Tulevaisuuden energiatehokas tehdas

Oy Merinova Ab Esko Ala-Myllymäki

Österbottens förbund
Pohjanmaan liitto
Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto
Vipuvoimaa EU:lta 2014–2020
MERINOVA
INNOVATION WITH ENERGY

Sisällysluettelo

Johdanto ... 4
Yleistä ... 4
Tehdas ... 5
Suuri tehdas ... 5
Sähköauton akku ... 7
Akun valmistusprosessi ... 8
Uusiutuvat energialähteet ... 10
Aurinko ... 10
Aurinkosähkö ... 12
Aurinkolämpö ... 16
Tuuli ... 17
Geoterminen energia ja maalämpö ... 20
Vesivoima ... 22
Biokaasu, maakaasu ... 22
Suomen sähkötuotanto ... 23
Sähköverkko ... 25
Sähkön hinta ... 25
Varavoima ... 27
Energiatehokas rakentaminen ja sijainti ... 28
Eristysmateriaalit ... 29
Ohjausjärjestelmät (kiinteistöautomaatio) ... 30
Valaistusratkaisut ... 31
Energiatehokkaat prosessit ... 32
Energian talteenotto ... 36
Energian varastointi ... 36
Ylijäämälämpö ... 39
Jäähdytys ... 40
Jäähdytysenergia kaukolämpönä ... 44
Lämpöpumput ... 46
ORC-laitos ... 46
Stirling ... 47
Vaasan kaukolämpöverkko ... 48
Ohjelmistoja energiatehokkuussimulointiin ... 50
Yhteenveto ... 51
LÄHTEITÄ: ... 52
LIITTEET: ... 57
Liite 1: Parhaiden tutkimusasteella olevien aurinkokennojen hyötysuhteita (1975 – 2017) ... 57

Liite 2: Markkinoilla olevien eri valmistajien aurinkopaneelien hyötysuhteita 58
Liite 3: Auringon säteilyn määrä Suomessa 60
Liite 4: Vaasan kuukausittaisia auringonsäteilymääriä 61
Liite 5: Tuulen vuoden keskinopeuskartta 100 metrin korkeudelta 62
Liite 6: Tuulivoimalan vuoden tuotantokartta 100 metrin korkeudelta 63
Liite 7: Suomen geoenergiapotentiaali 64
Liite 8: Erilaisten lamppujen keskimääräisiä ominaisuuksia 65
Liite 9: Sähkön hintoja Euroopassa 66
Liite 10: Lämpöpumpputyyppien ominaisuuksia 67

Johdanto

Tulevaisuuden energiatehokas tehdas on pääosin Pohjanmaan liiton rahoittama EAKR-hanke, jota on yhteistyössä toteuttamassa Oy Merinova Ab, Vaasan yliopisto ja Vaasan ammattikorkeakoulu.

Hankkeessa Merinovan roolina on selvittää tulevaisuuden suurten tehtaiden kustannustehokkaita, puhtaita energiaratkaisuja perustuen uusiutuviin energialähteisiin kuten aurinko- ja tuulienergia, geoterminen lämpö, energiatehokas rakentaminen ja sijainti, älykkäät eristysmateriaalit, energiatehokkaat ohjausjärjestelmät, energiatehokkaat valaistusratkaisut, energian talteenotto ja kierrättäminen jne. Selvityksessä on tavoitteena tuoda esiin erilaisia suurille tuotantotehtaille sopivia energiatehokkaita ja uusiutuvaan energiaan perustuvia ratkaisuvaihtoehtoja.
Merinovan osalta hanketta on toteutettu kirjallisuustutkimuksena, jossa on pyritty selvittämään erilaisten energiavaihtoehtojen soveltuvuutta ympäristömyötäisiin isojen tehtaiden energiaratkaisuihin. Suuri tehdas on hieman epämääräinen käsite, mutta selvityksessä on soveltuvin osin viitattu akkutehtaaseen, joka täyttää hyvin suuren tehtaan määritelmän. Suuren tehtaan energian tarve on sellaisessa mittakaavassa, että siihen ei usein paikalliset tuotantoratkaisut riitä ja siksi energian tuotantoa täytyy tarkastella myös laajemmin. Tehtaat ovat hyvin yksilöllisiä ja omistaja päättää lopulta kussakin tapauksessa säädösten ja lupaehtojen puitteissa tehtaalla käytettävät ja toteutettavat tekniset ratkaisut, tuotantoprosessit, rakenteet ja toimintatavat. Tässä esityksessä energiaratkaisuja joudutaan käsittelemään melko yleisellä tasolla, koska todellista tietoa tehtaan toiminnasta ja energiataseista ei ole mainittavasti saatavilla.

Energiatehokkuus, toiminnan ympäristömyötäisyys ja pitkälle viety automaatio ovat nykyisin keskeisiä kilpailutekijöitä yritysten kannattavuuden, kilpailukyvyn ja brändin kannalta. Yrityksen ympäristömyötäisyys on noussut asiakkaan kannalta keskeiseksi tekijäksi nykyisessä liiketoiminnassa. Ympäristömyötäisyyteen kuuluu kulutetun energian määrän ja laadun lisäksi rakennusten ja prosessien energiatehokkuus sekä tuotannossa syntyneen ylijäämän kierrätys uusiokäyttöön. Tuotteiden hiilijalanjäljen pienuudesta on tullut eräs myyntiargumentti ja mitta yrityksen toiminnan laadusta.
Rakennusten ja prosessien käytönaikaisen energian kulutuksen pienentäminen on eräs keino, joilla pyritään alentamaan kokonaisenergian kulutusta ja siten myös kasvihuonekaasupäästöjä. Kasvihuonepäästöjen alentamiseksi pyritään nykyisin käyttämään mahdollisimman paljon päästöttömiä uusiutuvia energiantuotantomuotoja. Kansallisen ja Euroopan unionin lainsäädännön samoin kuin kansainvälisten sitoumusten kautta päästömääriä pyritään vähentämään ja tiukennetaan sallittuja päästörajoja.

Yleistä

Uusiutuvan energian käyttöä kannustetaan energia- ja ilmastostrategian sekä Suomen kansallisen uusiutuvan energian toimintasuunnitelman tavoitteiden mukaisesti lisäämään nykyisestä. Tavoitteena on, että uusiutuvan energian osuus Suomen energiantuotannossa kasvaisi 9,5 prosenttiyksikköä vuoden 2005 tasosta vuoteen 2020 mennessä, jolloin sen osuus Suomen energiankulutuksesta olisi 38 prosenttia. Suomen pitkän aikavälin tavoitteena on hiilineutraali yhteiskunta. Vuonna 2005 uusiutuvan energian osuus Suomen primäärienergian tuotannosta oli noin 28,5 prosenttia.
Lähde: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/uusiutuva_energia_suomessa

Vaasan kaupungin energia- ja ilmasto-ohjelmassa on tavoitteena, että Vaasan kaupunki on vuonna 2035 hiilineutraali. Tämä tarkoittaa, että kaupunki pyrkii luopumaan fossiilienergiasta korvaten sen uusiutuvalla ja tuottaa hiilipäästöjä vain sen verran, kuin se sitoo niitä ilmakehästä. Tavoitteeseen pyritään energiatehokkuuden parantamisella ja uusiutuvan energian käytön lisäämisellä.

Tehdas

Tehdas etenkin iso tehdas on hyvin monimuotoinen käsite energiatehokkuuden kannalta. Tehtaita on monenlaisia ja niiden rakenteet, tuotantotavat ja -prosessit ovat yksilöllisiä. Tehtaan energian kulutukseen ja -energiatehokkuuteen vaikuttaa olennaisesti missä liiketoiminnassa tehdas toimii. Prosessiteollisuus kuten paperi- ja selluteollisuus, metallinjalostus sekä kemianteollisuus ovat hyvin energiaintensiivisiä. Tehtaan toimintaan ja energiataseeseen vaikuttaa olennaisesti se valmistetaanko tehtaassa itse tuotteita perinteisellä menetelmällä raaka-aineista vai käytetäänkö osavalmistukseen ulkopuolelta ostettavia puolivalmisteita ja osia. Jälkimmäisessä tapauksessa tehdas on lähinnä valmiiden laitekomponenttien kokoonpanolaitos.

Prosessi- ja kemianteollisuudessa tehtaan kuluttavat usein paljon energiaa sähkön muodossa. Sähkön avulla ohjataan ja säädetään prosesseja, joissa syntyy kemiallisten reaktioiden seurauksena usein myös runsaasti lisälämpöä. Syntynyttä lämpöä voidaan myydä ulkopuolelle esimerkiksi alueen kaukolämpöverkostoon tai hyödyntää omiin tarpeisiin. Ylimääräistä lämpöä syntyy myös nykyisistä tietokoneiden palvelinkeskuksista, joissa jäähdytystarpeen kautta poistetaan elektroniikalle haitallista lämpöä. Sellutehtaat ovat myös merkittäviä uusiutuvan energia tuottajia tuottamalla selluloosan tuotannosta ylijäävästä puuaineksen sivuvirrasta lämpöä ja sähköä hyötysuhteeltaan tehokkaissa yhteistuotantolaitoksissa (CHP).

Tehtaan toiminnan aikaiseen energiatehokkuuteen vaikuttavat tuotantoprosessin toteutuksen tehokkuus ja laitekannan sekä rakenteiden energiatehokkuus. Energiatehokkuutta voidaan parantaa myös häviö- ja hukkaenergian kierrätyksellä ja uusiokäytöllä. Tehdasrakennuksilta ei ainakaan toistaiseksi vaadita energialuokitusta samalla tavalla kuin asuinrakennuksilta. Energiatodistuksessa rakennus luokitellaan laskennallisilla perusteilla energiatehokkuusluokkiin asteikolla A-G. Rakennuksen energiatehokkuus lasketaan jakamalla rakennuksen laskennallinen vuotuinen kokonaisenergiankulutus rakennuksen lämmitetyllä nettopinta-alalla, jolloin rakennuksella saadaan E-luku (kWh/m^2 vuosi). Poikkeavaa käytäntöä tehtaiden osalta perustellaan sillä, että tehdasrakennukset ovat energiankäytöltään hyvin monimuotoisia ja poikkeavat energian käytöltään ja rakenteiltaan merkittävästi toisistaan.

Suuri tehdas

Tässä työssä esimerkkinä isosta tehtaasta on käytetty soveltuvin osin Teslan USA:n Nevadan osavaltioon Sparks nimiselle alueelle nousevaa akkutehdasta sekä Nordvoltin Ruotsin Skellefteåhon suunnittelemaa tehdasta. Nevadan tehtaan kokoluokka on valtava,

sillä akkutehdas on sijoitettu 3.000 eekkerin eli noin 1214 hehtaarin tontille. Valmistuttuaan tehdas on pinta-alaltaan yli viisi miljoonaa neliöjalkaa eli noin 46,5 hehtaaria useammassa kerroksessa.

Kuva X: Rakenteilla oleva Teslan USA:n Gigafactory Nevadan Sparksissa.
Lähde: http://www.businessinsider.com/tesla-gigafactory-size-shown-drone-footage-2017-8?r=UK&IR=T&IR=T/#heres-what-it-looks-like-now-4

Nevadan Teslan tehtaassa toimii samassa rakennuksessa Panasonicin akkukennojen tuotantoyksikkö. Pienistä akkukennoista muodostuu Teslan sähköautoissa käyttettävä akusto. Tehdasrakennus kokonaisuutena toimii auton akkuja raaka-aineista valmistavana yksikkönä.

Vaasan lentokentän koillispuolelle on kaavoitettu teollisuusalue, jonka kokonaislaajuus on noin 1000 hehtaaria eli 10 km^2. Alue on pääosiltaan Vaasan puolella, mutta alue ulottuu myös Mustasaaren puolelle noin 300 hehtaaria. Alue rajoittuu länsipuolelta lentoasema-alueeseen, koillisessa rautatiehen sekä kaakossa Tuovilan kylään. Alueella on tarjolla eri kokoisia tontteja, joista suurimmat voivat olla pinta-alaltaan jopa 100 – 150 hehtaaria. Tehdasrakennukset voivat olla jopa 30 – 50 hehtaaria eli 300 000 – 500 000 m^2.

Suuren akkutehtaan tehontarpeena pidetään tässä esityksessä 300 MW jatkuvana sähkö-tehona. Tehtaan oletetaan toimivan läpi vuoden jatkuvasti 24/7-periaatteella. Tehtaan päivittäinen energian tarve on siten 7.200 MWh ja vuodessa 2.628.000 MWh eli 2628 GWh. Sähkötehon tarve on suuri, sillä se vastaa yli puolta vuonna 1977 käyttöön otetun Loviisa 1 ydinvoimalan sähköntuotannon nettotehoa 502 MW. Tehtaan sähköntarve on myös yli nelinkertainen suhteutettuna Vaasan nykyiseen sähkönkulutukseen. Vaasa kulutti Energiateollisuus ry:n tilaston mukaan sähköä 591 GWh vuonna 2016. [46] Tehtaan akkutuotannon vuosikapasiteetiksi on arvioitu ympäristövaikutusarvioinnissa (YVA) 100 GWh. Samassa selvityksessä akkukennojen tuotantomääräksi on arvioitu 5 miljardia kappaletta vuodessa.

Jos tehdas olisi pelkästään akkujen kokoonpanotehdas ja akkukennojen valmistus tulisi ulkopuoliselta toimittajalta olisi tällaisen kokoonpanotehtaan energiankulutuslukemat täysin erilaiset. Sähkön kulutuslukemat olisivat olennaisesti pienemmät ja kokoonpanotehdas tarvitsisi todennäköisesti myös erikseen lämmitysenergiaa sähkön lisäksi.

Sähköauton akku

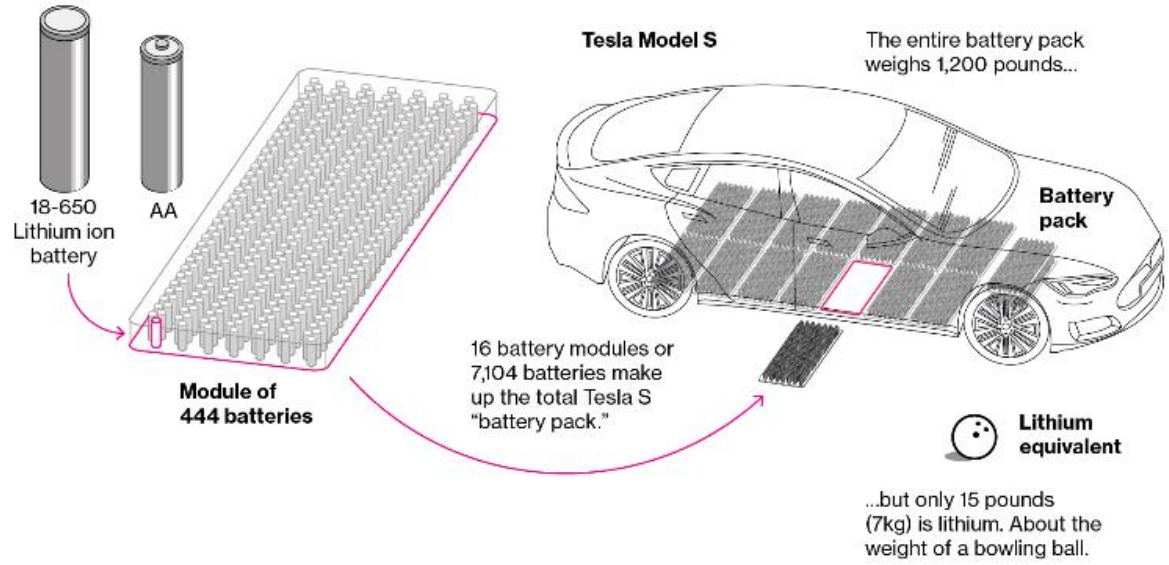
Esimerkkinä isosta akkutehtaasta on käytetty Teslan USA:ssa sijaitsevaa akkutehdasta. Tehtaassa valmistetaan raaka-aineista ensin sormipariston näköisiä akkukennoja, joista kootaan akkumoduleja ja lopuksi koko akusto.

Kuva X: Esimerkki 18650 tyyppisestä litium-ioni akusta.

Autoon asennettava akusto sisältää sarjaan- ja rinnan kytkettyjä akkukennoja ja akkumoduleja. Akkukennojen ja akkumodulien kytkennöillä toteutetaan haluttu jännite, virta ja teho auton akustoon.

Kuva X: Teslan sähköauton akkumoduli.

Teslan Model S automalli käyttää akustoissaan 18650 tyyppisiä litium-ioni akkuja, joita on auton akkumoduleissa yhteensä 7104 kappaletta. Auton akusto koostuu 16 kappaleesta akkumoduuleja, joissa kussakin moduulissa on 444 kappaletta 18650-tyyppistä akkua rinnan- ja sarjaan kytkettyinä. Uusissa automalleissa on ilmeisesti tarkoitus käyttää isompaa akkukokoa 7120, mutta valmistusprosessi on samantyyppinen kuin pienemmässä 18650 akkutyypissä. Yhden akkukennon (7120) energiaksi oletetaan noin 20 Wh ja massaksi noin 70 g. (YVA).



