

Pekka Frantsi

AKUSTON MITOITUS BIOVOIMALAAN

**Opinnäytetyö
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Akkutekniikan muuntokoulutus
Helmikuu 2025**



Centria-ammattikorkeakoulu	Aika Helmikuu 2025	Tekijä/tekijät Pekka Frantsi
Koulutus Akkutekniikan muuntokoulutus		<input checked="" type="checkbox"/> AMK <input type="checkbox"/> YAMK
Työn nimi AKUSTON MITOITUS BIOVOIMALAAN.		
Työn ohjaaja Einar Nystedt		Sivumäärä 33
Työelämäohjaaja Fabian Sander		
<p>Tämä opinnäytetyö tehtiin osaksi Centria-ammattikorkeakoulun CoPower-hanketta. Centria on mukana monikansallisessa hankkeessa, jossa tutkittiin akustoilla toteutettujen energiavarastojen soveltuvuutta suuremmille sähkökäyttäjille, joilla on myös omaa energiantuotantoa.</p> <p>Työssä selvitettiin Sykäräisissä sijaitsevan maitotilan sähkökäytön nykytilaa ja siihen yhteyteen sijoitetun akuston taloudellisia vaikutuksia. Tilalla on omalla generaattorilla toteutettua energiantuotantoa. Energianlähteenä tilalla on itse tuotettu polttokelpoinen kaasu, joka toimii moottorin polttoaineena. Keskimääräinen itse tuotettu sähköteho on 70 kW ja energian varastoinnin tarkoituksena oli rajoittaa huipputehoja syöttämällä osa tarvittavasta sähkötehosta kulutushuippujen aikana tilan sähköverkkoon akustosta.</p> <p>Työssä vertailtiin ja simuloitiin kahden erisuuruisen akuston vaikutuksia vuoden 2024 olemassa oleviin kulutustietoihin. Simuloinnin ja vertailun avulla työssä arviottiin mahdollisten investointien taloudellista kannattavuutta sekä takaisinmaksuaikoja. Työssä päädyttiin johtopäätökseen, että pienemmällä 30 kWh:n akustolla saadaan taloudellisesti kannattavampi lopputulos. Lopputuloksena työssä annettiin lisäksi kehitysehdotus tilan sähköenergian käytön tarkempaan analysoimiseen sekä älykkäiden ohjausjärjestelmien mahdollisuuksien selvittämiseen.</p>		
Asiasanat Akusto, akuston mitoitus, energiavarasto		

ABSTRACT

Centria University of Applied Sciences	Date February 2025	Author Pekka Frantsi
Degree programme Battery technology conversion training		
Name of thesis BATTERY SIZING FOR A BIOPOWER PLANT		
Centria supervisor Einar Nystedt	Pages 33	
Instructor representing commissioning institution or company Fabian Sander		
<p>This thesis work was conducted as part of the Centria University of Applied Sciences' CoPower project, which is involved in a multinational effort to evaluate the suitability of battery energy storage systems for large electricity users with their own energy production.</p> <p>The work examined the current state of the dairy farm's electricity use and the economical impacts of the battery placed in connection with it. The farm has energy production carried out with its own generator. The energy source on the farm is self-produced combustible gas, which serves as fuel for the engine. The average self-generated electrical power is 70 kW, and the purpose of energy storage was to limit the peak power by supplying part of the required electrical power during peak consumption to the farm's power grid from the battery.</p> <p>The work compared and simulated the effects of two batteries of different sizes on the existing consumption data for 2024. Through simulation and comparison, the work assessed the financial profitability of possible investments as well as repayment periods. The work concluded that a smaller battery of 30 kWh would provide a more economically viable result. The result of the work was also a further development proposal for a more detailed analysis of the farm's use of electrical energy and for exploring the possibilities of intelligent control systems.</p>		
Key words Battery, energy storage, sizing battery		

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
SISÄLLYS

1 JOHDANTO.....	5
2 TUTKITTAVAN KOHTEEN KUVAUS	6
3 AKUSTOJEN KÄYTTÖ ENERGIAVARASTOINA.....	7
3.1 Huipputehon ja kuormituksen hallinta	7
3.2 Tehoreservi ja taajuuden säätö.....	8
3.3 Akuston integrointi omaan voimalaan.....	8
3.4 Akkutyypeistä.....	9
4 TUTKITTAVA KOHDE JA TUTKIMUSONGELMA	11
4.1 Lähtötilanteen selvittäminen.....	11
4.2 Lähtötietojen tarkentaminen	15
4.3 Tilan energiankäytön tarkempi analysointi	16
4.4 Akuston mitoitus.....	18
4.5 Kapasiteetin mitoitus.....	18
4.6 Akuston elinikä.....	20
5 AKUSTON MITOITTAMINEN TUTKITTAVAAN KOHTEESEEN	22
5.1 Laskentamallin laatiminen.....	22
5.2 Akuston vaikutuksen tutkiminen.....	23
5.3 Numeerinen tarkastelu.....	25
6 AKUSTON VALINNAN TALOUDELLINEN TARKASTELU.....	26
6.1 30 kWh akuston vaikutus.....	26
6.2 50 kWh akuston vaikutus.....	27
6.3 Hankintakustannukset	28
6.4 Akuston käyttökelpoisen eliniän arviointi.....	28
7 INVESTOINNIN TAKAISINMAKSUAJAN ARVIOINTI.....	30
8 JOHTOPÄÄTÖKSET	32
LÄHTEET	34

1 JOHDANTO

Tässä työssä tutkitaan omaa energiantuotantoa omaavan maitotilan sähköverkon yhteyteen lisättävän akuston vaikutuksia tilan energiatalouteen. Tarkoituksena on tutkia akustolla toteutetun energiavarastoinnin mahdollisuuksia sekä sen vaikutuksia ostettavan sähköenergian määrään. Työ toteutetaan osana CoPower-projektia, jossa Centria-ammattikorkeakoulu on osallisena. Työssä selvitetään Sykäräisissä sijaitsevan maitotilan omaa sähköenergian tuotantoa ja sen riittävyttä tilan tarpeisiin. Lähtötilanteena on, että vaikka tilalla on oma 70 kW:n sähkögeneraattori, joudutaan sähköä toistuvasti ostamaan ja toisaalta ylituotantoa myymään energiayhtiölle. Tilan kuukausittainen sähkölasku on suuruudeltaan noin 3000 € ja työssä pyritään selvittämään akuston avulla mahdollisesti saatavaa säästöä. Työn lopuksi pyritään arvioimaan kahden erisuuruisen energiavaraston avulla saavutettuja säästöjä sekä arvioimaan investointien taloudellista kannattavuutta ja takaisinmaksuaikaa.

Tutkimusongelman ymmärtämiseksi ja rajaamiseksi kohteeseen käytiin tutustumassa paikan päällä, jonka jälkeen tilan omistajaa haastateltiin myöhemmin myös puhelimitse. Tutkittavan kohteen energiankulutusta tutkittaessa kävi ilmi, että myöskään tilan omistajan alkuperäiset ajatukset energian käytöstä ja siihen liittyvistä haasteista eivät täysin pitäneet paikkaansa. Tilan todelliset kulutustiedot eivät tuke-neet omistajan käsitystä kulutushuippujen ajankohdista ja niiden syistä.

Energiavarastoinnin tarkoituksena on tilan huipputehon rajoittaminen akuston avulla. Tilalla on 70 kW omaa sähköntuotantoa, joka on keskimääräisesti riittävää, mutta huipputehojen aikana energiaa on jouduttu toistuvasti ostamaan. Matalamman tehontarpeen vallitessa olisi puolestaan mahdollista varata akustoa ja varautua näin tulevaan korkeampaan tehontarpeeseen. Tällä menetelmällä osa tarvittavasta huipputehosta saataisiin purettua akustosta ja vältyttäisiin energian ostamiselta ainakin osittain. Merkittävä osa työtä on tutustua tilan kulutusprofiiliin energiayhtiöltä saatujen kulutustietojen avulla. Käytössä on useiden kuukausien mittaustiedot 15 minuutin mittausyklein. Mittausdatan pohjalta luodaan Excel-laskentamalli, jolla erikokoisia akustoja simuloidaan ja niiden vaikutusta kulutustietoihin lasketaan. Laskentamallin avulla valitaan kaksi esimerkkikuukautta, joiden perusteella lasketaan ja arvioidaan kahden eri suuruisen akuston avulla saatuja säästöjä sekä lasketaan niiden investoinnin kannattavuutta.

2 TUTKITTAVAN KOHTEEN KUVAUS

Tässä työssä tutkitaan osana Centria-ammattikorkeakoulun CoPower-hanketta Ilpo Wennströmin maitotilan energiankulutusta ja pyrittiin optimoimaan ostettavan sähköenergian määrää. Tutkittavalla tilalla on omaa biokaasulla toteutettua sähköntuotantoa ja tilan oma energiantuotanto ei tällä hetkellä kohtaa tilan omaa energian tarvetta ajallisesti optimaalisesti. Nykytilanteessa energiaa tuotetaan välillä yli oman tarpeen pitkiäkin aikoja, kun toisaalta kulutushuippujen ja suurimman tehontarpeen aikoina energiaa joudutaan ostamaan. Tätä tilannetta pyrittiin parantamaan tilalle tulevan akustolla toteutetun energiavaraston avulla.

Tutkittavassa kohteessa vallitsevan tilanteen ja ratkaistavan ongelman ymmärtämiseksi tilalla vierailtiin 13.12.2024, jolloin tilaan tutustuttiin yleisesti. Lisäksi tutustuttiin sähköntuotannossa käytettäviin laitteistoihin sekä niiden toimintaan. Vierailun aikana haastateltiin tilan omistajaa paikan päällä paremman ymmärryksen saamiseksi ratkaistavasta ongelmasta sekä tilalla vallitsevasta tilanteesta energian kulutuksen kannalta. Käyttöön saatiin myös tilan energiayhtiön, Korpelan voima Oy:n, energiankulutuksen mittausdata aikaväliltä marraskuu 2023 – elokuu 2024. Käytössä oli kaksi Excel-muotoista tiedostoa, joista selvisi 15 minuutin mittausyhteisissä energian kulutus yhtiön laskutuksen näkökulmasta. Oleellinen informaatio, joka noista tiedoista ei kuitenkaan selvinnyt, oli tilan oman energiantuotannon toiminta ja tuotetun energian määrä samoina ajanhetkinä. Tilan oma sähköntuotanto tapahtuu Korpelan voiman energiamittauksen jälkeen tilan omassa sähköverkossa. Käytössä olevista tiedostoista saatiin tieto, oliko energiaa myyty vai oliko sitä ostettu ja kuinka paljon. Tieto siitä, että oliko tilan oma sähkögeneraattori toiminut samalla hetkellä normaalilla tehollaan, täytyi selvittää erikseen. Oletuksena kuitenkin oli, että tilan oma generaattori tuottaa sähköä tasaisesti 70 kW:n teholla jatkuvasti.

