



KIINTEISTÖAKKUJEN TEKNISTALOUDELLINEN VERTAILU

Markus Liimatainen

OPINNÄYTETYÖ
Kesäkuu 2020

Sähkö- ja automaatiotekniikka
Sähkövoimatekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikka
Sähkövoimatekniikka

LIIMATAINEN, MARKUS:
Kiinteistöakkujen teknistaloudellinen vertailu

Opinnäytetyö 44 sivua, joista liitteitä 5 sivua
Kesäkuu 2020

Alati kehittyvä akkuteknologia ja näiden markkinoiden laajuus luo valinnan vaikeuden kiinteistöakkuja ostavalle kuluttajalle. Miten valittu tuote vertautuu muihin akkuihin kokonaishinnassa? Onko tämä soveltuva käyttötarkoitukseen ja mitä kustannustekijöitä pitää ottaa huomioon akuston sijoituksessa? Opinnäytetyön tarkoituksena oli vastata näihin kysymyksiin hyödyntäen viimeisimpiä vapaasti saatavilla olevia tietoja.

Opinnäytetyössä käytiin läpi yleisimpiä markkinoilta löytyviä kiinteistöakkutyyppejä sekä vertailtiin näiden ominaisuuksia taloudellisesta näkökulmasta katsottuna. Lisäksi tarkasteltiin konseptitasolla kiinteistöakun hankinnan kustannuksia esimerkkikohteeseen Tampereen ammattikorkeakoulun L-rakennukseen. Kiinteistölle mitoitettiin käyttötarkoitukseen sopiva akku ja laskettiin tämän potentiaalista takaisinmaksuaikaa sekä pohdittiin investoinnin kannattavuutta. Myös huomioitiin eri akustotyyppien tilavaatimuksia sekä näistä muodostuneita mahdollisia kustannuksia.

Työn perusteella ei ole selkeää taloudellisesti kannattavinta akkutyyppeä sähkövarastoksi, vaan valinta riippuu käyttötavasta ja sijoituspaikasta. Tämänhetkisten akkujen markkinahintatietojen pohjalta, sähkövaraston hankkiminen ei ole kannattavaa ainakaan esimerkkikohteeseen. Akkujen käyttäminen osana kiinteistöjen sähköverkkoa on varsin uusi konsepti, joten markkinat eivät ole täysin kehittyneet näiden osalta. Yritysten tuodessa uusia ja halvempia akustoratkaisuja, saattaa tulevaisuudessa kiinteistöakustoon sijoittamisesta tulla kannattavaa.

Asiasanat: akkuteknologia, kiinteistöakku, sähköverkko

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical and Automation Engineering
Power Engineering

LIIMATAINEN, MARKUS:
Techno-Economic Comparison of Household Batteries

Bachelor's thesis 44 pages, appendices 5 pages
June 2020

The ever-evolving battery technology and the size of the battery technology market create a difficulty of choice for the consumer buying a household battery. How does the selected product compare to other batteries in the total price? Is it suitable for the intended use and what cost factors should be considered in the placement of the battery? The purpose of the thesis was to answer these questions utilizing the latest information available on the Internet.

The thesis reviews the most common types of household batteries found on the market and compares their properties from an economic point of view. At the concept level, the report also examines the costs and profitability of acquiring a household battery using the L-building of Tampere University of Applied Sciences as an example. The space requirements of the different battery types as well as the possible costs arising from these requirements are also considered.

Based on the findings, there is no clear, most economically profitable type of battery for an electrical storage, but the choice depends on the method of use and location. Based on the current market price of batteries, it is not profitable to purchase an electricity storage, at least in case of the example building. However, the use of batteries as a part of a property's electrical grid is a fairly new concept, so the market might not be fully developed for this concept yet. As companies bring in new and cheaper battery solutions, investing in household batteries may become profitable in the future.

Key words: battery technology, household battery, electrical grid

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	AKKUTYYPIT	7
2.1	Sähkövaraston hankinnan syyt	7
2.2	Akun toimintaperiaate	8
2.3	Lyijyakku	9
2.4	Nikkelipohjaiset akut	10
2.5	Litium-ioniakku	13
2.6	Akkutyypin taloudellinen vertailu	15
2.7	Kiinteistöakun käyttötapaehtotus.....	16
3	AKUSTON MITOITTAMINEN	19
3.1	Suunnittelukohde	19
3.2	IV-ryhmäkeskuksen nykyinen tuotanto ja kulutus	20
3.2.1	Akuston mitoitus aurinkopaneeleiden ylituotannon pohjalta	22
3.2.2	Akuston mitoitus kulutushuippujen tasaamiseksi.....	23
3.3	Akuston takaisinmaksuaika	25
3.3.1	Takaisinmaksuaika aurinkopaneeleiden ylituotannolla	25
3.3.2	Takaisinmaksuaika aikahinnoittelulla.....	28
4	KIINTEISTÖAKKUTILAT	30
4.1	Akustotila rakennuksessa	30
4.2	Akkutilan vaatimukset	30
4.2.1	Litium-ioniakkutilojen suositukset	31
4.3	Lattian kantavuus	32
4.4	Lattian soveltuvuus elektrolyytille	32
4.5	Ilmanvaihto.....	33
4.6	Paloturvallisuus.....	34
5	POHDINTA	35
	LÄHTEET.....	37
	LIITTEET	40
	Liite 1. Akkujen ostohinnat	40
	Liite 2. Sunny Tripower STP15000TL-10 invertterin kilpiarvot	41
	Liite 3. Solarwatt blue 60P aurinkopaneelin kilpiarvot.....	42
	Liite 4. Sähkön ja sähkönsiirron hinnoittelu	43
	Liite 5. Tukes litium-ionisähkövaraston sijoittamisen suositukset.....	44

ERITYISSANASTO

BMS	Battery Management System, akun hallintajärjestelmä
Mikroverkko	Paikallinen, selvärajanen energiajärjestelmä, joka koostuu hajautetuista energialähteistä, energian varastointiratkaisusta ja joustavista kuormista
UPS	Uninterruptible Power Supply, keskeytymätön virransyöttö
VRLA	Valve Regulated Lead Acid, ylipaineventtiilillä varustettu suljettu huoltovapaa lyijyakku
SLA	Sealed Lead Acid, suljettu lyijyakku
Syväpurkaus	Tila, jossa yli 80 % akun kapasiteetista on purettu
Muisti-ilmiö	Akun kapasiteetin pieneneminen johtuen aiemmasta epätäydellisestä varauksen purkamisesta
Aktiivinen materiaali	Materiaali, joka osallistuu sähkökemialliseen varaus- ja purkausreaktioon
Sintraus	Aineesta tuotetaan kiinteäkappale kuumuudella tai puristamalla, sulattamatta ainetta
Off-Grid	Sähköverkosta irti oleva järjestelmä
Itsepurkaus	Akkujen ilmiö, jossa sisäiset reaktiot vähentävät akun varastoitunutta varausta
Energia tiheys, Wh/kg	Akkuun varastoituneen energian määrä painoyksikköä kohden
Lämmin tila	Tilan lämpötila on 17 °C tai sitä korkeampi

1 JOHDANTO

Kasvava huoli ilmastonmuutoksesta ja teknologian kehittyminen ovat ajaneet ihmisiä enemmän omavaraisuuteen energiantuotannon osalta. Tyypillisiä tuotantomuotoja ovat aurinkopaneeli- ja tuulivoimalat, joiden tuotantoa ei voida kuitenkaan ennustaa. Näin ollen järjestelmä tarvitsee rinnalle akun, jotta energiaa saadaan silloin, kun sille on tarvetta. Muita akun hankinnan syitä voivat olla muun muassa toiminnan turvaaminen sähkökatkojen aikana, sijainti tai mahdollinen rahan säästäminen. Kiinteistöakkumarkkinat ovat kasvaneet viime vuosina ja perinteiset lyijyakut ovat saaneet antaa tilaa uusille litium-ioniakuille. Markkinoiden laajentuminen on kuitenkin aiheuttanut kuluttajalle valinnanvaikeuden.

Koska markkinoilta löytyy entistä enemmän erityyppisiä ja hintaisia akkuja, niiden suoraan vertaaminen on etenevissä määrin vaikeampaa. Opinnäytetyön tavoitteena on tuoda selkeyttä tähän asiaan kustannusnäkökulma edellä. Tämän saavuttamiseksi käytetään ja vertaillaan viimeisimpiä löytyviä tietoja yleisimmistä kiinteistöakkutyypeistä. Lisäksi työssä tarkastellaan konseptitasolla esimerkin kautta tämänhetkisten markkinoilta löytyvien kiinteistöakustojen hankinnan kustannuksia ja kannattavuuksia. Työssä huomioidaan myös eri akkutyypin tilavaatimuksista johtuvia kustannuksia.

Esimerkkikohteena käytetään opinnäytetyön toimeksiantajan Tampereen ammattikorkeakoulun L-rakennusta. Kiinteistöstä löytyy valmiina aurinkopaneelijärjestelmä, jonka rinnalle suunnitellaan akusto teknistaloudellisesta näkökulmasta katsottuna. Mitoituksen aikana syntyviä huomioitavia kustannustekijöitä tuodaan työnaikana esille, joita voidaan hyödyntää yleisesti sähkövaraston mitoituksessa.

2 AKKUTYYPIT

2.1 Sähkövaraston hankinnan syyt

Sähkövaraston hankintaan löytyy monia eri syitä, kuten toimintavarmuuden takaaminen tai sähkölaskun pienentäminen. Viime vuosikymmenen myrskyt ovat opettaneet sähköverkon haavoittuvuuden, etenkin syrjäseudulla. Lisäksi maataloudenkin siirtyessä koko ajan automatisoidumpaan suuntaan (Maatalous 2019), voivat pienetkin sähkökatkot olla kohtalokkaita, jolloin toiminta on tarvetta turvata akustolla.

Syynä akuston hankintaan voi olla myös kiinteistön sijainti. Syrjäseudulla tai saarella tilanne voi olla sellainen, ettei ole taloudellisesti järkevää tuoda liittymiskaapelia kiinteistöön, etenkin jos etäisyydet ovat pitkiä tai kaapelointireitti olisi vaativa. Liittymismaksut voivat nousta jopa yli 10000 euroon (Talous 2017.) Tällöin mahdollisesti on taloudellisesti kannattavampaa tehdä alueelle oma mikroverkko, jossa energiaa hyödynnetään akusta.

Nykyään ovat yleistyneet myös omat mikrovoimalat eli tuotantolaitokset, joiden tuotannon teho on alle 100 kilovoltiampeeria (Energiaverotus 2019, Sähköviesti 2013.) Näiden hankintaan ihmisillä on monia syitä, kuten uusiutuvien energialähteiden hankinnan myötä vähentyneet henkilökohtaiset päästöt. Lisäksi syynä voi olla oman sähkölaskun pienentäminen tai jopa sähköntuotannon toiminta osana elinkeinoa. (Sähköviesti 2013). Tätä ajaa eteenpäin myös se, että mikrovoimalatuottaja on vapautettu kaikista sähköverotuksen velvollisuuksista (Energiaverotus 2019.)

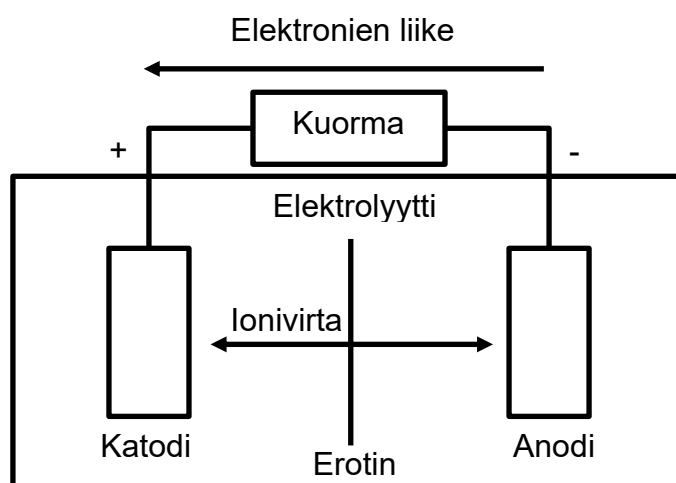
Etenkin uusiutuvilla energianlähteillä, kuten tuuli- ja aurinkovoimalla, ongelmana on, ettei tuotantotasoa pystytä täysin kontrolloimaan. Kulutuksen ja tuotannon aikaikkunat harvoin täsmäävät, jolloin tuotantolaitoksesta ei saada täyttä potentiaalia irti (Ekolämmöx 2016.) Tällöin rinnalle on järkevää kytkeä akusto, jolla varmistetaan sähköntuotannon hyödyntäminen kokonaisuudessaan. Kun tuotanto ylittää kulutuksen, niin sähköntuotanto kannattaa varastoida akkuun,

jolloin sitä voidaan hyödyntää pois tilanteissa, kun tuotanto ei enää vastaa kulutusta.

