaisenergiankulutus sisältäen pelkän maatalouden liikenne-polttoaineen kulutuksen MWh/v.

Vuosien välillä ei ollut suurta vaihtelua energiankulutuksen jakaumaan, kun investointeihin ja urakointiin kulunut energia vähennettiin liikennepolttoaineista pois. Bio-kaasulaitoksen lämmitys nosti lämpöenergian tarvetta keskimäärin 40 MWh/vuosi ja sähköenergian tarvetta n. 6000 kWh/v (Kuvio 6. ja taulukko 3.).



Kuvio 6. Välitalon maatalon vuosittainen kokonaisenergian käyttö maatalouteen kWh/v.

Taulukko 3. Välitalon vuosittaiset energiankulutukset jaoteltuina eri energiamuotoihin kWh/v.

kWh	2015	2016	2017	2018	2019
Polttoaine yhteensä	349430	255930	314400	262850	313070
Polttoaine maatalous	145630	151390	160000	155390	142050
Polttoaine urakointi	32400	32400	32400	32400	32400
Polttoaine investoinnit	171400	72140	122000	75060	138620
Sähkö	100370	96002	90390	96002	97220
Lämpö	160000	160000	160000	200000	200000
Yhteensä	609800	511932	564790	558852	610290
Yhteensä (vain maatal. pö)	406000	407392	410390	451392	439270
Polttoaine, maatalous	36 %	37 %	39 %	34 %	32 %
Sähkö	25 %	24 %	22 %	21 %	22 %
Lämpö	39 %	39 %	39 %	44 %	46 %

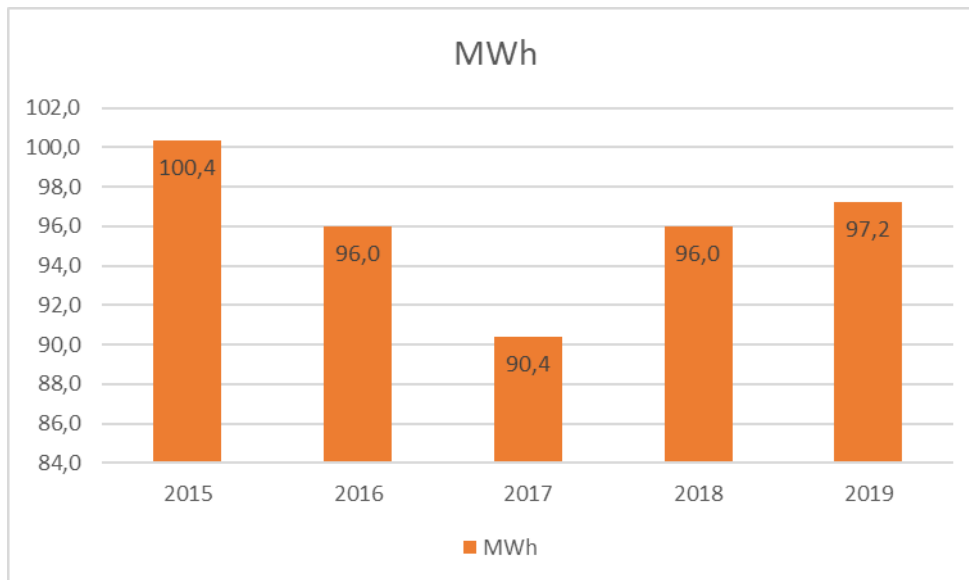
Koska vuosittainen vaihtelu oli yllättävän pientä eri energiankulutuksissa, laskettiin taulukon 3. mukaan keskiarvo viideltä vuodelta (Taulukko 4.). Näitä saatuja keskiarvoja eri energiamuotojen kulutuksista voidaan käyttää vertailtaessa case-tilan energiatehokkuutta muihin vastaavien maatilojen energiankulutuksiin sekä maatalon energiatehokkuuden tunnuslukuihin.

Taulukko 4. Vätilalon energiankulutuksen keskiarvot 2015-19 kWh/v.

kWh	KA	% kok.energia	% maatal.energiasta	% polttoaineista
Polttoaine yhteensä	299136	52 %		100 %
Polttoaine maatalous	150892	26 %	36 %	50 %
Polttoaine urakointi	32400	6 %		11 %
Polttoaine investoinnit	115844	20 %		39 %
Sähkö	95997	17 %	23 %	
Lämpö	176000	31 %	42 %	
Yhteensä	571133	100 %		
Yhteensä (vain maatal. pö)	422889		100 %	

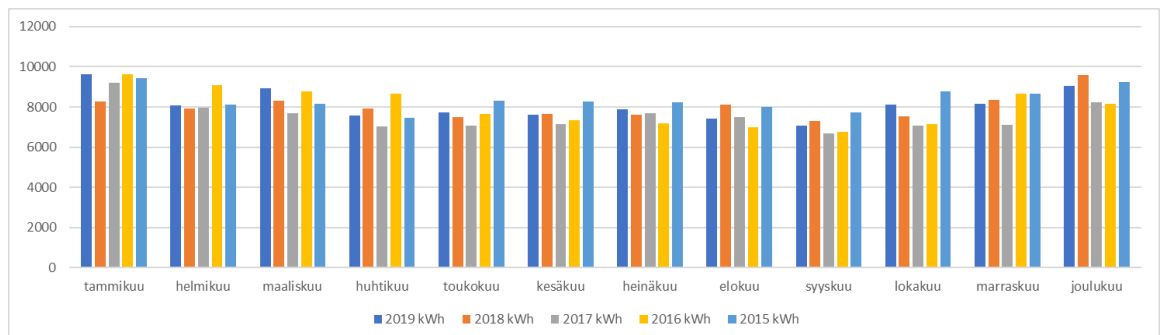
4.2 Sähköenergia

Sähköenergiaa maatilalle ostettiin 90-100 MWh/vuosi ja sen kulutus näyttäisi suhteellisen tasaiselta. Kokonaisenergian kulutuksesta sähköenergian osuus oli 21-25%. Sähköenergian säästöjä on syntynyt, kun vuonna 2016 tilalle hankittiin sähköisten ruuvikuljettimien tilalle hydraulinen ruuvikuljetin viljan murskausta varten ja navetan laajennuksen yhteydessä loisteputkien tilalle vaihdettiin led-valaisimia (Kuvio 7.). Bio-kaasulaitos valmistui 2017-18 vuosien vaihteessa ja se näyttäisi kuluttavan sähköä n. 6000 kWh/vuosi.



Kuvio 7. Välitalon tilan sähköenergiankulutus vuosittain MWh/v.

Sähköenergian kulutuksessa näkyy vuositasolla eri kuukausien vaihteluväli ja huhtilokakuun alemmat kulutukset johtuvat luonnonvalon lisääntymisestä, jolloin pihassa ei tarvita valaistusta niin paljon ja pitkiä aikoja (Kuvio 8.).

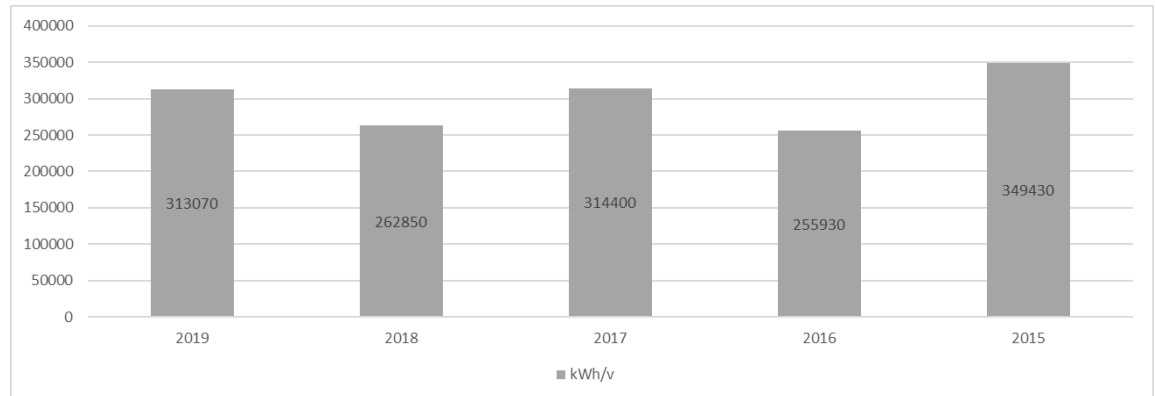


Kuvio 8. Välitalon maatilan sähköenergian jakautuminen vuosittain kuukausitasolla kWh/kk.

