



AKUSTON KÄYTTÖÖNOTTO KIINTEISTÖISSÄ

Eero Tuomola

OPINNÄYTETYÖ
Elokuu 2025

Talotekniikan tutkinto-ohjelma
Sähköinen talotekniikka

TIIVISTELMÄ
Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan tutkinto-ohjelma
Sähköinen talotekniikka

TUOMOLA, EERO:
Akuston käyttöönotto kiinteistöissä.

Opinnäytetyö 40 sivua, joista liitteitä 7 sivua
Elokuu 2025

Viime vuosien aikana akkuenergiavarastojen merkitys energianhallinnassa on kasvanut merkittävästi. Kiinteistöissä ne mahdollistavat uusiutuvan energian tehokkaan varastoinnin ja käytön, mikä tukee energiatehokkuuden ja kestäväen kehityksen tavoitteita. Tämän työn aiheena on akkujärjestelmien turvallisuuden ja toimivuuden varmistaminen osana rakennusten energijärjestelmiä. Erityistä huomiota on kiinnitetty litium-rauta-fosfaatti-akkujen (LFP) käyttöön kiinteistöissä niiden turvallisuuden ja kestävyuden ansiosta.

Työ käsittelee akkujärjestelmien sijoittelua ja paloturvallisuutta lainsäädännön ja standardien näkökulmasta. Esimerkiksi EU:n akkuasetus ja SFS-standardit asettavat vaatimuksia, joiden tarkoituksena on lisätä akkujen käytön turvallisuutta. Lisäksi työssä annetaan konkreettisia suosituksia, kuten palo-osastoinnin ja automaattisten sammutusjärjestelmien käytöstä.

Keskeinen osa opinnäytetyötä on haastatteluiden avulla kerätyt näkemykset vaakuutusyhtiöiltä ja pelastusviranomaisilta. Haastattelut korostavat huolellisen suunnittelun sekä ennakoivien turvallisuusjärjestelmien merkitystä akkuenergiavarastoja käyttöönotettaessa.

Tämän työn lopputuloksena on kehitetty käytännönläheinen tarkistuslista, joka kattaa akkujärjestelmien suunnittelun, asennuksen ja käytön tärkeimmät näkökulmat. Lista on tarkoitettu helpottamaan akkujärjestelmien käyttöönottoa ja tukemaan käyttäjiä varmistamaan niiden turvallisuus, taloudellisuus ja säädösten noudattaminen.

Asiasanat: akkuenergiavarastot, paloturvallisuus, litium-rauta-fosfaatti-akut, EU:n akkuasetus, SFS-standardit

ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Building Services Engineering
Electrical systems

TUOMOLA, EERO:
Introduction of batteries in real estate.

Bachelor's thesis 40 pages, appendices 7 pages
August 2025

Battery energy storage systems are becoming an essential part of modern energy management in buildings. Their ability to store renewable energy and improve energy efficiency emphasizes their significance in achieving sustainability goals. This thesis explores different battery technologies, such as lead-acid and lithium batteries, and highlights the advantages of lithium iron phosphate (LFP) batteries, particularly in terms of safety and durability for building applications.

The study examines legislative frameworks and standards relevant to battery implementation, including the EU Battery Regulation and Finnish SFS Standards. Recommendations for ensuring fire safety, such as battery placement, compartmentalization, and the integration of automatic fire extinguishing systems, are provided. Additionally, the perspectives of insurance companies and fire departments were gathered through interviews, shedding light on the importance of careful planning and preventive safety measures.

The central outcome of this thesis is a practical checklist designed to guide the safe and efficient implementation of battery systems. This checklist addresses technical, safety-related, legislative, and financial aspects to ensure compliance and usability. It aims to simplify the implementation process and support users in adopting safe and sustainable battery systems.

Key words: battery energy storage, fire safety, lithium iron phosphate batteries, EU Battery Regulation, SFS Standards

SISÄLLYS

| | | |
|---|---|----|
| 1 | JOHDANTO | 7 |
| 2 | ENERGIAVARASTOJEN RAKENNE..... | 8 |
| | 2.1 Akustojen rakenne ja toiminta | 8 |
| | 2.2 Kennot ja hallinta..... | 9 |
| | 2.3 Akunhallintajärjestelmän rakenne (BMS) | 9 |
| 3 | ENERGIAVARASTOJEN KÄYTTÖ..... | 11 |
| | 3.1 Tehokkaampi energiankäyttö varastoinnin avulla..... | 11 |
| | 3.2 Energiavarastot talouden ja tehokkuuden tukena | 11 |
| 4 | AKKUJEN SIOITTELU JA AKUSTOJEN TILAT | 13 |
| | 4.1 Akkutilojen sijoittaminen ja eristäminen..... | 13 |
| | 4.1.1 Erillinen akkutila..... | 13 |
| | 4.1.2 Rakenteelliset vaatimukset..... | 14 |
| 5 | PALOTURVALLISUUS JA SAMMUTUSJÄRJESTELMÄT | 15 |
| | 5.1 Sammutus- ja hälytysjärjestelmät akkuvarastojen suojana | 15 |
| | 5.2 Turvallisuusohjeet ja käytännöt | 16 |
| 6 | LYIJY- JA LITIUMAKKUJEN VERTAILU | 18 |
| | 6.1 Taloudellinen vertailu | 18 |
| | 6.2 Ylläpito | 19 |
| | 6.3 Turvallisuus | 20 |
| | 6.4 Lämpöryntäyslämpötilat ja akkaturvallisuus | 20 |
| | 6.5 Ympäristövaikutukset | 21 |
| | 6.6 Kiinteistöjen paras akkuratkaisu..... | 21 |
| 7 | HAASTATTELUJEN TULOKSET | 23 |
| | 7.1 Vakuutusyhtiö..... | 23 |
| | 7.2 Nummelan Paloasema..... | 25 |
| 8 | TARKASTUSLISTAN MERKITYS JA SISÄLTÖ | 29 |
| 9 | POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET | 30 |
| | LÄHTEET..... | 32 |
| | LIITTEET | 34 |
| | Liite 1: Haastattelukysymykset vakuutusyhtiöön..... | 34 |
| | Liite 2: Haastattelu (Nummelan paloasema)..... | 36 |
| | Liite 3: Tarkastuslista | 38 |

LYHENTEET JA TERMIT

AC (Alternating Current / Vaihtovirta) – Sähkövirta, jonka suunta vaihtuu säännöllisesti. Sähköverkot toimivat yleensä vaihtovirralla, joten akkuvarastojärjestelmät tarvitsevat invertterin muuttamaan tasavirran vaihtovirraksi.

BMS (Battery Management System / Akunhallintajärjestelmä) – Järjestelmä, joka valvoo ja hallitsee akun toimintaa, esimerkiksi latausta, purkamista, lämpötilaa ja jännitettä, turvallisuuden ja tehokkuuden varmistamiseksi.

DC (Direct Current / Tasavirta) – Sähkövirta, joka kulkee vain yhteen suuntaan. Akut tuottavat tasavirtaa, joka on muutettava vaihtovirraksi (AC) useimpiin sähköverkkoihin yhdistettäessä.

ESS (Energy Storage System / Energiavarastojärjestelmä) – Järjestelmä, jossa ylimääräinen energia (esim. sähkö) varastoidaan myöhempää käyttöä varten. Akkuvarastot ovat yksi yleisimmistä ESS-tyypeistä.

IEA (International Energy Agency / Kansainvälinen energiajärjestö) – Järjestö, joka kerää ja jakaa tietoa energiantuotannosta, kulutuksesta ja akkuvarastointiin liittyvistä trendeistä.

kW (Kilowatti / 10^3 W) – Tehon yksikkö, jota käytetään usein akkuvarastojärjestelmien tehon ilmoittamiseen. 1 kW vastaa 1 000 wattia.

kWh (Kilowattitunti / 10^3 Wh) – Energian yksikkö, jota käytetään akkujen kapasiteetin ilmoittamiseen. 1 kWh tarkoittaa, että järjestelmä voi tuottaa 1 kW tehon tunnin ajan.

LFP (Lithium Iron Phosphate / Litium-rauta-fosfaatti) – Yksi litiumioniakkukemioista, joka tunnetaan pitkäikäisyydestään ja turvallisuudestaan. LFP-akut ovat suosittuja kiinteissä akkuvarastoissa.

MW (Megawatti / 10^6 W) – Suurten akkuvarastojärjestelmien teho ilmoitetaan usein megawatteina. 1 MW vastaa miljoonaa wattia.

MWh (Megawattitunti / 10^6 Wh) – Suurten akkuvarastojen kapasiteetti ilmoitetaan usein megawattitunneina. 1 MWh tarkoittaa, että järjestelmä voi tuottaa 1 MW tehon tunnin ajan.

NMC (Nickel Manganese Cobalt / Nikkeli-mangaani-koboltti) – Yksi yleisimmistä litiumioniakkukemioista, jota käytetään akkuvarastoissa sen korkean energiatiheyden ja hyvän suorituskyvyn vuoksi.

PCS (Power Conversion System / Tehonmuunnosjärjestelmä) – Laitteisto, joka muuntaa tasavirran (DC) vaihtovirraksi (AC) ja päinvastoin. PCS on keskeinen osa akkuvarastojärjestelmiä.