3 AKUSTOJEN KÄYTTÖ ENERGIAVARASTOINA

Akustojen avulla toteutetut energiavarastot yleistyvät. Yleistymiselle on useita syitä, kuten akkuteknologian kehittyminen, mutta myös tuulivoiman ja aurinkoenergian käytön lisääntyminen sähkön tuotannossa. Tuuli- ja aurinkoenergialla tuotetun päästöttömän energian määrä vaihtelee voimakkaasti ja usein tuotanto ja energian tarve eivät ajallisesti kohtaa toisiaan. Kun jakeluverkkoon on yhdistetty myös kuluttajan omia tuotantolaitoksia, kuten aurinkopaneeleita, biokaasu- tai tuulivoimaloita, niin tällöin muuttuu myös jakeluverkko aktiiviseksi verkon osaksi ja energiaa siirtyy verkossa molempiin suuntiin. Asiakkaan oman tuotannon ylittäessä kulutuksen energiaa siirretään asiakkaalta energiayhtiön verkkoon. (Šimić, Topić, Knežević & Pelin 2021.)

Sähköverkkoon kytkettyä akustoa voidaan hyödyntää seuraavilla tavoilla.

- Huipputehon ja kuormituksen hallinta
- Tehoreservi ja taajuuden säätö
- Uusiutuvan energian varastointi

(Šimić ym. 2021.)

3.1 Huipputehon ja kuormituksen hallinta

Kun akuston käytetään huipputehon hallintaan, sillä tarkoitetaan, että akusto pyritään varaamaan täyteen silloin kuin tehon tarve ja energian hinta ovat alhaisempia. Akustoon varattua energiaa puretaan kulutushuipun aikana, jolloin energian hinta on korkeimmillaan. Akustoon varatun energian avulla pyritään välttämään kalliimman energian ostamista sekä lisäkapasiteetin rakentamista ainoastaan kulutushuippujen takia. (Šimić ym. 2021). Yksittäisen kuluttajan on oikein mitoitettuna akuston avulla myös mahdollista tulla toimeen pienemmällä sähköliittymällä kuin huipputeho edellyttäisi, koska osa tarvittavasta tehosta puretaan omasta akustosta kulutushuipun aikana. Myös energiayhtiöt kannustavat teollisuusasiakkaitaan huipputehojen parempaan hallintaan ja mahdolliseen leikkaamiseen omien akustojen avulla. Usein teollisuusasiakkaiden energialaskuissa on parametri, joka liittyy käytettyihin huipputehoihin. Tällä parametrilla kannustetaan asiakasta omilla toimillaan rajoittamaan tarvittavaa lyhytaikaista huipputehoa omilla ratkaisullaan. Oikein mitoitettu akusto tuo näin säästöjä, koska osa tarvittavasta tehosta saadaan purettua omasta akustosta. (Tan, Babu, Ramachandaramurthy, Kasinathan, Solanki, & Raveendran 2021.)

Kuormituksen hallinta menetelmänä ei poikkea suuresti edellä mainitusta huipputehon hallinnasta. Kuormituksen hallinnalla tarkoitetaan sitä, että akuston avulla pyritään siirtämään suurempaa energiamäärää ajallisesti eteenpäin. Tässä menetelmässä varataan akustoon energiaa niinä tunteina, jolloin energian kulutus on pienempää kuin tuotanto ja energian hinta alhaisempi. Akustoon varattua energiaa käytetään tunteina, jolloin tuotannosta on pulaa ja energian hinta on korkea. Näin rajoitetaan kalliimman energian ostamista. Tässä tarkoituksessa akuston on oltava kapasiteetiltaan suurempi. (Šimić ym. 2021.)

3.2 Tehoreservi ja taajuuden säätö

Sähköverkon tulee olla kokoajan tasapainossa. Verkkoon tulee tuottaa jatkuvasti sama teho kuin verkossa on kulutusta. Jos sähköverkon kuormitus kasvaa, niin sinne on myös saatava nopeasti lisää tehoa, sillä muuten verkon taajuus lähtee laskemaan. Koska tämä tilanne on jatkuvasti muuttuva, sähköverkkoon tarvitaan myös säätövoimaa. Perinteisesti säätövoimana on käytetty vesivoimaa, mutta säätövoiman tarve on lisääntynyt. Lisääntyneitä säätövoiman tarvetta selittää uusituvan energian käytön lisääntyminen sähköntuotannossa, koska tuuli- ja aurinkovoiman saatavuus vaihtelee voimakkaasti. Säätövoiman lisäksi verkon taajuuden hallintaan tarvitaan nopeasti reagoivaa tehoreserviä ja tähän tarpeeseen akkuihin varastoitu energia sopii hyvin, koska energia on nopeasti käytettävissä. (Šimić ym. 2021.)

Yksittäisen kuluttajan akustolla voidaan osallistua taajuuden säätömarkkinoille, jolloin verkkoyhtiö tekee akuston haltijan kanssa sopimuksen, jossa sovitaan esimerkiksi, että verkon haltija saa käyttää 30% akuston kapasiteetista tarpeen vaatiessa taajuuden säätöön. Kun verkkoon on liitetty riittävä määrä yksittäisten kuluttajien akkuja yhdessä, niin niistä muodostuu energiayhtiölle nopeasti reagoiva taajuuden säätöön käytettävä tehoreservi. (Šimić ym. 2021.)

3.3 Akuston integrointi omaan voimalaan

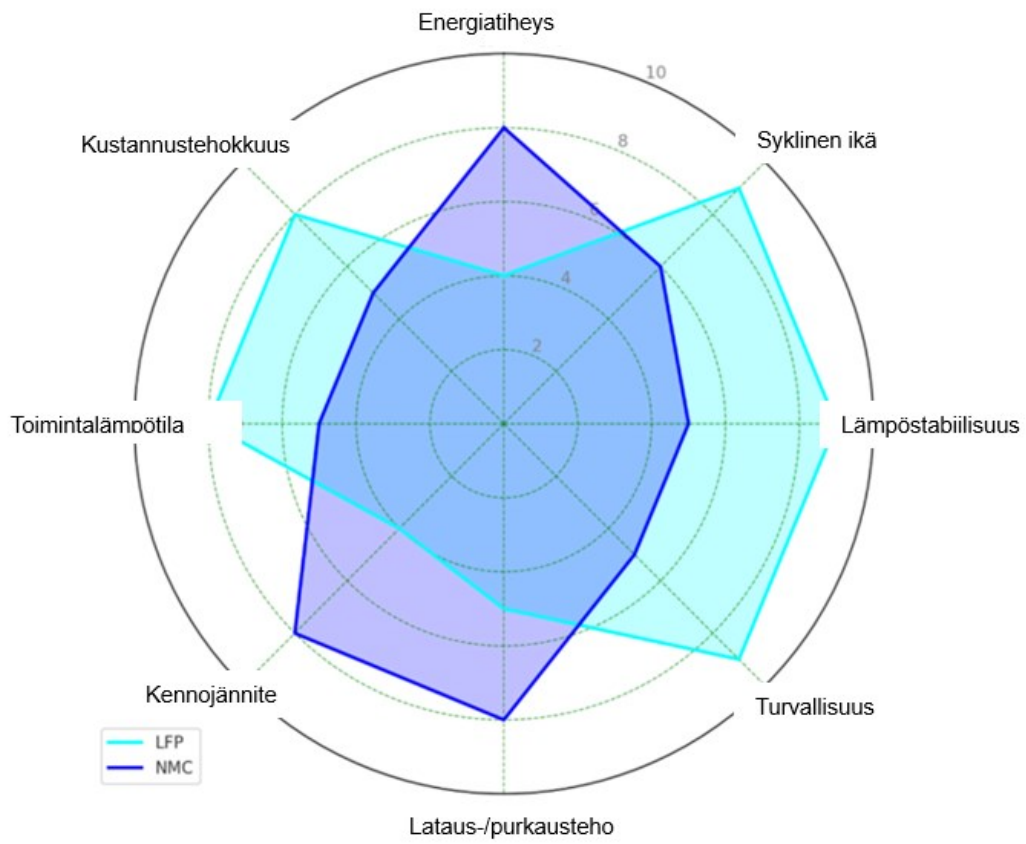
Akusto voidaan integroida omaan voimalaan. Kun sähköenergiaa tuotetaan itse aurinkopaneelien, tuulivoimalan tai biokaasulaitoksen avulla, niin tuotettu teho ja samanaikainen tehon tarve harvoin kohtaavat. Aurinkopaneelilla tuotettu teho saattaa vaihdella hyvin nopeastikin pilvien ilmaantuessa. Oma tuotanto saattaa ylittää sen hetkisen tehon tarpeen voimakkaastikin ja tämä teho joudutaan syöttämään energiayhtiön verkkoon, joka ei ole välttämättä taloudellisesti mielekäästä. Jos on taloudellisesti järkevää

käyttää itse kaikki omalla voimalla tuotettu energia eikä siirtää sitä energiayhtiön verkkoon, niin oman voimalan yhteyteen tarvitaan akusto. Akuston avulla varastoidaan energiaa silloin kun tuotanto ylittää kulutuksen ja akustoa puretaan silloin kun oma kulutus on huipussaan. Akuston avulla voidaan varautua myös lyhyisiin huolto- tai sähkökatkoihin. (Šimić ym. 2021.)

3.4 Akkutyypeistä

Sähköajoneuvoissa yleisin käytetty litiumioni akkutyypin katodi on litiumin lisäksi nikkelin, mangaanin ja koboltin yhdiste. Tällä akkukemialla on saavutettu hyviä tuloksia sähköajoneuvojen kehityksessä sen suuren energiatiheyden ansiosta. Tähän akkukemiaan liittyy kuitenkin käyttöturvallisuuteen liittyviä huomioita. Akku ei kestä ylitausta ja lämpötilan noustessa riittävästi alkaa hallitsematon lämmön nousu, terminen ryntäys, joka johtaa akun palamiseen tai jopa räjähtämiseen. NMC-akuilla terminen ryntäys alkaa lämpötilan noustua n. 210 asteeseen. NMC-akkujen sykliseksi eliniäksi ennustaan ylisesti noin 2 000 sykliä. (Battery University 2023.)

Toinen viime aikoina yleistynyt akkutyypin katodi on litiumin ja rautafosfaatin yhdiste. Akkutyypin etuna on, että sen valmistamiseen ei tarvita harvinaisia maametalleja, vaan helposti saatavilla olevaa rautaa. LFP-akkukemia on tullut käyttöön myös joissain ajoneuvoissa, mutta sillä ei kuitenkaan saavuteta yhtä suurta energiatiheyttä kuin NMC-kemialla. Johtuen pienemmästä energiatiheydestä, mutta muista hyvistä ominaisuuksista, joita tällä akkukemialla on, siitä on tullut hallitseva akkutyypin sähköverkkoon liitettävissä energiavarastoissa. LFP-akkukemian etuja ovat alhaisempi hinta, stabiilisuus ja turvallisuus. Tämän akkutyypin terminen ryntäys alkaa vasta noin 270 asteen lämpötilassa. LFP-akku kestää täyteen lataamisen eikä ylilataaminen aiheuta turvallisuusriskiä. Lisäksi LFP-akkujen syklinen elinikä on pidempi kuin NMC-akkujen. Vaikka LFP:n energiatiheys on pienempi tämä ei usein ole kriittinen ominaisuus energiavarastojen yhteydessä. Tärkeämpää on turvallisuus, stabiilisuus ja elinikä. (Battery University, 2023.) Evro, Ajumobi, Mayon ja Tomomewo (2024) vertailivat tutkimuksessaan NMC- ja LFP-akkutyypin ominaisuuksia ja soveltuvuutta erilaisiin käyttökohtaisiin. Kuviossa 1 on havainnollistettu akkutyypin ominaisuuksien eroja heidän tutkimustensa perusteella.