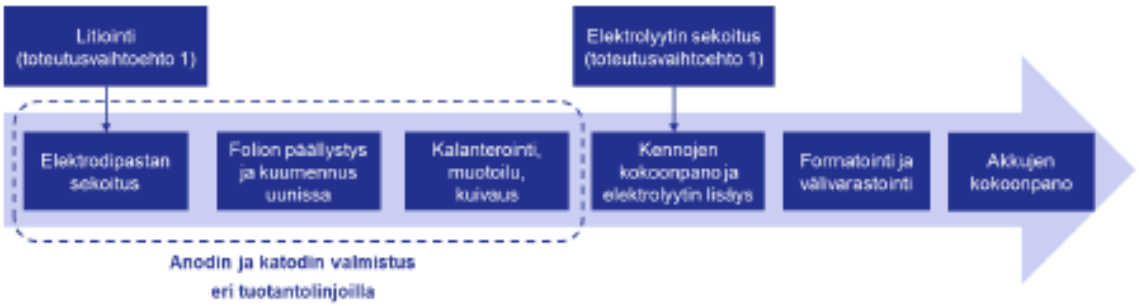
Kuva X: Sähköauton akuston rakenne.

Lähde: https://www.bloomberg.com/graphics/2017-lithium-battery-future/?cmpid=socialflow-twitter-business&utm_content=business&utm_campaign=socialflow-organic&utm_source=twitter&utm_medium=social

Sähköauton koko akusto sijoitetaan lopulta auton rungon pohjarakenteisiin.

Akun valmistusprosessi

Tesla Model S:n ja X:n akuissa käytetään litium-nikkeli-koboltti-alumiinioksidi (NCA-Gr) rakennetta. Alla NCA-akun valmistusprosessien eri vaiheita.



Kuva X: YVA-ohjelmassa oletettu akkujen valmistusprosessi. Lähde: YVA-selvitys http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BF61F8006-F253-4BA1-9ADA-635ECF041A28%7D/134093

Akkumodulin valmistus raaka-aineista sisältää monia tuotantovaiheita, kuten yllä olevasta kuvasta näkyy.

Litioinnissa nikkeli-koboltti-alumiini-hydroksidi ($NiCoAl(OH)_2$) sekoitetaan litiumhydroksidin (LiOH) kanssa ja seosta kuumennetaan uunissa noin 700–800°C:ssa. Lopuksi tuote murskataan tai jauhetaan pulveriksi.

Elektrodien eli katodin ja anodin valmistuksen vaiheet ovat elektrodipastan valmistus, pastan levittäminen folion päälle, pastalla päällystetyn folion kuumentaminen uunissa, elektrodin kalanterointi ja lopuksi elektrodin muotoonleikkaus. Katodin ja anodin valmistus tapahtuu toisistaan erillisissä tiloissa. Elektrodipasta valmistetaan sekoittamalla raaka-aineet liuottimen kanssa tahnamaiseksi seokseksi. Pasta levitetään koneellisesti alumiini- tai kuparifolion päälle molemmin puolin. Päällystetty folio kuumennetaan useita kymmeniä metrejä pitkässä uunissa, missä liuotin (n-metyylipyrrolidoni (NMP) tai vesi) haihdutetaan pois pastasta. NMP:n haihtuessa pastasta uunissa muodostuu NMP-höyryä, joka on haihtuva orgaaninen yhdiste (Volatile Organic Compound, VOC). Syntynyt NMP-höyry todennäköisesti kerätään talteen ja tislataan, jolloin liuotin voidaan kierrättää takaisin katodipastan valmistusprosessiin. Tähän tarvitaan erillinen tislauslaitteisto. Liuottimen hallitulle keräämiselle ja käsittelylle on kuitenkin myös muita vaihtoehtoja.

Uunista tullut elektrodi kalanteroidaan eli puristetaan teloilla. Lopuksi elektrodi leikataan oikeaan muotoon koneellisesti. Pasta levitetään folion päälle siten, että folioon jää ohuet, päällystämättömät reunat tai vaihtoehtoisesti päällystämättömiä raitoja keskelle foliota. Nämä reunat leikataan pois lukuun ottamatta pieniä ulokkeita, jotka jätetään kennojen kontaktipinnoiksi, jotka kytketään kiinni akun napoihin.
Kalanteroidut ja muotoon leikatut elektrodit kuivataan erillisissä uuneissa rullille kerättynä. Uunit ovat erilliset katodille ja anodille. Kuivauksella poistetaan huoneilmasta materiaaleihin tullut kosteus. Elektrodit ovat uunissa noin 1,5 vuorokautta kaiken kosteuden haihduttamiseksi. Uunista elektrodit siirretään erikoiskuivaan kennojen kokoonpanotilaan.

Seuraavana vaiheena on elektrolyytin sekoitus, jossa vapautuu lämpöenergiaa. Koska suola hajoaisi liian korkeissa lämpötiloissa, systeemiä pitää jäähdyttää esimerkiksi jäähdytysvesikierrolla.

Kennot kootaan kuivatilassa, jonka ilmankosteus on hyvin alhainen (arviolta alle 0,5 %). Valmiit kennot ovat pieniä ja niiden sisällä on anodi, katodi, separaattori (muovieriste), kontaktipinnat ja kennojen toimintaan liittyviä mekaanisia turvallisuuskomponentteja. Kennot kootaan kiertämällä koneellisesti katodia (1 pitkä liuska), anodia (1 pitkä liuska) ja separaattoria (2 pitkää liuskaa) tiiviiksi kääröksi siten, että separaattoria on anodin ja katodin väleissä. Käärö asetetaan teräshylsyyn, joka täytetään elektrolyytillä. Paljasta foliota olevat ulokkeet eli kontaktipinnat kiinnitetään kennon päätyihin sisäpuolelle esimerkiksi hitsaamalla. Kennoihin lisätään mekaanisia turvallisuuskomponentteja ja hylsy suljetaan tiiviillä kannella.

Valmiit kennot formatoidaan eli ladataan ja puretaan noin 1-3 kertaa. Formatointi tehdään ensisijaisesti siksi, että anodimateriaali (grafiitti) tarvitsee pinnalleen suojaavan passiivikerroksen, joka syntyy ensilatauksessa. Samalla kennojen varauskyky tarkastetaan mittaamalla kennojen varaus kahden viikon välivarastoinnin jälkeen.

Valmiista kennoista kootaan aluksi moduuleja (useampia kennoja kiinnitettynä yhteen) ja moduuleista edelleen valmiita akkuja. Kennot kytketään yhteen esimerkiksi hitsaamalla ja akkukoteloon asennetaan tarvittavat liittimet. Valmiissa akussa voi olla yhteensä noin 6000–8000 kennoa – kennojen määrä voi kuitenkin olla myös enemmän tai vähemmän kuin tämä, riippuen akun koosta ja käyttötarkoituksesta. Myös moduulin koko ja moduulien lukumäärä akussa voivat vaihdella. Moduulit asennetaan akkukoteloon.

Edellä kuvatussa valmistusprosessissa on paljon sähköä kuluttavia toimenpiteitä, kuten satojen asteiden uunituksia. Niistä on mahdollista saada hyvin lämmintä jäähdytysvettä ylijäämälämpönä. Tätä vettä on mahdollista hyödyntää esimerkiksi kaukolämpönä tai jopa paikallisessa sähköntuotannossa.

Uusiutuvat energialähteet

Uusiutuviksi energiamuodoiksi katsotaan energialähteet, jotka ovat inhimillisestä näkökulmasta katsoen loputtomia tai uusiutuvia. Motivan määritelmän mukaan uusiutuvaa energiaa ovat aurinko-, tuuli-, vesi- ja bioenergia, maalämpö sekä aalloista ja vuoroveden liikkeistä saatava energia. Bioenergiaa ovat puolestaan puuperäiset polttoaineet, peltobiomassat, biokaasu ja kierrätyspolttoaineiden biohajoava osa.

Ilmastopaneeli on määritellyt hiilineutraalisuuden tilaksi, jossa ihmistoiminnan aiheuttamien kasvihuonekaasupäästöjen nettopäästöt hiilidioksidiekvivalentteina ovat nolla määrätyllä ajanjaksolla. Kansainvälisen standardisointijärjestön ISO:n hiilijalanjälkeä koskeva standardiluonnos (ISO 14067) ottaa huomioon myös muut kasvihuonekaasupäästöt kuin hiilidioksidipäästöt.

Edellä esitetyn määritelmän mukaan hiilineutraaliksi energiaksi hyväksytään myös ydinvoima, jota ei kuitenkaan luokitella uusiutuvaksi energiaksi. Ydinvoima on kuitenkin CO_2-vapaata perusvoimatuotantoa, joka päästöttömyydellään tukee ilmastonmuutoksen hillintää. Ydinvoimalla tuotetaan Suomessa sähköä noin 22,3 TWh eli 33,7 % vuoden 2016 kokonaissähköntuotannosta.

Teollisuus on tiukentuneiden päästö- ja energiankulutukseen liittyvien lakien ja säännösten sekä taloudellisten että imagollisista syiden vuoksi pyrkinyt kehittämään prosessejaan entistä energiatehokkaammiksi ja vähäpäästöisemmiksi. Yritysten ympäristöimago on noussut asiakkaiden keskuudessa entistä merkittävämpään rooliin.

Suomessa suoraan sähköntuotantoon soveltuvia päästöttömiä ja uusiutuvia energialähteitä ovat aurinko, tuuli ja vesi. Sähköä voidaan markkinoida uusiutuvalla energialla tuotettuna sähkönä vain, jos sille on myönnetty alkuperätakuu. Suomessa alkuperätakuut myöntää kantaverkkoyhtiö Fingrid Oyj. Lämmöntuotannossa päästöttömiä ja uusiutuvia energia-lähteitä ovat aurinkolämpö, maalämpö ja geotermisen energia.

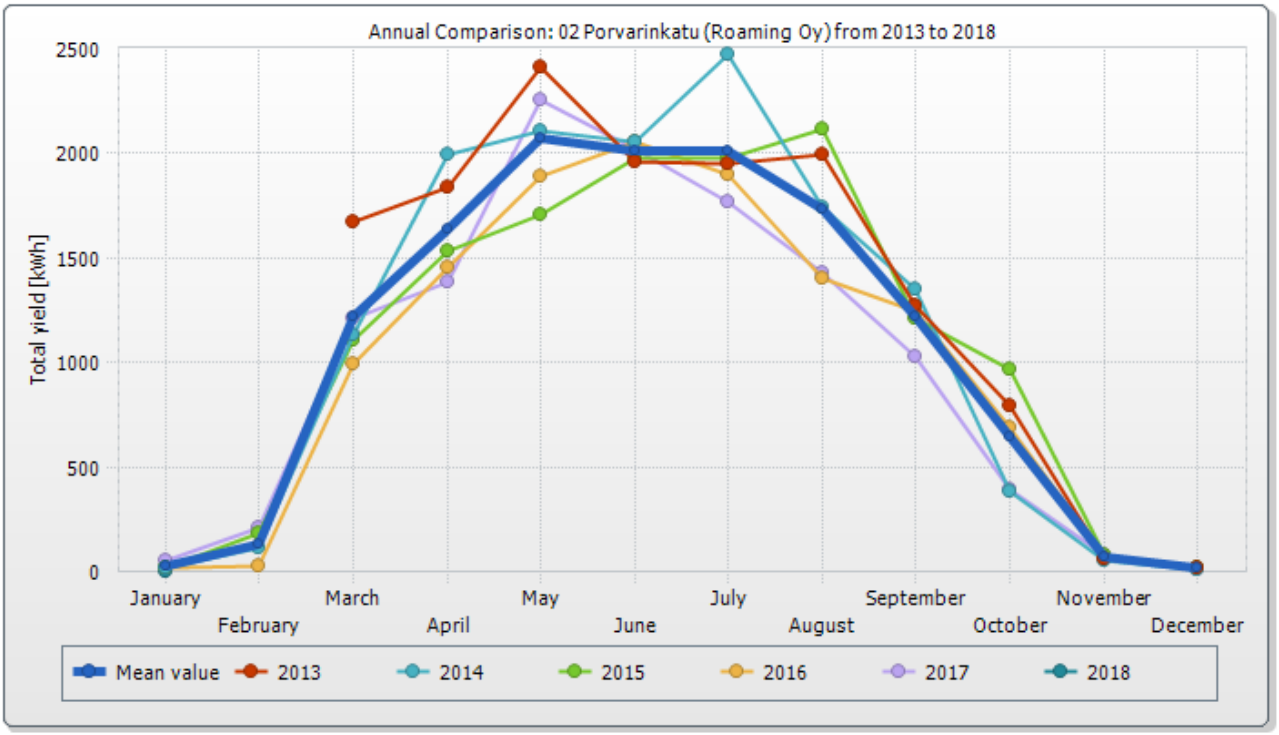
Aurinko

Auringon säteilyn intensiteetti Maan kiertoradan etäisyydellä Auringosta on noin 1,4 kW/m², kun se mitataan suorassa kulmassa suhteessa aurinkoon. Maan pinnalle kohdistuva kokonaisteho on noin 170 000 TW, mutta käytännössä siitä ei voida hyödyntää suoraan kuin pieni osa. Auringonsäteilystä heijastuu suoraan takaisin suunnilleen 30 prosenttia. Auringon energiaa kuluu runsaasti mm. kasvien yhteyttämiseen ja kasvuun sekä tuulen ja veden kiertokulkuun.

Liitteessä 3 on esitetty Suomeen vuosittain tulevan auringon säteilymäärän jakautumista eri alueille [kWh/m^2].

Auringosta saatava energia kuuluu uusiutuviin ja päästöttömiin energiatuotantomuotoihin. Auringon energiaa hyödynnetään valaistukseen, lämmön- ja sähköntuotantoon. Suoraksi aurinkoenergiaksi kutsutaan energiantuotantomuotoja, joissa auringonsäteily sidotaan suoraan sähköksi aurinkokennoissa tai lämmöksi aurinkolämpökeräimissä. Epäsuoria aurinkoenergia muotoja ovat muiden muassa vesi-, tuuli- ja aaltovoima sekä bioenergia.

Paikkakunnalle tulevan auringonsäteilyn määrään vaikuttaa merkittävästi maantieteellinen sijainti eli leveysaste ja vuodenaika. Kuvassa X on esimerkki usealta vuodelta Vaasaan tulevan auringon säteilyn määrän jakautumisesta vuoden eri aikoina. Vaasan leveysasteelle tulevan auringonsäteilyn määrä on esitetty liitteessä 3, jonka on tuottanut Euroopan unionin yhteisen tutkimuskeskuksen (EU JRC).



Kuva X: Vaasan Porvarinkadun kuukausittainen aurinkojärjestelmän (15.600 kWp) tuotto vuosilta 2013 – 2017.
Lähde: https://www.sunnyportal.com/Templates/PublicPageOverview.aspx?page=a9a02a14-8734-439a-b1bd-0c18187e2027&plant=8a64ca38-5469-4095-9f5c-8879b121bf6f&splang=en-US

Aurinkosähköstä on tehty Merinovalla selvitys ”Aurinkodemo”-hankkeessa, jossa aurinkosähköön liittyviä asioita on käsitelty monipuolisesti. Hankkeen loppuraportti löytyy Merinovan www-sivulta. Selvitykseen liittyy myös Excelillä toteutetut laskentapohjat, joilla voi tarkastella eri tehoisten ja hintaisten aurinkosähköjärjestelmien tuottaman sähkön hintaa ja takaisinmaksuaikoja.

