

SAVONIA



OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN ALA

LÄMPÖENERGIAN VARASTOINTI

Soveltuvuus Yara Siilinjärven voimalaitokselle

TEKIJÄ Tero Holopainen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Energiatekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä Tero Holopainen	
Työn nimi Lämpöenergian varastointi	
Päiväys	6.5.2025
	24/1
Yhteistyötaho Yara Suomi oy	
<p>Tässä työssä vertailtiin sulasuolan ja hiekan käyttöä lämpövarastomateriaalina sekä selvitettiin, millaisia konsepteja eri toimittajilla oli, jotka vastasivat Yara Siilinjärven muuttuvaa toimintaympäristöä. Samalla tarkasteltiin, kuinka tuotannonmenetyksiä ja fossiilisten polttoaineiden käyttöä voitaisiin vähentää.</p> <p>Lisäksi tehtiin esiselvitys mahdollisista laitetuimittajista sekä kartoitettiin takaisinmaksuun vaikuttavia tekijöitä, jotka soveltuvilta osin olisi syytä huomioida investointipäätöstä tehtäessä. Työssä kerättiin kattavasti tietoa tekniikoista ja investointikustannuksista, jotka voisivat soveltua Siilinjärven toimintaympäristöön.</p> <p>Näiden tietojen pohjalta laadittiin Decision Gate 1 (DG1) -tason esiselvitys. Johtopäätöksenä todettiin, että lämpöenergiavarasto olisi erittäin käyttökelpoinen vaihtoehto apukattilan korvaamiseen sekä tuotannonmenetyksien vähentämiseen. Lisäksi alas-säätömarkkinoille osallistuminen nähtiin potentiaalisena tulonlähteenä, joka voisi lyhentää takaisinmaksuaikaa merkittävästi.</p> <p>Lopuksi esitettiin lämmin kiitos Yara Siilinjärven henkilöstölle, joiden kanssa työskentely sujui sujuvasti ja rakentavassa hengessä koko prosessin ajan.</p>	
Avainsanat Lämpöenergianvarastointi, Hiekka, Sulasuola, TES	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	3
1.1	Opinnäytetyön tilaaja.....	3
1.2	Opinnäytetyön tavoite.....	4
1.3	Akkuteknologian rajaukset	4
2	TEORIA.....	5
2.1	Sulasuola lämpöenergiavarasto materiaalina	7
2.2	Hiekka lämpöenergiavarasto materiaalina	9
2.3	Tekniikoiden vertailu.....	10
3	LÄMPÖENERGIAN TUOTANTO	11
3.1	Tämänhetkinen tilanne	12
3.2	Tulevaisuus höyryntuotanto	12
3.3	Apukattila.....	12
3.4	Tuotetun lämpöenergian käyttökohteet.....	13
4	LÄMPÖENERGIAVARASTO TOIMITTAJAT	14
4.1	Kyoto Heatcube.....	14
4.2	Elstor	14
4.3	Polar Nigth Energy	14
5	HANKKEEN KANNATTAVUUS	16
5.1	Säätömarkkinat	16
5.2	Energiatuki	19
5.2.1	Työ- ja elinkeinoministeriön	19
5.2.2	Business Finland.....	19
5.3	Elinkaarikustannuksen määrittäminen.	20
6	YHTEENVETO	21
6.1	Pohdinta	21
6.2	Suosituksat ja jatkotutkimuksen aiheet	22
6.3	Vaikutukset imagoon.....	22
	LÄHTEET	23

KUVALUETTELO

Kuva 1. Siilinjärven tehtaiden tuotantoketju. (Yara-SVI esittelymateriaali.2025.)	3
Kuva 2. Yksinkertainen kuvaus lämpövaraston toiminnasta. (Kyoto Heatcube. 2025)	8
Kuva 3. Havainnekuva hiekalla täytetyn lämpövaraston toiminnasta. (Polar Nigth Energy.2025).....	10
Kuva 4. Energia virrat Siilinjärven toimipaikalla. (Yara-SVI-esitysmateriaali. 2025)	11
Kuva 5. Reservituottolaskuri. (Fingrid. 2025.)	17
Kuva 6. Toteutuneet keskihinnat. (Fingrid. 2025).....	18

LYHENTEEN

DG, Decision Gate

THT, Typpihappotehdas

RC, Rikinpolttolaitos

SA1, Uusi rikinpolttolaitos sekä sen projektista käytettävä lyhenne.

Pas, Pasutto

1 JOHDANTO

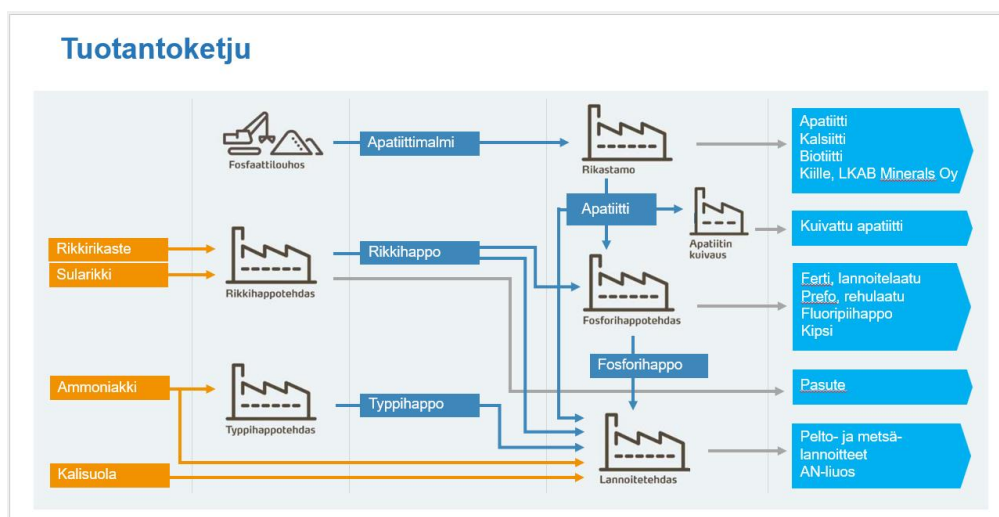
Tämän työn tilaajana toimii Yara Suomi oy Siilinjärvi. Työn tarkoituksena on selvittää energianvarastoinnin hyötyjä Siilinjärven tehtailla sekä luoda DG1 (Decision Gate 1) tasoinen esiselvitys lämpöenergianvarastojen toimittajista.

Tässä työssä keskitytään lämpöenergian varastointiin, tarkemmin hiekka-akku ja sulasuola-akku teknologiaan sekä tutkitaan mahdollisuutta käyttää hukkalämpöä lämpöenergian varastointiin Siilinjärven tehtailla. Lämpöenergiavarastolla pyrittäisiin vähentämään tai jopa joissakin tilanteissa korvaamaan raskasta polttoöljyä käyttävä apukattila. (Yara SharePoint, Vuositiedot.)

Kemianteollisuus on Suomessa toiseksi eniten energiaa käyttävä teollisuuden ala. Vuonna 2023 polttoaineen kulutus kokonaisenergiankulutuksesta oli yli 2/3 energian käytöstä. Fossiilisten polttoaineiden osa on merkittävä. Fossiilisten polttoaineiden korvaaminen tai edes vähentäminen on merkittävässä osassa vihreän siirtymän onnistumisessa. Korvaavia vaihtoehtoja on monia, sähköistymisen, biopolttoaineet, energian varastointi ja niin edelleen. (Tilastokeskus 2024, Teollisuuden energian käyttö toimialoitain.)

1.1 Opinnäytetyön tilaaja

Yara on kansainvälinen yhtiö, joka valmistaa lannoitteita, ympäristönsuojelutuotteita ja teollisuuskemikaaleja. Suomessa yhtiöllä on tuotantolaitokset Siilinjärvellä, Uudessakaupungissa ja Kokkolassa. Lisäksi Nokialla toimii laitos, joissa valmistetaan kierrätyslannoitteita. Yaran vähähiiliset lannoitteet ja nykyaikaiset viljelyratkaisut tukevat merkittävästi kestäväen maatalouden kehitystä. Siilinjärven tuotantolaitoksen päätuotteita ovat lannoitteet, apatiitti ja fosforihappo (Kuva 1). Tämän lisäksi Siilinjärvellä sijaitsee EU:n ainoa fosfaattikaivos, joka tuottaa maailman puhtainta fosforia lannoitteiden ja rehufosfaattien valmistukseen. Suurin osa Siilinjärvellä valmistetuista tuotteista käytetään kotimaisessa maataloudessa, metsien lannoituksessa ja eläinrehujen valmistuksessa. Päätuotteiden lisäksi Siilinjärven tuotantolaitos tuottaa tyypillisesti yli 90 % Siilinjärven taajaman tarvitsemasta kaukolämmöstä. (Yara Siilinjärven esittelymateriaali 2025.)



Kuva 1. Siilinjärven tehtaiden tuotantoketju. (Yara-SVI esittelymateriaali.2025.)