2.2 Akun toimintaperiaate

Akun toimintaperiaate perustuu sähkökemiallisiin ilmiöihin. Energiaa varastoidaan kemiallisesti ja puretaan sähköenergiana. Akun kennon rakenne koostuu kahdesta elektrodista: anodista ja katodista sekä näiden välillä olevasta väliaineesta elektrolyytistä. Elektrolyytti mahdollistaa ionien liikkumisen elektrodien välillä sekä toimii erottimena estämällä elektronien liikkeen suoraan elektrodien välillä. (BU-104b 2018.)

Akusta saadaan sähkövirta aikaiseksi hapettumis-pelkistymisreaktion myötä. Ulkoisen virtapiirin yhdistyttyä ionit hakeutuvat erottimen kautta katodille sekä anodi alkaa hapettumaan vapauttaen negatiivisesti varautuneita alkeishiukkasia, elektroneita. Anodin ja katodin välillä on varausero, jonka elektronit pyrkivät tasoittamaan kulkemalla suljetun ulkoisen piirin kautta positiivisesti varautuneelle katodille, aiheuttaen sähkövirran. Katodilla olevat ionit vastaanottavat elektronit, jolloin katodi pelkistyy. Akkua ladatessa toimintaperiaate on päinvastainen. Akun toimintaperiaate on esitettyä kuvassa 1. (BU-104b 2018.)



KUVA 1. Akun toimintaperiaate

2.3 Lyijyakku

Lyijyakun kehitti vuonna 1859 ranskalainen fyysikko Gaston Plante ja se on vanhin kaupallisessa käytössä oleva uudelleen ladattava akkutyyppi. Se on hyvin suosittu sen luotettavuuden ja kilpailukykyisen hinnan takia. Käyttökohteita ovat muun muassa autot, trukit sekä UPS-järjestelmät. (Motiva 2019, BU-201 2019.)

Lyijyakun levyjen rakenne koostuu lyijyseoksesta, koska lyijy itsessään on liian pehmeä materiaali. Seoksilla parannetaan mekaanista kestävyttä, mutta myös sähköisiä ominaisuuksia. Eniten seoksessa käytettyjä alkuaineita ovat antimoni, kalsium, tina ja seleeni. Varsinkin teollisissa ratkaisuissa käytetään antimonia lyijyn seassa, koska sillä voidaan parantaa akun kestävyttä. Samalla kuitenkin joudutaan huomioimaan lisääntynyt vedyn muodostuminen ja akkuveden haihtuminen. (BU-201 2019.)

Varautuessaan ja purkautuessaan positiiviset lyijylevyt kuluvat ajan myötä, joten levyjen paksuuksista voidaan päätellä akun jäljellä oleva elinaika. Mitä paksumpia positiiviset lyijylevyt ovat, sitä kauemmin akku tulee kestävänsä. Eri käyttötarkoituksiin käytettävillä akuilla on eri levyjen paksuudet. Käynnistysakuissa levyjen paksuus on noin 1 mm luokkaa, kun taas trukkien ja kesämökkien akkujen levyjen paksuus on 6 mm tai sen yli. Tästä syystä käynnistysakut eivät ole soveltuvia käytettäväksi kiinteistön energianlähteenä. (BU-201 2019, Batteryuniversity n.d.)

Lyijyakkuja löytyy avokennoisena tai niin sanottuna suljettuna mallina (SLA). Kuitenkaan mikään lyijyakku ei ole täysin suljettu, koska näihin kertyy painetta lataus- ja purkutilanteissa. Liian korkean paineen tasaamiseksi suljetut lyijyakut ovat varustettava ylipaineventtiileillä. (BU-201 2019.)

Avokennoakuissa käytetään elektrolyyttinä akkuveden (H_2O) ja rikkihapon (H_2SO_4) liuosta. Nimensä mukaisesti akun kennot ovat avorakenteisia, joten niihin on mahdollista lisätä akkuvettä tämän haihduttua. Akkuveden haihtuminen muodostaa vetyä ja happea, joka saattaa aiheuttaa suljetussa tilassa räjähdysvaarallisen tilanteen. (Motiva 2019, Batteryuniversity n.d.)

Vuosien varrella on kehitetty monia eri suljettuja lyijyakkutyyppejä. Yleisimpiä käytössä olevia suljettuja lyijyakkuja ovat geeliakku, joka tunnetaan myös nimellä VRLA sekä AGM-akut. Suljetuissa akuissa ei käytetä erottimena pelkästään nestemäistä elektrolyyttiä, vaan elektrolyytti on liuotettuna eri materiaaleihin. Geeli-akussa elektrolyytti on hyydytetty hyödyntäen silikaa (SiO_2) ja AGM-akussa lasikuitulevyihin on liuotettuna elektrolyyttiä. Suljetun akun suurimpana etuna on sen kyky hyödyntää vetyä ja happea luodakseen uudelleen akkuvettä, joten akkuveden lisääminen ei ole tarpeellista, eikä se ole edes mahdollista. AGM-akun haihduttamista kaasuista vetykonsentraatio on alle 4 %, vaikka akkua varattaisiin merkittävästi yli. Vetykonsentraation pysyessä alle 4 %, on akkua turvallista käyttää suljetuissa tiloissa. (BU-201 2019, Batteryuniversity n.d). Asiasta lisää kappaleessa 4.2.3.

Lyijyakun hyviä puolia ovat: (Batteryuniversity n.d)

- yksinkertainen ja halpa
- luotettava rakenne ja hyvin ymmärretty teknologia
- itsepurkaminen pientä
- toimintakyky matalissa ja korkeissa lämpötiloissa
- suuri virranantokyky (auton käynnistys)
- ei muisti-ilmiötä

Lyijyakun huonoja puolia ovat: (Solarmicrogrid 2017, Batteryuniversity n.d)

- lataus- ja purkusyklien määrän vähyys
- huono energiatiheys
- huono kestävyys syväpurkamiselle (purkamissyvyys 50 %)
- avokennoakun akkuveden haihtuminen

2.4 Nikkelipohjaiset akut

Nikkeliakut voidaan jakaa kahteen eri pääluokkaan: nikkelimetalliakkuihin tai vetyä sisältäviin nikkeliakkuihin. Nikkelimetalliakuissa anodina käytetään metalleja, kuten kadmiumia, rautaa, sinkkiä ja vetyä sisältävässä nikkeliakuissa

käytetään anodina vetyä tai vety on imeytettynä metallilejeerinkiin (MEH). Nikkeliakuilla on yhteistä nikkelioksihydroksidista (NiOOH) koostuva katodi sekä elektrolyytinä käytetään kaliumhydroksidiliuosta (KOH). (Eurobat n.d.)

Akun rakenne vaihtelee merkittävästi riippuen siitä, mihin käyttötarkoitukseen akku on tehty. Kuitenkin nikkeliakkujen elektrodien perusrakenne voidaan jakaa kahteen eri päätyyppiin: taskulevyrakenteeseen tai yhdistettyyn / sintrattuun rakenteeseen. Taskulevyrakenteessa nikkelipäälystetty teräs sisältää aktiivisen materiaalin. Yhdistetyssä sekä sintratussa elektrodirakenteessa huokoinen, osittain sintrattu nikkelisubstraatti on aktiivisen materiaalin seassa. Lisäksi erilaiset muovisidokset sekä kuiturakenteet ovat näissä mahdollisia. (Eurobat n.d.)

Taskulevyrakenteessa ovat etuina sen hyvä luotettavuus ja kohtuullinen suorituskyky. Lisäksi se kestää hyvin vaativiakin käyttöolosuhteita. Sintratun rakenteen etuna on parempi suorituskyky. Ohuilla elektrodilevyillä saavutetaan parempi energiatiheys ja suorituskyky, mutta joudutaan tyytymään huonompaan kestävyteen. (Eurobat n.d, L. Jörissen, H. Frey s.223-224.) Kiinteistöakkujärjestelmissä pyritään yleisesti mahdollisimman pitkään käyttöikään ja kustannustehokkaimpaan ratkaisuun. Tästä syystä taskulevyrakenne sopii tähän käyttötarkoitukseen paremmin.

Tällä hetkellä myynnissä olevista nikkeliakuista varteenotettavimmat vaihtoehdot kiinteistöakuiksi ominaisuuksiensa pohjalta ovat nikkeli-kadmium- ja nikkeli-rauta-akku. Näitä on käytössä suurissakin sähkövarastoapplikaatioissa. Esimerkiksi Alaskassa Fairbanks:iin rakennettiin vuonna 2003 nikkeli-kadmiumsähkövarasto, joka kykenee tuottamaan 27 megawattia 15 minuutin ajan. Myös nikkeli-rauta-akkuja on käytetty suurissa applikaatioissa, kuten kaivosten valaistuksessa sekä materiaalin käsittelyssä. (L. Jörissen, H. Frey s.224-225.)

Nikkeli-kadmiumakkujen hyviä puolia ovat: (BU-203 2020)

- kestävä rakenne
- suuret lataus- ja purkusyklimäärät
- toimivuus kuormitettuna ja kestävyys ylikuormitettuna.
- pitkäikäisyys varastoituna
- toimintavarmuus matalissa lämpötiloissa
- halpa hinta elinkaarenaikana käytettävälle kilowattitunnille
- monia eri koko- ja tehokkuusvaihtoehtoja

Nikkeli-kadmiumakun huonoja puolia ovat: (BU-203 2020)

- huono energiatiheys
- muisti-ilmio
- cadmiumin myrkyllisyys
- suuri itsepurkaminen
- matala kennon jännite (1,20 V)
- kallis ostohinta

Nikkeli-rauta-akulla on hyvin samankaltaiset ominaisuudet nikkeli-kadmiumakun kanssa. Nikkeli-rauta-akun hyviä puolia ovat: (BU-203 2020, Ironedison 2013)

- kestävyys yli- kuin alivaraamiselle
- suuret lataus- ja purkusyklimäärät
- kestävä rakenne
- tärinän ja korkeiden lämpötilojen kesto
- pitkäikäinen
- halpa kustannus elinkaarenaikana käytettävälle kilowattitunnille

Nikkeli-rauta-akun huonoja puolia ovat: (BU-203 2020, Ironedison 2013, L. Jörissen, H. Frey s. 225)

- huono energiatiheys
- matala kennon jännite (1,20 V)
- rakenne vain avokennomallisena
- akkuveden haihduttaminen (lisäys 1 – 3 kuukauden välein)
- suuri itsepurkaminen
- kallis ostohinta
- vedyn luominen (tarvitsee hyvin tuuletetun tilan)

Viime vuosina nikkeli-rauta-akun valmistusteknologia on parantunut, mikä on tehnyt siitä varsin hyvän vaihtoehdon lyijyakulle, etenkin Off-Grid-järjestelmissä. Taskulevyrakenteen kehittyminen on pienentänyt itsepurkamista sekä tehnyt siitä käytännössä immuunin yli- ja alivaraamiselle. (BU-203 2020.)

2.5 Litium-ioniakku

G.N. Lewis alkoi kehittämään litiumakkua 1912, mutta kesti 1970-luvun alkuun saakka ennen kuin kaupallinen versio akusta oli markkinoilla. Litiumakun ongelmana on litiummetallin epävakaus erityisesti ladattaessa, jonka takia kehitettiin vakaampi akku, jossa käytetään litium-ioniä. Kehitystyön myötä saatiin akku, joka on varsin turvallinen oikein käytettynä ja jolla on hieman pienempi energiatiheys kuin litiumakulla. Nykyään litium-ioniakku on suosittu akkutyyppe erityisesti kannettavien akkujen markkinoilla, kuten matkapuhelimissa. Litium-ioniakun 3,6 voltin kennon jännite mahdollistaa yksikennoisen rakenteen ja tästä johtuvan kevyen akun valmistamisen, jota voidaan suoraan käyttää puhelimissa, tableteissa sekä kameroissa. Nykyään litium-ioniakku on nopeimmin kehittyvä ja kaikkein lupaavin akkutyyppe. (BU-204 2018.)

