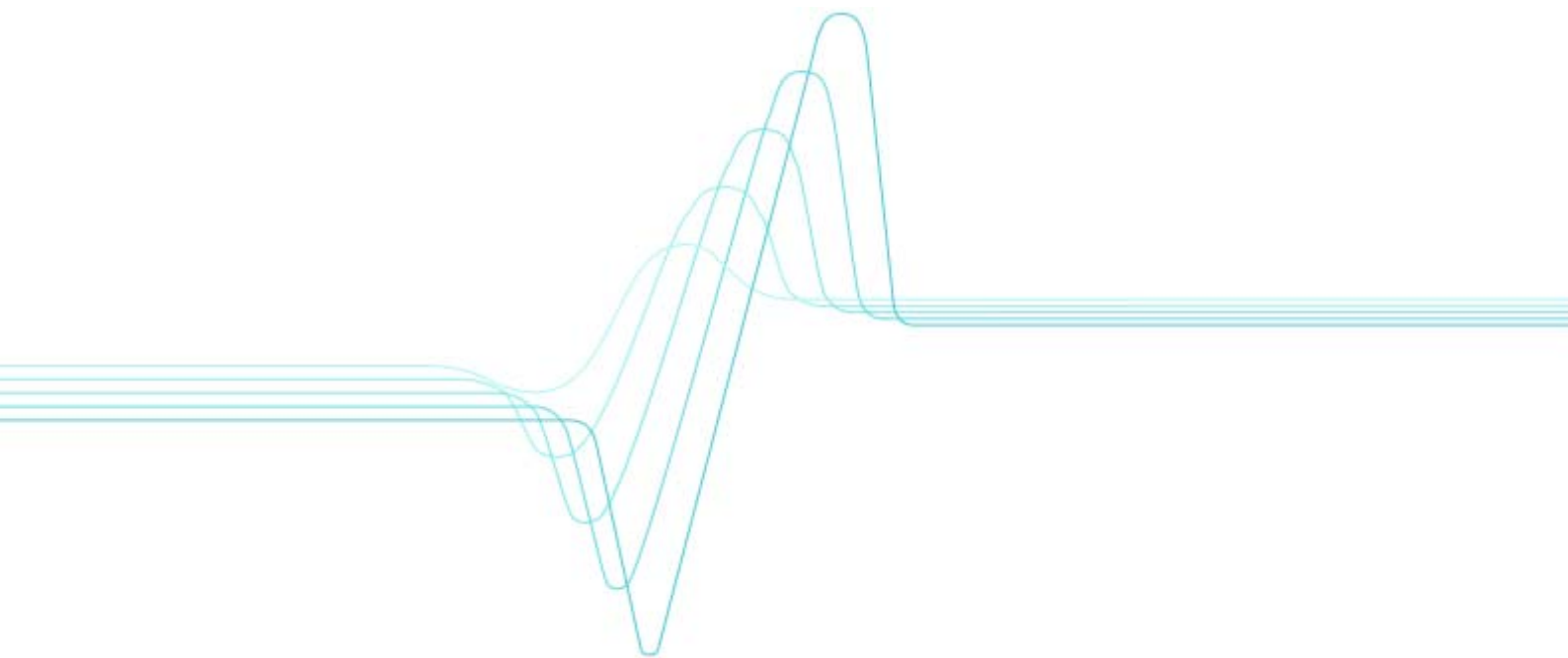


Raili Alanen, Tiina Koljonen,
Sirpa Hukari & Pekka Saari

Energian varastoinnin nykytila



Energian varastoinnin nykytila

Raili Alanen, Tiina Koljonen, Sirpa Hukari & Pekka Saari

VTT Prosessit



ISBN 951-38-6160-0 (URL: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/>)
ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/>)

Copyright © VTT 2003

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 4374

VTT, Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 4374

VTT Prosessit, Tekniikantie 4 C, PL 1606, 02044 VTT
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 6538

VTT Processer, Teknikvägen 4 C, PB 1606, 02044 VTT
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 6538

VTT Processes, Tekniikantie 4 C, P.O.Box 1606, FIN-02044 VTT, Finland
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 6538

VTT Prosessit, Koivurannantie 1, PL 1603, 40101 JYVÄSKYLÄ
puh. vaihde (014) 672 611, faksi (014) 672 597

VTT Processer, Koivurannantie 1, PB 1603, 40101 JYVÄSKYLÄ
tel. växel (014) 672 611, fax (014) 672 597

VTT Processes, Koivurannantie 1, P.O.Box 1603, FIN-40101 JYVÄSKYLÄ, Finland
phone internat. + 358 14 672 611, fax + 358 14 672 597

VTT Prosessit, Yliopistonranta 10 F, PL 700, 65101 VAASA
puh. vaihde (09) 133 11, faksi (09) 133 1395

VTT Processer, Yliopistonranta 10 F, PB 700, 65101 VASA
tel. växel (09) 133 11, fax (09) 133 1395

VTT Processes, Yliopistonranta 10 F, P.O.Box 700, FIN-65101 VAASA, Finland
phone internat. + 358 9 133 11, fax + 358 9 133 1395

Alanen, Raili, Koljonen, Tiina, Hukari, Sirpa & Saari, Pekka. Energian varastoinnin nykytila [Current Trends in Energy Storage Technology]. Espoo 2003. VTT Tiedotteita – Research Notes 2199. 169 s. + liitt. 60 s.

Avainsanat energy storage technologies, energy storage, pumped-storage, compressed air energy storage, thermal energy storage, flywheels, superconducting magnet energy storage, SMES, batteries, capacitors, supercapacitor, ultracapacitor, battery energy storage, heat pump, fuel cell, latent heat storage, hydrogen storage

Tiivistelmä

Tässä tutkimustyössä tarkastellaan energian varastointiin liittyvää teknologiaa, sen viimeisintä kehitystä, sovellusalueita ja niiden asettamia vaatimuksia, tuotteita, standardointia, patentointia ja tutkimus- ja kehitystoimintaa. Työ sisälsi myös suomalaisille yrityksille ja tutkija- sekä opetustahoille suunnatun haastattelukyselyn osaamisalueista, kiinnostuksen kohteista ja näkemyksestä tarpeellisiksi painopistealueiksi tuleviin tutkimusprojekteihin.

Energian varastointitekniikkaan liittyvän kehityksen ajavana voimana on ollut sähkö- ja hybridiajoneuvojen kehitys, hajautetun sähkönjakelun kehitys, uusiutuvia energialähteitä hyödyntävän voimantuotannon kehitys, ympäristönsuojelulliset näkökohdat ja sähkönjakelun luotettavuus- ja laatuongelmat. Energiavarastojen käyttö tuo myös taloudellisia etuja, sillä ne mahdollistavat kysynnän vaihtelujen ja huippukuormituksen optimaalisen hyödyntämisen.

Energian varastointitekniikka on pääosin perusteiltaan vanhaa tekniikkaa, mutta selkeästi esim. materiaalitekniikan kehittyminen on vauhdittanut myös varastointitekniikan kehitystä. Esimerkiksi faasinmuutosmateriaalien ja uusien kylmäaineiden käyttö tuo uusia tutkimustarpeita ja tuotteita lämpö- ja kylmävarastointiin. Mikro- ja nanotekniikan tutkimus ja lisääntynyt tietämys ovat tuomassa merkittävää panosta niin akku- kuin kondensaattori- ja polttokennotekniikkaan. Toisaalta useimmat energian varastointitekniikat (esim. vauhtipyörät, SMES, virtausakut, regeneroitavat polttokennot) vaativat tehokkaan monipuolisen hallintajärjestelmän, joten ohjausjärjestelmän tehoelektronikkaan ja muuhun sähkö- ja oheistekniikkaan liittyvään kehitykseen tarvitaan panostusta edelleen. Integroituminen muihin järjestelmiin ja verkkoon liittymän hallintakonseptit, ohjeet, säännöt, standardit ja suojauksen/ohjauksen hallintalaitteet vaativat edelleen panostusta ja pitkälti myös maakohtaisia versioita, joten energian varastointiin liittyvät tuotteet tarjovat runsaasti kehitysmahdollisuuksia myös suomalaisille yrityksille.

Alanen, Raili, Koljonen, Tiina, Hukari, Sirpa & Saari, Pekka. Energian varastoinnin nykytila [Current Trends in Energy Storage Technology]. Espoo 2003. VTT Tiedotteita – Research Notes 2199. 169 p. + app. 60 p.

Keywords energy storage technologies, energy storage, pumped-storage, compressed air energy storage, thermal energy storage, flywheels, superconducting magnet energy storage, SMES, batteries, capacitors, supercapacitor, ultracapacitor, battery energy storage, heat pump, fuel cell, latent heat storage, hydrogen storage

Abstract

In this research work we have studied the technology of energy storage: latest development, application areas and their demands, products, standards, patents, research and development activities. The work included also an interview study where its was interviewed experts of companies and universities for their field of know-how, focus on interest and future research projects in energy storage technologies.

The driven forces for development of energy storage technology has been among the others the development of electrical and hybrid vehicles, distributed electricity, renewable energy, environmental aspects, and the reliability and quality problems of electricity distribution. The utilisation of energy storage technology will give also the financial benefits when giving feasibility to manage optimally the periods of demand fluctuation and peak load.

The main part of the energy storage technology is based on the old innovations but e.g. the innovations in material technology also have lately speeded up the development of energy storage systems. For example the phase change materials and new refrigerants are basis for the development of the products in thermal energy storage technology. The research and increased knowledge of nano- and microtechnology will influence on the development of the battery-, capacitor and fuel cell systems. On the other hand most energy storage techniques (e.g. flywheels, SMES, flow batteries and regenerative fuel cells) needs multifunctional control system thus the development work for the power electronics and other functions of control systems is still needed. Integration into other systems and the management concepts of the network connection, instructions, rules, standards, protection and control systems need further development and possible national versions, thus energy storage products will give development potential for finish companies, too.

Alkusanat

Tämä työ on energian varastoinnin nykytilaa koskeva esiselvitysprojekti Tekesin vuoden 2003 alusta aloitettua ”Hajautettujen energiajärjestelmien teknologiat 2003–2007” -ohjelmaa varten. Työ on pääosin Teknologian edistämiskeskuksen (Tekes) rahoittama ja muita rahoittajia ovat olleet Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen (VTT) lisäksi ABB Oy, Powest Oy, Merinova Oy, Evox Rifa Group Oyj ja Helsingin Energia. Tutkimusprojekti sijoittuu ajanjaksolle 15.10.02–30.4.03. Työ on toteutettu VTT Prosessit -yksikössä, jossa työn vastuullisena tutkijana on toiminut erikoistutkija Raili Alanen.

Tutkimuksen toteutuksen ja onnistumisen yhtenä edellytyksenä ovat olleet asiantuntijat, joita työn yhteydessä on haastateltu. Kiitämme kaikkia osallistuneita tahoja ja henkilöitä arvokkaasta panoksesta.

Kirjoittajat

Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	3
Abstract.....	4
Alkusanat.....	5
Käytetyt lyhenteet.....	9
1. Johdanto: tausta ja liittymät	10
2. Energian varastointitekniologiat	11
2.1 Yleistä.....	11
2.2 Lämpövarastot	11
2.2.1 Lämpöenergian varastointimenetelmät	12
2.2.2 Rakennus- ja prosessilämpövarastot – lyhytaikainen lämmön varastointi.....	20
2.2.3 Suuret maanpäälliset ja maanalaiset lämpö-/kylmävarastot – keskipitkän aikavälin varastointi.....	30
2.2.4 Suuret maanalaiset lämpövarastot – pitkäaikainen lämmön varastointi.....	40
2.3 Paineilmavarastot	44
2.4 Pumpatut vesivarastot.....	44
2.5 Energian varastointi synteettisenä polttoaineena (vety).....	45
2.6 Akut.....	48
2.6.1 Lyijyakut	49
2.6.2 Nikkeli-kadmiumakut (NiCd) ja nikkeli-rauta (NiFe) -akut.....	50
2.6.3 Sinkki-mangaaniakut (ZnMn).....	51
2.6.4 Nikkeli-metallihydridiakut (NiMH).....	51
2.6.5 Litiumioni- ja litium-polymeeriakut	52
2.6.6 Natrium-rikki (NaS) -akut.....	53
2.6.7 Metallililma-akut.....	53
2.7 Polttokennot.....	54
2.8 Regeneroitavat polttokennot ja akut.....	57
2.8.1 Regeneroitavat vety-happipolttokennot	57
2.8.1.1 PEM-tyyppinen regeneroitava polttokenno	57
2.8.1.2 SOFC-tyyppinen regeneroitava polttokenno	58
2.8.2 Muut regeneroitavat polttokennot ja akut	59
2.8.2.1 Vanadium-redoksivirtausakku	61
2.8.2.2 Sinkki-ilma-tyyppinen regeneroitava polttokenno.....	62
2.8.2.3 Sinkki-bromidi-virtausakku	64

2.8.2.4	Polysulfaatti-bromidi-virtausakku	66
2.9	Vauhtipyörät	66
2.10	Suprajohtavat magneettisen energian varastot	75
2.11	Sähkökemialliset kondensaattorit (super-/ultra-/pseudokondensaattorit)	80
2.12	Mikro- ja nanotekniikkaa hyödyntävät energiavarastot	85
3.	Energian varastointitekniikat eri sovelluskohteissa	88
3.1	Yleistä	88
3.2	Energiavarastot sähkönjakeluverkon stabiiliuden ja hajautetun tuotannon hallinnassa	91
3.3	Energiavarastot sähkön syötön varmistuksessa	93
3.4	Energiavarastot huipputehon ja kuormien hallinnassa	95
3.5	Energiavarastot kuljetuksessa (ajoneuvoissa) ja liikuteltavissa laitteissa	97
3.6	Energiavarastot uusiutuvan energian tuotannossa	98
4.	Yhteenveto varastointitekniikkojen sovelluskohteista, ominaisuuksista ja kustannuksista	104
4.1	Sovelluskohteet ja ominaisuudet	104
4.2	Eri varastointitekniikoiden kustannuksia yleisesti	110
5.	Energian varastointitekniikkojen markkinakartoitus	113
5.1	Markkinapotentiaalit	113
5.1.1	Energian varastointitekniikan markkinapotentiaali	113
5.1.2	Energian varastointitekniikkojen sovellusten markkinapotentiaali	116
5.2	Energian varastoinnin laitevalmistajat ja laitteet	118
5.2.1	Akut	118
5.2.2	Suprajohtavat sähkömagneettiset varastot (SMES)	119
5.2.3	Polttokennot ja virtausakut	120
5.2.4	Vauhtipyörät	124
5.2.5	Sähkökemialliset kondensaattorit	127
5.2.6	Mikro- ja nanotekniikkaa hyödyntävät varastot	131
5.2.7	Lämpö- ja kylmävarastot	132
6.	Energian varastointiin liittyvä tutkimustyö	136
6.1	Tutkimustoiminta Suomessa	136
6.2	Kansainvälistä tutkimustoimintaa ja -ohjelmia	138
6.3	Energian varastointiin liittyvä standardointi- ja ohjeistustoiminta	140
6.4	Energian varastointiin liittyvä patentointi	141
7.	Energian varastointitekniikkaan sisältyvät liiketoimintamahdollisuudet Suomessa	142
7.1	Yleistä	142
7.2	Haastattelututkimus	142
7.3	Haastattelututkimusten tulokset	143

7.4	Yhteenveto haastattelututkimuksesta ja liiketoimintamahdollisuuksista	145
8.	Yhteenveto	147
8.1	Yleistä.....	147
8.2	Energian varastointitekniikka.....	147
8.3	Sovelluskohteet, ratkaisut ja kustannukset.....	150
8.4	Energian varastointitekniikan ja -sovellusten markkinapotentiaali.....	152
8.5	Tutkimustoiminta	153
8.6	Jatkotutkimustarpeita ja painoalueita	154
	Lähdeluettelo	156

Liitteet

Liite 1

Energian varastointiin liittyviä standardeja

Liite 2

Katsaus energian varastointiin liittyviin patenteihin

Käytetyt lyhenteet

AFC	Alkaline Fuel Cell, alkaalipolttokenno
AGM	Absorbed Glass Mat, lyijyakku, jossa elektrolyytti on sitoutuneena huokoiseen lasikuitumattoon
APS	Advanced Pumped Storage, kehittynyt pumppuvoimalaitos
CAES	Compressed Air Energy Storage, paineilmaenergian varasto
CAS	Compressed Air Storage, paineilma-varasto
CHP	Combind Heat and Power (production/plant), yhdistetty lämmön ja tehon (tuotanto/tuotantolaitos)
DMFC	Direct Methanol Fuel Cell, suora metanolipolttokenno
HE	Hajautettu energia
ITSOFC	Intermediate Temperature Solid Oxide Fuel Cell (800°C), kiinteäoksidipolttokenno
MCFC	Molten Carbonate Fuel Cell, sulakarbonaattipolttokenno
NaS	Natriumsulfidi
NiCd	Nikkeli-kadmium
NiFe	Nikkeli-rauta
NiMH	Nikkeli-metallihydridi
PAFC	Phosphoric Acid Fuel Cell, fosforihappopolttokenno
PbO ₂	Lyijyoksid
PCM	Phase Change Material, faasinmuutosmateriaali
PCS	Power conditioning system, verkkoonliitännäyksikkö
PEMFC	Proton Exchange Membrane Fuel Cell tai Polymer Electrolyte Fuel Cell, protoninvaihtokalvopolttokenno
RFC	Reversible Fuel Cell, reversiibelipolttokenno
SMES	Superconducting magnetic energy storage, suprajohtava magneettisen energian varasto
RuO ₂	Ruteenioksid
Ta ₂ O ₅	Tantalumoksid
SOFC	Solid Oxide Fuel Cell, kiinteäoksidipolttokenno
TSOFC	Tubular Solid Oxide Fuel Cell, kiinteäoksidipolttokenno
UPS	Uninterruptible Power Supply, keskeytymätön sähkönsyöttöjärjestelmä
URFC	Unitized regenerative fuel cell, regeneroiva polttokenno
ZnBr ₂	Sinkki-bromidi
ZnMn	Sinkki-mangaani

1. Johdanto: tausta ja liittymät

Energian varastointitekniologia on selkeästi muodostumassa avainteknologiaksi lähes kaikilla energian jakelun osa-alueilla. Tehokas, luotettava ja kustannustehokas sähköenergian varastotekniikka on edellytyksenä hajautetun energian tuotannon käytölle syrjäisillä alueilla, integraatiossa sähköjärjestelmiin ja tulevaisuuden hajautetun energian järjestelmiä kehitettäessä. Hajautetun energian (HE) – esimerkiksi tuulivoiman – pulonkaulana on energian varastointi niitä tilanteita varten, joissa tuotanto on keskeytynyt. Varastojen puuttuessa varalle on saatava perusvoimaa tarvittaessa. Tämä osaltaan heikentää HE:n konseptilla saatavia hyötyjä esimerkiksi jakeluverkon vahvistamisen osalta. HE:n pienemmistä tuotantoyksiköistä sekä monimutkaisemmasta suojaustekniikasta johtuen häiriötilanteet vaikuttavat voimakkaasti sähkön laatuun ja laadun parantamiseen tarvitaan lyhytaikaista lisäenergiaa.

Keskeytymätön sähkönjakelu alkaa olla sen kaikilla osa-alueilla tänä päivänä ehdoton vaatimus, jota sähköä käyttävien sovellusten jatkuva kasvu ja tietotekniikan mukaantulon aiheuttamat lisääntyneet vaatimukset vain korostavat. Energian varastointi on myös yksi lupaavimmista teknologioista kuljetuksen polttoainekulutuksen vähentämiseen tähtäävässä kehitystyössä.

Lukuisat teollisuussovellukset ja operointitilanteet (UPS, Uninterruptible Power System, jännitekuopat, prosessin turvallinen alasajo, varavoima) vaativat toimivaa energian varastointitekniikkaa. Käyttö- ja toimintavarmuus ovat tämän päivän avaintemoja teollisuudessa ja niiden edellytyksenä on häiriötön, asetetut laatuvaatimukset täyttävä energiansyöttö, olipa kyseessä sitten sähkö-, lämpö-, kylmä-, paineilma- tai mekaaninen energia. Viiveellinen tai väärintasoinen vaste tehontarvevaatimuksiin ei ole hyväksyttävää teollisuudessa, kaupallisessa tai yksityisessä kulutusympäristössä ja voi johtaa sovellusten vikaantumiseen ja aiheuttaa suuria taloudellisia kustannuksia ja turvallisuusriskejä.

Ilman energian varastointia HE:n yleistyessä täytyy hyväksyä vain ajoittain saatavissa oleva energia ja energian tuotannon ja konversion laitteiden käyminen huonolla hyötysuhteella.

2. Energian varastointitekniikat

2.1 Yleistä

Lukuisat erityyppiset sovelluskohteet edellyttävät erityyppisten energianvarastointitekniikoiden olemassaoloa ja käyttöä. Perinteisesti energian varastointiajatuksista on hyödynnetty varastoimalla fossiilisia polttoaineita ja biopolttoaineita. Voimakkaimmin energianvarastointiin liittyvän tutkimuksen kohteena ovat tällä hetkellä kuitenkin sellaiset energiamuodot, jotka ovat jo saatavissa käyttökelpoisessa muodossa (kuten esim. sähkö ja lämpö) ja jotka ovat sitten varastoitavissa ja muutettavissa sitten edelleen takaisin käyttökelpoiseen muotoon.

Eri varastointitekniikat perustuvat erilaisten fysikaalisten ja kemiallisten ilmiöiden hyväksikäyttöön, kuten esim. sähkökemiallisiin ilmiöihin perustuvat akut ja polttokennot, sähkömagneettiseen kenttään perustuvat superkondensaattorit ja suprajohtavat magneettiset energiavarastot (SMES, Superconducting Magnetic Energy Storage), lämpökemiaan perustuva lämmön ja kylmän varastointi ja mekaniikkaan perustuvat vauhtipyörät, painekaasu ja pumpatun veden varastot. Osa näistä energian varastointitekniikoista on käytännössä testattuja ja kaupallisessa tuotannossa ja niihin liittyvä kehitystyö on lähinnä koon, ympäristöön siirtyvien päästöjen ja kustannusten minimoimista sekä tehokkuuden ja eliniän parantamiseen tähtäävää työtä. Uutta kehittyvää tekniikkaa edustavat mm. ladattavat kehittyneet akut ja patterit, regeneroitavat polttokennot, superkondensaattorit ja suprajohtavat magneettisen energian varastot. Faasinmuutosmateriaalien ja uusien kylmäaineiden käytön sovellukset ovat vauhdittaneet lämpö- ja kylmävarastointitekniikan kehitystä.

Loppuasiakkaan kannalta ratkaisevat, energian varastotekniikkaan liittyvät valintakriteerit muodostuvat sekä taloudellisista että teknisistä näkökohdista. Teknisistä ominaisuuksista energia- ja tehotehous ja vasteaika ovat tärkeitä tekijöitä monissa sovellutuksissa. Myös hyötysuhde, elinikä ja liikuteltavissa sovelluksissa paino voivat olla määrittäviä tekijöitä. Valvonta- ja ohjauslaitteiden saatavuus ja toimivuus sekä oikeiden toimintaolosuhteiden ja turvallisuuden ylläpito voivat joissakin sovelluksissa aiheuttaa merkittäviä ongelmia ja kustannuksia. [1]

2.2 Lämpövarastot

Lämpö- ja kylmäenergian varastointi on eräs perinteisimmistä energian varastointitavoista. Lämpö- ja kylmäenergian varastointia on tutkittu kauan, mutta uusia menetelmiä ja konsepteja kehitellään jatkuvasti. Syynä on paitsi materiaalien ja valmistustekniikoiden kehittyminen myös lisääntyneet varastointitarpeet. Esim. rakennusten jäähdytysenergian tarve on lisääntynyt tuntuvasti mm. uusien lämpöä tuottavien sähkölaitteiden,

kuten tietokoneiden, tuoman lämpökuorman takia. Energian säästö ja saastepäästöjen vähentäminen ovat mm. kansainvälisten sopimusten takia ajankohtaisia ja toisaalta lämpö-/kylmäenergiavarastoinnin avulla voidaan saavuttaa taloudellista säästöä pienentämällä kulutushuippuja, kun tarvittava lämpöenergia tuotetaan kulutushuippujen ulkopuolella.

Lämpöä on perinteisesti varastoitu ns. tuntuvana lämpönä talosovelluksissa ja teollisuusprosesseissa. Kyseiset lämpövarastot on tarkoitettu lämmön lyhytaikaiseen varastointiin, esimerkiksi kuumavesivaraajissa tai -pulloissa sekä asuinrakennusten tulisijoissa (ei käsitellä tässä yhteydessä). Pidempiaikaisessa lämmön varastoinnissa käytetään suuria lämpövarastoja, jotka voivat olla maan päällisiä vesisäiliöitä tai maanalaisia varastoja. Uusimmat lämmön varastointitekniikat perustuvat faasin muutokseen (Phase Change Materials, PCM) tai termokemialliseen reaktioon, jolloin termisen lämmön varastointikapasiteetti on huomattavasti suurempi kuin perinteisissä järjestelmissä.

2.2.1 Lämpöenergian varastointimenetelmät

Termisen energian varastointitekniikat voidaan jakaa esim. lämpötilan mukaan, jolloin puhutaan matala-, keskilämpö- ja korkealämpötilavarastoinnista, tai sijoituspaikan mukaan kuten esim. maanpäälliset- ja maanalaiset varastot. Toisaalta ratkaisuihin vaikuttaa varastointiaika, joka voi olla lyhyt tai pitkä. [112, 113]

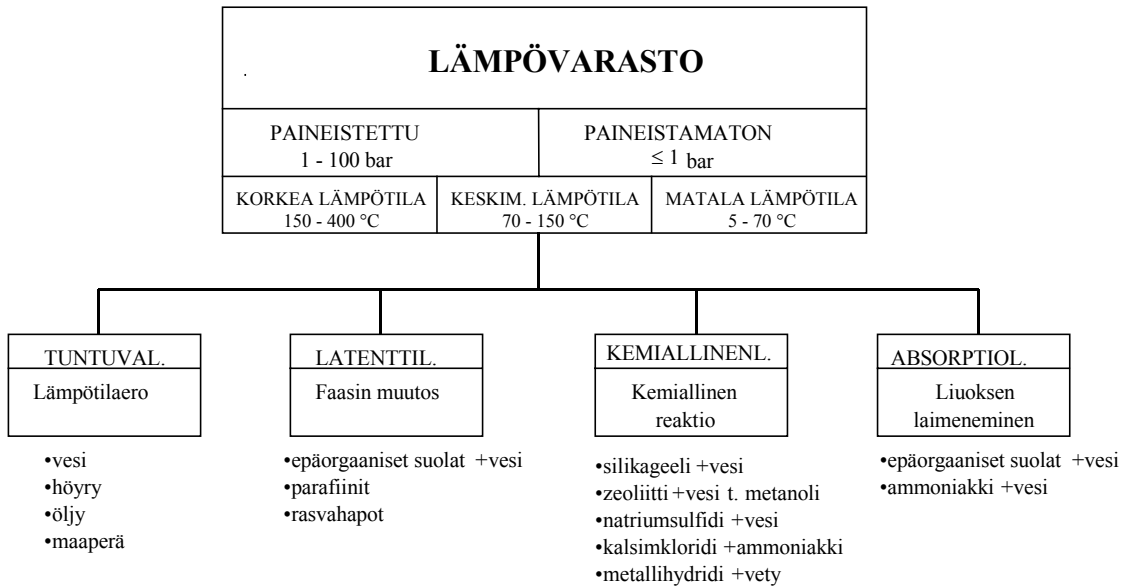
Lyhyen ajan lämpövarastoja käytetään muutamasta tunnista päivän pituisten huippukuormien hallintaan ja hyödyntämään eri vuorokaudenaikojen energiakustannusten hintaeroja. Keskipitkän ja pitkän ajan varastoja käytetään mm. hukkalämmön ja vuorokaudenaikojen vaihtelun aiheuttaman kuormanvaihtelun hallintaan, jolloin viivettä voi olla useista viikoista useisiin kuukausiin. [114]

Lämpövarastoinnin eri tyyppejä on esitetty oheisessa kuvassa 1.

Lämpövaraston paine ja lämpötila riippuvat käytetystä väliaineesta ja varastointimenetelmästä. Kuvassa esitetyt lämpötila- ja painerajat ovat lähinnä ohjeellisia.

Lämpöenergian varastointi voi perustua:

- tuntuvan lämmön varastointiin
- latentti- (l. sitoutuneen) lämmön varastointiin
- termokemialliseen varastointiin.



Kuva 1. Lämmön varastointimenetelmät [2].

Tuntuvan lämmön varastointi on edellä mainituista yleisin. Lämpöä varastoidaan yleisimmin veteen. Maanalaisissa varastoissa energiaa varastoidaan maaperään eli saveen, hiekkaan tai kallioon. Tuntuva lämpö varastoidaan yleensä kiinteään aineeseen, mutta osa voi varastoitua myös pohjaveteen. Tuntuva lämpöä voidaan myös varastoida rakennusten seinämiin ja tulisijojen rakenteisiin. Alla (Taulukko 1) on esitetty lämmön varastointikapasiteetteja eri kivi- ja maalajeille [3].

Taulukko 1. Lämmön varastointikapasiteetteja [3].

Väliaine	Lämmönjohtavuus W/m K	Lämpökapasiteetti kJ/kg °C	Tilavuuden lämpökapasiteetti kWh/m ³ °C
Graniitti	2,9–4,2	830	0,62
Hiekkakivi	3,0–5,0	730	0,55
Saviliuske	1,7–3,5	850	0,66
Kalkkikivi	1,7–3,0	840	0,63
Kvartsiitti	5,0–7,0	790	0,58
Hiekka, sora ¹	1,6–2,0		0,81
Hiekka, sora ²	0,7–0,9		0,39
Savi	0,85–1,1		0,83–1,0
Lieju ¹	1,5–2,5		0,61–0,83
Hiekkainen lieju ¹	0,6–1,8		0,36–0,53
Turve ¹	0,6		1,11
Turve ²	0,2–0,5		0,19–0,89
Vesi	0,62	4180	1,18

¹ pohjavedenpinnan alla, ² pohjavedenpinnan yllä

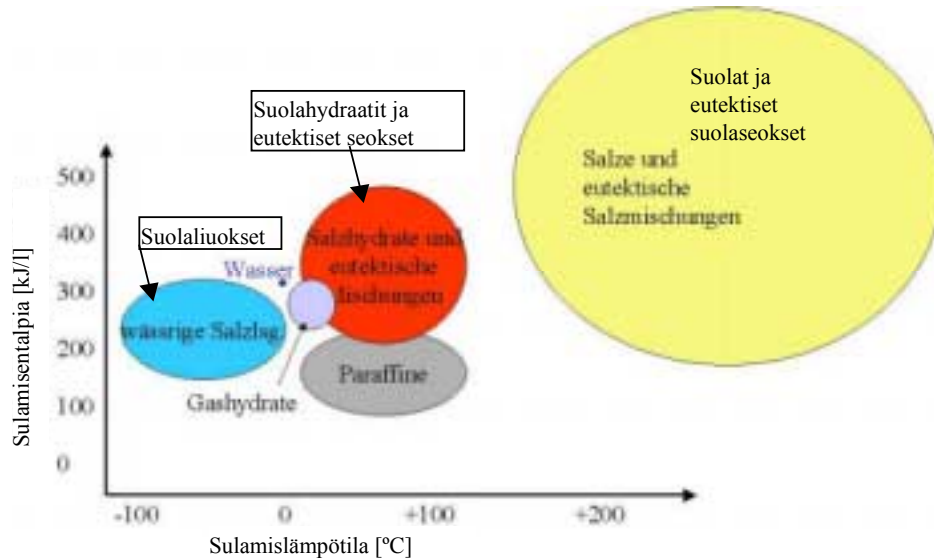
Latenttilämpöön perustuva lämmönvarastointi

Latenttilämpöön perustuvat varaajat hyödyntävät faasin muutoksessa vapautuvaa tai sitoutuvaa energiaa (Phase Change Material eli PCM) eli faasin muutoksen entalpiaa ja tuntuvaa lämpöä. Faasinmuutoslämpöjä ovat sulamislämpö, höyrystymislämpö ja sublimoitumislämpö. PCM-lämpövarastoissa faasin muutos tapahtuu useimmiten kiinteän ja nesteen välillä. Myös konventionaalisen höyryakun toiminta perustuu faasin muutokseen ja se on yleisesti käytössä voimalaitoksissa sekä teollisuuslaitoksissa. Faasinmuutos tapahtuu vakio-tilassa, joten PCM:n avulla on mahdollista varastoida suuria lämpömääriä pienellä lämpötilaerolla, eli varastointitiheys on suuri. Koska faasin muutos ei tapahdu hetkessä, PCM-varastojen avulla voidaan tasata lämpötilavaihteluja ja 'leikata' lämpötilapiikkejä.

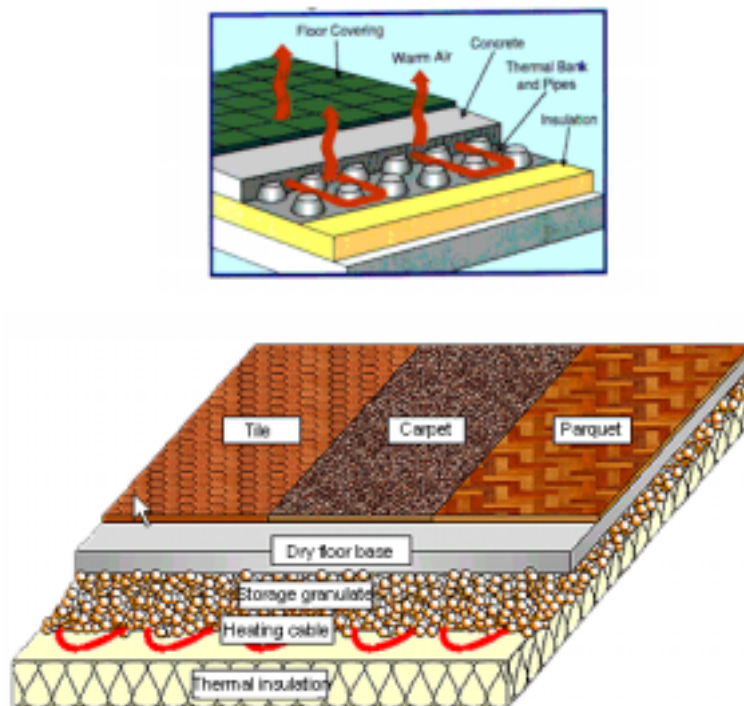
PCM-varastoissa käytettyjä kaupallisia väliaineita ovat vesi/jää, suolaliuokset, epäorgaanisten suolojen hydraatit ja rasvahapot (vrt. Kuva 2). Kylmävarastoissa käytetään vettä ja suolojen vesiliuoksia. Lämpövarastoissa käytetään parafiineja, suolojen hydraatteja sekä eutektisia suolahydraatteja. Kaasuhydraattien ja puhtaiden suolojen käyttö on vielä koeasteella. Suolojen ongelmana on liuoksen vanheneminen eli kiteytymisen osittainen palautumattomuus, jolloin varasto useiden lataus-purkauskertojen jälkeen menettää varaussykyään. Kylmäsovelluksissa toisena ongelmana on liuoksen alijäähtyminen ennen jäätymistä, mitä on yritetty poistaa kiteytymistä edistävien lisäaineiden (engl. nucleator) avulla. Lisäksi suolat aiheuttavat korroosiota metalleissa. Rasvahapot ovat helppokäyttöisempiä kuin suolat, mutta niiden varaussyky on huonompi. Vaikka kaupallisia PCM-vaihtoehtoja on jo yli 70, uusia materiaaleja ja lisää tutkimustyötä tarvitaan etenkin alle 20 °C ja yli 100 °C sovellusalueille [2], [5], [97]. Suurimmat kaupallisten PCM-aineiden valmistajat ovat australialainen Teap Energy [98] ja saksalainen Rubitherm GmbH [99]. Teap Energyn PCM-varastot perustuvat lähinnä suolojen käyttöön, kun taas Rubithermin tuotteet ovat parafiineja ja vahoja. Kemira valmistaa orgaanista suolaa (kalium-liuos) tuotenimellä Freezium.

PCM-varastoja käytetään lämpötila-alueella 0–100 °C lähinnä energian lyhytaikaiseen varastointiin rakennussovelluksissa osana talojen lämmitys- tai ilmastointijärjestelmää. Esimerkiksi vesisäiliön tilavuutta voidaan pienentää lisäämällä säiliöön muovipalloihin kapseloitua PCM:ää (vrt. korrodoivat suolat). Myös PCM:n lisäämistä suoraan veteen on tutkittu (vrt. parafiinit ja vahat). Myös talojen lattialämmitysjärjestelmissä voidaan käyttää PCM:ää. Teap Energyn järjestelmässä PCM on kapseloitu ja se soveltuu vesikiertojärjestelmiin, erityisesti lämpöpumppuratkaisuihin. Rubithermin järjestelmässä PCM on sidottu kantaja-aineeseen ja se on tarkoitettu sähköiseen lattialämmitykseen (vrt. Kuva 3). PCM:ää voidaan käyttää myös niin sanottuna passiivisena lämpövarastona eli osana talojen rakenteita. Viime aikoina on tutkittu aurinkolämmön varastointia talon rakenteisiin PCM:n avulla, jolloin talojen rakenteista on saatu kevyitä verrattuna perinteisiin rakennusmateriaaleihin. Kevytrakenteisissa kohteissa PCM:n avulla voidaan

tasata vuorokausittaisia sisälämpötiloja. Esim. parafiinin käyttöä sisäseinämateriaalina käytettävissä kipsilevyissä on tutkittu. Ratkaisu tasoittaisi sisälämpötiloja alueella, jossa päivä- ja yölämpötilojen ero on suuri mutta rakennuksissa ei perinteisesti käytetä lämmityslaitteita. PCM-materiaalia, esim. steariinihappoa, käytetään myös teollisuuden hukkalämpöä hyödyntävissä lämpövarastoissa.



Kuva 1. Latenttilämpöön perustuvien materiaalien luokitus ja niiden tyypilliset käyttölämpötilat [97].



Kuva 3. PCM-lämpövarasto osana lattialämmitystä [98, 99].

Eksoottisempia sovelluskohteita ovat PCM:n käyttö vaatteissa tasaamaan ruumiin lämpötiloja. Esimerkiksi yhdysvaltalaisissa avaruuspuvuissa on jo vuosikymmeniä sitten käytetty PCM:ää. Nykyään mikrokapseloitua PCM:ää käytetään talvivaatteissa. PCM:ää voidaan käyttää myös lämpötilasensitiivisten aineiden, kuten ruokien, lääkkeiden ja veren kuljetuksessa, elektronisten komponenttien ylikuumentumissuojauksessa (vrt. esim. telekommunikaatio) sekä kasvihuoneiden lämmitysjärjestelmissä. PCM:n hyödyntämistä on myös tutkittu moottorien ja hydraulisten koneiden kylmäkäynnistyksessä (BMW:llä jo käytössä) sekä passiivisena lämpövarastona esimerkiksi katujen päällysteissä estämään jäätymistä [97, 98, 99, 100].

PCM-varastojen yksi suurimmista ongelmista on huono lämmön johtavuus, jolloin sen lataus-purkausnopeudet ovat pienet. Lämmön johtavuutta voidaan parantaa paitsi vaihtamalla materiaalia myös geometrisin ratkaisuin. Zae Bayern on tutkinut PCM-grafiittikomposiittimateriaaleja, joilla voidaan saavuttaa jopa 100 kertaa suurempi lämmön johtavuus kuin puhtaalla PCM:llä. [97]

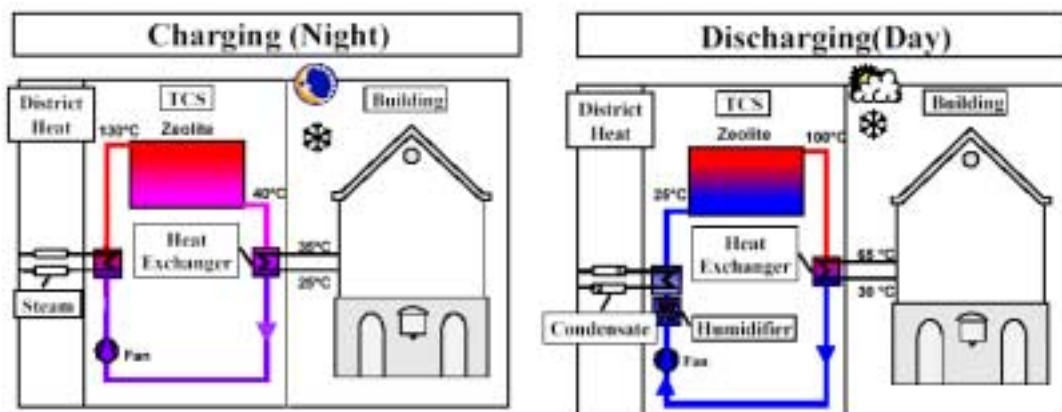
Termokemiallinen lämmön varastointi

Termokemialliset lämpövarastot (Kuva 4) perustuvat sorptio-prosessissa vapautuvaan tai sitoutuvaan reaktiolämpöön:



Y = 'työaine' eli absorboituva tai adsorboituva neste tai kaasu (vesi, NH₃, ROH, SO₃, CO₂, H₂, O₂)

X = absorbentti tai adsorbentti (silikageeli, zeoliitti, metallihydridit, karbonaatit, ammoniumyhdisteet, hydroksidit).

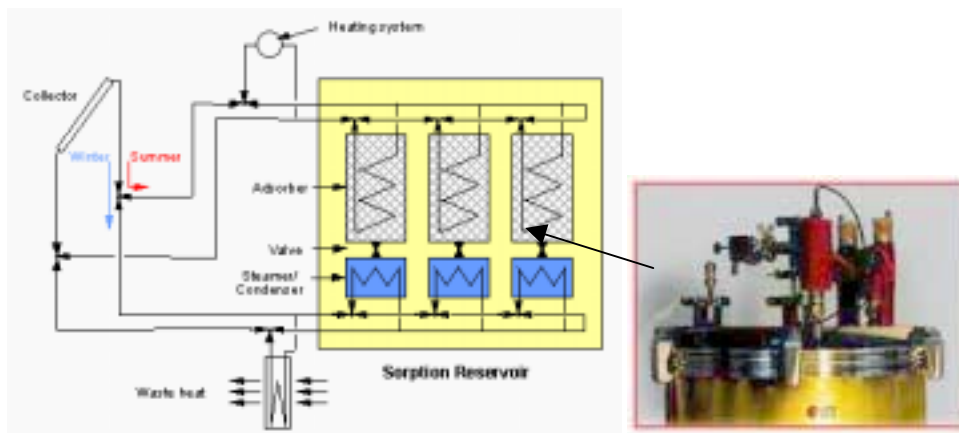


Kuva 4. Termokemiallisen zeoliitti-lämpövaraston lataus- ja purkausvaiheet. [133]

Kemialliseen reaktioenergiaan perustuvassa lämmön varastoinnissa on ongelmana reaktioiden toistettavuus. Kyseiset lämpövarastot ovatkin vielä kehitysasteella. Seuraavassa

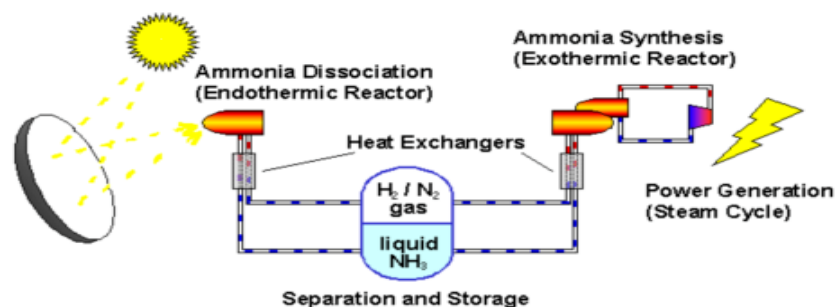
on esitetty joitain esimerkkejä termokemiallisten lämpövarastojen sovelluksista, jotka on suurimmaksi osaksi kehitetty aurinkoenergian varastointiin.

Fraunhofer ISE ja UFE Solar ovat yhteistyössä kehittäneet silikageeliin perustuvan termokemiallisen suljetun lämpövarastokonseptin aurinkolämmön kausivarastointiin ja rakentaneet koelaitokset Bruchhageniin Saksaan sekä Gleisdorfiin Itävaltaan. Varastointijärjestelmä koostuu teollisesti valmistetuista suljetuista silikageeliä sisältävistä säiliöistä, joissa kussakin on myös lämmönvaihdin ja kondenssiveden keräilyssäiliö. Lämpövarastoa ladataan kesäaikaan aurinkolämmön avulla kuivaamalla silikageeliä. Silikageelissä oleva vesi höyrystyy ja vapautuu (desorboituu) ja syntynyt kondenssivesi varastoidaan erilliseen tankkiin. Talvella vesi höyrystetään ja se kiinnittyy (adsorboidaan) kuivaan, huokoiseen silikageeliin. Adsorptiossa vapautunut lämpöenergia voidaan hyödyntää talojen lämmityksessä (vrt. Kuva 5). Järjestelmän energiatiheys (200–300 kWh/m³) on merkittävästi korkeampi kuin veden (58 kWh/m³). [102].



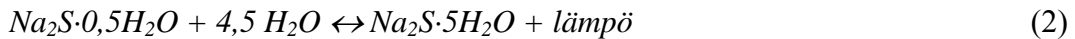
Kuva 5. Termokemiallisen aurinkolämpövaraston konseptikuva [102].

Australiassa on kehitetty ammoniakkiin perustuvaa termokemiallista lämpövarastoa, jossa nestemäinen ammoniakki dissosioidaan aurinkolämmön avulla vedyksi ja typeksi. Vedyn ja typen reaktiolämmön avulla voidaan tuottaa esimerkiksi höyryä (vrt. Kuva 6) [103].



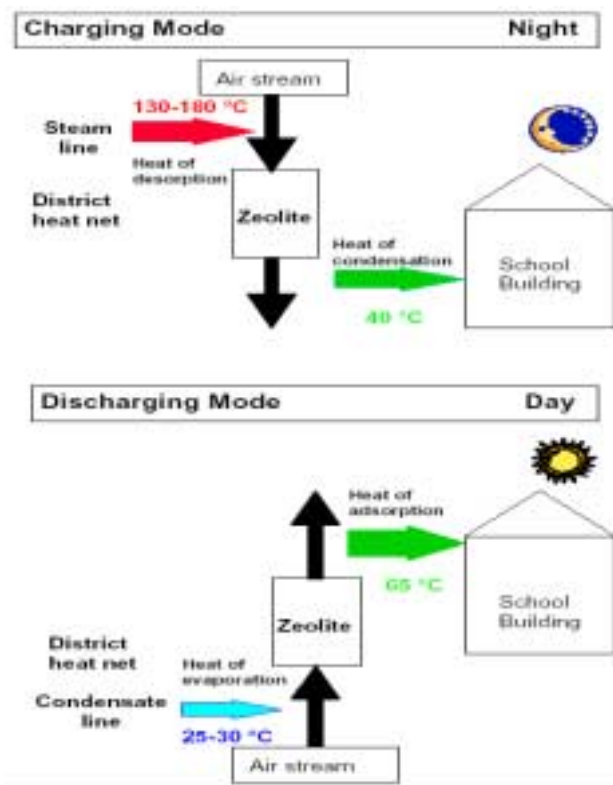
Kuva 6. Ammoniikkiin perustuva termokemiallinen lämpövarasto [103].

Hollantilainen ECN on kehittänyt ns. SWEAT (Salt-Water Energy Accumulation and Transformation) -konseptia jäädytykseen (5–15 °C). Tämä perustuu natriumsulfidin reversiibeliin hydraatioreaktioon:



Latausvaiheessa pentahydridi hajoaa noin 80 °C lämpötilassa. Purkausvaiheessa voidaan hyödyntää ulkolämpötilaa jäädytykseen. Prosessin ongelmana on natriumsuolan aiheuttama korrosio.

Koulurakennukseen Münchenissä on rakennettu termokemiallisen lämpövaraston pilotlaitos vuonna 1996 [101]. Lämpövarastossa on käytetty 7 000 kg zeoliitti- 13X-pellettejä kolmessa horisontaalisessa terästankissa (halkaisija 2,65 m). Lämpövaraston suunnitteluteho on 95 kW (purkausjakso 14 tuntia) ja se on kytketty paikalliseen kaukolämpöverkkoon (höyry 130 °C). Latausjakson aikana kuumaa ilmaa (120–130 °C) johdetaan zeoliittipedin läpi, kunnes kuivan zeoliitin vesipitoisuus on 0,09 kg_{vesi}/kg_{zeoliitti} (vrt.). Latauksessa syntynyttä jätelämpöä eli lauhtumislämpöä hyödynnetään koulun lämmityksessä. Purkauksen aikana 25 °C ilma kyllästetään vedellä hyödyntäen kaukolämpöverkon paluulinjan energiaa. Kyllästetty ilma johdetaan kuivan zeoliittipedin läpi, jolloin ilman lämpötila nousee 100 °C:seen adsorptiolämmön ansiosta. Lämpövaraston ja taloverkon välillä on lämmönvaihdin.



Kuva 7. Termokemiallisen lämpövaraston lataus- ja purkausmoodit [101].

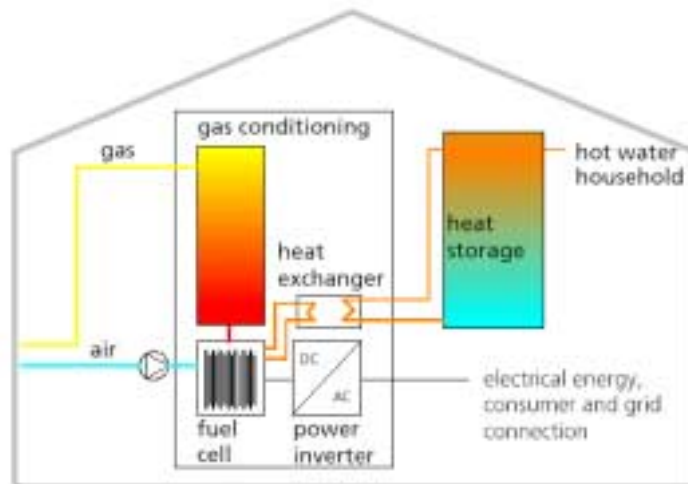
Seuraavassa (Taulukko 2) on esimerkkejä edellä esitettyjen eri väliaineiden lämmön varastointikapasiteeteista. Yhteenvedona voidaan todeta, että vesi on edelleen ylivoimaisesti suosituin, halvin ja usein myös paras vaihtoehto. Parhaat kaupalliset PCM:t yltyvät noin kaksinkertaisiin lämpökapasiteetteihin veteen verrattuna. Näin ollen paljon perustutkimusta tarvitaan liittyen materiaalien fysikaalisiin ja kemiallisiin ominaisuuksiin.

Taulukko 2. Lämpökapasiteetteja aineille, joita on käytetty lämmön varastointiin [4].

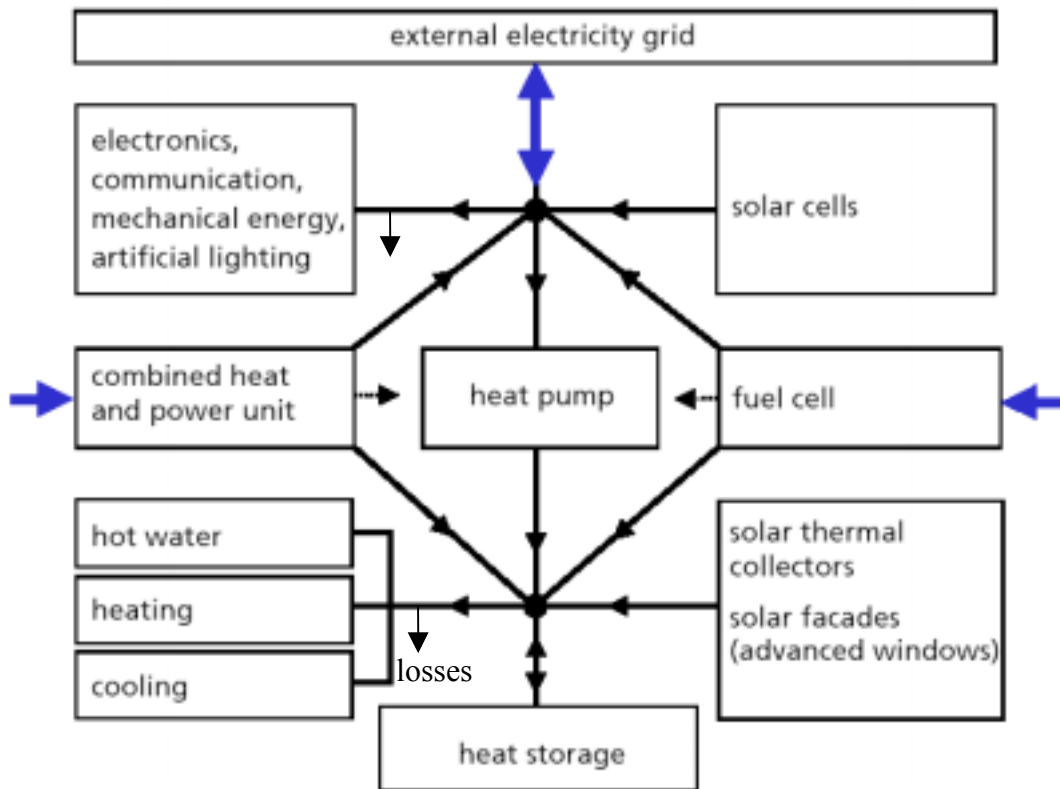
Väliaine	Lämpötila, °C	Tilavuuden lämpökapasiteetti, kWh/m ³
vesi	$\Delta T = 50$ °C	60
kivi	$\Delta T = 50$ °C	40
Na ₂ SO ₄ ·10 H ₂ O	24	70
CaCl ₂ ·6H ₂ O	30	47
parafiini	20–60	56
lauriinihappo	46	50
steariinihappo	58	45
pentaglyseriini	81	59
butyylistearaatti	19	39
propyylipalmiaatti	19	52
silikageeli N + H ₂ O	60–80	250
zeoliitti 13 X + H ₂ O	100–180	180
zeoliitti + metanoli	100	300
CaCl ₂ + NH ₃	100	1000
metallihydridi + H ₂	50–400	200–1500
Na ₂ S + H ₂ O	50–100	500

2.2.2 Rakennus- ja prosessilämpövarastot – lyhytaikainen lämmön varastointi

Perinteiset, tuntuvaan lämpöön perustuvat lämpövarastot ovat teknisesti yksinkertaisia. Kuumavesivaraajia käytetään rakennuksissa ja teollisuusprosesseissa, joissa lämpimän käyttöveden tarve ei ole vakio. Kiinteistöissä hyödynnetään yösähköä käyttöveden lämmitykseen sekä tasataan kulutushuippuja lämminvesivaraajan avulla, jolloin veden lämmitys on huomattavasti halvempaa kuin esimerkiksi suoralla sähkölämmitysjärjestelmällä. Lämpimän veden tarve ja sähkötariffi (jatkuva lämmitys vs. yösähkö) määräävät varaajan mitoituksen. Lämpöpumppu- ja kattilajärjestelmissä käyttövesivaraajaa tarvitaan kulutushuippujen tasaamiseen. Aurinko- (ja tuuli-) lämmitys vaativat luonnollisesti myös lämpövaraston. Polttokennon tuottama lämpö voidaan hyödyntää tehokkaammin lämpövaraston avulla (Kuva 8). Kiinteistökohtaisissa kaukolämpöjärjestelmissä ei yleensä ole lämpövarastoa, koska kaukolämmön tariffi on kiinteä. Mikäli tehohiipput ovat erityisen suuret, voi olla taloudellista liittää järjestelmään ns. varastosäiliö. Tulevaisuuden rakennuksissa lämpövarasto on keskeinen tehokkaan ja optimaalisen sähkön ja lämmön tuotannon ja käytön elementti (Kuva 9).



Kuva 8. Esimerkki pienikiinteistön polttokenno/lämpövarastojärjestelmästä. [135]



Kuva 9. Esimerkki tulevaisuuden kiinteistön energiavirroista. ([135] mukaan)

Lämminvesivaraajat ja lämmityskattilat

Perinteisissä patterivaraajissa veden lämmitys tapahtuu vesitilassa uppovastuksella, joka on yleensä sijoitettu säiliön alaosaan. Kaukolämpöjärjestelmässä lämminvesivaraajaa voidaan käyttää pelkkänä varastovaraajana sekä yhdessä lataussiirtimen (lämmön siirto väliaineesta toiseen) tai sähkövastuksen kanssa. Lataussiirintä käytetään kohteissa, joissa on suuret tehohuiput, kuten kouluissa, urheiluhalleissa ja teollisuuslaitoksissa. Lataussiirtimellä voidaan vähentää tehontarvetta huomattavasti, sillä yhdistettynä lämminvesivaraajaan virtauspiikit saadaan puskuroitua ja piikin jälkeen vesi lämpenee hyvin nopeasti [94]. Pienempi tehontarve vähentää kaukolämmössä liittymistehoa ja kattilalaitoksissa tarvittavaa kattilan tehoa.

Uusiutuvaa energiaa hyödyntävät kattilat ovat uusimpia kattilaratkaisuja perinteisten öljykattiloiden lisäksi. Tavoitteena on ollut mm. kotimaisen puupolttoaineen hyödyntäminen ja vähentyneet CO₂-päästöt. Suuremmissa kattiloissa polttoaineena käytetään lähinnä haketta ja turvetta. Pienikiinteistöissä uusimpia kattilaratkaisuja Suomessa ovat puupellettikattilat ja erilaiset kombikattilat kuten aurinkolämpö-öljykattilat, öljy-kaasukattilat, sähkö-öljykattilat ja öljy-puu-sähkökattilat. Esim. Itävallassa pellettijärjestelmiin integroidaan usein aurinkokeräimet [138]. Kiinteän polttoaineen kattilatyyppejä ovat perinteisten yläpalokattiloiden lisäksi alapalokattilat ja tiukentuneiden päästö-

rajoitusten vuoksi yleistyneet käänteispalokattilat, joissa palaminen on paremmin hallittua. Kattiloiden kehityksen tärkeitä tavoitteita ovat kustannustehokkuus ja palamisen säädön parantaminen. Kiinteän polttoaineen esim. pellettien osalta varastoinnin ja kuljetusmenetelmien kehittäminen ovat ratkaisevassa asemassa. [139]

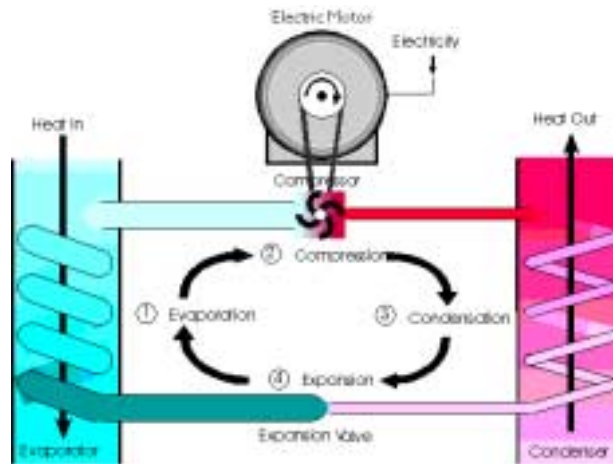
Yhdistelmäkattilat sisältävät tyypillisesti käyttövesikierukan. Sähkökattiloiden yhteydessä käytetään esim. yösähköllä toimivaa lämminvesivaraajaa, jossa voi olla käyttövetä varten erillinen lämminvesikierukka ja lämmitysjärjestelmää varten oma matalalämpöisempi lämmitin. Lisäksi varaajissa voi olla aurinko- ja maalämmön hyödyntämistä varten liitännät.

Lämpöpumppuratkaisut

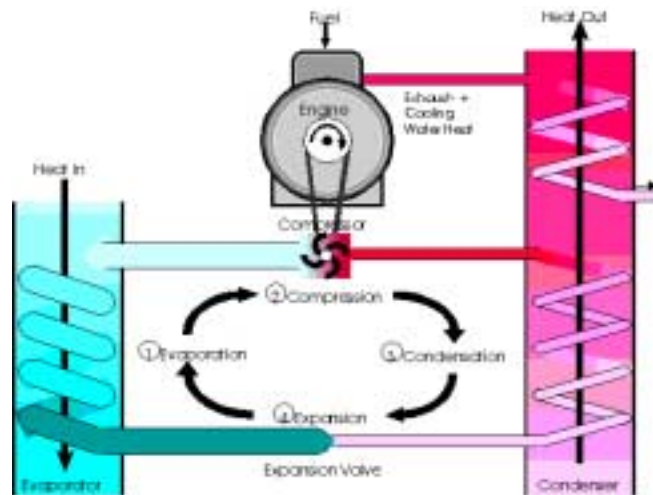
Lämpöpumpun avulla otetaan lämpöä matalalämpöisemmästä energiavarastosta ja siirretään sitä mekaanisen työn tai muun apuenergian avulla korkealämpöisempään energiavarastoon. Lämpöpumput voidaan jakaa toimintatapojensa perusteella seuraavasti [131]

- ilma-ilmalämpöpumput (ottavat ulkoilmatilaan sijoitetulla puhallinhöyrystimellä lämpöä ulkoilmasta ja luovuttavat lämpöä sisätiloihin asennetulla lauhduttimella)
- ilma-vesilämpöpumput (kuten ilma-ilmalämpöpumput, mutta niissä sisälauhdutin on korvattu vesivaihtimella)
- vesi-ilmalämpöpumput (ottavat lämpöä nestehöyrystimellä ja luovuttavat sitten lauhtumisenergian sisätilaan asennetulla lauhdutinpuhaltimella)
- vesi-vesilämpöpumput (nestehöyrystimellä lämpö kerätään matalalämpöisestä maaperästä joko pysty tai vaakaputkistolla)

Mekaaniseen työhön perustuvia lämpöpumppuja kutsutaan kompressorin käyttöenergiälähteen tyypin perusteella (Kuva 10) [130] sähkö- tai kompressorilämpöpumpuiksi (Kuva 11). Sähköllä toimiva maalämpöpumppumalli on Suomessa yleisimmin käytetty. Ruotsalainen lämpöpumppuvalmistaja on tuonut markkinoille myös maapoistolämpöpumppuyhdistelmäpaketin. Tanskassa käytetään enemmän kompressorilämpöpumpputyyppejä, jossa energialähteenä käytetään kaasua (esim. maakaasua) tai puuta. Uusimmissa sähkölämpöpumppujärjestelmissä on invertteri, jolloin lämmitys- ja jäähdytysteho säätyy tarpeen mukaan.

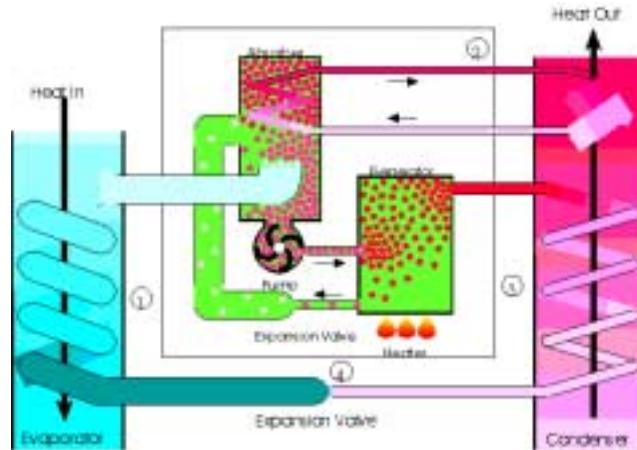


Kuva 10. Sähkölämpöpumpun toimintaperiaate. [130]



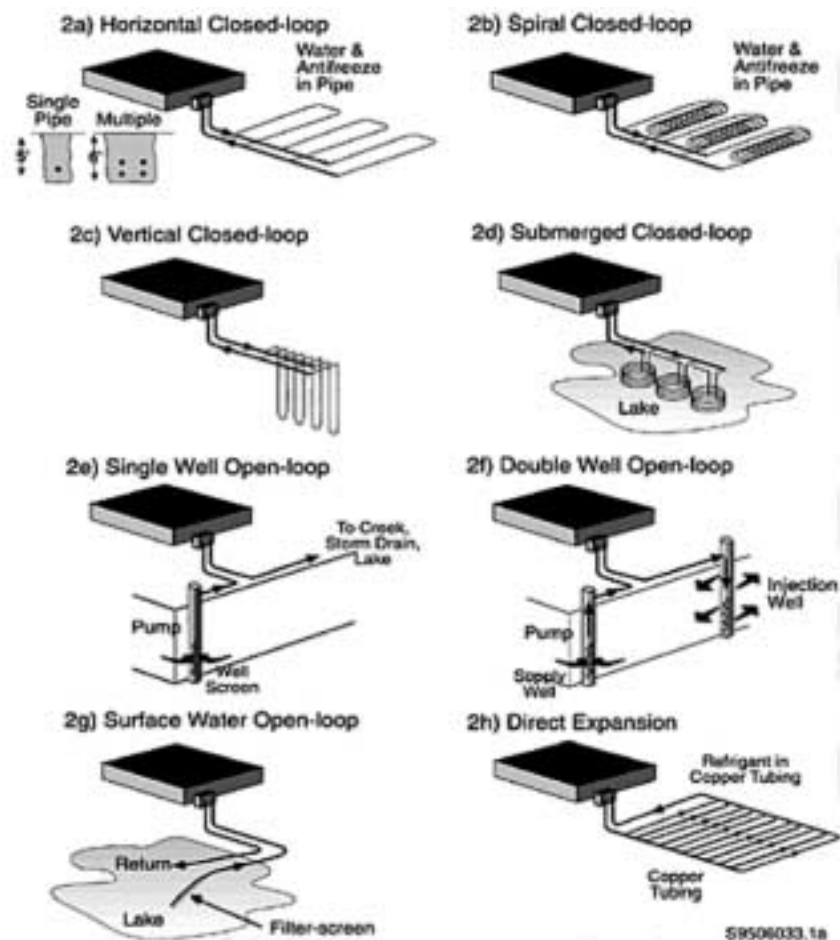
Kuva 11. Kompressorilämpöpumpun toimintaperiaate. [130]

Sorptiolämpöpumpuissa käytetään joko absorptio- (imeytys) tai adsorptio- (pintaan kiinnittyminen) menetelmää lämmön tuottamiseen. Absorptiolämpöpumpussa (Kuva 12) hyödynnetään nesteiden tai suolojen kykyä absorboida höyryä, jolloin tuotetaan lämpöä, joten pumppu on tavallaan myös energiavarasto. Absorptiopumppua voidaan käyttää kesällä jäähdyttämiseen ja talvella lämmittämiseen. Kaksipaineisessa absorptiopumppujärjestelmässä tarvitaan nestepumppu ja siten sähköenergiaa, mutta yksipaineiset mallit eivät tarvitse sähköenergiaa ja voivat toimia kannettavina järjestelminäkin. Adsorptiopumpuissa käytetään kiinteitä materiaaleja (silikageeli/vesi (jäähd.), aktiivihiili/etanoli (jäähd.), korkeasilika-zeoliitti/vesi (lämm.)), jotka adsorboivat lauhduttimelta tulevan jäähdytysnesteen ja tuottavat lämpöä ympäristöön kunnes adsorbenttiin kapasiteetti täyttyy. Seuraavassa vaiheessa adsorbentti lämmitetään jäähdytysnesteen poistamiseksi. Jäähdytysneste kierrätetään edelleen höyrystimeen.



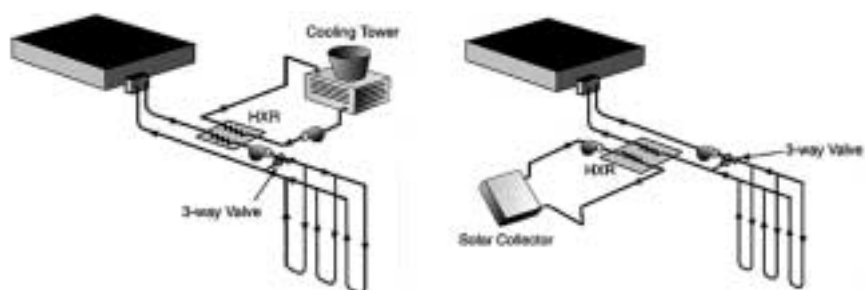
Kuva 12. Absorptiolämpöpumpun toimintaperiaate. [130]

Omakotitalojen, kerrostalojen ja teollisuusrakennusten lämmittämiseen käytetään usein lämpöpumppuja, jotka hyödyntävät pintamaalämpöä, kalliolämpöä, vesistölämpöä tai poistoilmaa. Maalämpöjärjestelmissä osa luontoon varastoituneesta auringon lämmöstä johdetaan lämmönkeruuputkella lämpöpumppuun, jossa se muutetaan lämpimäksi vedeksi lämpöpattereille tai lattialämmitykseen sekä käyttövesivaraajalle. Maalämpöpumppu voi olla mitoitettu täydelle teholle tai osateholle, jolloin käyttövesivaraaja on varustettu sähkövastuksella. Maalämpöjärjestelmät voivat olla suljettuja tai avoimia ratkaisuja sekä suoria järjestelmiä (vrt. Kuva 13). Valintaan eri vaihtoehtojen välillä vaikuttavat paikallinen geografia, käytettävissä oleva maa-ala sekä elinkaarikustannukset. Suljetut järjestelmät (closed loop systems) koostuvat maahan kaivetusta polyeteeni- tai polybutyleeniputkistosta, joka toimii lämmönvaihtimena. Putkistossa virtaa vesi, veden ja jäänestoaineen (natriumkloridi, kalsiumkloridi, kaliumkarbonaatti, kaliumaseptaatti, etyleeniglykoli, metyylialkoholi tai etyylialkoholi) liuos tai jokin muu lämmönsiirtoneste. Suljetussa järjestelmässä käytetään pumppuja kierrättämään lämmönsiirtonestettä lämpöpumpun ja maaputkiston välillä. Avoimissa järjestelmissä (open loop systems) hyödynnetään paikallista pohjavettä tai vesistöjen (pinta)vettä, joka toimii lämmönsiirtonesteinä. Pohjavesikaivoja voi olla yksi tai useampia. Yksikaivoisessa järjestelmässä voi olla yhteinen imeytys- ja pumppauskaivo, jolloin pohjavesiesiintymän tulee olla jakaantunut kahteen osaan tai paluuvesi johdetaan esimerkiksi läheiseen vesistöön. Kaksikaivoisissa järjestelmissä kylmä ja lämmin kaivo sijaitsevat toisistaan erillään. Suorissa järjestelmissä (direct expansion systems) lämpö siirretään suoraan kylmäaineeseen, jolloin ei tarvita lämmönsiirrintä eikä kiertopumppua. Lämmönsiirto-putkisto on valmistettu kuparista, jolloin kyseisessä järjestelmässä korrosio aiheuttaa ongelmia. Suorat järjestelmät eivät olekaan saavuttaneet kaupallista suosiota. Kiinteistökohtaisissa järjestelmissä käytetään yleensä suljettuja ratkaisuja, koska putkiston upottaminen maahan on yleensä halvempaa kuin kaivojen rakentamiskustannukset. Avoimia järjestelmiä käytetään lähinnä lämpö- ja kylmäenergian pitkäaikaiseen varastointiin. Kyseisiä varastoja on tarkasteltu lähemmin pitkäaikaisen lämmön varastoinnin yhteydessä [112, 121].



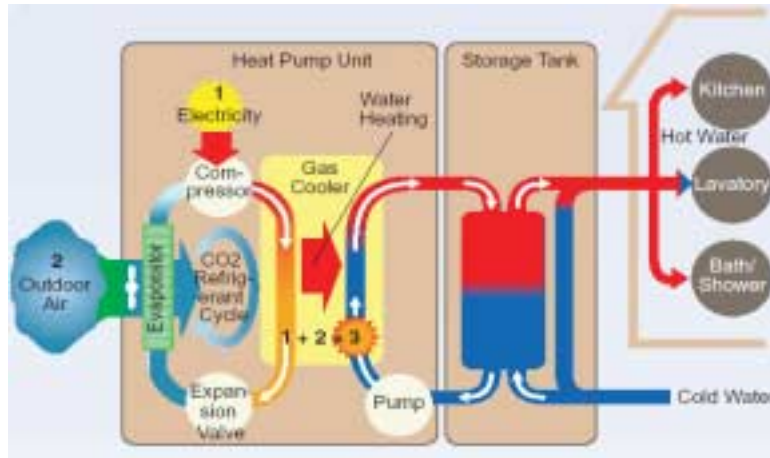
Kuva 13. Maalämpöjärjestelmien teknisiä ratkaisuvaihtoehtoja [121].

Suljetuissa järjestelmissä maalämpöpumpun investointikustannus on yleensä suurin yksikkökustannus. Lämpimässä ilmastossa, missä kylmäenergian tarve määrää lämpöpumpun mitoituksen, kustannuksia voidaan alentaa lisäämällä jäähdytystorni järjestelmään esijäähdyttämään lämmennytä liuosta. Vastaavasti kylmässä ilmastossa, jossa lämmön tarve määrää lämpöpumpun mitoituksen, kustannuksia voidaan alentaa lisäämällä aurinkopaneeli järjestelmään lämmittämään syöttöliuosta (vrt. Kuva 14).



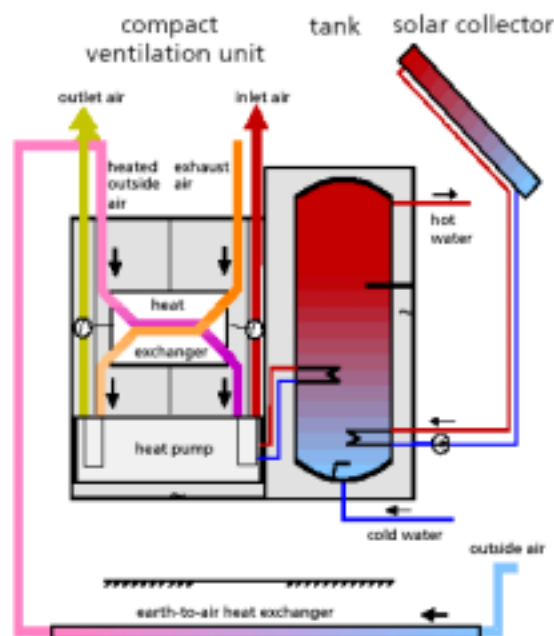
Kuva 14. Jäähdytystorni yhdistettyä maalämpöpumppuun jäähdytyssovelluksessa ja aurinkopaneeli vastaavasti lämmityssovelluksessa [121].

Japanissa hallituksen uusi ohjelma tukee lämpöpumppujen käyttöä kiinteistöjen veden lämmitykseen. Esim. Japanissa on kehitetty uusi kustannus- ja energiatehokas lämpöpumpputyyppejä ("Eco-Cute"), joka käyttää jäähdyttimenä CO₂-kaasua (Kuva 15).



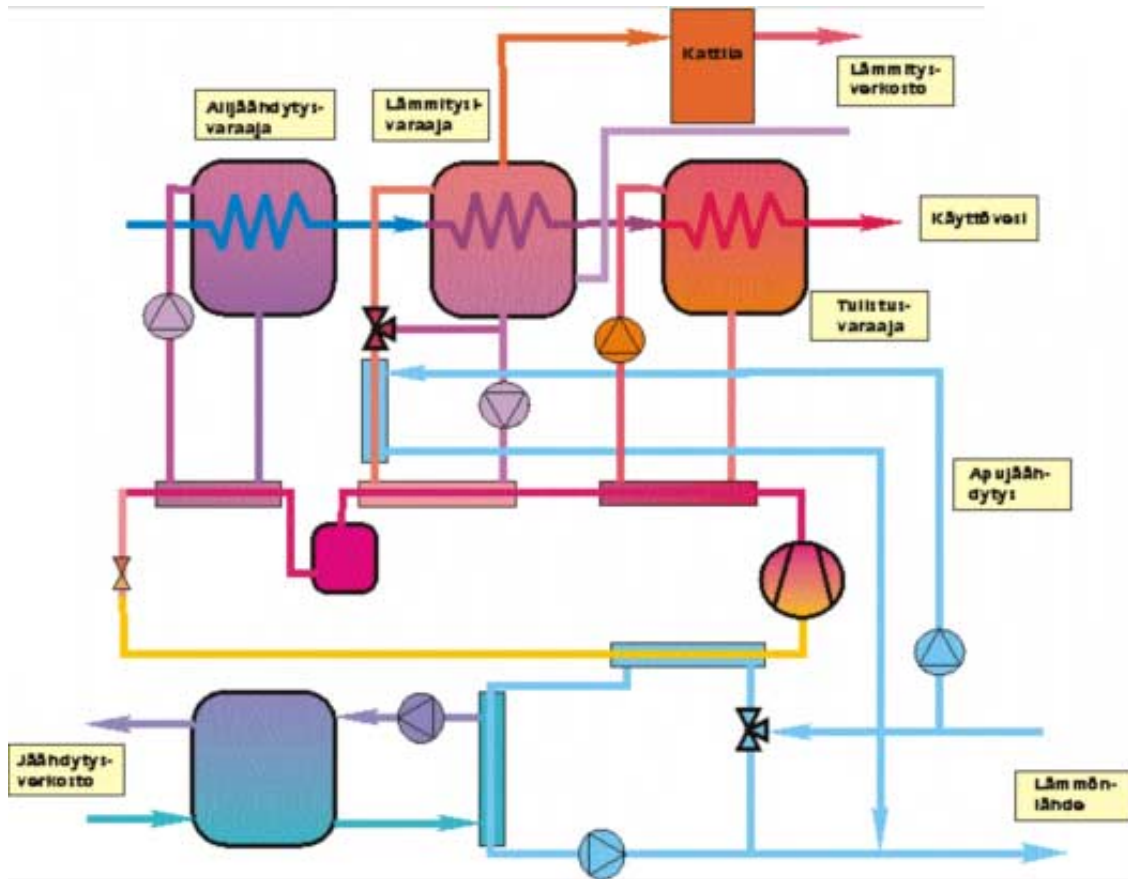
Kuva 15. Esim. CO₂-kaasua jäähdyttimenä käyttävästä käyttöveden lämmityksen lämpöpumppujärjestelmästä. [134]

Erilaisia talojärjestelmäratkaisuja on lukuisia, joissa on yhdistetty esimerkiksi maa- ja ilmalämpöpumppuja sekä aurinkolämpöjärjestelmiä. Oheisessa esimerkissä on yhdistetty poistoilman lämpöpumppu, ilma-ilma-lämmönsiirrin, lämpövarasto, aurinkopaneeli sekä maalämpö-ilma-lämmönsiirrin (Kuva 16).



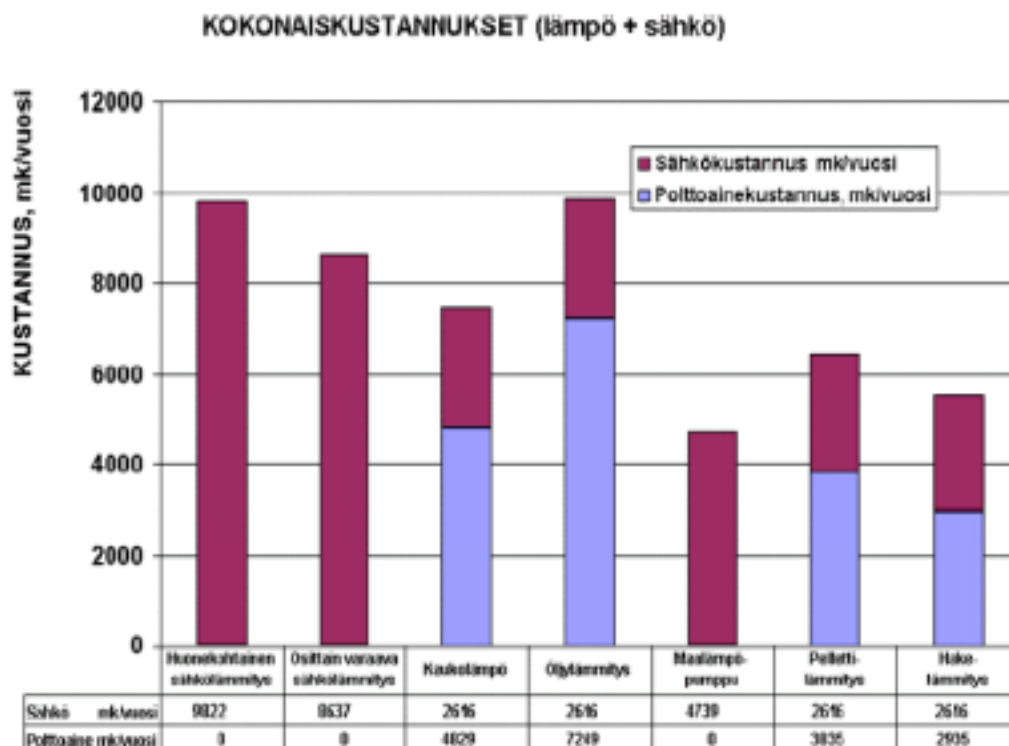
Kuva 16. Aurinko- ja maalämpöä hyödyntävä talokohtainen lämmitys- ja lämpimän käyttöveden järjestelmä [105].