4.3 Liikennepolttoaineilla tuotettu energia

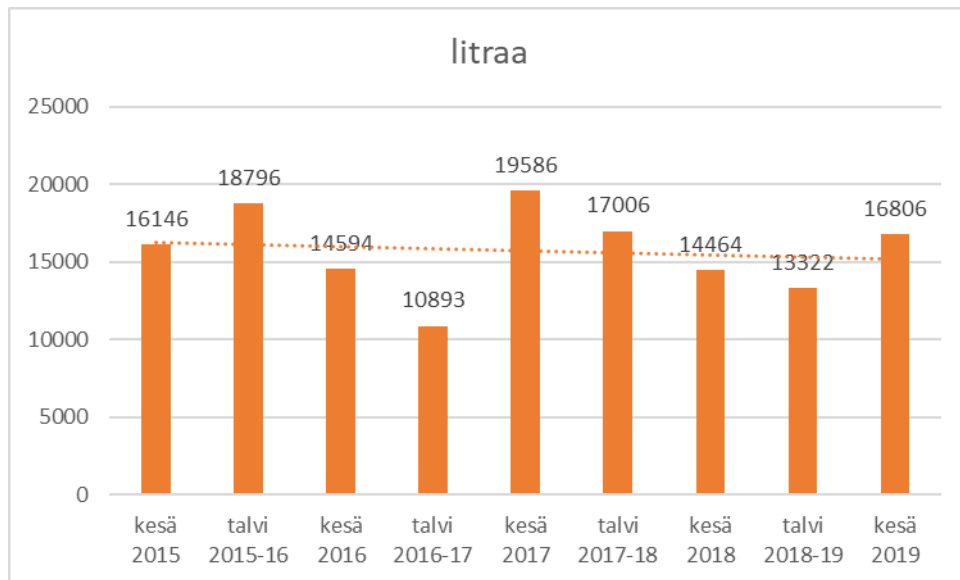
Koko maatilan energiankulutuksen suurin energiankuluttaja on liikennepolttoaineet, joiden käytön vähentämiseen tilalla onkin jo puututtu. Kokonaisenergiasta 32-39%

kului maatalouden liikennepolttoaineisiin (Taulukko 2.). Liikennepolttoaineen kulutuksen mittaaminen perustuu ostetun liikennepolttoaineen määrään, joka kuviossa 9. on muutettu kilowattitunneiksi (kWh) (Kuvio 9.).



Kuvio 9. Vuosittaiset liikennepolttoaineostot Vätilalon maatilalle kWh/v.

Liikennepolttoaineen ostot vuosittain tai edes laskutukseen perustuvalla kuukausittaisella laskennalla ei anna oikeaa lopputulosta työkoneiden käytöstä ja niiden energian kulutuksesta. Siksi liikennepolttoaineen laskutuksen perusteella kulutus luokiteltiin kesäkuukausille eli huhti-syyskuulle ja talvikuukausille eli loka-maaliskuulle (Kuvio 10.). Tämän jaottelun jälkeen alkoi paljastua korrelaatioita kulutuksen määrän ja tilalla tehtyjen töiden välille. Talven 2015-16 ja kesän 2017 liikennepolttoaineen kulutukset aiheuttivat tarkemman tutkimuksen, jolloin huomattiin investointien vaikutus liikennepolttoaineiden energian kulutukseen.



Kuvio 10. Liikennepolttoaineostot luokiteltuina kesään ja talveen Vätilan maatilalla l/vuodenaika/v.

Seuraavaksi liikennepolttoaineen kulutus jaettiin urakointiin, investointeihin ja maatalouteen. Urakointiin laskettiin likakaivojen tyhjennys ja siinä käytettiin keskiarvoja tyhjennyskerroista per vuosi päivittäisten polttoaineveromaksujen mukaisesti ja aika sekä polttoaineen kulutus arvioitiin muutaman kerran traktorin polttoaineen kulutusmittarin mukaan (Taulukko 5.). Saatua tulosta käytettiin laskennassa samansuuruisena joka vuosi, koska asiakaskunta oli pysynyt haastatteluun perustuen samanlaisena vuosittain.

Taulukko 5. Case-tilan urakoinnissa käytetty liikennepolttoaineiden energia keskimäärin l/v.

Likakaivojen tyhjennys urakointina ka	
60	likakaivontyhjennys matkaa/v
3	tuntia/matka
180	tuntia yht./v
18	l/tunti polttoöljyä
3240	l/v

Tilalla tehdyt investoinnit vuosina 2015-19 näkyivät selvästi liikennepolttoaineen kulutuksissa. Talvikukausina 2015 keväeseen 2016 tilalla raivattiin peltoa n. 15 ha ja

2016 aloitettiin biokaasulaitoksen rakentaminen, joka jatkui vielä seuraavan vuoden 2017 loppuun saakka. Lisäksi vuonna 2017 kaivettiin kumialtaan pohjaa ja tehtiin maansiirtotöitä, joka jatkui vielä seuravana vuonna 2018. Vuonna 2018 navetan laajennus vasikkalaksi ja kesällä 2019 rakennettiin laakasiilo sekä valettiin seosrehun valmistukseen kenttä. Vuonna 2019 raivattiin myös peltoa 8 ha.

Investointien liikennepolttoaineen kulutus laskettiin vuosittain investointitukien mak-satushakemusten rakennuspäiväkirjojen perusteella ja pellonraivaus sekä maansiirto-työt arvioitiin, joille ei ollut investointitukea haettu. Suuntaa antoi työajan arviointiin kaivinkonekuljettajan palkkakulut. Työkoneiden kulutukset perustuvat arvioihin sekä Työtehoseuran työkoneiden kulutuksen keskiarvoihin sekä satunnaisiin mittauksiin vuosien varrella (Taulukot 6, 7, 8, 9 ja 10).

Taulukko 6. Investointeihin käytetty liikennepolttoaine case-tilalla vuonna 2015 l/v.

Pellonraivaus 2015		l/t	yht. l
120 t	Fendt 820	17	2040
50 t	Lännen	14	700
240 t	Fendt 936	60	14400
	Yhteensä		17140

Taulukko 7. Investointeihin käytetty liikennepolttoaine case-tilalla vuonna 2016 l/v.

Biokaasulaitos 2016		l/t	yht. l
224 t	Fendt	14	3136
80 t	Lännen	14	1120
174 t	Samsung	17	2958
	Yhteensä		7214

Taulukko 8. Investointeihin käytetty liikennepolttoaine case-tilalla vuonna 2017 l/v.