Litium-ioniakun rakenne koostuu katodista, anodista, orgaanisesta elektrolyytistä sekä erottimesta. Anodi on tehty kuparifoliosta, joka on päällystetty huokoisella hiilellä. Tyypillisesti tämä on grafiittia, mutta myös muut anodivaihtoehdot ovat laajassa tutkimuksessa, kuten grafeeni. Katodi koostuu alumiinifoliosta, joka on

päällystetty aktiivisella materiaalilla. Tästä litium-ioniakku saa tyypillisesti nimensä, kuten litium-koboltti-oksidi-akku (LiCoO_2) ja sen lyhenteenä käytetään nimeä LCO. (BU-204 2018, BU-103b 2018, BU-205 2019.) Elektrolyytinä akuissa käytetään litiumin suoloja orgaanisessa liuotimessa. Liuotin on palavaa materiaalia, mikä tekee akusta mahdollisesti paloturvallisuusriskin. (Pelastustieto 2016.)

Litium-ioniakun hyviä puolia ovat: (BU-204 2018, BU-304a 2019)

- suuri energiatiheys
- suuret lataus- ja purkusyklimäärät
- pitkäikäinen varastoituna
- pieni sisäisen resistanssi
- huoltovapaa
- vähäinen itsepurkaminen (verrattuna nikkelpohjaisiin akkuihin)
- ei muisti-ilmiötä

Litium-ioniakun huonoja puolia ovat: (BU-204 2018, BU-304a 2019)

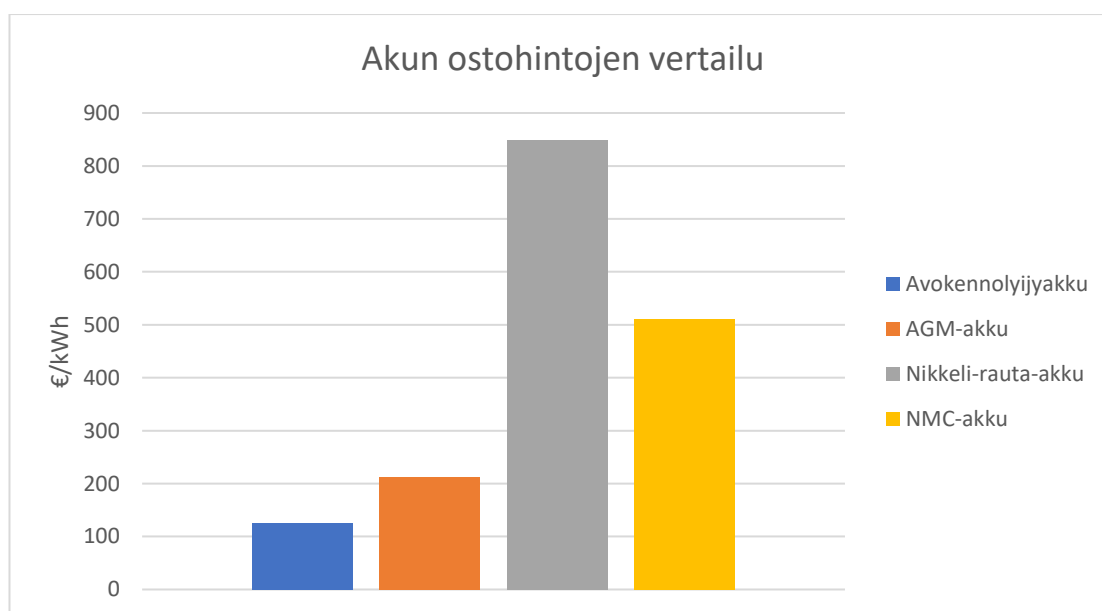
- suojattava turvapiirillä (BMS)
- lyhyt elinikä korkeissa lämpötiloissa ja varastoituna täyteen varaukseen
- rajoitettu toiminta alle 0 celsiusasteessa (ei kestä nopeaa latausta)
- palava elektrolyytti
- heikko rakenne (tulipaloriski)

Litium-ioniakusta löytyy lukuisia versioita eri käyttötarkoituksiin, mutta tällä hetkellä litium-ioniakkujen sähkövarastomarkkinoita hallitsevat litium-nikkeli-mangaani-koboltti-oksidi, joka tunnetaan myös nimellä NMC sekä litium-rauta-fosfaatti, joka on lyhennettynä LFP. NMC on yksi suosituimmista litium-ioniakkutyypeistä etenkin johtuen sen edullisuudesta, muokattavuudesta sekä kestävydestä suuriin syklimääriin. LFP on hyvin samankaltainen ominaisuuksien kanssa, mutta sen energiatiheys on NMC:tä huonompi. Lisäksi tämän tuotantomäärät ovat vielä niin pieniä, että akun hinta nousee johtuen tuotantokustannuksista. (Batterytestcentre n.d, BU-205 2019)

2.6 Akkutyypin taloudellinen vertailu

Vertaillaan markkinoilla olevien suosituimpien kiinteistöakkujen ostohintoja. Näistä valitaan tarkempaan tarkasteluun avokennolyijyakku, AGM-akku, nikkeli-rauta-akku sekä NMC-akku.

Alla olevaan kuvioon 1 on kerätty liitteestä 1 alkuinvestointikustannukset akkutyypeittäin. Kuvioista 1 huomataan, että avokennoinen lyijyakku on alkuinvestointikustannuksiltaan halvin (126 € / kWh). Tämän jälkeen tulee huoltovapaa AGM-akku (213 € / kWh) sekä NMC-akku (511 € / kWh). Nikkeli-rauta-akulla on vertailtavista akuista kaikkein alkuinvestointihinta (849 € / kWh).



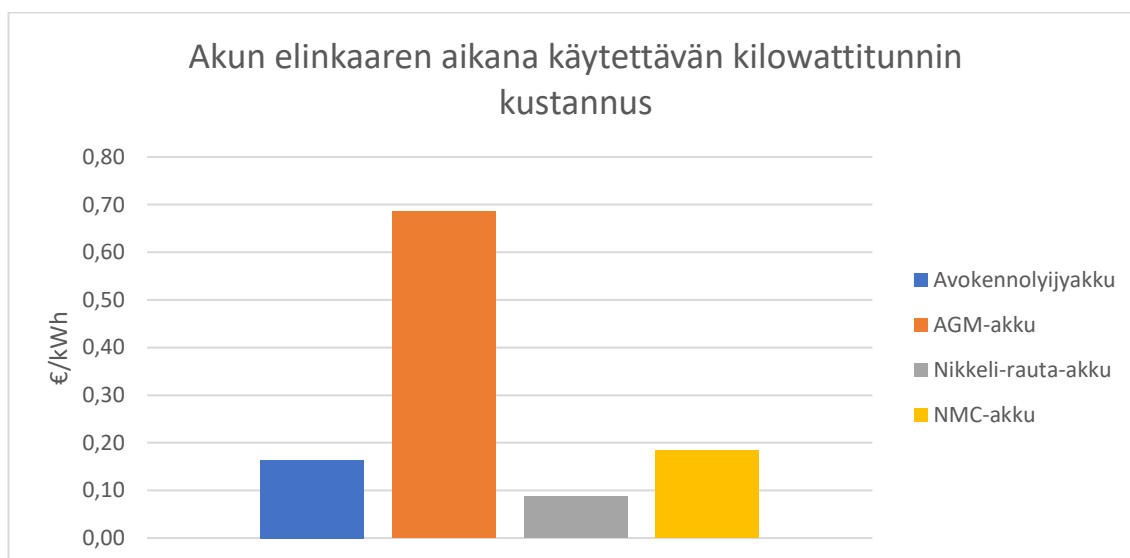
KUVIO 1. Investointihintojen vertailu (Ironedison 2013, Solarmicrogrid 2017)

Pelkästään akkujen kapasiteettien ostohintojen vertaaminen ei ole kannattavaa akkujen lataus-purkusyklien määrien sekä käyttöikien ollessa hyvin erilaisia. Akun elinkaaren aikana käytettävän kilowattitunnin kustannus kuvaa paremmin kokonaistilannetta kustannusten osalta. Hintaa laskiessa huomioidaan akun kapasiteetin lisäksi, kuinka monta kertaa akun käyttöiän aikana kapasiteetti on käytössä. Hinnat ja syklimäärät löytyvät liitteestä 1.

Kuviosta 2 huomataan, että lähtöhinnaltaan kallein oleva akkutyyppi nikkeli-rauta-akku on lopulta halvin (0,09 € / kWh). Tämä selittyy nikkeli-rauta-akun

merkittävästi paremmalla kestävyydellä syklien osalta verrattuna muihin akkutyypeihin. Seuraavaksi kallein ostohinnaltaan NMC-akku (0,18 € / kWh) on lopulta vertailukelpoinen hinnaltaan avokennolyijyakun (0,16 € / kWh) kanssa. NMC-akun syklimäärät ovat selvästi avokennolyijyakkua suuremmat.

Halvimpina ostohinnoiltaan olevat lyijyakut: avokennolyijyakku sekä AGM-akku eivät ole loppupeleissä halvimpia akustoratkaisuja, johtuen niiden huonosta kestävydestä syklien osalta. AGM-akku (0,69 € / kWh) nousi jopa kalleimmaksi sen syklien määrän vähäisyyden takia. Tämän lopullinen hinta osalta nousi niin merkittävästi yli muiden akkutyypin, ettei sen käyttäminen ole taloudellisesti kannattavaa kohteissa, joissa akun käyttö on ympärivuotista, kuten myöhemmin työssä käytettävään esimerkkikohteeseen. Tästä syystä AGM-akkua ei enää käytetä takaisinmaksuajan laskuissa.



KUVIO 2. Elinkaarikustannusten vertailu (Ironedison 2013, Solarmicrogrid 2017)

2.7 Kiinteistöakun käyttötapaehdotus

Eri akkutyyppjä verratessa kustannusten ja niiden ominaisuuksien osalta huomataan, että nämä soveltuvat parhaiten eri käyttötarkoituksiin. Kappaleessa käydään läpi ehdotuksia akkujen parhaimmista soveltuvuuksista eri käyttötarkoituksiin aikaisemmin mainittujen ominaisuuksien ja hintojen pohjalta.

Akkujen kannattavuus riippuu akun käyttötarkoituksesta ja sijoituspaikasta, joten kappaleessa esitetyt ehdotukset eivät ole yleispäteviä.

Lyijyakut toimivat parhaiten kesämökkikäytössä, jossa alkuinvestointihinta on pieni sekä käyttömäärät pysyvät vuositasolla vähäisinä. Tällöin ei ole järkevää sijoittaa kalliimpaan litium-ioni- ja nikkeli-rauta-akkuun, joiden parempi kestävyys syklien osalta näkyy vasta vuosien päästä, jos silloinkaan vähäisen käytön takia. Työ ja elinkeinoministeriön raportissa kesämökeille kertyi käyttöpäiviä keskimäärin 75 kappaletta vuonna 2008 (TEM 2011, 18), joten verratessa AGM-akun lataus-purkusyklimääriin (Solarmicrogrid 2017), akulla on mahdollisuus kestää yli 8 vuotta. Avokennolyijyakulla käyttöikä on vielä pidempi johtuen sen suuremmasta käyttösyklimäärästä (Solarmicrogrid 2017.) Lisäksi sen yksinkertainen rakenne takaa helpon käytettävyyden sekä se toimii hyvin eri lämpötiloissa (Batteryuniversity n.d), jolloin sitä voidaan käyttää kohteissa, joissa ei voida varmistaa lämpimän tilan olosuhteita. Etuna siinä on myös, että lyijyakuissa on myös itsepurkamisen vähäistä (Batteryuniversity n.d), jonka takia akun varaus säilyy, vaikka akku olisi pitkänkin aikaa varastoituna.

Litium-ioniakku sopii parhaiten käyttöpaikkoihin, joissa akun käyttö on päivittäistä, kuten kotitalouksiin. Lopullisen hinnan puolesta, NMC-akku on varsin kilpailukykyinen avokennolyijyakun kanssa ja selvästi halvempi kuin huoltovapaa AGM-akku (Solarmicrogrid 2017.) Litium-ioniakun etuina sen huoltovapaus sekä pitkäikäisyys (BU-204 2018.) Päivittäisessä käytössä litium-ioniakku kestää yli kolmikertaisen ajan kuin lyijyakut (liite 1.), joten litium-ioniakun vaihto ei tule eteen yhtä usein kuin lyijyakulla. Lisäksi sillä on suuri energiatiheys (BU-204 2018), eikä se tuota vetyä (Flashbattery 2017), jolloin se voidaan sijoittaa sisätiloihin, missä se ei vie paljoa tilaa, eikä tarvitse pohtia vedyn muodostumisen takia ilmanvaihtoa. Ilmanvaihdosta lisää kappaleessa 4.2.3.