Suurissa kiinteistöissä lämpöpumppua voidaan tehokkaasti hyödyntää, kun sekä lämmitys että jäähdytys hoidetaan samalla laitteistolla, jolloin lämpöpumppujärjestelmää käytetään kesällä jäähdyttämiseen ja talvella lämmittämiseen. Huippukulutuksen aikainen lämmöntarve voidaan kattaa esim. öljykattilan avulla (Kuva 17):



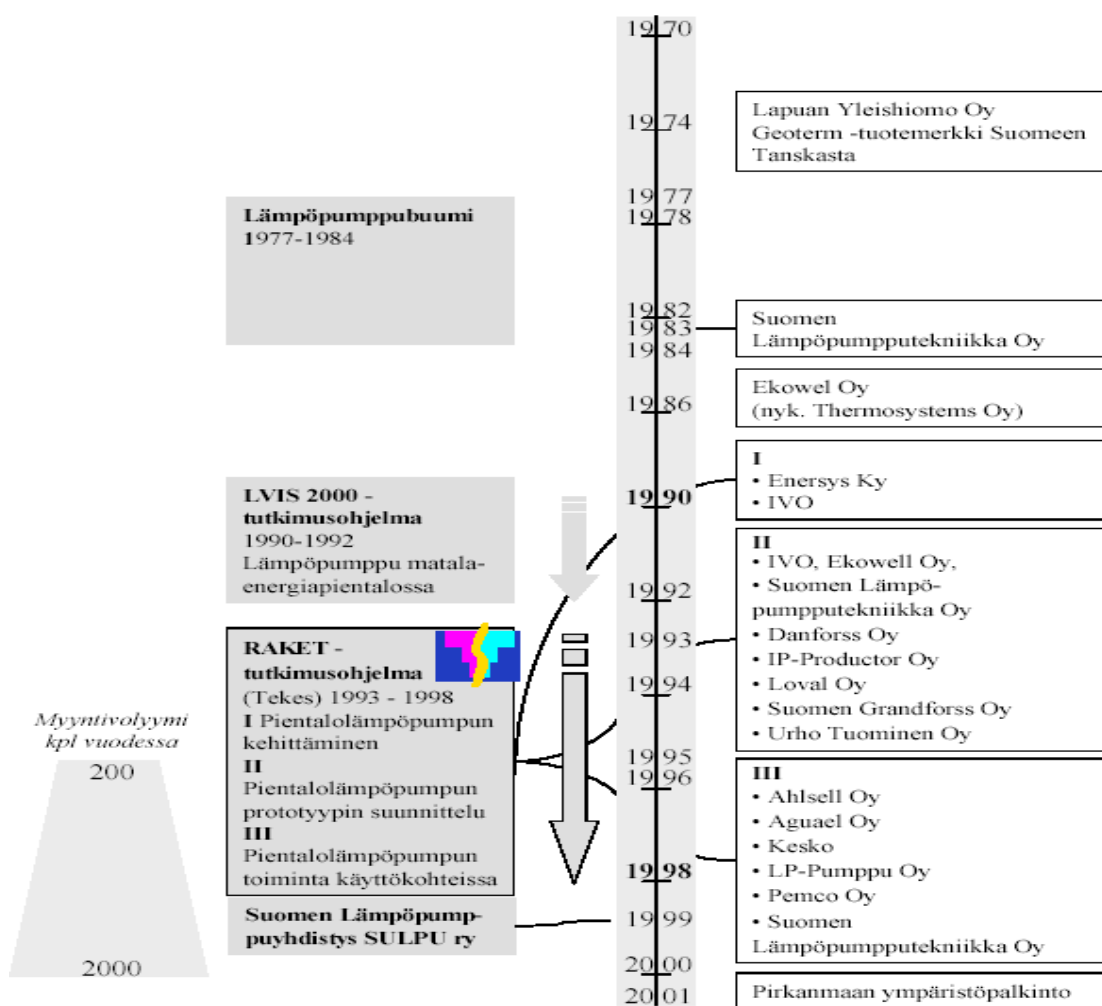
Kuva 17. Suuren kiinteistön lämmitykseen ja jäähdytykseen käytettävä lämpöpumppujärjestelmä. [140]

Suomessa lämpöpumppujen kehitystyö aloitettiin 1970-luvulla tanskalaisen tuotteen pohjalta. Kiinnostus lämpöpumppuihin on vaihdellut sähkön hinnan ja teknologian kehityksen myötä ja on tällä hetkellä taas nousussa. Pientalorakentajat ovat alkaneet luottaa lämpöpumppuihin, sähkön hinta on nousussa ja yösähkön käytöstä luovutaan [129]. Lämpöpumppuratkaisujen korkeahkon hankintahinnan koetaan olevan vielä rajoittavana tekijänä laajemmalle soveltamiselle. Motivan vuonna 2001 tekemän vertailun mukaan vuotuiset energiakustannukset ovat kuitenkin selkeästi pienemmät kuin muilla lämmitysmuodoilla (Kuva 18). Osateholle mitoitettun lämpöpumpun sähkövastuksen päällekytkeytymisen aiheuttama huippukuormaa lisäävä vaikutus on kuitenkin huomioitava seikka etenkin, jos vastuksen teho ei ole säätävä.



Kuva 18. Pientalon energiakustannukset. [129]

Lämpöpumpputeknologian kehitystä Suomessa on kuvattu seuraavassa kuvassa (Kuva 19). Kompressorikäyttöiset lämpöpumppujärjestelmät ovat yleisimpiä lähinnä pienempien kustannusten vuoksi. Sorptiolämpöpumppuja käytetään Japanissa ja USA:ssa. Euroopan maista suurimpia sorptiojärjestelmiä on Ruotsissa, Saksassa ja Alankomaissa. Myös Italia ja Espanja ovat mahdollisia markkina-alueita sorptiolämpöpumpuille. Ranskassa kaasulaitokset kehittävät ja markkinoivat aktiivisesti absorptiolämpöpumppuja. Suomessa ja Norjassa sähkön hinnan edullisuuden takia sorptiolämpöpumput eivät ole kyenneet kilpailemaan sähköllä toimivien jäähdytysjärjestelmien kanssa. Yleisellä tasolla mielenkiinto sorptiolämpöpumppuihin on kasvamassa yleisten energiansäästövoitteiden ja kesänajan huippukuormien hallinnan tarpeen takia. [132]



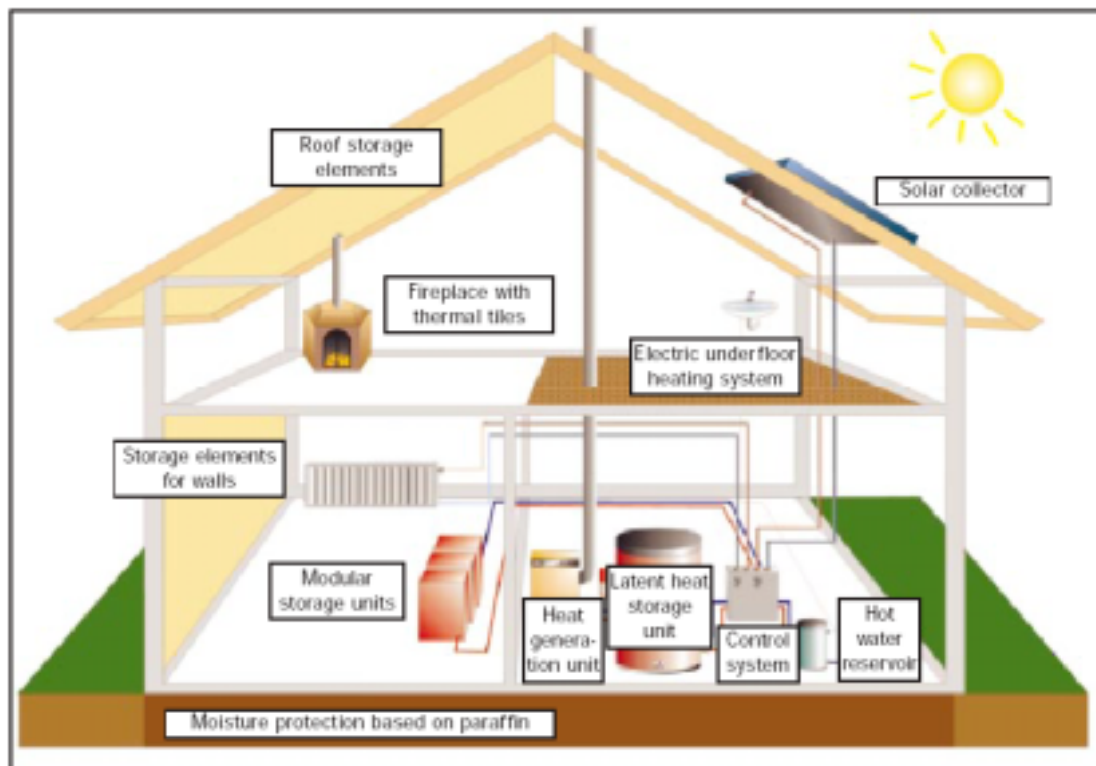
Kuva 19. Lämpöpumpputeknologian kehittyminen Suomessa 1970–2000. [129]

Faasinmuutosmateriaalit rakenteissa

Rakennuksessa käytettävien materiaalien lämpöfysikaaliset ominaisuudet vaikuttavat voimakkaasti rakennusten energian käyttöön. Yhdistämällä rakennusmateriaaliin faasinmuutosmateriaali voidaan rakennusmateriaalin lämpökapasiteettia lisätä, mutta lämmönvarauskyvyn hyödyntäminen huonetilassa on rajoitettua. PCM-materiaalit soveltuvat hyvin yhdistettäväksi kipsilevyihin, kevytsoraharkkoihin ja betoniin. Parhaiten rakennusmateriaaleihin yhdistettäväksi soveltuvat orgaaniset faasinmuutosmateriaalit, kuten parafiinit ja rasvahapot. Myös suolahydraatteja voidaan käyttää esim. yhdistettynä kevytbetoniin seinäelementteihin. Periaatteessa PCM-seinät vähentävät kesäaikana jäähdytyksen tarvetta laskemalla huoneilman lämpötilaa ja syksyllä ja keväällä lämmityksen tarvetta varastoidessaan passiivista lämpöä. Lämpöenergian varastoinnissa ongelma muodostuu kuitenkin hidaskonvektiivinen lämmönsiirto ilman ja rakenteen välillä, joten energiavarastojen täydellinen lataaminen ja purkaminen ei onnistu yhden vuorokauden sisällä. PCM-materiaalien tehokas toiminta vaatii jonkin aktiivisen järjestelmän lämmön siirtämiseksi rakenteeseen ja sen poistamiseksi huonetilasta varastoin-

nin jälkeen. Kannattavan toteutuskonseptin edellytyksenä on myös PCM-rakennemateriaalien kustannustehokkuuden parantuminen. Uudet kokonaisratkaisut, kuten ilmanvaihtokonseptiin liitetyt kevytsorasta valmistetut seinäelementit, joissa PCM-faasinmuutosmateriaalina on suolahydraatti, voivat muodostaa lähtökohdan taloudellisesti kannattavan konseptin jatkokehitykselle. [110, 111]

Alla olevassa kuvassa (Kuva 20) on esimerkki ns. matalaenergiatalosta, jossa on hyödynnetty erilaisia lämmöntalteenotto- ja varastointijärjestelmiä.



Kuva 20. Esimerkki latenttilämmön varastointiyksikön käytöstä yhtenä matalaenergiatalon lämmönvarastointiratkaisuista. [128]

2.2.3 Suuret maanpäälliset ja maanalaiset lämpö-/kylmävarastot – keskipitkän aikavälin varastointi

Alueellisissa ja keskitetyissä järjestelmissä lämpövarastoa käytetään lämmön kysynnän hallintaan. Lataus-purkausjakson keskipituus on yleensä vuorokausia. Varastojen väliaineena on yleensä vesi. Suomessa lämpövarastoja on rakennettu etupäässä kaukolämpöjärjestelmiin, joissa tuotetaan myös sähköä. Lämpövaraston avulla voidaan CHP-tuotannossa maksimoida sähkön tuotantoa ja vähentää esimerkiksi öljyllä toimivien huippukattiloiden käyttöä. Lämpövarasto toimii myös tehoreservinä tuotantohäiriöissä, vesireservinä putkivauriotapauksissa sekä paisuntasäiliönä verkoston paineen säädössä.

Alueellisessa lämmön tuotannossa, jossa polttoaineena on biopolttoaine, lämpövarasto toimii paitsi kysynnän hallinnassa myös kompensoimalla polttoaineen laadun vaihtelua [5].

Suomeen rakennetut kaukolämpövarastot (Taulukko 3) Oulun kalliosäiliötä ja Turun uutta lämpöakkua lukuun ottamatta ovat terässäiliöitä. Ne toimivat yleensä normaali-ilmanpaineessa ja niiden maksimilämpötila on 95–98 °C. Saarijärveä lukuun ottamatta kaikki taulukon lämpövarastot ovat rakennettu järjestelmiin, joissa on CHP-tuotantoa. Lisäksi noin puolet Suomen kaukolämpölaitoksista käyttää kaukolämpöverkkoa lämmön lyhytaikaiseen, muutaman tunnin varastoimiseen nostamalla menoveden lämpötilaa 10–15 °C. Lämpövaraston käyttöä ohjaavat:

- ulkolämpötila
- sähkön hintataso
- kaukolämmön kulutuksen vuorokausivaihtelu
- varaston varaustila.

Taulukko 3. Suomeen rakennettuja lämpövarastoja [5].

Paikka	Tilavuus m ³	Kapasiteetti MWh	Maksimiteho MW	Pääpolttoaine	Käyttöön- ottovuosi
Otaniemi ¹	500	20	10	Kaasu	1974
Oulu	15 000	800	80	Turve	1985
Oulu (kallio)	190 000	10 000	80	Turve	1996
Lahti	10 000	450	40	Hiili	1985
Lahti	200	9	1	Kaasu	1989
Naantali	15 000	690	82	Hiili	1985
Helsinki Salmisaari ²	2*10 000	1 000	130	Hiili	1987
Helsinki Vuosaari	26 000	1 400	130	Kaasu	1997
Saarijärvi ¹	350	21	3	Turve	1988
Kouvola	10 000	420	72	Kaasu	1988
Hämeenlinna ²	10 000	320	50	Hiili	1988
Hyvinkää	10 000	350	50	Kaasu	1988
Vantaa ³	20 000	900	50	Hiili	1990
Rovaniemi	10 000	450	30	Turve	1998
Turku ⁴				Hiili, biomassa	2002

¹ paineistettu, ² kytkentä lämmönsiirtimellä, ³ muutettu vanhasta öljysäiliöstä, ⁴ muutettu vanhasta kaasukellosta

Uusin lämpövarastohanke on Turku Energian vanhaan betoni-tiilirakenteiseen kaasukelloon sijoitettava kaukolämpöakku. Lämpöakkuun varastoidaan talvella hiilellä tuotettua lämpöä ja kesäaikana biokattilalaitoksen tuottamaa energiaa. Kaasukellohanke on sikäli erikoinen, että rakennuksen yläkertaan suunnitellaan korkeatasoisia toimisto- ja ravintolatiloja. Turku Energian suunnitelmissa on myös ollut lumi-jäävaraston rakentaminen jäähdytysenergian varastoimiseen [6].

Ilmastointisovelluksissa on perinteisesti käytetty vesivarastojen lisäksi vesi-jäävarastoja, joissa jää tuotetaan esimerkiksi kompressorin avulla yöaikaan, kun sähkön hinta on alhainen. Kylmävarastoissa lataus-purkausjakson pituus on yleensä yksi vuorokausi, joten ne voidaan luokitella myös lyhytaikaiseen energian varastointiin. Kylmävarastot on kuitenkin käsitelty tässä yhteydessä, koska ne ovat yleensä suuria varastoja ja niitä usein käytetään alueellisesti kuten lämpöakkuja. Pienempiä talokohtaisia järjestelmiä on myös olemassa, mutta niiden kannattavuus on yleensä huono.

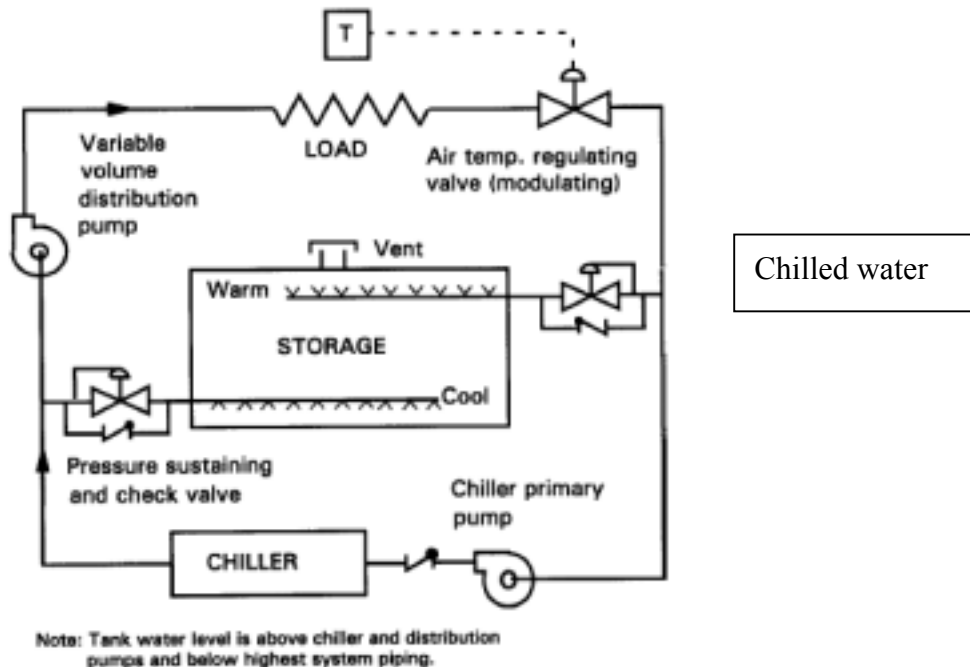
Jäävarastot ovat suosiossa erityisesti Yhdysvalloissa. USA:n kylmävarastoja hyödyntävistä jäähdytysjärjestelmistä 87 %:ssa käytetään jäätä, 10 %:ssa vettä ja 3 %:ssa eutektista suolaa varastointimateriaalina [125]. Toinen kylmävarastojen suuri käyttäjämaa on Japani, jossa on myös tehty paljon tutkimustyötä liittyen eri konsepteihin. Jäävarastossa energian siirtyminen perustuu lähinnä faasinmuutoksessa vapautuvaan tai sitoutuvaan latenttilämpöön. Ilmastointiratkaisuissa jäävaraston etu verrattuna kylmän veden varastoihin on veden alhaisempi jakelulämpötila, jolloin kiinteistön ilmastointikanavat ja puhaltimet ovat pienempiä ja ilman kosteus on pienempi [112, 117].

Jään muodostamiseen (l. varaston lataukseen) on kehitetty useita eri menetelmiä, jotka voidaan jakaa staattisiin ja dynaamisiin. Staattisessa jäänmuodostuksessa jäämassaa kasvatetaan vedessä olevien putkien tai levyjen päälle, joissa kiertää kylmäaine. Dynaamisessa menetelmässä jää tehdään yleensä vesitankin ulkopuolella ja jää tuodaan veteen, jossa se voi vapaasti liikkua. Staattisessa jäävarastossa jään osuus varaston tilavuudesta on melko vähäinen, kun taas dynaamisessa varastossa jään osuus voi olla suuri [112]. Jäävaraston lataukseen ja purkaukseen on seuraavia kaupallisia teknologioita (Kuva 21–27) [117, 118]:

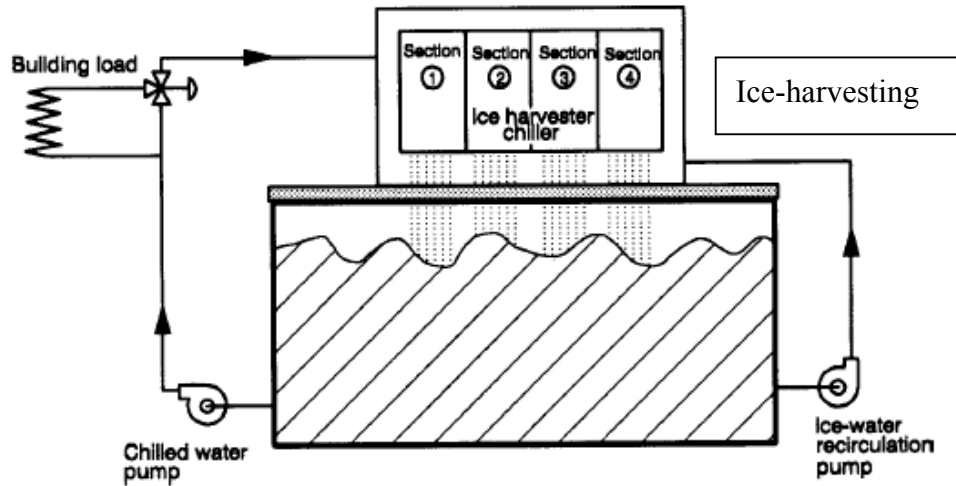
- Jää muodostuu haihduttimen pinnalle, josta se tietyin aikaväleihin irtoaa varastosäiliöön, joka on osittain täytetty vedellä (Kuva 22) (ice harvesting). Soveltuu kohteisiin, joissa vaaditaan suurta varastointikykyä ja suhteellisen pientä jäähdytyskapasiteettia.
- Upotettu putkisto, jossa kiertää kylmäaine tai sekundäärinen jäähdytysaine. Jää muodostuu putkiston ulkopinnalle. Varastoa puretaan syöttämällä lämmennytä paluuvettä vesitankkiin, jolloin jää sulaa putkiston pinnalta (Kuva 23) (external melt ice-on-coil).

- Sama kuin edellä, paitsi että varastoa puretaan kierrättämällä lämmennyttä jäähdytysainetta putkistossa. Jäähdytynyt kylmäaine kiertää talon jäähdytysjärjestelmässä tai sitä käytetään jäähdyttämään sekundäärinen jäähdytysaine (Kuva 24) (internal melt ice-on-coil).
- Kapseloidut jääjärjestelmät, joissa vesi tai jokin muu PCM-aine (lähinnä eutektinen suola) on ns. jääkapseleissa, jotka on upotettu tankkiin (Kuva 25). Varastoa ladataan tai puretaan kierrättämällä kylmää tai lämmintä jäähdytysainetta.
- Jääslurrijärjestelmät, joissa kylmäaineena käytetään vettä tai vesi/glykoliseosta. (Jääslurri on pienten jääpartikkelien (0,01–0,1 mm), veden ja jäätymispistettä alentavan aineen kuten etanolin, suolan tai glykolin sekoitus). Jääslurri voidaan pumpata suoraan kiinteistön jäähdytysjärjestelmään tai käyttää sekundäärifluidin jäähdyttämiseen (Kuva 27).

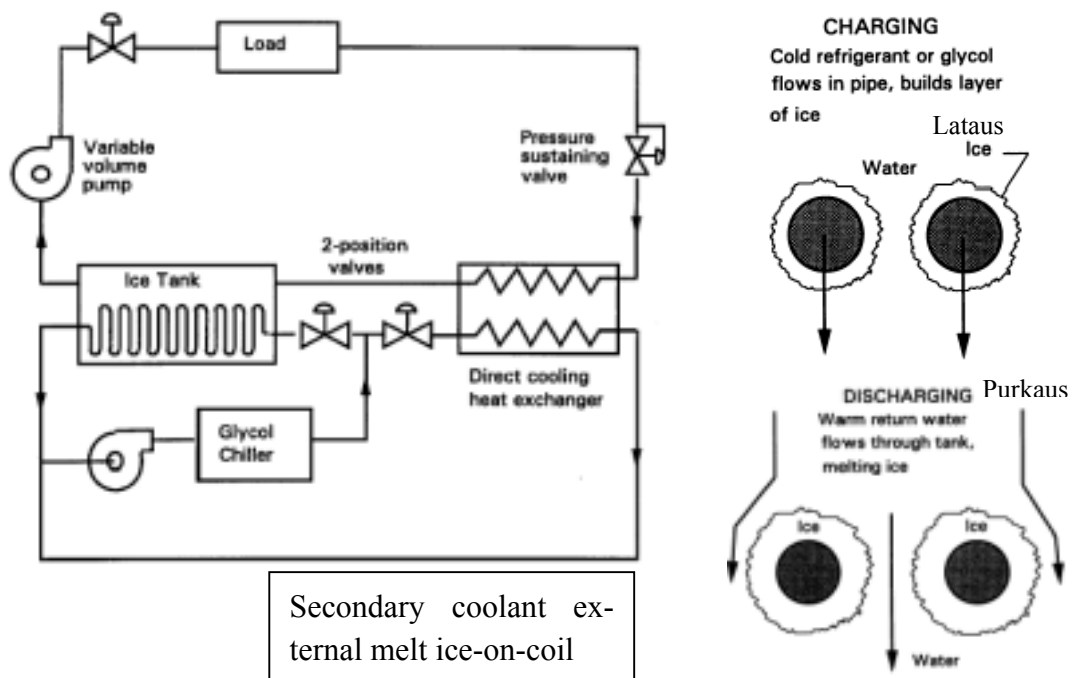
Kaupallisissa järjestelmissä varaston purku tai lataus tehdään yleisimmin kierrättämällä jäähdytysainetta putkistossa (internal melt ice-on-coil). Lataus-purkaus kierrättämällä paluuvettä tankkiin (external melt ice-on-coil) on yleisempi teollisuussovelluksissa, vaikka sitä voidaan käyttää myös kiinteistökohtaisesti tai kaukojäähdytyssovelluksissa. Jääkapseleita voidaan käyttää myös useissa sovelluksissa. Jääslurrijärjestelmät eivät sen sijaan ole saavuttaneet suosiota kaupallisissa sovelluksissa [117].



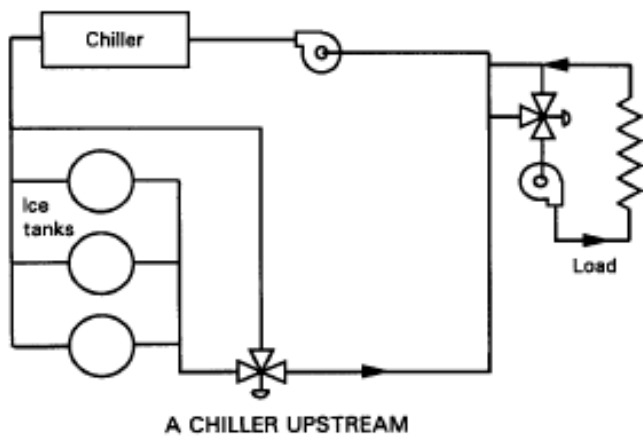
Kuva 21. Eri jäähdytysjärjestelmien tyypillisiä laiteratkaisuja: vesitankki ja jäähdytetty vesi [118].



Kuva 22. Eri jäähdytysjärjestelmien tyypillisiä laiteratkaisuja: jään keruu haihduttimien pinnalta, vesi-/jääsäiliö [118].

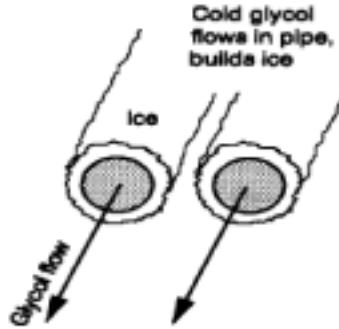


Kuva 23. Eri jäähdytysjärjestelmien tyypillisiä laiteratkaisuja: toisiojäähdytys lämmönvaihtimella ja jääsäiliöllä ja ulkoinen sulatus [118].

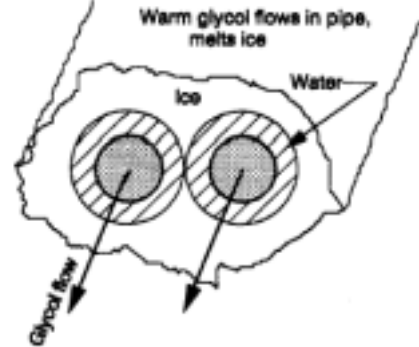


Internal melt ice-on-coil

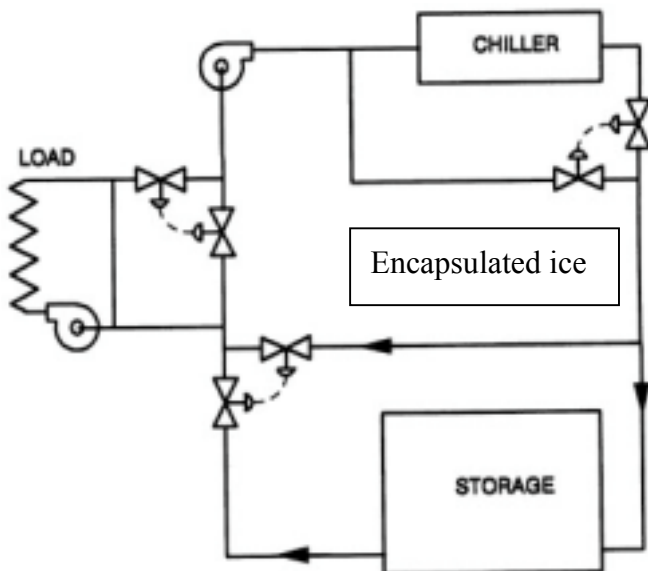
Lataus Charging



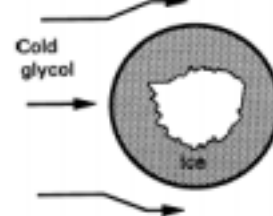
Purkaus Discharging



Kuva 24. Eri jäähdtyysjärjestelmien tyypillisiä laiteratkaisuja: jässäiliöt [118].

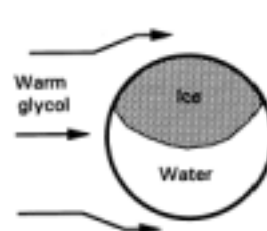


CHARGING Lataus

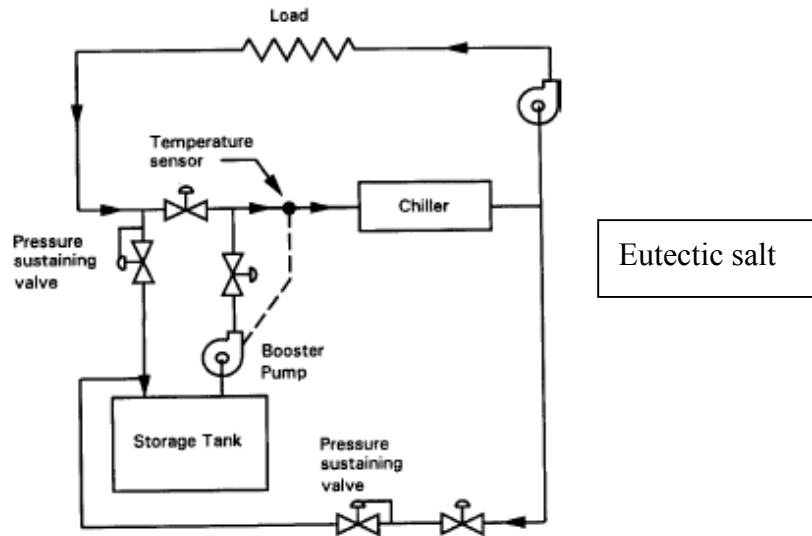


Purkaus

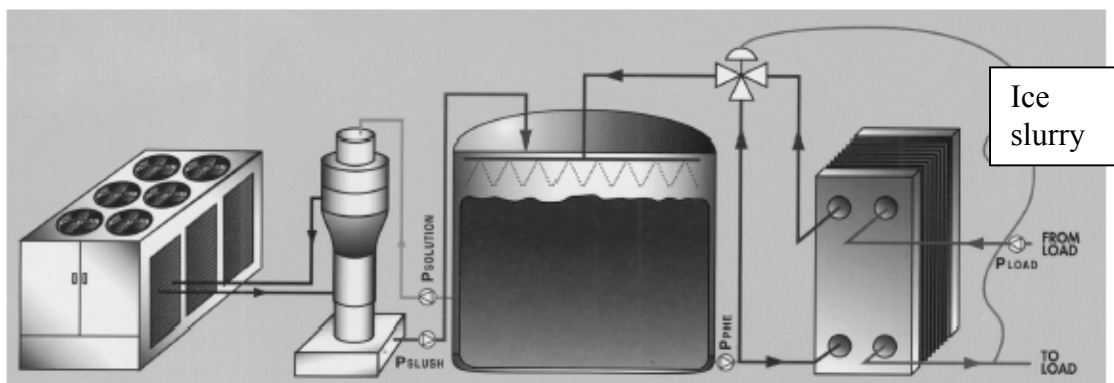
DISCHARGING



Kuva 25. Eri jäähdtyysjärjestelmien tyypillisiä laiteratkaisuja: kapseloitu jääjärjestelmä [118].

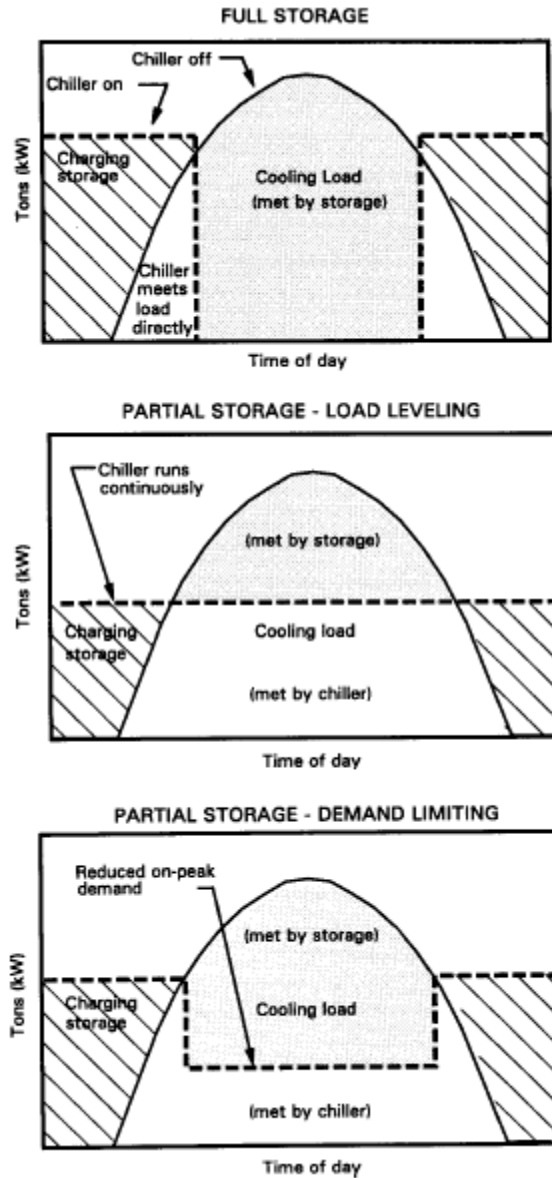


Kuva 26. Eri jäähdytysjärjestelmien tyypillisiä laiteratkaisuja: eutektiset suolat [118].



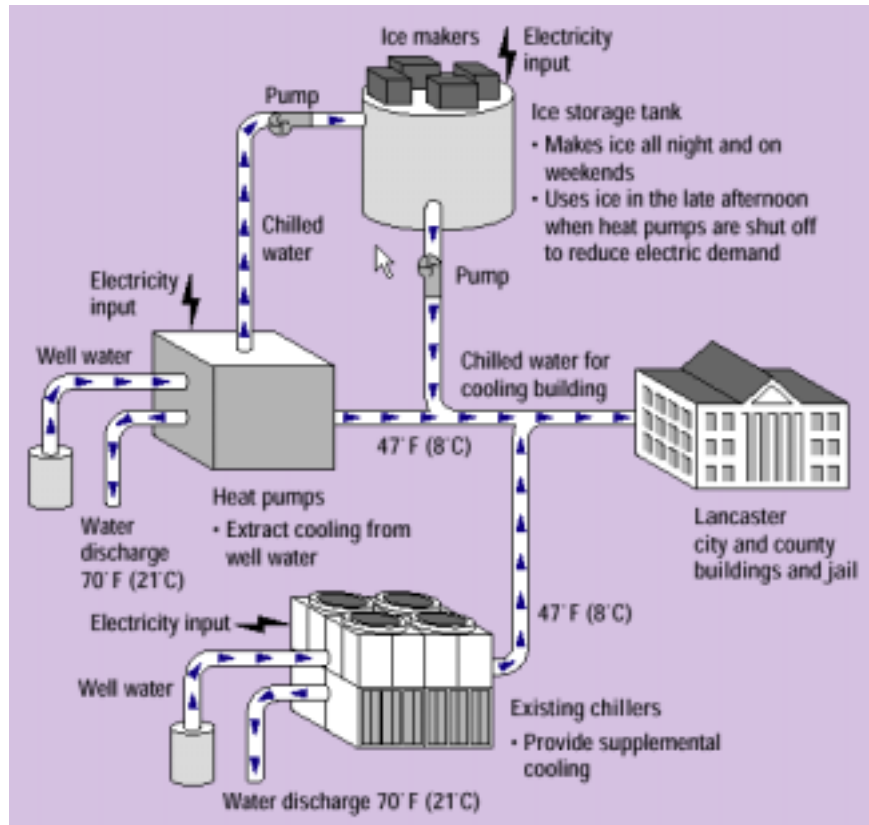
Kuva 27. Eri jäähdytysjärjestelmien tyypillisiä laiteratkaisuja: jääslurri [118].

Yllä esitetyt kylmäjärjestelmät voidaan mitoittaa koko vaadittavalle teholle tai osateholle. Koko teholla mitoitettu järjestelmä on suurempi ja siten myös sen investointikustannukset ovat suuremmat kuin osateholle mitoitettun järjestelmän. Toisaalta suuremman varastointikapasiteetin ansiosta saadaan suuremmat säästöt käyttökustannusten suhteen, joten kyseinen järjestelmä soveltuu tilanteisiin, joissa tariffien hintaerot ovat suuret ja/tai huipun käyttöaika on lyhyt. Mitoitettaessa kylmävarasto osateholle osa kuormasta katetaan yleensä kompressorijäähdyttimellä. Lisäksi kylmävarasto voidaan mitoittaa koko- ja osakuormaperiaatteiden yhdistelmänä (vrt. Kuva 28).



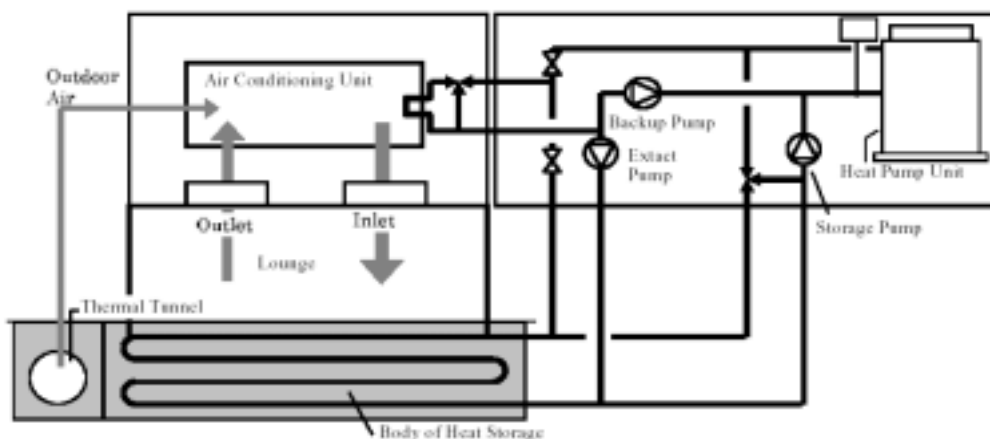
Kuva 28. Kylmävarastojen mitoitusvaihtoehtoja [118].

Yhdysvalloissa Lincolnin kaupungissa Lincoln Electric System käyttää jäävarastoa 57 MW turbiinin imuilman jäähdytykseen (Kuva 29), jolloin kuumana päivänä (ilman lämpötila n. 38 °C) turbiinin tehoa voidaan parantaa 25 % verrattuna tilanteeseen ilman imuilman jäähdytystä. Jäävarastoa hyödynnetään myös kaupungin virastorakennusten ilmastointitarpeen tyydyttämisessä [119].



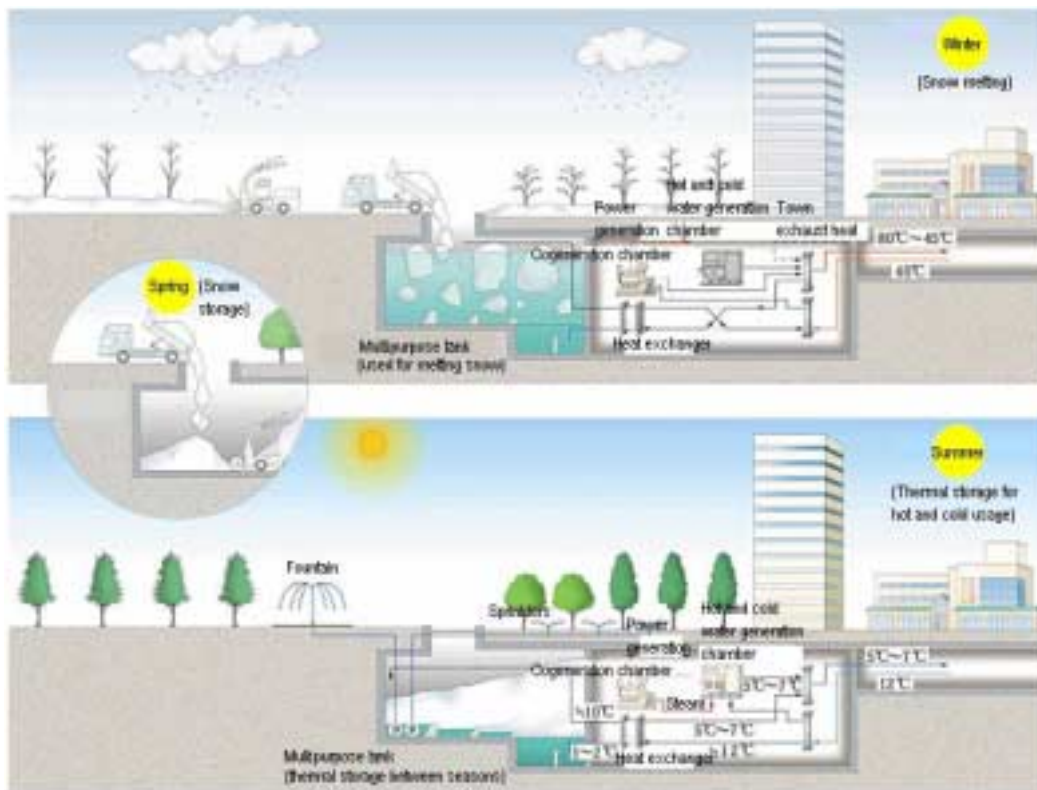
Kuva 29. Lincoln Electric Systemin kylmäjärjestelmä [119].

Japanilaisessa urheiluhallissa on käytössä jäähdytysjärjestelmä (vrt. Kuva 30), jossa kylmäenergiaa tuotetaan yöaikaan lämpöpumpulla ja energia varastoidaan maanalaiseen polyetyleeniputkistoon (halkaisija 2,5 cm, pituus 4 800 m). Putkisto, joka on sijoitettu 60–105 cm maan pinnan alle, koostuu 12 horisontaalisesta ja 4 vertikaalisesta tasosta. Väliaineena putkistossa on vesi. [106]



Kuva 30. Maanalainen lämpövarasto yhdistettynä Park Domen urheiluhallin (Japani) ilmastointijärjestelmään [106].

Japanissa on tutkittu lumen käyttöä kylmäenergian varastointiin kaupunkien lumihuoltotyön ja kesäajan jäädytyskustannusten vähentämiseksi (Kuva 20). Talvella lumi kerätään varastointisäiliöihin ja sitä sulatetaan käyttämällä esim. lauhdutusvoimalaitosten lämminvesipäästöjä hyödyksi. Keväällä lunta varastoidaan kesän tarpeita varten ilman sulatustoimintoja. Kesällä lumen kylmävarastoa hyödynnetään lämmönvaihtimien avulla toimistorakennusten, ostoskeskusten ja julkisten rakennusten jäädyttämiseen. Järjestelmää voidaan käyttää myös maatalouksissa turvaamaan maataloustuotteiden kesäaikana tarvitsema jäädytysenergia. [123]



Kuva 31. Lumivaraston hyödyntäminen kaupungin rakennusten jäädytystarpeisiin. [123]

Suomessa ei ole suuria kylmävarastoja. Turku Energian suunnitelmissa on ollut lumi-jäävaraston rakentaminen kaukojäädytysenergian varastointiin. Helsingin Energia tuottaa kaukojäädytysenergiaa Ruoholahden ja Sörnäisten toimistotiloihin sekä Pitäjänmäen erilliskohteessa kesäaikana litiumbromidi(LiBr)-vesiabsorptiolämpöpumpulla. Salmisaareissa merivedellä hyödynnetään absorptiopumpun jäädytyksessä ja talviaikana merivedellä jäädytetään ilman absorptiolämpöpumpua. Kyseisissä järjestelmissä ei ole kylmävarastoa (lukuun ottamatta pieniä vesisäiliöitä) paitsi Pitäjänmäen kohteessa, jossa on kaksi eristämätöntä terässäiliötä. Näiden lisäksi Lahti Energia tuottaa kaukokylmää absorptiolämpöpumpulla uuden Sibeliustalon jäädytykseen. Myöskään tässä järjestelmässä ei ole kylmävarastoa. IEA:n projektissa [120] tutkittiin mahdollisuutta yhdistää jäävarasto LiBr-vesi-absorptiolämpöpumpujärjestelmään. Tulokset osoittivat,

että tämä on teknisesti mahdollista, mutta teknistaloudellinen tarkastelu on tarpeen ennen tutkimuksen jatkamista.

2.2.4 Suuret maanalaiset lämpövarastot – pitkäaikainen lämmön varastointi

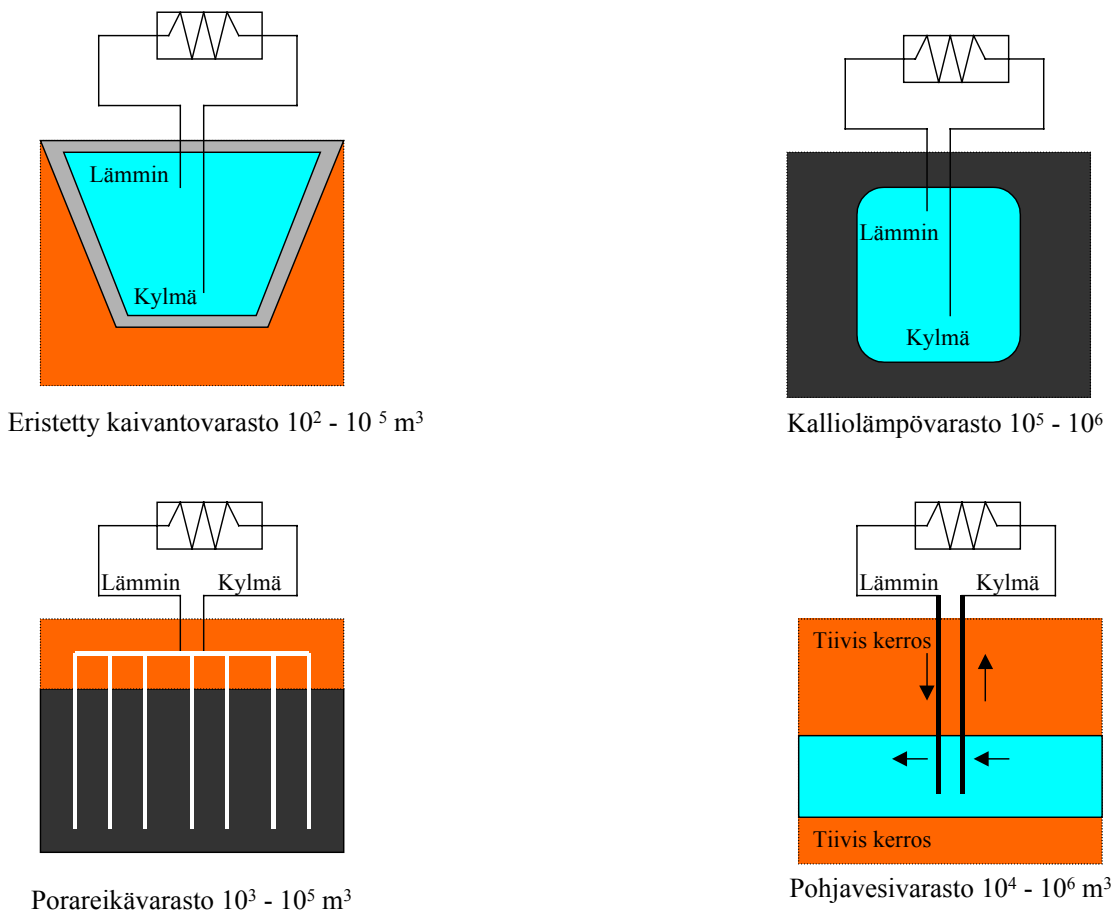
Yleensä lämmön pitkäaikaisella varastoinnilla tarkoitetaan varastointijaksoa, jonka kesto on viikkoja – kuukausia. Suuret energiamäärät vaativat suuret varastointikapasiteetit ja -järjestelmät. Suurien varastojen etuna ovat pienet lämpöhäviöt. Maanpinnan lämpötila on keskimäärin 13 °C ja yli 10–20 m syvyydessä lämpötila kasvaa 0,03 °C/m. Energia siirtyy maan alla konduktiolla eli johtumalla ($\lambda \sim 1\text{--}5 \text{ W/mK}$) tai konvektiolla. Suuret, maanalaiset varastotyypit voidaan jakaa kolmeen päätyyppiin riippuen siitä, millä periaatteella lämmön siirtyminen tapahtuu:

1. Virtausvarastot
 - kaivantovarasto
 - kallioon louhittu luola varastona
2. Johtumiseen perustuva varasto
 - pysty- tai vaakasuora lämmönvaihdin maaperässä tai kalliossa (putki- tai porareikävarasto)
3. Sekoitettu varasto (varastoitavana väliaineena sekä maa että vesi; lämmön virtaus ja johtuminen)
 - pohjavesiesiintymä
 - sora-vesikaivanto

Seuraavassa (Kuva 32) on esitetty erityyppisten maanalaisten varastojen toimintaperiaatteita. Sekoitetussa varastossa on yleensä vakiolämpötila koko varastossa. Lämmin vesi lisätään varaston pohjalle ja purku tapahtuu varaston yläosasta. Kerrostuneessa varastossa on vertikaalisesti kerrostunut lämpötilajakauma. Varastoa ladataan lisäämällä yläosaan lämmintä vettä ja myös purku tapahtuu varaston yläosasta [3].

Eristetyn kaivantovaraston väliaineena voi olla vesi, sora-vesiaines tai lumi. Kokonsa puolesta kaivantovarastot soveltuvat lyhyempiaikaiseen lämmön varastointiin, kuten kaukolämpöjärjestelmiin. Lisäksi lämpöhäviöt muodostuisivat kaivantovarastoissa kohtuuttoman suuriksi lämmön kausivarastoinnissa. Kalliovaraston väliaineena on vesi tai vesi-louheseos. Kalliovarasto on eristämätön ja se soveltuu suuriin, keskitettyihin järjestelmiin energian kausivarastointiin. Porareikävarastossa lämmönsiirto tapahtuu ns. maalämmönvaihtimen avulla, joka koostuu maaperään asennetuista putkista, joissa kul-

kee lämmön siirtoon käytettävää nestettä. Putkivarasto voidaan rakentaa kallioon tai pehmeään maaperään, kuten saveen. Putkisysteemiä ympäröivää maaperää lämmitetään tai jäädytetään varaston latauksen aikana. Suomessa on tehty tutkimusta porareikävarastojen soveltuvuudesta lämmön varastointiin 1980-luvulla ja 1990-luvun alussa [7, 8, 9]. Maanalaiset pohjavesiesiintymät ovat luonnostaan vettä ja kiviainesta sisältäviä 'luonnollisia lämpösäiliöitä'. Käytännössä lämpöenergiaa varastoituu jatkuvasti pohjavesiesiintymiin vuodenaika- ja jopa vuosimittakaavassa sadeveden siirtäessä lämpöä eli aurinkoenergiaa maaperään. Lisäämällä maaperään kulkeutuvaa lämpö määrää voidaan suuriakin energiamääriä varastoida kuukausimittakaavassa.



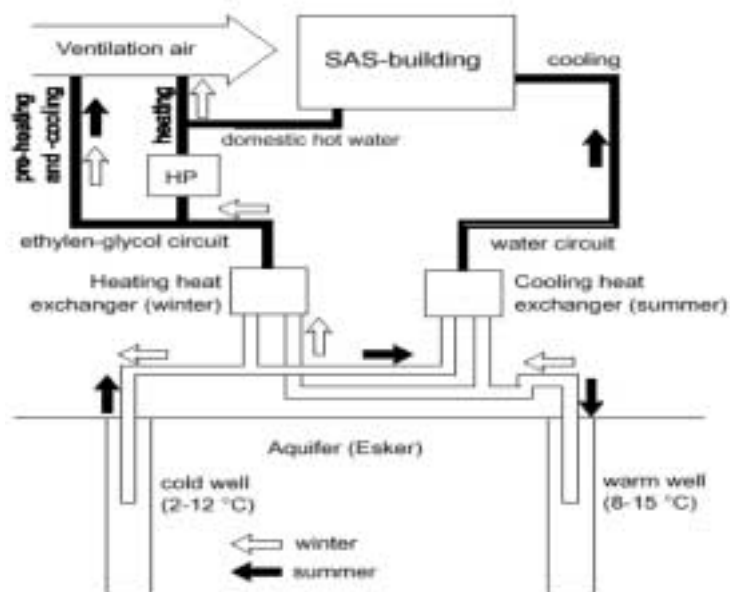
Kuva 32. Suurien lämpövarastojen rakenteita [3,10].

Kuten edellä on esitetty, pohjavesivarastot voivat olla yksi- tai kaksikaivoisia. Koska yksikaivoisen varaston vaatimia kaksikerroksisia pohjavesiä on suhteellisen vähän, kaksikaivoinen lämmön ja/tai kylmän pohjavesivarasto on yleisempi. Tässä energian talteenotto-kaivo sijoitetaan riittävän etäisyyden päähän syöttöalueelta pohjaveden virtaus-suunnassa alavirtaan päin. Suomen oloissa kaivojen välimatkan tulee olla noin 100–200 m [121].

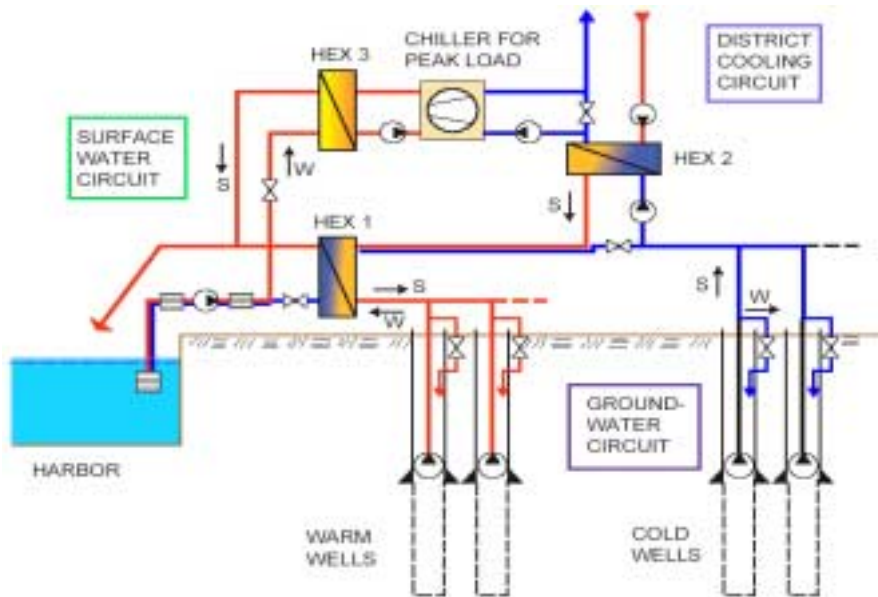
Suomessa vuodenaikojen ja maantieteellisen sijainnin mukaan vaihteleva pohjaveden lämpötila on noin 2–10 °C. Yhtenäiset pohjavesiesiintymät ovat Suomessa noin 2–10 m syvyydellä maan pinnasta ja niiden pituus vaihtelee 1–10 km välillä ja leveys on muutama sata metriä. Varsinaista lämmön tai kylmän varastointia pohjavesiimme ei ole tiettävästi toteutettu. Sen sijaan Ruotsissa, jossa pohjavesiesiintymät ovat samantapaiset kuin Suomessa, on hyödynnetty pohjavesivarastoja lämmön ja kylmän varastointiin. Kyseisiä järjestelmiä on Solnassa, Malmössä, Klippanissa ja Lommassa [121, 122].

Euroopan suurin kalliolämpövarasto on Oulussa (vrt. Taulukko 3). Myös Ruotsissa on käytetty suuria lämpövarastoja kaukolämpöjärjestelmissä. Esimerkiksi Lyckebossa on 105 000 m³ kallioluola, jota käytetään aurinkolämmön (paneelien pinta-ala 28 800 m²) varastointiin. Kyseinen kalliovarasto on kytketty myös paikalliseen kaukolämpöverkkoon.

Viime vuosina on maailmalla toteutettu useita satoja pohjavesivarastoihin liittyviä projekteja. Useimmissa tapauksissa kylmäenergiaa varastoidaan talviaikaan ja energia käytetään suurten toimistorakennusten ja teollisuusprosessien jäähdytykseen. Verrattuna kompressorijäähdytykseen lisäinvestointien takaisinmaksuaika on yleensä alle viisi vuotta ja käyttökustannuksia on voitu alentaa jopa 75 %. Suuria porareikävarastoja on sen sijaan toteutettu huomattavasti vähemmän. [107]. Alla on esimerkki Solnassa, Ruotsissa, vuodesta 1987 toimineesta järjestelmästä, jossa pohjaveteen varastoitua lämpöä käytetään SAS:n pääkonttorin (Kuva 33) lämmitykseen ja ilmastointiin [108]. Malmön läntiselle satama-alueelle on rakennettu moderni asuinalue, joka käyttää sataprosenttisesti uusiutuvaa energiaa. Alue tuottaa kesäaikana lämpöä myös Malmön kaukolämpöverkkoon (vrt. Kuva 34).

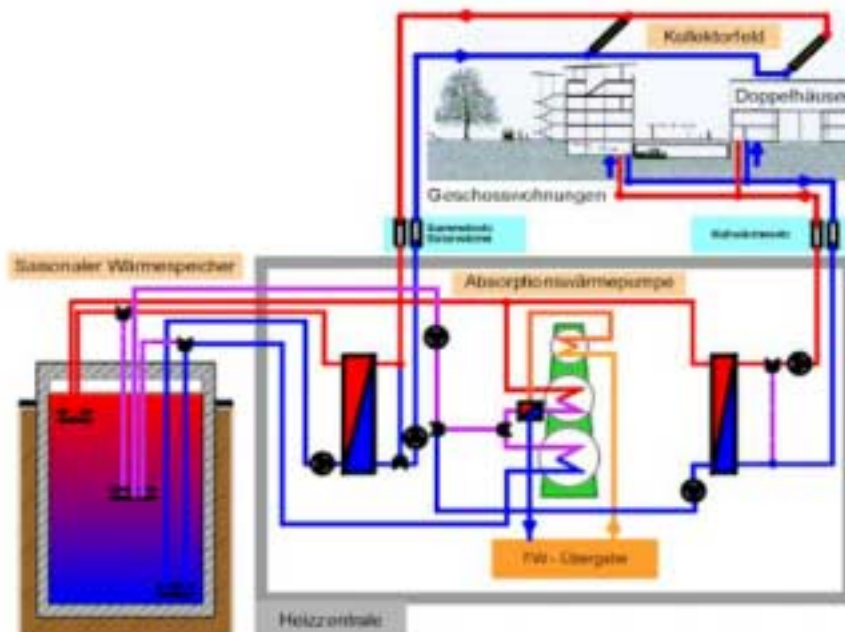


Kuva 33. Lämpö-kylmävarasto Solnassa, Ruotsissa [108].



Kuva 34. Kaukojäähdytysjärjestelmä Malmössä [109].

Zae Bayern [97] on suunnitellut aurinko- ja kaukolämpöön perustuvan alueellisen lämmitysjärjestelmän Münchenin esikaupunkialueelle, johon kuuluu 274 asuntoa ja pienteollisuusalue. Järjestelmässä on 5 700 m³ maanalainen vesivarasto aurinkolämmön kausivarastointiin. Aurinkolämpö (paneelipinta-ala 2 700 m²) kattaa 50 % vuosittaisesta lämmön tarpeesta. Aurinkolämpöjärjestelmän ja kaukolämpöjärjestelmän välillä on litiumbromidi-vesi-absorptiolämpöpumppu, jonka avulla tuotetaan noin 50 % tarvittavasta lämpöenergiasta (vrt. Kuva 34).



Kuva 35. Aurinko-kaukolämpöjärjestelmän toimintaperiaate [97].

2.3 Paineilmavarastot

Paineilmavarastoja käytetään ns. CAES (Compressed Air Energy Storage) -laitoksissa keskitetyssä sähköntuotannossa. CAES-laitos koostuu paineilman komprimointiosasta, modifioidusta kaasuturbiinigeneraattorista ja paineilmaparastosta. Komprimointiosaan lisätään kompressoria pyörittävä moottori tai generaattori korvataan moottorigeneraattorilla. Varastoidun paineilman avulla CAES-laitos tuottaa sähköä ilman kompressoria, jolloin turbiinin energia voidaan käyttää kokonaan sähkön tuottamiseen. Varastoa ladataan kompressorilla (l. toimii moottorina), kun sähkön hinta on alhainen tai kun sähkön kulutus on alhainen. Vastaavasti paineilmaparastoa puretaan huippukulutustilanteissa.

Paineilmaa voidaan varastoida usean tyyppiseen luonnolliseen muodostelmaan, kuten maanalaiseen suolakiviesiintymään, suolavesiesiintymään tai vaihtoehtoisesti louhia kallioon. Suolavesiesiintymän käyttö paineilmaparastona on nykyään halvin vaihtoehto.

Paineilmavarasto soveltuu suuren kokoluokan energian kysynnän hallintaan. Maailmalla on muutamia CAES-laitoksia. Nykyään toiminnassa on 290 MW_e Huntorfin laitos Saksassa ja 110 MW_e McIntoshin laitos Alabamassa. Paineilmavarastona molemmissa on luonnollinen geologinen muodostelma. Ohioon on suunnitteilla 2700 MW_e CAES-laitos, joka hyödyntäisi vanhaa kalkkikivikaivosta paineilmaparastona. Kyseinen Nortnin laitos olisi toteutuessaan ensimmäinen kalkkikivikaivosta hyödyntävä CAES-laitos maailmassa. Laitos olisi jaettu 300 MW moduuleihin, joista kukin tuottaisi 15 000 MWh paineilman avulla. Suomessa tutkittiin 1990-luvulla Pyhäsalmen sinkkikaivoksen käyttökelpoisuutta CAES-laitoksen paineilmaparastona. Laitos oli suunniteltu toimivaksi kaasuturbiinilaitoksen yhteydessä. Suunniteltu sähköteho olisi ollut 35 MW ja kompressorin koko 25 MW. Hankkeelle ei kuitenkaan löytynyt riittävän vahvoja taloudellisia perusteita [5, 11, 12].

CAES-laitoksen muunnosta eli CAS-laitosta on kehitetty kulkuneuvojen energiavarastoksi. CAS-systeemissä paineilma on varastoitu säiliöön, jonka korkeiden kustannusten vuoksi ainoastaan muutaman tunnin varastointi voisi tulla kyseeseen [11].

2.4 Pumpatut vesivarastot

Pumppuvoimaloissa vesivoimalaitoksen läpi virrannut vesi palautetaan takaisin yläaltaaseen. Pumppuvoimalan ylä- ja ala-altaisiin käytetään luonnon vesialtaita tai tekoalaitaita. Onkalolaitoksessa ala-allas tehdään syvälle maan sisään esimerkiksi vanhaan kaivokseen, jolloin saadaan suuria putouskorkeuksia. Rakennetuissa vesialtaissa varastointikapasiteetti on yleensä noin vuorokausi, kun luonnollisissa vesivarastoissa se voi olla jopa 1–2 vuotta. Pumppuvoimalaitoksia voidaan käyttää huippuvoimalaitoksena, pyöri-

vänä reservinä, energian pitkäaikaiseen varastointiin, verkon taajuuden säätöön tai pyörivänä loistehon kompensointina. Pumppuvoimalan käyttö edellyttää useimmiten siis merkittävää sähkön hinnan vuorokausivaihtelua. Toisaalta pumppuvoimalaitoksilla on nopea käynnistysvaste eli pienimmillä laitoksilla n. 30 sekuntia 100 %:n tehoon.

Pumppuvoimalaitoksissa sähkön tuotanto ja pumppaus voi tapahtua yhdessä yksikössä, eli reversiibelissä pumpputurbiinissa tai erillisissä yksiköissä. Pumppaus-generaattorimoodi voi vaihtua minuuttien aikana ja jopa yli 40 kertaa yhden päivän aikana. Pumppuvoimalaitosten kokonaishyötysuhde on hyvä, yleensä yli 70 %.

Pumppuvoimalaitosten putouskorkeudet vaihtelevat 200–1 500 m ja sähkötehot 100–1 200 MW. Pumppuvoimalaitoksen voima-asema pyritään sijoittamaan alavesialtaan minimitasan alapuolelle kavitaatiovaaran vuoksi, ja uusissa voimaloissa koko voima-asema saattaakin olla kokonaan maan alla. Viimeisen kymmenen vuoden aikana on otettu käyttöön ns. kehittynyt pumppuvoimalaitos (Advanced Pumped Storage eli APS). Näiden laitosten hydrauliiikka ja mekaniikka on suunniteltu siten, että erittäin nopeat (< 15 s) moodimuutokset ovat mahdollisia.

Pumppuvoimaloita on rakennettu USA:han 1920-luvulta saakka. Pumppuvoimalaitoksia on toiminnassa Euroopassa noin 50 laitosta, jotka sijaitsevat etupäässä vuoristossa. Suomessa ei ole toiminnassa yhtään pumppuvoimalaitosta. Korpilahdelle Keski-Suomeen on aikoinaan suunniteltu pumppuvoimalaitossovellutusta, mutta tuolloin hankkeen kannattavuus ei ollut riittävä [2, 11].

2.5 Energian varastointi synteettisenä polttoaineena (vety)

Tulevaisuuden ratkaisuihin on esitetty sähköenergian välillistä varastointia vedyn muodossa. Tällöin vesi hajotettaisiin sähkökemiallisesti vedyksi ja hapeksi käyttäen esimerkiksi auringon säteilyenergiaa, tuulienergiaa tai ydinvoimaa. Vedyn energiasisältö painoyksikköä kohti on tunnetuista polttoaineista korkein. Vety esiintyy kuitenkin normaaliolosuhteissa kaasuna, jolloin energiatiheys tilavuusyksikköä kohti on pieni. Energiateheyden nostamiseksi vetyä varastoidaan pääasiassa paineistettuna kaasuna ja nesteytettynä. Tutkimuksen kohteena on myös varastointi metallihydrideissä ja esimerkiksi hiilestä rakennetuissa nanoputkimateriaaleissa. Useimpia varastointimuotoja voidaan periaatteessa käyttää sekä ajoneuvoissa että paikallisissa varastoissa. Monesti varastoitavan ratkaisee energian käyttötavan lisäksi myös mm. varastointiaika. Pitkän aikavälin varastointi (yli noin 100 päivää) tehdään yleensä kemiallisesti hydrideinä tai käyttäen maanalaista varastointia paineistettuna [13].

Paineistettu kaasu

Paineistettu varastointi voidaan jakaa maanpäälliseen ja maanalaiseen varastointiin. Maanpäällisessä varastoinnissa vety paineistetaan metallisäiliöihin noin 21 MPa paineeseen. Säilytysastiat ovat yleensä 50 litran kaasupulloja tai yli 15 000 m³:n tapauksessa pallomaisia säiliöitä. Ajoneuvoissa varastointipaine voi nousta 55 MPa asti. Vuorokauden mittaiseen varastointiin mitoitettun maanpäällisen paikallisen varaston investointikustannuksiksi on arvioitu 1 700–9 000 US\$/GJ. Kaikkiaan kustannukset ovat 20 vuoden investoinnin kuoletusajalla ja 10 % :n korolla n. 1,5–4,2 US\$/GJ. Maanalainen varastointi paineistettuna kaasuna sopii parhaiten suurille kaasumäärille ja/tai pitkäaikaiseen varastointiin. Saadun kokemuksen perusteella maanalaisen varastoinnin investointikustannuksiksi on arvioitu 16–80 US\$/GJ. Kustannusten erot muodostuvat lähinnä käytettävän kalliotilan louhintakustannuksista. [13, 95]

Nesteytetty vety

Vetykaasun nesteyttäminen vaatii hyvin alhaisen lämpötilan (n. 20 K) ja siten paljon energiaa. Nesteyttäminen jäähdyttämällä vaatii energiamäärän, joka vastaa noin 25–30 % nesteytetyn vedyn energiasisällöstä eli noin 11 kWh sähköenergiaa kilogrammaa kohti. Nesteytettynä vedyn varastointikustannukset muodostuvatkin lähinnä nesteytyksen vaatimasta energiasta. Investointikustannukset eivät poikkea paljoakaan paineistetun varastoinnin kustannuksista. Kokonaiskustannukset nesteytetystä varastoinnista ovat noin 5–8 US\$/GJ suurelle (yli 13 000 GJ) ja \$17–23/GJ pienelle varastolle. Ajoneuvo-käyttöön sopivien varastojen hinnaksi on arvioitu 1 280–2 550 US\$/GJ. [13, 95]

Metallihydritit

Metallihydritit ovat yhdisteitä, jotka varastoivat vetyä metallin kidehilan. Vedyn varastointi hydridiin vapauttaa energiaa ja vaatii siten jäähdytystä. Toisaalta vedyn vapauttaminen hydridistä vaatii energiaa (lämmitystä). Hydritit jaetaan yleensä niiden toimintalämpötilan mukaan korkean (> 300 °C) ja matalan (< 150 °C) lämpötilan hydrideihin (kohtuullisessa 0,1–1,0 MPa paineessa).

Hydritit ovat suhteellisen turvallisia, koska vedyn vapautuminen vahingossa on epätoiminnainen reaktion vaatiman lämmön takia. Varastointisysteemi on kuitenkin painava, koska vedyn varastointikapasiteetti painoyksikköä kohti vaihtelee yleisesti 1–7 %:n välillä. Vedyn varastointiin ei ole vielä sovellettu suuressa mittakaavassa metallihydridejä, mistä johtuen investointikustannuksista ei ole olemassa juurikaan arvioita. Vedyn vapauttaminen hydridistä vaatii energiaa (lämpöä), mutta tähän voidaan käyttää esimerkiksi polttokennon jäähdyttämisestä syntyvää hukkalämpöä. [13, 95]

Metanoli ja muut kemialliset yhdisteet

Vedyn sitominen kemiallisesti johonkin yhdisteeseen on eräs vartenotettava vaihtoehto sekä varastoinnin että kuljetuksen kannalta. Lukuisia eri yhdisteitä on ehdotettu kuten metanolia, ammoniakkia ja metyyli-sykloheksaania. Normaalioloissa nestemäisten yhdisteiden etuna on mahdollisuus käyttää jo olemassa olevaa jakelu- ja varastointiverkosta. [13]

Nanoputket

Nanoputkilla tarkoitetaan hiilestä valmistettua materiaalia, joka sisältää nanometrimittakaavan huokoisrakenteen. Tällainen on esimerkiksi kiderakenne, jossa kidetasot on pinottu alle nanometrin päähän toisistaan. Kidetasojen välinen tila muodostaa huokoisrakenteen, johon vety sitoutuu. Toinen vaihtoehto on grafiitista muodostettu nanokuiturakenne, jossa pitkulaisten huokoistilojen läpimitta on n. 12 Å suuruusluokkaa. Vety imeytyy huokoistilavuuteen kapillaarivoimilla. Vedyn varastointikyky on nanohuokoisrakenteissa painoyksikköä kohti noin 5–10 %. Kehitys- ja tutkimustyö vedyn varastoinniseksi nanoputkiin on vielä hyvin alkutekijöissään. Nanoputkitekniikan odotetaan kuitenkin tulevaisuudessa olevan merkittävä varastointimenetelmä erityisesti liikenteessä ajoneuvojen polttoainesäiliöinä. [13]

Lasikuulat

Yhdeksi varastointivaihtoehdoksi on ehdotettu myös onttojen lasikuulien käyttöä. Tässä menetelmässä vety painetaan erittäin korkealla paineella onttojen mikroskooppisten lasikuulien sisään. Kun vety on saatu lasin sisään, voidaan paine laskea eikä varastoinnin tai kuljetuksen aikana siten tarvita erityisjärjestelyjä. Vety vapautetaan lämmittämällä lasikuulia. Vapautumisen nopeuttamiseksi on tutkittu myös lasikuulien rikkomista. [13]

Aktiivihili ja zeoliitit

Vetyä voidaan varastoida myös aktiivihilen makroskooppisiin huokosiin. Menetelmä vaatii kryogeenisen lämpötilan ja sen varastointikapasiteetti on noin 5,2 %. Zeoliitit ovat puolestaan epäorgaanisia yhdisteitä, joiden rakenteessa on 3-D-huokosia, joihin vetyä voidaan varastoida. Menetelmä vaatii puolestaan korkean lämpötilan ja paineen. [96]

2.6 Akut

Patterit luokitellaan yleensä primääri- ja sekundääripattereihin sen mukaan, ovatko ne uudelleen ladattavia vai eivät. Primääri- eli galvaaniset patterit ladataan ja puretaan vain kerran, kun taas sekundääripatterit eli akut ja ladattavat patterit voidaan ladata ja purkaa jopa tuhansia kertoja. Tässä yhteydessä käsitellään ainoastaan ladattavia akkuja ja patte-reita.

Uudelleenladattavat patterit ja akut ovat vanhin ja laajasti käytetty energiavarastomuoto. Sähköä varataan kemiallisen reaktion avulla akkuun. Akuista tunnetuin on lyijyakku. Akkujen kehitystyö on ollut hidasta. Uusien akkutyypin käyttöön otossa elinikätestit kestävät useita vuosia ja laboratoriomitasta siirtyminen kaupalliselle asteelle on riskialtista. Vain litiumakut ja nikkeli-metalli-hydridiakut (NiMH) ovat uutta teknologiaa, joka on saavuttanut merkittävää kaupallista jalansijaa viime vuosikymmenellä. Natriumsulfaatti- ja natrium-nikkelikloridiakut eivät ole täyttäneet kaikkia lupauksiaan, vaikkakin niiden teknillinen toimivuus on tutkimuksissa havaittu hyväksi. [1, 14]

Uudelleenladattavista akkutyypeistä eniten käytettyjä ovat lähinnä

- lyijyakut
- nikkeli-kadmiumakut.

Viimeaikoina kaupallistettuja ovat

- nikkeli-metallihydridiakut
- litium-ioniakut
- alumiini-ilma-akut
- alumiini-rikkiakut.

Osittain kaupallistettuja ja kehitystyön alla ovat

- korkean lämpötilan akut, kuten natrium-rikkiakut
- metalli-ilma-akut (muut kuin alumiini-ilma-akut)
- nikkeli-rauta-akut
- polymeeri-litiumakut
- redoksi- ja virtausakut (= regeneroitavat polttokennot).

Akkujen toiminnan kannalta tärkeitä parametreja ovat [15]:

1. energiatiheys eli kapasiteetti (Wh/kg tai Wh/l)
2. tehosiheys eli ominaisteho (W/kg tai W/l)
3. ulostulojännite ja purkausprofiili
4. lataus-purkauskertojen lukumäärä

5. itsepurkautumisnopeus eli kuinka nopeasti akku menettää potentiaaliaan, kun se on käyttämättömänä ladatussa tilassa
6. elinikä
7. turvallisuustekijät: vikatilanteiden luonne ja todennäköisyys, materiaalien myrkyllisyys, komponenttien reaktiivisuus, käyttäytyminen oikosulku- tai virran läpilyöntitilanteessa
8. ympäristölliset tekijät: materiaalien myrkyllisyys, materiaalien hävittäminen ja kierrätettävyys
9. toimintaolosuhteet: korkea- tai matalalämpötilakennot, kennojen umpinaisuus tai ilmatiiviyys, paineolosuhteet, mahdollinen biologinen yhteensopivuus
10. hinta.

Akkujen vasteaika on mikrosekuntien luokkaa ja vain superkondensaattoreilla on yhtä lyhyt vasteaika. Akuilla on hyvin pienet tyhjäkäyntihäviöt. Akkujen energiasisältö ja suurin saatavissa oleva teho ovat yhteydessä toisiinsa. Sovelluksiin, joissa täytyy saada ulos suuri teho lyhyessä ajassa, sopivat paremmin vauhtipyörät, superkondensaattorit ja SMES.

Uusien akkujärjestelmien kehitystyö kohdistuu energiatiheiden, teholtiheyden ja eliniän lisäykseen sovelluksen tämänhetkisessä toimintaympäristössä. Nykyään akut jaotellaan toimintansa puolesta tehoakkuihin ja energia-akkuihin. Tehoakut voivat varastoida ja tuottaa lyhyitä tehopuskureita, kun taas energia-akut voivat tuottaa suuren energiamäärän mutta pidemmän aikaa. Akkuihin liittyvä tutkimustyö kohdistuu nykyään akkumateriaalien ja akkujen valmistusprosessin kehittämiseen sekä toimintaolosuhteiden laajentamiseen.

2.6.1 Lyijyakut

Lyijyakut ovat tällä hetkellä edullisimpia ja täyttävät vaatimukset useimmissa sovelluksissa. Eniten lyijyakkua käytetään autoissa, mutta edullisuutensa vuoksi se on yleinen energiavarasto myös sähkön laatu- ja UPS-sovelluksissa. Lisäksi lyijyakkua on käytetty pyörivien reservien ohessa. Lyijyakussa on lyijyoksidin (PbO_2) -katodi, lyijy (Pb) -anodi ja rikkihappo (H_2SO_4) elektrolyyttiliuoksena. 1970-luvulla ryhdyttiin valmistamaan koteloituja akkuja, jotka eivät vaadi elektrolyytin lisäystä. Suljettujen geeliakkujen lisäksi valmistetaan AGM (Absorbed Glass Mat) -lyijyakkua, joissa elektrolyytti on sitoutuneena huokoiseen lasikuitumattoon. Kaasun, eli vedyn ja hapen, muodostuminen ylilataustilanteessa on estetty nykyisissä lyijyakuissa katalyytin avulla, jolla eliminoidaan räjähdysvaara.

Lyijyakku antaa 2 V nimellisjännitteen ja suuren tehotiheyden (autolle esim. 600 W/kg). Lyijyakun ongelmana on sen nopea itsepurkautuminen ja pieni energiatiheys (<100 Wh/kg), joka johtuu lyijyn suuresta tiheydestä. Lisäksi lyijyakku on ympäristölle vahingollinen ja sen elinikä on lyhyt (latauskertojen lkm. joitain satoja) etenkin tilanteissa, jossa akku tyhjenee täysin. Myös kylmäkestävyys on huono (vrt. esim. auton käynnistys pakkasella) [15].

Lyijyakun käyttö energian kysynnän hallinnassa on ollut rajoitettua sen lyhyen eliniän vuoksi. Energiämäärä (kWh) ei ole kiinteä, vaan riippuu purkausnopeudesta. Erityisesti syrjäseudulla vaikeissa ilmastollisissa olosuhteissa nikkeli-kadmium (NiCd) -akkuja käytetään mieluummin, ja tulevaisuudessa muut sähkön varastointiteknologiat, kuten litiumioniakut voivat osoittautua kilpailukykyisemmiksi kuin lyijyakut.

Koska lyijyakut ovat painavia, niitä käytetään stationäärisovelluksissa. Suurin lyijyakujärjestelmä on Kaliforniassa, kooltaan 40 MWh. Taulukossa 4 on vertailtu yli 1 MW:n järjestelmiä maailmassa [1, 16].

Taulukko 4. Suuria lyijyakujärjestelmiä maailmassa. [16]

Laitos	Installointi-vuosi	Kapasiteetti (MWh)	Nimellisteho (MW)	Hinta 1995 (US\$/ kW)	Hinta 1995 (US\$/ kWh)
CHINO Kalifornia	1988	40	10	805	201
HELCO Havaiji	1993	15	10	456	304
PREPA Puerto Rico	1994	14	20	239	341
BEWAG Berlin	1986	8,5	8,5	707	707
VERNON Kalifornia	1995	4,5	3	458	305

2.6.2 Nikkeli-kadmiumakut (NiCd) ja nikkeli-rauta (NiFe) -akut

Nikkeli-kadmium- ja nikkeli-rauta-akuissa on nikkelioksidikatodi, kadmium (Cd)- tai rauta (Fe) -anodi sekä alkalinen kaliumhydroksidi (KOH) -liuos elektrolyytinä. NiCd-akut ovat saavuttaneet suurempaa suosiota. Syynä tähän on ollut rautaelektrodin suurempi korroosioherkkyys ja herkempi itsepurkautuvuus.

NiCd-akun etuja lyijyakkuihin verrattuna ovat suuri latauskertojen lukumäärä (>1 000), vakio purkausjännite, suurempi purkausnopeus, parempi kylmän kestävyys sekä pieni

itsepurkautumisnopeus. NiCd-akut voivat olla käyttämättöminä kuukausiakin ilman suurempaa purkautumista. Verrattuna lyijyakkuihin NiCd-akuilla on pienempi tehotehoisuus, ne ovat kalliimpia ja lisäksi käyttöön vaikuttaa ns. muistiefekti. Tämän vaikutuksesta käyttämätöntä akkukapasiteettia ei saada täysin käyttöön, mikäli akkua ei ladata täyteen. Ilmiö johtuu passiivoivan kerroksen muodostumisesta elektrodin pinnalle, joka estää kennoreaktion. Cd on myös myrkyllinen ja ympäristölle vaarallinen aine [15, 17].

NiCd-akkuja käytetään eniten pienessä kokoluokassa (ns. AA-paristo). Suurempia, 6V akkuja (5 kennoa sarjassa) on käytetty stationäärisissä sovelluksissa, kuten moottorin käynnistyksessä. Alaskaan, lähelle Fairbanksia on rakenteilla maailman suurin ja ehkä tehokkain akkujärjestelmä, jonka tulee tuottaa 40 MW teho 15 minuutin ajan (aika, joka kuluu turbiinien ylösajoon). Akkujärjestelmän tulee toimia varareservinä häiriötilanteissa sekä osallistua sähkön kysynnän hallintaan. Saftin toimittama NiCd-akusto tulee muodostumaan neljästä rinnakkaisesta patteristosta, joista kukin muodostuu kymmenestä moduulista, joissa on 3 440 patteriyksikköä. Näin ollen akustoon tulee 13 760 kennoa. ABB toimittaa AC/DC-konvertterin sekä säätö- ja muut oheisjärjestelmät. Projektin suunniteltu valmistumisaika on kesäkuussa 2003. Tällä hetkellä laitoksen tilaaja (Golden Valley Electric Association) on päättänyt 27 MW -akustoon projektin ensimmäisessä vaiheessa [18].

2.6.3 Sinkki-mangaaniakut (ZnMn)

Kadmiumin aiheuttamien ympäristöhaittojen vuoksi on kehitetty ladattava sinkki-mangaanioksidiaakku tavallisesta ZnMn-primääriakusta. Tämä on tullut mahdolliseksi materiaalikehityksen myötä, jolloin voidaan estää sinkkikiteiden muodostuminen, jotka puolestaan aiheuttaisivat patterissa sisäisen oikosulun. Kennon rakennetta muuttamalla on voitu estää mangaanin hapettuminen alemmille hapetusasteille (nyt $Mn^{4+} \rightarrow Mn^{3+}$). Lisäksi akustossa tulee käyttää erityistä laturia, joka lataa kennoon maksimissaan 1,7 V jännitteen/kenno ja estää siten kaasun muodostumisen. ZnMn-akun heikkoutena on sen lyhyt elinikä, mutta toisaalta sen kapasiteetti on moninkertainen NiCd-akkuihin verrattuna ja lisäksi se on myös halvempi [17].

2.6.4 Nikkeli-metallihydridiakut (NiMH)

Ladattavien alkalipattereiden ehkä kehittynein versio on nikkeli-metallihydridipatterit. Myös tässä on nikkelioksidi katodina ja KOH-liuos elektrolyytinä. Sen sijaan kadmium on korvattu metallihydridillä. Negatiivisena elektrodina toimii vety (kuten polttokennoissa), joka on immobilisoitu metallihydridin muotoon. Itse hydridi on harvinaisista maametalleista ja muista metalleista koostuva kompleksi, joka voi reversiibelisti hajota

ja muodostua uudelleen. NiMH-akun antama jännite on lähes sama (1,2–1,3 V) kuin NiCd-akulla, joten NiCd-akkujen vaihto ympäristöystävällisempään NiMH-akkuun on helppoa toteuttaa. NiMH-akun energiatiheys on noin kaksinkertainen (60–70 Wh/kg) NiCd-akkuun verrattuna ja sen tehosiheys voi olla jopa 250 W/kg. NiMH-akut eivät voi ylilatautua ja niiden käyttölämpötila-alue on –30 – +45 °C.

Pieniä NiMH-akkuja käytetään lähinnä kannettavissa elektronisissa laitteissa, kuten kannettavissa puhelimissa. Myös 12–14 V moduuleita (kapasiteetti n. 100 Ah) on saatavilla [17].