1 JOHDANTO

Viime vuosina akkuenergiavarastojen merkitys on kasvanut merkittävästi osana kiinteistöjen energiaratkaisuja. Uusiutuvan energian, kuten aurinko- ja tuulivoiman, epäsäännöllinen tuotanto edellyttää tehokkaita varastointiratkaisuja, jotka mahdollistavat energian hyödyntämisen kulutushuippujen aikana. Akkujärjestelmät tukevat energiatehokkuutta, omavaraisuutta ja vihreää siirtymää ja niiden rooli osana rakennusten sähköjärjestelmiä on yhä keskeisempi.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on kehittää käytännönläheinen tarkastuslista, joka tukee akkujärjestelmien turvallista ja tehokasta käyttöönottoa kiinteistöissä. Työssä keskitytään erityisesti litium-rauta-fosfaatti-akkujen (LFP) käyttöön niiden turvallisuuden, pitkä käyttöiän ja ympäristöystävällisyyden vuoksi. (Pelastusopisto 2025). Tarkastuslista kokoaa yhteen tekniset, lainsäädännölliset ja turvallisuuteen liittyvät näkökulmat, ja sen tavoitteena on helpottaa järjestelmien suunnittelua, asennusta ja käyttöä.

Työ rajautuu kiinteistöjen energiavarastoihin, eikä siinä käsitellä esimerkiksi sähköajoneuvojen akkujärjestelmiä tai teollisuuden suuria energiavarastoja. Tarkastelun painopiste on rakennusten sisäisissä akkujärjestelmissä, niiden sijoittelussa, paloturvallisuudessa ja säädösten noudattamisessa. Erityistä huomiota kiinnitetään riskienhallintaan ja ennaltaehkäiseviin toimenpiteisiin, jotka ovat keskeisiä turvallisen käyttöönoton kannalta.

Opinnäytetyö perustuu kirjallisuuskatsaukseen, alan standardien ja säädösten analysointiin sekä asiantuntijahaastatteluihin vakuutusyhtiöiden ja pelastusviranomaisten edustajien kanssa. Haastattelujen avulla on saatu käytännön näkemyksiä akkujärjestelmien riskeistä, vakuutus käytännöistä ja pelastustoiminnan vaatimuksista. Näiden pohjalta on laadittu tarkastuslista, joka toimii työkaluna kiinteistön omistajille, suunnittelijoille ja asentajille akkujärjestelmien turvallisessa ja säädösten mukaisessa käyttöönotossa.

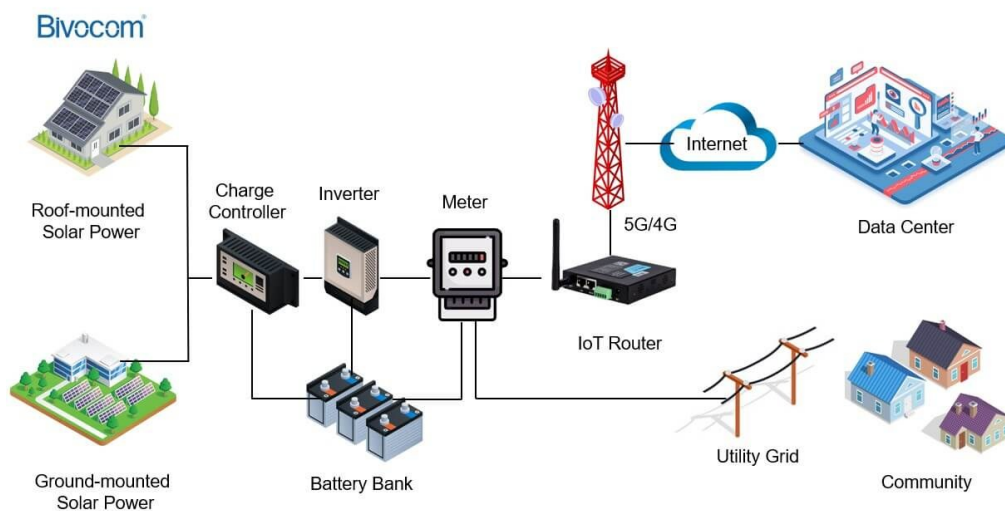
2 ENERGIAVARASTOJEN RAKENNE

2.1 Akustojen rakenne ja toiminta

Akustot eli akkujärjestelmät varastoivat sähköä kemiallisessa muodossa latauksen aikana ja muuttavat sen takaisin sähköksi tarpeen mukaan. Ne mahdollistavat energian hyödyntämisen silloin, kun tuotanto ylittää kulutuksen esimerkiksi iltaisin, huipputehon hetkinä tai sähkökatkojen aikana.

Akuston kapasiteetti (kWh/MWh) määritellään kohteen energiantarpeen mukaan. Mitä suurempi kulutus, sitä suurempi kapasiteetti tarvitaan (Energia Apu n.d). Tämä mitoitus on olennainen osa energiajärjestelmän suunnittelua.

Jotta akuston tuottama tasavirta (DC) olisi yhteensopivaa kodin sähkölaitteiden kanssa, tarvitaan invertteri eli tehonmuunnin, joka muuntaa tasavirran vaihtovirraksi (AC). Invertterin (tai PCS-yksikön) teho mitoitetaan koko järjestelmän mukaan, jotta lataus- ja purkausprosessi toimii tehokkaasti ja turvallisesti. (Energia Apu n.d).



KUVA 1. Sähkövarasto-akusto ja sen komponentit. (Bivocom, n.d.)

2.2 Kennot ja hallinta

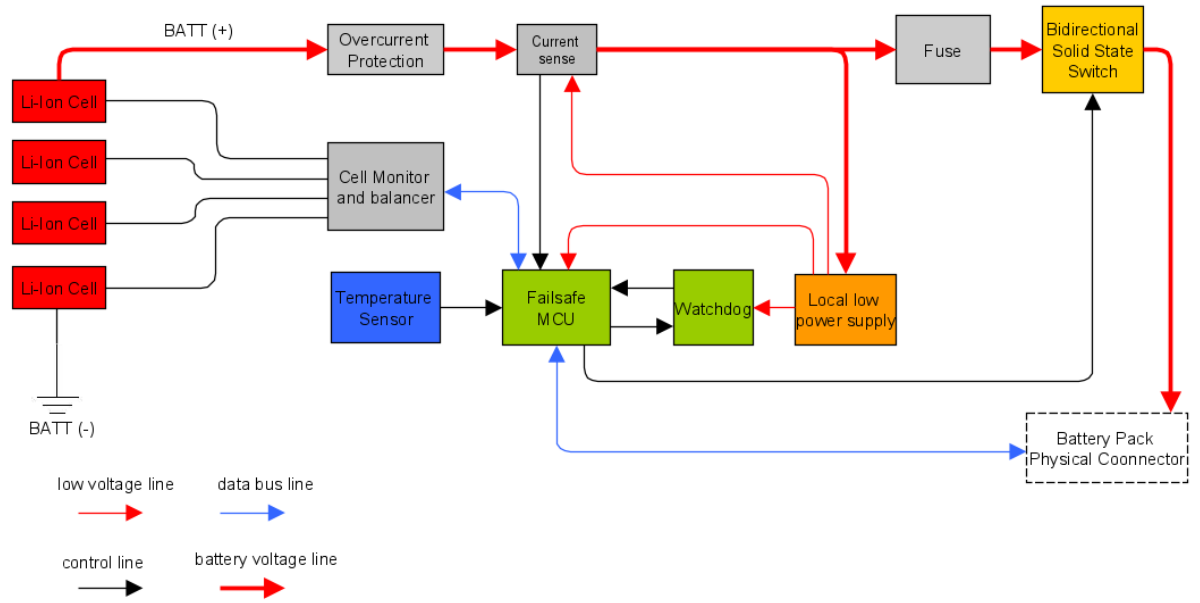
Akkukennot ovat akuston keskeinen osa. Ne varastoivat sähköenergiaa kemiallisesti latauksen aikana ja vapauttavat sen purkausvaiheessa. Prosessia ohjaa akunhallintajärjestelmä (BMS), joka varmistaa turvallisen ja tehokkaan käytön. Käytössä akunhallintajärjestelmä (BMS) valvoo käyttöolosuhteita (ST-käsikirja 42, 2024 s. 7).

Jos kenno ylikuumenee tai jännite poikkeaa normaalista, BMS voi keskeyttää toiminnan ja estää vaurioita. Se tarkkailee jatkuvasti akun lämpötilaa, virtaa ja jännitettä sekä rajoittaa käyttöä vaaratilanteissa (lämpö, jännite, virta). (Energiatuote n.d).

Akustot tulee varustaa kehittyneellä BMS-järjestelmällä, joka seuraa akun kuntoa reaaliaikaisesti. Se voi havaita ylikuormituksen tai ylikuumenemisen ajoissa ja katkaista virran ennen tilanteen pahenemista. Akkujen sijoittelulla on myös merkitystä. Ahtaat tai kuumat tilat ilman riittävää ilmanvaihtoa lisäävät paloriskiä. (Rehmonen 2025).

