



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

SUUREN KOKOLUOKAN SÄHKÖENERGIA- VARASTOJEN NYKYTILA JA TULEVAISUU- DENNÄKYMÄT

Alexi Valtonen

Opinnäytetyö
Joulukuu 2017
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Sähkövoimatekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Sähkövoimatekniikka

VALTONEN, ALEKSI:

Suuren kokoluokan sähköenergiavarastojen nykytila ja tulevaisuudennäkymät

Opinnäytetyö 22 sivua, joista liitteitä 1 sivu
Joulukuu 2017

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia suuren kokoluokan sähkövarastojen nykytilan-
netta sekä tulevaisuuden näkymiä. Työssä tutustuttiin aluksi eri energiavarastojen teori-
aan sekä hyötyihin ja haittoihin. Tämän jälkeen jokaista energiavarastointimenetelmää
tutkittiin.

Tutkimuksissa selvisi, että superkondensaattorien käyttö nykytekniikalla on epäkäytän-
nöllistä, sillä niiden hinta on vielä toistaiseksi melko korkea. Superkondensaattoreista
muodostettu energiavarasto painaisi myös enemmän kuin vastaava akku. Pumppuvoima-
laitos on suosittu MWh-kokoluokan energiavarasto, sillä veden varastointi on huomatta-
vasti yksinkertaisempaa vetyyn verrattuna.

Tulevaisuudessa tekniikka voi mahdollisesti ratkaista vedyn säilyttämiseen liittyvät on-
gelmat, jolloin vedyn käyttö energiavarastoinnissa lisääntyy. Lisäksi tekniikan kehitty-
minen voi halventaa superkondensaattorien hintaa ja parantaa niiden kapasiteettia, joten nii-
den käyttö kWh-kokoluokan energiavarastoissa tulee varmasti lisääntymään.

Asiasanat: sähköenergiavarasto, akku, superkondensaattori, pumppuvoimalaitos, vety-
talous, tulevaisuuden näkymät

ABSTRACT

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

VALTONEN, ALEKSI:

Current state and prospects of large scale energy storages

Bachelor's thesis 22 pages, appendices 1 page

December 2017

The purpose of this thesis was to investigate current state and prospects of large scale energy storages. First part of the thesis was to research the basic theories of the different energy storage methods, and their pros and cons. Then each energy storage method was investigated more closely.

The results of the research were that supercapacitors are too impractical to use at the current technology, because their cost is at current time too high. An energy storage made from supercapacitors would also weigh more than corresponding storage made from rechargeable battery. A pumped storage plant is popular option in high capacity energy storage because water is much easier to store than hydrogen.

In the future, technology may solve the problems related to storing hydrogen, and that may increase the use of hydrogen for energy storage. Also, future technology may cheapen the price of supercapacitors and increase their capacity, which will increase their usage in energy storage systems.

Key words: energy storage, rechargeable battery, supercapacitor, pumped storage plant, hydrogen economy, prospects

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	TEORIA	7
	2.1 Akut	7
	2.2 Superkondensaattorit	8
	2.3 Pumppuvoimalaitokset.....	9
	2.4 Vetytalous	9
3	TUTKIMUS	11
	3.1 Sähkönhinta	11
	3.2 Akut	12
	3.3 Superkondensaattorit	13
	3.4 Pumppuvoimalaitos	14
	3.5 Vetytalous	15
4	VERTAILU	16
	4.1 Akkujen ja superkondensaattoreiden tulokset	16
	4.2 Pumppuvoimalaitosten ja vetytalouden vertailu.....	17
5	TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT	18
6	LOPPUPÄÄTELMÄT	19
	LÄHTEET.....	20
	LIITTEET	22
	Liite 1. Sähkön keskiarvohinta päivittäin vuonna 2016 lukemat €/MWh.....	22

LYHENTEET JA TERMIT

h	tunti
kg	kilogramma
kpl	kappale
snt	sentti
€	euro
Wh	wattitunti
kWh	kilowattitunti
MWh	megawattitunti
MW	megawatti
m	metri
m ³	kuutiometri
m ³ /s	kuutiometriä sekunnissa

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä tutkitaan suuren kokoluokan (kWh, MWh) sähköenergiavarastojen nykytilaa sekä energianvarastoinnin tulevaisuuden näkymiä. Energiavarastoja käyttävät sekä tavalliset kuluttajat, jotka haluavat mahdollistaa omavaraisen sähköntuotannon esimerkiksi aurinkopaneeleilla, että energiantuottajat, joiden täytyy varastoida esimerkiksi tuulivoimapuistossa tuotettu energia. Varastojen tärkeys korostuu juurikin uusiutuvassa energiantuotannossa, jossa tuotettu energia vaihtelee huomattavasti sääolosuhteiden vaikutuksesta.