2.6.5 Litiumioni- ja litium-polymeeriakut

Litium, jonka atomipaino on 6,94, on kevyin mahdollinen metalli ja tekee siitä siten erinomaisen materiaalin akuille ja pattereille. Pienen ominaispainon vuoksi sillä on suuri energiatiheys (3,86 Ah/g) ja lisäksi litiumakulla on huomattavasti suurempi pelkistys-potentiaali (–3,045 V) kuin esimerkiksi sinkillä (–0,76 V). Litiumpattereiden ongelmana on litiummetallin suuri reaktiivisuus. Tämän vuoksi elektrolyyttiliuoksen tulee olla muu kuin vesiliuos. Käytettyjä elektrolyyttejä ovat orgaaniset nesteet ja kiinteät polymeerit. Elektrolyyteissä on lisäksi litiumsuolaa (esim. LiPF_6) liuenneena tai sulatettuna, jotta elektrolyytti olisi sähköä johtava. Litiumakkujen katodi on metallioksidia (LiCoO_2 , LiMnO_2 , jne.) ja anodi hiiligraniitista, jolla on levymainen rakenne.

Litiumioni- eli litiumakkujen etuja muihin kehittyneisiin pattereihin verrattuna ovat:

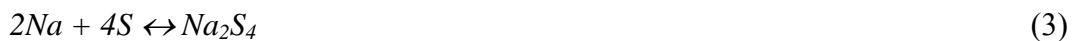
1. korkea energiatiheys (300–400 kWh/m³, 130 kWh/t)
2. korkea hyötysuhde (lähes 100 %)
3. pitkä ikä (3 000 lataus-purkauskertaa 80 % kapasiteetilla).

Nykyään suuri osa litiumpattereista on primääripattereita, joissa negatiivinen elektrodi on litiumkelmu ja elektrolyyttinä on orgaaninen liuos. Kyseistä rakennetta on yritetty käyttää ladattavissa akuissa huonolla menestyksellä, koska litiumin galvaaninen saostuma ei ole tasainen. Litium voi myös muodostaa kiteitä, jolloin vaarana on sisäinen oikosulku ja räjähdys latauksen aikana. Ladattavissa pattereissa on oleellista, että litium ei ole missään vaiheessa metallimuodossa, vaan interkaloituneena (l. seostettuna) positiiviseen elektrodiin, kun akku on purkautunut ja negatiiviseen, kun akku on latautunut. Kennon antama jännite on tällöin Li^+ -ionien antama vapaan energian erotus eri elektrodien välillä. Litium-ionikennot on ladattava käyttäen tarkoitukseen suunniteltua laturia, joka kontrolloi jännitettä ja lämpötilaa räjähdysvaaran minimoimiseksi. Lisäksi ylilatautuminen tulee eliminoida, minkä vuoksi yleensä käytetään 2,7 V sulkujännitettä.

Litiumioniakkuja käytetään kannettavissa sovelluksissa (puhelimet, tietokoneet yms. elektroniset laitteet), joissa sen markkinaosuus on yli 50 %. Esimerkiksi 1997 noin 190 miljoonaa litiumakkua (arvo n. 2 000 milj. US\$) valmistettiin Japanissa. Litiumakkujen kehitystyö on keskittynyt suorituskyvyn parantamiseen ja hinnan alentamiseen. Lisäksi litiumakkujen kehitystyö on suuntautunut markkinoille, jotka tähtäävät suuremman kokoluokan (kW, kWh) sovelluksiin. Ongelmana suuremman kokoluokan sovelluksissa on korkea hinta (> 600 €/ kWh) [17].

2.6.6 Natrium-rikki (NaS) -akut

Natrium-rikki (NaS) -akuissa on nestemäinen (eli sula) rikki positiivisella elektrodilla ja nestemäinen (eli sula) natrium negatiivisella elektrodilla. Kyseiset aktiiviset aineet on erotettu toisistaan keraamisella beta-alumiinielektrolyytillä, jonka läpi ainoastaan positiiviset natrium-ionit voivat kulkeutua. Natrium reagoi rikin kanssa muodostaen natriumpolysulfidia:



NaS-kenno tuottaa 2 V jännitteen. Kennoreaktio on reversiibeli, koska lataus aiheuttaa natriumin vapautumisen natriumpolysulfidista. Natriumionit kulkeutuvat elektrolyytin läpi ja reagoivat negatiivisella elektrodilla natriummetalliksi. Kennon toiminta edellyttää noin 300 °C lämpötilan.

NaS-akut ovat tehokkaita (hyötysuhde noin 89 %) ja ne voivat hetkellisesti (noin 30 s) tuottaa jopa 5–6-kertaisen tehon nimellistehoon verrattuna. NaS-akkuja käytetäänkin sähkön kysynnän hallinnassa huipun leikkaamiseen sekä sähkön laadun hallinnassa. NaS-akkuteknologiaa on demonstroitu yli 40 kohteessa Japanissa. 43:n NaS-akun teho on yli 25 kW ja kahdeksan yksikön teho on 2 MW. Suurin NaS-järjestelmä on Tokyo Electric Companyn 6 MW (8 h) akusto. NaS-akun toimintavarmuutta voidaankin pitää jo riittävänä kaupallisessa mielessä. Myös USA:ssa arvioidaan NaS-akun kilpailukykyä. [16, 19]

2.6.7 Metallililma-akut

Metallililma-akut ovat kompakteimpia ja lisäksi halvimpia tarjolla olevista akuista. Lisäksi metallililma-akut ovat ympäristöystävällisempiä. Ongelmana on, että metallililma-akkujen latausominaisuudet ovat heikot. Nykyisillä ladattavilla metallililma-akuilla hyötysuhde on noin 50 % ja elinikä ainoastaan joitain satoja latauspurkauksia. Ladattavat metallililma-akut ovatkin kehitystyön kohteena.

Metalli-ilma-akkujen anodina on yleinen (ts. halpa) metalli, kuten alumiini tai sinkki. Katodi eli ilmaelektrodi on valmistettu huokoisesta hiilestä tai verkkomaisesta metallista, joka on päällystetty katalyytillä. Elektrolyytinä on usein KOH-liuos. [16]

2.7 Polttokennot

Polttokennojen kehitys on alkanut jo 1800-luvun alkupuolella, mutta materiaalitekniikan kehittyminen, energian jakeluun liittyvät ongelmat ja hybridiautojen kehitys on vauhdittanut polttokennojen kehitystä viime vuosina.

Polttokennot (Taulukko 5) voidaan luokitella esim. polttoaineen mukaan, joita ovat vety (H_2) kaasu, metanoli, diesel, NH_3 , propaani, butaani jne. tai polttokennot voidaan tyyppittää elektrolyytin mukaan:

- a) **PAFC** (Phosphoric Acid Fuel Cell), fosforihappopolttokenno
- b) **MCFC** (Molten Carbonate Fuel Cell), sulakarbonaattipolttokenno
- c) **SOFC** (Solid Oxide Fuel Cell (ITSOFC - Intermediate Temperature Solid Oxide Fuel Cell (800°C) ja TSOFC - Tubular Solid Oxide Fuel Cell)), kiinteäoksidipolttokenno
- d) **AFC** (Alkaline Fuel Cell), alkaalipolttokenno
- e) **PEMFC** (Proton Exchange Membrane Fuel Cell tai Polymer Electrolyte Fuel Cell), protoninvaihtokalvopolttokenno
- f) **DMFC** (Direct Methanol Fuel Cell), suora metanolipolttokenno
- g) **RFC** (Reversible Fuel Cell), reversiibelipolttokenno.

Lisäksi on olemassa biologisia polttokennoja, joita voidaan käyttää esim. mikroelektronikan teholähteinä. Biologisen polttokennon toimintaperiaate on samanlainen kuin kemiallisten polttokennojen mutta erona on katalyytti, joka biologisessa polttokennossa on joko mikro-organismi tai entsyymi ja toiminta tapahtuu huoneenlämmössä neutraalissa liuoksessa. [64]

Useimmissa polttokennotyypeissä polttoaine on perimmiltään vetyä, koska vetyä ja happea sisältävä reaktio muodostaa sähköisen varauksen. Vety voi olla kaasumaisena esim. varastoituna hiilinanoputkiin tai sitoutuneena metallihydridinä tai polttoaine voi olla metaania, etanolia, maakaasua tai jopa bensiiniä. Fossiilisesta polttoaineesta vety irrotetaan kemiallisessa reaktiossa reformerissa.

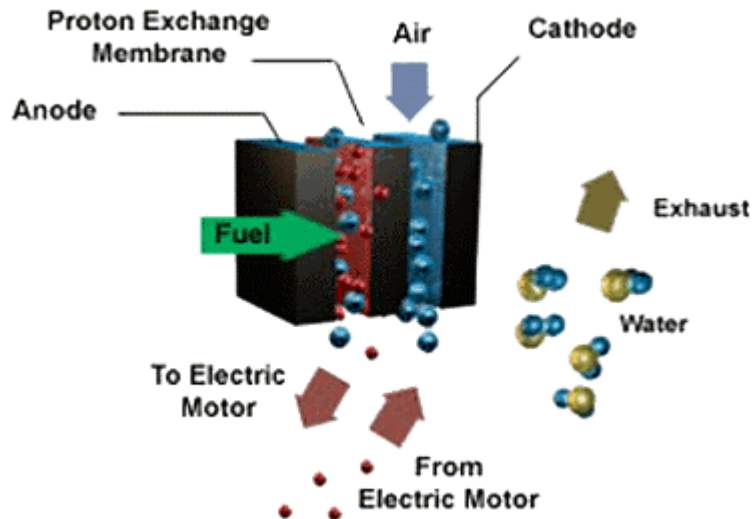
Taulukko 5. Polttokennotyyppien ominaisuuksia.

Tyyppi	PAFC	MCFC	SOFC	AFC	PEMFC	DMFC
Elektrolyytti	Fosforihappo	Sulakarbonaatti	Keraaminen materiaali	KOH	Polymeeri	Polymeeri
Lämpötila	175–200, 190°C	600–1000, 650°C	600–1000, 1000°C	65–220°C	60–100, 80°C	80–100 °C, –20–+50 °C
Polttoaine	H ₂	H ₂ , CO	H ₂ , CO, CH ₄	H ₂	H ₂	Metanoli (CH ₃ OH)
Hapetin	O ₂	O ₂ + CO ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂
Varauksen kuljettaja	H ⁺	CO ₃ ²⁻	O ²⁻	OH ⁻	H ⁺	H ⁺
Katalyytti	platina	nikkeli	nikkeli	platina	platina	platina, ruteeni
Teho esim.	–200 kW (11 MW)	–2 MW (100 MW)	–220 kW	300W–5 kW	100W–10 MW	1–100 kW
Hyötysuhde	40–50 %	50–60 %	45–55 %	89 %	40–50 %	–70 %
Käyttökohde	Sähkönjakelu, kuljetus	Sähkönjakelu, CHP-tuotanto	Sähkönjakelu, CHP-tuotanto	Avaruustekniikka, sotatekniikka	Sähköjakelu, kannettavat, kuljetus, CHP-tuotanto	Kulutus tuotteet, kuljetus
Edut	Jopa 85 % hyötysuhde lämmön ja sähkön yhteistuotannossa, epäpuhdaskin H ₂ käy	Korkea lämpötila: voidaan käyttää monenlaisia polttoaineita ja halpaa katalyyttiä	Korkea lämpötila: voidaan käyttää monenlaisia polttoaineita ja halpaa katalyyttiä	Nopea reaktio	Matala lämpötila, nopea käynnistys, kiinteä elektrolyytti	Ei tarvita erillistä polttoaineen reformeriä, pieni koko, edullinen
Haitat	Iso koko, platina katalyytti, pieni teho ja virta	Korkea lämpötila vaativa komponenteille	Korkea lämpötila vaativa komponenteille	Ilman CO ₂ vanhentaa elektrolyytin	Matala lämpötila vaatii kalliin katalyytin, puhdas polttoaine	CO ₂

Polttokennot tuottavat sähköä vedystä ja hapesta sähkökemiallisen prosessin kautta (Kuva 36). Kemialliset reaktiot voivat olla samoja kuin akuissa, mutta akuista poikkeavasti polttokennot tuottavat sähköä niin kauan kun reagoivien kemikaalien muodostama 'polttoainetta' on jäljellä ja elektrodit ovat toimintakunnossa. Kun reagoivat kemikaalit ovat happea ja vetyä, niin päästönä on pelkästään vettä ja lämpöä. Vetyhappityyppisillä polttokennoilla polttokennon anodilla tapahtuu vedyn hajoamisreaktio, jossa vapautuu elektroneja:

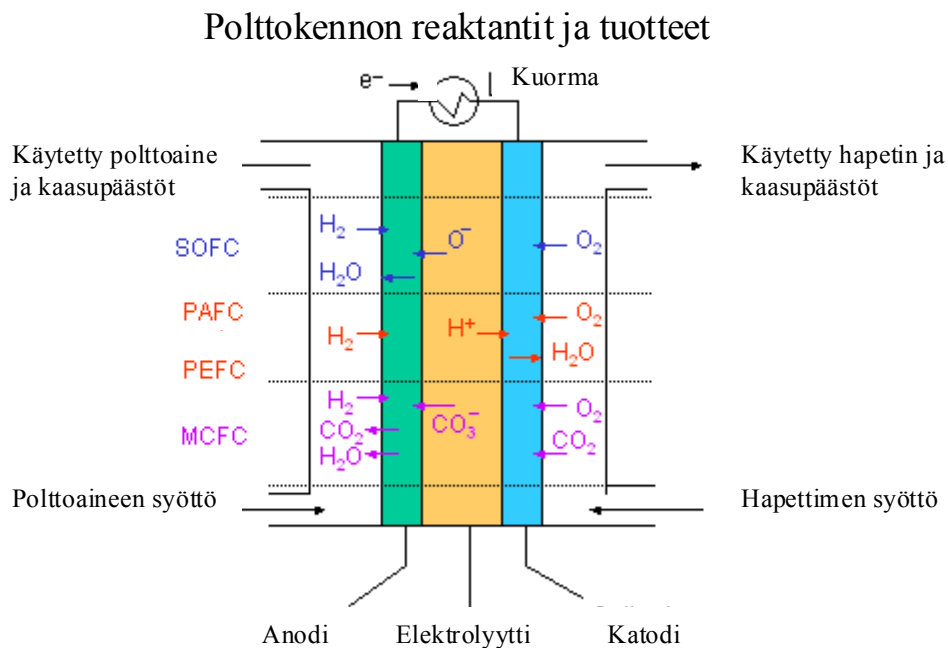


Platina-pinnoitteisella katodilla vety, happi ja elektrodit yhtyvät muodostaen vettä ja lämpöä:



Kuva 36. Polttokennon periaatekaavio. [54]

Kun polttoaineena on metanolia ja etanolia, ei erillistä reformeria tarvita, vaan kemiallinen reaktio voi tapahtua suoraan polttokennon kalvolla (Kuva 37).



Kuva 37. Eri polttokennotyyppien sähkökemiallisia reaktioita. [54]

Metallin hybridien yhteydessä tarvitaan erillinen prosessointivaihe vedyn irrottamista varten. Vety-happipolttokennojen lisäksi on myös metalli-ilmapolttokennoja kuten alumiini-ilma-, magnesium-ilma- ja sinkki-ilmapolttokennoja. Metallililmapolttokennossa kuten esim. sinkki-ilmapolttokennossa voi anodi olla sinkkiä, joka oksidoiduu ilman hapen vaikutuksesta. Kennoreaktio on tällöin:



Kun anodin sinkki on kulunut loppuun, se voidaan poistaa ja 'varata' uudelleen sähkökemiallisesti päällystämällä sinkillä [60]. Sinkkipellettiteknologiaan perustuva sinkki-ilmapolttokenno taas voi olla automaattisesti uudelleen varattava, käänteinen eli reversiibeli (regeneratiivinen, rekuperatiivinen) polttokenno [55].

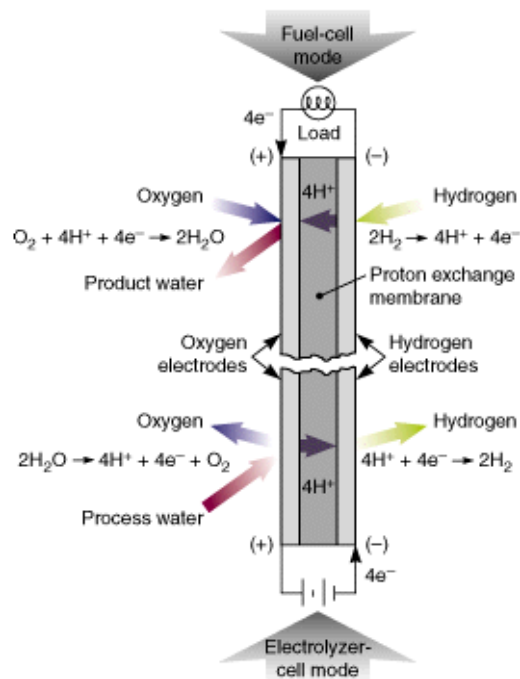
2.8 Regeneroitavat polttokennot ja akut

2.8.1 Regeneroitavat vety-happipolttokennot

Regeneroivassa vety-happipolttokennojärjestelmässä sama kenno toimii polttokennona ja käänteisessä reaktiossa elektrolysaattorina tuottaen vetyä. Järjestelmä voidaan muodostaa myös kahdesta rinnakkaisesta kennosta, jolloin toinen on polttokenno ja toinen elektrolysaattori.

2.8.1.1 PEM-tyyppinen regeneroitava polttokenno

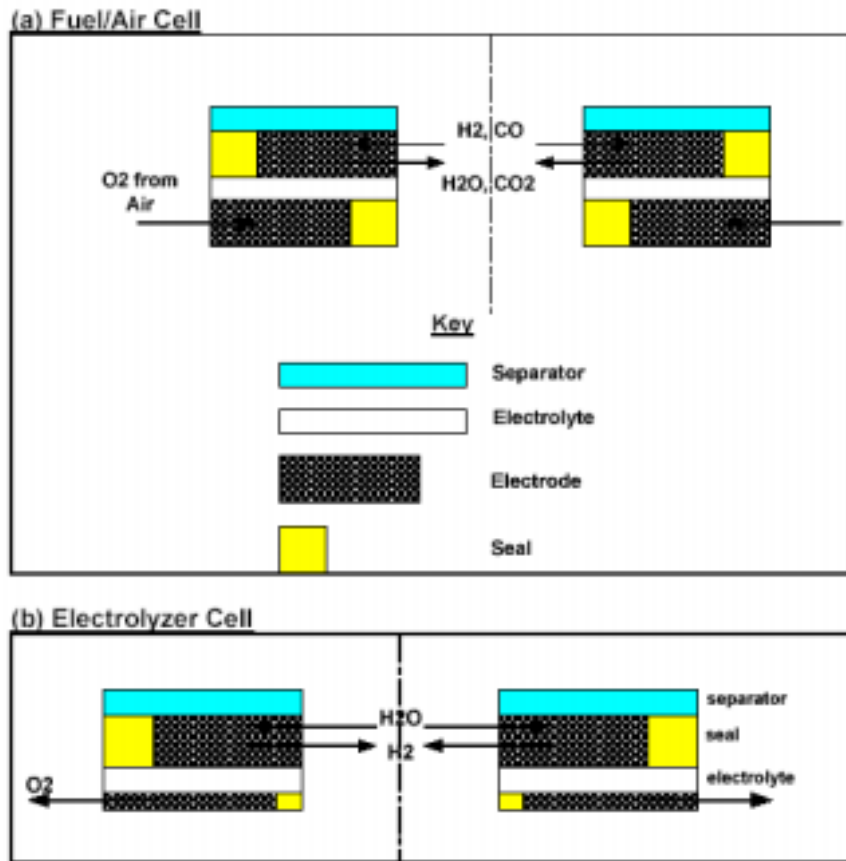
Regeneroiva polttokenno (URFC Unitized Regenerative Fuel Cell) voi olla PEM (Proton Exchange Membrane) -tyyppiä, jossa protoninvaihtokalvon avulla yhdistetään vety ja happi vedeksi. Käänteisessä reaktiossa kenno toimii elektrolysaattorina muodostaen happea ja vetyä (Kuva 38).



Kuva 38. Regeneroivan PEMFC-vety-happipolttokennon periaatekaavio. [57]

2.8.1.2 SOFC-tyyppinen regeneroitava polttokenno

Regeneroiva SOFC (Solid Oxide Fuel Cell) -polttokenno tuottaa korkean lämpötilan (~1000 °C) kiinteäoksidi-perusteisessa sähkökemiallisessa prosessissa sähköä vedystä tai hiilivetyä sisältävistä polttoaineista kuten luonnonkaasusta, propaanista tai biopolttoaineista. Elektrolyysivaiheessa polttokenno tuottaa vedestä vetyä ja happea sähköenergian ja lämmön avulla (Kuva 39). Sähköntuotantovaiheessa syntynyttä hukkalämpöä voidaan hyödyntää elektrolyysivaiheessa. Elektrolyysivaiheen hyötysuhde on yli 90 %, käytännössä 95 %:n luokkaa ja tyypillinen energian varastoinnin kokonaishyötysuhde 81 %. [53]

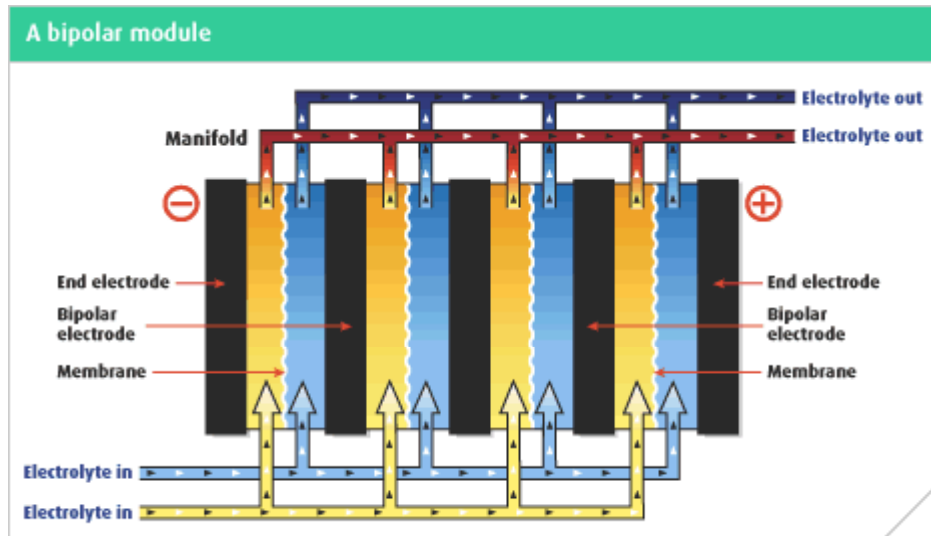


Kuva 39. Uudelleen varattavan SOFC-polttokennon sähkön/vedyn tuotantotoiminnot. [53]

2.8.2 Muut regeneroitavat polttokennot ja akut

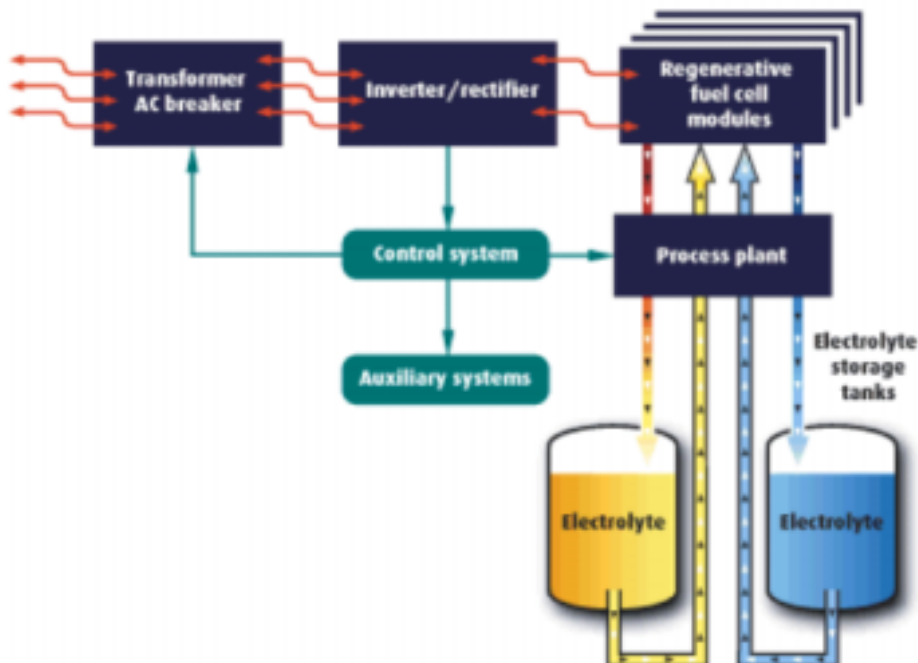
Akkujen ja polttokennojen kemialliset reaktiot voivat olla hyvin samankaltaisia. Akuisa kuitenkin elektrodit osallistuvat kemialliseen reaktioon joko kokonaan tai osittain ja akut voidaan ladata sähköisesti. Uudet virtausakut tai redoksiakut ja uudelleen varattavat regeneroitavat, nestemäisillä reaktanteilla varustetut polttokennot ovat samaa tekniikkaa eikä selkeätä eroa akun ja polttokennon välillä tässä tapauksessa voida tehdä. Käytettävä nimitys riippuu lähinnä valmistajasta.

Virtausakuissa (Flow Battery) ja regeneroivissa polttokennoissa varsinaisena teholähteenä on akkuyksikkö/polttokenno, mutta energiavarastona on periaatteessa elektrolyytisäiliö, joka voi olla minkä suuruinen tahansa ja sijaita halutussa paikassa. Virtaus-termi tulee elektrolyyttien kierrätyksestä kennon ja varastointisäiliön välillä. Elektrolyyttiä voidaan siis vaihtaa ja regeneroida. Elektrolyytit (esim. ZnBr, VBr tai NaBr) kiertävät omissa kennonosissaan ja elektronien vaihto tapahtuu kennon osien välissä olevan ioninvaihtokalvon tai kerroksen läpi. Käytännössä järjestelmä muodostuu useista toisiinsa linkitetyistä kennoista, joissa kiertää sama elektrolyytti, joten kennojen varaus on samansuuruinen (Kuva 40).



Kuva 40. Virtausakun kennojärjestelmä [63].

Kokonaisuutena järjestelmä on erittäin joustava (Kuva 41). Tehon määrää kennojen rakenne ja lukumäärä ja energian elektrolyttisäiliöiden koko. Järjestelmän rakenne voi olla integroitu tai varastointitankit ja ohjauselektronikka voivat sijaita halutussa paikassa erillään kennoista. Järjestelmälle on tyypillistä hyvä pätötehon varastointikyky mutta huonompi loistehon tuotto. Järjestelmän koko voi olla esim. luokkaa 5–500 MW tai enemmän ja varastointiaika muutamasta sekunnista useisiin kymmeneihin tunteihin.

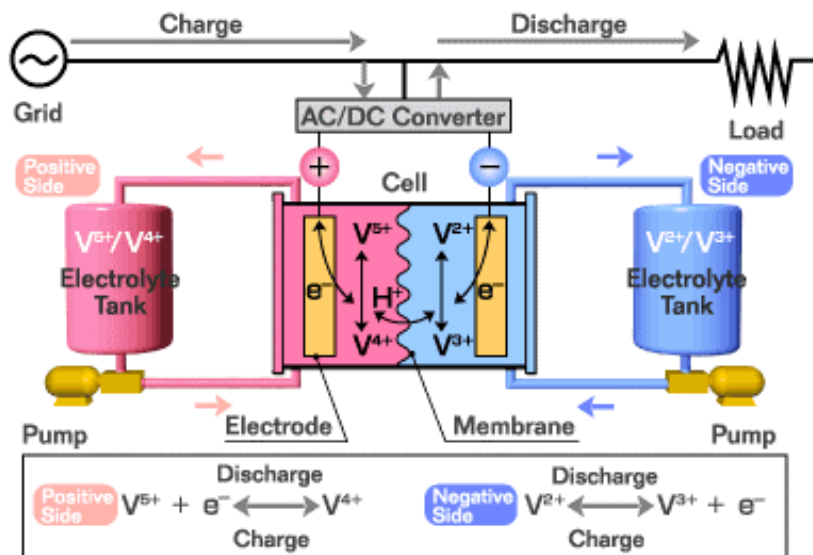


Kuva 41. Esimerkki virtausakun / regeneroitavan polttokennojärjestelmän rakenteesta [63].

2.8.2.1 Vanadium-redoksivirtausakku

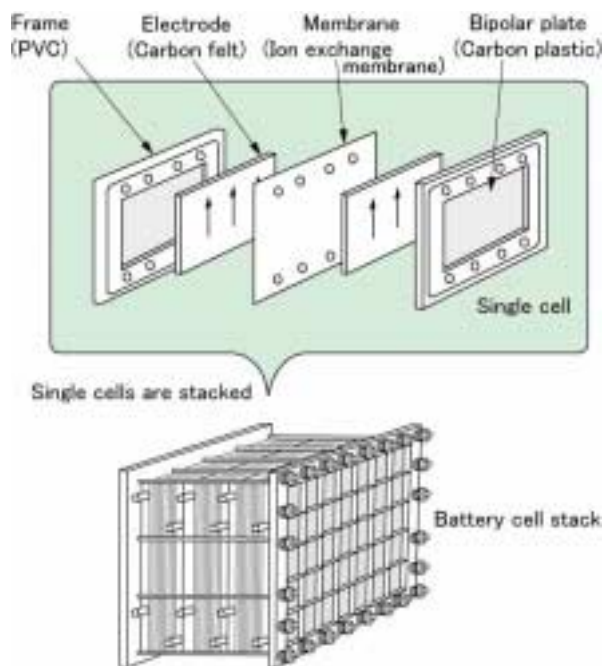
Vedyn ja hapen tilalla voidaan käyttää muitakin materiaaleja kuten sinkki ja bromi tai sinkki ja vanadiumoksidi. Aktiiviset materiaalit reagoivat, kun niillä on tilaisuus vaihtaa protoneja elektroneja johtamattoman elektrolyytin läpi ja synnyttävät sähkökemiallisen reaktion aikaansaaman virran kuorman läpi. Tällaisia hapetus-pelkistysreaktion perustuvia akkujärjestelmiä kutsutaan redoksiakuiksi.

Redoksiakut varastoivat energiaa positiiviseen ja negatiiviseen elektrolyyttiin, joka voi olla esim. vanadiumin rikkihappoliuosta. Kun vanadiumliuosta kierrätetään pumppaamalla varastointitankista akkukennoon, vanadium-ionin valenssi vaihtuu aiheuttaen varautumisen ja purkautumisen (Kuva 42). [62]



Kuva 42. Vanadium-redoksivirtausakun toimintaperiaate. [62]

Redoksiakku voi koostua useista (esim. 100 kpl) erillisistä (Kuva 43) kennoista. Kaikissa kennoissa kiertää sama elektrolyytti, joten varausaste on kaikilla kennoilla sama.

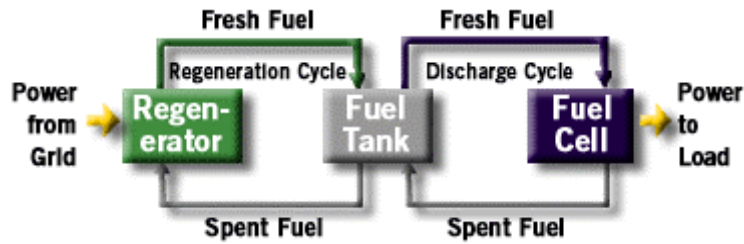


Kuva 43. Redoksivirtausakun rakenne-esimerkki. [62]

Redoksiakuilla on pitkä elinikä ja nopea vaste. Redoksiakkujen energiatiheys tulee todennäköisesti olemaan suurempi kuin reversiibleiden polttokennojen mutta jää silti pienemmäksi kuin useimpien akkujen. Vanadium-redoksiakkuja on kehitetty Australiassa ja Japanissa ja niitä on ollut saatavissa jo useamman vuoden ajan. Pieniä redoksiakkuja tultaneen käyttämään sähköajoneuvoissa. Suurempia redoksiakkuja ja -järjestelmiä voidaan käyttää esim. kuormitusten tasaukseen, varavoimana, jännitekuopan hallintaan sekä tuuli- ja aurinkovoimalan tuotannon tasaukseen. Suuret, jopa satojen MWh:n akut ovat nyt kehitysvaiheessa.

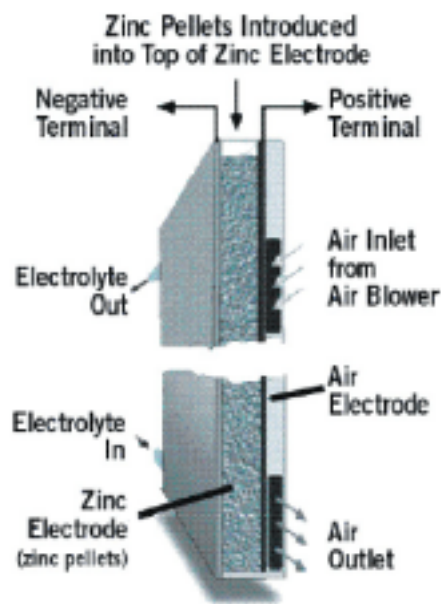
2.8.2.2 Sinkki-ilma-tyyppinen regeneroitava polttokenno

Regeneroivassa ZRFC (Zinc Regenerative Fuel Cell) -sinkki-ilmapolttokennossa [55] on polttoaineena sinkkipelletit. Kun polttokennon sähkökemiallisessa reaktiossa syntyvä sähköenergia on varastoitu, sivutuotteena syntyvä sinkkioksidi regeneroidaan elektrolysaattorissa automaattisesti takaisin sinkiksi. Kemiallinen reaktio on sama kuin sinkki-ilma-akuissa mutta polttokennolle tyypillistä on, että polttoaine on erillisessä tankissa, johon polttoainetta voidaan lisätä ja josta sitä voidaan ottaa tarvittaessa ja polttokennon kemiallisessa reaktiossa syntyvä sinkkioksidi voidaan regeneroida takaisin sinkiksi erillisessä elektrolysoimislaitteessa (Kuva 44).



Kuva 44. ZRFC-polttokennon purkaus-regenerointitoiminnot. [56]

Järjestelmässä on sinkkianodi ja ilmakatodi ja sinkkipartikkelit muodostavat pedin, johon kaliumhydroksidiliuos (KOH) johdetaan (Kuva 45). Kaliumhydroksidiliuos vie myös mukanaan lionneen sinkkiaineksen ja pitää elektrodien aktiivisen alueen puhtaana.



Kuva 45. Sinkki-ilmapolttokennon rakenne. [55]

Sinkkianodilla tapahtuva reaktio:



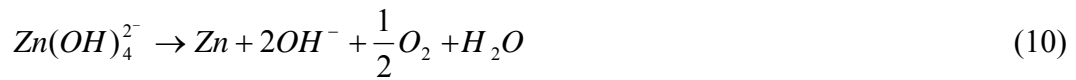
Ilmakatodilla tapahtuva reaktio:



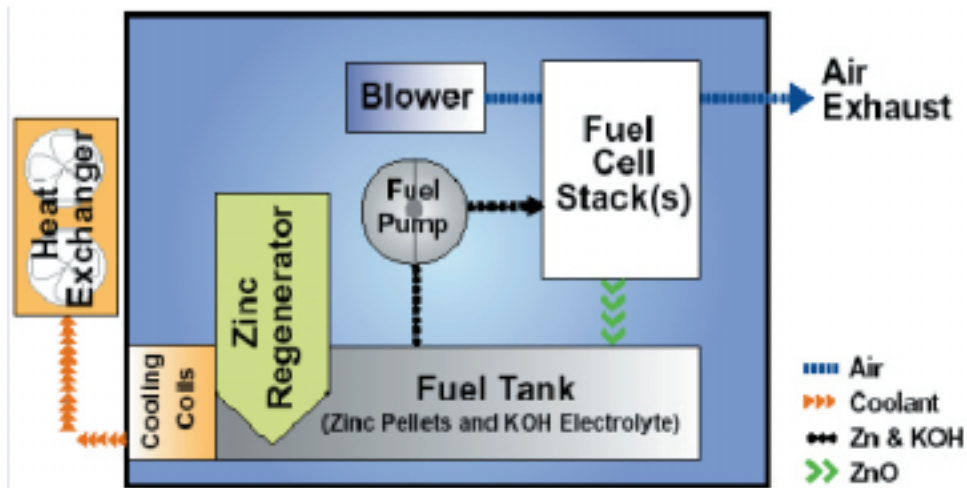
jossa happi saadaan elektrodin takapuolelta johdetusta ilmasta ja polttokennon kokonaisreaktio on:



Regenerointiprosessin aikana liuennut sinkkioksidi ja elektrolyytti johdetaan polttoainetankista elektrolysoimislaitteeseen (Kuva 46) ja käänteinen kokonaisreaktio on vastaavasti:



Regenerointiaika on n. viisi kertaa täyden kuorman purkausaika. Polttokennon toimintalämpötila on 0–40 °C. Järjestelmän kokonaishyötysuhde on 30–50 % mukaan lukien elektroniikan, pumppujen ja puhaltimien häviöt. Järjestelmä on ympäristöystävällinen, sillä sinkki ja sinkkioksidi ovat myrkyttömiä materiaaleja ja päästöinä syntyy happea ja vettä.



Kuva 46. Sinkki-ilmapolttokennolaitteiston päätoiminnot.[55]

Regeneroitava polttokenno voi olla myös kaksitoimintainen, akkutyypillisesti sähköisesti uudelleenvarattava (50 % kapasiteetti) tai polttokennotoimintainen ja mekaanisesti uudelleenvarattava, kun sinkkianodit vaihdetaan (100 % kapasiteetti) [61].

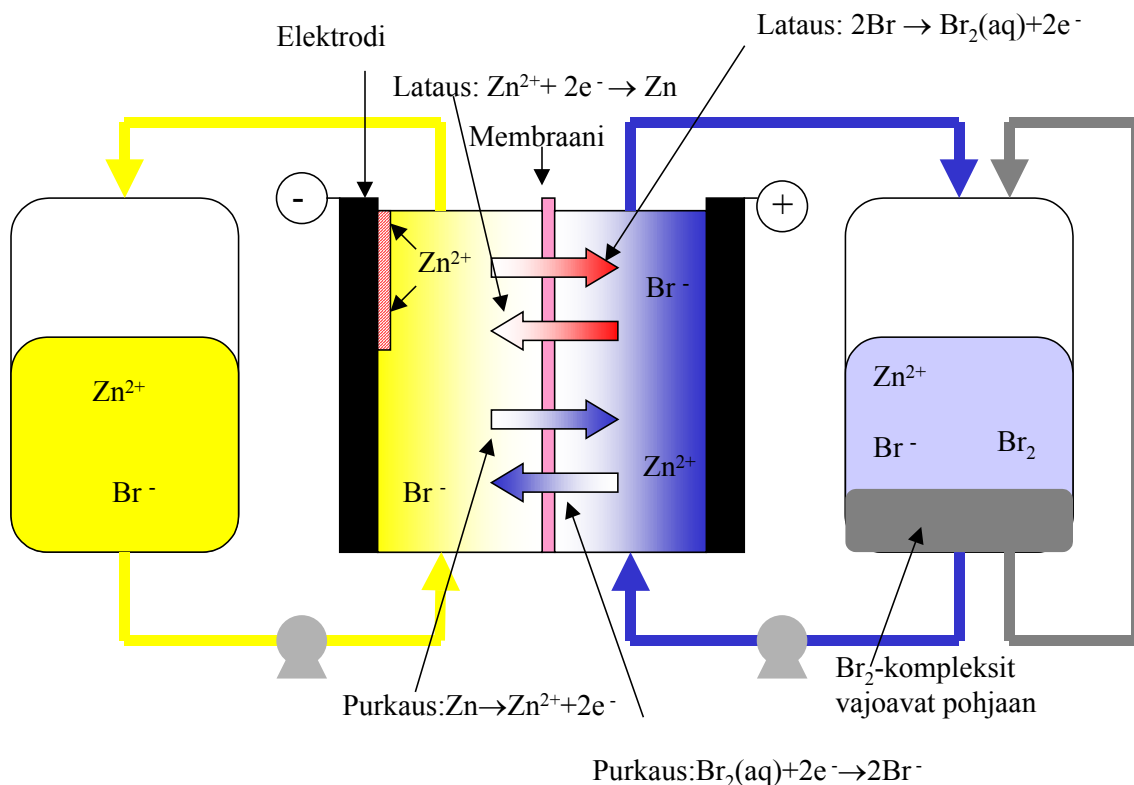
2.8.2.3 Sinkki-bromidi-virtausakku

Sinkki-bromidiakuissa (ZnBr_2) kaksi eri elektrolyyttiliuosta on erotettu toisistaan mikrohuokoisella polyolefiinimembraanilla (vrt. Kuva 47). Elektrodit ovat hiilikomposiittimuovia. Akun purkautuessa Zn- ja Br-ionit reagoivat sinkkibromidiksi ja aiheuttavat 1,8 V jännitteen. Purkauksen aikana Zn- ja Br-ionitiheys kasvaa molemmissa elektrolyyttitankkeissa. Latauksen aikana sinkki muodostaa ohuen kalvon toisen elektrodin pin-

nalle, kun taas bromidi-ionit reagoivat orgaanisten amiinien kanssa toisessa elektrolyytitankissa muodostaen öljymäistä bromidiyhdistettä. Toisin kuin esimerkiksi lyijyakuissa, ZnBr_2 -akun elektrodit eivät osallistu reaktioihin, minkä vuoksi akkujen latauskyky ei huonone kuten useissa muissa ladattavissa akuissa. Lisäksi täysin puretun akun voi jättää määrättömäksi ajaksi ilman käyttöä.

ZnBr_2 -akun hyötysuhde on noin 75 % ja sen energiatiheys painoyksikköä kohden on 2–3-kertainen (75– 85Wh/kg) lyijyakuun verrattuna. Lisäksi nykyisten ZnBr_2 -akkujen elinikä on noin kymmenen kertaa suurempi (n. 2 000 latausta täydelle kapasiteetille) ja latausaika 3–4 kertaa pienempi (n. 2–4 tuntia) kuin lyijyakuilla.

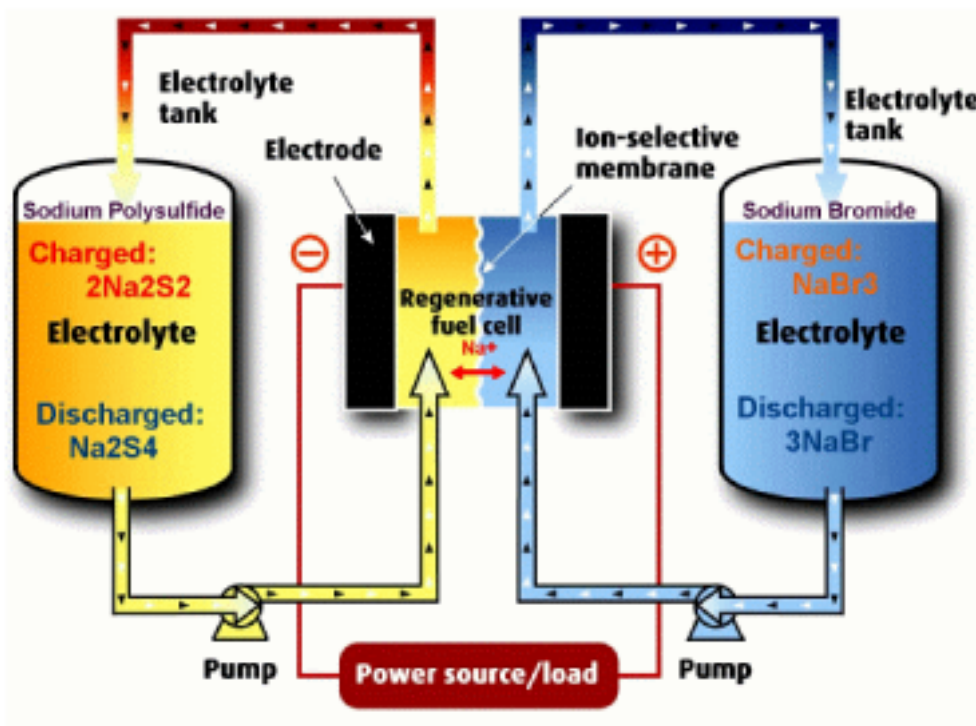
Sinkkibromidiakut on kehittänyt Exxon 1970-luvulla. Nykyiset järjestelmät on tarkoitettu lähinnä sähkön kysynnän hallintaan. ZBB Energy Corp. [19] on kehittänyt 50 kWh moduuliakun, jonka sovelluskohteita ovat UPS ja uusiutuvan energian varastointi. ZBB on toimittanut kaksi 400 kWh järjestelmää ja yhden 500 kWh järjestelmän, joista kaksi on Australiassa ja yksi USA:ssa. 500 kWh:n järjestelmä on asennettu aurinkosähkövoimalan yhteyteen Australiassa vuonna 2000. Toinen 400 kWh järjestelmä leikkaa sähkön kulutushuippuja paikallisessa sähköverkossa.



Kuva 47. Sinkki-bromidi-virtausakun toimintaperiaate [16]

2.8.2.4 Polysulfaatti-bromidi-virtausakku

Polysulfaatti-bromidiakku toimii regeneroitavan polttokennon toimintaperiaatteen mukaisesti. Kennoissa tapahtuu reversiibeli sähkökemiallinen reaktio kahden suolaliuos-elektrolyytin (natriumbromidin ja natriumpolysulfaatin) välillä. Kennosta saatava teho ja energian määrä eivät riipu toisistaan (Kuva 48). Kennon eri osissa virtaavat elektrolyyttiliuokset erottaa polymeerimembraani, jonka läpäisee vain positiivinen natriumioni. Kennojännite on 1,5 V. Kennoja voidaan kytkeä sähköisesti joko sarjaan tai rinnan tarvittavan jännite- ja virtatason saavuttamiseksi. Kokonaishyötysuhde on 75 %:n luokkaa. Regenesysin toimittama 15 MW:n ja 120 MWh:n järjestelmä on rakenteilla ja 12 MW:n 120 MWh:n järjestelmä on suunniteltu rakennettavan.



Kuva 48. Polysulfaatti-bromidi-virtausakun toimintakaavio [63].

2.9 Vauhtipyörät

Vauhtipyörä on yksi vanhimmista ja eniten sovelletuista energian varastointitekniikoista. Vauhtipyörä varastoi pyöriessään liike-energiaa. Yleisin vauhtipyörän sovelluskohde on koneissa, joissa edestakainen liike muutetaan pyörimisliikkeeksi, esimerkiksi polttomoottoreissa. Energian varastoituminen vauhtipyörään riippuu roottorin massasta ja pyörimisnopeuden neliöstä. Käytettävissä oleva teho taas riippuu moottori-generaattorin tehosta. Vauhtipyörään varastoitu kineettinen energia E :

$$E = 0,5 * J * w^2, \quad (11)$$










jossa J on hitausmomentti, w on kulmanopeus (rpm) ja

$$J = k * m * r^2, \text{ jossa} \quad (12)$$

m on massa, r on säde ja k on vauhtipyörän muodosta riippuva kerroin.

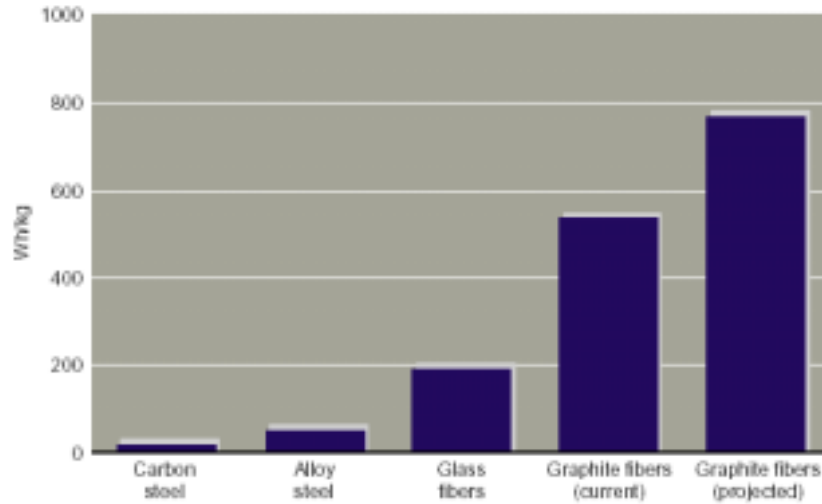
Erityyppisten vauhtipyörrien muotokertoimia on esitetty seuraavassa taulukossa (Taulukko 6).

Taulukko 6. Vauhtipyörän muotoon liittyviä kertoimia [26].

Vauhtipyörän muoto		Kerroin k
Kiekkomainen		1,0
Muotoiltu kiekkomainen		0,931
Muotoiltu kiekkomainen		0,806
Litteä kiekko		0,606
Ohut vanne		0,500
Muotoiltu sauva		0,500
Vanne ja verkko		0,400
Sauva		0,333
Ohut rei'itetty levy		0,305

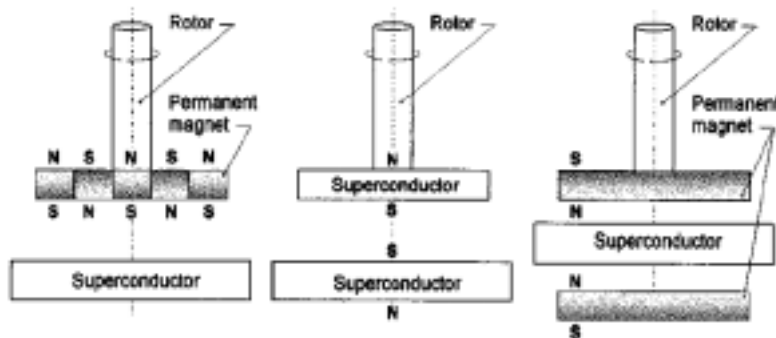
Perinteisessä ratkaisussa vauhtipyörä on yksinkertainen teräskiekko, joka on kytketty olemassa olevan koneen akselille. Teräskiekkovauhtipyörä on edullinen ratkaisu pieninopeuksiseen sovellukseen. Viimeisimmän vauhtipyöräkehityksen tavoitteena on ollut suuremmat nopeudet ja materiaali-, laakerointitekniikan sekä tehoelektroniikan kehittyneet ratkaisut ovat mahdollistaneet keveiden ja suurinopeuksisten vauhtipyörrien kehityksen.

Uusimmat suurinopeuksiset (10 000–100 000 rpm) vauhtipyörät valmistetaan komposiittimateriaaleista tai niiden yhdistelmistä (esim. grafiitti-lasikuitu). Komposiittimateriaalista tehdyt vauhtipyörät ovat keveitä ja pystyvät varastoimaan kineettistä energiaa paremmin kuin teräksestä valmistetut pyörät (Kuva 49).



Kuva 49. Vauhtipyörissä käytettävien materiaalien (hiiliteräs, seosteräs, lasikuitu, grafiittikuidut) ominaisenergiat [31].

Vauhtipyörän toimintaan ja hyötysuhteeseen vaikuttaa muodon ja materiaalin lisäksi myös laakerointi. Magneettisten ja suprajohtavien laakereiden edut ovat selvästi havaittavissa. Vauhtipyörillä, jotka hyödyntävät suprajohtavuutta magneettisen laakeroinnin (Kuva 50) yhteydessä, katsotaan saavutettavan SMES-konseptia korkeampi energiatiheys.

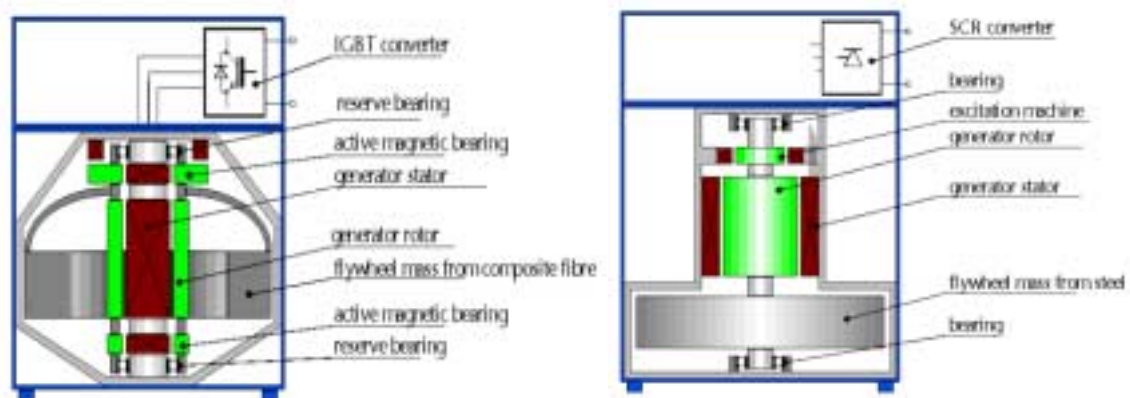


Kuva 50. Suprajohtavia laakerityyppejä vauhtipyöräsovelluksissa. [28]

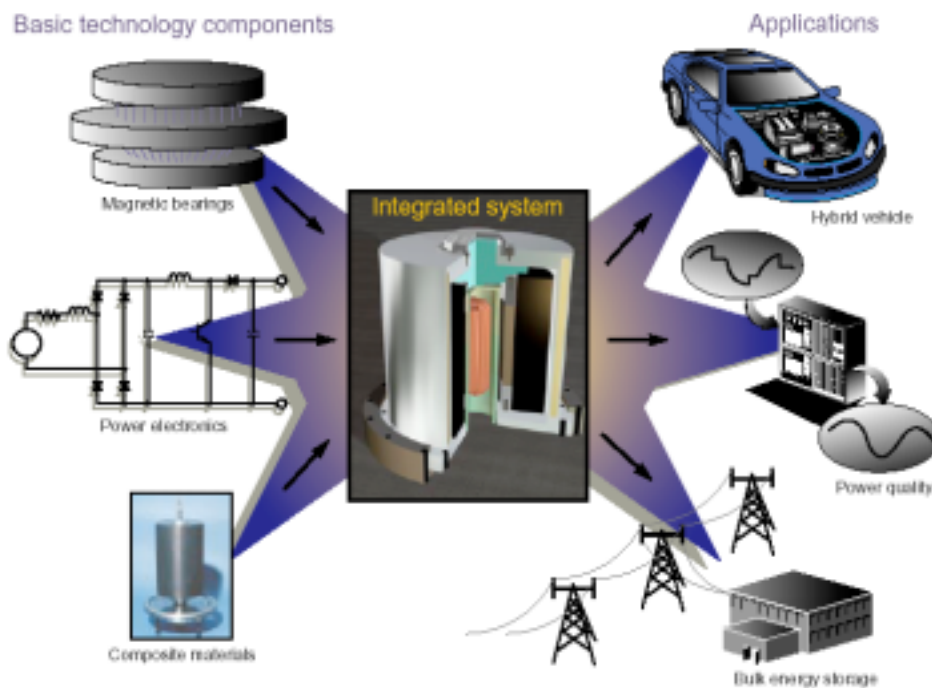
Taulukko 7. Vauhtipyörän laakerityyppien edut ja haitat. [26]

Laakerityyppi	Häviöt (30 kg roottori)	Edut	Haitat
Magneettinen (ohjattu)	10–100W	Suoraan roottorissa. Toimii tyhjiössä. Sietää muutoksia välyksessä.	Vaatii tilaa. Kallis. Luotettavuusongelmat.
Korkean lämpötilan suprajohde	10–100W	Pienet häviöt, suuret voimat	Vaatii kehitystyötä.
Kestomagneetti	–	Suoraan roottorissa. Toimii tyhjiössä. Sietää muutoksia välyksessä. Ei vaadi elektronikkaa.	Epävakaa. Käytetään muiden tyyppien yhteydessä.
Ilmalaakeri	~1000W	Toimii suoraan roottorissa	Pienet välykset. Vaatii laajenemisen kompensoinnin.
Kalvolaakeri	~1000W	Suoraan roottorissa. Sietää muutoksia välyksessä.	Vaatii tasaisen roottorin ulkopinnan.
Rullalaakeri	50–200W	Yksinkertainen. Edullinen. kompakti.	Ei sovi roottoreille >30kg. Vaatii voitelua, tiivisteiden, napakeskiön ja akselin.
Kitkalaakeri	60 W	Pienet häviöt	Monimutkainen, vaatii voitelua, napakeskiön ja akselin.

Moderni sähkömekaaninen vauhtipyöräteknikkaan perustuva energiavarasto on yhdeksi pakettiksi integroitu moottori-generaattori (Kuva 51 ja Kuva 52).



Kuva 51. Suuri- (10 000–100 000 rpm) ja pieninopeuksisen (– 6 000 rpm) vauhtipyörän rakennekaavioesimerkkejä. [46]

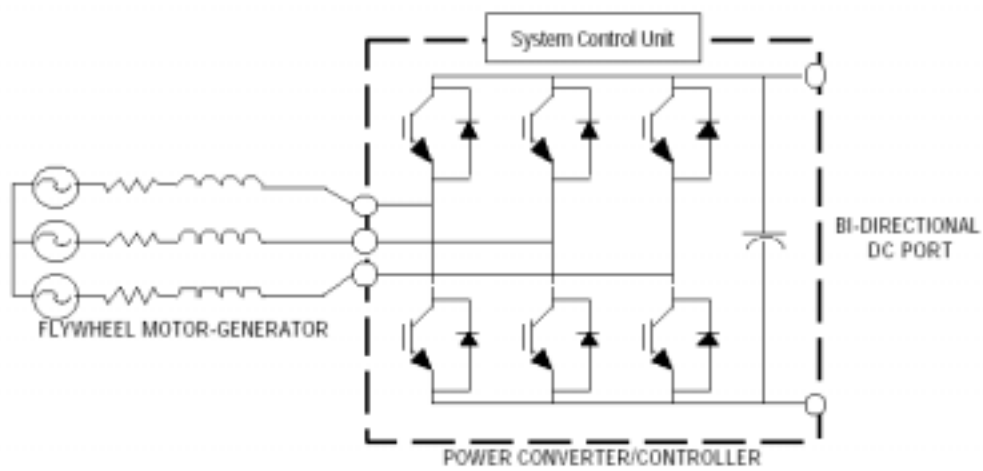


Kuva 52. Kehittyneen vauhtipyörän komponenttien ja sovellusten konsepti. [31]

Suurta nopeutta vaativaan järjestelmään sopivia moottoreita ovat lähinnä oikosulku-, reluktanssi- ja kestopagneettimoottorit. Kestomagneettimoottorin roottori voidaan valmistaa ilman metallisia osia komposiittimateriaalista, jolloin roottorisylinterin yksi kerros voi olla kestopagneettista materiaalia. [27]

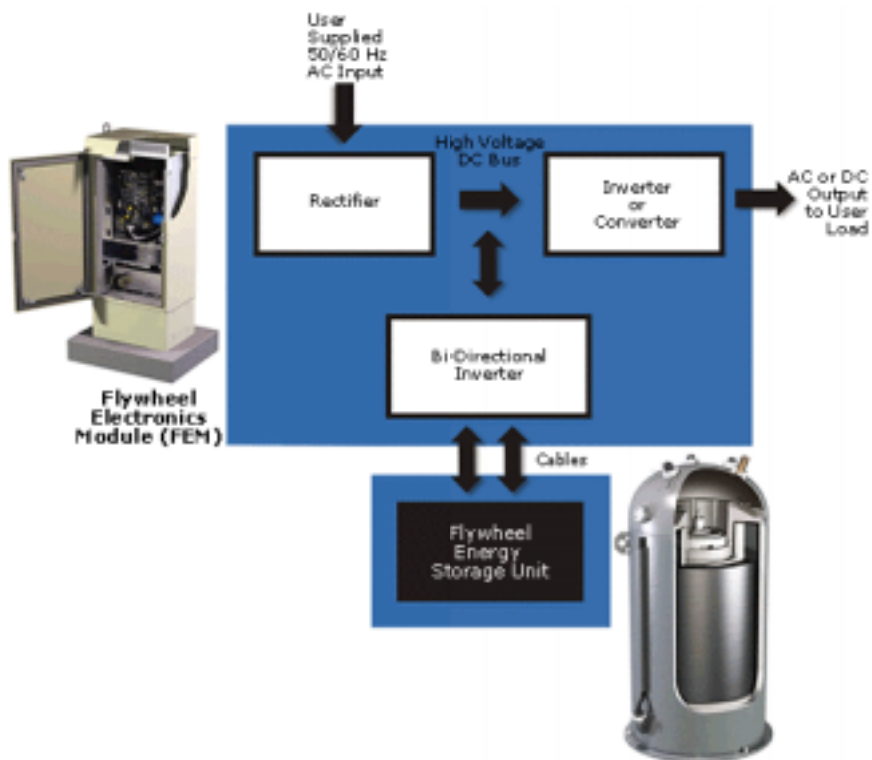
Ladattaessa moottori-generaattori toimii moottorina ja pyörittää vauhtipyörää ja purettaessa se toimii generaattorina. Magneettisten laakereiden ja tyhjöpakkauksen käyttö pienentää järjestelmän häviöitä. Riippuen siitä, tarvitaanko pitkää vai lyhyttä purkausaikaa, sovelluksessa on pieni moottori-generaattori yhdistettynä suureen pyörivään massaan (energian tuotto) tai päinvastoin (tehon tuotto). Ns. 'tehovauhtipyöriä' voi olla optimoitu lyhyelle, muutamasta sekunnista kymmeneen sekuntiin kestäville purkausajoille.

Vauhtipyörään perustuvan energiavaraston etuna on mahdollisuus purkaa varasto aivan tyhjäksi. Kun energiaa puretaan, vauhtipyörän nopeus hidastuu ja latauksen aikana nopeus kiihtyy. Pyörimisnopeuden säätöä varten vauhtipyörässä täytyy olla taajuusmuuttaja. Kun järjestelmään tuodaan tehoa, se kiihdyttää roottorin toimintanopeuteen. Energia varastoidaan pyörivään roottoriin. Purkausvaiheessa moottori toimii generaattorina ja pyörimisnopeus hidastuu. Moottori-generaattorin nopeutta säädetään invertterin avulla, joka tyypillisesti liitetään järjestelmän sisäiseen tasavirtapiiriin (Kuva 53).



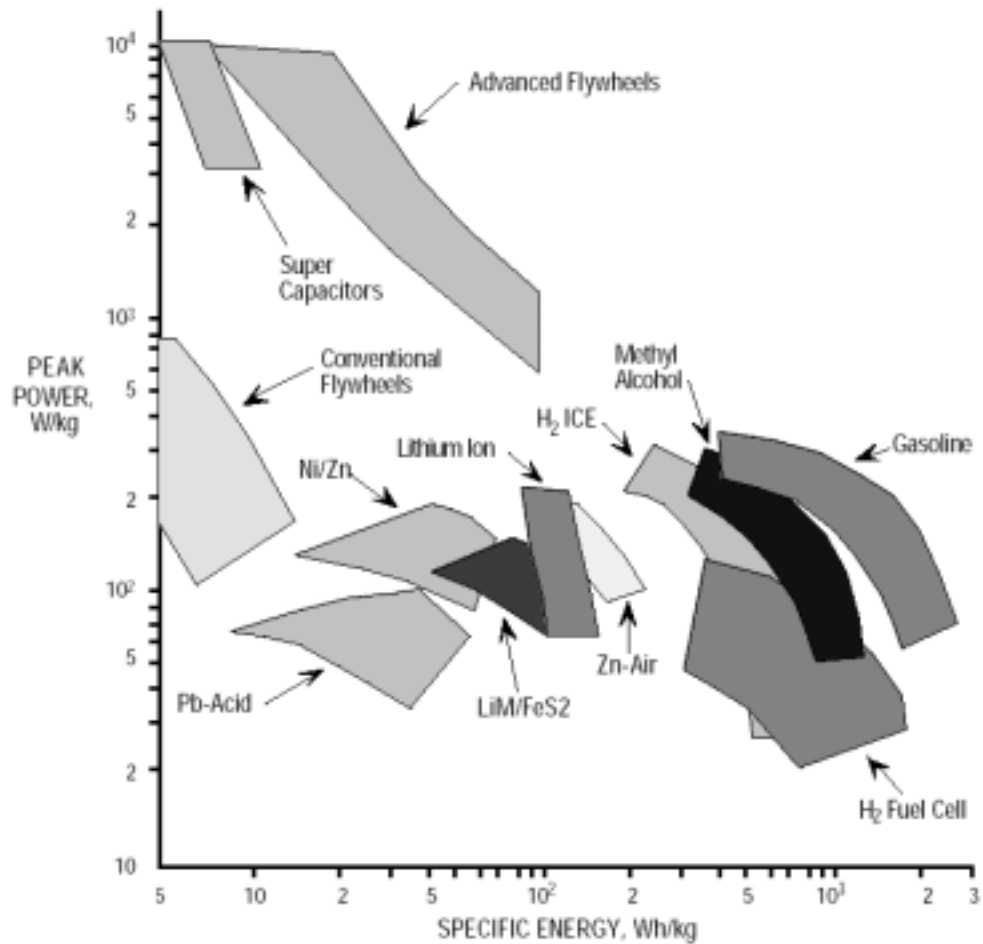
Kuva 53. Esimerkki vauhtipyörän ja moottori-generaattorin liitintäelektronikasta.[30]

Järjestelmä liitetään AC-verkkoon invertterin avulla (Kuva 54).



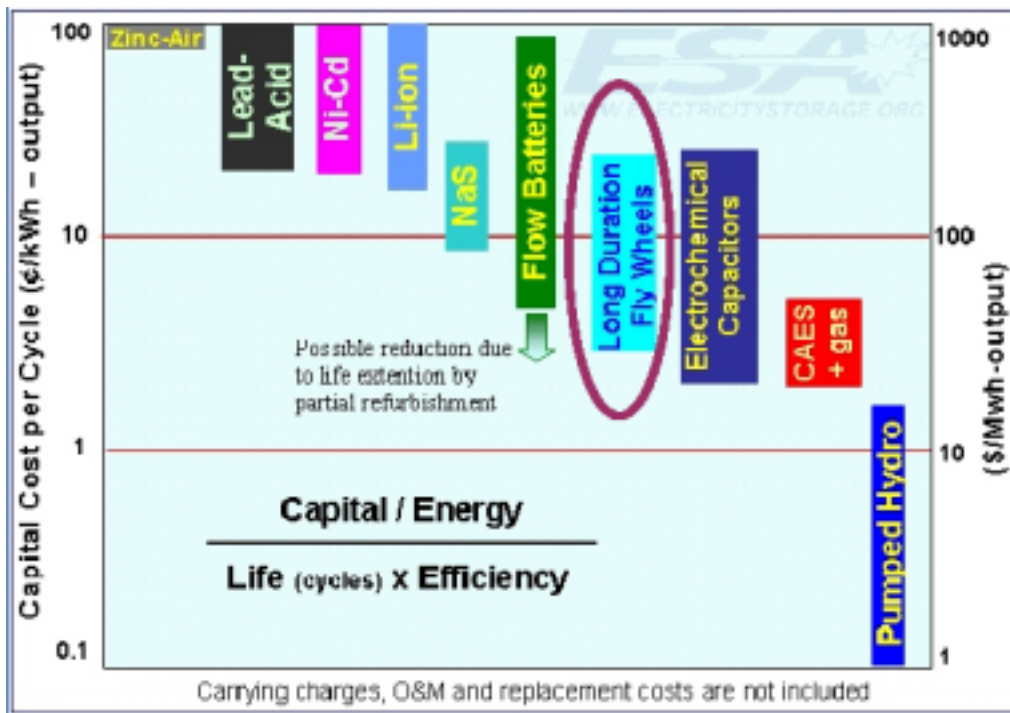
Kuva 54. Esimerkki vauhtipyöräjärjestelmään liittyvästä elektronikasta. [24]

Vauhtipyörään perustuvan energiavaraston ominaisteho- ja energia-arvot riippuvat käytetystä tekniikasta. Perinteisten vauhtipyörien arvot ovat lähellä perinteisten akkujen kuten lyijyakkujen arvoja. Kehittyneiden vauhtipyörien ominaistehoarvot ovat samaa luokkaa superkondensaattoreiden kanssa ja ominaisenergiat kehittyneiden akkujen kanssa samalla tasolla (Kuva 55).



Kuva 55. Vauhtipyörän ominaisteho ja -energia verrattuna muihin energian varastointitekniikoihin. [30]

Vauhtipyörien kustannukset ovat riippuvaisia käytetystä tekniikasta ja asetetuista toiminnallisista tavoitteista (Kuva 56).



Kuva 56. Vauhtipyörien kustannukset / lataus-purkausjakso vs. muut varastointitekniikat. [24]

Vauhtipyörien häviöt ovat n. kymmenesosa SMES-järjestelmien häviöstä mutta huomattavasti suuremmat superkondensaattoreiden ja lyijyakkujen häviöihin verrattuna (Taulukko 8).

Taulukko 8. Vauhtipyörän ja muiden varastointitekniikkojen häviöitä ja itsepurkautuvuusajoja. [46]

Tyyppi	Häviöt /Wh	Itsepurkautuvuus
SMES	35 W	1,7 min
Vauhtipyörä (hidas)	2,2 W	30 min
Vauhtipyörä (nopea)	1,2 W	50 min
Superkondensaattori	0,026 W	1,6 vrk
Lyijyakku	0,023 W	1 – 2 %/kk

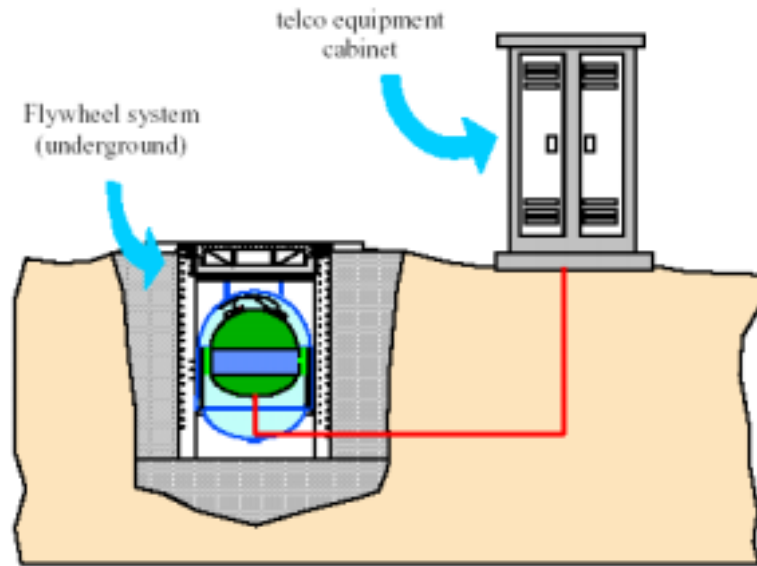
Vauhtipyöriä voidaan käyttää (Taulukko 9) esim. teollisuuden UPS-järjestelmissä, huippukuormien hallintaan ja jakeluverkon sähkön laadun mm. jännitekuoppien hallintaan. Hybridiajoneuvoissa, busseissa, trukeissa ja sähköratakäytöissä vauhtipyörään

voidaan varastoida energiaa jarrutuksen aikana ja purkaa kiihdytyksen aikana. Vauhtipyörää käytetään myös energiavarastona kohteissa, joissa vaaditaan täysin keskeytymättömän sähkön saanti. Satelliiteissa suurinopeuksisia ja keveitä vauhtipyöriä käytetään korvaamaan raskaammat ja lyhyemmän eliniän omaavat akut, joiden tarkoituksena on toimia energialähteenä silloin, kun aurinkoenergiaa ei ole saatavilla. Vauhtipyöriä käytetään energiavarastoina myös laivoissa. Vauhtipyöriä voidaan lisäksi käyttää taajuusmuuttajan välipiirin DC-jännitteen tasaajana ja esim. tuulimylly-aurinkokennovoimalan kuormien tasaajana. Puhelinyhtiöt ja radiopuhelinasemat ovat tyypillisiä sovelluskohteita myös vauhtipyöräteknologiaan perustuville energiavarastoille.

Taulukko 9. Vauhtipyörän ominaisuudet eri varastointisovelluksissa. [29]

	Huippu- teho	Varastoitu energia, MJ (kWh)	Purkaus- aika	Max. pyörimis- nopeus, rpm	Kehä- nopeus, m/s	Roottorin materiaali	Roottorin massa, kg
Satelliitti	2 kW	1,4 (0,4)	12 min	53 000	900	Komposiitti	30
Sähkön laatu	400 kW	4,7 (1,3)	12 s	10 000	400	Teräs	1400
Hybridi- bussi	150 kW	7 (2)	48 s	40 000	900	Komposiitti	60
Avaruus- asema	3,6 kW	13 (3,7)	1 h	53 000	900	Komposiitti	75
Hybridi- panssari- vaunu	11 MW pulssi 350 kW jatkuva	25 (14)	2,6 min	18 000	540	Komposiitti /metalli	280
Sähkö- magneet- tinen laukaisu- teline	5–10 GW	50–150 (14–42)	2,8 h – 4,2 h	10 000	450	Komposiitti	4000
Juna	2 MW	470 (130)	4 min	15 000	950	Komposiitti	2500

Etuja ovat pitkä elinikä (esim. 10–100 kertaa akkujen elinikä) ja keveys. Vauhtipyörät ovat lähes huoltovapaita, ovat toimintakykyisiä laajalla lämpötila-alueella –40 – +40 C, kestävät paljon purkaus-latausjaksoja ja ovat ympäristöystävällisempiä kuin akut. Haittapuolina on mm. vikaantumisen aiheuttamat vaarat kuten koko energiavaraston purkautuminen sekunnin murto-osassa ja pyörän sinkoaminen pois kotelostaan. Tästä syystä turvajärjestelmiin, mm. pyörimisnopeuden rajoitukseen, on kiinnitetty erityistä huomiota ja teollisuuslaitoksiin ja kiinteistöihin liittyvissä sovelluksissa varastoja on sijoitettu maanalaisiin tiloihin (Kuva 57).

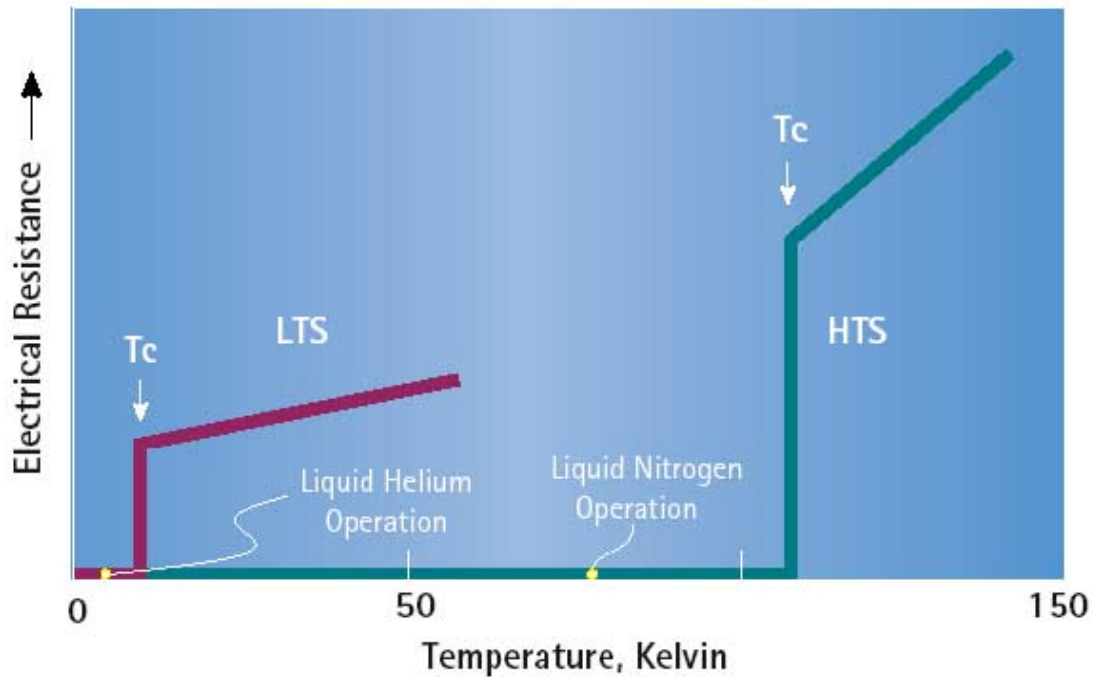


Kuva 57. Esimerkki vauhtipyörän sijoituksesta maanalaisiin tiloihin. [47]

Vauhtipyöräjärjestelmän haittapuolena on myös suuret hankintakustannukset (2–5-kertaiset vastaavan akkujärjestelmän kustannuksiin verrattuna). Myös suuret energiahäviöt tämän päivän tekniikalla ovat ongelma (jopa 2 %/vrk.). Tulevaisuuden tutkimustyön haasteena onkin kustannuksia pienentävän ja suuremman ominaisenergian omaavan tekniikan kehittäminen.

2.10 Suprajohtavat magneettisen energian varastot

Suprajohtavat materiaalit löydettiin jo vuonna 1911, mutta ensimmäisten tunnettujen suprajohteiden ns. kriittinen lämpötila, jossa suprajohtava tila syntyi, oli vielä lähellä absoluuttista nolapistettä ($0\text{K} = -273,2^\circ\text{C}$). Korkeita kustannuksia aiheuttavan jäähdytystarpeen takia matalan lämpötilan suprajohteiden (LTS, Low Temperature Superconductor) kaupalliset sovellukset jäivät vähäisiksi, kunnes 1986 löydettiin keraaminen oksidi, joka tuli suprajohtavaksi jo 36K :n lämpötilassa. Korkeiden lämpötilojen suprajohteiden (HTS, High Temperature Superconductor) löytäminen mahdollistaa suprajohtavien tekniikoiden laajemman hyödyntämisen. Tänä päivänä on käytössä jo materiaaleja, jotka tulevat suprajohtaviksi alle 108K :n ($-165,2^\circ\text{C}$) kuten esim. vismuttipe-rusteinen kuparioksidikeraami (Kuva 58).



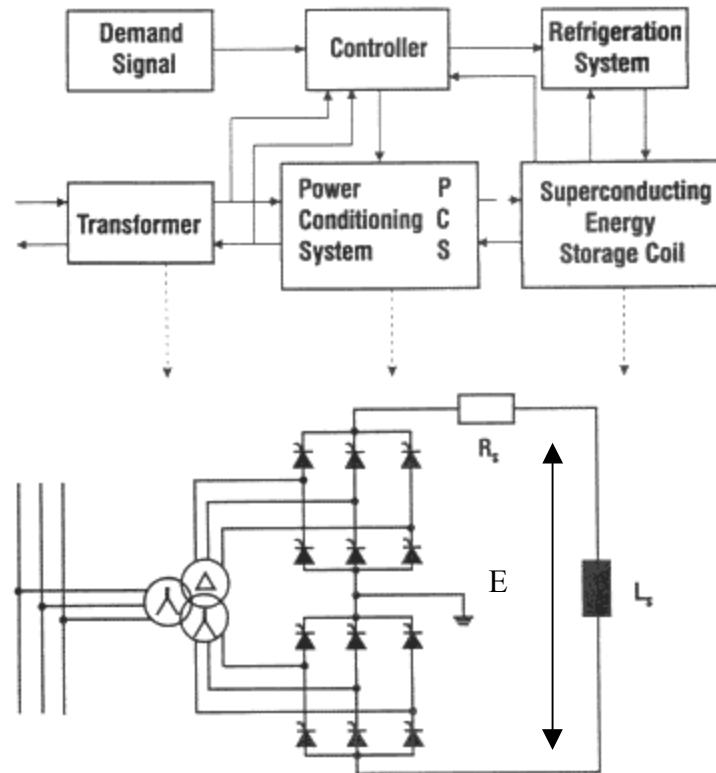
Kuva 58. Matalan (LTS, $T_c < 20\text{K}$) (niobium-titaaniseos) ja korkean (HTS, $T_c > 77\text{K}$) lämpötilan (vismuttiperusteinen kuparioksidikeraami) suprajohteiden johtavuuden eroja lämpötilan funktiona. [23]

Suprajohtavat magneettisen energian varastot (SMES, Superconducting Magnetic Energy Storage) olivat kuitenkin jo varhaisia suprajohtavien materiaalien sovellusalueita. 1970-luvun alussa kehitetty SMES-peruskonsepti perustui yksinkertaisesti suprajohtavassa käämissä lähes häviöttömästi kiertävään tasavirtaan ja energian varastoitumiseen virran synnyttämään magneettiseen kenttään. Kaupalliset toteutukset ovat edellyttäneet kuitenkin sekä suprajohtavan materiaalin, rakenne- ja jäähdytystekniikoiden että tehoelektronikan ratkaisujen kehitystä. Matalan lämpötilan SMES-järjestelmiä, joissa jäähdytys suoritetaan nestemäisen heliumin avulla, on kaupallisesti saatavilla. Korkean lämpötilan SMES-järjestelmiä, joissa jäähdytys suoritetaan nestemäisen typin avulla, on parhaillaan kehitteillä. SMES-järjestelmät ovat tyypillisesti olleet teholtaan suuria, 10–100 MW:n luokkaa, mutta viimeisimmät kehityshankkeet ovat kohdistuneet myös pienempiin 1–10 MW:n laitteisiin, jotka soveltuvat sähkön laadun hallinnan sovelluksiin.

SMES-järjestelmän etuja ovat suuri virtatiheys, lyhyt vasteaika, korkea hyötysuhde (> 95 %) ja pitkäikäisyys ja hankaluutena on tarvittava jäähdytysjärjestelmä ja saavutettava pieni energiatiheys (pienempi kuin akuilla). Ainoa mahdollinen ympäristövaikutus on magneetin ympärilleen levittämä kenttä.

SMES-järjestelmän pääosat ovat (Kuva 59):

- Suprajohtava magneetti
- Verkkoliitännäyksikkö PCS (Power Conditioning System), joka sisältää verkkokatkaisijan, AC/DC-konvertterin ja ohjauselektroniikan
- Jäähdytysjärjestelmä



Kuva 59. SMES-järjestelmän osat. [49]

SMES-järjestelmän magneettikenttään varastoitunut maksimienergia on

$$E_{\max} = \frac{1}{2} L_S I_r^2 \quad (13)$$

jossa L on suprajohtavan magneetikäämin induktanssi.

Teho:

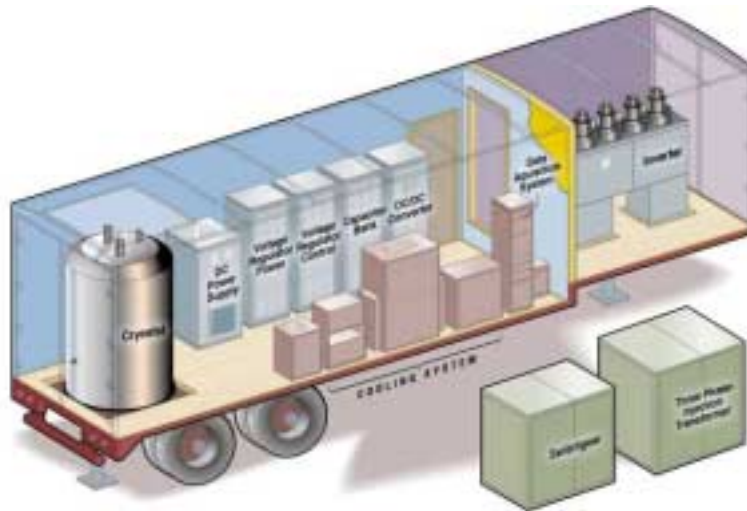
$$P = UI = L_S \frac{dI}{dt} I = U_{\max} \sqrt{Q_{\max} \frac{2}{L_S}} \quad (14)$$

Eri kokoluokkien SMES-järjestelmien ominaisuuksia on esitetty allaolevassa taulukossa (Taulukko 10).

