

# **Milloin kotitalousakut tulevat taloudellisesti kannattaviksi?**

TkK-tutkielma  
Turun yliopisto  
Kone- ja materiaalitekniikan laitos  
Materiaalitekniikka  
Joni Turunen

16.5.2025

Turku

## Kandidaatintutkielma

**Oppiaine:** Materiaalitekniikka

**Tekijä:** Joni Turunen

**Otsikko:** Milloin kotitalousakut tulevat taloudellisesti kannattaviksi?

**Ohjaaja:** FM Lauri Karttunen

**Sivumäärä:** 23 sivua

**Päivämäärä:** 16.5.2025

Tutkielmassa on tarkoituksena selvittää, milloin ja millä ehdoilla kotitalousakut tulevat taloudellisesti kannattaviksi. Tarkastelun kohteena ovat akkuinvestoinnin takaisinmaksuaikaan vaikuttavat tekijät, kuten akkujen tekniset ominaisuudet, investointikustannukset, sähkön hintarakenteet sekä erilaiset tariffimallit.

Taloudellinen kannattavuus paranee merkittävästi, jos kotitalous omistaa aurinkopaneelit, käyttää pörssisähköön sidottua sopimusta ja hyödyntää akkuja älykkään ohjauksen avulla. Valtion tarjoamat investointituet ovat merkittävässä roolissa akkujen kannattavuutta tarkastellessa. Myös sähkön hinnan suuret vaihtelut ja energiayhteisöihin liittyvät ratkaisut voivat tehdä akkujärjestelmästä taloudellisesti houkuttelevamman. Akkujen takaisinmaksuaikaa voidaan lyhentää optimoimalla akuston koko ja käyttötapa suhteessa kotitalouden sähkön kulutukseen ja tuotantoon.

Tulevaisuudessa kotitalousakkujen taloudellinen potentiaali kasvaa, mikäli akkujen hinnat laskevat edelleen. Akkuteknologian kehittyminen, kuten natriumioniakkujen yleistyminen, voi vaikuttaa investointien kannattavuuteen. Tutkielman perusteella kotitalousakut voivat muuttua taloudellisesti järkeväksi vaihtoehdoksi 2030-luvulla. Tämä edellyttää suotuisaa kehitystä teknologian, markkinarakenteiden ja tukipolitiikan osalta.

**Avainsanat:** kotitalousakku, litiumioniakku, aurinkopaneeli

# Sisällysluettelo

<b>1</b>	<b>Johdanto</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Kotitalousakut ja niiden teknologia</b>	<b>5</b>
2.1	Kotitalousakkujen toimintaperiaate	5
2.2	Yleisimmät akkuteknologiat	6
2.3	Akkujen käyttömahdollisuudet kotitalouksissa	8
<b>3</b>	<b>Kotitalousakkujen taloudelliset tekijät</b>	<b>11</b>
3.1	Hankintahinta, käyttöikä ja huoltokustannukset	11
3.2	Sähkön hinta, tariffirakenteet, siirtohinnat ja verotus	12
3.3	Aurinkopaneelien tuotanto ja itse käytetyn energian osuus	13
<b>4</b>	<b>Kotitalousakkujen kannattavuuden arviointi</b>	<b>14</b>
4.1	Kannattavuus eri skenaarioissa	14
4.2	Kannattavuuteen vaikuttavat tekijät ja skenaariot	16
<b>5</b>	<b>Tulevaisuuden näkymät</b>	<b>18</b>
5.1	Teknologian kehitys ja hintakehitys	18
5.2	Energiayhteisöt, älykkäät sähköverkot ja dynaamiset sähkömarkkinat	18
<b>6</b>	<b>Johtopäätökset</b>	<b>20</b>
	<b>Lähteet</b>	<b>21</b>

# 1 Johdanto

Kotitalousakut eli kotitalouksien sähkövarastot ovat yleistynyt ja mielenkiintoa herättävä vaihtoehtoinen malli niin oman energiatuotannon varastointiin kuin sähkön kulutuksen hallintaan. Viime vuosina aurinkopaneelien voimakas yleistyminen on johtanut niiden yhteyteen asennettavien akkujärjestelmien kehittämiseen. Kotitalousakkujen avulla kotitaloudet voivat varastoida omien aurinkopaneelien tuottaman sähköenergian myöhempää käyttöä varten. Akkujärjestelmille kehitettyjen ohjausjärjestelmien avulla voidaan optimoida sähkönkäyttöä esimerkiksi iltaisin tai pörssisähkön hinnanvaihteluiden mukaisesti.

Taloudellinen kannattavuus on tärkein tekijä, joka vaikuttaa kotitalouksien päätökseen investoida kodin akkujärjestelmään. Akkujen hinnat laskevat jatkuvasti mutta vielä on syytä pohtia akkujärjestelmän kustannusten ja hyötyjen suhdetta. Kannattavuuteen vaikuttavat useat tekijät kuten sähkön hinta ja sähkötariffit, akkujen teknologia ja sen kehitys, valtion tukipolitiikka sekä energiayhteisöjen ja sähkömarkkinoiden dynaamisuus.

Tässä tutkielmassa tarkastelen kotitalousakkujen taloudellista kannattavuutta Suomessa ja analysoin niitä tilanteita, joissa akkujen käyttö on kannattavaa, sekä niitä tapauksia, joissa se on kannattamatonta. Lisäksi tutkitaan, miten sähkömarkkinoiden kehitys, valtion tukipolitiikka ja teknologian edistyminen voivat vaikuttaa akkujen taloudelliseen asemaan tulevaisuudessa. Vaikka tutkielman pääpaino on suomalaisessa toimintaympäristössä, esitetään vertailun vuoksi myös esimerkkejä ulkomailta, kuten Isosta-Britanniasta.

Tutkielma perustuu kirjallisuuskatsaukseen, jossa hyödynnetään tieteellisiä artikkeleita ja ajankohtaisia raportteja. Työssä keskitytään kotitalousakkujen taloudelliseen kannattavuuteen yksittäisen kotitalouden näkökulmasta. Työn ulkopuolelle jätetään mm. sähköautojen akkujen hyödyntäminen kodin energiavarastoina. Tavoitteena on muodostaa selkeä kokonaiskuva siitä, milloin ja millä ehdoilla kotitalousakut voivat muuttua taloudellisesti kannattaviksi Suomen oloissa.

## 2 Kotitalousakut ja niiden teknologia

Tässä luvussa käydään läpi kotitalousakkujen toimintaperiaatetta ja keskeisiä teknologioita. Luvussa tullaan käymään läpi, mihin käyttötarkoituksiin akkuja voidaan kotitalouksissa hyödyntää. Ymmärtämällä akkujen toimintaa ja olemassa olevia akkuteknologioita voidaan paremmin arvioida niiden kustannuksia, hyötyjä ja soveltuvuutta kotitalouksien tarkoituksiin.

### 2.1 Kotitalousakkujen toimintaperiaate

Akkujen toimintaperiaate perustuu sähköenergian varastointiin kemiallisessa muodossa ja sen vapauttamiseen takaisin sähköksi tarpeen mukaan. Kotitalousakkujärjestelmä koostuu tyypillisesti akustosta, akkujen latausta ja purkausta ohjaavasta elektroniikasta (invertteri, akustonhallintajärjestelmä) sekä erilaisista suojakomponenteista [1]. Latausvaiheessa akkuun johdetaan sähköä, mikä käynnistää akussa kemiallisen reaktion. Tässä sähkökemiallisessa reaktiossa sähköenergia sitoutuu akkukemikaaleihin kemiallisena energiana [2].

Purkausvaiheessa kemiallinen reaktio etenee toisinpäin ja vapauttaa energiaa sähkövirtana, joka voidaan syöttää takaisin kotitalouden sähköverkkoon.