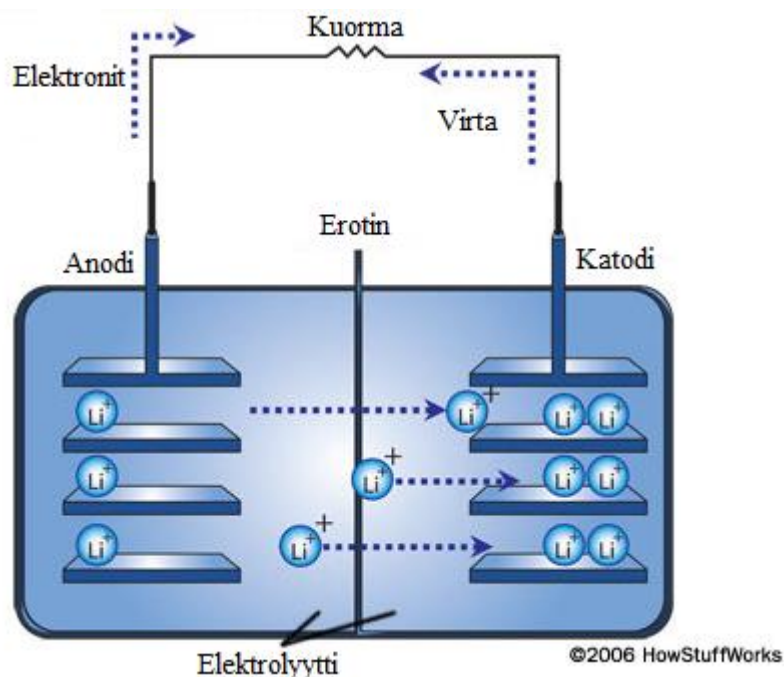
Opinnäytetyössä tutkittavat varastointikeinot ovat akut, superkondensaattorit, pumppuvoimalaitokset, ja vetytalous. Aluksi käydään lyhyesti läpi kunkin tutkittavan energiavarastoinnin toimintaperiaate. Tämän jälkeen tutkitaan varastointimenetelmien nykytilaa ja mahdollisuuksia. Lopuksi energianvarastointimenetelmiä verrataan toisiinsa sekä tarkastellaan energiavarastoinnin tulevaisuuden näkymiä.

2 TEORIA

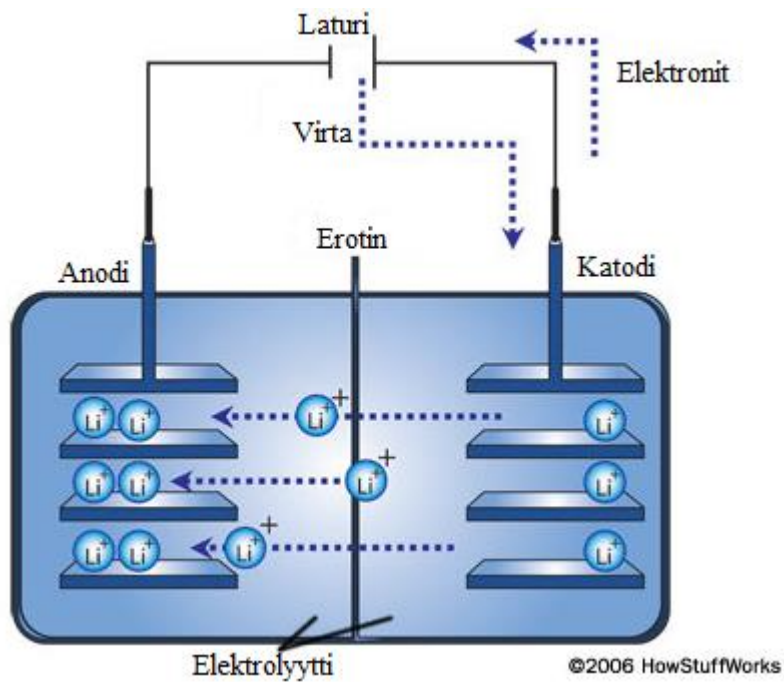
2.1 Akut

Akku on energianvarastointimenetelmä, jossa energia varastoidaan sähkökemialla hyödyntäen. Akun varauksen purkautuessa tapahtuu sähkökemiallinen reaktio, jossa akun sisäiset yhdisteet sitoutuvat akun elektrodihin (anodi ja katodi). Uudelleen varattavissa akuissa on mahdollista toteuttaa reaktio myös toiseen suuntaan, joka mahdollistaa akun varautumisen uudelleen.

Tutkittavat akut (Tesla Powerwall, ja Powerpack) ovat tyypiltään litiumioniakkuja, joka on hyvin yleinen akkutyyppe. Kuvissa 1 ja 2 on esitettyä litiumioniakkujen lataus- ja purkautumisvaiheet. Litiumioniakun latausvaiheessa (KUVA 1) elektroneja siirtyy anodista katodiin, jolloin akun elektrolyytissä olevat litiumionit siirtyvät myöskin akun kato-diin. Purkautumisvaiheessa (KUVA 2) reaktio on käänteinen.