Taulukko 10. Eri kokoluokan SMES-järjestelmien ominaisuuksia. [48]

	micro-SMES	mid-SMES	SMES
Maksimi teho	6 MW	40 MW	1 000 MW
Maksimienergia tai kesto	~4 MJ, 1 s	1 min – 1/2 h	~5 h
Vasteaika	< 1/4 sykliä	< 1/4 sykliä	< 1/4 sykliä
Pääomakustannukset :			
– energia \$/ kWh	72 000	2 000	500
– teho \$/ kW	300	300	300
Hyötysuhde	0,95	0,95	0,95
Eliniän odotusarvo	30 vuotta	30 vuotta	30 vuotta
Koko	~25,9 m ² / kWh	~6 m ² / kWh	~0,9 m ² / kWh
Ympäristövaikutus	Vaaraton	Vaaraton	Vaaraton
Turvallisuus	Magneettikenttä	Magneettikenttä	Magneettikenttä
Geologinen	Ei vaatimuksia	Ei vaatimuksia	Korkea paine
Teknologian valmius	Kaupallinen	Suunnittelukonsepti	Suunnittelukonsepti

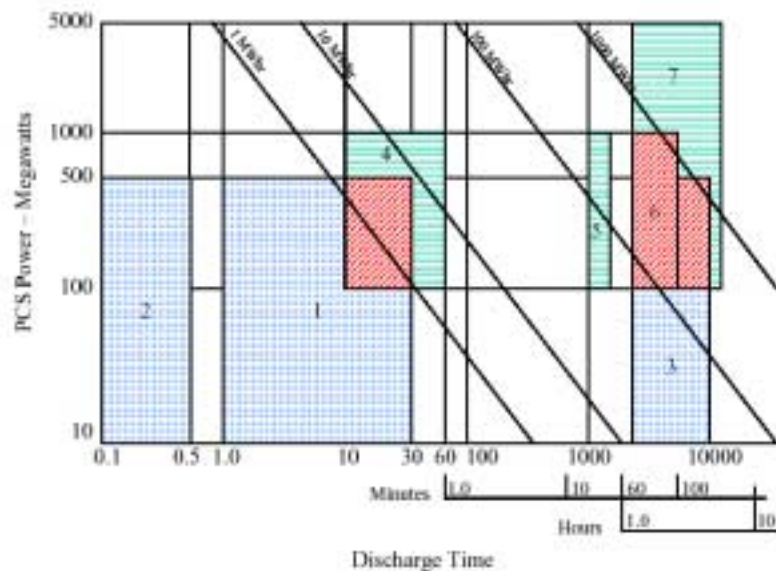
SMESiä voidaan käyttää tasoittamaan eri pituisia sähkönjakelun ja tuotannon häiriöitä ja vaihteluita (Taulukko 11). Suuren mittakaavan magneeteilla voidaan tasapainottaa energian tuottoa ja kulutusta vuorokausitasolla (Kuva 61). Käytännössä tärkeämpiä sovelluksia ovat kuitenkin pienet SMESit, joilla voidaan hallita lyhytaikaisempia häiriöitä. SMESin tärkeimpiä kilpailijoita ovat kaasuturbiinilaitos, pumppuvesivoimala ja akut. SMES-järjestelmiä toimitetaan liikuteltavina sovelluksina, jotka sisältävät myös tarvittavat jäähdytys-, ohjaus ja säätölaitteet (Kuva 60). SMES-järjestelmiä voidaan käyttää myös teollisuuslaitosten sovelluksissa, esim. American Superconductor on vastikään asentanut 3MJ:n SMES-järjestelmän afrikkalaiseen paperitehtaaseen.



Kuva 60. Liikuteltava SMES-järjestelmä. [51]

Taulukko 11. SMES-järjestelmän ominaisuuksia eri sovelluksissa. [28]

Sovellus	Tyypillinen energia-varaston koko	Tyypillinen purkausjakso
Kuormien tasaus	50 MJ–180 GJ	Minuutit – tunnit
Tehon laatu	0,1–10 MJ	Sekunnit
Kuluttajan teho	0,1–10 MJ	Sykli



Kuva 61. SMES-järjestelmien teho vs. purkausaika eri sovelluksissa. 1) Siirtoverkon stabiilisuus, 2) jännite/loisteho tuki, 3) kuormien tasaus sähkön tuotannon sovelluksissa, 4) taajuuden valvonta, 5) varavoima, 6) dynaaminen vaste, 7) kuormien tasaus. [50]

2.11 Sähkökemialliset kondensaattorit (super-/ultra-/pseudokondensaattorit)

Sähkökemiallisten kondensaattorien tekniikka on ollut tunnettua jo kauan. Ensimmäinen sähkökemiallisen kondensaattorin toimintaperiaatteeseen liittyvä patentti myönnettiin jo vuonna 1957. Sähköajoneuvojen kehityksen mukana myös superkondensaattoritekniikka on tullut uudelleen ajankohtaiseksi ja sähkökemialliset kondensaattorit ovat saaneet merkitystä mm. energiavarastoina suurta tehoa vaativissa kohteissa. Sähkökemiallisten kondensaattoreiden energianvarauskyky perustuu 2-kerroskondensaattoreissa varaukseen elektrodi/elektrolyyttirajapinnalla ja pseudokondensaattorissa nopeaan palautuvaan l. reversiibeliin sähkökemialliseen reaktioon lähellä kiinteän elektrodin pintaa. Sähkökemiallisten kondensaattoreiden toiminta muistuttaa akkujen toimintaa siinä, että sähköinen varaus perustuu ioneihin ja kondensaattoreiden toimintaa (lukuun ottamatta pseudokondensaattoreita) siinä, että mitään kemiallista reaktiota ei tapahdu. Sähkökemialliset kondensaattorit voidaankin käytetyn elektrodimateriaalin perusteella jakaa hiili- ja metalliperusteisiin kondensaattoreihin, joista hiiliperusteiset muodostavat suurimman markkinaosuuden. Hiiliperusteisia superkondensaattoreita käytetään lähinnä tehosovelluksiin ja metalliperusteisia kondensaattoreita telekommunikaation sovelluksiin [82].

Kondensaattorin perusyhtälöt ovat

$$\begin{aligned}Q &= CE \\U &= E - iR_{esr} \\P_{del} &= iU \\i &= -\frac{dQ}{dt}\end{aligned}\tag{15}$$

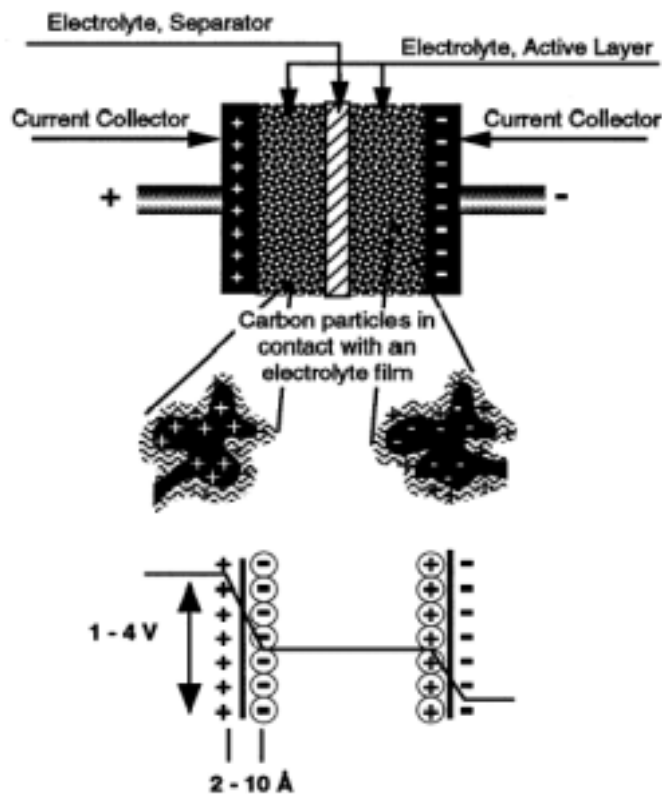
jossa C on kapasitanssi faradeina, U on jännite, P on antoteho kuormaan ja Q kondensaattorin varaus ajanhetkellä t . Kun DC aikavakio $\tau_c = CR$ saadaan $Q^2 = 4C\tau_c P_{del}$ ja jäljellä oleva varaus on

$$\frac{dQ}{dt} = -\frac{Q}{2\tau_c}\tag{16}$$

Kondensaattorin aikavakiolla on siis suuri merkitys kondensaattorin ominaisuudelle energiavarastona, sillä pienemmän aikavakion kondensaattori pystyy luovuttamaan pitemmän ajan yhtä suurta tehoa.

Hiiliperusteiset sähkökemialliset 2-kerroskondensaattorit, joita myös kutsutaan superkondensaattoreiksi (alun perin NEC Corporationin tuotemerkki), ultrakondensaattoreik-

si tai aerokondensaattoreiksi, varastoivat energiaa kahden hiielelektrodin väliseen sähkökenttään. Sähkökemiallisessa 2-kerroskondensaattorissa on tyypillisesti kaksi kemiallisesti inerttiä elektrodia (Kuva 62), jolloin kaksoiskerros kummankin elektrodin pinnalla muodostaa oman kapasitanssin. Kapasitanssin suuruus on verrannollinen elektrodin pinta-alaan ja kääntäen verrannollinen elektrodien väliseen etäisyyteen (yhtälö 17). Elektrodimateriaalina käytetään tyypillisesti aktiivihiiltä, aktiivihiiilikuitua tai hiiliaerogeeliä (aerokondensaattori), jolloin elektrodin pinta-ala on suuri (1 500–2 000 m²/g) ja elektrodien välinen etäisyys muodostuu erittäin pieneksi (0,2–1,5 nm), joten 2-kerroskondensaattoreilla on suuri energiatiheys (esim. 50–60 J/g). Elektrodien suuresta pinta-alasta johtuu, että saadaan aikaan erittäin suuri kapasitanssi.

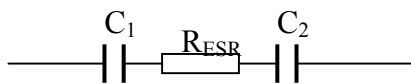


Kuva 62. 2-kerroksisen sähkökemiallisen kondensaattorikennon periaate ja potentiaalimutokset elektrodi/elektrolyytti-rajapinnassa. [33]

Kapasitanssi elektrodin ja elektrolyytin välillä on

$$C = \frac{\epsilon}{4\pi\delta} \int dS \quad (17)$$

jossa ϵ on elektrolyytin dielektrinen vakio, δ on elektrodin pinnan ja ionin keskipisteen välinen etäisyys ja S on elektrodin pinnan pinta-ala. 2-kerroksisen sähkökemiallisen kondensaattorin ekvivalenttinen kuvaaja on



jossa C_1 on positiivisen elektrodin kapasitanssi, C_2 on negatiivisen elektrodin kapasitanssi ja R_{ESR} on ekvivalenttinen sarjaresistanssi. Symmetrisen yhdistelmän, jossa C_1 ja C_2 ovat samankokoiset, kokonaiskapasitanssi $C = 0,5 \cdot C_1 = 0,5 \cdot C_2$. Superkondensaattoreita valmistetaan myös epäsymmetrisenä, jolloin positiivinen elektrodi sisältää esim. nikkelihydroksidia ja negatiivinen elektrodi on tehty hiilestä. Tällöin $C_1 \gg C_2$ ja kokonaiskapasitanssi $C \approx C_2$. Epäsymmetrisen kondensaattorin latausjännite voi olla isompi (1,5–1,7V) kuin symmetrisen kondensaattorin (~0,9V) ja ominaisenergia on siten myös 4–5 kertaa suurempi kuin tavallisen symmetrisen kondensaattorin tapauksessa. Aktiivihiilen sijaan käytetään elektrodien materiaalina myös hiiliaerogeeliä, jolloin saavutetaan suurempi sähkönjohtokyky ja pienempi vuotovirta ja ekvivalenttinen sarjaresistanssi pienenee noin kymmenesosaan (esim. 10 mΩ). Elektrolyytteinä käytetään vesipohjaista liuosta, orgaanista liuosta ja KOH-vesiliuosta.

Metalliperusteisissa pseudokondensaattoreissa käytetään metalli-oksidielektrodeja (esim. iridiumoksidi, ruteenioksidi tai amorfina magnesiumoksidi). Pseudokondensaattoreissa tapahtuu kemiallinen (pseudo-kapasitiivinen) reaktio (esim. $\text{RuO}_2 \rightarrow \text{Ru}(\text{OH})_2$). Ruteenidioksidilla on huomattavia etuja muihin metallioksideihin nähden (korkea reversiibeli hapetus-pelkistys-reaktiokyky, varautumiskyky ja metallityyppinen johtokyky). Ruteenidioksidin huono puoli, korkea hinta, on saanut aikaan tarpeen kehittää vähemmän materiaalia tarvitsevaan ohutkalvotekniikkaan perustuvaa kondensaattorityyppejä [41]. Sähkökemiallisten kondensaattoreiden elektrodimateriaaleina on kokeiltu myös sähköä johtavia polymeerejä. Kehityksen perustana on ollut teollisuuden kondensaattoriteknologia. Riippuen elektrodien materiaalista ja suunnittelusta polymeeri-elektrodien pinnan energiatiheys voidaan saada hyvinkin suureksi, mutta jännite rajoittuu n. 2,7 V:iin/kenno. Matalasta jännitteestä huolimatta energiasisältö on paljon korkeampi kuin tavallisilla kondensaattoreilla ja saavuttaa muutaman wattitunnin tason suuremmilla kaupallisesti tällä hetkellä myynnissä olevilla superkondensaattoreilla. Käyttämällä elektrodin materiaalina magnesiumoksidin ja polymeerin (polypyroli) yhdistelmää on päästy n. kolme kertaa suurempiin ominaiskapasitanssin arvoihin (81 mF/cm²) kuin magnesiumoksidilla (26 mF/cm²), mutta polypyrolin ominaisuuksista johtuen elinikä on pienempi kuin magnesiumoksidielektrodeilla [37]. Epäsymmetrisessä hybridikondensaattorissa voidaan hyödyntää elektrolyyttikondensaattorin anodimateriaalia (esim. sintrattu tantalum tai etsattu alumiini) ja pseudokondensaattorin katodimateriaalia (ruteenidioksidi) elektrolyyttikondensaattorin korkean toimintajännitetasen (esim. 50 V) ja taajuusvasteen ja sähkökemiallisen kondensaattorin suuren kapasitanssin (esim. 24 000 μF) saavuttamiseksi [42].

Superkondensaattoreiden lataus-/purkaus aika on erittäin nopea ja sitä voidaan myös säätää, joten superkondensaattorit toimivat kuten kondensaattorit, mutta niitä voidaan käyttää akkujen tavoin. Tyypillisesti energian varastointitekniikoita vertaillaan tehokkuuden mukaan, mutta se ei kuvaa oikein hyvin superkondensaattoreiden ominaisuuksia, sillä teho riippuu latausasteesta [34]. Superkondensaattorit voivat samanaikaisesti omata sekä suuren tehon että energian.

Superkondensaattorit kytketään yhteen suuremman energiasisällön (> 1 kWh) saavuttamiseksi ja yhteenkytketyt yksiköt voidaan kytkeä edelleen yhteen suuriksi varastointiyksiköiksi. Testattavana on nyt 50–100 kW:n järjestelmät. Useissa tapauksissa energia-varastossa otetaan energiaa vain muutamasta sekunnista joihinkin minuutteihin. Purkaus/lataussyklien lukumäärä on lähes kaikissa käytännön tapauksissa lähes rajoittamaton, mutta energian läpivirtaus nopeajaksoissa toiminnoissa on rajoitettu. Jos superkondensaattorit on kytketty sarjaan suuren lähtöjännitteen aikaansaamiseksi, tarvitaan ohjauspiirit tasapainottamaan kunkin superkondensaattorin jännitettä turvallisen ja luotettavan toiminnan aikaansaamiseksi. Superkondensaattorien elinikä tulee olemaan luultavasti suurten kondensaattorien luokkaa eli n. 10 vuotta. Lataus/purkaushyötysuhde on hyvin korkea, mutta itsepurkautuvuus on merkittävä verrattuna tavallisiin akkuihin (esim. 5 %/vrk.). Toimintalämpötila-alue on laaja, esim. $-40^{\circ}\text{C} - +70^{\circ}\text{C}$.

Sähkökemiallisten kondensaattoreiden etuja esim. akkuihin verrattuna ovat lähinnä pitempi elinikä, huoltovapaus, suurempi tehokkuus ja lyhyt lataus/purkaus aika (Taulukko 9).

Taulukko 12. Superkondensaattori vs. kondensaattori ja akku. [37]

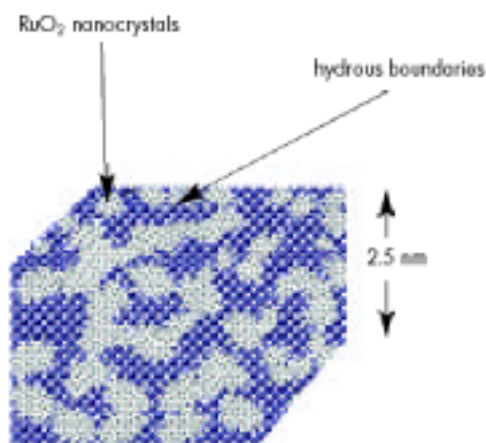
Parametri	Kondensaattori (sähköstaattinen)	Superkondensaattori (sähkökemiallinen)	Akku
Purkaus aika	$10^{-6} - 10^{-3}$ s	1 – 30 s	0,3 – 3 tuntia
Latausaika	$10^{-6} - 10^{-3}$ s	1 – 30 s	1 – 5 tuntia
Energiatiheys Wh/kg	<0,1	1 – 11	20 – 100
Tehokkuus W/kg	>10 000	1000 – 10 000	50 – 200
Lataus/purkaushyötysuhde	~1,0	0,90 – 0,95	0,7 – 0,85
Käyttölämpötila	$-40^{\circ}\text{C} - +70^{\circ}\text{C}$	$-40^{\circ}\text{C} - +70^{\circ}\text{C}$	$-20^{\circ}\text{C} - +60^{\circ}\text{C}$
Toimintajaksojen lukumäärä	Rajaton	>500 000	500 – 2000

Superkondensaattoreita käytetään UPS-laitteissa ja hybridiliikennevälineissä. UPS-käytössä ne täydentävät pattereita ja juoksupyöriä kun tarvitaan suurta tehoa. Hybridiliikennevälineissä paitsi suuri teho myös pieni energiasisältö voivat olla tarpeen. [36]

Superkondensaattorin käyttökohteita:

- Sähkön laatu: taajuusmuuttajissa, UPS-laitteissa, kuormituksen tasauksessa ja akkujen tilalla eri sovelluksissa.
- Sähkön jakelu: energiavarastona, akkujen tilalla tai lisänä ja liikuteltavien laitteiden tehonlähteenä akkujen tilalla. Muistien ja tietokoneiden back-up-järjestelmissä.
- Hajautettu sähkönjakelu: Polttokennojen ja mikroturbiinien käynnistyksessä ja kuormitusten tasaajana. Aurinkokennojen ja tuulimyllyjen kuormitusten tasaajana. Tehonlähteenä aurinkoenergialla ladattavissa järjestelmissä.
- Kuljetus: Sähköisissä ja hybridikuljetusvälineissä kuten sähköajoneuvoissa, trukeissa, hisseissä ja nostimissa käynnistystilanteissa akkujen rinnalla huippukuorman energialähteenä ja jarrutusenergian talteenottoon.

Tulevaisuuden tavoitteisiin kuuluu mm. pienempi hinta, elektrodimateriaalien ja niiden tuotantoprosessin kehitys ja pienemmät häviöt, so. sisäisen resistanssin pienentäminen. Kustannukset tulisi saada SMESin, juoksupyörien ja akkujen tasolle [1]. Uusia mahdollisuuksia voi antaa myös nanoteknologian kehittyminen. Esim. pseudokondensaattorin elektrodimateriaalina käytetty ruteenioksidi RuO_2 on ”luonnollinen” nanokomposiitti (Kuva 63) ja nanomittakaavan rakenteen ja sähkökemiallisten ominaisuuksien välisen yhteyden tarkempi tuntemus voi johtaa myös muiden aktiivisten materiaalien kehittämiseen. [38, 39 ja 40].

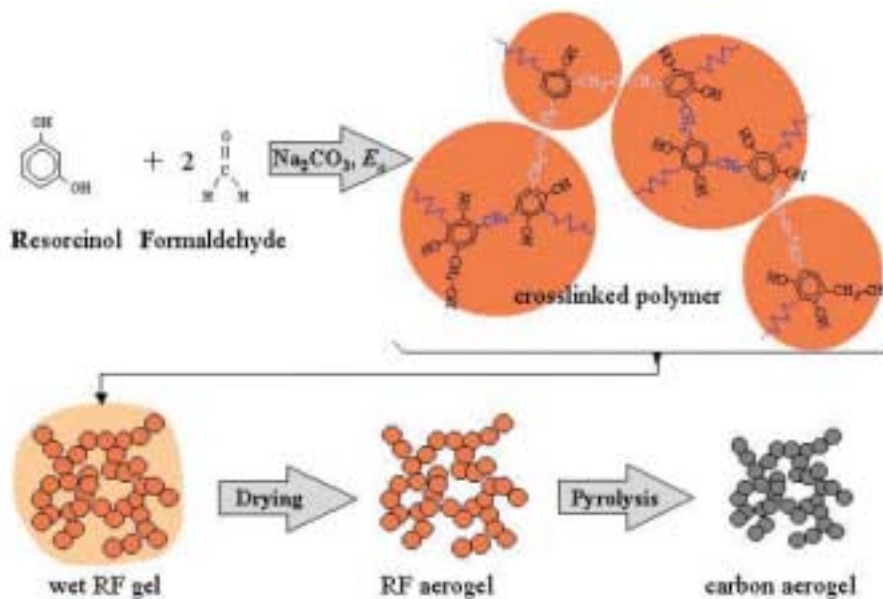


Kuva 63. Ruteenioksidin luonnollinen nanokomposiittirakenne. [39]

2.12 Mikro- ja nanotekniikkaa hyödyntävät energiavarastot

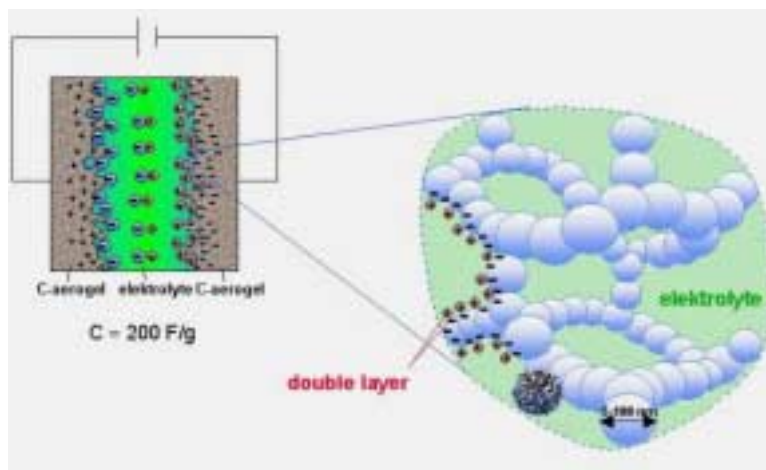
Nanotekniikan kehittymisen odotetaan näyttelevän tärkeää roolia myös energian varastoinnin alueella. Nanomittakaavaisten materiaalien kuten hiiliaerogelin ja hiilinanoputkien ja -kuitujen tutkimus on myös energian varastointitekniikkojen alueelle (akut, kondensaattorit, polttokennot ja vedyn varastointi) tuonut uusia mahdollisuuksia ja parannuksia.

Hiiliaerogeli on verrattain uusi nanomittakaavan materiaali, joka saadaan kuivattamalla resorsinolin (1,3-dihydroksi-bentseenin) ja formaldehydin muodostamasta aerogelistä (Kuva 64).



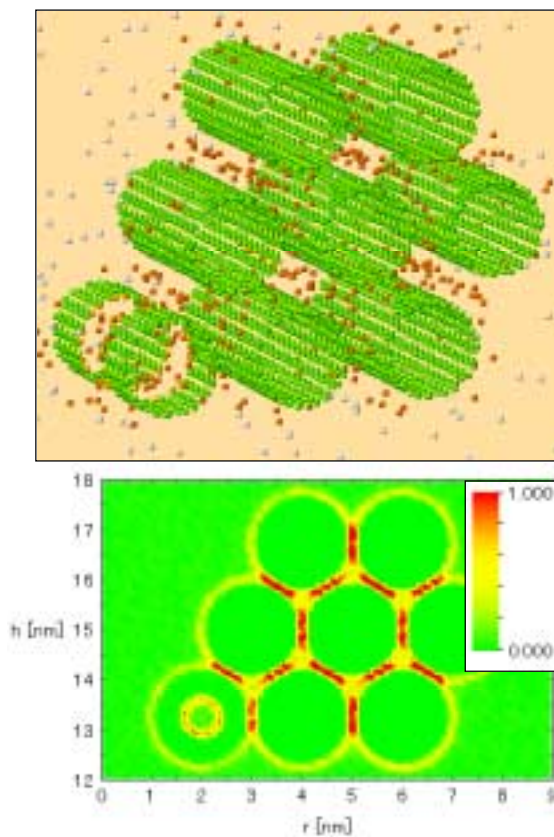
Kuva 64. Hiiliaerogelin valmistus. [52]

Hiiliaerogeli on ihanteellinen elektrodimateriaali, koska sillä on pieni sähköinen vastus, säädettävä huokoskoko ja suuri pinta-ala (Kuva 65). Hiiliaerogeli on huokoista materiaalia, jossa on nanomittakaavan partikkeleja (3–30 nm) ja pieniä avoimia huokosia, joiden läpimitta on tyypillisesti <50 nm. Rakenteella saavutetaan suuri pinta-ala (400–1 000 m^2/g). Sähkökemiallisen 2-kerroskondensaattorin elektrodimateriaalina hiiliaerogelillä (esim. mikropuuteri, ohutfilmi) (Kuva 65) saavutetaan suuri tehotehous (>10 kW/kg) ja kapasitanssi. [52]



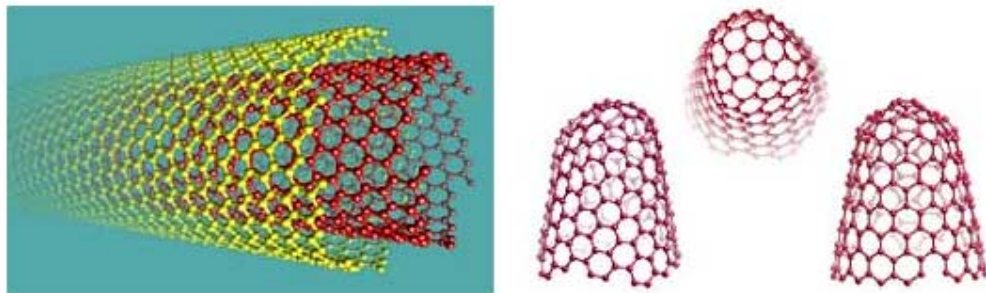
Kuva 65. Hiiliaerogeeli sähkökemiallisen 2-kerroskondensaattorin materiaalina. [52]

Alustavien tutkimusten perusteella hiilinanoputkista muodostuva materiaali on erinomainen materiaali vedyn varastointiin. Eräiden tutkimusten mukaan [21] nanoputkimateriaaliin on saatu varastoitua vetyä maksimillaan 30 litraa yhteen hiiligrammaan mikä vastaa 75 %:n varastointikykyä painoyksikköä kohden. Tyypillisesti kuitenkin varastointikyky on ollut 10 %:n luokkaa painoyksikköä kohden (Kuva 55).



Kuva 66. Vedyn varastointi nanotubien ympärillä ja katkaistun (vasen alanurkka) nanotubin sisään. [20]

Hiilinanoputkea käytetään myös elektrodimateriaalina kannettaviin laitteisiin suunnitelluissa miniatyyrikokoisissa polymeeripolttokennoissa [22]. Hiilinanoputkielektrodilla on erittäin laaja pinta-ala, joten polttokennolla on suurempi energiatiheys kuin tavallisella hiielelektrodilla varustetulla polttokennolla. Hiilinosarvet (Kuva 67) ovat uusin tutkimuskohde. Hiilinosarvet ryhtymyivät yhteen aggregaatiksi. Hiilinosarvista valmistetulla elektrodilla on paitsi laaja pinta-ala myös rakenne, johon kaasut ja nesteet leviävät helposti. Hiilinosarvimateriaalia voidaan helpommin valmistaa korkeaan puhtausasteeseen, joten siitä odotetaan tulevan hinnaltaan edullinen materiaali. Polttokennoilla, joissa on käytetty hiilinosarvimateriaalia elektrodeissa, on saavutettu litiumpattereihin verrattuna 10-kertainen energiakapasiteetti. [22]



Kuva 67. Hiilinanoputki ja hiilinosarvia. [22]

Akkujen elektrodeissa on käytetty hiiltä jo pitkään, mutta vaikka huokoisessa hiilessä on laaja pinta-ala, pääosa siitä hyödyntyy huonosti ja jopa yli 90 % pinta-alasta ei tue kemiallista reaktiota. Hiilinanoputkista valmistetun materiaalin käyttö voi lisätä aktiivisen pinta-alan 10–100-kertaiseksi. Akkujen yhteydessä (esim. ladattavien litiumakkujen FeS₂-elektrodit) nanomateriaalit merkitsevät parantuvia ominaisuuksia mm. lisääntyneen ominaisenergian ja vähentyvän itsepurkautuvuuden muodossa [80].

3. Energian varastointitekniikat eri sovelluskohteissa

3.1 Yleistä

Lämmönvarastointia eri sovelluskohteissa on käsitelty lähemmin luvussa 2.

Sähköenergian varastointitekniikan sovellusmahdollisuuksia on kaikilla viidellä sähkönjakelun segmentillä:

1. Energian lähteet
2. Sähkön tuotanto
3. Sähkön siirto
4. Energian jakelu
5. Palvelut

Energiavarastojen käyttökohteita ovat jo nyt

- UPS, ajoneuvot, sähkö- ja yhdistelmäajoneuvot, varavoima, kannettavat laitteet, toimistorakennusten kuormitustasaus, jännitekuopat, prosessin turvallinen alasajo, tuulivoimaloiden kuormitusten hetkellisten vaihtelujen tasaus, uusiutuvien energian tuotantomuotojen kuormitusten pitkäaikainen tasaus (tuulivoima, aurinkokennot, aaltoenergia) jne.

ja lähitulevaisuudessa

- kulutusyksiköiden (esim. omakotitalo), kulutusryhmien (esim. kerros-/toimistotalo/-taloryhmä) tai kuntien hajautetun energiatuotannon vaihteluita ja kulutushuippuja tasaavat energiavarastot, saarekekäyttöön vikatilanteissa siirtyvän kulutuskohteen energiatuotantoyksiköt, sähkö- ja hybridiajoneuvot, sähkönlaadun parantamislaitteet jne.

Energiavarastoa hyödyntävät sovelluskohteet edellyttävät erilaisen aikajakson kattavaa tehokapasiteettia. Sähköenergian varastoinnissa aikajaksot (Taulukko 13) eri sovelluksiin vaihtelevat sekuntitasosta useisiin päiviin.

Taulukko 13. Sähköenergian varastointiin liittyvät tyyppilliset aikajaksot ja sovelluskohteet.

Sähköenergian varastoinnin kestoaika nimelliskuormalla	Pääasialliset sovelluskohteet
Erittäin lyhyt (1–10 s)	Sähkön laadun hallinta: jännitekuopat ja lyhyet hetkelliset katkokset
Lyhyt (10–300 s)	Sähkön laadun hallinta: pidemmät jännitekuopat ja hetkelliset katkokset. Varavoimalähteiden käynnistymisen aikainen syöttö.
Keskipitkä (5–60 min)	Sähkön jakelun laatu ja luotettavuus: kaikki edellä mainitut ja pidemmät sähkön jakelun katkokset
Pitkä (1–4 tuntiin)	Sähkön jakelun laatu ja luotettavuus: kaikki edellä mainitut ja rajoitettua kuormituksen tasaus ja huipputehon hallintatoiminnot
Erittäin pitkä (4 tuntia – useita päiviä)	Hajautettu energian varastointi ja sähkön tuotto – kuormituksen tasaus ja huipputehon hallinta. Aurinko- ja tuulivoimaan perustuvan jakeluverkon energia-varastot

Energiavarastoja voidaan sijoittaa eri alueille sähkön tuotannon, siirtoverkon ja loppukäyttäjän yhteyteen (Vrt. Kuva 68). Energiavarastoihin kohdistuvat vaatimukset vaihtelevat sijoituspaikan ja sovelluskohteen mukaan. Suurimmat teho vaatimukset ovat varavoiman ja kuorman hallinnan tarpeissa, ja loppukäyttäjän puolella kuormitushuippujen hallinta edellyttää satoja toimintakertoja vuodessa (Taulukko 14).

Taulukko 14. Verkkoon liitetulle energiavarastolle tyypillisiä sovelluskohteesta riippuvia vaatimuksia. [71]

	Sovellus	Teho	Varastointi-kapasiteetti	Toiminta-kerrat /v
Sähkön tuotanto	Varavoima	10– ~1000 MW	30 min	20–50
	Tuotantokapasiteetin lykkäys myöh.	10– ~1000 MW	2–4 h	5–100
	Uusiutuvat	1–10 MW	1–4 h	250
	Kuorman tasaus	1– ~1000 MW	< 4 h	250
Siirto	Siirron stabiilius	1– ~1000 MW	30 s	100
	Jännitteen säätö	1–10 MVAR	< 15 min	250
	Siirtolaitteistojen käytön lykkäys myöh.	10–100 MW	2–4 h	5–20
	Jakelulaitteistojen käytön lykkäys myöh.	1–10 MW	1–3 h	30
Loppukäyttäjä	Kuluttajan kuormitus-huippujen hallinta	1–10 MW	1–2 h	50–500
	Siirtojärjestelmän kuormitushuippujen hallinta	1–10 MW	1–2 h	250–500
	Luotettavuus ja sähkön-laatu <1 MW	0,1–1 MW	< 15 min	< 10
	Luotettavuus ja sähkön-laatu >1 MW	1–10 MW	1 – 2 h	< 10

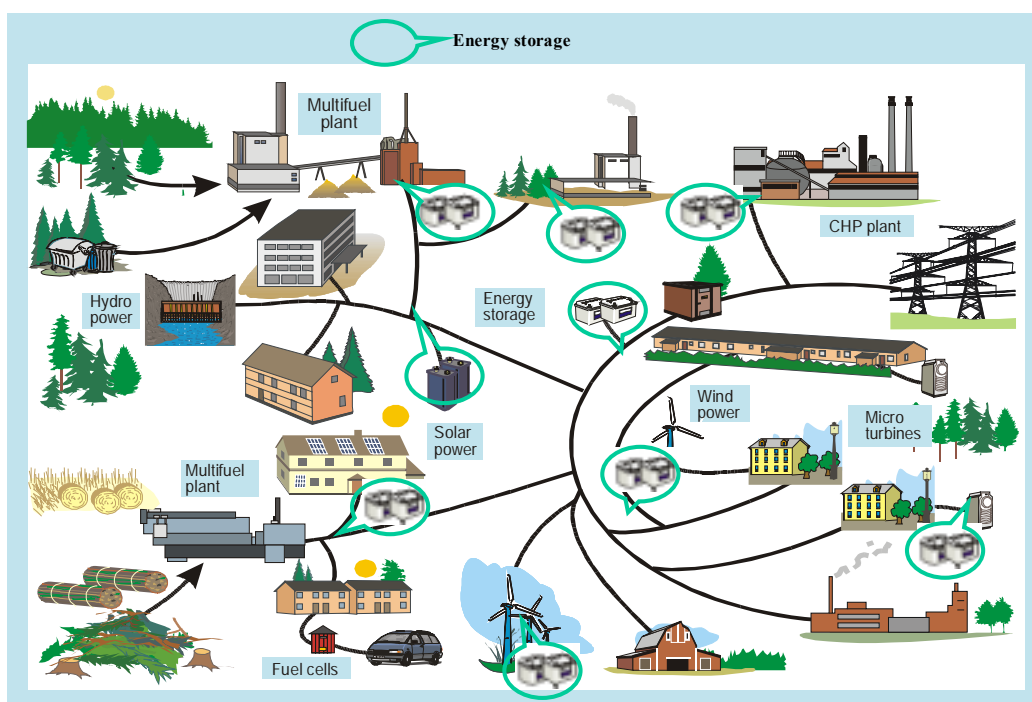
Tässä luvussa on tarkasteltu seuraavia sähköenergian varastoinnin sovelluskohteita:

- Energiavarastot sähkönjakeluverkon stabiilisuuden ja hajautetun tuotannon hallinnassa.
- Energiavarastot sähkön syötön varmistuksessa.
- Energiavarastot huipputehon ja kuormien hallinnassa.
- Energiavarastot kuljetuksessa (ajoneuvoissa) ja liikuteltavissa laitteissa.
- Energiavarastot uusiutuvan energian tuotannossa.

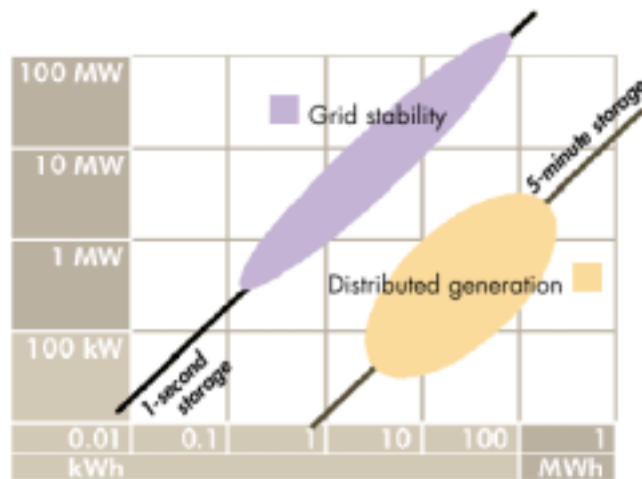
3.2 Energiavarastot sähkönjakeluverkon stabiiliuden ja hajautetun tuotannon hallinnassa

Siirtojärjestelmän stabiiliuteen voivat vaikuttaa tyypilliset tapahtumat kuten kuluttajien suurten kuormien kytkennät, salamet ja generaattoreiden päälle- ja poiskytkennät. Energian varastointijärjestelmät parantavat verkon stabiiliutta varastoimalla ja tuottamalla energiaa muutostilanteissa. Verkon stabiiliuden hallinta edellyttää energiavarastolta satojen megawattien tehoa (pätö- ja loistehoa) ja riittävää varastointikapasiteettia minuuteista tunteihin kestävään täyden kapasiteetin kulutustarpeeseen n. 100 kertaa vuositain. [78]

Hajautetun ja uusiutuvista energialähteistä peräisin olevan tuotannon ja jakelun yhteydessä energiavarastojen käytön tarve kasvaa (Kuva 68). Energiavarastojen avulla tuotannoltaan luontaisesti vaihtelevaa uusiutuvista lähteistä tuotettua energiaa voidaan tasata käyttämällä tuotannon huippuja lataukseen ja alentuneen tuotannon ja katkosten aikana siirtää varastoitua energiaa verkkoon. Toisaalta energiavarastojen avulla voidaan tuottaa lisäenergiaa kuormitusten kulutushuippuihin, jolloin energian hinta on tyypillisesti korkeampi. Molempiin sovelluksiin vaaditaan 10 kW:sta 100 MW:iin tehokapasiteettia sekunnin murto-osia (transienttityyppisten vaihtelujen hallinta) tai useita tunteja kestävään käyttöön (Kuva 69). Huippujen hallinnan toimintoja voi olla n. 250 kertaa vuodessa.



Kuva 68. Energiavarastojen sijoituskohteita hajautetun energian tuotannon yhteydessä.



Kuva 69. Teho vs. energia verkon stabiilisuuden ja hajautetun tuotannon hallinnan alueella. [1]

Sähkön siirto- ja jakeluverkon luotettavuuden, stabiilisuuden ja sähkön laadun hallinnan tarpeiden lisäksi uusiutuvien tuotannon back-up, kuorman taseus ja huipputehojen hallinta vaativat erilaisten energian varastointitekniikoiden käyttöä (Taulukko 15).

Taulukko 15. Energian varastoteknologiaa ja vaadittavia ominaisuuksia verkon stabiilisuuden ja hajautetun tuotannon hallinnassa. [48]

Sovellus	Teho	Varastointiaika	Energia kWh	Vasteaika	Teknologia
Siirron ja jakelun stabilointi	jopa satoja MW	sekunteja	20–50	<1/4 sykli	SMES***) H ₂ polttokenno Lyijyakku
Hajautettu jakelu (huippukuormat)	0,5–5 MW	~1 h	5 000–50000	<1 min	Vauhtipyörä Kehittyneet akut, lyijyakku SMES Polttokenno tai -moottori CAS*)
Loppukäyttäjän huippukuormien hallinta (kustannusten väh.)	<1 MW	~1h	1 000	<1 min	Vauhtipyörä Kehittyneet akut, lyijyakku SMES Polttokenno tai -moottori CAS
Uusiutuvien energialähteiden tuotannon taseus	–10 MW	min – 1 h	10–10 000	<1 sykli	Vauhtipyörä Kehittyneet akut, lyijyakku H ₂ polttokenno SMES
Uusiutuvien back-up	100 kW – 1 MW	– 7 päivää	20–200	sekunteja – minuutteja	Kehittyneet akut, lyijyakku CAES**), CAS Pumpattu vesivoima H ₂ polttokenno ja maan-alainen varasto

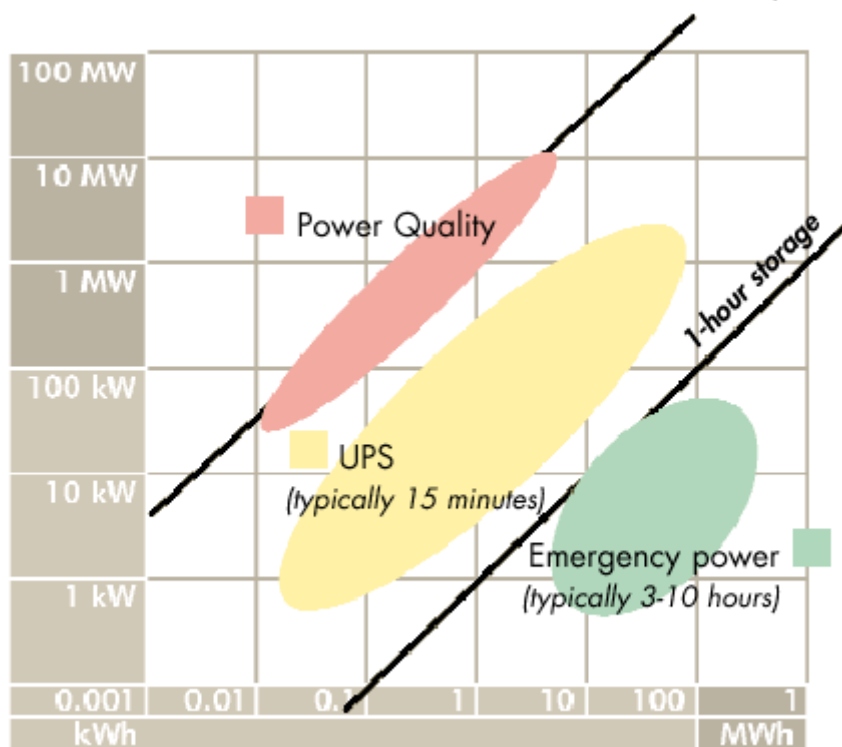
*)CAS (Compressed Air Storage), **)CAES (Compressed Air Energy Storage)
 ***)SMES (Superconducting magnetic energy storage)

3.3 Energiavarastot sähkön syötön varmistuksessa

Sähkön syötön varmistukseen liittyvät mm. sähkön laadun hallinnan, UPS:n ja hätä-back-up-sovellukset (Kuva 70). Energiavarastoja voidaan käyttää myös verkon jännitteen [78] hallintaan esim. kuormitushuippujen aikana, jolloin siirtoverkon impedanssi voi aiheuttaa jännitteen putoamisen kuorman päässä. Megawattikokoluokan energiavaraston purkaus-, lataus- tai seisontavaiheen aikana voidaan tuottaa tarvittava loisteholisä tyypillisesti ao. tehtävään käytettyjen kondensaattoriparistojen sijasta. Em. käyttöön soveltuvien energiavarastojen täytyy tuottaa megavareja 15 min:sta tuntiin kestäviin jaksoihin n. 250 kertaa vuodessa. Kokonaisvaltainen toteutus voi kattaa lähes kaikki tunnetut energian varastotekniikat (Taulukko 16).

Taulukko 16. Energian varastoteknologiat sähkön syötön varmistuksen sovelluksissa. [48]

Sovellus	Teho	Varastointiaika	Energia	Vasteaika	Teknologia
Sähkön laatu, moottorin käynnistys, loppukäytäjän sovellukset (huiput, pulssit)	≤ 1 MW	sekunteja	~0,2	<1/4 sykliä	Vauhtipyörä Superkondensaattori Mikro-SMES***) (< 4MJ) Lyijyakku H ₂ polttokenno
Varavoima - nopea vaste ((3 s) estämään autom. vaihtoa)	1–100 MW	<30 min	5 000–500000	<3 s	Vauhtipyörä Lyijyakku Kehittyneet akut SMES Polttokenno tai -moottori (CAS*)
Varavoima - perinteinen (vaste 10 min aikana)	1–100 MW	≤30 min	5 000–500000	<10 min	Vauhtipyörä Lyijyakku Kehittyneet akut SMES Polttokenno tai -moottori (CAES**) CAS Pumpattu vesivoima
UPS	~ 2 MW	~2 h	100–4000	sekunteja	Vauhtipyörä Lyijyakku Kehittyneet akut SMES H ₂ polttokenno H ₂ kone
Hätäback-up	1 MW	24 h	24	s – min	Lyijyakku Kehittyneet akut CAES CAS Pumpattu vesivoima H ₂ Polttokenno ja maanalainen varasto
*)CAS (Compressed Air Storage) **)CAES (Compressed Air Energy Storage) ***)SMES (Superconducting magnetic energy storage)					



Kuva 70. Teho vs. energia sähkön syötön varmistuksessa. [1]

Polttokennopohjainen peruskuorma 200 kW ja mikroturbiinilla tuotettu lisäkuorma 20 kW tekevät sähköntuotantojärjestelmästä ympäristöystävällisen ja tehokkaan (hyötysuhde 55 %) maakaasua polttoaineena käyttävän järjestelmän (Kuva 71).



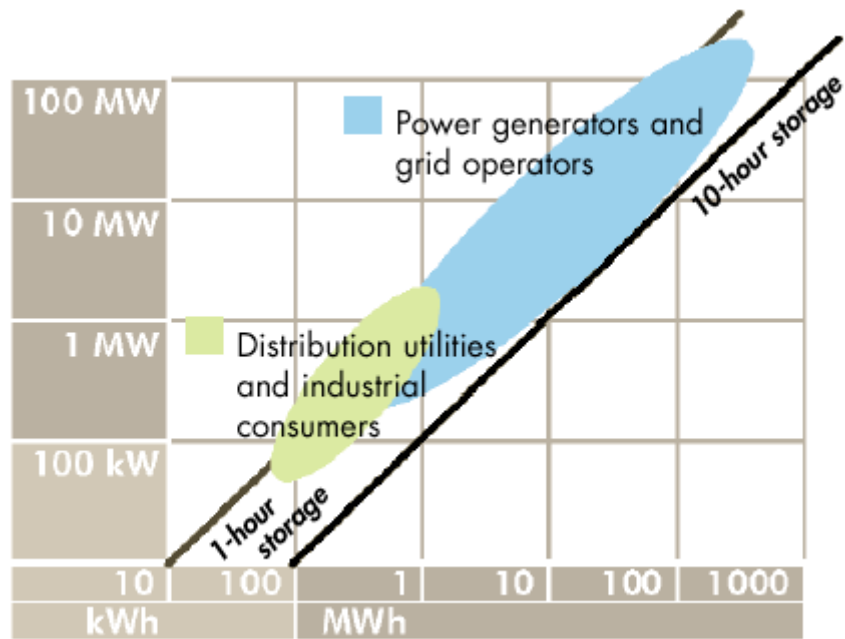
Kuva 71. Siemens Westinghousen 220 kW sähköntuotantoyksikkö oli maailmassa ensimmäinen järjestelmä, jossa on yhdistetty mikroturbiini ja kiinteäoksidipolttokenno. [69]

3.4 Energiavarastot huipputehon ja kuormien hallinnassa

Huipputehon ja kuormien hallintaan liittyvien energiavarastojen tehotarpeet vaihtelevat kilowateista satoihin megawatteihin riippuen siitä, onko sovelluskohde kuluttaja-, jakelu- vai siirtoverkon tasolla (Taulukko 17 ja Kuva 72).

Taulukko 17. Huipputehon ja kuormien hallinnan tarpeita ja soveltuvaa teknologiaa. [48]

Sovellus	Teho	Varastoin-ti-aika	Energia kWh	Vasteaika	Teknologia
Hajautettu jakelu (huippukuormat)	0,5–5 MW	~1 h	5 000–50000	<1 min	Vauhtipyörä Kehittyneet akut SMES***) Lyijyakku Polttokenno tai -moottori CAS*) Lämpövarastot
Loppukäyttäjän huippukuormien hallinta (kustannusten väh.)	<1 MW	~1h	1 000	<1 min	Vauhtipyörä Kehittyneet akut SMES Lyijyakku Polttokenno tai -moottori CAS Lämpövarastot
Sähkön tuotanto, kuormitusten tasaus	satoja MW	6–10 h	100–1000	minuutteja	SMES Lyijyakku Kehittyneet akut Pumpattu vesivoima CAES**) CAS H ₂ polttokenno H ₂ kone Lämpövarastot
Kuormaan mu-kautus	satoja MW	useita tunteja	100–1000	<sykli	SMES Lyijyakku Kehittyneet akut H ₂ polttokenno Lämpövarastot
Vuoden aikojen vaihtelun tasaus	50–300 MW	viikkoja	10 000–100 000	minuutteja	CAES Lämpövarastot
*)CAS (Compressed Air Storage) **)CAES (Compressed Air Energy Storage) ***)SMES (Superconducting magnetic energy storage)					

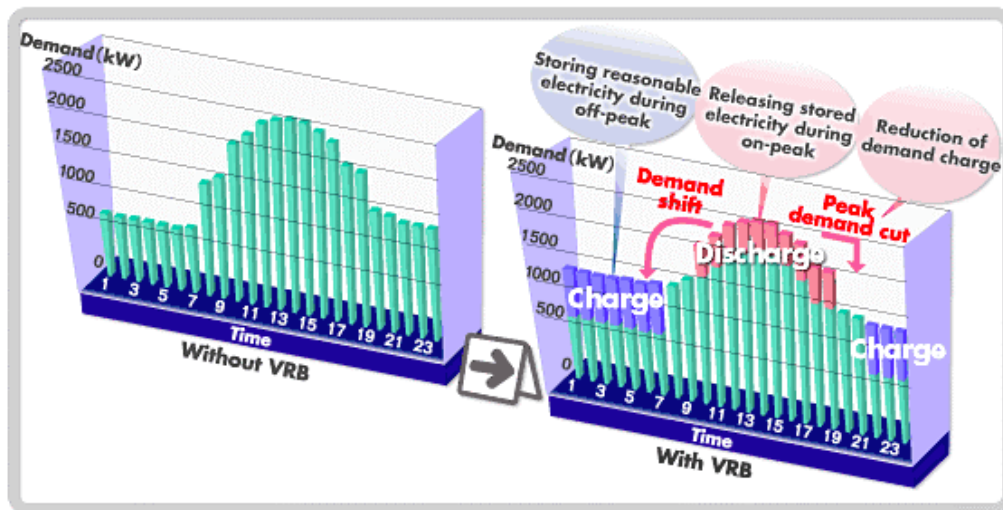


Kuva 72. Huipputehon ja kuormien hallinta. [1]

Lyijyakkujärjestelmiä on tyypillisesti käytetty kuormanhallinnan sovelluksissa. Uusinta teknologiaa jakelutason kuormien hallinnan alueella edustavat mm. redoksivirtausakujärjestelmät (Kuva 73 ja Kuva 74).



Kuva 73. SEI:n redoksiakut kuormien hallinnassa [62].

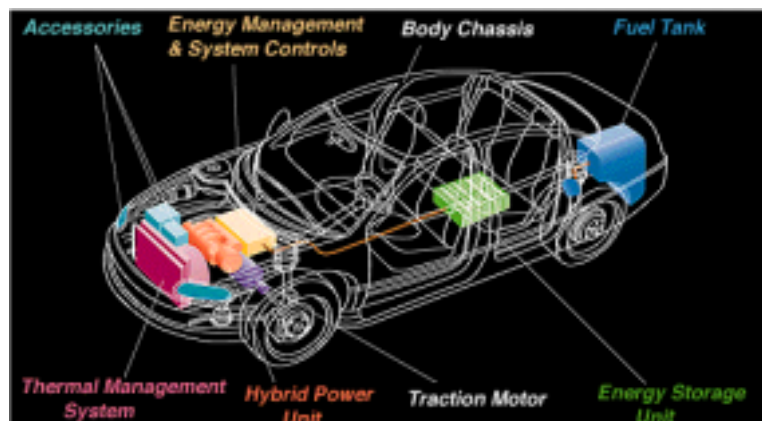


Kuva 74. SEI:n redoksiakut huippukuormien hallinnassa [62].

Lämpö-/kylmävarastojen hyödyntäminen kuormanhallinnan sovelluksissa on esitetty luvussa 2.

3.5 Energiavarastot kuljetuksessa (ajoneuvoissa) ja liikuteltavissa laitteissa

Sähkö- ja hybridiajoneuvot ovat energiavarastojen yksi keskeisimmistä sovelluskohdeista. Hybridiajoneuvo (HEV, Hybrid Vehicle) tarkoittaa yhdistelmää (Kuva 75), jossa polttomoottorin lisäksi on generaattori, energiavarasto (esim. akku, polttokenno, superkondensaattori, vauhtipyörä (Taulukko 18) ja sähkömoottori. Bensiini- tai dieselmoottori pyörittää generaattoria, joka tuottaa sähköä laitetta liikuttavalle sähkömoottorille ja energiavarastoon. Energiavaraston avulla hoidetaan sekä kulutushuiput että tyhjäkäyntitilanteet. Hybridiajoneuvon etuja ja tavoitteita ovat mm. tehostunut polttoaineen käyttö, pienempi polttomoottori, pienemmät päästöt ja pienemmät häviöt jarrutusvaiheessa.

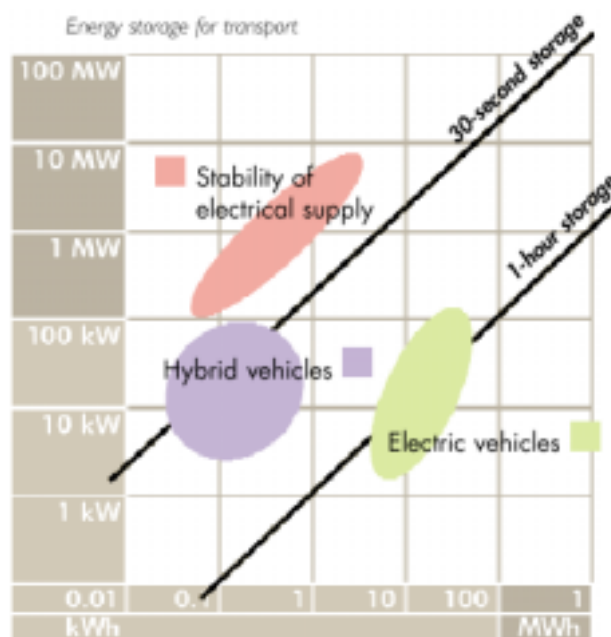


Kuva 75. Energiavarasto hybridiajoneuvossa. [25]

Taulukko 18. Energian varastointiteknologia kuljetukseen liittyvissä sovelluksissa.

Sovellus	Teho	Varastoin- tiika	Energia	Vasteaika	Teknologia
Kuljetus	<1 MW	sekunteja	~0,2	<1 sykli	Vauhtipyörä Superkondensaattori Mikro-SMES Lyijyakku H ₂ polttokenno

Kuljetukseen soveltuvien energiavarastojen tehoaluearpeet (Kuva 76) vaihtelevat 1 kW:sta 1 MW:iin ja energiatarpeet 0,1 kWh:sta n. 100 kWh:iin.



Kuva 76. Kuljetukseen liittyvien energiavarastojen teho vs. energiatarpeet. [1]

3.6 Energiavarastot uusiutuvan energian tuotannossa

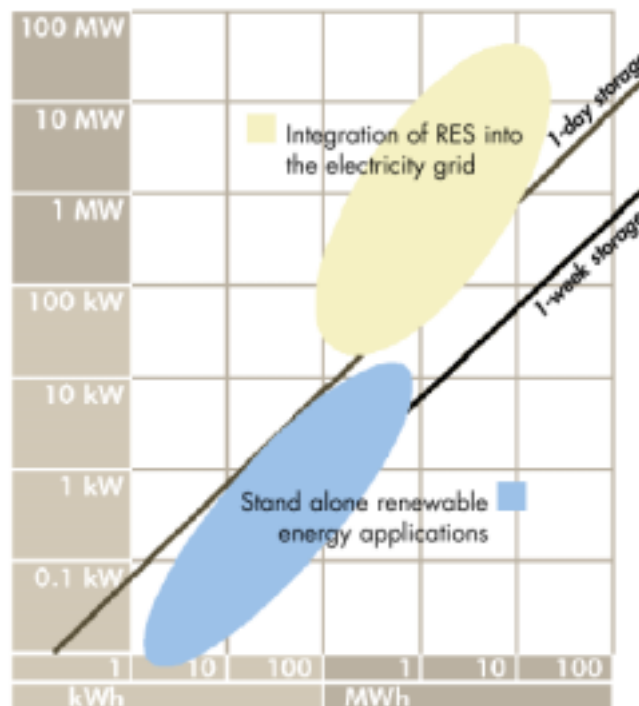
Aurinkoenergian ja tuulivoiman optimaalisen hyödyntämisen ja saarekekäytön edellytys on tehokas energian varastointiteknologian käyttö sekä tuotannon tasauksen, katkosten että sähkön laadun hallinnassa.

Tuulivoiman vaihtelun tasaukseen on jo pitkään käytetty energian varastointitekno-
logiana etupäässä kustannustehokkaita lyijyakkuja (Kuva 78 ja Kuva 79). Lyijyakkujen lisäksi myös pumpattu vesivarasto- ja paineilmateknologia sekä muut uudemmat tekniikat, kuten reversiibelit ja regeneroitavat polttokennot ja kehittyneet juoksupyörät ovat tulossa tälle alueelle (Taulukko 19).

Taulukko 19. Energian varastointiteknologia uusiutuvien energialähteiden tuotannossa.

Sovellus	Teho	Varastoin- tiaika	Energia kWh	Vasteaika	Teknologia
Uusiutuvien energialähteiden tuotannon tasaus	– 10 MW	min–1 h	10–10000	<1 sykli	Vauhtipyörä Lyijyakku Kehittyneet akut Regeneroitava polttokenno/Redox-virtausakku SMES***), lämpövarastot
Uusiutuvien back-up	100 kW –1 MW	– 7 päivää	20–200	sekunteja– minuutteja	Lyijyakku Kehittyneet akut CAES**) CAS*) Pumpattu vesivoima Polttokenno ja maanalainen varasto, lämpövarastot
*)CAS (Compressed Air Storage) **)CAES (Compressed Air Energy Storage) ***)SMES (Superconducting magnetic energy storage)					

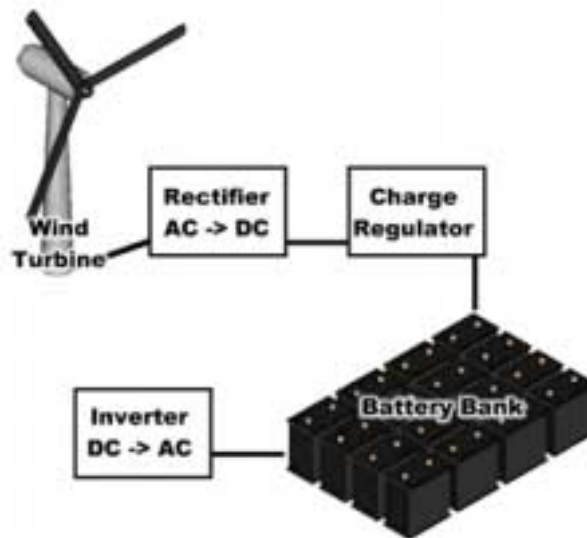
Uusiutuvan energian tuotannon energiavarastojen tehotarpeet vaihtelevat sadoista wateista kymmeneen kilowatteihin (Kuva 77).



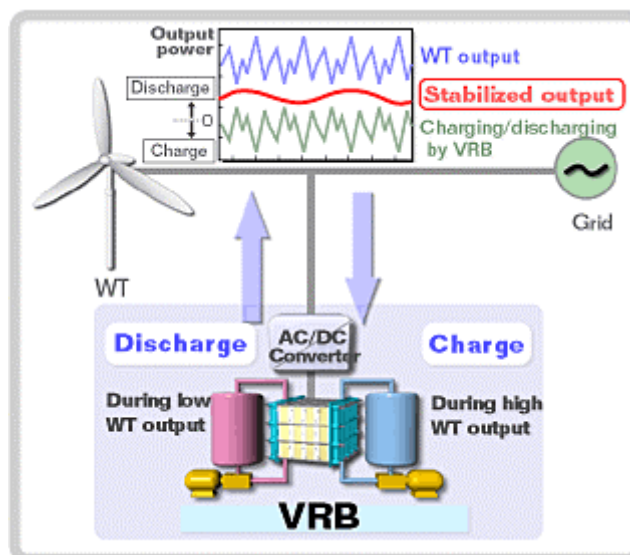
Kuva 77. Energiavarastot uudistuvan energian tuotannossa. [1]

Myös lämpövarastoja käytetään uusiutuvien energiatuotantomuotojen yhteydessä esim. aurinkolämmitysjärjestelmissä lämpöenergian varastointiin.

Käytettäessä akkuja energiavarastona tuulivoiman yhteydessä tarvitaan lisäksi myös ohjausjärjestelmä, joka käsittää mm. tasa- ja vaihtosuuntaajat ja akkujen latausjärjestelmän (Kuva 78 ja Kuva 79). [65]



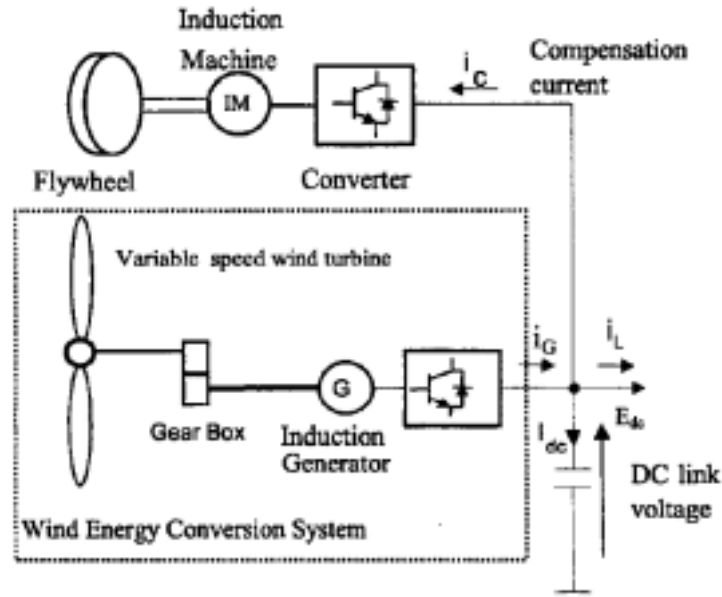
Kuva 78. Tuulimylly ja akku energian tuotantoyhdistelmänä. [65]



Kuva 79. SEI:n vanadium-redoksivirtausakut tuulivoimalan tuotannon tasauksessa. [62]

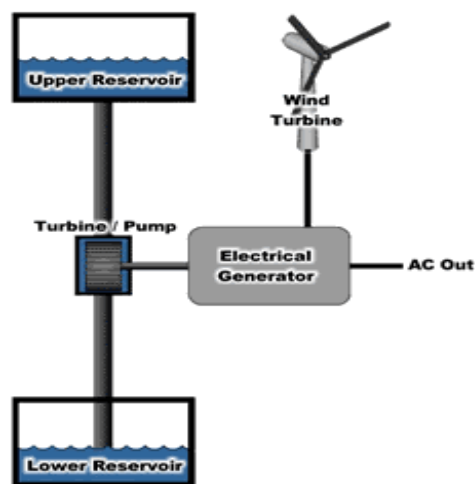
Vauhtipyörä on potentiaalinen energian varastointitekniikka tuulimyllyn yhteyteen tasoitamaan tuotetun tehon vaihteluita (Kuva 80). Tuulimylly/dieselgeneraattori-yhdistelmän yhteydessä vauhtipyörän käyttö vähentää dieselgeneraattorin käynnistymis-

tarvetta. Vaikka vauhtipyörän hankintakustannukset ovat suuremmat kuin akkujärjestelmän, ovat käyttökustannukset kuitenkin pienemmät, sillä uusimmat pitkän eliniän omaavat vauhtipyörät ovat lähes huoltovapaita ja toisaalta niiden käyttö on saasteetonta. [65]



Kuva 80. Vauhtipyörä tasaamassa tuulimyllyn tasavirtapiirin tehonvaihteluita.

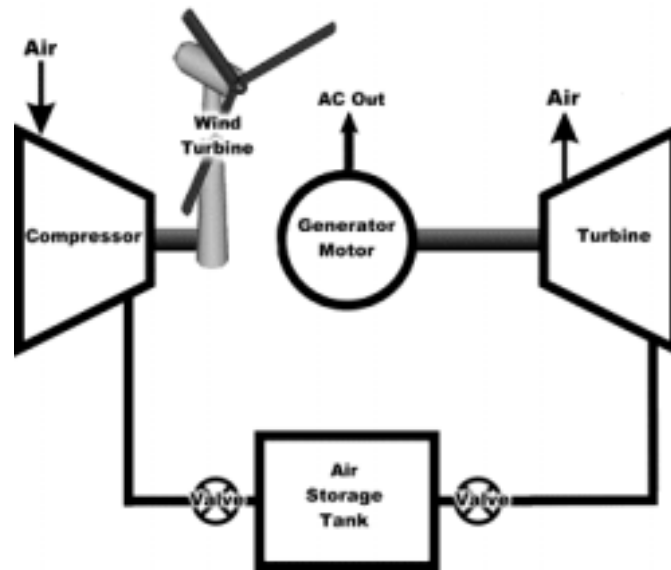
Pumpattu vesivarasto voisi olla myös käyttökelpoinen tuulivoiman yhteydessä. Vettä pumpataan tuulivoiman avulla varastoaltaisiin tai -säiliöihin ja juoksetetaan turbiinin läpi joko maahan sijoitettuun säiliöön tai vesistöön. [65]



Kuva 81. Pumpattu vesivarasto tuulivoiman yhteydessä. [65]

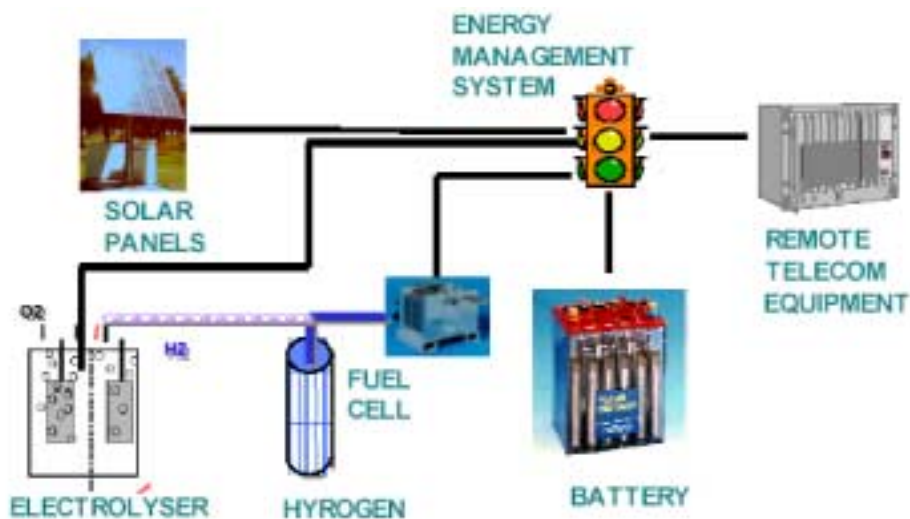
Paineilmavarastointitekniikka on kehitetty polttoturbiinin yhteyteen, mutta samaa tekniikkaa voitaisiin käyttää myös tuulivoiman kanssa esim. siten, että tuulimyllyn käyttä-

män ilmakompressorin avulla täytetään paineilmatankkia, josta paineilmaturbiini-generaattorijärjestelmän avulla tuotetaan sähköä. [65]



Kuva 82. Paineilmageneraattori- ja tuulimylly-yhdistelmä. [65]

Haja-asutusalueen teleliikennejärjestelmien energiansyöttö on ongelmallista, jos sähköverkkoa ei ole lähettyvillä. Akkutekniikan rinnalle ollaan kehittämässä mm. aurinkopaneeli-polttokeho (/redoksivirtausakku) -yhdistelmiä (Kuva 83 ja Kuva 84), joissa ke-sällä sähkö tuotetaan pääosin aurinkovoimalla ja talvella elektrolysaattorilla varustetun vetyä polttoaineena käyttävän polttokennojärjestelmän avulla. [66]

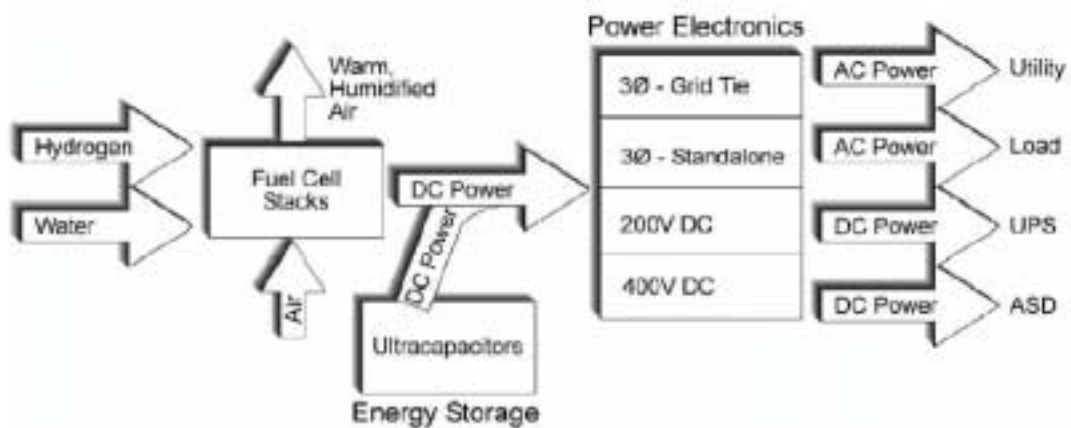


Kuva 83. Hybridi aurinkokennoihin ja polttokennoon perustuva energian varastointi-järjestelmä. [66]



Kuva 84. SEI:n redoksivirtausakut aurinkovoimalan tuotannon tasauksessa. [62]

Ultrakondensaattorin ja polttokennon yhdistelmä antaa mahdollisuuden sekä sähkön laadun hallintaan että UPS-tarpeiden hallintaan (Kuva 85).



Kuva 85. Ultrakondensaattori ja 3 kW:n PEM-polttokennoyhdistelmä energian varastona. [32]

4. Yhteenveto varastointitekniikkojen sovelluskohteista, ominaisuuksista ja kustannuksista

4.1 Sovelluskohteet ja ominaisuudet

Energian varastointia vaativilla sovelluskohteilla on omat erikoisvaatimuksensa (Taulukko 20), jotka voidaan täyttää käyttämällä kohteeseen soveltuvia varastointitekniikoita.

Taulukko 20. Energian varastointia vaativien sovellusten tarpeet ja niitä vastaava varastointitekniologia. [48]

Sovellus	Teho	Varastointiaika	Energia	Vasteaika	Tekniologia
Hyvin lyhytkestoinen			kWh		
Sähkön laatu, moottorin käynnistys, loppukäyttäjän sovellukset (huiput, pulssit)	≤ 1 MW	sekunteja	~0,2	<1/4 sykliä	Vauhtipyörä Superkondensaattori Mikro-SMES***) (< 4MJ) Lyijyakku H ₂ polttokenno
Kuljetus	<1 MW	sekunteja	~0,2	<1 sykli	Vauhtipyörä Superkondensaattori Mikro-SMES Lyijyakku H ₂ polttokenno
Siirron ja jakelun stabilointi	jopa satoja MW	sekunteja	20–50	<1/4 sykli	SMES H ₂ polttokenno Lyijyakku
Lyhytkestoinen			kWh		
Hajautettu jakelu (huippukuormat)	0,5–5 MW	~1 h	5 000–50000	<1 min	Vauhtipyörä Kehittyneet akut SMES Lyijyakku Polttokenno tai -moottori CAS*)
Loppukäyttäjän huippukuormien hallinta (kustannusten väh.)	<1 MW	~1h	1 000	<1 min	Vauhtipyörä Kehittyneet akut SMES Lyijyakku Polttokenno tai -moottori CAS, lämpövarastot
Varavoima – nopea vaste ((3 s) (estämään autom. vaihtoa)	1–100 MW	<30 min	5 000–500000	<3 s	Vauhtipyörä Lyijyakku Kehittyneet akut SMES Polttokenno tai -moottori CAS

Taulukko jatkuu

Varavoima – perinteinen (vaste 10 min aikana)	1–100 MW	≤30 min	5 000–500000	<10 min	Vauhtipyörä Lyijyakku Kehittyneet akut SMES Polttokenno tai -moottori (CAES**), CAS Pumpattu vesivoima
Puhelinverkko back-up	1–2 kW	~2 h	2–4	<1 sykli	Vauhtipyörä Superkondensaattori Lyijyakku Kehittyneet akut H ₂ polttokenno
Uusiutuvien energialähteiden tuotannon tasaus	– 10 MW	min–1 h	10–10 000	<1 sykli	Vauhtipyörä Lyijyakku Kehittyneet akut H ₂ polttokenno SMES, lämpövarastot
UPS	– ~2 MW	~2 h	100–4000	sekunteja	Vauhtipyörä Lyijyakku Kehittyneet akut SMES H ₂ polttokenno H ₂ kone
Pitkäkestoinen			MWh		
Sähkön tuotanto, kuormitusten tasaus	satoja MW	6–10 h	100–1000	minuutteja	SMES Lyijyakku, Kehittyneet akut Pumpattu vesivoima CAES, CAS H ₂ Polttokenno H ₂ kone, lämpövarastot
Kuorman muutos	satoja MW	useita tunteja	100–1000	<sykli	SMES Lyijyakku Kehittyneet akut H ₂ polttokenno, lämpövarastot
Erittäin pitkäkestoinen			MWh		
Hätä-back-up	1 MW	24 h	24	s–min	Lyijyakku Kehittyneet akut CAES, CAS Pumpattu vesivoima, H ₂ polttokenno ja maanalainen varasto
Vuoden aikojen vaihtelun tasaus	50–300 MW	viikkoja	10 000–100 000	minuutteja	CAES
Uusiutuvien back-up	100 kW–1 MW	– 7 päivää	20–200	sekunteja – minuutteja	Lyijyakku Kehittyneet akut CAS, CAES Pumpattu vesivoima, H ₂ polttokenno ja maanalainen varasto, lämpövarastot
*)CAS (Compressed Air Storage), **)CAES (Compressed Air Energy Storage) ***)SMES (Superconducting magnetic energy storage)					

Varastointitekniikat ovat voimakkaan kehitystyön kohteina etenkin eliniän, huolletta-
vuuden, teho- ja energiatihedyyden ja vasteaikojen osalta. Oheisena yhteenvedo energiava-
rastojen ominaisuuksista (Taulukko 21).

Taulukko 21. Eri varastointitekniikoiden ominaisuuksia. [1]

	Akut	Super- konden- saattorit	Polttokennot ja redoksi- akut	SMES Supra- johtavat mag- neettiset ener- giavarastot	Vauhti- pyörät	Lämpö- varasto	Paine- kaasu
Energia- tiheys	20–800 Wh/kg	– 0.5 kWh ja 15 kW moduuli: 1,5 Wh/kg su- perkond.:2 Wh/kg	~75 Wh/kg riippuu suunn. parametreista	– 1 kWh	0,01 kWh/kg	riippuu tankista tyyp. 0,1 kWh/kg	ener- gia/teho- suhde n. 1:10
Teho- tiheys	– 1000 W/kg	moduuli: 1,2 kW/kg, superkond.: 2 kW/kg	riippuu suunn. parametreista	3 MVA	1–10 kWh ja 300 kW – 2 MW		
Kustan- nukset	– (100) – 1200 €/kWh	korkeat	vain suuret järjestelmät kustannus- tehokkaita	kalliit apujär- jestelmät	pienin yksikkö n. 100 kW	suuret järjes- telmät kalliita, pienet standar- dituot- teita	pienin yksikkö 20 kW
Elinikä	Sovellus- riippuva	n. 8–10 v		ei rajoituksia	pitkä elinikä	..19 v, vesijärj. >20 v	ei rajoi- tuksia pitkä kok. elinikä
Valvonta ja ohjaus	Vaikeaa, ei löydy hyviä ratkaisuja	helppo valvonta, monimut- kainen ohjauselekt- roniikka		helppo valvoa	helppo valvoa		
Vasteaika							0,1 s
Hyöty- suhde	>90 % joissakin, riippuu sovelluk- sesta	>95 %, Itsepurkau- tuvuus n. 5 %/vrk.	50 – 60 % mutta pienet tyhjökäynti- häviöt	99 %	>95 % mutta seison- ta- häviöt 100 %/vrk	Seisonta- häviöt tarkistet- tava, eristyk- sien tarve	75 %, merkittä- vät sei- son- ta- kustan- nukset
Toiminta- rajoitukset				Suuri kuljetus- yksikkö var- mistaa kaikkien rajoitusten saav.			

Vuorokausitason (Taulukko 22) ja vuodenajan vaihtelun tasoitukseen (Taulukko 23) käytettävien lämpöenergiavarastojen ominaisuuksia on vertailtu allaolevissa taulukoissa.

Taulukko 22. Vuorokausitason (lyhytaikainen varastointi) lämpöenergiavarastojen ominaisuuksien vertailu. [114]

Lämpövarasto	Varastoiva aine	Sähkön tarve (kW)	Varaston koko (kWh)	Tyypillinen varastointilämpötila (°C)	Lämpökapasiteetti (kJ/kg K)	Asennuskustannukset
Huonetaso						
Keraaminen, tiili	Oliviini, magnesiitti, mikroterm.	1,5–6	10–48	700–815	1,00–1,13	20–30 (€/kWh)
Keskitetty						
Keraaminen tai kallio (tav. lämmittää ilmaa mutta voi lämmittää syöttövettä)	mikroterm., kallio, kivi	7–100	50–500	700–815	1,00–1,13	25 (€/kWh)
Paineistettu vesi	vesi	20–5000	– 68 000	138	4,19	22–23 (€/kWh)
Paineistamaton vesi	vesi	–	100–250	-5–99	4,19	20–21 (€/kWh)
Eutektinen suola	PCM	–	–	20–120	–	10–150 (€/kg)
Rakennemateriaali						
Lattian lämmitys (matot ja kaapelit)	betoni, hiekka	0,3–0,5		38	0,88	10–20 (€/m ³)
Rakenne (passiivi järj.)	rakennemater.	–	–	23–26	0,86	
Ontelot	betoni	–	–	23–26	0,86	

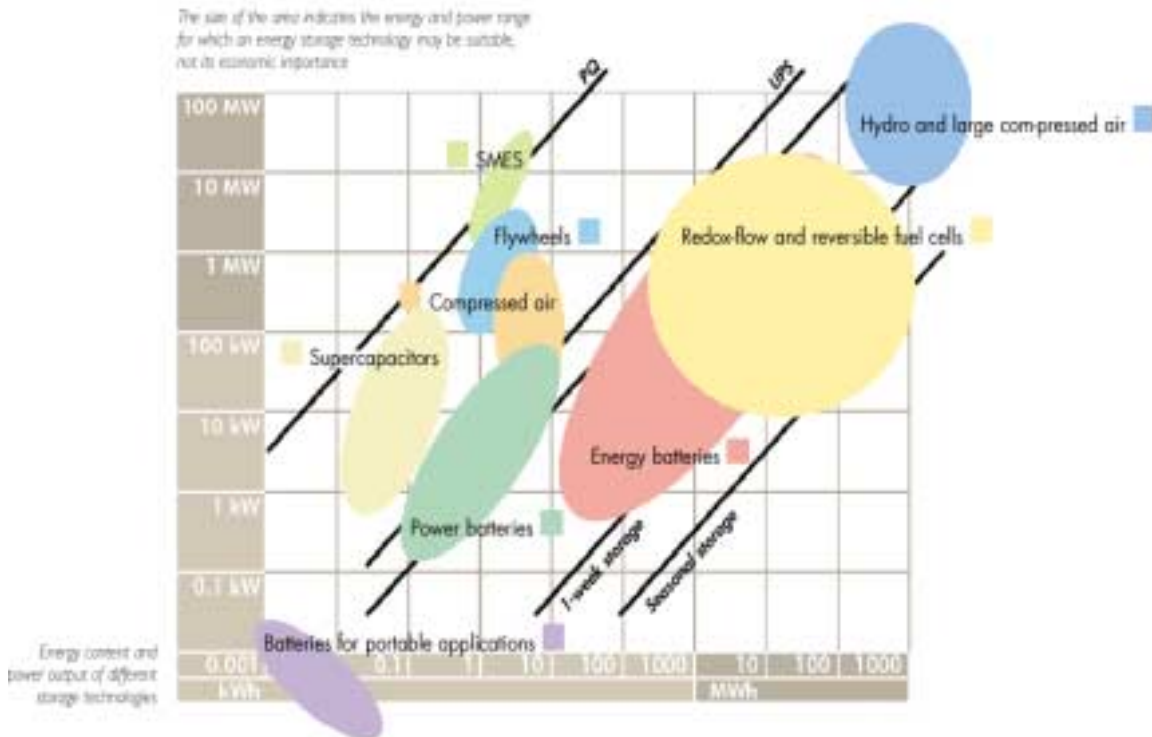
Taulukko 23. Vuodenajan vaihtelun tasoitukseen (pitkäaikainen varastointi) käytettävien lämpöenergiavarastojen ominaisuuksien vertailu. [114]

	Betoni tai teräs-säiliö	Eristetty kaivanto-varasto	Päältä eristetty kaivanto-varasto	Kallio-varasto	Pohjavesi-varasto	Maaperä-varasto	Pystyputket savessa	Pora-kaivot
Ominaislämpökapasiteetti (kWh/m ³ K)	1,16	1,16	1,16	1,16	0,75	0,70	0,80	0,63
Referenssilämpötilaero (°C)	55	55	55	55	55	55	15	55
Tyypillinen varastointihyötysuhde	0,90	0,85	0,70	0,80	0,75	0,60	0,70	0,70

Taulukko jatkuu

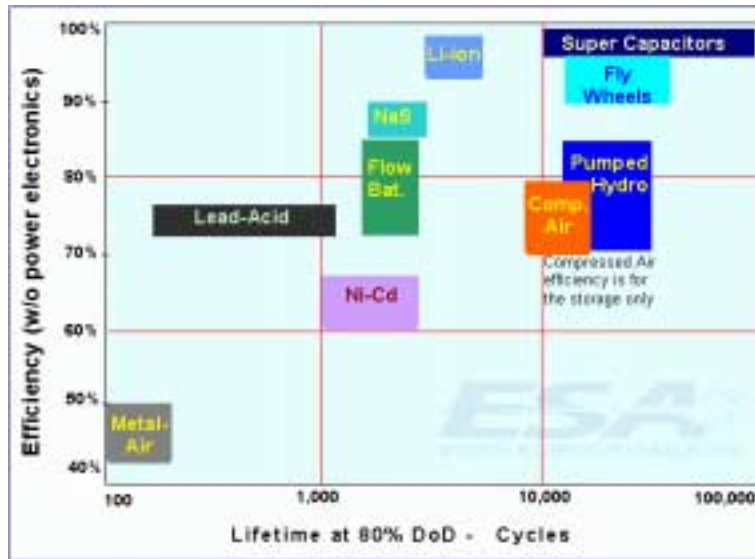
Konversio-kerroin (kWh/m ³)	57	54	45	51	31	23	8	24
Tilavuus (m ³)	0–100000	0–75 000	0–50 000	50 000–300 000	50 000–500 000	0–100000	50 000–300 000	50 000–400 000
Investointikust. (€/m ³)	150–250	120–220	40–60	80–120	20	50–100	5–8	30–40
Energiakust. (€/kWh)	0,2–0,4	0,15–0,25	0,05–0,1	0,12–0,20	<0,05	0,16–0,40	0,05	0,09–0,12

Energiavarastojen ja sovellusten teho/energia-kuvaajat on esitetty allaolevassa kuvassa (Kuva 86).