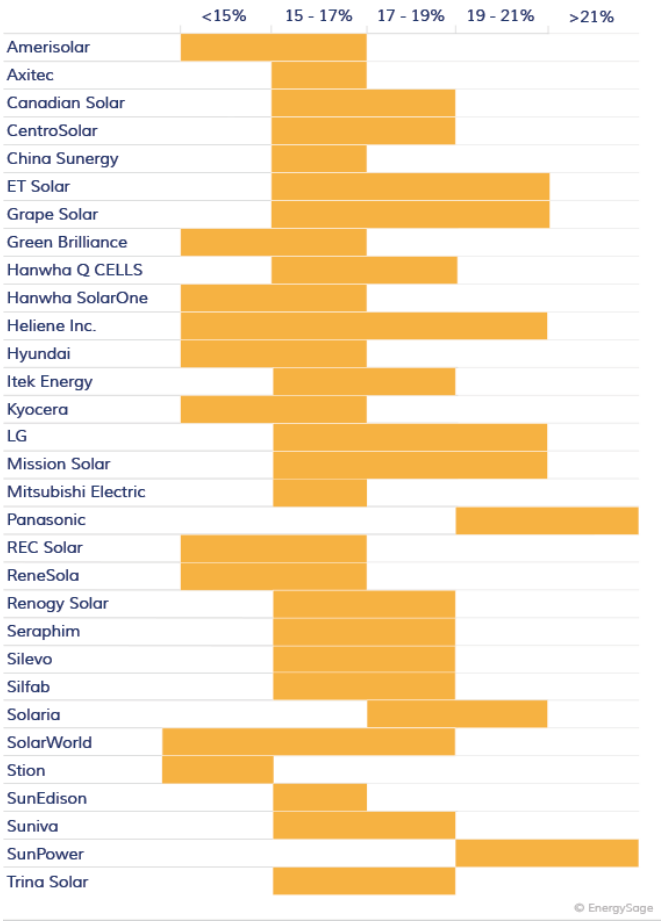
Aurinkosähkö

Aurinkosähkön tuotanto on lisääntynyt Suomessa ja muualla maailmassa voimakkaasti viime vuosina. Auringolla tuotetun sähkön tuotantohinta on laskenut ja tuotantojärjestelmien takaisinmaksuajat lyhentyneet. Tähän on johtanut osaltaan teknologian kehitys, ympäristötietoisuuden lisääntyminen ja valtioiden tuet ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi. Suomessa oli aurinkosähkövoimaloita noin 50 MW nimellisteholla vuoden 2017 lopulla. Vuoden 2016 lopulla nimellistehoa oli 27 MW ja vuonna 2015 7,9 MW. Nämä ovat käytännössä kaikki alle 1 MW:n nimellistehoisia yksiköitä, Aurinkosähkön tuotantomäärät ovat edelleen voimakkaassa kasvussa. Lähiaikoina on valmistumassa teollisen mittakaavan aurinkosähkövoimaloita, jotka kasvattavat tuotetun sähkön nimellistehon määrää huomattavasti. Aurinkoenergialla tuotetulla sähkömäärällä ei kuitenkaan vielä ole merkittävää roolia Suomen kokonaissähköntuotantokapasiteetin ollessa noin 16 000 MW. https://www.energiavirasto.fi/-/sahkoverkkoon-kytketty-aurinkosahkokapasiteetti-yli-kolminkertaistui-vuodessa

Auringolla tuotetun sähkön hinta ja tuotantojärjestelmän takaisinmaksuaika on laskenut merkittävästi viime vuosina. Aurinkojärjestelmien hinnan ennustetaan jatkavan laskuaan myös tulevina vuosina. Monissa maissa, joissa sähkön hinta ja auringon säteilyintensiteetti ovat korkeita, aurinkosähkön hinta on saavuttanut jo ns. ”grid parity”:n eli aurinkosähkön hinta on sama tai alempi kuin perinteisillä tavoilla tuotettu sähkö. Aalto-yliopiston Finsolar-tutkimuksen mukaan aurinkosähkön yksinkertaistettu LCOE (levelized cost of energy) -tuotantohinta on Suomessa parhaassa tapauksessa noin 4 snt/kWh. Edellytyksenä tälle on, että toteuttajana on yritys ja voimala on suuritehoinen, helposti kattoasennettavissa ja pystytään hyödyntämään valtion tuet. LCOE muodostuu alkuinvestoinnista sekä käyttöiän aikaisesta aurinkosähkön tuotosta ja ylläpitokuluista.

Suomessa teollisuuden maksama hinta sähköstä on halvimmasta päästä Euroopassa. Tämä on osaltaan hidastanut investointihalukkuutta aurinkosähköjärjestelmiin. Investoijat ovat kokeneet isojen aurinkosähköjärjestelmien takaisinmaksuajat vielä kohtuuttoman pitkiksi. Sähkön hinnan ja siirtomaksujen nousu sekä verotukselliset lisämaksut sähköverkosta ostettavasta sähköstä saattavat kuitenkin muuttaa tilannetta tulevina vuosina.

Markkinoilla olevien aurinkokennojen hyötysuhde vaihtelee teknologiasta ja laadusta riippuen alle 15 %:sta yli 21 %:iin. Aurinkosähköpaneelien hyötysuhteita kehitetään intensiivisesti maailmanlaajuisesti ja ne ovat kehittyneet parempaan suuntaan jatkuvasti.



Kuva X: Markkinoilla olevien aurinkopaneelien hyötysuhteita eri valmistajilla.
Lähde: http://news.energysage.com/what-are-the-most-efficient-solar-panels-on-the-market/

Liitteessä 7 on numeerisesti kerrottu eri valmistajien tällä hetkellä markkinoilla olevien aurinkopaneelien pienimmät-, suurimmat ja keskimääräiset hyötysuhteet. Aurinkopaneelien hyötysuhteiden parantamista tutkitaan jatkuvasti ja ne kehittyvät hieman joka vuosi uusien valmistusteknisten ratkaisujen ja materiaali-innovaatioiden avulla.
Liitteessä 1 on kuvattu tällä hetkellä eri teknologioilla toteutettujen vasta laboratorioasteella olevien parhaiden aurinkopaneelien hyötysuhteiden kehittymistä vuodesta 1975 nykyhetkeen. Parhaimmat paneelien erikoisteknologiat pääsevät jo lähes 50 %:n hyötysuhteeseen, mutta ne eivät ole vielä hintansa puolesta kilpailukykyisiä massamarkkinoilla.

Aurinkovoimaloita on toistaiseksi rakennettu lähinnä rakennusten katoille, koska sieltä löytyy vapaata pinta-alaa ja vältytään helpommin esimerkiksi puiden varjostuksilta. Aurinkopaneelistoon osuvat varjot heikentävät tehokkaasti siitä saatavaa sähkömäärää. Kattopinta-alat ovat tietenkin rajallisia ja estävät isotehoisten aurinkovoimalaitosten toteuttamisen. Isoja teollisen mittakaavan laitoksia on alettu toteuttamaan Suomessakin jo maan pinnalle. Maa-asennuksissa käytettävissä oleva pinta-ala ei ole rajoittamassa toteutettavan laitoksen kokoa samalla tavoin kuin katoille asennettavissa laitoksissa.

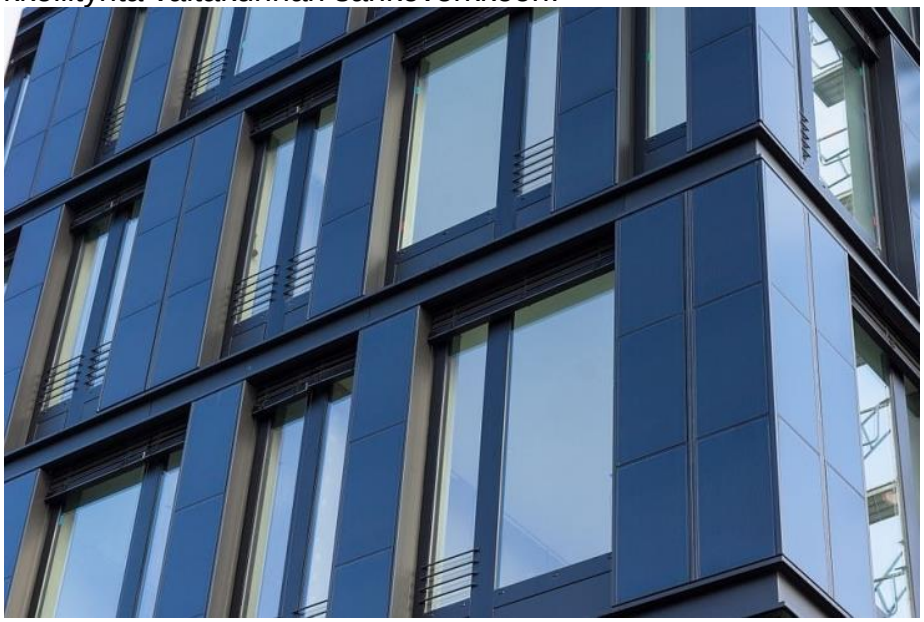
Vaasan leveysasteella aurinkovoimalan sähkön tuotto paneelin huipputehoa (W_p) kohden markkinoilla olevilla piipohjaisilla aurinkopaneeleilla on vuositasolla keskimäärin 850 kWh/kW_p. Tämä arvo saavutetaan keskimäärin, kun paneeli on asennettuna kiinteään noin

45 asteen optimikulmaan varjostamattomasti etelän suuntaan. Aurinkosähkövoimalan tarvitsema paneelipinta-ala tuotettua huippukilowattia (kW_p) kohden on hyötysuhteesta riippuen noin 6 m^2/kW_p. Hehtaarin (100m*100m) paneelipinta-alalta saadaan tällöin vuositasolla sähköenergiaa Vaasan korkeudella keskimäärin vuodessa noin (850 kWh/kW_p*10000 m^2/(6 m^2/kWp)) 1416 667 kWh eli noin 1417 MWh. Suuren tehtaan tarvitsema vuosittainen sähköenergian tarve 2.628.000 MWh tarvitsisi aurinkovoimalan paneelipinta-alaa Vaasan seudulla noin 1900 hehtaaria.

Jos haluttaisiin tuottaa ison tehtaan katolla aurinkosähköä ja oletetaan kattopinta-alan olevan Teslan Nevadan tehtaan luokkaa eli 46,5 hehtaaria, saataisiin aurinkosähköä Vaasan seudulla tuotettua tuolla pinta-alalla vuodessa 850 kWh/kW_p*46500 m^2/(6 m^2/kW_p) = 6 587 500 kWh eli 6 587,5 MWh. Tehtaan vuotuinen sähköenergian tarve on 2.628.000 MWh, jolloin omalla katolla tuotettu sähkömäärä edustaisi noin 0,25 %:n osuutta vuotuisesta tehtaan sähköntarpeesta. Oma aurinkosähkön tuotanto voi sinänsä olla osana täyttämässä tehtaan sähkön tarvetta, mutta kokonaistarvetta täytyy selvästi täydentää muilla tuotantoratkaisuilla.

Aurinkopaneeleiden tuottolaskelmissa joudutaan käyttämään laskentaperusteena vuosittaista tuottoa, sillä aurinkosähkön tuotossa on merkittäviä vaihteluja eri vuodenaikoina ja päivinä. Vuosittain marraskuu - helmikuu välisenä neljän kuukauden aikajaksona aurinkosähköä saadaan vain noin 10 % vuotuisesta aurinkojärjestelmän sähköntuotantomäärästä. Paneelipinta-ala ei ole suorassa suhteessa aurinkovoimalan todelliseen pinta-alatarpeeseen, sillä paneelien kallistuskulma pienentää hieman pinta-alaa, mutta toisaalta kulkuväylät, paneelien keskinäisten varjostusten minimoiminen ja muut rakenteet aurinkovoimalassa sekä toteutuspaikassa vastaavasti kasvattavat tarvittavaa pinta-alaa.

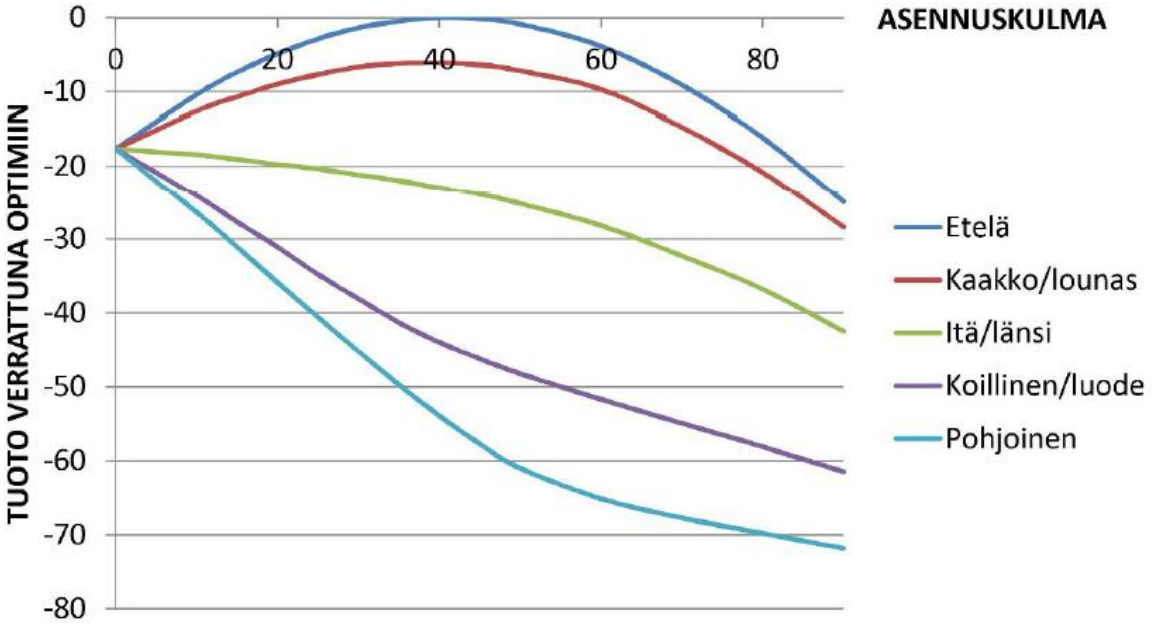
Aurinkovoimalasta saatavaan sähkön hetkelliseen ja vuosittaiseen tuottoon vaikuttaa moni säästä, vuodenajoista, asennuspaikasta sekä asennustavasta riippuvat tekijät. Aurinkosähkön tuoton voimakkaat vaihtelut vaativat tehtaan energiatarpeen tyydyttämiseksi myös muita sähkön toimitustapoja, joilla voidaan kompensoida aurinkosähkön hetkellisiä tai pidempiaikaisia tuotantovaihteluja. Varmin tapa varmistaa riittävä ja jatkuva sähköenergian saanti on verkkoliityntä valtakunnan sähköverkkoon.



Kuva X: CIGS-ohutkalvoaurinkopaneeleilla toteutettu julkisivu Center for Solar Energy and Hydrogen Research Baden-Württemberg (ZSW) rakennuksessa Stuttgartissa.

Aurinkopaneelien sijoittelussa on lisääntyvässä määrin alettu hyödyntää myös seinärakenteita lisäkapasiteetin saamiseksi sähköntuotantoon. Vaasan Sähkön rakennuksessa on hyödynnetty seiniä aurinkosähkön tuotannossa. Tämä ratkaisu on ollut myös taloudellisesti kannattava, sillä aurinkopaneeleilla toteutettu seinäratkaisu tuli jo rakennusvaiheessa edullisemmaksi kuin ilman paneeleja toteutettu seinäpinta, joten tuotettu sähkö on tällaisessa tapauksessa ”ilmaista”.

Seinäasennuksissa ei pystytä hyödyntämään optimaalisia ilmansuuntia ja kallistuskulmia samalla tavalla kuin esimerkiksi kattoasennuksissa tai muissa vaakatasolle toteutetuissa asennuksissa vaan väistämättä pitää hyväksyä erilainen sähkön tuottomäärä ja -profiili. Itään suuntautuvissa seinissä saadaan aamupäivälle paras sähköntuotto, kun taas iltapäivällä ne ovat varjossa ja tuotto minimaalista. Vastaavasti länsisuuntautunut asennus tuottaa iltapäivästä sähköä. Seinäasennuksissa voidaan käyttää myös taipuisia ohutkalvokennoja, joita voidaan asentaa suoraan myös kaareville pinnoille.