1.2 Opinnäytetyön tavoite

Tavoitteena selvittää ja vertailla lämpöenergian varastoinnin hyödyt ja käytettävyys Yaran Siilinjärven tuotantolaitokselle. Tarkoituksena on tarkastella eri toimittajien vaihtoehtoja, joilla joko korvata kokonaan tai ainakin merkittävästi vähentää raskasta polttoöljyä käyttävän apukattilan käyntiaikaa. Työssä tullaan myös selvittämään takaisinmaksuajat sekä pystyykö käyttämään hukkalämpöä hyödyksi. Apukattilaa käytetään prosessihäiriöiden tuoman höyryvajeen korvaamiseen.

1.3 Akkuteknologian rajaukset

Tämän työ on tarkoitus tehdä Siilinjärven voimalaitokselle, joka on teollisuuden vastapainevoimalaitos ja päätehtävä on tuottaa matalapaine höyryä toimipaikan tehtaiden prosessitarpeisiin ja toimipaikan sekä viereisen Siilinjärven taajaman lämmitykseen kaukolämmöllä. Voimalaitoksen käyttöprofiilista ja tuotettavan höyryn ominaisuuksien takia tutkittavat teknologiat ovat rajattu vastaamaan tarpeita. Lämpöenergian varastointi ja varsinkin sen käyttö tulisi olemaan mahdollista sulasuola-akku sekä hiekka-akku tekniikoilla. Molemmilla tekniikoilla saadaan tuotettua joko korkeapainehöyryä tai matalapainehöyryä.

2 TEORIA

Lämpöenergian varastointi (TES, Thermal Energy Storage) on laaja-alainen käsitys, johon liittyy varastointi ja lämmön käyttö eri kohteisiin. Periaate ei ole mitään uutta ja on käytössä lähes jokaisessa kodissa lämminvesivaraan muodossa. Lämmön varastoinnin avulla voidaan tasata energiantarvetta ja parantaa energiajärjestelmien tehokkuutta. Lämmön varastointi veteen on kaikkein vanhin ja yleisin tekniikka. Lämpöä voidaan kerätä eri energialähteistä kuten auringon tuottama lämpösäteilystä, sähköverkosta, fossiilisista- ja ei fossiilisista energialähteistä, ilman puristamisesta tai teollisuuden hukkalämmön lähteistä. Lämpöä voidaan siirtää nesteellä, höyryllä tai kaasulla varastoon, josta se on käytettävissä tunteja tai viikkoja riippuen varaston koosta ja eristyksestä. Varastoitu lämpö on mahdollista käyttää rakennusten lämmitykseen kaukolämpönä, teollisuuden prosessi tarpeisiin, sähkön tuotantoon pyörittämällä turbiinia. TES-järjestelmää voi myös käyttää tasapainottamaan sähköverkkoa. Tasapainotus tehdään lataamalla lämpövarastoa sähköllä, kun sähköstä on ylituotantoa ja purkamalla lämpö rakennusten lämmitykseen tai turbiinille tuottamaan sähköä sähkön tarjonnan ollessa matala. Lämpöenergian varastoinnin pääkategoriat ovat: aistittava, latentti ja termokemiallinen varastointi. Aistittava lämpöenergian varastointi perustuu varastointimateriaalin lämpötilan nostamiseen, kun taas latentti varastointi hyödyntää materiaalin olomuodon muutoksessa vapautuvaa tai sitoutuvaa lämpöä. Termokemiallinen varastointi käyttää kemiallisia reaktioita, joissa lämpöä voidaan varastoida ja vapauttaa kontrolloidusti. Näiden teknologioiden avulla lämpöenergian varastointi tarjoaa joustavia ja tehokkaita ratkaisuja energiajärjestelmien kehittämiseen.

Aistittavan lämpöenergian varastointi tehokkuus riippuu varastointimateriaalin ominaisuuksista, erityisesti kyvystä säilyttää lämpöä. Ominaislämpökapasiteetti tarkoittaa varastointimateriaalin kykyä ottaa vastaan lämpöä suhteessa massaansa. Muut merkittävät tekijät ovat; kuinka hyvin materiaali kestää eri käyttölämpötila-alueita, eli ΔT ja materiaalin tiheys ρ . Koska ominaislämpökapasiteetti voi vaihdella eri lämpötila-alueella, varastoitu lämpöenergia saadaan laskettua integroimalla ominaislämpökapasiteetti suhteessa lämpötilaan. Laskenta kattaa käyttölämpötila-alueen alimmasta T_{low} lämpötilasta korkeimpaan T_{hi} lämpötilaan. Aistittavan lämpöenergian varastointi on yksinkertainen, mutta tehokas tapa varastoida energiaa. (Hoff 2022, Energy Storage Technologies and Applications s.123–126.)

Kiinteät materiaalit, jotka soveltuvat lämpöenergian varastointiin ovat esimerkiksi betoni, tiili, ruokasuola (NaCl) tai hiekka ja kivi. Niiden ominaislämpökapasiteetti vaihtelee 0,9–1,1 kJ/kgK (Taulukko 1.) Edellä mainitut materiaalit kestävät useiden satojen asteiden lämpötiloja. Rauta- ja teräseoksia käytetään myös vaikkakin niillä on alhaisempi lämpökapasiteetti mutta niiden korkea tiheys tekee niistä erinomaisia lämpöenergian varastointimateriaalia. Varastointimateriaalin teoreettinen tilavuusenergian tiheys saadaan laskettua sulamispisteen lämpötilan perusteella. (Hoff 2022, Energy Storage Technologies and Applications s.123–126.)

Taulukko 1. Kiinteät materiaalit. (Hoff 2022, Energy Storage Technologies and Applications)

Solid Materials	Specific Heat Range (25 °C to T_{hi}) (kJ/kg/K)	Density (kg/m ³)	Upper Temperature T_{hi} (°C)	Sensible Heat $Q_{sensible}/V$ (MJ/m ³)
Betoni	0,90-1,10	2400	500	897
NaCl	0,86-1,05	2160	1074	1178
Hiekka	0,77-1,16	1600	1000	1586
Graniitti	0,77-1,16	2650	1000	2322
MgO	0,92-1,33	3580	1200	5126
Teräs 316	0,5-0,68	8000	1427	5420
Rauta	0,45-0,65	7874	1200	6088
Graffitti	0,71-2,13	2260	2000	7970
Al ₂ O ₃	0,77-1,34	3930	1800	8437

Energian varastointi nesteeseen tuo kiinteään verrattuna kyvyn siirtää lämpöä paikasta toiseen mikä ei luonnollisesti onnistu kiinteällä materiaalilla. Nesteillä on kuitenkin yleisesti ottaen matalampi energiatiheys tilavuusyksikkö kohden (Taulukko 2). Esimerkiksi vettä, sulasuolaa ja piitä on käytetty nestemäisessä energianvarastoinnissa. (Hoff 2022, Energy Storage Technologies and Applications s.123-126.)

Taulukko 2. Nestemäiset materiaalit. (Hoff 2022, Energy Storage Technologies and Applications)

Liquid Materials	Specific Heat Range (25 °C to T_{hi}) (kJ/kg/K)	Density (kg/m ³)	Temperature Range (T_{low}/T_{hi}) (°C)	Sensible Heat per volume $Q_{sensible}/V$ (MJ/m ³)
Vesi	4,18	~1000	25/100	314
Na-0,79K metalli	0,98-0,88	867-699	25/700	482
Lämmönsiirrin öljy (Philips Heat Fluid 32)	1,90-2,88	862-688	25/288	495
Silikooniöljy (Syltherm 800)	1,6-2,3	991-547	25/400	540
Nitraatti suolat (60/40 NaNO ₃ /KNO ₃)	1,5	1905-1724	290/560	735
Na (neste)	1,3-1,25	921-783	98/700	765
Pii	0,97	2521-2199	1412/2400	2258
NaOH	2,15-2,04	1783-1446	323/1100	2603

2.1 Sulasuola lämpöenergiavarasto materiaalina

Sulasuolat ovat epäorgaanisten suolojen korkeissa lämpötiloissa sulavia ionisia yhdisteitä. Yleisimmin käytetyt sulasuolat koostuvat pääasiassa alkalimetalli- tai maa-alkalimetallisuoloista, kuten halideista, karbonaateista ja silikaateista. Tunnetaan yli 80 erilaista kationia ja yli 30 anionia, jotka voivat muodostaa sulasuolaseoksia, ja näiden yhdistelmien lukumäärä voi ylittää jopa 2400 eri variaatiota.

Viime vuosina kiinnostus sulasuolojen käyttöön lämpöenergian varastoinnissa on kasvanut merkittävästi. Syynä tähän ovat niiden hyvät lämpötekniset ominaisuudet ja suhteellisen edullinen hinta. Eri-tyisesti nitraattiseokset, kuten niin sanottu Solar Salt, ovat yleisimpiä vaihtoehtoja. Tämän seoksen koostumus on tyypillisesti 60 % NaNO_3 ja 40 % KNO_3 . Sulasuolan lämpöenergian varastointijärjestelmä koostuu useista komponenteista, kuten pumppuista, venttiileistä, mittaus- ja putkistojärjestelmistä, valvontalaitteista, sulasuolan lämmittimistä, varastosäiliöistä ja lämmönvaihtimista. Järjestelmän tarkoituksena on tasapainottaa lämmön tarjonnan ja kysynnän vaihteluita.

