AKUSTO OSANA CHP-VOIMALAITOSTA

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Energiatekniikan diplomityö

EnTeDI

2025

Eetu Loikkanen

Tarkastajat: Professori Esa Vakkilainen

2. tarkastaja dosentti Jussi Saari

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT
LUTin energiajärjestelmien tiedekunta
Energiatekniikka

Eetu Loikkanen

Akusto osana CHP-voimalaitosta

Energiatekniikan koulutusohjelma: Energiatekniikan diplomityö
2025
51 sivua, 11 kuvaa, 8 taulukkoa ja 2 liitettä
Tarkastajat: Professori Esa Vakkilainen
2. tarkastaja dosentti Jussi Saari
Avainsanat: CHP-voimalaitos, yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotanto, Fingrid Oyj, akkujärjestelmä, sähkövarasto, sähkötase, voimalaitoksen omakäyttö, energiatehokkuus.

Tämän diplomityön tavoitteena on selvittää Pohjolan Voima Oyj:lle akkuvarastojen rakentamisen kannattavuus liitettäväksi suoraan voimalaitoksen sähköjärjestelmiin mahdollisimman lähelle itse sähköntuotantoa. Kannattavuutta tarkastellaan normaalien investointilaskelmien näkökulmasta huomioiden sähkömarkkinoilta mahdollisesti saatavissa olevat tuotot.

Akkuvaraston avulla voidaan tasata uusiutuvista energialähteistä saatavan esim. tuuli, aurinkoenergiantuotannon vaihtelusta johtuvia sähköverkon jännite- ja taajuusvaihteluita. Oikeaaikaisuudella voidaan myös optimoida CHP-voimalaitoksen sähkön tuotantoa. Laajemmasta näkökulmasta tarkasteltaessa akkuvarastoilla voidaan myös vaikuttaa spot-tuntihintoihin, mutta tässä työssä ei tarkastella tätä vaikutusta markkinoiden kannalta, vaan voimalaitoksen kannalta.

Tutkimuksen laajuus kattaa laajan tarkastelun voimalaitoksen ja voimalaitoksen tuotannon näkökulmasta. Muut osa-alueet käsitellään ja tarpeellisin osin, jotta tutkimuksesta saadaan riittävän kattava.

Tutkimuksen menetelmiä ovat tekniset analyysit, teknistaloudelliset analyysit ja laskelmat sekä teoreettinen tutkimus lähtötiedoista ja alkutilanteen kartoittaminen.

Tutkimukselta odotetaan teknistaloudellista raporttia tuloksista, suosituksista ja mahdollisuuksista työntilaajalle ja toki tämän työn pohjalta myös yhteiskunta voi ottaa oppia ja olla mukana kehittämässä joustavia sähkömarkkinoita.

ABSTRACT
Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT
LUT School of Energy Systems
Energy Technology

Eetu Loikkanen

The battery as part of the CHP power plant

Master's thesis
2025
51 pages, 11 figures, 8 tables and 2 appendices

Examiners: Professor Esa Vakkilainen.

2nd examiner: Docent Jussi Saari

Keywords: CHP power plant, combined electricity and heat production, Fingrid Oyj, battery system, electricity storage, electricity balance, self-use of the power plant, energy efficiency.

The aim of this thesis is to find out for Pohjolan Voima Oyj the profitability of building battery storages "BESS" to be connected directly to the power plant's electrical systems as close as possible to the electricity production itself. Profitability is examined from the point of view of normal investment calculations, taking into account the possible returns from the electricity market.

With the help of battery storage, it is possible to equalize the amount obtained from renewable energy sources, e.g. voltage and frequency fluctuations in the electrical grid caused by wind, solar energy production fluctuations. Timeliness can also optimize the electricity production of the CHP power plant. Looking from a broader perspective, battery stocks can also affect spot hourly prices, but this work does not examine this effect from the point of view of the market, but from the point of view of the power plant.

The scope of the research covers a broad examination from the perspective of the power plant and power plant production. Other sub-areas are discussed and to the extent necessary in order to make the research sufficiently comprehensive.

The methods of the research include technical analyses, techno-economic analyzes and calculations, as well as theoretical research on initial data and mapping of the initial situation.

The research is expected to produce a technical-economic report on the results, recommendations and possibilities for the client, and of course, based on this work, society can also learn and participate in the development of flexible electricity markets.

KIITOKSET

Kiitän Pohjolan Voima Oyj:ltä diplomityönohjaajia Jarmo Tervoa ja Kaj Råttsia tuesta ja ohjauksesta diplomityön valmistumiselle.

Haluan esittää kiitokseni myös LUT-yliopiston diplomityönohjaajalleni, professori Esa Vakkilaiselle.

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

Roomalaiset

p	paine	[bar, Pa]
q_m	massavirta	[kg/s]
R	ainekohtainen kaasuvakio	[J/(kg K)]
T	lämpötila	[ºC, K]
U	jännite	[V]
V	tilavuus	[m^3]
v	ominaistilavuus	[m^3/kg]
x	höyrypitoisuus	

Kreikkalaiset

α	kohtauskulma	[°]
λ	lämmönjohtavuus	[W/(mK)]

Vakiot

g	painovoimakiihtyvyys	9,81 m/s

Dimensiottomat luvut

Re	Reynoldsin luku

Alaindeksit

1	sisäänvirtaus

2	ulosvirtaus
kr	kriittinen
mit	mitattu

Yläindeksit

′	staattori
″	roottori

Lyhenteet

BESS	Akkuenergian varastointijärjestelmä (Battery Energy Storage System)
CFD	numeerinen virtauslaskenta (Computational Fluid Dynamics)
ORC	orgaaninen Rankine kiertoprosessi (Organic Rankine Cycle)
BFB	Bubling Fluidized Bed, kerrosleijupetikattila
CFB	Circulating Fluidized Bed, kiertoleijupetikattila
CFD	Computational Fluid Dynamics
CHP	yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotanto (Combined Heat and Power)
MWh	Megawattitunti
MW	Megawatti
Ah	Ampeeritunti
mFRR	manual Frequency Restoration Reserve Säätösähkö- ja säätökapasiteettimarkkinat
aFRR	automatic Frequency Restoration Reserve Säätösähkö- ja säätökapasiteettimarkkinat
DoD	Depth of Discharge lukema joka kertoo kuinka paljon akkua puretaan suhteessa sen kapasiteettiin
LCOE	Levelized Cost of Energy eli tasoitettu energiakustannus

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Kiitokset

Symboli- ja lyhenneluettelo

1. Johdanto 4
   1.1 CHP-tuotannon historiaa Suomessa 1950–2020 luvuilla 4
   1.2 CHP-voimalaitoksen yleiskuvaus 5
   1.3 Akkuvaraston merkitys CHP-voimalaitoksessa 8
2. Akkuteknologioita 10
   2.1 Akkutyypit ja niiden ominaisuudet 10
   2.2 Yleinen soveltuvuusanalyysi CHP-voimalaitoksiin 13
3. CHP-voimalaitoksen tase- ja energianhallinta 15
   3.1 Energian varastointi ja tuotannon optimointi 17
      3.1.1 Reservi- ja säätösähkö- sekä säätökapasiteettimarkkinat 20
   3.2 Akuston rooli tase- ja energianhallinnassa 21
   3.3 CHP-voimalaitoksen hyötysuhteen parantaminen akuston avulla 22
4. Käytännön sovellukset 23
   4.1 Suomen CHP-voimalaitokset ja niiden yhteydessä olevat akustot 23
5. Taloudelliset näkökohdat 25
   5.1 Investointikustannukset ja takaisinmaksuaika 26
   5.2 CHP-tuotannon kannattavuusanalyysi 28
   5.3 Akun vaikutus CHP-voimalaitoksen taloudelliseen kilpailukykyyn 29
6. Ympäristövaikutukset 30
   6.1 CHP-voimalaitoksen ympäristövaikutukset 31
7. Tulevaisuuden näkymät 33
   7.1 Akkutegnologian kehitys ja innovaatiot 33
   7.3 Tutkimus ja kehitystarpeet 39
8. Pohjolan Voima Oyj 40
   8.1 Kymin Voima Oy CHP-biovoimalaitos 40

8.2 Tutkimuksessa syntynyt tausta aineisto 42
9. Johtopäätökset 43
9.1 Tutkimuksen johtopäätökset 43
9.2 Tavoitteiden toteutuminen 43
9.3 Uudet löydökset ja havainnot 44
9.4 Laajempi yhteiskunnallinen merkitys 44
9.5 Vertailu aiempaan tutkimukseen 44
9.6 Tutkimuksen rajoitteet 44
9.7 Jatkotutkimusaiheet 45
Lähteet 46
Liite 1. Akkuvaraston investoinnin suunnittelu 1

ILMOITUKSET

Turnitin

Tämän opinnäytetyön alkuperäisyys on tarkistettu Turnitin – samankaltaisuuden tarkastuspalvelun avulla.

Tekoäly

Tämän opinnäytetyön kirjoittaja Eetu Loikkanen on käyttänyt seuraavia tekoälytyökaluja opinnäytetyön tekemisessä:

1. Copilot

a. Työkalun käytön tarkoitus: etsiä valokuvia ja lähdeaineistoa.

b. Selvitys työkalun käytöstä: akkuvaraston kuva, joka ilmenee lähdeluettelosta. Tieteellisten artikkelin etsintä copilotin avulla.

Vastuu

Kirjoittaja, Eetu Loikkanen, ottaa täyden vastuun tämän opinnäytetyön sisällöstä ja on tarkistanut ja muokannut mahdollisen tekoälytyökalujen käytön myötä syntyneen sisällön.

1. Johdanto

Sähkömarkkinat ovat muuttuneet uusiutuvien energiamuotojen yleistyessä ja niiden kilpailukyky on myös muuttunut. Uusiutuvien energialähteiden tuotanto ja kulutus ei ole useinkaan tasapainossa, johtuen esimerkiksi sääolosuhteista. Tästä on seurannut se, ettei perinteiset, niin sanonut yhdistetyn lämmön ja sähköntuotantolaitoksien ole kustannuskilpailukyvyltään parhaita. Osaltaan tähän on vaikuttanut myös kilpailu samoista resursseista ja tuotantopanoksista. Venäjän vuonna 2022 helmikuussa aloittama hyökkäysota Ukrainaan aiheutti myös kriisin energiamarkkinoilla. Tässä työssä tarkastellaan ja tutkitaan, kuinka rakennetaan kestävän kehityksen mukaisia akkuenergiavarastoja CHP-voimalaitoksen yhteyteen. Työssä tarkastellaan lisäksi akkuvaraston investointilaskelmia ja hahmotellaan erilaisia käyttöstrategioita akkuvarastoille. Tarkemmat investointilaskelmat ja käyttöstrategiat on esitetty vain yritykselle toimitettavissa taustamateriaaleissa. Reunaehtona on myös pystyä käyttämään energiavarastoa toimimiseen säätösähkömarkkinoilla. Energiavarastoa tulee myös pystyä käyttämään energia- ja kustannustehokkaasti ja elinkaarimallin mukaan myös voimalaitoksen ollessa kesäseisokissa tai vuosihuoltorevisiossa. Tutkimuksia on tehty myös akustojen rakentamisesta jakeluverkkojen yhteyteen sekä omakotitalojen yhteyteen. (Hareja 2023.)

1.1 CHP-tuotannon historiaa Suomessa 1950–2020 luvuilla

CHP-tuotannon alku Suomessa sijoittui 1950–1970-luvulle. Ensimmäiset CHP-laitokset rakennettiin suurten kaupunkien yhteyteen, erityisesti Helsingissä ja Tampereella. Kaukolämpöverkkojen laajentuminen mahdollisti lämmön hyödyntämisen, joka muuten olisi hukattu lauhde-energia hukkaan. CHP:n hyötysuhde oli merkittävä etu. CHP-hyötysuhde oli jopa 80–90 %, kun erillistuotannossa jäätiin alle 50 %.

Teollisuuden ja kuntien kasvu ajoittui 1980–1990 luvulle.

CHP yleistyi teollisuuslaitoksissa, kuten paperi- ja kemianteollisuudessa, joissa tarvittiin sekä sähköä että prosessilämpöä. Kunnalliset energiayhtiöt investoivat CHP-laitoksiin, mikä lisäsi paikallista energiantuotantoa ja vähensi riippuvuutta tuontisähköstä.

Huippuhyötysuhteet ja ympäristönsuojeluperusteet nousivat pintaan 2000–2010 luvuilla. Suomi nousi Euroopan kärkeen CHP:n hyödyntämisessä. Vuonna 2010 kaukolämmön markkinaosuus oli 45 %, josta suuri osa tuotettiin CHP-laitoksilla. CHP nähtiin myös ilmastotekoina, koska se vähensi polttoaineiden kulutusta ja päästöjä verrattuna erillistuotantoon.

Muutos kohti uusiutuvaa ja hajautettua tuotantoa voisi ajoittua 2010–2025 aikajaksolle.CHP-voimalaitoksia on alettu korvata tai täydentää uusiutuvilla energialähteillä, kuten lämpöpumpuilla, savukaasupesureilla ja muilla hybridiratkaisuilla. Toki tämän työn aiheena oleva akusto on myös yksi sovellutus CHP-voimalaitoksien mahdollisiin kilpailuetuihin. Nykypäivänäkin CHP:n rooli on edelleen merkittävä talvikuormituksen tasaajana, koska sähkö- ja lämpötarve ovat samanaikaisesti korkeimmillaan. (Energiateollisuus Ry 2025)

1.2 CHP-voimalaitoksen yleiskuvaus

CHP-voimalaitokseksi (Combined Heat and Power) kutsutaan energiantuotantomuotoa, jossa sekä sähköä, että lämpöä tuotetaan voimalaitoksessa samassa prosessissa samanaikaisesti. Tämä tarkoittaa, että voimalaitoksella on oltava turbiinigeneraattori sekä kaukolämmön vaihtimet. CHP-voimalaitokset varustetaan usein myös riskien hallitsemisen kannalta reduktiolämmönvaihtimilla tai huippulämmönvaihtimilla, jolloin kaukolämmöntuotantoa voidaan pitää yllä, vaikka turbiinigeneraattori ei olisikaan käytettävissä sähkön- ja lämmöntuotannossa. Teollisuuden tarpeisiin voidaan lämmön lisäksi tuottaa myös prosessihöyryä. Prosessihöyry voidaan johtaa kulutuskohteisiin turbiinin lävitse tiettynä painetasona väliottoa hyödyntämällä. Mikäli voimalaitoksella tuotetaan myös prosessihöyryä, voimalaitos varustetaan korkeapainereduktio(i)lla, jolloin voidaan myös ohittaa turbiinigeneraattoria tarpeen mukaan. Tämä lämmön- ja sähkön tuotantotapa on teknistaloudellisesti erinomainen esimerkiksi Suomessa, koska se hyödyntää Suomessa kaukolämpöverkkoa tai prosessiteollisuuden lämmönkulutusta mahdollisimman tehokkaasti. Myös kaukolämmön varastointia voidaan käyttää apuna parantamaan voimalaitoksen hyötysuhdetta.