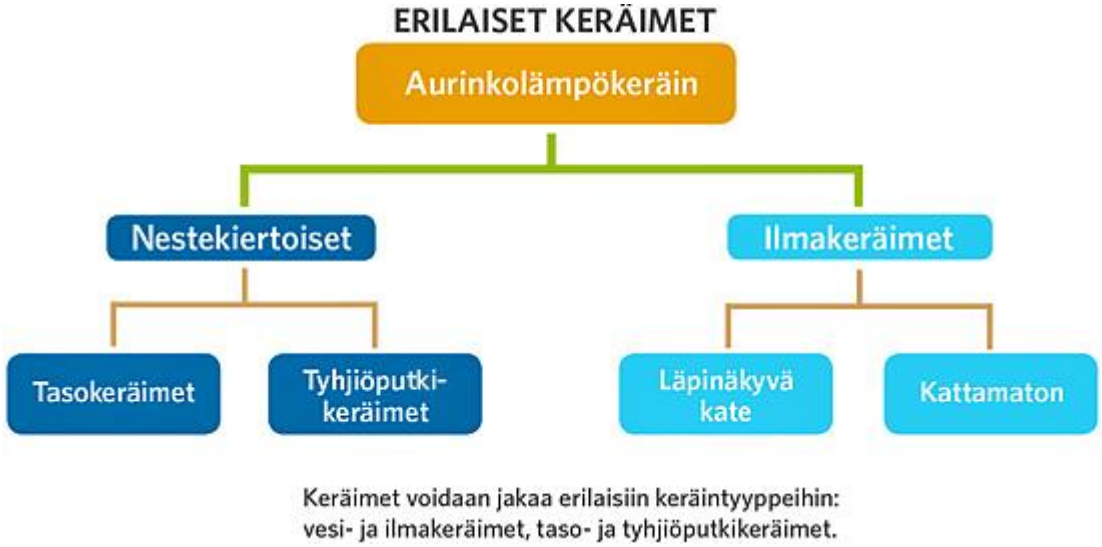


Kuva X: Aurinkopaneelin asennuskulman ja suunnan vaikutus optimituottoon Helsingissä.
Lähde: Asko Rasinkoski, Soleras, Aurinkosähkö rakennuksissa – kannattavuus ennen ja nyt, Finnbuild/ATY 2014
http://aurinkoteknillinenyhdistys.fi/liite/ATY5_2014.pdf

Aurinkosähkön tuotantohinta on halventunut teknologian kehityksen ja tuotantomäärien kasvaessa. Isoissa aurinkosähkölaitoksissa investointikustannukset ovat tällä hetkellä Suomessa noin euro/watti. Laitoksen hintaan vaikuttaa ostajan status, onko hän yksityishenkilö, maatalousyrittäjä vai yritys. Yksityishenkilö ei voi vähentää ostoistaan maksamaansa 24% arvonlisäveroa, mutta voi hyödyntää kotitalousvähennystä ostetun työn osasta. Yritysten on mahdollista saada erilaisia uusiutuvan energian tukirahoituksia ja voivat myös vähentää hankinnan arvonlisäveron. Tuki voi olla tapauksesta riippuen 25% - 40% hyväksytystä hankintahinnasta. Tuen rahoitusehtoihin kannattaa tutustua etukäteen työ- ja elinkeinoministeriön sivuilta, sillä ne ovat nykyisin monimutkaiset ja voivat sisältää joissain tapauksissa poissulkevia rajauksia.

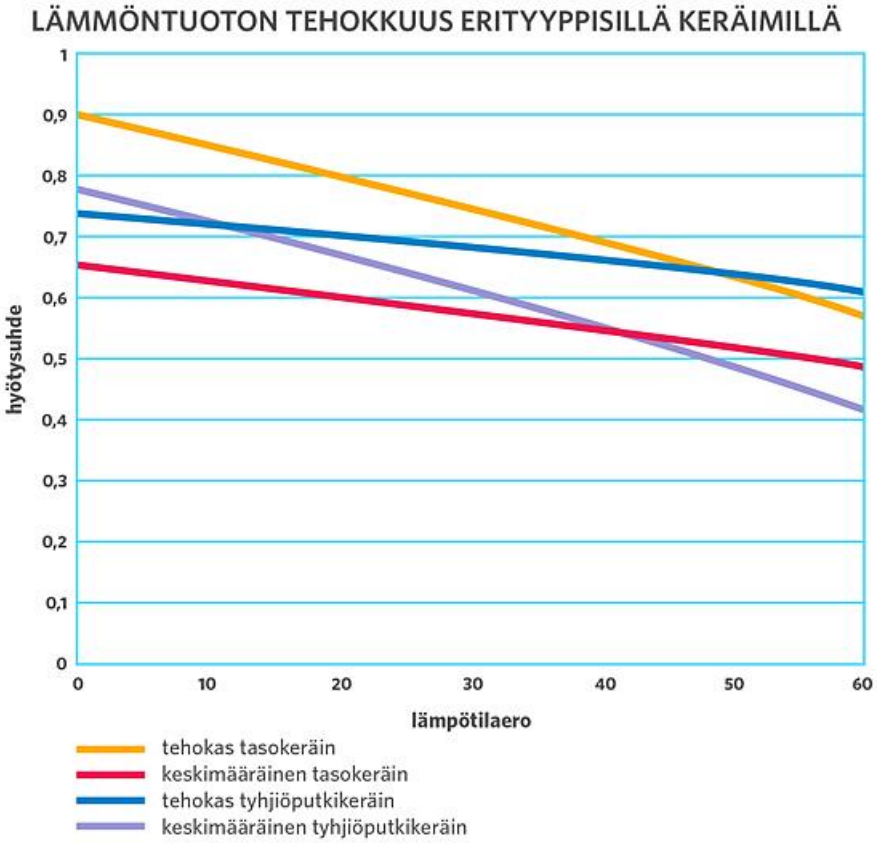
Aurinkolämpö

Aurinkoenergiaa voidaan hyödyntää lämmityksessä sekä passiivisesti että aktiivisesti. Passiivisesti auringosta saatavaa valoa ja lämpöä voi hyödyntää suoraan ilman erillisiä laitteita. Aktiivisessa hyödyntämisessä auringonsäteilyä voidaan muuntaa aurinkokeräimillä lämpöenergiaksi. Aurinkolämpökeräimillä lämpö siirretään välinesteellä tai ilmalla käyttökohteeseen tai lämpöenergiavarastoon. Lämpöenergiavarastona toimii tyypillisesti tilava vesisäiliö. Aurinkolämpö päästöttömänä ja ympäristömyötäisenä lämmöntuotantotapana vähentää päästöllisten lämmitysratkaisujen käyttöä. Aurinkolämpö voi täydentää tehtaiden ja rakennusten lämmitysratkaisuja, mutta sääriippuvuus rajoitta aurinkolämmön käyttöä ainoana lämmöntuotantotapana.



Kuva X: Aurinkokeräintyyppejä ovat vesi- ja ilmakeräimet, taso- ja tyhjiöputkikeräimet.
Lähde: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat

Tyhjiöputkikeräimillä saavutetaan n. 60 % hyötysuhde, joka on 20 – 30 % parempi kuin tasokeräimillä. Aurinkokeräinjärjestelmä voi olla myös rakenteeltaan keskittävä. Keskittävissä keräimissä käytetään parabolisia peilejä tai heijastimia suuntaamaan auringonsäteily yhteen fokusointipisteeseen tai -suoraan.



Kuva X. Hyötysuhde erityyppisillä aurinkolämpökeräimillä erilaisissa lämpötilaolosuhteissa. Lämpötilaero on ero keräinnesteen keskilämpötilan ja ulkolämpötilan välillä.

Lähde Savosolar

Laadukkaiden aurinkolämpöjärjestelmien vuosituotanto vaihtelee Suomessa keskimäärin välillä 0,4 – 0,5 MWh/keräin-m^2. Aurinkolämpöjärjestelmän vuosituotto riippuu muun muassa keräintyypistä, asennettujen lämpökeräinten sijainnista ja suunnasta.
http://www.finsolar.net/aurinkoenergian-hankintaohjeita/aurinkolampojarjestelmien-hintatasot-ja-kannattavuus-suomessa/

Nykytekniikalla aurinkolämmöllä saadaan vuositasolla kerättyä energiaa tehokkaammin kuin aurinkosähköllä. Vaasan korkeudella aurinkosähköä saadaan hehtaarin paneelipinta-alalla vuodessa laskelmien mukaan noin 1417 MWh/ha eli (1417 MWh/10000 m^2) noin 0,14 MWh/paneeli-m^2. Aurinkolämpökeräimet pystyvät keräämään energiaa noin kolme kertaa tehokkaammin kuin aurinkosähköjärjestelmät.
Aurinkolämpökeräinten etuna on, että ne pystyvät vastaanottamaan hajasäteilyä ja keräävät lämpöä myös pilvisellä säällä. Pilvet ja varjostukset pienentävät aurinkosähkön tuotantoa voimakkaasti. Tilastokeskuksen mukaan Suomessa oli vuonna 2014 aurinko-lämpökeräimiä yhteensä 45 000 m^2, jotka tuottivat vuodessa 57 TJ energiaa.

Tuuli

Tuulivoima on eräs aurinkoenergian muoto ja siten myös päästötöntä hiilidioksidivapaata ja uusiutuvaa energiaa. Noin kahdesta kolmeen prosenttia auringosta tulevasta energiasta

muuttuu liike-energiaksi eli tuuleksi. Tämä on noin 40 kertainen energiamäärä verrattuna maailman tämänhetkiseen energiankulutukseen.

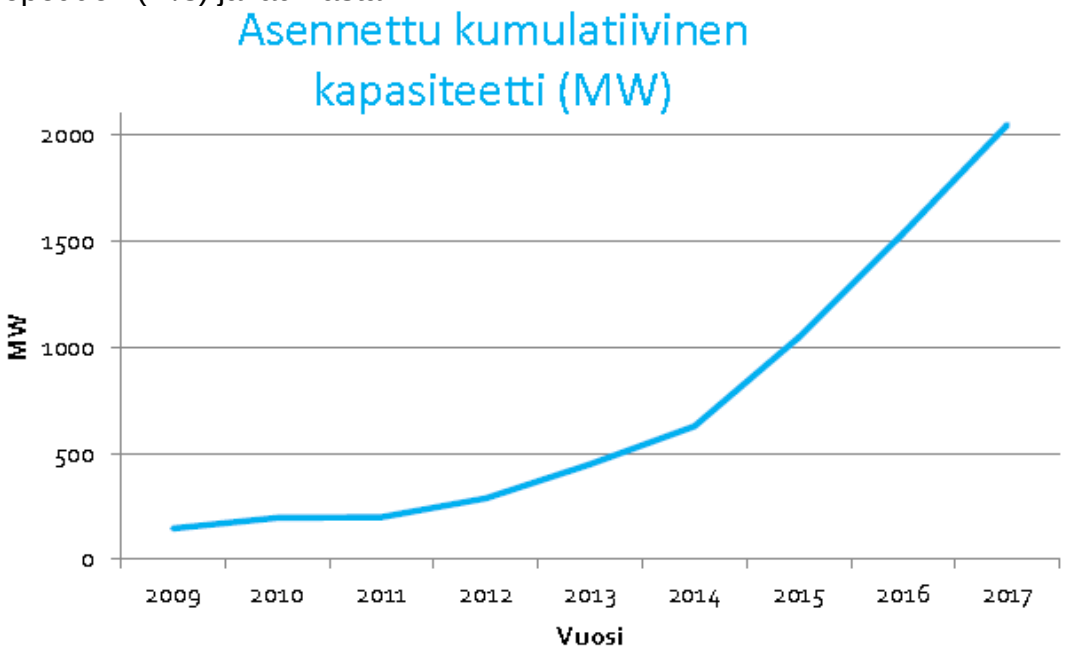
Tuulen liike-energia voidaan muuntaa pyörimisliikkeeksi ja edelleen sähköksi sähkögeneraattorilla. Tuulivoimatuotannossa ei synny suoria päästöjä ilmaan veteen tai maahan. Suomessa tuulee talvella eniten, jolloin talvi on myös tuulivoimatuotannon kannalta otollisinta aikaa.

Vuoden 2017 lopussa Suomen asennettu tuulivoimakapasiteetti oli Tuulivoimayhdistyksen mukaan 2044 MW ja toiminnassa oli 700 tuulivoimalaa (1553 MW ja 552 tuulivoimalaa, vuonna 2016). Tuulivoimalla tuotettiin vuoden 2017 aikana sähköä 4,8 TWh (3,1 TWh, vuonna 2016) ja koko Suomen sähkönkulutuksesta se kattoi 5,6 prosenttia (3,6 %, 2016) ja sähköntuotannosta 7,4 prosenttia. Kapasiteetti on tuplaantunut nopeasti, sillä Suomen tuulivoimakapasiteetti ylitti 1000 megawatin rajan vasta kaksi vuotta sitten.

Lähde: http://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoima-suomessa-ja-maailmalla/tuulivoima-suomessa

Suomen hallituksen nykyisen ilmasto- ja energiastrategian mukainen tuulivoimatuotannon vuosittainen tavoite on 6 TWh vuoteen 2020 mennessä.
Lähde: https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/energiantuotanto/sahkontuotanto/tuulivoima

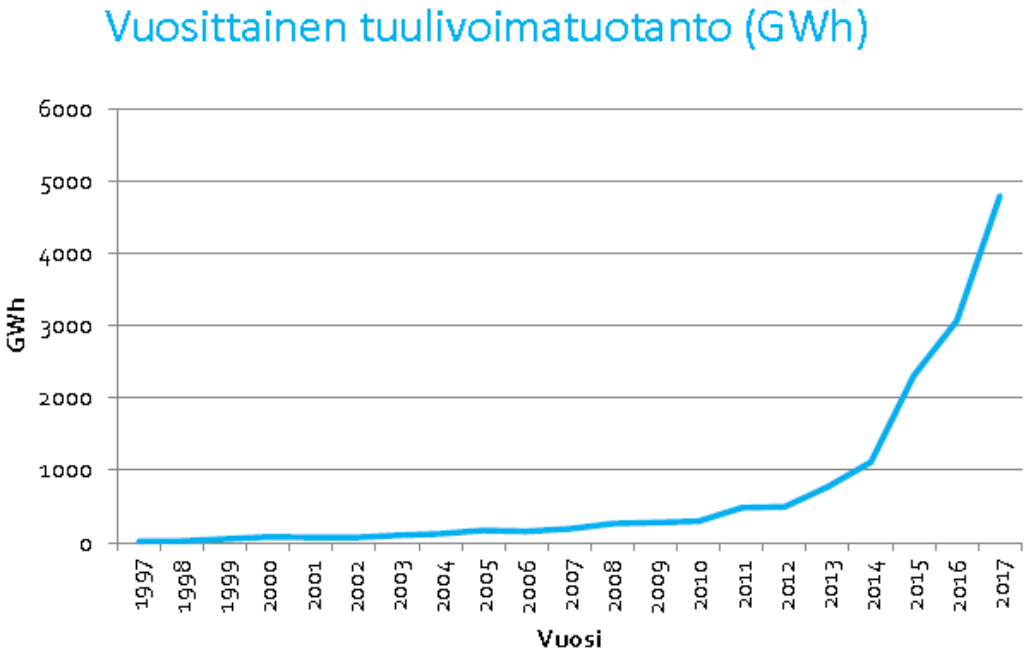
Liitteessä 5 on esitetty valtakunnallinen vuoden tuulten aritmeettinen keskinopeuskartta 100 metrin korkeudelta. Nykyisten tuuliturbiinien napakorkeus on yli 100 metriä. Liitteessä 6 on esitetty Suomessa toimivan 3 MW:n tuulivoimalan energiantuotannon (MWh) määrä vuodessa. Tuotantomäärät on laskettu säämallilla eri korkeuksille tuotetun tuulen nopeuden (m/s) jakaumasta.



Kuva X: Tuulivoiman asennettu kumulatiivinen kapasiteetti (MW) Suomessa vuosina 2009 – 2017.
Lähde: http://www.tuulivoimayhdistys.fi/filebank/1012-STY_-_Vuosiraportti_2017_23_1_.pdf

Tuulienergialla tuotetun sähkön tuotantomäärät ovat kehittyneet viime vuosina Suomessa ja myös maailmalla nopeasti. Nopeaa tuulivoimakapasiteetin kasvua on vauhditettu Suomessa muun muassa valtion tukipolitiikalla, joka on mahdollistanut taloudellisesti kannattavan tuulienergiatuotannon. Suomessa tuulivoimalla tuotetulle sähkölle maksetaan markkinaehtoista takuuhintaa. Takuuhinta tarkoittaa sitä, että tuulivoimatuottaja saa myy-

mästään sähköstä markkinahinnan päälle tuen, joka on markkinahinnan ja takuuhinnan erotus. Syöttötariffijärjestelmään tuulivoiman osalta pääsi 2 500 megavolttiampeerin (MVA) edestä tuotantokapasiteettia.



Lähde: Energiateollisuus

Kuva X: Suomen vuosittaisen tuulivoimatuotannon (GWh) kehittyminen vuosina 1997 – 2017.