Nikkeli-rauta-akku soveltuu parhaimmin suuriin sähkövarastoihin muun muassa teollisuuteen. Vaikka akulla on rasitteina kallein alkuinvestointihinta verrattuna muihin akkutyyppeihin ja säännöllinen huollontarve, niin pitkän käyttöiän ja suuren syklimäärän takia, nikkeli-rauta-akku on halvin kiinteistöakkuratkaisu vertailtavista kohteista (liite 1, Ironedison n.d), jolloin se sopii kohteisiin, joissa pyritään mahdollisimman kustannustehokkaaseen ratkaisuun. Lisäksi nikkeli-

rauta-akun etuina on sen kestävyys suuriinkin lämpötiloihin sekä hyvä sietokyky mekaanisille (tärinä) ja sähköisille (yli- ja alivaraaminen) rasituksille (BU-203 2020), joita tarvitaan teollisuusympäristöissä.

3 AKUSTON MITOITTAMINEN

3.1 Suunnittelukohde

Haetaan esimerkkikohteen kautta suuntaa akuston mitoittamisesta teknistaloudellisesta näkökulmasta katsottuna sekä pohditaan eri akustojen takaisinmaksuaikoja sekä kannattavuutta. Esimerkkikohteena käytetään työssä Tampereen ammattikorkeakoulun L-rakennusta. Se toimii liikuntasalina sekä Tampereen ammattikorkeakoulun opiskelijakunnan tiloina (Tamko n.d.) Rakennus on ympärivuotisessa, jokapäiväisessä käytössä (Sportuni 2020) ja se on osana Tampereen ammattikorkeakoulun sähköliittymää.

L-rakennuksen katolle on asennettu 55 kappaletta liitteen 3 mukaisia aurinkopaneeleita. Kohteessa mitattiin useista eri pisteistä energiamittareilla vuoden 2017 ajan 15 minuutin aikaväleihin tuotanto- ja kulutusdataa. Mittauspisteinä toimi muun muassa pääkeskus, ilmanvaihdon ryhmäkeskus sekä aurinkopaneelien vaihtosuuntaaja (liite 2).

Kappaleen 3 kuviot ovat tehty IV-ryhmäkeskuksen kokonaisnäennäistehon ja kokonaispätötehon mittausdatasta. Mittausaikaväli oli 1.1.2017 klo 00.15 – 1.1.2018 klo 00.00. Huomioitavaa on, että mittausdatassa on aukko aikavälillä 29.3.2017 – 26.4.2017. Mittausajankohtia kertyi vuoden aikana 32367 kappaletta. Mittauspisteiden suuren määrän takia, Excel-työkalulla ei ole mahdollista luoda kuvaajaa vuoden ajalta. Kappaleen 3 kuviot ovat luotu tunnin mittausportaililla.

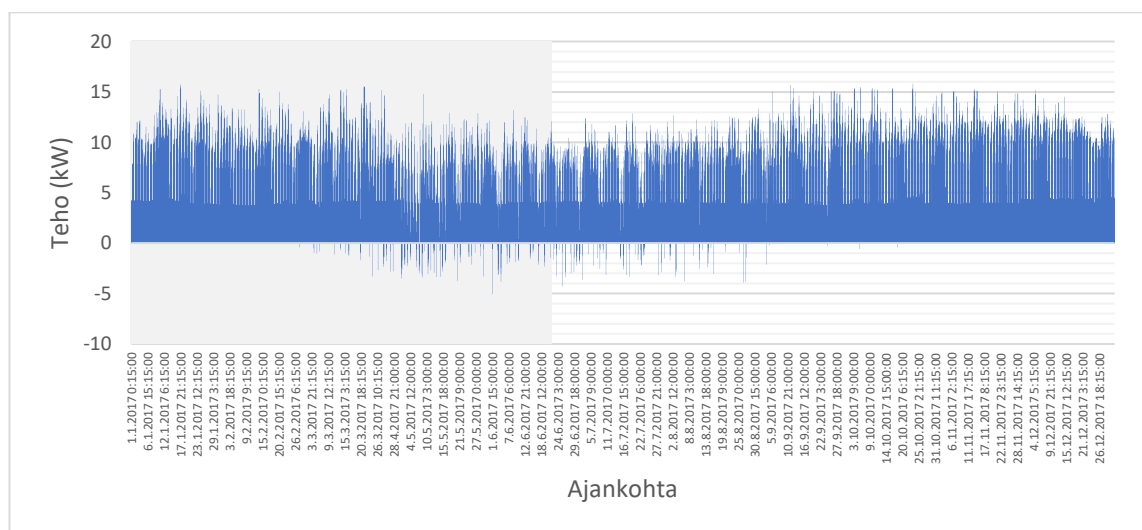
IV-ryhmäkeskuksen mittausdataa hyödynnetään johtuen siitä, että nykyinen aurinkopaneelijärjestelmä on kytketty IV-keskukseen. Keskuksen mittausdatasta nähdään keskuksen sähkönkulutus sekä aurinkopaneelijärjestelmän syöttämä teho. Lisäksi syynä on, että aurinkopaneelijärjestelmä ei tuota riittävästi energiaa vastaamaan rakennuksen eikä Tampereen ammattikorkeakoulun kulutusta. Koska ylituotantoa ei ole, niin akku ei voi maksaa itseään takaisin keräämällä ylituotettua energiaa, joten akuston hankkiminen ei ole kannattavaa aurinkopaneelien ylituotannon osalta. Tästä lisää kappaleessa 3.2.

Rajaamalla suunnittelukohte IV-ryhmäkeskukseen, saadaan esimerkki akuston taloudellisesta suunnittelusta kohteeseen, jossa on valmiina pientä ylituotantoa omaava aurinkopaneelijärjestelmä ja joka on liitetty sähköverkkoon. Lisäksi pohditaan sijoituksen kannattavuutta tämän kaltaiseen kohteeseen.

Käytettävyyden kannalta parasta koko akulle olisi, että päiväsaikaan aurinkopaneelien ylituotanto voitaisiin varastoida akkuun, jota voitaisiin hyödyntää illasta, kun kulutus ylittää tuotannon. Ylituotannon hyötykäyttämisen myötä akku alkaa maksamaan itseään takaisin. Taloudellisen näkökulmasta katsottuna kuitenkin akun pitää olla mahdollisimman pieni, jotta takaisinmaksuaika olisi mahdollisimman lyhyt.

3.2 IV-ryhmäkeskuksen nykyinen tuotanto ja kulutus

Kuviossa 3 aurinkopaneelituotanto sisällytetty keskuksen kokonaistehoon. Negatiiviselle puolelle suuntautuneet tehot, kertovat tilanteesta, kun sähköntuotanto ylittää kulutuksen. Kuvioista 3 huomataan, ettei vuoden aikana ole paljoa ylituotannon päiviä. IV-ryhmäkeskukseen kytketyt ilmanvaihtokoneet käyttivät melkein kokonaan vuoden aurinkopaneelituotannon, joten tämä tuotanto ei riitä muun rakennuksen kulutukseen, eikä mahdolliseen kiinteistön sähkön ylituotantoon.



KUVIO 3. IV-ryhmäkeskuksen sähkönkulutus vuodelta 2017

IV-koneiston sähkönkulutus perustuu tilan käyttäjämääriin. Mitä enemmän henkilöitä rakennuksessa on, sitä tehokkaammin kone joutuu vaihtamaan ilmaa ja tämä näkyy sähkönkulutuksen nousuna. Koska rakennus toimii kuntosalina ja opiskelijakunnan tiloina, niin pääasiallinen käyttöaika sijoittuu päivälle (Sportuni 2020), joten kuormituskin on tällöin suurempi. Rakennus on ympärivuotisella tasaisella käytöllä, joten kuukausitasolla käyttäjämäärissä ei tapahdu paljon muutosta lomakausia lukuun ottamatta. Tämän perusteella kulutus pysyy samana ympäri vuoden.

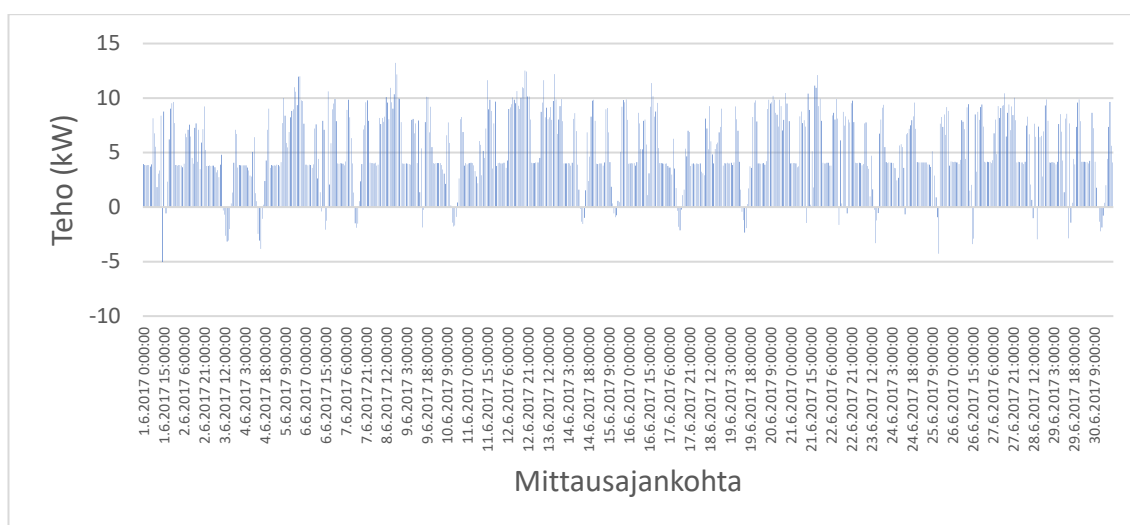
Kuvaajan 3 tehokuviota rikkoo aurinkopaneeleiden tuotanto. Erityisesti kesäaikaan huomataan kulutuksen laskeneen tai jopa ajoittain menneen negatiiviselle puolelle. Valitaan akuston mitoittamisen kannalta vertailukohdiksi tarkempaan tarkasteluun kuukausi, jolloin ylituotanto on erityisen suurta sekä kuukausi, jolloin kulutus on merkittävä.

Kesäkuussa saatiin aurinkopaneeleiden osalta paras tuottavuus, kuten huomataan kuvaajasta 3. Lisäksi kuvaajasta huomataan, että varsinkin kuukauden alkupuolella on merkittävä ylituotantopiikki. Teho näkyy kuvaajassa negatiivisena aurinkopaneeleiden tuotettua enemmän energiaa kuin on rakennuksessa tarvetta. Ylituotanto selittyy osittain alkaneella kesälomalla ja tästä syystä vähentyneillä käyttäjämäärillä. Ylituotantopiikin perusteella on tarkoitus mitoitaa akku, jonka kapasiteetti riittää vuoden jokaisessa ylituotantotilanteessa.

Kuvaajasta 3 huomataan joulukuun alkupuolen kulutuksen olevan merkittävän suurta. Tämä selittyy osittain sillä, että päivänpituus joulukuussa on todella lyhyt. Muun muassa talvipäivän seisaus sijoittuu päivämäärälle 21.12. Joulukuussa aurinkopaneelituotanto on varsin heikko, joten se ei ole tasoittamassa kulutushuippuja, jotka sijoittuvat päivälle. Kuukauden loppupuolella huomataan, että sähkönkulutus pienenee joululomien alkaessa koska käyttäjämäärät pienenevät. Joulukuun mitoituksella tarkastellaan, voidaanko kulutushuippujen tasaamisella saada mahdollisia säästöjä.