Kuva 86. Eri energianvarastointiteknikoiden teho vs. energia-alue. [1]

Energian varastointiteknologioiden hyötysuhde ja elinikä ovat tärkeitä kokonaiskustannuksiin vaikuttavia parametreja, jotka tulisi huomioida varastointiteknikkaa valittaessa. Oheisessa kaaviossa (Kuva 87) on esitetty eri tekniikkojen hyötysuhde vs. toimintaker-takuvaajat. [35]



Kuva 87. Energian varastointityyppien hyötysuhde vs. elinikä. [35]

Erityyppiset akut kattavat lähes kaikkien energian varastointia vaativien sovellusten perustarpeet, mutta akuilla on suhteellisen lyhyt elinikä ja ne vaativat huoltoa enemmän kuin esim. vauhtipyörät, jotka soveltuvat hyvin lyhyen ajan energiatarpeen kattamiseen useiden megawattien tehoon asti. Polttokennojen odotetaan tulevaisuudessa olevan tehokkaita ja laajan sovellusalueen tarpeet kattavia. CAES ja pumpattu vesivoima ovat parhaita kuorman hallintaan silloin, kun geologia antaa siihen mahdollisuuden ja minuuttien vasteaika on riittävä. SMES-teknologialla on korkeasta hinnastaan huolimatta oma paikkansa sähkön laadun hallinnassa suuren tehon jakelu- ja siirtoverkoilla. [48]

4.2 Eri varastointitekniikoiden kustannuksia yleisesti

Energian varastointijärjestelmän kokonaiskustannukset muodostuvat useista eri kustannuskomponenteista, joihin kuuluvat varsinaisen energiaa varastoivan laitteen hankinta- ja asennuskustannusten lisäksi erilaiset liityntä-, valvonta-, ohjaus- ja apujärjestelmien kustannukset sekä rakentamiseen ja kunnossapitoon liittyvät kustannukset (Taulukko 24).

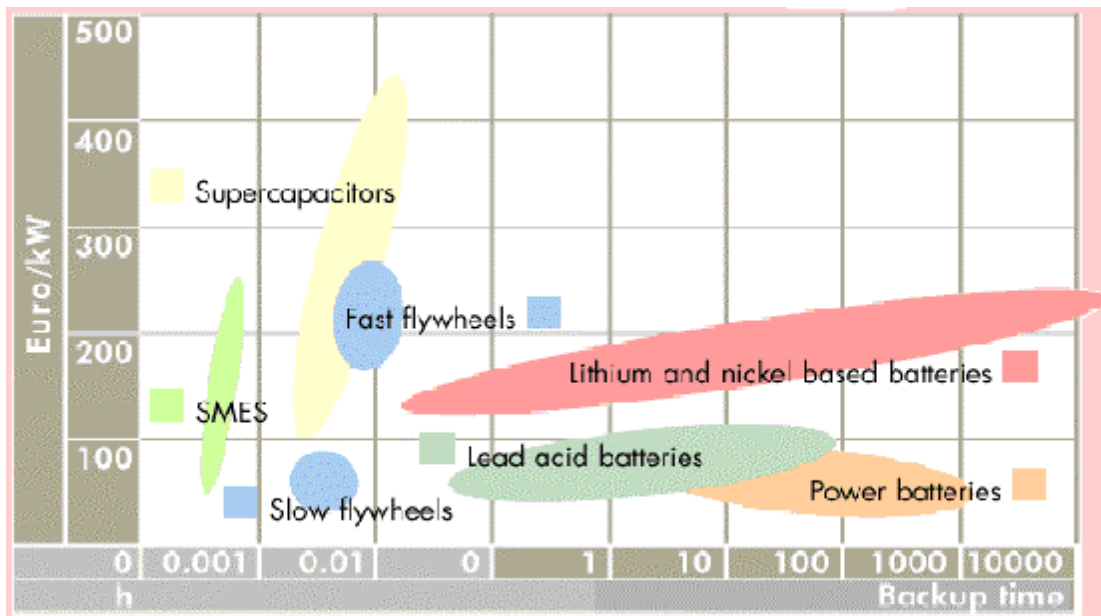
Taulukko 24. Energian varastointijärjestelmiin liittyvät kustannuskomponentit. [78]

Energiaa varastoiva laite	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sähkökemiallinen energiavarasto 2. Sähkömekaaninen energiavarasto 3. Suoraan sähköä varastoiva järjestelmä
Liityntä AC-kuormaan ja syöttöön	<ol style="list-style-type: none"> 1. Uudet siirtolinjat 2. Muuntajat verkon/akkujen AC-jännitteelle 3. Suojauslaitteet (esim. kytkimet, katkaisijat, sulakkeet)
Tehoyksikkö	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kytkin (AC) 2. Tasasuuntaaja/vaihtosuuntaaja 3. DC-kytkin 4. Suojauslaitteet (esim. kytkimet, katkaisijat, sulakkeet)
Apujärjestelmät	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sähköiset: liityntälaitteet, suojauslaitteet ja latauslaitteet 2. Mekaaniset: esim. telineet, vesi-, lämpö-, paineilma- ja pumppausjärjestelmät, turvajärjestelmät (ilmastointi, palontorjunta, hengityssuojaimet), jäähdytys- ja tyhjöjärjestelmät.
Valvonta- ja ohjausjärjestelmä	<ol style="list-style-type: none"> 1. Monitorointi- ja diagnostiikka: varastointilaitteet, tehon muunnos, apujärjestelmät (laakerit, jäähdytys- ja tyhjöjärjestelmät) 2. Ohjaus: varastointilaitteet, suojauslaitteet, tehoyksikkö, apujärjestelmät.
Laitos, rakennus	<ol style="list-style-type: none"> 1. Perustus ja rakenteet 2. Materiaalit 3. Valaistus ja putkistot 4. Tiet ja maisemointi 5. Maadoitus ja kaapelointi 6. Lämmitys, ilmastointi ja jäähdytys
Työkustannukset	<ol style="list-style-type: none"> 1. Rakentaminen 2. Asennus ja käyttöönotto 3. Käyttö 4. Turvallisuuden ja terveyteen liittyvät raportoinnit
Pääomakustannukset	<ol style="list-style-type: none"> 1. Alkupääoma 2. Korot
Kuljetuskustannukset	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kuljetuskustannukset 2. Luvat

Taulukko jatkuu

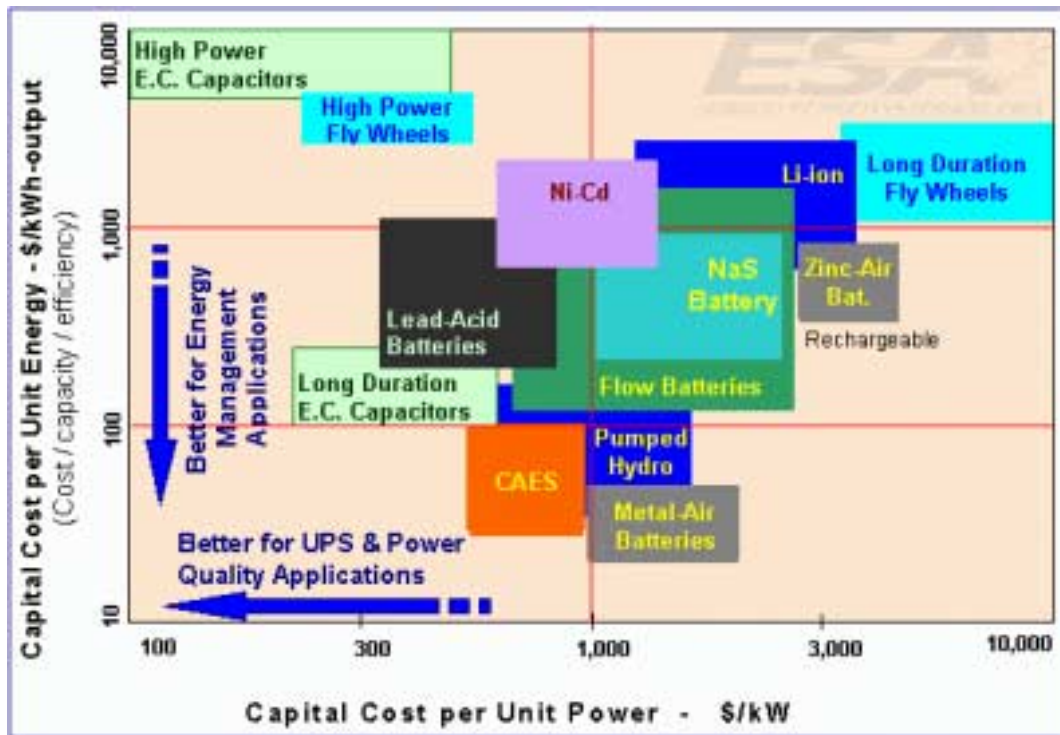
Verot	
Palvelut	<ol style="list-style-type: none"> 1. Projektin hallinta 2. Sähkön laatu ja stabiilisuustarkastelut (esim. releet, harmonisten suodatus) 3. Luvat asennukseen ja toimintaan
Ohjaus/valvonta ja huolto	<ol style="list-style-type: none"> 1. Huoltokustannukset 2. Koulutuskustannukset 3. Tiedonkeräily ja monitorointi

Eri energian varastointiteknologioiden vertaaminen on kustannusten perusteella vaikeaa, koska kokonaiskustannukset muodostuvat erityyppisistä kustannuskomponenteista. Euroopan komission tekemässä kustannusvertailussa [1] on huomioitu varastoivan laitteen lisäksi kaikki turvallisuuteen ja luotettavaan toimintaan liittyvät tekijät, kuten jäähdytysjärjestelmät, lämpötilan ja jännitteen muutokset, mutta ei verkkoonliittämisen tarvitseman tehoelektroniikan kustannuksia. Koska kokonaiskustannukset voivat muodostua jopa kaksinkertaisiksi, kun huomioidaan myös tarvittavan tehoelektroniikan kustannukset, eikä tuotetun energian kustannuksia voida verrata, ovat kuvassa (Kuva 88) esitetyt kustannukset lähinnä suuntaa-antavia.



Kuva 88. Eri energianvarastointiteknikoiden kustannuksia. [1]

Electry Storage Assosiation [35] on esittänyt eri varastointiteknologioiden pääomakustannusten vertailun (Kuva 89), joka on myös vain suuntaa-antavaa tasoa. Akkujen kustuksiin ei ole sisällytetty DC/AC-muunnokseen tarvittavaa tehoelektroniikkaa. Käytävissä oleva energia on saatu jakamalla energiayksikön kustannukset hyötysuhteella.



Kuva 89. Energian varastointityyppien pääomakustannusten vertailu. [35]

5. Energian varastointitekniikojen markkinakartoitus

5.1 Markkinapotentiaalit

5.1.1 Energian varastointitekniikan markkinapotentiaali

Business Communications Companyn (USA) toukokuussa vuonna 2001 julkaiseman tutkimuksen mukaan kehittyvien energian varastointitekniikoiden (vauhtipyörät, super-/ultra/aero-) -kondensaattorit ja SMES-järjestelmät) markkinapotentiaali USA:ssa tulee vähintään kaksinkertaistumaan vuoteen 2005 mennessä (Taulukko 25). [79]

Taulukko 25. Kehittyvien energian varastointitekniikoiden markkinapotentiaalin kasvuennuste USA:ssa tuotteittain. [79]

	v. 2000 / M\$	v. 2005 / M\$	v. 2010 / M\$	Keskim. vuosittainen kasvu % 2000–2005	Keskim. vuosittainen kasvu % 2005–2010
Vauhtipyörät	25	43	59	11,5	6,5
Super (/ultra/ aero) -kondensaattorit	57	196	982	28,0	38,0
SMES-järjestelmät	36	80	157	17,3	14,4
Yhteensä	118	319	1198	22,0	30,3

Suprajohtavien magneettisen energian varastojen (SMES) myynnin odotetaan kasvavan kokonaisuudessaan keskimäärin 17,3 % vuodessa vuoteen 2005 asti ja sen jälkeen 14,4 % vuodessa vuoteen 2010 asti (Taulukko 26). Aluksi kasvaa suuren energiatiheuden omaavien SMES-järjestelmien myynti (38,8 %/v), mutta vuoden 2005 jälkeen kasvu vähenee ollen lähes samaa luokkaa kuin pienen energiatiheuden omaavien SMES-järjestelmien (14,2 %/v).

Taulukko 26. SMES-järjestelmien myynnin kasvuennusteet vuoteen 2010. [79]

SMES-tyyppi	v. 2000 / M\$	v. 2005 / M\$	v. 2010 / M\$	Keskim. vuosittainen kasvu % 2000 – 2005	Keskim. vuosittainen kasvu % 2005 – 2010
Pieni energiatiheys	29	50	97	11,5	14,2
Suuri energiatiheys	7	30	60	33,8	14,9
Yhteensä	36	80	157	17,3	14,4

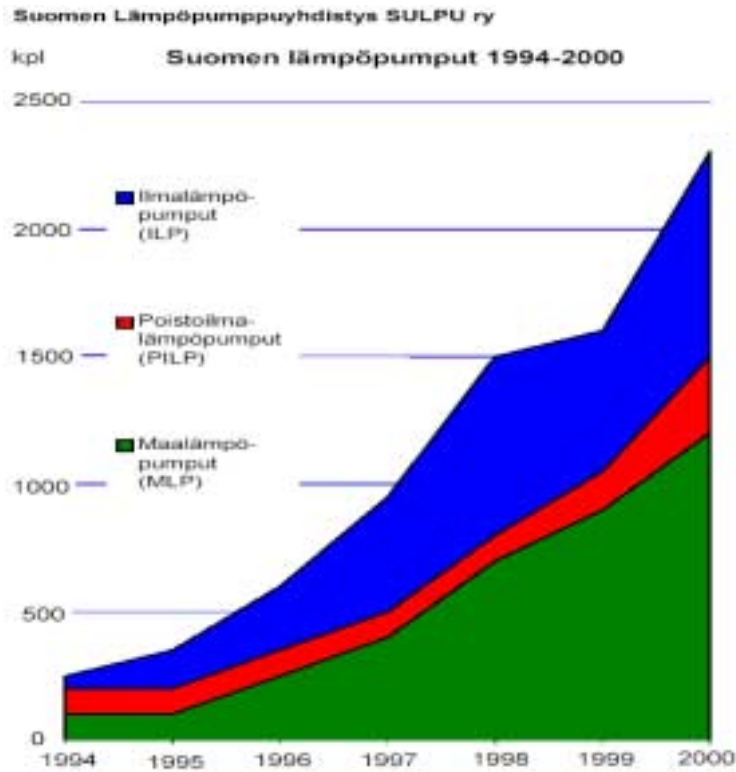
Lämpövarastojen markkinoiden kehitystä on tutkittu Ranskassa (Taulukko 27).

Taulukko 27. Lämpövarastojen markkinoiden kehitys Ranskassa. [114]

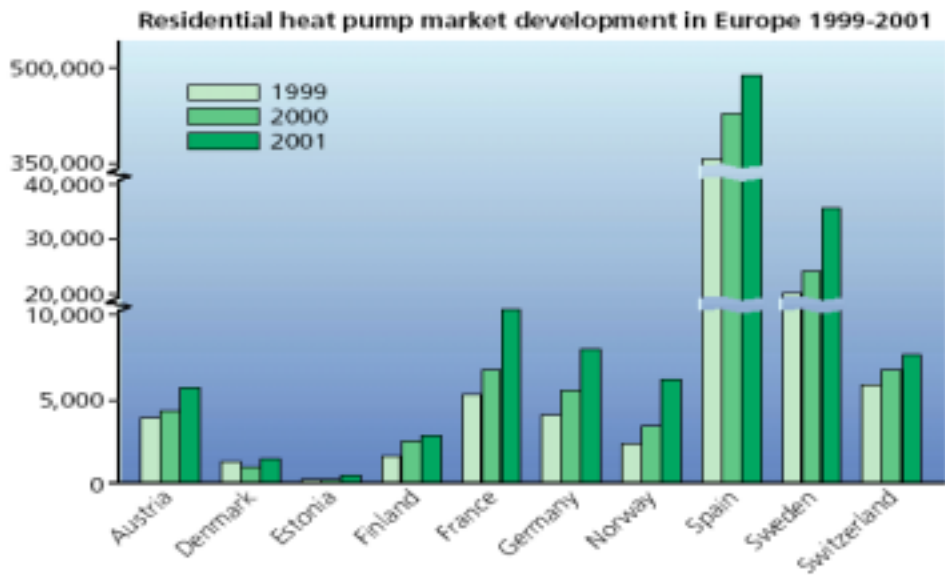
Markkina-alue	Maks. asennus-potentiaali vuoteen 2010	Nykyinen määrä	Yksiköt
Pitkäaikaiset (vuoden ajan vaihtelun hallinta)	25 – 30	20	Kohteiden lukumäärä
Lyhytaikaiset (huippukuormien hallinta)	500 000	Rajoitettu määrä (1000)	Asennustilojen lukumäärä

USA:ssa vastaavasti lyhytaikaisen vuorokausitason lämpövarastoinnin taso on nyt 15 GW ja ennustetaan vuoteen 2010 mennessä olevan 50 GW [114]. Suomessa lämpövarastojen käyttö kiinteistöjen yhteydessä on ollut vähäistä lähinnä laitteistojen ja tarvittavien lisätilojen aiheuttamien kustannusten vuoksi. Kustannustehokkaiden tuotteiden myötä potentiaalia olisi etenkin suuremmissa toimistokiinteistöissä lisääntyneen jäähdytystarpeen vuoksi.

Lämpöpumppujen markkinat Suomessa ovat selkeässä kasvussa, joka on havaittavissa allaolevasta kuvasta (Kuva 90). Ranskassa lämpöpumppumarkkinat kehittyvät nopeasti (Kuva 91). Norjassa lämpöpumppujen myynti vuonna 2001 oli 6 400 kpl, joista 73 % oli pieniä ilma-ilmalämpöpumppuja mutta vesikeskuslämmitys on lisääntymässä. Ruotsissa, Espanjassa ja Sveitsissä lämpöpumppumarkkinat ovat kasvaneet tasaisesti. [134]



Kuva 90. Lämpöpumppumarkkinoiden kehitys Suomessa. [129]



Kuva 91. Kiinteistöjen lämpöpumppumarkkinoiden kehitys Euroopassa vuosina 1999–2001. [134]

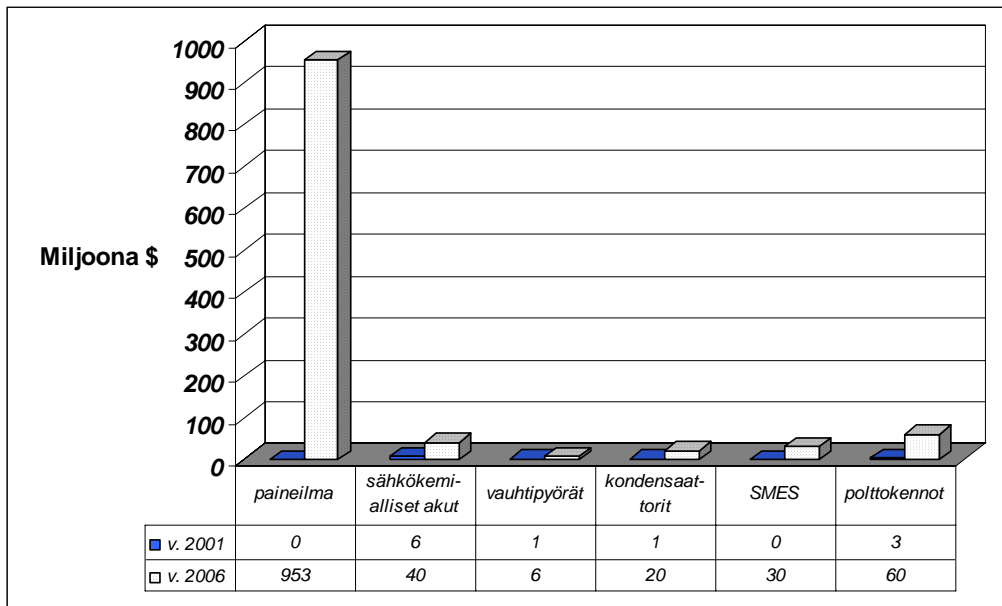
5.1.2 Energian varastointitekniikkojen sovellusten markkinapotentiaali

Energiavarastotekniikan myynnin kasvu (v. 2000–2005) on suurinta liikennevälinesovelluksissa (33,8 %) ja jakeluverkon kuormien tasauksen ja sähkön laadun hallinnan sovelluksissa (29,4 %). UPS-sovelluksien markkinoiden ennustetaan kasvavan vuoteen 2005 asti 17,7 % keskimäärin vuodessa mutta hidastuvan sitten 8,9 %:iin vuodessa (Taulukko 16).

Taulukko 28. Kehittyvän energiavarastointitekniikan markkinapotentiaalin kasvunennuste USA:ssa sovellusalueittain. [79]

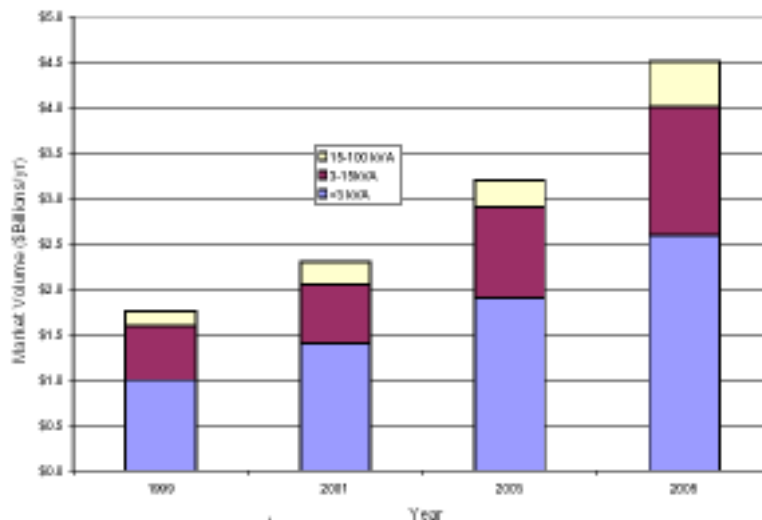
	v. 2000 / M\$	v. 2005 / M\$	v. 2010 / M\$	Keskim. vuosittainen kasvu % 2000–2005	Keskim. vuosittainen kasvu % 2005–2010
UPS	19	43	66	17,7	8,9
Jakeluverkon kuormien tasaus ja sähkön laadun hallinta	24	87	223	29,4	20,7
Liikennevälineet	7	30	315	33,8	60,0
Kannettavat ja mikroelektronikka	25	70	500	22,9	48,2
Sotilas- ja avaruuskäytöt	43	89	94	15,7	1,1
Yhteensä	118	319	1198	22,0	30,3

SolarAccess.com:in 3.12.2001 julkaisemassa uutisessa [81] Business Communications Companyn (USA) lokakuussa 2001 tekemän raportin ”E-112 Electric Utility Load Leveling: U.S. Technology and Markets” mukaan kaikkien kuormituksen tasaukseen käytettävien energiavarastojen markkinoiden ennustetaan kasvavan nykyisestä 11 miljonnasta dollarista 1,3 miljardiin dollariin vuoteen 2006 mennessä. Varastointitekniikoista eniten ennustetaan kasvua paineilmaparastojen markkinoille, mutta myös muiden varastointitekniikoiden osuudet kasvavat (Kuva 92), kun uusimmat tuotteet siirtyvät laboratorio- ja prototyyppiasteelta kaupallisiksi tuotteiksi.



Kuva 92. Kuormituksen tasauksen alueella varastointitekniikoiden markkinoiden kasvuennuste vuoteen 2006. [81]

UPS-järjestelmien markkinoiden on ennustettu kasvavan vuoteen 2006 mennessä kaksinkertaisiksi vuoden 2001 tasoon nähden, mikä merkitsee USA:n alueella n. 4,5 miljardin dollarin markkinaosuutta. Koko maailman UPS-markkinat ovat n. 2,3 kertaa USA:n UPS-markkinoiden suuruus [83]. Vaikka akkutekniikka ja lähinnä lyijyakkutekniikka kattaakin tästä nykyään suurimman osan (n. 96 %), odotetaan vauhtipyörien, ultrakondensaattoreiden ja polttokennojen markkinoiden vuosittaisen kasvun olevan n. 8,3 % [84].



Kuva 93. UPS-järjestelmien markkinapotentiaalin ennuste vuoteen 2005. [83]

5.2 Energian varastoinnin laitevalmistajat ja laitteet

5.2.1 Akut

Laitevalmistajia:

- [Energizer](#) (USA) valmistaa akkutuotteita, mm. alkaali-, hiili-sinkki-, miniatyyri- ja uudelleenladattavia akkuja.
- [Evonyx, Inc.](#) (USA) kehittää sinkki-ilma-akkuja ja polttokennoja.
- [Ovonic Battery Company](#) (USA) kehittää nikkeli-metalli-hydridi akkuja.
- [Panasonic Industrial Company](#) (USA) valmistaa eri tyyppisiä akkuja kuten esim. lyijy-, hiili-sinkki-, litium-, litium-ioni-, nikkeli-kadmium- ja nikkeli-metallihydridiakkuja.
- [Sony Corporation](#) kehittää alkali- ja litium-ioni-akkuja.
- [Ultralife Batteries, Inc.](#) (USA) kehittää ladattavia litium- ja polymeeriakkuja.
- [Varta](#) (EU) ja [Universal Batteries](#) (USA) valmistavat mm. kaksi-akkuisten autojen virtalähteeksi huoltovapaita ADM (Absorptive Glass Mat) -lyijyakkuja, joissa käytetään mikrolasikuituista mattoa kiinnittämään rikkihappoelektrolyytti. Vartan akkuvalikoimaan kuuluvat myös hopealyijyakut ja erilaiset käynnistysakut sekä litium- ja Ni-MH-nappi-, sauva- ja suorakaidemallit sekä akkuyhdistelmät.

Seuraavassa taulukossa (Taulukko 30) on esitetty akkujen ominaisuuksia (huom. vain suuntaa-antavia arvoja) ja valmistajia.

Taulukko 30. Akkujen ominaisuuksia ja valmistajia. (Osittain [126])

Akkutyyppi	Kustannukset (@kWh)	Ominaisenergia (Wh/kg)	Ominais-teho (W/kg)	Purkaus/lataus-syklit	Hyötysuhde (%)	Toimintalämpötila °C	Pääsovellukset	Valmistaja
Alumiini-ilma (polttokenno)		200-800	150		35		Autot, liikuteltavat sovellukset, kiinteä tehonsyöttö saarekekäytössä	Aluminium Power Inc.
Li ioni	257-412	110-173	500	>1000	98	0-50	Kannettavat työkalut ja PC:t, hybridiajoneuvot	GP batteries, Lishen, Moly Energy, Nerada, NEC, NRG-cells
Litium-polymeeri	100?	100-155	400	300-500	60	60-80	Kannettavat laitteet, kulutuslaitteet	Avestor, Danionics, EIC Elite Ionergy Co, Finecell, Gaia Akkumulatorwerke, Ionity, Rocket
Lyijy	150-400	30-50	100-600	300-400	70-80	5-35	Autot, varavoima, UPS jne.	Bolder, Bosch, Trojan Battery Company, Tudor, U.S. Battery, VHB,
Natrium-nikkelikloridi (ZEBRA)	220-500	80-120	110	>110 (1000)	90	270-350	Ajoneuvot	Beta Research & Development
Natrium-rikki	250?	150-221	170	2500	60-95	290-390	UPS, ajoneuvot, kuorman/sähkönladun/huipputehon hallinta, avaruusteknologia	NGK
Ni-Cd	600	45-80	50	1000-3000	60-85	10-45	UPS, leikkikalut, lamput, sähkölaitteet, kannettavat, robotit	ALCAD, Hebei Renyuan Group, Panasonic
Nikkeli-metallihydridi	525-1200	60-120	200-1000	500	75	10-40	Ajoneuvot, UPS, kannettavat, työkalut, kulutuselektronikka	Hebei Renyuan Group, HI-Watt Battery, Hyper Battery, Kodak, Lexel Battery, Panasonic, Saft
Sinkki-bromi	250-300	70	100	500			Kuorman hallinta	ZBB Energy Corporation
Sinkki-ilma (polttokenno)	<100-300	271	100	240-450	65	-20-(+)60	Autot, sotilakäyttö, varavoima	Zoxy, Electric Fuel

5.2.2 Suprajohtavat sähkömagneettiset varastot (SMES)

[American Superconductor](#), (USA), valmistaa SMES-järjestelmiä sähkön laadun ja luotettavuuden hallintaan. D-SMES-järjestelmät on kehitetty teollisuuden jännitekuoppien hallintaan ja jakeluverkon tukitoimintaan lois- ja pätöteho-varastoiksi. Laitteisto voi tuottaa 18 Mvar välittömästi ja 8 Mvar jatkuvasti, jännitealue 69–500 kV, yksikköulos-tulo on 3 MW ja verkon kapasiteettialue 100–1 000 MW (sis. useita yksiköitä). PQ_IVR on teollisuuden jännitteen säätöön kehitetty tuote, jonka teho on 3 MW ja 17 Mvar,

vasteaika <5 ms vian havaitsemisesta ja liitäntäjännitteet 480 V – 35 kV. PQ-VR:n teho on 1,3 MVA, jännitealueet 400 V – 20 kV(tulojännite) ja 400 V – 20 kV (lähtevä jännite). Tuotteet toimitetaan trailerissa, joka sisältää tarvittavat muuntajat, sähkökojeistot ja ohjauselektroniikan. [51]

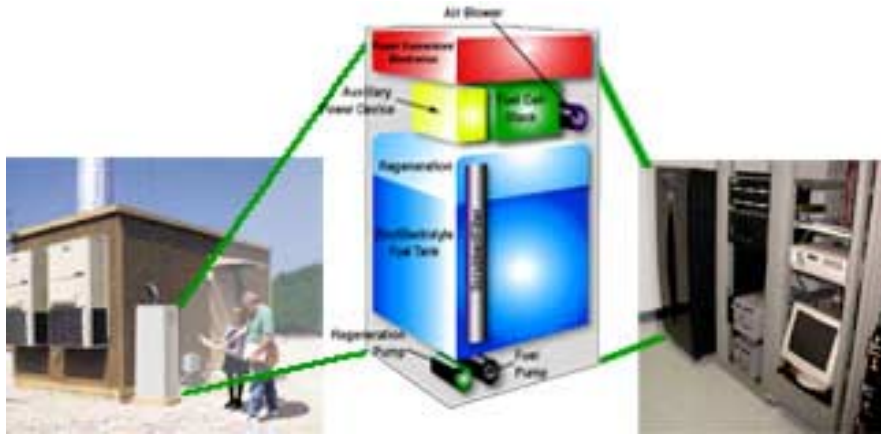
5.2.3 Polttokennot ja virtausakut

Polttokennoja valmistavia yrityksiä [60]:

- Avista Laboratories, Inc., PEM-moduulit
- Ballard Power Systems, PEM (1 kW–250 kW)
- ECD Ovonic, regeneroitava metallihybridit
- ElectroChem Inc., PEM (45–200W), PAFC
- Enable Fuel Cell Corporation, PEM (1–100 W), 1–10 kW
- Fuel Cell Power Systems AG, PEM (–3,75W), SOFC -putki
- Gesellschaft für Angewandte Technik mbH Greifswald (GAT), PEM ja DMFC (100 W – 1 kW)
- H2-interpower GmbH, PEMFC (1 W – useita kW ja elektrolysoimislaitteet)
- Hpower Corp., PEM (50–4 500 W)
- H-TEC Wasserstoff-Energie-Systeme GmbH, DMFC (maks. 1 kW)
- Hydrogenics Corp., PEMFC (5 W – 25 kW)
- IdaTech Corp., PEMFC (1 kW)
- Mosaic Energy, PEMFC (3, 5, 6,6 kW)
- Novars GmbH, PEMFC (79–3000 W)
- Nuvera Fuel Cells Inc., PEMFC (1 kW, 0–5 kW)
- Opel/GM, PEMFC (55–60 kW)
- Palcan Fuel Cells Ltd., PEMFC
- Plug Power Inc., PEMFC (1–4, 6 kW, 1,5–7 kW)
- PowerTek International, PEMFC (7,5 kW)
- Proton Energy Systems, Inc., PEMFC (50 W, 250 W)
- PROTON MOTOR Fuel Cell GMBH, PEMFC (1–5 kW(80 kW), 1–6 kW(100 kW))
- UTC Fuel Cells, UTCFC, PEMFC (5 kW ja 200 kW)
- ZBB, sinkki-bromidi-virtausakkujärjestelmät (250 kW/500 kWh).

Metallic Power Inc. on perustettu vuonna 1995 ja sijaitsee Carlsbadissa, Kaliforniassa. Yritys valmistaa regeneroivia sinkki-ilmapolttokennolaitteistoja. Yrityksen ensimmäisten tuotteiden toimitus oli lokakuussa 2002 ja käsitti regeneroivia 1–5 kW (24–72 h) -tehoisia sinkki-ilmapolttokennolaitteistoja (Kuva 94) matkapuhelintukiasemille, pankkeihin ja muihin julkisten ja liiketoimintojen kriittisten laitteistojen varavoimaksi. Yri-

tys kehittää sinkki-ilmapolttokenlaitteita myös ajoneuvoihin ja kannettaviin sovelluksiin. [56]



Kuva 94. Regeneroiva sinkki-ilmapolttokenlaitteisto back-up-sovelluksiin. [55]

POWERZINK valmistaa sinkki-ilmapolttokennoja (Kuva 95 ja Taulukko 31) sähköajoneuvoihin, sotilaskäyttöön, tehonjakelun sovelluksiin ja kannettavaan elektroniikkaan. Viimeisin tuote on sinkki-ilmapolttokennolla toimiva sähköinen polkupyörä.



Kuva 95. PowerZinkin sinkki-ilmapolttokenno. [86]

Taulukko 31. PowerZinkin sinkki-ilmapolttokennoja. [86]

	DQFC-24-3200	DQFC-24-1800
Nimellisjännite	24 V	24 V
Huipputeho	2525 W	1400 W
Ominais-teho W/kg	154 W/kg	180 W/kg
Ominaisenergia	215 Wh/kg	139 Wh/kg
Elinikä (sykliä)	>400	>400
Elinikä	> 5 vuotta	> 5 vuotta
Itsepurkautuvuus	< 10 % / kk.	< 10 % / kk.

ZOXY[®] Nova 80e [61] on uuden sukupolven sinkki-ilmapolttokenno (Kuva 96), jolla on kaksi toimintatyyppiä:

1. Polttokennoversio, jossa käytettävissä oleva energian varastokapasiteetti voidaan hyödyntää 100 %.
2. Akkuversio (lataus sähköllä), jolloin voidaan hyödyntää 50–60 % kapasiteetista.



Kuva 96. ZOXY[®] Nova 80e sinkki-ilmapolttokenno. [61]

Ball Aerospace & Technologies Corp. (Boulder, Colorado) on kehittänyt pienen ja kevyen kannettavan DMFC-suorametanoli-polttokennotekniikkaan perustuvan teholähteen sotilaskäyttöön (Kuva 98). Laitteen tehoarvot ovat 20 W jatkuva (50 h) ja 30 W huippu, jännite on 12 VDC ja paino 1,4 kg täyden metanolisäiliön kanssa. Käyttölämpötila on –20 – +50°C. [59]



Kuva 97. Ball Aerospace & Technologies Corp. DMFC 20. [59]

[Proton Energy](#) Systems kehittää URFC-polttokennoyksiköitä (Unitized Regenerative Fuel Cell), joihin kuuluva PEM -kenno voi toimia sekä polttokennona että elektrolyysikennona (Kuva 98). Tuote on tarkoitettu paitsi avaruusteknologiaan myös kaupalliseen ja sotilaskäyttöön. [83]



Kuva 98. URFC-polttokennojärjestelmä. [83]

Järjestelmä on valmistajan mukaan (Taulukko 32) akkujärjestelmiin verrattaessa kilpailukykyinen sekä kustannusten, eliniän että huollettavuuden suhteen.

Taulukko 32. URFC:n ominaisuudet verrattuna akkujärjestelmään. [83]

	Akut	URFC
Elinikäiset kustannukset 200 kWh:n järjestelmälle	120 000\$	20 000\$
Lisäkustannukset	150–300\$/ kWh	30\$/ kWh
Elinikä (kalenteri)	5–8 vuotta	Järjestelmälle: 20 vuotta huollettuna
Lataus-purkaussyklien määrä	6400 (10 % DoD) 800 (100 % DoD)	20 000+ (100 % DoD)
Huoltotarpeet	Akun vaihto	Kennon kunnostus 60 000 käyttötunnin jälkeen
Ympäristövaatimukset	Sisätilat, happo	Sisä- tai ulkoasennusmahd.
Hävittämisiongelmat	Lyijy, hapot	Ei vaarallisia materiaaleja

Oy Hydrocell Ltd (Suomi) valmistaa polttokennoakkuja. Polttokennoakussa on integroitu polttokenno oheislaitteineen ja metallihydridivetysäiliö yhteen kokonaisuuteen. Polttokennoakun sisäiseen vetysäiliöön mahtuu 250 litraa vetykaasua 1 bar (abs.) paineessa. Yhden yksikön jännite on 4 voltia, mikä voidaan elektronisesti nostaa 14 volttiin. Yhden modulaarisen yksikön teho on 200 W ja kapasiteetti on 100 Ah. Lyhyen ajan tavoitteena on nostaa teho 400–500 W:iin. Yhdessä Hydrocellin metallihydridivetysäiliön kanssa saavutetaan energiatiheys 100 Wh/kg. Modulaarisia polttokennoakkuja voidaan kytkeä sarjaan ja/tai rinnan, jotta haluttu nimellisteho saavutetaan (Kuva 99). [85]



Kuva 99. Kolmesta polttokennoakusta sekä hiilidioksidisuodattimesta kytketty 12 V:n järjestelmä. [85]

5.2.4 Vauhtipyörät

Vauhtipyöräjärjestelmiä on esitetty oheisessa taulukossa (Taulukko 33).

Taulukko 33. Vauhtipyöräjärjestelmiä.

Valmistaja	Teho	Purkausaika/s	Energia/ kWh	Ulostulo-jännite	Nopeus
Active Power	250 kW, 500 kW			360–550 VDC	7 700 rpm
AFS Trinity	50–350 kW	täysi teho 5–30 s	0,42 kWh/ 1,5 MJ, 2 kWh / 7.2 MJ	300–800 VDC	
Beacon Power	2 kW, 250 kW	≤9 000, 250 kW/25 s, 50 kW/ 212 s	6	36, 48 ja 96 VDC, 600–750 VDC	
Pentadyne	120 kW, 2 400 kW	120 kW/20 s, 2 400 kW/ sekunteja	0,67 kWh, 2 400 kWs	240 VAC ja 400 VDC	55 000 rpm
Urenco	esim. 200 kW			570–900 VDC	39 600 rpm

[Active Power](#) sijaitsee Texasissa USA:ssa. Yritys on kehittänyt kaksi vauhtipyöräjärjestelmää (250 kW ja 500 kW) DC-kuormille. Tuotteet on kehitetty mm UPS-järjestelmiksi ja generaattorien käynnistykseen.

[AFS Trinity](#), (Kalifornia), tuottaa vauhtipyöräjärjestelmiä sekä kiinteisiin että liikuteltaviin sovelluksiin. AFS Trinityn vauhtipyörätehojärjestelmä (Flywheel Power System FPS) koostuu suurinopeuksista hiilikuituvauhtipyöräroottorista, joka on integroitu moottori-generaattoriosaan. Vauhtipyörä toimii tyhjiössä ja se on varustettu kitkattomilla laakereilla. Järjestelmä sisältää lisäksi purkaus- ja latauspiirit, ohjaustietokoneen ohjelmistoinen pakattuna yhdeksi yksiköksi (Kuva 100). FPS-järjestelmällä on DC-ulostulo, mutta lisäinvertterin avulla tuote voidaan kytkeä suoraan AC-verkkoon. [72]



Kuva 100. AFS Trinityn M3A 100 kW:n vauhtipyöräjärjestelmä. [72]

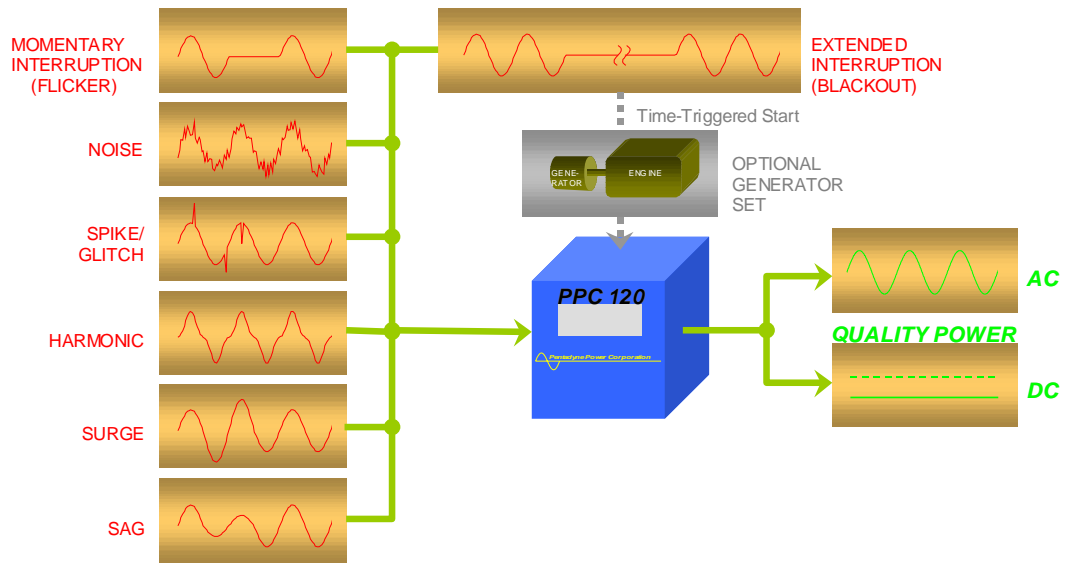
AFS Trinityn vauhtipyörän tehojärjestelmää voidaan sekä ladata että purkaa energiaa 10–20 s:ssä. Sillä voidaan hoitaa jakeluverkon kuopat ja piikit ja käyttää puolijohde-teollisuuden kuormituksen tasaukseen. Busseissa ja trukeissa vauhtipyörään varastoidaan energiaa jarrutuksen aikana ja puretaan kiihdytyksen aikana. Samanlainen toiminta käy myös sähköjuniin. Tällöin purkaus- ja lataustoiminnot voivat tapahtua n. 20 sekunnin jaksoissa. [72]

[Beacon Power](#) (Massachusetts, USA) valmistaa Smart Energy -sarjan vauhtipyöriä 2 kWh:n ja 6 kWh:n malleina ja tehosarjan 250 kW:n versiota (Kuva 101). Tehosarjan tuotteet soveltuvat mm. mikroturbiinien, polttokennojen ja tuulimyllyjen kuormien tasaukseen. [74]



Kuva 101. Beaconin vauhtipyöriä. [74]

[Pentadyne Power Corporation](#) (Kalifornia, USA) on kehittänyt vauhtipyöriä (120 kW / 2 min, 2 400 kW / sekunteja) mm. sähkönlaadun hallintaan (Kuva 102). [75]



Kuva 102. Pentadynen PPC 120 -vauhtipyöräjärjestelmä sähkönlaadun hallinnassa. [75]

[Urenco Power Technologies](#) valmistaa vauhtipyöräjärjestelmiä AC- ja DC-järjestelmiin sähkön laadun hallintaan, kuormien tasaukseen ja UPS-sovelluksiin (103). [67] ja [73]



Kuva 103. Vauhtipyöräjärjestelmiä (Urenco). [73]

Muita vauhtipyöriä valmistavia yrityksiä ovat mm. – [Flywheel Storage](#) – [Toray Composites \(America\), Inc.](#) – [Precise Power Systems](#) – [Flywheel Energy Systems Inc.](#) ja [Tribology Systems Inc.](#)

5.2.5 Sähkökemialliset kondensaattorit

Sähkökemialliset kondensaattorit sijoittuvat toiminnallisesti ja sovellusalueensakin suhteen sähköstaattisten/elektrolyyttikondensaattorien ja akkujen välille, joten monet kondensaattoreja ja akkuja valmistavat yritykset ovat ottaneet sähkökemiallisten kondensaattorien kehityksen ja valmistuksen omaan ohjelmaansa. Kehitystä on vauhdittanut sähkö- ja hybridautojen kehitys ja tarpeet ja useimmat valmistajat (Taulukko 34) investoivat superkondensaattoreiden kehittämiseen.

Hiiliperusteisia kondensaattoreita valmistavat Electro-Chemical Research (AVX), ECOND International, Elit Company, Alcatel Alsthom Research, Capxx, AluPower, Maxwell Technologies, Matsushita, Elna Capacitor, NEC/Tokin ja Polystor. Metall- tai hybridikondensaattoreita valmistavat Dornier, Pinnacle, Evans ja ESMA.

Taulukko 34. Sähkökemiallisten kondensaattoreiden valmistajia.

Yritys/ tutkimuslaitos	Sijainti	Teknologia	Elektrolyytti	Jännite/V	Kapasitanssi/F	Energiatiheys/ Wh/kg	Tehotiheys/k W/kg
Cap-xx	Australia	Hiilikomposiitti	Orgaaninen	3	120	6000	300
ELIT	Venäjä	Hiilikomposiitti	Rikkihappo	450	0,5	1000	900-1000
ELNA	USA	Aktiivihiihi		2,5-6,3	0,047-100		
ESMA	Venäjä	Hybridi	KOH	1,7	50000	8-10	80-100
Evans	USA	Hybridi	Rikkihappo	6-125	1000-200000 µF	100	30000
Los Alamos Lab	USA	Johtava polymeerifilmi	Orgaaninen	2,8	0,8	1200	2000
Maxwell	USA	Hiilikuituyhd.	Orgaaninen	3	1000-2700	3-5000	400-600
NEC	Japani	Hiilikomposiitti	Vesipohjainen	5-11	1-2	500	5-10
NESS	Korea	Hiili (ja metallioksid)		mm. 2,7	5000	5,8	
Panasonic	Japani	Hiilikomposiitti	Orgaaninen	3	800-2000	3-4000	200-400
Pinnacle	USA	Metallioksidiyhdistelmä	Rikkihappo	15	125	600	200
Powestor, Cooper Electronic techniques	USA	Hiiliaerogeeli	Orgaaninen	2,3-5	0,22-50	40	250
Saft	Ranska	Hiilikomposiitti	Orgaaninen	3	130	3000	500
Skeleton Tech.	USA	Nanorak. hiili	Orgaaninen	3-5	250	110	9,6
Superfarad	Ruotsi	Hiilikuituyhd.	Orgaaninen	40	250	5000	200-300

Evans Capacitor Company (USA) valmistaa sähkökemiallisia ja elektrolyytti-sähkökemiallisia kondensaattoreita tuotemerkeillä Capattery®, Hybrid® (US patent 5,369,547) ja MegaCap® (Kuva 104 ja Taulukko 35). Evansin hybridikenoissa on RuO₂-katodi ohuena kerroksena tantalum-folion pinnalla rikkihapossa ja Ta₂O₅-anodi fosforihapossa.

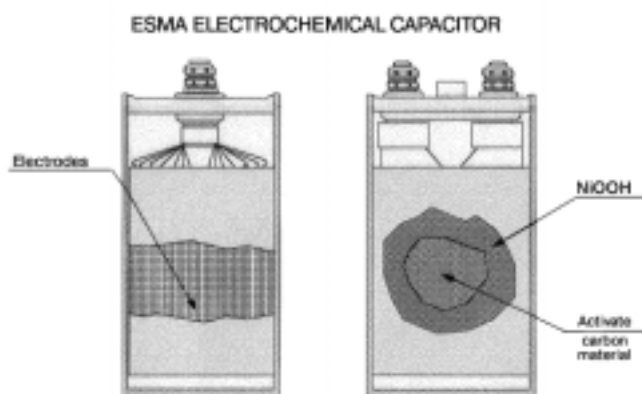


Kuva 104. Evans-hybridikondensaattorimalleja [43]

Taulukko 35. Evans-kondensaattoreiden ominaisuuksia. [43]

Tuote	Tyyppi	Kapasitanssi/ μF	Jännite/ V	Paino/ g	Käyttökohde
THQ	Hybridi	1000–200 000	6–125	20–99	tehonsyöttö, aseet, suotimet, lentokone-elektroniikka, kommunikointivälineet
THQA2	Hybridi	180–15 000	6–125	8	-??-
Capattery	Sähkökem.	0,010–1,5	5,5 & 11	20–75	muistin back-up, aseet, pulssiteho. –55°C~+85°C

ESMA [44] (Venäjä) valmistaa epäsymmetrisiä hybridikondensaattoreita., joissa kato-dina on hiielelektrodi ja anodina NiOOH-elektrodi ja elektrolyytti on KOH- vesiliuosta (Kuva 105).



Kuva 105. ESMA:n epäsymmetrisen kondensaattorin rakenne. [44]

Loppuasiakkaalle myytävä tuote on useista kondensaattorikernoista muodostettu mo-duuli (106 ja Taulukko 36).



Kuva 106. ESMA:n hybridikondensaattorikennoja ja moduuleja. [44]

Taulukko 36. ESMA:n hybridikondensaattorimoduuleja ja niiden käyttösovelluskohteita. [44]

Tyyppi	*)	Max. jännite /V	Energia/ kJ (25°C)	Vastus mΩ (25°C)
10EC104	S	16,0	30	6
20EC104	S	32,0	60	12
30EC104	H,U	48,0	100 (85)	18
10EC204	T,U	17,5	760 (360)	5
30EC204	T,U	52,0	2 300 (1 000)	15
10EC303	U	17,5	360	2
30EC303	U	52,0	1 000	6
10EC353	T,U	17,5	760 (360)	5
30EC353	T,U	52,0	2 300 (1 000)	15
10EC402	S	16,0	95	3
20EC402	(12V), S	16,0	190	2
20EC402	(24V), S	32,0	190	6
30EC402	H,U	48,0	310 (270)	9
10EC404	S	17,5	110	4
20EC404	S	35,0	220	8
30EC404	U	52,0	330	12
10EC405	S	16,0	115	5
20EC405	(24V), S	16,0	230	3
20EC405	(12V), S	32,0	230	10
30EC405	S,U	48,0	370 (320)	15
10EC501	S	16,0	55	3
20EC501	(12V), S	16,0	110	2
20EC501	(24V), S	32,0	110	6
30EC501	H,U	48,0	180 (160)	9

*) Sovellusalue:

S = polttomoottorin käynnistys, T= sähköajoneuvot, U = UPS, H = hybridiajoneuvot

NESS Capacitor Co., Ltd. [45] (Korea) valmistaa 2-kerros- ja pseudokondensaattoreita. Pseudokondensaattoreissa käytetään elektrodimateriaalina hiilen sijasta metallioksidia suuremman energiatiheyden saavuttamiseksi (Kuva107).



Kuva 107. NESS-pseudokondensaattorimalleja. [45]

NESS-ultrakondensaattorit (EDLC)

- edullinen aktiivihiilipurverimateriaali
- korkeampi kennojännite (2,3V & 2,7V ja 3,0V)
- suuri energiatiheys (2,7V 5 000F Prismatic: 5,8Wh/kg, 7,1Wh/l)
- matala ekvivalenttinen sarjaresistanssi (2,3V 3 500F Prismatic – DC 100A: 0,4 m, AC 100Hz: 0,3 m)
- sovellusalueet: sähköajoneuvot, hybridiajoneuvot, UPS, toimilaitteet, leikkikalut, kulutuselektronikka ja langaton kommunikointi

NESS-pseudokondensaattorit

- suuri energiatiheys
- uutta tekniikkaa, jolla paljon tulevaisuuden sovellusalueita

[Maxwell](#) (USA) valmistaa ultrakondensaattoreita. Esim. PC2500-ultrakondensaattorin kapasitanssi on 2 500 F, jännite 2,5 V, energia 2,3 Wh, ominaisenergia 3,2 Wh/kg ja nimellisvirta 400 A.

[Tavrima](#) (Canada) valmistaa kaksikerroskondensaattoreita (ultrakondensaattorit) eri sovelluksiin mm. hybridi- ja sähköajoneuvoihin (Taulukko 37).

Taulukko 37. Tavrیمان ultrakondensaattoreita.

Energia kJ	Jännite V	Kapasitanssi F	Massa kg	Kork.@ halk mm 226	Sovellusalue
6	14	60	7	100	4-syl. autot
9	14	100	11	125	6-syl. autot
16	14	160	16	170	8-syl. autot & trukit
28	28	55	20	280	Ajoneuvot (maasto)
34	28	85	22	300	Trukit ja bussit
40	96	8.5	31	390	Junat
40	64	23	34	420	Veturit
40	300	0.85	32	410	Sähkönjakelu
40	36	62	24	340	Autot (aurinkoenergia)
45	185	2.6	25	380	Pulssim. tehon syöttö
44	140	4.5	22	380	Pulssim. teho
6	300	0.13	10	300	Sähkömagn. kytkimet
20	150	2	18	200	Magneettiset toimilaitteet
40	160	2	21	300	Sähkönjakelu
90	300	2	35	559	Hybridi- ja sähköajoneuvot

5.2.6 Mikro- ja nanotekniikkaa hyödyntävät varastot

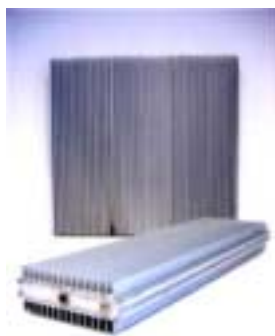
Hiilinanotekniikkaa voidaan hyödyntää mm. polttokenno-, akku- ja kondensaattoritekniikoissa. Nec Corporation on kehittänyt pienen polymeeripolttokennon (PEFC), jossa käytetään hiilinanoputkimateriaalia (nanosarvia) elektrodeissa (Kuva 108). Tällä polttokennolla on kymmenkertainen energiakapasiteetti litiumakkuihin verrattuna. [22]



Kuva 108. Hiilinanotuubipolttokennot. [22]

5.2.7 Lämpö- ja kylmävarastot

Climator AB on ruotsalainen 1979 perustettu yritys, joka valmistaa faasinmuutosmateriaaleja tuotenimellä Climsel. Climsel materiaaleja on saatavissa faasinmuutosalueelle 7–70 °C. Yrityksen faasinmuutos-tekniikkaan perustuvia tuotteita ovat mm. eri kokoiset lämpöpatterit (109). Lämpöpattereita voi käyttää mm. aurinkoenergiajärjestelmän lämpövarastoina, jolloin varaston koko pienenee. Pienellä lämpötila-alueella PCM-varasto on 10 kertaa ja laajalla lämpötila-alueella 3–4 kertaa tehokkaampi kuin vesi. Pattereiden varastointikapasiteetti vaihtelee tyypistä riippuen alueella 266 Wh–505 Wh. [116]



Kuva 109. PCM-materiaalilla (eutektinen suola) täytetty lämpövarasto [116].

Teap Energy valmistaa PCM materiaaleja eri lämpötila-alueille (Taulukko 38).

Taulukko 38. Teap Energyn PCM materiaaleja. [98]

TEAP Energy :PCM	Sulamislämpö	Latenttilämpö
TEA -4	-4°C (269 K)	130-300 kJ/kg
TEA -10	10°C (263 K)	130-300 kJ/kg
TEA -16	-16°C (257 K)	130-300 kJ/kg
TEA -21	-21°C (252 K)	130-300 kJ/kg
TEA -31	-31°C (242 K)	130-300 kJ/kg
TH29	29°C	175-225 kJ/Kg
TH58	58°C	175-225 kJ/Kg
TH89	89°C	175-225 kJ/Kg

[Kemira](#) valmistaa jäähdytinainetta tuotenimellä Freezium. Freezium on myrkytön kaliumformiaatti (HCOOK), jota voidaan käyttää välillisten jäähdytysjärjestelmän (esim. maalämpöpumppujärjestelmän) lämmönsiirtoaineena. Freeziumia on saatavissa eri lämpötila-alueille (-15 °C–60 °C).

Jäähdytysjärjestelmätoimittajia [127]:

- [Baltimore Aircoil Co.](#) toimittaa 300–5 000 kWh:n paketteja, jotka toimivat ”Secondary coolant external melt ice-on-coil” -menetelmällä (toisiojäähdytys lämmönvaihtimella ja jääsäiliöllä).
- [Calmac Manufacturing Corp.](#) toimittaa ICEBANK®-jäähdytysjärjestelmiä, jotka toimivat ”Internal melt on ice” -menetelmällä.
- [Chicago Bridge & Iron Co.](#) toimittaa suuren mittakaavan jäähdytysjärjestelmiä ja kehittää jääslurrijärjestelmiä.
- [Dunham-Bush](#) tarjoaa järjestelmiä, jotka toimivat ”Internal melt on ice”-menetelmällä.
- [Paul Mueller Co.](#) valmistaa ”ice-harvesting”- ja jääslurrijärjestelmiä.
- [Turbo Refrigeration](#) valmistaa ”ice-harvesting”-järjestelmiä.

Suomalaisia lämpöpumpputoimittajia:

- [Lämpöässä](#) valmistaa maalämpöpumppujärjestelmiä (Kuva 110). Lämpöässä mallistoja on kolme V-, T- ja 200-mallistot. V-mallistoa, joka lämmittää täysin omakotitalon ja tuottaa lämpimän käyttöveden. V-mallistossa on varaaja mukana. Laitteen lämmitysteho on 8–20 kW. T-mallien tehoalue on 8–40kW.



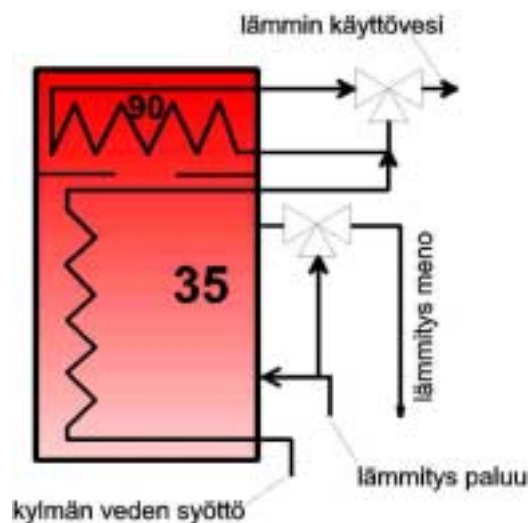
Kuva 110. Lämpöässä mallistoa.

- [Geopro Systems Oy](#) (Oilon) valmistaa Geopro GS maalämpöpumppujärjestelmiä lämpöteholtaan 4,9–8,8 kW (Kuva 111).



Kuva 111. Gepron maalämpöpumppujärjestelmä.

- [Ekowell](#) myy Thermoystems Oy:n valmistamia lämpöpumppuja malleja EVT 500–1000 lämmitysteholtaan 7,7–11 kW, ECT 300–400 lämmitysteholtaan 5 ja 6,5 kW sekä EPT malleja 300–3000 lämmitysteholtaan 5–32 kW. Ekowell-lämpöpumpuissa käytetään yhdistelmävaraajia, joissa on erilliset lauhdutus- ja tulistusosat. Edellämainittujen osien yhteistilavuudet ovat: EVT-mallit 360 litraa, ECT-mallit 260 litraa ja EPT-mallit 560–2 000 litraa (erillinen varaaja). Ekowell-varaajissa ei varastoida happipitoista lämmintä käyttövettä vaan lämpöenergiaa, joka on sitoutunut hapettomaan lämmitysverkoston veteen (Kuva). Malleissa on mm. viikkokello ja kotona-poissa-toiminto sekä sarjaportti ja modeemyhteys.



Kuva 112. Ekowell-varaajan periaatekuva.

- [Ceres](#) (suom.) maalämpöpumppumallisto kattaa teholuokat 5,5–32 kW. 200-mallit ovat täydellisiä lämpökeskuksia, 100-mallit ovat edullisia erilliseen varaajaan kytkettäviä maalämpöpumppuja, 1205-mallit on suunniteltu erityisesti öljylämmityslaitteistojen rinnalle ja kaksipiiriset mallit on tarkoitettu isompien kohteiden maalämpöpumpuiksi ja niissä on mahdollisuus useamman pumpun rinnankytkentään.

Suomalaisia varaajien ja kattiloiden valmistajia [137]:

- [Jämätek Oy](#) valmistaa mm. Jämä-energiavaraajia ja VL100/160/220/300M-vedenlämmittäjiä. Jämä Elmeri (75 kWh ja 110 kWh) energiavaraaja on suunniteltu varaavan vesikiertoisen sähkölämmityksen energiavaraajaksi, johon voidaan liittää myös kiinteän polttoaineen kattila. Elmeri voidaan liittää myös lämpöpumppuun. Elmeri-varaajissa on valmiiksi asennettuna yö/kausisähkövarausautomaattiikka. Säätöyksikkö on varustettu tehonvalvonta-automaatiikalla, joka seuraa energiankulutusta. Automaattiikka huolehtii mahdollisesta lisälämmöntarpeesta päivällä.

- [Kaukora Oy](#):n päätuotteita ovat JÄSPI-käyttöveden lämmitin, keskuslämmitys-kattilat (pienkattilatehot 15–450 kW; öljy, sähkö, ja puu), lämmönsiirtimet ja läm-pötekniset erikoistuotteet. Yritys valmistaa myös energiavaraajia (mm. Jäspi GTV 270 ja GTV 500 ja Ovali) edullisen yösähkön hyödyntämiseen tai öljy/kaasukattilan ja puukattilan rinnalle. Uusissa Jäspi-varaajamalleissa on aurinko tai maalämpö-energian hyödyntämistä varten kierukan liitännät valmiina.
- [Thermia](#) valmistaa myös lämminvesivaraajia ja pientalokattiloita eri polttoaineille kuten öljy, kaasu, puu ja hake. Uusi SolarMax®-kattilavaraaja antaa öljylämmittä-jälle mahdollisuuden myös uudistuvan lämmitysenergian, aurinkolämmön, käyttöön. Kattilassa on valmiina kaikki tärkeät komponentit ja liitännät aurinkolämmön tuo-tantoa varten. Vesitila on 305 l. SolarMaxin nimellisteho on 17 kW ja kattilaan on asennettu valmiiksi myös 6 kW:n sähkövastus. Hyötysuhde on 94,0 % ja lämpimän veden tuotto 250 litraa +45-asteista vettä 20 minuutissa.
- [Termocal](#) valmistaa Termax-kiinteistökattiloita tehoalueella 40–1 900 kW ja oma-kotitalokattiloita 80–400 m²:n taloihin sekä Termax 300 l:n ja 600 l:n varaajia. Termax Osby PB2 -kattila on tarkoitettu kuiville polttoaineille, kuten pelletti ja puu-briketti. Termax 25 Quattro on omakotitalojen lämmitykseen soveltuva moniener-giakattila, jossa polttoaineena voi olla öljy, pelletti tai puu, ja stokerpolttimella turve tai hake. Lisävesivaraaja on varustettu aurinkokierukalla.
- [Livite](#) valmistaa öljy-/kaasu- ja biolämpökeskuksia. Öljy-/kaasulämpökeskuksia valmistetaan tehoalueella 0,1–60 MW lämminvesi- tai höyrykäyttöön.
- [Cetetherm](#) valmistaa Suomessa lämmönjakokeskuksia pientaloihin. Lämmönjako-keskukset mitoitetaan tapauskohtaiseksi siten, että keskus on kaukolämpöön liitet-tyjen kiinteistöjen lämmönsiirtoyksikkö, joka sisältää kaikki komponentit (= lämmönsiirtimet, pumpput, säätöautomaatiikan ja putkistovarusteet) valmiina ko-konaisuutena. Yritys valmistaa lisäksi lämmönsiirtimiä ja lämminvesivaraajia.
- [HT Enerco Oy](#) on vuonna 2000 perustettu yritys, jonka toimialaan kuuluu biopoltto-ainekattiloiden (20–1000 kW) valmistus ja myynti.

Suomalaisia jäähdytinlaitevalmistajia:

- [Fincoil](#)-Teollisuus Oy valmistaa sekä höyrystimiä että nestekiertoilmajäähdyttimiä kiinteistöihin ja teollisuudelle.
- [Ekocoil](#) valmistaa ilmastointipattereita, joita voidaan käyttää sekä jäähdytykseen että lämmitykseen.

6. Energian varastointiin liittyvä tutkimustyö

6.1 Tutkimustoiminta Suomessa

Suomessa energian varastointiin liittyvää tutkimustoimintaa on useiden vuosien ajan ollut Teknillisessä korkeakoulussa ja Tampereen teknillisessä korkeakoulussa.

- 1) TKK:n Materiaalien valmistustekniikka (prof. Michael Gasik) antaa alan ylintä opetusta ja harjoittaa kansainvälisesti korkeatasoista tutkimusta seuraavilla aloilla: materiaalien valmistustekniikka, jauhemetallurgia, uudet materiaaliratkaisut ja niiden valmistusmenetelmien ja -prosessien kuljetusilmiöiden tietokonepohjainen ja kokeellinen mallinnus. Laboratorion ydinosaamisena on ketjun "materiaalien suunnittelu–valmistus–rakennusominaisuudet–testaus–käyttö" termodynaamis-materiaalitieteellinen mallinnus, tulkinta ja hallinta. Energian varastointiin liittyvänä tutkimuksena laboratorio koordinoi hankkeen "Polttokennon suoritusosan parantaminen" (Tekes 2000–), osallistuu mm. NEFin (National Energy Foundation) ohjelmaan sekä tekee yhteistyötä Japanin ja USA:n kanssa (energiatuotanto, konversio, uudet materiaaliratkaisut).
- 2) TKK:n Energiatieteet-laboratoriossa (prof. Peter Lund) energian varastointikysymykset ovat olleet esillä 80-luvun alusta lähtien. Osaamista on mm. lämmön varastoinnissa (vetyperustaiset sähkövarastot, vedyn varastointi, akut). Systeemi puolen osaamista on runsaasti. Käytössä on monia simulointityökaluja sekä erilaisia tutkimuslaitteita ja -järjestelmiä. Tekes/NEMO-ohjelmassa varastointi oli yksi painopistealue, jossa toimintaa oli runsaasti. Toiminta on kansainvälisellä tasolla ja tunnustettu. Tuloksista on raportoitu kansainvälisesti. Väitöskirjoja ja lukuisia kansainvälisiä kontakteja on syntynyt. Osaamista on kaupallistettu.
- 3) TKK:n LVI-laboratoriossa (prof. Kai Siren) on keskitytty lähinnä rakennusten lämmön ja kylmän varastointisovelluksiin, mm. faasinmuutosmateriaalien käyttöön rakenteissa. Yksiköllä on asiaan liittyviä julkaisuja. Piia Lamberg valmistelee väitöskirjaa faasinmuutosvarastoista.
- 4) Tampereen teknillisen yliopiston Energia- ja prosessitekniikan laitos (Antero Aittomäki) tutkii hiilidioksidin käyttöä jäähdytysjärjestelmissä ja kehittää lämpöpumppeja. Polttotekniikan tutkimukseen (Antti Oksanen) kuuluu mm. polttotekniikan päästömallinnus, jonka avulla voidaan auttaa säättämään polttimia ja selvittää kattiloiden päästötaso.

Tampereen teknillisen korkeakoulun sähkömagneetiikan laitos (Risto Mikkonen) on tutkinut suprajohtavuutta noin 20 vuoden ajan. Sovelluksissa on keskitytty pääasiassa energiatekniikkaan ja siinä erityisesti energian varastointiin. Laitoksella on valmiudet ja taitotieto suunnitella ja konstruoida sekä perinteisistä että korkean lämpötilan suprajohdemateriaaleista eri kokoluokan energiavarastoja. Jo 1980-luvun puolivälissä rakennettiin useita heliumjäähdytteisiä pulssimagneetteja, joita yleisesti voidaan hyödyntää

esimerkiksi siirtoverkon stabiloinnin yhteydessä. 1990-luvun puolivälissä rakennettiin mekaanista jäähdytyslaitteistoa käyttävä ja korkean lämpötilan suprajohdeita hyödyntävä energiavarasto lyhyiden sähkökatkosten hallintaan.

- Noin vuosi sitten valmistui Nb₃Sn-materiaalia hyödyntävä, mekaanisesti jäähdytetty, noin 0,2 MJ:n energiavarasto. Projektin rahoittajina olivat Outokumpu Copper Special Products, Superconductors Oy, Tekes, Fortum Oyj, Teollisuuden Voima Oy, ABB Industry Oy, Machines ja TTKK.
- Projektin tavoitteina oli
 - rakentaa ja koekäyttää suprajohdava sähkömagneettinen energian varasto (SMES)
 - saada käytännön kokemusta Outokumpu Superconductors Oy:n toimitamalle Nb₃Sn-johteelle
 - tehdä selvitys suprajohtavuuden energiasovellusten tämänhetkisestä tilanteesta.
- Hankkeen SMES:
 - Tasavirtajärjestelmä.
 - Ladattaessa vaihtovirralla ja käämiä purettaessa käytetään AC/DC muunninta.
 - Energia (n. 0,2 MJ) varastoidaan suprajohdavan käämin luomaan magneettikenttään.
 - Mekaanisesti jäähdytetty eli käämitykseen on kiinnitetty metallikontaktipinta, jota jäähdytetään kryojäähdyttimellä.
 - Käämirakenne on valmistettu niobi-tinapohjaisesta suprajohdeesta.

VTT:llä on tällä hetkellä käynnissä kaksi polttokennoihin liittyvää projektia, joiden kokonaislaajuus VTT:n osalta on 1,4 miljoonaa €/vuosi. Kumpaakin projektia toteutetaan verkottuneena, yhteistyössä usean TKK:n ja Åbo Akademin tutkimusryhmien kanssa. VTT:ssä projekteihin osallistuu useita tutkimusryhmiä. Projektien rahoittajina toimivat Tekes, VTT ja teollisuus. Molemmat projektit ovat osa VTT:n strategista Puhdas maailma -teknologiateemaa. VTT osallistuu IEA Advanced Fuel Cell -työryhmien ja EU:n polttokennoverkoston työhön. Lisäksi yhteistyötä on usean ulkomaalaisen tutkimuslaitoksen ja teollisuuden kanssa. Projektit ovat:

- BIOPEM, projektipäällikkönä Matti Valkiainen: tutkitaan ja kehitetään PEM-polttokennoa, sen materiaaleja ja sitä hyödyntäviä järjestelmiä.
- FINSOFC, projektipäällikkönä Jari Kiviaho: tutkitaan ja kehitetään SOFC-polttokennojärjestelmiä aina polttoaineen prosessoinnista sähkön ulosottoon saakka.

Tekesin energia- ja ympäristötekniikan alueelle sijoittuva ”Hajautettujen energiajärjestelmien teknologiat 2003–2007” -teknologiaohjelma käynnistyi vuoden 2003 alussa. Ohjelmassa kehitetään paikallisia pienen teholuokan energian muunto-, tuotanto- ja varastointijärjestelmiä sekä niihin liittyviä palveluja. Ohjelman kokonaisbudjetiksi on arvioitu 47 miljoonaa euroa. [92]

6.2 Kansainvälistä tutkimustoimintaa ja -ohjelmia

Euroopan unionin energian tutkimusohjelmiin liittyvät puiteohjelmat FP2 – FP5 ovat rahoittaneet sekä kiinteisiin että liikuteltaviin kohteisiin soveltuvien energian varastointitekniologioiden ohjelmia. FP2 – FP4:n JOULE-ohjelmissä käsiteltiin energian varastointiin liittyviä materiaaleja, prosesseja, komponentteja ja integrointia. FP5:n toiminnot sisälsivät testauksen, vertailun ja prototyypin demonstraatiot. Euroopan unionin neuvoston erityisohjelman ”Eurooppalaisen tutkimusalueen integrointi ja lujittaminen” (2002–2006), mukaisesti myös energian varastointiin liittyvät kysymykset ovat yhtenä ”Kestävät energiajärjestelmät” -tutkimuksen painopistealueena: ”—*Tutkimuksessa keskitytään seuraaviin aihepiireihin: tärkeimpien uusien ja uusiutuvien energialähteiden kustannustehokkuuden, suorituskyvyn ja luotettavuuden parantaminen; uusiutuvien energialähteiden integrointi ja hajallaan sijaitsevien energialähteiden tehokas yhdistäminen, nykyistä puhtaampi perinteinen laajamittainen energiantuotanto; energian uusien varastointi-, jakelu- ja käyttöratkaisujen toimivuuden osoittaminen.*” [70]

Euroopan komission ohjelman (2001–2003) Investire Networkin energian varastointiin liittyvän aihe-alueen ”Investigation on storage technologies for intermittent renewable energies” tavoitteena on tarkastella uusiutuviin energialähteisiin perustuvaan tuotantoon (esim. aurinko- ja tuulienergia) liittyviä varastointitekniikoita ja edistää informaation vaihtoa ja esittää 5–10 vuoden tavoitteet. Projekti tarkastelee yhdeksää varastointitekniikkaa: lyijyakut, nikkeli- ja litiumakut, superkondensaattorit, elektrolysaattorit ja H₂-polttokennot, vauhtipyörät, redoksiakut, paineistettu ilma- ja metalli-ilmatekniikat. Kuttakin teknologiaa tarkastellaan teknisestä, taloudellisesta ja ympäristösuojelullisesta näkökulmasta. [91]

International Energy Agency:n (IEA) energiavarastointiin liittyvän ohjelman Annex 17 -osa-alue keskittyy lämpöenergian varastoinnin faasinmuutosmateriaalien ja kemiallisten reaktioiden alueeseen. Ohjelma on käynnistynyt vuoden 2001 alusta ja jatkuu vuoden 2004 puoliväliin. [115]

[Kungliga Tekniska Högskolan \(Ruotsi\)](#), Chemical Engineering and Technology -laitoksella kehitetään hybridiä (Ni-C) superkondensaattoria. Projekti on alkanut

1.01.2001 ja päättyy 30.09.2003. Lisäksi laitoksella tutkitaan nanorakenteista hiiltä, polttokennoja (PEFC, DMFC ja MCFC) ja litium-polymeeriakkuja.

Suprajohteita koskevaa tutkimustoimintaa on Euroopassa eniten Saksassa (Taulukko 39). Italiassa ja Espanjassa on tutkittu matalan lämpötilan SMES-järjestelmiä. Suomessa on tehty sekä korkean että matalan lämpötilan SMES- järjestelmien tutkimusta ja kehitystä Tampereen teknillisessä korkeakoulussa.

Taulukko 39. Suprajohteisiin liittyvää tutkimustoimintaa Euroopassa. [28]

Maa	Organisaatio	Tyyppi	Erittelyt
Suomi	TTKK	HTS μ SMES	160 A / 200 V, 5 kJ
Suomi	TTKK	LTS μ SMES	275 A / 200 V, 0,2 kJ
Saksa	EUS DmbH	HTS μ SMES	100 A / 200 V, 8 kJ
Saksa	ACCEL	HTS μ SMES	80 A / 400 V, 150 kJ
Saksa	ACCEL	LTS μ SMES	1 kA / 400 V, 2 MJ
Saksa	FZK	LTS μ SMES	2,5 kA / 6 kV, 0,22 MJ
Saksa	FZK	LTS μ SMES	300A / 700 V, 0,25 MJ
Saksa	TU Munich	LTS μ SMES	1380 A / 3 kV, 1 MJ
Italia	CESI	LTS μ SMES	1 MVA, 4 MJ
Espanja	ASNEL	LTS μ SMES	1 kA / 500 V, 1 MJ

USA:ssa Department of Energyn energian varasto-ohjelma [77] on vuosina 1997–2001 rahoittanut 21,6 milj. dollarilla tutkimus- ja kehitystoimintaa. Vuoden 2002 rahoitus käsitti 2,6 milj. dollaria varastointijärjestelmän integraatioon, 2,4 milj. dollaria avainkomponentteihin ja 1,0 milj. dollaria analyyseihin. Ohjelman tavoitteena on kehittää, testata ja seurata integroituja energianvarastointitekniologioita laajalla sovellusalueella, kuten esimerkiksi

- selvittää ja tehdä taloudellisia tarkasteluja Alaskan ja Kalifornian tämänhetkisistä energiavarastoista
- kehittää ja suorittaa kenttätetit sinkki-bromijärjestelmille
- kehittää litium-ionijärjestelmiä tietokonesovelluksiin
- kehittää suprajohtavilla laakereilla varustettuja vauhtipyöriä
- kehittää uusi ”emitter turn-off” -tyristori nopeaa suuritehoista kytkentää varten
- kehittää älykäs hybridi-järjestelmäohjain.

Ohjelman mukaan energiajärjestelmiin sisältyvää markkinapotentiaalia on seuraavilla alueilla:

- Energiavarastot voivat säästää miljoonia dollareita korkean teknologian teollisuuden seisokki- ja korjauskustannuksia.

- Tuulivoimapuistojen yhteydessä energiavarastot mahdollistavat sähkön myynnin paremmalla hinnalla tehokkaammin.
- Energiavarastot mahdollistavat kysynnän vaihtelujen ja huippukuormituksen hyödyntämisen.

EPRI:llä (The Electric Power Research Institute, USA) on meneillään kaksi energian varastointiin liittyvää ohjelmaa: ”Energiavarastot energian siirron ja jakelun sovelluksiin” ja ”Energiavarastot ja tehoelektroniikka sähkön laadun hallinnan sovelluksiin”. Ohjelmat ajoittuvat vuosille 2003–2004. Energian siirtoon ja jakeluun liittyvässä ohjelmassa päätavoitteena on jakeluverkon huippukuormien hallinta (aikajaksolla 6 min–10 tuntia). Ohjelmassa on neljä projektia, joiden tavoitteena on tuottaa energiavarastoja koskeva käsikirja, kenttäkokeita, teknologiaa ja työkaluja. Sähkön laadun hallintaan liittyvässä ohjelmassa tavoitteena on tuottaa eri teollisuuden alueille tuotteita, joilla on suurempi jännitekuoppien ja hetkellisten katkosten sietokyky hyödyntämällä energian varastointitekniikoita, jotka toimivat aikajaksolla 2 sekuntia–2 minuuttia. Ohjelma koostuu neljästä osaprojektista, joiden päämääränä on tuottaa sulautettuja ratkaisuja teollisuusprosesseille (standardeja, tuotteita ja testausta), sähkön laadun hallinnan sovelluksia hybrideille monienergiajärjestelmille, sähkön laadun hallinnan liityntäpinnan suunnitteluspesifikaatiot suuren mittakaavan energian varastointijärjestelmille ja sähkön laadun hallinnan tuotteiden toiminnan testausta ja soveltamisoppaita. [124]

6.3 Energian varastointiin liittyvä standardointi- ja ohjeistustoiminta

Varsinaisesti energian varastointia koskeva standardointi ja ohjeistus on kehittymässä yhdessä hajautettuun energian tuotantoon liittyvien standardointitoimien mukana. Esim. IEEE:n standardointikomitea on perustanut SCC21:n (Standards Coordinating Committee), joka on polttokennoihin, aurinkoenergiaan, hajautettuun energian tuotantoon ja energian varastointiin liittyvän standardoinnin koordinoitukomitea. Komitea esitarkastaa alueeseen liittyvien standardien sisällön vaatimustason, tason ja yhteneväisyyden kriteerien täyttymiseksi, ennen kuin ne esitellään IEEE-SA-standardointilautakunnalle. IEEE P1547.3 -työryhmä on valmistellut oppaan sähkönjakelujärjestelmiin liittyvän hajautetun energian tuotannon monitoroinnista, informaation vaihdosta ja ohjauksesta (Draft Guide For Monitoring, Information Exchange, and Control of Distributed Resources Interconnected with Electric Power Systems). Opas käsittelee myös energian varastointia. Vastaavasti IEEE P1547.1 käsittelee hajautetun energiantuotannon laitteiden testausproseduureja ja IEEE P1547.2 laitteiden liityntää sähkönjakeluun [88]. IEEE SCC29 -standardien koordinoitukomitean alueeseen kuuluvat kiinteitä akkuja koskevat standardit. [89]. IOS TC 22/SC 21/WG käsittelee mm. kuljetuslaitteisiin liittyvien energian varastoinnin asennusta. Myös IEC/ANSI-standardit käsittelevät energian varas-

tointiin liittyviä tekniikoita [90]. Energian varastointia koskevia standardeja on esitelty lähemmin liitteessä 1.

6.4 Energian varastointiin liittyvä patentointi

Energian varastointia koskevia voimassa olevia patenteja löytyy maailmanlaajuisesti tarkastellen kymmeniä tuhansia. Eri teknologioiden kuten akkuihin ja vauhtipyöriin liittyvät perusratkaisuihin liittyvät patentit ovat jo osittain vanhentuneita. 90-luvun loppupuolella alkanut voimakas energian varastointiteknologian kehitystyö on selkeästi nähtävissä myös patenttien määrän kasvuna. Patenttikartoituksen tuloksia on esitetty liitteessä 2. Patenttikartoitus on tehty käyttäen mm. Saksan patenti- ja tavaramerkkiviraston (Deutsches Patent- und Markenamt) internetissä ylläpitämää DEPATISnet-palvelua, jossa on mukana useita patenttivirastoja, mm. Saksa, EP, US, PCT/WO, Itävalta, Sveitsi, Ranska, Iso-Britannia ja Japani [93].

7. Energian varastointitekniikkaan sisältyvät liiketoimintamahdollisuudet Suomessa

7.1 Yleistä

Suurin osa energian varastointitekniikoiden peruseräkkeistä on kehitetty jo vuosikymmeniä sitten. Uudet tarpeet, mm. sähkön laadun hallinnan korostunut merkitys, uusiutuvien energialähteiden lisääntyvä käyttö, sähkön jakelun ongelmat ja hajautettu sähkönjakelu sekä esim. hybridiajoneuvojen kehittäminen ovat nostaneet myös energian varastointiin kohdistuvan kehityksen uudelleen ajankohtaiseksi kaikkialla maailmassa. Energiavarastoihin liittyvällä teknologialla on arvioitu olevan merkittävä positiivinen vaikutus teollisuuden kilpailukykyyn ja esim. Pearl Streetin arvion [68] mukaan sillä on 175 miljardin dollarin positiivinen vaikutus USA:n talouteen seuraavan 15 vuoden aikana.