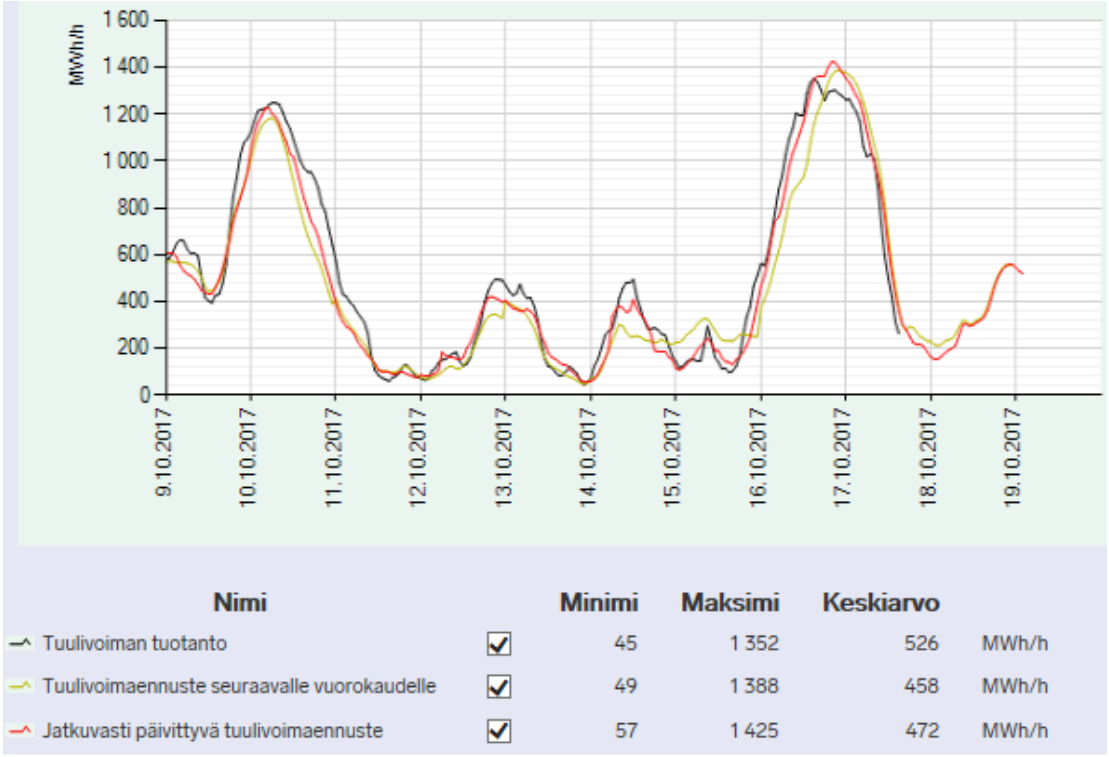
Lähde: http://www.tuulivoimayhdistys.fi/filebank/1012-STY_-_Vuosiraportti_2017_23_1_.pdf

Torkkolan alueelle lähelle Vaasaa on toteutettu vuonna 2015 tuulipuisto, joka koostuu 16 tuuliturbiinista. Jokaisen tuuliturbiinin nimellisteho on 3,3 MW. Alueen kokonaistehoksi on suunniteltu 52,8 MW ja vuosituotoksi 150 000 MWh. Pohjanmaalla ja rannikkoalueelle on rakennettu runsaasti tuulivoimaa. Alue tuulisuutensa vuoksi soveltuu hyvin tuulisähkön tuotantoon.
EPV-konsernilla on lähialueella Torkkolan lisäksi toiminnassa myös muita tuulipuistoja: Santavuoren alue Ilmajoella käsittää 17 voimalaa, kokonaisteholtaan 56,1 MW ja Metsälän alue Kristiinankaupungin keskustan eteläpuolella sisältää 34 voimalaa kokonaisteholtaan 117,3 MW. EPV-konsernilla on päästötöntä tuulivoimaa tuotannossa yhteensä 321 GWh ja suunnittelun alla on useita uusia tuulipuistoja.
https://www.epvtuulivoima.fi/project/torkkolan-tuulivoimapuisto-vaasassa/

Tehtaan 300 MW:n jatkuva tehontarve vaatisi teoriassa noin kuuden Torkkolan tuulipuiston kokoisen tuotantoyksikön suunnitellun tehontuoton, sillä edellytyksellä, että aina tuulisi sähköntuotannon kannalta riittävästi.

Sääriippuvuuden vuoksi tuulituotannon tasaisuutta ei kuitenkaan voida taata jatkuvan tehon kannalta vuoden eri päivinä ja vuorokauden aikoina.

Vuonna 2015 hyväksymispäätöksen syöttötariffijärjestelmään saaneiden tuulivoimaloiden keskimääräinen huipunkäyttöaika oli noin 2895 h/a eli noin 33 % vuodesta. [50] Huipunkäyttöajalla tarkoitetaan sitä laskennallista tuntimäärää, jonka tuulivoimalaitoksen pitäisi toimia täydellä teholla tuottaakseen saman energian, mitä se todellisuudessa vuodessa tuottaa.



Kuva X: Tuulisähkön tuotanto ja ennusteet ajanjaksolla 9.-19.10.2017.

Lähde: http://www.fingrid.fi/fi/sahkomarkkinat/kulutus-ja-tuotanto/Sivut/Tuulivoima2.aspx?beginDate=20171009&endDate=20171019&showChart=1&showTable=0

Tuulella tuotettu sähkö tarvitsee rinnalleen myös muulla tuotantomuodolla tuotettua sähköä esimerkiksi vesivoimaa, jolla voidaan taata vakaa tehon tuotto sääolosuhteista riippumatta. Kuvassa X näkyy konkreettisesti valtakunnallinen tuulivoimalla tuotetun sähkötehon tuotantovaihtelu.

Geoterminen energia ja maalämpö

Geotermistä energiaa ja maalämpöä käytetään Suomessa lähinnä lämpimän veden tuotantoon ja rakennusten lämmitykseen. Geoterminen energia ja maalämpö ovat energian muodostumistavoiltaan erilaista. Molemmat energiamuodot kuuluvat kuitenkin uusiutuviin energiamuotoihin.

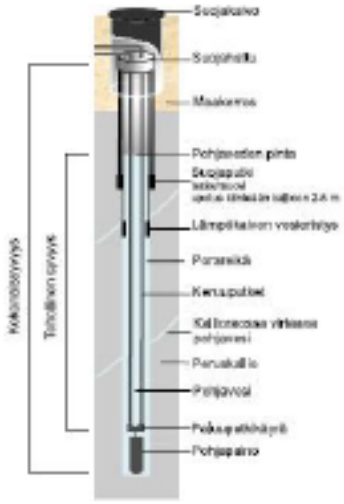
Geoterminen energia on maankuoreen johtuvaa energiaa, joka syntyy maan sisuksissa jatkuvasti tapahtuvien radioaktiivisten isotooppien hajoamisten seurauksena. Tätä lämpöä siirtyy myös maan kuoren ylempiin kerroksiin. Suomen oloissa geotermisen lämmön vaikutus alkaa näkyä maaperässä keskimäärin kymmenestä metristä alaspäin.

Maalämpö on maaperän ja veden massaan varastoitunutta uusiutuvaa energiaa ollen siten lähes kokonaan taustaltaan aurinkoenergiaa. Maalämpö sisältää myös maan sisältä tulevaa geotermistä lämpöenergiaa lisääntyvässä määrin riippuen siitä, mitä syvemmältä lämpöenergia otetaan käyttöön maan sisältä. Vesistöjen lähellä olevat rakennukset voivat

hyödyntää joen, järven tai meren vesimassojen lämpöenergiaa ja niiden sedimentteihin varastoitunutta lämpöä.

Tehtaassa, jossa kulutetaan huomattava määrä sähköä, erillisen lämmönlähteen tarve on usein vähäinen. Sähköenergia muuttuu tavalla taikka toisella tehtaan prosesseissa lämpöenergiaksi. Ympäristömyötäisesti toimiva yritys pyrkii hyödyntämään syntyvän ylijäämälämmön mahdollisimman tehokkaasti esimerkiksi tilojen lämmitykseen.

Maanpinnan keskilämpötila vaihtelee vuosittaisen ilmalämpötilan mukaan, mutta vakiintuu Etelä-Suomessa 14–15 metrin syvyydessä 5–6 °C:seen. Syvemmällä kallioperässä geoterminen energia nostaa lämpötilaa keskimäärin 0,5–1 astetta / 100 m. Näin ollen maan eteläosissa kallioperän lämpötila 300 metrin syvyydessä on noin 6,5–9 °C. [43]



Kuva X: Energiakaivon rakenne (Juvonen et al. 2013).

Energiakaivo voi kerätä energiaa talteen vain siltä osaltaan, jossa keruuputkisto on pohjaveden (tai kaivon muun täyteaineen, kuten bentoniitin) ympäröimä. Pohjaveden liike maa- ja kallioperässä tehostaa lämmön siirtymistä.

Jos lämpöenergiaa halutaan runsaasti, voidaan energiakaivoja tehdä periaatteessa useita halutun kapasiteetin saavuttamiseksi. Energiakaivojen tulee olla kuitenkin toisistaan riittävän etäällä, etteivät ne kuluta toistensa maasta ottamaa lämpöenergian kapasiteettia. Energiakaivojen mitoituksen, sijoittelun ja poraussyvyyden kannalta on hyödyllistä tehdä etukäteen terminen vastetesti (TRT-mittaus) ja erillinen lämpötilan luotaus anturilla. Näillä toimenpiteillä saadaan selville yksittäisen energiakaivon geoenergiapotentiaali, tehollinen lämmönjohtavuus kaivon välittömässä läheisyydessä, kaivon keskimääräinen lämpövastus ja kaivon lämpötila syvyyden funktiona. [48]

Maasta saatavaan lämpöenergiaan vaikuttaa esimerkiksi maaperän ja energiakaivon reiän kallion kiven laatu ja niiden lämmönjohtavuus, veden määrä ja sen virtaukset. Vesi kuljettaa mukanaan lämpöenergiaa.

Liitteessä 7 on esitelty Suomen valtakunnallinen geoenergiapotentiaalia, joka Vaasan alueella näyttäisi olevan luokiteltu vähintäänkin hyväksi.

Maaperän jäähdytyspotentiaalin hyödyntäminen tapahtuu käytännössä usein kallioon porattavien maksimissaan 300 – 350 metriä syvien energiakaivojen avulla.

Lähde: https://energia.fi/files/1359/Jaahdytysteknologiaselvitys_VTT_221216.pdf

Kallioperän lämpötilan kasvua syvemmälle mentäessä kuvaa geoterminen gradientti, joka Suomessa on noin 0,8 - 1,5 °C / 100 m. Lämpötila nousee keskimäärin siis noin asteen

verran sataa syvyysmetriä kohden. Suomen kallioperä on iältään vanhaa ja vakaata, minkä takia gradientti jää alhaiseksi.

Vesivoima

Vesivoima on kotimaisessa sähköntuotannossa merkittävin uusiutuvan sähköntuotannon muoto ja toiseksi suurin sähkön tuotantomuoto ydinvoiman jälkeen. Ydinvoimaa ei kuitenkaan lueta uusiutuvaksi tuotantomuodoksi. Vesivoima on lisäksi kotimaista ja päästötöntä. Vesivoima on helposti säädettävää ja joustavaa tuotantoa, jolla pystytään kompensoimaan myös muiden sähköntuotantomuotojen nopeitakin tuotantovaihteluja. Sitä käytetään sähkön perustuotannon lisäksi sähköverkon tasehallinnassa säätövoimana tasapainottamaan kulutuksen ja tuoton vaihteluja. Säästä riippuvien tuotantomuotojen tuotto vaihtelee nopeasti ja ydinvoimaa pyritään ajamaan aina täydellä teholla. Vesivoima on jossain määrin myös sääriippuvaista riippuen kulloisistakin vuotuisista sateista ja vesistöjen vesitilanteista. Suomen kantaverkko on yhteydessä mm. Ruotsin sähköverkkoon, josta on saatavissa tarvittaessa uusiutuvilla tuotantomuodoilla kuten vesivoimalla tuotettua sähköä.

Suomessa oli vuonna 2012 yli 220 eri vesivoimalaitosta ja niiden vesivoimakapasiteetti on noin 3 190 MW. Suomen vesivoiman vuosituotannon tavoite vuoteen 2020 mennessä on 14 000 GWh. Kokonaan uuden vesivoiman merkittävä lisärakentaminen on epätodennäköistä ympäristönsuojelullisista syistä johtuen. Nykyisten voimalaitosten osittain vanhaa teknologiaa voidaan kuitenkin modernisoida ja saavuttaa siten lisäenergiaa.

Lähde: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/vesivoima

Vesivoiman ympäristömyötäinen sähköntuotantokapasiteetti riittää Suomessa isonkin tehtaan tarpeisiin. Ruotsista ostettava sähkö on myös huomattavalta osaltaan tuotettu pohjois-Ruotsin vesivoimalaitoksissa.

Suomessa on vesivoiman hyödyntämistä pumppuvoimalaitoksissa suunniteltu jo pitkään, mutta toistaiseksi ei käytännön toteutukseen ole päästy. Pumppuvoimalaitos toimisi eräänlaisena energiavarastona, jolla tasapainotettaisiin sähköverkon kulutus- ja hintavaihtelua. Sähkön hinnan ollessa matalalla eli kun sähköä on runsaasti tarjolla varastoitaisiin vettä voimalaitoksen altaaseen ja sähkön hinnan noustua riittävästi ja kulutuksen kasvaessa ajettaisiin vesi generaattorin kautta takaisin sähköksi. Tämä ratkaisu helpottaisi sähköverkon tasehallintaa sillä säästä riippuvien tuotantomuotojen osuus sähkötehosta kasvaa sähköverkossa. Säästä riippuvaa tuotantoa on vaikea synkronoida kulutukseen.

Biokaasu, maakaasu

Kaasun suhteen ympäristömyötäisyys on kaksijakoinen. Biokaasu luetaan kuuluvaksi uusiutuviin energiamuotoihin, sillä sen katsotaan olevan epäsuoraa aurinkoenergiaa. Maakaasu eli fossiilinen kaasu katsotaan uusiutumattomaksi energianlähteeksi. Kemialliselta koostumukseltaan molemmat kaasut ovat yli 50%:sti metaania (CH_4).

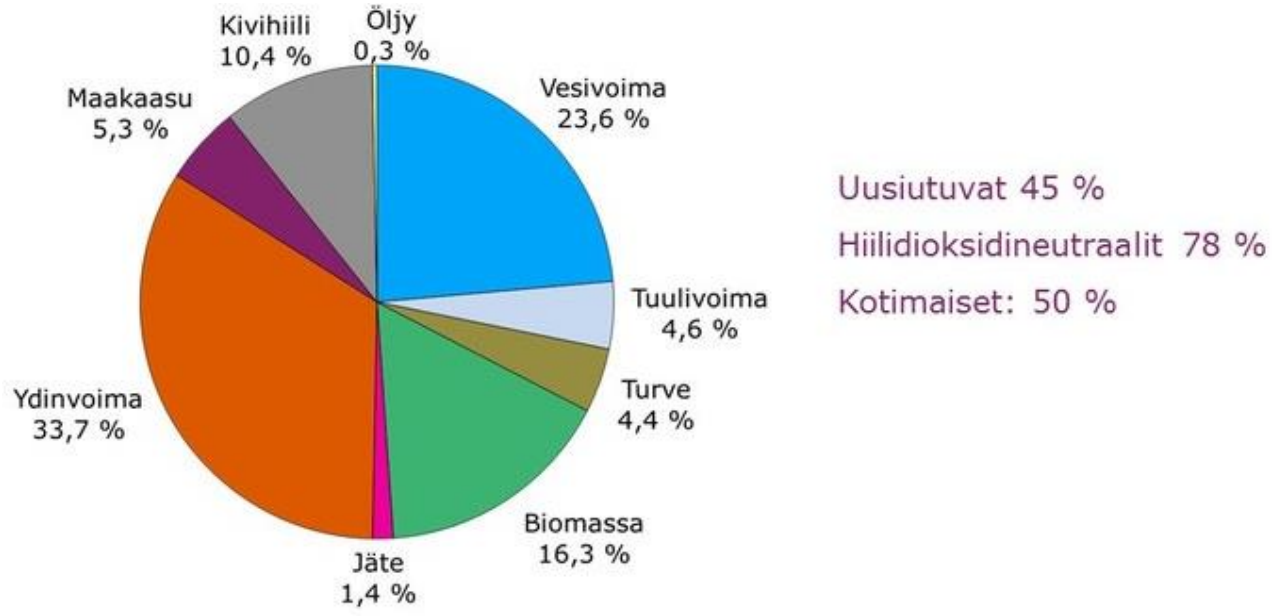
Markkinoilla on saatavilla kaasukäyttöisiä moottoreita, joita voidaan käyttää sähkön tuotantoon sähkögeneraattorin avulla. Näistä moottoreista voidaan hyödyntää sähkön

lisäksi polttomoottorin tuottama hukkalämpö. Tällaisessa yhteiskäytössä (CHP *combined heat and power*) saadaan hyötykäyttöön generaattorin tuottama sähkö sekä moottorissa syntyvä lämpö. Yhteiskäytössä järjestelmän kokonaishyötysuhde saadaan nostettua hyvin korkeaksi ja olennaisesti paremmaksi kuin erillisessä lämmön ja sähkön tuotannossa.

Kaasumoottoreilla voidaan toteuttaa suurikapasiteettisia moottorivoimalaitoksia, joiden kokoluokka pystyy tuottamaan paikallisesti isonkin tehtaan tarvitseman energiamäärän. Esimerkiksi Wärtsilällä on myynnissä moottorimalleja, jotka pystyvät reagoimaan nopeasti poikkeustilanteisiin. Moottorit pystyvät tuottamaan tehoa käynnistyksestä jo 30 sekunnissa ja pääsevät täyteen kuormaan jo kahdessa minuutissa. Käynnistyksen ja tarvittavan moottorin tuottaman tehon välisen ajan sähköenergia tulee syöttää verkkoon paikallisesta energiavarastosta, joka voidaan toteuttaa tarpeeseen nähden mitoitetusta akkukapasiteetistä. Tällaisia moottoreita voidaan käyttää esimerkiksi tehtaan poikkeustilanteiden hallintaan yllättävien sähkökatkosten varalta tai leikkaamaan kulutushuippujen aikaisia korkeita verkkosähkön hintoja.