Biokaasulaitos ja kumiallas-pohjatyö 2017		l/t	yht. l
120 t	Fendt	14	1680
180 t	Lännen	14	2520
320 t	Samsung	25	8000
	Yhteensä		12200

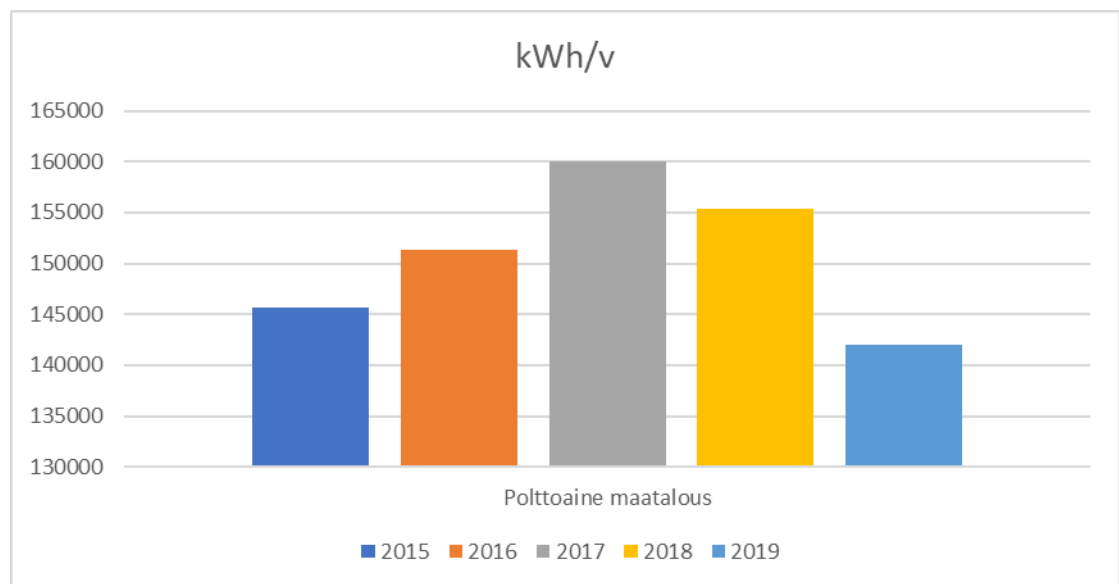
Taulukko 9. Investointeihin käytetty liikennepolttoaine case-tilalla vuonna 2018 l/v.

Navetan laajennus ja kumiallas 2018		l/t	yht. l
104 t	Fendt	14	1456
0 t	Lännen	14	0
242 t	Samsung	25	6050
	Yhteensä		7506

Taulukko 10. Investointeihin käytetty liikennepolttoaine case-tilalla vuonna 2019 l/v.

Laakasiilo 2019 ja pellonraivaus		l/t	yht. l
234 t	Samsung	17	3978
8 t	Lännen	14	112
126 t	Fendt 930	60	7560
158 t	Fendt 820/818	14	2212
	Yhteensä		13862

Maatalouden liikennepolttoaineen kulutuksessa on mukana myös viljelytyöt rehus-
tuksen lisäksi (Kuvio 11.).



Kuvio 11. Maatalouden liikennepolttoaineen kulutus case-tilalla kWh/v.

Liikennepolttoaineiden energian kulutus on siis 36 % kokonaisenergiasta, kun investoinnit ja urakointi vähennetään liikennepolttoaineiden energian kokonaiskulutuksesta (Taulukko 4.).

4.4 Lämpöenergia

Lämpöenergia arvioitiin vuonna 2015 kuluneen hakkeen määrän mukaan ja se pidettiin vuosittain samana, koska mittareita biokaasun tuoton mittaamiseen ei ollut mahdollista saada. Vuonna 2015–17 haketta kului vuosittain n. 200 i-m³ eli energiana 160 MWh ja tätä määrää tässä työssä käytettiin vuosille 2015-17. Polttohakkeen tehollisena lämpöarvona käytettiin 0,8 MWh/i-m³. Vuosille 2018-19 on arvioitu biokaasulaitoksen tarvitsema lämpöenergia 40 MWh/vuosi, joten 2018-19 kokonaislämpöenergian kulutukseksi on arvioitu 200 MWh/vuosi. Lämpöenergian kulutus on 39-46 % kokonaisenergiankulutuksesta. Biokaasulaitoksen laskennallinen lämpöenergian kulutus olisi vuosittain 77 MWh, kun lämpöhäviötä ei oteta huomioon (Taulukko 11.). Tätä arvoa ei kuitenkaan ole käytetty tässä opinnäytetyössä, koska tarkastelujakson aikana biokaasulaitos ei ole toiminut yhtään kokonaista vuotta, joten käytettiin vain 40 MWh/v. Lämmitettävät rakennusten neliömetrit eikä lämpimän käyttöveden määrä ole muuttuneet vuoden 2015 jälkeen. Ainoastaan biokaasulaitoksen reaktorin lämmitys on tullut lisäksi entiseen lämpöenergian kulutukseen. Vuonna 2018 käyttöön otettu biokaasulaitos ei ole tuottanut tarkastelujakson aikana yhtään kokonaista vuotta lämpöenergiaa muutostöiden ja erilaisten säätöjen hakiessa vielä optimaalisia toimintoja, joten biokaasulaitoksen lämpöenergian tarve perustuu tarkastelujakson jälkeen vuosien 2019-20 biokaasun tuotantomääriin sekä lämpöenergian riittävyyteen käytännössä ja teoreettiseen biokaasulaitoksen tuottoon.

Taulukko 11. Case-tilan biokaasulaitoksen lämmitysenergian kulutus laskennallisesti MWh/v.

Syötteen lämmitysenergia			
	Arvo	Yksikkö	Lyhenne/kaava
Syötteen tuoremassa	5550	t/v	m
Syötteen TS-pitoisuus	9,8 %	%	Cka
Syötteen lämpötila	25		Tsyöte
Reaktorin lämpötila	37		Tr
Syötteen lämmitysenergia	77465	kWh/v	$Esyöte=(4,19-0,0275*Cka)/3,6*m*(Tr-Tsyöte)$
Syötteen lämmitysenergia	212	kWh/vrk	
Syötteen lämmitysenergia	77	MWh/v	

Kaasun tuotanto on ollut talvella 2020-21 n. $9,4 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{tunti}$ ja metaanipitoisuus (CH_4) on ollut 64 %, joka laskennallisesti, otettaessa huomioon syötteen laatu ja määrä sekä reaktorin koko, on lähes sama (Taulukko 12. ja 13.). Ympäri vuoden käytännössä olevia määriä ei ole vielä tiedossa, koska laitoksessa etsitään optimaalisia arvoja lämmitykseen, viipymään ja sekoittamiseen ja siitä syystä metaanintuotantomäärät vaihtelevat. Teoreettinen reaktorin metaanintuotanto olisi 893 MWh/v ja siihen lisättyä jälkikaasualtaan metaanintuotto, niin yhteensä tuotto olisi 1003 MWh/v .

Taulukko 12. Case-tilan biokaasulaitoksen reaktorin teoreettinen CH_4 -tuotanto/v MWh/v .

	Arvo	Yksikkö
CH4 -tuotto	0,45	$\text{m}^3\text{CH}_4/\text{vrk}/\text{m}^3\text{reaktori}$
Reaktorin lämpötila	37	$^\circ\text{C}$
BMP	0,256	$(\text{m}^3\text{CH}_4/\text{kg VS}/1000$
OLR	2,22	$\text{kgvs}/(\text{m}^3\text{vrk})$
HRT	36	
Syötteen VS-pitoisuus	122	kg/m^3
Kineettinen parametri	3,19	
Mikrobien max.kasvunopeu	0,352	
CH4-tuotto per vrk	244,75	$\text{m}^3\text{CH}_4/\text{vrk}$
CH4-tuotto per v	89334	$\text{m}^3\text{CH}_4/\text{v}$
Energiasisältö	893	MWh/v
BMP-toteuma	79	$\% \text{ BMP:sta}$

Taulukko 13. Case-tilan koko biokaasulaitoksen energiantuotto MWh/v .

BMP-toteuma R+JKA	83	$\% \text{ BMP:sta}$
R+JKA energiasisältö	1003	MWh/v

5 Energiankäytön tehostamistoimenpiteitä

Kokonaisenergiankulutuksen pienentämisen yksi perusedellytyksiä on biokaasulaitoksen saattaminen mitoitukseltaan tehokkaimpaan mahdolliseen metaanin tuotantoon. Tällä hetkellä biokaasulaitokselle etsitään sopivia säätöjä eri vuodenaikoihin ja kulutukseen sopiviksi. Lämpöenergian kulutukselle kesäkaudella on etsittävä käyttökohteita. Sähköenergian tuottaminen ja ylimääräisen metaanin jalostaminen liikennebiokaasuksi muuttaisivat energiankäyttöä case-tilalla kohti omavaraisuutta.