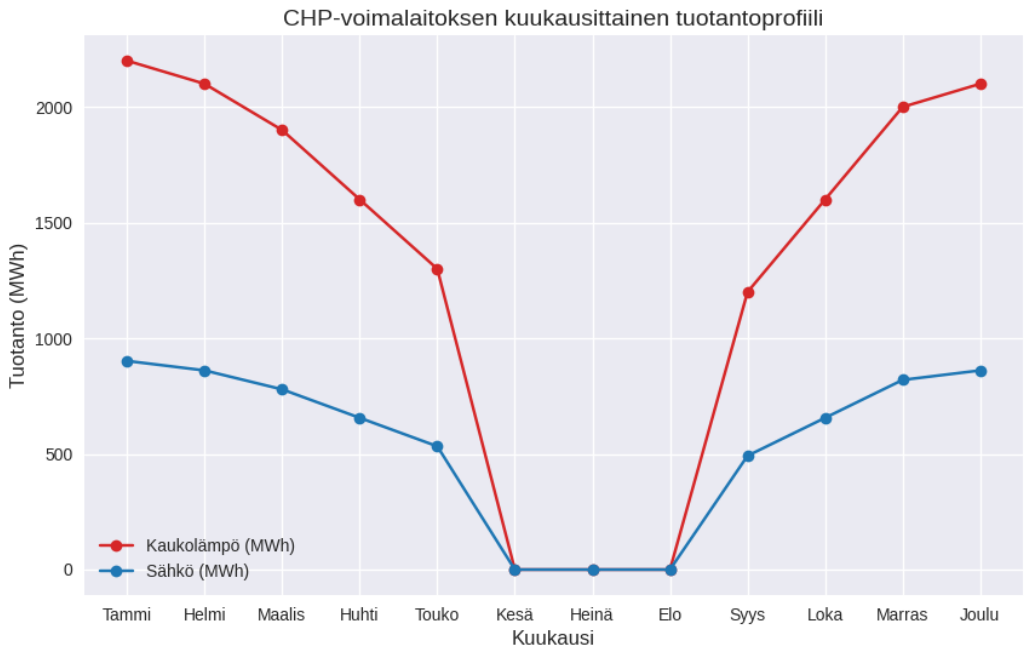
Suomessa CHP-voimalaitoksien sähkön- ja lämmöntuotanto perustuu nykyään jätevirtojen ja biomassojen energiatehokkaaseen hyödyntämiseen. CHP-voimalaitoksen polttoaineena käytetään toki fossiilisiakin polttoaineita, mutta CO2 päästökaupan, vastuullisuusnäkökulman ja taloudellisen kilpailukyvyn vuoksi fossiilisten polttoaineiden käyttöä EU-alueella ei nähdä tulevaisuudessa viisaana.

Yhteistuotannon hyötysuhde on korkeampi kuin erillistuotannon, koska sähköä syntyy samalla kun tuotetaan lämpöä kulutuskohteisiin. Suomessa CHP-voimalaitokset ovat merkittävä sähköntuotantomuoto etenkin kylmään vuoden aikaan, jolloin sekä sähkön- ja lämmönkulutus ovat suurimmillaan.

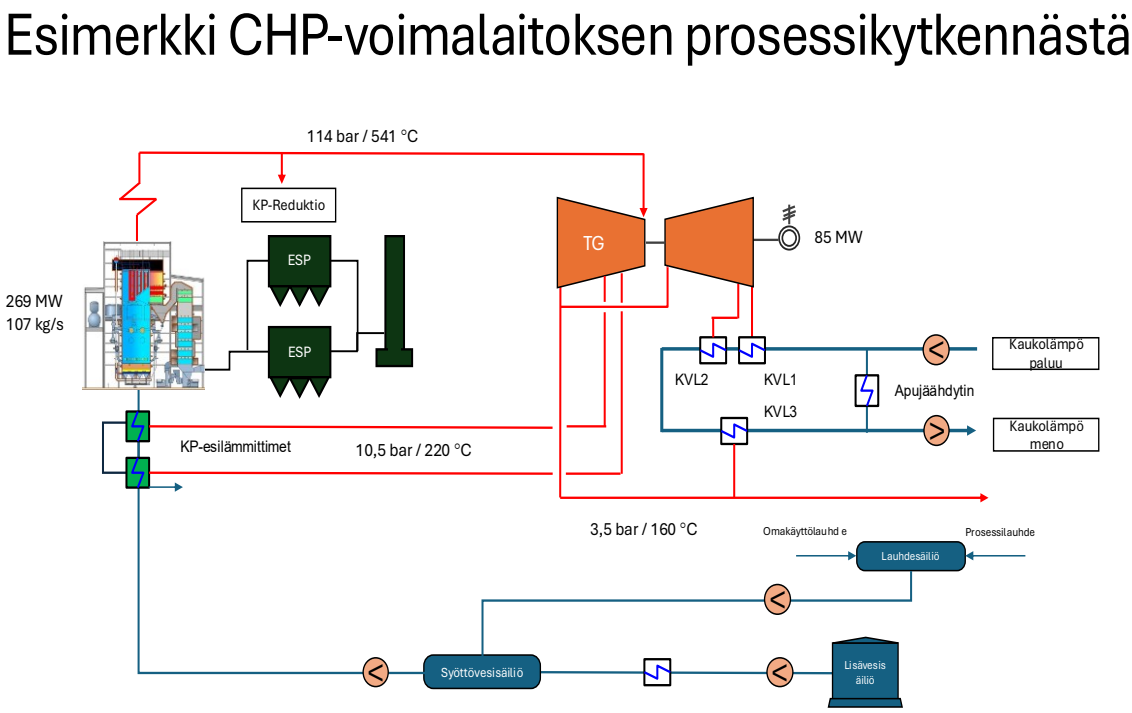
CHP-voimalaitoksien kilpailukyky on ollut viime aikoina koetuksella uusiutuvien ja ei polttoon perustuvien tuotantomuotojen yleistyessä sekä biomassapolttoainejakeiden hintojen noustessa. CHP-voimalaitoksen tuotannon kilpailukyvyn kannalta on erittäin tärkeää, että voimalaitoksen tuotanto on oikea-aikaista ja tuotanto on optimoitu oikein.

Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että tuotetaan sähköä maksimimäärä silloin kuin se on sähkömarkkinoita vasten kannattavaa. Lämmön tuotannossa ei ole yhtä ratkaisevaa se, että milloin lämpö tuotetaan, mutta yhteistuotannossa lämpöä kannattaa tuottaa silloin maksimäärä, kun sähkön markkinahinta on kalleimmillaan.

Suomessa CHP-voimalaitoksissa on perinteisesti haettu korkeaa sähköntuotannon hyötysuhdetta. Sähköntuotannon hyötysuhdetta on perinteisesti parannettu käyttämällä korkeita höyryn loppulämpötiloja, välitulistusta käyttämällä ja turbiinin maksimaalisella paisunnalla. Korkea höyrynpaine tosin nostaa omakäyttösähkön kulutusta esimerkiksi syöttövesipumpuilla. Oheisessa kuvassa 1. on esimerkki kuvitteellisesta CHP-voimalaitoksesta ja sen tuotantoprofiilista. Sähköntuotannonrakennusasteeksi on määritelty 0,41. Kuvassa 2. on esimerkkikaaviokuva olemassa olevasta oikeasta CHP-voimalaitoksesta.



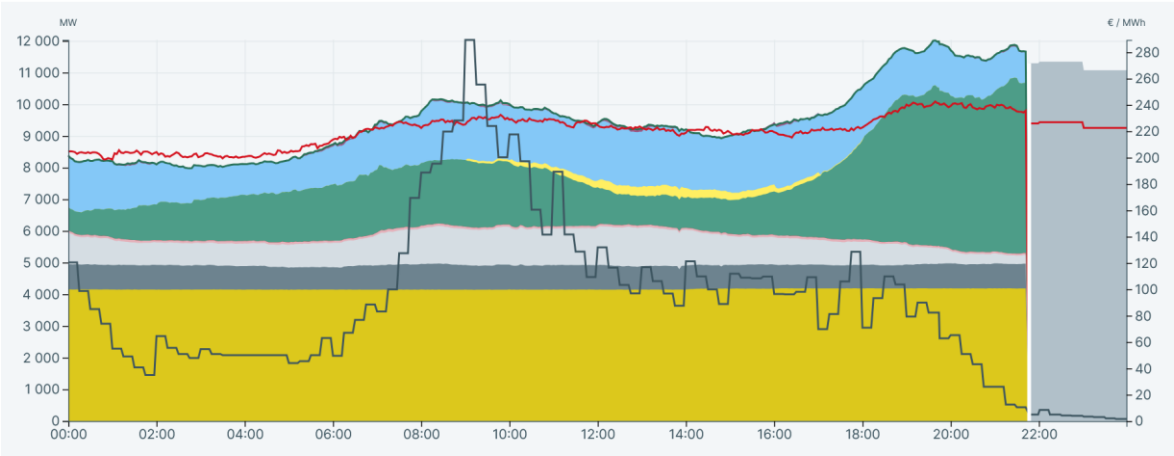
Kuva 1. Esimerkki CHP-tuotantoprofiilista (Oma esimerkki)



Kuva 2. Esimerkkikuva CHP-voimalaitoskytkennästä

1.3 Akkuvaraston merkitys CHP-voimalaitoksessa

Akkuvarastointi mahdollistaa tuotetun energian varastoinnin, mikä parantaa laitoksen joustavuutta ja kustannustehokkuutta. Joustavuus ja joustomahdollisuus tuotannossa on hyödyllistä, koska energian kysyntä ja varsinkin sähkömarkkinan kysyntä vaihtelee erituotantomuotojen yleistymisen takia. Akkuvarastointi voi osaltaan auttaa säätämään sähköverkon taajuutta. Energianvarastointi tasoittaa huippukuorma- ja tehotarpeita, mikä voi esimerkiksi vähentää voimalaitoksen omakäyttösähkön käyttöä silloin kun voimalaitoksen on kannattavaa toimittaa mahdollisimman paljon tuottamaansa sähköenergiaa sähkömarkkinoille. Vanhasta perinteisestä voimalaitoksesta saadaan näin lisää säädettävyyttä ja tätä kautta kilpailukykyä. Kuvassa 3. esitetään Fingridin internetsivuilla jatkuvasti päivittyvää grafiikkaa Suomen energian tuotannosta ja sähkön pörssihinnasta. Kaaviosta nähdään selkeästi sähköntuotannon ja sitä kautta sähkönhinnan vaihtelu vuorokauden sisällä. CHP-tuotanto edustaa kuvassa harmaata ja vaalean harmaata väriä. Kaaviosta näkee myös selkeästi tuulivoiman tuotannon vaikutuksen sähkön hintaan.



Kuva 3. 15.10.2025 Online tilanne Suomen sähköntuotannosta ja kulutuksesta Fingridin internet sivuilta. (Fingrid Oyj 2025.)

Voimalaitoksen akkuvarasto voi myös toimia varaenergialähteenä sähkökatkon tai muun sähkölaitteiston vian aikana, tämä parantaa osaltaan voimalaitoksen käytettävyyttä ja prosessiturvallisuutta. Akuston käyttämistä esimerkiksi diesel-varavoimakoneiden korvaamisessa voidaan säästää fossiilisen polttoaineen kulutuksessa ja tätä kautta voidaan myös vähentää CO2 päästöjä. Toki mikäli akustoja käytettäsi korvaavaan varavoimakoneita, tulisi akustojen olla riittävän isoja kapasiteetiltaan. Tämä taas nostaa suoraan

investointikustannuksia ja takaisinmaksuaikaa. Akuston investointikustannuksista suurin osa kertyy juuri itse akustosta. Rajoitteita voi tulla myös siitä, että akustolla ei välttämättä voi osallistua sähkömarkkinoille koko kapasiteetilla, jos akuston tehtävänä on toimia osana voimalaitoksen turvallisuus ja varajärjestelmiä.

2. Akkuteknologioita

Nykyaikana on olemassa useita akkuteknologioita. Akkuteknologioista käyn läpi tässä energian varastoinnin kannalta oleellisia teknologioita. Akkujen tekniset ratkaisut on valittava käyttökohteen mukaan.

2.1 Akkutyypit ja niiden ominaisuudet

Litiumioniakut (Li-ion) Litiumioniakut ovat yleisimmin käytettyä akkuteknologiaa etenkin elektroniikassa ja sähköautoissa tai sähkötyökoneissa. Litiumioniakkujen elinkaari on pitkä, itsepurkautumisnopeus on pieni ja niiden energiatiheys on hyvä. Litiumioniakut ovat ladattavia akkuja, jotka koostuvat elektrolyyttisolusta, jossa litiuminonit liikkuvat anodista elektrolyytin läpi kohtia katodia ja käänteisesti latauksen aikana. (Sandeep A Arote 2022.) Litiumioniakkujen sammutus on poikkeuksellisen haastavaa ja vaatii erityisiä toimenpiteitä. Akustonpalo voi syttyä uudelleen ja akkujen sisäinen lämpötila voi jatkaa nousuaan, vaikka liekit olisi sammutettu. Akkujenpalokaasut ovat myrkyllisiä, palavasta akusta vapautuu fluorivetyä ja muita haitallisia yhdisteitä. Akku voi myös purkautua voimakkaasti, jopa heitellen räjähtämällä palavia osia useiden metrien päähän. (Safety Partners.)

Kiinteäelektrolyyttiakut (Solid-state) Kiinteäelektrolyyttiset akut ovat lupaavia energian varastointitekniikoita, jotka voivat tarjota turvallisuutta ja korkeaa energiatiheyttä. Tekniikka perustuu esimerkiksi rikkiin esim. Li3PS4 ja Li10GeP2S12. Niiden ionijohtavuus on verrattavissa nestemäisiin elektrolyytteihin, mutta ne ovat alttiita kemialliselle hajoamiselle ja mekaaniselle epävakaudelle. Haasteena tekniikassa on tunnistettu mm. kemiallinen vakaus, ja elektrolyyttien reaktiot elektrodien kanssa aiheuttavat hajotustuotteiden muodostumista, mikä heikentää akkujen suorituskykyä. Mekaanisen vakauden osalta elektrolyyttien ja elektrodien tilavuusmuutokset aiheuttavat halkeilua ja kontaktihäviöitä, jotka johtavat lopulta akun vikaantumiseen. (Mangani et al 2020.)

Lyijyakut Gaston Planté keksi lyijyakun vuonna 1859, ja se oli ensimmäinen käytännössä toimiva akku. 1870-luvulla lyijyakkuja alettiin käyttää kulutuspiikkien tasaukseen, ja 1980-

luvulla kehitettiin suljetut lyijyakut (VRLA), joissa elektrolyytti on imeytetty aineeseen. Vuoteen 2008 mennessä lyijyakut muodostivat noin 70 % akkumarkkinoista.

Lyijyakut toimivat kahden lyijylevyn sähkökemiallisilla reaktioilla rikkihappolioksen toimiessa elektrolyyttinä. Ne ovat edullisia mutta suorituskyvyltään heikompia kuin litiumakut, sillä niiden ominaisenergia on vain 40 Wh/kg, kun taas litiumakulla se on noin 125 Wh/kg. Lyijyakkujen käyttöikä vaihtelee tarkoituksen mukaan: käynnistysakut kestävät noin 500 lataussykliä, kun taas syväpurkauskäyttöön tarkoitetut voivat kestää jopa 2000 sykliä. (Jantunen 2021.)

Vaikka lyijyakut ovat vankka ja laajalti käytetty ratkaisu, niiden täydellinen purkautuminen voi vahingoittaa niitä pysyvästi, tämän takia niiden käyttö energiavarastoissa ei ole suositeltavaa.

Nikkelimetallihydridiakut

NiMH-akut, eli nikkeli-metallihybridiakut, ovat suosittuja ympäristöystävällisiä vaihtoehtoja monissa elektronisissa laitteissa, kuten puhelimissa ja kannettavissa tietokoneissa. NiMH-akut eivät sisällä voimakkaasti myrkyllisiä metalleja, kuten kadmiumia, joka löytyy perinteisistä NiCd-akuista. Tämä tekee niistä turvallisemman valinnan ympäristön kannalta.

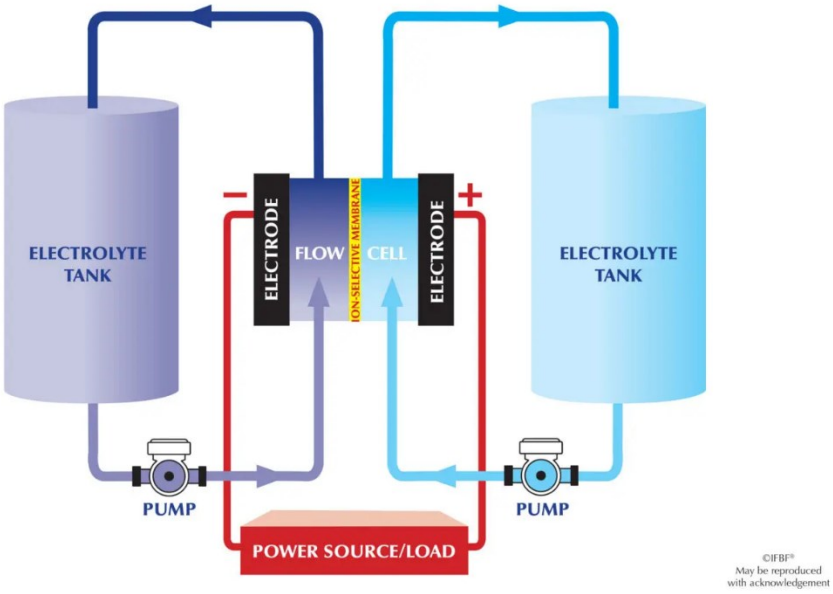
NiMH-akut toimivat nikkelillä ja metallihybrideillä, kuten harvinaisilla maametalleilla (esim. lantaani, cerium, neodyymi ja praseodyymi). Näitä harvinaisia maametalleja käytetään erityisesti akun negatiivisessa elektrodissa. NiMH-akut tarjoavat suurempaa kapasiteettia ja parempaa suorituskykyä verrattuna moniin vanhempiin akkutyyppeihin.