Suomen sähkötuotanto

Suomen sähkön kokonaiskulutus on vuonna 2016 ollut 85,1 TWh. Tästä kulutuksesta on kotimaassa tuotettua sähköä 66,1 TWh ja tuontisähköllä on täytetty erotus eli 19 TWh. Alla olevan kuvan mukaan Suomessa tuotetusta sähköstä on ollut uusiutuvilla tuotantomuodoilla tuotettua sähköä noin 45 %. Kun ydinvoima lasketaan mukaan, niin sähköntuotannosta on ollut hiilidioksidineutraalia tuotantoa noin 78 %. Tuontisähkö on ostettu pääasiassa Ruotsista ja Venäjältä. Tuontisähkön tuotantotavan jakaumaa ei ole tiedossa, mutta ainakin Ruotsista tuodussa sähkössä huomattava osa on uusiutuvilla tuotantotavoilla tuotettua. Suomen kantaverkko on yhteydessä Ruotsin, Norjan, Viron ja Venäjän sähköverkkoihin.



Kuva X: Sähköntuotanto Suomessa energialähteittäin 2016 (66,1 TWh)
Lähde: Energiateollisuus https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/energiantuotanto/sahkontuotanto

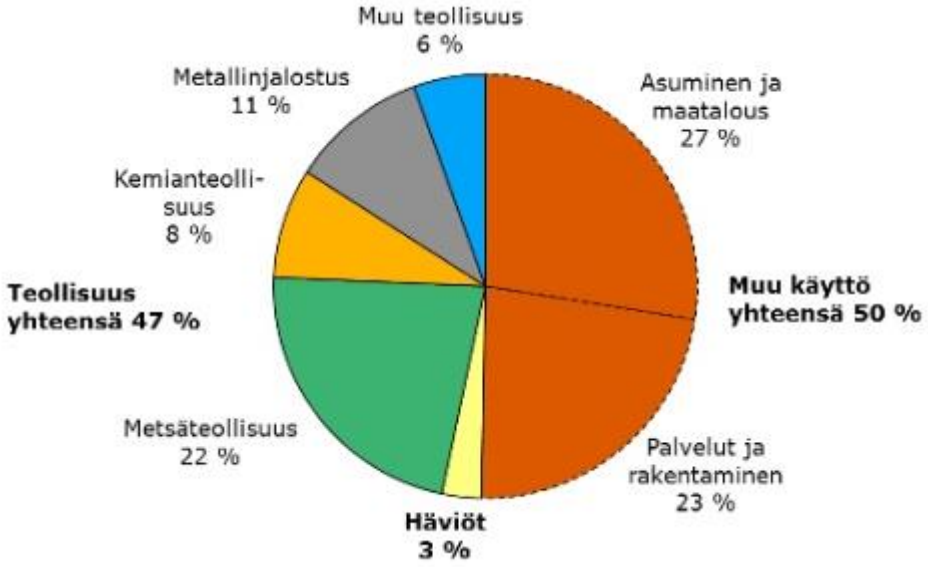
Kuvan X Suomen vuoden 2016 oma sähköntuotanto on esitetty alla sähköenergian määrinä gigawattitunteina [GWh] helpottamaan eri tuotantotapojen kapasiteetin riittävyyden vertailua eri kulutuskohteiden tarpeisiin.

	%	[GWh]	Kum. %
Vesivoima	23,60	15599,6	23,60
Tuulivoima	4,60	3040,6	28,20
Turve	4,40	2908,4	32,60
Biomassa	16,30	10774,3	48,90
Jäte	1,40	925,4	50,30
Ydinvoima	33,70	22275,7	84,00
Maakaasu	5,30	3503,3	89,30
Kivihiili	10,40	6874,4	99,70
Öljy	0,30	198,3	100,00
Summa	100,00	66100	
Tuotanto yhteensä [GWh]	66100		

Kuva X: Suomen 2016 energiantuotanto lähteittäin.

Maailmanlaajuisesti teollisuus kuluttaa sähköstä noin 42 %. Suomessa noin puolet kulutetusta sähköstä menee teollisuussektorin käyttöön. Palvelut ovat nousseet myös merkittäviksi sähköenergian kuluttajiksi isojen datakeskusten kautta.

Alla Suomen sähkön kokonaiskäyttö vuonna 2016 (85,1 TWh). Tämä kokonaiskäyttö sisältää myös tuontisähkön.

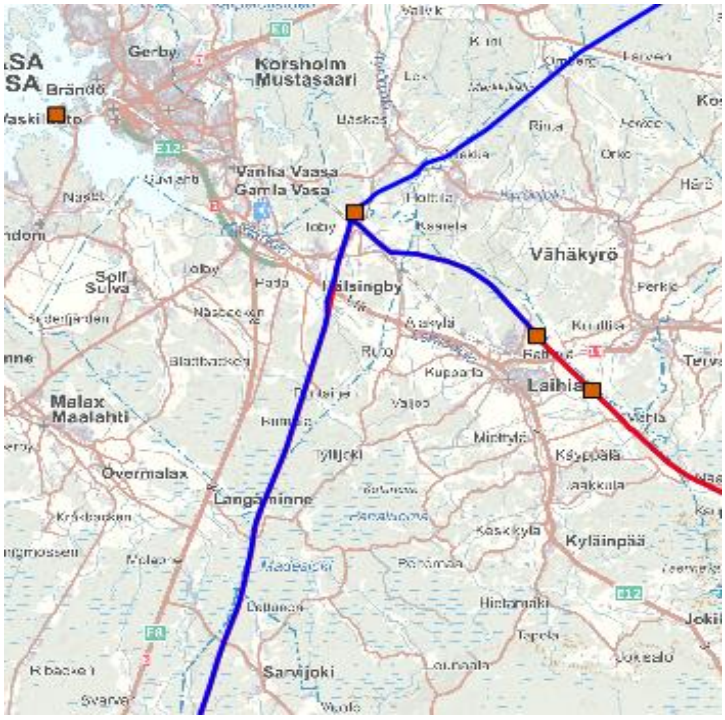


Kuva X: Suomen sähköenergian kulutus käyttökohteittain vuonna 2016.

Lähde: https://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki/energiavuosi_2016_-_sahko.html

Sähköverkko

Vaasan lentokentän koillispuolelle kaavoitettu Länsimetsän teollisuusalue on muutaman kilometrin päässä Tuovilan sähköasemasta. Tuovilan sähköasema on sähkön syöttökapasiteetiltaan Suomen vahvimpien sähköasemien joukossa, sillä sinne tulee kolmesta suuntaa 400 kV:n ja 110 kV:n suurjännitelinjat.



Kuva X: Tuovilan sähköasemalle tulevat sähkölinjat. Lähde:Fingrid.

Liittyminen Tuovilan sähköasemaan varmistaa isonkin tehtaan riittävän sähkönsaannin. Tehtaan tarvitsema sähköenergia saadaan tarvittaessa valtakunnanverkosta ostamalla ympäristömyötäisesti tuotettua sähköä. Tehtaan liittäminen Tuovilaan tuleviin suurjännitelinjoihin mahdollisine poikkeustilanteiden varayhteyksineen edellyttää merkittäviä investointeja tehtaan ja sähkölinjojen väliseen sähkön siirtoon.

Sähkön hinta

Sähköntoimituksen hinta muodostuu sähköenergian hinnasta, siirtopalvelun hinnasta sekä veroista. Sähkön energiahinta muodostuu sähkön hankinnasta ja myyntityöstä sähkönmyyjälle aiheutuneista kustannuksista. Siirtopalvelun hinta muodostuu sähkön siirrosta, sähkön kulutuksen mittauksesta ja taseselvityksestä. Sekä sähkönsiirtopalvelusta että sähköenergiasta maksetaan arvonlisäveroa. Lisäksi kuluttaja maksaa sähköveroa sähkön siirtohinnan yhteydessä. Sähkövero on valmistevero.

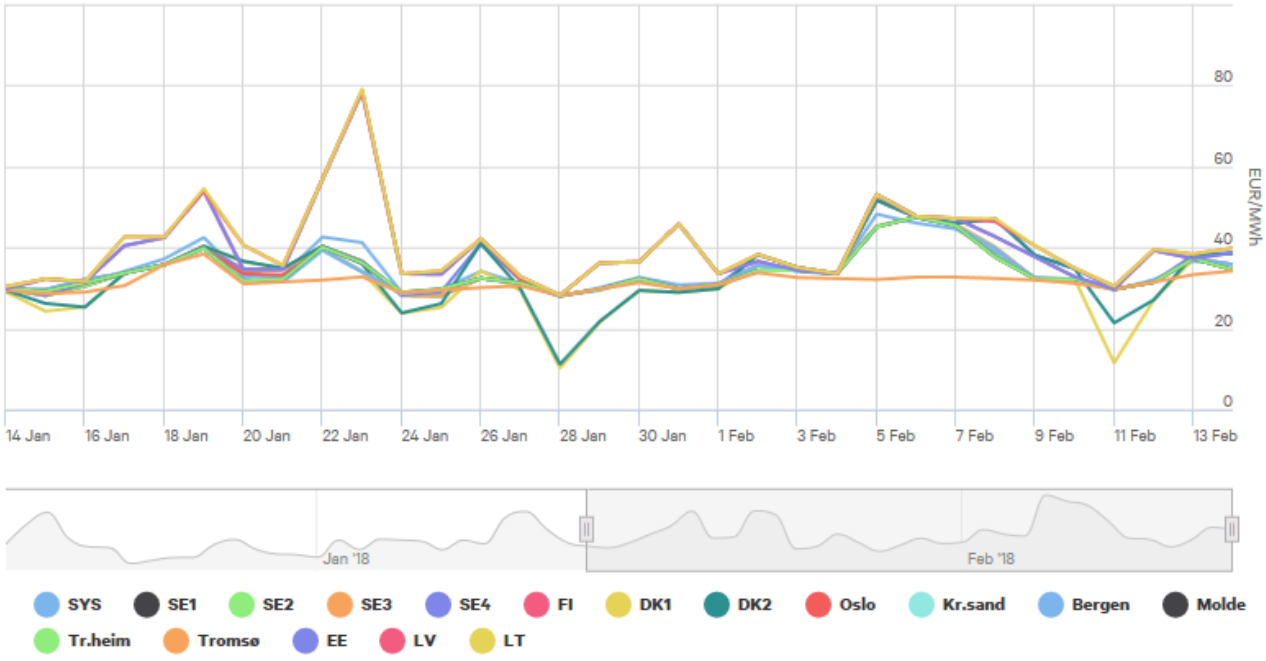
Teollisuuden sähkön hinta Suomessa on pysynyt pitkään edullisena verrattuna moneen muuhun Euroopan maahan. Sähkön keskimääräisiä hintoja eri Euroopan maissa on esitelty liitteessä 9: ”Sähkön hintoja Euroopassa”. Tässä Eurostatin tuottamassa hintavertailussa on eriteltynä eri maiden kotitalouksien ja kotitalouksien ulkopuolisten kuluttajien

sähkön keskimääräisiä hintoja. Ei kotitalousasiakkaiden keskimääräiseksi sähkön hinnaksi alkuvuodelle 2017 tilastossa on määritelty 0,067 eurocenttiä/kWh. Kotitalouksien ulkopuoliset sähkön hinnat ovat tässä esityksessä rajautuneet käyttäjiin, jotka kuluttavat vuositasolla 500 MWh – 2000 MWh. Iso tehdas kuluttaa sähköä huomattavasti enemmän, mutta suurasiakkaiden maksamia hintoja ei ole julkisesti tilastoitu. Isot sähkönkuluttajat pystyvät tyypillisesti tekemään edullisempia sähkön ostosopimuksia, joten erittäin suurilla asiakkailla sähkön hinta on huomattavasti edullisempaa. Sähkön kokonaishintaan vaikuttaa myös veroluonteiset maksut ja siirtomaksut energian hinnan lisäksi. Teollisuus-asiakkaiden energian kokonaishintaa voi alentaa myös erilaiset valtiovallan kompensaatiot ja verotuksen mekanismit.

Suuret asiakkaat voivat ostaa sähköä suoraan sähköpörssistä, jolloin he voivat optimoida omaa sähkön ostohintaa kulloisenkin kulutustarpeen mukaisesti. Pörssisähkön hinta voi vaihdella nopeasti ja hyvin paljon, jos ennustettu kulutus on suurempaa kuin ennustettu tuotantomäärä tai sähköverkkoon muodostuu toimintahäiriöitä. Sähkön hintapiikkien kohdalla on ostajan kannalta edullista, jos pystyy hyödyntämään omia sähköenergian varastojaan, on omaa sähköntuotantoa tai pystyy mukauttamaan tarvittaessa omaa sähkönkulutustaan. Pörssisähkön hintavaihteluun voi varautua myös erilaisilla sopimus-teknisillä riskienhallintaratkaisuilla.

Energiamarkkinaviraston sivuilta löytyy kuukausitasolla erilaisille tyyppikäyttäjille sähkön toimitusvelvollisuushinnat ja siirtohinnat (snt/kWh) koko maan painotettuna keskiarvona sekä kulloinkin voimassa olleet verot. Hinnat ja sähköverot (snt/kWh) sisältävät tilastossa arvonlisäveron, siirtohintoihin ei ole lisätty sähköveroa. Tämäkään tilasto ei kuitenkaan kerro yksittäisen ison asiakkaan sähkön kokonaishintaa.

Pörssisähkön keskihintoja löytyy NordPoolin sivuilta.



Kuva X: Sähkön NordPool-hinta aikaväliltä 14.1 – 13.2.2018.

Lähde: https://www.nordpoolgroup.com/Market-data1/#/nordic/chart

Suomeen NordPoolista ostetun sähkön spot-hinta on vaihdellut yllä olevan graafin mukaan jonkin verran 40 EUR/MWh molemmin puolin. Sähkön hinta on merkittävä kustannustekijä

akkutehtaan tyyppiselle energiaintensiiviselle toimijalle. Yhden eurosentin hintaero sähkön kilowattituntihinnassa kulutettaessa jatkuvasti sähköä 300 MW:n teholla eli vuorokautisen energiankulutuksen ollessa 7200 MWh hintaero on 72 000 EUR päivässä.

Varavoima

Tehtaat pyrkivät varmistamaan energiansaantinsa mahdollisimman hyvin poikkeustilanteiden varalta. Sähkön saanti on kriittisessä asemassa, sillä sähköllä säädellään ja ohjataan käytännössä kaikkia tehtaan toimintoja. Eräs tapa pienentää sähkökatkoksesta johtuvaa riskiä on varmistaa sähkön saanti tehtaan sähköjärjestelmään useampaa syöttölinjaa pitkin. Yksittäisen syöttölinjan häiriö ei siten katkaise tehtaan energiansaantia.

Kemiallisia- ja jatkuvia prosesseja hyödyntävät tehtaat ovat erityisen kriittisiä katkeamattomalle ja häiriöttömälle sähköenergian saannille. Erityisesti tällaisissa tehtaissa prosessien häiriintyminen voi rikkoa tuotantolaitteistoja tai aiheuttaa jopa räjähdysvaaran tehtaassa. Hallitsematon sähkökatkos heikentää myös henkilöturvallisuutta. Tätä riskiä voi pienentää myös omalla energiantuotannolla ja varastoinnilla ainakin siinä määrin, että kriittiset prosessit voidaan ajaa hallitusti alas ilman merkittäviä vahinkoja. Tehtaan mittakaavassa kriittisten prosessien tarvitsema energian määrä voi olla iso.

Yksittäisten kohteiden energiansaantia häiriötilanteessa voidaan varmistaa UPS-laitteella (Uninterruptible Power Supply). UPS-laitteella tarkoitetaan, tehoelektroniikalla toteutettua laitetta, joka akkujensa turvin takaa katkottoman sähkösyötön kriittiselle kuormalle. Laitteen toiminta-aika rajautuu kohteen sähkönkulutukseen ja akkukapasiteettiin.

Kuva X: Periaatekuva Wärtsilän toteuttamasta 310 MW:n moottorivoimalaitoksesta Bangladeshin Chittagongissa. https://www.wartsila.com/media/news/02-06-2016-wartsila-to-supply-310-mw-power-plant-to-bangladesh

Tehtaan oman energianhallintajärjestelmän tulee toteuttaa siten, että se toimii poikkeustilanteissa siten, että minimoidaan tuotantoprosessille, tehtaalle ja turvallisuudelle koituvat vahingot. Parhaassa tapauksessa järjestelmä osaa tiputtaa verkosta pois sellaiset kohteet, jotka eivät juuri sillä hetkellä tarvitse välttämättä energiaa vaarantamatta mitään toimintoa tai turvallisuutta. Energianhallintajärjestelmän kautta voidaan ohjata tarvittaessa energian syöttö varasyöttölinjoista, käynnistää tehtaan oma varasähköjärjestelmä tai ajaa tehdas hallitusti alas. Varavoimalla voidaan haluttaessa optimoida myös tehtaan sähkökustannuksia, jos ulkoa ostettavan sähkön hinta nousee hintapiikissä huomattavasti.