Kuvio 1. NMC- ja LFP-akkutyypin ominaisuudet sekä merkittävimmät erot. (Mukaiillen Evro ym. 2024.)

4 TUTKITTAVA KOHDE JA TUTKIMUSONGELMA

Tässä työssä tutkittiin maitotilan energiankulutusta sekä tutkittiin mahdollisuutta optimoida ostettavan sähköenergian määrää. Tutkimuksen kohteena ollut tila sijaitsee Sykäräisissä osoitteessa Härkänevantie 465, 69410 Sykäräinen. Tutkittavalla tilalla on 70 kW omaa biokaasulla toteutettua sähköntuotantoa, mutta tilan oma energiantuotanto ei tällä hetkellä kohtaa tilan energian tarvetta ajallisesti optimaalisesti. Energiaa tuotetaan välillä yli oman tarpeen pitkiäkin aikoja, kun toisaalta kulutushuippujen ja suurimman tehontarpeen aikoina energiaa joudutaan ostamaan energiayhtiöltä. Tämän tilanteen parantamista tutkittiin tilalle mitoitettavan ja hankittavan akustolla toteutetun energiavaraston avulla.

4.1 Lähtötilanteen selvittäminen

Nykyisen tilanteen selvittämiseksi tilan omistajaa pyydettiin kuvaamaan tutkimusongelmaa lyhyesti. Häneltä kysyttiin, mikä on ongelma tai haaste, jota akuston lisäämisellä sähköntuotannon yhteyteen pyritään ratkaisemaan. Hänen kertomansa ja käsityksensä mukaan oma sähköntuotanto riittää keskimmäisesti hyvin tilan energiatarpeisiin. Tilanne on kuitenkin sellainen, että tilalla on toistuvia kulutushuippuja, jolloin sähköä joudutaan ostamaan. Toisaalta kulutushuippujen välissä on aikoja, jolloin energiaa tuotetaan yli oman tarpeen ja se joudutaan myymään energiayhtiölle, joka ei ole taloudellisesti mielekästä. Tätä epätasapainoa olisi tarkoituksen mukaista pienentää varastoimalla energiaa akustoon ylituotannon aikana ja purkamalla sitä tilan omaan käyttöön kulutushuippujen aikana energian ostamisen sijasta. Kuvassa 1 on sähköntuotantoon käytetty laitteisto, jossa etualla näkyy generaattori ja takana sitä pyörittävä polttomoottori, jonka polttoaineena on maatilän tuottama polttokelpoinen kaasu.



Kuva 1. Sähköntuotantoon käytettävä laitteisto.

Tilalla lehmien ruokinta on hyvin pitkälle automatisoitu ja ruokinnan alkaessa lehmien ruokaa, ns. apetta, syötetään kuljettimien kautta suureen sekoittimeen. Sekoitinta pyörittää kaksi 22 kW tehoista sähkömoottoria, joita ohjataan taajuusmuuttajilla. Lisäksi samaan aikaan käy useampia pienempiä, suuruusluokaltaan 1–2 kW moottoreita. Nämä moottorit pyörittävät kuljettimia, jotka edelleen kuljettavat eläinten rehun suoraan navettaan. Ruokinta tapahtuu säännöllisesti lypsäville lehmille 8 kertaa vuorokaudessa ja kasvaville eläimille 10 kertaa vuorokaudessa. Omistaja arvioi edellä mainittujen laitteiden pyörivän noin 15 minuuttia kerrallaan, joka tapauksessa lyhyen ajan. Kuvassa 2 näkyy kyseinen ruokinnassa käytetty rehunsekoitin.



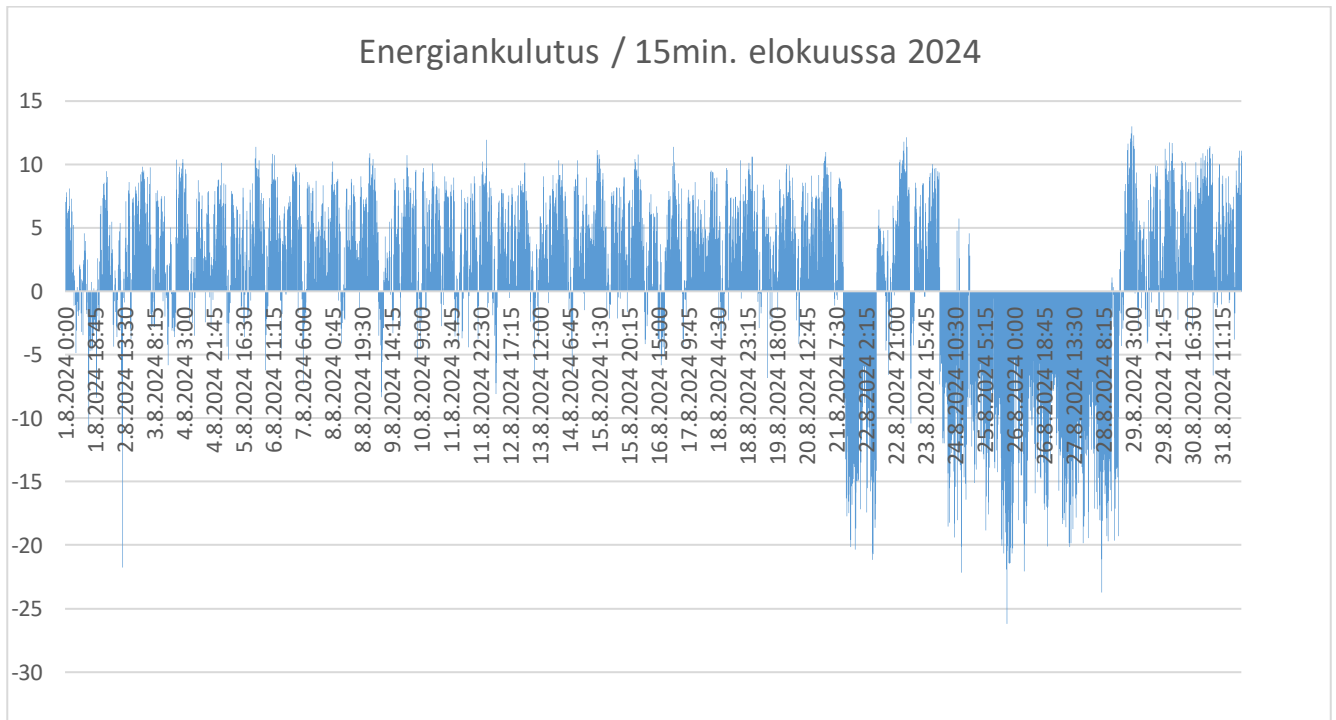
Kuva 2. Rehunsekoitin.

Edellä kuvatuilla lähtötiedoilla pyrittiin selvittämään, onko energiayhtiön kulutustiedoista löydettävissä säännöllisesti toistuvia kulutushuippuja, jotka aiheutuisivat rehunsekoittimen ja muiden sähkölaitteiden toistuvasta käynnistymisestä. Oletuksena oli, että tilan oma sähköntuotanto, joka on noin 70 kW, ei riittäisi ruokinta-aikoina kattamaan tehontarvetta. Näinä ajanjaksoina rehunsekoittimen sekä muiden laitteiden käynnistyminen aiheuttaisi tilan omistajan käsityksen mukaan suuren tehontarpeen, joka näkyisi kulutustiedoista säännöllisesti toistuvina ja lyhytkestoisina energian ostoina.

Energiayhtiön mittaustietoja yhdistettiin ja muodostettiin Excel-taulukko energian ostosta sekä myynnistä aikavälillä marraskuu 2023 – elokuu 2024. Saaduista tiedoista muodostettiin edelleen kuukausikohtaiset kulutustiedot, joista pyrittiin löytämään edellä mainittua säännönmukaisuutta. Tiedoista kuitenkin ilmeni, että useina kuukausina tila ei ollut omavarainen energiankulutuksessaan. Kun myydyin energian määrästä vähennettiin ostetun energian määrä, niin tulos oli useina kuukausina negatiivinen. Taustalla saattoi olla tilanne, että omassa energiantuotannossa oli ollut tarkasteluaikana taukoja, tai että tilalla oli käytetty jostain syystä normaalista poiketen valtavia määriä energiaa. Taulukko 1 esittää energiakäytön kokonaistilannetta kuukausittain tarkasteltavalla aikavälillä. Kuviossa 2 on esitetty energiakäytön tilanne elokuussa 2024, jolloin tila oli omavarainen energiantuotannossaan.

kk	Tuotanto (myynti)	Kulutus (osto)	Tuotanto - Kulutus
marras.23	4395,89	15475,07	-11079,18
joulu.23	1275,73	3537,81	-2262,08
tammi.24	1212,66	29875,14	-28662,48
helmi.24	3518,29	8030,2	-4511,91
maalis.24	8306,13	4382,73	3923,4
huhti.24	5398,89	13275,19	-7876,3
touko.24	8503,37	7984,47	518,9
kesä.24	6642,06	13408	-6765,94
heinä.24	9643,55	5850,59	3792,96
elo.24	11563,4	7692,55	3870,85

Taulukko1. Energiankulutus kuukausittain



Kuvio 2. Energiankäyttö elokuussa 2024.

Kuviosta 2 havaittiin, että tarkasteluukauden ajanjaksolla 23.8.–28.8. tila on toiminut luultavasti pelkän ostoenergian varassa ja omaa energiantuotantoa ei ole ollut. Kuvion pysty akselin lukemat kuvaavat ostetun energian kulutusta 15 minuutin mittausjaksolla kilowattitunteina. Kyseisen mittausjakson keskimääräinen teho on nelinkertainen kWh lukuun verrattuna, koska mittausjakso on ¼ tuntia. Tilan käyttämät keskimääräiset huipputehot 15 minuutin mittausjaksoilla ovat hetkittäin hyvin suuria, usein 90 kW. Jos oma energiantuotanto on toiminut normaalisti, niin kaaviota voidaan tulkita siten, että nolla-

akseli tarkoittaa 70 kW tehoa. Tämä on generaattorin tuottama teho ja nolla-akselilla tilan oma tuotanto kohtaa tehontarpeen optimaalisesti. Tarkasteltaessa alkukuukautta tilanne on pääosin positiivinen. Tällä ajanjaksolla akuston käytöllä voitaisiin pienentää toistuvia energianostoja.