Sulasuolaan perustuvalla lämpövarastointitekniikalla voidaan hyödyntää aurinkoenergiaa, geotermistä lämpöä, halpaa yösähköä sekä teollisuuden hukkalämpöä ja vapauttaa energiaa tarpeen mukaan. Sulasuolan lämpövarastointitekniikka perustuu aistittavan lämmön varastointiin, jossa lämpöenergia sitoutuu sulasuolan lämpötilan vaihteluun. Materiaali säilyy nestemäisenä koko käyttölämpötila-alueen ajan, mikä mahdollistaa energian tehokkaan varastoinnin ja siirron (kuva 2). Sulasuolat ovat olleet jo pitkään käytössä teollisuudessa muun muassa lämpökäsittelyprosesseissa, ja ne tarjoavat korkean energiatehokkuuden, suuren energiatihedden sekä pitkän käyttöiän. Koska sulasuoloilla on laaja käyttölämpötila-alue, on huomioitava alempi ja ylempi lämpötilaraja.

Sulamispiste määräytyy suolaseoksen ionien koostumuksen perusteella, kun taas termodynaaminen stabiilisuus, korroosio ja muut fysikaaliset rajoitteet vaikuttavat ylärajaan. Korroosio on merkittävä turvallisuustekijä sulasuolajärjestelmien toiminnassa, ja se voi johtua kemiallisista reaktioista, epäpuhtauksista tai lämpötilaeroista.

Sulasuolajärjestelmillä on useita etuja lämpöenergian varastointiratkaisuina, esimerkiksi sulasuoloilla voidaan varastoida suuria määriä lämpöenergiaa kompaktissa tilassa (kuva 2). Laaja käyttölämpötila-alue mahdollistaa merkittävän lämpötilaeron, mikä parantaa energian varastointikykyä. Hyvä virtaavuus ja alhainen viskositeetti, jonka ansiosta sulasuolan virtausominaisuudet ovat lähes veden kaltaiset, mikä vähentää pumppauksen energiankulutusta ja painehäviöitä putkistoissa. Pitkä käyttöikä ja vakaus, jonka ansiosta sulasuolat eivät yleensä reagoi kemiallisesti varastointiprosessin aikana, ja lämpöenergia voidaan säilyttää tehokkaasti jopa viikon ajan hyvällä säiliöeristyksellä. Joidenkin sulasuolaseosten käyttöikä on yli 30 vuotta.

Sulasuolan käyttö lämpövarastossa on kustannustehokas ratkaisu koska sulasuolan varastointikustannukset kilowattituntia kohti ovat noin 33 kertaa alhaisemmat kuin sähköakkujen. Sulasuolavarastot voivat muuntaa halpaa yösähköä lämpöenergiaksi ja vapauttaa sitä esimerkiksi höyryn tuotantoon päiväaikaan, mikä tasapainottaa energiantuotantoa.

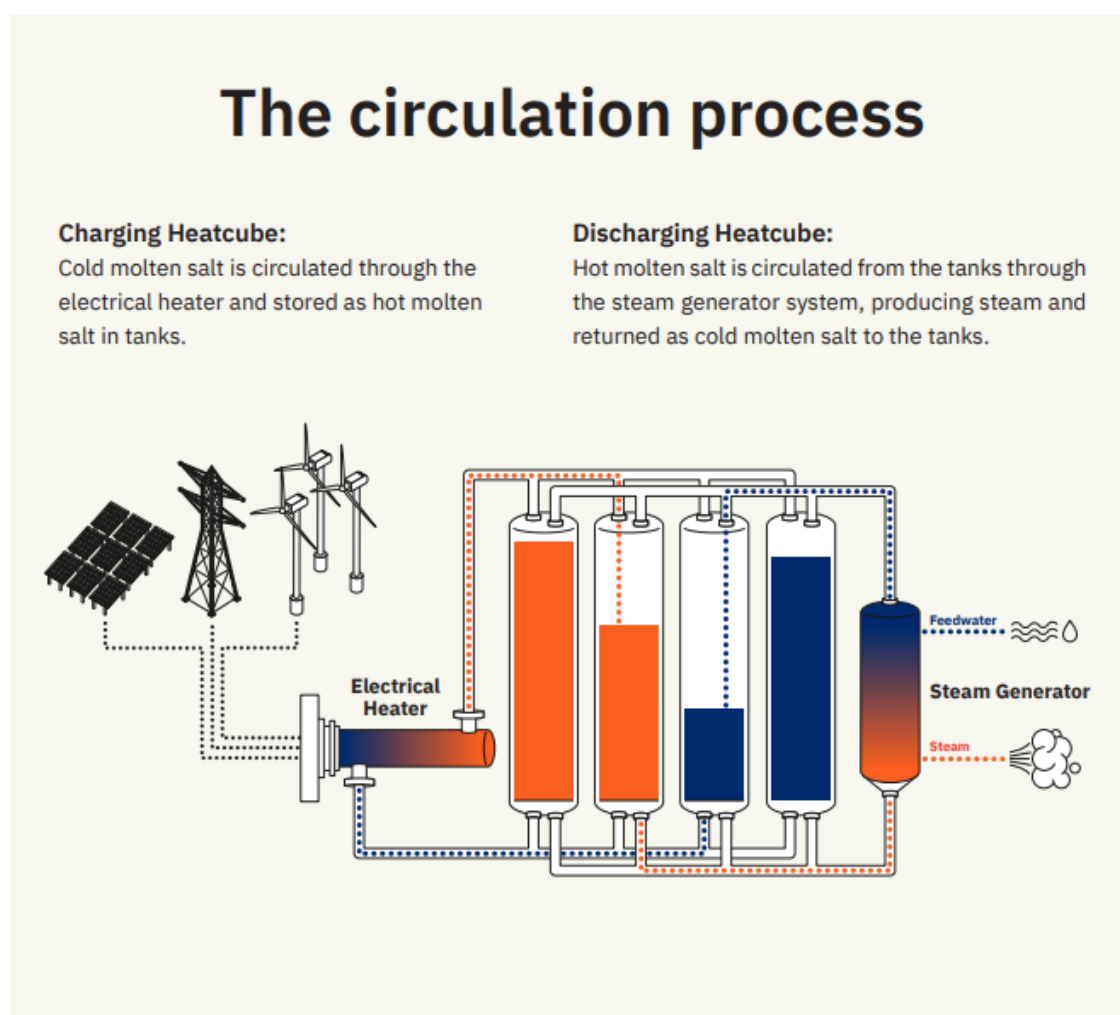
Erinomaisen lämmönjohtavuuden ansiosta sulasuolat siirtävät lämpöä tehokkaasti ja tarjoavat paremman lämmön siirtymisen nesteessä tai kaasussa kuin kiinteä lämpövarasto tai faasimuutoslämpövarasto. Tämä mahdollistaa pienemmän lämmönvaihtimen koon.

Vaikka sulasuolajärjestelmillä on monia etuja, niillä on myös haasteita, joita ovat esimerkiksi alhainen lämmönjohtavuus ja ominaislämpökapasiteetti. Korkeat käyttölämpötilat ja sulasuolan kemiallinen koostumus voivat aiheuttaa putkistojen ja säiliöiden kulumista. Tämä edellyttää korkean korroosionkestävyyden omaavia materiaaliratkaisuja.

Monet sulasuolaseokset jähmettyvät suhteellisen korkeissa lämpötiloissa, mikä lisää energiankulutusta järjestelmän sulana pitämiseksi. Sulasuolan käyttö vaatii erityisiä toimenpiteitä jäätyksen ja haitallisten lämpötilaerojen välttämiseksi.

Sulasuolavarastointitekniologia tarjoaa erinomaisia mahdollisuuksia energiatehokkuuden parantamiseen ja uusiutuvan energian hyödyntämiseen. Tulevaisuudessa sen käyttö voi laajentua erityisesti aurinkovoimaloihin, uudentyypisiin akkuteknologioihin ja sulasuolareaktoreihin, jotka voivat vähentää ympäristökuormitusta ja energiankulutusta.

Teknologian kehittämisen haasteina ovat kuitenkin materiaalien korroosionkestävyys, eristysratkaisu ja sulasuolajärjestelmien optimointi. (Chen, Xie 2022, Application Prospect Analysis of Molten Salt Energy Storage Technology.)



Kuva 2. Yksinkertainen kuvaus lämpövaraston toiminnasta. (Kyoto Heatcube 2025)

2.2 Hiekka lämpöenergiavarasto materiaalina

Hiekka on kustannustehokas ja teknisesti toimiva materiaali lämpöenergian varastointiin, ja sen käyttö on viime vuosina herättänyt laajaa kiinnostusta erityisesti teollisuuden ja energiantuotannon sovelluksissa. Hiekan hyödyntäminen lämpöenergian varastointiratkaisuna perustuu sen kykyyn sitoa ja luovuttaa lämpöä nostamalla ja laskemalla sen lämpötilaa. Lämmön varastointi voidaan toteuttaa esimerkiksi hyödyntämällä uusiutuvaa sähköä tai teollisuuden prosesseista syntyvää hukkalämpöä (Nousiainen 2023, Lämpöenergian varastointi hiekkaan.)