Kun akut tulevat elinkaarensa päähän, niiden kierrättäminen on tärkeää, sillä ne sisältävät arvokkaita metalleja, kuten nikkeliä, kobolttia ja harvinaisia maametalleja. Kierrätys auttaa vähentämään haitallisten jätteiden määrää ja samalla säästää luonnonvaroja. (Bertuol et al 2009.)

Virtausakut

Virtausakut ovat lupaava energian varastointiteknologia, joka poikkeaa perinteisistä akkuista siinä, että niiden elektrolyytit ovat nestemäisessä muodossa ja niitä pumpataan akkukennoston läpi. Tämä mahdollistaa akun tehojen määrittämisen kennoston koon mukaan, kun taas energian varastointikapasiteettia voidaan kasvattaa yksinkertaisesti suurentamalla elektrolyyttisäiliöitä. Virtausakuilla on useita etuja, kuten pitkä käyttöikä ja alhaiset itse

purkautumisasteet. Ne ovat erityisen hyödyllisiä uusiutuvan energian varastoinnissa, koska ne voivat tasoittaa aurinko- ja tuulivoiman tuotantovaihteluita. (Verkkoaineisto, Kalevi Härkönen, 2024) Esimerkiksi Georgia Techin tutkijat ovat kehittäneet uuden tyyppisen virtausakun, joka vähentää kennoston kokoa 75 % ja alentaa virtausakun valmistuskustannuksia. (Verkkoaineisto, ETN-Technical articles, 2023.) Samaan aikaan Turun yliopiston tutkijat ovat kehittäneet uusia materiaaleja vesipohjaisille virtausakuille, mikä voisi tehdä energian varastoinnista kustannustehokkaampaa ja kestävämpää. (Verkkoaineisto, UTU, 2025.)



Kuva 4. Esimerkkikuva virtausakun toimintaperiaatteesta. (International Flow Battery Forum 2025.)

Litium-rautafosfaattiakku, $LiFePO_4$

Litiumrautafosfaattiakku ($LiFePO_4$) on yksi litiumioniakkujen alatyypeistä, joka tunnetaan erityisesti turvallisuudestaan, pitkästä käyttöiästään ja vakaasta suorituskyvystään. Sen rakenne perustuu neljään pääkomponenttiin: katodiin, anodiin, elektrolyyttiin ja erottimeen. Katodi, eli positiivinen elektrodi, koostuu litiumrautafosfaatista ($LiFePO_4$), jonka oliviinityyppinen kiderakenne tekee siitä kemiallisesti ja lämpötilallisesti erittäin vakaan. Tämä rakenne estää hapettumista ja vähentää tulipaloriskiä, mikä tekee $LiFePO_4$:stä yhden turvallisimmista katodimateriaaleista. Anodi, eli negatiivinen elektrodi, on yleensä valmistettu grafiitista. Grafiitti toimii litiumionien vastaanottajana latausvaiheessa ja luovuttajana purkuvaiheessa. Anodi on kytketty kuparifolioon, joka toimii virrankerääjänä. Elektrolyytti on litiumsuoloja sisältävä orgaaninen liuos, joka mahdollistaa litiumionien liikkumisen katodin

ja anodin välillä. Elektrolyytin koostumus vaikuttaa merkittävästi akun suorituskykyyn erityisesti äärilämpötiloissa. Uusilla elektrolyyttiseoksilla, kuten LiFSI-pohjaisilla liuoksilla, voidaan parantaa akun toimintaa jopa -80 °C:ssa. (Li, Zeheng et al. 2025.)

Erotin on ohut polymeerikalvo, joka estää elektrodien suoran kosketuksen toisiinsa mutta sallii ionien kulun. Sen tehtävänä on varmistaa akun turvallisuus ja sähkökemiallinen toiminta. Akun toiminta perustuu litiumionien siirtymiseen elektrolyytin läpi. Latausvaiheessa ionit siirtyvät katodista anodiin, ja purkuvaiheessa ne palaavat takaisin katodiin. Samalla elektronit kulkevat ulkoisen piirin kautta, tuottaen sähkövirtaa. Tämä prosessi on reversiibeli, mikä mahdollistaa akun toistuvan lataamisen ja purkamisen tuhansia kertoja.

$LiFePO_4$-akkujen nimellisjännite on 3,2 volttia per kenno, ja ne kestävät tyypillisesti yli 2000 lataus-purkusykliä. Energiatiheys on hieman matalampi kuin muilla litiumkemioilla, mutta akun pitkäikäisyys, turvallisuus ja ympäristöystävällisyys tekevät siitä erinomaisen vaihtoehdon esimerkiksi sähköajoneuvoihin, aurinkoenergian varastointiin ja varavoimajärjestelmiin. (Kumar, J. et al. (2022) (Lithium battery Tech 2024.)

2.2 Yleinen soveltuvuusanalyysi CHP-voimalaitoksiin

Akkuvaraston soveltuvuusanalyysi CHP-voimalaitoksiin edellyttää tarkastelua useista näkökulmista, kuten teknisestä yhteensopivuudesta, laitosalueesta, taloudellisesta kannattavuudesta, voimalaitoksen tuotantoprofiilista ja ympäristövaikutuksista.

CHP-voimalaitokset tuottavat sekä sähköä että lämpöä, joten akkuvaraston roolin tulee olla sähkön varastointi ja omakäyttösähkön kulutuksen tasaaminen lähellä sähkön tuotantopaikkaa. Akkuvarasto voi auttaa voimalaitosta hyödyntämään edullisia sähkön hintoja omakäyttösähkönä ja optimoimaan tuotantoa. Erilaiset akkuteknologiat tarjoavat vaihtoehtoja varastointikapasiteetin, investoinnin arvon ja käyttöiän suhteen. Akkuvaraston investointikustannukset ja käyttöikä vaikuttavat sen kannattavuuteen CHP-voimalaitoksessa. Sähkön hintavaihteluiden hyödyntäminen akustojen avulla voi parantaa laitoksen taloudellista tehokkuutta.

CHP-voimalaitoksen mahdollisuus osallistua sähkömarkkinoille ja tarjota esimerkiksi taajuussäätöpalveluita voi tuoda lisätuottoja suuren volaliteetin sähkömarkkinasta.

Akkuvaraston avulla CHP-voimalaitos voinee myös hieman vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä etenkin kalliiden sähkön spot-hintojen aikana ja parantaa energiatehokkuutta. Uusiutuvan energian integrointi CHP-laitokseen voi olla helpompaa akkuvaraston avulla. Mikäli voimalaitos haluaisi hyödyntää uusiutvaa energiaa esimerkiksi voimalaitoksen omakäyttösähkön kulutuksen kattamisessa, tulee voimalaitoksen pystyä hankkimaan uusiutuvaa sähköä markkinoilta. Elinkaarikustannuksia pohdittaessa, tulee akkujen kierrätettävyys ja akkumateriaalien ympäristövaikutukset huomioida. Alla olevaan taulukkoon on koottu vertailu eriakkutyyppien tyyppilisistä kapasiteeteista ja elinkaaresta.

Taulukko 1. Akustoteknologioiden eliniän vertailu (Origo, Kurvinen 2025.)

Akku-tyyppi	**Syklimäärä (DoD 80%)**	**Arvioitu elinikä (1 sykli/päivä)**	**Kalenterielinikä (vuotta)**	**Kapasiteetin heikkeneminen**	**Huomioita**
Li-ion (NMC)	3000–5000	8–13 vuotta	10–15 vuotta	20 % lasku 10 vuodessa	Yleinen sähköautoissa ja kotivarastoissa
LFP (Li-$FePO_4$)	4000–8000	11–22 vuotta	15–20 vuotta	10–15 % lasku 10 vuodessa	Pitkäikäinen, turvallinen, hidas lataus
Na-ion	2000–4000	5–11 vuotta	8–12 vuotta	Vähemmän tutkittu	Uusi teknologia, lupaava edullisuudessa
Lyijyhappo	500–1500	1–4 vuotta	3–5 vuotta	Nopea kapasiteetin lasku	Halpa, mutta lyhytikäinen
Vesipohjainen	5000–10000	14–27 vuotta	20+ vuotta	Vähäinen heikkeneminen	Harvinainen, mutta erittäin kestävä

3. CHP-voimalaitoksen tase- ja energianhallinta

CHP-voimalaitoksen tuotantoennuste perustuu suomessa pääsääntöisesti lämmönkulutuksen ennustamiseen ja sen tarkkuuteen. Lämmönkulutus voi olla esimerkiksi teollisuushöyryä, kaukolämpöä, kuumaa vettä tai näiden kaikkien edellä mainittujen tuotteiden yhdistelmiä. CHP-voimalaitokset mallinnetaan jo esisuunnitteluvaiheessa, jolloin määritetään voimalaitoksella tuottavien energiakomponenttien paine- ja lämpötilatasot. Tässä samassa vaiheessa määritetään myös turbiinin- ja generaattorin tekniset arvot, koska turbiinisuunnittelussa tarvitsee lukita eri lämpötuotteiden lämpötila- ja painetasot. CHP-tuotantomoodissa tuotetaan tällöin siis lämpöä, joka määrää voimalaitoksen rakennusasteen myötä tuotettavan sähkön määrän. Toki CHP-voimalaitos voi tuottaa myös pelkkää lämpöä, mutta tällöin tuotantomoodi on reduktioajo. Kuvassa 3. on esitetty esimerkkikaavio CHP-voimalaitoksen lämpötasekaaviosta. Lämpötasekaaviota tarvitaan sähköntuotantoennustemallin laskemiseksi. Esimerkkikaaviossa on korkeapaineturbiini ja matalapaineturbiini. Korkeapaineturbiinista otetaan väliottohöyryä kahdelle KP-esilämmittimelle, syöttövesisäiliöön ja prosessihöyryverkkoon. MP-turbiinista otetaan väliottohöyryä kolmelle MP-esilämmittimelle ja kahdelle kaukolämmönvaihtimelle. Voimalaitoksen rakennusaste lasketaan kaavalla (1). Rakennusaste on CHP-kaukolämmön tuotannossa parempi, kuin prosessihöyryntuotannossa, koska matalapaineturbiinilla höyry pääsee paisumaan enemmän ja näin ollen höyry luovuttaa enemmän energiaa turbiinilla.

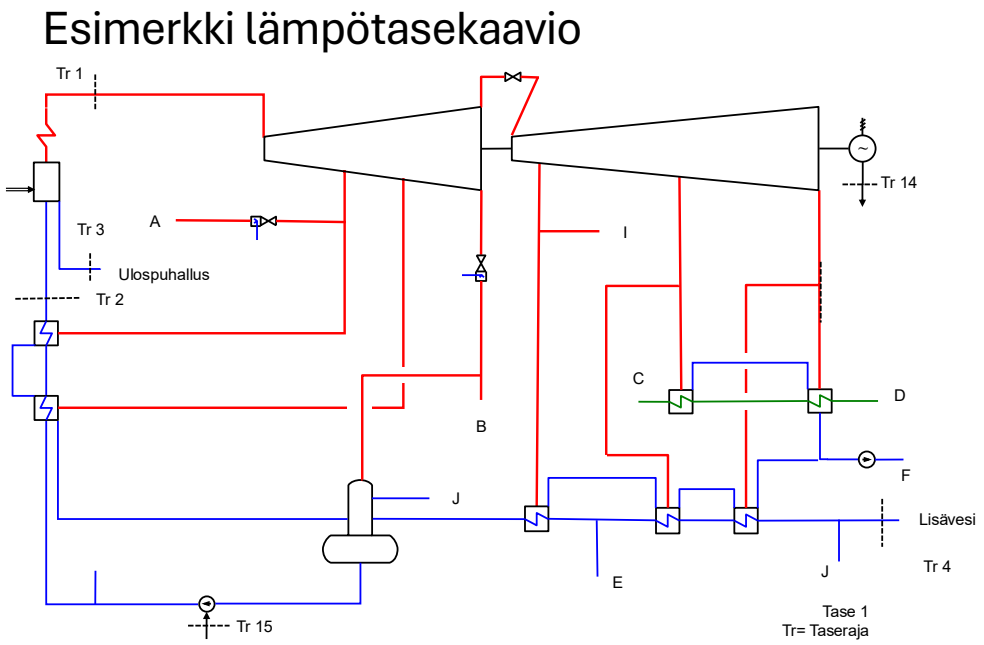
$$\alpha = \frac{P_{e_l}}{Q} \tag{1}$$

jossa,

α= Rakennusaste

Pel= Sähköteho

Q= Lämpöteho

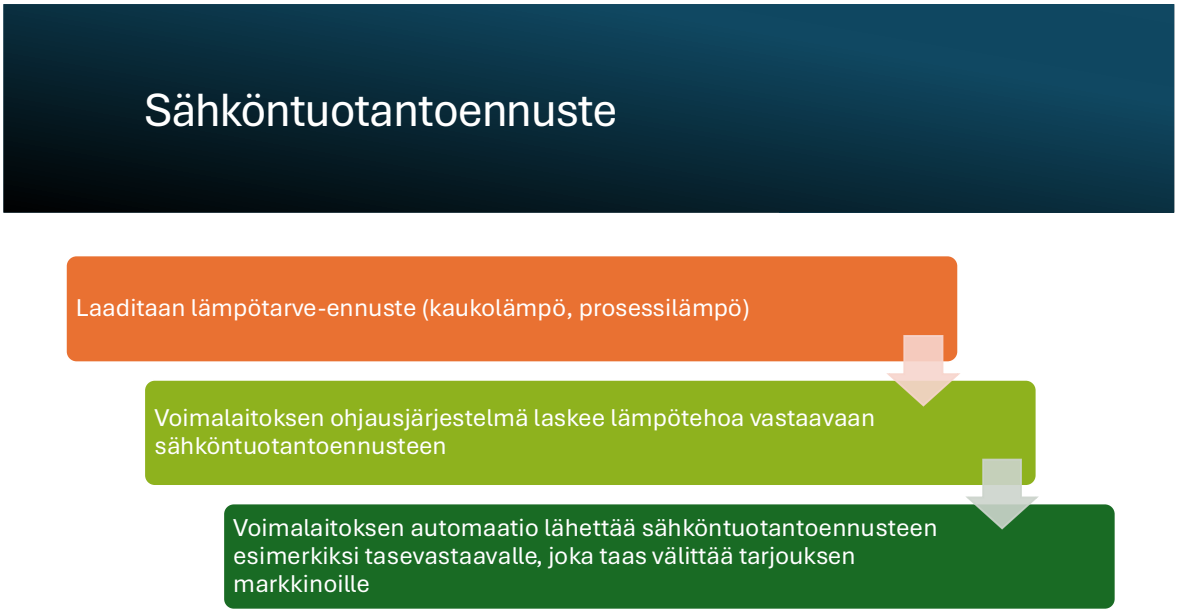


Kuva 5. Esimerkki lämpötasekaaviosta.

CHP-voimalaitoksen tulee laatia lämmönkulutuksesta kysyntäennuste ja laatia sen pohjalta voimalaitoksen taselaskennan kautta tuottavan nettosähkönmäärä. Nettosähkö tarkoittaa sitä sähkötehoa, joka voidaan toimittaa CHP-voimalaitokselta sähköverkkoon. Nettosähköteho saadaan, kun vähennetään omakäyttösähköteho generaattorin pätötehosta. Omakäyttösähköteho voi vaihdella CHP-voimalaitoksilla mm. prosessitekniikasta ja toki voimalaitoksen polttotehosta johtuen. Voimalaitoksella suuria energiankulutuskohteita ovat puhaltimet, savukaasunpuhdistuslaitteistot ja pumput. Omakäyttösähköteho on CHP-voimalaitoksella tyypillisesti muutamia megawatteja, riippuen toki kattilalaitoksen polttoainetehosta.