2.3 Akunhallintajärjestelmän rakenne (BMS)

Kuvassa 2 esitetään, miten Litiumioniakun akunhallintajärjestelmä (BMS) valvoo ja hallitsee akkupaketin turvallista toimintaa. Se sisältää muun muassa kennokohtaisen jännitevalvonnan, lämpötilan seurannan, virran mittauksen, ylivirtasuojauksen sekä varmistusmekanismeja kuten sulakkeet ja varmuusohjauksen (Failsafe MCU.) BMS:n tehtävänä on estää vaaratilanteet, kuten ylikuumeneminen tai epätasainen lataus sekä varmistaa akuston pitkäikäinen ja turvallinen käyttö. (Intro to Battery Management Systems, n.d.)



KUVA 2. Akunhallintajärjestelmä (BMS). (Intro to Battery Management Systems, n.d.)

3 ENERGIAVARASTOJEN KÄYTTÖ

3.1 Tehokkaampi energiankäyttö varastoinnin avulla

Yhä useampi rakennus hyödyntää energiaa aiempaa fiksummalla tavalla, kun sähköä ei tarvitse käyttää heti sen syntyessä. Varastointi antaa kuluttajalle mahdollisuuden ajoittaa sähkönkulutusta. Suunniteltu varastointi- ja kulutusstrategia mahdollistaa sähkön käytön siirtämisen pois hinta- ja kulutuspiikeistä, jolloin energiankäyttö on taloudellisempaa ja järjestelmäystävällisempää. Tähän sopii hyvin älykäs ohjausjärjestelmä. (Cactos, 2025).

Esimerkiksi aurinkopaneelijärjestelmä, johon on liitetty akkuvarasto, mahdollistaa päivällä tuotetun aurinkoenergian hyödyntämisen myös iltaisin tai öisin. Eikä silloin, kun tuotanto on suurinta. Tämä parantaa omavaraisuutta ja vähentää energiakustannuksia, sillä sähköä ei tarvitse ostaa verkosta kalliiseen hintaan.

Kun kuormituspiikkejä tasoitetaan tuotannon ja kulutuksen välillä, energiantuotantoa voidaan mitoittaa tarkemmin todelliseen tarpeen mukaan. Varastointi tuo myös lisää toimintavarmuutta. Sähkökatkon sattuessa akusto voi toimia varavoiamana ja turvata esimerkiksi valaistuksen, tietoverkot tai kylmälaitteet ilman katkoksia. (Cactos, 2025).

3.2 Energiavarastot talouden ja tehokkuuden tukena

Energiavaraston taloudellinen kannattavuus ei perustu pelkästään hankintahintaan tai kapasiteettiin, vaan siihen, kuinka aktiivisesti ja älykkäästi sitä käytetään. Mitä useammin akustoa ladataan ja puretaan tarkoituksenmukaisesti, sitä enemmän se korvaa verkosta ostettavaa sähköä ja tuottaa arvoa kiinteistölle. Tällöin investoinnista tulee tuottavampi, eikä järjestelmä jää passiiviseksi varalähteeksi.

Yksi konkreettinen esimerkki on osallistuminen sähkömarkkinoihin, erityisesti säätö- ja tasapainotusmarkkinoille, joissa energiavarasto toimii nopeana reservinä ja tuo omistajalleen korvausta palvelusta. (LUT-yliopisto, 2024.) Energiavarasto vaikuttaa myös sähkölaskun rakenteeseen. Monissa kohteissa sähkön hinnassa korostuvat siirto- ja tehomaksut, jotka perustuvat hetkellisiin

kulutushuippuihin. Energiavarasto voi leikata näitä huippuja, mikä tuo suoraa säästöä ilman, että kokonaiskulutus välttämättä vähenee.

Arvioitu taloudellinen hyöty ja takaisinmaksuaika riippuvat siitä, kuinka tehokkaasti energiavarasto integroidaan kiinteistön kulutukseen ja sähkömarkkinoihin. Esimerkiksi reservimarkkinoille osallistuva 100 kW:n akusto voi tuottaa vuosittain jopa 30 000 euroa bruttotuottoa. Takaisinmaksuaika voi olla vain 2–5 vuotta, riippuen käyttöprofiilista ja markkinahinnoista (Energio n.d).

Pitkällä aikavälillä energiavarastot voivat vähentää investointitarvetta suuritehoisiin liittymiin tai varavoimalaitteisiin. Tämä alentaa infrastruktuurikustannuksia ja parantaa järjestelmän kokonaistaloudellisuutta.

(LUT-yliopisto, 2024. s. 29–32).

4 AKKUJEN SIOITTELU JA AKUSTOJEN TILAT

Energiavarastojen, erityisesti suurten akustojen, turvallinen sijoittaminen kiinteistöissä on tärkeä osa niiden käyttöä. Akkujen aiheuttamat paloturvallisuusriskit ja rakennustekniset vaatimukset on syytä huomioida huolellisesti. Tässä keskeiset asiat, jotka tulee ottaa huomioon.

4.1 Akkutilojen sijoittaminen ja eristäminen

Energiavarastojen turvallinen sijoittaminen kiinteistöissä on olennainen osa niiden suunnittelua. Akkujen paloturvallisuusriskit ja rakennustekniset vaatimukset on huomioitava huolellisesti. Akkutilat tulee sijoittaa ja erottaa muista tiloista rakenteellisesti. Palo-osastointi on keskeinen turvallisuustoimenpide. Tyypillisesti vaaditaan vähintään EI90-luokan rakenteet, jotka estävät liekkien ja kuumuuden leviämisen 90 minuutin ajan (ST-käsikirja 42, s. 21).

Akuston sijainti vaikuttaa merkittävästi riskien laajuuteen. Jos akusto on lähellä muita rakenteita tai rakennuksia, palon leviämiskasvu kasvaa. Suositeltu suojaetäisyys on vähintään kahdeksan metriä, ellei rakenteita ole palo-osastoitu (ST-käsikirja 42, s. 21). Sisätiloissa akustot tulee erottaa omaksi palo-osastokseen, varustaa riittävällä ilmanvaihdoilla ja selkeillä huoltotiloilla. Tilassa on oltava esteetön pääsy, merkatut poistumisreitit ja varoitusmerkinnät, jotka osoittavat kemialliset ja sähköiset riskit sekä toimintaohjeet hätätilanteessa (ST-käsikirja 42, s. 21.)

4.1.1 Erillinen akkutila

Erillinen akkutila voidaan toteuttaa joko omana rakennuksena tai konttiratkaisuna, joka on eristetty muusta kiinteistöstä ja suunniteltu akkujen käyttöön. (Salgrom, 2025.)

Akkutilaan suositellaan paineenpoistoaukkoja tai räjähdyspainikkeita, jotka ohjaavat mahdollisen kaasunpurkauksen ulos hallitusti. Jatkuva toimiva ilmanvaihto poistaa vetykaasut ja pitää lämpötilan hallinnassa. Ilmanvaihtojärjestelmän on myös suojattava akkuja pölyltä ja kosteudelta. (Salgrom, 2025.)

Erillinen tila varustetaan paloilmoitus- ja sammutusjärjestelmällä. Kaasuilmaisimet ja lämpötila-anturit kytketään valvontakeskukseen, josta hälytys lähtee automaattisesti palolaitokselle. Sammutusratkaisuksi voidaan valita vesisumutin tai inerttikaasukaukalo. (Salgrom, 2025).

Kulkukäytävät suunnitellaan huoltoa ja hätäpoistumista varten. Ovet avautuvat ulospäin paineen alla ja varustetaan vahvoilla saranoilla ja lukituksilla. Tilaan kiinnitetään varoituskyltit, käyttöohjeet ja CE- sekä SFS-sertifikaatit. (Salgrom, 2025.)

4.1.2 Rakenteelliset vaatimukset

Tilojen kantavat ja jakavat rakenteet on suunniteltava hidastamaan palon etenemistä. CE-hyväksytyt, paloluokitellut rakennusmateriaalit (vähintään EI90) varmistavat rakenteiden palonkeston. (Salgrom, 2025.)

Läpivientien, liitosten ja saumojen palokatkokäsittelyt on toteutettava huolellisesti. (Salgrom, 2025.) Läpiviennit ja tiivisteet on suojattu palokatkoilla. Ilmanvaihtojärjestelmän on poistettava tehokkaasti lämpö- ja palokaasut. Kanavat ja aukot suunnitellaan siten, että ilmamäärä vaihtuu jatkuvasti ilman pölyn tai haitallisten yhdisteiden kertymistä. (Salgrom, 2025).

5 PALOTURVALLISUUS JA SAMMUTUSJÄRJESTELMÄT

Akuissa voi tapahtua lämpökarkaamisilmiö, jossa yksi viallinen akku voi aiheuttaa ketjureaktion ja levittää paloa eteenpäin. Tämän vuoksi akkuvarastoihin suositellaan erityisiä sammutusjärjestelmiä palon leviämisen estämiseksi. (Salgrom, 2025).

5.1 Sammutus- ja hälytysjärjestelmät akkuvarastojen suojana

Vesisumutusjärjestelmät tuottavat hienojakoista sumua, joka alentaa ympäristön lämpötilaa nopeasti ja tehostaa palontorjuntaa. Koska vesipohjaiset sammutusratkaisut voivat vahingoittaa sähkökomponentteja, kaikki rakenteet ja asennukset on suunniteltava ja toteutettava siten, että ne kestävät mahdollisen vesivahingon. Erityistä huomiota on kiinnitettävä sähköjärjestelmien sijoitteluun, kotelointiin ja suojaustasoon. (Rehmonen 2025).