KUVA 1. Litiumioniakun latausvaihe (HowStuffWorks 2006)



KUVA 2. Litiumioniakun purkautumisvaihe (HowStuffWorks 2006)

Litiumioniakun hyvinä puolina ovat sen energiatiheys, vähäinen itsepurkautuminen, sekä vähäinen huoltotarve. Huonoina puolina ovat valmistushinta, ja akun taipumus vanhentumiseen. (BatteryUniversity 2010)

2.2 Superkondensaattorit

Kondensaattori varastoi sähköenergiaa sen levyjen väliseen sähkökenttään. Mikäli kondensaattoriin läpi kulkee virta, kondensaattoriin joko ladataan tai siitä puretaan energiaa. Kondensaattoriin virta-jännite-yhtälön mukaan kondensaattoriin virta on suoraan verrannollinen levyjen välisen jännitteen muutosnopeuteen. (ElectronicsTutorials 2016)

Superkondensaattori on kondensaattori, johon on mahdollista varastoida tavalliseen kondensaattoriin nähden enemmän energiaa. Superkondensaattorien levyjen pinta-ala on huomattavasti suurempi kuin kondensaattorien. Lisäksi superkondensaattorien levyt ovat lähempänä toisiaan verrattuna tavalliseen kondensaattoriin. (ExplainThatStuff 2017)

Superkondensaattorien hyvinä puolina ovat sen nopea latausaika, ja kaltoinkohtelun kesto. Huonoina puolina ovat suuri itsepurkautuminen, ja suuri hinta wattia kohden. (BatteryUniversity. 2010)

2.3 Pumppuvoimalaitokset

Pumppuvoimalaitos on energianvarastointimenetelmä, jossa energia varastoidaan suureen vesialtaaseen. Pumppuvoimalaitos vapauttaa varastoimaansa energiaa samalla tavalla, jolla vesivoimalaitos tuottaa energiaa, eli juoksuttamalla vettä turbiinin lävitse. Pumppuvoimalaitos kuitenkin eroaa vesivoimalaitoksesta sillä, että pumppuvoimalaitoksessa vesi juoksetetaan toiseen vesialtaaseen, joka sijaitsee ensimmäistä vesiallasta alempana, josta se voidaan pumpata takaisin yläaltaaseen. Veden juoksetus ala-altaaseen tapahtuu yleisimmin, kun sähkönkulutus on huipussaan ja sähkön hinta on kalleimmillaan, ja vesi pumpataan takaisin yläaltaaseen, kun kulutus on matalana, ja sähkön hinta halvimmillaan.

Pumppuvoimalaitos on yleinen sähkönvarastointimenetelmä Euroopassa (Energia 2017), ja niitä hyödynnetään sääriippuvien sähköntuotantomenetelmien, kuten aurinkovoiman ja tuulivoiman kanssa. Suomessa ei ole vielä rakennettu pumppuvoimalaitoksia, mutta sellainen on suunnitteilla rakennettavaksi Pyhäsalmele (Tekniikkatalous 2016).

Pumppuvoimalaitoksen hyviä puolia ovat muun muassa kyky varastoida suuria määriä energiaa, voimalaitoksen pitkäikäisyys, ja energianvarastoinnin luotettavuus. Huonoja puolia ovat taas vesialtaiden vaatimat suuret tilat, vesialtaille vaadittu korkeusero, ja energiavarastointi vaatii huomattavan määrän vettä. (DiscoverMagazine 2015)

2.4 Vetytalous

Vetytaloudella tapahtuva energianvarastointi tarkoittaa energian varastoinnista vetyä hyödyntäen. Vetyä voidaan tuottaa esimerkiksi erottamalla vety vedestä elektrolyysillä, tai reformoida vety maakaasun hiiliketjuista, eli rikkomalla vedyn ja hiilen välisiä kemiallisia sidoksia. Erotettu vety säilötään, kunnes energiaa tarvitaan. (Woikoski 2017)

Vetyä pidetään yhtenä parhaimmista uusiutuvista energialähteistä. Vetyä on myös mahdollista tuottaa huomattava määrä, sillä maapallolla paljon hyödynnettävää vettä. Vetyä on mahdollista varastoida usein eri keinoin, kuten paineistettu vety kaasu, nesteytetty vety, ja muihin yhdisteisiin sidottu vety.

Eräs tunnetuimmista ja tärkeimmistä tavoista muuntaa vety sähköksi on polttokenno. Sähkö tuotetaan käyttämällä ilmassa olevaa happea vedyn hapettimena. Sähkö syntyy kennossa tapahtuvien reaktioiden seurauksena. Käytettäessä puhdasta vetyä, sivutuotteena on vain vettä tai vesihöyryä. Mikäli käytetään fossiilista vetyä, syntyy reaktiosta hiilidioksidipäästöjä. Tässä opinnäytetyössä keskitytään kuitenkin vain puhtaan vedyn suoraan polttamiseen. (Kaapeli 1997)

Vedyn varastointi on melko hankalaa, sillä vety vuotaa useimpien materiaalien läpi, joutuen vetyatomin pienuudesta. Lisäksi vety on helposti syttyvää, joten se pitää ottaa myös huomioon vetyä säilöittäessä. (Kauppalehti 2017)

3 TUTKIMUS

3.1 Sähköhinta

Ennen kuin kyetään tutkimaan eri varastointikeinoja, on otettava selvää sähköhinnasta. Tutkimuksia varten selvitettiin sähkön keskiarvoinen hinta päivittäisellä tasolla vuonna 2016 (liite 1). Liitteen 1 taulukkoon on myös merkitty 100 pienintä hinnan keskiarvoa vihreällä värityksellä, ja 100 suurinta keskiarvoa punaisella värityksellä. Taulukon lue- mat ovat merkitty €/MWh.