5.1 Lämpöenergian käytön tehostamisen mahdollisuuksia

Biokaasulaitos tuottaa lämpöä myös kesäaikana, jolloin lämpöenergialle pitäisi löytää käyttökohteita tai sitä pitäisi pystyä varastoimaan. Tällä hetkellä lämpöä varastoidaan lämminvesivaraajiin, joita on viisi 1000-litraista ja yksi 5000-litrainen, mutta kestäisin ylimääräinen lämpö annetaan mennä hukkaan, kun muuta varastointi mahdollisuutta ei ole. Varastointi lienee tulevaisuudessa olevan mahdollista esimerkiksi hiekkään varastoimalla, mutta se vaatii uusia investointeja runsaasti, kun tilakeskuksen lähellä ei ole luonnostaan hiekkaa, vaan hiekka on tuotava vähintään 6 km päästä ja lisäksi rakennettava sille eristetty rakennus (Yle Uutiset 2020). Ylimääräiselle lämpöenergialle on suunniteltava ja toteutettava lisäkäyttöä uusilla toiminnoilla.

Tilalla on suunniteltu vanhan AIV-rehutornin muuttamista olkien ja heinien kuivuriksi. Tällä hetkellä rehutorni on täysin käyttämättömänä. Rehutorni on kaksi metriä navetan lattiasta maan alla, joten pohjalle rakennetaan ritilälattia noin kolmen metrin korkeuteen ja lämminilmapuhaltimilla johdetaan lämmintä ilmaa ritilän päällä oleville oljille ja heinille. Kuivaheinän korjuu onnistuu tilalla normaalin viljelyn mukaisesti, mutta olkien korjuuta kuivana heikentää tuoreviljasäilöntä-menetelmä. Tällä menetelmällä korjattu vilja ei ole tuleentunutta, vaan se korjataan aiemmin, jolloin olki jää usein vihreäköksi ja märäksi. Kuivikkeena kuitenkin tarvitaan olkia, joten niiden kuivaaminen olisi erittäin hyvä asia.

Lisäksi lämpöenergian säästämiseksi talviaikana on suunniteltu konehallien suurten ovien vaihtamista uusiin, paremmin eristettyihin ja sulkeutuviin oviin.

5.2 Sähköenergian käytön tehostamisen mahdollisuuksia

Sähköenergiankulutukseen voisi vaikuttaa vaihtamalla loput 36 kpl loisteputkia navetasta ja konehalleista led-valaisimiin ja tämä vaihto onkin jo käynnissä eli aina entisen loisteputken tullessa tiensä päähän, vaihdetaan tilalle led-valaisin. Case-tilan sähkönkulutus on kohtuullisen pieni jo ennestään, joten suuria tehostamisideoita ei opinäytetyön teon yhteydessä noussut esille.

5.3 Liikennepolttoaineen käytön vähentämisen mahdollisuuksia

Liikennepolttoaineen kulutuksen säästöjä kehitetään jatkuvasti ja etsitään turhia kulutuksia. Koska maatilan liikennepolttoaine kuluu pääosin rehuntuotantoon, kehitetään viljelyä tehokkaammaksi koneketjuja muuttamalla ja maanmuokkausmenetelmiä muuttamalla maalajeittain mahdollisimman kevyiksi. Tilusjärjestelyjä on tällä hetkellä mahdotonta muuttaa, koska tilakeskuksen lähellä ei ole enempää peltoja tilan käyttöön.

Joulukuussa 2020 tilalle hankittiin uusi ajettava apevaunu, jolla saadaan seosrehu tehtyä karjalle yhdellä koneella kolmen sijasta ja huomattavasti lyhyemmässä ajassa (Kuvio 12.). Aikaisemmin appeenteko kesti keskimäärin yhden tunnin ja työssä tarvittiin kaksi Lännen kaivuria sekä apevaunua vetävä traktori, jolloin liikennepolttoaineella tuotetun energian kulutus oli yhteensä 83 038 kWh/vuosi (Taulukko 13.).



Kuvio 12. Case-tilan uusi itsekulkeva- ja lastaava seosrehuvaunu.

Taulukko 14. Appeenteko traktorivetoiseen apevaunuun case-tilalla kWh/v.

Appeenteko	l/tunti	käyttöaika t/vrk	kulutus l/v	energian kulutus kWh/v
Lännen kaivuri rehuleikkuri	12	0,5	2190	21900
Lännen kaivuri kauha	12	0,25	1095	10950
Apevaunun traktori	11	1,25	5019	50188
Yhteensä			8304	83038

Itsekulkevalla ja -lastaavalla seosrehuvaunulla appeenteko kuluttaa energiaa 28736 kWh/vuosi (Taulukko 15.), jolloin liikennepolttoaineen kulutusta saadaan pienennettyä 5430 litraa/vuosi eli energiana 54302 kWh/vuosi.

Taulukko 15. Itsekulkevalla apevaunulla appeenteon energiankulutus kWh/v.

Appeenteko uudella apevaunulla	käyttöaika t/vrk	kulutus l/vrk	kulutus l/v	energian kulutus kWh/v
Lypsylehmien ape	0,683	11	2742	27422
Nuoren karjan ape	0,18	2	131	1314
Yhteensä		13	2874	28736

Lisäksi apevaunu on tarkoitus muuttaa liikennebiokaasulla toimivaksi, kun biokaasulaitos saadaan tuottamaan metaania täydellä teholla ja investoidaan metaanin pesu- ja paineistusyksikkö.

Kesällä 2020 otettiin käyttöön vankkurimallinen nosturilla varustettu peräkärri, jolla voidaan lannoitteenlevittimen kanssa kuljettaa ostolannoitteet kauempana sijaitseville vuokrapelloille yhdellä veturilla, jonka hydrauliiikasta saadaan energia nosturille (Kuvio14.).



Kuvio 13. Case-tilan vankkuriperäkärryn ja lannoitteenlevittimen yhteiskuljetus.

Tilakeskuksen ulkopuolella olevien omien sekä vuokrapeltojen viljelyssä on haasteellista organisoida työkoneiden kuljetus siten, ettei turhaa ajoa siirtoihin tarvita ja tähän etsitään ratkaisuja koko ajan kehittämällä koneita siten, että yhdellä traktorilla saataisiin useampia työkoneita työntekokohteeseen. Useamman koneen kuljettaminen on haasteellista, koska nostolaitesovitteisia työkoneita on enää hyvin vähän tilalla käytössä, jolloin työkone nostolaitteissa ja toinen kone vetokoukussa -kuljetus soveltuu vain lannoitteenlevityskoneen ja kasvinsuojeluruiskun kuljetusten yhteyteen. Kaikki muut koneet täytyy modifioida siten, että vankemman työkoneen perään lisätään vetokoukku, jonka perään voidaan kiinnittää toinen vetokoukkukiinnitteinen työkone tai peräkärri. Toinen vaihtoehto on kuljettaa yhdellä traktorilla lavetilla työkoneet, mutta lastaaminen ja purkaminen heikentää työsaavutusta. Siirryttäessä kevyempään muokkaukseen tarvitaan usein sekä äes että lautasmuokkain pellon muokkaukseen kylvöä varten. Esimerkiksi Sivakkajoella oleville vuokrapelloille tarvitaan molemmat, koska osa lohkoista voidaan muokata pelkästään äkeellä ja osa pelkästään lautasmuokkaimella ja osalle lohkoista tarvitaan molemmat muokkaustavat, jos

lohkoa ei ole syksyllä kynnetty. Kahden työkoneen kuljettaminen yhdellä traktorilla säästäisi yhden 36 km matkan ajamisen kahteen kertaan Sivakkajoen eli energiana n. 240 kWh. Samanlainen tilanne on myös Nuolijärvellä ja Jyrkänkoscilla, joten yhteensä laskettu vuosittainen säästö olisi 700 kWh/vuosi mikäli äes ja lautasmuokkain kulkisi matkat samalla traktorilla (Taulukko 16.).