4.2 Lähtötietojen tarkentaminen

Koska tilan ostaman sähköenergian määrän kuukausittainen vaihtelu oli suurta, lähtötietoja oli pyrittävä selvittämään tarkemmin. Tilan omistajaa haastateltiin tarkemmin, jolloin myös selvisi, että tilan omassa energiantuotannossa on ollut ajoittain haasteita ja se on ollut jopa kokonaan pysähdyksissä vuoden 2024 alussa. Haastattelussa selvisi, että esimerkiksi maaliskuu 2024 soveltuisi hyvin esimerkkikuukaudeksi. Tuon kuukauden aikana oma energiantuotanto oli toiminnassa ja kyseessä on vielä talvikuukausi. Haastattelussa selvisi myös, että tilalla on suuria sähkökäyttöisiä lämminvesivaraajia ja niiden energiankulutus on hänen arvionsa mukaan suurempaa talvikuukausina. Ulkolämpötilan vaikutuksen energiankulutukseen hän kuitenkin arvioi olevan kokonaisuudessaan kohtalaisen pienen.

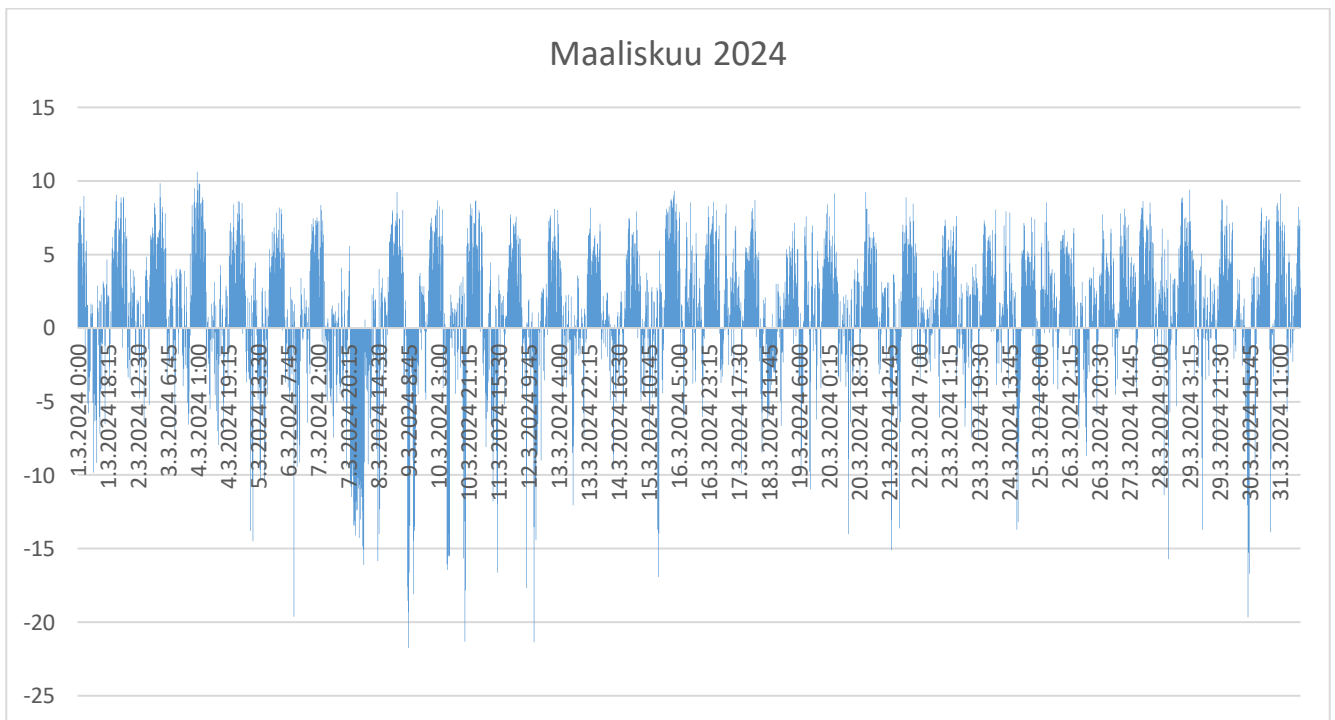
Tilan eläinten ruokinta-ajat jakautuvat ympäri vuorokauden taulukon 2 mukaisesti, jolloin energian kulutuksen arvioitiin olevan suurta. Ruokinnan lisäksi energiaa kuluu navetan tarvitseman veden lämmitämiseen. Lämminvesivaraaja kytkeytyy päällä termostaatin ohjaamana tarvittaessa ja tämän tarvitsema teho on 18 kW. Lisäksi lietteen pumppaukseen käytettävien pumppujen yhteisteho on myös n. 10 kW. Tilan sähkölaskun kokonaissuuruus on ollut noin 3 000 € kuukaudessa. Akuston lisäämisellä järjestelmään tavoitellaan tämän kustannuksen pienentämistä.

Ruokinta 1	2:45
Ruokinta 2	4:10
Ruokinta 3	6:00
Ruokinta 4	7:30
Ruokinta 5	11:00
Ruokinta 6	13:00
Ruokinta 7	14:30
Ruokinta 8	16:30
Ruokinta 9	19:00
Ruokinta 10	23:00

Taulukko 2. Ruokinta-ajat.

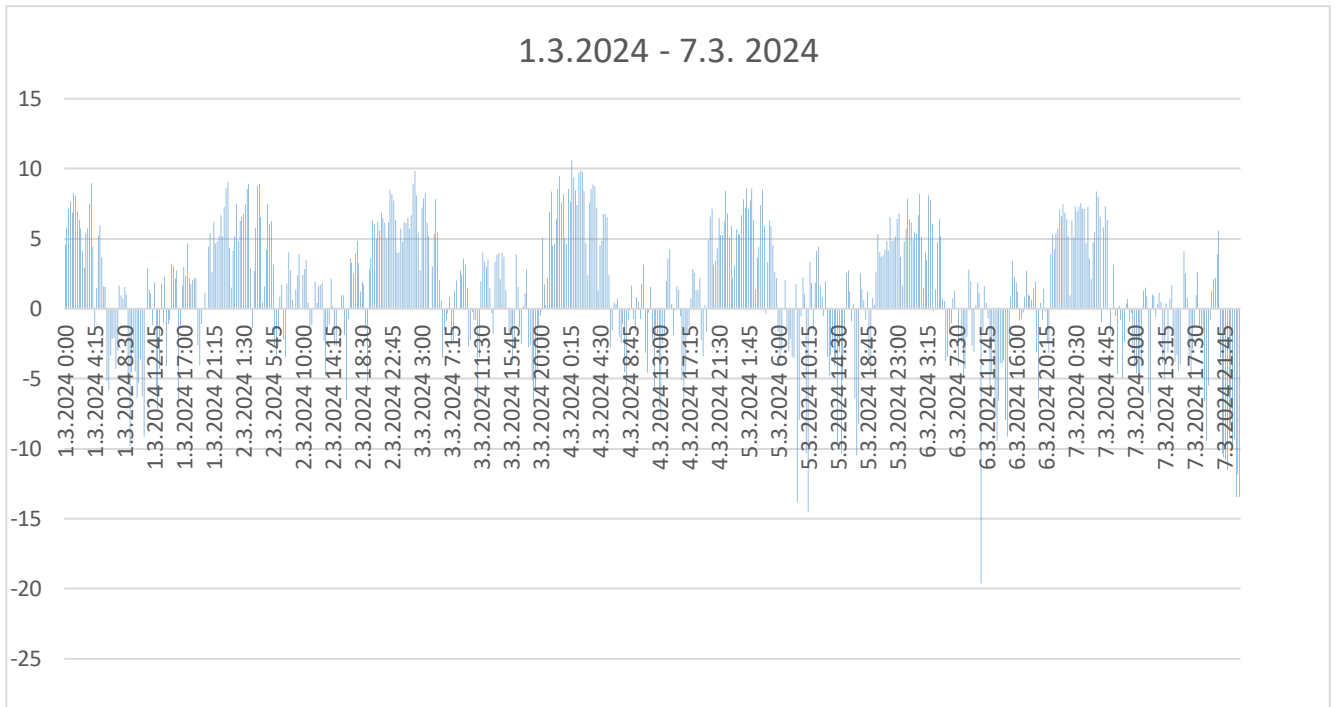
4.3 Tilan energiankäytön tarkempi analysointi

Tutkittava kohde oli maaliskuussa 2024 energian käytön osalta omavarainen koko kuukauden tarkastelujaksolla. Energiaa myytiin kuukauden aikana 3 923,4 kWh. Kuviossa 3 kuvataan energiankäytön tilannetta koko kuukauden tasolla 15 minuutin mittaussyklein. Positiiviset luvut kuvaavat energianmyyntiä ja negatiiviset energian ostoja. Kaaviosta havaittiin, että energiaa ostetaan toistuvasti kohtuullisen lyhytkestoisia ajanjaksoja. Näiden jaksosten välissä energiaa tuotetaan yli oman tarpeen ja tällä hetkellä tämä energia myydään energiayhtiölle. Oikein mitoitetulla akustolla ja sitä ohjaavalla ohjelmistolla tilanteeseen pystyttäisiin vaikuttamaan niin, että energiaa varattaisiin akustoon ja purettaisiin kulutushuipputen aikana, jolloin kuvaajasta saataisiin tasaisempi.



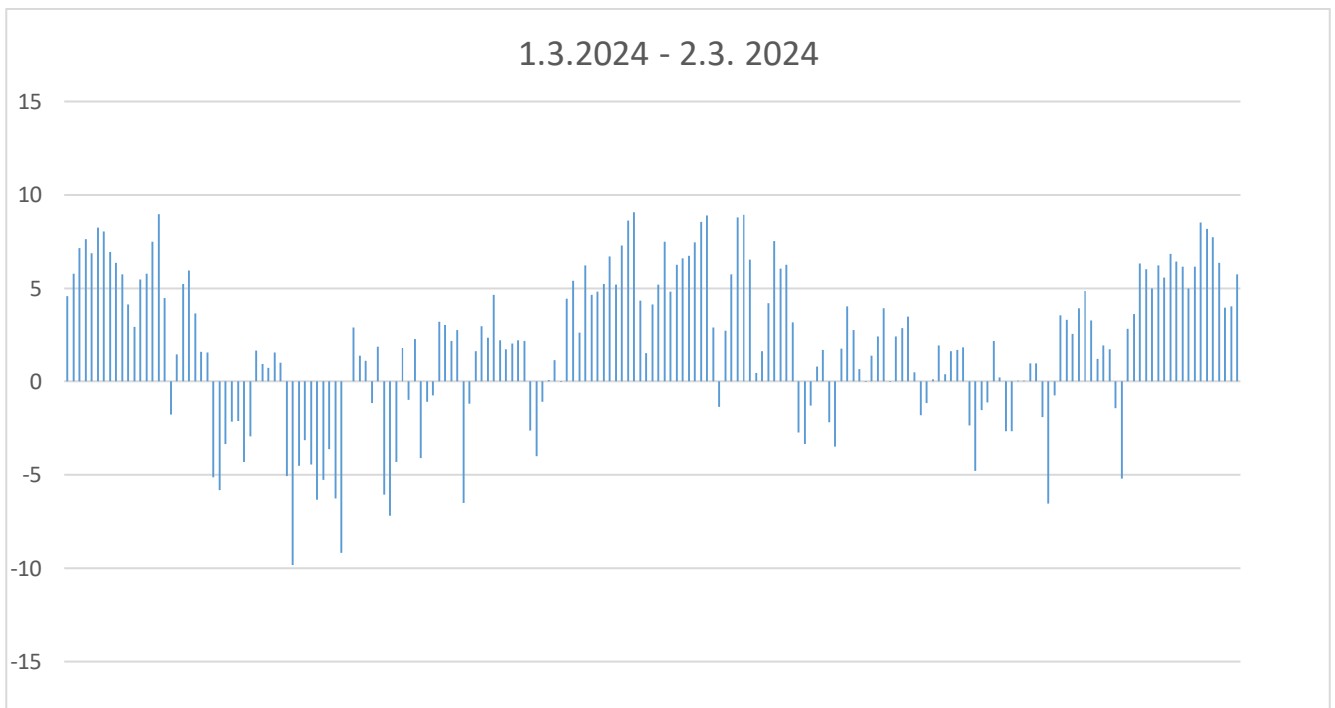
Kuvio 3. Maaliskuun energiankäytön mittaustiedot.