Energian varastointitekniikka kaikkine oheisjärjestelmineen ja ohjelmistokehitystarpeineen luo merkittävän uusien kaupallisten tuotteiden kehitys- ja markkinapotentiaalin myös suomalaiselle teollisuudelle. Suomen teollisuuden ja tutkimusorganisaatioiden läheiset kontaktipinnat Keski-Euroopan hajautettua energiantuotantoa voimakkaasti hyödyntävien maiden teollisuuteen ja aktiivinen toiminta EU:n hajautettuun energiantuotantoon liittyvien tekniikoiden kehitysyhteistyöprojekteissa (mm. VTT Prosessien yhteydet EU:n hajautetun energian tuotantoon liittyviin projekteihin) luovat edellytykset Suomen teollisuudelle päästä mukaan tähän uuteen teknologiatuotantoon.

7.2 Haastattelututkimus

Tässä esiselvitystyössä kartoitettiin suomalaisten yritysten ja korkeakoulujen kiinnostusta, osaamista ja tarpeita energian varastointiin liittyvään tutkimukseen. Kysely lähetettiin sähköpostitse ja sitä täydennettiin puhelinhaastatteluilla. Vastausprosentti oli henkilöittäin tarkasteltuna 56 % ja yrityksittäin 68 % (Taulukko 37).

Taulukko 40. Energian varastoinnin haastattelututkimuksen vastausprosentit.

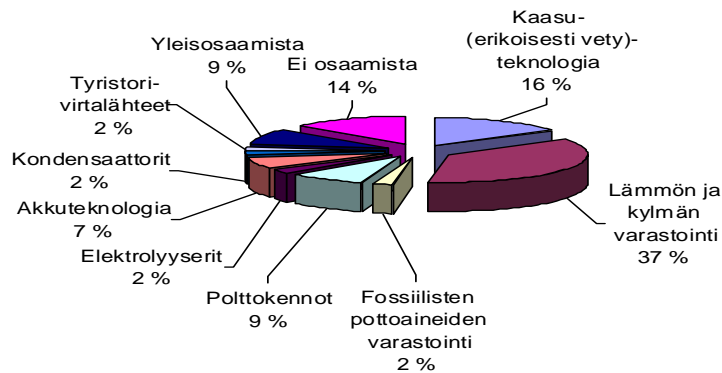
	Lähetetty/ henkilö	Lähetetty/ yritys	Vastauksia	Vastaus% henk	Vastaus% yritys
Laitevalmistajat	52	49	30	58	61
Prosessiteollisuus	12	6	5	42	83
Jakeluyhtiö/verkkoyhtiö	12	9	6	50	67
Korkeakoulut	6	3	5	83	167
Muut (yhdistys/konsultti)	7	6	4	57	67
Yhteensä	89	73	50	56	68

Haastattelututkimuksessa kysyttiin seuraavia asioita:

- 1) Yrityksen/yksikön osaaminen, valmiudet ja saavutetut tulokset energian varastointiin liittyvissä kysymyksissä.
- 2) Ajatukset ja odotukset energian varastoinnista:
 - varastointiteknologia
 - varastointiteknologian käyttöön liittyvä oheisteknologia (esim. verkkoon liityntäelektroniikka)
 - varastointiteknologian käyttö ja hyödyntäminen (käyttökohteet, edut, kustannukset, tulevaisuuden näkymät jne.)
 - Suomessa toimivien yritysten liiketoimintamahdollisuudet Suomessa ja ulkomailla.
- 3) Yrityksen/yksikön tulevat tutkimus- ja kehitystoimintaan liittyvät odotukset, kiinnostuskohteet ja tarpeet, mm:
 - mille energian varastointiteknologiaan liittyvälle alueelle tulevaa tutkimusyötä tulisi panostaa
 - minkä tyyppiseen energian varastointiin liittyvään tutkimushankkeeseen yrityksellä/yksiköllä olisi kiinnostusta osallistua?

7.3 Haastattelututkimusten tulokset

Yrityssektorille suunnatun kyselyn perusteella suomalaisilla yrityksillä on energian varastointiteknologian vaatimaa osaamista eniten perinteisillä alueilla kuten kaasu- ja erityisesti vetyteknologian alueella ja myös lämpö/kylmävarastoinnin alueella (Kuva 113). Viime vuosien polttonoihin liittyvien kehitysprojektien ansiosta myös polttonoihin koskevaa tietämystä löytyi. Osa yrityksistä ilmoitti, ettei omaa mitään energian varastoinnin edellyttämää erityisosaamista, mutta vain muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta yritykset olivat kuitenkin kiinnostuneita asiasta ja valmiita seuraamaan alalla tapahtuvaa kehitystä. Yritysten kiinnostusten painoalueet vastasivat osaamisalueita (Kuva 113).



Kuva 113. Kyselyyn vastanneiden yritysten energian varastointitekniikkaan liittyviä osaamisalueita.

Tutkimuslaitos- ja korkeakoulutahoilla löytyi energian varastointitekniikoista yleisosaamista ja erityisosaamista mm. lämmön/kylmän varastoinnin, kaasuteknologian, akku- ja polttokennoteknologian, SMES-järjestelmien sekä materiaalitekniikan alueelta.

Energian varastointia koskevan tutkimustoiminnan painopistealueina nähtiin mm. seuraavat:

1. Yleisesti varastointitekniikka, kehitystilanne, edut, käytettävyys ja tuotekehitysmahdollisuudet.
2. Vedyn käsittely ja varastointi (mm. metallihydrideihin ja nanoputkiin).
3. Sähkön varastointitekniikat yleisesti.
4. Vauhtipyörien kehitys.
5. Lämpö- ja kylmävarastot (myös suuret kalliovarastot, kaukolämpö).
6. Uusien jäähdytysaineiden (CO₂, ammoniakki, palavat hiilivedyt) käyttö kylmätekniikassa.
7. Ulkoilman ja kalliokylmän käyttö lämpöpumpusovelluksissa.
8. Lämmityskattiloiden kustannustehokkuuden ja palamisen säädön kehitys. Puupolttoaineen käsittelyn ja kuljetusmenetelmien kehitys. Aurinkoenergian hyödyntäminen.
9. Energiavarastojen käyttö ilmastoinnissa (kiinteistöjen jäähdytys).
10. Eri lämmönlähteiden hyödyntäminen jäähdytykseen ja lämmitykseen suurissa kiinteistöissä. Matalaenergiatalotutkimus. Lämmönvarastoinnin hyödyntäminen ilmastoinnin yhteydessä vuorokausivaihtelujen tasaukseen: teknis-taloudelliset tarkastelut.
11. Nestekaasun ja maakaasun käyttöön liittyvät tekniikat, kustannukset ja kaupallinen soveltaminen.

12. Liikkuviin järjestelmiin liittyvät varastointitekniikat.
13. Energiavarastot (lyijyakut, litiumakut, regener. sinkki-ilmapolttokennot yms.) teleliikenteen back-up-sovelluksissa AC-ulostulolla.
14. Sähkönjakelun hallinta kiinteistötasolla keskeytysten aikana.
15. Tuulivoimatekniikkaan liittyvä varastointi.
16. Kondensaattoritekniikan kehitys.
17. Varastointiteknologian verkkoon liitännälaitteet.
18. Siirto- ja jakeluverkkoon liityntä ja sovellukset
 - energiavarastojen verkkovaikutukset ja varastoille asetettavat vaatimukset
 - vähimmäisvaatimukset verkkoonliittymiselle
 - energiavarastojen käyttökelpoisuus teollisuuden jännitekuoppahaittojen pienentämisessä: tekniikka, kustannukset ja käytännön toteutus a) suuren ja b) pienen oikosulkutehon omaavassa verkossa
 - sähköenergian varastointi suuressa mittakaavassa vuorokausitasolla. Sähköenergiaa varastoitaisiin yöllä matalan kuormituksen aikana ja energiavarasto purettaisiin päivällä huippukuormituksen aikana sekä jakeluverkon että voimalaitosten yhteydessä.
 - lämpövarastojen hyödyntäminen sähkön ja lämmön yhteistuotannossa vuorokausitasolla: Kaupunkien kaukolämpöä tuottavissa laitoksissa lämpöä tuotettaisiin yöllä lämpövarastoon, jota sitten purettaisiin päivällä kaupungin kaukolämpötarpeisiin. Päiväsaikaan voimalaitoksen tasaisesti tuottama höyry hyödynnettäisiin sitten paremmin voimalaitoksen sähköntuotannossa, kun sähkön kulutus ja hinta on korkeampi.
 - nopean eroonkytkennän ja varavoiman käynnistymisen hallinta jännitteen ja taajuuden turvaamiseksi vian tai muun laukeamisen yhteydessä.

7.4 Yhteenveto haastattelututkimuksesta ja liiketoimintamahdollisuuksista

Korkeakouluissa, lähinnä Teknillisessä korkeakoulussa ja Tampereen teknillisessä korkeakoulussa, oli tutkimustyötä jo tehty useilla osa-alueilla, mm. polttokennotekniikan ja suprajohtavien magneettivarastojen alueella. Korkeakoulujen tutkijatasolla kiinnostusta oli koko varastointitekniikka-alueeseen ja tutkimustarpeita nähtiin sekä energian käyttöä tehostavan lämpö-kylmävarastointitekniikan, vedyn hyödyntämisen, polttokennosovellusten että SMES-järjestelmien alueella. Liiketoimintamahdollisuuksia omaavina alueina nähtiin mm. vetyteknologia, automaatiikka, systeemit, materiaalitutkimus, osaaminen

ja maaperän käyttö kausivarastona suurten rakennusten yhteydessä. Energian varastointin alueella nähtiin kaksi merkittävää aluetta: sähkön laadun parantamiseen tähtäävät teknologiat ja uusiutuvien energiamuotojen (aurinko, tuuli) yhteyteen integroituneet järjestelmät.

Kyselyyn vastanneet yritykset olivat pääsääntöisesti kiinnostuneita energian varastointiin liittyvästä tekniikasta ja sen kehittymisestä. Vaikka kansainvälisellä tasolla on energian varastointiin liittyvä teknologia vilkkaan kehityksen ja kiinnostuksen kohteena, ei Suomessa käytännössä olla vielä yleisellä tasolla tietoisia kaikista alan antamista mahdollisuuksista ja liikepotentiaalista. Lämpö- ja kylmäenergian varastointi on osittain vanhaa tekniikkaa mutta laajempi hyödyntäminen esim. kiinteistötasolla antaisi uusia mahdollisuuksia sekä tuotekehitys- että energiansäästämielessä. Kapealla yrityssektorilla ollaan jo kansainvälisellä tasolla uusiin energian tuotantoon ja varastointiin liittyvien tekniikoiden kuten esim. polttokennojen ja vedyn käsittelyn suhteen. Toisaalta nämä yritykset eivät tällä hetkellä ole erityisen kiinnostuneita tutkimustoiminnasta, joskin voivat olla kiinnostuneita tarjoamaan tietämystään tutkimus- ja kehitysprojekteihin.

Fossiilisten polttoaineiden, veden, lämmön ja kaasun varastointiteknologian alueella on ollut jo pitempään käytännön sovelluksia, joten tietämystä ja käytännön kokemusta näiltä energian varastoinnin alueilta on löydettävissä. Siten myös lämmön ja kylmän varastointiin liittyvään soveltavaan tutkimukseen oli kiinnostusta. Uusien kylmäaineiden soveltaminen jäähdytysjärjestelmissä, ulkoilman ja kalliokylmän hyödyntäminen lämpöpumppuratkaisuissa ja faasinmuutosmateriaalien hyödyntäminen rakennusten lämpö-/kylmävarastoinnin laitteissa ja rakenteissa nähtiin kiinnostavia tutkimuskohteina. Lämmityskattiloiden kehittämisessä kustannustehokkuuden ja säädön parantaminen olivat lähitulevaisuuden tavoitteita.

Hajautetun energian tuotannon ja etenkin uusiutuviin energialähteisiin perustuvan sähköntuotannon yleistyessä myös varastointiteknologian, sen verkkoonliittämisen ja kokonaiskonseptiin liittyvät kysymykset tulevat koskettamaan myös jakelu- ja verkkoyhtiöitä Suomessa. Energian varastoille asetettavat verkkoonliittämiskaavat ja sähkönlaadun hallinnan mahdollisuudet kiinnostivatkin jo kanta- ja jakeluverkon kannalta katsovia yrityksiä. Laitetoimittajille energian varastointiteknologian tarjoamat markkinat avautuvat jo aikaisemmin kansainvälisellä tasolla, jossa hajautetun energian tuotanto etenee nopeammassa aikataulussa.

8. Yhteenveto

8.1 Yleistä

Tämä työ on energian varastoinnin nykytilaa koskeva esiselvitysprojekti Tekesin vuoden 2003 alusta aloitettua ”Hajautettujen energiajärjestelmien teknologiat 2003–2007” -ohjelmaa varten. Tutkimustyö on pääosin Tekesin rahoittama ja muita rahoittajia ovat olleet VTT:n lisäksi ABB Oy, Powest Oy, Merinova Oy, Evox Rifa Group Oyj ja Helsingin Energia. Tutkimusprojekti sijoittuu ajanjaksolle 15.10.02–30.04.03. Työ on toteutettu VTT Prosessit -yksikössä.

Työssä tarkastellaan energian varastointiin liittyvää teknologiaa, sen viimeisintä kehitystä, sovellusalueita ja niiden asettamia vaatimuksia, tuotteita, standardointia, patentointia ja tutkimus- ja kehitystoimintaa. Työ sisältää myös suomalaisille yrityksille ja tutkija- sekä opetustahoille suunnatun haastattelukyselyn osaamisalueista, kiinnostuksen kohteista ja näkemyksestä tarpeellisiksi painopistealueiksi tuleviin tutkimusprojekteihin.

8.2 Energian varastointitekniikka

Energian varastointiin liittyvä teknologia on ollut vilkkaan tutkimus- ja kehitystyön alaisena jo useamman vuoden ajan. USA:n ja myös EU:n isot tutkimusprojektit ajoittuvat vuosituhannen vaihteen molemmiin puolin ja aktiivista tutkimustoimintaa on tapahtunut myös Japanissa. Patenttien määrän kehitystä seurattaessa havaitaan vuonna 1999 tapahtunut selkeä hyppäksenomainen kasvu ja sen jälkeinen voimakkaampi kasvusuuntaus. Eniten kasvua on tullut polttokennopatenttien määrässä, mutta myös uuden teknologian akut, sähkökemialliset kondensaattorit, vauhtipyörät ja SMES-järjestelmät ovat olleet kehityksen kohteena.

Energian varastointitekniikkaan liittyvän kehityksen ajavana voimana on ollut sähkö- ja hybridiajoneuvojen kehitys, hajautetun sähköjakelun kehitys, uusiutuvia energialähteitä hyödyntävän voimantuotannon kehitys, ympäristönsuojelulliset näkökohdat ja sähköjakelun luotettavuus- ja laatuongelmat. Energian varastoteknologia on pääosin perusteiltaan vanhaa tekniikkaa, mutta selkeästi esim. materiaalitekniikan kehittyminen on vauhdittanut sitä viime aikoina. Esimerkiksi mikro- ja nanotekniikan tutkimus ja tietämys ovat tuomassa merkittävää panosta niin akku- kuin kondensaattori- ja polttokennotekniikkaan. Toisaalta useimmat energian varastointitekniikat (esim. vauhtipyörät, SMES, virtausakut, regeneroivat polttokennot) vaativat tehokkaan monipuolisen hallintajärjestelmän, joten ohjauksjärjestelmän tehoelektroniikkaan ja muuhun sähkö- ja oheistekniikkaan liittyvään kehitykseen tarvitaan panostusta edelleen. Samaten verk-

koon liitynnän hallintakonseptit, ohjeet, säännöt, standardit ja suojausten/ohjauksen hallintalaitteet vaativat edelleen panostusta ja pitkälti myös maakohtaisia versioita.

Perinteisiä pitkän ja keskipitkän ajan varastointimenetelmiä ovat fossiilisten polttoaineiden (ei käsitelty tässä työssä), lämpö-/kylmä- ja paineilmavarastot. Pidempiaikaisessa lämmön varastoinnissa käytetään suuria lämpövarastoja, jotka voivat olla maanpäällisiä vesisäiliöitä tai maanalaisia varastoja. Uusimmat lämmön varastointitekniologiat perustuvat faasin muutokseen (Phase Change Materials, PCM) tai termokemialliseen reaktioon, jolloin terminen lämmön varastointikapasiteetti on huomattavasti suurempi kuin perinteisissä järjestelmissä. Hajautetun energianjakelun yleistyessä pienimuotoisempien kiinteistötason lämpö/kylmävarastojen tarve tulee kasvamaan. Lämpöpumppuja, lähinnä kompressorikäyttöisiä maalämpöpumppuja, on kehitetty Suomessa vilkkaasti koko 90-luvun ajan. Kotimaisia valmistajia löytyy useita. Lämmityskattiloiden uusimpia ratkaisuja ovat pellettikattilat ja erilaiset monipolttoainekattilat.

Paineilmavarastoja käytetään ns. CAES (Compressed Air Energy Storage) -laitoksissa keskitetyssä sähköntuotannossa. Paineilmaa voidaan varastoida useantyyppiseen luonnolliseen muodostelmaan, kuten maanalaiseen suolakiviesiintymään, suolavesiesiintymään tai vaihtoehtoisesti louhia kallioon. Suolavesiesiintymän käyttö paineilmavarastona on nykyään halvin vaihtoehto. Paineilmavarasto soveltuu suuren kokoluokan energian kysynnän hallintaan, mutta myös pienen kokoluokan paineilmavarastojen tarve voi hajautetun sähkönjakelun yleistyessä kasvaa esim. pienten kaasuturbiinien yhteydessä käytettynä.

Pumppuvoimalaitosten piirissä on tapahtunut kehitystä, ja viimeisen kymmenen vuoden aikana käyttöön on tullut ns. kehittyneet pumppuvoimalaitos. Näiden laitosten hydraulikka ja mekaniikka on suunniteltu siten, että erittäin nopeat (< 15 s) moodimuutokset ovat mahdollisia. Pienten pumpattujen vesivarastojen ja voimalan käyttö voi olla uusi mahdollisuus esim. tuulivoimaan yhdistettynä.

Vedyn varastointitekniikka on tänä päivänä kiivaan kehitystyön kohteena. Ympäristön-suojelulliset näkökohdat ajavat liikenne- ja kuljetuspuolella sähkö- ja hybridiajoneuvojen käyttöön, ja esim. vetyä polttoaineena käyttävät polttokennot energialähteinä vaativat tällöin kehittyneen tekniikan ja koko infrastruktuurin vedyn käsittelyyn ja jakeluun. Vedyn perinteisiä varastointimenetelmiä ovat paineistettu kaasu ja nesteytetty vety. Uusimmat varastointimenetelmät kuten metallihydritit, kemialliset yhdisteet ja etenkin hiilinanotekniikka ovat vielä vilkkaan kehitystyön alla, vaikkakin kaupallisia versioita-kin on jo saatavissa.

Akut ovat vanhaa tekniikkaa, mutta uusimpia, vielä kehitystyön alla olevia ovat lähinnä korkean lämpötilan akut, natrium-rikkiakut, metalli-ilma-akut, nikkeli-rauta-akut ja

polymeeri-litiumakut. Virtausakut ja redoksivirtausakut, jotka käytännössä ovat neste-mäisillä reaktanteilla varustettuja regeneroitavia polttokennoja, ovat uusin kohde ja jatkuvatoimisina mielenkiintoinen energian varastointitekniikkaratkaisu kiinteisiin sovel-luksiin. Akkujärjestelmien kehitystyö kohdistuu lähinnä energiatihyden, tehottiheyden ja eliniän lisäykseen sovelluksen tämänhetkessä toimintaympäristössä. Akkuihin liit-tyvää tutkimustyötä tehdään mm. akkumateriaalien, akkujen valmistusprosessin kehit-tämiseen sekä toimintaolosuhteiden laajentamiseen suhteen.

Polttokennojen kehitys on alkanut jo 1800-luvun alkupuolella, mutta materiaalitekniikan kehittyminen, energian jakeluun liittyvät ongelmat ja hybridiautojen kehitys on vauhdittanut polttokennojen kehitystä viime vuosina. Polttokennoihin liittyvien patenttien määrä on selkeästi ja jatkuvasti noussut viime vuosien aikana. Eniten kasvussa oli polymeeripolttokennoja, kiinteäoksidipolttokennoja ja metanolipolttokennoja koskevien patenttien määrä. Regeneroitavat polttokennot (tai redoksivirtausakut) ovat uusin vii-meisen kahden vuoden aikana kasvavaa mielenkiintoa saanut polttokennojärjestelmä-tyyppi, joka joustavuutensa ja jatkuvatoimisuutensa ansiosta tullee saaman jalansijansa sähköjakelun hallinnan sovelluksissa. Esim. jo kaupallisena sovelluksena saatavalla sinkki-ilmapolttokennolla on kaksi sovellustyyppiä. Laite voi toimia polttokennoversio-na (sinkkipelletit vaihdetaan), jolloin saavutetaan 100 %:n purkausaste ja akkuversiona (lataus sähköllä), jolloin saavutetaan 50–60 %:n kapasiteetti.

Vauhtipyörät ovat yksi vanhimpia ja eniten sovellettuja energianvarastointitekniikoita. Uusinta kehityssuuntaa ovat keveät ja suurinopeuksiset (10 000–100 000 rpm) ja suuren ominaisenergian omaavat vauhtipyörät. Komposiittimateriaalit ja suprajohtavat mag-neettiset laakerit ovat olleet edellytys näiden vauhtipyörätyyppien kehityksessä. Vauhti-pyöräjärjestelmät vaativat itse vauhtipyörän lisäksi myös kehittyntä sähkötekniikkaa moottori-generaattorin ja ohjausjärjestelmän optimointiin. Suuri osa vauhtipyöriin liit-tyvistä patenteista onkin kohdistunut mekaniikan ohella sähkötekniikkaan ja lähinnä sähködynamiisiin koneisiin ja sähkötehon syöttö- ja jakelujärjestelmiin ja sähköener-gian varastointijärjestelmiin. Patenttien määrässä oli selkeä kasvukausi vuosien 1997–2000 aikana. Sen jälkeen patenttien vuotuinen määrä on vähennyt.

Suprajohtavan magneettisen energian varaston (SMES-järjestelmät) peruskonsepti pe-rustui yksinkertaisesti suprajohtavassa käämissä lähes häviöttömästi kiertävään tasavir-taan ja energian varastointiin virran synnyttämään magneettiseen kenttään. Matalan lämpötilan SMES-järjestelmiä, joissa jäähditys suoritetaan nestemäisen heliumin avul-la, on kaupallisesti saatavilla. Korkean lämpötilan SMES-järjestelmiä, joissa jäähditys suoritetaan nestemäisen typen avulla, on parhaillaan kehitteillä. Suprajohtavan materi-aalin, rakenne- ja jäähdytystekniikoiden ja tehoelektronikan kehitystyö jatkuu edelleen, vaikkakin alaan liittyvien patenttien määrä on ollut viime vuosina muutaman patentin luokkaa.

Sähkökemiallisten kondensaattoreiden (super-/ultra-/pseudokondensaattorit) perustekniikka on ollut tunnettua jo kauan ja toimintaperiaatteisiin liittyvä ensimmäinen patentti myönnettiin jo vuonna 1957. Sähköajoneuvojen kehityksen myötä superkondensaattoritekniikka on tullut jälleen ajankohtaiseksi ja sähkökemialliset kondensaattorit ovat saaneet merkitystä suurta tehoa ja nopeaa varautumista vaativissa energian varastointikohteissa. Tekniikkaan kohdistuva kehitystyö on meneillään, vaikkakin kaupallisia tuotteita on jo runsaasti saatavilla. Nanotekniikkaan perustuva elektrodimateriaalien kehitys, elektrolyyttien ja valmistustekniikan kehitys on tuomassa markkinoille entistä suuremman teho- ja myös energiatiheyden omaavia kondensaattoreita, joiden sovellusalueet ovat laajoja ja jotka muiden varastointitekniikoiden kanssa yhdessä käytettynä laajentavat energianvarastoinnin toimintaa mahdollistamalla lyhyellä vasteajalla suurten tehoperskeiden tuottamisen jatkuvamman tasaisen tehon tuotannon lisäksi.

8.3 Sovelluskohteet, ratkaisut ja kustannukset

Energian varastointitekniikkojen sovellusmahdollisuudet ovat laaja-alaiset käsittäen suoraan energialähteisiin liittyvät varastot, sähkön tuotantoon liittyvät varastointitarpeet, sähkön siirtoon ja markkinointiin liittyvät tarpeet sekä energian jakeluun ja palveluihin liittyvät tarpeet. Energiavarastoja voidaan sijoittaa eri alueille sähkön tuotannon, siirtoverkon ja loppukäyttäjän yhteyteen. Energiavarastoihin kohdistuvat vaatimukset vaihtelevat sijoituspaikan ja sovelluksen mukaan. Suurimmat teho vaatimukset ovat varavoiman ja kuorman hallinnan tarpeissa, ja loppukäyttäjän puolella kuormitushuippujen hallinta edellyttää satoja toimintakertoja vuodessa. Erityyppiset sijoituskohteet edellyttävät myös tietyn aikajakson kattavaa tehokapasiteettia. Sähköenergian varastoinnissa aikajaksot eri sovelluksilla vaihtelevat sekuntitasosta useisiin päiviin.

Sähkönjakeluverkon stabiilisuuden ja hajautetun tuotannon hallinnassa energian varastointijärjestelmät parantavat verkon stabiilisuutta varastoimalla ja tuottamalla energiaa muutostilanteissa. Verkon stabiilisuuden hallinta edellyttää energiavarastolta satojen megawattien tehoa (pätö- ja loistehoa) ja riittävää varastointikapasiteettia minuuteista tunteihin kestävään täyden kapasiteetin kulutustarpeeseen n. 100 kertaa vuosittain. Energiavarastojen avulla tuotannoltaan luontaisesti vaihtelevaa, uusiutuvista lähteistä tuotettua energiaa voidaan tasata käyttämällä tuotannon huippuja lataukseen ja alentuneen tuotannon ja katkosten tai kalliin energian aikana siirtää varastoitua energiaa verkkoon. Molempiin sovelluksiin vaaditaan 10 kW:sta 100 MW:iin tehokapasiteettia sekunnin murto-osia (transienttityyppisten vaihtelujen hallinta) tai useita tunteja kestävään käyttöön. Varastointitekniikoista soveltuvat varastointitehotarpeista riippuen kaikki varastointitekniikat ja niiden yhdistelmät yksinään käytettyä kondensaattoria lukuun ottamatta.

Sähkön syötön varmistukseen liittyvät mm. sähkön laadun hallinnan, UPS:n ja hätä-back-up-sovellukset. Energiavarastoja voidaan käyttää myös verkon jännitteen hallintaan esim. kuormitushuippujen aikana, jolloin siirtoverkon impedanssi voi aiheuttaa jännitteen putoamisen kuorman päässä. Em. käyttöön soveltuvien energiavarastojen täytyy tuottaa megavareja 15 min:sta tuntiin kestäviin jaksoihin. Sähkön laadun hallinnan kilowatti- ja sekuntitason tarpeet voidaan kattaa vauhtipyörillä, superkondensaattoreilla, akuilla polttokennoilla tai pienillä SMES-järjestelmillä. Varavoimajärjestelmät (esim. estämään voimantuotantoyksikön turhaa vaihtoa) ovat megawattitasa ja varastointiaika on yleensä alle 30 minuuttia. Hätä-back-up voi vaatia tunteja megawattitasaista tehoa, ja tyypillisesti sovellettuja varastointitekniikoita ovat akut, pumpattu vesivoima ja paineilmarastointijärjestelmät, ja uutena tekniikkana myös polttokennojärjestelmä tulee kysymykseen.

Huipputehon ja kuormien hallintaan liittyvien energiavarastojen tehotarpeet vaihtelevat kilowateista satoihin megawatteihin sen mukaan, onko sovelluskohde kuluttaja-, jakeluvai siirtoverkon tasolla. Varastointiajat vaihtelevat huippukuormien hallinnan tuntitasosta vuodenaikojen vaihtelun tasauksen viikkotasolle. Viikkotason kuorman hallintaan soveltuu lähinnä paineilmarasto, mutta tuntitason toimintoihin soveltuvat lähes kaikki tekniikat ja niiden yhdistelmät lukuun ottamatta kondensaattoreita yksinään käytettynä. Lämpö-/kylmävarastojen hyödyntäminen on yksi huipputehojen hallinnan apuväline tulevaisuudessa.

Aurinkoenergian ja tuulivoiman optimaalisen hyödyntämisen ja saarekekäytön edellytys on tehokas energian varastointitekniologian käyttö sekä tuotannon tasauksen, katkosten että sähkön laadun hallinnassa. Tuulivoiman vaihtelun tasaukseen on jo pitkään käytetty energian varastointitekniikkaa, etupäässä kustannustehokkaita lyijyakkuja. Lyijyakkujen lisäksi myös pumpattu vesivarasto- ja paineilmateknologia sekä muut uudemmat tekniikat kuten reversiibelit ja regeneroitavat polttokennot ja kehittyneet juoksupyörät ovat tulossa tälle alueelle

Kuljetuksen alueella sähkö- ja hybridiajoneuvoissa tehon tarve on tyypillisesti alle megawatin ja varastointiaika on sekuntitasa.

Energian varastointitekniologioiden hyötysuhde, huoltokustannukset ja elinikä ovat tärkeitä kokonaiskustannuksiin vaikuttavia parametreja, jotka tulisi huomioida varastointitekniikkaa valittaessa. Akut ovat hankintahinnaltaan edullisia, mutta perinteisten akkujen huoltotarpeet, suhteellisen lyhyt elinikä, ympäristöolosuhteiden vaatimukset ja ympäristönsuojelulliset näkökohdat ovat lisänneet tarvetta myös muiden tekniikoiden kehitykseen ja käyttöön. Vauhtipyörät soveltuvat lukuisiin erilaisiin kohteisiin ja ne itsessään ovat pitkäikäisiä ja lähes huoltovapaita, mutta niihin liittyvä sähkötekniikka voi lisätä huoltotarvetta ja myös nostaa vauhtipyöräjärjestelmän kustannuksia. SMES-

järjestelmien hankintakustannukset ovat korkeat, mutta laitteita on sovellettu sähkön laadun ja luotettavuuden hallintaan jakelu- ja siirtoverkoissa ja teollisuuslaitoksissa. Sähkökemialliset kondensaattorit ovat nopeasti kehittyvää, lupaavaa laajan sovellusalueen tekniikkaa sijoittuen kondensaattoreiden ja akkujen välimaastoon. Polttokennojen kehitys on nopeaa ja niiden sovellusalueet ovat myös laajat. Kiinteiden sovellusalueiden tarpeita kattamaan ovat tulossa myös jatkuvatoimiset reversiibelit ja regeneroitavat polttokennot ja redoksivirtausakut.

Energian varastointiteknologian käyttö, lukuisista positiivisista eduistaan huolimatta, on aina myös taloudellinen kysymys. Eri varastointitekniikoiden vertailu yleisesti kustannusmielessä on vaikeaa, koska tarvittava kokonaisuus ja siihen liittyvät kustannuskomponentit riippuvat sovellusalueen tarpeista.

8.4 Energian varastointitekniikan ja -sovellusten markkinapotentiaali

Business Communications Companyn (USA) toukokuussa vuonna 2001 julkaiseman tutkimuksen mukaan kehittyvän energian varastointitekniikan (vauhtipyörät, super/ultra/aero-kondensaattorit ja SMES-järjestelmät) markkinapotentiaali USA:ssa tulee vähintään kaksinkertaistumaan vuoteen 2005 mennessä. Eniten kasvaisi sähkökemiallisten kondensaattoreiden markkinapotentiaali (28 %:n vuotuinen kasvu).

UPS-sovellusten ennustetaan kasvavan USA:ssa vuoteen 2005 keskimäärin 17,7 % vuodessa, ja jakeluverkon kuormien tasaukseen ja sähkön laadun hallintaan liittyvien sovellusten 33,8 % vuodessa. Koko maailman UPS-markkinat ovat n. 2,3 kertaa USA:n UPS-markkinoita suuremmat. Akkutekniikka kattaa nykyään UPS-markkinoista n. 96 %, mutta myös muita varastointitekniikoita (vauhtipyörät, ultrakondensaattorit ja polttokennot) odotetaan sovellettavan UPS-käyttöön. Varastointitekniikoista eniten ennustetaan kasvua paineilmarastojen markkinoille.

Faasinmuutosmateriaalit ovat vauhdittaneet lämpö- ja kylmävarastoinnin kehitystä. Kylmävarastointi on kiinteistötasolla vilkkaan kehitystyön kohteena ja tarjoaisi uusia mahdollisuuksia myös Suomen teollisuudelle. Faasinmuutosmateriaalien käyttö ja käytännön toteutus vaatii vielä kehitystä, vaikkakin kaupallisia tuotteita on saatavissa maailmalla. Faasinmuutosmateriaalien kustannusten alentuminen mahdollistaa niiden laajemman hyödyntämisen lämpö/kylmävarastoinnissa. Lämpöpumppujen markkinat ovat kasvusuunnassa. Pumppujen kehittäminen luotettavuuden ja hankintahinnan osalta antaa uusia mahdollisuuksia teollisuudelle. Uusia mahdollisuuksia antaa tulevaisuudessa lämpöpumppujen käyttö omakotitalojen lisäksi myös suuremmissa kiinteistöissä. Lämpöpumppujen kehityksen viimeisimpiä kohteita on mm. uusien jäähdytysaineiden käyttö.

Lämpöpumppujen ja muiden energiavarastojen hyödyntäminen yhdistetyssä lämmityksen ja jäädytyksen hoitavassa ilmastointiratkaisussa tarjoaa konseptin kehityksen myötä myös uutta tuotemarkkinapotentiaalia. Lämmityskattiloiden uusimpia ratkaisuja ovat pellettikattilat ja erilaiset monipolttoainekattilat. Kattiloiden kehitystyön tavoitteena on mm. kustannustehokkuuden ja palamisen säädön parantaminen sekä aurinkoenergian hyödyntäminen.

8.5 Tutkimustoiminta

Euroopan unionin energian tutkimusohjelmiin liittyvät puiteohjelmat FP2 – FP5 ovat rahoittaneet sekä kiinteisiin että liikuteltaviin kohteisiin soveltuvien energian varastointiteknologioiden ohjelmia. Euroopan unionin neuvoston tekemän päätöksen (”Eurooppalaisen tutkimusalueen integrointi ja lujittaminen” 2002–2006), mukaan myös energian varastointiin liittyvät kysymykset ovat yhtenä ”Kestävät energiajärjestelmät” - tutkimuksen painopistealueena.

Euroopan komission ohjelman (2001–2003) Investire Networkin energian varastointia käsittelevän aihe-alueen ”Investigation on storage technologies for intermittent renewable energies” tavoitteena on tarkastella uusiutuviin energialähteisiin perustuvaan tuotantoon (esim. aurinko- ja tuulienergia) liittyviä varastointiteknikoita ja edistää informaation vaihtoa ja esittää 5–10 vuoden tavoitteet.

USA:ssa Department of Energyn energiavarasto-ohjelma on vuosina 1997–2001 rahoittanut 21,6 milj. dollarilla tutkimus- ja kehitystoimintaa. Vuoden 2002 rahoitus kohdistui 2,6 milj. dollarin osuudella varastointijärjestelmän integraatioon, 2,4 milj. dollaria avainkomponentteihin ja 1,0 milj. dollaria analyyseihin. Ohjelman tavoitteena on kehittää, testata ja seurata integroituja energian varastointiteknologioita laajalla sovellusalueella.

Suomessa ovat lähinnä Teknillinen korkeakoulu (mm. polttokennot, vedyn käsittely ja lämpö-kylmävarastointi), Åbo Akademi (lämpö-kylmävarastointi) ja Tampereen teknillinen korkeakoulu (lähinnä SMES-järjestelmät ja kylmäaineet) tehneet energian varastointiin liittyvää tutkimus- ja opetustoimintaa. VTT tekee polttokennoihin liittyvää tutkimustoimintaa yhteistyössä usean TKK:n ja Åbo Akademin tutkimusryhmien kanssa.

Tekesin energia- ja ympäristöteknologian alueelle sijoittuvan ”Hajautettujen energiajärjestelmien teknologiat 2003–2007” -teknologiaohjelmassa kehitetään paikallisia pienen teholuokan energian muunto-, tuotanto- ja varastointijärjestelmiä sekä niihin liittyviä palveluja.

8.6 Jatkotutkimustarpeita ja painoalueita

Energian varastointiteknologiaan liittyvissä kehityskohteissa on nähtävissä ainakin kolme pääaluetta:

1. Energian varastointiteknologia
 - menetelmät
 - toiminta
 - materiaalit jne.
2. Energian varastointiteknikkaan, sen integrointiin ja käyttöön liittyvät oheislaitteet
 - Energian varastointiyksikköön liittyvät ohjaus-, hallinta- ja muuntolaitteet (invertterit, konvertterit, suojaus- ja kytkentälaitteet, varaajat, jäähdytys-, paineilma-, tiedonkeräily-, tiedonsiirto-, anturointi- yms. järjestelmät)
 - vastaavat oheislaitteet hybridijärjestelmiin.
3. Energian varastointiteknologian soveltaminen, integrointi ja käyttö eri tapauksissa
 - kokonaiskonseptit (koko maassa sähkön siirron, jakelun ja tuotannon sekä teollisuuden alueella): miten, millä tavoin ja mitä varastointiteknikkaa tulisi kokonaisuutena ja kussakin tapauksessa erikseen soveltaa ja mitkä olisivat kustannukset eri vaihtoehdoissa
 - sovelluskohteisiin (esim. tuulivoimalaitos, tuulivoimapuisto, tuuliaurinkovoimalayhdistelmä, muut hybridisovellukset, kiinteistöt ja kiinteistöryhmät, ajoneuvot ja muut liikkuvat sovellukset jne.) liittyvät konseptit
 - toimintaan, ohjaukseen, säätöön ja turvallisuuteen, integrointiin yms. soveltamiseen ja eri konsepteihin liittyvät mallit, simuloinnit
 - ohjeet, suositukset, vaatimukset, standardit.

Suomessa sekä tutkimus- että tuotekehityspotentiaalia voidaan havaita kaikilla kolmella alueella:

1. Varastointiteknikassa esim.
 - polttokennotutkimuksen ja kehityksen laajentaminen reversiibeihin ja regeneroitaviin polttokennoihin toisi mukaan polttokennotuotteille uusia markkina-alueita.
 - polttokennoihin ja sähkökemiallisiin kondensaattoreihin liittyvänä nanoluokan materiaalien soveltaminen ja käyttö on uutta kehittyvää tekniikkaa
 - SMES-järjestelmät
 - vauhtipyörien kehitys
 - back-up-järjestelmät, esim. teleliikenteen
 - kuljetusvälineiden akkutekniikan kehitys
 - vedyn käsittely ja varastointiteknikka

- lämpö-/kylmävarastoihin liittyvät uudet materiaalit (esim. PCM), uudet kylmäaineet, tekniikat ja kokonaiskonseptit. Lämpöpumppujen käyttö jäähdytyksessä ja suurten kiinteistöjen yhteydessä. Aurinkoenergian hyödyntäminen lämpöpumppujen ja lämmityskattiloiden yhteydessä. Biopolttoaineita käyttävien lämmityskattiloiden kehitys.
2. Energian varastointitekniikkaan, sen integrointiin, hallintaan ja käyttöön liittyvät oheislaitteet
 3. Energian varastointiteknologian soveltaminen ja käyttö

Yrityksille ja tutkijatahoille suunnatun kyselyn mukaan esitettiin lisäksi seuraavia osa-alueita: lämpö- ja kylmävarastot (myös suuret kalliovarastot) ja nestekaasun ja maakaasun käyttöön liittyvät tekniikat, kustannukset ja kaupallinen soveltaminen.

Lähdeluettelo

- [1] European Commission "Energy Storage, A key technology for decentralised power, power quality and clean transport". EUR 11978, European Communities 2001. Pages 1–24.
- [2] Technical Research Centre of Finland 1984. "Energy storage systems in developing countries". Espoo: VTT Offsetpaino. 310 s. Energy Report Series of United Nations Environment Programme ERS-9-84.
- [3] Cronvall, T. 1997. "Termisen energian varastointi Suomen maa- ja kallioperään". Espoo: Teknillinen korkeakoulu, kalliotekniikan laboratorio. 53 s. TKK-KAL-C-6. ISSN 1238-0407
- [4] Lund, P. 2000. "Thermal energy storage". Sixth international summer school. Solar Energy 2000. Klagenfurt, Austria, July 24 – August 4, 2000. S. 195–199. Internet: <http://www.ebd.lth.se/avd%20ebd/main/Summerschool/Lectures/lect-q-lund.pdf>. Viitattu 27.01.03.
- [5] VTT Energia 1999. "Energia Suomessa". Helsinki: Oy Edita Ab. 368 s.
- [6] Turku Energia 2002. <http://www.turkuenergia.fi/> Viitattu 21.11.2002.
- [7] Ritola, J. 1983. "Kalliotilojen energiatalous ja lämmön varastointi kallioon." Espoo: VTT. 97 s. VTT Tiedotteita 216.
- [8] Ritola, J. 1988. "Lämmön varastointi kallioon porareikäputkistolla." Espoo: VTT. 107 s. + liitt. 24 s. VTT Tiedotteita 844.
- [9] Sipilä, K., Pihala, H., Nyman, M., Lassila, K. & Ritola, J. 1994. "VTT-Sähkötalo 2: Rakennuksen energiajärjestelmäratkaisut. Esitutkimus." Espoo: VTT. 44 s. + liitt. 7 s. VTT Tiedotteita 1549.
- [10] Reuß, M. 2002. "Longterm Underground Thermal Energy Storage for Heating and Cooling, Part 1." Solar Thermal and Biomass. Summer School at UTH Volos / Greece 18.06.2002.
- [11] Schoenung, S. M. 2001. "The long and short of it." Modern Power Systems. May 2001, s. 25–30.

- [12] Sipilä, K., Wistbacka, M. & Väätäinen, A. 1993. ”Sähkön varastointi paineilman avulla.” Espoo: VTT Offsetpaino. 74 s. + liitt. 49 s. VTT Tiedotteita 1516.
- [13] Tuhkanen, Sami, Koljonen, Tiina, Marjaniemi, Mauri, Ohlström, Mikael & Poteri, Antti. 2001. ”Vetytalous ja sen soveltuvuus Suomeen”. VTT Energian raportteja : 6/2001. VTT Energia, Espoo. 70 s. Internet:
http://www.vtt.fi/ene/tuloksia/enerap/2001/rap6_01.pdf. Viitattu 27.01.03.
- [14] Oregon State University. 2002. Chemistry. Internet:
<http://www.chem.orst.edu/ch411/scbatt.htm>. Viitattu 28.11.2002.
- [15] Electricity Storage Association. 2002. Internet: <http://www.electricitystorage.org/>. Viitattu 27.11.2002.
- [16] Chembytes e-zine 2002. Batteries today. Internet:
http://www.chemsoc.org/chembytes/ezine/2000/toolkit_mar00.htm. Viitattu 27.11.2002.
- [17] DeVries, T. 2002. ”World’s biggest battery helps to stabilise Alaska. Modern Power Systems”. July 2002, s. 40–41.
- [18] Price, A. 2002. ”EESAT: the thirty-nine steps. Modern Power Systems”. July 2002, s. 36–39.
- [19] ZBB 2002. ”Advanced Energy Storage Solutions”. Internet:
<http://www.zbbenergy.com>. Viitattu 27.11.2002.
- [20] Maruyama, S. ”Carbon Nanotube & Hydrogen Storage”. Internet:
<http://www.photon.t.u-tokyo.ac.jp/%7Emaruyama/nanotube/nanotube.html>. Viitattu 4.12.02.
- [21] Svoboda, Rod, Ngo, Brian. 1997. ”Automobiles using fuel cells”. Internet:
<http://www.cem.msu.edu/%7Ecem181h/projects/97/fuelcell/chem1.htm>. Viitattu 4.12.02.
- [22] NEC Laboratories. 2001. ” NEC uses Carbon Nanotubes to Develop a Tiny Fuel Cell for Mobile Applications”. Internet:
<http://www.labs.nec.co.jp/Eng/Topics/data/r010830/>. Viitattu 4.12.02.
- [23] American Superconductor. ”Superconductivity, FactSheet”. Internet:
<http://www.amsuper.con/pdf/superFS.pdf>. Viitattu 21.10.02

- [24] Beacon Power Corporation. 2002. "Flywheel advantages". Internet:
<http://www.beaconpower.com/flywheels/advantages.htm>. Viitattu 7.11.02.
- [25] U.S. OIT DOE. "Hybrid Electric Vehicle Program." Internet:
<http://www.ott.doe.gov/hev/components.html>. Viitattu 10.10.02
- [26] Horner, Roger E., Proud, Neil J. "The Key Factors in the design and construction of advanced Flywheel Energy Storage Systems and their application to improve telecommunication power back-up". 1998 IEEE. S. 668–675.
- [27] Cárdenas, Roberto, Pefia, Rubén, Asher, Greg, Cilia, Joe. "Sensorless Control of Induction Machines for Wind Energy Applications". Power Electronics Specialists Conference, 2002. pesc 02. 2002 IEEE 33rd Annual, Volume: 1, 2002 vol.1. Sivut 265–270.
- [28] Mikkonen, R. "Highlights of SC power applications in Europe", IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Volume 12, Issue 1, March 2002. S. 782–787.
- [29] Hebner, R. Beno, J. Walls, A. "Flywheel batteries come around again". IEEE Spectrum, Volume 39, Issue 4, April 2002. S. 46–51.
- [30] Boewler, Michael e. "Flywheel energy systems: Current status and future prospects". Magnetic Material Producers Assosiation Joint Users Conference, September 22 – 23, 1997. S. 1–9.
- [31] Post, Richard F. "The new look at an old idea. Electromechanical battery". Science and Technology Review, April 1996. Internet:
http://www.llnl.gov/str/pdfs/04_96.2.pdf. Viitattu 12.11.02.
- [32] Key, Tom. "Fast-response, Load-Matching Hybrid Fuel Cell." EPRI PEAC Quarterly Review Meeting, October, 2001, Golden, CO. Internet:
<http://www.eren.doe.gov/distributedpower/pdfs/review3q01pres/epripeacfc1001.pdf>. Viitattu 18.12.02.
- [33] Kötz, R., Carlen, M. "Principles and applications of electrochemical capacitors". Electrochimica Acta 45 (2000). S. 2483–2498.

- [34] Paul, George L., Vassallo, Anthony M. "Effect of Time Constant on Power Capability of Supercapacitors". Internet: <http://www.cap-xx.com/library/vpcc.pdf>. Viitattu 13.10.02.
- [35] ESA, Electricity Storage Association. "Applications of energy storage". Internet: <http://www.electricitystorage.org/applications.htm>. Viitattu 14.11.02.
- [36] FY 2000 / Energy Efficiency and Renewable Energy, Office of Transportation Technologies, Office of Advanced Automotive Technologies, Energy Management Team; Raymond A. Sutula, Energy Management Team Leader. "Highlights report for the Vehicle High-Power Energy Storage Program" Washington, DC : U.S. Dept. of Energy, Office of Advanced Automotive Technologies, [2000]. Internet: <http://www.ott.doe.gov/pdfs/highpowerbatteryfy2000progressreport.pdf>. Viitattu 20.11.02.
- [37] Lee, Ha Y., Kim, HS ja Lee, Hee Y.. "The Modification of Amorphous Manganese Oxide Electrode for Electrochemical Pseudocapacitor". Internet: www.electrochem.org/meetings/past/201/abstracts/abstracts/d1/0222.PDF. Viitattu 20.11.02.
- [38] Endo, M., Takeda, T., Kim, Y. J., Koshiba, K., Ishii, K. 2001. "High Power Electric Double Layer Capacitor (EDLC's); from Operating Principle to Pore Size Control in Advanced Activated Carbons", Carbon Science, Vol. 1, No. 3&4 January 2001. S. 1117–128. Internet: [http://www.carbon.or.kr/03journal/v1_n3_4/1\(3\)-1\(r\).pdf](http://www.carbon.or.kr/03journal/v1_n3_4/1(3)-1(r).pdf). Viitattu 20.11.02.
- [39] Carlin, Richard T., Swider-Lyons, Karen. "Power from the Structure Within: Application of Nanoarchitectures to Batteries and Fuel Cells". The AMPTIAC Newsletter, Volume 6, Number 1. S. 25–30.
- [40] Mellor, P.H., Schofield, N, Howe, D. "Flywheel and supercapacitor peak power buffer technologies". The University of Sheffield Paper from IEE Seminar - Electric, Hybrid and Fuel cell Vehicles. April 2000. Internet: <http://www.iee.org/oncomms/pn/auto/download.cfm?ID=2A57A84F-F3D9-4C9F-96F22A774355332C>. Viitattu 21.11.02.
- [41] Lim, Jae Hong, Choi, Doo Jin, Kim, Han-Ki, Cho, Won Il & Yoon, Young Soo. "Thin Film Supercapacitors Using a Sputtered RuO₂ Electrode". Journal of The Electrochemical Society, 148 (3) 2001. Sivut A275-A278. Internet: <http://www.xenosystem.com/ts10.pdf>. Viitattu 22.11.02.

- [42] Miller, John R., Evans, David A.. "Properties And Performance Of Hybrid Aluminum Electrolytic / Electrochemical Capacitors". Internet: <http://www.evanscap.com/carts16.pdf>. Viitattu 22.11.02.
- [43] Evans Capacitor Company. Internet: <http://www.evanscap.com/Products.html>. Viitattu 22.11.02.
- [44] ESMA. Internet: <http://esma-cap.whitesite.biz/About/?lang=English>. Viitattu 22.1.02.
- [45] NESS Capacitor. Internet: <http://www.nesscap.com/prod/prod.htm>. Viitattu 22.11.02.
- [46] Darrelmann, Hilmar. "Comparison Of Alternative Short Time Storage Systems" Piller GmbH, D-37520 Osterode, Germany. Internet: http://www.piller.fr/alt_sto.htm. Viitattu 25.1.02.
- [47] Hawkins, John M. "Storage Devices in PV System: Latest Developments, Technology and Integration Problems." Solar Photovoltaic Energy Workshop '98. 1998 Telepower Australia Pty Ltd. Internet: <http://www.telepower.com.au/PVwork98.PDF>. Viitattu 25.11.02.
- [48] Schoenung, Susan M. "Characteristics and Technologies for Long-vs. Short-Term Energy Storage". A Study by the DOE Energy Storage Systems Program. Sandia Report Sand 2001-0765. Unlimited Release. Printed March 2001. Internet: <http://infoserve.sandia.gov/cgi-bin/techlib/access-control.pl/2001/010765.pdf>. Viitattu 25.11.02.
- [49] Dutoit, Bertrand. "Superconducting Magnetic Energy Storage: SMES". EPFL-I&C-LANOS, 1015 Lausanne, Last updated: November 22, 2002. Internet: http://lanoswww.epfl.ch/studinfo/courses/cours_supra/smes/default.htm. Viitattu 25.11.02.
- [50] Superczynski, Matthew J. "Analysis Of The Power Conditioning System For A Superconducting Magnetic Energy Storage Unit". Thesis submitted to the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of master of science in Electrical and Computer Engineering. August 2000 Blacksburg, Virginia. Internet: http://www.cpes.vt.edu/cpespubs/files/t_d_2000/R00_05.pdf. Viitattu 26.11.02.

- [51] American Superconductor. "Products and Applications". Internet:
http://lanoswww.epfl.ch/studinfo/courses/cours_supra/smes/whatsmes.htm.
 Viitattu 26.11.02.
- [52] University of Wuerzburg. "Experimental Physics II, Carboa aerodels, Gel Formation and Drying."
 Internet: http://miro.physik.uni-wuerzburg.de/agfricke/graphic/start_js.htm.
 Viitattu 26.11.02.
- [53] Milliken, Christopher E., Ruhl, Robert C.. "Low Cost, High Efficiency Reversible Fuel Cell Systems". Proceedings of the 2002 U.S. DOE Hydrogen Program Review NREL/CP-610-32405. Internet:
<http://www.eren.doe.gov/hydrogen/pdfs/32405b25.pdf>. Viitattu 27.11.02.
- [54] NFRC, National Fuel Cell Research Center. "Fuel Cell Types". Internet:
http://www.nfrc.uci.edu/fcreources/FCexplained/FC_Types.htm. Viitattu 28.11.02.
- [55] Metallic Power. "Back-up Power Source Product Overview". Metallic Power Inc., 2002 Rev 11/02. Internet: <http://www.metallicpower.com/pdf/backupdata.pdf>.
 Viitattu 28.11.02.
- [56] Metallic Power. "Fuell Cell Technology". Internet:
<http://www.metallicpower.com/technology/index.htm>. Viitattu 28.11.02.
- [57] Mitlitsky, Fred. "The Unitized Regenerative Fuel Cell". Science and Technology, May 1997. S. 12–14. Internet: http://www.llnl.gov/str/pdfs/05_97.pdf. Viitattu 30.11.02.
- [58] Molter, Trent M. "Regenerative Fuel Cell Technology and Applications". Proton Energy systems. NETL Publications, 1999 Conference Proceedings. Joint Fuel Cell Technology Review Conference. Internet:
<http://www.netl.doe.gov/publications/proceedings/99/99fuelcell/fc3-9.pdf>.
 Viitattu 30.11.02.
- [59] Ball Aerospace & Technologies Corp., Boulder, Colorado. Internet:
<http://www.ball.com/aerospace/pdf/pps20.pdf>
- [60] Michelfelder, Udo. "Market Analysis, Fuel Cells, Type: Metal-Air-Cell" Q3/2002 cixxx - competence in fuel cell systems. Internet:
<http://www.cixxx.de/fuelcellmarket/metal-air-cells-market.pdf>. Viitattu 2.12.02.

- [61] Zoxy Energy Systems AG. Internet: <http://zoxy.eumedia.de/en/index.htm>. Viitattu 2.12.02.
- [62] Sumitomo Electric, ”Feature article: Redox Flow Batteries”. SEI NEWS May 2001. Internet: <http://www.sei.co.jp/sn/0105/p1.html>. Viitattu 3.12.02.
- [63] Regenesys Technologies. Internet: <http://www.regenesys.com>. Viitattu 3.12.02.
- [64] Halme, Aarne, Zhang, Zhang, Xia-Chang, Ranta, Anja, 2002. ”Study of biological fuel cells”. Internet: <http://www.automation.hut.fi/research/bio/sfc00pos.htm>. Viitattu 5.06.12.
- [65] Energy and Waste Management Assistance Bureau. Iowa Department of Natural Resources. ”Wind Hybrid Electricity Applications”. Internet: <http://www.state.ia.us/dnr/energy/pubs/whea/storage.htm>. Viitattu 17.12.02.
- [66] Vázquez, Manuel, Vegas, Alberto, Buffin, Meryem, Sauer, Dirk Uwe, Daza, Loreto, Guerrero, Antonio, Ornelas, R., Liebig, Rainer. 2000. ” FUEL CELLS FOR POWERING REMOTE TELECOM EQUIPMENT”. 2000 Fuel Cell Seminar. USA. Internet: <http://www.inta.es/first/documentos/FCSeminar.PDF>. Viitattu 17.12.02.
- [67] Urenco Power Technologies. Flywheel energy storage systems. Internet: <http://www.urenc.com/flycylinder/home.htm>. Viitattu 18.12.02
- [68] Pearl Street. 2002. ” Energy Storage Projected to Have \$175 Billion Positive Impact on US Economy”. St. Louis, MO. USA. September 23, 2002. Internet: [http://www.pearlstreetinc.com/Energy %20Storage %20to %20Have %20\\$175 %20Billion %20Postive %20Impact %20on %20US %20Economy.htm](http://www.pearlstreetinc.com/Energy%20Storage%20to%20Have%20$175%20Billion%20Postive%20Impact%20on%20US%20Economy.htm). Viitattu 18.12.02.
- [69] Internet: <http://www.h2fc.com/tech.html>. Viitattu 19.12.02.
- [70] Euroopan yhteisöjen virallinen lehti. 2002. ”Eurooppalaisen tutkimusalueen integrointi ja lujittaminen” (2002 – 2006), (2002/834/EY), NEUVOSTON PÄÄTÖS, tehty 30 päivänä syyskuuta 2002, tutkimuksen, teknologian kehittämisen ja esittelyn erityisohjelmasta. 29.10.2002 FI L 294/ s. 22. Internet: http://europa.eu.int/eur-lex/pri/fi/oj/dat/2002/l_294/l_29420021029fi00010043.pdf. Viitattu 2.01.03.

- [71] Vassallo, Tony. "Energy Storage in Distributed Generation". CSIRO Centre for Distributed Energy & Power. Internet: http://www.cendep.csiro.au/pdf/t_vassallo.pdf. Viitattu 3.01.03.
- [72] AFS Trinity. Flywheel technology. Internet: <http://www.afstrinity.com/tech.html>. Viitattu 7.01.03.
- [73] URENCO Power Technologies. Flywheel technology. Internet: <http://www.uptenergy.com/en/powerman/>. Viitattu 7.01.03.
- [74] Beacon Power. Flywheels. Internet: <http://www.beaconpower.com/flywheels/index.htm>. Viitattu 7.01.03.
- [75] Pentadyne Power Corporation. Flywheels. Internet: <http://www.pentadyne.com/Products/products.html>. Viitattu 7.01.03.
- [76] Internet: http://www.eren.doe.gov/der/pdfs/tech_briefs/energystorage.pdf. Viitattu 7.01.03.
- [77] DER (Distributed Energy Sources). U.S. Department of Energy. Energy Storage Program. Internet: http://www.eren.doe.gov/der/energy_storage/program.html. Viitattu 7.01.03.
- [78] Butler, Paul, Miller, Jennifer L. & Taylor, Paula A.. 2002. "Energy Storage Opportunities Analysis Phase II Final Report A Study for the DOE Energy Storage Systems Program". Sandia Report Sand 2002-1314. Sandia National Laboratories Albuquerque, New Mexico 87185 and Livermore, California 94550. Toukokuu 2002. Internet: <http://infoserve.sandia.gov/cgi-bin/techlib/access-control.pl/2002/021314.pdf>. Viitattu 7.01.03.
- [79] Business Communications Company Inc. 2001. "Markets Energize for new energy storage techniques". Viitattu 19.01.03.
- [80] Ener1 Inc. Internet: http://www.ener1.com/battery/b_polymericLith.shtml. Viitattu 9.01.03.
- [81] SolarAccess.com. 2001. "Market for Energy Storage to Expand in U.S., Predicts Report". Report 3.12.2001. Internet: <http://www.solaraccess.com/news/story?storyid=1200>. Viitattu 8.01.03.

- [82] Passive Component Industry. 1999. "Supercapacitors. Is This the Future of the Battery?" September/October 1999. Internet: http://www.ec-central.org/magazine/PDF/art_1_sept_oct_99.pdf. Viitattu 8.01.03.
- [83] Molter, Trent M. 1999. "Regenerative Fuel Cell Technology and Applications". Proton Energy Systems. Internet: <http://www.netl.doe.gov/publications/proceedings/99/99fuelcell/fc3-9.pdf>. Viitattu 9.01.03.
- [84] Saeed, Farah. 2003. "Next Generation of Back-up Power Technology". Frost & Sullivan 10.01.03. Internet: <http://www.frost.com/prod/news.nsf/0/7C787B7C790C975186256CA900630C0C?OpenDocument&login=1&fcmseq=1042199390893>. Viitattu 10.01.03.
- [85] Oy Hydrocell Ltd. Internet: <http://www.hydrocell.fi/polttokennoakut.htm>. Viitattu 10.01.03.
- [86] PowerZink. Internet: <http://www.powerzinc.com/en/index-2-c2-1.htm>. Viitattu 12.01.03.
- [87] Tavrira Canada Limited. Ultracapacitor. Internet: <http://www.tavrira.com/tech03.html>. Viitattu 11.01.03.
- [88] IEEE SCC21. "SCC21 Standards Coordinating Committee on Fuel Cells, Photovoltaics, Dispersed Generation, and Energy Storage". Internet: <http://grouper.ieee.org/groups/scc21/index.html>. Viitattu 13.01.03.
- [89] IEEE SCC29. "IEEE Stationary Battery Standards". Internet: <http://grouper.ieee.org/groups/scc29/index.html>. Viitattu 13.01.03.
- [90] ANSI Standards Activities. Internet: http://www.ansi.org/standards_activities/overview/overview.aspx?menuid=3. Viitattu 13.01.03.
- [91] European Commission, Community Research. "Investire network. Investigation on storage technologies for intermittent renewable energies". Programme: Development of renewable energy. 21.09.2001. Internet: http://www.ademe.fr/pcrd/Projets/ev260901_poster_investre_network.pdf. Viitattu 20.01.03.

- [92] Tekes teknologiaohjelmat. Internet:
<http://akseli.tekes.fi/Resource.phx/plaza/tekes/enym-hajautetut.htx>.
 Viitattu 21.01.03
- [93] Deutsches Patent- und Markenamt. DEPATISnet. Internet:
<http://www.depatistnet.de/>. Viitattu 21.01.03
- [94] Cetetherm. Internet: <http://www.cetetherm.fi/>. Viitattu 27.11.02.
- [95] Padro, C. E. G., Putche, V. 1999. ”Survey of the Economics of Hydrogen Technologies”. National Renewable Energy Laboratory, U.S. Department of Energy. NREL/TP-570-270-79.
- [96] Hottinen, Tero. 2001. ” Technical Review and Economic Aspects of Hydrogen Storage Technologies”. Master's thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Technology. Espoo, 22.10.2001. Internet: <http://www.hut.fi/Units/AES/studies/dis/hottinen.pdf>.
 Viitattu 27.11.02.
- [97] Zae Bayern. Internet: <http://www.muc.zae-bayern.de/pcm/>. Viitattu 19.02.03.
- [98] Teap Energy. Internet: <http://www.teappcm.com/>. Viitattu 25.02.03
- [99] Rubitherm GmbH. Internet: <http://www.rubitherm.com/>. Viitattu 25.02.03.
- [100] US Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. Internet: <http://www.eere.energy.gov/consumerinfo/refbriefs/b103.html>.
 Viitattu 25.02.03
- [101] Fischer, S. “Thermochemical storage system for space heating – effects of the first improvements of the system.” IEA Annex 10, Phase Change materials and Chemical reactions for Thermal Energy Storage, First Workshop, 16–17 April 1998, Adana, Turkey. Internet:
http://www.ket.kth.se/Avdelningar/ts/annex10/WS_pres/fischer_proc_final.pdf.
 Viitattu 25.02.03
- [102] The Solarserver. “Summer Sun all Winter: Seasonal Heat Reservoir covers Heating Needs up to 100 %”. Internet:
<http://www.solarserver.de/solarmagazin/anlagejan2000-e.html>. Viitattu 25.02.03.

- [103] Australian National University. Internet:
<http://engnet.anu.edu.au/DEpeople/Keith.Lovegrove/STG/thermochem.html>.
 Viitattu 25.02.03.
- [104] Bach, P.W., Haije, W.G. "Heat storage and transformation". ZAE-Symposium 2001, Heat and Cold Storage, Munich, 3–5 October 2001. Internet:
<http://www.ecn.nl/library/reports/2001/rx01036.html> Viitattu 26.02.03.
- [105] Luther, J. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE. Internet:
www.ise.fraunhofer.de/german/current_topics/events/events2001/lu_140901.pdf.
 Viitattu 26.02.03
- [106] Sakai, K. et al. "A simulation of an underground heat storage system using midnight electric power at Park Dome Kumamoto". Internet:
www.hvac.okstate.edu/pdfs/bs99/papers/D-14.pdf. Viitattu 27.02.03
- [107] International Energy Agency. "Energy Conservation through Energy Storage Programme". Version May 2002. Internet: <http://eces.tech-env.com/brochure.pdf>.
 Viitattu: 27.02.03
- [108] Justus-Liebig-Universität Giessen. Internet: www.uni-giessen.de/~gg1068/pdf-Dateien/Geothermie/Literatur/Gth-days02/igd-greece-2002-utes.pdf. Viitattu 27.02.03
- [109] IEA. Internet: cevre.cu.edu.tr/eces/oh-pics/oa8.pdf. Viitattu 27.02.03
- [110] Lamberg P., Sirén K. 1998. "Rakennusmateriaalien soveltuvuus lyhytaikaiseen lämmönvarastointiin. Osa 1. Faasimuutosmateriaalit rakentamisessa - Tilannekatsaus". Teknillinen korkeakoulu. Konetekniikan osasto. LVI-tekniikan laboratorio. Raportti B56. Espoo 1998. S. 1–71.
- [111] Lamberg, P. et al. 2000. "Rakennusmateriaalien soveltuvuus lyhytaikaiseen lämmönvarastointiin. Osa 3. Faasimuutosrakenteiden käytön tekniset ja taloudelliset reunaehdot". Teknillinen korkeakoulu. Konetekniikan osasto. LVI-tekniikan laboratorio. Raportti B68. Espoo 2000. S. 1–60.
- [112] Paalanen, J., Sirén K. 1997. "Termisen energian varastoinnin hyväksikäyttömahdollisuudet rakennusten lämmityksessä ja jäähdytyksessä. Osa 1. Varastointitekniikat – Tilannekatsaus". Teknillinen korkeakoulu. Konetekniikan osasto. LVI-tekniikan laboratorio. Raportti B47. Espoo 1997. S. 1–69.

- [113] Paalanen, J., Sirén K. 1997. ”Termisen energian varastoinnin hyväksikäyttömahdollisuudet rakennusten lämmityksessä ja jäähdytyksessä. Osa 3. Rakennusjärjestelmä-varasto-yhdistelmien analysointi”. Teknillinen korkeakoulu. Konetekniikan osasto. LVI-tekniikan laboratorio. Raportti B49. Espoo 1997. S. 1 – 73.
- [114] ATLAS. ”Thermal Energy Storage Overview”. Internet:
http://europa.eu.int/comm/energy_transport/atlas/htmlu/thermdintro.html. Viitattu 04.03.03.
- [115] International Energy Agency (IEA), Energy Conservation Through Energy Storage (ECES). Annex 17. "Advanced Thermal Energy Storage through Application of Phase Change Materials and Chemical Reactions - Feasibility Studies and Demonstration Projects". 26.02.2002. Internet:
<http://www.fskab.com/Annex17/Legal%20texts/Cont%20Annex%2017.pdf>. Viitattu 04.03.03.
- [116] Climator. Internet: <http://www.climator.com/application/solarenergy.html>. Viitattu 04.03.03.
- [117] Los Angeles Department of Water and Power. Internet:
http://www.ladwp.com/energyadvisor/PA_28.html. Viitattu: 5.03.03.
- [118] Pacific Northwest National Laboratory. ”Thermal Energy Storage for Space Cooling. Federal Energy Management Program”. Internet:
<http://www.pnl.gov/fta/>. Viitattu 5.03.03.
- [119] U.S. Department of Energy. ”Keep it cool with Thermal Energy Storage”. Internet: www.eren.doe.gov/cities_counties/pdfs/thermal.pdf. Viitattu 5.03.03.
- [120] IEA DHC/CHP. Internet: <http://www.iea-dhc.org/dhcVI.htm>. Viitattu 5.03.03.
- [121] Pacific Northwest National Laboratory. ”Ground-Source heat Pumps Applied to Federal Facilities - Second Edition”. Federal Energy Management Program. Internet: <http://www.pnl.gov/fta/>. Viitattu 5.03.03.
- [122] Lamberg, P., Sirén, K. ”Termisen energian varastoinnin hyväksikäyttömahdollisuudet rakennusten lämmityksessä ja jäähdytyksessä. Osa 4. Lämpöpumppu ja kylmäkone termisen energian varastoinnissa”. Espoo: Teknillinen korkeakoulu, konetekniikan osasto, LVI-tekniikan laboratorio, 1997. B52. S. 1–32.

- [123] Takenaka Corporation. 2001. ” Multipurpose System for Using Snow Cold Thermal Storage.” The Underground Development Usage Research Center of the Engineering Advancement Association of Japan. Research into a Multipurpose System for Using Snow Cold Thermal Storage. February 2, 2001. Internet: http://www.takenaka.co.jp/takenaka_e/news_e/pr0102/m0102_02.htm. Viitattu 10.03.03.
- [124] EPRI, the Electric Power Research Institute, USA. Destinations 2003. Internet: http://www.epri.com/destinations/msview/attachments/2870_2003_program94.pdf ja http://www.epri.com/destinations/msview/attachments/2666_2003_program99r1.pdf. Viitattu 11.03.03.
- [125] EcoGeneration Consultants, Cogeneration Consultants. 2001. ”Thermal Energy Storage”. Internet: <http://www.cogeneration.net/thermalenergystorage.htm>. Viitattu 11.03.03.
- [126] Aguado-Monsonet, M.A., Bontoux, L. 1999. ” New battery technologies: promising developments”. PTS Report vol 36, Jul 99. Internet: <http://www.jrc.es/pages/f-report.en.html>. Viitattu 19.03.03.
- [127] FPL. Energy Advisor. 2002. ”HVAC: Cool Thermal Storage”. Internet: http://www.fpl.com/savings/energy_advisor/PA_28.html. Viitattu 19.03.03.
- [128] Rubitherm. ”A New Generation Of Efficient Ecological Latent Heat Storage Materials Based On Waxes And Paraffins”. Internet: http://www.rubitherm.com/english/download/phase_change_materials.pdf. Viitattu 19.03.03.
- [129] Lehto, M., 2001. ” RAKET-tutkimusohjelmassa kehitettyjen teknologioiden kaupallistaminen”. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. Julkaisu 25/2001. S. 1–174. Internet: <http://www.tts.fi/files/julkaisu25nettiin.pdf>. Viitattu 23.03.03.
- [130] Solis projekti. ”Pumppulaitteistot”. Internet: <http://solis.wwnet.fi/jyfl/pumppu/Default.htm>. Viitattu 26.03.03.
- [131] Haapalainen, H. ”Uusiutuvien energialähteiden käyttö ja edistäminen kunnissa tapahtuma. Kunta ja uusiutuva energia, lämpöpumput lämmityksessä ja jäähdytyksessä”. Internet: <http://www.kuntaliitto.fi/ilmastoenergia/uehaapalainen.rtf>. Viitattu 26.03.03.

- [132] Van de Ven, H. "Sorptions heat pump systems - an international overview". IEA Heat Pump Centre Newsletter Volume 17. No. 2/1999. Internet: <http://www.heatpumpcentre.org/newsletter/download/N1702.pdf>. Viitattu 26.03.03.
- [133] Hauer, A. "Thermal Energy Storage With Zeolite For heating And Cooling Applications". 3rd Experts' meeting and Workshop of Annex 17, Sep. 30 – Oct. 2, 2002, Tokyo, Japan. Internet: http://www.fskab.com/Annex17/Workshops/EM3%20Tokyo%202002-09-30--1002/Presentations/hauer_annex17_paper_2002.pdf. Viitattu 03.04.03.
- [134] IEA, OECD, Heat pump centre. "Review IEA Heat Pump Programme Activities". Internet: <http://www.heatpumpcentre.org/newsletter/download/N2003.pdf>. Viitattu 07.04.03.
- [135] Luther, J., 2002. "Distributed Electricity Generation -future building energy systems". Fraunhofer-Institute for Solar Energy Systems ISE, Freiburg. Internet: http://www.ise.fhg.de/german/vortraege_luther/pdf/2002/lu_311002.pdf. Viitattu 07.04.03.
- [136] HPA, Heat Pump Association, 2002. "World Energy News". Heat Pump News, Saving Energy. Issue 1, Autumn 2002. Internet: <http://www.feta.co.uk/downloads/Heat%20Pump%20News%20No.1.pdf>. Viitattu 08.04.03.
- [137] OPET, Finland, VTT Prosessit. 2002. "Puuenergia-alan laitevalmistajat Suomessa vuonna 2002. Osa 4 - Kattilat, kaasuttimet ja kattilalaitokset". Internet: http://www.tekes.fi/opet/pdf/fi_4katt.pdf. Viitattu 09.04.03.
- [138] Tuomi, S., Alakangas, E., 2001. "Pellettien tuotanto ja käyttö Itävallassa". OPET matkaraportti 2/2001. Internet: <http://www.tekes.fi/opet/pdf/salzburg.pdf>. Viitattu 23.04.03.
- [139] Helynen, S., Oravainen H.. "Polttopuun pientuotannon ja -käytön kehitystarpeet". VTT Prosessit. Tekes. Teknologia katsaus 124/2002. S. 1-30. Internet: <http://www.tekes.fi/julkaisut/polttopuu.pdf>. Viitattu 24.04.03.
- [140] Tampere University of Technology. Energy- and process engineering. Research projects. "Development of Heat Pumps". Internet: <http://www.tut.fi/units/me/ener/projektit/Heatpumps/heatpmp2.htm#I>. Viitattu 23.04.03.

Liite 1

Energian varastointiin liittyviä standardeja

Varsinaisesti energian varastointiin liittyvä standardointi ja ohjeistus on kehittymässä yhdessä hajautettuun energian tuotantoon liittyvien standardointitoimien mukana. Esim. IEEE:n standardointikomitea on perustanut SCC21:n (Standards Coordinating Committee), joka on polttokennoihin, aurinkoenergiaan, hajautettuun energian tuotantoon ja energian varastointiin liittyvän standardoinnin koordinoitukomitea. Komitea esitarkastaa alueeseen liittyvät standardien sisällön vaatimustason ja tason ja yhteneväisyyden kriteerien täyttymiseksi, ennenkuin ne esitellään IEEE-SA standardointilautakunnalle. IEEE P1547.3 työryhmä on valmistellut oppaan sähköjakelujärjestelmiin liittyvän hajautetun energian tuotannon monitoroinnista, informaation vaihdosta ja ohjauksesta (Draft Guide For Monitoring, Information Exchange, and Control of Distributed Resources Interconnected with Electric Power Systems). Opas käsittelee myös energian varastointia. Vastaavasti IEEE P1547.1 käsittelee hajautetun energiantuotannon laitteiden testausproseduureja ja IEEE P1547.2 laitteiden liityntää sähköjakeluun. IEEE SCC29 Standardien koordinoitukomitean alueeseen kuuluvat kiinteisiin akkuihin liittyvät standardit. IOS TC 22/SC 21/WG käsittelee mm. kuljetuslaitteisiin liittyvien energian varastoinnin asennusta. Myös IEC/ANSI standardit käsittelevät energian varastointiin liittyviä tekniikoita.

Tässä työssä on käsitelty lähinnä IEC:n ja IEEE:n energian varastointiin liittyviä standardeja. Lisäksi on luotu katsaus kansallisten standardointielinten (esim. Suomi, Saksa, Australia, USA) energian varastointiin liittyviin standardeihin. Tarkastellut standardit käsittelevät lämpövarastointia, pumpattuja vesivarastoja, polttoaineena varastointia, painesäiliöitä, akkuja, polttokennoja, suprajohteita, kondensaattoreita ja UPS-järjestelmiä.

Taulukko 1. Lämpövarastointia koskevia standardeja.

LÄMPÖVARASTOT	
AS 1056.1-1991 [6]	Storage water heaters – General requirements
AS 1056.1-1991 [6]	Storage water heaters – General requirements
AS 1056.2-1985 [6]	Storage water heaters – Specific requirements for water heaters with single shells
AS 1056.3-1991 [6]	Storage water heaters – Specific requirements for water heaters with composite shells
AS 1206-1990 [6]	Performance of household electrical appliances – Thermal-storage room heaters
AS 1357.1-1992 [6]	Water supply – Valves for use with unvented water heaters – Protection valves

AS 1361-1995 [6]	Electric heat-exchange water heaters – For domestic applications
AS 3498-1995 [6]	Authorization requirements for plumbing products – Water heaters and hot-water storage tanks
AS/NZS 1056.4:1997 [6]	Storage water heaters – Daily energy consumption calculations for electric types
IEC 60335-2-21 (2002-07) [1]	Household and similar electrical appliances – Safety – Part 2–21: Particular requirements for storage water heaters
IEC 60335-2-61 (2002-10) [1]	Household and similar electrical appliances – Safety – Part 2–61: Particular requirements for thermal-storage room heaters
IEC 60379 (1986-09) [1]	Methods for measuring the performance of electric storage water-heaters for household purposes
IEC 60531 (1999-01) [1]	Household electric thermal storage room heaters – Methods for measuring performance
IEEE Std 1374-1998 [2]	IEEE guide for terrestrial photovoltaic power system safety
SFS-EN 12975-1 [3]	Thermal solar systems and components. Solar collectors. Part 1: General requirements; Aurinkolämpöjärjestelmät ja – komponentit. Aurinkolämpökeräimet. Osa 1: Yleiset vaatimukset
SFS-EN 12975-2 + AC [3]	Thermal solar systems and components. Solar collectors. Part 2: Test methods; Aurinkolämpöjärjestelmät ja – komponentit. Aurinkolämpökeräimet. Osa 2: Testausmenetelmät
SFS-EN 12976-1 [3]	Thermal solar systems and components. Factory made systems. Part 1: General requirements; Aurinkolämpöjärjestelmät- ja komponentit. Tehdasvalmisteiset järjestelmät. Osa 1: Yleiset vaatimukset
SFS-EN 12976-2 [3]	Thermal solar systems and components. Factory made systems. Part 2: Test methods; Aurinkolämpöjärjestelmät- ja komponentit. Tehdasvalmisteiset järjestelmät. Osa 2: Testausmenetelmät
SFS-EN 45510-4-5 [3]	Guide for procurement of power station equipment. Part 4-5: Boiler auxiliaries. Coal handling and bulk storage plant
SFS-EN 60335-2-21/A1 [3]	Safety of household and similar electrical appliances. Part 2-21: Particular requirements for storage water heaters
SFS-EN 60335-2-21/A11 [3]	Safety of household and similar electrical appliances. Part 2-21: Particular requirements for storage water heaters
SFS-EN 60335-2-61/A1 [3]	Safety of household and similar electrical appliances. Part 2-61: Particular requirements for thermal storage room heaters
SS-EN 60335-2-21/A3 [3]	Safety of household and similar electrical appliances – Part 2: Particular requirements for storagewater heaters
VDI 4640 Blatt 3 [4]	Utilization of the subsurface for thermal purposes – Underground thermal energy storage
SFS 5096 [3]	Refrigerating plant Kylmälaitos
SFS 5096:Sv [3]	Kylmälaitos Kylanläggning
SFS-EN 378 [3]	Refrigerating systems and heat pumps. Safety and environmental requirements.

Taulukko jatkuu

SFS-EN 1861 [3]	Refrigerating systems and heat pumps. System flow diagrams and piping and instrument diagrams. Layout and symbols Kylmäjärjestelmät ja lämpöpumput. Järjestelmän virtauskaaviot ja putki- ja instrumentointikaaviot. Asettelu ja merkit.
SFS-EN 255:en [3]	Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps with electrically driven compressors.
SFS-EN 1048:en [3]	Heat exchangers. Air-cooled liquid coolers "dry coolers". Test procedure for establishing the performance
SFS-EN 1117:en [3]	Heat exchangers. Liquid cooled refrigerant condensers. Test procedures for establishing the performance
SFS-EN 1736:en [3]	Refrigerating systems and heat pumps. Flexible pipe elements, vibration isolators and expansion joints. Requirements, design and installation Jäähdytysjärjestelmät ja lämpöpumput. Joustavat putkielementit, värinän eristimet ja laajennusyhteet. Vaatimukset, suunnittelu ja asennus.
SFS-EN 12055:en [3]	Liquid chilling packages and heat pumps with electrically driven compressors. Cooling mode. Definitions, testing and requirements. Safety of household and similar electrical appliances. Part 2-61: Particular requirements for thermal storage room heaters
SFS-EN 12263:en [3]	Refrigerating systems and heat pumps. Safety switching devices for limiting the pressure. Requirements and tests Jäähdytysjärjestelmät ja lämpöpumput. Paineenrajoituksen varolaitteet. Vaatimukset ja testaukset. Safety of household and similar electrical appliances – Part 2: Particular requirements for storage-water heaters
SFS-EN 12900:en [3]	Refrigerant compressors. Rating conditions, tolerances and presentation of manufacturer's performance data. Utilization of the subsurface for thermal purposes – Underground thermal energy storage
SFS-EN 13136:en [3]	Refrigerating systems and heat pumps. Pressure relief devices and their associated piping. Methods for calculation Kylmäkoneistot ja lämpöpumput. Ylipaineen varolaitteet. Laskentamenetelmät.
SFS-EN 13215:en [3]	Condensing units for refrigeration. Rating conditions, tolerances and presentation of manufacturer's performance data.
SFS-EN 13313:en [3]	Refrigerating systems and heat pumps. Competence of personnel. Jäähdytysjärjestelmät ja lämpöpumput. Henkilöstön pätevyys.

Taulukko 2. Pumpattuja vesivarastoja käsitteleviä standardeja.

PUMPATUT VESIVARASTOT	
ANSI/IEEE Std 1010-1987 [5]	IEEE guide for control of hydroelectric power plants
DIN 19700-14 [4]	Dam plants; pumped-storage reservoirs
IEC 60041 (1991-11) [1]	Field acceptance tests to determine the hydraulic performance of hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines
IEC 60193 (1999-11) [1]	Hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines – Model acceptance tests
IEC 60609 (1978-01) [1]	Cavitation pitting evaluation in hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines
IEC 60609-2 (1997-11) [1]	Cavitation pitting evaluation in hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines – Part 2: Evaluation in Pelton turbines
IEC 60805 (1985-09) [1]	Guide for commissioning, operation and maintenance of storage pumps and of pump-turbines operating as pumps
IEC 60994 (1991-02) [1]	Guide for field measurement of vibrations and pulsations in hydraulic machines (turbines, storage pumps and pump-turbines)
IEC/TR3 61366-1 (1998-03) [1]	Hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines – Tendering Documents – Part 1: General and annexes
IEC/TR3 61366-2 (1998-03) [1]	Hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines – Tendering Documents – Part 2: Guidelines for technical specifications for Francis turbines
IEC/TR3 61366-3 (1998-03) [1]	Hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines – Tendering documents – Part 3: Guidelines for technical specifications for Pelton turbines
IEC/TR3 61366-4 (1998-03) [1]	Hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines – Tendering Documents – Part 4: Guidelines for technical specifications for Kaplan and propeller turbines
IEC/TR3 61366-5 (1998-03) [1]	Hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines – Tendering Documents – Part 5: Guidelines for technical specifications for tubular turbines
IEC/TR3 61366-6 (1998-03) [1]	Hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines – Tendering Documents – Part 6: Guidelines for technical specifications for pump-turbines
IEC/TR3 61366-7 (1998-03) [1]	Hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines – Tendering Documents – Part 7: Guidelines for technical specifications for storage pumps
SFS-EN 45510-5-4 [3]	Guide for procurement of power station equipment. Part 5-4: Hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines
Work in Progress:	
IEC 60609-1 [1]	Hydraulic machines – Cavitation pitting evaluation in hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines – Part 1: Evaluation in reaction turbines – Storage pumps and pump-turbines
IEC 62256 [1]	Hydraulic turbine, storage pumps and pump-turbines – Guide for rehabilitation and performance improvements

Taulukko 3. Standardeja aiheesta ”Polttoaineena varastointi”.