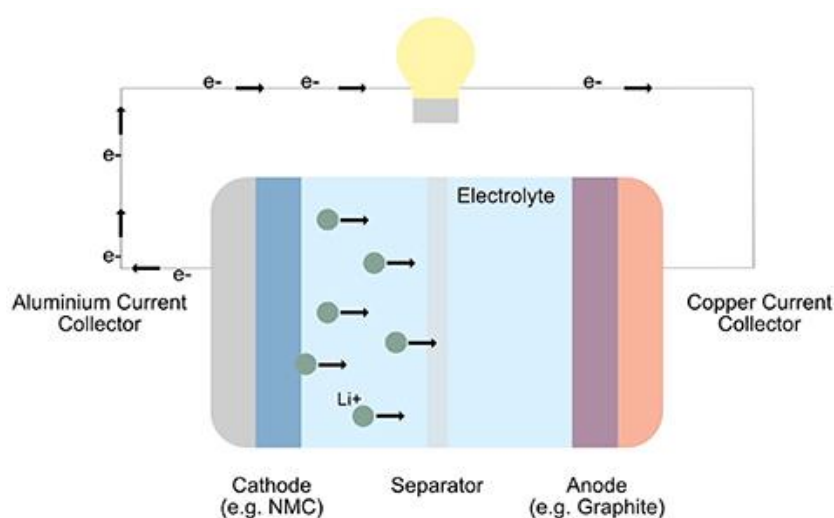
Kotitalousakkujärjestelmät ovat useimmiten pitkälle automatisoituja. Järjestelmäohjaus seuraa kotitalouden sähkönkulutusta sekä aurinkopaneelien tuotantoa ja päättää tämän datan perusteella milloin akkua ladataan ja puretaan, jotta järjestelmän toiminta on mahdollisimman optimoitua. Järjestelmät voivat seurata myös sähkön markkinahintoja ja säädellä kotitalouden sähkönkäyttöä hintojen perusteella [3].

Akuilla on nimellinen kapasiteetti (kWh), joka kertoo kuinka paljon sähköenergiaa akku voi varastoida. Tehorajoite (kW) määrittää, millä teholla akkua voidaan ladata tai siitä purkaa. Keskeinen tekninen ominaisuus on myös syklinen kestävyys (engl. cycle life), eli kuinka monta lataus-purkaus-sykliä akku kestää ilman merkittävää kapasiteetin alenemista. Mikäli litiumioniakun kapasiteetti laskee 70-80 prosenttiin sen alkuperäisestä nimelliskapasiteetista, määritellään sen tulleen käyttöikänsä loppuun. Kapasiteetin heikkeneminen yli 20-30 % tarkoittaa kohonnuttua riskiä akun suorituskyvyn nopeaan heikkenemiseen ja tuhoutumiseen [4].

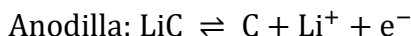
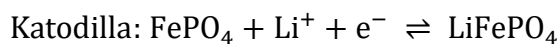
## 2.2 Yleisimmät akkuteknologiat

Selvästi yleisin akkuteknologia on litiumioniakut. Tässä kappaleessa tarkastellaan litiumioniakkujen lisäksi lyijyakkuja sekä viime aikoina kehitteillä olevia natriumioniakkuja. Tarkastelussa kiinnitetään huomiota akkujen teknisiin ominaisuuksiin sekä niiden soveltuvuuteen kotitalousakkukäytössä.

Valtaosa kotitalouksille tarjolla olevista sähkövarastoista perustuu **litiumioniakkuihin**. Litiumioniakuilla on korkea energiatiheys, mikä tarkoittaa sitä, että ne voivat varastoida paljon energiaa suhteessa niiden massaan. Litiumioniakuilla energiatiheys on tyypillisesti 150-300 Wh/kg [5]. Myös hyvä hyötysuhde ja syklinen kestävyys ovat litiumioniakkujen hyötyjä. Mahdollisia katodimateriaaleja on useita. Eräs yleisimmistä aineista on litiumkobolttioksidi ( $\text{LiCoO}_2$ ), LCO. Kotitalousakkujen kohdalla käytetään useimmiten  $\text{LiFePO}_4$ -tyyppisiä akkuja, joiden katodimateriaali on litiumrautafosfaatti (LFP) [6]. Nämä kestävät noin 3000-10000 sykliä ennen huomattavaa kapasiteetin alenemaa, mikä voi tarkoittaa 10-15 vuoden käyttöikä [7], [8]. Pitkä käyttöikä yhdessä vähäisen huoltotarpeen kanssa tekee tästä akkuteknologiasta hyvin käytännöllisen. Litiumioniakkujen anodi valmistetaan usein grafiitista tai muusta hiiltä sisältävästä aineesta. Akussa oleva elektrolyytineste mahdollistaa litiumionien liikkeen elektrodilta toiselle, kun akkua ladataan tai puretaan. Tästä johtuva elektronien liike saa aikaan sähkövirran. Kuva 1 esittää litiumioniakun latauksessa tapahtuvan elektronien ja ionien liikkeen. Kaava 1 esittää  $\text{LiFePO}_4$ -akussa tapahtuvien hapetus-pelkistys-reaktioiden reaktioyhtälöt



Kuva 1 Esimerkki litiumioniakun latauksesta. Litiumionit siirtyvät katodilta anodille aiheuttaen elektronien liikkeen. Kuva lähteestä [9] (@IOPscience).



*Kaava 1 Litium-rautafoosfaattiakussa (LFP) tapahtuvat hapetus-pelkistys-reaktiot.*

Litiumioniakkujen hintakehitys on ollut viime vuosina alaspäin. Viimeisen vuosikymmenen aikana litiumioniakkujen tuotantokustannukset ovat laskeneet 85%. Litiumioniakkujen hintojen ennustetaan tippuvan vuoden 2020 tasosta jopa 52,5% 2030-lukuun mennessä [10]. Tähän on vaikuttanut akkuteollisuuden massatuotannon kehitys, teknologiakehitys sekä alan kasvava kilpailu. Haittapuolina voidaan pitää mahdollista tulipalovaaraa väärinkäytettynä sekä harvinaisten metallien kuten litiumin ja kobolttin tarve [11], [12].

**Lyijy-happo-akkuja** on ollut käytössä jo pitkään erilaisissa sähkön varastoinnin sovelluksissa. Lyijyakut ovat suosittuja autojen käynnistysakkuina mutta niitä on mahdollista käyttää myös kotitalousakkuina. Lyijy-happoakku varastoi energiaa kemiallisesti positiivisen ja negatiivisen lyijyelektrodin sekä rikkihappoelektrolyytin avulla. Niiden etu litiumioniakkuihin verrattuna on niiden hinta ja korkea kierrätysaste [13]. Teknisissä ominaisuuksissa ne jäävät jälkeen kehittyneimmistä litiumioniakuista. Lyijy-happoakun energiatiheys on tyypillisesti 30-40 Wh/kg, joka on noin viisi kertaa pienempi kuin litiumioniakuilla [14]. Matala energiatiheys tarkoittaa, että saman energiamäärän varastointiin lyijy-happoakuilla vaatii moninkertaisesti enemmän massaa ja tilavuutta. Tämä rajoittaa teknologian käyttöönottoa kotitalouksissa.

**Natriumioniakut** ovat uusi akkuteknologia, josta odotetaan kilpailijaa litiumioniakuille. Akun kemiallinen toimintaperiaate on samanlainen kuin litiumioniakuissa – litiumionien sijaan varauksenkuljettajina toimii vain natriumioneja. Tämän teknologian potentiaali liittyy natriumin suureen saatavuuteen ja edulliseen hintaan sekä siihen, että harvinaisempia metalleja kuten koboltti ja nikkeli ei tarvita. Energiatiheys on noin 75-160 Wh/kg, eli selvästi alhaisempi kuin litiumioniakkujen [15]. Tarkempia tutkimustuloksia natriumioniakkujen teknisistä ominaisuuksista odotetaan yhä. Toistaiseksi litiumioniakkujen tekniset toimintakyvyt ovat selvästi parempia kuin kehittyvien natriumioniakkujen. Natriumioniakkujen kapasiteetti näyttäisi säilyvän hyvin kylmissä olosuhteissa, mikä voi tehdä niistä houkuttelevan kotitalousakkuvaihtoehdon tulevaisuudessa pohjoisen oloihin [16].