Puhuttaessa spottisähkömarkkinasta, voimalaitos laatii sähköntuotantoennusteen seuraavalle sähkökauppavuorokaudelle aina klo 12.00 mennessä ja toimittaa sen tasevastaavalle. Tasevastaava välittää sähköntuotonennusteen Nord pooliin ennen klo 13.00 huutokauppaa varten. Sähkökauppavuorokausi on 00.00–00.00. CHP-voimalaitos voi myös tarjota tasevastaavan kautta sähköpörssiin niin sanottua blokkikauppaa eli CHP-voimalaitos voi joko ostaa tai myydä sähköä pörssiin tai pörssistä tietyn ajanjakson tiettyyn hintaan. Tätä toimenpidettä varten CHP-voimalaitoksella tulee olla tieto tuotettavan sähkön hinnasta ja blokkikaupan hinnoittelusta. Käytännössä tämä tarkoittaa, että jos CHP-voimalaitos tarjoaa markkinoille blokkiostoa, niin markkinoilta hankittavan sähkön tulee olla omaan tuotantokustannusta edullisempaa. Mikäli voimalaitos taas tarjoaa markkinoille blokkimyyntiä, tulee sähkön olla

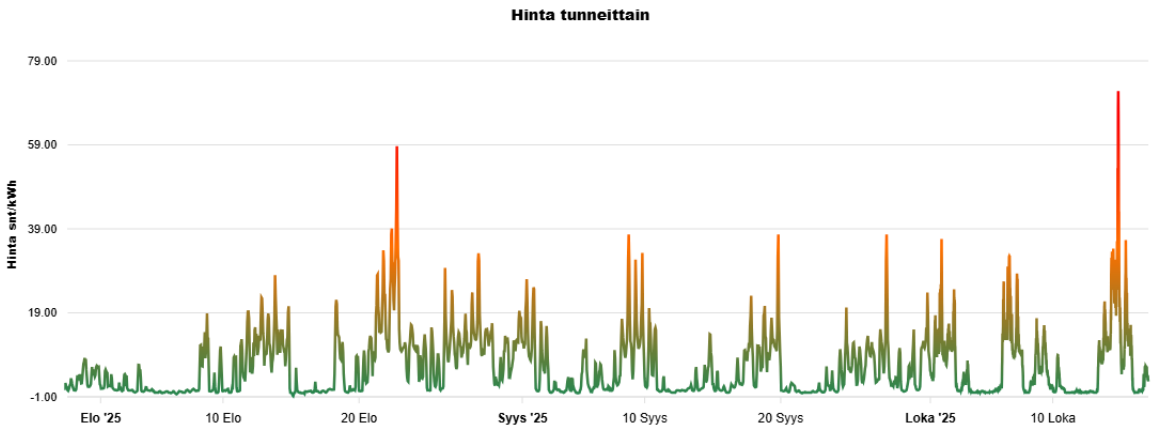
sähköpörssissä kalliimpaa, kuin oma tuotantokustannus huomioituna kateprosentilla ja riskimarginaalilla.



Kuva 6. Sähköntuotantoennusteen laatimisen periaatekuva (Oma esimerkki.)

3.1 Energian varastointi ja tuotannon optimointi

Energian varastointi ja energian tuotannon optimointi ovat keskeisiä tekijöitä kestävän, luotettavan ja energiatehokkaan energiajärjestelmän rakentamisessa. Etenkin uusiutuvien energialähteiden, kuten tuuli ja aurinkosähköntuotanto.



Kuva 7. Sähkön hinnanvaihtelu tunneittain (Sähkö-palvelu, 2025.)

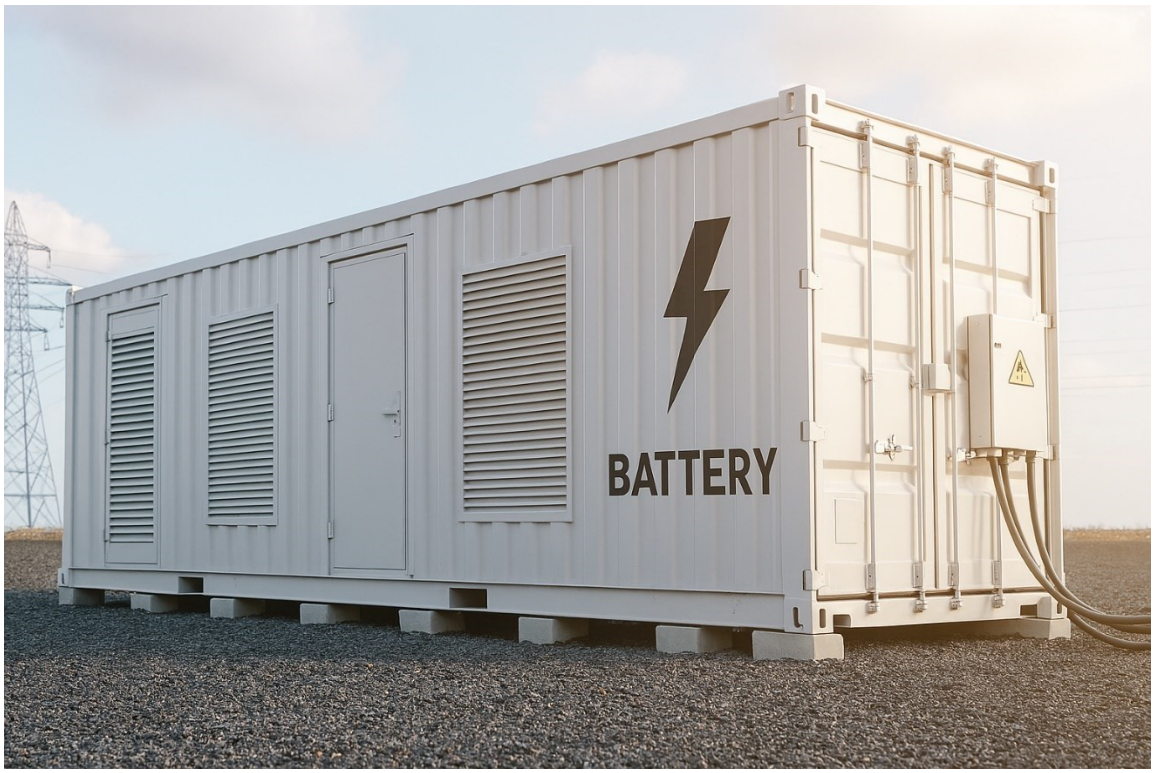
Energian varastointi mahdollistaa energian talteenoton silloin, kun sitä tuotetaan enemmän kuin kulutetaan, ja sen käytön myöhemmin, kun kysyntä ylittää tuotannon. Kuvassa 7. havainnollistetaan sähkön hintavaihtelua tunteittain. (Sähkö-palvelu 2025.)

Keskeiset varastointimenetelmät, jotka ovat kaupallisessa käytössä tänä päivänä ovat erilaiset akkuteknologiat, jotka soveltuvat lyhytkestoiseen sähköenergian varastointiin. Akkuvarastoja on käytössä mm. sähköverkoissa ja kotitalouksissa sekä teollisuudessa. Pumppuvoimala on myös energiavarasto. Pumppuvoimalassa vettä pumpataan ylös altaaseen, kun energiaa on ylijäämäisesti, ja vettä lasketaan alas vesiturbiinien kautta energiantarpeen eli kalliin sähkönhinnan aikana. Vetyvarastointi tarkoittaa, että sähköisellä elektrolyysilla tuotettu vety voidaan varastoida ja hyödyntää myöhemmin polttokennoissa tai teollisuudessa.

Esimerkiksi Suomessa on yleisesti jo 1980 luvun lopulta ollut käytössä kaukolämpöverkostoissa vesivaaraja-akkuja, jotka varastoivat lämpöä. Tämän kaukolämpöakun toimintaperiaate on hyvin yksikertainen ja toiminta on luottavaa. Kaukolämpöakun huonona puolena voi olla korroosio rakenteissa sekä lämpöakun lämpöhäviöt. Tällaisella lämpöakulla taas mahdollistetaan sähkötuotannon optimointi. Kaukolämpöä akkua ladataan, kun sähkö on kallista eli tuotetaan sähköä markkinoille hyvään hintaa. Kaukolämpöakkua taas puretaan, kun sähkön markkinahinta on alhainen. Energian tuotannon optimoinnin tavoitteena on tuottaa oikea määrä energiaa oikeaan aikaan, edullisimmilla kustannuksella ja ympäristövaikutukset minimoiden. Optimoinnin keskeisiä keinoja ovat tuotannon ja kulutuksen älykäs ennustaminen ja datan käyttö. Tässä tärkeää dataa ovat esimerkiksi säätiedot, kulutustottumukset ja markkinatiedot. Hajautettu energiantuotanto energiayhtiöllä tai yksittäisellä sähkönkäyttäjällä

esimerkiksi aurinkopaneelit talojen katoilla mahdollistavat paikallisen tuotannon ilman siirtohäviöitä ja siirtokustannuksia. Demand-side management (DSM) tarkoittaa sähkön kulutuksen ohjaamista tuotannon ja tai kulutuksen mukaan, esimerkiksi hinnoittelumekanismien avulla. (Basmadjian, R. 2025.) Nykyään perinteisten kaukolämpöakkujen rinnalle on tullut uusia tekniikoita esimerkiksi hiekka-akkuja. Hiekka-akun eduiksi voidaan mainita mm. se, että sillä voidaan tuottaa myös höyryä pelkän lämmön sijaan.

Energiavarastojen yhdistämisellä osaksi tuotantoa varastot saadaan integroitua energian tuotantojärjestelmään, jolloin saadaan joustavuutta ja tasaisempaa energian tuotantoa. Verkkoautomaatio ja tekoäly voivat ohjata tulevaisuudessa tuotantoa reaaliaikaisesti optimaalisimmalla tavalla. Tähän on kehitteillä monia erilaisia sovelluksia erilaisten yhtiöiden toimesta. Esimerkiksi Suomessa on tiedossa olevasti tuotannollisessa käytössä Energy Optima 3 sovellus. (Energy Optima 2025.)



Kuva 8. Tekoälyn näkemys akkuvarastosta (Copilot 2025.)

3.1.1 Reservi- ja säätösähkö- sekä säätökapasiteettimarkkinat

Säätötarjouksia voi antaa resursseista, jotka kykenevät toteuttamaan minimitarjouskoon mukaisen tehonmuutoksen 15 minuutin kuluessa. Minimitarjouskoko on 5 MW. Yhden Säätötarjouksen vähimmäiskapasiteetti on 5 MW. Säätötarjoukset annetaan 1 MW:n tarkkuudella. Jos Säätötarjous voidaan aktivoida elektronisesti, reservitoimittaja voi jättää viisi alle 5 MW:n ylös- ja alassäätötarjousta kutakin käyttötuntia kohden. Tällöin Säätötarjouksen minimitarjouskoko on 1 MW.

Säätötarjoukset annetaan Fingridille viimeistään 45 minuuttia ennen käyttötuntia Fingridin reservikaupankäynti ja tiedonvaihto -ohjeen mukaisesti. Säätötarjouksen tulee sisältää seuraavat tiedot säädettävästä kapasiteetista:

- tarjouksen kohdeaika (h)
- teho (MW)
- hinta (€/MWh)
- reservikohteen nimi.

(Fingrid Oyj 2025.)

Taulukko 1. Reservityypit (Fingrid Oyj 2025.)

Reservityyppi	Reagointiaika	Käyttötarkoitus
Taajuusohjatut käyttöreservit (FCR-N)	Sekunneista minuutteihin	Normaaliin taajuusvaihteluun reagointi
Taajuusohjatut häiriöreservit (FCR-D)	Alle sekunnissa	Äkillisiin häiriöihin, kuten tuotantovikaan
Automatisoitu taajuuspalautusreservi (aFRR)	Minuuteissa	Automaattinen säätö taajuuden palauttamiseksi
Manuaalinen taajuuspalautusreservi (mFRR)	15 min – tunti	Manuaalinen säätö, esim. säätösähkömarkkinoilla
Tehoreservi	Tuntien kuluessa	Käytetään huippukulutuksen aikana tai kriisitilanteissa

Kuva 9 Säätö- ja kapasiteettimarkkinat mFRR (Yksikertainen malli Fingridin vastaavasta.)

3.2 Akuston rooli tase- ja energianhallinnassa

Tasehallinta tarkoittaa sähkön tuotannon ja kulutuksen tasapainottamista reaaliajassa. Akut voivat toimia nopealla reagoinnilla kulutuksen tai kuorman vaihteluun. Akustot voivat reagoida sekunneissa sähköverkon taajuusmuutoksiin, mikä tekee niistä erinomaisia

taajuusreservien tarjoajia (esim. FCR-N ja FCR-D). Näiden tuotteiden tuottomahdollisuudet ovat suhteellisen korkeita. Tuotannon ja kulutuksen epätasapainon korjaus; kun sähköntuotanto tai sähkönkulutus poikkeaa ennusteesta, akku voi purkaa tai ladata sähköä tasapainon palauttamiseksi. Varaenergialähteenä akut voivat toimia varavoimana häiriötilanteissa tai äkillisissä kuormituspiikissä. Esimerkiksi Juuso Laukkasen pro gradu -tutkielmassa todettiin, että akkujen käyttö reservimarkkinoilla, (kuten FCR-N) on taloudellisesti kannattavaa, ja niitä voidaan käyttää tehokkaasti osallistumaan tasehallintaan. (Laukkanen 2023.)

Energianhallinta kattaa laajemmin tuotannon, kulutuksen ja varastoinnin optimoinnin, jota akut voivat tukea. Akkuja voidaan ladata, kun sähkö on halpaa, ja purkaa, kun hinta on korkea. Tämä tasoittaa hintavaihteluita. Akut voivat purkaa sähköä huippukulutusaikoina, jolloin vältetään kalliit huipputehomaksut. CHP-voimalaitoksen sähkön tuotantoa, tuuli- ja aurinkoenergian tuotantoa voidaan varastoida ja käyttää myöhemmin, mikä vähentää sähkön hintariskiä sekä riippuvuutta fossiilisia polttoaineita käyttävistä varavoimalaitoksista. Tampereen yliopiston maisterintutkielmassa todettiin, että vaikka pelkkä arbitraasi ei ollut kannattavaa vuoden 2022 sähkön hinnoilla, reservimarkkinat ja kapasiteetin allokointi eri käyttötarkoituksiin paransivat akkujen tuottoja merkittävästi. (Laukkanen 2023.)

3.3 CHP-voimalaitoksen hyötysuhteen parantaminen akuston avulla

CHP-voimalaitoksen prosessihyötysuhdetta ei suoranaisesti paranneta käyttämällä akustoa osana CHP-voimalaitosta, mutta CHP-voimalaitokselle hyötysuhteen paraneminen saadaan aikaan kattilan ja höyryturbiinin paremmasta tuotannonoptimoinnista. Kattilan ja höyryturbiinin hyötysuhde paranee, kun niitä kuormitetaan niiden mitoituspisteiden mukaisesti.

Sähköinen akusto tasapainottaa kuormitushuippuja, joka käytännössä tarkoittaa, että akustoon varataan ylijäämäsähkö huippukuormituksen ulkopuolella ja luovutetaan akustosta tarpeen mukaan käyttöön. Tämä vähentää tarpeettomia tehopiikkejä kattilalle ja pienentää laitoksen osatehoajoa, jossa hyötysuhde usein heikkenee.

CHP-voimalaitoksen käynnistämiseen ja alasajoon liittyy suuri kustannus käynnistyspolttoaineiden kulutuksen myötä. Usein käynnistyspolttoaineet ovat lisäksi fossiilisia polttoaineita, kuten maakaasua tai polttoöljyä. Pienen mittakaavan CHP-tuotantolaitoksilla akusto

voisi jopa kattaa lyhyet sähkötarpeen vaihtelut ilman turhia kattilan ja höytyturbiinin käynnistyksiä. Tämä voisi olla hyvä tutkimuksen aihe tarkemminkin, mutta tässä työssä ei perehdytä tähän laajemmin.