Tutkimuksia varten liitteen 1 taulukosta selvitettiin seuraavat tiedot: vuoden keskiar- vohinta, 10 pienimmän hinnan keskiarvo, 10 suurimman hinnan keskiarvo, 100 pienim- män hinnan keskiarvo, ja 100 suurimman hinnan keskiarvo. Saadut tulokset taulukoitiin taulukkoon 1 tietojen käsittelyn helpottamiseksi. Lisäksi arvot muutettiin myös muotoon snt/kWh.

TAULUKKO 1. Liittestä 1 saadut keskiarvot

Keskiarvo	€/MWh	snt/kWh
Vuoden keskiarvo	32,45	3,24
10 pienintä	16,86	1,69
10 suurinta	62,59	6,26
100 pienintä	23,58	2,36
100 suurinta	42,35	4,24

Taulukon 1 arvoista voidaan muodostaa pienempien ja suurempien arvojen ero, jolloin eri varastointimenetelmiä voidaan verrata keskenään. 10 pienimmän ja 10 suurimman ar- von eroksi saadaan 4,57 snt/kWh. Kyseinen arvo on hyvin optimistinen oletus säästöille, joten tulevissa laskuissa käytetäänkin 100 pienimmän ja 100 suurimman arvon eroa, joka on 1,88 snt/kWh. Kyseinen arvo on huomattavasti todennäköisempi todellisissa tapauk- sissa.

3.2 Akut

Opinnäytetyössä tutkittavat akut ovat Teslan Powerwall (Tesla 2017) ja Powerpack (Tesla 2017). Tutkimuksia varten molemmista akuista kerättiin yleiset tiedot taulukkoon 2.

TAULUKKO 2. Tutkittavien akkujen tiedot

	Powerwall	Powerpack
Kapasiteetti	13,5 kWh	210 kWh
Teho	5 kW	50 kW
Skaalattavuus	10 kpl	Ääretön
Hyötysuhde	90 %	88 %
Massa	125 kg	1 622 kg
Hinta	6 500 €	~83 500 €* [*]
€/kWh	481,48	397,62

*Tesla Powerpackin hinta arvioitu lähteen (Electrek 2016) perusteella.

Powerwall on suunniteltu tavallisille kuluttajille, joiden tavoitteena on joko välttää yllättävät sähkökatkokset, tai varastoida itsetuotettua sähköä esimerkiksi aurinkopaneeleista. Powerpack on taas tarkoitettu suurempaa sähkönkulutusta koskeviin kohteisiin. Mikäli akkuja käytettäisiin varastoimaan sähköä verkosta, voidaan säästetty hinta arvioida hyödyntämällä akkujen kapasiteettiarvoja, hyötysuhteita ja sähkönhintaa. Tutkimuksen tulokset on taulukoitu taulukkoon 3.

TAULUKKO 3. Akkujen tutkimukset

	Powerwall	Powerpack
Kapasiteetti	13,5 kWh	210 kWh
Vapautettu energia	12,15 kWh	184,80 kWh
Massa	125 kg	1 622 kg
Hinta	6 500 €	~83 500 €
Säästö/latausykli	22,8 snt	347,4 snt
Syklejä/takaisinmaksu	28 500 kpl	24 000 kpl

Taulukon 3 tutkimukset muodostettiin taulukon 2 tietojen avulla. Taulukon 3 ”vapautettu energia”-kohta muodostuu akun kapasiteetin ja hyötysuhteen perusteella. Sillä tarkoitetaan sitä, kuinka paljon täyteen ladatusta akusta todellisuudessa saadaan energiaa takaisin. Taulukossa 3 esitetyllä ”säästö/lataussykli”-rivillä ilmoitetaan, kuinka paljon kyseinen akku tuottaa säästöä, kun akku on purkautunut kokonaan täydestä varauksesta. Säästö on arvioitu luvussa 3.1 selvitettyllä sähkönhinnalla (1,88 snt/kWh). Taulukon 3 viimeisellä rivillä esitetty ”syklejä/takaisinmaksu” kohdassa arvioidaan kuinka monta täyttä lataussykliä akuilla täytyisi toteuttaa, jotta niiden tuomat säästöt ylittäisivät akkujen hinnat.

3.3 Superkondensaattorit

Tutkittava superkondensaattori määritellään superkondensaattorien teknisillä tiedoilla. Tutkimuksiin vaadittavat tiedot löytyivät lähteistä (BatteryUniversity 2010) ja (Maxwell. 2017). Tekniset tiedot kerättiin taulukkoon 4.

TAULUKKO 4. Superkondensaattorin tekniset tiedot

	Superkondensaattori
Energiatiheys	5 Wh/kg
Hinta	~8 500 €/kWh
Hyötysuhde	99 %

Taulukon 4 tiedoilla muodostettiin kaksi teoreettista superkondensaattoria, joiden kapasiteetit vastaavat otsikossa 3.2 tutkittujen akkujen kapasiteetteja. Tutkimuksen tulokset taulukoitiin taulukkoon 5 myöhempää vertailua varten.