Aerosoli- ja inerttikaasujärjestelmät tukahduttavat palon tehokkaasti ilman haitallisia jäämiä tai korroosion riskiä. Ne soveltuvat erityisen hyvin ahtaisiin tiloihin sekä sähköherkkiin ympäristöihin, joissa veden käyttö ei ole suositeltavaa. (Rehmonen 2025).

Akkutilaan tulee sijoittaa sopivia käsisammuttimia, kuten hiilidioksidi- tai jauhesammuttimia, jotka ovat erityisen tehokkaita sähköpalojen alkuvaiheessa. Sammuttimet tulee asettaa poistumisreittien varrelle, jotta ne ovat helposti saatavissa hätätilanteessa. Lisäksi ne on merkittävä selkeästi, jotta käyttäjät ja huoltohenkilöstö voivat paikantaa ne nopeasti. (Rehmonen 2025).

Hälytysjärjestelmä koostuu lämpötila-, savu- ja kaasuantureista (esim. H_2 , HF tai CO), jotka kytketään valvontajärjestelmään ja etähälytyksiin. (Rehmonen 2025.)

Sammutusjärjestelmät vaativat säännöllistä huoltoa. Sprinklerit ja sumutusneulat testataan vuosittain, inerttikaasu- ja aerosolilaitteet koeajetaan viiden vuoden välein ja anturit kalibroidaan kuukausittain tai neljännesvuosittain. (Salgrom, 2025).

5.2 Turvallisuusohjeet ja käytännöt

Pelkkä rakennustekninen paloturvallisuus ei riitä, vaan jokainen, joka työskentelee akkujärjestelmien parissa, tarvitsee selkeät toimintamallit ja käytännön ohjeet päivittäisiin työtehtäviin sekä poikkeustilanteisiin. (Rehmonen 2025.)

Kaikille asentajille ja huoltoteknikoille, jotka kytkevät akustoja, on järjestettävä perehdytys, jossa käydään läpi järjestelmän rakenne, keskeiset toiminnot ja mahdolliset vaaratilanteet. Tämä koulutus pitää uusia säännöllisesti ja täydentää sitä työmaakohteisilla turvallisuuslupa- ja eristyskäytännöillä, jotta kenenkään ei tarvitse arvailla, milloin kennot voi kytkeä irti ja milloin niihin saa koskea. (Rehmonen 2025).

Turvallisuusohjeisiin on kirjattava muun muassa:

- Akuston hätäkatkaisupainikkeen sijainti ja käyttöohjeet
- Sallitut ja kielletyt työkalut
- Suojavarusteet (käsineet, suojalasit, hengityssuojaimet) sekä niiden huolto
- Ohjeet akun elinkaaren tarkastusmerkintöjen lukemiseen ja vaihtovälien arvioimiseen
- Palo-, savukaasu- ja kemikaalihälytyksistä ilmoittaminen. (Nummelan paloasema).

Lisäksi on oltava kirjallinen menettely sähkö- ja kemikaalivahinkojen tutkimiseen sekä raportointiin. Jokaisesta poikkeamasta pitää oppia ja toimintaa kehitettävä tämän mukaisesti. (Salgrom, 2025).

Säännölliset palotilanne- ja kustannustehokkuusharjoitukset auttavat varmistamaan, että teoriassa opitut toimintamallit toimivat käytännössä. Näin

akkujärjestelmien turvallisuus pysyy hallinnassa ja ylläpitokustannukset kohtuullisina. (Salgrom, 2025).

6 LYIJY- JA LITIUMAKKUJEN VERTAILU

Lyijyakut ja litiumioniakut eroavat toisistaan merkittävästi kemialliselta rakenteeltaan ja toimintaperiaatteeltaan. Lyijyakut perustuvat lyijydioksidin, lyijyn ja rikkihapon väliseen sähkökemialliseen reaktioon. Niissä elektrolyyttiliuokseen upotetut lyijylevyt muodostavat akun rakenteen ja varauksen syntyminen perustuu kemiallisiin muutoksiin näissä materiaaleissa. Lyijyakkuja on saatavilla eri malleina, kuten märkäakkuina, AGM-akkuina ja geeliakkuina. Märkäakut ovat yleisimpiä, mutta AGM- ja geeliakut tarjoavat parempaa suorituskykyä ja huoltovapautta. (Legend Batteries 2025).

Litiumioniakut puolestaan hyödyntävät litiumyhdisteitä aktiivisina materiaaleina molemmissa elektrodeissa. Yleisiä katodimateriaaleja ovat litiumkobolttioksidi (LiCoO_2) ja litiumrautafoosfaatti (LiFePO_4). Materiaalit vaikuttavat akun suorituskykyyn ja käyttöikään. Litiumioniakun rakenne koostuu katodista ja anodista sekä erottimesta, joka estää elektrodien suoran kosketuksen. Elektrolyytti, joka sisältää liuottimeen liuotettua litiumsuolaa, mahdollistaa litiumionien liikkumisen elektrodien välillä. Tämä mahdollistaa varauksen säilyttämisen ja vapauttamisen. (Legend Batteries 2025).

Lyijyakut ovat tunnettuja edullisuudesta ja vakiintuneesta teknologiasta. Ne ovat painavia ja vaativat säännöllistä huoltoa. Litiumioniakut puolestaan tarjoavat kevyemmän rakenteen, paremman energiatehokkuuden ja pidemmän käyttöiän. Litiumakun hankintahinta on puolestaan korkeampi. (Legend Batteries 2025).

6.1 Taloudellinen vertailu

Lyijyakut ovat yleensä edullisempia hankintahinnaltaan, sillä niiden valmistusprosessi on vakiintunut ja niiden raaka-aineet, kuten lyijy ja rikkihappo, ovat helposti saatavilla. Tämä vuoksi niitä käytetään yleisesti varavoimajärjestelmissä ja teollisissa sovelluksissa, joissa alkuinvestoinnin kustannukset halutaan pitää alhaisina. (Spaceflight Power 2023).

Litiumioniakut sen sijaan ovat perinteisesti olleet kalliimpia. Mutta niiden hinnat ovat laskeneet merkittävästi viime vuosina kehittyneen valmistusteknologian ja

kasvavan kysynnän ansiosta. Lisäksi niiden käyttöikä on huomattavasti pidempi kuin lyijyakkujen, mikä tarkoittaa, että ne voivat olla pitkällä aikavälillä kustannustehokkaampia. Litiumioniakut tarjoavat myös paremman energiatiheyden, mikä tarkoittaa, että ne voivat varastoida enemmän energiaa pienemmässä koossa. Tämä tekee niistä suositun vaihtoehdon esimerkiksi aurinkoenergiajärjestelmien ja sähköajoneuvojen energiavarastointiratkaisuksi. Lisäksi ne ovat huoltovapaita, toisin kuin lyijyakut, jotka vaativat säännöllistä huoltoa ja elektrolyyttien täydennystä. (Spaceflight Power 2023).

Vaikka lyijyakut säilyttävät asemansa tietyissä käyttökohteissa, kuten UPS-järjestelmissä ja teollisessa varavoimassa, litiumioniakut ovat yhä suosituimpia erityisesti kiinteistöjen energiavarastoissa niiden korkeamman hyötysuhteen, pidemmän käyttöiän ja matalamman elinkaarikustannuksen vuoksi. Akkutyyppin valinta riippuu siis käyttötarpeesta, budjetista sekä pitkän aikavälin kustannuslaskelmista. (Spaceflight Power 2023).

6.2 Ylläpito

Lyijyakkujen käyttö edellyttää säännöllistä huoltoa, kuten elektrolyytin lisäämistä, varaustilan tasapainottamista sekä korroosion ja liitosten kunnon tarkistamista. Näiden toimenpiteiden laiminlyönti voi johtaa akun kapasiteetin heikkenemiseen, lyhyempään käyttöikään tai jopa vaurioitumiseen. Erityisesti syväpurkautumisen välttäminen ja oikea latausprotokolla ovat tärkeitä lyijyakkujen suorituskyvyn ylläpitämiseksi pitkällä aikavälillä. (Spaceflight Power 2023).

Litiumioniakut sen sijaan ovat käytännössä huoltovapaita. Niiden suljettu rakenne ei vaadi elektrolyytin täydennystä, eikä varaustilan tasausta tarvitse suorittaa manuaalisesti. Lisäksi niiden itsepurkautumisaste on merkittävästi alhaisempi, kuin lyijyakkujen. Tämä tarkoittaa, että ne säilyttävät varauksensa pidempään ilman jatkuvaa ylläpitoa. (Spaceflight Power 2023).

Litiumioniakkujen toinen etu on niiden älykäs akunhallintajärjestelmä (BMS), joka seuraa akun tilaa automaattisesti ja optimoi lataus- ja purkamisprosessia, varmistuen turvallisen ja tehokkaan käytön. Lyijyakut eivät yleensä sisällä vastaavaa

älykästä akunhallintaa, minkä vuoksi niiden käyttö voi olla monimutkaisempaa ja vaatia manuaalista seurantaa. (Spaceflight Power 2023).