## 2.3 Akkujen käyttömahdollisuudet kotitalouksissa

Kotitalouteen asennettu akkujärjestelmä mahdollistaa talouden sähkön käytön taloudellisen optimoinnin, mutta voi luoda myös turvaa sähköverkon kaatumisia varten. Tässä kappaleessa käydään läpi kotitalousakkujen käyttömahdollisuuksia, joita ovat (1) aurinkopaneelien energian varastointi, (2) pörssisähkön hyödyntäminen, (3) varavoima sähkökatkon aikana sekä (4) energiayhteisöt ja hajautettu energiantuotanto.

**(1) Aurinkopaneelien energian varastointi.** Tyypillinen kotitalousakun käyttötapa on omatuotetun aurinkosähkön varastointi. Kotitalouksiin asennetut aurinkopaneelit tuottavat eniten sähköä päiväsaikaan, jolloin kotitalouden kulutus ei välttämättä ole suurimmillaan. Ilman akkujärjestelmää ylijäämäenergia myydään sähköverkkoon, josta kotitaloudet saavat pienen korvauksen. Tämä korvaus on usein määritelty tuntikohtaisen spot-hinnan tai erillisen, ostohintaa alhaisemman syöttötariffin mukaan. Syöttötariffi (engl. feed-in tariff, FIT) tarkoittaa tukimekanismia, jossa sähköverkkoyhtiöt ovat veloitettuja ostamaan uusiutuvilla energialähteillä tuotettua sähköä. Syöttötariffin suuruus kertoo siis kuinka suuren korvauksen kotitalous saa verkkoon myydystä sähköstä [17]. Aurinkopaneelien yhteyteen asennettu akkujärjestelmä mahdollistaa ylijäämäenergian varastoinnin ja sen purkamisen myöhemmin. Akkuun varastoidun sähkön purkaminen voidaan tehdä silloin, kun aurinkoenergiatuotantoa ei ole, eli esimerkiksi illalla tai yöllä. Akkujen avulla aurinkosähkön omakäyttöaste voi jopa kaksinkertaistua. Ilman akkujärjestelmää omakäyttöaste voi olla 30-50% tuotannosta, kun taas akullisen järjestelmän vastaava luku on 70-90% [18]. Omakäyttöasteen kasvattaminen mahdollistaa kustannusten pienentämisen mm. ostosähkön välttämisenä ja riippumattomuutena sähköyhtiön maksamista kotitaloustuotannon korvauksista [19]. Aurinkosähkön talteenotto on erityisen hyödyllistä maissa, joissa kotitalouden omatuotannon ylimääräisestä syötöstä sähköverkkoon maksetaan huonosti tai ei lainkaan. Suomessa korvaus on pieni: usein myyntihetken tuntikohtaisen spot-hinnan verran. Vaikka spot-hinta olisi korkea, korvaus on silti pienempi kuin ostosähkön hinta. Tämä johtuu siitä, että verkosta ostettuun sähköön tulee itse spot-hinnan lisäksi sähkönsiirtomaksut sekä verot [20]. Akkujen avulla kotitaloudet pystyvät luomaan säästöjä ja vähentämään riippuvuutta sähköyhtiöistä.

**(2) Pörssisähkön hyödyntäminen.** Toinen keskeinen käyttötarkoitus kotitalousakkujärjestelmille on sähkön hinnan vaihteluiden hyödyntäminen pörssisähkön spot-hintojen mukaisesti. Jos kotitaloudella on pörssisähkösopimus sidottuna esimerkiksi

Nord Pool –spot-hintaan, on kotitalouden mahdollista ladata sähköä sähköverkosta sen halvimpina tunteina, ja varastoida sitä kalliimpia tunteja varten. Nord Pool on pohjoismaiden sekä Baltian maiden kantaverkkoyhtiöiden sekä muutamien muiden Euroopan maiden yhteinen sähköpörssi. Siellä käydään kauppaa kysynnän ja tarjonnan mukaan, joiden suhteesta muodostuu tuntikohtaiset spot-hinnat [21]. Dynaamisilla sähkömarkkinoilla tarkoitetaan sähkömarkkinoita, joissa sähkönhinta määräytyy markkinoilla vallitsevan kysynnän ja tarjonnan mukaan. Tyypillisin esimerkki Suomessa on pörssisähkö, jossa sähkönhinta vaihtelee tuntikohtaisesti Nord Pool -sähköpörssin mukaan. Öisin ja tuulisina päivinä sähkönhinta voi olla hyvin matalalla, kun taas iltaisina ja kulutushuipuisissa sähkön hinta kohoaa moninkertaiseksi. Näinä tunteina sähköenergiaa voidaan purkaa kotitalouden omista akuista, jolloin vältytään korkeilta sähköhinnoilta. Zakeri ym. päätyivät tutkimuksessaan siihen, että kotitalouksille sähkön hintavaihteluiden hyödyntäminen (hinta-arbitraasin hyödyntäminen) on moninkertaisesti kannattavampaa kuin kiinteähintaisten sähkösopimusten käyttö [19]. Tämä johtuu siitä, että kotitaloudet pystyvät akkujärjestelmänsä avulla lataamaan akkua halpoina hetkinä ja purkamaan sitä kalliina hetkinä. Pohjoismaissa hintojen erot tuntien välillä ovat olleet maltillisia [22]. Tämä vaikuttaa akusta saatavaan taloudelliseen hyötyyn. Erilaiset poikkeustilanteet voivat horjuttaa tasaisia tuntihintoja. Näin kävi talvella 2021-2022 Euroopassa energiakriisin aikana, tällöin tuntihinnat vaihtelivat ennennäkemättömän paljon, mikä vaikutti myös hetkellisesti akkujen tuottamaan säästöpotentiaaliin. Pelkkä hinta-arbitraasin hyödyntäminen ei ole riittänyt kattamaan akun kustannuksia ainakaan nykyisen tasoilla sähkön hinnanvaihteluilla [19]. Epävakaassa energiatilanteessa akuista saatava hyöty kasvaa tuntihintojen vaihtelun perusteella. Tuuli- ja vesivoimaan perustuva energiaverkko voi lisätä tuntihintojen vaihtelua ja näin ollen tehdä akkuinvestoinneista kannattavampia.

**(3) Varavoima sähkökatkon aikana.** Kolmas esiteltävä käyttömahdollisuus on akkusysteemin käyttäminen varavoimalähteenä sähkökatkosten aikaan. Vaikka Suomen sähköverkko on hyvin luotettava, voivat myrskyt tai tykkylumi aiheuttaa paikallisia sähkökatkoja haja-asutusalueilla. Kotitalousakkujärjestelmä on mahdollista kytkeä niin, että verkkovirran katketessa akkujärjestelmän invertteri kytkeytyy saarekemoodiin, eli eristyy omaksi sähköverkokseen, ja akusta saadaan sähköä talon kriittisten toimintojen, kuten jääkaapin, valaisimien sekä lämmitysjärjestelmän ylläpitämiseen [23]. Akkujen käyttö varavirtalähteenä voittaa perinteisemmät polttomoottorikäyttöiset aggregaatit äänettömyydessä ja päästöttömyydessä. Rajoittavana tekijänä toimii akuston kapasiteetti, joka pystyy ylläpitämään kriittisiä toimintoja muutamasta tunnista muutamaan päivään.

Kotitalousakkujen käyttäminen varavoimalähteinä ei varsinaisesti tee niistä taloudellisesti kannattavia, mutta ne voivat tarjota kotitaloudelle suuria säästöjä ja helpotuksia sähkökatkon aikana: pakastimet eivät pääse sulamaan ja etätöitä pystyy jatkamaan kotoa käsin.