Taulukko 16. Kahden työkoneen siirto samalla traktorilla kWh/v.

Työkoneiden siirrot					
	kulutus l/v	matka km	aikaa t	l/v	kWh/v
Sivakkajoki	14	72	2	28	280
Jyrkänkoski	14	64	2	28	280
Nuolijärvi	14	24	1	14	140
		160	5	70	700

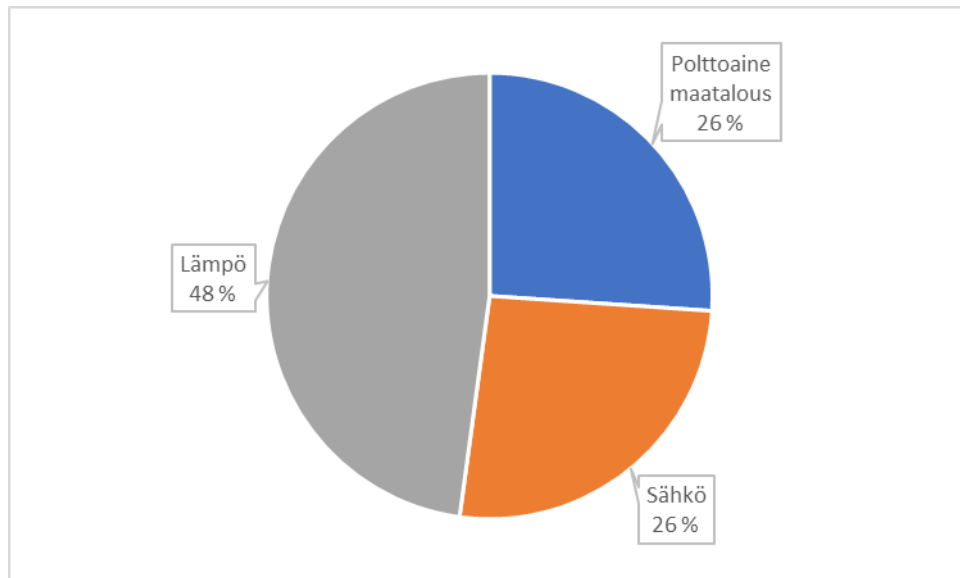
5.4 Kokonaisenergiankulutuksen muutos

Lämpöenergian käyttäminen olkien kuivauksessa on vaikea laskea ennakkoon, etenkin kun ei tiedetä kuivauksen toimivuutta eikä kuivauksen tarpeen määrää, joten sitä ei ole otettu huomioon kokonaisenergiankulutuksen muutosta laskettaessa. Taulukossa 17. ja kuviossa 12. on laskettu liikennepolttoaineen energian muutos suhteessa kokonaisenergiankulutukseen sekä lämpö- ja sähköenergiaan. Oletuksena on, että kaikki muu pysyy ennallaan ja vain liikennepolttoaineen energiaa on saatu tehostamistoimenpiteillä pienennettyä apevaunun uusimisen ja työkoneiden yhteiskuljetusten johdosta. (Taulukko 17. ja kuvio 12.).

Taulukko 17. Case-tilan kokonaisenergiankulutuksen muutos uudistusten jälkeen kWh/v.

kWh	Ennen tehostamista	Tehostamisen jälkeen
Polttoaine yhteensä	299136	244135
Polttoaine maatalous	150892	95891
Polttoaine urakointi	32400	32400
Polttoaine investoinnit	115844	115844
Sähkö	95997	95997
Lämpö	176000	176000
Yhteensä	571133	516132
Yhteensä (vain maatal. pö)	422889	367888

Kokonaisenergian kulutus on vähentynyt 55 MWh/v ja säästö on tullut maatalouteen käytetyn liikennepolttoaineiden energian säästöstä. Case-tilan kokonaisenergia jakaantuu muutosten jälkeen lämpöenergia 48 %, sähköenergia 26 % ja maatalouden liikennepolttoaineiden energia 26 % (Kuvio 14.).



Kuvio 14. Case-tilan kokonaisenergiankulutuksen jakaantuminen uudistusten jälkeen %.

Pelkästään uuden apevaunun ja yhdellä traktorilla kuljetetun kahden työkoneen kuljetusten energiansäästö, huomioon ottaen kokonaisenergiankulutus, pieneni yhteensä 55 MWh. Kokonaisenergiankulutus suhteessa lypsylehmään laski 2896 kWh/lypsylehmä lukuun 2628 kWh/lypsylehmä ja kokonaisenergiankulutus suhteessa tuotettuun maitokilogrammaan laski 0,35 kWh/tuotettu maitokilogrammasta 0,31 kWh/tuotettu maitokilogramma.

6 Case-tilan energiaomavaraisuus

Energiaomavaraisuudella tarkoitetaan, että maatila tuottaa yhtä paljon energiaa kuin kuluttaa. Omavaraisuus voidaan saavuttaa myymällä tuotettua energiaa sama määrä kuin ostetaan. Ylimääräinen energia, jolle siinä muodossa ei ole tilalla käyttöä myydään ja sitä vastaava määrä toisenlaista energiaa voidaan ostaa. Omavaraisuuden

saavuttaminen on haasteellista, koska eri vuoden ja vuorokauden aikoina kulutus on eri energiamuodoissa erilaista.

Biokaasulaitoksen mitoituksessa on otettu huomioon jo rakentamisen yhteydessä mahdollisuus tuottaa myös sähköä sekä liikennebiokaasua. Sähkögeneraattori on tilalle jo hankittu, mutta se ei ole vielä käytössä ja liikennebiokaasun tuottaminen vaatii lisäinvestointeja eli metaanin pesu- ja paineistuslaitteiston, jonka kustannusarvio on n. 250 000 € tähän biokaasulaitukseen.

Energiaomavaraisuuden laskeminen tässä opinnäytetyössä perustuu mittauslaitteiden puuttumisen takia vain teoreettisiin laskelmiin. Energiaomavaraisuuden tarkassa laskemisessa tulisi saada tarkka tieto mittauksilla energian huippukuormista vuorokaudessa, viikossa ja kuukaudessa vuoden ajalta. Varsinkin maitotiloilla sähköenergian kulutuksessa on suuria eroja eri vuorokauden ja vuodenaikoina. Esimerkiksi lypsyrobottien pesun ajankohta ja valaistuksen tarve nostaa sähköenergiankulutusta hetkellisesti. Samoin lietelannan slalom-järjestelmän käyttö eli lietteen sekoitus ja pumppaus kuluttavat hetkellisesti sähköä enemmän. Sähköenergian tuotannon tulisi riittää siis myös näihin huippukuormiin. Tilakeskuksen ja vuokrapeltojen sijainnin takia tällä tilalla tullaan tarvitsemaan liikennepolttoaineita niin kauan kunnes traktoreiden teknologia kehittyy, että voidaan käyttää liikennebiokaasua polttoöljyn sijasta. Tällä hetkellä traktorin käyttöaika yhdellä biokaasun tankkauksella on maksimissaan tunti ja tämä ei tulisi olemaan kustannustehokasta vuokrapeltojen kaukaisen sijainnin takia.