Huoltovapauden ansiosta litiumioniakut soveltuvat erityisen hyvin kiinteistöjen energiavarastoihin, joissa käyttövarmuus ja vähäinen huoltotarve ovat keskeisiä tekijöitä. Vaikka niiden alkuinvestointi on usein korkeampi kuin lyijyakkujen, niiden pidempi käyttöikä ja vähäisempi huoltotarve voivat tehdä niistä taloudellisesti kannattavamman vaihtoehdon pitkällä aikavälillä.

(Spaceflight Power 2023).

6.3 Turvallisuus

Litiumioniakut ovat turvallisia, kun niitä käytetään ohjeiden mukaan. Vaurioitessaan tai ylikuumentuessaan ne voivat aiheuttaa tulipaloriskin. Lyijyakut kestävät paremmin fyysistä rasitusta, mutta sisältävät myrkyllistä lyijyä, joka vaatii erityistä huolellisuutta kierrätyksessä ja käsittelyssä. (Spaceflight Power 2023).

Valinta näiden kahden akkumallin välillä riippuu käyttötarkoituksesta. Jos tarvitaan edullinen ja luotettava akku, lyijyakku voi olla hyvä vaihtoehto. Jos taas arvostetaan keveyttä, tehokkuutta ja pitkäikäisyyttä, litiumioniakku on parempi valinta. Molemmilla akuilla on paikkansa eri sovelluksissa, ja päätös valinnasta kannattaa tehdä sen perusteella, mikä ominaisuus on tärkein kyseisessä käyttötarkoituksessa.

6.4 Lämpöryntäyslämpötilat ja akkaturvallisuus

Akkuteknologioiden turvallisuusominaisuudet ovat keskeinen tekijä energian varastointiratkaisujen suunnittelussa, erityisesti sovelluksissa, joissa lämpötilavaihtelut ja mekaaniset rasitukset voivat aiheuttaa vaaratilanteita. Taulukossa 1 vertaillaan kolmea yleisesti käytettyä akkutyyppeä — litium-rautafosfaatti (LFP), litium-nikkeli-mangaani-koboltti (NMC) ja lyijyakku — niiden lämpöryntäyslämpötilojen, turvallisuusominaisuuksien ja kemiallisten syiden perusteella. Vertailun tarkoituksena on havainnollistaa, miksi LFP-akut ovat nousseet esiin erityisen turvallisenä vaihtoehtona nykyaikaisessa energian varastoinnissa.

Taulukko perustuu LANPWRin (2025) julkaisemaan analyysiin akkuteknologioiden termisestä käyttäytymisestä.

Taulukko 1. LFP-, NMC- ja lyijyakkujen turvallisuusominaisuudet (muokattu LANPWR, 2025, Legend Batteries 2025.)

| Teknologia | Lämpöryntäyslämpötila (°C) | Turvallisuus & riskit | Syyt |
|------------|----------------------------|--|--|
| LFP | n. 270 | Erinomainen: hyvin termisesti stabiili | Kestävä kemia, korkea lämpötila tarvitaan laukaisuun |
| NMC | n. 150-210 | Haastava: altis ylikuumentumiselle | Herkempi termisiin reaktioihin |
| Lyijyakku | Ei termistä räjähdysriskiä | Vähäinen riski | Ei sisällä herkästi reagoivaa litiumkemiaa |

6.5 Ympäristövaikutukset

LFP-akut tarjoavat merkittäviä etuja verrattuna perinteisiin NMC-akkuihin, sillä ne eivät sisällä nikkeliä tai kobolttia. Tämä tekee niistä ekologisemman ja eettisemmän vaihtoehdon energiavarastointiin. (Kalliotiura, s. 10-15).

Koboltin tuotanto on herättänyt laajaa huolta erityisesti sen kaivostoimintaan liittyvien eettisten ongelmien vuoksi. Esimerkiksi Kongon demokraattisessa tasavallassa kaivoksilla esiintyy lapsityövoimaa ja vaarallisia työolosuhteita. Nikkelin louhinta puolestaan aiheuttaa merkittäviä päästöjä ja voi vahingoittaa ympäristöä vakavasti. (Kalliotiura, s. 10-15).

LFP-akkujen avulla voidaan edistää vastuullisempaa energiantuotantoa. Niiden valmistuksessa käytetään yleisempiä ja ympäristölle ystävällisempiä materiaaleja. Tämä tekee niistä myös paremmin kierrätettäviä ja samalla vähennetään materiaalien saatavuuteen liittyviä ongelmia. Näiden ominaisuuksien ansiosta LFP-akut ovat vahva vaihtoehto kestävämpään energiainfrastruktuuriin. (Kalliotiura, s. 10-15).

6.6 Kiinteistöjen paras akkuratkaus

LFP-akut ovat yksi parhaista akkuteknologioista kiinteistöjen energiavarastointiin, kun verrataan näitä muihin litiumioniakkuihin. LFP-akkujen etuna on niiden pitkä käyttöikä, erinomainen lämpöstabiilisuus, turvallisuus ja korkea hyötysuhde.

Toisin kuin NMC-akut, LFP-akut eivät sisällä kobolttia, mikä tekee niistä ympäristöystävällisempiä ja eettisempiä. Verrattuna lyijyakkuihin, ne tarjoavat merkittävästi paremman energiatiheyden. Ne pystyvät varastoimaan enemmän energiaa pienemmässä tilassa. Lisäksi ne eivät vaadi säännöllistä huoltoa, kuten elektrolyytin lisäämistä tai varaustilan tasaamista, mikä vähentää ylläpitokustannuksia pitkällä aikavälillä. Koska LFP-akut ovat turvallisia, pitkäikäisiä ja tehokkaita, ne soveltuvat kiinteistöjen sähkön varastointiin, kulutusjouston hallintaan sekä uusiutuvan energian tuotannon tasapainottamiseen. Tämän vuoksi ne ovat hyvä vaihtoehto kiinteistöille, jotka haluavat parantaa energiatehokkuutta ja lisätä oma-varaisuutta sekä samalla vähentää riippuvuutta sähköverkosta. (Kalliotiura, s. 10–15).

7 HAASTATTELUJEN TULOKSET

7.1 Vakuutusyhtiö

Henkilöhaastattelu vakuutusyhtiön edustajan kanssa toteutettiin maaliskuussa 2025. Haastattelukysymykset sekä saatekirje lähetettiin haastateltavalle sähköpostitse viikkoa ennen tapaamista. Näin vastaajalle jäi aikaa valmistautua ja varata tarvittavat asiakirjat. Vakuutusyhtiön riskienhallintaosasto ja kiinteistövakuuksista vastaava asiantuntija valikoituivat haastateltaviksi. Heillä on suora näkemys akkuenergiavarastojen vakuutuskäytännöistä, korvauspäätösten perusteista ja riskiarviointiprosesseista. Ennalta toimitetut kysymykset toimivat keskustelun runkona, mutta tilaisuuden luonteen takia keskusteluissa paneuduttiin myös haastateltavan omiin kokemuksiin ja näkemyksiin. Haastattelu kysymykset liitteessä 1.

Akustojen vaikutus vakuutusehtoihin

Akustot, kuten lyijy- ja litiumakut, kuuluvat usein vakuutusehtojen mukaisesti, kiinteistöä palveleviin järjestelmiin. Järjestelmien asentaminen ei edellytä erillistä ilmoitusta vakuutusyhtiölle.

Ilmoitusvelvollisuuden rajat

Jos akustoa ei ole määritelty osaksi kiinteistön perusjärjestelmiä, vakuuttamis-tarve on arvioitava erikseen. Tällöin vakuutusyhtiö voi edellyttää lisäselvityksiä tai erillistä vakuutusta akuston asentamiselle.

Vakuutuskustannuksiin vaikuttavat tekijät

Akuston arvo ja kapasiteetti tulee määrittää tarkasti, jotta voidaan arvioida sen merkitys kiinteistön turvallisuudelle ja energiavarastoinnin tehokkuudelle.

Akusto on sijoitettava kiinteistössä paikkaan, jossa etäisyys herkästi syttyviin rakenteisiin on riittävä paloturvallisuuden varmistamiseksi. Kiinteistössä tulee olla asianmukaisesti asennetut paloturvallisuusjärjestelmät, kuten palo-osastointi,

hälyttimet ja sammutusjärjestelmät, jotka suojaavat akustoa ja ympäröiviä rakenteita mahdollisilta tulipaloilta.

Mahdollisten ympäristövahinkojen riskitaso

Riskien arvioinnissa vakuutusyhtiöt hyödyntävät sekä omia kokemuseräisiä tietojaan, että yleisesti saatavilla olevaa dokumentaatiota akkujärjestelmien riskeistä.

Palovahinkojen korvaukset

Tulipalotilanteessa vakuutus korvaa akustolle aiheutuneet vahingot. Viereisten tilojen vahingot korvataan tilojen omista palovakuutuksista ja näin ollen ne eivät kuulu akustoa koskevaan sopimukseen.

Ympäristövahinkojen korvaukset

Jos akuston aiheuttama vuoto (esimerkiksi lyijyakun happovuoto tai litiumakun kemikaalivuoto) aiheuttaa ympäristövahinkoja, korvaus maksetaan vain, jos vahingon aiheuttajaa ei pystytä tunnistamaan tai se on varaton. Vastuuvakuutukset ja kiinteistövakuutukset voivat kuitenkin kattaa ympäristövahingot tietyin ehdoin.