**(4) Energiayhteisöt ja hajautettu energiantuotanto.** Kotitalousakkujen avulla voidaan mahdollistaa uudenlaisia energiayhteisöjä, joissa taloyhtiöt tai naapurustot tuottavat ja jakavat energiaa keskenään. yhteisömuotoisuuden myötä akkuinvestoinnin kustannukset jakautuvat useammalle kotitaloudelle ja akkujärjestelmälle saadaan korkeampi käyttöaste. Suomessa tämä on vielä melko uutta, mutta erilaisia pilottihankkeita on jo käynnissä. Koskela ym. esittää tutkimuksessaan tapauksen, jossa Tampereen keskustassa sijaitseva kerrostalo muodostaa energiayhteisön [6]. Taloyhtiöiden jakaman aurinkosähkön säätelyä kehitetään parhaillaan. Energiayhteisöt toimivat apuna myös energian hajauttamisessa: aggregaattorien kautta kotitaloudet on mahdollista yhdistää älykkääseen sähköverkkoon, joka voi toimia sähköverkon tasapainotuksessa esimerkiksi poikkeustilanteissa. Energiayhteisöjä ja älykkäitä sähköverkkoja käsitellään lisää kappaleessa 5. Tulevaisuuden näkymät.

### 3 Kotitalousakkujen taloudelliset tekijät

Kotitalousakkuinvestoinnin kannattavuus riippuu useiden tekijöiden yhteisvaikutuksesta. Itse akkujärjestelmän kustannukset (hankintahinta, käyttöikä ja huoltotarve) vaikuttavat tähän eniten. Kotitalouteen asennettu akkujärjestelmä tuo myös säästöjä ja tuloja mm. sähkölaskun pientymisen ja sähkönsiirtomaksuilta sekä verotukselta välttymisen myötä. Akun investointiin vaikuttaa myös erilaiset tukipoliittiset toimet sekä sähkön hinnan ja tariffirakenteiden muutokset. Myös sillä, onko kotitaloudessa käytössä aurinkopaneeleita, on merkittävä vaikutus akkujärjestelmän hankintaan. Tässä luvussa käyn läpi näiden tekijöiden vaikutusta investoinnin kannattavuuteen.

#### 3.1 Hankintahinta, käyttöikä ja huoltokustannukset

Kotitalousakkujärjestelmän hinta sisältää itse akuston, eli akkujen kennot ja moduulit, invertterin, asennustarvikkeet, asennustyön sekä lisäksi mahdollisia ohjausjärjestelmiä. Mikäli kotitaloudessa on jo valmiiksi aurinkopaneeleiden yhteydessä hybridi-invertteri, säästyään siihen liittyviltä kuluilta akkujärjestelmää hankittaessa. Nykyhinnoilla yhden kilowattitunnin hinnaksi tulee noin 115 euroa kilowattituntia kohden [24]. Pientaloon soveltuva kapasiteetiltaan 5 kWh akkujärjestelmä voi maksaa yhteensä noin 3000-4000 euroa [6], [19]. Hintaan sisältyy esimerkiksi invertteri, jonka hinnaksi on arvioitu noin 1000 euroa [25].

Pelkkien hankintakustannusten lisäksi on otettava huomioon myös akkujärjestelmän käyttöikä. Kuten mainittu, litiumioniakuilla on verrattain pitkä elinikä. Kotitalouskäytössä sen käyttöikä on tyypillisesti noin 10-15 vuotta [7]. Akuston kapasiteetti heikkenee ajan myötä niin käyttövuosien kuin lataus-purkaus-syklien määrän kasvaessa. Joidenkin tutkimusten mukaan 10 vuoden käytön jälkeen akun kapasiteetti voi olla jo 60-80 % alkuperäisestä ilmoitetusta kapasiteetista [4]. Näiden tietojen pohjalta voidaan arvioida, että kotitalousakku täytyy vaihtaa noin 10 vuoden kuluttua sen hankinnasta. Tämä tulee ottaa huomioon takaisinmaksulaskelmissa, sillä 10 vuoden kuluessa investoinnin tulisi maksaa itsensä takaisin, eli akkujärjestelmän tuottamien säästöjen täytyisi ylittää hankinta- sekä mahdolliset huoltokustannukset.

Litiumioniakuilla on melko alhainen huollontarve sillä akuissa itsessään ei ole liikkuvia osia tai säännöllistä vaihtoa vaativia komponentteja. Jos akkumoduuli vioittuu, joudutaan se vaihtamaan kokonaan, mikä lisää kustannuksia. Eräässä tutkimuksessa invertterien käyttöikäksi

arvioitiin jopa 29 vuotta pohjoisissa oloissa (Tanska). Sama tutkimus tehtiin Arizonassa, Yhdysvalloissa, missä käyttöiäksi saatiin 17 vuotta. Syyksi selitettiin lämpötilaeroja: korkeammissa lämpötiloissa invertteri altistuu enemmän lämpökuormitukselle ja komponenttien vanheneminen nopeutuu [26]. Lyijyakut ovat lyhytikäisempiä ja vaativat enemmän huoltoa. Tämä heikentää niiden kannattavuutta toimia kotitalousakkuina [14].

### **3.2 Sähkön hinta, tariffirakenteet, siirtohinnot ja verotus**

Kotitalousakun tuottama taloudellinen hyöty riippuu siitä, millaisia hintaeroja akku pystyy hyödyntämään. Suomessa sähkön hinta muodostuu sähkön markkinahinnasta, sähkönsiirtomaksuista sekä veroista. Tässä sähkön markkinahinnalla on suuri vaikutus: mitä kalliimpaa ostosähkö on, ja mitä pienempi on korvaus omasta ylituotannosta, sitä arvokkaampia ovat omasta akusta otetut kilowattitunnit.

Sähkötariffeilla tarkoitetaan erilaisia sähkön hinnoittelumalleja. Ne kertovat siis miten ja milloin sähkön hinta määräytyy. Tariffirakenteilla on siis merkittävä rooli, kun mietitään akkujen tuottamia mahdollisia säästöjä. Kiinteähintaisella sopimuksella akkujärjestelmää voi hyödyntää vain varastoimalla omatuotettua aurinkosähköä. Akkujärjestelmää harkitessa kannattavinta on sitoa sähkösopimukset spot- tai aikatariffiin [19]. Aikatariffeissa sähkö voi olla eriteltyinä päivä sähköön ja yö sähköön, joista useimmiten yö sähkön hinta on halvempi [27]. Spot-hintaan sidottu sähkösopimus tarkoittaa käytännössä pörssisähköä. Näiden sopimusten kannattavuus tulee siitä, että ne mahdollistavat sähkön ostamisen edullisina tunteina, ja sen käytön kalliimpana aikana. Kiinteähintaisissa sopimuksissa akkujen kannattavuus jää vähäiseksi, ja spot-hintaan perustuvissa malleissa taloudellinen hyöty kasvaa [19]. Sähkön suuret hintavaihtelut kasvattavat hyötyä erityisesti.

Kotitalouksien sähkölaskuista merkittävä osa koostuu sähkönsiirtohinnoista ja verotuksesta aiheutuvista kuluista. Akkujen avulla näiden kustannusten välttäminen onnistuu, sillä sähköveroä eikä siirtomaksua tarvitse maksaa silloin, kun kulutetaan omatuotettua tai akkuun varastoitua sähköä. Itsetuotetut kilowattitunnit voivat siis säästää moninkertaisen summan verrattuna siihen, että sama sähkö olisi ensin myyty sähköverkkoon ja sitten ostettu takaisin. Käytännössä kotitalouskäyttöön asennetuista akuista ei tule maksettavaksi minkäänlaista veroa sen oston ja asennuksen jälkeen. Suomessa alle 100 kVA:n sähköntuotantolaitteistolla tapahtuvasta kotitalouden omaan tarpeeseen tulevasta sähköntuotannosta ei tarvitse maksaa

sähköveroa [6]. Sähköyhtiölle myydystä ylijäämänsähkön tuotoista ei tarvitse lähtökohtaisesti maksaa tuloveroa [28]. Nämä verotukselliset seikat parantavat sähkön omakäytön kannattavuutta.