3.2.1 Akuston mitoitus aurinkopaneelien ylituotannon pohjalta

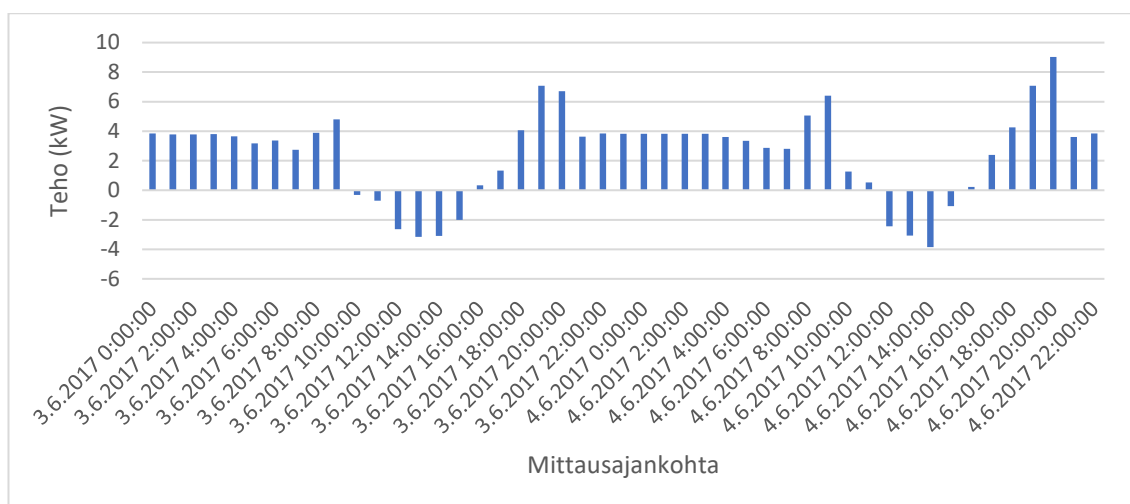
Kesäkuun tehokäyrää tarkasteltaessa huomataan kuviosta 4, että tehokäyrä ei ole samanlainen eri päivien osalta. Tehokuviota on rikkomassa aurinkopaneelien tuotanto, joka vaihtelee riippuen päivästä. Valitaan lyhyempi ajanjakso, jolloin aurinkopaneelien päivän kokonaisylituotanto oli ollut erityisen suurta, jonka perusteella akku mitoitetaan. Tämä ajankohta on 3.6.2017 - 4.6.2017.



KUVIO 4. IV-ryhmäkeskuksen sähkönkulutus kesäkuussa 2017

Kuviossa 5 on kaksi ajankohtaa, jolloin tuotanto oli ollut suurempaa kuin kulutus. Integroimalla ylituotantoa päivän 3.6.2017 aikavälille klo 10.00 – 15.00 saataisiin akkuihin varastoitua 11,87 kWh, jos ei oteta huomioon virtapiirissä syntyviä häviöitä. Päivän 4.6.2017 aikavälille klo 12.00 – 15.00 ylituotannon suuruudeksi saadaan 10,41 kWh, joka jäi pienemmäksi kuin 3.6.2017. Valitaan siis käyttöön enintään 11,87 kWh omaava akku ylituotannon perusteella, koska suuremmasta kapasiteetista ei ole enää hyötyä. Suuremmalla akulla vain ostohinta nousisi, jolloin investointi ei olisi enää tarpeeksi kannattavaa.

Kuviosta 5 huomataan, että ylituotantojen aikaikkunat ovat tarpeeksi erillään toisistaan, joten päivällä varastoitu energia ehditään käyttämään yön aikana myös parhaan tuotantotilanteen tapauksessa. Näin ollen edellisen päivän tuotantoa ei tarvitse huomioida, kun mitoitetaan akkua aurinkopaneelien ylituotannon perusteella.

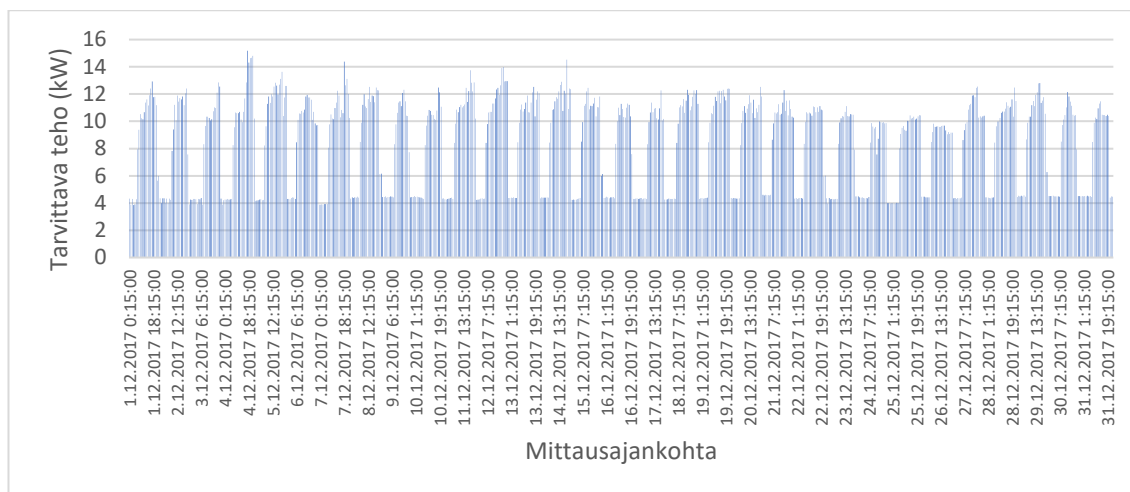


KUVIO 5. IV-ryhmäkeskuksen sähkönkulutus 3.6.2017 – 4.6.2017

Parhaimman teknistaloudellisen ratkaisun saamiseksi on valittava mahdollisimman pieni akku, kuitenkin vaarantamatta akun käyttöikä. Litium-ioni- ja nikkeli-rauta-akun kapasiteetista voidaan purkaa 80 % turvallisesti ilman, että käyttöikä lyhenee (Ironedison n.d, Solarmicrogrid 2017.) Näiden akkujen osalta, jotta voidaan varastoida 11,87 kWh, kapasiteetin on oltava vähintään 14,83 kWh eli olisi ostettava 15 kWh akku. Lyijyakulla turvallinen käytettävä kapasiteetti on 50 % akun kokonaiskapasiteetista (Solarmicrogrid 2017), jolloin akusto kapasiteetti pitäisi olla vähintään 23,74 kWh. Näin ollen pitäisi ostaa 24 kWh lyijyakku.

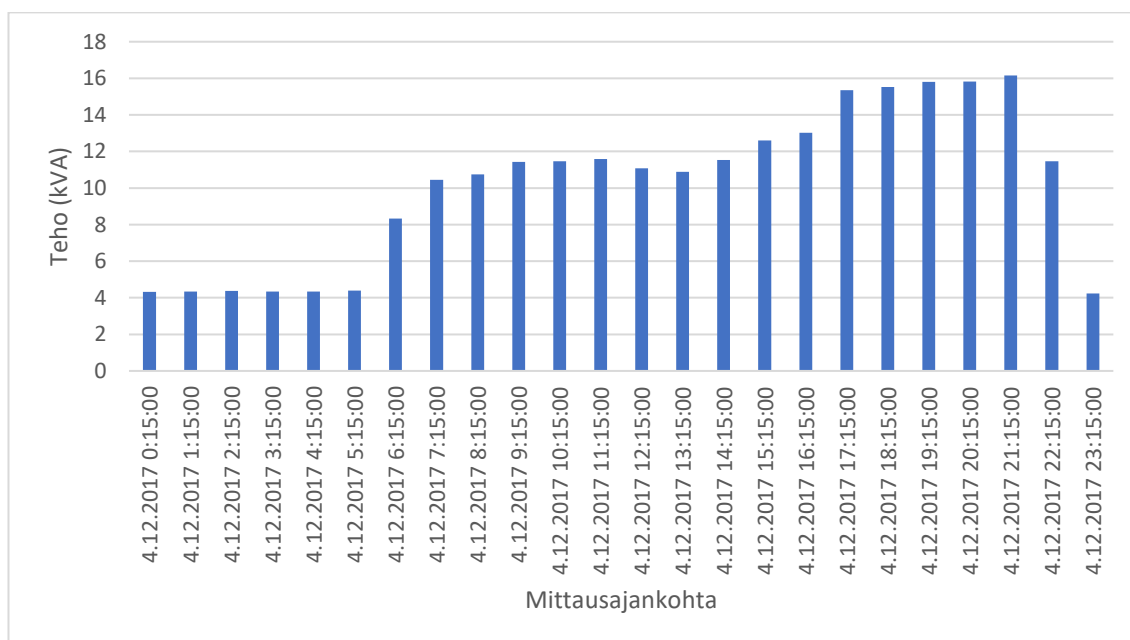
3.2.2 Akuston mitoitus kulutushuippujen tasaamiseksi

Kuviosta 6 huomataan, että joulukuun osalta sähkönkulutus oli säännöllisempää vuorokaudesta riippumatta, koska aurinkopaneelit eivät olleet tuottamassa energiaa. Lisäksi huomataan, että kulutushuippu oli joulukuussa korkeampi kuin kesällä, koska suurin sähkönkulutuksen piikki sijoittui päivälle. Kesällä aurinkopaneelit tasoittavat sähkönkulutuspiikkejä päivisin, mutta joulukuussa aurinkopaneelit eivät tuota yhtä paljon energiaa johtuen päivän lyhydestä. Öisin tehontarve tasoittuu samalle tasolle kuin kesällä eli noin 4 kilowattiin.



KUVIO 6. IV-ryhmäkeskuksen joulukuu 2017

Valitaan tarkemman tarkastelun kohteeksi 4.12.2017, koska tällä päivämäärällä sähkönkulutus oli joulukuussa suurimmillaan. Kuvio 7 kuvaa IV-ryhmäkeskuksen näennäistehon tarvetta. Näennäisteholla nähdään todellinen virrankulutus sähköverkosta katsottuna.



KUVIO 7. IV-ryhmäkeskuksen sähkönkulutus 4.12.2017

Jos IV-ryhmäkeskusta ajateltaisiin omana liittymänä, niin taloudellisesta näkökulmasta katsottuna olisi kannattavaa hankkia niin pieni sähköliittymä kuin mahdollista. Esimerkkikohte sijaitsee Tampereen sähköverkon siirtoalueella ja yhtiön pienin tarjoama liittymä on 25 ampeeria, joka vastaa teholtaan noin 17 kVA (Tampereen Sähköverkko.)

Kuviosta 7 huomataan, ettei tarvittava näennäisteho ylittänyt koko päivänä 17 kVA. Suurin sähkönkulutuksen teho päivän aikana oli 16,15 kVA, joten esimerkkikohteeseen riittäisi 25 ampeerinen liittymä ja kohteen tapauksessa ei tarvittaisi mitoittaa akkua pienentämään kulutushuippuja.

Pienemmällä sähköliittymällä saavutetaan lukuisia etuja kustannusten osalta. Uuden liittymän liittymismaksu on halvempi. Jos valitsee 25 ampeerisen liittymän 35 ampeerisen sijaan, niin Tampereen 1-vyöhykkeellä uudessa liittymässä arvolisäveroton hinta olisi ollut 220 euroa halvempi. Isompien liittymien ja 2 tai 3 vyöhykkeen tapauksissa, hyöty olisi vielä suurempi (Sähköliittymähinnastot n.d.) Lisäksi riippuen siitä, minkä siirtotavan valitsee, on sähkönsiirron perusmaksu pienemmällä liittymällä halvempi. Erotus korostuu mitä suuremmasta liittymästä on kyse (Tampereen Sähköverkko 2017.)

3.3 Akuston takaisinmaksuaika

Haetaan vertailukohtaa akkujen takaisinmaksuajoista kahdella eri tavalla: varastoimalla aurinkopaneelien ylituotantoa ja hyödyntämällä sitä silloin, kun tuotanto ei enää vastaa kulutusta sekä varastoimalla ostettua sähköenergiaa silloin, kun se on halpaa ja hyödyntämällä sitä energiahinnan noustessa. Tarkastellaan takaisinmaksuaikatilannetta näiden tilanteiden pohjalta 25 ampeeriselle liittymälle. Kiinteistö sijaitsee Tampereen sähkölaitoksen siirtoalueella, joten laskuissa käytetään tämän alueen kustannuksia. Lisäksi vertailukohtana laskuissa käytettiin Tampereen sähkölaitoksen puusähkön hinnoittelua. Tiedot on koottu liitteeseen 5.

3.3.1 Takaisinmaksuaika aurinkopaneelien ylituotannolla

Integroimalla vuoden 2017 aurinkopaneelien ylituotantoa IV-ryhmäkeskuksessa, saadaan tulokseksi noin 383 kWh (Taulukko 1). Tarkastellaan kappaleessa 3.2.1 mitoitettun 12 kWh käytettävän kapasiteetin omaavan akun takaisinmaksuaikaa tämän ylituotannon perusteella.