Turvallisuusjärjestelmien vaikutus vakuutusmaksuihin

Vakuutusyhtiö ei yleensä tarjoa kiinteitä alennuksia, mutta panostukset paloturvallisuuteen voivat alentaa vakuutusmaksuja. Maksuja alentavia ratkaisuja ovat mm. palovaroittimet ja palo-osastointi. On myös ratkaisevan tärkeää, että akuston asennus tehdään sertifioidusti ja ohjeita noudattaen. Huolimattomuus tai virheellinen asennus voivat estää korvausten maksamisen.

7.2 Nummelan Paloasema

Henkilöhaastattelu pelastuslaitoksen edustajan kanssa toteutettiin maaliskuussa 2025. Haastattelukysymykset ja saatekirje lähetettiin haastateltavalle sähköpostitse viikkoa ennen tapaamista, jotta vastaaja ehti perehtyä materiaaliin ja valmistella esimerkkitapauksia. Haastateltavaksi valikoitui Nummelan paloaseman pelastaja. Ennalta toimitetut kysymykset toimivat keskustelun runkona. Keskustelussa syvennyttiin kuitenkin myös haastateltavan omakohtaisiin kokemuksiin akkupaloista ja niihin liittyviin pelastustilanteisiin. Tärkeiksi teemoiksi valikoituivat muun muassa akustojen asennusvaatimukset, kaluston ja henkilöstön valmius akkupaloihin sekä pelastusprosessien kehitystarpeet. Haastattelu kysymykset liitteessä 2.

Akustojen suurimmat riskit kiinteistöissä

Pelastuslaitoksen näkökulmasta akkujärjestelmien suurimmat riskit liittyvät lämpökarkaamiseen, virheelliseen asennukseen ja puutteelliseen huoltoon. Litiumioniakut, erityisesti NMC-tyyppiset, ovat herkkiä ylikuumenemiselle, ja vioittunut kenno voi käynnistää nopeasti etenevän paloketjun. Lisäksi myrkyllisten kaasujen, kuten fluorivedyn, vapautuminen voi vaarantaa sekä pelastushenkilöstön että kiinteistön asukkaat.

Akkuteknologioiden vaikutus paloturvallisuuteen

Lyijyakut ovat rakenteeltaan stabiileja eivätkä aiheuta lämpökarkaamisriskiä. Niiden elektrolyytti voi kuitenkin vuotaessaan aiheuttaa ympäristövahinkoja. Litiumioniakut tarjoavat paremman energiatiheyden, mutta vaativat tarkempaa paloturvallisuussuunnittelua. LFP-akut ovat turvallisempia kuin NMC-akut, sillä niiden lämpöryntäyslämpötila on korkeampi ja kemiallinen rakenne vakaampi.

Kokemuksia akkupaloista Suomessa

Vaikka Suomessa ei ole raportoitu laajoja akkupaloja kiinteistöissä, pelastuslaitoksilla on ollut yksittäisiä tapauksia, joissa akuston ylikuumeneminen on johtanut

savukaasujen muodostumiseen tai paikalliseen paloon. Näissä tilanteissa korostuu nopean reagoinnin ja oikeiden sammutusmenetelmien merkitys.

Akkujen sijoittamisen suunnitteluperiaatteet

Keskeisiä suunnitteluperiaatteita ovat

- Palo-osastointi vähintään EI60–EI120
- Riittävät etäisyydet muihin rakennuksiin ja tiloihin (väh. 8 m ilman osastointia)
- Tehokas ilmanvaihto lämpötilan ja kaasujen hallintaan
- Esteetön pääsy huoltoon ja pelastustoimia varten

Akkujen sijoittaminen suhteessa muihin tiloihin

Akustot tulee sijoittaa erilleen asuinhuoneistoista, hissikuiluista ja sähkötiloista. Ne eivät saa olla osana kulkureittejä tai kriittisiä teknisiä tiloja. Sijoituspaikan on oltava helposti saavutettavissa, mutta samalla eristetty mahdollisilta riskialueilta.

Erityisvaatimukset kellari- ja kattosijoittelussa

Kellaritiloissa on varmistettava riittävä ilmanvaihto ja paloturvallisuus, sillä savukaasut voivat kerääntyä ja vaikeuttaa pelastustoimia. Katolle sijoitettaessa on huomioitava rakenteellinen kantavuus, sääolosuhteiden vaikutus ja palon leviämisen riski muihin rakennuksen osiin.

Suosittelut palovaroitus- ja sammutusjärjestelmät

Pelastuslaitos suosittelee

- Automaattisia paloilmoitusjärjestelmiä
- Kaasuilmalaitteita (H₂, HF, CO)
- Sammutusjärjestelmiä, kuten vesisumutus, inerttikaasut tai aerosolit
- Käsisammuttimia (CO₂, jauhe) sijoitettuna poistumisreittien varrelle

Palokunnan varautuminen akkupaloihin

Palokunnat varautuvat akkupaloihin erityiskoulutuksella ja -varusteilla. Litiumioniakut vaativat nopeaa tunnistamista ja oikean sammutusmenetelmän valintaa. Pelastushenkilöstön on tunnettava akkuteknologian erityispiirteet ja osattava arvioida kaasujen leviämiskäyttäytymistä.

Tarvittavat erityisvarusteet

Akkupalojen sammutuksessa tarvitaan

- Hengityssuojaimia (kaasujen varalta)
- Lämpösuojia ja palonkestäviä varusteita
- Erikoiskäsineitä ja suojalaseja
- Mahdollisesti lämpökameroita ja kaasumittareita

Akkupalon erityispiirteet ja sammutusmenetelmät

Akkupalo eroaa perinteisestä tulipalosta nopean etenemisen ja kaasujen vuoksi. Vesi voi olla tehokas sammutusmenetelmä, mutta se vaatii suuria määriä vettä. Vesi voi helposti myös vahingoittaa laitteistoa. Usein inerttikaasut, aerosolit tai kuivajää ovat parempia vaihtoehtoja, erityisesti sähköherkissä tiloissa.

Rakennus- ja paloturvallisuusmääräykset

Nykyiset määräykset edellyttävät palo-osastointia, riittäviä etäisyyksiä ja sähköasennusten sertifiointia. SFS-standardit ja EU:n akkuasetus ohjaavat akustojen turvallista toteutusta. Määräyksiä tulee päivittää teknologian kehittyessä.

Ohjeet kiinteistön omistajille ja suunnittelijoille

Pelastuslaitos suosittelee

- Huolellista akustojen sijoittelua ja dokumentointia
- Sertifioituja asennuksia ja tarkastuksia

- Selkeitä turvallisuusohjeita käyttäjille
- Yhteistyötä pelastusviranomaisten kanssa jo suunnitteluvaiheessa

Yhteistyö eri toimijoiden välillä

Tehokas riskienhallinta edellyttää yhteistyötä palokunnan, rakennusvalvonnan ja sähköalan ammattilaisten välillä. Yhteiset tarkastukset, koulutukset ja suunnittelupalaverit parantavat turvallisuutta ja vähentävät virheitä.

Huoli turvallisuusstandardien riittävydestä

Pelastuslaitoksilla on huoli siitä, että akustojen yleistyminen tapahtuu nopeammin kuin turvallisuusmääräysten kehitys. Tämä voi johtaa tilanteisiin, joissa järjestelmät asennetaan puutteellisin tiedoin tai ilman riittäviä suojaustoimia.

Teknologiat ja ratkaisut tulevaisuudessa

Tulevaisuudessa älykkäät valvontajärjestelmät, lämpötilan ja kaasujen automaattinen seuranta sekä modulaariset sammutusratkaisut voivat parantaa turvallisuutta. Myös kiinteän tilan akut (solid-state) voivat vähentää lämpökarkaamisrisiä.

Tarve lisäkoulutukselle

Akkuteknologian kehittyessä pelastuslaitosten henkilöstölle tarvitaan jatkuvaa täydennyskoulutusta. Koulutuksen tulee kattaa akkutekniikan perusteet, paloturvallisuusratkaisut, sammutusmenetelmät ja pelastustoiminnan erityispiirteet.

8 TARKASTUSLISTAN MERKITYS JA SISÄLTÖ

Opinnäytetyön keskeinen lopputulos on käytännönläheinen ja kattava tarkastuslista, joka tukee akkujärjestelmien turvallista ja tehokasta käyttöönottoa kiinteistöissä. Sen avulla voidaan varmistaa, että järjestelmä täyttää tekniset, lainsäädännölliset ja taloudelliset vaatimukset. Lisäksi lista auttaa ehkäisemään turvallisuusriskejä jo etukäteen. Tarkastuslista löytyy liitteistä 3.

Tarkastuslista alkaa järjestelmän tarpeen määrittelystä ja ohjaa energiantarpeen laskentaan. Se auttaa valitsemaan sopivan akkuteknologian, kuten LFP-, NMC- tai lyijyakut, huomioiden turvallisuus, käyttöikä ja ympäristövaikutukset. Lisäksi listassa käsitellään järjestelmän elinkaari ja kierrätysmahdollisuudet.