Tilan biokaasulaitos tällä hetkellä käytetyillä syötteillä ja prosessin hoidolla eli sekoituksella ja lämmityksellä, tuottaa maksimissaan 633 MWh vuodessa energiaa ja kulutus on investointien jatkuessa 571 MWh vuodessa. Kulutuksessa on otettu huomioon biokaasulaitoksen kuluttama lämpö- sekä sähköenergia 40 MWh/v. Biokaasulaitoksen tuottoa voidaan nostaa lisäämällä pelkän naudon lietelannan lisäksi prosessiin säilörehua sekä kuivikelantaa ja maksimimäärin näitä syötteeseen lisäämällä voidaan biokaasulaitoksen vuosittainen tuotto nostaa yhteensä 1003 MWh. Luken Maaningan biokaasulaitoksen mitatut hyötysuhteet ovat olleet 87 % kokonaishyötysuhde, josta lämpöenergian hyötysuhde 55 % ja sähköenergian 32 %, joita käytettäessä laskennassa saadaan maksimaaliseksi energiantuotannoksi 873 MWh/v, josta lämpöenergian osuudeksi 480 MWh ja sähköenergian 279 MWh (Winqvist, Luostarinen, Kässi,

Pyykkönen ja Regina 2015. 9). Maatila kuluttaisi lämpöenergiaa 213 MWh/v, kun otetaan huomioon biokaasulaitoksen suuremman syötemäärän lämmittäminen. Tästä 32 % olisi sähköenergiaa eli 96 MWh/v ja 55 % lämpöenergiaa eli 213 MWh/v. Myytäväksi tai muuhun käyttöön jäisi 564 MWh/v, josta lämpöenergiaa 267 MWh/v ja sähköenergiaa 183 MWh/v. (Taulukko 18.)

Taulukko 18. Case-tilan biokaasulaitoksen energiantuotantopotentiaali MWh/v.

Energiamuoto	Hyötysuhde	Biokaasulaitoksen maks. tuotto MWh/v	Tuotto - häviö MWh/v	Maatila kuluttaa MWh/v	Erotus MWh/v
kok.hyötysuhde	87 %	1003	873	309	564
sähkö	32 %		279	96	183
lämpö	55 %		480	213	267

Maatilan liikennepolttoainekulutus on 299 MWh/v sisältäen sekä investoinnit että urakoinnin ja maatalouteen käytetyn energian. Biokaasulaitos maksimiteholla voi tuottaa ylimääräistä energiaa 564 MWh/v, joten maatila voisi olla omavarainen energian suhteen, kun lasketaan pelkkä teho huomioon ottaen. Kuitenkin ylimääräisen lämmön osuus on 267 MWh/v, jonka hyödyntäminen liikennebiokaasuksi on liki olematonta metaanin jalostuksen yhteydessä. Ainoastaan vesipesutekniikalla jalostettaessa ylimääräistä lämpöä voidaan käyttää prosessiveden lämmittämiseen. Tuotetun ylimääräisen biokaasun jalostaminen vesipesutekniikalla liikennebiokaasuksi kuluttaa 82 MWh/v sähköä, joten pelkän sähköenergian ylijäämän huomioimalla saadaan ylijäämäksi 101 MWh/v (Taulukko 19.) (Winqvist & kumpp. 2015, 22).

Taulukko 19. Biokaasun puhdistamiseen käytetty sähköenergia MWh/v.

Biokaasun puhdistuksen sähkönkulutus:			puhdistus kWh
puhdistus biometaaniksi	0,8	kWh/Nm ³ CH ₄	71467
biometaanin paineistus (200 bar)	0,12	kWh/Nm ³ CH ₄	10720
Yhteensä sähkönkulutus jalostuksessa			82187
Metaanin tuotto	89334	m ³ CH ₄ /v	
Yht. sähkönkulutus jalostus	82	MWh/v	
Sähköenergian ylijäämä	183	MWh/v	
Jalostuksen jälk. sähkön ylijäämä	101	MWh/v	

Maatilalle jää ostettavaksi 97 MWh/v liikennepolttoaineilla tuotettavaa energiaa. Jäljestyksen jälkeen olevan metaanin energiasisällön ollessa 101 000 kWh, on biokaasun määrä 10 100 m³CH₄, joka on 10 100 l öljyä. Näin laskettuna case-tila olisi energiaomavarainen maatalouteen kuuluvan liikennepolttoaine-, lämpö- ja sähköenergian suhteen (Taulukko 20. ja 21.).

Taulukko 20. Case-tilan maatalouden liikennepolttoaineiden energian tarve kWh/v.

Polttoaine maatalous	150892	kWh/v
Entinen apevaunu	83038	kWh/v
Erotus	67855	kWh/v
Uusi apevaunu	28736	kWh/v
Polttoaine maatalous	96591	kWh/v

Taulukko 21. Case-tilan kokonaisenergiankulutus omavaraisuudessa kWh/v.

kWh	Ennen tehostamista	Tehostamisen jälkeen	Omavaraisuus
Polttoaine yhteensä	299136	244135	143104
Polttoaine maatalous	150892	95891	-5140
Polttoaine urakointi	32400	32400	32400
Polttoaine investoinnit	115844	115844	115844
Sähkö	95997	95997	-101034
Lämpö	176000	176000	-266906
Yhteensä	571133	516132	-224835
Yhteensä (vain maatal. pö)	422889	367888	-373079

7 Työn luotettavuus ja loppupohdinta

Sähkö- ja liikennepolttoaineiden energiat ovat todellisia ja valideja, koska ne perustuvat laskutuksen ja kirjanpidon tietoihin. Liikennepolttoaineiden energian jakaminen maatalouteen, investointeihin ja urakointiin perustuu haastatteluihin ja vuosien varrella tehtyihin satunnaisiin kulutuksen mittauksiin. Investointeihin kuuluva liikennepolttoaineiden energian määrä perustuu investointitukien maksatushakemuksiin ja niissä oleviin työkoneiden käyttömääriin sekä polttoaineen kulutus arvioon. Lämpöenergian kulutus perustuu haastatteluun ja arvioon. Arvioon perustuvia lukuja ja niiden paikkansapitävyyttä kannattaa tarkastella ja pohtia tarkemmin.

Reliabiliteettia tässä työssä tarkasteltiin vertaillen eri lähteissä mainittuja energiankulutusarvoja muihin vastaaviin maataloihin (Taulukko 22.). Vuorentolan pro gradu -työssä tarkasteltiin Viikin koetilan sähkönkulutusta eri toimenpiteisiin tilalla ja sähkön kokonaiskulutus 99 MWh/v ja se suhteutettuna tuotettuun maitomäärään saatiin 0,18 kWh/tuotettu maitokilogramma sekä lypsylehmien määrään saatiin kulutukseksi 1692 kWh/lypsylehmä (Vuorentola 2012, 9). Posion pro gradu -työssä tarkasteltiin taas eri maiden, Pohjoismaat ja Hollanti, kokonaisenergian käyttöä maataloilla kirjallisuuskatsauksena ja tulokseksi saatiin 5134 kWh/lehmä/v ja sähköenergian käytöksi 1819 kWh/lypsylehmä (Posio, 2010. 74). Työ perustui kyselytutkimukseen, jonka tekijöinä olivat Työteho-seura, Jyväskylän yliopisto ja maa- ja metsätalousministeriön hanke Biokaasu maataloudessa.

Kannonlahti on tehnyt selvitystyön Etelä-Pohjanmaan alueelle biokaasun hyödyntämisen taloudellisuudesta, jossa hän on käyttänyt alueen keskivertomaatilan energiankulutuslukuja. Tämän opinnäytetyön kannalta olennaisinta on hänen työssään energian kulutus 2900 kWh/lypsylehmä/v, kokonaisenergian suhde tuotettuihin maitokiloihin, 0,35 kWh/tuotettu maitokilogramma sekä kokonaisenergian jakautuminen sähköenergiaan 23 %, lämpöenergiaan 45 % ja liikennepolttoaineiden energiaan 33 % (Kannonlahti, 2020. 19).

Ahokas on tutkinut maatalojen energiatehokkuutta todella paljon ja vertaillaessaan Viiron ja Suomen maatalojen energiankulutuksia hän on saanut keskimääräiseksi kokonaisenergian kulutukseksi 0,1-0,3 kWh/tuotettu maitokilogramma sekä sähkönkulutukseksi 0,4 kWh/tuotettu maitokilogramma (Ahokas 2013, 26).