TAULUKKO 5. Superkondensaattorin tutkimukset

	Superkondensaattori 1	Superkondensaattori 2
Kapasiteetti	13,5 kWh	210 kWh
Vapautettu energia	13,37 kWh	207,90 kWh
Massa	2 700 kg	42 000 kg
Hinta	114 750 €	1 785 000 €
Säästö/lataussykli	25,1 snt	390,9 snt
Syklejä/takaisinmaksu	457 200 kpl	456 700 kpl

Taulukon 5 tutkimukset muodostettiin taulukon 4 tietojen avulla. Superkondensaattorien massat muodostettiin taulukossa 4 ilmoitetun ”energiatiheys”-kohdan avulla, ja hinta saman taulukon hinta-arvio kohdalla. Muut taulukon 5 tiedot muodostuivat samalla tavalla, kuin taulukossa 3, jotka on selitetty luvussa 3.2.

3.4 Pumppuvoimalaitos

Tutkimuksia varten valittiin kolme eri kokoluokan pumppuvoimalaa eri puolilta maailmaa. Valituista pumppuvoimalaitoksista kerättiin tiedot ja tiedot yhdistettiin taulukkoon 6. Voimalaitoksille on arvioitu hyötysuhteeksi 86,5 %. (GlobalEnergyObservatory 2012, GlobalEnergyObservatory 2013, GlobalEnergyObservatory 2014, Settembrini 2006)

TAULUKKO 6. Pumppuvoimalaitosten tiedot

Voimalaitos	Bath County	Okutataragi	Edolo
Maa	Yhdysvallat	Japani	Italia
Kapasiteetti	3 003 MW	1 932 MW	1 000 MW
Rakennusvuosi	1985	1974	1984
Padon korkeus	140 m	98 m	37,5 m
Turbiinien määrä	6 kpl	6 kpl	8 kpl
Turbiinin teho	500,5 MW	322 MW	125 MW
Virtausnopeus	852 m ³ /s	594 m ³ /s	94 m ³ /s
Yläaltaan tilavuus	43 911 000 m ³	33 387 000 m ³	21 240 000 m ³

Taulukon 6 perusteella kyettiin tutkimaan pumppuvoimalaitoksia. Tutkimuksen tulokset kerättiin taulukkoon 7 myöhempää vertailua varten.

TAULUKKO 7. Pumppuvoimalaitosten tutkimukset

Voimalaitos	Bath County	Okutataragi	Edolo
Veden määrä	43 911 000 000 kg	33 387 000 000 kg	21 240 000 000 kg
Tyhjennysaika	2,4 h	2,6 h	7,8 h
Kapasiteetti	7 207,2 MWh	5 023,2 MWh	7 800 MWh
Vapautettu energia	6 234 MWh	4 345 MWh	6 747 MWh
Säästö/lataussykli	11 719 920 snt	8 168 600 snt	12 684 360 snt

Taulukon 7 tulokset muodostuivat taulukon 6 arvojen perusteilla. Pumppuvoimalaitoksen sisältämä veden määrä on suoraan arvioitu yläaltaan tilavuuden perusteella. Tyhjennysaika saatiin pumppuvoimalaitoksen varastoiman veden määrän sekä voimalan turbiinien lukumäärän, että virtausnopeuden perusteella. Tyhjennysajan sekä turbiinien kokonaistehon perusteella kyettiin määrittämään pumppuvoimalan kapasiteetti. Taulukon ”vapautettu energia”- ja ”säästö/lataussykli”-kohtien muodostus on sama kuin taulukossa 3, joka selitetty luvussa 3.2.

3.5 Vetytalous

Tutkimuksia varten selvitettiin aluksi vedyn energiatiheys, kun vetyä poltetaan. Vedyn polttoenergiatiheydeksi määräytyi 37 kWh/kg (HyperTextbook 2005). Vertailua varten muodostettiin kolme teoreettista vedynpolttovoimalaa, joiden kapasiteeteiksi valittiin samat, kuin luvun 3.4 voimaloilla. Tutkimuksen tulokset taulukoitiin taulukkoon 8 myöhempiä vertailua varten.

TAULUKKO 8. Vetytalouden tutkimukset

	Voimala 1	Voimala 2	Voimala 3
Kapasiteetti	7 207,2 MWh	5 023,2 MWh	7 800 MWh
Vedyn määrä	194 790 kg	135 760 kg	210 810 kg
Säästö/lataussykli	13 549 536 snt	9 443 616 snt	14 664 000 snt

Taulukossa 8 esitetty ”vedyn määrä”-kohta on selvitetty vedyn polttoenergiatiheyden avulla. Kohdassa on arvioitu, paljonko puhdasta vetyä voimalan tarvitsee varastoida. ”Säästö/lataussykli”-kohdassa arvioidaan luvussa 3.1 saadun sähkönhinnan avulla (1,88 snt/kWh), kuinka paljon voimalalla voidaan saada säästöjä, jos voimalan koko kapasiteetti hyödynnetään.