POLTTOAINEENA VARASTOINTI	
SFS 2733 [3]	Storage and handling of flammable liquids. Above ground horizontal cylindrical steel tank; Palavien nesteiden varastointi ja käsittely. Teräksinen maanpäällinen lieriömäinen makaava säiliö
SFS 2734 [3]	Storage and handling of flammable liquids. Above ground vertical cylindrical steel tank; Palavien nesteiden varastointi ja käsittely. Teräksinen maanpäällinen lieriömäinen pystysäiliö
SFS 2735 [3]	Storage and handling of flammable liquids. Above ground rectangular steel tank; Palavien nesteiden varastointi ja käsittely. Teräksinen maanpäällinen suorakulmainen säiliö
SFS 2736 [3]	Storage and handling of flammable liquids. Underground horizontal cylindrical steel tank; Palavien nesteiden varastointi ja käsittely. Teräksinen maanalainen lieriömäinen makaava säiliö
SFS 3278 [3]	Transportable gas containers. Storage and utilization of hydrogen, methane and ethene; Kuljetettavat kaasusäiliöt. Vedyn, metaanin ja eteenin varastointi ja käyttö
SFS 3350 [3]	Bulk plant for storage of flammable and combustible liquids; Palavien nesteiden varastopaikka ja siellä olevat palavan nesteen käsittelypaikat
SFS 3352 [3]	Storage and handling of flammable liquids at service stations; Palavien nesteiden varastointi ja käsittely jakeluasemalla
SFS 3357 [3]	Firefighting and fire prevention equipment for storage of flammable liquids; Palavien nesteiden varaston sammutus- ja palontorjuntalaitteisto
SFS-EN 1918-1 [3]	Gas supply systems. Underground gas storage. Part 1: Functional recommendations for storage in aquifers; Maanalaiset kaasuvälikammiot. Osa 1: Toiminnalliset suositukset kaasun varastoinnille akviferikerrostumissa
SFS-EN 1918-2 [3]	Gas supply systems. Underground gas storage. Part 2: Functional recommendations for storage in oil and gas fields; Maanalaiset kaasuvälikammiot. Osa 2: Toiminnalliset suositukset kaasun varastoinnille öljy- ja kaasukentissä
SFS-EN 1918-3 [3]	Gas supply systems. Underground gas storage. Part 3: Functional recommendations for storage in solution-mined salt cavities; Maanalaiset kaasuvälikammiot. Osa 3: Toiminnalliset suositukset kaasun varastoinnille suolakammiin liuotetuissa onkaloissa
SFS-EN 1918-4 [3]	Gas supply systems. Underground gas storage. Part 4: Functional recommendations for storage in rock caverns; Maanalaiset kaasuvälikammiot. Osa 4: Toiminnalliset suositukset kaasun varastoinnille kallioluolissa
SFS-EN 1918-5 [3]	Gas supply systems. Underground gas storage. Part 5: Functional recommendations for surface facilities; Maanalaiset kaasuvälikammiot. Osa 5: Toiminnalliset suositukset kaasuvälikammioiden maanpäällisille laitteistoille

Taulukko 4. Painesäiliöihin liittyviä standardeja.

PAINESÄILIÖIHIN LIITTYVIÄ STANDARDEJA	
SFS 3333 [3]	Pressure containers. Location equipment and operation; Painesäiliöt. Sijoitus, varustelu ja käyttö
CR 13445-7 [3]	Unfired pressure vessels. Part 7: Guidance on the use of the conformity procedures; Lämmittämättömät paineilmasäiliöt. Osa 7: Opa vaatimustenmukaisuusmenettelystä
SFS 3344 [3]	Arrangements, equipment and operation of pressure vessels. Pressure containers. Emptying plant and filling of road tanks, rail tanks and tank-containers; Paineastiain sijoitus, varustelu ja käyttö. Painesäiliöt. Vaunusäiliön ja säiliökontin tyhjennysasema ja täyttö
SFS-EN 13445-1 [3]	Unfired pressure vessels. Part 1: General; Lämmittämättömät painesäiliöt. Osa 1: Yleistä
SFS-EN 13445-2 [3]	Unfired pressure vessels. Part 2: Materials; Lämmittämättömät painesäiliöt. Osa 2: Materiaalit
SFS-EN 13445-3 [3]	Unfired pressure vessels. Part 3: Design; Lämmittämättömät painesäiliöt. Osa 3: Suunnittelu
SFS-EN 13445-4 [3]	Unfired pressure vessels. Part 4: Fabrication; Lämmittämättömät painesäiliöt. Osa 4: Valmistus
SFS-EN 13445-5 [3]	Unfired pressure vessels. Part 5: Inspection and testing; Lämmittämättömät painesäiliöt. Osa 5: Tarkastus ja testaus
SFS-EN 13445-6 [3]	Unfired pressure vessels. Part 6: Requirements for the design and fabrication of pressure vessels and pressure parts constructed from spheroidal graphite cast iron; Lämmittämättömät painesäiliöt. Osa 6: Lisävaatimuksia pallografiittivaluraudasta valmistettujen painesäiliöiden ja säiliön osien suunnittelulle ja valmistukselle

Taulukko 5. Akkuihin liittyviä standardeja.

AKUT	
ANSI/IEEE Std 535-1986 [5]	IEEE standard for qualification of Class 1E lead storage batteries for nuclear power generating stations
DIN 29831 [4]	Aerospace; vented nickel-cadmium storage batteries, 24 V 40 Ah
DIN 29831 [4]	Aerospace; vented nickel-cadmium storage batteries, 24 V 40 Ah
DIN 43539-1 [4]	Storage cells and batteries; testing; general information and general test methods
DIN 43539-1 [4]	Storage cells and batteries; testing; general information and general test methods
IEEE P1188 [2]	Draft: Recommended Practice for Maintenance, Testing, and Replacement of Valve-Regulated Lead-Acid Batteries for Stationary Applications, Oct. 1995
IEEE P1189 [2]	Draft: Guide for Selecting and Sizing Valve-Regulated Lead-Acid Batteries for Stationary Applications, Oct. 1995

Taulukko jatkuu

IEEE P1361 [2]	Draft: Guide For The Selection, Test And Evaluation of Lead Acid Batteries For Stand-Alone Photovoltaic (PV) Systems
IEEE Std 1106-1995 [2]	IEEE Recommended Practice for Installation, Maintenance, Testing, and Replacement of Vented Nickel-Cadmium Batteries for Stationary Applications (ANSI)
IEEE Std 1115-1992 [2]	IEEE Recommended Practice for Sizing Nickel-Cadmium Batteries for Stationary Applications (ANSI)
IEEE Std 1144-1996 [2]	IEEE recommended practice for sizing nickel-cadmium batteries for photovoltaic (PV) systems
IEEE Std 1145-1999 [2]	IEEE recommended practice for installation and maintenance of nickel-cadmium batteries for Photovoltaic (PV) systems
IEEE Std 1187-2002 [2]	IEEE Recommended Practice for Installation Design and Installation of Valve-Regulated Lead-Acid Storage Batteries for Stationary Applications
IEEE Std 450-1995 [2]	IEEE recommended practice for maintenance, testing, and replacement of vented lead-acid batteries for stationary applications
IEEE Std 484-1996 [2]	IEEE recommended practice for installation design and installation of vented lead-acid batteries for stationary applications
IEEE Std 485-1997 [2]	IEEE Recommended Practice for Sizing Lead-acid Batteries for Stationary Applications
IEEE Std 937-2000 [2]	IEEE Recommended Practice for Installation and Maintenance of Lead-Acid Batteries for Photovoltaic (PV) Systems
IEEE Std. 1144 [2]	IEEE Recommended Practice for Sizing Nickel/Cadmium Batteries for Photovoltaic Applications – Withdrawn.
SFS-EN 50272-2 [3]	Safety requirements for secondary batteries and battery installations. Part 2: Stationary batteries; Akkujen ja akkuasennusten turvallisuusvaatimukset. Osa 2: Paikallisakut

Taulukko 6. Polttokennoihin liittyviä standardeja.

POLTTOKENNOT, Work in Progress	
IEC 62282-1 [1]	Fuel cell technologies – Part 1: Terminology
IEC 62282-2 [1]	Fuel cell technologies – Part 2: Fuel cell modules
IEC 62282-3-1 [1]	Fuel cell technologies – Part 3-1: Stationary fuel cell power plants – Safety
IEC 62282-3-2 [1]	Fuel cell technologies – Part 3-2 : Stationary fuel cell power plants – Test methods for the performance
IEC 62282-3-3 [1]	Fuel cell technologies – Part 3-3: Stationary fuel cell power plants – Installation
IEC 62282-4 [1]	Fuel cell technologies – Part 4: Fuel cell system for propulsion and auxiliary power units (APU)
IEC 62282-5 [1]	Fuel cell technologies – Part 5: Portable fuel cell appliances – Safety and performance requirements

Taulukko 7. Suprajohteisiin liittyviä standardeja.

SUPRAJOHTEET	
IEC 61788-1 (1998-02) [1]	Superconductivity – Part 1: Critical current measurement – DC critical current of Cu/Nb-Ti composite superconductors
IEC 61788-2 (1999-03) [1]	Superconductivity – Part 2: Critical current measurement – DC critical current of Nb ₃ Sn composite superconductors
IEC 61788-3 (2000-12) [1]	Superconductivity – Part 3: Critical current measurement – DC critical current of Ag-sheathed Bi-2212 and Bi-2223 oxide superconductors
IEC 61788-4 (2001-07) [1]	Superconductivity – Part 4: Residual resistance ratio measurement – Residual resistance ratio of Nb-Ti composite superconductors
IEC 61788-5 (2000-12) [1]	Superconductivity – Part 5: Matrix to superconductor volume ratio measurement – Copper to superconductor volume ratio of Cu/Nb-Ti composite superconductors
IEC 61788-6 (2000-12) [1]	Superconductivity – Part 6: Mechanical properties measurement – Room temperature tensile test of Cu/Nb-Ti composite superconductors
IEC 61788-7 (2002-01) [1]	Superconductivity – Part 7: Electronic characteristic measurements – Surface resistance of superconductors at microwave frequencies
IEC 61788-10 (2002-06) [1]	Superconductivity – Part 10: Critical temperature measurement – Critical temperature of Nb-Ti, Nb ₃ Sn, and Bi-system oxide composite superconductors by a resistance method
IEC 61788-12 (2002-06) [1]	Superconductivity – Part 12: Matrix to superconductor volume ratio measurement – Copper to non-copper volume ratio of Nb ₃ Sn composite superconducting wires
Work in Progress:	
IEC 61788-8 Ed. 1.0 [1]	Superconductivity – Part 8: AC Loss Measurements – Total AC loss measurement of Cu/Nb-Ti composite superconducting wires exposed to a transverse alternating magnetic field by a pickup coil method
IEC 61788-9 Ed. 1.0 [1]	Superconductivity Part 9: Measurement for bulk high temperature superconductors – Trapped flux density in large grain oxide superconductors
IEC 61788-11 Ed. 1.0 [1]	Superconductivity – Part 11: Residual resistance ratio measurement – Residual resistance ratio of Nb ₃ Sn composite superconductors
IEC 61788-13 Ed. 1.0 [1]	Superconductivity – Part 13: AC Loss Measurements – Magnetometer methods for hysteresis loss in Cu/Nb-Ti multifilamentary composites

Taulukko 8. Kondensaattoreihin liittyviä standardeja.

KONDENSAATTORIT	
IEC 61071-1 (1991-10) [1]	Power electronic capacitors – Part 1: General
IEC/TR2 61071-2 (1994-05) [1]	Power electronic capacitors – Part 2: Requirements for disconnecting test on fuses, destruction test, self-healing test and endurance test
Work in Progress:	
IEC 61071-1 [1]	Revision of IEC 61071-1: Power electronic capacitors – Part 1: General
IEC 61071-2 [1]	Revision of IEC 61071-2: Power electronic capacitors – Part 2: Requirements for disconnecting test on fuses, destruction test, self-healing test and endurance test

Taulukko 9. UPS-järjestelmiin liittyviä standardeja.

UPS	
IEC 62040-1-1 (2002-08) [1]	Uninterruptible power systems (UPS) – Part 1-1: General and safety requirements for UPS used in operator access areas
IEC 62040-1-2 (2002-08) [1]	Uninterruptible power systems (UPS) – Part 1-2: General and safety requirements for UPS used in restricted access locations
IEC 62040-2 (1999-02) [1]	Uninterruptible power systems (UPS) – Part 2: Electromagnetic compatibility (EMC) requirements
IEC 62040-3 (1999-03) [1]	Uninterruptible power systems (UPS) – Part 3: Method of specifying the performance and test requirements
IEEE Std 1184-1994 [2]	IEEE Guide for the Selection and Sizing of Batteries for Uninterruptible Power Systems
IEEE Std 446-1995 [2]	IEEE Recommended Practice for Emergency and Standby Power Systems for Industrial and Commercial Applications
IEEE Std 946-1992 [2]	IEEE recommended practice for the design of DC auxiliary power systems for generating stations
SFS-EN 50091-1-1 [3]	Uninterruptible power systems (UPS). Part 1-1: General and safety requirements for UPS used in operator access areas
SFS-EN 50091-1-2 [3]	Uninterruptible power systems (UPS). Part 1-2: General and safety requirements for UPS used in restricted access locations
SFS-EN 50091-2 [3]	Uninterruptible power systems (UPS). Part 2: EMC requirements
Work in Progress:	
IEC 62040-2 [1]	Maintenance Cycle Report on IEC 62040-2, Ed. 1: Uninterruptible Power Systems (UPS) – Part 2: Electromagnetic Compatibility (EMC) requirements

Taulukko 10. Yleisiä energiavarastointiin liittyviä standardeja.

YLEISTÄ	
ANSI/IEEE Std 1001-1988 [5]	IEEE guide for interfacing dispersed storage and generation facilities with electric utility systems
IEEE Std 500-1984 [2]	Energy Transport, Storage, and Retention Equipment -- Preface

Lähdeluettelo

- [1] IEC (International Electrotechnical Commission). Internet: <http://www.iec.ch>. Viitattu 13.01.03.
- [2] IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). Internet: <http://www.ieee.org/>. Viitattu 13.01.03.
- [3] SFS/SUOMI. Internet: <http://www.sfs.fi>. Viitattu 13.01.03.
- [4] DIN/SAKSA. Internet: <http://www.din.de/>. Viitattu 13.01.03.
- [5] ANSI/USA. Internet: <http://www.ansi.org/>. Viitattu 13.01.03.
- [6] SAA/AUSTRALIA. Internet: <http://www.standards.com.au/>. Viitattu 13.01.03.

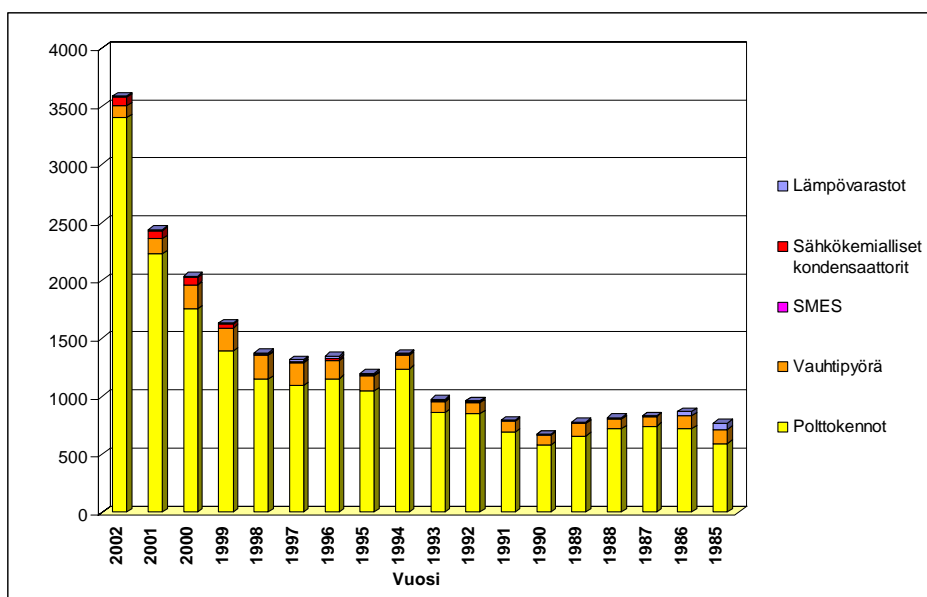
Liite 2

Katsaus energian varastointiin liittyviin patenteihin

Yleistä

Patenttien hakuun on käytetty Saksan patenti- ja tavaramerkkiviraston (Deutsches Patent- und Markenamt) internetissä ylläpitämää DEPANISnet-palvelua [1], jossa on mukana useita patenttivarastoja mm. Saksa, EP, US, PCT/WO, Itävalta, Sveitsi, Ranska, Iso-Britannia ja Japani. Patenteja on tarkasteltu yleisesti vuosien 1885–2002 ajalta ja tarkemmin vuosien 1999–2002 ajalta. Tarkastelu on tehty vuoden 2002 loppupuolella, joten kaikki vuoden 2002 patentit eivät välttämättä ole mukana luetteloissa. Tuloksissa voi olla myös saman hakijan samaa asiaa koskevat eri patenttivarastojen myöntämät patentit ja toisaalta periaatteessa sama innovaatio voi olla kattavasti patentoitu useilla eri patenteilla. Tekstissä esiintyvät ja myös haussa apuna käytetyt luokitusnumerot viittaavat kansainvälisen patenttiluokituksen (IPC, International Patent Classification) koodaukseen [2].

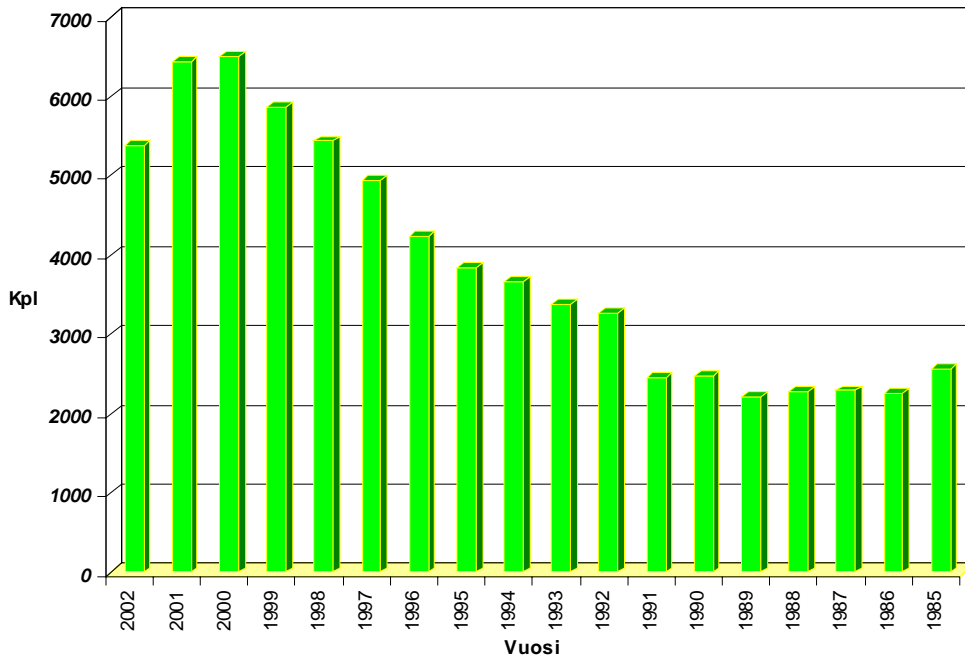
Energian varastointiteknologia on ollut vilkkaan patentoinnin kohteena jo usean vuosikymmenen ajan, mutta selkeä kasvu patenttien lukumäärässä tapahtui vuosina 1992, 1994, 1996 ja 1999. Vuodesta 1999 käsiteltyjen aihealueiden patenttien määrä on kasvanut vuosittain ja myös muihin kuin polttokennoihin ja akkuihin liittyvät patenttimäärät olivat kasvussa. Vuonna 2002 polttokennoihin liittyvät patentit kasvoivat merkittävästi.



Kuva 1. Selvityksessä käsiteltyjen aihepiirien patenttien jakautuminen viime vuosille 1985–2002. [1] mukaan.

Akut

Akkuihin ja paristoihin yleisesti liittyviä patenttihakemuksia löytyi hakusanalla ”Battery” DEPATISnet-patenttitietokannasta [1] vuosien 1985-2002 yhteensä 69492 kpl. Patenttien vuotuinen lukumäärä pysyi suhteellisen vakiona vuoteen 1991 asti, jolloin alkoi merkittävä vuotuisten patenttihakemusten lisäys, joka suurimmillaan oli vuonna 2000 kun patenttien lukumäärä 6510 kpl.



Kuva 2. Akkuihin liittyvien patenttien vuotuiset määrät vuosien 1985–2002 aikana. [1] mukaan.

Vuosien 1999–2002 aikana tehtiin akkuihin liittyviä patenteja yhteensä 24194 kpl. Patentit jakautuivat eri osa-alueille siten, että eniten patentoitiin elektrodien osalta Taulukko 1) epäorgaanisista yhdisteistä valmistettuihin elektrodeihin (yht. 1190 kpl) ja kennoihin ja valmistukseen liittyviä liittyvistä asioista orgaanisilla elektrolyyteillä varustettuihin kennoihin liittyviä patenteja 2079 kpl. (Taulukko 2).

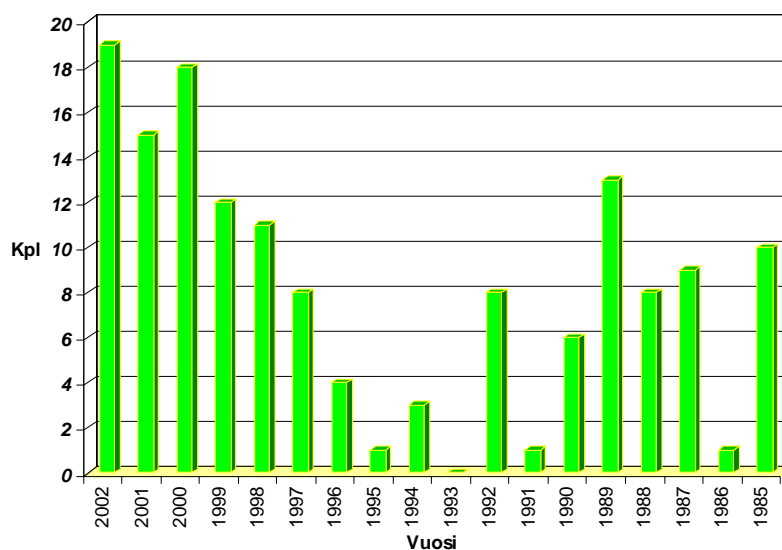
Taulukko 1. Akkujen elektrodeihin liittyvät patentit v. 1999–2002. [1]

Luokka H01M	1999 (Kpl)	2000 (Kpl)	2001 (Kpl)	2002 (Kpl)	Yht (kpl)
4/00 Elektrodit	5	3	16	4	28
4/02 . Aktiivisesta materiaalista valmistetut tai sitä sisältävät elektrodit	152	150	127	91	520
4/04 . . . Valmistusprosessit yleisesti	111	74	77	82	344
4/06 . . . Primaaristen kennojen elektrodit	7	12	10	10	39
4/08 . . . Valmistusprosessi	4	6	0	1	11
4/10 Puristetut elektrodit sydämellä	0	1	0	0	1
4/12 Käytökelpoisesta metalli- ja metalliseoselektrodit	1	4	1	0	6
4/14 . . . Lyijy/happoakkujen elektrodit	21	12	17	16	66
4/16 . . . Valmistusprosessit	3	1	3	1	8
4/20 Aktiivisella massalla päällystetyt elektrodit	8	15	14	16	53
4/21 Kuivaaminen	3	0	3	2	8
4/22 Elektrodien muovaaminen	4	3	3	1	11
4/23 Elektrodien kuivaus ja suojaaminen muovaamisen jälkeen	1	0	0	0	1
4/24 . . . Alkaaliakkujen elektrodit	37	38	25	32	132
4/26 . . . Valmistusprosessit	17	38	23	14	92
4/28 Saostettu aktiivinen materiaali varauksenkuljettajalla	0	3	2	1	6
4/29 Sähkökemiallisin keinoin	1	1	0	0	2
4/30 Puristaminen	3	3	0	0	6
4/32 Nikkelioksidi- ja hydroksidiakut	60	50	59	40	209
4/34 Hopeaoksidi tai -hydroksidielektronit	1	0	0	2	3
4/36 . . . Valikoima aineita aktiiviseen materiaaliin, aktiivisiin massoihin, aktiivisiin nesteisiin	14	8	11	9	42
4/38 elementit tai metalliseokset	46	63	67	50	226
4/40 alkalimetalleihin pohjautuvat metalliseokset	1	6	10	11	28
4/42 sinkkiin pohjautuvat metalliseokset	6	5	10	3	24
4/46 magnesiumiumiin tai alumiiniin pohjautuvat metalliseokset	5	2	7	5	19
4/48 epäorgaaniset oksidit ja hydroksidit	32	25	29	36	122
4/50 mangaanista	23	27	34	55	139
4/52 nikkelistä, koboltista, tai raudasta	72	44	61	65	242
4/54 hopeasta	1	1	1	0	3
4/56 lyijystä	2	5	3	6	16
4/57 "harmaasta lyijystä", esim. jauheet, jotka sisältävät lyijyä ja lyijyoksidia	2	0	0	0	2
4/58 epäorgaaniset yhdisteet, muut kuin oksidit tai hydroksidit	238	322	329	301	1190
4/60 orgaaniset yhdisteet	20	14	24	34	92
4/62 . . . In-aktiivisten aineiden valikoima aktiivisten massojen ainesosana, esim. sidos- ja täyteaineina	147	134	122	104	507
4/64 . . . Varauksen kuljettajat ja kerääjät	33	21	15	7	76
4/66 . . . Materiaalien valinta	23	31	19	16	89
4/68 Lyijy/happoakkujen käyttöön	7	10	14	11	42
4/70 . . . Muodon mukaan karakterisoidut	15	14	13	13	55
4/72 Hilat	3	5	4	3	15
4/73 lyijy/happoakuille	11	8	21	7	47
4/74 Verkko- ja kangasmateriaalit; Leveäksi valssatut metallit	22	14	19	20	75
4/75 Metallilangat...	3	4	3	2	12
4/76 Säiliöt aktiivin materiaalin pitoon, esim. putket, kapselit	0	0	1	0	1
4/78 Muut kuin sylinteri- ja tasomuodot, esim. kierteiset	1	2	1	0	4
4/80 Huokoiset tasot, esim. sintratut varauksenkuljettajat	25	26	21	10	82
4/82 Varauksen kuljettajien moniaskelvalmistusprosessi lyijy-happoakuille	0	2	0	7	9
4/84 Valanta	2	1	3	2	8
4/86 . . . Inerttielektrodit katalyyttisellä aktiviteetilla, esim. polttokennot	0	6	7	5	18
4/88 . . . Valmistusprosessit	2	3	1	0	6
4/90 . . . Katalyyttisen materiaalin valinta	0	1	0	0	1
4/96 . . . Hiilipohjaiset elektrodit	1	7	1	9	18
YHT	1196	1225	1231	1104	4756

Taulukko 2. Akkujen kennoihin ja valmistukseen liittyvät patentit v. 1999–2002. [1]

Luokka H01M	1999 (Kpl)	2000 (Kpl)	2001 (Kpl)	2002 (Kpl)	Yht (kpl)
10/00 Sekundaariset kennot; Valmistus	4	4	5	5	18
10/02 . Yksityiskohdat	10	6	3	4	23
10/04 . Rakenne tai valmistus yleisesti	59	81	75	63	278
10/06 . Lyijy-happoakut	9	14	12	5	40
10/08 . . Elektrolyyttimateriaalien valinta	10	4	8	4	26
10/10 . . . elektrolyytiin kiinnittäminen	3	3	7	2	15
10/12 . . Rakenne ja valmistus	36	27	43	44	150
10/14 . . . Elektrodi- tai separaattoriryhmän asennus	4	8	5	6	23
10/16 . . . Suspendoimis- ja kannatinelektrodit tai elektrodiryhmit	9	6	11	8	34
10/18 . . Kaksinapaisille elektrodeilla	2	6	0	0	8
10/20 . Puolilyijyakut, esim. akut, joissa vain yksi elektrodi sisältää lyijyä	1	0	1	1	3
10/22 . . Elektrolyyttimateriaalien valinta	0	0	0	1	1
10/24 . Alkaali akut	15	7	11	7	40
10/26 . . Elektrolyyttimateriaalien valinta	3	5	2	2	12
10/28 . . Rakenne ja valmistus	21	31	34	18	104
10/30 . . Nikkeliakut	33	31	39	14	117
10/ 32 . . Hopeaakut	0	1	0	0	1
10/34 . Kaasutiiviit akut	9	17	12	5	43
10/36 . Akut, joita ei ole mainittu ryhmissä H01M 10/06 - H01M 10/34	14	13	14	22	63
10/38 . . Rakenne ja valmistus	11	11	15	11	48
10/39 . . Toiminta korkeassa lämpötilassa	52	48	36	17	153
10/ 40 . . Orgaanisilla elektrolyyteillä	505	601	561	412	2079
10/42 . Sekundaaristen kennojen tai puolikennojen huolto- ja ylläpitotoimenpiteet ja -järjestelyt	43	35	35	32	145
10/44 . . Lataus- ja purkaustoimenpiteet	102	142	126	90	460
10/46 . . Akut, joiden rakenteeseen on liitetty latauslaitteita	110	94	85	51	340
10/48 . . Akut, joiden yhteydessä on mittaus-, testaus tai tilanseurantalaitteita	73	118	97	70	358
10/50 . . Lämmitys tai jäädytys tai lämpötilan säätö	51	60	68	51	230
10/52 . . Kaasujen poistaminen sekundaaristen kennojen sisältä esim. absorpoimalla	5	4	4	3	16
10/54 . Tarpeettomien akkujen käyttökelpoisten osien talteenotto/uudelleenkäyttö	17	19	13	7	56
YHT	1211	1396	1322	955	4884

Redoksi- ja redoksivirtausakkuja patentoitiin vuosien 1985–2002 kokonaismäärästä 0,2 % yht. 147 kpl, mutta patenttien määrä on selkeästi noussut viime vuosina (Kuva 3).



Kuva 3. Redoksi- ja redoksivirtausakkuihin liittyvät patentit 1985–2002. [1] mukaan.

Sekundäärikennojen rakenteeseen ja valmistukseen liittyvät patentit

Luokassa H01M 10 (sekundäärikennot, valmistus) vuosina 1999–2002 haetut patentit [1] liittyivät sekundäärikennojen erilaisiin rakenteisiin, sekundääriakkujen ja -pattereiden valmistustapoihin sekä valmistukseen liittyviin prosesseihin ja prosessilaitteisiin. Lisäksi tähän ryhmään luokitellaan sekundääriakkujen huolto- ja ylläpitotoimenpiteisiin sekä käytettyjen akkujen kierrätykseen ja käsittelyyn liittyvät patentit (ei käsitellä tässä yhteydessä). Vuosina 1999–2002 patentoitiin lähes 5000 kyseiseen aihepiiriin liittyviä patenteja. Yli puolet näistä patenteista liittyvät ladattaviin litiumakkuihin, niiden rakenteellisiin muutoksiin, toimintaan, valmistukseen jne. Suurin osa etenkin litiumakkujen patenteista on japanilaisten valmistajien omistuksessa. Toinen merkittävä akkutyypin patenttien lukumäärän suhteen on nikkelimetallihydridiakku. Koska kyseisestä patenttimäärästä on vaikea poimia yksittäisiä patenteja, alla on esitetty ainoastaan esimerkkejä valikoiduista patenttiluokista sekä patenttien aihepiireistä.

Rakenne ja valmistus yleisesti (H01M 10/00, 10/02 ja 10/04)

Tähän luokitukseen sisällytettyjen patenttien aiheet liittyvät suurimmaksi osaksi kannettaviin sovelluksiin tarkoitettujen litium-pattereiden erilaisiin rakenteisiin, pattereiden valmistusmenetelmiin sekä myös valmistukseen liittyviin prosessilaitteisiin. Noin 70 % haetuista patenteista ovat japanilaisten akkuvalmistajien omistuksessa. Suurimpia valmistajia ovat muun muassa Sony Corp., Sanyo Electric Co. Ltd., Japan Storage Battery Co. Ltd, Matsushita Electric Ind. Co. Ltd., Toshiba Battery Co. Ltd ja Mitsubishi Chemical Corp. Tässä luokituksessa esiintyy myös joidenkin autonvalmistajien, kuten Toyota Motor Corp., Renault, Nissan Motor Co. Ltd ja Honda Motor Co. Ltd, patenteja.

Alla esitettyyn taulukkoon (Taulukko 3) on poimittu joitain esimerkkejä tämän aihepiirin patenteista.

Taulukko 3.”Sekundääriset kennot: Rakenne ja valmistus yleisesti”. [1]

Julkaisunumero	JP2001185200AA
Julkaisupäivä	06.07.2001
IPC-luokka	H01M 10/04
Hakija	JAPAN STORAGE BATTERY LTD
Aihe	SECONDARY BATTERY HAVING SPIRAL ELECTRODE PLATE GROUP
Julkaisunumero	JP2001283897AA
Hakupäivä	04.04.2000
IPC-luokka	H01M 10/04
Hakija	SONY CORPORATION
Aihe	BATTERY AND ITS MANUFACTURING METHOD
Julkaisunumero	US6316134B1
Hakupäivä	25.02.2000
IPC-luokka	H01M 10/04
Hakija	HONDA MOTOR CO. LTD, SANOH INDUSTRIAL CO LTD
Aihe	METHOD OF PRODUCING WOUND ELECTRODE FOR BATTERY
Julkaisunumero	US2002138971A1
Hakupäivä	04.03.2002
IPC-luokka	H01M 10/04
Hakija	MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL CO., LTD.
Aihe	METHOD FOR PRODUCING A NICKEL METAL-HYDRIDE STORAGE BATTERY
Julkaisunumero	US2002073534A1
Hakupäivä	25.10.2001
IPC-luokka	H01M 10/04
Hakija	NEC CORPORATIONI
Aihe	METHOD FOR PRODUCING POLYMER BATTERY
Julkaisunumero	JP2001332289AA
Hakupäivä	24.05.2000
IPC-luokka	H01M 10/04
Hakija	TOSHIBA BATTERY CO. LTD.
Aihe	MANUFACTURE DEVICE FOR WINDING TYPE ELECTRODE
Julkaisunumero	JP2001236986AA
Hakupäivä	22.12.2000
IPC-luokka	H01M 10/04
Hakija	MATSUSHITA ELECTRIC IND. CO. LTD, TOYOTA MOTOR CORP.
Aihe	METHOD OF INSPECTING GASTIGHTNESS OF BATTERY

Lyijy-happoakut (H01M 10/06, 10/10, 10/12, 10/14, 10/16, 10/18)

Lyijyhappoakkujen patentit vuosilta 1999 – 2002 ovat yli 90 % japanilaisten (Japan Storage Battery Co. Ltd., Matsushita Electric Ind. Co. Ltd., Yasa Corp. Shin Kobe Electric mach Co. Ltd.) omistuksessa. Patenteissa on parannettu suljettujen lyijyhappoakkujen käyttöikä ja toimintaa mm. kehittyneempien valmistusmenetelmien avulla (vrt. neste- ja ilmatiiviys). Akkujen vanhenemista on estetty lisäämällä esim. orgaanisia happoja ja alkoholeja elektrolyyttiin ja/tai a negatiiviselle elektrodille sekä tinasulfidiyhdisteitä. Elektrolyyttiliuoksen lisäaineita ovat myös muut metallisulfaatit, ammoniumborofluoridi, nikotiiniamidi tai boorihappo. Patenteissa on esitetty myös valmistusmenetelmiä ja prosessilaitteiden kuvauksia, joilla suljettu akku saadaan kaasutiiviiksi ja parannetaan siten akun elinikää ja tuotantokustannuksia. Korroosiota on estetty suljetussa akussa lisäämällä akkuun inhibiittoreita.

Alkaaliakut (H01M 10/24, 10/26, 10/28, 10/30, 10/32)

Alkaaliakkujen luokitusryhmä käsittää litiumakut ja nikkeliakut (sekä hopea-akut, 1 kpl). Käytännössä alkaaliakkuihin luokitellaan tässä yhteydessä litiumakkujen lisäksi akut, joilla on alkalinen elektrolyyttiliuos. Suurin osa patenteista tässä ryhmässä koskee litiumakkuja ja nikkelimetallihydridiakkuja. Lisäksi osa patenteista koskee nikkeli-kadmiumakkuja. Litiumakkujen lataus purkausominaisuuksia on parannettu muuntamalla negatiivisen tai positiivisen aktiiviseen materiaalin rakennetta sekä koostumusta. Litiumakkujen patenteissa aktiivisena materiaalina esiintyy esimerkiksi vanadiinin ja rikin kompleksiyhdiste, johon on lisätty jotain siirtymämetallia tai vanadiinioksidia.

Nikkelimetallihydridi (NiMH)-akkujen patenteissa akun kapasiteettia on parannettu muuttamalla akun rakennetta (esim. spiraalimainen rakenne elektrodeilla). NiMH-akkujen elinikää on parannettu lisäämällä metallifosfaatteja, eri metallien hydroksideja, orgaanisia metallikomplekseja, jne. Osa patenteista käsittää myös NiMH-akkujen valmistusmenetelmiä, joissa on painotettu ilmatiiviyttä.

Alkaaliakkujen ryhmässä on myös nikkeli-sinkkiakkuakkuihin liittyviä patenteja. Innovaatiot liittyvät lähinnä Ni/Zn-akkujen lataus-purkausominaisuuksien parantamiseen, korroosion estämiseen ja rakenteellisiin kysymyksiin. Alla on esitetty esimerkkejä alkaaliakkuihin liittyvistä patenteista (Taulukko 4).

Taulukko 4. Alkaaliakkuihin liittyviä patenteja. [1]

Julkaisunumero	US0006440609B1
Hakupäivä	28.06.2000
IPC-luokka	H01M 10/24
Hakija	SONY CORPORATION
Aihe	NON-AQUEOUS ELECTROLYTIC CELL COMPRISING LOW WEIGHT PERCENT OF CARBON FIBRES
Julkaisunumero	WO2002023663A1
Hakupäivä	03.08.2001
IPC-luokka	H01M 10/26
Hakija	MATSUSHITA ELCTRIC INDUSTRIAL CO., LTD, ET AL.
Aihe	ALKALI ZINC SECONDARY CELL AND METHOD FOR PREPARATION THEREOF
Julkaisunumero	EP0001139477A1
Hakupäivä	17.03.2000
IPC-luokka	H01M 10/28
Hakija	MATSUSHITA ELCTRIC INDUSTRIAL CO., LTD
Aihe	SEALED CYLINDRICAL NICKEL-HYDROGEN STORAGE BATTERY
Julkaisunumero	JP2001035525AA
Hakupäivä	16.07.1999
IPC-luokka	H01M 10/28
Hakija	SHIN KOBE ELECTRIC MACH CO LTD
Aihe	MANUFACTURE OF NICKEL-CADMIUM STORAGE BATTERY
Julkaisunumero	WO2001059867A3
Hakupäivä	13.12.2001
IPC-luokka	H01M 10/28
Hakija	ACCUMULATORENWERKE HOPPECKE, SOLOPA, WALDEMAR
Aihe	RECHARGEABLE NI/ZN CELL WITH SOLUBLE ZINC ANODES
Julkaisunumero	JP2001273921AA
Hakupäivä	28.12.2000
IPC-luokka	H01M 10/30
Hakija	TOSHIBA BATTERY CO. LTD.
Aihe	NICKEL/HYDROGEN SECONDARY BATTERY AND ITS MANUFACTURING METHOD
Julkaisunumero	WO2002039534A2
Hakupäivä	07.11.2001
IPC-luokka	H01M 10/30
Hakija	POWERGENIX SYSTEMS, INC. PHILIPS, JEFFREY
Aihe	POSITIVE AND NEGATIVE INTERACTIVE ELECTRODE FORMULATION FOR A ZINC-CONTAINING CELL HAVING AN ALKALINE ELECTROLYTE

Kaasutiiviit akut (H01M 10/34)

Tässä ryhmässä suurin osa patenteista käsittelee nikkelimetallihydridiakkuja. Lisäksi on esitetty muutama lyijyakkuihin liittyvä patentti. NiMH-akkujen elinikää ja latausominaisuuksia on parannettu esimerkiksi anodimateriaalin lisäaineiden, kuten titaanin ja koboltin, avulla. Myös turvallisuuskysymyksiin on otettu kantaa. Alla on esitetty muutama esimerkki kyseisistä patenteista (Taulukko 5).

Taulukko 5. Kaasutiiviit akut. [1]

Julkaisunumero	US0006444349B1
Hakupäivä	25.07.2000
IPC-luokka	H01M 10/34
Hakija	ALCATEL
Aihe	SEALED NICKEL-METALHYDRIDE STORAGE CELL
Julkaisunumero	US0006159630A
Hakupäivä	25.03.1999
IPC-luokka	H01M 10/34
Hakija	RENATA AG
Aihe	SAFETY VENT FOR SROTAGE BATTERY OR CELL

Akut, joita ei ole mainittu ryhmissä H01M 10/06 – H01M 10/34 (H01M 10/36, 10/38, 10/39, 10/40)

Luokitusotsikostaan huolimatta myös tämän ryhmän patentit koskevat pääsääntöisesti ladattavia litiumakkuja. Vuosien 1999 – 2002 patenteista yli 2000 patenttia koskee orgaanisia elektrolyyttejä. Ryhmien 10/36, 10/38 ja 10/40 patentit liittyvät lähinnä litiumioni- ja litiumpolymeeriakkujen erilaisiin elektrodi- ja elektrolyyttimateriaalien koostumukseen sekä membraanielektrolyytin ja litiumelektrodin ohutkalvon valmistusmenetelmiin, joiden avulla litiumpattereiden toimintaa ja turvallisuutta on pystytty parantamaan. Lisäksi on esitetty muutama litiumakku, joissa on käytetty nestemäistä elektrolyyttiä. Luokan 10/39 ('Toiminta korkeassa lämpötilassa') patentit sen sijaan käsittelevät pääasiassa natriumsulfidi (NaS)-akkuja. Kyseiset patentit käsittelevät NaS-kennojen rakennetta ja valmistusmenetelmiä, akkumoduulien rakennetta sekä NaS-akkumoduulien integrointia sähköjärjestelmään. Rakenteellisissa kysymyksissä on pyritty lähinnä pienentämään valmistuskustannuksia sekä parantamaan varastointikapasiteettia. Lähes kaikki NaS-akkuihin liittyvät patentit ovat japanilaisten valmistajien (esim. NGK Insulator Ltd., Hitachi Ltd.) omistuksessa. Alla on esitetty muutamia esimerkkejä luokkien H01M 10/36 – 10/40 patenteista (vrt. Taulukko 6).

Taulukko 6. Akut, joita ei ole mainittu ryhmissä H01M 10/06 – H01M 10/34. [1]

Julkaisunumero	EP0001049186A1
Hakupäivä	12.10.1999
IPC-luokka	H01M 10/36
Hakija	MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL CO., LTD., JSR CORPOTATION
Aihe	MOLDED SOLID ELECTROLYTE, MOLDED ELECTRODE, AND ELECTROCHEMICAL ELEMENT
Julkaisunumero	JP2002184455AA
Hakupäivä	13.12.2000
IPC-luokka	H01M 10/36
Hakija	SUMIMOTO ELECTRIC IND. LTD.
Aihe	METHOD OF FORMING INORGANIC SOLID ELECTROLYTE THIN MEMBRANE
Julkaisunumero	JP2000340256AA
Hakupäivä	31.05.1999
IPC-luokka	H01M 10/36
Hakija	KANSAI RESEARCH INSTITUTE
Aihe	AQUEOUS LITHIUM ION BATTERY
Julkaisunumero	JP2002042863AA
Hakupäivä	28.07.2000
IPC-luokka	H01M 10/38
Hakija	JAPAN SCIENCE & TECHNOLOGY CORP.
Aihe	THIN-FILM SOLID LITHIUM ION SECONDARY BATTERY
Julkaisunumero	JP2002008714AA
Hakupäivä	22.06.2000
IPC-luokka	H01M 10/39
Hakija	HITACHI LTD
Aihe	HIGH-TEMPERATURE SODIUM SECONDARY BATTERY MODULE
Julkaisunumero	JP2001229961AA
Hakupäivä	22.06.2000
IPC-luokka	H01M 10/39
Hakija	ELECTRIC POWER DEV CO LTD, MITSUBISHI HEAVY IND LTD
Aihe	POWER GENERATION SYSTEM
Julkaisunumero	EP0001221734A2
Hakupäivä	04.12.2001
IPC-luokka	H01M 10/40
Hakija	NOKIA CORPORATION
Aihe	FLEXIBLE BATTERY STRUCTURE

Akkujen elektrodeihin liittyvät patentit

Patenttiluokkaan H01M 4 on luokiteltu akkujen elektrodien koostumukseen, rakentamiseen ja valmistukseen liittyvät patentit. Myös tässä ryhmässä suuri osa patenteista liittyy alkaaliakkuihin, kuten litium- ja nikkelimetallihydridiakkuihin. Kyseiset patentit ovat lisäksi sisällöltään suurelta osin samoja kuin patenttiluokan H01M 10 patentit. Näin ollen elektrodeihin liittyvistä patenteista on pyritty valikoimaan ne patenttiluokat, jotka eivät käsittele edellä mainittuja alkaaliakkuja.

Sinkkiin pohjautuvat metalliseokset (H01M 4/42)

Sinkkiin pohjautuvia metalliseoksia käytetään sinkkialkaalikennoissa ja metalli-ilmapattereissa. Vuosien 1999 – 2002 patentit liittyvät pääosin pulverimaisen sinkkimetalliseoksen koostumukseen, jota muuttamalla ollaan pyritty välttämään vedyn muodostus kennossa. Myös lataus-purkausominaisuuksia on pyritty parantamaan. Patentit liittyvät sekä primääri- että sekundääriakkuihin.

Magnesiumiin tai alumiiniin pohjautuvat metalliseokset (H01M 4/46)

Tässä luokassa patentit liittyvät lähinnä sekundäärisiin litiumakkuihin, joiden negatiivisena elektrodina on alumiini- tai alumiinimetalliseosjauhe, jonka vaippana on hiili ja sähköä johtava polymeeri. Kyseisellä rakenteella on kasvatettu litiumakun varauskapasiteettia.

Epäorgaaniset oksidit ja hydroksidit mangaanista (H01M 4/50)

Tässä luokassa esiintyy joitain alkaalisia mangaaniakkujen patenteja, vaikka suurin osa tämänkin luokan patenteista liittyy litiumakkuihin. Kyseiset patentit liittyvät sinkkimangaaniakkuihin (vrt. H01M 4/42), joiden lataus-purkausominaisuuksia ja elinikää on parannettu muuttamalla positiivisen elektrodin kompositiota. Mangaanin lisäys positiiviseen aktiiviseen materiaaliin puolestaan parantaa sekundääristen litiumakkujen lataus/purkausominaisuuksia.

Virtausakkuja, redoksiakkuja ja redoksivirtausakkuja (Huom. nimitykset tarkoittavat pitkälti samaa kuin regeneroitavat polttokennot ja nimitys on lähinnä valmistajasta riippuva) koskevia patenteja on poimittu otsikon perusteella luokan H01 M8/18 alaluokista. Kaiken kaikkiaan patenteja on kartoitettu 104 kpl. Seuraavassa käydään läpi akkutyypeittäin, millaisia asioita patentit yleensä käsittelevät. Joitain patenteja on lisäksi taulukoitu kunkin akkutyypin kohdalla.

Virtausakut

Virtausakkuja koskevia patenteja on kartoitettu 12 kpl. Eri maakoodien mukaan nämä patentit jakautuvat allaolevan (Taulukko 7) mukaisesti.

Taulukko 7. Virtausakkuja koskevien patenttien jakautuminen maakoodeittain. [1]

Maakoodi	JP	US	EP
kpl	10	1	1

JP ~ Japani, US ~ Yhdysvallat, EP ~ Eurooppapatentti

Ylläolevasta taulukosta voidaan havaita, että virtausakkuja koskevia patenteja on tehty eniten Japanissa. Kaiken kaikkiaan poimituissa patenteissa on käsitelty mm. seuraavallaisia asioita:

- Vetykaasun kehittymisen ilmaisujärjestelmä
- Virtausakun lataus-purkausjärjestelmä ja keino lataus- ja purkausajan lyhentämiseksi
- Energiatiheyden kasvattamiseen tähtäävä parannuskeino
- Jännitetason pitäminen vakiona
- Häviöiden pienentäminen, toiminnan tehostaminen

Allaolevaan taulukkoon (Taulukko 8) on poimittu joitain patenteja esimerkiksi virtausakuista.

Taulukko 8. Virtausakkuja koskevia patenteja. [1]

Julkaisunumero	JP1045056
Julkaisupäivä	1989-02-17
IPC-luokka	H01M8/18
Hakija	NKK CORP.
Aihe	HYDROGEN EVOLUTION DETECTING METHOD FOR ELECTROLYTE FLOW TYPE CELL AND ITS EQUIPMENT
Julkaisunumero	US5304432
Julkaisupäivä	1994-04-20
IPC-luokka	H01M8/18
Hakija	HUGHES AIRCRAFT CO.
Aihe	MEMBRANE FLOW CELL BATTERY
Julkaisunumero	JP2148659

Julkaisupäivä	1990-06-07
IPC-luokka	H01M8/18
Hakija	TOYOBO CO. LTD.
Aihe	LIQUID FLOW TYPE ELECTROLYTIC CELL
Julkaisunumero	JP61032366
Julkaisupäivä	1986-02-15
IPC-luokka	H01M8/18
Hakija	HITACHI LTD.
Aihe	METHOD AND DEVICE FOR OPERATING A FLOW-TYPE SODIUM-SULFUR BATTERY

Redoksiakut

Redoksiakkuja koskevia patenteja on kartoitettu kaiken kaikkiaan 40 kpl. Taulukon (Taulukko 9) perusteella voidaan havaita, että patenteja on eniten haettu Yhdysvaltoihin ja Japaniin.

Taulukko 9. Redoksiakkuja koskevien patenttien jakautuminen maakoodeittain. [1]

Maakoodi	US	JP	EP	WO	DE	AU
Kpl	15	13	4	5	2	1

WO ~ Kansainvälinen, DE ~ Saksa, AU ~ Australia

Monissa redoksiakkuja koskevissa patenteissa käsitellään elektrodeja ja elektrodirakenteita. Ideana on, että elektrodeihin ja elektrodirakenteisiin kehitetyillä patenteilla pyritään saavuttamaan suurempi virrantiheys ja suurempi sähkömotorinen voima pienimmillä kustannuksilla sekä alentaa akuissa tapahtuvia häviöitä ja näin saavuttaa korkeampi hyötysuhde. Toinen pääalue koskee redoksiakkujen elektrolyyttejä. Elektrolyytteihin liittyen muutamissa patenteissa käsitellään erityisesti vanadium-pohjaisia ratkaisuja. Muita redoksiakkuja koskevissa patenteissa käsiteltäviä asioita ovat mm. katalyyttien käyttö ja akun lataukseen tai purkamiseen liittyvät keinot. Taulukossa (Taulukko 10) on esitetty muutamia redoksiakkuja koskevia patenteja.

Taulukko 10. Esimerkkejä redoksiakkuja koskevista patenteista. [1]

Julkaisunumero	US4362791
Julkaisupäivä	1982-12-07
IPC-luokka	H01M8/18
Hakija	AGENCY IND SCIENCE TECHN.
Aihe	REDOX BATTERY
Julkaisunumero	JP2079374
Julkaisupäivä	1990-03-19
IPC-luokka	H01M8/18
Hakija	AGENCY OF IND SCIENCE & TECHNOL
Aihe	EDUCATIONAL REDOX CELL
Julkaisunumero	US4732827
Julkaisupäivä	1988-03-22
IPC-luokka	H01M8/18
Hakija	JAPAN METALS & CHEM CO LTD; AGENCY IND SCIENCE TECHN
Aihe	PROCESS FOR PRODUCING ELECTROLYTE FOR REDOX CELL
Julkaisunumero	US4786567
Julkaisupäivä	1988-11-22
IPC-luokka	H01M8/18
Hakija	UNISEARCH LTD
Aihe	ALL-VANADIUM REDOX BATTERY
Julkaisunumero	DE3522714
Julkaisupäivä	1987-01-08
IPC-luokka	H01M8/18
Hakija	FRAUNHOFER GES FORSCHUNG
Aihe	METHOD FOR CHEMICAL REACTIVATION OF A REDOX CELL

Redoksivirtausakut

Redoksivirtausakkuja koskevia patenteja on luokan H01 M8/18 alaluokista poimittu yhteensä 52 kpl. Taulukossa (Taulukko 11) on esitetty, mihin maihin patenteja on haettu.

Taulukko 11. Redoksivirtausakkujen koskevien patenttien jakautuminen maakoodeittain. [1]

Maakoodi	JP	US	EP	DE
Kpl	44	5	2	1

WO ~ Kansainvälinen, DE ~ Saksa, AU ~ Australia

Ylivoimaisesti eniten redoksivirtausakkuja koskevia patenteja on haettu Japaniin. Kaiken kaikkiaan redoksivirtausakkuja koskevat patentit käsittelevät samantyyliisiä asioita kuin redoksiakkupatentit. Taulukko 12:ssa on esitetty redoksivirtausakkupatentteja patenteja. Patenteissa käsiteltäviä asioita ovat mm.

- Redoksivirtausakkujen rakenteeseen ja erityisesti elektrodeihin liittyvät asiat mm. akusta saatavan energian maksimoimiseksi ja stabiilisuuden parantamiseksi.
- Elektrolyytteihin liittyvät asiat kuten koostumukseen sekä elektrolyyttien regenerointiin ja valmistukseen liittyvät ratkaisut
- Redoksivirtausakkujen toimintaa liittyvät ratkaisut esimerkiksi lataus-purkaus toiminnan kannalta.

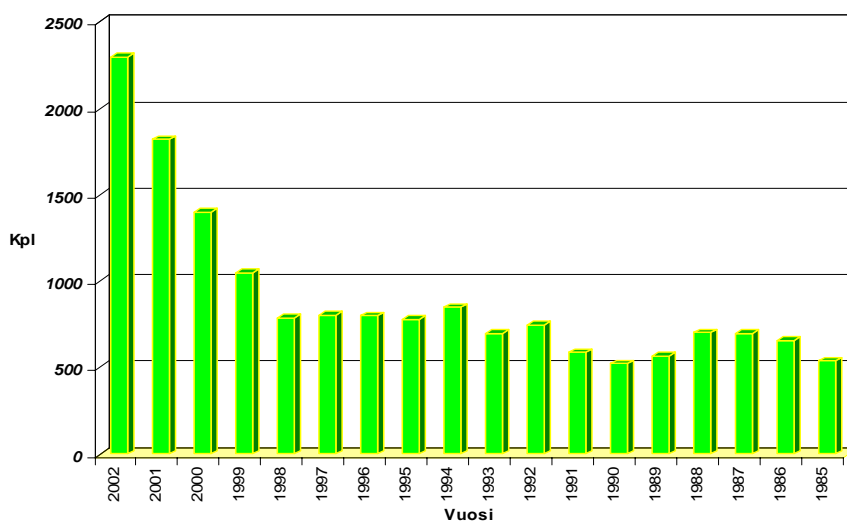
Taulukko 12. Esimerkkejä redoksiakkuja koskevista patenteista. [1]

Julkaisunumero	JP63166156
Julkaisupäivä	1988-07-09
IPC-luokka	H01M8/18
Hakija	MITSUI ENG & SHIPBUILD CO LTD
Aihe	OPERATION OF REDOX-FLOW CELL
Julkaisunumero	US4814241
Julkaisupäivä	1989-03-21
IPC-luokka	H01M8/18
Hakija	AGENCY IND SCIENCE TECHN; KAWASAKI HEAVY IND LTD
Aihe	ELECTROLYTES FOR REDOX FLOW BATTERIES
Julkaisunumero	JP1112672
Julkaisupäivä	1989-05-01
IPC-luokka	H01M8/18
Hakija	KANSAI ELECTRIC POWER CO INC
Aihe	ELECTROLYTE REGENERATOR FOR REDOX FLOW CELL

Julkaisunumero	JP63076268
Julkaisupäivä	1988-04-06
IPC-luokka	H01M8/18
Hakija	CHIYODA CHEM ENG & CONSTR CO LTD
Aihe	PREPARATION OF ELECTROLYTE FOR REDOX-FLOW CELL
Julkaisunumero	JP60101881
Julkaisupäivä	1985-06-05
IPC-luokka	H01M8/18
Hakija	SUMITOMO DENKI KOGYO KK
Aihe	CELL STRUCTURE FOR REDOX FLOW BATTERY
Julkaisunumero	JP62163270
Julkaisupäivä	1987-07-20
IPC-luokka	H01M8/18
Hakija	SUMITOMO ELECTRIC IND LTD
Aihe	CHARGE AND DISCHARGE OF SINGLE LIQUID TYPE REDOX FLOW CELL

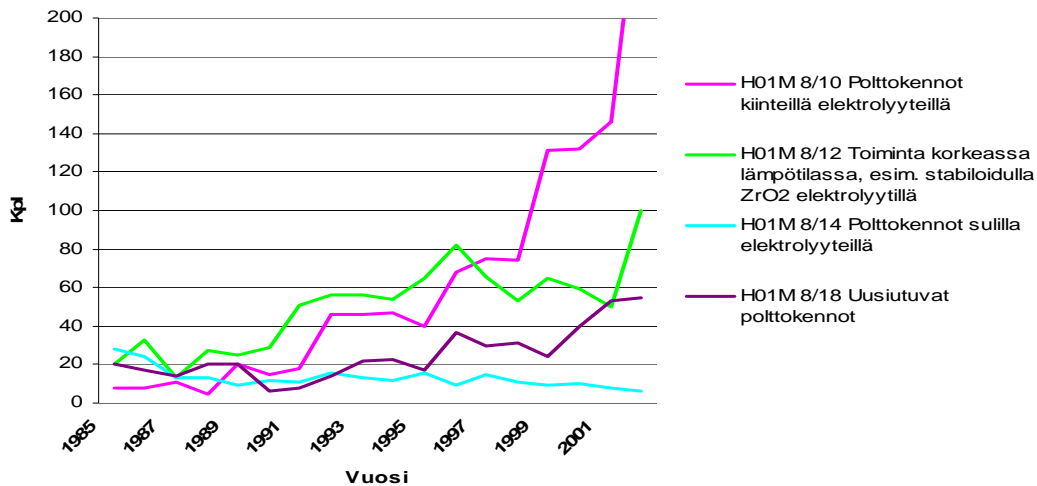
Polttokennot

Polttokennoihin liittyviä patenttihakemuksia löytyi hakusanalla ”Fuel Cell” DEPATIS-net-patenttitietokannasta [1] vuosien 1985–2002 yhteensä 16322 kpl. Patenttien vuotuinen lukumäärä pysyi suhteellisen vakiona vuoteen 1999 asti, jolloin alkoi merkittävä vuotuisten patenttihakemusten lisäys (Kuva 4).



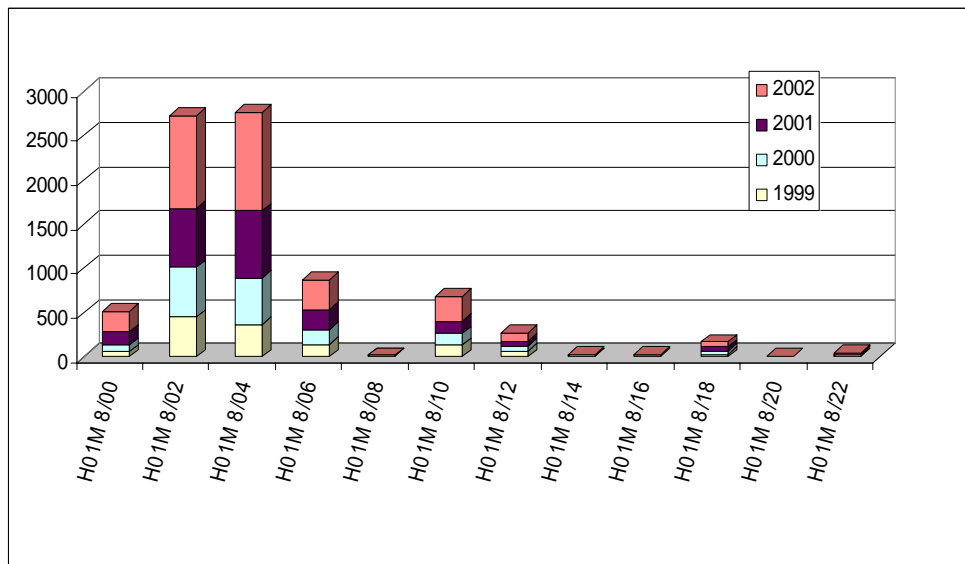
Kuva 4. Polttokennoihin liittyvien patenttien vuotuinen jakauma vuosien 1985–2002 aikana. [1] mukaan.

Eniten kasvoivat kiinteillä elektrolyyteillä varustettujen polttokennotyyppien patenttien määrä ja myös uusiutuviin polttokennoihin liittyvien patenttien määrä on selkeässä kasvussa (Kuva 5).



Kuva 5. Polttokennotyyppeihin liittyvä patenttien määrän kehitys vuosien 1985–2002 aikana. [1] mukaan.

Vuosien 1999–2002 aikana tehtiin polttokennoihin liittyviä patenteja yhteensä 8 783 kpl. Patentit jakautuivat eri osa-alueille siten, että eniten patentoitiin valmistukseen liittyviä yksityiskohtia ja apujärjestelyihin ja -prosesseihin liittyviä asioita. (Kuva 6 ja Taulukko 13).

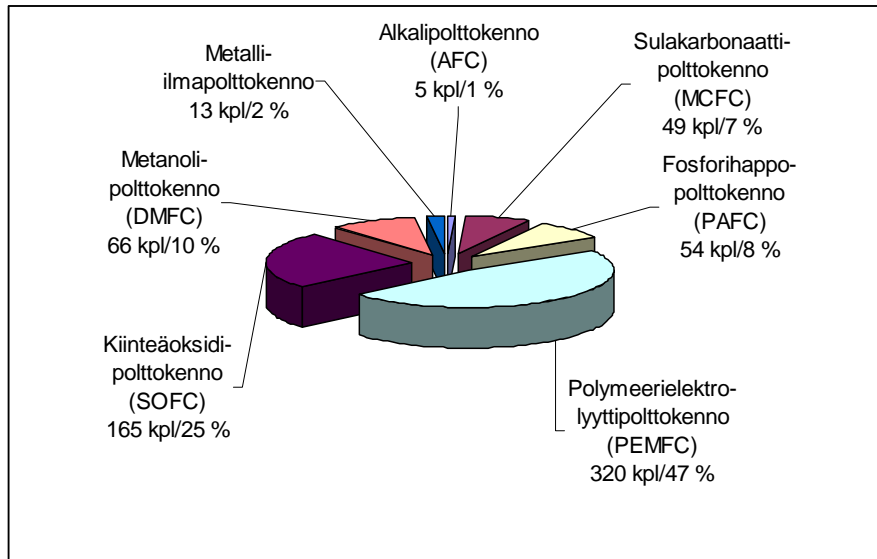


Kuva 6. Vuosien 1999-2002 polttokennopatenttien jakautuminen eri luokkiin. [1] mukaan.

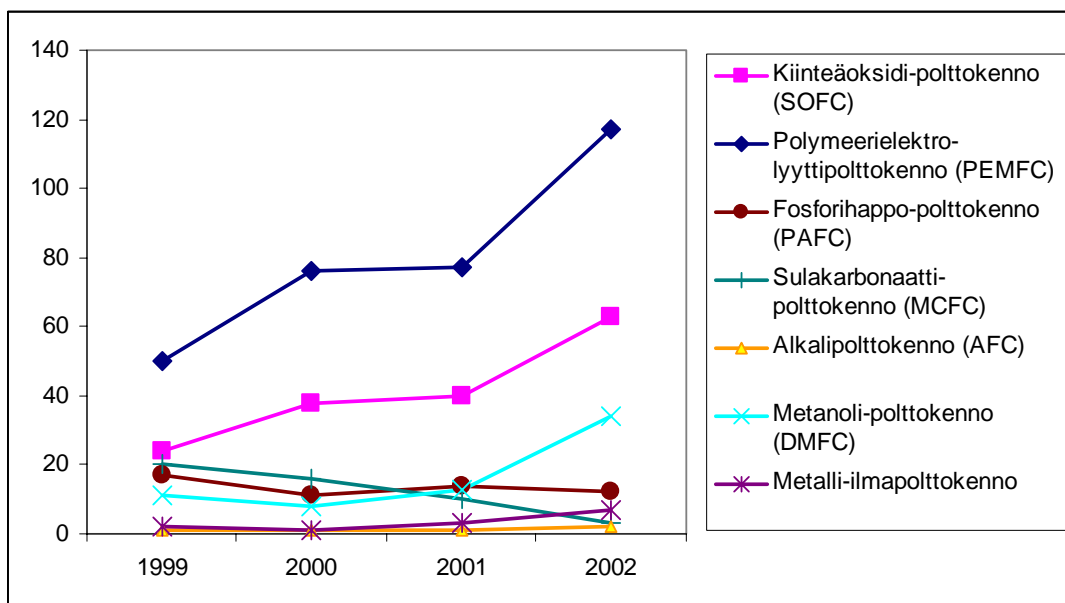
Taulukko 13. Polttokennopatenttien (yht. v. 1999–2002) jakautuminen eri luokkiin. [1] mukaan.

Luokka	Nimi	Kpl
H01M 8/00	Polttokennot; Valmistus (yleinen)	522
H01M 8/02	Yksityiskohdat	2736
H01M 8/04	Apujärjestelyt tai prosessit, esim. paineen säätö. nesteiden kiertovirtaukset	2771
H01M 8/06	Apuvälineiden ja polttokennojen kombinaatiot; reaktanttien tuottamiseen tai jäännösten käsittelyyn	875
H01M 8/08	Polttokennot vesipitoisilla elektrolyyteillä	23
H01M 8/10	Polttokennot kiinteillä elektrolyyteillä	684
H01M 8/12	Toiminta korkeassa lämpötilassa, esim. stabiloidulla ZrO ₂ elektrolyytillä	277
H01M 8/14	Polttokennot sulilla elektrolyyteillä	33
H01M 8/16	Biokemiaaliset polttokennot, esim. kennot, joissa mikro-organismit toimivat katalyyteinä	24
H01M 8/18	Uusiutuvat polttokennot	173
H01M 8/20	Epäsuorat polttokennot, esim. redox kennot	12
H01M 8/22	Polttokennot, joissa polttoaine pohjautuu materiaaleihin sisältäen hiiltä tai happea tai vetyä ja muita elementtejä; joissa polttoaine sisältää vain materiaaleja, joissa ei ole hiiltä tai happea tai vetyä	43
H01M 8/24	Polttokennojen ryhmittäminen paristoiksi, esim. moduuleiksi	610
	YHT	8783

Vuosien 2000–2001 patentit jakautuivat eri tyyppisiä polttokennoja koskeviin patentteihin siten, että polymeeripolttokennoihin kohdistuvia patenteja oli eniten 320 kpl eli n. 47 % ja kiinteäoksidipolttokennoihin (SOFC) liittyviä patenteja oli 165 kpl eli n. 25 % (Kuva 7). Vuosittaisen jakautuman perusteella eniten kasvussa olivat polymeeripolttokennoihin, kiinteäoksidipolttokennoihin ja metanolipolttokennoihin liittyvien patenttien määrä (Kuva 8).



Kuva 7. Polttokennoihin liittyvien patenttien jakautuminen eri polttokennotyypeittäin vuosina 1999–2002. [1] mukaan.



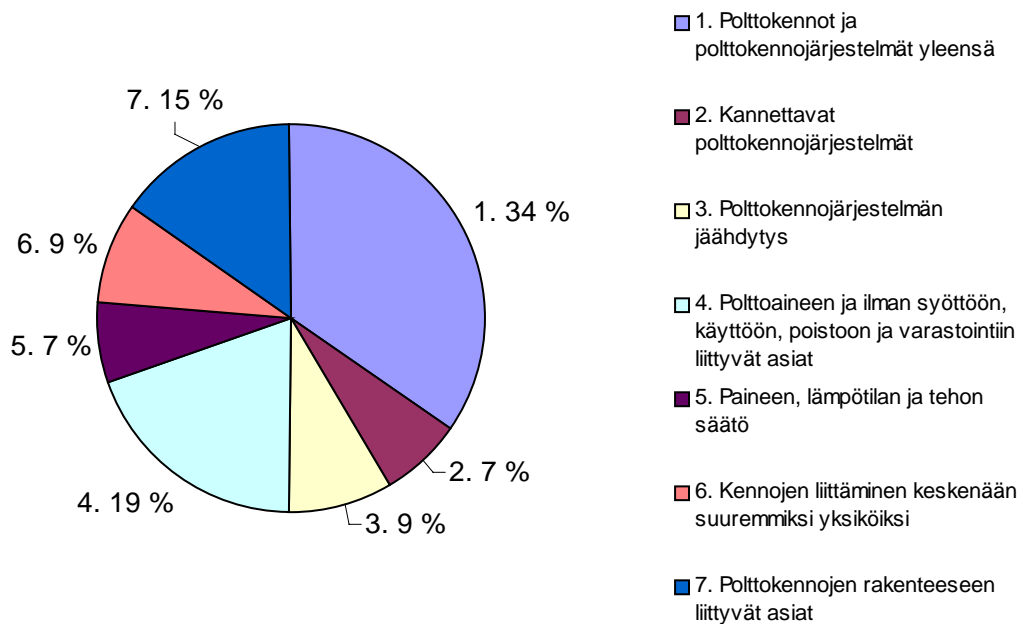
Kuva 8 Polttokennotyypeihin liittyvien patenttien vuotuiset määrät vuosien 1999–2002 aikana. [1] mukaan.

Polttokennoja koskevien patenttien sisältöanalyysia varten tehdyssä poiminnassa on pääosin käytetty kriteerinä, että patentin tulee liittyä jollain lailla polttokennojärjestelmään. Kerätyt patentit koskevatkin yleisesti polttokennojärjestelmää ja erityisesti muun muassa järjestelmän eri suureiden säätöön liittyviä asioita sekä polttoaineen ja hapettimen syöttöön, käyttöön, poistoon ja varastointiin liittyviä asioita. Lisäksi poimitut patentit sisältävät tietoa kannettavista polttokennojärjestelmistä sekä polttokennon jäähdytyksestä ja asennuksista.

Poimitut 46 patenttia voidaan pääpiirteittäin jakaa seitsemään eri aihealueeseen. Samaan aihealueeseen kuuluvat patentit käsittelevät samankaltaisia asioita. Eri aihealueiksi on määritelty:

1. Polttokennot ja polttokennojärjestelmät yleensä
2. Kannettavat polttokennojärjestelmät
3. Polttokennojärjestelmän jäähdytys
4. Polttoaineen ja ilman syöttöön, käyttöön, poistoon ja varastointiin liittyvät asiat
5. Paineen, lämpötilan ja tehon säätö
6. Kennojen liittäminen keskenään suuremmiksi yksiköiksi
7. Polttokennojen rakenteeseen tai asennukseen liittyvät asiat

Alla esitettyssä kuvassa (Kuva 9) on esitetty kerättyjen patenttien aihealueiden prosentuaalinen jakautuminen.



Kuva 9. Polttokennoihin liittyvien patenttien aihealueiden prosentuaalinen jakautuminen. [1] mukaan.

Seuraavaksi on käsitelty jokaista aihealuetta lyhyesti erikseen kertomalla, minkä tyyppiä asioita kussakin aihealueessa. Lisäksi esitetään esimerkkinä jokaisesta alueesta vähintään yhden patentin tiivistelmä suomeksi.

Polttokennot ja polttokennojärjestelmät yleensä

Tähän aihealueeseen on sisällytetty yhteensä 16 patenttia. Näissä patenteissa esitellään polttokennojärjestelmiä esimerkiksi käytettäväksi ajoneuvon energialähteenä. Patenteissa pyritään erilaisilla ratkaisuilla ennen kaikkea mahdollisimman edullisiin ja rakenteeltaan kompakteihin ja yksinkertaisiin järjestelmiin. Muita tavoiteltavia asioita ovat mm. korkea luotettavuuden taso ja tehoteho.

Polttokennojärjestelmän kannalta eräs mielenkiintoinen patentti on tehty Siemens Westinghousen toimesta. Patentissa esitellään paineistettu polttokennoon ja kaasuturbiiniin perustuva hybridijärjestelmä. Patenttia koskevia tietoja on esitetty alla olevassa taulukossa (Taulukko 14).

Taulukko 14. Paineistettua polttokennojärjestelmää koskeva patentti. [1]

Julkaisunumero	US6255010B1
Julkaisupäivä	03.07.2001
IPC-luokka	H01M 8/10
Hakija	SIEMENS WESTINGHOUSE POWER CORPORATION
Aihe	SINGLE MODULE PRESSURIZED FUEL CELL TURBINE GENERATOR SYSTEM
Tiivistelmä	Paineistettu polttokennojärjestelmä eri laitteet toimivat yhdessä paineistetussa tilassa. Järjestelmä koostuu polttokennoista, turbiinista ja generaattorista. Järjestelmän ulkopuolelle on asennettu hapetin-, polttoaine- ja poistokaasuventtiilit.

Allaolevassa taulukossa (Taulukko 15) on esitetty toisena esimerkkinä polttokennojärjestelmä, jonka on kehittänyt Nissan Motor Co.

Taulukko 15. Nissan Motor Co:n kehittämä polttokennojärjestelmä. [1]

Julkaisunumero	US6342316B1
Julkaisupäivä	29.01.2002
IPC-luokka	H01M 8/18
Hakija	NISSAN MOTOR CO., LTD.
Aihe	FUEL CELL GENERATION SYSTEM
Tiivistelmä	Tämän keksinnön polttokennoon perustuva tuotantoyksikkö sisältää reformointilaitteen ja polttokennon lisäksi reformoidun kaasun virtausnopeuden säätöosan, jonka tehtävänä on säätää reformointilaitteesta lähtevää kaasua siten, että laitteen paineen oloarvo on lähellä asetusarvoa. Lisäksi järjestelmässä on ilmaisinosia, joka ilmoittaa polttokennoon menevän kaasun virtausnopeuden. Edelleen, järjestelmässä on laskentaosa polttokennon kuormavirran asetteluarvolle, joka määräytyy kaasun virtausnopeuden mukaan. Järjestelmään on sisällytetty myös sisään menevälle kaasulle paineanturi ja virran asetteluarvon korjausjärjestelmä.

Muita poimittuja patenteja ”Polttokennot ja polttokennojärjestelmät yleensä” – aihealueeseen liittyen on lueteltu alla olevassa taulukossa (Taulukko 16).

Taulukko 16. ”Polttokennot ja polttokennojärjestelmät yleensä” – aihealueeseen liittyviä patenteja. [1]

Julkaisunumero	US2002076586A1
Julkaisupäivä	20.06.2002
IPC-luokka	H01M 8/10
Hakija	TANAKA KOICHI
Aihe	FUEL CELL AND FUEL CELL SYSTEM
Julkaisunumero	JP2001223018AA
Julkaisupäivä	17.08.2001
IPC-luokka	H01M 8/24
Hakija	MITSUBISHI ELECTRIC CORP.
Aihe	FUEL CELL AND POWER SUPPLY USING IT
Julkaisunumero	US6316134B1
Julkaisupäivä	13.11.2001
IPC-luokka	H01M 8/18
Hakija	BALLARD GENERATION SYSTEMS, INC.
Aihe	FUEL CELL ELECTRIC POWER GENERATION SYSTEM
Julkaisunumero	US5993984A
Julkaisupäivä	30.11.1999
IPC-luokka	H01M 8/18
Hakija	MITSUBISHI ELECTRIC CORP.
Aihe	FUEL CELL POWER GENERATING SYSTEM AND OPERATING METHOD THEREOF
Julkaisunumero	JP2002208430AA
Julkaisupäivä	26.07.2002
IPC-luokka	H01M 8/18
Hakija	RIKOGAKU SHINKOKAI
Aihe	FUEL CELL POWER GENERATING SYSTEM
Julkaisunumero	JP2002050391AA
Julkaisupäivä	15.02.2002
IPC-luokka	H01M 8/24
Hakija	HONDA MOTOR CO., LTD.
Aihe	FUEL CELL SYSTEM
Julkaisunumero	WO9927601A9
Julkaisupäivä	10.09.1999
IPC-luokka	H01M 8/10
Hakija	CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY
Aihe	LOW COST, LIGHTWEIGHT FUEL CELL ELEMENTS
Julkaisunumero	JP11007974AA
Julkaisupäivä	12.01.1999
IPC-luokka	H01M 8/24

Taulukko jatkuu

Hakija	mitsubishi electric corp.
Aihe	POWER GENERATING DEVICE OF MEDIUM AND LARGE CAPACITY FUEL CELL
Julkaisunumero	US2002025456A1
Julkaisupäivä	28.02.2002
IPC-luokka	H01M 8/16
Hakija	GIESHOFF JURGEN
Aihe	PROCESS FOR PRODUCING ELECTRICAL ENERGY WITH THE AID OF A FUEL CELL
Julkaisunumero	US2002022165A1
Julkaisupäivä	21.02.2002
IPC-luokka	H01M 8/18
Hakija	BRASSARD ARMAND
Aihe	REGENERATIVE FUEL CELL SYSTEM
Julkaisunumero	WO0243177A2
Julkaisupäivä	30.05.2002
IPC-luokka	H01M 8/12
Hakija	NISSAN MOTOR CO.,LTD.
Aihe	SINGLE CELL FOR FUEL CELL AND SOLID OXIDE FUEL CELL
Julkaisunumero	US6309770B1
Julkaisupäivä	30.10.2001
IPC-luokka	H01M 8/10
Hakija	MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.
Aihe	SOLID ELECTROLYTE FUEL CELL POWER GENERATING SYSTEM
Julkaisunumero	US6316138B1
Julkaisupäivä	13.11.2001
IPC-luokka	H01M 8/10
Hakija	MITSUBISHI ELECTRIC CORP.
Aihe	SOLID OXIDE ELECTROLYTE FUEL CELL
Julkaisunumero	EP689724B1
Julkaisupäivä	12.01.2000
IPC-luokka	H01M 8/12
Hakija	KEELE UNIVERSITY
Aihe	SOLID OXIDE FUEL CELL STRUCTURES

Kannettavat polttokennojärjestelmät

Kannettavia polttokennojärjestelmiä koskevia patenteja on poimittu kolme kappaletta. Patentit käsittelevät niin pienikokoisia kädessä pidettäviä laitteita kuin hieman suurempia, esimerkiksi UPS-laitteina käytettäviä järjestelmiä. Taulukossa (Taulukko 17) on esitetty tiivistelmä Coleman Powermaten patentista, joka koskee erityisesti UPS-

käyttöihin kehitettyä järjestelmää. Taulukossa (Taulukko 18) on listattu loput kannettavia polttokennojärjestelmiä koskevat patentit.

Taulukko 17. Coleman Powermaten UPS-laitetta koskeva patentti. [1]

Julkaisunumero	WO2002069431A2
Julkaisupäivä	06.09.2002
IPC-luokka	H01M 8/16
Hakija	COLEMAN POWERMATE, INC.
Aihe	PORTABLE FUEL CELL ELECTRIC POWER SOURCE
Tiivistelmä	Patentissa esitellään UPS-käyttöön soveltuva paikasta toiseen siirrettävä polttokennojärjestelmä. Järjestelmä sisältää polttokennon lisäksi tehonmuokkaukseen tarvittavan DC-DC hakkurin ja DC-AC vaihtosuuntaajan. Lisäksi laitteessa on mm. vedyn varastointia varten metallihydridikanistereita, ja apuvirtalähteenä akkujärjestelmä. Kaikki järjestelmän laitteet on asennettu liikuteltavalle alustalle. Järjestelmässä on myös kompressori ja lauhdutin. Kompressorin tehtävänä on paineistaa polttokennolle menevä ilma. Vastaavasti lauhduttimen tehtävänä on lauhduttaa polttokennosta tulevat kuuma vesihöyry. Vedyn varastointiin tarkoitettujen metallihydridikanisterit voidaan vaihtaa myös käytön aikana, mikä mahdollistaa keskeytymättömän sähkön tuotannon. Kanisterit on varustettu lämmönsiirtojärjestelmällä, joka takaa niiden toimimisen halutussa lämpötilassa. Akkujärjestelmän tehtävänä on tarjota kompressorin tarvitsema käynnistysenergia ja tuottaa sähköenergiaa siihen asti, kunnes polttokenno on saatu käynnistetyksi. Polttokennojärjestelmässä on myös ilmavirtausjärjestelmä, jonka tehtävänä on jäähdyttää polttokennoa johdattamalla sen pinnalle ilmaa. Tämä lämmennyt ilma johdetaan taas metallihydridikanistereille, mikä saa aikaan kanistereiden lämpenemisen.

Taulukko 18. Loput poimituista kannettavia polttokennojärjestelmiä koskevista patenteista. [1]

Julkaisunumero	US6268077B1
Julkaisupäivä	31.07.2001
IPC-luokka	H01M 8/10
Hakija	MOTOROLA, INC.
Aihe	PORTABLE FUEL CELL POWER SUPPLY
Julkaisunumero	US2002127453A1
Julkaisupäivä	12.09.2002
IPC-luokka	H01M 8/10
Hakija	DAIDO METAL COMPANY LTD.
Aihe	PORTABLE FUEL CELL STACK

Polttokennojärjestelmän jäähdytys

Polttokennojärjestelmän jäähdytystä koskevia patenteja on kerätty neljä kappaletta. Patenteissa on kuvattu erilaisia tapoja ja järjestelmiä, joilla polttokennojärjestelmän jäähdytys voidaan toteuttaa. Taulukossa (Taulukko 19) on esitetty Plug Power – yhtiön patentti jäähdytyksestä. Loput tätä aihealuetta koskevat patentit on esitetty taulukossa (Taulukko 20).

Taulukko 19. Plug Power – yhtiön tekemä patentti polttokennon jäähdytyksestä. [1]

Julkaisunumero	US6355368B1
Julkaisupäivä	12.03.2002
IPC-luokka	H01M 8/12
Hakija	PLUG POWER INC.
Aihe	COOLING METHOD AND APPARATUS FOR USE WITH A FUEL CELL STACK
Tiivistelmä	Järjestelmä koostuu polttokennostosta ja jäähdyttimestä. Polttokennosto sisältää kanavat, joita pitkin johdetaan jäähdytysainetta kennostoon ja kennostosta pois. Polttokennon virtauslevyt pystyvät siirtämään lämpöenergiaa jäähdytinaineeseen, jolloin nestemäinen jäähdytinaine muuttuu kaasumaiseen muotoon. Jäähdyttimessä kaasumainen jäähdytinaine taas muutetaan nestemäiseen muotoon.

Taulukko 20. Loput polttokennon jäähdytystä koskevista patenteista. [1]

Julkaisunumero	WO0139310A1
Julkaisupäivä	31.05.2001
IPC-luokka	H01M 8/10
Hakija	INTERNATIONAL FUEL CELLS, LLC
Aihe	OPERATING SYSTEM FOR A DIRECT ANTIFREEZE COOLED FUEL CELL POWER PLANT
Julkaisunumero	EP894344A1
Julkaisupäivä	03.02.1999
IPC-luokka	H01M 8/24
Hakija	WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION
Aihe	SELF-COOLING MONO-CONTAINER FUEL CELL GENERATORS AND POWER PLANTS USING AN ARRAY OF SUCH GENERATORS
Julkaisunumero	CA0002331740A1
Julkaisupäivä	25.11.1999
IPC-luokka	H01M 8/24
Hakija	SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT
Aihe	STACK OF FUEL CELLS WITH LIQUID COOLING, AND METHOD FOR COOLING A FUEL CELL STACK

Polttoaineen ja ilman syöttöön, käyttöön, poistoon ja varastointiin liittyvät asiat

Tähän aihealueeseen liittyen on poimittu yhteensä yhdeksän patenttia (Taulukko 21 ja Taulukko 24). Poimituissa patenteissa käsitellään muun muassa orgaanisen jätteen hajoamisen yhteydessä syntyvän kaasun käyttöä polttoaineena sekä maakaasun käyttöä SOFC-polttokennoissa. Lisäksi yhdessä patentissa kuvataan järjestelmä, jossa polttokennoon on integroitu polttoainesäiliö. Edelleen, patentit sisältävät tietoa polttoaineen syöttötavoista ja poistamisesta polttokennosta.