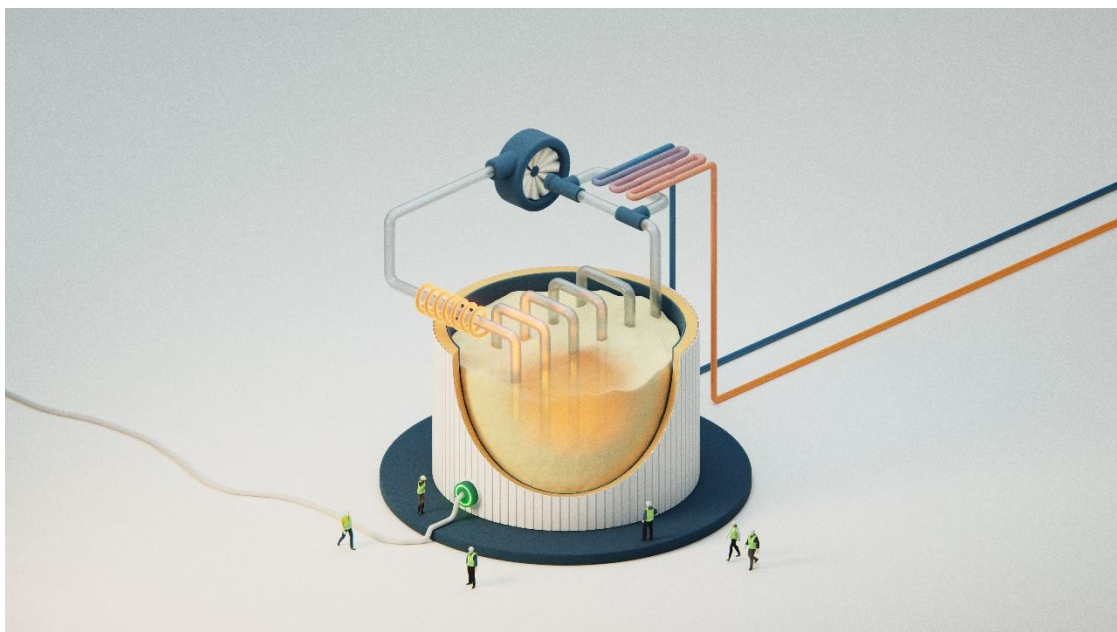
Hiekan merkittävä etu on sen korkea lämmönkestävyys. Hiekka sietää yli 600 °C lämpötiloja ilman, että sen rakenteessa tapahtuu olennaisia muutoksia (Polar Night Energy, 2024). Lisäksi hiekka on laajasti saatavilla oleva, edullinen ja kemiallisesti vakaa materiaali, mikä tekee siitä pitkäikäisen ja huoltovapaan vaihtoehdon teollisuuden lämpövarastointiin (Kuva 3). Suomessa hiekka on kotimainen luonnonvara, joten sen käyttö tukee myös paikallista materiaalikiertoa ja huoltovarmuutta (Vatajankoski 2023, Hiekka-akkua kehitetään teollisuuden tarpeisiin.)

Hiekan lämpökapasiteetti on kilpailukykyinen suhteessa moniin muihin kiinteisiin varastointimateriaaleihin. Vaikka se ei yllä sulasuolojen tasolle, hiekan saatavuus ja alhaiset kustannukset kompensoivat tätä eroa erityisesti suurimittaisissa sovelluksissa (Nousiainen 2023, Lämpöenergian varastointi hiekkaan.)

Hiekkaa hyödynnetään tyypillisesti aistilämpövarastona (sensible heat storage), jossa energia varastoituu materiaalin lämpötilan nousuna ilman olomuodon muutosta. Tällainen ratkaisu on teknisesti yksinkertainen toteuttaa ja mahdollistaa tasaisen lämmönluovutuksen koko hiekkamassasta varastoinnin purkamisen aikana (Nousiainen 2023, Lämpöenergian varastointi hiekkaan.)

Ympäristön kannalta hiekka on turvallinen valinta, sillä se ei sisällä myrkyllisiä aineita eikä sen käyttö tuota haitallisia päästöjä. Lisäksi hiekka on täysin kierrätettävissä, ja käytöstä poistetut materiaalit voidaan hyödyntää esimerkiksi maanrakennuksessa tai muissa sovelluksissa (Yle 2023, Hiekka voi olla uusi mahdollisuus varastoida energiaa.)

Kokonaisuudessaan hiekka on varteenotettava lämpövarastointimateriaali, joka yhdistää alhaiset investointikustannukset, pitkäikäisyyden ja korkean käyttölämpötilan kestävyys. Sen käyttö tukee teollisuuden pyrkimyksiä siirtyä kohti hiilineutraalia energiantuotantoa sekä parantaa tuotannon joustavuutta ja energiatehokkuutta.



Kuva 3. Havainnekuva hiekalla täytetyn lämpövaraston toiminnasta. (Polar Nigth Energy 2025)

2.3 Tekniikoiden vertailu

Lämpöenergian varastointiin soveltuvien materiaalien valinnassa huomioidaan useita tekijöitä, kuten varastointikapasiteetti, investointikustannukset, käyttöikä ja huollon tarve. Hiekka ja sulasuolat ovat molemmat tunnettuja vaihtoehtoja teollisuuden lämpövarastoissa, mutta niiden ominaisuudet ja soveltuvuus vaihtelevat. Hiekkavarastot perustuvat paikallaan olevan hiekkamassan lämmittämiseen ja jäädyttämiseen. Hiekan etuja ovat edullinen hinta, hyvä saatavuus ja yksinkertainen rakenne, joka ei vaadi monimutkaisia teknisiä ratkaisuja. Hiekka kestää korkeita lämpötiloja ja on kemiallisesti stabiili, mikä minimoi korroosioriskit. Hiekkavarasto soveltuu erityisesti suuriin järjestelmiin, joissa tilaa on runsaasti käytettävissä. Toisaalta hiekan lämmönsiirto-ominaisuudet ovat rajalliset verrattuna nestemäisiin materiaaleihin, mikä rajoittaa sen soveltuvuutta nopeasti reagoiviin prosesseihin. Sulasuolavarastot hyödyntävät epäorgaanisten suolojen kykyä varastoida lämpöä nestemäisessä olemuksessa. Sulasuolojen tärkeimpiä etuja ovat korkea energiatiheys, erinomainen lämmönsiirto ja laaja käyttölämpötila-alue. Tämä tekee sulasuoloista erityisen houkuttelevan ratkaisun, kun lämpöä tarvitaan korkeissa lämpötiloissa ja kompakti varastointi on tärkeää. Sulasuolat vaativat kuitenkin monimutkaisemman laitteiston, kuten pumput ja venttiilit, sekä erityisen huolellista materiaalivalintaa, koska sulasuolat aiheuttavat korroosiota erityisesti korkeissa lämpötiloissa. Lisäksi sulasuolat on pidettävä jatkuvasti nestemäisinä, mikä voi lisätä energiankulutusta. Tästä voidaan päätellä, että hiekka tarjoaa kustannustehokkaan ja ympäristöystävällisen ratkaisun suurten lämpövarastojen toteutukseen, kun taas sulasuolat soveltuvat paremmin kompakteihin ja korkean lämpötilan varastointiratkaisuihin.

3.1 Tämänhetkinen tilanne

Tällä hetkellä rikkihappo- ja energiantuotanto nojaa pasuttojen 1,2,3, rikinpolttolaitoksen sekä typpihappotehtailta saatavaan höyryyn. Höyryä tuotetaan yhteensä n. 131 t/h. Kattilat tuottavat höyryä seuraavilla tehoilla; Pasutto 1(Pas1); 27 MW, Pasutto 2(Pas2); 25 MW, Pasutto 3 (Pas3); 35 MW, typpihappotehdas (THT); 16 MW ja sularikinpolttolaitos (RC); 22 MW. Polttoaineenaan pasuttokattilat käyttävät Pyhäsalmen kaivokselta saatavaa pyriittiä, sularikinlaitos käyttää Nesteeltä saatavaa sularikkiä ja typpihappotehdas käyttää ammoniakkaa. (Valmet DNA 2025, trendityökalu)

3.2 Tulevaisuus höyryntuotanto

Pyhäsalmen pyriitin loppumisen takia pasutto laitokset tullaan ajamaan alas ja purkamaan vaiheittain. Ensimmäisessä vaiheessa vanhimmat, eli Pasutto 1 ja 2, puretaan ja niiden korvaajaksi rakennetaan SA1, joka käyttää sularikkiä polttoaineenaan. SA1 tulee olemaan huipputehoiltaan 82 MW, joka tarkoittaa 87 t/h tulistettua korkeapainehöyryä. Tämä tulee tapahtumaan vuoden 2026 aikana. Alustavan suunnitelman mukaan vuonna 2028 Pasutto 3 tullaan ajamaan alas tuotannosta ja RC laitoksen kattilan tehoja nostamaan 15 MW:sta lähes 26 MW, jotta saadaan katettua pasuttojen jättämä vaje. Vuodesta 2028 kokoonpano tulee alustavasti olemaan SA1, THT, RC, joiden tuottama tulistettu korkeapainehöyry määrä tulisi olemaan 132 t/h. (Yara Siilinjärven Rikkihappo- typpihappo- ja energiatuotanto 2025.)