Akustossa olisi hyvä käyttää ennakoivaa kuormanohjausta, jolloin CHP-voimalaitos ei ole säätävä yksikkö, vaan nimenomaan akusto olisi säätävä elementti. Tässä voidaan käyttää apuna erilaisia ennusteita ja kerättyä dataa (sää, kulutustilastot) ohjaamaan akuston latausta ja purkua siten, että CHP-voimalaitos pysyisi optimi-tehoalueella ja omassa tuotantosuunnitelmassaan. Nopeissa höyryn tai lämmön kulutuksen muutostilanteissa akusto reagoi sekunneissa, toisinkin kuin CHP-voimalaitos. CHP-voimalaitoksen kuormanmuutos voi kestää kymmenistä minuuteista tunteihin.

4. Käytännön sovellukset

4.1 Suomen CHP-voimalaitokset ja niiden yhteydessä olevat akustot

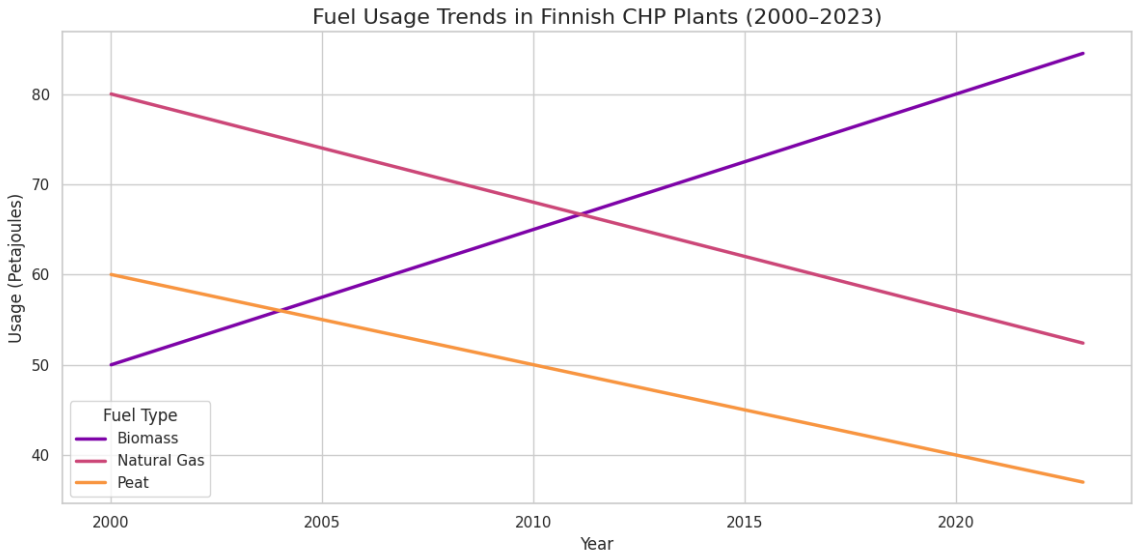
Suomessa on Energiaviraston 27.6.2025 päivitetyn Excel-tiedoston mukaan 129 kpl CHP-voimalaitoksia, joista 70 kpl on teollisuuden CHP-voimalaitoksia ja 59 kpl kaukolämpö CHP-voimalaitoksia. (Energiavirasto, Voimalaitosrekisteri 2025'.)

Suomen CHP-voimalaisten polttoaineena on yleisimmin nykyään biomassa eri jakeina. Kivihiilellä on ollut merkittävä rooli CHP-tuotannossa vielä noin kymmen vuotta sitten. Biomassan lisäksi CHP-voimalaitoksilla käytetään jätettä tai kierrätyspuuta sekä turvetta. Turpeen rooli tosin on häviämässä kalliiden päästöoikeuksien ja yleisen hyväksyttävyyden takia. Maakaasua ja polttoöljyä käytetään pääasiassa vara- ja käynnistyspolttoaineena. (Energiateollisuus 2025.)

CHP-voimalaitosten yleisimpänä polttoainejakeena biomassa on herkkä puun kysynnän ja tarjonnan vuoksi suurille hintavaihteluille. Venäjän hyökkäyssodan takia puun ja

puupolttoaineiden tuonti Suomeen Venäjältä päättyi keväällä 2022. Venäjältä tuotiin puuta Suomeen vuonna 2021 9,3 milj. m^3. (Metsäteollisuus ry 2022.)

Kaaviosta nähdään hyvin selkeä muutos Suomen CHP-voimalaitosten pääpolttoaineenkulutuksessa. (Tilastokeskus 2023.)



Kuva 10. CHP-voimalaitosten pääpolttoaineiden kulutuksen muutos vuosina 2000–2023 (Tilastokeskus 2023.)

Tilastoja siitä, että onko Suomen CHP-laitoksille asennettu tai investoitu sähköisiä akkuvarastoja ei julkisista lähteisteistä löydy kuin yksi kappale. Oulun Energia Oy investoi Toppilan voimalaitosalueelle. Investoinnissa voimalaitosalueella rakennetaan 20 MWe akkuvarasto, investointikustannuksiksi yhtiö ilmoittaa noin 11 M€. Investointi valmistuu vuonna 2026. Yhtiön mukaan varastolla varaudutaan sähkön kulutuksen lisääntymiseen. Sähköisen akkuvaraston Oulun Energia Oy:lle toimittaa eurooppalainen energia-alan yritys Alfen. (YLE 2025.)

Alfen N.V. on perustettu 1937, Alankomaissa. Yhtiön pääkonttori sijaitsee Almeressa, Alankomaassa. Alfenin toimiala on energiateknologia ja sähköinfrastruktuuri. Alfenin tavoitteena on olla Euroopan energiamurroksen ytimessä ja edistää siirtymää kohti hiilineutraalia tulevaisuutta. Yritys kehittää älykkäitä ratkaisuja, jotka tukevat uusiutuvan energian

käyttöönottoa ja sähköverkon modernisointia. Suomessa Alfen toimii tytäryhtiönsä Alfen Elkamo Oy Ab kautta, joka sijaitsee Pietarsaaressa.

Alfenin energiavarastoratkaisuja ovat esimerkiksi TheBattery-tuoteperhe, jossa Alfen tarjoaa modulaarisia ja skaalautuvia energiavarastoja. Nämä energiavarastot soveltuvat monenlaisiin käyttökohteisiin. Seuraavassa kappaleessa lyhyt esittely eri tuotteista.

- TheBattery Elements: Soveltuu teollisuuteen ja julkisiin kohteisiin, joissa tarvitaan korkeaa käytettävyyttä ja joustavuutta.
- TheBattery Mobile X: Liikuteltava energiavarasto esimerkiksi tapahtumiin, rakennustyömaille tai väliaikaisiin sähköntarpeisiin.
- TheBattery Connect: Etähallintajärjestelmä, joka optimoi energiavaraston käytön ja arvon.

Alfenin ratkaisut täyttävät eurooppalaiset turvallisuusstandardit ja mahdollistavat energian varastoinnin, taajuuden säätelyn, sähkökatkojen varautumisen ja osallistumisen sähkömarkkinoille. (Alfen 2025.)

5. Taloudelliset näkökohdat

Selkeyden vuoksi kerrattakoon hieman toimintamallia. CHP-voimalaitokset tuottavat sähköä ja lämpöä energiatehokkaasti samassa prosessissa. Akkuvaraston liittäminen CHP-laitokseen tuo uusia mahdollisuuksia energianhallintaan, markkinaosallistumiseen, tasehallintaan ja kustannustehokkuuteen. Tässä kappaleessa tarkastellaan investoinnin taloudellisia vaikutuksia, tuottopotentiaalia ja takaisinmaksuaikaa.

Avataan tässä kappaleessa hieman vielä CHP-voimalaitoksen kustannusrakennetta, jotta päästään helpommin pohtimaan akkuvarastoa investointina nimenomaan CHP-voimalaitokselle.

Taulukko 2. CHP-voimalaitoksen kulujakauma (Oma arvio.)

Kuluerä	**%- osuus kokonaiskuluista**
Polttoaine	60–70 %
Pääomakustannukset	10–20 %
Käyttö- ja kunnossapito	10–15 %
Päästöoikeudet, kemikaalit, tuhkat ym.	10–15 %
Verkko- ja energiansiirto kustannukset	5 %

5.1 Investointikustannukset ja takaisinmaksuaika

Akkuvaraston investointikustannukset ja takaisinmaksuaika riippuvat CHP-voimalaitoksen teknisestä toteutuksesta, rakennuspaikasta, sähköliityntöjen ja sähkölaitteistojen laajennettavuudesta ja monista taloudellisesta tekijästä esimerkiksi sähkömarkkinoista ja niiden mahdollistamasta tuotosta. Tässä kappaleessa luodaan katsaus akustoninvestoinnissa huomioitaviin asioihin ja tehdään esimerkkilaskelma 20 MWh:n akkuvarastolle. Investointilaskelmassa käyttävät arvioit perustuvat esimerkiksi markkinoilta julkisesti saatavaan dataan ja hintoihin. Yhtiökohtaisissa laskemissa kannattavuus, lisätuotot ja hyödyntämispotentiaali voi olla eriluokkaa, joka tällöin vaikuttaa suoraan investoinnin takaisinmaksuaikaan.

Investoinnissa tulee huomioida CHP-voimalaitoksen tekniset rajoitteet. Akkuvaraston investoinnissa tulee huomioida ainakin seuraavat asiat ja lähtökohdat:

Kapasiteetti (MWh) ja teho (MW). Kapasiteetti ja akkuvaraston teho vaikuttavat suoraan kustannuksiin ja käyttömahdollisuuksiin.

Tiivistetysti tässä esimerkkilaskelmassa akuston käyttötarkoitus on reservimarkkinat, huippukuorman leikkaus, uusiutuvan energian kulutuksen ja tuotannon tasaus ja varavoimaratkaisut.

Akuston purkaus- ja lataus syklikestoisuus ja käyttöprofiili vaikuttavat myös suoraan investoinnin arvoon ja toki myös takaisinmaksuun. Akuston kapasiteetti alenee vuodessa keskimäärin 4 %. (Laukkanen 2023.)

Investoinnissa tarvitaan myös akuston liittäminen esim. 110 kV sähköverkkoon. Kustannuksia tästä aiheuttaa itse liittäminen, liittymismaksut, muuntamot, kaapelointi, suojaukset ja automaatio. Akkuvarasto on myös rakennettava siten, että ohjausjärjestelmät ja etähallinta voidaan toteuttaa turvallisesti ja luottavasti.

Sähköisen akuston investointikustannus per MWh on tyypillisesti luokkaa 400000–600 000 €/MWh. Investointikustannuksen suuruuteen vaikuttaa paljolti edellä mainitut asiat.

Käyttö- ja ylläpitokustannuksien (O&M) arvioin olevan noin 1–2 % investoinnista vuodessa

Investoinnin tuotoiksi voidaan laskea reservimarkkinat, vuorokausimarkkinat, kapasiteettimarkkinat ja CHP-voimalaitoksen mahdollisen tasepoikkeaman korjaus. Tulojen arvioinnissa on käytetty apuna Fingridin dataa. Sähkön hinnan volatiliteetti vaikuttaa arbitraasituloihin. Takaisinmaksuaika akkuvarastoille on tyypillisesti useita vuosia riippuen akuston ja CHP-voimalaitoksen käyttöprofiilista.

Taulukko 3. Esimerkki laskelma 20 MWh akkuvarasto, jonka teho on 10 MW.

Kustannuserä	**Arvio (€)**
Investointikustannus (500 t€/MWh)	10 000 000 €
Käyttö- ja ylläpito (1,5 %/v)	150 t€/a
Tulot reservimarkkinoilta (arvio)	600 t€/a
Tulot vuorokausimarkkinoilta (arvio)	300 t€/a
Yhteensä tulot/a	900 t€/a
Nettotuotto/a	750 t€/a
IRR	1,510 %
Takaisinmaksuaika	~13,3 vuotta

Huom. Laskelma ei sisällä mahdollisia tukia, veroetuja tai rahoituskuluja. Todellinen takaisinmaksuaika voi lyhentyä, jos akku osallistuu useisiin markkinoihin samanaikaisesti.

(YLE 2025;Alfen, 2025;Fingdrid Oyj 2025.)

5.2 CHP-tuotannon kannattavuusanalyysi

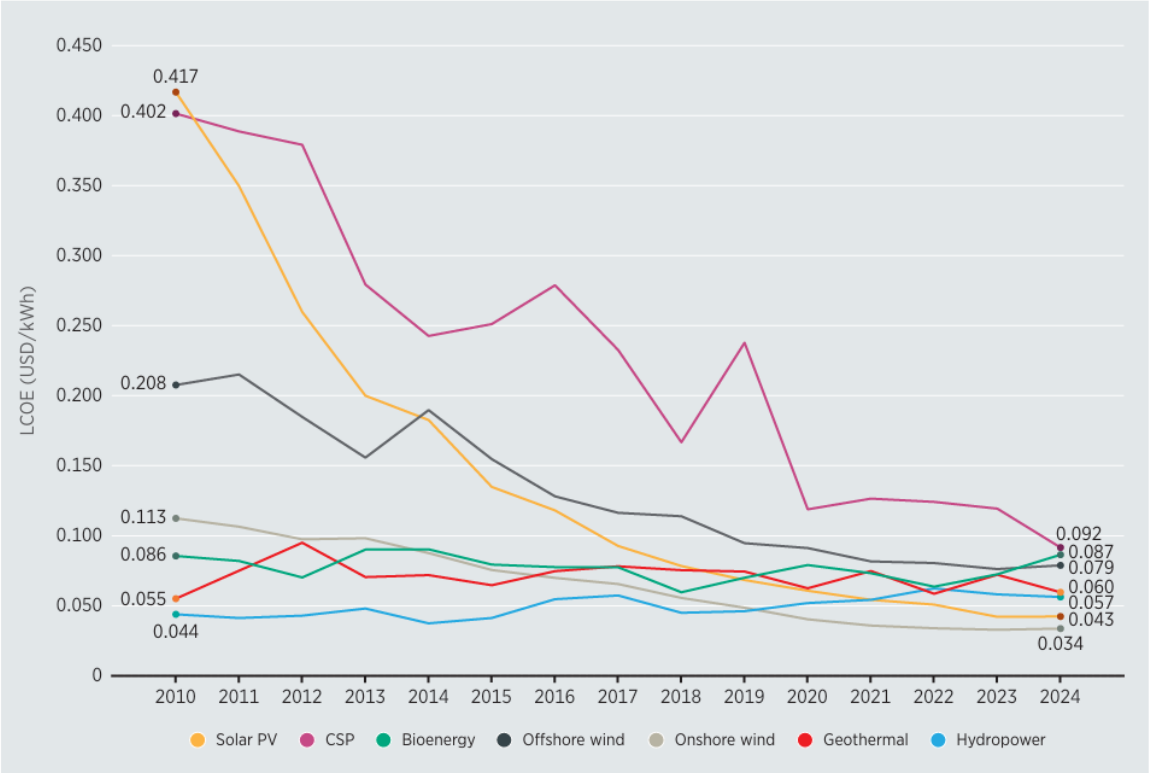
Uusiutuvien energialähteiden investointihinnoista löytyy erinomaisia tilastoja Irenan eli International Renewable Energy Agency sivustolta.

Ohessa kaaviossa selviää kattavasti eri uusiutuvien energialähteiden elikaarikustannusten kehitys. CHP-tuotanto menisi tässä taulukossa ”bioenergy”-ryhmän alle. Tällöin vihreä viiva kuvaa CHP-sähköntuotantokustannusta parhaiten.

Taulukosta voidaan tulkita, että CHP-sähköntuotanto ei ole enää nykyään kilpailukykyistä oikeastaan mihinkään taulukon esittämiin energiantuotantomuotoihin. CHP-sähköntuotannon kalleuteen vaikuttavat monet asiat; CHP-voimalaitoksen rakentaminen on arvokasta ja se sitoo paljon pääomia, CHP-polttoaineet ovat kalliita, kalliiden polttoaineiden lisäksi CHP-laitokselle voi tulla myös päästökaupasta johtuvia maksuja. CHP-voimalaitoksen operointi

ja käyttökustannukset ovat myös korkeita, johtuen vaativasta tekniikasta. CHP-voimalaitoksien ajoprofiili on usein sellainen, että voimalaitos ei ole käytössä monenakaan kuukautena vuodesta ja silti voimalaitoksella on kiinteitä ja muuttuvia kustannuksia taloudellisena rasitteena. CHP-voimalaitoksien prosessihyötysuhde heikentää myös CHP-tuotannon kannattavuutta, varsinkin osakuormilla ajettaessa. Toki CHP-tuotannon energiatehokkuus on erillistuotantoa parempi taloudellisesti ja päästömielessä.