Taulukko 21. Polttokennon polttoaineisiin liittyviä patenteja tiivistelmineen. [1]

Julkaisunumero	JP11149933AA
Julkaisupäivä	02.06.1999
IPC-luokka	H01M 8/16
Hakija	TOSHIBA CORP.
Aihe	FUEL CELL PLANT FUELED WITH FERMENTATION GAS OF ORGANIC WASTE
Tiivistelmä	<p>Ratkaistava ongelma: Rakentaa polttokennolaitos, joka käyttää polttoaineenaan orgaanisen jätteen hajoamisesta syntyvää kaasua. Laitoksen tulee toimia olla jatkuvasti ja stabiilisti säätämällä saatavaa tehoa orgaanisen jätteen määrän mukaan.</p> <p>Ratkaisu: Jäteaine on sijoitettu erilliseen säiliöön, johon on asennettu sensori tarkkailemaan jätteen määrää. Sensoriin on asennettu integroimisosa, joka laskee syntyneen biokaasun määrän sensorin ilmoittaman orgaanisen jätteen määrän avulla. Integroimisosaan on liitetty myös ns. osoitinosa, joka ilmoittaa polttokennon optimaalisen tuotettavan tehon määrän. Optimaalisen tehon määrän laskeminen perustuu tuotetun biokaasun määrään.</p>
Julkaisunumero	AU725897B
Julkaisupäivä	26.10.2000
IPC-luokka	H01M 8/12
Hakija	SHELL OIL COMPANY
Aihe	PRODUCING ELECTRICAL ENERGY FROM NATURAL GAS USING A SOLID OXIDE FUEL CELL
Tiivistelmä	<p>Sähkön tuotantoprosessiin SOFC-polttokennolla maakaasua käyttäen sisältyy ilman syöttäminen katodille sekä anodilla vedyn ja hiilimonoksidin konvertoiminen maakaasusta. Tapahtuvat reaktiot aiheuttavat anodin ja katodin välille potentiaalieron sekä synnyttävät anodipuolella vettä ja hiilimonoksidia sisältäviä poistokaasuja. Poistokaasut johdetaan anodipuolelta keraamiseen jälkipolttimeen, jossa palamaton vety- ja hiilimonoksidiaines poltetaan ilman typen lisäystä.</p>
Julkaisunumero	US6080501A

Taulukko jatkuu

Julkaisupäivä	27.06.2000
IPC-luokka	H01M 8/10
Hakija	MOTOROLA, INC.
Aihe	FUEL CELL WITH INTEGRAL FUEL STORAGE
Tiivistelmä	Patentissa esitellään polttokenno, johon on integroitu polttoainevarasto. Polttoainevarasto sijaitsee sylinterimäisten elektrodirakenteiden ympärillä. Polttokennon sylinterimäiset elektrodirakenteet koostuvat huokoisesta ytimestä. Huokoinen ydin mahdollistaa hapettimen kuljettamisen polttokennon läpi. Polttokennon katodi on sijoitettu koaksiaalisesti ytimen ympärille. Katodin katalyyttinen pinta sijaitsee putkimaisen rakenteen ulkopinnalla. Kiinteä elektrolyytti on vastaavasti sijoitettu koaksiaalisesti katodin ympärille siten, että elektrolyytti ja katodin katalyyttinen pinta ovat tiiviissä kosketuksissa toisiinsa. Polttokennon anodi on sijoitettu taas koaksiaalisesti elektrolyytin ympärille. Lisäksi elektrolyytin ja anodin väliin on asennettu katalyyttinen kerros. Koko polttokennojärjestelmä on sijoitettu koteloon, jonka tehtävänä on pitää elektrodirakenteet paikoillaan.
Julkaisunumero	AU3388099A
Julkaisupäivä	08.11.1999
IPC-luokka	H01M 8/24
Hakija	SIEMENS WESTINGHOUSE POWER CORPORATION
Aihe	FUEL DELIVERY SYSTEM FOR FUEL CELL STACKS
Tiivistelmä	Tässä patentissa esitellään polttokennoston tehokkuutta parantavia keinoja perinteiseen suunnitteluun verrattuna. Polttoaineen jakelujärjestelmällä voidaan toimittaa polttoaine yhdelle tai useammalle kennolle. Tämän jälkeen polttoaine voidaan toimittaa seuraavalle kennolle tai kennoryhmälle. Jakelu tapahtuu siis ikään kuin sarjamoitaisesti kennolta tai kennoryhmältä toiselle. Polttoaineen tulisi virrata kohtisuoraan kennojen aksiaaliseen suuntaan nähden. Tällainen sarjamoitoinen polttoaineen syöttöjärjestelmä kasvattaa kennosta saatavaa jännitettä perinteiseen rinnakkaiseen polttoaineen syöttötapaan verrattuna.
Julkaisunumero	US2002110717A1
Julkaisupäivä	15.08.2002
IPC-luokka	H01M 8/12
Hakija	SIEMENS WESTINGHOUSE POWER CORPORATION
Aihe	FUEL DISSIPATER FOR PRESSURIZED FUEL CELL GENERATORS
Tiivistelmä	Tässä patentissa esitellään laite ja menetelmä, jolla saadaan poistettua paineistettuun polttokennoon jäävän polttoaineen kemiallinen energia esimerkiksi tilanteessa, jossa polttokennon antama sähköteho katkaistaan. Järjestelmässä on kaksi resistiivistä elementtiä, jotka yhdessä kontaktoreiden, anturin ja katkaisijan kanssa yhdistetään polttokennon napoihin virran kulkemiseksi ja näin ollen lopun polttoaineen käyttämiseksi.

Taulukko 22. Polttokennon polttoaineisiin liittyviä patenteja. [1]

Julkaisunumero	US6444342B1
Julkaisupäivä	03.09.2002
IPC-luokka	H01M 8/10
Hakija	SIEMENS WESTINGHOUSE POWER CORPORATION
Aihe	AIR FEED TUBE SUPPORT SYSTEM FOR A SOLID OXIDE FUEL CELL GENERATOR
Julkaisunumero	US2001010874A1
Julkaisupäivä	02.08.2001
IPC-luokka	H01M 8/18
Hakija	ATECS MANNESMANN AG
Aihe	FUEL CELL SYSTEM WITH A DEVICE FOR SUPPLYING FUEL
Julkaisunumero	JP2001196087AA
Julkaisupäivä	19.07.2001
IPC-luokka	H01M 8/24
Hakija	TOSHIBA CORP.
Aihe	PURE HYDROGEN FUEL CELL AND PURE HYDROGEN FUEL CELL ELECTRIC POWER GENERATION SYSTEM
Julkaisunumero	CA2343740A1
Julkaisupäivä	23.03.2000
IPC-luokka	H01M 8/12
Hakija	FORSCHUNGSZENTRUM JULICH GMBH
Aihe	SOLID OXIDE FUEL CELL WHICH OPERATES WITH AN EXCESS OF FUEL

Paineen, lämpötilan ja tehon säätö

Tästä aihealueesta on koottu niin paineen, lämpötilan kuin tehon säätöön liittyvä patentti. Tehonsäätöjärjestelmää koskeva patentti on tehty erityisesti ajoneuvokäyttöä varten. Lämpötilansäätöjärjestelmä on Toyotan kehittämä. Siinä ideana on, että polttokennon toimintalämpötila saadaan nostettua nopeasti haluttuun arvoon ja pidettyä se asetetussa arvossa. Paineensäätöjärjestelmä taas perustuu kaksivaiheiseen paineentarkistusjärjestelmään. Eri patenteja on esitetty seuraavassa taulukossa (Taulukko 23). Lämpötilan ja tehon säätöön liittyvistä patenteista on esitetty myös tiivistelmät.

Taulukko 23. Lämpötilan, tehon ja paineen säätöön liittyviä patenteja. [1]

Julkaisunumero	US6383672B1
Julkaisupäivä	07.05.2002
IPC-luokka	H01M 8/12
Hakija	TOYOTA
Aihe	TEMPERATURE REGULATOR FOR FUEL CELL
Tiivistelmä	Kun polttokenno käynnistetään, venttiileitä ohjataan siten, että lämmönvaihdinaine virtaa kiertopumpusta putkea pitkin lämmittimeen ja polttokennoon. Lämmittimessä kulkiessaan lämmönvaihdinaine lämpenee. Näin ollen, polttokenno saadaan lämmitettyä nopeasti ja tehokkaasti. Polttokennon ollessa toiminnassa venttiileitä ohjataan siten, että lämmönvaihdinaine virtaa kiertopumpusta polttokennoon ja sieltä lämmittimen kautta lämmönvaihtimeen. Jos polttokennon tuottama lämpömäärä ei ole riittävä, korjataan tilanne käyttämällä lämmittimiä puuttuvan lämpömäärän tuottamiseksi. Tällöin lämmitys pystytään hoitamaan riittävän hyvin ja polttokennon lämpötila saadaan nostettua nopeasti käynnistystilanteessa. Kun polttokenno on toiminnassa, lämpötila rajoitetaan halutulle lämpötila-alueelle, jolloin polttokennon tuottama lämpö voidaan hyödyntää tehokkaasti.
Julkaisunumero	US5991670A
Julkaisupäivä	23.11.1999
IPC-luokka	H01M 8/10
Hakija	DBB FUEL CELL ENGINES GMBH
Aihe	POWER CONTROL SYSTEM FOR A FUEL CELL POWERED VEHICLE
Tiivistelmä	Säätöjärjestelmä säätää polttokennon sähkötehoa ja hapettimen syöttöä polttokennoon. Tuotantojärjestelmä koostuu vähintään yhdestä polttokenno kennosta, lukuisista kuormista mukaan lukien ajoneuvon liikuttamiseen tarkoitetusta moottorista sekä kompressorista, joka tuo hapetinta polttokennon elektrodille. Sähkötehon suuruus riippuu kompressorin toimintanopeudesta. Säätöjärjestelmä sisältää summauslaitteen, johon lähetettävien signaalien avulla selvitetään hetkellinen tehon tarve. Lisäksi säätöjärjestelmä sisältää prosessorin, jonka avulla säädetään kompressorin toimintaa hetkellisten tehonmuutoksien mukaan.
Julkaisunumero	DE19852363C1
Julkaisupäivä	18.05.2000
IPC-luokka	H01M 8/24
Hakija	MTU Motoren- und Turbinen-Union Friedrichshafen GmbH
Aihe	Fuel cell assembly has a two-phase pressure compensation system for maintaining a fuel cell stack under a constant predetermined pressure

Kennojen liittäminen keskenään suuremmiksi yksiköiksi

Tämän aihealueen patenteja on poimittu yhteensä neljä kappaletta. Kaikki patentit käsittelevät useamman kennon liittämistä yhteen suuremmaksi yksiköksi. Esimerkkinä on (Taulukko 24) patenteista esitetty Siemensin kehittämä ratkaisu viallisen polttokennoyksikön ohittamiseksi diodin avulla. Loput patentit on koottu taulukkoon (Taulukko 25).

Taulukko 24. Siemensin kehittämä ratkaisu polttokennojen koskien polttokennojen liittämistä isommiksi yksiköiksi. [1]

Julkaisunumero	WO2002045197A2
Julkaisupäivä	06.06.2002
IPC-luokka	H01M 8/24
Hakija	SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT
Aihe	DIRECT-CURRENT POWER SUPPLY DEVICE COMPRISING A NUMBER OF SERIES-CONNECTED FUEL CELL BLOCKS
Tiivistelmä	Viallinen polttokenno, joka on kytketty sarjaan muiden polttokennojen kanssa, vastustaa virran kulkua järjestelmässä. Tämä aiheuttaa ulostulosuureen tippumisen halutulta tasolta. Tämän ongelman ratkaisemiseksi jokaisen polttokennon rinnalle kytketään tehodiodi. Tällöin vikatapauksessa virta pääsee kulkemaan diodin kautta viallisen polttokennon sijaan.

Taulukko 25. Loput polttokennojen ryhmittämiseen liittyvistä patenteista. [1]

Julkaisunumero	DE19827880C1
Julkaisupäivä	23.12.1999
IPC-luokka	H01M 8/24
Hakija	DBB Full Cell Engines GmbH
Aihe	Circuit for composite fuel cell system
Julkaisunumero	EP0001205002A1
Julkaisupäivä	15.05.2002
IPC-luokka	H01M 8/24
Hakija	SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT
Aihe	DEVICE FOR CONNECTING AT LEAST TWO FUEL CELL BATTERIES AND A UNIT CONNECTED ACCORDINGLY
Julkaisunumero	US0006368739B1
Julkaisupäivä	09.04.2002
IPC-luokka	H01M 8/10
Hakija	SOFCO
Aihe	JOINED SOLID OXIDE FUEL CELL STACKS AND METHOD FOR FABRICATING SAME

Polttokennojen rakenteeseen tai asennukseen liittyvät asiat

Tähän alueeseen on poimittu yhteensä seitsemän patenttia. Esimerkkinä esitetään (Taulukko 26) Siemens Westinghousen kehittämää ratkaisua SOFC-polttokennon toiminnan parantamiseksi matalissa lämpötiloissa. Loput tämän aihealueen patentit on esitetty taulukossa (Taulukko 27).

Taulukko 26. Siemens Westinghousen kehittämä SOFC-polttokennoa koskeva ratkaisu. [1]

Julkaisunumero	US6207311B1
Julkaisupäivä	27.03.2001
IPC-luokka	H01M 8/12
Hakija	SIEMENS WESTINGHOUSE POWER CORPORATION
Aihe	SOLID OXIDE FUEL CELL OPERABLE OVER WIDE TEMPERATURE RANGE
Tiivistelmä	Patentissa käsitellään matalanlämpötilan toiminnan kehittämistä SOFC-polttokennojen osalta. Yksi keskeinen keino toiminnan tehostamiseen on käyttää terbiumoksidilla stabiloitua sirkoniumoksidikerrosta anodin ja elektrolyytin välissä. Tällä faasien välisellä kerroksella pystytään säännöstelemään anodin ja elektrolyytin välistä vuorovaikutusta. Faasien välinen kerros myös pienentää häviöitä. Toinen keskeinen keino SOFC-polttokennon matalanlämpötilan toiminnan parantamiseen on käyttää skandiumoksidilla stabiloitua sirkoniumoksidielektrolyyttiä, mikä parantaa sähkönjohtavuutta. Skandiumoksidilla stabiloitua sirkoniumoksidielektrolyyttiä voidaan käyttää erittäin ohuina kerroksina resistanssin pienentämiseksi. Skandiumoksidilla stabiloitua elektrolyyttiä kannattaa mieluiten käyttää yhdessä terbiumoksidilla stabiloidun faasien välisen kerroksen kanssa. Näin modifioitua SOFC-polttokennoa voidaan käyttää laajemmalla lämpötila-alueella ja lämpötilan muutosnopeusalueella verrattuna perinteiseen tekniikkaan.

Taulukko 27. Loput polttokennojen rakenteeseen tai asennukseen liittyvistä patenteista. [1]

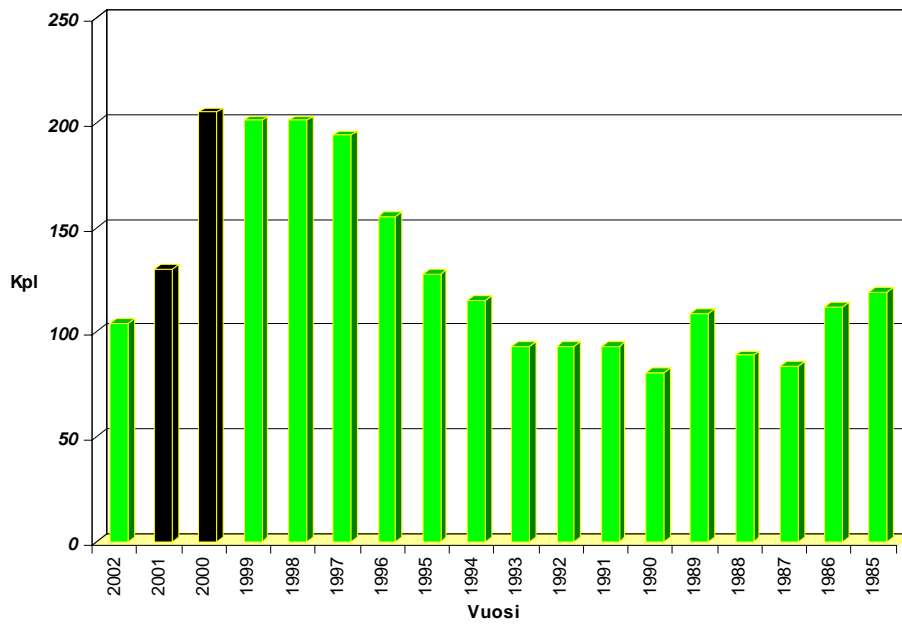
Julkaisunumero	EP902493B1
Julkaisupäivä	03.01.2001
IPC-luokka	H01M 8/12
Hakija	SULZER HEXIS AG
Aihe	Elektrochemical active element for a solid oxide fuel cell
Julkaisunumero	EP1259996A2
Julkaisupäivä	27.11.2002
IPC-luokka	H01M 8/24
Hakija	SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT

Taulukko jatkuu

Aihe	FUEL CELL INSTALLATION
Julkaisunumero	EP889537B1
Julkaisupäivä	02.05.2001
IPC-luokka	H01M 8/24
Hakija	SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT
Aihe	High-temperature fuel cell installation
Julkaisunumero	US6057051A
Julkaisupäivä	02.05.2000
IPC-luokka	H01M 8/18
Hakija	MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL CO., LTD.
Aihe	MINIATURIZED FUEL CELL ASSEMBLY
Julkaisunumero	EP914687B1
Julkaisupäivä	12.06.2002
IPC-luokka	H01M 8/24
Hakija	SIEMENS WESTINGHOUSE POWER CORPORATION
Aihe	SOLID OXIDE FUEL CELL GENERATOR WITH REMOVABLE MODULAR FUEL CELL STACK CONFIGURATIONS
Julkaisunumero	EP750798B1
Julkaisupäivä	30.06.1999
IPC-luokka	H01M 8/12
Hakija	ALLIEDSIGNAL INC.
Aihe	SOLID OXIDE FUEL CELL STACKING ASSEMBLY

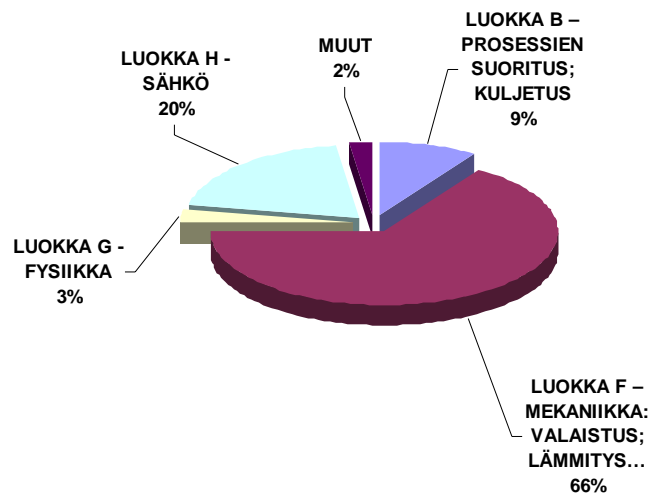
Vauhtipyörät

Vauhtipyöriin liittyviä patenteja oli tehty vuosien 1985-2002 aikana yhteensä 2306 kpl [1]. Vuosien 1997-2000 aikana patenttien määrä oli selvästi korkeimmillaan ollen vuosittain noin kaksinkertainen keskimääräiseen vuotuisen patenttimäärään verrattuna.

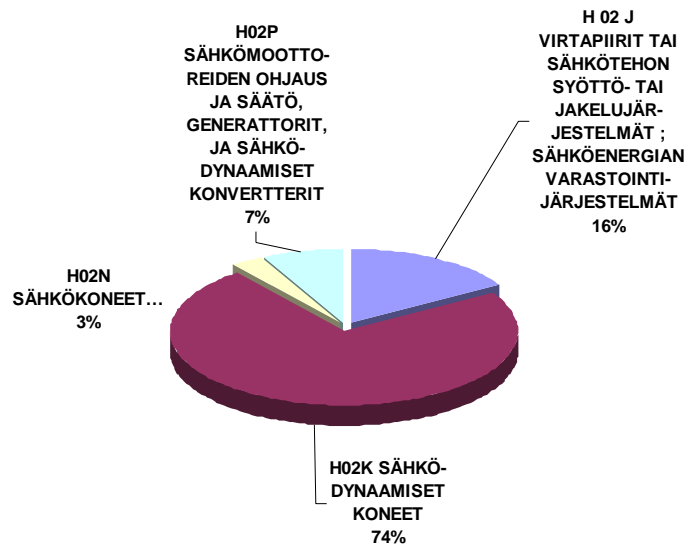


Kuva 10. Vauhtipyöriin liittyvien patenttien vuotuinen jakauma v. 1985–2002. [1] mukaan.

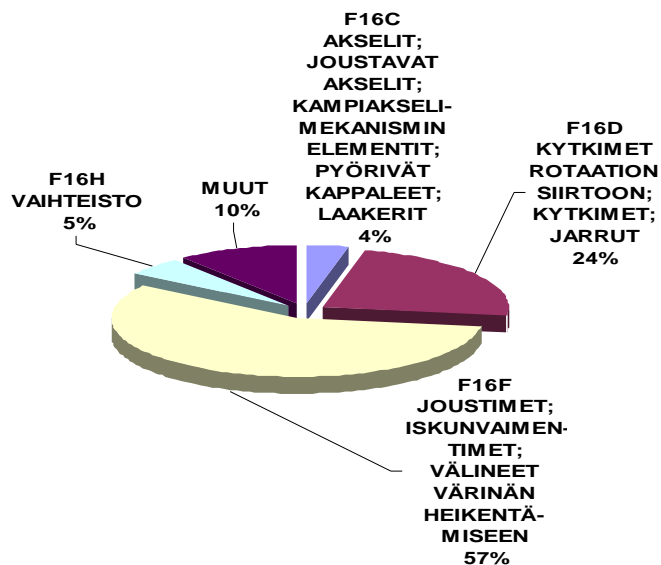
Suurin osa (66 %) vuosina 2000–2001 julkaistuista vauhtipyöriin liittyvistä patenteista käsitteli mekaniikkaan liittyviä asioita ja n. 20 % vauhtipyörän sähköisiin järjestelmiin liittyviä asioita.



Kuva 11. Vauhtipyöriin liittyvien patenttien jakautuminen pääluokittain (v. 2000–2001). [1] mukaan.

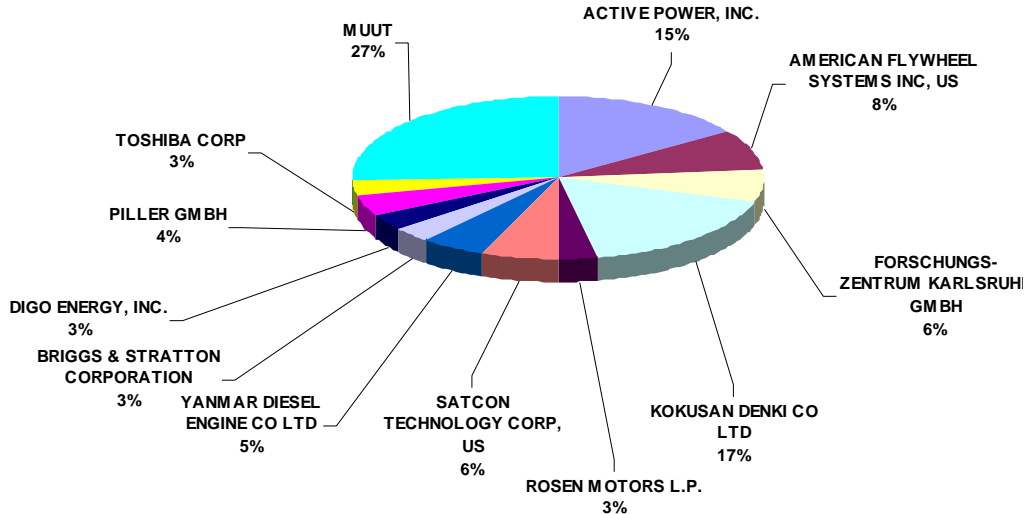


Kuva 12. Vauhtipyöriin liittyvien, luokkaan H-sähkö kuuluvien patenttien (v. 2000–2001, 67 kpl) patenttien jakautuminen. [1] mukaan.



Kuva 13. Vauhtipyöriin liittyvien, luokkaan F-mekaniikka kuuluvien (v. 2000–2001, 220 kpl) patenttien jakautuminen. [1] mukaan.

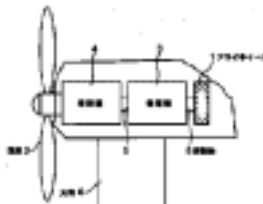
Kokusan Denki CO Ltd ja Active Power, Inc olivat eniten vauhtipyöriä patentoivia yhtiöitä vuosina 2000–2001.



Kuva 14. 1999–2002 H02K-luokan vauhtipyöräpatenttien jakautuminen hakevien yritysten/laitosten kesken (98 kpl). [1] mukaan.

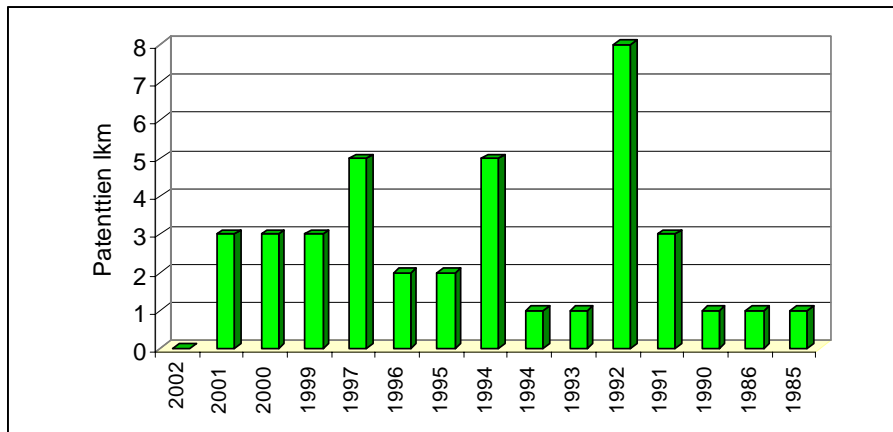
Oheissa (Taulukko 28) on vuoden 2002 vauhtipyöräpatenteista poimittu esimerkki patentista, joka liittyy vauhtipyörällä varustettuun tuuligeneraattoriin.

Taulukko 28. Vauhtipyörällä varustettu tuulivoimageneraattori. [1]

Julkaisunumero	P2002155850AA
Julkaisupäivä	31.05.2002
IPC-luokka	F03D 7/04
Hakija	MITSUBISHI HEAVY IND LTD
Aihe	WIND POWER GENERATION SYSTEM WITH FLYWHEEL
Tiivistelmä	<p>Ratkaistava ongelma: Valmistettava tuulivoiman generaattorijärjestelmä, joka on kykenevä varastoimaan ja vapauttamaan suuren määrän pyörivää energiaa vähentäen pyörinnän vaihtelun tarvittavalle tasolle aiheuttamatta pyörimisnopeuden vähenemistä ja tuottaen vakioitehoa. Ratkaisu: Tämä tuulivoimageneraattori järjestelmä on rakennettu toimimaan generaattorina kiihdyttämällä tuuliturbiinin pyörimisen toivotulle nopeudelle kiihdyttimellä. Vauhtipyörä, joka vähentää generaattorin pyörimisnopeuden vaihteluita on asennettu generaattorin akselille.</p> 

Suprajohtavat magneettivarastot (SMES)

Suprajohtaviin magneettivarastoihin liittyviä patenteja oli vuosien 1985–2002 yhteensä 38 kpl. Eniten patenteja oli vuosina 1992, 1994 ja 1997 ja sen jälkeen vuosittain muutamia patenteja ja vuonna 2002 ei ollut yhtään SMES-järjestelmiin liittyviä patenteja (Kuva 15) [1].

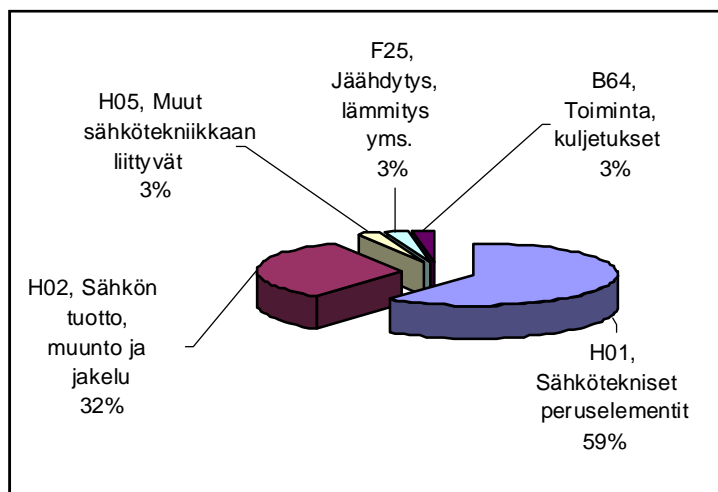


Kuva 15. SMES järjestelmiin liittyviä patenteja vuosina 1985–2002. [1] mukaan.

Eniten SMES-järjestelmiin liittyviä patenteja oli seuraavilla yrityksillä [1] mukaan:

- CHICAGO BRIDGE & IRON CO, US
- ABB AB
- WESTINGHOUSE ELECTRIC CORP, US
- AMERICAN SUPERCONDUCTOR CORPORATION
- BECHTEL GROUP INC, US
- DAIMLER BENZ AG, DE
- GEN ELECTRIC, US
- INTERMAGNETICS GENERAL CORP, US
- US ENERGY, US

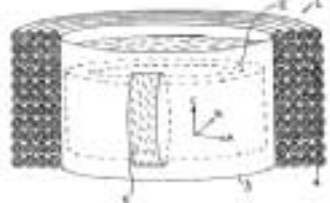
SMES-järjestelmistä patentoitiin eniten sähkötekniisiin peruselementteihin liittyviä keksintöjä (Kuva 2).



Kuva 16. SMES-järjestelmiin liittyvien v. 1985–2002 patenttien jakautuminen eri patenttiluokkiin. [1] mukaan.

SMES-järjestelmiin liittyvistä patenteista on ohessa poimittu yksi järjestelmäkonepttiin (Taulukko 29) ja yksi soveltamiseen liittyvän patentin esimerkki (Taulukko 30).

Taulukko 29. Patenti suprajohtavan magneettisen energian varaston konseptista. [1]

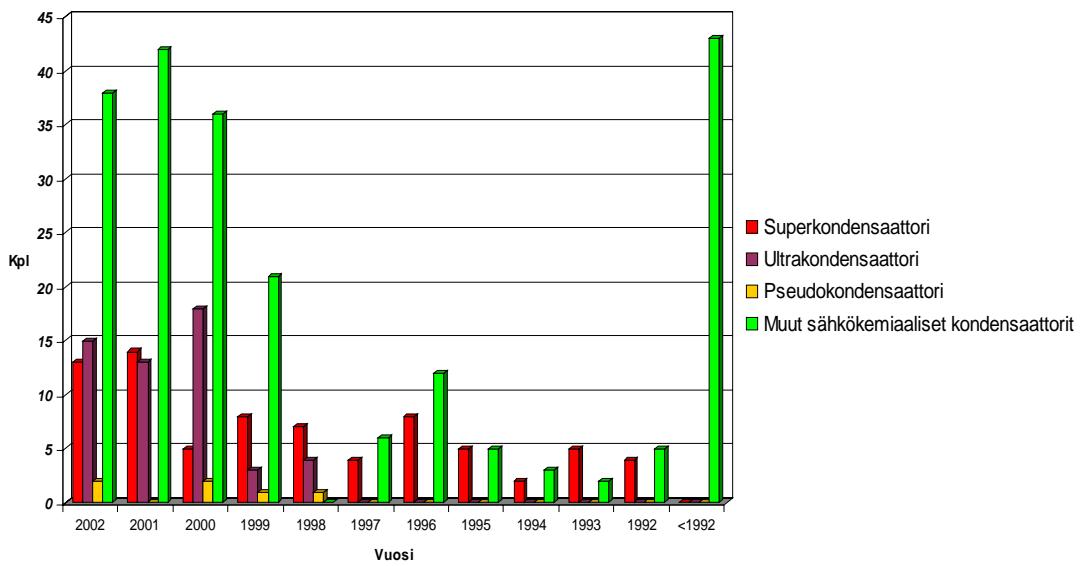
Julkaisunumero	WO2001095458A1
Julkaisupäivä	13.12.2001
IPC-luokka	H02J 15/00
Hakija	ABB AB; JONSSON, TOMAS; THORBURN, KARIN; FROMM, UDO; HESSLING, PETER; GUSTAFSSON, ARNE
Aihe	MAGNETIC ENERGY STORAGE DEVICE
Tiivistelmä	 <p>Suprajohtava magneettinen energian varasto (SMES); johon kuuluu (1) 1. käämi (2) suprajohtavasta materiaalista, jäähdytys (3) tarkoittaa 1. käämin jäähdyttämistä suprajohtavaan lämpötilaan ja 2. käämi (4) induktiivisesti kytketty toiseen käämiin (2) joko varaamaan tai purkamaan energiaa, 1. käämi (2), ja kytkin (5) 1. käämin kytkemiseksi (2) surprajohtavaan tilaan tai siitä pois. 1. käämi (2) on suljettu sähköinen piiri johon ei ole mekaanista liityntää energian purkamiseksi tai varaamiseksi. Kytkeminen tarkoittaa (5) joko sovelluksen kolmatta käämiä tai magneettisen kentän poistoa kytkemällä 1. käämiä ei-suprajohtavaan/suprajohtavaan tilaan. Keksintöön liittyy myös menetelmä energian varaamiseksi ja purkamiseksi 1. käämistä sähköverkkoon.</p>

Taulukko 30. Patenti suprajohtavasta magneettisen energian varastosta jakelujärjestelmän jännitteen hallintaan. [1]

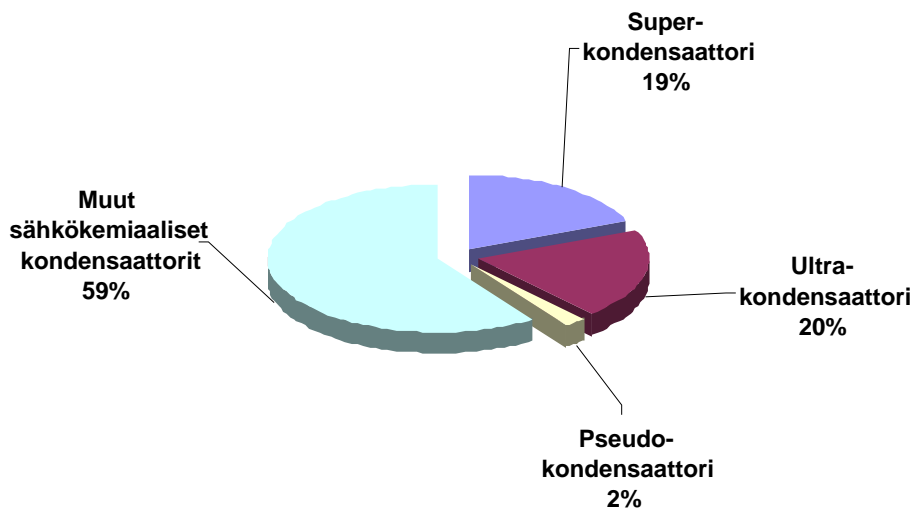
Julkaisunumero	WO200048286A1
Julkaisupäivä	17.08.2000
IPC-luokka	H02J 9/00
Hakija	AMERICAN SUPERCONDUCTOR CORPORATION; KOEPPE, PAUL, FREDERICK; KEHRLI, ARNOLD, P.; BROWN, DONALD, L.; BUCKLES, WARREN, ELLIOTT; DIAZ DE LEON, JOHN, A., III; FOLTS, DOUGLAS, C.
Aihe	ELECTRIC UTILITY SYSTEM WITH SUPERCONDUCTING MAGNETIC ENERGY STORAGE [FR] SYSTEME DE DISTRIBUTION D'ELECTRICITE A STOCKAGE D'ENERGIE MAGNETIQUE DANS DES SUPRA-CONDUCTEURS
Tiivistelmä	<p>Jännitteen hallintalaite, joka tuottaa määriteltyä pätö- ja loistehoa jakeluverkkoon määritellyn ajan, jotta jakeluverkon jännitetaso voidaan säilyttää verkossa havaitun vian jälkeen.</p>

Sähkökemialliset kondensaattorit (2-kerros/-super/-ultra/-pseudo-/aerokondensaattorit)

DEPATISnet-tietokannan [1] mukaan oli nimikkeellä ”sähkökemiallinen kondensaattori” (teksti otsakkeesta tai lyhennelmässä) koskevia patenteja julkaistu vuoden 1984 jälkeen 382 kpl. Vuoden 1998 jälkeen on sähkökemiallisia kondensaattoreita koskevien patenttien määrä selkeästi kasvanut ja vuosien 1999–2002 aikana on patenteja haettu 242 kpl (Kuva 17), joista 20 % oli ultrakondensaattori- ja 19 % superkondensaattorinimikkeellä, 2 % koski pseudokondensaattoreita ja loput 59 % yleisesti muita sähkökemiallisia kondensaattoreita (Kuva 18).

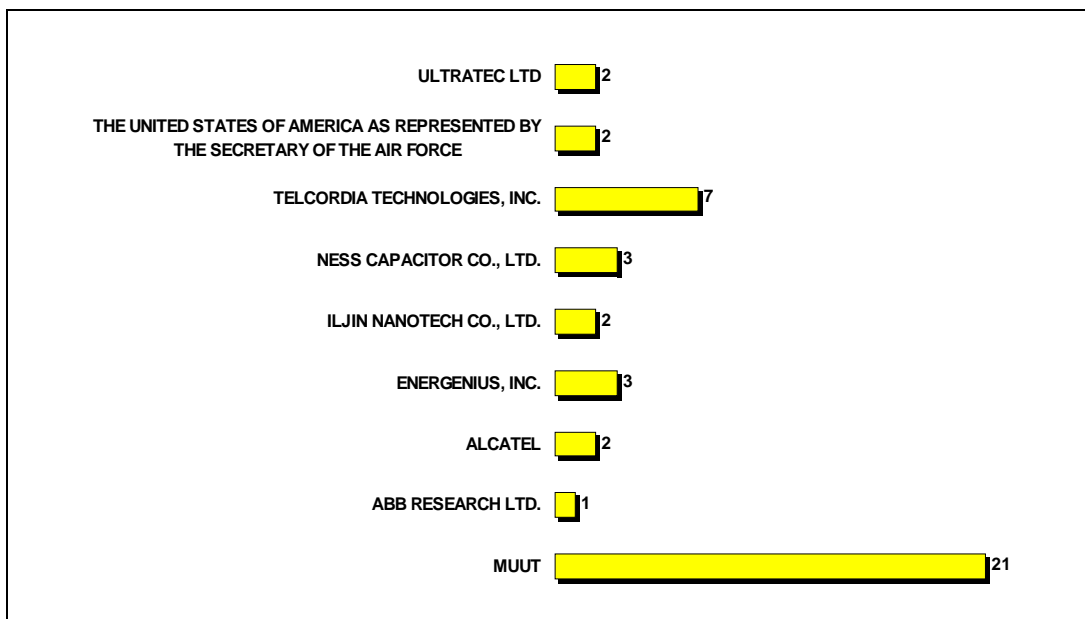


Kuva 17. Sähkökemiallisten kondensaattoreiden patenttien vuosittainen jakautuma. [1] mukaan.



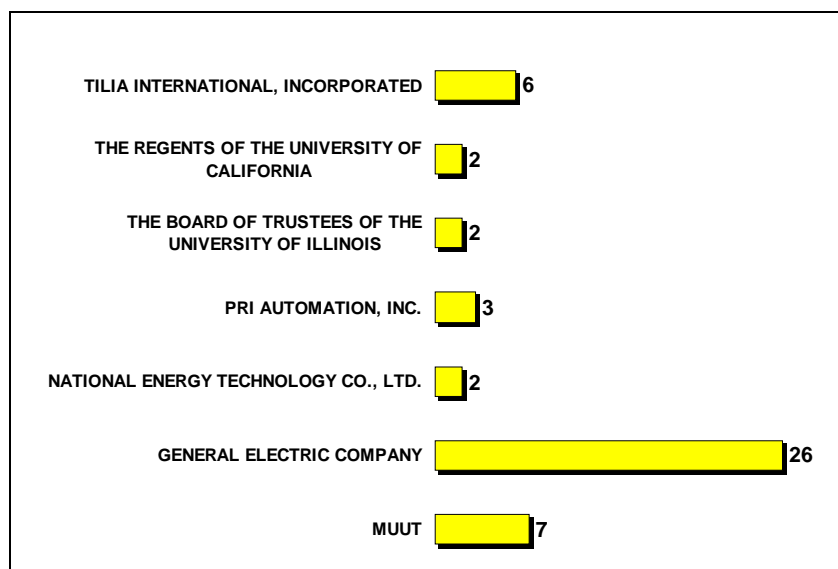
Kuva 18. Sähkökemiallisten kondensaattoreiden patenttien jakauma tyypeittäin. [1] mukaan.

Superkondensaattoreita koskevia patenteja oli eniten hakenut Telcordia Technologies, inc. (Kuva 19).



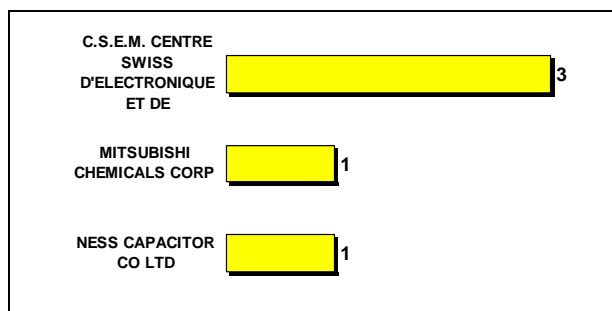
Kuva 19. Superkondensaattoripatentit 1999–2001 hakijan mukaan (45 kpl). [1] mukaan.

Ultrakondensaattorinimikkeellä eniten patenteja oli General Electric Companyllä (Kuva 20).



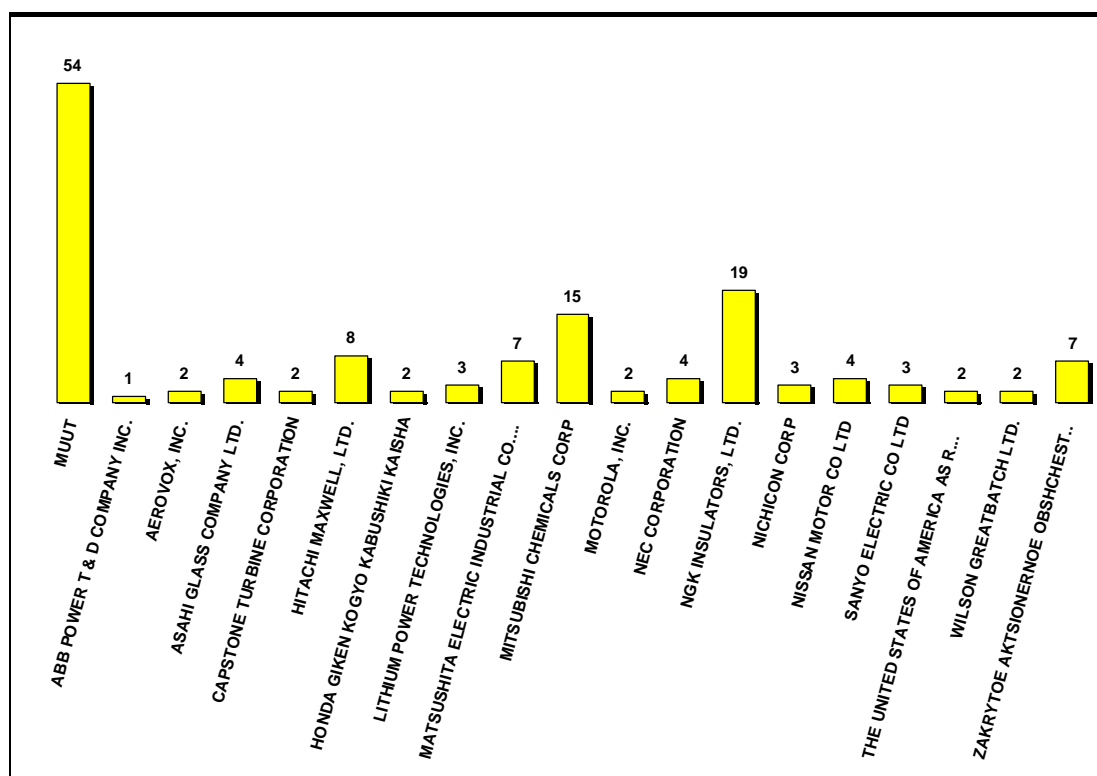
Kuva 20. Ultrakondensaattoripatentit 1999–2001 hakijan mukaan (48 kpl). [1] mukaan.

Pseudokondensaattorinimikkeellä eniten patenteja oli Suisse D'electronique Et De Microtechnique SA:lla 3 kpl (Kuva 21).



Kuva 21. Pseudokondensaattoripatentit 1999–2001 hakijan mukaan (5 kpl). [1] mukaan.

Muihin sähkökemiallisiin kondensaattoreihin liittyviä patenteja oli eniten NKG Insulators:lla yht. 19kpl (Kuva 22).



Kuva 22. 'Muut sähkökemialliset kondensaattorit' patentit 1999–2001 hakijan mukaan (144 kpl). [1] mukaan.

Sähkökemiallisia kondensaattoreita koskevista patenteista vuosina 1999–2002 n. 14 % koski kaksikerroskondensaattoreille sovitettuja elektrodeja ja n. 12 % elektrolyyttejä ja n. 10 % kaksikerroskondensaattoreiden rakenteita (Taulukko 31).

Taulukko 31. 1999–2002 Sähkökemiallisten kondensaattorien patenttien jakautuminen IPC-luokkiin. [1]

IPC-luokka	Nimitys	Kpl
9/00	Elektrolyyttiset kondensaattorit, tasasuuntaajat, detektorit, kytkentälaitteet, valo- tai lämpötilasensitiiviset laitteet; Näiden valmistusprosessit	76
9/004	. Yksityiskohdat	
9/008	. . Terminaalit	
9/012	. . . Erityisesti solideille kondensaattoreille sovitettut	2
9/016	. . . Erityisesti kaksikerroskondensaattoreille sovitettut	2
9/02	. . Sidekerros; Erottimet	8
9/022	. . Elektrolyytit, absorbentit	2
9/035	. . . Nestemäiset elektrolyytit, esim. kyllästyvät materiaalit	1
9/038	. . . Elektrolyytit erityisesti kaksikerroskondensaattoreille	20
9/04	. . Elektrodit	9
9/058	. . . erityisesti kaksikerroskondensaattoreille sovitettut	22
9/08	. . Suojaus, kotelointi	
9/10	. . . Tiivistäminen	1
9/14	. . Rakenteelliset liitokset elektrolyyttisten kondensaattoreiden sähköisten ominaisuuksien modifiointiin tai kompensointiin	1
9/155	. Kaksikerroskondensaattorit	17
9/22	. Laitteet, jotka käyttävät yhdistettyä reduktiota ja hapetusta esim. redox-laitteet	2

Vuonna 2002 julkaistuja patenteja oli 13.01.03 DEPANISnet-tietokannassa 33 kpl. Näistä patenteista on seuraavassa esitettyihin taulukoihin (Taulukko 36) poimittu esimerkkejä.

Taulukko 32. Orgaanisellaelektrolyyttiliuoksella ja alumiinisella virtakollektorilla varustetun metallioksidi-pseudokondensaattorin valmistus. [1]

Julkaisunumero	JP2002184650AA
Julkaisupäivä	28.06.2002
IPC-luokka	H01G 9/00
Hakija	NESS CAPACITOR CO LTD
Aihe	METAL OXIDE ELECTROCHEMICAL PSEUDO-CAPACITOR UTILIZING ORGANIC ELECTROLYTIC SOLUTION
Tiivistelmä	<p>Ratkaistava ongelma: Valmistettava metallioksidi-pseudokondensaattori, jonka varastoitunutta energiaa lisätään korvaamalla elektrolyyttinen liuos orgaanisella elektrolyyttisellä liuoksella, jolla on laaja sähkökemiallisesti stabiili alue ja alumiinia voidaan käyttää virtakollektorina.</p> <p>Ratkaisu: Kyseisessä metallioksidi-sähkökemiallisessa pseudokondensaattorissa on useita elektrodreja, orgaaninen elektrolyyttinen liuos, joka sisältää liuottimen ja liuoksen ja liunneen aineen ja erottavan elektrodit erottavan filmikerroksen. Kun käytetään orgaanista elektrolyyttistä liuosta pseudokondensaattorin toiminta tehostuu, koska varastoituvan energian määrä lisääntyy ja samalla saadaan vaihtoehtoja pseudokondensaattorin suunnitteluun. COPYRIGHT: (C)2002,JPO</p>

Taulukko 33. Sähkökemiallinen kondensaattori, jonka negatiivien elektrodi koostuu orgaanisesta, sähköjohtavasta polymeerista tai hiileen ja polymeerimateriaaliin perustuvasta komposiitista. [1]

Julkaisunumero	WO2002019357A1
Julkaisupäivä	07.03.2002
IPC-luokka	H01G 9/155
Hakija	ZAKRYTOE AKTSIONERNOE OBSHESTVO "ELLIT HOLDING"; KAZARYN, CAMVEL AVAKOVICH; RAZUMOV, SERGEY NIKOLAEVICH; HARISOV, GAMIR GALIEVICH; LITVENENKO, SERGEY VITALIEVICH
Aihe	ELECTROCHEMICAL DOUBLE-LAYER CAPACITOR
Tiivistelmä	Keksintö liittyy sähkötekniikkaan ja sitä voidaan käyttää sähkökemiallisen suuren ominaisteon ja – energian omaavan kaksikerroskondensaattorin valmistamiseen. Kondensaattori voi varastoida ja luovuttaa tehoa suurella nopeudella. Keksinnön olennainen osa on negatiivisen elektrodin rakenne, joka koostuu orgaanisesta sähköjohtavasta polymeerista tai hiileen ja polymeerimateriaaliin perustuvasta komposiitista. Ylimääräiset happimolekyylit tunkeutuvat eristekerroksessa oleviin huokosiin. Negatiivinen elektrodi on tehty polyanilikomposiitista ja aktiivihilimateriaalista tai aktiivihilikomposiitista ja polypyrolista. Elektrolyyttinä voi olla ei-orgaanisen hapon vesiliuos tai seokset tai sen suolat tai tiksotrooppinen happojen ja suolojen seos tai kiinteä protoneja johtava komposiitti.

Taulukko 34. Sähkökemiallinen kondensaattori, jossa rautaoksidia on käytetty elektrodimateriaalina. [1]

Julkaisunumero	WO2002019357A1
Julkaisupäivä	18.07.2002
IPC-luokka	H01G 9/155
Hakija	SHIUE, LIH-REN; WU, NAE-LIH; WU, DIEN-SHI; CHAO, CHING-WEN; LAN, YI-PING
Aihe	ELECTROCHEMICAL CAPACITOR WITH ELECTRODE MATERIAL FOR ENERGY STORAGE
Tiivistelmä	Rautaan, teräkseen tai muuhun materiaaliin suoraan kasvatettu rautaoksidifilmi on lupaava energiavarasto. Energiavaraston elektrodimateriaalina rautaoksidilla on kemiallinen rakenne $FexOyHz$, jossa $1.0 \leq x \leq 3.0$, $0.0 \leq y \leq 4.0$, ja $0.0 \leq z \leq 1.0$. Ko. sähkökemiallisen laitteen elektrolyyttinä käytetään joko vesi- tai orgaanista metallisuolojen (esim. sulfaattia, sulfidia, hydroksidia, kloridia, fosfaattia tai nitraattia) liuosta. Syklinen voltametri indikoi, että rautaoksidi elektrodit elektrolyytissä voivat varastoida korkean varauksen: 0.5 F/cm^2 tai 320 F/g . Sähkökemiallinen kondensaattori, jossa rautaoksidia on käytetty elektrodimateriaalina on kustannustehokas ja toimiva teholähde kannettavaan elektroniikkaan, työkaluihin ja sähköajoneuvoihin

Taulukko 35. Sähkökemiallinen kondensaattori, joka koostuu yksittäisestä kennosta tai kennostosta ja jonka elektrodi on tehty nanorakenteisesta filmistä. [1]

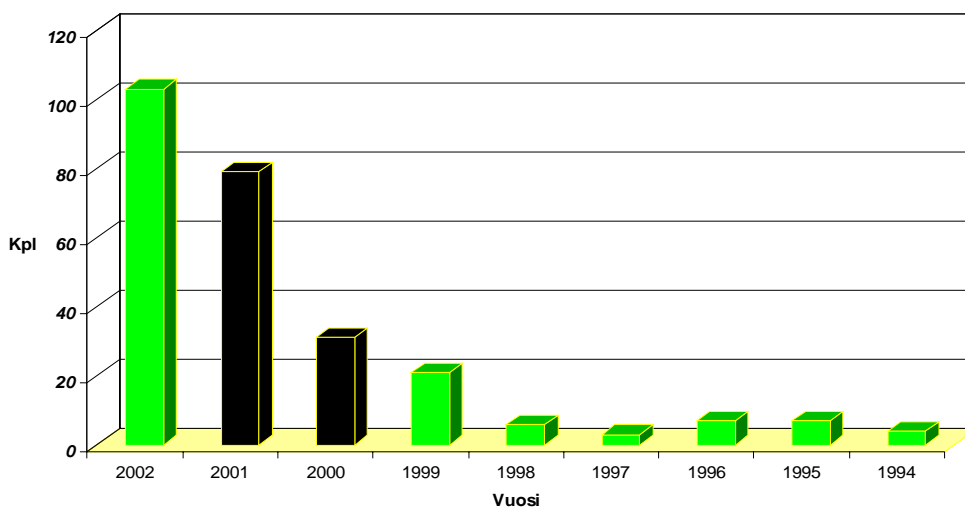
Julkaisunumero	WO2002035564A1
Julkaisupäivä	02.05.2002
IPC-luokka	H01G 9/00
Hakija	DORNIER GMBH; SCHERBER, WERNER; HAAS, CORNELIUS; BOEHMISCH, MATHIAS
Aihe	ELECTROCHEMICAL CAPACITOR WITH ELECTRODE MATERIAL FOR ENERGY STORAGE
Tiivistelmä	Keksintö liittyy sähkökemialliseen kondensaattoriin, joka koostuu yksittäisestä kennosta tai kennostosta, ja jokaisessa kennossa on elektrolyytti ja elektrodipari. Elektrodit on valmistettu joko sähköjohtavasta tai puolijohtavasta materiaalista. Kondensaattorilla on seuraavat ominaisuudet: elektrodi on tehty nanorakenteisesta filmistä, nanorakenteiset erilliset neulamaisesta elementit on yhdistetty sähköjohtavasti pintaan, elektrolyytti on ohut filmimäinen kerros, joka kattaa elektrodin ja estää elektrodien sähköisen kontaktin, erilliset neulamaiset elektrolyytillä päällystetyt elementit kiinnittyvät vastaelektrodiin. Keksintöön liittyy myös kondensaattorin tuotantomenetelmä.

Taulukko 36. Alkaali sähkökemiallinen kondensaattori, jonka kenno sisältää titaani-nitridipulverista valmistetun elektrodiparin. [1]

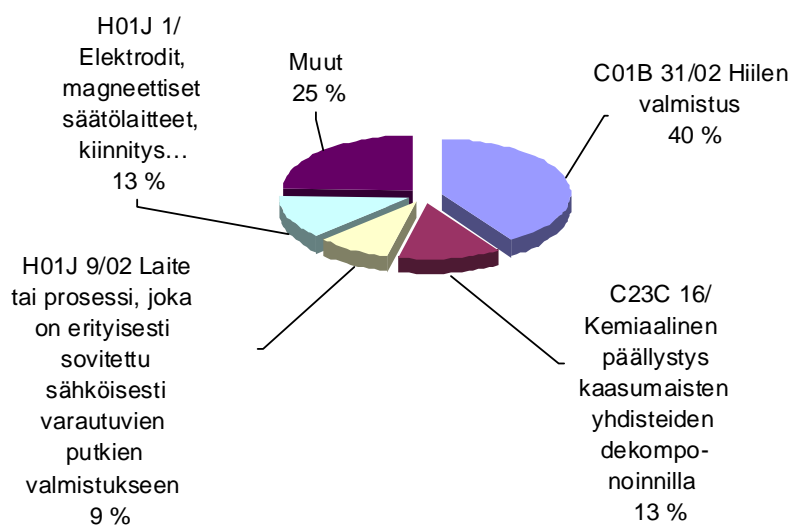
Julkaisunumero	WO2002049052A1
Julkaisupäivä	20.06.2002
IPC-luokka	H01G 9/00
Hakija	ALDISSI, MAHMOUD
Aihe	ALKALINE ELECTROCHEMICAL CAPACITOR AND ELECTRODE FABRICATION
Tiivistelmä	Suuren tehon omaava alkaali sähkökemiallinen kenno sisältää titaani-nitridipulverista valmistetun elektrodiparin, joka on valmistettu lisäämällä titanium-hybridipulveria kontrolloidusti ammonium-höyryssä. Pulverielektrodiparin ensimmäiselle pinnalle on asennettu huokoinen eristävä kalvo, joka sisältää elektrolyyttiä. Johtava yhteys on rakennettu kummankin pulverielektrodin toiselle puolelle. Elektrodeilla on suuri pinta-ala ja ne ovat sähköisesti stabiileja vahvassa alkaalielektrolyytissä. Kondensaattorikenno voi olla hermeettisesti suljettu ja se kykenee pitkäaikaiseen sykliseen toimintaan laajalla lämpötila-alueella (-55 °C to + 100 °C) ja tuloksena on korkean energiatiheden omaava energiavarasto.

Energiavarastoihin liittyvää nanotekniikkaa

Nanotekniikka ja mm. hiilinanoputkimateriaalien kehitys ja soveltaminen akku-, kondensaattori- ja polttokennotekniikoihin on tuomassa merkittävää parannusta toimintaan esim. parantuneen tehokkuuden ja energiakapasiteetin muodossa. Ohessa tarkasteltu myös nanoputkiin liittyviä patenteja, joita vuosien 1994–2002 oli 261 kpl [1]. Suurin osa (103 kpl) oli tehty vuoden 2002 aikana.

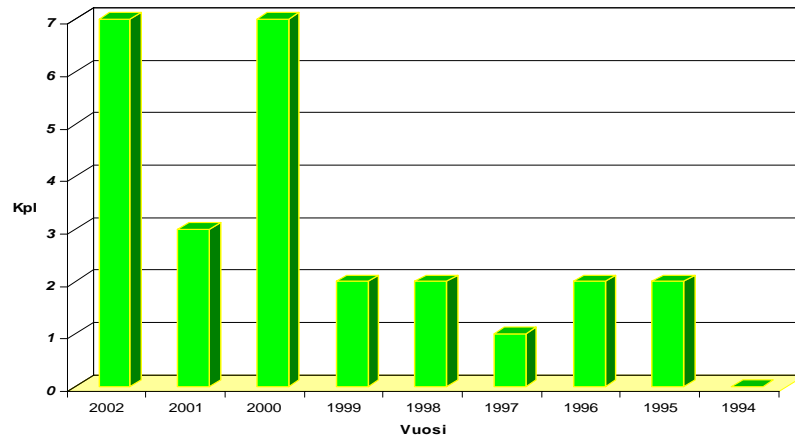


Kuva 23. Nanoputkiin liittyvät patentit vuosien 1994–2002 aikana. [1] mukaan.



Kuva 24. ”Nanotube” hakusanalla löytyvien patenttien (v. 1994–2002) jakautuminen aihealueittain. [1] mukaan.

Kun tarkastellaan patenteja hakusanoilla ”nano+(fuel cell tai capacitor)”, voidaan havaita myös patenttien kasvua viimeisten vuosien aikana. Patentit liittyvät joko nanotekniikan käyttöön elektrodien rakenteessa tai näiden tuotteiden valmistamiseen.



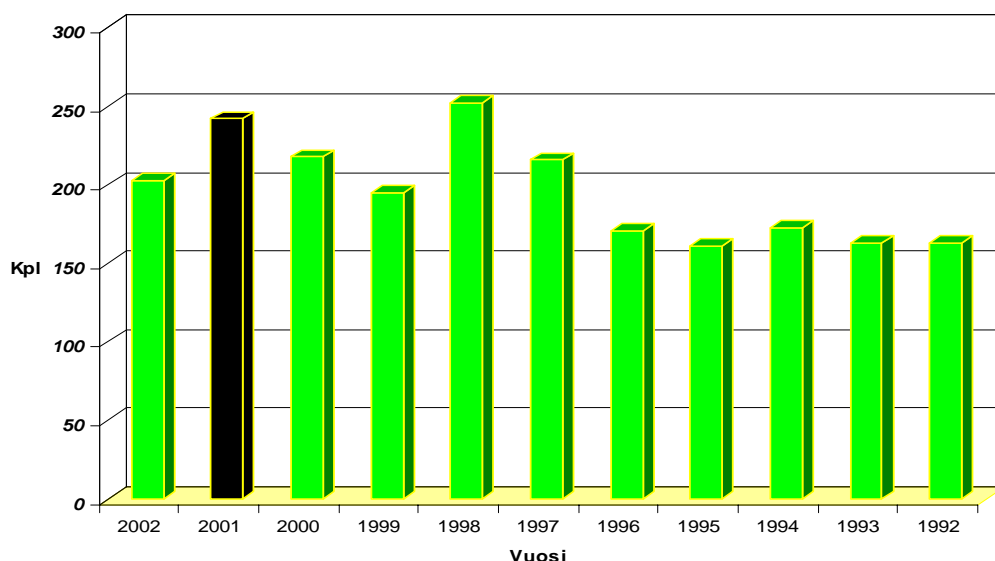
Kuva 25. Hakusanoilla ”nano+(fuel cell tai capacitor)” löytyneiden patenttien jakautuminen vuosien 1994–2002 aikana. [1] mukaan

Taulukko 37. Hakusanoilla "nano+(fuel cell tai capacitor)" löytyneitä patenteja vuosien 1994–2002 ajalta. [1]

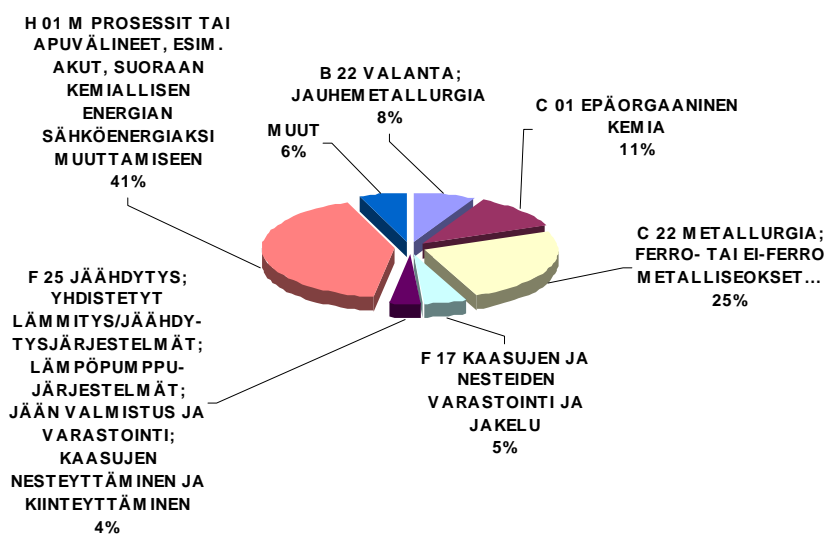
Numero	Päivämäärä	Luokka	Otsikko
JP2002242026AA	08.28.02	D01F 9/127	METHOD FOR PRODUCING FIBROUS CARBONACEOUS NANO- MATERIAL AND ELECTROLYTIC MATERIAL USING THE SAME AND USED FOR ELECTROCHEMICAL CAPACITOR
US2002114987A1	08.22.02	H01M 8/10	METHOD OF ARRAYING NANOPARTICLES AND MACROMOLECULES ON SURFACES
WO2001089013A3	06.20.02	H01M 8/02	NANOCOMPOSITE FOR FUEL CELL BIPOLAR PLATE
US0006391818B1	05.21.02	B01J 31/06	POLYBETAINE STABILIZED PLATINUM NANOPARTICLES, METHOD FOR THE PRODUCTION THEREOF AND UTILIZATION FOR FUEL-CELL CATALYSTS
JP2002083604AA	03.22.02	H01M 4/88	MANUFACTURING METHOD OF CATALYST CARRYING CARBON NANOFIBER, SLURRY COMPOSITION FOR FUEL CELL ELECTRODE, AND FUEL CELL
WO2002017427A1	02.28.02	H01M 4/86	GRAPHITE NANOFIBER CATALYST SYSTEMS FOR USE IN FUEL CELL ELECTRODES
WO2001089013A2	11.22.01	H01M 8/00	NANOCOMPOSITE FOR FUEL CELL BIPOLAR PLATE
DE0019935271A1	02.08.01	H01M 8/02	Fuel cell matrix material made by slip casting includes oxide, binder, plasticizer and anti-foamer and oxide secondary nanoparticles
DE0019948742C1	12.28.00	H01G 9/058	Electrochemical capacitor used e.g. in telecommunications consists of single cell(s) with electrodes formed of an electrically conducting or semiconducting nano-structured film
EP0001039968A1	10.04.00	B01J 35/00	POLYBETAINE STABILIZED PLATINUM NANOPARTICLES, METHOD FOR THE PRODUCTION THEREOF AND UTILIZATION FOR FUEL-CELL CATALYSTS
DE0019821968A1	11.25.99	B01J 13/00	Production of transition metal colloid for use e.g. as coating, catalyst, fuel cell component and in ink jet printing, laser etching, information storage and cell labeling and cell separation
WO1999029423A1	06.17.99	B01J 35/00	POLYBETAINE STABILIZED PLATINUM NANOPARTICLES, METHOD FOR THE PRODUCTION THEREOF AND UTILIZATION FOR FUEL-CELL CATALYSTS
US0005905000A	05.18.99	H01M 8/12	NANOSTRUCTURED ION CONDUCTING SOLID ELECTROLYTES
DE0019628927A1	01.22.98	H01M 10/02	Nano-battery capacitor having high energy density

Vedyn varastointitekniikat

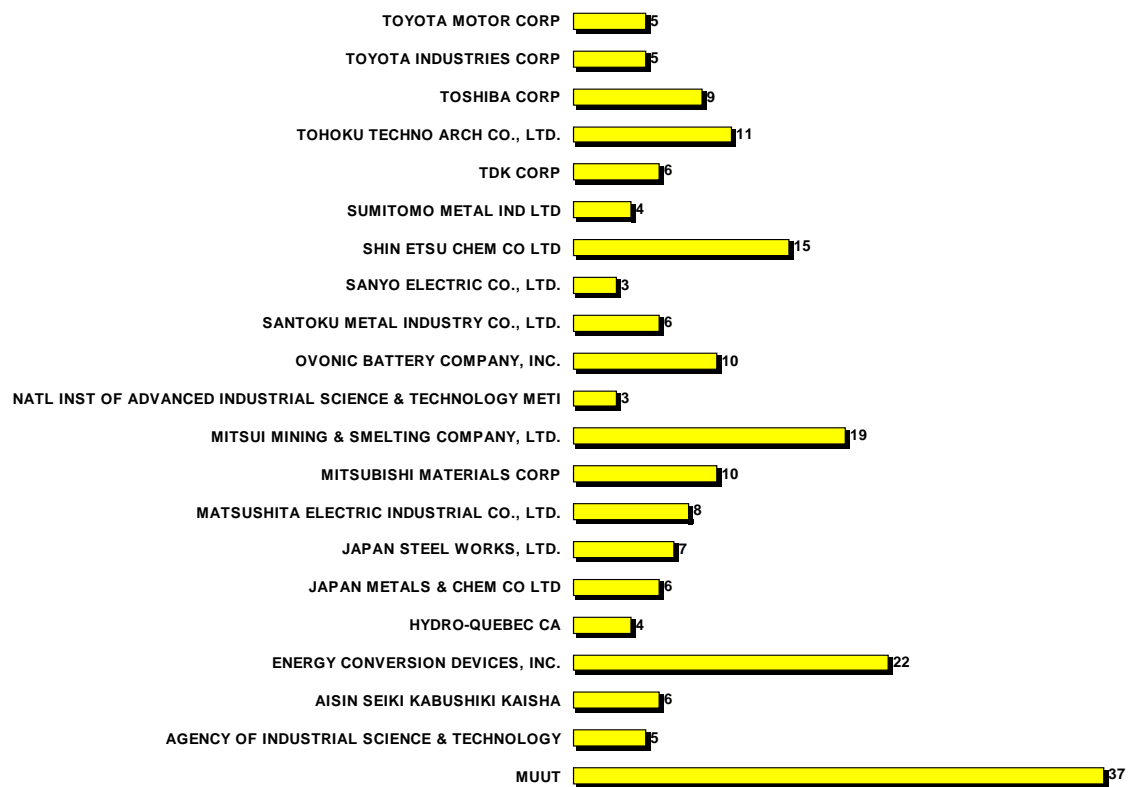
Vedyn varastointitekniikkojen kehittyminen on olennainen edellytys mm. vetyä hyödyntävien polttokennojen tehokkaalle käytölle. Tässä työssä on luotu katsaus vedynvarastointiin liittyviin patenteihin. Vuosien 1992–2002 aikana on vedyn varastointiin liittyviä patenteja tullut yhteensä 2157 kpl [1].



Kuva 26. Vedyn varastointiin liittyvien patenttien vuotuinen jakauma v. 1992–2002. [1] mukaan.



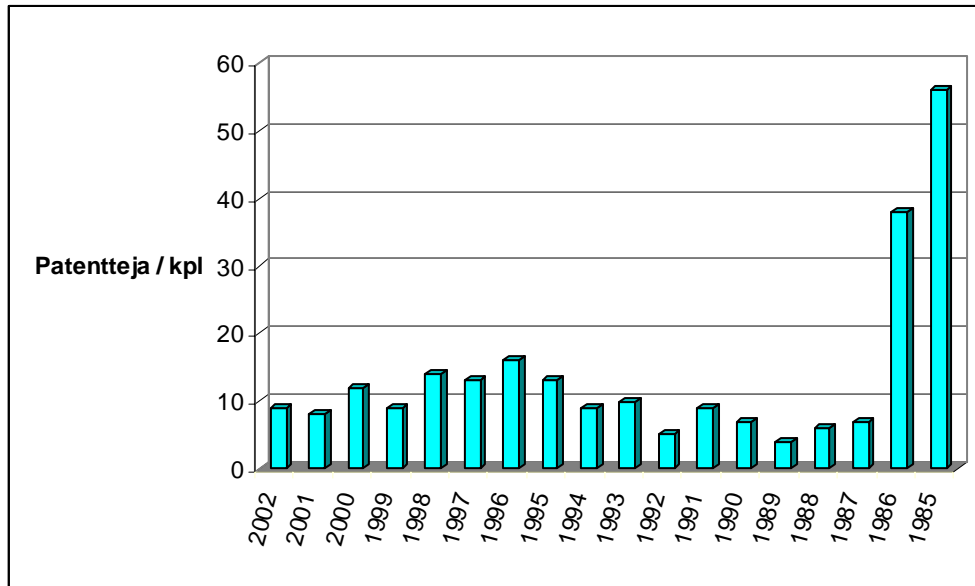
Kuva 27. Esimerkki vedyn varastointiin liittyvien patenttien jakautumisesta eri IPC-luokkiin. [1] mukaan.



Kuva 28. Luokan C 22 C 'Vedynvarastointi'-patenttien jakautuminen hakijoiden kesken 1999–2002 (201 kpl). [1] mukaan.

Lämpöenergiavarastot

Vuosien 1985–2002 aikana lämpöenergiavarastoihin liittyviä patenteja oli yhteensä 245 kpl.



Kuva 29. Lämpöenergiavarastoihin liittyviä patenteja vuosina 1985–2002. [1] mukaan.

Patentit käsittelivät lämmön/kylmän varastointiin liittyviä järjestelmä- ja materiaaliratkaisuja (esim. 10 patenttia käsitteli faasinmuutosmateriaaleja). [1]

Lähdeluettelo

[1] Deutsches Patent- und Markenamt. DEPATISnet. Internet:
<http://www.depatistnet.de/>. Viitattu 21.01.03

[2] WIPO. IPC (International Patent Classification). Internet:
http://www.wipo.int/classifications/fulltext/new_ipc/index.htm. Viitattu 21.01.03.



Tekijä(t) Alanen, Raili, Koljonen, Tiina, Hukari, Sirpa & Saari, Pekka			
Nimeke Energian varastoinnin nykytila			
Tiivistelmä Tässä tutkimustyössä tarkastellaan energian varastointiin liittyvää teknologiaa, sen viimeisintä kehitystä, sovellusalueita ja niiden asettamia vaatimuksia, tuotteita, standardointia, patentointia ja tutkimus- ja kehitystoimintaa. Työ sisälsi myös suomalaisille yrityksille ja tutkija- sekä opetustahoille suunnatun haastattelukyselyn osaamisalueista, kiinnostuksen kohteista ja näkemyksestä tarpeellisiksi painopistealueiksi tuleviin tutkimusprojekteihin. Energian varastointitekniikkaan liittyvän kehityksen ajavana voimana on ollut sähkö- ja hybridi-ajoneuvojen kehitys, hajautetun sähköjakelun kehitys, uusiutuvia energialähteitä hyödyntävän voimantuotannon kehitys, ympäristönsuojelulliset näkökohdat ja sähkö jakelun luotettavuus- ja laatuongelmat. Energiavarastojen käyttö tuo myös taloudellisia etuja, sillä ne mahdollistavat kysynnän vaihtelujen ja huippukuormituksen optimaalisen hyödyntämisen. Energian varastointitekniikka on pääosin perusteiltaan vanhaa tekniikkaa, mutta selkeästi esim. materiaalitekniikan kehittyminen on vauhdittanut myös varastointitekniikan kehitystä. Esimerkiksi faasinmuutosmateriaalien ja uusien kylmäaineiden käyttö tuo uusia tutkimustarpeita ja tuotteita lämpö- ja kylmävarastointiin. Mikro- ja nanotekniikan tutkimus ja lisääntynyt tietämys ovat tuomassa merkittävää panosta niin akku- kuin kondensaattori- ja polttokennotekniikkaan. Toisaalta useimmat energian varastointitekniikat (esim. vauhtipyörät, SMES, virtausakut, regeneroitavat polttokennot) vaativat tehokkaan monipuolisen hallintajärjestelmän, joten ohjausjärjestelmän tehoelektronikkaan ja muuhun sähkö- ja oheistekniikkaan liittyvään kehitykseen tarvitaan panostusta edelleen. Integroituminen muihin järjestelmiin ja verkkoon liittynän hallintakonseptit, ohjeet, säännöt, standardit ja suojauksen/ohjauksen hallintalaitteet vaativat edelleen panostusta ja pitkälti myös maakohtaisia versioita, joten energian varastointiin liittyvät tuotteet tarjoavat runsaasti kehittämismahdollisuuksia myös suomalaisille yrityksille.			
Avainsanat energy storage technologies, energy storage, pumped-storage, compressed air energy storage, thermal energy storage, flywheels, superconducting magnet energy storage, SMES, batteries, capacitors, supercapacitor, ultracapacitor, battery energy storage, heat pump, fuel cell, latent heat storage, hydrogen storage			
Toimintayksikkö VTT Prosessit, Tekniikantie 4 C, PL 1606, 02044 VTT			
ISBN 951-38-6160-0 (URL: http://www.vtt.fi/inf/pdf/)		Projektinumero C2SU02215	
Julkaisu-aika Kesäkuu 2003	Kieli Suomi, engl. tiiv.	Sivuja 169 s. + liitt. 60 s.	Hinta E
Projektin nimi Energian varastoinnin nykytila		Toimeksiantaja(t) Tekes, ABB Oy, Evox Rifa Group Oyj, Helsingin Energia, Merinova Oy, Powest Oy, VTT	
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/inf/pdf/)		Myynti: VTT Tietopalvelu PL 2000, 02044 VTT Puh. (09) 456 4404 Faksi (09) 456 4374	

Author(s) Alanen, Raili, Koljonen, Tiina, Hukari, Sirpa & Saari, Pekka			
Title Current Trends in Energy Storage Technology			
Abstract <p>In this research work we have studied the technology of energy storage: latest development, application areas and their demands, products, standards, patents, research and development activities. The work included also an interview study where its was interviewed experts of companies and universities for their field of know-how, focus on interest and future research projects in energy storage technologies.</p> <p>The driven forces for development of energy storage technology has been among the others the development of electrical and hybrid vehicles, distributed electricity, renewable energy, environmental aspects, and the reliability and quality problems of electricity distribution. The utilisation of energy storage technology will give also the financial benefits when giving feasibility to manage optimally the periods of demand fluctuation and peak load.</p> <p>The main part of the energy storage technology is based on the old innovations but e.g. the innovations in material technology also have lately speeded up the development of energy storage systems. For example the phase change materials and new refrigerants are basis for the development of the products in thermal energy storage technology. The research and increased knowledge of nano- and microtechnology will influence on the development of the battery-, capacitor and fuel cell systems. On the other hand most energy storage techniques (e.g. flywheels, SMES, flow batteries and regenerative fuel cells) needs multifunctional control system thus the development work for the power electronics and other functions of control systems is still needed. Integration into other systems and the management concepts of the network connection, instructions, rules, standards, protection and control systems need further development and possible national versions, thus energy storage products will give development potential for finish companies, too.</p>			
Keywords energy storage technologies, energy storage, pumped-storage, compressed air energy storage, thermal energy storage, flywheels, superconducting magnet energy storage, SMES, batteries, capacitors, supercapacitor, ultracapacitor, battery energy storage, heat pump, fuel cell, latent heat storage, hydrogen storage			
Activity unit VTT Processes, Tekniikantie 4 C, P.O.Box 1606, FIN-02044 VTT, Finland			
ISBN 951-38-6160-0 (URL: http://www.vtt.fi/inf/pdf/)		Project number C2SU02215	
Date June 2003	Language Finnish, Engl. abstr.	Pages 169 p. + app. 60 p.	Price E
Name of project Energian varastoinnin nykytila		Commissioned by Tekes, ABB Oy, Evox Rifa Group Oyj, Helsingin Energia, Merinova Oy, Powest Oy, VTT	
Series title and ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/inf/pdf/)		Sold by VTT Information Service P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 9 456 4404 Fax +358 9 456 4374	

VTT TIEDOTTEITA – RESEARCH NOTES

VTT PROSESSIT – VTT PROSESSER –VTT PROCESSES

- 2137 Kumpulainen, Heikki, Peltonen, Terttu, Koponen, Ulla, Bergelin, Mikael, Valkiainen, Matti & Wasberg, Mikael. In situ voltammetric characterization of PEM fuel cell catalyst layers. 2002. 28 p. + app. 4 p.
- 2138 Ranta, Jussi & Wahlström, Margareta. Tuhkien laatu REF-seospoltossa. 2002. 53 s. + liitt. 13 s.
- 2139 Lohiniva, Elina, Sipilä, Kai, Mäkinen, Tuula & Hietanen, Lassi. Jätteiden energiakäytön vaikutukset kasvihuonekaasupäästöihin. 2002. 119 s.
- 2141 Laine-Ylijoki, Jutta, Wahlström, Margareta, Peltola, Kari, Pihlajaniemi, Miina & Mäkelä, Esa. Seospolton tuhkien koostumus ja ympäristölaadunvarmistusjärjestelmä. 2002. 51 s. + liitt. 59 s.
- 2142 Tuhkanen, Sami. Jätehuollon merkitys Suomen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä. Kaatopaikkojen metaanipäästöt ja niiden talteenotto. 2002. 46 s.
- 2143 Meinander, Harriet & Varheenmaa, Minna. Clothing and textiles for disabled and elderly people. 2002. 58 p. + app. 4 p.
- 2145 Helynen, Satu, Flyktman, Martti, Mäkinen, Tuula, Sipilä, Kai & Vesterinen, Pirkko. Bioenergian mahdollisuudet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä. 2002. 110 s. + liitt. 2 s.
- 2153 Hänninen, Seppo & Lehtonen, Matti. Earth fault distance computation with fundamental frequency signals based on measurements in substation supply bay. 2002. 40 p.
- 2155 Hepola, Jouko & Kurkela, Esa. Energiantuotannon tehostaminen fossiilisiin ja uusiutuviin polttoaineisiin perustuvassa energiantuotannossa. 2002. 65 s.
- 2163 Miettinen, Jaakko & Hämäläinen, Anitta. GENFLO - A general thermal hydraulic solution for accident simulation. Espoo 2002. VTT Tiedotteita – Research Notes 2163. 75 p. + app. 4 p.
- 2164 FINNUS, The Finnish Research Programme on Nuclear Power Plant Safety 1999–2002. Final Report. Ed by Riitta Kyrki-Rajamäki & Eija Karita Puska. 267 p. + app. 68 p.
- 2165 FINNUS, The Finnish Research Programme on Nuclear Power Plant Safety 1999–2002. Executive Summary. Ed. by Riitta Kyrki-Rajamäki. 2002. 26 p. + app. 18 p.
- 2177 Mäkelä, Kari, Laurikko, Juhani & Kanner, Heikki. Suomen tieliikenteen pakokaasupäästöt. LIISA 2001.1 -laskentajärjestelmä. 2002. 63 s. + liitt. 42 s.
- 2186 Syri, Sanna & Lehtilä, Antti. Kasvihuonekaasujen päästöjen vähentämisen vaikutus muihin ilmansaasteisiin. 2003. 69 s.
- 2187 Siltanen, Satu. Teknisiä ja taloudellisia näkökohtia käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen palautettavuudesta. Kirjallisuusselvitys. 2003. 72 s.
- 2196 Lehtilä, Antti & Syri, Sanna. Suomen energiajärjestelmän ja päästöjen kehitysarvioita. Climtech-ohjelman skenaariotarkastelu. 2003. 62 s.
- 2199 Alanen, Raili, Koljonen, Tiina, Hukari, Sirpa & Saari, Pekka. Energian varastoinnin nykytila. 2003. 169 s. + liitt. 60 s.

Tätä julkaisua myy	Denna publikation säljs av	This publication is available from
VTT TIETOPALVELU	VTT INFORMATIONSTJÄNST	VTT INFORMATION SERVICE
PL 2000	PB 2000	P.O.Box 2000
02044 VTT	02044 VTT	FIN-02044 VTT, Finland
Puh. (09) 456 4404	Tel. (09) 456 4404	Phone internat. + 358 9 456 4404
Faksi (09) 456 4374	Fax (09) 456 4374	Fax + 358 9 456 4374