Liitteeseen 4 on kerätty Tampereen sähkölaitoksen puusähkön ja sähkönsiirron kustannukset, joiden perusteella takaisinmaksuajat lasketaan. Takaisinmaksuaikaan vaikuttaa se, minkälaisen sähköliittymän on itselleen valinnut, joten laskujen tulokset ovat suuntaa antavia. Sähkönsiirron hintoihin ei voida alueella vaikuttaa. Sähkön sekä sähkönsiirron perusmaksuja ei huomioida, koska hyödyntämällä ylituotantoa, perusmaksut eivät muutu.

Kiinteistö on koko vuoden käytöllä ja ilmavaihtokoneet ovat ympärivuorokauden toiminnassa (kuvio 3), joten sähkönsiirtoon soveltuvat yleissiirto- tai aikasiirtosopimukset. Kausisiirto ja tilapäissiirto eivät sovi tähän käyttötarkoitukseen. Yleissiirrolla hinta pysyy vakiona vuorokauden ympäri. Aikasiirrolla sähkönsiirron hinta on aikavälillä 22.00 – 7.00 halvempaa kuin päivällä (Tampereen Sähköverkko 2017.)

Aikahinnoittelua käyttäessä on kannattavampaa hyödyntää aurinkopaneeleista saatu energia silloin, kun energia on kalliimpaa. Kuvion 5 päivämäärällä 3.6.2017 ylituotanto loppui klo 17.00, jonka jälkeen kulutus oli suurempaa kuin tuotanto. Aikavälin 17.00 - 22.00 kulutukseksi saadaan integroimalla 19,55 kWh, mikä on suurempi kuin suunnitellun akuston kapasiteetti. Vuoden parhaana ylituotantopäivänä voidaan käyttää koko ylituotanto päivähinnoittelun aikaan, joten koko vuoden ylituotanto voidaan hyödyntää kalliimman hintaluokan aikaan. Näin ollen laskuissa käytetään päivähinnoittelua.

Laskemalla liitteen 4 sähkön ja sähkönsiirron hinnat yhteen ja kertomalla tämä aurinkopaneeleiden koko vuoden ylituotannolla huomataan taulukosta 1, että yleishinnoittelulla säästetään noin 42 euroa vuodessa ja aikahinnoittelulla noin 44 euroa. Laskuissa ei oteta huomioon energian varastoinnissa sekä purkamisessa syntyneitä häviöitä.

TAULUKKO 1. Aurinkopaneeleiden ylituotannolla saatu säästö vuodessa (liite 4)

Aurinkopaneeleiden 2017 ylituotanto	382,96 kWh
Yleishinnoittelu	41,63 €
Aikahinnoittelu (päivä)	44,26 €

Taulukoon 2 on laskettu eri akkutyypin ostohintoja kappaleessa 3.2.1 mitoitettulle akulle. Akkujen ostohinnat kilowattituntia kohden löytyvät liitteestä 1.

Ostohintoja vertaamalla taulukon 1 vuosittaiseen säästöön, saatiin taulukkaan 2 takaisinmaksuajat vuosissa.

TAULUKKO 2. Takaisinmaksuaika aurinkopaneelituotannolla (liite 1, liite 4)

	Lyijyakuu, nestemäinen elektrolyytti	Nikkeli-rauta-aku	Li-ioniakuu (NMC)
Ostohinta (€ / kWh)	126	849	511
Ostettava kapasiteetti (kWh)	24	15	15
Käytössä oleva kapasiteetti (kWh)	12	12	12
Akuston kokonaishinta (€)	3034	12737	7671
Takaisinmaksuaika yleishinnoittelulla (a)	73	306	184
Takaisinmaksuaika aikahinnoittelulla (a)	69	288	173
Akun käyttöikä (a)	15-20	30	10

Taulukon 2 takaisinmaksuajoista huomataan, että akku ei tule koskaan maksamaan itseään takaisin aurinkopaneelien ylituotannolla. Pelkästään akkujen käyttöikä (liite 1) perusteella, akut ovat jo vanhentuneet ennen kuin akku olisi maksanut itsensä takaisin. Käyttöikä kuvaa akun varastointiaikaa, joten käytössä akun elinikä on mahdollisesti lyhyempi.

Akun kapasiteetin pienentäminen tai aurinkotuotannon kasvattaminen auttaisi jossain määrin lyhentämään takaisinmaksuaikaa, koska tällä hetkellä akku on mitoitettu parhaan tuotantopäivän mukaan. Kuitenkin mitä pienemmäksi akuston koossa mennään tai tuotantoa kasvatetaan, sitä enemmän jää varastoimatta ylituotantoa, koska akun kapasiteetti ei riitä koko energian varastointiin. Tämä tilanne johtaisi menetettyihin säästöihin. Koska takaisinmaksuajat näin paljon pidempiä kuin akkujen käyttöiät, niin tilanteesta ei saa mitenkään kannattavaa, vaikka kuinka pienentäisi akun kapasiteettia tai kasvattaisi tuotantoa. Muun muassa NMC-akun takaisinmaksuaika on 17,3 kertaa pidempi kuin akun käyttöikä.

3.3.2 Takaisinmaksuaika aikahinnoittelulla

Tarkastellaan takaisinmaksuajan tilannetta käyttämällä aikahinnoittelua. Akkuun varastoidaan yöllä energiaa, kun energiahinta on halvempaa ja hyödynnetään päivällä kalliimman hinnan aikaan saaden näin rahallista säästöä. Vuosittaisen säästön vertailun vuoksi, tämän osion mitoitukset ovat tehty samankokoiselle akulle kuin kappaleessa 3.3.1.

Akun koolla ei ole merkitystä takaisinmaksu aikaan aikahinnoittelun osalta, koska vuosittainen rahallinen säästö on suoraan verrannollinen akun kapasiteettiin. Lisäksi akun hinta kasvaa samassa suhteessa kapasiteetin kanssa. Esimerkiksi 14 kWh Teslan Powerwall akuston hinta on 7650 euroa, kun taas 28 kWh akuston hinta on 15300 euroa (Tesla n.d.) Näin ollen suuremman kapasiteetin omaavan akun takaisinmaksuaika on sama kuin pienemmän akun takaisinmaksuaika, jos takaisinmaksu tapahtuu hyödyntäen aikahinnoittelun erotusta.

Taulukkoon 3 on laskettu aikahinnoittelun erotuksen kautta saatu säästö vuodessa, kun 12 kWh kapasiteettia ladataan ja puretaan akkuun yhden syklin verran vuorokaudessa. Saatu säästö sähkön ja sähkönsiirron aikahinnoittelun erotuksena kilowattituntia kohden löytyy liitteestä 4. Vertaamalla vuosittaista säästöä akkujen ostohintoihin saadaan takaisinmaksuajat vuosissa. Lisäksi taulukossa 3 on akkujen käyttöikä vuosissa, jos akkuja ladataan ja puretaan yhden syklin verran vuorokaudessa. Käyttöikä saadaan liitteen 4 akun syklimääräkestävyydestä parhaimmassa tapauksessa. Tämä kuvaa akkujen pisintä mahdollista käyttöikää sykliden osalta päivittäisessä käytössä.

TAULUKKO 3. Aikahinnoittelun takaisinmaksuaika (liite 1, liite 4)

	Lyijyakku, nestemäinen elektrolyytti	Nikkeli-rauta-akku	Li-ioniakku (NMC)
Ostohinta (€/kWh)	126	849	511
Ostettava kapasiteetti (kWh)	24	15	15
Käytössä oleva kapasiteetti (kWh)	12	12	12
Akun kokonaishinta (€)	3034	12737	7671
Aikahinnoittelun erotuksella saatu säästö vuodessa (€)	128	128	128
Takaisinmaksuaika (a)	24	100	60
Käyttöikä (a)	2,7	30,1	11

Vertaamalla taulukon 3 takaisinmaksuaikoja akkujen käyttöihin, huomataan etteivät akut maksa koskaan itseään takaisin aikasähkön erotuksella. Takaisinmaksuajat ovat moninkertaiset verrattuna käyttöihin, joten sähköliittymän vaihtamisellakaan ei saada sijoitusta kannattavaksi.

Tulosten pohjalta ei ole kannattavaa sijoittaa kiinteistöakkuun, jos kohde on liitettyinä valtakunnalliseen sähköverkkoon. Aurinkopaneelien ylituotannolla ja aikahinnoittelun erotuksella vuosittainen säästö on aivan liian pieni kiinteistöakkukustannuksiin verrattuna tässä markkinatilanteessa. Suomessa sijoituksesta tekee kannattamatonta muun muassa sähkön keskimääräisen hinnan halpuus. Euroopan Unionin tilastoviranomaisen Eurostatin mukaan vuoden 2017 alkupuoliskolla ostovoimaan suhteutettuna sähkön hinta Suomessa kotitalouksille oli EU:n matalin (Energia uutiset 2018.)

4 KIINTEISTÖAKKUTILAT

4.1 Akustotila rakennuksessa

Akuston hankintahinta ei koostu pelkästään siihen tarvittavista järjestelmistä, vaan myös sen käyttämästä tilan kustannuksista. Eri akkutyypeillä on erilaisia vaatimuksia tilojen osalta, mitkä vaikuttavat sähkövarastoinvestoinnin lopulliseen hintaan. Kappaleessa tarkastellaan akkujen tilavaatimuksia ja haetaan eroa eri akkutyypien aiheuttamista kustannuksista tilojen osalta. Esimerkkinä käytetään L-rakennusta ja akusto sijoitetaan rakennuksen sisälle.

4.2 Akutilan vaatimukset

Standardi SFS-EN IEC 62485-2:2018 koskee paikallisakkuja- ja akkuasennuksia, joiden suurin nimellisjännite on 1500 V tasajännitettä. Käytetään tätä standardia tilojen kustannuserojen löytämiseen.

Standardissa kerrotaan, että akut pitää sijoittaa suojattuun tilaan, joka voidaan tarvittaessa lukita. Näitä ovat rakennuksessa olevat erilliset akkuhuoneet, sähkötilassa olevat erityisesti akkuja varten erotetut alueet, rakennuksen sisä- tai ulkopuolella olevat kaapit tai kotelot sekä laitteiden akutilat. (SFS-EN IEC 62485-2. 2018, 25.)

Huomioitavia seikkoja akun sijoittelussa ovat suojaus asiattomilta henkilöiltä ja ulkopuolisilta vaaroilta, kuten tulipalo, iskut, värinät ja ilkivalta. Lisäksi suojausta pitää tehdä myös akun aiheuttamalta vaaralta, kuten suuri jännite, räjähdysvaara, elektrolyytin aiheuttamat vaarat ja korroosio. Lisäksi on huomioitava mahdollinen altistuminen ympäristön ääriolosuhteille esimerkiksi lämpötilalle, kosteudelle ja ilmansaasteille ja miten mahdollisesti suojataan akusto tältä. (SFS-EN IEC 62485-2. 2018, 25.)

Erillisiä akustotiloja koskevat erityisvaatimukset akun koosta ja tyypistä riippuen ovat lattian kestävyuden varmistaminen ja mahdollisen laajennuksen tuoma lisäpainon huomioonottaminen. Lisäksi sähköasennukset on tehtävä standardien mukaisesti ja jos asiaan kuulumattomien henkilöiden kulkua on rajoitettu, on ovien oltava lukittavia ja poispääsyn on oltava mahdollista hätätilassa. Käytettäessä avokennoja, on tilan lattian oltava elektrolyyttiä läpäisemätöntä ja elektrolyytin kemiallisia vaikutuksia kestävästä materiaalista tai kennot on sijoitettava sopiville alustoille. Ilmanvaihto pitää olla ilmanvaihtovaatimusten mukainen ja poistoilma on ohjattava rakennuksen ulkopuolelle. Vaatimukset käydään läpi kappaleessa 4.5. Lattian on oltava kosketusetäisyydellä (ks. IEC 60364-4-41, etäisyys 1,25 m) akusta staattista sähköä poistava, jotta estetään staattisten sähkövarausten syntyminen. (SFS-EN IEC 62485-2. 2018, 25-26.)