Maataloustieteen päivillä on esitelty maatalojen energiasuunnitelmien tunnuslukujen yhteenvedossa Suomessa maataloilla olevan kokonaisenergian kulutuksen keskimäärin 0,28 kWh/tuotettu maitokilogramma ja 2560 kWh/eläinpaikka (Kari 2018, 10). Eläinpaikkakohtaista kulutusta ei kuitenkaan voi ottaa tähän vertailuun, koska esityksessä ei kerrota tarkemmin onko luku lypsylehmää vai eläinpaikkaa kohti. Jos noudatetaan eläinpaikkaa kohti olevaa lukua, tulee eroavuus liian suureksi muiden vastaavien lukujen kanssa. Siksi tästä opinnäytetyöstä tämä tunnusluku jätettiin pois.

Rantala on julkaisussaan kertonut sähkönkulutuksen 130 lypsylehmäpaikkaisessa pihatossa olevan 195 MWh/v, josta laskettuna saadaan sähkönkulutukseksi 0,18 kWh/tuotettu maitokilogramma ja 1500 kWh/lypsylehmä (Rantala 2014, 1).

Kujala on tutkinut Mustialan opetusmaatilán energiankulutusta opinnäytetyössään ja saanut kokonaisenergian kulutukseksi 3,05 kWh/tuotettu maitokilogramma ja sähköenergian kulutukseksi 0,64 kWh/tuotettu maitokilogramma. Sähköenergian osuus kokonaisenergian kulutuksesta on 21 %, liikennepolttoaineiden energian kulutus 10 % ja lämpöenergian kulutus 69 %. (Kujala 2011, 32.)

Sohlo on kirjoittanut julkaisun YmpäristöAgro II-hankkeelle, jossa hän kirjoittaa maataloudessa kulutetun energian jakautuvan keskimäärin 20-30 % sähköenergiaan, 9-25 % liikennepolttoaineiden energiaan ja 44-56 % lämpöenergiaan (Sohlo 2013, 5). Vaihteluvälien suuruus vahvistaa päätelmän, että maatalojen energiankulutukset ovat hyvin erilaiset.

Yläneellä olevalle 130 lypsylehmän maatilalle on ProAgria tehnyt energiasuunnitelman, jonka luvut ovat tämän opinnäytetyön case-tilan kokonaisenergiankulutuslukuja kaikkein lähinnä (ProAgria 2020). Kokonaisenergiankulutus lypsylehmää kohden on liki sama molemmilla tiloilla, mutta tuotettua maitokilogrammaa kohden on eroa vuotta 0,07 kWh/tuotettu maitokilogramma. Tämä selittyy case-tilan heikommalla keskituotoksella eli se on case-tilalla 8571 kg/lehmä ja Yläneellä Kavanderin tilalla 10 250 kg/v. Sähköenergian kulutus on molemmilla tiloilla sama eli 0,08 kWh/tuotettu maitokilogramma. Kokonaisenergian kulutuksen jakautuminen eri energiamuotoihin eroaa kaikkein eniten liikennepolttoaineiden ja lämpöenergian kulutuksessa. Case-tilalla liikennepolttoaineiden energiankulutus kokonaisenergiankulutuksesta on 25 % pienempi ja lämpöenergian kulutus 38 % enemmän kuin Kavanderin vertailutilan. Syynä tähän on osittain tilojen erilaiset toiminnot eli esimerkiksi case-tilalla lämmitetään biokaasulaitosta ja tila sijaitsee huomattavasti pohjoisempana.

Taulukko 22. Energiatehokkuuden tunnuslukuja eri tutkimuksista.

	kokonais energian kulutus MWh/v	energian kulutus kWh/leh mä/v	kok.energia kWh/maito kg	Sähkön käyttö MWh/v	sähkö kok.energian kulutuksesta %	Sähkö kWh/mai tokg	Sähkö kWh/lyp sylehmä	mpö kok.ener- giansuku- luksesta %	lämpö kok.energian kulutuksesta %
Vuorentola, A.-P.				99		0,18	1691		
Posio, M.		5134					1819		
Välitalo, ennen tehostamista	423	2896	0,35	96	23 %	0,08	658	36 %	42 %
Kannonlahti, J.	229	2900	0,35	50	22 %			33 %	45 %
Ahokas, J.			0,1-0,3			0,4			
ProAgria			0,28						
TTS, Rantala						0,18	1500		
Sohlo, Ymp.Agro-hanke					20-30%			9-25%	44-56%
Mustiala, Kujala	1944		3,05	410	21 %	0,64		10 %	69 %
Energiasuunnitelmat									
Kavander Ville, Yläne	378	2908	0,28	101	27 %	0,08	777	51 %	10 %
Välitalo, tehostamisen jälkeen	368	2628	0,31	96	26 %	0,08	686	26 %	48 %

Näin ollen voimme todeta, että reliabiliteetti toteutuu, kun vertailukelpoinen maatila energiankulutukseen löytyy, mutta samalla tämä vahvistaa sen, etteivät maatilat ole samanlaisia toiminnoiltaan. Ainoa oikea keino verrata maatiloja energiankulutuksen suhteen on wattitunnit. Euromääräisiä vertailuja on turha tehdä, koska jokaisella tilalla on erilaiset sopimukset energiantuottajien kanssa, jolloin maatilat eivät ole energiankulutuksen suhteen vertailukelpoisia ja euromääräisinä vertailukelpoiset tiedot vanhenevat nopeasti. Tilojen välistä vertailua helpottaa kulutetut energian wattitunnit suhteutettuna tuotantoon eli esimerkiksi kWh/lypsylehmä tai kWh/tuotettu maitokilogramma.

7.1 Tulosten hyödynnettävyys

Tämän opinnäytetyön seurauksena voi muutkin maatalousyrittäjät kiinnostua ilmaston hyväksi tehtävästä työstä etenkin biokaasulaitos-muodossa, koska vaikutukset ovat hyvin monitahoiset. Maatila voi olla energiantuottaja pelkän kuluttajan sijasta. Lämmön- ja sähköntuotanto, uusi liiketoiminta eli liikennebiokaasuntuotanto, rejektin eli lopputuotteen paremmat lannoiteominaisuudet pelloille sekä rikkakasvien siementen väheneminen biokaasuprosessissa luo mahdollisuudet uusille tulovirroille ja säästöt lannoite- ja kasvinsuojeluaineiden hankinnassa. Energiantuottajana maatilalla on mahdollista olla omavarainen energian suhteen ja tämän mahdollistaa biokaasulaitos tällä case-tilalla.

Tämän opinnäytetyön tuloksia tullaan hyödyntämään tällä tutkittavalla maatilalla. Case-maatilalla tullaan jatkossa tarkastelemaan eri työvaiheita erikseen ja etsimään keinoja pienentää liikennepolttoaineen kulutusta. Koneketjujen uudelleen mietintä ja peltoviljelyssä käytettävät kevyemmät muokkauskeinot lienevät suurimmat mahdollisuudet saada liikennepolttoaineen kulutusta pienemmäksi. Sähkön kulutuksesta lienee tällä tilalla vaikea karsia mitään pois kulutuksen ollessa huomattavan alhainen verrattuna muihin vastaaviin tiloihin. Toki sähköenergian kulutuksen jatkuva seuranta on käytössä ja esimerkiksi rakennusten valaistuksessa on vielä mahdollista löytää sähköenergian säästömahdollisuuksia. Biokaasulaitoksen tehokkaampi hyödyntäminen otetaan tarkasteluun ja laitoksen vakiinnuttua ja automatiikan hoitaessa laitoksen, voidaan keskittyä suurempaan metaanintuottoon ja sen käytön laajentamiseen sähkön ja liikennebiokaasun tuotantoon. Tällä hetkellä biokaasulaitoksessa testataan ja etsitään oikeita säätöjä niin sekoitukseen kuin lämmitykseenkin optimaalisen energiantuotannon aikaan saamiseksi. Laskennallisesti voidaan arvioida, että jos biokaasulaitoksen energiantuotannon optimointi onnistuu tulevaisuudessa, voidaan case-tilalla saavuttaa omavaraisuus ja myytäväksi voisi jäädä ylimääräistä sähköenergiaa 101 MWh vuodessa.