4 VERTAILU

4.1 Akkujen ja superkondensaattoreiden tulokset

Aluksi suoritetaan pienemmän kokoluokan (kWh) energiavarastojen vertailu. Vertailua varten muodostetaan taulukot 9 ja 10, joihin sijoitetaan luvuissa 3.2 ja 3.3 sijaitsevien taulukoiden 3 ja 5 tiedot. Tiedot sijoitetaan siten, että taulukossa 9 on 13,5 kWh energiavarastot ja taulukossa 10 on 210 kWh energiavarastot.

TAULUKKO 9. 13,5 kWh energiavarastojen vertailu

	Powerwall	Superkondensaattori 1
Kapasiteetti	13,5 kWh	13,5 kWh
Massa	125 kg	2 700 kg
Hinta	6 500 €	114 750 €
Säästö/lataussykli	22,8 snt	25,1 snt
Syklejä/takaisinmaksu	28 500 kpl	457 200 kpl

TAULUKKO 10. 210 kWh energiavarastojen vertailu

	Powerpack	Superkondensaattori 2
Kapasiteetti	210 kWh	210 kWh
Massa	1 622 kg	42 000 kg
Hinta	~83 500 €	1 785 000 €
Säästö/lataussykli	347,4 snt	390,9 snt
Syklejä/takaisinmaksu	24 000 kpl	456 700 kpl

Taulukoiden 9 ja 10 vertailujen perusteella huomataan superkondensaattorien maksavan huomattavasti enemmän, kuin saman kapasiteettinen akku. Lisäksi superkondensaattoreista muodostetut energiavarastot painavat huomattavasti enemmän, kuin akkujen vastaavat energiavarastot. Vaikka superkondensaattoreilla saadaankin suurempi säästö jokaista kWh kohden, superkondensaattorien takaisinmaksun vaatimien lataussyklien määrä on huomattavasti akkuja suurempi. Voidaan todeta, että superkondensaattorien käyttö kWh-luokan energiavarastossa on nykyisellä tekniikan tasolla epätaloudellisia.

4.2 Pumppuvoimalaitosten ja vetytalouden vertailu

Seuraavaksi verrattiin suuremman kokoluokan (MWh) energiavarastoja. Vertailua varten muodostetaan taulukot 11, 12, ja 13, joihin sijoitetaan luvuissa 3.4 ja 3.5 sijaitsevien taulukoiden 7 ja 8 tiedot. Tiedot sijoitetaan siten, että taulukossa 11, 12, ja 13 vertaillaan saman kapasiteetin voimalaitoksia.

TAULUKKO 11. Ensimmäisten voimalaitoksien vertailu

Voimalaitos	Bath County	Vetyvoimala 1
Kapasiteetti	7 207,2 MWh	7 207,2 MWh
Aineen määrä	43 911 000 000 kg	194 790 kg
Säästö/latausyksi	11 719 920 snt	13 549 536 snt

TAULUKKO 12. Toisten voimalaitoksien vertailu

Voimalaitos	Okutataragi	Vetyvoimala 2
Kapasiteetti	5 023,2 MWh	5 023,2 MWh
Aineen määrä	33 387 000 000 kg	135 760 kg
Säästö/latausyksi	8 168 600 snt	9 443 616 snt

TAULUKKO 13. Kolmansien voimalaitoksien vertailu

Voimalaitos	Edolo	Vetyvoimala 3
Kapasiteetti	7 800 MWh	7 800 MWh
Aineen määrä	21 240 000 000 kg	210 810 kg
Säästö/latausyksi	12 684 360 snt	14 664 000 snt

Taulukoista 11, 12, ja 13 huomataan, että pumppuvoimalaitokset vaativat huomattavasti enemmän vettä verrattuna vetyvoimalan vaatimaan vetyyn, jolla kyetään varastoimaan sama energiamäärä. Vesi on kuitenkin hyvin helposti saatavilla oleva aine, ja sen varastointi on huomattavasti vetyä helpompaa. Kuitenkin vetyvoimala kykenee tuottamaan enemmän säästöä jokaista kWh kohden.

5 TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT

Kun ajatellaan sähkönvarastoinnin tulevaisuuden näkymiä, on myös mietittävä energian tuotantoa. Energiantuotanto on siirtymässä koko ajan kohti uusiutuvia keinoja, esimerkiksi tuulivoima ja aurinkovoima, ja näiden tuottama energia on hankalaa sähköntuottajien kannalta, koska sähköntuottajien tulisi kyetä ennustamaan oma tuotantonsa mahdollisimman pitkälle. Tämä on yksi selvimmistä syistä kehittää suuren kokoluokan energia-varastoja.

Opinnäytetyön tutkimuksissa selvisi, että nykyhetkellä superkondensaattorien käyttö suuren kokoluokan energiavarastoinnissa on epätaloudellista, kuitenkin tekniikan kehittyessä tämä voi muuttua selvästi. Lisäksi on mahdollista, että vetyä aletaan käyttää enemmän tulevaisuudessa sen hyvien ominaisuuksien vuoksi.