3.3 Apukattila

Voimalaitoksella sijaitsevan apukattilan (APK) rooli on ollut minimoida prosessihäiriöistä aiheutuvia höyrymenetyksiä, jotka voisivat aiheuttaa tuotantolaitoksissa tuotantomenetyksiä sekä erityisesti talviaikaan vajetta kaukolämmön toimituksessa. Apukattila on pystykattilamallinen, raskasta polttoöljyä käyttävä, vuonna 1969 Warkauden konepajan valmistama öljypoltinkattila. Apukattilan huipputeho on 25 MW ja sillä teoriassa voidaan tuottaa tulistettua korkeapainehöyryä 27 t/h. Apukattilan käytössä on kuitenkin ongelmallista se, että nopeassa häiriötilanteessa kun apukattilaa tarvitaan turvaamaan höyryntuotantoa kattilan käynnistysaika, joka on 2,5 h ja laitteen käyttöön liittyvien ominaisuuksien takia minimi kuorma on 10 t/h (12MW) voi aiheuttaa tuotannonmenetyksiä varsinkin fosforihappotehtaalla. Toisaalta jos höyryn tarve olisi vain muutama tonni niin minimi kuormalla ajaessa voidaan tuottaa niin sanotusti hukkalämpöä koska kaikkea ei välttämättä voidakaan käyttää prosessin hyödyksi. Raskasta polttoöljyä käyttävä apukattilan käyttö lyhyessä tuotannon häiriössä tai nopeassa tuotanto katkossa on jopa epäedullista johtuen apukattilan käynnistysajasta ja minimi kuormasta johtuen. Toki jokainen tilanne on erilainen ja apukattilan käyttöä on arvioitava tapauskohtaisesti.

Fossiilisten polttoaineiden, kuten raskaan polttoöljyn, käyttö on kuitenkin ristiriidassa sekä kansallisten että kansainvälisten ilmastotavoitteiden kanssa. Raskaan polttoöljyn polton seurauksena syntyvät hiilidioksidipäästöt (CO₂) kiihdyttävät ilmastomuutosta, ja lisäksi raskaan polttoöljyn käyttö aiheuttaa paikallisia ilmanlaatuongelmia rikkidioksidi- ja hiukkaspäästöjen muodossa (Suomen ympäristökeskus 2023, Ilmanlaatu ja päästöt).

EU:n ilmasto- ja energiapolitiikan tavoitteena on saavuttaa hiilineutraalius vuoteen 2050 mennessä, mikä edellyttää fossiilisten polttoaineiden käytön merkittävää vähentämistä kaikilla sektoreilla, myös teollisuudessa (Euroopan komissio 2023, Ilmastopolitiikka ja EU:n ilmastotavoitteet).

Teollisuuden energijärjestelmissä fossiilisten polttoaineiden käytön vähentäminen on keskeinen osa hiilineutraaliustavoitteiden saavuttamista. Tässä yhteydessä lämpöenergian varastointi tarjoaa kiinnostavan vaihtoehdon apukattilan korvaamiseen. Esimerkiksi hiekka- ja sulasuolavarastot voivat varastoida hukkalämpöä tai edullisella sähköllä tuotettua lämpöenergiaa, joka voidaan tarvittaessa hyödyntää höyryntuotantoon (VTT 2023, Sähköä hiekaksi – suomalainen innovaatio tukee energiaomavaraisuutta ja vihreää siirtymää). Tällöin fossiilisen polttoaineen käyttö voidaan minimoida tai jopa poistaa kokonaan.

Raskaan polttoöljyn käytön vähentäminen parantaa yrityksen ympäristövastuullisuutta, vähentää päästöoikeuskustannuksia ja tukee yrityksen positiivista mainetta sidosryhmien silmissä. Samalla se on konkreettinen askel kohti kestävämpää ja vähäpäästöisempää teollista tuotantoa (Motiva 2023, Teollisuuden energiatehokkuus).

3.4 Tuotetun lämpöenergian käyttökohteet

Lämpöenergian käyttökohteet jakautuvat höyryn ominaisuuksien mukaan kahteen osaan. Tulistettu korkeapainehöyry soveltuu turbiineilla tuotetun sähkön valmistukseen. Tärkein tehtävä kuitenkin teollisuuden vastapainevoimalaitoksella on tuottaa prosesseihin soveltuvaa kylläistä matalapainehöyryä, jonka ominaisuudet sopivat erinomaisesti esimerkiksi lämmönvaihtimien energianlähteeksi. Yara Siilinjärven tuotannon pääpaino onkin tuottaa laadukkaita tuotteita, jotka sopivat niin rehun tuotantoon kuin myös lannoitteiden raaka-aineiksi. Siilinjärvellä fosforihappotehdas on suurin matalapainehöyryn kuluttaja, joka tarvitsee matalapainehöyryä omassa prosessissaan hapon väkevöimiseen tuotelaatuun. Tehtaan ja Siilinjärven taajaman kaukolämmitys toimii pääosin prosessilämmöllä, mutta talviaikaan joudutaan trimmaamaan eli säätämään matalapainehöyryllä. Matalapainehöyryä kulutetaan toimipaikalla keskimäärin 131 t/h, joka tekee noin 101 MWh.

4 LÄMPÖENERGIAVARASTO TOIMITTAJAT

Lämpöenergiavarastot tarjoavat teollisuudelle tehokkaan keinon vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä. Kun energiankustannukset ja päästövaatimukset kiristyvät, kiinnostus joustaviin ja skaalautuviin varastointiratkaisuihin on kasvanut. Alla lyhyet esittelyt alalla toimivista yrityksistä.

4.1 Kyoto Heatcube

Kyoto Group on norjalainen yritys, joka on kehittänyt HeatCube-lämpövaraston teollisuuden energia- ja tehokkuuden ja päästövähennysten tueksi. HeatCube on modulaarinen lämpövarastointijärjestelmä, joka mahdollistaa uusiutuvalla sähköllä tuotetun lämmön varastoinnin ja hyödyntämisen teollisuuden prosesseissa. Varastoitu lämpö voidaan käyttää esimerkiksi höyrynä tai kuumana vetenä, mikä vähentää fossiilisten polttoaineiden tarvetta ja pienentää tuotannon hiilidioksidipäästöjä. Järjestelmän modulaarisuus mahdollistaa sen mukauttamisen erikokoisiin kohteisiin, jolloin se soveltuu sekä pienempiin että suurempiin laitoksiin. Kyoto Group tarjoaa myös lämpöenergiapalveluna mallia Heat-as-a-Service, jossa asiakas maksaa käytetystä lämmöstä ilman omaa laiteinvestointia. Tämä joustava toimintamalli voi edistää teollisuuden siirtymistä kohti vähähiilistä tuotantoa. HeatCube yhdistää kustannustehokkaan lämmönvarastoinnin, uusiutuvan energian hyödyntämisen ja teollisuuden prosessien joustavan energiansaannin, mikä tukee siirtymää kohti kestävämpää ja energiatehokkaampaa teollisuutta. (Kyoto Heatcube 2025.)

4.2 Elstor

Elstor Oy on vuonna 2017 perustettu suomalainen yritys, joka on erikoistunut teollisuuden lämpöenergian varastointiin. Yrityksen kehittämä ja patentoitu teknologia mahdollistaa uusiutuvalla sähköllä tuotetun lämmön ja prosessihöyryn varastoinnin ja hyödyntämisen teollisuuden tarpeisiin. Elstor-lämpöakku tarjoaa yrityksille mahdollisuuden vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä ja pienentää hiilidioksidipäästöjä merkittävästi. Varastointijärjestelmän sähköstä lämpöön hyötysuhde on jopa 97 %, ja varastoitu energia voidaan hyödyntää joustavasti tuotannon tarpeiden mukaan. Elstor on toteuttanut useita onnistuneita hankkeita, joissa fossiilisia polttoaineita on korvattu päästöttömällä lämpöenergialla. Esimerkiksi Herkkumaa Oy:n tuotantolaitoksella Elstor-lämpöakku mahdollisti siirtymisen lähes kokonaan pois kevyen polttoöljyn käytöstä, mikä vähensi päästöjä yli 700 tonnia vuodessa. Elstor Oy:n tavoitteena on edistää hiilineutraalia teollisuutta tarjoamalla tehokkaita ja kustannuskilpailukykyisiä lämpöenergian varastointiratkaisuja, jotka tukevat teollisuuden energiankäytön joustavuutta ja uusiutuvien energialähteiden hyödyntämistä. (Elstor 2025.) Elstor tarjoaa höyryä palvelusopimuksena sekä he myös myyvät lämpövarasto ratkaisuaan.