Tilanteen tarkempi tutkiminen edellytti mittaustietojen analysointia myös viikko- ja päiväkohtaisesti. Kuvioon 4 valittiin tarkasteluun maaliskuun ajanjakso 1.3.–7.3. Kaaviota tarkemmin analysoimalla huomattiin, että tarkasteluajanjaksona energiaa on myyty enemmän kuin sitä on ostettu. Tällä ajanjaksolla akuston käytöllä olisi voitu korvata ostoenergiaa.



Kuvio 4. Mittaustiedot 1.3.2024–7.3.2024.

Kuviossa 5 energiankäyttöä analysoitiin päivätasolla. Kaaviossa maaliskuun alun mittaustiedot tarkennettiin kahden päivän ajanjaksolle luettavuuden parantamiseksi.



Kuvio 5. Mittaustiedot 1.3.2024–2.3.2024.

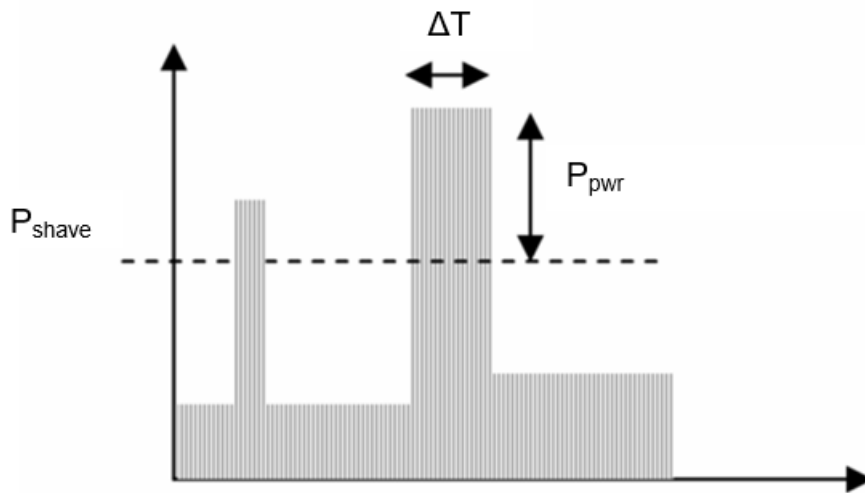
Kuviosta 5 havaittiin, että vuorokauden ensimmäisinä tunteina energiaa saataisiin varattua akustoon ja silmämääräisesti arvioituna tämä energiamäärä riittäisi korvaamaan suurelta osin päivä aikana tapahtuvat energianostot. Akusto saataisiin varattua uudelleen seuraavan yön aikana, jolloin oma tuotanto ylittää energian tarpeen. Maaliskuun mittausdatan tutkiminen myös kumosi ainakin osittain tilan omistajan oman tulkinnan energian ostoista ruokinta-aikojen yhteydessä. Mittausdatasta ei ollut löydettävissä säännöllistä energian ostamista ruokinta-aikoina. Rehunsekoittimet ovat taajuusmuuttajaohjattuja ja luultavasti tämä pienentää omalta osaltaan moottoreiden ottamia huipputehoja.

4.4 Akuston mitoitus

Akuston mitoittaminen tapahtuu aina yksilöllisesti kohteen ja sen kulutusprofiilin perusteella. Akuston mitoitukseen vaikuttavat useat tekijät. Akustoon varattavan energian määrä on pystyttävä laskemaan ja arviomaan kohteen kulutustietojen perusteella. Laskenta sisältää aina asioiden yksinkertaistamista ja keskimääräisen kulutusmallin luomista. On pyrittävä löytämään kulutusta mahdollisimman hyvin keskimääräisesti kuvaava ajanjakso ja suoritettava laskentaa ja arviointia siihen perustuen. Laskennan lähtökohtana oli huipputehon rajoittaminen mahdollisimman lähelle tilan oman energiantuotannon tasoa ja kulutuksen ollessa sitä pienempi energian varastoiminen.

4.5 Kapasiteetin mitoitus

Oudalov, Cherkaoui, ja Beguin (2007) tutkivat julkaisussaan ”Sizing and Optimal Operation of Battery Energy Storage System for Peak Shaving Application” akuston mitoitusta huipputehojen hallinnan näkökulmasta teollisuusasiakkaille. He mallinsivat akustolta vaadittavan kapasiteetin laskentaa kuvion 6 mukaisesti.



Kuvio 6. Huipputehon leikkaaminen ja tarvittavan kapasiteetin laskenta. (Mukaiillen Oudalov ym. 2007.)

Kuvion 6 mukaisen huipputehon leikkaamiseen tarvittava akkukapasiteetti saadaan teoreettisesti lasketua kaavalla 1:

$$B_{\text{cap}} = B_{\text{pwr}} \cdot \Delta T \quad (1)$$

Jossa:

B_{cap} = Akuston kapasiteetti

B_{pwr} = Leikattavan tehon määrä

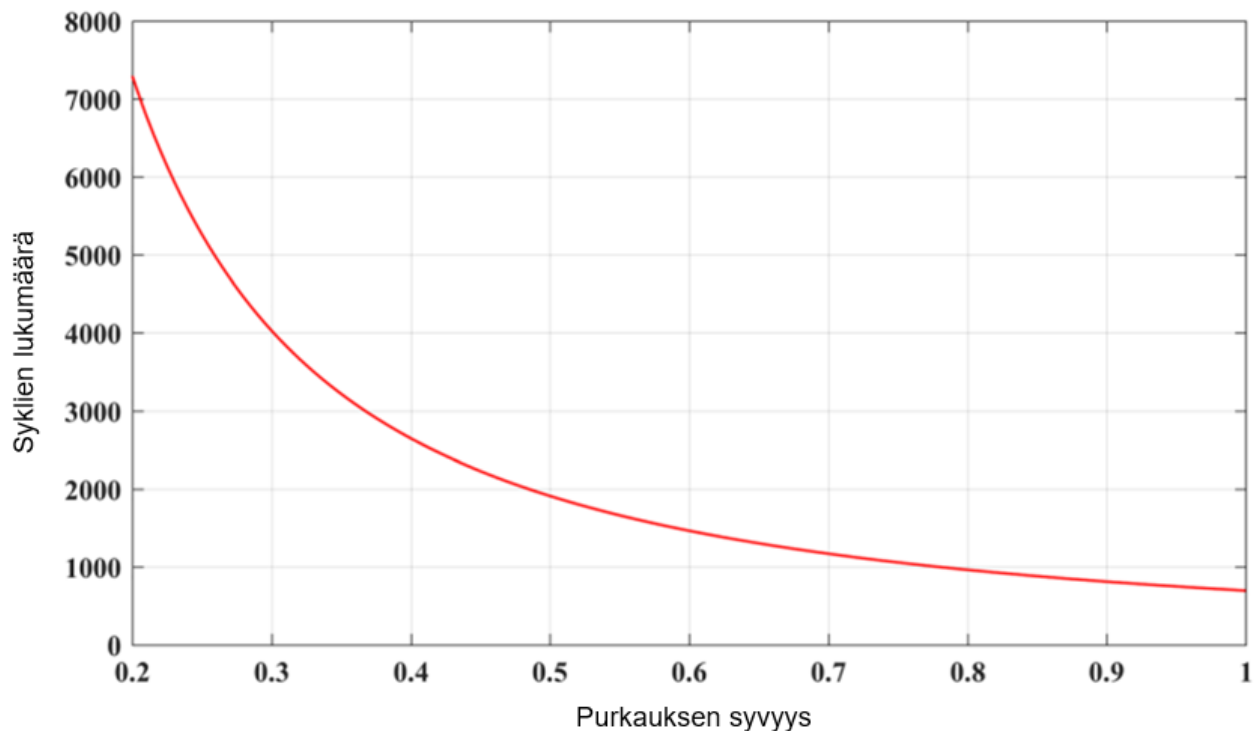
ΔT = Tehon leikkaamiseen käytettävä aika

Laskenta ei kuitenkaan todellisuudessa ole näin yksinkertaista, koska akkuja ei käytännössä koskaan käytetä täydellä varausalueella 0–100%. Akun varausasteesta käytetään yleisesti lyhennettä SoC (State of Charge). Akuston mitoituksessa tulee ottaa huomioon käytettävissä oleva SoC - alue. (Oudalov ym. 2007.)

4.6 Akuston elinikä

Investoinnin kannattavuuteen vaikuttaa oleellisesti akuston käyttökelpoinen elinikä valitussa kohteessa. Akuston ikääntymistä ja kestoja kuvataan yleisesti syklien lukumäärällä. Yhdellä lataus- ja purkaussykllillä tarkoitetaan akuston koko kapasiteetin käyttämistä yhden kerran. Yksi sykli on kulunut, kun täysin tyhjä akusto varataan täyteen 100% SoC-tilaan ja puretaan edelleen 0% SoC:iin. Todellisuudessa akkuja ei näin käytetä, koska niiden käyttökelpoinen elinikä jäisi lyhyeksi.

Sufyan, Rahim, Aman, Tan ja Raihan (2019) tutkivat erilaisten akustojen soveltuvuutta ja niiden mitoittamista energian varastointiin. Artikkelissaan he korostivat akuston eliniän merkitystä ja siihen vaikuttavien tekijöiden arviointia. Akustolla on sille ominainen syklinen elinikä, todelliseen elinikään vaikuttavat kuitenkin SoC-alue, jolla akustoa tullaan käyttämään. Lisäksi odotettavissa olevaan elinikään vaikuttavat lämpötila sekä akuston varaus- ja purkausvirrat. Jos akustoa varataan ja puretaan suurilla virroilla tämä vaikuttaa negatiivisesti odotettuun elinikään. (Sufyan ym. 2019.) Akuston elinikää voidaan kuvata kuvion 7 mukaisella käyrällä purkauksen syvyyden funktiona. Kuvion 7 kuvaaja on tyypillinen Li-ioni akuille ja siinä näkyviä syklien määrät eivät ole lukuina nykyisin ajantasaisia, mutta kuvaajan muoto on edelleen käyttökelpoinen.



Kuvio 7. Purkauksen syvyyden vaikutus syklien määrään. (Mukaiillen Sufyan ym. 2019.)