Poikkeustilanteiden energian saanti voidaan varmistaa riittävän suurella moottorivoimalaitoksella. Voimalaitoksen käynnistäminen esimerkiksi Wärtsilän uusimmilla moottoreilla kestää täyteen tehoon noin kaksi minuuttia ja ne tuottavat tehoa jo 30 sekunnissa käynnistyksestä. Sähkökatkoksen ja moottorin riittävän tehon tuoton väliaikana voidaan kriittisten prosessien tehon tarpeeseen käyttää esimerkiksi akkuvarastoissa olevaa energiaa. Jos prosessi halutaan ajaa hallitusti alas ja alasajo ei kestä ajallisesti kovin pitkää aikaa saattaa tarvittava energiamäärä löytyä pelkästään akuista.

Energiatehokas rakentaminen ja sijainti

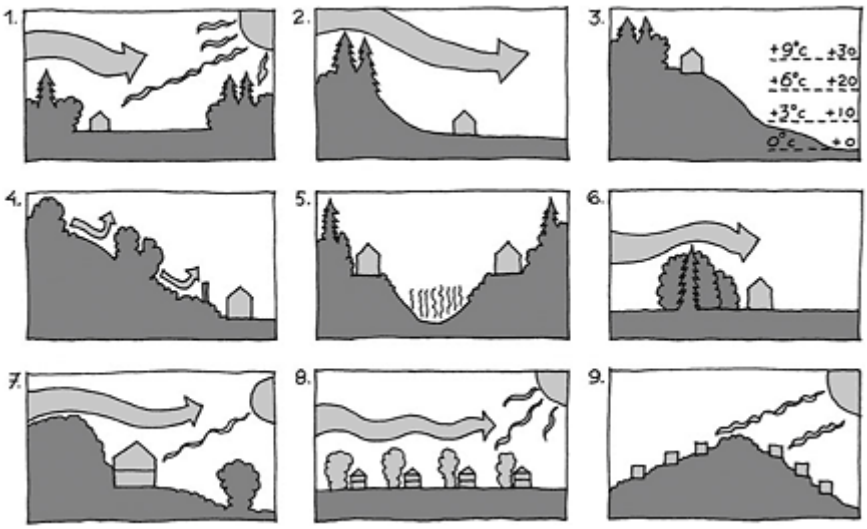
Rakennuksen energiatehokkuuteen voidaan vaikuttaa olennaisesti suunnitteluvaiheessa tehdyillä teknisillä ratkaisuilla, rakennuspaikan valinnalla ja rakentamisvaiheen toteutuneella laadulla. Rakentamisen jälkeinen aktiivinen kiinteistön ja laitekannan huolto vaikuttaa merkittävästi myös rakennuksen energian käyttöön. Rakennusten energiatehokkuuden lisääminen on ollut valtiovallan keino vähentää energiankulutusta ja sitä myötä myös kasvihuonepäästöjä.

Nollaenergiatalot on asetettu uudisrakentamisen tavoitteeksi vuonna 2020. Rakennusvaipan ratkaisut ovat olennainen osa rakennusten energiatehokkuutta.

Laki rakennuksen energiatodistuksesta ei kuitenkaan koske (50/2013 2. luku 3§) teollisuus- ja korjaamorakennuksia, uimahalleja, jäähalleja, varastorakennuksia, liikenteen rakennuksia sekä rakennukseen liittyviä tai erillisiä moottoriajoneuvosuojia.

http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130050

Rakennuksen sijainti vaikuttaa rakennuksen energiatehokkuuteen. Alla olevassa kuvassa on nostettu esiin rakennuspaikan valinnan ja ympäristön vaikutuksia energian kulutukseen. Kuvan esimerkit ovat asuntorakentamisesta, mutta kuvan ajatuksia voi huomioida myös teolliseen rakentamiseen kulloiseenkin tilanteeseen soveltuvin osin.



1.) Talo tuulensuojaan, mutta aurinkoon. 2.) Maasto tuulensuojana. 3.) Korkeammalla on lämpimämpää. 4.) Kasvit tai rakenteet estävät kylmän ilman valumisen. 5.) Notkossa vallitsevat kylmät ilmavirtaukset. 6.) Kasvillisuus tuulensuojana. 7.) Rinteessä maasto suojaa ja talo avautuu valoon päin. 8.) Tiiviissä rakentamisessa otetaan huomioon valonsaanti ja tuulensuoja. 9.) Tiivis rakentaminen etelärinteeseen: talot eivät lähekkäin varjosta toisiaan. Kuva: Veli Silvo, teoksesta Kari Ojala: Kestävän yhdyskunnan käsikirja, KL-Kustannus Oy 2000. http://www.rakennaoikein.fi/tontin-valinta-ja-kaytto-91313/uutiset.html

Teollisuusrakennuksien sijaintiin vaikuttavat asuinrakentamista enemmän tilojen koko-vaatimukset, logistiikkaratkaisut sekä infrastuuriin, kaavasääntöihin ja ympäristövaatimuksiin liittyvät seikat. Kaavoituksessa teollisuusrakennuksille määritellään omia alueita, jonne ne soveltuvat yhdyskuntasuunnittelun kannalta parhaiten.

Rakennuksen energiatehokkuuteen voidaan vaikuttaa myös rakennuksen värillä ja pinta-materiaaleilla. Tummat värit imevät aurinkoenergiaa itseensä ja lämmittävät rakenteita sellaisissa kohteissa, joissa tarvitaan lisälämpöä. Vaaleat värit heijastavat auringonvaloa ja lämmittävät vähemmän rakenteita. Kohteissa, joissa lisälämpö ei ole toivottavaa vaalealla värityksellä voidaan keventää rakennuksen viilennykseen- ja jäähdytykseen kuluvaa energiaa.

Eristysmateriaalit

Eriste on yleisesti aineen tai energian etenemistä rajoittava rajapinta. Energiatehokkuuden kannalta rakennuseristeet ja erityisesti lämpöeristeet ovat merkittävässä roolissa. Rakennuseriste on rakentamisessa käytetty eristemateriaali, jota käytetään estämään ei-toivottua lämmön, äänen, ilman, kosteuden tai tärinän etenemistä. Lämpöeristeissä älykkyys on toistaiseksi käytännön kannalta hieman vieras käsite.

Rakennusten energiatehokkuutta on parannettu pääasiassa lisäeristyksillä ikkuna-, ovi ja julkisivuremonteilla. Uudisrakennuksissa rakenteiden energiatehokkuutta ohjataan rakennusmääräyksillä, joissa vaaditaan parempia eristemateriaaleja ja kasvatetaan eristepaksuuksia. Uusilla rakennuslainsäännöksillä tavoitellaan rakennusten energiatehokkuuden parantamista ja tavoitellaan rakennuksiin vähintäänkin nollaenergiatasoa. Eristeissä lämmön johtuminen on usein lähes lineaarinen ilmiö, joten eristekerroksen kaksinkertaista-

minen teoriassa myös kaksinkertaistaa lämmöneristyskyvyn. Eri materiaaleilla on oma materiaalikohtainen eristeen lämmönjohtokyky, joten sopivan eristemateriaalin valinta vaikuttaa merkittävästi lopputulokseen. Rakenteissa lämpöeristyksen onnistumiseen vaikuttaa tietenkin myös moni muu asia kuten työn laatu ja saumojen tiiveys.

Eristysmateriaaleilla pyritään rakennuksissa tyypillisesti lämpöenergian säästöön. Tyypillisesti lämpöeristeen eristyskyky perustuu ilmaan, joka on suljettu eristerakenteeseen. Tätä ominaisuutta sovelletaan erityisesti aerogeeleiksi nimetyissä eristemateriaaleissa, jotka ovat lämmöneristyskyvyltään ylivoimaisia muihin eristemateriaaleihin nähden. Aerogeeli on yleisnimitys geeleille, joissa jonkin kiinteän aineen muodostaman matriisin sisällä on ilmaa. Piioksidista tehdyt aerogeelit painavat tyypillisesti vain kaksi kertaa ilmaa enemmän eli noin pari kiloa kuutiolta. Piioksidiaerogeeli on paras tunnettu lämpöeriste, paloeriste, äänieriste ja tehokkain tunnettu iskunvaimennin. Sentti hyvälaatuista piioksidiaerogeeliä vastaa lämpöeristeenä kahtatoista senttiä lasivillaa eikä se pala tai sula.

Aerogeelit ovat vielä hinnaltaan hyvin kalliita ja niiden käyttö on toistaiseksi rajautunut erityiskohteisiin. Erään markkinoilla olevan aerogeelin lämmönläpäisykerroin on luokkaa 0,014 W/m^{2}K.

Tavallisimpia lämpöeristeitä ovat:

- Mineraalivillat: kivi- ja lasivillat
- Puukuituvillat: puhallettava selluvilla, puukuitueristelevy, huokoinen puukuitulevy
- pellavakuitulevy
- Polystyreenilevyt: EPS-levyt ja suulakepuristetut XPS-levyt
- Polyuretaanilevyt (PU, PUR ja PIR)
- Fenoli eristeet
- Sammal, sahanpuru, kutterilastu
- Ilma suljetussa rakenteessa
- Ilmainjektio-betonimassa

Ohjausjärjestelmät (kiinteistöautomaatio)

Kiinteistöautomaation energianhallintajärjestelmillä voidaan optimoida energian käyttöä ja kustannuksia kokonaisvaltaisesti ja saavuttaa siten merkittäviä säästöjä energiakustannuksissa. Automaatio voi tarkkailla ja optimoida esimerkiksi ilmanvaihdon, vedenkäsittelyn, lämmityksen ja valaistuksen energian käyttöä. Tämän tavoitteen saavuttamiseksi järjestelmän tulee sisältää monipuoliset ja laaja-alaiset anturoinnit ja tietoliikenneyhteydet kiinteistön eri kohteisiin. Energiankulutuksen monitoroinnin lisäksi täytyy automaatiojärjestelmän kyetä ohjaamaan kulutuskohteita. Järjestelmällä tulee olla tiedossa jatkuvasti sähkön hintaennusteet ja säätiedot, jotta se voi optimoida toimintaansa mahdollisimman hyvin. Jos rakennuksessa on energiavarastoja tai prosesseja, joiden energiansyöttöä voidaan säädellä lyhytaikaisesti ilman ongelmia (esim pakastamot) voidaan silloin toteuttaa järjestelmällä myös kulutushuippujen siirtoa edullisempiin ajanhetkiin. Kiinteistöautomaatio ei yksin pysty tehokkaaseen energiansäästöön, ellei myös energiaa kuluttavat laitteet ja prosessit ole suunniteltu energiatehokkaiksi ja laadukkaiksi. Kiinteistöautomaation osuus kiinteistön rakennuskustannuksissa on melko pieni, mutta sillä saavutettavat säästöt energiakustannuksissa voivat ovat suuret.

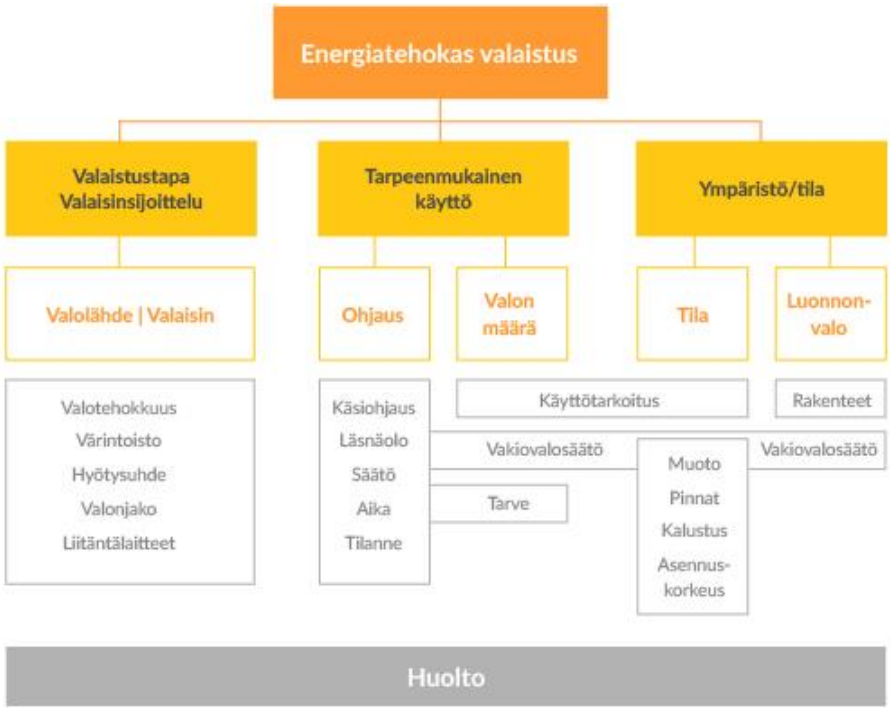
Valaistusratkaisut

Valaistuksessa energiatehokkain ja ympäristömyötäisin ratkaisu on hyödyntää kohteissa mahdollisimman paljon luonnonvaloa. Pelkällä luonnonvalolla ei kuitenkaan voida käytännössä toimia vaan tarvitaan myös keinovaloa.

Toimitilan valaistus on merkittävä sähköenergiaa kuluttava toiminto. Tulevaisuuden tehtaissa automaation osuus kasvaa. Tiloissa, joissa ihmisiä ei ole jatkuvasti työskentelemässä, voidaan valaistusta jopa vähentää himmentimien ja ajastimien avulla. Toisaalta valaistuksen määrä- ja laatuvaatimukset voivat korostua keinonäköä ja kameratekniikkaa hyödyntävissä kohteissa.

Valaistuksen energiatehokkuutta on ohjattu lainsäädännöllä rajoittamalla huonon hyötysuhteen lamppujen, kuten hehkulamppujen, myyntiä ja saatavuutta. Valaistusteknologian kehitys on ohjannut käyttämään uudempia valaistusratkaisuja. LED-teknologiaan perustuvat valaisimet ovat vallanneet markkinoita, vaikka näiden valaisimien yksikköhinnat ovat olleet kalliimpia kuin perinteisemmät toteutukset. Uusien valaistusratkaisujen taloudellinen perusta on syntynyt elinkaarikustannuksista. Kustannussäästöjä syntyy vähäisemmästä sähkönkulutuksesta ja pidemmästä valaisimen toiminta-ajasta. Erityisesti tiloissa, joissa valaisimen vaihto on hankalaa pitkäkestoiset valaisimet alentavat merkittävästi huoltokustannuksia. LED-teknologian etuna on myös mahdollisuus himmennettävyyteen ja nopeaan valaistuksen poiskytkemiseen ja uudelleenkytkemiseen ilman viivettä. Osalla perinteisiä valaistustekniikoita ei pystytä nopeaan uudelleenkytkeytymiseen vaan ne vaativat pitkähkön viiveen ennen kuin ne kykenevät valaisemaan uudelleen katkon jälkeen.

Energiatehokkaassa rakennuksen valaistuksessa pyritään hyödyntämään maksimaalisesti päivänvaloa, jolloin valaistukseen tarvittavan sähkön määrä pienenee. Tämä tavoitteeseen päästään, kun rakennuksen valoaukkojen sijoittamisessa huomioidaan auringon kierto. Valaistuksen energiantarve riippuu vuodenajoista, sillä talvella ei voida hyödyntää luonnonvaloa samassa mittakaavassa kuin kesällä.



Kuva X: Valaistuksessa huomioitavia seikkoja.

Lähde: https://valaistustieto.fi/energiatehokas-valaistus/

LED-pohjaiset valaistusratkaisut ovat yleistyneet viime vuosina energiatehokkuuden, hintojen laskun ja kestävyyden parannuttua. Vanhaan vaihtovirtapohjaiseen valaistusratkaisuun on usein päivitetty uudempi tasavirralla toimiva LED-valolähde. Tällaisessa tapauksessa tasasuuntaus toteutetaan lampussa olevan elektroniikan avulla. Tällaisessa hajautetussa toteutuksessa käytetään lukuisia valaisinkohtaisia pienitehoisia tasasuuntaajia. Tasavirtapohjainen sähkönsyöttö voitaisiin toteuttaa myös omalla tasavirtakiskostolla, johon sähkön tasasuuntaus tehtäisiin isotehoisella keskitetyllä muuntimella. Tasasuuntauksen kokonaishyötysuhdetta saataisiin parannettua tällaisella isolla, keskitetyllä ratkaisulla verrattuna hajautettuun valaisinkohtaiseen muunnokseen nähden.