### **3.3 Aurinkopaneelien tuotanto ja itse käytetyn energian osuus**

Mikäli kotitaloudessa on jo valmiina olemassa oleva aurinkosähköjärjestelmä, on akkuinvestoinnilla mahdollista tuoda lisäsäästöjä sähkölaskuun varastoimalla itsetuotettua aurinkosähköä. Akun avulla voidaan kasvattaa aurinkopaneelien tuottaman energian omakäyttöastetta, mutta on tärkeää sovittaa paneelien koko kotitalouden kulutukseen nähden: jos aurinkosähköjärjestelmä on mitoitettu niin pieneksi, että kaikki tuotanto menee kulutukseen, jää akulle rajallinen kyky tuottaa lisäsäästöjä [6]. Hyvin suurella aurinkopaneelisysteemillä syntyy paljon ylituotantoa erityisesti kesäaikaan. Akkujen rajallisen kapasiteetin vuoksi tasaaminen vuodenaikojen yli ei onnistu ilman mahdottoman suurta akkua. Kapasiteetiltaan hyvin suuren akun hankkiminen ei ole taloudellisesti kannattavaa etenkin Suomessa, sillä aurinkosähkön saatavuus on hyvin rajattua vuodenaikojen mukaisesti. Talvisin suuri akku olisi myös vajaakäytöllä aurinkopaneelien tuottaman energian suhteen.

Kannattavuuslaskelmissa käytetään usein aurinkosähköprofiilia sekä kulutusprofiilia. Kuleshov ym. on mallintanut suomalaisen omakotitalon tunnittaisen kulutuksen, sekä 5 kWp aurinkovoimalan tuotannon vuoden ajalta. He selvittivät, kuinka suurella akustolla ja hinnoilla akkuinvestointi olisi kannattava. Tutkimuksessa havaittiin, että liian pienellä akulla omakäyttöaste ei parane, sillä akku täyttyy ja tyhjenee hyvin nopeasti. Liian suuressa akussa ongelma on taas akun vajaakäytössä talvikautisin [29]. Yleensä akkujen koko optimoidaan niin, että ne pystyvät varastoimaan yhden vuorokauden keskimääräisen ylituotannon. Tämä on luokkaa 0,5-1 kWh per asennettu paneelikilowattihuippu [30]. Tämän perusteella 5 kWp:n aurinkopaneelille sopiva akun koko olisi 2,5-5 kWh.

## 4 Kotitalousakkujen kannattavuuden arviointi

Kotitalousakkujen kannattavuus riippuu useista teknisistä ja taloudellisista tekijöistä. Kannattavuuteen vaikuttaa myös kotitalouden kulutustottumukset. Yleisesti ottaen nykyisessä kustannus- ja markkinatilanteessa kotitalousakkujen hankinta on useimpien tutkimusten mukaan taloudellisesti haastavaa ilman suotuisia olosuhteita tai tukitoimia. Toisaalta tietyissä skenaarioissa akkujen kannattavuus paranee merkittävästi. Tässä luvussa tarkastellaan tutkimustuloksia ja skenaarioita, joiden avulla akkujen taloudellista hyötyä on arvioitu erilaisissa olosuhteissa. Lisäksi vertaillaan eri skenaarioiden keskeisiä eroja ja syitä kannattavuuden vaihteluun.

### 4.1 Kannattavuus eri skenaarioissa

Kotitalousakkujen taloudellisesta kannattavuudesta on tehty useita tutkimuksia ja niissä kannattavuutta on lähestytty usean eri taloudellisen tekijän näkökulmasta. Osassa tutkimuksia kannattavuutta on lähestytty realistisesti pohjautuen nykyhetken hintatasoihin, jo olemassa oleviin kannustimiin sekä voimassa olevaan lainsäädäntöön. Joissain tutkimuksissa on selvitetty mitä toimia tai muutoksia taloudellisesti kannattavaksi tuleminen vaatisi, kuinka kauan taloudellisesti kannattavaksi tuleminen kestäisi nykyisellä hintakehityksellä tai mitä tukipoliittisia toimia se vaatisi. Taulukossa 1 on koottu keskeisten tutkimusten ja raporttien oletuksia, skenaarioita ja johtopäätöksiä kotitalousakkujen kannattavuudesta. Taulukosta nähdään, että tutkimustulokset vaihtelevat maakohtaisesti ja skenaarion mukaan. Yhteistä tutkimuksille on nykykustannuksilla laskettujen takaisinmaksuaikojen pituus sekä tarve akkujen hintatason kehittymiselle, sähkömarkkinoiden muutoksille tai erilaisten taloudellisten tukien käyttöönotolle.

*Taulukko 1 Keskeisten tutkimusten vertailu kotitalousakkujen taloudellisesta kannattavuudesta [1], [6], [19], [29], [31], [32].*

<b>Tutkimus (maa, vuosi)</b>	<b>Olosuhteet/skenaario</b>	<b>Johtopäätökset kannattavuudesta</b>
<b>Koskela ym. (Suomi, 2019)</b>	Omakoti- ja kerrostalojen tapausanalyysijä Suomesta; käytettiin erilaisia mittaus- ja hinnoittelumalleja, mm.	Akun käyttö nosti aurinkosähkön omakäyttöastetta ja tietyissä malleissa paransi taloudellista kannattavuutta. Yhdistelemällä saatavilla olevia kannustimia akkujärjestelmä saatiin

	yhteisömalli; kustannusoptimointi.	kannattavaksi. Ilman erityisiä tariffimalleja tai kannustimia akkujen taloudellinen hyöty jäi rajalliseksi.
<b>Kuleshov ym. (Suomi, 2019)</b>	Aurinkopaneelitalouksien mallinnus; laskettiin takaisinmaksuaikoja erilaisilla paneeli+akku -yhdistelmillä.	Pelkkä aurinkopaneelien tuoton varastointi nosti omakäyttöastetta, mutta akkuinvestointi ei ollut kannattava ilman tukia. Takaisinmaksuaika ilman tukia oli keskimäärin 16-20 vuotta. Jo pienillä investointituilla kannattavuus parani, sillä takaisinmaksuaika lyheni n. 12 vuoteen.
<b>Zakeri ym. (UK, 2021)</b>	Tarkasteltiin erilaisia mahdollisia tukipoliittisia toimia ja niiden vaikutusta kannattavuuteen.	Ilman uusia ohjauskeinoja kotitalousakku yhdessä aurinkopaneelien kanssa ei ollut kannattava nykyisillä markkinoilla. Perinteisen syöttötariffin tilalle kehitetty aurinkosähkön itsekulutusbonus toi saman hyödyn kuin 70 % investointituki. Korkean leveyspiirin maissa tyypillinen kotitalous hyötyi eniten pienikapasiteettisesta akusta, akku kaksinkertaisti aurinkosähkön omakäytön ja vähensi verkosta ostettua sähköä merkittävästi.
<b>Nygård ym. (Norja, 2024)</b>	Tapaustutkimus 20 kotitaloudesta Kaakkois- Norjassa; vuotuinen säästö pyrittiin optimoimaan pörssisähkön hinnanvaihteluilla,	Tutkimuksen data vuodelta 2022. Akkujen investointikustannukset olivat suuremmat kuin saavutettavat säästöt. Joustomarkkinoiden kehittyminen, merkittävä investointituki tai nykyistä suuremmat sähkön hinnan vaihtelut voisivat tehdä

	tehopohjaisella tariffilla ja ylijäämän myynnillä.	akuista taloudellisesti houkuttelevia kotitalouksille.
<b>Bean &amp; Khan (Australia, 2018)</b>	Keskittyi erityisesti älykkään ohjauksen hyödyntämiseen akkujen yhteydessä.	Älykkäällä ajoitusalgoritmilla akkujen tuomaa säästöä saatiin parannettua. Sähkölasku pieneni n. 1-10 %. Saatuun hyötyyn vaikutti erityisesti aurinkosähkön tuoton ja kulutuksen suhde sekä käytössä oleva tariffirakenne. Kotitalousakun tuottamat säästöt eivät riittäneet tekemään siitä taloudellisesti kannattavaa.
<b>Kharseh ym. (Ruotsi, 2018)</b>	Simuloitu aurinkopaneelijärjestelmä kotitaloudelle Etelä-Ruotsissa; akun vaikutusta aurinkosähkölaitteiden takaisinmaksuaikaan analysoitiin eri syöttötariffeilla, sähkönhintakehityksillä ja akkuhinnoilla.	Syöttötariffien ollessa korkeita akkujen taloudellinen hyöty oli erittäin pieni. Akun hinnan tai hyötysuhteen muutoksilla oli hyvin pieni vaikutus kannattavuuteen. Kannattavuuden kannalta tärkeimmäksi tekijäksi osoittautui sähkön hinnan kehitys.