Taulukko 4. Uusiutuvien energialähteiden tasoitettu energiakustannus eli laskennallinen kustannus, joka laskee sähkötuotannon keskimääräiset kustannukset sähköä tuottavan omaisuuden elinkaaren aikana (IRENA)



Notes: CSP = concentrated solar power; kWh = kilowatt hour; LCOE = levelised cost of electricity; PV = photovoltaic; USD = United States dollar.

5.3 Akun vaikutus CHP-voimalaitoksen taloudelliseen kilpailukykyyn

Akkuvarasto ei voi korvata CHP-voimalaitosta, mutta akkuvarasto tekee CHP-voimalaitoksen tuotannosta joustavampaa, akkua voidaan ladata silloin kuin sähkö on edullista ja purkaa kun sähkö on kallista. Tämä parantaa voimalaitoksen sähköennusteiden tarkkuutta ja nostaa voimalaitoksen sähköstä saamaa keskihintaa, koska akkuvaraston avulla voidaan parantaa sähköntuotantoennusteessa pysymistä. Yhdessä nämä laitteistot muodostavat

hybridijärjestelmän, joka vastaa paremmin tulevaisuuden energiajärjestelmän vaatimuksiin. Suurin potentiaali CHP-voimalaitoksen kannalta akustolla on reservimarkkinat, kuten aiemmassa laskelmassa on käyty lävitse. Akuston sijoittaminen suoraan CHP-voimalaitoksen omakäyttösähkölaitteistoon vaikuttaa myös positiivisesti sähkön tuotannon siirtomaksuihin, siirtomaksua ei tarvitse maksaa, koska toimitaan laitoksen sisäisessä sähkölaitteistossa. Siirtomaksu määräytyy vasta valtakunnan verkkoon luovutetun sähkön määrämittauksen mukaisesti.

6. Ympäristövaikutukset

Akkujen elinkaaren ympäristövaikutukset ovat hyvin laaja-alaisia ja niiden vaikutuksia ei todennäköisesti aina osta ottaa huomioon niin kutsutun elinkaarimallin mukaisesti.

Akkujen raaka-aineiden louhinta ei ole helppoa, eikä se ole ympäristön kannalta ongelmatonta. Litium, koboltti, nikkeli ja grafiitti ovat yleisiä akkumateriaaleja. Näiden maametallien louhinta ja kaivostoiminta aiheuttaa maaperän köyhtymistä, vesistöjen saastumista, metsäkatoa, ja erityisesti nämä haasteet nousevat tapetille kehittyvissä maissa. Kehittyvien maiden lainsäädäntö ei saata olla kunnossa, eikä myöskään vastuullisuuteen kiinnitetä huomiota. Lisäksi järjestäytynyt rikollisuus on kiinnostunut erilaisista materiaalibisneksistä ympäri maailmaa. Erityisesti koboltin tuotanto Kongossa on herättänyt huolta sosiaalisista ja eettisistä ongelmista, kuten lapsityövoimasta.

Akkujen valmistus on energiaintensiivistä. Mikäli akkujen valmistamiseen tarvittava energia tulee fossiilisista energialähteistä akkujen hiilijalanjälki kasvaa merkittävästi. Akkujen valmistus ja jalostus voivat muodostaa jopa 65–85 % akun kokonaispäästöistä.

Akkujen komponentit ja valmiit akut kuljetetaan usein pitkiä matkoja maailman merillä, mikä lisää akkujen elinkaaripäästöjä ja ympäristökuormitusta. Akkujen kuljetuspäästöt voivat vastata noin 5 % akun elinkaaren kokonaispäästöistä.

Käytön aikana akut eivät tuota suoria päästöjä, mutta akkujen lataamisessa syntyvät lämpöhäviöt ja lataus–purkaussyklit vaikuttavat energiankulutukseen ja sitä kautta energiatehokkuuteen. Akkujen käyttöikä ja purkaussyvyys (DoD) vaikuttavat siihen, kuinka kauan akku kestää suunnitellussa käyttökohteessa käytössä.

Akut sisältävät myrkyllisiä ja vaarallisia aineita, jotka voivat saastuttaa ympäristöä. Akkujen oikeanlainen käyttö ja käytöstä poistaminen ja jälkikäsittely ovatkin ehdottoman tärkeitä, jottei akkujen haitalliset ja myrkylliset ainesosat joudu ympäristöön. Lisäksi oikeinlainen jatkokäsittely voi kierrättää akkumetalleja uudelleen. Akkujen loppukäsittely voi aiheuttaa noin 10–30 % akun kokonaispäästöistä.

Tulevaisuudessa kierrätysmateriaalien käyttö ja hydrometallurginen prosessointi vähentävät ympäristövaikutuksia akkujen valmistuksen osalta. Akkujen elinkaarianalyysi on yleistymässä akkujen suunnittelussa ja hankinnassa, jotta akkujen ympäristövaikutukset osataan ottaa huomioon esimerkiksi päästöjen ja investointikustannuksien vertailussa. (Vattenfall 2023.)

Lyjyakkujen kierrätysaste on tilastojen mukaan Euroopassa jopa 98 %. NiMH-akkujen kierrätysprosessissa erotellaan arvokkaat maametallit, joita ovat nikkeli ja koboltti. Li-ion-akkujen kierrätys on vielä huonoa. (Kittilä, Joona 2022). Esimerkiksi litiumioniakkujen kierrätyksestä aiheutuvia kustannuksia ei suoraan ole kirjallisuudessa kerrottu, ainakaan tasolla €/MWh, mutta akustojen kierrätyksestä, ei aiheudu merkittäviä kustannuksia, koska akkumateriaalit pystytään kierrättämään uudelleen ja niiden arvometalleista saa nykyisin jopa rahaa akunpainon mukaan. Erityisesti lyijyakkujen kohdalla käytetystä akusta saa hyvityksen. Sähköautojen ajoakkujen käytöstäpoistokustannuksia on esitetty ainakin yksi hinta, joka on syksyn 2025 hintatasolla alle 5 €/kg. (Autokierrätys 2025.)

6.1 CHP-voimalaitoksen ympäristövaikutukset

Polttoaineperäiset päästöt CHP-voimalaitoksella edustavat suurinta osaa CHP-voimalaitoksen ympäristökuormituksesta. Fossiiliset polttoaineet kuten (maakaasu, kivihiili, turve) aiheuttavat merkittäviä hiilidioksidipäästöjä. Biopolttoaineet (puuhake, kuori, metsätähdehake, teollisuuden sivujakeet, biokaasu) voivat olla hiilineutraaleja, mutta niiden tuotanto voi vaikuttaa maankäyttöön ja biodiversiteettiin.

Ilmansaastepäästöjä syntyy myös typen oksideista (NO_x), rikkidioksidista (SO_2) ja pienhiukkasista, jotka vaikuttavat ilmanlaatuun. Näitä edellä mainittuja päästöjä voidaan hallita ja alentaa nykytekniikan voiman. Lisäksi kaikilla CHP-voimalaitoksilla on ympäristölupa ja

ympäristöluvassa on määritelty sallitut raja-arvot päästökomponenteille. CHP-laitos tuottaa vähemmän CO_2 päästöjä tuotettua MWh kohden, kuin erillinen sähkön- ja lämmöntuotanto.

CHP-voimalaitoksen prosessit vaatimet raakavettä, josta valmistetaan voimalaitoksella prosessivettä. Prosessiveden lisäksi voimalaitokset tarvitsevat jäähdytysvettä, mikä voi vaikuttaa paikallisiin vesistöihin mm. lämpenemisenä. Jäähdytysveden lämpökuorma voi nostaa vesistön lämpötilaa ja vaikuttaa sitä kautta ekosysteemiin.

CHP-voimalaitoksen turbiinit generaattori ja polttoaineen käsittely voivat aiheuttaa suurinta jatkuvaa melua ja tärinää voimalaitoksen välittömässä ympäristössä.

Kiinteitä polttoaineita käytettäessä CHP-voimalaitokselta syntyy tuhkaa ja kuonaa, jotka vaativat usein jatkokäsittelyä ja loppusijoitusta. Käytettävät polttoaineet vaikuttavat syntyvän tuhkan laatuun ja sitä kautta vaikuttavat loppukäyttömahdollisuuksiin ja kustannuksiin. Biopolttoaineiden tuhka sisältää ravinteita, mutta lisäksi tuhka voi sisältää myös raskasmetalleja. Raskasmetallit yms. komponentit voivat olla esteistä esimerkiksi tuhkien lannoitekäytölle.

CHP-voimalaitoksen eduksi tai mahdollisimman positiivisiksi ympäristövaikutuksiksi voidaan lukea muun muassa se, että CHP-voimalaitoksella saavutetaan korkea hyötysuhde. CHP-voimalaitos voi saavuttaa jopa 80–90 % hyötysuhteen (Huhtinen et al. 2000.), mikä vähentää polttoaineen tarvetta verrattuna esimerkiksi lämmön- ja sähkön erillistuotantoon. CHP-voimalaitoksen tuotanto tehdään lähellä kaupunkia, jolloin voimalaitokselta siirrettävä energia saadaan siirrettyä pienemmällä lämpöhäviöille.

CHP-voimalaitoksien polttoainevalikoima on monesti modifioitavissa suhteellisen helposti, ainakin teknisessä mielessä. CHP-laitos voidaan muuntaa käyttämään biokaasua, puupohjaisia polttoaineita tai jopa vetyä.

CHP-laitosten ympäristövaikutuksia voidaan vähentää vielä lisää investoimalla lämmöntalteenottoratkaisuihin, lämpöpumpputekniikkaan ja hiilidioksidin talteenottoon (CCS) (Valmet 2025.) ja etsimällä uusia soveltuvia polttoaineita. (Tilastokeskus 2023.)

7. Tulevaisuuden näkymät

CHP-voimalaitoksien rooli sähkön- ja lämmön tuotannossa tulee vähenemään. Tähän vaikuttaa uusiutuvien energialähteiden tarjonnan lisääntyminen markkinoilla, hukkalämpöjen hyödyntäminen, lämpöpumpputeknologian kehitys, energiansäästötoimenpiteet, rakennuskannan uudistuminen, lämpövarastojen ja energiaintensiivisen teollisuuden tuotannon väheneminen Suomessa. Ydinvoiman tuotanto on myös Suomessa noussut merkittävästi Olkiluoto 3:n valmistuttua. CHP-voimalaitoksien haasteita on paljon. Kriittisempinä vaikuttumina esimerkiksi: polttoaineenhinta, polttoaineen kestävyyskriteerit, päästökauppa, turpeen alasajo, polttamisen hyväksyttävyys, ilmastonmuutoksen aiheuttamat muutokset Suomen ilmastossa. CHP-voimalaitosten kilpailukykyä voidaan toki parantaa uusilla teknisillä investoinneilla, mutta onko investointeihin halukkuutta epävarman tulevaisuuden takia. CHP-voimalaitoksen energiatehokkuutta ja kustannuskilpailukykyä voidaan nostaa esimerkiksi savukaasupesurilla, johon on integroitu lämpöpumppu. CHP-voimalaitokselle voidaan myös investoida sähkökattilaan, jolla voidaan operoida CHP-voimalaitoksen minimitehoajoja. Sähkömarkkinoiden osalta CHP-voimalaitos voi optimoida sähköntuotantoaan sähkömarkkinoita vasten, mikäli voimalaitos on varustettu joko lauhdeturbiinilla tai apulauhduttimella. Toki tuolloin sähköntuotannon rajakustannushinta kohoaa, koska rakennusaste sähköntuotantoon heikkenee, kun siirrytään puhtaasta vastapainetuotannosta osittaiseen tai kokonaan lauhdetuotantoon. Puhtaan vastapainesähkön tuotantokustannus saadaan laskettua, kun tiedetään polttoaineenhinta, kattilan höyrytehokerroin, kattilan hyötysuhde ja sähköntuotannon hyötysuhde. Sähköntuotannossa häviöitä tulee magnetointihäviöistä ja lämmönjohtumisesta. Generaattorin hyötysuhde on kuitenkin nykyaikaisilla generaattoreilla korkea jopa 99 %. (Raiko 1991.)

7.1 Akkutegnologian kehitys ja innovaatiot

Vuoden 2025 keväällä on julkaista uutinen, että japanilaiset tutkijat ovat pystyneet kehittämään uraaniakun. Tämä voi olla todella mielenkiintoinen ratkaisu tulevaisuuden

energianvarastointitarpeita silmällä pitäen. Uraaniakun syklien kestävyys on todella mielenkiitoista. Nähtäväksi jää miten tuo mahdollisuus kehittyy. (World Nuclear News 2025.)

Akkuteknologia kehittynee ja muuttunee nopeasti, koska liikenteen sähköistyminen, uusiutuvan energian varastointi, teollisuuden ja valtioiden päästövähennystavoitteet asettavat tavoitteita etenevissä määrin fossiilisista polttoaineista luopumiselle. Akkujen ja akkutekniikan hinnat laskevat, akkujen energiatiheys kasvaa ja kierrätys tulee paranemaan. (Vattenfall 2023; VTT 2025.)

Litiumioni on vielä pitkään valtateknologia, mutta sen sisällä tapahtuu isoja hyppäyksiä. Koboltista siirrytään kohti korkean nikkelin katodeja ja koboltittomia kemioita (kuten LFP/LMFP) kustannusten, saatavuuden ja vastuullisuuden parantamiseksi. Tämä on ollut keskeinen tekijä hinnanlaskussa viime vuosikymmenellä. Pii-anodit lisäävät energiatiheyttä, mutta vaativat edistynyttä side- ja valmistustekniikkaa kestävyyden varmistamiseksi.

Parempi lämpötilanhallinta ja ohjelmistopohjainen akkujenhallinta pidentävät käyttöikää ja parantavat turvallisuutta. Paloturvallisuudella on hyvin merkityksellinen asia päätettäessä ja rakennettaessa akkuvarastoja esimerkiksi pohjavesialueelle. Pohjavesien ja ympäristönsuojelu tulee huomioita tulevaisuudessa nykyistä paremmin.

Henkilöautojen lisäksi sähköistyminen etenee raskaassa kalustossa, työkoneissa ja meriliikenteessä; hyödyt ovat energiatehokkuudessa, käyttökokemuksessa ja kokonaiskustannuksissa. Akku on yhä suuri osa ajoneuvon hintaa, joten kemiat ja valmistusprosessit, jotka leikkaavat €/kWh, voittavat markkinaa. Suomessa ja laajemmin Pohjois-Euroopassa rakennetaan akkuklusteria tutkimuksesta tuotantoon ja kierrätykseen. Kansalliset strategiat ja osaamisen vahvistaminen tukevat sijoittumista arvoketjussa erityisesti materiaaleissa, testauksessa, ohjelmistoissa ja kestävissä tuotantoprosesseissa. (Vattenfall 2023.) (Lapin AMK 2023.)

Elisa Oyj on tuonut suomessa markkinoille Kotiakun. Elisa Kotiakku on kotitalouksille suunnattu älykkään energian varastointiratkaisu, joka auttaa säästämään sähkökuluissa ja pienentämään hiilijalanjälkeä. Periaate tässäkin akkujärjestelmässä on, että akku lataa sähköä edullisina tunteina ja purkaa sitä kalliimpina sähkötunteina. Tässä Kotiakkuratkaisussa esimerkiksi aurinkopaneelien ylijäämäsähkö ladataan talteen ja puretaan käyttöön myöhemmin. Elisan mainostamassa kotiakkulaitteistossa akkukapasiteetti on 14–28 kWh.

Akkutakuu on 15 vuotta. Akun hinta ilmoitetaan olevan alkaen 6 299 € + asennus (1 999 €, josta 1 500 € kotitalousvähennykseen.) (Elisa Oyj 2025.)

Alla taulukossa teoreettinen arvioitu kuukausihyöty 21 kWh akustolla ja oletuksella, että kiinteistössä on aurinkopaneelit.