Mahdollisia kustannuseroja tilojen osalta syntyy johtuen akkujen eri ominaisuuksista, kuten akun painosta ja rakenteesta. Standardin perusteella näitä kohtia ovat ilmanvaihdon riittävyys ja lattian kantavuus sekä lattian soveltuvuus elektrolyyttille. Muut suojaustoimenpiteet joudutaan tekemään jokaiselle akkutypille, joten näitä ei huomioida.

4.2.1 Litium-ioniakkutilojen suositukset

Sähkövarasto on varsin uusi konsepti, joten sitä määritelty käsitteenä sähkömarkkinadirektiivissä Euroopassa eikä sähkömarkkina-alueissa Suomessa, vaan turvallisuus perustuu pääosin olemassa oleviin standardeihin (Tukes 2019, 63.) Näin ollen litium-ionisähkövarastolle ei ole vielä omaa standardiaan, vaan hyödynnetään nykyisiä standardeja, kuten edellisessä kappaleessa mainittua. Turvallisuus ja kemikaalivirastolta löytyvät suositukset litium-ionisähkövaraston tiloja koskien. Tämä on liitteessä 5.

L-rakennuksen toimiessa kuntosalina ja toimistona, käytetään suosituksia, joita sovelletaan kohteeseen, jossa työskentelee ihmisiä. Pitkälti suositukset ovat samoja kuin mitä edellisessä kappaleessa akkutilan vaatimusten osalta lueteltiin, mutta uutena mahdollisena kustannustekijänä litium-ioniakulla on paloturvallisuuden varmistaminen.

4.3 Lattian kantavuus

Eri akkutyypeillä on erilaiset energiatiheddet, jonka takia saman kapasiteetin omaavat akut aiheuttavat erimäärän kuormitusta lattialle. Kapasiteetin kasvaessa voi huonomman tiheyden omaavan akun rajoittavaksi tekijäksi muodostua akun paino, jonka takia jouduttaisiin rakentamaan lattiaa tai levittämään lattiapainetta esimerkiksi levyllä.

Liitteen 1 energiatihedysistä huomataan, että huonoimman energiatihedden omaava avokenno lyijyakku painaa 5-kertaa enemmän kuin vastaavan kapasiteettinen NMC-akku. Nikkeli-rauta-akku painaa 3-kertaa enemmän kuin vastaavan kokoinen NMC-akku. Tästä syystä on kannattavampaa hankkia NMC-akku kohteisiin, joiden lattiat eivät kestä suurta kuormitusta tai kantavuudesta on epävarmuutta. Jos voidaan varmistua lattian kantavuudesta, niin akkutyyppillä ei lattian kantavuuden osalta ole merkitystä.

4.4 Lattian soveltuvuus elektrolyyttille

Akuissa käytetään usein hyvinkin syövyttäviä elektrolyyttejä, kuten nikkeli-rauta-akussa käytetään kaliumhydroksidiliuosta (Eurobat n.d) ja avokennolyijyakussa käytetään nestemäistä rikkihapon ja akkuveden seosta (Motiva 2019.) Elektrolyytin karatessa akusta, voi tällä olla akkutilan rakenteille ja ympäristölle haitallinen vaikutus. Tästä syystä avokennoja käytettäessä lattian materiaalin pitää olla akun elektrolyyttiä läpäisemätöntä ja sen vaikutuksia kestävä materiaalia (SFS-EN IEC 62485-2. 2018, 25-26.) Työssä verrattuja avokennoakkuja ovat avokennolyijyakku sekä nikkeli-rauta-akku. Litium-ioniakku ja AGM-akku eivät tarvitse suojausta, koska nämä ovat suljettuja akkuja.

Avokennoakuilla sähkövarastotilan lattia voidaan rakentaa elektrolyyttiä läpäisemättömäksi ja tämän vaikutuksia kestäväksi. Lisäksi on mahdollista sijoittaa akut hapon tai emäksen vaikutuksia kestäväan kaappiin, jossa on valuma-altaat mahdollisen vuodon sattuessa sekä voidaan asettaa akut valumakaukaloiden päälle. Jokainen näistä vaihtoehdoista lisää

avokennoakuston sijoittamisen kustannuksia, joka voi kääntää tilanteen taloudellisesta näkökulmasta katsottuna suljetun akkurakenteen puolelle.

4.5 Ilmanvaihto

Esimerkin tapauksessa akusto sijoitetaan sisätiloihin, jonka huoneet ovat lämpimiä tiloja ja ilmastoituja, joten akusto ei joudu altistumaan ympäristön olosuhteille, kuten äärimmäisille lämpötiloille tai kosteudelle. Kuitenkin akusto tuottaa ladattaessa ja purkaessa lämpöä johtuen sähkökemiallisista reaktioista, joten on mahdollista, että joudutaan pohtimaan tilan ilmastoinnin riittävyttä, jotta tila pysyy vakiolämpöisenä. Kohonneella ympäristön lämpötilalla on negatiivinen vaikutus akuston kestävyteen litium-ioni- ja lyijyakkujen osalta (BU-304a 2019, Batteryuniversity. n.d.)

Varaaminen, kestovaraaminen ja ylivaraamisen aikana kaikista akuista syntyy kaasuja lukuun ottamatta kaasutiiviitä kennoja. Akustohuoneeksi varatussa tilassa on huomioitava vedyn ja hapen muodostuminen nikkeli-rauta- ja avokennolyijyakuissa (Ironedison n.d, Batteryuniversity n.d.) Jos huoneilmaan kertyy liikaa vetyä, tämä saattaa tilan räjähdysvaaralliseen tilaan. Vetykonsentraatio ilmassa pitää olla pienempi kuin 4 %_{vol}, jotta akustotilaa tai -koteloä pidetään turvallisena räjähdysvaaran osalta. Ilmanvaihto voidaan toteuttaa painovoimaisesti tai koneellisesti. Lisäksi akustosta syntyvä vetykaasu on ohjattava rakennuksen ulkopuolelle. (SFS-EN IEC 62485-2 2018, 20.)

Avokennoisen akuston hankinnan kannattavuuden osalta on varmistuttava, että nykyinen ilmanvaihtojärjestelmä on soveltuva sekä riittävä akulle, jotta ei jouduttaisi kalliisiin muutostöihin. Akuston kasvaessa myös vedyn muodostuminen lisääntyy, jolloin avokennoisen akuston kapasiteetin rajoittavaksi tekijäksi voi muodostua ilmanvaihto. Suljetut akut, kuten AGM- ja litium-ioniakut eivät tuota vetykaasua (Batteryuniversity n.d, Flashbattery 2017), joten näiden osalta ilmanvaihto pitää riittää vain, ettei lämpötila nouse akustohuoneessa.

4.6 Paloturvallisuus

Litium-ioniakku on paloturvallisuuden kannalta vaarallinen sen palavasta elektrolyytistä johtuen (Pelastustieto 2016.) Tukes suosittaa litium-ionisähkövarastolle, joka sijaitsee rakennuksessa, jossa työskennellään tai asutaan, erillistä palo-osastoitua tilaa. Tilalla tulisi olla vähintään 2 tunnin palonkesto (Tukes 2019, 66). Näin ollen suunniteltuun huoneeseen voidaan joutua rakentamaan tila siten, että palo-osastointiluokitus täyttyy tai akustolle on hankittava suosituksen täyttävä palo-osastoitukaappi. Tämä on merkittävä kustannustekijä litium-ionisähkövaraston osalta.

Kuitenkin kyseessä on suositus, joten tämä ei ole tällä hetkellä pakollista. Muun muassa markkinoilta löytyy monia suoraan sisätiloihin asennettavia litium-ioniakustojärjestelmiä, jotka eivät täytä palo-osastointiluokitusta (Solarpoweronline 2020.) Tulevaisuudessa on mahdollista, että litium-ionisähkövarastoille tulee pakolliseksi palo-osastointi, mikä nostaa akustojärjestelmän hintaa syömällä samalla sen kilpailukykyä verrattuna muihin akkutyyppeihin. Nikkeli-rauta- ja lyijyakkujen elektrolyytti on syövyttävää, muttei palavaa (Pelastustieto 2016, TTL 2015), joten näillä ei ole samanlaisia vaatimuksia paloturvallisuuden osalta.

5 POHDINTA

Akkuteknologian kehittyessä nopeasti ja alan ollessa murrosvaiheessa enemmän kohti litium-ioniakkujen suuntaan, tulee painetusta kirjallisuudesta nopeasti vanhentunutta tietoa. Näin ollen työssä hyödynnettiin pääosin internetistä löytyviä artikkeleita. Johtuen lähteiden rajallisesta määrästä, varsinkin akkujen keskimääräisten ostohintojen osalta, joudutaan esittämään työssä lähdekritiikkiä.

Vaikka työssä saadut tulokset olivatkin enemmänkin suuntaa antavia johtuen lähteiden rajallisuudesta, niin selvästi liian pitkien takaisinmaksuaikojen takia, ei mistään akkutyypistä saatu kannattavaa. Takaisinmaksuaikoja laskettiin pelkästään akun ostohinnoista, eikä siinä otettu huomioon muita sähköisiä komponentteja ja akkutiloista johtuvia kustannuksia, jotka olisivat kasvattaneet entisestään takaisinmaksuaikaa. On mahdollista, että aurinkopaneelituotanto oli vuonna 2017 keskimääräistä pienempää tai mahdollisesti voisi valita eri sähköliittymän, jolloin takaisinmaksuaika olisi ollut lyhyempi, mutta tällä ei ole kuitenkaan niin suurta merkitystä, että investoinnista saataisiin kannattavaa.

Esimerkkikohteeseen soveltuu tällä hetkellä parhaiten litium-ioniakku, sen käytettävyyden ja kustannusten osalta. Tämän akun etuina on sen pitkäikäisyys ja huoltovapaus. Jokapäiväisessä käytössä se kestää helposti yli 10 vuotta. Vaikka se ei ole tällä hetkellä halvin akkutyyppeistä elinkaaren aikana käytettävien kilowattituntien osalta, niin se on kuitenkin varsin kilpailukykyinen hinnaltaan. Lisäksi hintaeroa tasoittaa tai jopa kääntää litium-ioniakun puolelle se, ettei sillä ole samanlaisia vaatimuksia tilojen osalta kuin muilla akkutyypeillä. Kuitenkin on huomioitava, että tulevaisuudessa litium-ionisähkövarastolle voi olla pakollista 2 tunnin palo-osastointi, jolloin litium-ioniakun kilpailukyky esimerkin kaltaisiin kohteisiin heikkenee.

Opinnäytetyötä tehdessä huomattiin, ettei tällä hetkellä ole kannattavaa investoida kiinteistöakkuun ainakaan esimerkkinä käytetyn tapaisiin kohteisiin, akkujen hintojen ollessa näin suuret ja sähkön hinnan ollessa näin halpaa. Kuitenkin kiinteistöakkujärjestelmät ovat varsin uusi konsepti, joten markkinat eivät ole täysin kehittyneet näiden osalta. Yritykset tuovat koko ajan uusia ja

halvempia akustoratkaisuja, joten tulevaisuudessa saattaa kiinteistöakustoon sijoittamisesta tulla kannattavaa myös opinnäytetyön esimerkkikohteeseen.