## 4.2 Kannattavuuteen vaikuttavat tekijät ja skenaariot

**Sähkön hintarakenne ja tariffit.** Keskeisimpiä kannattavuuteen vaikuttavia tekijöitä on sähkömarkkinoiden hintarakenne. Jos kotitalous maksaa sähköstään kiinteää tasaista kilowattituntihintaa sekä saa myydystä ylijäämästä lähes saman hinnan takaisin, akkujen tuoma taloudellinen hyöty jää vähäiseksi. Pelkästä aurinkosähkön omakäyttöasteen lisäämisestä saatava rahallinen hyöty ei riitä tekemään akkuinvestoinnista kannattavaa [1], [19]. Zakeri ym. korostavat, että dynaamiset sähkön hinnat voivat moninkertaistaa kotitalousakun tuottaman arvon verrattuna kiinteähintaisiin sähkötariffeihin. Heidän tutkimuksensa mukaan akku + aurinkopaneeli -yhdistelmä Iso-Britanniassa ei ollut taloudellisesti kannattava ilman politiikkatoimia. Muuttamalla tariffirakennetta akku saatiin kannattavaksi. Suomessa ja muissa Pohjoismaissa pörssisähkön tunti- tai varttipohjaisen hinnoittelun yleistymisen voi parantaa akkujen kannattavuutta sillä se lisää hintavaihteluiden hyödyntämistä [6], [31].

**Tukipoliittiset toimet.** Useissa tutkimuksissa on korostettu valtion tukien ja hinnoittelutoimien olevan ratkaisevassa asemassa akkujen taloudellisessa kannattavuudessa. Saksassa aurinkosähkön syöttötariffien asteittainen leikkaaminen on ollut merkittävänä tekijänä tekemässä itsekäytetystä aurinkosähköstä houkuttelevampaa ja näin kannustaa akkujen hankintaa [8]. Mikäli pientuotannosta maksetaan merkittävää korvausta, taloudellinen kannustin varastoida sähköenergiaa omiin akkuihin vähenee [32]. Zakeri ym. osoittivat, että perinteisen syöttötariffin voisi korvata itsekulutusbonuksella, jossa kotitaloudelle maksetaan korvausta itsetuotetun aurinkosähkön käytöstä. Tämän huomattiin tuovan kotitaloudelle saman taloudellisen hyödyn kuin 70 % investointituki toisi, samalla kun julkinen kustannus jäisi noin kolmasosaan suorasta tuesta [19]. Myös Kuleshov ym. laskivat, että jo pieni investointituki riittäisi lyhentämään akkujen takaisinmaksuajan alle niiden eliniän Suomessa [29]. Myös Naumann ym. arvioivat, että 50 €/kWh suuruinen tuki akuston hankintahintaan riittäisi tekemään siitä taloudellisesti kannattavan Saksassa vuoden 2015 hintatasolla [8]. Tämä tukee tuloksia siitä, että kotitalousakkujen taloudellinen kannattavuus vaatii investointitukia. On kuitenkin huomattu, että suorat investointituet eivät kannusta akkujen optimaaliseen käyttöön sähköjärjestelmän kannalta [6], [19]. Tästä syystä on ehdotettu tehopohjaisia tariffeja, joissa kotitalous saisi korvausta sähkön purkamisesta sähköverkkoon huippukuormituksen aikana [6]. Tällaiset dynaamiset tukimekanismit voivat ohjata akkujen käyttöä niin, että se hyödyttää sekä kuluttajaa että sähköverkkoa.

**Akkuteknologian kehitys ja tekniset oletukset.** Akkujen hinta, käyttöikä ja suorituskyky ovat keskeisiä tekijöitä kannattavuusanalyseissä. Useissa tutkimuksissa akkujen hintojen oletetaan laskevan tulevaisuudessa, mikä parantaa kannattavuutta ajan myötä. Akkujen syklisellä kestävyydellä huomattiin olevan suuri vaikutus kannattavuuteen. 6000 oletetulla syklinkestävyydellä saatiin huomattavasti paremmat tulokset taloudellisesta kannattavuudesta kuin 3000 syklinkestävyydellä [8]. Kun akku kestää pidempään, myös investoinnin tuotot jakautuvat useammalle käyttövuodelle. Akkujen kemialliset ominaisuudet vaikuttavat niiden käyttöikänsä. Tutkimuksissa on ennakoitu uusien akkuteknologioiden olevan kestävämpiä ja pitkäikäisempiä kuin nykyiset litiumioniakut [2], [7]. Joidenkin akkujen teknisten tekijöiden vaikutus taloudelliseen kannattavuuteen on vähäinen. Pienet muutokset akun hyötysuhteessa tai inflaatio-oletuksessa eivät vaikuttaneet merkittävästi akkujärjestelmän takaisinmaksu-aikaan.

## 5 Tulevaisuuden näkymät

Kotitalousakkujen kannattavuuteen tulevaisuudessa vaikuttaa keskeisesti akkuteknologian kehitys ja sen tuomat muutokset akkujen käyttöikään, suorituskykyyn ja hintoihin. Tällä hetkellä litiumioniakut ovat yleisin teknologia, mutta niiden rinnalle on nousemassa vaihtoehtoisia teknologioita kuten natriumioniakkuja. Akkujen kannattavuuteen tulevaisuudessa vaikuttaa energiayhteisöjen muodostuminen, älykkäiden sähköverkkojen rakentaminen sekä sähkömarkkinoiden muuttuminen entistä dynaamisemmiksi. Tässä luvussa tarkastellaan kotitalousakkujen taloudellista kannattavuutta tulevaisuudessa näiden tekijöiden kannalta.

### 5.1 Teknologian kehitys ja hintakehitys

Litiumioniakut kehittyvät jatkuvasti. Akkujen energiatiheys on parantunut, käyttöikä on pidentynyt ja hinnat ovat olleen tasaisessa laskussa. Vuonna 2024 litiumioniakkujen keskimääräinen hinta oli 115 €/kWh, joka on 20 % vähemmän kuin vuonna 2023 [24]. Hintojen laskuun vaikuttaa tuotantokapasiteetin kasvu sekä raaka-aineiden hintojen tasaantuminen. Käyttöään kasvaessa akun kestämiä lataus-purkausyhteyksien määrä nousee. Älykkäät ohjausjärjestelmät mahdollistavat akun hallinnan niin, että syklejä käytetään optimoidusti.

Natriumioniakut ovat uusi akkuteknologia, joiden tutkimus- ja kehitystyö on vielä kesken. Optimistisissa tutkimuksissa natriumioniakkujen odotetaan ohittavan litiumioniakut mm. edullisuudessa. Niiden ominaisuudet, kuten energiatiheys, ei ole vielä samalla tasolla kuin perinteisissä litiumioniakuissa, mutta niiden kehitys on ollut hyvin nopeaa [15]. Natrium on alkuaineena yleinen ja edullinen. Natriumioniakkujen latausnopeus ja kylmänkestävyys ovat hyviä, mistä syystä ne voivat tulevaisuudessa soveltua käytettäväksi erityisesti pohjoisissa oloissa [16].