Kuviossa 7 on käytetty vaaka-akselilla purkauksen syvyyden ilmaisemiseen kerrointa Depth of Discharge (DoD). Tällä kertoimella kuvataan SoC aluetta, jolla akustoa käytetään, jos akustoa käytetään alueella SoC 20% - SoC 80%, niin DoD on tällöin 0,6.

5 AKUSTON MITOITTAMINEN TUTKITTAVAAN KOHTEESEEN

Kohteeseen sopiva akusto mitoitettiin kohteen kulutustietojen perusteella. Mitoituksessa tuli ottaa huomioon akuston kapasiteetin lisäksi akuston arvioitu elinikä ja siihen vaikuttava syklien määrä, arvioitu akuston hankintakustannus sekä akuston varaus- ja purkaustehot. Akuston lisäämistä järjestelmään simuloitiin taulukkolaskentaohjelmalla tehdyn mallinnuksen ja simuloinnin avulla. Simuloinnilla pyrittiin laskemaan akuston vaikutuksia kulutushuippuihin ja ostettavan sähköenergian määrään. Tilan energiankulutuksen malliprofiiliksi valittiin aluksi maaliskuun 2024 kulutustiedot, koska tilan omistaja kertoi oman sähköntuotannon toimineen tuona ajankohtana häiriöttä tai lähes häiriöttä.

5.1 Laskentamallin laatiminen

Koska kulutustietoja oli tuhansia rivejä, oli laskennan mahdollistamiseksi laadittava Excel-malli, jota käyttäen oli mahdollista laskea akuston vaikutus kulutusprofiiliin. Laskentaa varten tehtiin kuvan 3 mukainen laskentataulukko.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
		Akuston koko	30 kWh		Akun vaikutus	1607,7 kWh				
		Käytettävä kap.	27 kWh		Syklien lkm. / pv.	1,79				
		Max lataus/purk	5 kWh/15 min.		Elinikä (6000 syk.)	9,20 vuotta				
		DoD	0,9							
Aikaleima	Myynti	Aikaleima2	Osto	Myynti-Osto	Lat/Purk(kWh)	SoC	Muut	Myynti-Osto(Akku)	Sähkön osto (Akku)	
31.3.2024 19:45	2,24	31.3.2024 19:45	0,01	2,23	2,23	26,73	2,23	0,00	0,00	
31.3.2024 20:00	0,65	31.3.2024 20:00	0,8	-0,15	-0,15	26,58	-0,15	0,00	0,00	
31.3.2024 20:15	2,55	31.3.2024 20:15	0,05	2,5	2,5	27	0,42	2,08	0,00	
31.3.2024 20:30	2,92	31.3.2024 20:30	0,07	2,85	2,85	27	0	2,85	0,00	
31.3.2024 20:45	1,62	31.3.2024 20:45	0,08	1,54	1,54	27	0	1,54	0,00	
31.3.2024 21:00	1,62	31.3.2024 21:00	0,04	1,58	1,58	27	0	1,58	0,00	
31.3.2024 21:15	2,26	31.3.2024 21:15	0,01	2,25	2,25	27	0	2,25	0,00	
31.3.2024 21:30	4,4	31.3.2024 21:30	0	4,4	4,4	27	0	4,40	0,00	
31.3.2024 21:45	3,03	31.3.2024 21:45	1,04	1,99	1,99	27	0	1,99	0,00	
31.3.2024 22:00	6,96	31.3.2024 22:00	0	6,96	5	27	0	6,96	0,00	
31.3.2024 22:15	5,51	31.3.2024 22:15	0	5,51	5	27	0	5,51	0,00	
31.3.2024 22:30	6,71	31.3.2024 22:30	0	6,71	5	27	0	6,71	0,00	
31.3.2024 22:45	8,25	31.3.2024 22:45	0	8,25	5	27	0	8,25	0,00	
31.3.2024 23:00	6,91	31.3.2024 23:00	0	6,91	5	27	0	6,91	0,00	
31.3.2024 23:15	7,35	31.3.2024 23:15	0	7,35	5	27	0	7,35	0,00	
31.3.2024 23:30	4	31.3.2024 23:30	0,01	3,99	3,99	27	0	3,99	0,00	
31.3.2024 23:45	2,73	31.3.2024 23:45	0	2,73	2,73	27	0	2,73	0,00	
	8301,6		4382,7	3918,8				3896,4	-2775,1	
								Akun vaikutus	1607,7 kWh	

Kuva 3. Akuston vaikutusten laskeminen

Taulukossa:

- Sarakkeissa B ja D ovat energiayhtiön mittaustiedot.
- Sarakkeessa E on laskettu edellisten erotus, positiivinen luku tarkoittaa energian myyntiä.
- F-sarake laskee akustoon varattavan tai purettavan energian määrän huomioiden valitun akuston maksimiarvon, esimerkiksi 5 kWh/15 min.
- G-sarake laskee akkuun varatun energian määrän mittausjakson lopulla.
- Sarake H laskee akun varauksen muutoksen edelliseen mittausjaksoon nähden.
- I-sarake laskee energiankäytön tilanteen akun lisäämisen jälkeen, negatiivinen luku tarkoittaa energian ostamista.
- J-sarakkeeseen suodatetaan energian ostamista kuvaavat luvut I sarakkeesta.

Taulukon yläosassa on lisäksi soluja, joihin syötettiin akuston kapasiteetti, maksimi purkaus- ja lataus-teho sekä käytettävää purkauksen syvyyttä kuvaava arvo DoD. Näiden lähtöarvojen avulla taulukko laskee akuston vaikutuksen ostettavan energian määrään, syklien lukumäärän vuorokaudessa sekä akuston eliniän vuosina käytettäessä monen valmistajan lupaamaa 6 000 syklin elinikää.

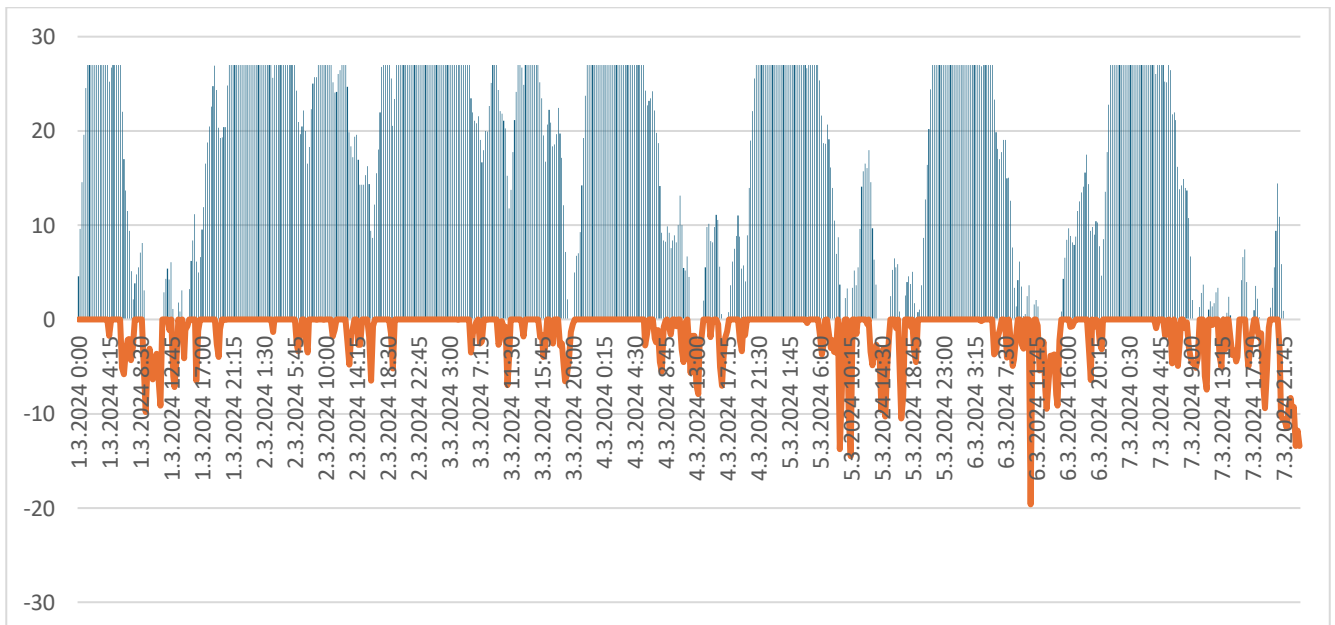
5.2 Akuston vaikutuksen tutkiminen

Laskentamallia käyttäen tehtiin kuvion 8 mukaisia mallinuksia akuston vaikutuksen havainnollistamiseksi. Kuviossa 8 on kuvattu ajanjaksoa 1.3.2024 – 7.3.2024. Sininen osa kaaviosta kuvaa 30 kWh:n akun varausta käytettäessä purkauksen syvyydelle arvoa $DoD = 0,9$. Oranssi viiva kuvaa energian ostarvetta akuston lisäämisen jälkeen. Kaaviosta pystyy silmämääräisesti arvioimaan syklien lukumäärän tarkastelujaksolla sekä arviomaan akuston kapasiteetin riittävyyttä ja myös sen vaikutusta kokonaisuuteen.



Kuvio 8. 30 kWh akuston simulointi.

Kuviossa 9 on sama ajanjakso kuvattuna niin, että oranssi viiva kuvaa energian ostojen määrää ilman akustoa. Kuvioita 8 ja 9 vertailemalla havaittiin, että simuloitu 30 kWh:n akusto poistaa useat lyhytkestoiset energianostojen tarpeet tarkasteluvälillä. Tehohippujen leikkaaminen onnistuu lyhytkestoisten kulutushuippujen osalla hyvin nyt kokeillulla 30 kWh akkukapasiteetilla.



Kuvio 9. Energian osto 1.3.2024-7.3.2024.

5.3 Numeerinen tarkastelu

Laskentataulukolla laskettiin 30 kWh varauskykyisen ja 20 kW lataus- ja purkaustehon omavan akuston vaikutus mittaustietoihin koko maaliskuun osalta, kun purkauksen syvyytenä käytettiin lukuarvoa 0,9. Kuvassa 4 on esitetty saadut tulokset.