4.3 Polar Nigth Energy

Polar Night Energy on suomalainen yritys, joka on kehittänyt hiekka-akkuun perustuvan lämpöenergian varastointiratkaisun. Järjestelmässä uusiutuvalla sähköllä lämmitetään hiekkaa, joka kykenee varastoimaan suuria määriä lämpöenergiaa kustannustehokkaasti ja pitkäaikaisesti. Varastoitua lämpöä voidaan hyödyntää esimerkiksi kaukolämpöverkossa tai teollisuuden prosesseissa, jolloin uusiutuvan energian käyttö ja joustavuus paranevat. Hiekan etuna on sen edullisuus, saatavuus ja kestävyys, mikä tekee siitä houkuttelevan vaihtoehdon lämpöenergian varastointiin. Polar Night

Energy:n ratkaisu mahdollistaa sähkömarkkinoiden hintavaihteluiden hyödyntämisen ja tarjoaa joustavan tavan tasapainottaa lämmöntuotantoa ja kulutusta. Polar Night Energy:n ensimmäinen hiekkakku on käytössä Vatajankosken kaukolämpöverkossa Kankaanpäässä, ja yrityksen tavoitteena on laajentaa teknologian käyttöä sekä kunnallisessa lämmöntuotannossa että teollisuudessa. Hiekkakku tukee uusiutuvan energian integrointia energiajärjestelmään ja edistää hiilineutraalia tulevaisuutta. (Polar Nighth Energy 2025.)

5 HANKKEEN KANNATTAVUUS

5.1 Säätomarkkinat

Sähköjärjestelmän toiminnan varmistamiseksi tuotannon ja kulutuksen on oltava joka hetki tasapainossa, sillä sähköä ei voida varastoida merkittäviä määriä suoraan verkkoon. Tätä tasapainoa ylläpidetään reservimarkkinoilla, joissa sähköntuottajat ja kuluttajat tarjoavat kapasiteettia nopeaan käyttöön, jos tuotannon ja kulutuksen välillä syntyy poikkeamia (Fingrid 2025, Reservituottolaskuri.)

Reservit voidaan jakaa karkeasti kolmeen ryhmään: taajuusohjattuihin reserveihin (FCR), jotka reagoivat automaattisesti taajuuden heilahteluihin, automaattisiin taajuudenpalautusreserveihin (aFRR), jotka palauttavat taajuuden kohti nimellisarvoa, sekä manuaalisiin taajuudenpalautusreserveihin (mFRR), joita Fingrid aktivoi tarpeen mukaan osana säätösähkömarkkinoita. Näiden reservien avulla varmistetaan sähköjärjestelmän vakaa toiminta myös häiriötilanteissa tai tuotannon ja kulutuksen äkillisissä muutoksissa. Reservimarkkinoiden merkitys on korostunut erityisesti uusiutuvan energian lisääntyessä. Tuuli- ja aurinkovoiman tuotanto vaihtelee sään mukaan, jolloin sähköjärjestelmän joustavuuden tarve kasvaa. Teollisuuslaitokset voivat osallistua reservimarkkinoille tarjoamalla joustavaa sähkönkulutuksen säätöä tai varavoimaa tuotantolaitoksistaan. Tämä tarjoaa teollisuudelle myös mahdollisuuden saada lisätuloja joustavuudesta. Lämpövarastot, kuten hiekka- ja sulasuolavarastot, voivat tulevaisuudessa olla osa tätä kokonaisuutta. Ne voivat toimia joustavina energiavarastoina, joiden latausta ja purkua voidaan sovittaa sähköjärjestelmän tarpeiden mukaan, samalla kun ne tukevat teollisuuden omia prosesseja. Reservimarkkinoiden kautta lämpövarastoille voi avautua myös taloudellisia kannustimia, jos ne kykenevät tukemaan järjestelmän tasapainoa. Yhteenvetona voidaan todeta, että reservimarkkinat ovat keskeinen osa Suomen sähköjärjestelmän toimintavarmuutta ja joustavuuden hallintaa. Kuvassa 5 on esimerkki kuinka paljon säätomarkkinat voivat tuottaa vuoden aikana. Tummat pylväät kuvaavat alas-säätomarkkina potentiaalista tuottoa. Kuvassa 6 on vuoden 2024 toteutuneet tuotot 1 MW reservikyvyllä. Lämpövarasto soveltuisi erinomaisesti joustavalle säätönopeuden markkinalle.

Markkinasuodattimet ☯

Laitoksen säätönopeus
Kaikki valinnat ▾

Säädön maksimikesto
Kaikki valinnat ▾

Säädön suunta
Tehon vähennys verkosta ▾

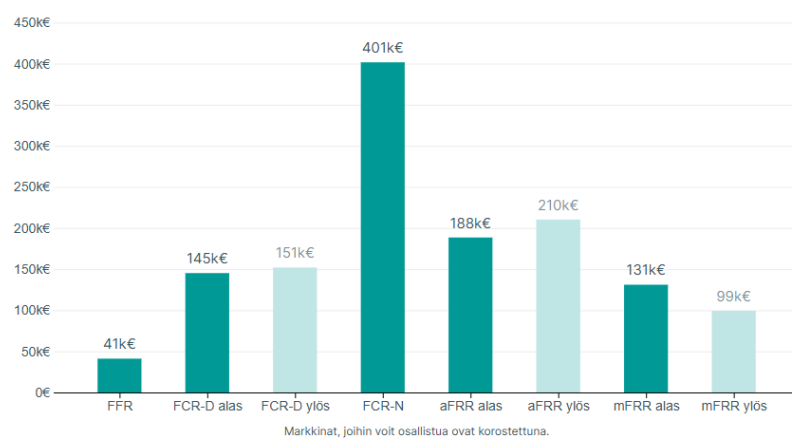
Tarkasteltava aikaväli ☯

Aloituspäivä Lopetuspäivä
01.01.2024 31.12.2024

Viimeisin vuosi Viimeisin kesä
Viimeisin talvi Viimeisin kuukausi

Keskimääräinen käyttöaste % ☯ 100%

Potentiaaliset tuotot viimeisin vuosi 1 MW reservikyvyllä



Kuva 5. Reservituottolaskuri. (Fingrid 2025.)

Perustiedot ja toteutunut keskihinta

Reservituote	Laitoksen säätönopeus	Maksimikesto	Keskiarvohinta (€/MW,h)
FFR	0,7 - 1,3 s	30 s	4
FCR-D alas	7,5 s	60 min *	16
FCR-D ylös	7,5 s	60 min *	17
FCR-N	60 s	60 min	45
aFRR alas	5 min	60 min	22
aFRR ylös	5 min	60 min	24
mFRR alas	15 min	60 min	14
mFRR ylös	15 min	60 min	11

* Matalan aktivointikyvyn (LER) kohteille 20 min.

Kuva 6. Toteutuneet keskihinnat. (Fingrid 2025)

5.2 Energiatuki

Motivan mukaan Suomessa on saatavilla investointitukia, jotka edistävät energiatehokkuutta ja uusiutuvan energian käyttöä. Näitä tukia voivat hakea yritykset, yhteisöt ja muut toimijat, jotka suunnittelevat investointeja energiatehokkuuden parantamiseen tai uusiutuvan energian hyödyntämiseen. Tukien myöntämisen ehdot ja tukitasot vaihtelevat hankkeen luonteen ja hakijan mukaan. Esimerkiksi tukea voidaan myöntää energiatehokkuusinvestointeihin, jotka ylittävät lainsäädännön vaatimukset, sekä uusiutuvan energian tuotantoon. Hakijoiden tulee täyttää tietyt kriteerit, ja hakemukset arvioidaan tapauskohtaisesti. (Motiva 2025, Investointituet.)

5.2.1 Työ- ja elinkeinoministeriön

Työ- ja elinkeinoministeriö tarjoaa investointitukea yli 5 miljoonan euron hankkeille, joissa kehitetään ja otetaan käyttöön innovatiivisia energiaratkaisuja. Tuen avulla voidaan vähentää investointikustannuksia ja nopeuttaa uusien teknologioiden käyttöönottoa. Tukea voidaan myöntää erityisesti lämpöenergian varastointiin, kuten sulasuola- ja hiekkapohjaisiin varastoihin, jotka mahdollistavat tehokkaan energian varastoinnin ja hyödyntämisen. Nämä teknologiat tarjoavat joustavia ratkaisuja niin teollisuuden kuin kaukolämmön tarpeisiin, mahdollistaen hukkalämmön talteenoton ja sähköverkon joustavuuden parantamisen. Investointituki on merkittävä mahdollisuus yrityksille, jotka haluavat kehittää ja hyödyntää lämpöenergian varastointiratkaisuja, kuten sulasuola- tai hiekkavarastoja. Näillä teknologioilla voidaan vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä, tasata energiantuotannon vaihteiluita ja parantaa koko energijärjestelmän joustavuutta. (Työ- ja elinkeinoministeriö. 2025.)