Litiumioniakkujen hintojen lasku ja natriumioniakkujen kehitys ja saapuminen markkinoille parantaa kotitalousakkujen tulevaa taloudellista kannattavuutta. Nykyisen kehityksen jatkuessa on odotettavissa, että akkujen takaisinmaksuajat lyhenevät. Tällöin akkuinvestoinnit alkavat kiinnostaa yhä useampaa kotitaloutta.

### 5.2 Energiayhteisöt, älykkäät sähköverkot ja dynaamiset sähkömarkkinat

Energiayhteisöllä tarkoitetaan yksittäisten kotitalouksien luomaa kokonaisuutta, jossa sähköntuotantoa ja -varastointia jaetaan esimerkiksi naapuruston tai taloyhtiön kesken. Tässä akun tuomat hyödyt saadaan laajemmin käyttöön, sillä yksittäisen talouden sijaan akkujärjestelmä palvelee koko yhteisöä. Suomessa vuonna 2021 voimaan astuneiden sähkömarkkinalain (588/2013) muutoksien myötä taloyhtiöiden yhteisillä aurinkopaneeleilla tuotettu sähkö voidaan jakaa asukkaiden kesken

hyvityslaskennan avulla. Energiayhteisömallin käyttöönotto kerrostalossa voi merkittävästi kasvattaa rakennuksen optimaalista aurinkopaneelitehoa, koska yhteisön joustojen avulla suurempi osa tuotannosta saadaan kannattavasti hyödynnettyä [6]. Investoimalla isompaan aurinkovoimalaan ja sitä tukevaan akustoon, osakkaat voivat jakaa kustannukset ja hyödyt keskenään, jolloin yksittäisen kotitalouden ei tarvitse hankkia omaa kallista akkua tai ylimitoittaa omaa pientä aurinkosysteemiä.

Älykkäiden sähköverkkojen avulla on mahdollista automatisoida sähkönkulutuksen, tuotannon ja varastoinnin ohjaus. Kotitalouksien akut voidaan liittää älykkääseen verkkoon (engl. smart grid). Verkkoon kytköksissä olevat sähkölaitteet, kuten esimerkiksi lämpöpumput tai sähköautojen latauslaitteet, voivat säädellä kulutustaan sähkön saatavuuden ja hinnan mukaan. Älykkään ohjauksen avulla tiettyjen laitteiden tehoa voidaan laskea tai sähköauton latausta siirtää myöhemmäksi jotta vältytään hinta- tai kuormituspiikeiltä. Energiayhteisöt yhdessä älykkäiden sähköverkkojen kanssa hajauttavat energiantuotantoa ja yhteisöjen tuottamaa sähköä voidaan käyttää tasapainottamaan kantaverkon kuormitusta korvausta vastaan.

Dynaamisten sähkömarkkinoiden kehittyessä tulevaisuudessa siirrytään mahdollisesti vielä lyhyempiin aikajaksoihin, kuten varttikohtaiseen hintaan. Kehitys kohti dynaamisempia sähkömarkkinoita tekee kotitalousakuista taloudellisesti houkuttelevampia, sillä suurempien hinnanvaihteluiden avulla akut pystyvät tuottamaan kotitaloudelle suurempia säästöjä. [19]

## 6 Johtopäätökset

Tutkielman perusteella kotitalousakkujen taloudellinen kannattavuus riippuu useista tekijöistä, kuten akkuteknologian kehityksestä, kustannustasosta ja sähkömarkkinoiden olosuhteista. Nykytilanteessa kotitalousakun hankinta on harvoin taloudellisesti kannattava hankinta tavalliselle kotitaloudelle. Akkujen hinnat ovat laskeneet tasaisesti ja teknologia kehittynyt. Siitä huolimatta alkuinvestointi on yhä suuri suhteessa akusta saataviin hyötyihin. Useat kotimaiset ja kansainväliset selvitykset osoittavat, että ilman minkäänlaisia tukia akun takaisinmaksuajaksi muodostuu usein yli kymmenen vuotta. Näissä tilanteissa akku ehtii tulla käyttöikänsä päähän ennen kuin investointi maksaa itsensä takaisin. Aurinkopaneelien yhteyteen asennettu akkujärjestelmä parantaa aurinkosähkön omakäyttöastetta huomattavasti, mutta nykyisillä sähköhinnoilla pelkkä omakäytön lisääntyminen ei riitä tekemään akuista taloudellisesti kannattavaa investointia.

Kotitalousakkujen taloudellinen kannattavuus paranee selvästi tietyissä olosuhteissa. Eräs merkittävä tekijä on sähkömarkkinoiden hinnoittelumalli eli se millaisia sähkötariffeja kotitalouksille on tarjolla. Mitä suurempia on sähkön hinnan vaihtelut, sitä suurempia säästöjä kotitalousakkujärjestelmä voi tuoda. Kun kotitaloudella on käytössä pörssisähkön sidottu sähkösopimus voi akkua ladata edullisina tunteina ja purkaa kalliina hetkinä. Optimaalisissa tapauksissa takaisinmaksuaikoja on saatu lyhennettyä lähemmäksi akkujen teknistä käyttöikää sähköjärjestelmän älykkään ohjauksen sekä akun ja aurinkosähköjärjestelmän koon optimoimisen avulla. Investointitukien ja verohelpotusten tuomat edut ovat ratkaisevassa asemassa taloudellisessa kannattavuudessa. Ne lyhentävät takaisinmaksuaikaa merkittävästi ja niiden avulla akkuinvestointi voi olla tietyissä tapauksissa kannattava jo nykyisillä kustannuksilla. Joissain laskelmissa tukien ansiosta on päästy alle kymmenen vuoden takaisinmaksuaikoihin. Jatkotutkimusta tarvitaan erityisesti sen osalta miten energiayhteisöt ja uudet akkuteknologiat tulevat vaikuttamaan kotitalousakkujen taloudelliseen kannattavuuteen.

Edellä mainittujen tekijöiden valossa kotitalousakut voivat tulla taloudellisesti kannattaviksi, kun akkujen hinta on tarpeeksi alhainen, suorituskyky riittävän hyvä ja sähkömarkkinoiden hinnoittelurakenne on akkujen kannalta suotuista. Mikäli nykyinen kehityssuunta jatkuu, on taloudellisesti kannattavaksi muuttuminen mahdollista 2030-luvun puolella.