Akuston koko		30 kWh	Akun vaikutus		1607,7 kWh				
Käytettävä kap.		27 kWh	Syklienk. / pv.		1,79				
Max lataus/purk		5 kWh/15 min.	Elinikä (6000 syk.)		9,20 vuotta				
DoD		0,9							
Aikaleima	Myynti	Aikaleima2	Osto	Myynti-Osto	Lat/Purk(kWh)	SoC	Muut	Myynti-Osto(Akku)	Sähkön osto (Akku)
31.3.2024 19:15	0,17	31.3.2024 19:15	1,22	-1,05	-1,05	23,66	-1,05	0,00	0,00
31.3.2024 19:30	1,18	31.3.2024 19:30	0,34	0,84	0,84	24,5	0,84	0,00	0,00
31.3.2024 19:45	2,24	31.3.2024 19:45	0,01	2,23	2,23	26,73	2,23	0,00	0,00
31.3.2024 20:00	0,65	31.3.2024 20:00	0,8	-0,15	-0,15	26,58	-0,15	0,00	0,00
31.3.2024 20:15	2,55	31.3.2024 20:15	0,05	2,5	2,5	27	0,42	2,08	0,00
31.3.2024 20:30	2,92	31.3.2024 20:30	0,07	2,85	2,85	27	0	2,85	0,00
31.3.2024 20:45	1,62	31.3.2024 20:45	0,08	1,54	1,54	27	0	1,54	0,00
31.3.2024 21:00	1,62	31.3.2024 21:00	0,04	1,58	1,58	27	0	1,58	0,00
31.3.2024 21:15	2,26	31.3.2024 21:15	0,01	2,25	2,25	27	0	2,25	0,00
31.3.2024 21:30	4,4	31.3.2024 21:30	0	4,4	4,4	27	0	4,40	0,00
31.3.2024 21:45	3,03	31.3.2024 21:45	1,04	1,99	1,99	27	0	1,99	0,00
31.3.2024 22:00	6,96	31.3.2024 22:00	0	6,96	5	27	0	6,96	0,00
31.3.2024 22:15	5,51	31.3.2024 22:15	0	5,51	5	27	0	5,51	0,00
31.3.2024 22:30	6,71	31.3.2024 22:30	0	6,71	5	27	0	6,71	0,00
31.3.2024 22:45	8,25	31.3.2024 22:45	0	8,25	5	27	0	8,25	0,00
31.3.2024 23:00	6,91	31.3.2024 23:00	0	6,91	5	27	0	6,91	0,00
31.3.2024 23:15	7,35	31.3.2024 23:15	0	7,35	5	27	0	7,35	0,00
31.3.2024 23:30	4	31.3.2024 23:30	0,01	3,99	3,99	27	0	3,99	0,00
31.3.2024 23:45	2,73	31.3.2024 23:45	0	2,73	2,73	27	0	2,73	0,00
	8301,6		4382,7	3918,8				3896,4	-2775,1
								Akun vaikutus	1607,7 kWh

Taulukko 4. 30 kWh:n akuston vaikutus maaliskuun kulutustietoihin.

Tulokseksi saatiin, että ilman akustoa sähköä ostettiin 4 382,7 kWh ja akuston lisäyksen jälkeen sähköä olisi ostettu 2 775,1 kWh. Sähköä olisi ostettu tarkastelukuukautena 1 607,7 kWh vähemmän. Keskimääräiseksi syklien määräksi vuorokautta kohden saatiin 1,79 ja tällä luvulla laskettu akuston elinikä käytettäessä laskennan perusteena 6 000 sykliä olisi 9,2 vuotta.

6 AKUSTON VALINNAN TALOUDELLINEN TARKASTELU

Akusto on suuri taloudellinen investointi ja sen kannattavuutta on tarkasteltava investointia suunniteltaessa. Taloudellisen tarkastelun perustaksi otettiin kahden kuukauden, maaliskuun 2024 ja toukokuun 2024 kulutustiedot. Näiden kuukausien kulutustiedoilla laskettiin kahden eri kapasiteetin omaavan akuston vaikutukset kyseessä olevien kuukausien energian ostoihin. Esimerkkikuukausiksi valittiin maaliskuu ja toukokuu, koska kulutustietojen perusteella oma energiatuotanto on toiminut mainittuina kuukausina ilman suurempia häiriötä ja tila on myös ollut omavarainen energiatuotannossaan mainittuina kuukausina. Taloudellisen arvioinnin tekemiseksi tarvittiin lisäksi energianhinnat kyseisiltä kuukausilta ja tieto siirtomaksuista, energiaveroista sekä energiayhtiön marginaalista. Näiden tietojen lisäksi tarvittiin arvio akuston sekä tarvittavan invertterin hankintahinnasta.

6.1 30 kWh akuston vaikutus

Jos tilalle sähköntuotannon yhteyteen asennettaisiin akusto, jonka kapasiteetti olisi 30 kWh ja maksimi teho 20 kW sekä käyttämällä purkauksen syvyytenä arvoa $DoD = 0,9$ päästäisiin edellä kuvattua laskentamallia käyttämällä seuraaviin tuloksiin:

- Maaliskuussa energiaa ostettaisiin 1 607,7 kWh vähemmän
- Toukokuussa energiaa ostettaisiin 1 692,2 kWh vähemmän

Sähkön keskimääräiset spot-hinnat olivat maaliskuussa 2024 7,36 c/kWh ja toukokuussa 2024 4,37 c/kWh. Koko vuoden 2024 keskimääräinen spot-hinta oli 5,68 c/kWh. Lisäksi siirtomaksujen, verojen ja energiayhtiön marginaalin osuus on asiakkaalla keskimäärin 5 c/kWh. Kustannuslaskentaa päätettiin tehdä käyttäen koko vuoden sähkön hinnan keskiarvoa, jolloin laskennassa käytettiin kWh:lle hintaa 10,7 c/kWh. Esimerkkikuukausien keskimääräisiksi euromääräisiksi säästöiksi saatiin:

- Maaliskuu $1\,607,7\text{ kWh} * 10,7\text{ c/kWh} = 172\text{ €}$
- Toukokuu $1\,692,2\text{ kWh} * 10,7\text{ c/kWh} = 181\text{ €}$

Kun maaliskuun ja toukokuun lasketuista säästöistä muodostettiin keskiarvo, niin saatiin keskimääräiseksi kuukausittaiseksi säästökseksi 177 €/kk. Lähes samaan arvoon päädyttiin käyttämällä energian kuukausikohtaisia keskiarvohintoja ja laskemalla saatujen tuloksien keskiarvo. Vuotuiseksi säästökseksi arvioitiin:

- $12 \text{ kk} * 177 \text{ €/kk} = 2\,119 \text{ €}$

6.2 50 kWh akuston vaikutus

50 kWh akuston vaikutusta arvioitaessa suoritettiin samanlainen laskennallinen tarkastelu kuin 30 kWh akuston tapauksessa. Myös 50 kWh akuston yhteydessä käytettiin DoD arvoa 0,9. Maksimi purkaus- ja lataustehoina käytettiin 20 kW, koska tätä suuremmille tehoille soveltuvia inverttereitä ei ole markkinoilla yleisesti saatavilla ja sellaisen hankkiminen ei luultavasti ole taloudellisesti mielekäästä. 20 kW inverttereitä markkinoilta puolestaan löytyy.

50 kWh akuston vaikutus tilan sähköenergian ostoon olisi seuraava:

- Maaliskuussa energiaa ostettaisiin 1 935,9 kWh vähemmän
- Toukokuussa energiaa ostettaisiin 2 139,3 kWh vähemmän

Käytettäessä samoja sähkön keskimääräisiä energiahintoja kuin kohdassa 6.1 päästiin tuloksiin:

- Maaliskuu $1\,935,9 \text{ kWh} * 10,7 \text{ c/kWh} = 207 \text{ €}$
- Toukokuu $2\,139,3 \text{ kWh} * 10,7 \text{ c/kWh} = 229 \text{ €}$

Kun edellä lasketuista maaliskun ja toukokuun arvioituista säästöistä muodostettiin keskiarvo, saatiin keskimääräiseksi kuukausittaiseksi säästökseksi 218 €/kk. Vuotuiseksi säästökseksi 50 kWh akustolla arvioitiin:

- $12 \text{ kk} * 218 \text{ €/kk} = 2\,616 \text{ €}$

6.3 Hankintakustannukset

Esimerkkeinä käytettyjen akkukokojen arvioidut hankintahinnat ovat 30 kWh:n akustolle noin 10 000 € ja 50 kWh:n kapasiteetille noin 16 000 €. Kummallekin akkukapasiteetille sopivan invertterin arvioitu hankintakustannus on noin 2 000 €. Akustojen hintoja voidaan vertailla laskemalla varastoidun energian hinta €/kWh. Akustojen hankintakustannukset varastointikapasiteettia kohti ovat lähes samansuuruiset. 30 kWh:n akun kustannus on 333 €/kWh ja 50 kWh:n vastaava kustannus on 320 €/kWh. Kun tarvittavan invertterin kustannus, noin 2 000 €, lisättiin akustojen hintoihin, niin vastaaviksi kustannuksiksi saatiin 30 kWh:n akustolle 400 €/kWh ja 50 kWh:n akustolle 360 €/kWh.

6.4 Akuston käyttökelpoisen eliniän arviointi

Akkuvalmistajat antavat energiavarastoina käytettäville LFP-akustoille tyypillisesti 10 vuoden takuun ja ilmoittavat sykliseksi eliniäksi yli 6 000 sykliä. Sykliseen eliniikään vaikuttavat myös akuston käyttötavat, kuten käytettävät lataus- ja purkaustehot sekä purkausten syvyys. Akustoista ei käytännössä koskaan käytetä koko kapasiteettia. Tyypillisesti valmistajat ilmoittavat akuston kapasiteetille kaksi arvoa, teoreettisen kapasiteetin ja todellisen käytössä olevan kapasiteetin. Tämän lisäksi akustojen purkauksen syvyyttä tyypillisesti rajoitetaan ohjelmallisesti niin, että käytössä olevasta nettokapasiteetista käytetään esimerkiksi 90%. Toinen akuston nopeaan ikääntymiseen vaikuttava tekijä on suuret lataus- ja purkaustehot ja niiden aiheuttama akuston lämpörasitus. Tämä asia tulee kuitenkin useimmin kyseeseen ajoneuvoakkuja käytettäessä, jolloin on tarve akuston nopealle lataamiselle.

Kun akustoja ladataan vaihtosähköllä invertterin tai ajoneuvon sisäisen laturin kautta lataustehot säilyvät tyypillisesti kohtuullisina. Ajoneuvoissa on usein 11 kW sisäinen laturi ja tässä yhteydessä puhutaan hitaasta kotilatauksesta, joka on suositeltava tapa akuston pitkän eliniän takaamiseksi. Latausaika vaihtosähköllä ladatessa on tyypillisesti useita tunteja. Tässä työssä esimerkkeinä käytettyjä akustoja simuloitiin käytettävän maksimissaan 20 kW lataus- ja purkaustehoilla, jotka olivat myös valmistajien ilmoittamia suurimpia sallittuja normaalitehoja. Normaaliteholla tarkoitetaan tehoa, jonka laite kestää jatkuvassa käytössä ilman ylikuumentumista. Hetkellisesti akustoja voisi kuormittaa suuremmillakin tehoilla niiden vaurioitumatta. Ajoneuvoakustojen kohdalla puhuttaessa pikalatauksesta akustoja ladataan suoraan tasajännitteellä hyvin suurilla tehoilla nopean latauksen aikaansaamiseksi. Näissä yhteyksissä mainitaan usein yli 100 kW lataustehoja, jotka aiheuttavat akuston voimakasta lämpenemistä ja myös nopeampaa ikääntymistä. Tämän työn yhteydessä edellä mainitun kaltaista voimakasta lämpökuormitusta ei

ollut tarve ottaa huomioon, koska laskenta suoritettiin rajaamalla lataus- ja purkaustehot alle valmistajien ilmoittamien normaalitehojen.