5.2.2 Business Finland

Business Finland myöntää energiataukea yrityksille ja yhteisöille, jotka toteuttavat hankkeita uusiutuvan energian tuotannon edistämiseksi, energiansäästön parantamiseksi ja energiatehokkuuden tehostamiseksi. Tuen tavoitteena on vauhdittaa energijärjestelmän siirtymää vähähiilisempään suuntaan ja kannustaa uusien teknologioiden käyttöönottoa. Tukea voivat hakea yritykset ja yhteisöt, joiden hankkeet keskittyvät energiatehokkuuteen, uusiutuvan energian hyödyntämiseen ja pitkän aikavälin vähäpäästöisiin ratkaisuihin. Energiataukea myönnetään investointihankkeisiin ja energiakatselmuksiin. Investointihankkeiden tukikelpoisten kustannusten on oltava vähintään 10 000 euroa energiatehokkuusprojekteissa ja 30 000 euroa uusiutuvan energian ja uuden teknologian hankkeissa. Tuen enimmäismäärä on 5 miljoonaa euroa, ja se kattaa osan hankkeen kokonaiskustannuksista. (Business Finland. 2025.)

5.3 Elinkaarikustannuksen määrittäminen.

Teollisuusinvestointien kannattavuutta arvioitaessa pelkkä hankintahinta ei riitä antamaan kokonaiskuvaa kustannuksista. Elinkaarikustannuslaskenta tarjoaa laajemman näkökulman tarkastelemalla tuotteen, järjestelmän tai investoinnin kokonaiskustannuksia sen koko käyttöiän ajalta. Tämä menetelmä auttaa tunnistamaan taloudellisesti kestävimät ratkaisut, vähentämään yllätyskustannuksia ja optimoimaan resurssien käyttöä. Elinkaarikustannusten laskennassa huomioidaan viisi keskeistä osa-aluetta. Hankintakustannukset sisältävät investoinnin alkuperäiset kulut, kuten suunnittelun, materiaalihankinnat ja asennuksen. Käyttökustannukset muodostuvat operatiivisista kuluista, kuten energiasta, vedestä ja muista prosessiin liittyvistä resursseista. Huolto- ja kunnossapitokustannukset kattavat säännölliset huollot, korjaukset ja modernisoinnit, joilla varmistetaan laitteen toimintavarmuus ja pidempi käyttöikä. Poistokustannukset liittyvät laitteen käytöstä poistamiseen, purkamiseen ja mahdolliseen kierrätykseen. Lisäksi jäännösarvo tarkoittaa investoinnin mahdollisesti jäljelle jäävää taloudellista arvoa sen käyttöiän lopussa. Kun elinkaarikustannukset otetaan huomioon investointipäätöksissä, voidaan valita ratkaisuja, jotka eivät ainoastaan säästä alkuinvestoinneissa, vaan myös vähentävät pitkän aikavälin operatiivisia kuluja. Tämä lähestymistapa auttaa teollisuusyrityksiä tekemään taloudellisesti kestäviä ja resurssitehokkaita päätöksiä, joilla on positiivinen vaikutus niin kustannuksiin kuin ympäristövaikutuksiinkin. (Elinkaarisuunnitteluohje 2023.)

Energiavaraston soveltuvuudessa itse otin huomioon kuluina itse investoinnin, tarvittavat sähkötyöt, jotka voi olla yllättävän kalliit, jos tarvitaan oma muuntaja, sekä perustuksiin menevä kulut perustuen käytettävään tilavuuteen. Maansiirtotöitä en huomionnut. Vuosikustannuksissa on hyvä huomioida kuinka paljon lämpövarasto mahdollisesti kuluttaisi sähkö ja mitkä ovat vuosittaiset huoltokustannukset. Tässä tapauksessa saatavia hyötyjä tulisi olemaan apukattilan vähentyneet käyttökulut, jotka on laskettu €/tuotettu höyrytonni, fosforihappotehtaan tuotannon menetykset, jotka on parhaan mahdollisen arvion mukaan koitettu sovittaa tulevaisuuden näkymien mukaan. Näiden lisäksi on otettu huomioon edellisen vuoden säätomarkkinoilta toteutuneet tulot. Näistä saadaan selville hyödyn ja kulujen erotus vuosi tasolla, jolla voidaan karkeasti laskea investoinnin takaisinmaksuaika. En paneutunut kuinka paljon tällaisen varaston poistokustannukset voisivat olla. Keskimäärin tässä työssä mainittujen lämpöenergiavarastoiden takaisinmaksuaika on alle 5 vuotta.

6 YHTEENVETO

Tässä työssä perehdyttiin lämpövarastoihin, eri teknologioihin sekä niiden eroihin, ja tehtiin esiselvitys lämpöenergiavaraston soveltuvuudesta Yara Siilinjärven toimipaikalle. Selvityksen perustana käytettiin Yaran Siilinjärven 5-vaiheista Decision Gate (DG) -matriisia, jonka avulla projektit viedään vaiheittain eteenpäin. Työssä päätettiin tähdätä DG1-tasoon, jossa kartoitettiin eri toimittajien tarjoamia teknologioita, lämpövaraston hintatasoa sekä arvioitiin mahdollisuutta korvata raskasta polttoöljyä käyttävä apukattila (APK) lämpöenergiavarastolla. Lämpöenergiavarastotoimittajilta pyydettiin budjettitarjoukset $\pm 20\%$ tarkkuudella, mikä mahdollisti riittävän tarkan käsityksen hintatasosta. Lisäksi luotiin ymmärrys tulevasta prosessiympäristöstä ja sen muutoksista. Työssä selvitettiin myös höyryvajauksista aiheutuvia tuotannonmenetyksiä, fossiilisista polttoaineista aiheutuvia kustannuksia sekä arvioitiin mahdolliset säästöt, jotka saavutettaisiin TES-ratkaisun käyttöönotolla. Selvityksessä arvioitiin myös TES-järjestelmän vaatima sähköliitäntä ja peruslaatan kustannukset sekä vuosittaiset käyttökustannukset. Näiden perusteella voitiin laskea karkea takaisinmaksuaika. Lisäksi työssä huomioitiin mahdollisuus osallistua 10 MW alas-säätömarkkinoille valitun TES-kapasiteetin puitteissa. Aluksi selvitettiin tulevat muutokset höyryntuotantoon ja verrattiin niitä aiempiin tuotantotietoihin, jotta saatiin suuntaa antava arvio säästöpotentiaalista SA1-projektin valmistuttua. Selvityksen aikana otettiin yhteyttä useisiin kotimaisiin ja ulkomaisiin TES-toimittajiin mahdollisimman kattavan hintatason ja teknologioiden vertailun aikaansaamiseksi. Työpaikalla toimivan laajan organisaation ja asiantuntevan henkilöstön ansiosta tarvittavat lähtötiedot ja mahdollisten rakennuskustannusten arviointi saatiin koottua sujuvasti. Tuloksista koottiin liitteenä oleva Excel-taulukko, jossa esitellään TES-toimittajien budjettitarjoukset sekä teknologioiden erot. Kaikki laskennassa käytetyt perustiedot löytyvät myös kyseisestä Excel-tiedostosta.

6.1 Pohdinta

Työn tuloksena itse tulini siihen päätökseen, että TES olisi erittäin hyödyllinen ja tulisi maksamaan itsensä kohtuullisessa ajassa takaisin. TES monikäyttöisyys alas-säätömarkkinoilla, tuotannonmenetyksien sekä fossiilisten polttoaineiden vähentäjänä olisi kiistaton. Siitäkin huolimatta vaikka uusi SA1 projekti uusii Rikkihappotehtaalla laajasti laitteita sekä tuo uuden ison sularikinpolttolaitoksen, joka varmistaa energiantuotannon, pitää muistaa, että muu laitekanta (RC, THT, APK) vanhenee tuoden materiaalin ja laitteiden vanhenemisesta johtuvia huoltoseisakkeja enenevässä määrin. Tuotannonmenetykset johtuen höyryvajeesta tai kaukolämmöstä ovat tulevaisuudessa silti läsnä ja tällä tekniikalla minimoitavissa. Huomiota olisi myös antaa suuren kattilan tuomalle riskille myös suuremmasta lämpöenergian menetyksestä, jota ei edes APK voi korvata. TES olisi myös hyvä lisä energian piikki kulutus aikoina, jolloin tuotanto ja kaukolämmön tasainen sekä katkeamaton lämpöenergian saanti on tärkeää. Verrattuna APK lämpöenergiavarastosta saadaan höyry välittömästi korvamaan vajeen joten 2,5 h ylös ajoaikaa ei tarvitse odottaa. Varasto kykenee myös vastaamaan pienempään höyryntarpeeseen toisin kuin APK, jolla minimi kuorma on 10 t/h. Tässä selvityksessä mukana olleiden toimittajien TES kykenee toimimaan myös sähkökattilan tavoin, jolloin myös jatkuva höyryn tuotanto olisi mahdollista pitempi kestoisissa höyryvajeissa. Tätä työtä tehtäessä uutinen ym-

päristöluvista laittaa ajattelemaan myös toimipaikan pitkän ajan suunnitelmat otettava huomioon sellaisen tilanteen, jossa mahdollisesti kemianteollisuuden toiminta loppuisi toimipaikalla. TES voisi tuoda fossiilisista polttoaineista vapaan tavan tuottaa lämpöenergiaa edelleen mahdollisia ylläpidettäviä toimintoja varten. Lisämateriaaliin olen ilmaissut oman suosikkini tässä selvityksessä olleista toimittajista. Sijainniksi valitsin ”typen kentän” koska liitteenä näkyvän kartan mukaan siinä olisi vähiten kaapeleita ja putkia, joita pitäisi rakennusvaiheessa huomioida.