Kuitenkaan opinnäytetyössä tutkitut eivät ole ainoita vaihtoehtoja tulevaisuuden energiavarastoinnille. Esimerkiksi sähköautojen lisääntyvä käyttö tuo mahdollisuuden hyödyntää sähköautojen akkujen käyttöä energiavarastoinnissa (USAToday 2017). Lisäksi on useita jo nyt pienessä muodossa käytettyjä energiavarastointimenetelmiä, esimerkiksi vauhtipyörät, paineilma, ja lämpöenergiaan varastointi, joiden tulevaisuuden käyttösovellukset voivat parantua, mikäli tulevaisuuden tekniikka antaa siihen mahdollisuuksia (E&T 2017).

6 LOPPUPÄÄTELMÄT

Opinnäytetyössä tutkittiin muutaman valitun energiavarastointitavan nykytilaa ja tulevaisuuden näkymiä. Aluksi tarkasteltiin kunkin energiavarastoinnin yleisiä tietoja, kuten toimintatapaa sekä hyviä, että huonoja puolia. Tämän jälkeen siirryttiin tutkimaan kunkin varastointimenetelmän nykysovelluksia, sekä mahdollisia teoreettisia vaihtoehtoja. Kunkin tutkimuksen tulokset taulukoitiin, ja tuloksia vertailtiin toisiinsa. Lopuksi tarkasteltiin vielä energiavarastojen tulevaisuuden näkymiä.

Nykyhetkellä suosittuja kWh- ja MWh-luokan sähkönvarastointikeinoja ovat akut ja pumppuvoimalaitokset. Tämä voi kuitenkin muuttua tekniikan kehittyessä. Tutkimukset osoittivat superkondensaattorien olevan vielä toistaiseksi epäedullisia nykyisen teknologian puitteissa johtuen niiden korkeasta hinnasta. Akkujen käyttö on nykypäivänä erittäin suosittua, mikä johtuu niiden tunnettavuudesta, luotettavuudesta, ja hintatasosta.

Pumppuvoimalaitoksien suosio tuskin tulee vähenemään tulevilla vuosikymmenillä. Tähän vaikuttaa osalta jo olemassa olevien voimaloiden määrä, sillä uusien voimaloiden rakentaminen on aina kallis projekti. Mikäli suuria vetyvoimaloita aloitetaan rakentamaan tulevaisuudessa, voi olla, ettei enää uusia pumppuvoimalaitoksia aloiteta rakentamaan. Energiavarastojen tulevaisuus on kuitenkin valoisalla mallilla, sillä uusiutuvien energialähteiden käyttöä Suomessa ja ulkomailla pyritään lisäämään (Motiva 2017).

LÄHTEET

BatteryUniversity. 2010. Luettu 26.10.2017.

http://batteryuniversity.com/learn/archive/is_lithium_ion_the_ideal_battery

BatteryUniversity. 2010. Luettu 26.10.2017.

http://batteryuniversity.com/learn/article/whats_the_role_of_the_supercapacitor

DiscoverMagazine. 2015. Luettu 20.10.2017.

<http://discovermagazine.com/2015/july-aug/26-power-stash>

Electrek. 2016. Luettu 2.11.2017.

<https://electrek.co/2016/11/14/tesla-powerpack-2-price/>

ElectronicTutorial. 2016. Luettu 12.12.2017

http://www.electronics-tutorials.ws/capacitor/cap_1.html

Energia. 2017. Luettu 20.10.2017.

https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/energiantuotanto/sahkontuotanto/saato-voima

ExplainThatStuff. 2017. Luettu 9.12.2017.

<http://www.explainthatstuff.com/how-supercapacitors-work.html>

E&T. 2017. Luettu 17.11.2017.

<https://eandt.theiet.org/content/articles/2017/05/keeping-the-lights-on-seven-energy-storage-technologies-to-brighten-our-future/>

GlobalEnergyObservatory. 2012. Luettu 11.11.2017.

<http://globalenergyobservatory.org/geoid/111>

GlobalEnergyObservatory. 2013. Luettu 11.11.2017.

<http://globalenergyobservatory.org/geoid/43971>

GlobalEnergyObservatory. 2014. Luettu 11.11.2017.

<http://globalenergyobservatory.org/geoid/45037>

HowStuffWorks. 2006. Luettu 9.12.2017.

<https://electronics.howstuffworks.com/everyday-tech/lithium-ion-battery1.htm>

HyperTextbook. 2005. Luettu 14.11.2017.

<https://hypertextbook.com/facts/2005/MichelleFung.shtml>

Kaapeli. 1997. Luettu 13.12.2017.

<http://www.kaapeli.fi/~smaatta/vety1.html#uutisia>

Kauppalehti. 2017. Luettu 28.10.2017.

<https://www.kauppalehti.fi/uutiset/tutkijat-lupaavat-vetyvallankumousta-halvalla-maailman-puhtainta-energiaa/HVgsTDZd>

Maxwell. 2017. Luettu 6.11.2017.

http://www.maxwell.com/images/documents/whitepaper_top_10_reasons_for_ultra-caps.pdf

Motiva. 2017. Luettu 10.12.2017.

https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/uusiutuva_energia_suomessa

Settembrini. 2006. Luettu 11.11.2017.

https://web.archive.org/web/20060512233147/http://www.settembrini.mi.it/Englishpr/technical_chart.htm

Tekniikkatalous. 2016. Luettu 20.10.2017.