## Lähteet

- [1] R. Bean ja H. Khan, "Using solar and load predictions in battery scheduling at the residential level", 2018, *arXiv*. doi: 10.48550/ARXIV.1810.11178.
- [2] W. Zhao, J. Yi, P. He, ja H. Zhou, "Solid-State Electrolytes for Lithium-Ion Batteries: Fundamentals, Challenges and Perspectives", *Electrochem. Energy Rev.*, vsk. 2, nro 4, ss. 574–605, joulu 2019, doi: 10.1007/s41918-019-00048-0.
- [3] O. Erdinc, N. G. Paterakis, I. N. Pappi, A. G. Bakirtzis, ja J. P. S. Catalão, "A new perspective for sizing of distributed generation and energy storage for smart households under demand response", *Appl. Energy*, vsk. 143, ss. 26–37, huhti 2015, doi: 10.1016/j.apenergy.2015.01.025.
- [4] Y. Guo, Y. Wang, P. Ding, ja K. Huang, "Future degradation trajectory prediction of lithium-ion battery based on a three-step similarity evaluation criterion for battery selection and transfer learning", *J. Energy Storage*, vsk. 72, s. 108763, marras 2023, doi: 10.1016/j.est.2023.108763.
- [5] H. Li, "Practical Evaluation of Li-Ion Batteries", *Joule*, vsk. 3, nro 4, ss. 911–914, huhti 2019, doi: 10.1016/j.joule.2019.03.028.
- [6] J. Koskela, A. Rautiainen, ja P. Järventausta, "Using electrical energy storage in residential buildings – Sizing of battery and photovoltaic panels based on electricity cost optimization", *Appl. Energy*, vsk. 239, ss. 1175–1189, huhti 2019, doi: 10.1016/j.apenergy.2019.02.021.
- [7] Y. Preger *ym.*, "Degradation of Commercial Lithium-Ion Cells as a Function of Chemistry and Cycling Conditions", *J. Electrochem. Soc.*, vsk. 167, nro 12, s. 120532, tammi 2020, doi: 10.1149/1945-7111/abae37.
- [8] M. Naumann, R. Ch. Karl, C. N. Truong, A. Jossen, ja H. C. Hesse, "Lithium-ion Battery Cost Analysis in PV-household Application", *Energy Procedia*, vsk. 73, ss. 37–47, kesä 2015, doi: 10.1016/j.egypro.2015.07.555.
- [9] L. Guo, D. B. Thornton, M. A. Koronfel, I. E. L. Stephens, ja M. P. Ryan, "Degradation in lithium ion battery current collectors", *J. Phys. Energy*, vsk. 3, nro 3, s. 032015, heinä 2021, doi: 10.1088/2515-7655/ac0c04.
- [10] S. Orangi, N. Manjong, D. P. Clos, L. Usai, O. S. Burheim, ja A. H. Strømman, "Historical and prospective lithium-ion battery cost trajectories from a bottom-up production modeling perspective", *J. Energy Storage*, vsk. 76, s. 109800, tammi 2024, doi: 10.1016/j.est.2023.109800.
- [11] A. R. Shekhar, M. H. Parekh, ja V. G. Pol, "Worldwide ubiquitous utilization of lithium-ion batteries: What we have done, are doing, and could do safely once they are dead?", *J. Power Sources*, vsk. 523, s. 231015, maaliskuu 2022, doi: 10.1016/j.jpowsour.2022.231015.
- [12] Q. Wang, B. Mao, S. I. Stolarov, ja J. Sun, "A review of lithium ion battery failure mechanisms and fire prevention strategies", *Prog. Energy Combust. Sci.*, vsk. 73, ss. 95–131, heinä 2019, doi: 10.1016/j.pecs.2019.03.002.
- [13] A. A. Kebede *ym.*, "Techno-economic analysis of lithium-ion and lead-acid batteries in stationary energy storage application", *J. Energy Storage*, vsk. 40, s. 102748, elokuu 2021, doi: 10.1016/j.est.2021.102748.
- [14] D. D. Pavlov, *Lead-acid batteries: science and technology: a handbook of lead-acid battery technology and its influence on the product*, Online-Ausg. Amsterdam Singapore: Elsevier Science Ltd, 2011.
- [15] K. M. Abraham, "How Comparable Are Sodium-Ion Batteries to Lithium-Ion Counterparts?", *ACS Energy Lett.*, vsk. 5, nro 11, ss. 3544–3547, marras 2020, doi: 10.1021/acsenerylett.0c02181.

- [16] P. Li, N. Hu, J. Wang, S. Wang, ja W. Deng, "Recent Progress and Perspective: Na Ion Batteries Used at Low Temperatures", *Nanomaterials*, vsk. 12, nro 19, s. 3529, loka 2022, doi: 10.3390/nano12193529.
- [17] O. Zhang, S. Yu, ja P. Liu, "Development mode for renewable energy power in China: Electricity pool and distributed generation units", *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vsk. 44, ss. 657–668, huhti 2015, doi: 10.1016/j.rser.2015.01.020.
- [18] S. Quoilin, K. Kavvadias, A. Mercier, I. Pappone, ja A. Zucker, "Quantifying self-consumption linked to solar home battery systems: Statistical analysis and economic assessment", *Appl. Energy*, vsk. 182, ss. 58–67, marras 2016, doi: 10.1016/j.apenergy.2016.08.077.
- [19] B. Zakeri, S. Cross, Paul. E. Dodds, ja G. C. Gisse, "Policy options for enhancing economic profitability of residential solar photovoltaic with battery energy storage", *Appl. Energy*, vsk. 290, s. 116697, touko 2021, doi: 10.1016/j.apenergy.2021.116697.
- [20] S. Lieskoski, O. Koskinen, J. Tuuf, ja M. Björklund-Sänkiaho, "A review of the current status of energy storage in Finland and future development prospects", *J. Energy Storage*, vsk. 93, s. 112327, heinä 2024, doi: 10.1016/j.est.2024.112327.
- [21] E. Lundin ja T. P. Tangerås, "Cournot competition in wholesale electricity markets: The Nordic power exchange, Nord Pool", *Int. J. Ind. Organ.*, vsk. 68, s. 102536, tammi 2020, doi: 10.1016/j.ijindorg.2019.102536.
- [22] M. Bask ja A. Widerberg, "Market structure and the stability and volatility of electricity prices", *Energy Econ.*, vsk. 31, nro 2, ss. 278–288, maaliskuu 2009, doi: 10.1016/j.eneco.2008.11.006.
- [23] A. G. Abo-Khalil, M. Abdalla, R. C. Bansal, ja N. T. Mbungu, "A critical assessment of islanding detection methods of solar photovoltaic systems", *Case Stud. Therm. Eng.*, vsk. 52, s. 103681, joulukuu 2023, doi: 10.1016/j.csite.2023.103681.
- [24] O. Catsaras, "Lithium-Ion Battery Pack Prices See Largest Drop Since 2017, Falling to \$115 per Kilowatt-Hour: BloombergNEF", 10. joulukuuta 2024. Viitattu: 16. toukokuuta 2025. [Verkossa]. Saatavissa: <https://about.bnef.com/blog/lithium-ion-battery-pack-prices-see-largest-drop-since-2017-falling-to-115-per-kilowatt-hour-bloombergnef/>
- [25] M. Bruch ja M. Müller, "Calculation of the Cost-effectiveness of a PV Battery System", *Energy Procedia*, vsk. 46, ss. 262–270, 2014, doi: 10.1016/j.egypro.2014.01.181.
- [26] B. Zhang, Y. Gao, E. Yang, T. Li, ja X. Hu, "Lifetime evaluation method of PV inverter considering the influence of fundamental frequency and low frequency junction temperature", *Energy Rep.*, vsk. 8, ss. 249–255, joulukuu 2022, doi: 10.1016/j.egypr.2022.10.186.
- [27] K. Matschoss, S. Laakso, ja J. Rinkinen, "Disruptions and energy demand: How Finnish households responded to the energy crisis of 2022", *Energy Res. Soc. Sci.*, vsk. 121, s. 103977, maaliskuu 2025, doi: 10.1016/j.erss.2025.103977.
- [28] "Kotitalouden sähköntuotannon tuloverotus". Verohallinto, 14. elokuuta 2024. Viitattu: 16. toukokuuta 2025. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.vero.fi/syventavat-vero-ohjeet/ohje-hakusivu/48484/kotitalouden-sahkontuotannon-tuloverotus2/>
- [29] D. Kuleshov ym., "Assessment of economic benefits of battery energy storage application for the PV-equipped households in Finland", *J. Eng.*, vsk. 2019, nro 18, ss. 4927–4931, heinä 2019, doi: 10.1049/joe.2018.9268.
- [30] J. C. Hernández, F. Sanchez-Sutil, ja F. J. Muñoz-Rodríguez, "Design criteria for the optimal sizing of a hybrid energy storage system in PV household-prosumers to maximize self-consumption and self-sufficiency", *Energy*, vsk. 186, s. 115827, marras 2019, doi: 10.1016/j.energy.2019.07.157.

- [31] H. S. Nygård, S. Ø. Ottesen, ja O. H. Skonnord, "Profitability Analyses for Residential Battery Investments: A Norwegian Case Study", *Energies*, vsk. 17, nro 16, s. 4048, elo 2024, doi: 10.3390/en17164048.
- [32] M. Kharseh ja H. Wallbaum, "How Adding a Battery to a Grid-Connected Photovoltaic System Can Increase its Economic Performance: A Comparison of Different Scenarios", *Energies*, vsk. 12, nro 1, s. 30, joulu 2018, doi: 10.3390/en12010030.