Tekniset komponentit, kuten akunhallintajärjestelmä (BMS), tehonmuunnosjärjestelmä (PCS) ja sähköliitännät, on suunniteltava huolellisesti. Litiumioniakuille erityisen tärkeät jäähdytys- ja ilmanvaihtoratkaisut varmistavat turvallisen toiminnan. Modulaarisuus ja huollettavuus parantavat järjestelmän käyttövarmuutta koko sen elinkaaren ajan.

Turvallisuusosiossa korostetaan palo-osastointia (vähintään EI90), riittäviä etäisyyksiä muihin rakenteisiin sekä automaattisten paloilmoitus- ja sammutusjärjestelmien käyttöä. Vesisumutus, inerttikaasut ja aerosolisammutus ovat suositeltuja ratkaisuja. Poistumisreitit, pelastustiet ja haitallisten kaasujen hallinta on myös huomioitava.

Akkujärjestelmät tulee asentaa ja ottaa käyttöön pätevä sähköalan ammattilainen, kuten sähköasentaja, jolla on tarvittava koulutus ja oikeudet sähköasennustöihin. Käyttäjille ja kiinteistön omistajille on annettava selkeät ohjeet järjestelmän käytöstä, riskeistä ja turvallisuudesta.

Tarkastuslista toimii arvokkaana työkaluna kiinteistön omistajille, suunnittelijoille ja asentajille. Se auttaa tekemään perusteltuja päätöksiä, hallitsemaan riskejä ennakoivasti ja varmistamaan, että akkujärjestelmän käyttöönotto sujuu turvallisesti ja säädösten mukaisesti.

9 POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön tuloksena oli kehittää kattava tarkastuslista, joka helpottaa akustojen turvallista ja tehokasta käyttöönottoa kiinteistöissä. Työn lopputuloksena saavutettiin käytännönläheinen ja monipuolinen tarkistuslista, joka huomioi niin tekniset kuin lainsäädännölliset vaatimukset sekä turvallisuuden ja ympäristöystävällisyyden. Lista yhdistää laajan kirjallisuuskatsauksen, haastattelut vakuutusyhtiöiden ja pelastusalan asiantuntijoiden kanssa, sekä konkreettiset suositukset, mikä tekee siitä arvokkaan työkalun kiinteistöjen omistajille, suunnittelijoille ja asentajille.

Tarkastuslista kattaa kaikki keskeiset vaiheet akustojen käyttöönotossa, aina tarpeiden analysoinnista ja teknisten ratkaisujen valinnasta, turvallisuussuunnitteluun ja asennuksen dokumentointiin. Se tarjoaa selkeät ohjeet mm. akkujen sijoittelusta, palo-osastoinnista, sammutusjärjestelmistä ja lainsäädännön noudattamisesta.

Työssä korostui, että LFP-akut (Litium-Rauta-Fosfaatti) ovat kiinteistöjen akustoihin turvallisin ja kestävin valinta niiden korkean lämpöryntäyslämpötilan, stabiilin kemiallisen rakenteen ja ympäristöystävällisyyden ansiosta. Samalla huomattiin, että litiumioniakut, erityisesti NMC-akut, voivat aiheuttaa korkeampia riskejä lämpöryntäyksen ja palon leviämisen vuoksi, mikä vaatii erityisiä suojatoimia.

Haastatteluissa nousi esille myös vakuutusyhtiöiden ja pelastusalan näkökulmat, jotka painottivat selkeitä dokumentointeja, sertifikaatteja sekä akkujen turvallista käyttöä ja huoltoa. Vakuutusyhtiöiden kokemukset osoittivat, että akkujen aiheuttamia riskejä ei vielä täysin ymmärretä, mikä tekee huolellisesta suunnittelusta ja lainsäädännön noudattamisesta erityisen tärkeää.

Opinnäytetyössä saavutetut tulokset vastaavat alkuperäiseen tavoitteeseen. Tarkastuslista ei ainoastaan selvennä monimutkaisten akustojärjestelmien suunnittelua, vaan auttaa myös varmistamaan turvallisuusriskien hallinnan ja lain vaatimusten täyttämisen. Tämä opinnäytetyö tarjoaa arvokasta pohjaa uusien standardien kehittämiseen ja samalla se edistää akkuenergiavarastojen laajempaa

hyödyntämistä energiatehokkuuden parantamiseksi ja uusiutuvan energian tukemiseksi. Työn käytännölläheisyys ja kattavuus tekevät siitä merkittävän panoksen alalla, jossa teknologia ja sääntely muuttuvat nopeasti.

LÄHTEET

Bivocom. n.d. How IoT Helps to Transform the Solar Power System. Viitattu 4.6.2025. <https://www.bivocom.com/blog/how-iot-helps-to-transform-the-solar-power-system>

Cactos. 2025. Sähkön varastointi. Viitattu 26.4.2025 <https://cactos.com/fi/artikkelit/sahkon-varastointi>.

Compass Energy Storage. 2025. Tesla Lithium Iron Phosphate Batteries. Viitattu 14.3.2025 <https://compassenergystorage.com/tesla-lithium-iron-phosphate-batteries>.

Energia-apu. n.d. Mitä tulisi tietää sähkön varastoinnista akkujen avulla. <https://energiaapu.fi/mita-tulisi-tietaa-sahkon-varastoinnista-akkujen-avulla/>. Viitattu 28.7.2025

Energio. n.d. Energian varastointi. <https://energio.fi/pages/energian-varastointi>. Viitattu 28.7.2025

Energiatuote. n.d. Mikä on BMS ja miksi se on tärkeä osa akustoa? Viitattu 11.6.2025. <https://energiatuote.fi/mika-on-bms-ja-miksi-se-on-tarkea-osa-akustoa/>

Introduction to Battery Management Systems. (n.d.). All About Circuits: Technical Articles. Viitattu 5.8.2025, osoitteesta <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/introduction-to-battery-management-systems/>

Kalliotiura, X. & Pentti, Y. 2025. Tutkimuksen nimi. Opinnäytetyö. Tampereen yliopisto. Viitattu 2.5.2025 <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/136942/KalliotiuraPentti.pdf>.

LANPWR. n.d. The unrivaled safety of lithium iron phosphate (LFP) batteries. LANPWR. Viitattu 15.4.2025 :<https://lanpwr.com/en-fi/blogs/news/the-unrivaled-safety-of-lithium-iron-phosphate-lfp-batteries-why-they-re-revolutionizing-energy-storage>.

Legend Batteries. 2025. Lyijyhappoakku VS litiumioniakku: vertaileva analyysi. Viitattu 12.3.2025 <https://legendbatteries.com/fi/blog/lead-acid-battery-vs-lithium-ion-battery-a-comparative-analysis>.

LUT-yliopisto. 2024. Energiaselonteko 2024. LUT-yliopisto. Viitattu 12.4.2025 <https://www.lut.fi/sites/default/files/media/documents/LUT-yliopisto-Energiaselonteko-fi-2024-for-web.pdf>.

Pelastusopisto. 2025. Litiumioniakkuenergiavarastojen sijoittaminen ja paloturvallisuus. Viitattu 14.5.2025 <https://www.pelastusopisto.fi/wp-content/uploads/Litiumioniakkuenergiavarastojen-sijoittaminen-ja-paloturvallisuus.pdf>.

PowerUp. n.d. NMC vs LFP: Safety and performance in operation. PowerUp. Viitattu 2.3.2025 <https://powerup-technology.com/nmc-vs-lfp-safety-and-performance-in-operation>.

Rehmonen, T. Palomies 2025. 25.3.2025. Nummelan paloasema.

Sähköinfo Oy. 2023. ST-käsikirja 42: Akkuenergiavarastot. Helsinki: Sähköinfo Oy. Viitattu 20.3.2025 <https://www.sahkoinfo.fi/product/1919>.

Salgrom. 2025. Mikä on energiavarastojen paloturvallisuusstandardi? Verkkosivu. Viitattu 25.5.2025 <https://salgrom.fi/mika-on-energiavarastojen-paloturvallisuusstandardi>.

Smart Grid IEEE. 2023. Advancing Sustainable Energy: The Significance of Solid-State Batteries in the Energy Transition. Viitattu 23.5.2025 <https://smart-grid.ieee.org/bulletins/november-2023/advancing-sustainable-energy-the-significance-of-solid-state-batteries-in-the-energy-transition>.

Spaceflight Power. n.d. Lead Acid vs Lithium-ion: A Comparative Overview. Viitattu 12.4.2025 <https://www.spaceflightpower.com/lead-acid-vs-lithium-ion-a-comparative>.

Suomen rakentamismääräyskokoelma, D2. Palo-osastointi ja rakennusten sijoittelu. Ympäristöministeriö. <https://tsy.fi/wp-content/uploads/2016/10/D2.pdf>.