<http://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/energia/pyhasalmen-2019-lakkautettavalle-kai-vokselle-halutaan-uusi-elama-75-mwh-n-sahkovarastona-etsii-taas-rahoittajia-6594754>

Tesla 2017. Luettu 2.11.2017.

https://www.tesla.com/fi_FI/powerpack

Tesla. 2017. Luettu 2.11.2017.

https://www.tesla.com/fi_FI/powerwall

USAToday. 2017. Luettu 17.11.2017.

<https://www.usatoday.com/story/money/energy/2017/10/26/analysis-cars-future-energy-storage/796072001/>

Woikoski. 2017. Luettu 10.12.2017.

<http://www.woikoski.fi/fi/ammattilaisille/vetyteknologia/vedyn-lahteet>

LIITTEET

Liite 1. Sähkön keskiarvohinta päivittäin vuonna 2016 lukemat €/MWh

Päivä	Tammikuu	Helmikuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu
1	16,92	29,94	28,34	28,30	21,72	38,87	30,71	29,03	30,66	30,08	38,29	36,24
2	23,44	29,81	29,53	20,54	24,95	35,32	23,09	33,15	31,48	30,13	38,49	36,78
3	19,39	30,38	30,58	19,78	24,42	33,00	23,53	32,63	28,36	40,69	45,36	37,81
4	29,00	29,20	30,80	32,92	31,13	25,59	38,91	29,26	26,03	37,84	41,81	35,12
5	32,90	33,81	20,93	28,71	22,51	25,49	29,77	31,87	36,64	34,80	39,01	36,61
6	36,48	26,95	19,79	28,44	25,83	42,03	28,17	27,42	37,01	39,37	38,28	52,61
7	57,91	15,08	23,49	23,38	18,56	37,63	33,30	24,17	33,30	39,02	45,18	35,77
8	53,13	28,66	25,62	24,91	15,91	34,57	32,87	32,53	35,46	32,04	54,45	37,78
9	34,04	27,20	33,11	21,49	21,51	32,22	26,73	27,81	40,00	31,67	50,08	34,08
10	29,29	27,96	32,39	20,51	30,61	33,73	27,11	33,05	30,75	48,38	54,77	31,48
11	42,13	31,18	31,79	31,62	33,27	30,35	35,59	33,88	24,92	36,60	55,42	31,79
12	34,26	32,14	23,10	28,80	31,86	28,85	33,23	35,03	34,86	39,40	42,94	43,04
13	36,83	22,84	21,88	29,51	33,35	30,85	35,09	24,18	37,45	42,41	40,87	38,26
14	56,74	18,41	32,13	29,34	20,32	38,07	31,56	25,41	38,99	35,65	42,80	43,82
15	60,56	28,79	29,09	31,02	20,38	35,90	31,23	32,58	35,13	30,86	41,10	44,69
16	29,84	27,95	26,56	20,73	32,13	36,81	28,35	31,31	33,21	31,74	42,68	46,04
17	27,60	26,59	24,12	20,01	31,67	35,68	26,04	32,71	27,06	35,91	39,82	34,63
18	56,67	26,70	29,15	33,81	31,81	25,28	29,89	32,49	26,68	36,99	37,84	32,87
19	59,20	27,22	21,61	28,75	35,82	25,07	31,88	35,86	35,11	38,64	34,65	34,48
20	53,00	20,70	20,43	28,11	37,50	33,12	30,77	31,13	34,20	40,11	35,61	32,64
21	91,92	16,11	35,84	32,49	26,73	33,22	31,07	29,75	34,09	38,57	35,09	30,79
22	53,49	19,94	32,70	29,54	22,15	35,85	31,55	36,94	35,12	35,19	39,11	30,24
23	30,51	20,74	34,68	24,67	30,78	32,89	30,12	35,48	34,12	35,18	39,62	27,46
24	24,75	28,21	30,04	22,87	29,97	30,07	29,28	35,64	28,24	40,48	39,32	21,76
25	33,44	29,51	22,35	31,97	28,38	28,51	34,39	31,40	25,73	51,40	38,93	21,55
26	28,29	28,32	19,56	32,76	32,69	27,07	34,93	32,57	35,98	44,63	32,56	22,69
27	28,86	21,96	16,70	28,81	40,84	54,20	36,04	26,24	34,59	38,92	30,80	25,88
28	28,70	19,93	17,89	27,70	23,44	78,29	35,63	27,17	29,32	34,56	41,31	32,30
29	28,25	30,28	30,04	33,26	20,84	48,29	35,66	33,66	30,47	32,47	39,19	31,90
30	13,65		35,10	22,65	32,16	35,41	27,84	35,43	30,67	36,20	35,07	29,37
31	21,45		30,19		36,74		25,79	33,12		43,84		23,37

http://www.nordpoolspot.com/globalassets/marketdata-excel-files/elspot-prices_2016_daily_eur.xls