Taulukko 5. Elisan Oyj kotiakun säästöt (Oma arvio.)

Säästön lähde	Arvio/kk
Edullisen sähkön käyttö/varastointi	22 €
Akkureservi-korvaus	50 €
Aurinkosähkön varastointi	18 €
Yhteensä	90 €/kk

Lasketaan seuraavassa edellä mainittujen oletusten mukaisilla arvoilla hieman takaisinmaksuaikaa Elisan Kotiakulle.

Taulukko 6. Oletukset kustannuslaskentaan (Oma arvio.)

Sähkön säästö 10 kWh/*d* × 13,29 snt/kWh = 1,33 €/*d*
Kuukausisäästö sähkön hinnalla: 1,33 € × 30 *d* = 39,90 €/kk
Akkureservi-korvaus: 50 €/kk (voimassa vuoteen 2026)
Yhteensä säästö/kk*:* 39,90 € + 50 € = 89,90 €/kk
*Investointik*ustannus 6 299 € *akustolle ja a*sennus kotitalousvähennyksen jälkeen 499 €
Yhteensä: 6 798 €

Takaisinmaksuaika ilman korkokustannuksia, akkureservihuomioituna:

6798 €/89,90 €/kk≈75,6 kk ≈ 6 vuotta ja 4 kuukautta

Akkureservin päättymisen myötä säästö jää pelkkään sähkön hinnan optimointiin:

Kuukausisäästö on tällöin: ~39,90 €/kk

Investoinnin takaisinmaksuaika kasvaa em. oletuksilla 8,2 vuoteen, kun huomioidaan korkokanta. Investointi on kannattava.

Taulukko 7. Kotiakun investointilaskelma 5 % korkokannalla.

Kotiakun investointilaskelma			*Korkokanta*		
			5 %		
Vuosi	*Hankintameno*	*Vuosisäästöt*	*Diskonttaustekijä*	*Säästön nykyarvo*	*Kumulatiivinen diskontattu nettokassavirta €*
0	*-6 800*			*-6 800*	*-6800*
1		*1 080*	*0,9524*	*1 029*	*-5 771*
2		*1 080*	*0,9070*	*980*	*-4 792*
3		*1 080*	*0,8638*	*933*	*-3 859*
4		*1 080*	*0,8227*	*889*	*-2 970*
5		*1 080*	*0,7835*	*846*	*-2 124*
6		*1 080*	*0,7462*	*806*	*-1 318*
7		*1 080*	*0,7107*	*768*	*-551*
8		*1 080*	*0,6768*	*731*	*180*
9		*1 080*	*0,6446*	*696*	*876*
10		*1 080*	*0,6139*	*663*	*1 539*
				8 339	
Vastaus: Investoinnin nettonykyarvo on 10 v kohdalla				***1 539 €***	

Takaisinmaksuaika ilman korkokustannuksia, ilman akkureserviä:

6798 €/39,90 €/kk≈75,6 kk ≈ 14 vuotta ja 2 kuukautta

Kevyen laskelman jälkeen voidaan todeta kotiakun kannattavuudesta, että reservikorvauksen määrä vaikuttaa takaisinmaksuaikaan merkittävästi. Mikäli reservikorvausta ei saisi, ei Kotiakkuinvestointi vaikuta kannattavalta valituilla arvoilla.

Lasketaan vielä kannattavuus ilman reservituottoja sisäisellä korkokannalla 5 %.

Investoinnin takaisinmaksuaika kasvaa em. oletuksilla 26,2 vuoteen, kun huomioidaan korkokanta. Investointi ei ole kannattava 5 % tuottovaatimuksella.

Taulukko 8. Kotiakun investointilaskelma 5 % korkokannalla, ilman reservituottoja.

Kotiakun investointilaskelma			*Korkokanta*		
			5 %		
Vuosi	*Hankinta-meno*	*Vuo-sisäästöt*	*Diskonttaus-tekijä*	*Säästön nykyarvo*	*Kumulatiivinen diskontattu netto-kassavirta €*
0	*-6 800*			*-6 800*	*-6800*
1		*480*	*0,9524*	*457*	*-6 343*
2		*480*	*0,9070*	*435*	*-5 907*
3		*480*	*0,8638*	*415*	*-5 493*
4		*480*	*0,8227*	*395*	*-5 098*
5		*480*	*0,7835*	*376*	*-4 722*
6		*480*	*0,7462*	*358*	*-4 364*
7		*480*	*0,7107*	*341*	*-4 023*
8		*480*	*0,6768*	*325*	*-3 698*
9		*480*	*0,6446*	*309*	*-3 388*
10		*480*	*0,6139*	*295*	*-3 094*
Vastaus: Investoinnin nettonykyarvo on 10 v kohdalla				***- 3 094 €***	

7.3 Tutkimus ja kehitystarpeet

Akkuihin nojaava energiajärjestelmä kasvaa nopeasti ja kapasiteettia rakennetaan, kustannukset laskevat ja akkujen ohjaussovellukset monipuolistuvat. Tämä luo samanaikaisesti teknologia-, ympäristö-, talous- ja yhteiskuntatason tarpeita, jotka on syytä ratkaista kokonaisuutena. Luotettavien ja turvallisten akkuratkaisujen aikaansaamiseksi tarvitaan standardoitua tekemistä. Akustojen paloturvalliselle sijoittelulle (mm. rakennusmääräykset, etäisyydet, ilmanvaihto), sähköverkkoon liittämiselle, datan keräämiselle ja jakamiselle (kunnonvalvonta, vastuuketjut, vastuullisuus akustojen tuotanto- ja hankintaketjussa). EU-tason päästö- ja kiertotaloustavoitteet ovat vauhdittaneet kehitystä. Akustojen ja akkulaitteistojen hukkalämmön hallinta ja mahdollinen hyödyntäminen esimerkiksi kaukolämpöverkkoon, turvallinen ja maisemaan soveltuva arkkitehtuuri, laitteistojen paloturvallinen sijoittaminen, rakennusten tai konttien paloriskien tunnistaminen, maanomistajien ja yhteiskunnan tuki investoinnille. Suomessa on tunnistettu tarve tunnistaa ja arvioida riskejä sekä parantaa korkean riskin infrastruktuurin turvallisuutta.

Akkulaitteistojen ja käytettävyys ja sen kehittäminen kohti ennustavaa ja ennakoivaa kunnossapitoa esimerkiksi SoH/SoC-mallinnus, syklisen ikääntymisen hallinta, datan analysointi. Materiaalikehitys ja koboltista irtautuminen ovat olleet keskeisiä kustannusajureita, mikä tukee akkuvarastojen yleistymistä ja kilpailukykyä. (Lapin AMK, internetlähde.)

Uusien teknologioiden kohdalla tutkimus kohdistuu orgaanisiin, biomassoista johdettuihin materiaaleihin ja muihin vaihtoehtoihin, jotka voivat vähentää kriittisten metallien tarvetta sekä parantaa turvallisuutta ja latausnopeutta. Esimerkiksi StoraEnso on tutkinut ligniinipohjaisia ratkaisuja korvaamaan perinteistä graffitia akkujen anodeissa. Ligniini on selluntuotannon sivuvirta, joten raaka-aine on uusiutuvaa, eurooppalaista ja saatavilla nykyisistä prosesseista ilman lisähakkuuta. Tavoitteena on skaalata materiaalin valmistus teolliseen mittakaavaan ja tarjota vastuullinen, korkeasuorituskykyinen anodivaihtoehto litiumioni- ja natriumioniakuille (Stora Enso .)

Sopimus- ja vastuumallit pitää rakentaa ja sopia paikallisten maanomistajien ja yhteisöjen kanssa. Tähän voidaan toki soveltaa olemassa olevia lakeja ja asetuksia. Toki akkuvarastoterminä ei saata olla kovinkaan tarkkaan vielä tunnistettu lainsäädännössä. Pitkäaikaiset maanvuokra- tai yhteistyösopimukset tarvitaan investoinnin turvaksi. Sopimuksissa määritellään ylläpito, vastuu vahingoista, purkukustannukset ja kierrätysvelvoitteet. Tarvitaan

standardoituja mallipohjia ja vakuutuskäytäntöjä, jotka huomioivat akkujen aiheuttamia mahdollisia taloudellisia ja ympäristöriskejä.

8. Pohjolan Voima Oyj

Pohjolan Voima on yksi Suomen suurimmista energiayhtiöistä. Yhtiö tuottaa sähköä ja lämpöä omakustannushintaan osakkailleen, jotka ovat kotimaisia teollisuus- ja energiayrityksiä. Sen osuus Suomessa tuotetusta sähköstä on noin 20 %, ja tuotanto perustuu toimitusvarmaan, säädettävään vesi-, lämpö- ja ydinvoimaan. Pohjolan Voima Oyj omistaa Teollisuuden Voima Oyj:stä 58,5 % ja tätä kautta hallinnoi omistusta ydinvoiman tuotannossa yhdessä muiden omistajien kanssa. Lämmöntuotantoyhtiöt ovat Kaukaan Voima Oy, Kymin Voima Oy, Rauman Biovoima Oy ja Porin Prosessivoima Oy.

Yhtiön strategiana on “tuottaa ratkaisevaa voimaa kilpailukyvyn vahvistamiseksi ja huomisen parhaaksi”, luoden samalla työtä ja hyvinvointia Suomeen. Pohjolan Voima on sitoutunut hiilineutraalisuuteen sekä luonnon monimuotoisuuden vahvistamiseen osana pitkän aikavälin kehitystään.

Pohjolan Voiman tarina alkaa vesivoimasta vuodesta 1943. Yhtiö on sittemmin laajentanut tuotantopohjaansa ja ollut mukana kehittämässä ja rakentamassa muun muassa ydinvoimaa, biovoimaa ja tuulivoimaa, mukautuen energia-alan ja yhteiskunnan muuttuviin tarpeisiin.

Pohjolan Voima Oyj tytäryhtiöineen muodostaa konsernin, jonka omistajina on laaja joukko suomalaisia teollisuus- ja energiayrityksiä. Yhtiön verkkosivuilta löytyy kuvaus hallinnosta, hallituksesta, johtoryhmästä, osakkaista sekä tytär- ja osakkuusyhtiöistä.

Pohjolan Voima Oyj:n henkilöstöviestissä henkilöstö kokee olevansa “huippuammattilaisten joukko” ja yksi Suomen innostavimmista työpaikoista. Työtä tehdään pitkäjänteisesti ja arvojen mukaisesti: taitavasti, luotettavasti ja yhdessä. (Pohjolan Voima Oyj 2025.)

8.1 Kymin Voima Oy CHP-biovoimalaitos

Kymin Voima on biovoimalaitos Kouvolan Kuusankoskella UPM Kymin tehdasalueella. Laitos on sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitos, joka tuottaa prosessihöyryä UPM Kymin

tehtaalle, kaukolämpöä KSS Energialle sekä sähköä. Noin 80 % Kouvolan kaukolämmöstä tuotetaan tällä laitoksella.

Polttoaineteho 295 MWth. Lämpöteho on 180 MW.

Voimalaitoksen nettosähköteho on 76 MWe. Voimalaitos on käyttöönotettu vuonna 2002. Voimalaitoksen käytön ja kunnossapidon hoitaa paikallisesti UPM Kymin henkilöstö.

Voimalaitoksen pääpolttoaineet ovat metsäteollisuuden sivuvirrat; yli 90 % polttoaineista on hiilidioksidineutraaleja puuperäisiä (mm. kuori ja muut puuperäiset polttoaineet). Turvetta käytetään myös polttoainevalikoimassa vara- ja huippukuormapolttoaineena. Tosin turpeen rooli on pienentynyt merkittävästi voimalaitoksen verrattuna esimerkiksi voimalaitoksen mitoitus ja suunnitteluperusteisiin verrattuna. Kymin Voima polttaa myös sellu- ja paperitehtaalla syntävän biolietteen muun biomassan mukana. Kymin Voiman vuotuinen polttoaineiden käyttö on noin 1 TWh. Kymin Voimalla on tehty viime vuosina kattavia ylläpitokorjauksia ja optimoitu energiantuotantoa vielä enemmän markkinaehtoiseksi. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että voimalaitoksen sähkön tuotantoa voidaan joko kasvattaa tai pienentää sähkömarkkinoiden kysynnän ja tarjonnan mukaan. Voimalaitokselle on rakennettu kyvykkyys osallistua myös säätösähkömarkkinoille. Voimalaitoksella ei ole käytettävissä lauhdeturbiinia, mutta voimalaitoksella on käytössä apulauhdutin ja apujäähdytin, joiden avulla voidaan tuottaa lisäsähköä ja tasapainottaa tehtaan höyryverkkoa. Lisäsähkön tuotantokustannus on toki näillä komponenteilla kalliimpaa verrattuna lauhdeturbiiniin, johtuen heikommasta rakennusasteesta.

Ympäristönsuojelutoimet Kymin Voimalla ovat nykyaikaisia. Kymin Voima on mukana energiatehokkuussopimuksen energiavaltaisen teollisuuden toimenpideohjelmassa, energian säästöpotentiaalia tarkastellaan määräajoin. Kymin Voiman kattilan biopolttoaineenpoltosta syntyvä tuhka ohjataan hyötykäyttöön.

Voimalaitoksen omistaa Kymin Voima Oy, joka on Pohjolan Voiman tytäryhtiö. Kymin Voima Oy:n toinen omistaja on KSS Energia Oy.

Kymin Voima on alueellinen toimija, sillä se kattaa merkittävän osan Kouvolan kaukolämmön tuotannosta, mikä vahvistaa toimitusvarmuutta ja hyödyntää paikallisia puupohjaisia sivuvirtoja. (Pohjolan Voima Oyj 2025.)

Kuva 11. Kymin Voima Oy voimalaitos (Pohjolan Voima Oyj 2025)

8.2 Tutkimuksessa syntynyt tausta aineisto

Diplomityö tehtiin Pohjolan Voima Oyj:n toimesta. Diplomityössä laaditut taustamateriaalit jäävät ainoastaan Pohjolan Voima Oyj:n käyttöön. Taustamateriaali on laadittu koskien Kymin Voima Oy:n voimalaitosta. Investointi- ja takaisinmaksulaskelmissa on otettu huomioon voimalaitoksen olemassa oleva sähköntuotanto, sähköntuotantoennuste, historiaan peilattu tasevirhe, sähkön siirtohinta ja tuotantoprofiili. Kustannuslaskennassa on otettu huomioon seuraavat asiat:

- Esiselvitys
- Suunnittelu-, luvitus- ja kilpailutuskustannukset
- Liityntä ja liittymäkustannukset
- Automaatio ja ICT kustannukset

- Rakennus- ja perustustyöt
- Elinkaarikustannukset
- Käytöstäpoistokustannukset.

Kannattavuutta saadaan akustolle lisättyä myös veroteknisillä ratkaisuilla. Mikäli voimalaitos voidaan kytkeä osaksi voimalaitoksen omakäyttöä, sen verokohtelu on kevyempää. (Vero 2025).

9. Johtopäätökset

9.1 Tutkimuksen johtopäätökset

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin akuston integrointia yhdistetyn sähkön ja lämmön tuotannon (CHP) laitokseen, erityisesti sen taloudellista ja operatiivista vaikutusta. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, voiko akusto parantaa laitoksen kannattavuutta, tasehallintaa ja kilpailuasemaa sähkömarkkinoilla. Tulokset osoittavat, että akuston käyttöönotolla on merkittävä potentiaali näillä osa-alueilla.

9.2 Tavoitteiden toteutuminen

Tutkimus vastasi asetettuihin tavoitteisiin suunnitellusti. Akuston avulla CHP-laitos voi optimoida sähkön tuotantoa ja toisaalta myös kulutusta, mikä parantaa tasehallintaa ja vähentää tasevirheestä aiheutuvia kustannuksia ja riskejä. Lisäksi akusto mahdollistaa osallistumisen reservimarkkinoille, mikä parantaa CHP-voimalaitoksen kustannuskilpailukykyä ja lisää laitoksen joustavuutta sähkömarkkinoilla.