LIITTEET

Liite 1: Haastattelukysymykset vakuutusyhtiöön

1. Miten akustot (lyijy- ja litiumakut) vaikuttavat kiinteistön vakuutukseen? Onko niiden asentaminen ilmoitettava erikseen?
2. Mitkä tekijät vaikuttavat eniten akustojen vakuutuskustannuksiin (esim. akkutyyppe, sijainti, paloturvallisuusjärjestelmät)?
3. Kuinka vakuutusyhtiö arvioi akustojen aiheuttaman riskin (esim. mahdollinen palovaara, ympäristövahingot)?
4. Mikä on yleisin akustoihin liittyvä vakuutuskorvaus (esim. palovahingot, tekninen vika, ympäristövahingot)?
5. Korvaako vakuutus akuston aiheuttaman tulipalon vahingot myös viereisiin tiloihin?
6. Jos akusto aiheuttaa myrkyllisten aineiden vuodon (esim. lyijyakut tai litiumakkujen kemikaalit), kattavatko ympäristövahinkovakuutukset puhdistuskustannukset?
7. Tarjoaako vakuutusyhtiö alennuksia, jos akusto on varustettu erityisillä turvallisuusjärjestelmillä (esim. BMS, palovaroittimet, EI90-luokan palo-osastointi)?
8. Vaaditaanko akuston asennuksessa tiettyjä sertifiointeja vakuutussuojan ehtona?
9. Mitä dokumentteja vakuutusyhtiö odottaa asiakkaalta akuston asennuksen yhteydessä (esim. asennussertifikaatit, paloturvallisuus selvitys)?
10. Onko olemassa tilanteita, joissa akuston aiheuttama vahinko ei kuulu vakuutukseen. (esim. huolimattomuus, virheellinen asennus)?

11. Jos akusto on vanhentunut tai huonossa kunnossa, vaikuttaako tämä korvausoikeuteen?
12. Mitkä akkutyypit (esim. LFP vs. NMC) ovat helpommin vakuutettavissa turvallisuutensa vuoksi?
13. Ovatko vakuutusyhtiöt huolissaan akustojen yleistyessä ja niiden aiheuttamista riskeistä?
14. Miten uudet akkuteknologiat (esim. kiinteän tilan akut) voivat muuttaa vakuutuskäytäntöjä?
15. Suositteletteko erillistä akustojen vakuutusta vai riittääkö kiinteistön perusvakuutus?

Liite 2: Haastattelu (Nummelan paloasema)





1. Mitkä ovat suurimmat riskit, kun akustoja asennetaan kerrostaloihin tai muihin kiinteistöihin?
2. Miten eri akkuteknologiat (esim. lyijy vs. litiumioni) vaikuttavat paloturvallisuuteen?
3. Onko teillä kokemuksia akkujen aiheuttamista paloista Suomessa?
4. Mitkä ovat keskeisimmät suunnitteluperiaatteet akkujen sijoittamisessa kerrostaloihin (esim. palo-osastointi, etäisyydet, ilmanvaihto)?
5. Miten akkujen tulisi sijoittua suhteessa muihin tiloihin (esim. asuinhuoneistot, hissit, sähkötilat)?
6. Mitä erityisvaatimuksia on akkujen sijoittamiselle kerrostalon kellariin tai katolle?
(esim. asuinhuoneistot, hissit, sähkötilat)?
7. Mitä erityisvaatimuksia on akkujen sijoittamiselle kerrostalon kellariin tai katolle?
8. Millaisia palovaroitus- ja sammutusjärjestelmiä suosittaisitte akkutiloihin?
9. Kuinka palokunta voi varautua akkupaloihin (erityisesti litiumioniakkujen kohdalla)?
10. Mitä erityisvarusteita (esim. hengityssuojaimet, lämpösuojat) palokunta tarvitsee akkupalojen sammutukseen?
11. Miten akkupalo eroaa perinteisestä tulipalosta, ja miten siihen tulisi puuttua?





















12. Voiko akkupaloja sammuttaa vedellä, vai pitäisikö käyttää vaihtoehtoisia menetelmiä (esim. kuivajää, erikoissammutusaineet)?
13. Mitkä nykyiset rakennus- ja paloturvallisuusmääräykset koskevat akkujen asennusta?
14. Millaisia ohjeita palokunta antaisi kiinteistöjen omistajille tai suunnittelijoille akustojen turvallisuuden parantamiseksi?
15. Kuinka palokunta, rakennusvalvonta ja sähköalan ammattilaiset voivat tehdä parempaa yhteistyötä riskien vähentämiseksi?
16. Oletteko huolissanne akustojen yleistymisestä ilman riittäviä turvallisuusstandardeja?
17. Mitkä teknologiat tai ratkaisut?
18. Mitä lisäkoulutusta palokunnille tarvitaan akkuteknologioiden kehityksessä?











Liite 3: Tarkastuslista

 **Akkujärjestelmän käyttöönoton tarkistuslista**

 **Värikoodaus:**
● Tekniset vaatimukset
 ● Paloturvallisuus
 ● Talous & vakuutus
 ● Ympäristö & materiaalit
 ● Koulutus & dokumentointi

|  Toimenpide |  Viite |  Teemaväri |  /  |
|---|--|--|---|
| Määritely akuston käyttötarkoitus | 1 Johdanto | ● | |
| Huomioitu uusiutuvan energian epä-säännöllinen tuotanto | 1 Johdanto | ● | |
| Valittu akuston kapasiteetti energiantarpeen mukaan (kWh/MWh) | 2.1 Akustojen rakenne ja toiminta | ● | |
| Mitoitettu tehonmuunnos järjestelmän mukaan | 2.1 Akustojen rakenne ja toiminta | ● | |
| Käytössä akunhallintajärjestelmä (BMS) valvomassa käyttöolosuhteita | 2.2 Kennot ja hallinta | ● | |
| BMS rajoittaa käyttöä vaaratilanteissa (lämpö, jännite, virta) | 2.2 Kennot ja hallinta | ● | |
| Suunniteltu varastointi- ja kulutusstrategiat (hintapiikit, kulutuspiikit) | 3.1 Tehokkaampi energiankäyttö | ● | |
| Energiavarasto osallistuu sähkömarkkinoille tai säätöpalveluihin | 3.2 Energiavarastot talouden tukena | ● | |
| Arvioitu taloudellinen hyöty ja takaisinmaksuaika | 3.2 Energiavarastot talouden tukena | ● | |
| Akusto sijoitettu palo-osastoituun tilaan (EI90) | 4.1 Akkutilojen sijoittaminen ja eristäminen | ● | |
| Tilassa merkatut huolto- ja poistumisreitit | 4.1 Akkutilojen sijoittaminen ja eristäminen | ● | |
| Etäisyys muihin rakennuksiin huomioitu (väh. 8 m ilman palo-osastointia) | 4.1 Akkutilojen sijoittaminen ja eristäminen | ● | |

|  Toimenpide |  Viite |  Teemaväri |  /  |
|--|---|---|---|
| Erillinen akkutila toteutettu tarvittaessa omana yksikkönä | 4.1.1 Erillinen akkutila |  | |
| Tilan rakenteet EI-luokiteltuja ja CE-merkittyjä | 4.1.2 Rakenteelliset vaatimukset |  | |
| Ilmanvaihto ja paineenpoisto suunniteltu kaasujen hallintaan | 4.1.1 Erillinen akkutila |  | |
| Läpiviennit ja tiivisteet suojattu palokatkoilla | 4.1.2 Rakenteelliset vaatimukset |  | |
| Tilassa käytössä automaattinen sammutusjärjestelmä (sumu, kaasu, aerosoli) | 5.1 Sammutusjärjestelmät |  | |
| Kaasuilmaisimet (H ₂ , CO, HF) ja lämpötila-anturit käytössä | 5.1 Sammutusjärjestelmät |  | |
| Ilmais- ja hälytysjärjestelmät kytketty valvontaan | 5.1 Sammutusjärjestelmät |  | |
| Käsisammuttimet sijoitettu ja merkitty | 5.1 Sammutusjärjestelmät |  | |
| Huolto- ja pelastustoimien esteettömyys varmistettu | 4.1 Akkutilojen sijoittaminen |  | |
| Työntekijät perehdytetty järjestelmään ja sen vaaratekijöihin | 5.2 Turvallisuusohjeet |  | |
| Selkeät ohjeet hätäkatkaisusta, suojaamista ja työvälineistä | 5.2 Turvallisuusohjeet |  | |
| Toimintamalli sähkö- ja kemikaalivahinkojen raportointiin olemassa | 5.2 Turvallisuusohjeet |  | |
| Toteutettu vertailu lyijy- ja litiumakun välillä | 6 Lyijy- ja litiumakut vertailu |  | |
| Valittu LFP-akku turvallisimpana ja huoltovapaana ratkaisuna | 6.4 Kiinteistöiden paras akkurateaus |  | |
| Ympäristövaikutukset arvioitu (koboltti, lyijy, kierrätys) | 6.5 Ympäristövaikutukset |  | |

|  Toimenpide |  Viite |  Teemaväri |  /  |
|---|--|--|---|
| Selvitetty vakuutusturva ja ilmoitusvelvollisuus | 7 Vakuutusyhtiön haastattelu |  | |
| Varmistettu vakuutuskorvaukset: palo, vuodot, ympäristö | 7 Vakuutusyhtiön haastattelu |  | |
| Asennus tehty sertifioidusti ja sähköteknisesti oikein | 6.2 Ylläpito & 9 Johtopäätökset |  | |
| Käyttöönotto testattu (BMS, PCS, kaapelointi) | 2.2 Kennot ja hallinta |  | |
| Käyttäjälle toimitettu käyttö- ja turvallisuusohjeet | 5.2 Turvallisuusohjeet |  | |