Lähteet

Ahokas, J. (toim.). 2013. Energian käyttö ja seuranta maataloilla. Helsingin yliopisto, maatalous- ja metsätieteellinen tiedekunta. Viitattu 8.4.2019. <http://www.energia-akatemia.fi/attachments/article/49/Energian%20k%C3%A4ytt%C3%B6%20ja%20seuranta%20maataloilla.pdf>.

Ahokas, J. (toim.). 2013. Maatilojen energiankäyttö Enpos-hankkeen tulokset. University of Helsinki, Faculty of agriculture and forestry. Viitattu 3.2.2021. http://projects.centralbaltic.eu/images/files/result_pdf/ENPOS_result1_energy_saving_toolbox_FI.pdf.

Ahokas, J. n.d. Hankkeen tavoitteet ja tulokset. Maaseudun energia-akatemia. Helsingin yliopisto. Viitattu 6.2.2021. <https://docplayer.fi/5491530-Hankkeen-tavoitteet-ja-tulokset-maaseudun-energia-akatemia-jukka-ahokas-helsingin-yliopisto.html>.

Biokaasun tuotanto maatilalla. 2/2013. Motiva Oy. Viitattu 8.4.2019. http://www.motiva.fi/files/6958/Biokaasun_tuotanto_maatilalla.pdf.

Frorip, J., Kokin, E., Praks, J., Poikalainen, V., Ruus, A., Veermäe, I., Lepasalu, L., Schäfer, W., Mikkola, H. ja Ahokas, J. 2012. Energy consumption in animal production – case farm study. Viitattu 19.4.2021. https://www.researchgate.net/publication/256521473_Energy_consumption_in_animal_production_-_Case_farm_study.

Kannonlahti, J. 2020. Suupohjan Biokonsepti. Biokaasun hyödyntämisen taloudellinen merkitys. Vaasan yliopisto. Viitattu 7.4.2021. <https://vuoksi.fi/wp-content/uploads/2020/06/Biokaasun-hy%C3%B6dynt%C3%A4misen-taloudellinen-merkitys.pdf>.

Kari, M. 11.1.2018. Tunnuslukuja maatalan energiasuunnitelmien yhteenvedona. ProAgria Keskusten Liitto. Maataloustieteen päivät. Viitattu 4.2.2021. https://energiatehokkaasti.fi/sites/energiatehokkaasti/files/tunnuslukuja_maidontuotannosta_kari_maarit_maataloustieteen_paiva_2018.pdf.

Kataja, J. 22.11.2018. Energiatehokkuuden mittaaminen – käytännön työkaluja energiantuotannon ja -käytön arviointiin tilatasolla. Viitattu 8.4.2019. http://ravinne-jaenergia.fi/site/wp-content/uploads/2019/01/kataja_jyrki_Energiatehokkuuden_mittaminen_webinaari_22112018.pdf.

Ketonen, P. 9.3.2021. Päivitetty 11.3.2021. Uusiutuvan energian varastointiin kehitetään uusia konsteja – tamperelaisyritys tähtää maailmalle menetelmällä, jossa ylijäämänsähkön energia säilötään hiekkaan. Yle Uutiset, Uusiutuvat Energialähteet. Viitattu 13.4.2021. <https://yle.fi/uutiset/3-11818011>

Kujala, M. 2011. Maatilojen energiahallintamallit. Case: Mustialan opetusmaatilan energiatehokkuuden kehittäminen. Opinnäytetyö. Hämeenlinnan ammattikorkeakoulu, maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma. Viitattu 7.4.2021. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/30229/OPNT_Maatilan_energiatehokkuuden_kehittaminen.pdf?sequence=1.

Lehtonen, H., Saarnio, S., Rantala, J., Luostarinen, S., Maanavilja, L., Heikkinen, J., Soini, K., Aakkula, J., Jallinoja, M., Rasi, S., Niemi, J. 6.7.2020. Maatalouden ilmastotiekartta – Tiekartta kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen Suomen maataloudessa. Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliitto MTK ry. Helsinki. 98. Viitattu 12.1.2021. https://www.mtk.fi/documents/20143/310288/MTK_Maatalouden_ilmastotiekartta_net.pdf/4c06a97a-c683-1280-65ba-f4666132621f?t=1597055521915.

Luostarinen, S., Pyykkönen, V., Winqvist, E., Kässi, P., Grönroos, J., Manninen, K. & Rankinen, K. 2013. Maatilojen biokaasulaitokset, mahdollisuudet, kannattavuus ja ympäristövaikutukset. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 11/2016. Viitattu 8.4.2019. http://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/532222/luke-luobio_11_2016.pdf?sequence=1.

Maanmittauslaitos. 22.3.2021. Internet, www.paikkatietoikkuna.fi. Viitattu 9.4.2021. <https://kartta.paikkatietoikkuna.fi/?lang=fi>.

Posio, M. 10.5.2010. Kotieläintilojen energiankulutus. Pro gradu -työ. Helsingin maatalous - metsätieteellinen tiedekunta. Viitattu 5.4.2019. https://www.researchgate.net/publication/46887940_Kotielaintilojen_energiankulutus.

ProAgria. 2014. Viitattu 6.4.2021. <https://www.proagria.fi/sisalto/maatilan-energia-suunnitelma-2143>.

ProAgria. 2020. Viitattu 7.4.2021. https://www.proagria.fi/www/kampanjat/energia-suunnitelmalla_kustannusjahtiin/case6.shtml.

Rantala, T. 2014. Energiatehokkaita ratkaisuja maidontuotantoon. Maatila 2020-sivusto. Viitattu 5.2.2021. https://maatila2020.savonia.fi/images/energia/energiatehokkuus/tietokortit/Energiatehokkaita_ratkaisuja_maidontuotantoon.pdf.

RE-maatila. 2019. Viitattu 5.4.2019. <http://ravinnejaenergia.fi/fi/energiatehokkuuden-mittaaminen/>.

Rikkonen, P. (toim.). 2015. Maatalouden energia- ja ilmastopolitiikan suuntia vuoteen 2030, Hillintäkeinojen analyysi tilatason vaikutuksista ja keinojen hyväksyttävyydestä. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 35/2015. Viitattu 5.4.2019. <https://core.ac.uk/download/pdf/52253574.pdf>.

Sohlo, L. 2013. Uusiutuva energia maataloudessa. YmpäristöAgro II-hanke. Viitattu 7.2.2021. https://energiayrittajyys.fi/sites/peltopaiva/files/uusiutuvaa_energiaa_maataloudessa.pdf.

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2019. Energiatehokkuustyöryhmän raportti. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja. Energia. 2019:53. Viitattu 19.12.2020. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161811/TEM_53_2019_Energiatehokkuustyoryhman_raportti_WEB.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2020. Yhteenveto toimialojen vähähiilitiekartoista. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja. Energia. 2020:52. Viitattu 19.12.2020. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162494/TEM_2020_52.pdf

Vuorentola, A.-P. 2012. Energiankulutuksen mittaaminen Viikin koetilan navetasta. Pro gradu -työ. Helsingin yliopisto, maataloustieteiden laitos. Viitattu 7.4.2021. <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38700/Vuorentola%20Gradu.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Winqvist, E., Luostarinen, S., Kässi, P., Pyykkönen V., Regina, K. 2015. Maatilojen bio-kaasulaitosten kannattavuus ja kasvihuonekaasujen päästövähennys. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 36/2015. Luonnonvarakeskus, Helsinki. Viitattu 6.4.2021. <https://core.ac.uk/download/pdf/52253607.pdf>.