6.2 Suositukset ja jatkotutkimuksen aiheet

Investointia kannattaisi harkita tosissaan siitä saatavien hyötyjen takia. Suosittelen asiaa viemään tarkempaan tarkasteluun. Jos projektia viedään eteenpäin, suosittelisin tutkimaan toimipaikalla olevien materiaalien soveltuvuutta TES täytemateriaaliksi. Ainakin rikastushiekka soveltuisi erinomaisesti, mutta myös kipsin ja pasutteen tutkimusta suosittelisin. Laskennoissa ei ole otettu huomioon mahdollista energiatukea, joka olisi saatavilla tässä työssä käsiteltyihin lämpöenergiavarasto ratkaisuihin. Tätä työtä tehdessä tiedustelin asiaa työ- ja elinkeinoministeriöstä, joka olisi tämän mittaluokan yli 5 miljoonan euron investointituen myöntäjä. Heillä ei valitettavasti ollut määrärahoja tälle vuodelle myönnettäväksi. Investointi tukien EU tasoiset tuet olisi selvitettävä, joskin niissä kestää kauemmin aikaa. Jos TES asiassa edetään kohti mahdollista investointia, niin Motiva tarjoaa kattavan avun mahdollisiin investointitukiin. Tukea haettaessa olisi muistettava, että tuki pitää hakea ennen kuin investointi etenee. Sähköliittymän osalta suosittelen ottamaan täyden version, jossa olisi oma muuntaja. Tämä toisi joustavuutta ja itsenäisyyttä TES toiminnalle jokaisessa tilanteessa ja huomioiden tulevaisuuden sähköistämistarpeet. TES sijainnin olen alustavasti määrittänyt ”typen kentälle”, mutta tulevaisuuden varalta paikkaa kannattaisi miettiä myös huomioimalla apatiittisuonen sijainti

6.3 Vaikutukset imagoon.

Yara Suomi Oy pyrkii vähentämään fossiilisten polttoaineiden käyttöä ja edistämään ympäristöystävällistä tuotantoa. Lämpövaraston käyttöönotto tukisi tätä tavoitetta vähentämällä raskaan polttoöljyn kulutusta ja pienentämällä hiilidioksidipäästöjä. Tämä ei ainoastaan pienennä yrityksen hiilijalanjälkeä, vaan myös vahvistaa sen mainetta kestävän kehityksen edelläkävijänä kemianteollisuudessa. Investointi uusiutuvaan ja joustavaan lämpöenergiaratkaisuun voi myös parantaa yrityksen imagoa. Lisäksi lämpövaraston avulla voidaan vähentää päästöoikeuskustannuksia.

Yara on edennyt johdonmukaisesti kohti ilmastotavoitteitaan vähentämällä kasvihuonekaasupäästöjään 45 % vuoden 2005 tasosta. Tämä on merkittävä askel kohti EU:n vuoden 2030 tavoitetta, jonka mukaan päästöjä tulisi vähentää vähintään 55 %. Yaran tähänastisesti suurin päästövähennystoimi on ollut typpihappotehtailla käyttöönotettu N₂O-katalyyttiteknologia, jonka avulla on pystytty tehokkaasti vähentämään typpioksiduulipäästöjä, jotka ovat erityisen voimakkaita kasvihuonekaasuja. Yhtiön virallinen tavoite on vähentää scope 1 ja 2 päästöjä 30 % vuoteen 2030 mennessä verrattuna vuoden 2019 lähtötasoon. Vuonna 2020 Yara liittyi Science Based Targets -aloitteeseen, jonka tavoitteena on kehittää typpilannoiteteollisuudelle yhteinen päästövähennyspolku linjassa ilmaston lämpenemisen rajoittamiseksi 1,5 °C:een. (Yara Corporate presentation slide deck.)

Tämä kertoo siitä, että Yara haluaa paitsi vähentää omaa ilmastokuormaansa, myös olla mukana ohjaamassa koko alaa kohti ilmastoneutraalia tulevaisuutta.

RAPORTIN LIITTEET

Toimittaja kohtainen kooste ja laskelmat Excel, jossa kerätyt tiedot. Liitetiedot ovat salassa pidettäviä, joten niitä ei julkaista.

Työssäni on käytetty seuraavasti tekoälyä:

ChatGPT. 2025. OpenAI. GPT-4. Käytetty tiedon hakuun ja apuna kääntämään englanninkielisiä julkaisuja sekä oikeinkirjoitus- ja kirjoitusmuodon tarkastuksessa sekä muokkaamisessa. Q1. 2025.

LÄHTEET

Business Finland 2025. <https://www.businessfinland.fi/suomalaisille-asiakkaille/palvelut/rahoitus/energiatuki>

Elinkaarisuunnitteluohje 2023. https://tampereentilapalvelut.fi/materiaalit/suunnitteluohjeet/2023-07-03_Elinkaarisuunnitteluohje.pdf

Elstor. 2025. <https://elstor.fi/>

Eskelinen, Arto. Electricity development manager, Yara. Palaverit Q1 2025

Euroopan komissio. 2023. Ilmastopoliittika ja EU:n ilmastotavoitteet. https://climate.ec.europa.eu/policies/strategies/2050_et

Fingrid. 2025. Reservituottolaskuri. <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/kuinka-osallistua-reservimarkkinoille/reservituottolaskuri/>

Hoff, C. Michael. 2022. Energy Storage Technologies and Applications. Artech House 1st ed

Hynynen, Timo. Produciton engineer, Yara. Palaverit Q1 2025

Jaakkonen Mikko. Product manager. Yara. Palaverit Q1. 2025.

Köngäs, Jani. Development expert, Yara. Palaverit Q1 2025.

Kyoto Technology. 2025. <https://www.kyotogroup.no/technology>

Meridium. Kuukausiraportit. 2025. Sisäinen materiaali

Motiva. 2021, https://www.motiva.fi/files/19644/Suomen_teollisuuden_sahkoistuminen_ja_sen_vai_kutus_energiatehokkuuteen_ja_hukkalampojen_hyodyntamiseen_-raportti_2021.pdf

Motiva. 2023. Teollisuuden energiatehokkuus. https://www.motiva.fi/ratkaisut/teollisuus/energiankaytto_teollisuudessa

Motiva. 2025. Investointituet. https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiakatselmustoiminta/tuetut_energiakatselmukset/katselmus-_ja_investointituet/investointituet

Motiva. Sähköistämällä energiatehokkuutta teollisuudessa. Kirjallisuusselvitys. 02/2024. https://www.motiva.fi/files/22074/Sahkoistamalla_energiatehokkuutta_teollisuudessa_kirjallisuusselvitys_2024.pdf

- Nousiainen, M. 2023. Lämpöenergian varastointi hiekkaan. Tampereen yliopisto. <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/154165/NousiainenMaija.pdf>
- Polar Night Energy. 2024. Sand Battery – How it works. <https://polarnightenergy.com/how-it-works/>
- Polar Nighth Energy. 2025. <https://polarnightenergy.com/>
- RET. Vuororotyjohtajat. 2025.
- Shengtao Chen, Jinming Xie. Application Prospect Analysis of Molten Salt Energy Storage Technology. 2022. https://www.researchgate.net/publication/367537985_Application_Prospect_Analysis_of_Molten_Salt_Energy_Storage_Technology.
- Suomen ympäristökeskus. 2023. Ilmanlaatu ja päästöt. https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus__kehittaminen/Ilmanlaatu_ja_paastot
- Tilastokeskus. Teollisuuden energian käyttö toimialoittain. 2024. <https://stat.fi/julkaisu/clin1pthbq6msy0bw1zi85mjzp>
- Työ- ja elinkeinoministeriö. 2025. <https://tem.fi/energiatuki>
- Valmet DNA. Trendi. 2025. Sisäinen materiaali
- Vatajankoski. 2023. Hiekka-akkua kehitetään teollisuuden tarpeisiin. <https://www.vatajankoski.fi/innovaatiot/hiekka-akku>
- Voutilainen, Lauri. Energy manager, Yara. Palaverit Q1 2025
- Yara SharePoint. 2024. Sisäinen materiaali
- Yara Siilinjärven esittelymateriaali, Pulse Siilinjärvi, <https://yara.sharepoint.com/teams/SVIViestinta/SitePages/Esittelymateriaalit-v.aspx>
- Yara Siilinjärven Rikkihappo- typpihappo- ja energiatuotanto. 2025. <https://yara.sharepoint.com/teams/SVIRET/SitePages/Rikkihappo--typpihappo--ja-energiatuotanto-Siilinj%C3%A4rvi.aspx>
- Yle. 2023. Hiekka voi olla uusi mahdollisuus varastoida energiaa. <https://yle.fi/a/3-12151803>
- VTT 2023, Sähköä hiekaksi – suomalainen innovaatio tukee energiaomavaraisuutta ja vihreää siirtymää. <https://www.vttresearch.com/fi/uutiset/sahkoa-hiekaksi-suomalainen-innovaatio-tukee-energiaomavaraisuutta-ja-vihreaa-siirtymaa>
- Yara Corporate presentation slide deck 2025. Sisäinen materiaali