9.3 Uudet löydökset ja havainnot

Yksi keskeisistä havainnoista oli, että akuston avulla laitoksen kilpailukyky paranee merkittävästi erityisesti tilanteissa, joissa sähkön hinta vaihtelee nopeasti, voimalaitoksen sähkötaseessa on virhe tai ennustelaskenta ei huomioi kaikkia muuttujia. Akusto toimii puskurina, joka mahdollistaa sähkön varastoinnin ja myynnin optimaalisella hetkellä. Tämä tuo lisäarvoa, jota perinteinen CHP-tuotanto ei yksin pysty tarjoamaan.

9.4 Laajempi yhteiskunnallinen merkitys

Tutkimuksen tulokset tukevat energiajärjestelmän siirtymää kohti hajautettua ja joustavaa tuotantoa. Akuston integrointi CHP-laitokseen edistää uusiutuvan energian hyödyntämistä ja tukee sähköverkon vakautta. Taloudellisesta näkökulmasta investointi voi olla kannattava, sillä takaisinmaksuaika jää useimmissa skenaarioissa alle 10 vuoden, mikä tekee siitä houkuttelevan myös kunnallisille ja yksityisille toimijoille.

9.5 Vertailu aiempaan tutkimukseen

Tulokset ovat linjassa aiempien tutkimusten kanssa, joissa on tutkittu ja korostettu akustojen roolia energiavarastoina ja tasepalveluiden tarjoajina. Uutta tässä työssä on CHP-laitoksen näkökulma, jossa akusto ei ole vain varasto, vaan aktiivinen osa CHP-voimalaitoksen tuotantostrategiaa.

9.6 Tutkimuksen rajoitteet

Tutkimuksen rajoitteena on mallinnuksen riippuvuus oletuksista sähkön hinnasta, reservimarkkinoiden rakenteesta ja kulloisesta reservikorvauksesta sekä laitoksen teknisistä ominaisuuksista. Todelliset tulokset voivat vaihdella markkinatilanteen ja sääntelyn mukaan.

9.7 Jatkotutkimusaiheet

Jatkossa olisi hyödyllistä tutkia akuston roolia esimerkiksi lämpövaraston rinnalla, sekä sen vaikutusta koko CHP-laitoksen energiajoustavuuteen. Lämpövarasotoilla tässä tarkoitetaan esimerkiksi perinteistä vesiakkua ja uudempaa teknologiaa edustavaa hiekka-akkua. Lisäksi voitaisiin tarkastella vielä tarkemmin erilaisia akkuteknologioita ja niiden soveltuvuutta eri kokoluokan laitoksiin. Akuston älykkäässä optimoinnissa ja ohjauksessa tunnistan jatkotutkimustarpeen. On mielenkiintoista kuvitella tekoälyn mahdollisuudet ja tehokkuuden maksimointi akkuvarastojen taloudellisessa hyödyntämisessä koko potentiaalillaan. Voimalaitoksien perinteiset automaatio- ja ohjausjärjestelmät eivät välttämättä ole kovin tehokkaita tämän kaltaisessa, nopeasti muuttuvassa ja nopeasti reagointia vaativassa markkinassa. Lisäksi automaatiojärjestelmiin liittyvien tietokantapalvelimien ja niiden konfigurointi voi osoittautua liian raskaaksi ja kalliiksi toteuttaa, jotta niitä kannattaisi hyödyntää uusissa tavoissa tuottaa lisäarvoa sähköntuotantoon ja laitoksen kilpailukykyyn. Akustojen kierrätykseen ja sen optimointiin ja uusiin prosesseihin kannattaa panostaa jatkossa, jotta esimerkiksi arvometallien talteenottoa voidaan parantaa.

Lähteet

Alfen Oy. (2025). Tietoa Alfenista. [Verkkoaineisto]. Viitattu 12.7.2025. Saatavissa: https://alfen.com/fi-fi/tietoa-alfen

Arote, S.A. (2022). Lithium-Ion and Lithium-Sulfur Batteries: Fundamentals to Performance. Bristol: IOP Publishing.

Autokierrätys Oy. (2025). Sähköauton akkujen kierrätys. [Verkkoaineisto]. Viitattu 15.10.2025. Saatavissa: https://autokierratys.fi/tietoa-auton-kierratyksesta/kierratysjarjestelma/sahkoauton-akkujen-kierratys/

Basmadjian, R. (2025). DSM Opportunities and Demand Flexibility. In: Demand-Side Energy and Power Management in Data Centers. Lecture Notes in Energy, vol 1. Cham: Springer. Saatavissa: https://doi.org/10.1007/978-3-031-85956-4_4

Bertuol, D.A., Bernardes, A.M. & Tenório, J.A.S. (2009). Spent NiMH Batteries—The Role of Selective Precipitation in the Recovery of Valuable Metals. Journal of Power Sources, 193(2), 914–923.

Copilot. (2025). Tekoälykuva akkuvarastosta. [Verkkoaineisto]. Viitattu 16.10.2025. Saatavissa: https://www.copilot.com/

Elisa Oyj. (2025). Kotiakku. [Verkkoaineisto]. Viitattu 2.9.2025. Saatavissa: https://elisa.fi/kotiakku/

Energiavirasto. (2025). Toimitusvarmuus – Excel-tiedosto. [Verkkoaineisto]. Viitattu 12.7.2025. Saatavissa: https://energiavirasto.fi/toimitusvarmuus

Energiateollisuus. (2025). Sähkövuosi 2023 – puhdas sähköntuotanto kasvoi. [Verkkoaineisto]. Viitattu 12.7.2025. Saatavissa: https://energia.fi/tiedotteet/sahkovuosi-2023-puhdas-sahkontuotanto-kasvoi-paastot-ja-hinnat-romahtivat/

Energiateollisuus Ry. (2025). Suomen energiantuotanto CHP. [Verkkoaineisto]. Viitattu 25.8.2025. Saatavissa: https://energia.fi/en/energy-sector-in-finland/energy-production/combined-heat-and-power-generation/

Energy Opticon. (2025). Energy Optima 3. [Verkkoaineisto]. Viitattu 2.7.2025. Saatavissa: https://en.energyopticon.com/energy-optima-3/

Fingrid Oyj. (2025). Reservit. [Verkkoaineisto]. Viitattu 21.8.2025.

Flow Batteries Europe. (2025). Flow batteries. [Verkkoaineisto]. Viitattu 5.6.2025. Saatavissa: https://flowbatterieseurope.eu/flow-batteries/

Geotab. (2025). EV battery health. [Verkkoaineisto]. Viitattu 24.10.2025. Saatavissa: https://www.geotab.com/blog/ev-battery-health/

Huhtinen, T., Kettunen, J., Nurminen, M. & Pakkanen, T. (2000). Höyrykattilatekniikka. 5. painos. Helsinki: Edita Opetushallitus.

IRENA. (2025). Renewable power generation costs in 2024. [Verkkoaineisto]. Viitattu 23.8.2025.

International Flow Battery Forum. (2025). What is a flow battery? [Verkkoaineisto]. Viitattu 11.11.2025. Saatavissa: https://flowbatteryforum.com/what-is-a-flow-battery/

Kumar, J. et al. (2022). Recent progress in sustainable recycling of $LiFePO_4$-type lithium-ion batteries. Chemical Engineering Journal, 431.

Lapin AMK. (2023). Akkuteknologiat kehittyvät vauhdilla. [Verkkoaineisto]. Viitattu 2.9.2025. Saatavissa: https://lapinamk.fi/blogiartikkeli/akkuteknologiat-kehittyvat-vauhdilla/

Li, Z. et al. (2025). Electrolyte Design Enables Rechargeable $LiFePO_4$/Graphite Batteries from −80 °C to 80 °C. Angewandte Chemie International Edition, 64(2), e202409409.

Lithium Battery Tech. (2024). Structural composition and recycling of $LiFePO_4$ battery. [Verkkoaineisto]. Viitattu 18.9.2025. Saatavissa: https://chemistry-europe.onlinelibrary.wiley.com/doi/am-pdf/10.1002/cphc.202400459

LUT-yliopisto. (2025). Kandityö. [Verkkoaineisto]. Viitattu 24.4.2025. Saatavissa: https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/163110/Kandity%c3%b6.pdf?sequence=1&isAllowed=y

LUT-yliopisto. (2025). Diplomityö. [Verkkoaineisto]. Viitattu 24.4.2025. Saatavissa: https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/165843/Diplomityo_Joonas%20_Hareja.pdf?sequence=1

Mangani, L.R. & Villevieille, C. (2020). Mechanical vs. Chemical Stability of Sulphide-Based Solid-State Batteries. Journal of Materials Chemistry A, 8(20), 10150–10167.

Metsäteollisuus. (2022). Puuntuonti Venäjältä loppuu. [Verkkoaineisto]. Viitattu 12.7.2025. Saatavissa: https://metsateollisuus.fi/uutishuone/puuntuonti-venajalta-loppuu-mista-korvaava-puuraaka-aine/

Origotek. (2025). Battery lifecycle. [Verkkoaineisto]. Viitattu 18.9.2025. Saatavissa: https://www.origotek.com/fi/blog/understanding-lithium-battery-cycle-life-and-its-impact-on-energy-storage

Pohjolan Voima. (2025). Tietoa meistä. [Verkkoaineisto]. Viitattu 2.9.2025. Saatavissa: https://www.pohjolanvoima.fi/tietoa-meista/

Raiko, M. (1991). Voimalaitoksen hyötysuhteeseen vaikuttavat tekijät. Helsinki: Imatran Voima.

Safety Partners. (2025). Litiumioniakkupalot osa 2 – miten litiumioniakkupalo sammutetaan? [Verkkoaineisto]. Viitattu 24.4.2025. Saatavissa: https://safetypartners.fi/litiumioniakkupalot-osa-2-miten-litiumioniakkupalo-sammutetaan/

Sahkoa.io (2025). Tilastot. [Verkkoaineisto]. Viitattu 15.10.2025. Saatavissa: https://www.sahkoa.io/stats.php

Stora Enso. (2025). Lignode – uusiutuvat akkumateriaalit. [Verkkoaineisto]. Viitattu 2.9.2025. Saatavissa: https://www.storaenso.com/fi-fi/products/lignin/lignode

Tampereen yliopisto. (2025). Diplomityö. [Verkkoaineisto]. Viitattu 8.7.2025. Saatavissa: https://trepo.tuni.fi/handle/10024/151794

Tampereen yliopisto. (2025). Diplomityö – Laukkanen Juuso. [Verkkoaineisto]. Viitattu 9.10.2025. Saatavissa: https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/151794/Laukkanen-Juuso.pdf?sequence=5

Tampereen yliopisto. (2025). Diplomityö – Kittilä Joona. [Verkkoaineisto]. Viitattu 1.11.2025. Saatavissa: https://trepo.tuni.fi/handle/10024/139416

Tekniikka & Talous. (2025). Uusi virtausakku voi ratkaista aurinko- ja tuulisähkön suurimman ongelman. [Verkkoaineisto]. Viitattu 5.6.2025.

Tilastokeskus. (2023). Suomi lukuina – energia. [Verkkoaineisto]. Viitattu 12.7.2025. Saatavissa: https://stat.fi/media/uploads/tup/suoluk/suomilukuina_tau_ene001.xlsx

Tilastokeskus. (2023). Fossiilisten polttoaineiden kulutus väheni 10 % vuonna 2023. [Verkkoaineisto]. Viitattu 12.7.2025. Saatavissa: https://stat.fi/julkaisu/cln2znlq68j1x0cut6ssrz1xp

Tilastokeskus. (2023). Energy. [Verkkoaineisto]. Viitattu 27.8.2025. Saatavissa: https://stat.fi/til/ene/index.html

Turun yliopisto. (2025). Tutkijat kehittivät uudenlaisia virtausakkumateriaaleja. [Verkkoaineisto]. Viitattu 5.6.2025. Saatavissa: https://www.utu.fi/fi/ajankohtaista/uutinen/turun-yliopiston-tutkijat-kehittivat-uudenlaisia-virtausakkumateriaaleja

Uusi Suomi. (2025). Sähköä säiliöön – virtausakut. [Verkkoaineisto]. Viitattu 5.6.2025. Saatavissa: https://puheenvuoro.uusisuomi.fi/kh/sahkoa-sailioon-virtausakut/

Valmet. (2025). Advanced automation for efficient carbon capture. [Verkkoaineisto]. Viitattu 27.8.2025. Saatavissa: https://www.valmet.com/carbon-capture

Vattenfall. (2023). Ei kannata taistella hiiltä vastaan hiilellä. [Verkkoaineisto]. Viitattu 27.8.2025. Saatavissa: https://energyplaza.vattenfall.fi/blogi/ei-kannata-taistella-hiilta-vastaan-hiilella

Vattenfall. (2023). Akkuteknologian ennätysnopean kehityksen syyt. [Verkkoaineisto]. Viitattu 2.9.2025. Saatavissa: https://energyplaza.vattenfall.fi/blogi/akkuteknologian-ennatysnopean-kehityksen-syyt

Verohallinto. (2025). Energiaverotus. [Verkkoaineisto]. Viitattu 28.9.2025. Saatavissa: https://www.vero.fi/syventavat-vero-ohjeet/ohje-hakusivu/56206/energiaverotus4/

VTT. (2025). Akkuteknologiat. [Verkkoaineisto]. Viitattu 2.9.2025. Saatavissa: https://www.vttresearch.com/fi/palvelut/akkuteknologiat

World Nuclear News. (2025). Japan, Korea develop prototype nuclear batteries. [Verkkoaineisto]. Viitattu 25.8.2025. Saatavissa: https://www.world-nuclear-news.org/articles/japan-korea-develop-prototype-nuclear-batteries

YLE. (2025). Oulun Energia rakentaa sähkön akkuvaraston Toppilaan – 11 miljoonan investointi valmistuu vuoden 2026 aikana. [Verkkoaineisto]. Viitattu 12.7.2025. Saatavissa: https://yle.fi/a/74-20098379

Liite 1. Akkuvaraston investoinnin suunnittelu

Listataan ylös investointikustannuksiin vaikuttavat yksityiskohdat:

- Akkuvaraston luvitus ja suunnittelu
- Akkuvaraston sähköliittymän mitoitus ja suunnittelu
- Akkuvaraston vaatiman muuntajan mitoitus ja suunnittelu
- Akkuvaraston tonttivuokra tai tontin lunastus
- Rakennustyöt- ja perustukset
- Akuston vaikutus loistehon kompensointiin
- Akuston kaapelointikustannus
- Akuston liittäminen CHP-voimalaitoksen DCS-automaatioon
- Tiedonsiirto ja ICT asiat
- Projektin johtaminen
- Projektin käyttöönotto ja koulutus
- Projektin viimeistelytyöt.

Aloittaessa projektipohdintaa on hyvä vastata seuraaviin kysymyksiin:

Tarvitaanko asemakaavan muutosta tai suunnittelutarveratkaisua?

Onko alue rakennettavissa ja sähköverkon liitettävissä?

Onko viranomaisella erityisvaatimuksia ja millaisia tietoja luvitusta varten he odottavat.

Akkuvarasto katsotaan usein rakennukseksi tai tekniseksi tilaksi, joten rakennuslupa tarvitaan, mikäli varaston pinta-ala on yli 30 m^2 tai sille asetetaan erityisvaatimuksia teknisien seikkojen takia. Rakennusvalvonta voi myös tarpeen tullen arvioida paloturvallisuuden, rakenteet ja sijoittelun rakennuttajan toimittamien tietojen pohjalta. Litiumioniakkuihin

perustuvat varastot vaativat erityistä paloturvallisuussuunnittelua. Pelastusviranomaiset voivat vaatia riskianalyysejä ja sammutusjärjestelmiä.

Suuremmissa hankkeissa viranomainen voi vaatia YVA-menettelyä (ympäristövaikutusten arviointi) tai vastaavaa prosessia. Melu, maisema, kemikaalit, vaikutuksen pohjaveteen ja paloturvallisuus ovat keskeisiä arviointikohteita.

Akkuvaraston sähköverkkoon liittämiseen tarvitaan liittymissopimus verkkoyhtiön kanssa, mikäli voimalaitoksen olemassa olevaa liittymää ei voitaisi jostain syystä hyödyntää.

Akkuvarasto pitää rekistereidä Energiaviraston vaatimalla tavalla, kun CHP-voimalaitos osallistuu reservimarkkinoille. Akkuvaraston tulee täyttää Energiaviraston vaatimukset.