Vertailuun valittujen akkukokojen elinikää arvioitiin samalla laskentataulukolla käyttäen valmistajien monesti LFP-akuille lupaamaa vähintään 6 000 syklin elinikää, kun käytetään heidän ilmoittamiaan tehorajoituksia. Laskenta suoritettiin sekä maaliskuun, että toukokuun kulutustiedoilla. Kaavalla 2 laskettiin keskimääräiset syklien lukumäärät vuorokautta kohden.

$$\text{Syklien lkm.} = \frac{\text{Akustoon varattu energia (kWh)}}{30 \text{ päivää} * \text{Akuston kapasiteetti (kWh)}} \quad (2)$$

Saatujen keskimääräisten vuorokausikohtaisten syklien lukumäärän avulla laskettiin, kuinka monessa vuodessa valmistajan ilmoittama 6 000 sykliä saavutettaisiin.

Tuloksiksi saatiin:

30 kWh akustolle:

- Maaliskuun kulutustiedoilla 9,2 vuotta
- Toukokuun kulutustiedoilla 8,7 vuotta

50 kWh akustolle:

- Maaliskuun kulutustiedoilla 12,7 vuotta
- Toukokuun kulutustiedoilla 11,5 vuotta

Keskimääräiset akustojen eliniät edellä kuvatulla tavalla laskettuina olivat 30 kWh akustolle noin 9 vuotta ja 50 kWh akustolle noin 12 vuotta. Elinikää arvioitaessa tulee kuitenkin ymmärtää, että akustot tulevat olemaan käyttökelpoisia todennäköisesti pidempään. Valmistajan lupaama syklinen elinikä tarkoittaa, että akusto on säilyttänyt valtaosan kapasiteetistaan. Akustossa ei silloin ole enää täyttä alkuperäistä kapasiteettia käytettävissä, mutta se on edelleen käyttökelpoinen. Osa valmistajista lupaa, että vähintään 70% alkuperäisestä kapasiteetista on käytettävissä 6 000 syklin jälkeen.

7 INVESTOINNIN TAKAISINMAKSUAJAN ARVIOINTI

Investoinnin kannattavuutta ja mielekkyyttä arvioitiin laskemalla edellä mainituille investoinneille takaisinmaksuajat. Yksinkertaisimmillaan takaisinmaksuaika voidaan laskea kaavan 3 mukaisesti, kun tiedetään investoinnin kokonaisarvo ja arvioitu kuukausittainen tai vuosittainen saavutettu taloudellinen hyöty.

$$\text{Takaisinmaksuaika} = \frac{\text{Investoitu pääoma (€)}}{\text{Saavutettu säästö (€/v.)}} \quad (3)$$

Kun takaisinmaksuajat laskettiin kaavan 3 mukaisesti saatiin taulukon 3 mukaiset tulokset.

Investointi	12000	18000
Vuosi	Säästö	Säästö
1	2119	2616
2	4238	5232
3	6357	7848
4	8476	10464
5	10595	13080
6	12714	15696
7	14833	18312
8	16952	20928
9	19071	23544
10	21190	26160

Taulukko 3. Takaisinmaksuajat

Edellä kuvatulla laskentamenetelmällä arvioiden pienempää, 30 kWh akustoa käytettäessä, investointi maksaisi itsensä takaisin saavutettujen säästöjen muodossa kuuden vuoden kuluessa ja suurempi akusto seitsemän vuoden kuluessa.

Takaisinmaksuaikaa laskiessa on kuitenkin tarpeellista huomioida myös korkotuotto. Jos vastaava rahamäärä olisi investoitu muualle, tehdyille investoinneille olisi luonnollisesti tuotto-odotus. Jos akustoihin

investoitavat rahat sijoitettaisiin 5% tuotto-odotuksella, niin takaisinmaksuaikojen laskennassa täytyy huomioida ajatellun sijoituksen tuotto. Näin laskien takaisinmaksuajoista muodostuu pidempiä ja takaisinmaksuajoiksi saatiin taulukon 4 mukaiset tulokset.

Investointi	12000	Säästö	18000	Säästö
Vuosi				
1	12600	2119	18900	2616
2	13230	4238	19845	5232
3	13892	6357	20837	7848
4	14586	8476	21879	10464
5	15315	10595	22973	13080
6	16081	12714	24122	15696
7	16885	14833	25328	18312
8	17729	16952	26594	20928
9	18616	19071	27924	23544
10	19547	21190	29320	26160

Taulukko 4. Takaisinmaksuajat 5% tuotto-odotuksella.

Kun sijoitukselle asetettiin 5% tuotto-odotus 30 kWh akuston takaisinmaksuajaksi saatiin 9 vuotta ja suurempi akusto ei maksa itseään investointina takaisin 10 vuoden kuluessa.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Työssä selvitettiin Sykäräisissä sijaitsevan ja omaa energiatuotantoa sisältävän maitotilan sähköenergian käyttöä. Tarkoituksena oli selvittää CoPower-hankkeelle, minkälaisia vaikutuksia ja säästöjä tilalla olisi saavutettavissa lisäämällä tilan oman sähköenergiantuotannon yhteyteen akustolla toteutettu energiavarausto. Tarkoituksena oli selvittää tilan huipputehojen leikkaamisen onnistumista akustoon varattavan ja sieltä purettavan energian avulla sekä sen vaikutusta ostoenergian määrään. Tilalla on 70 kW omaa sähköntuotantoa ja keskimääräisesti tämä riittää omaan energiantarpeeseen. Haasteena oli, että omaa tuotantoa on ajoittain yli oman tarpeen ja ajoittain se ei riitä kattamaan tehontarvetta.

Ensimmäinen selvitettävä asia oli vallitsevaan tilanteeseen tutustuminen ja tutkimusongelman rajaaminen. Käytössä oli tilan energiayhtiöltä saadut mittaustiedot useiden kuukausien ajalta vuodelta 2024. Tätä mittaustietoa analysoimalla, vieraillemalla tilalla sekä haastatteleamalla tilan omistajaa saatiin lähtötiedot ja vallitseva tilanne energiankäytön kannalta riittävästi selvitettyksi. Tilan kulutusprofiilista valittiin mallikuukausiksi maaliskuu 2024 ja toukokuu 2024. Näiden kuukausien mittaustuloksiin perustuen tehtiin laskentamalli, jolla erikokoisten akustojen vaikutusta koko kuukauden energiankäyttöön pystyttiin mallintamaan. Tutkittaviksi akkukapasiteeteiksi valittiin 30 kWh:n ja 50 kWh:n akustot, joiden tietoihin perustuen mallinnukset tehtiin.

Lopputuloksiksi arvioitiin, että 30 kWh:n akkukapasiteetilla olisi mahdollista saavuttaa noin 2100 €:n vuotuiset säästöt sähköenergianostossa ja suuremmalla, 50 kWh:n kapasiteetilla, saavutettaisiin arviolta noin 2600 €:n vuotuiset säästöt. Nämä arviot sisältävät hyvin paljon oletuksia sekä keskimääräisyyksiä, mutta ovat varmasti suuntaa antavia investointia harkittaessa. Laskennassa on käytetty keskimääräistä energianhintaa vuodelta 2024 ja voimakkaat muutokset energianhinnassa luonnollisesti muuttavat näitä arvioita. Samassa yhteydessä arvioitiin akustojen elinikää kyseisessä käytössä. Tämä arvion tekemiseksi laskettiin keskimääräinen varaus- ja purkaussykliin määrä vuorokaudessa ja verrattiin saatua arvoa valmistajan lupaamaan 6 000 sykliin. 30 kWh:n akuston kohdalla 6 000 sykliä täyttyy keskimäärin 9 vuoden kuluessa ja 50 kWh:n akustolla arviolta 12 vuodessa.

Lopuksi työssä arvioitiin investoinnin taloudellista kannattavuutta arvioitujen vuotuisten säästöjen ja investointikustannusten avulla. Käytettäessä investoinnille tuotto-odotuksena 5%:a päädyttiin lopputulokseen, että 30 kWh:n akusto maksaisi itsensä takaisin näillä oletuksilla noin 9 vuoden kuluessa ja investoitu akusto olisi edelleen käyttökelpoinen, vaikkakin jo takuuajansa lopussa. 50 kWh:n akuston

tapauksessa investointi on sen verran suuri, että se ei tule taloudellisesti kannattavaksi näillä oletuksilla. Takaisinmaksuajaksi muodostuu selvästi yli kymmenen vuotta.

Akuston avulla voidaan saavuttaa kustannussäästöjä kyseisellä tilalla. Akuston lisäämisen ohella suosituksen on, että tilan energiankäyttöä kannattaisi selvittää tarkemminkin. Haastatteluissa tuli ilmi, että tila on teknisesti hyvin monimutkainen kokonaisuus ja siellä on huomattava määrä erilaisia suuritehoisia sähkölaitteita. Nämä laitteet ohjautuvat päälle termostaattien, kytkinkellojen tai erilaisten antureiden ohjaamina. Olisi varmasti hyödyllistä selvittää erilaisten älykkäiden kuormanohjauslaitteiden lisäämistä näitä suuritehoisia laitteita ohjaamaan. Näin menetellen olisi varmasti saavutettavissa ainakin osin tilanne, että useampia suuritehoisia prosesseja ei ole käynnissä samaan aikaan. Älykkäällä ohjauksella niitä olisi luultavasti mahdollista vuorotella ja näin rajoittaa huipputehojen tarvetta entisestään.

LÄHTEET

Battery University. 2023. *BU-205: Types of Lithium-ion*. Saatavissa: [BU-205: Types of Lithium-ion - Battery University](#). Viitattu 9.12.2024.

Evro, S., Ajumobi, A., Mayon, D., & Tomomewo, O.S. 2024. *Navigating battery choices: A comparative study of lithium iron phosphate and nickel manganese cobalt battery technologies*. *Future Batteries* 4, 100007. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.fub.2024.100007>. Viitattu 8.2.2025.

Oudalov, A., Cherkaoui, R. & Beguin, A. 2007. *Sizing and Optimal Operation of Battery Energy Storage System for Peak Shaving Application*. IEEE Lausanne Power Tech, Lausanne, Switzerland. 621–625. Saatavissa: <https://doi.org/10.1109/PCT.2007.4538388>. Viitattu 26.1.2025.

Šimić, Z., Topić, D., Knežević, G & Pelin, D. 2021. *Battery energy storage technologies overview*. *International journal of electrical and computer engineering systems*. 12. 53–65. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/351220012_Battery_energy_storage_technologies_overview. <https://doi.org/10.32985/ijeces.12.1.6>. Viitattu 6.12.2024.

Sufyan, M., Abd Rahim N., Aman M., Tan C.K. & Raihan S. 2019. *Sizing and applications of battery energy storage technologies in smart grid system: A review*. *Journal of Renewable and Sustainable Energy* 11, 15105. Saatavissa: <https://doi.org/10.1063/1.5063866>. Viitattu 26.2.2025.

Tan, K.M., Babu, T.S., Ramachandaramurthy, V.K., Kasinathan, P., Solanki, S.G. & Raveendran, S.K. 2021. *Empowering smart grid: A comprehensive review of energy storage technology and application with renewable energy integration*. *Journal of Energy Storage* 39, 102591. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102591>. Viitattu 8.2.2025.