LÄHTEET

Batteryuniversity. n.d. Can the Lead-acid Battery Compete in Modern Times? Artikkel. Luettu 24.5.2020. https://batteryuniversity.com/learn/archive/can_the_lead_acid_battery_compete_in_modern_times

Batterytestcentre. n.d. Lithium Ion. Luettu 27.5.2020. <https://batterytestcentre.com.au/project/lithium-ion/>

BU-104b. 2018. BU-104b: Battery Building Blocks. Luettu 27.5.2020. https://batteryuniversity.com/index.php/learn/article/bu_104b_building_blocks_of_a_battery

BU-201. 2019. How does the Lead Acid Battery Work? Luettu 1.3.2020. https://batteryuniversity.com/learn/article/lead_based_batteries

BU-203. 2020. BU-203: Nickel-based Batteries. Luettu 25.5.2020. https://batteryuniversity.com/learn/article/nickel_based_batteries

BU-204. 2018. BU-204: How do Lithium Batteries Work? Luettu 27.5.2020. https://batteryuniversity.com/learn/article/lithium_based_batteries

BU-205. 2019. BU-205: Types of Lithium-ion. Luettu 27.5.2020. https://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion

BU-304a. 2019. BU-304a: Safety Concerns with Li-ion. Luettu 27.5.2020. https://batteryuniversity.com/learn/article/safety_concerns_with_li_ion

Ekolämmöx. 2016. Illan kulutukseen sähkö omista akuista. Luettu 4.6.2020. <https://ekolammox.fi/asiakastarinat/illan-kulutukseen-sahko-omista-akuista/>

Energiautiset. 2018. Suomen sähkö yhä edullista. Luettu 30.5.2020. <https://www.energiautiset.fi/etusivu/suomen-sahko-yha-edullista.html>

Energiaverotus. Ohjeessa käsitellään energiaverolainsäädännön soveltamista 1.4.2019 voimaan tulleet muutokset huomioiden. Ohje. Luettu 23.5.2020. <https://www.vero.fi/syventavat-vero-ohjeet/ohje-hakusivu/56206/energiaverotus/#2.1-s%C3%A4hk%C3%B6verovelvollisuus>

Eurobat. n.d. Nickel Based Battery Technologies. Luettu 15.3.2020. <https://www.eurobat.org/batteries-contribution/battery-technologies/nickel-based>

Flashbattery. 2017. Why change from a lead-acid battery to a lithium battery?. Luettu 4.6.2020. <https://www.flashbattery.tech/en/why-switch-from-lead-acid-battery-to-lithium-battery/>

Forex. Forexbank. n.d. Luettu 8.4.2020. <https://www.forex.fi/valuutta/usd>

Ironedison. n.d. Nickel Iron (Ni-Fe) Battery. Luettu 26.5.2020. <https://ironedison.com/nickel-iron-ni-fe-battery>

L. Jörissen, H. Frey. 2009. Encyclopedia of Electrochemical Power Sources. Energy Storage. Amsterdam, Alankomaat: Elsevier B.V

Maatalous. 2019. Täysin itsetoimivien traktoreiden ja puimureiden tulo markkinoille vie vielä vuosia. Luettu 3.6.2020. <https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/maatalous/artikkeli-1.382890>

Motiva. 2019. Akut. Luettu 24.5.2020. https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisaasti/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/akut

Pelastustieto. 2016. Litiumakut autopalossa. Artikkel. Luettu 27.5.2020. <https://pelastustieto.fi/pelastustoiminta/operatiivinen-toiminta/litiumioniakut-autopalossa/#bc468209>

Power-thru. 2020. LEAD ACID BATTERY working – LIFETIME STUDY. Luettu 28.5.2020. <http://www.power-thru.com/documents/The%20Truth%20About%20Batteries%20-%20POWERTHRU%20White%20Paper.pdf>

Puusähkö. n.d. Puusähköliittymähinnasto. Luettu 31.5.2020. <https://www.sahkolaitos.fi/tuotteet/lahisahko-puu/>

SFS-EN IEC 62485-2. 2018. Akkujen ja akkusäilytysten turvallisuusvaatimukset. Osa 2: Paikallistakut. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Luettu 31.5.2020. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/>

Solarmicrogrid. 2017. Battery Showdown: Lead-Acid vs. Lithium-Ion. Luettu 24.5.2020. <https://medium.com/solar-microgrid/battery-showdown-lead-acid-vs-lithium-ion-1d37a1998287>

Solarpoweronline. 2020. Just how concerned should the solar industry be about battery fires? Luettu 31.5.2020. <https://www.solarpowerworldonline.com/2020/02/just-how-concerned-should-the-solar-industry-be-about-battery-fires/>

Solarquotes. Solar Battery Storage Comparison Table. Luettu 28.5.2020. <https://www.solarquotes.com.au/battery-storage/comparison-table/>

Sportuni. 2020. TAMK – L-rakennuksen kuntosalin keskimääräinen kävijämäärä. Luettu 4.6.2020. <https://sites.tuni.fi/uploads/2020/02/5ff9bd13-laskentalomake-kevat2020-kauppi.pdf>

Sähköliittymähinnastot. n.d. Sähköliittymähinnastot. Hinnasto. Luettu 29.5.2020. <https://www.sahkolaitos.fi/tampereen-sahkoverkko/palvelut-ja-tuotteet/tuotteet-ja-hinnastot/sahkoliittymahinnastot/>

Sähköviesti. 2013. Pienet voimalaitokset yleistyvät: Sähköä kodeista valtakunnan verkkoon. Luettu 3.6.2020. sahkoviesti.fi/uutiset-2/pienet-voimalaitokset-yleistyvat-sahkoa-kodeista-valtakunnan-verkkoon.html

Talous. 2017. Heinätila tuottaa sähkönsä itse – ”Säästöä kertyy jopa tuhannen euron verran vuodessa. Luettu 3.6.2020.
”<https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/talous/hein%C3%A4tila-tuottaa-s%C3%A4hk%C3%B6ns%C3%A4-itse-s%C3%A4st%C3%A4st%C3%B6%C3%A4-kertyy-jopa-tuhannen-euron-verran-vuodessa-1.201064>

Tampereen Sähköverkko. 2017. Verkkopalveluhinnasto. Luettu 29.5.2020.
https://www.sahkolaitos.fi/globalassets/tiedostot/ohjeet-ja-opasteet/sahkoverkko/hinnastot-ja-sopimusehdot/2017-10-01---verkkopalveluhinnasto---sulakepohjaiset-tuotteet_tarkistettu.pdf

Tamko. n.d. Yhteystiedot & Solu. Luettu 10.11.2019.
<https://www.tamko.fi/yhteystiedot-solu>

TEM. 2011. Loma-asumisen taloudelliset ja työllisyysvaikutukset Suomessa. Luettu 4.6.2020. https://mmm.fi/documents/1410837/1948019/Loma-asumisen_taloudelliset_ja_tyollisyysvaikutukset_uusin.pdf/bb3b4329-54d5-490e-b3cd-ed9c70a5e712/Loma-asumisen_taloudelliset_ja_tyollisyysvaikutukset_uusin.pdf.pdf

Tesla. n.d. Tilaa oma Powerwall-akustosi. Luettu 4.6.2020.
https://www.tesla.com/fi_FI/powerwall

TTL. 2015. OVA-ohje: RIKKIHAPPO. Luettu 4.6.2020.
<https://www.ttl.fi/ova/riikkiha.html>

Tukes. 2019 Teollisuuden Litium-ioniakut ja turvallisuus. Luettu 13.4.2020
<https://tukes.fi/documents/5470659/6372809/Teollisuuden+akkuturvallisuusopas/68c21eee-cc0f-8184-bed4-aa71e83140b1/Teollisuuden+akkuturvallisuusopas.pdf>

LIITTEET

Liite 1. Akkujen ostohinnat

	Ostohinta (\$ / kWh)	Kilowattitunnin kustannus elinkaaren aikana (\$ / kWh)	Lataus-purkusyklien määrä (kpl)	Parhaan tilanteen käyttöikä, kun 1 sykli päivää kohden (a)	Energiäteheys (Wh / kg)	Lähde
Avokemoliijy Akku	131	0,17	200-1000	2,7	30	(Solarmicrogrid 2017)
AGM-akku	221	0,71	200-650	1,8	40	
NiM-akku	530	0,19	1000-4000	11,0	150	
Nikkelirauta-akku	880	0,09	11000	30,1	50	
	Muuntosuhte (€ / \$)	Ostohinta (€/kWh)	Kilowattitunnin kustannus elinkaaren aikana (€/kWh)	Lähde		(Ironedison n.d)
Avokemoliijy Akku		126	0,16			
AGM-akku		213	0,69			
NiM-akku	0,9649	511	0,18	(Forex n.d)		
Nikkelirauta-akku		849	0,09			
	Akun käyttöikä (a)	Lähde				
Avokemoliijy Akku	15 - 20	(Power-thru 2020, 2)				
VRLA-akku	3 - 10	(Power-thru 2020, 13)				
NiM-akku	10	(Batterycentre n.d)				
Nikkelirauta-akku	30	(Ironedison n.d)				

(Solarmicrogrid 2017, Ironedison n.d, Forex n.d, Powerthru 2020, 2, Powerthru 2020, 13)

Liite 2. Sunny Tripower STP15000TL-10 invertterin kilpiarvot

$U_{DC \text{ max}}$ (V)	$U_{DC \text{ MPP}}$ (V)	$I_{DC \text{ max}}$ (A)	$I_{DC \text{ MPP}}$ (A)
1000	360-800	33 / 11	50 / 17
$U_{AC,r}$ (V)	$P_{AC,r}$ (kW)	S_{max} (kVA)	$I_{AC \text{ max}}$ (A)
380/400/415	15	15	24

Liite 3. Solarwatt blue 60P aurinkopaneelin kilpiarvot

P_{MPP} (W _P)	U_{MPP} (V)	I_{MPP} (A)	U_{OC} (V)	I_{SC} (A)
260	30,9	8,50	37,9	9,00

Liite 4. Sähkön ja sähkönsiirron hinnoittelu

		Tulos	Lähde
Puusähkö	Mittaustapa yleinen (€/kWh)	0,0489	Puusähkö n.d
	Mittaustapa aika (päivähinnoittelu) (€/kWh)	0,0539	
	Mittaustapa aika (yöhinnoittelu) (€/kWh)	0,0439	
	Puusähkö mittauksen aika päivä ja yöhinnoittelun erotus (€/kWh)	0,01	
Yleissiirto	Yleissiirto verojen kanssa (€/kWh)	0,0598052	Tampereen Sähköverkko 2017
	Päivähinnoittelu 25A verojen kanssa (€/kWh)	0,0616652	
Aikasiirto	Yöhinnoittelu 25A verojen kanssa (€/kWh)	0,0424452	
	Päivä- ja yöhinnoittelun erotus (€/kWh)	0,01922	
	Aikahinnoittelun erotus yhteensä (€/kWh)	0,02922	

(Puusähkö n.d, Tampereen sähköverkko 2017)

Liite 5. Tukes litium-ionisähkövaraston sijoittamisen suositukset

Akun sijoittaminen - suosituksia

Yleistä:

- Syttyviä materiaaleja ei saisi olla 1 metriä lähempänä akustosta.
- Erillisten akkujärjestelmien välillä tulisi olla noin metrin turvaväli mikäli paloviranomaisten kanssa ei ole muusta sovittu.
- Akut voivat olla avoimissa telineissä mikäli akkutila on suljettu ja sinne on pääsy vain auktorisoiduilla henkilöillä.
- Tilan tulisi olla ilmastoitu jotta tilan lämpötila pysyy akkuvalmistajan antamissa ohjearvoissa ja jotta akuston tuottama lämpö voidaan ohjata akusta tehokkaasti pois. Vaativissa olosuhteissa tai kriittisissä kohteissa vesikiertoinen jäähdytys voi olla hyvä ratkaisu. Kuumuuden lähteitä ei saisi olla akun lähellä (suora auringonpaiste, lämmitysjärjestelmä, muu lämmönlähde).
- Akkutilaan pääsy ulkopuolisilta tulee estää (lukittu riittävän korkea aita ulkona olevan kontin ympärillä, lukittu tila johon vain auktorisoiduilla henkilöillä on pääsy tai lukittu palosuojattu kaappi muissa tiloissa).

A. Akusto sijaitsee rakennuksessa, jossa asuu tai työskentelee ihmisiä (esim. kauppakeskus, toimistorakennus tai muu asuttu tila):

- Tilan on sovelluttava akuston sijoittamiselle. Asutussa rakennuksessa akkujen tulisi sijaita suljetussa tilassa tai palosuojatussa, lukittavassa kaapissa. Lattian kantavuuden tulee olla riittävä.
- Akusto tulee sijoittaa palo-osastoituun tilaan, jolla on vähintään 2 tunnin palonkesto.
- Akkutilan oltava korkeudella, minne pelastuslaitoksen kalusto ylettyy ja sen tulisi sijaita siten että palokaasut on mahdollista ohjata ulos tehokkaasti (ei liian syvällä maan alla asutuissa kohteissa).

B. Erillisijoitettu akusto eli kontti tai erillinen rakennus johon akusto on sijoitettu (ei sijaitse asutussa kohteessa tai kohteessa jossa työskentelee ihmisiä):

- Mikäli akusto/akkujärjestelmä sijaitsee erillisessä kontissa on huolehdittava siitä, että kontin ympäristöstä on raivattu palava kasvillisuus ja palokuormat vähintään kolmen metrin alueelta sekä, että talviset lumiesteet on poistettu, jotta pelastuslaitoksella on esteetön pääsy kohteeseen.
- Akut on suojattava ajoneuvojen törmäyksiltä (esim. parkkihallissa). Akku on suojattava pölyltä.

(Tukes 2019, 66)