Energiatehokkaat prosessit

Sähkömoottorit kuluttavat teollisuudessa merkittävän osan käytetystä sähköenergiasta. Suomen noin 80 TWh:n vuotuisesta sähkönkulutuksesta teollisuuden kulutus on puolet ja siitä sähkömoottoreiden osuus on yli puolet. Sähkömoottoreiden hyötysuhteita on pystytty kehittämään ja tämän kautta saatava sähköenergian säästö voi olla merkittävä erityisesti teollisuusprosesseissa, joissa moottorit ovat aktiivisessa käytössä lähes keskeytymättömästi koko elinkaarensa ajan. Sähkömoottorin elinkaari voi olla sopivissa olosuhteissa huomattavan pitkä, jopa kymmeniä vuosia. Hyvän hyötysuhteen energiankulutuksen optimointia voidaan parantaa vielä älykkäällä taajuusmuuttajaohjauksella. Taajuusmuuttaja voi siihen kytketyn automatiikan avulla optimoida tarkasti kulloinkin prosessin tarvitseman pyörimisnopeuden ja tehon.

International Electrotechnical Commission (IEC) määrittelee standardissaan IEC/EN 60034-30-1: 2014 yksinopeuksisille sähkömoottoreille (IE International Efficiency) hyötysuhdeluokat seuraavasti:

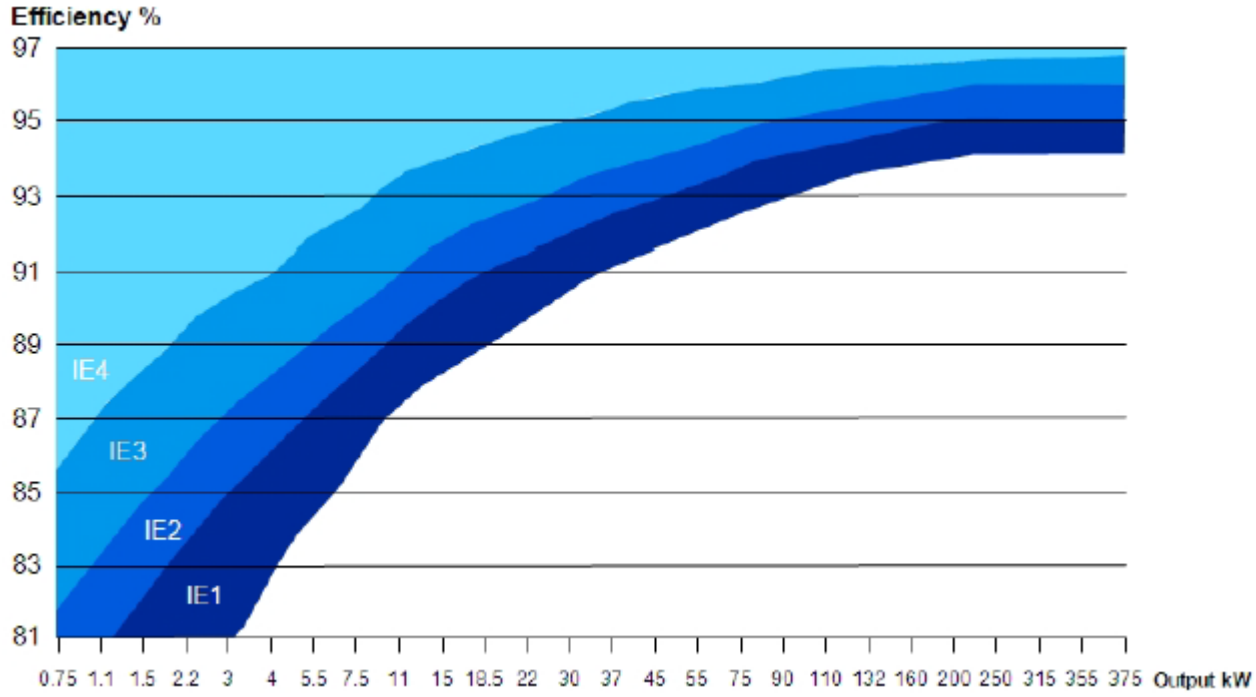
IE1 = Standard

IE2 = High

IE3 = Premium

IE4 = Super Premium

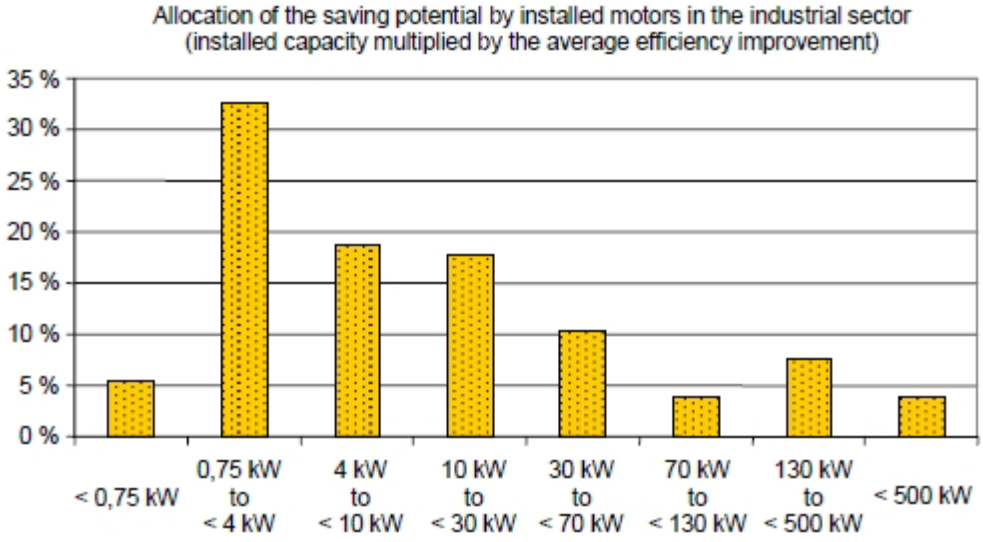
Standardi kattaa 2-, 4- ja 6-napaiset moottorit, tehoalueella 0,75 - 375 kW, jännitealueella <1000 V ja nimellistaajuuksilla 50 Hz ja 60 Hz.



Kuva X: IE-hyötysuhdeluokkien rajat 4-napaisille moottoreille 50 Hz:n taajuudella eri tehoisille sähkömoottoreille
https://www.lut.fi/documents/10633/333534/Moottoreiden+Hy%C3%B6tysuhteet_yleinen_Jarno_Kinnunen.pdf/1f7fb3af-2475-4b2d-98bf-af4d1580d4dc/

Hyötysuhde on moottorin akselilta saatavan mekaanisen akselitehon ja moottorin sähköverkosta ottaman sähkötehon suhde. Korkea hyötysuhde tarkoittaa, että moottori muuttaa sähkötehoa mekaaniseksi tehoksi energiatehokkaasti. Hyötysuhteen ollessa korkea on moottorin hukkalämmön tuotto myös pienempi.

Sähkömoottorin hyötysuhde paranee moottorin tehon kasvaessa kaikissa laatuluokissa. Moottorin hankintahinta on karkeasti verrannollinen sen 8-12 viikon sähkönkulutukseen, joten energiatehokkaan sähkömoottorin hinnan takaisinmaksuaika on varsin lyhyt. Sähkömoottorin hankintahinnan osuus on vain 1-2 % sen elinkaarikustannuksista.

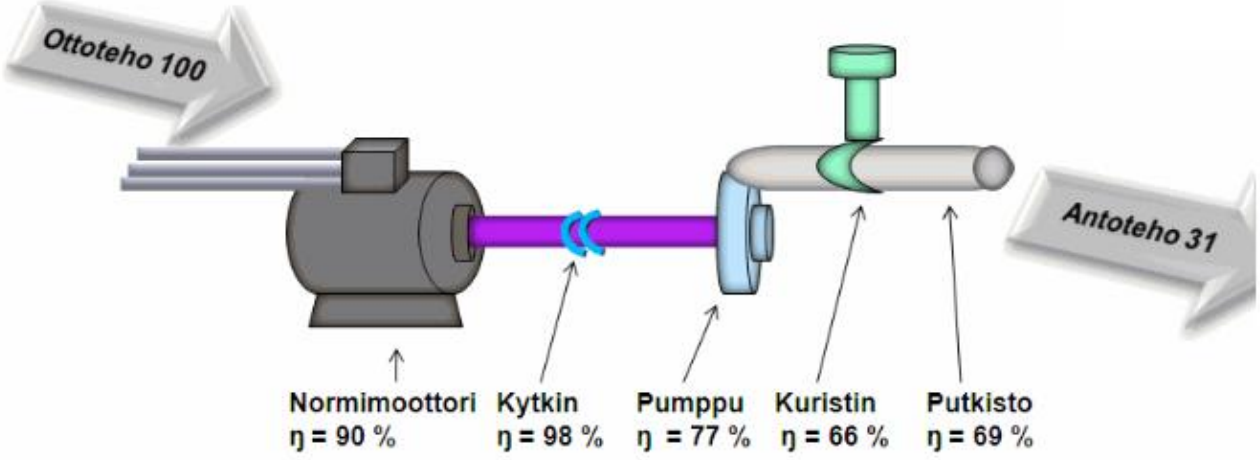


Kuva X: Säästöpotentiaali eri teholuokan teollisuuden sähkömoottoreissa.

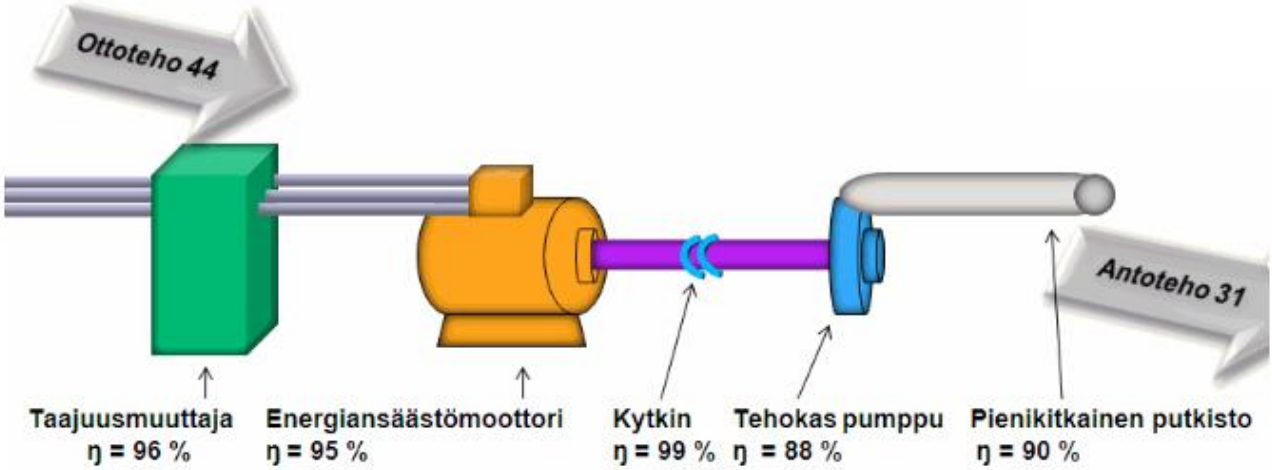
https://www.lut.fi/documents/10633/333534/Moottoreiden+Hy%C3%B6tysuhteet_yleinen_Jarno_Kinnunen.pdf/1f7fb3af-2475-4b2d-98bf-af4d1580d4dc/

Käyttökohteen energiatehokkuuteen voidaan vaikuttaa edellä esitellyn energiatehokkaan moottorin lisäksi myös mahdollisimman optimaalisella ja tarkoituksenmukaisella moottorin käyttötavalla. Perinteistä sähkömoottoria käytetään vakionopeudella sähköverkon taajuuden ja moottorin rakenteen määrittämällä nimellisnopeudella. Jos sovellus ei voi toimia koko ajan vakioidusti, joudutaan sitä säätämään. Säätäminen toteutetaan tällaisessa tapauksessa ns. kuristussäädöllä sähkömoottorin pyöriessä koko ajan ainoalla nimellisnopeudellaan tehden työtä säädintä vastaan kuluttaen turhaan energiaa. Prosessin säätö voitaisiin toteuttaa myös sopeuttamalla sähkömoottorin pyörimisnopeus ja/tai momentti sovelluksen kulloiseenkin tarpeeseen. Tämä voidaan toteuttaa kytkemällä taajuusmuuttaja ohjaamaan moottorin pyörimistä. Taajuusmuuttaja saa tiedon prosessin tarpeesta antureiden avulla tai muun ohjauksen kautta. Moottorin sähkön käytössä voidaan tällä tavalla saavuttaa huomattavia lisäsäästöjä, kun moottoria käytetään sovelluksen kannalta taajuusmuuttajan avulla optimaalisesti.

Alla olevilla periaatekuvilla esitetään pumppujärjestelmän energiatehokkuuden parantumista kahdella erilaisella toteutustavalla. Pumppujärjestelmän voi toteuttaa perinteisellä vakionopeuksisella perussähkömoottorilla ja kuristussäädöllä tai taajuusmuuttajakäyttöisellä energiansäästömoottorilla.



Kuva X: Perinteisesti toteutettu prosessi kuristussäädöllä ja vakionopeusmoottorilla sekä viitteellisiä hyötysuhteita eri komponenteille.
http://www.vem.fi/toimialaratkaisut/energiatehokkuus/energiansaastoa-taajuusmuuttajalla



Kuva X: Taajuusmuuttajalla ja hyvällä hyötysuhteella toimivalla sähkömoottorilla toteutettu prosessin säätö ja prosessin eri komponenttien viitteellisiä hyötysuhteita.
http://www.vem.fi/toimialaratkaisut/energiatehokkuus/energiansaastoa-taajuusmuuttajalla

Moderneilla energiatehokkailla säädöillä sekä komponenteilla toteutettu prosessin ohjaus taajuusmuuttajan avulla vähentää merkittävästi sähkönkulutusta ja parantaa toiminnan energiatehokkuutta.

Rakennusautomaatiosovelluksissa päivittäinen kuormituksen vaihtelu on huomattava. Sähkömoottoreiden nopeudensäätö on osoittautunut yhdeksi tehokkaimmista keinoista vähentää kustannuksia. Vähentämällä esimerkiksi pumpun tai puhaltimen moottorin keskinopeutta 20 %:lla voidaan saavuttaa 50 %:n energiansäästö. Jos keskinopeutta lasketaan 50 %, säästöt kasvavat 80 %:iin.
Lähde: http://drives.danfoss.fi/industries/hvac/#/

Energian talteenotto

Ilmanvaihdon lämmön talteenottojärjestelmillä voidaan vaikuttaa merkittävästi rakennusten ja tehtaiden tarvitsemaan lämmitysenergian määrään. Talteenottojärjestelmällä on tarkoituksena siirtää poistettavan ilman sisältämää lämpöenergiaa takaisin rakennuksen lämmitykseen. Lämmön talteenotto tapahtuu erillisillä siihen tarkoitukseen suunnitelluilla koneilla. Näiden laitteiden toimintaperiaate on, että lämmin rakennuksesta poistuva ilma kulkee koneen läpi, jossa siitä otetaan mahdollisimman paljon lämpöenergiaa talteen. Talteenotto perustuu koneen sisältämään lämmönsiirtimeen. Lämpö siirretään tyypillisesti lämmittämään ulkoa otettavaa ilmaa, joka sitten jaetaan koneellisesti sisätiloihin. Lämmön-ottolaitteet vähentävät ilmanvaihdon aiheuttamaa lämpöhäviötä.

Lämmön talteenottoa voidaan toteuttaa myös lämpöä tuottavista prosesseista. Syntyvää prosessilämpöä voidaan kerätä erilaisilla prosessin jäähdytykseen liittyvillä ratkaisuilla. Kerättyä lämpöä voidaan käyttää joko muihin lämpöä vaativiin tarpeisiin tai myydä muille tarvitsijoille. Jos ylijäämälämmön määrä on riittävän suuri ja taloudellisesti perusteltu, voidaan energiaa hyödyntää esimerkiksi kaukolämpöjärjestelmässä.

Tehoelektroniikkalaitteet, kuten invertterit, mahdollistavat sähkön talteenoton ja syötön takaisin sähköverkkoon. Sähkömoottorin jarrutusenergiaa voidaan ottaa inverttereillä talteen uusiokäytettäväksi. Prosesseissa, joissa sähkömoottoriin kytketyn massan pyörimistä halutaan hidastaa, voi sähkömoottori muuttua toiminnallisesti generaattoriksi tuottaen jarrutuksen liike-energiasta sähköä. Jarrutuksessa generaattorin synnyttämä sähköenergia voidaan syöttää takaisin sähköverkkoon muiden kulutuskohteiden käyttöön. Tällä tekniikalla voidaan säästää sähköä merkittävästi prosesseissa, joissa on isot pyörivät massat ja runsaasti nopeusvaihteluja.

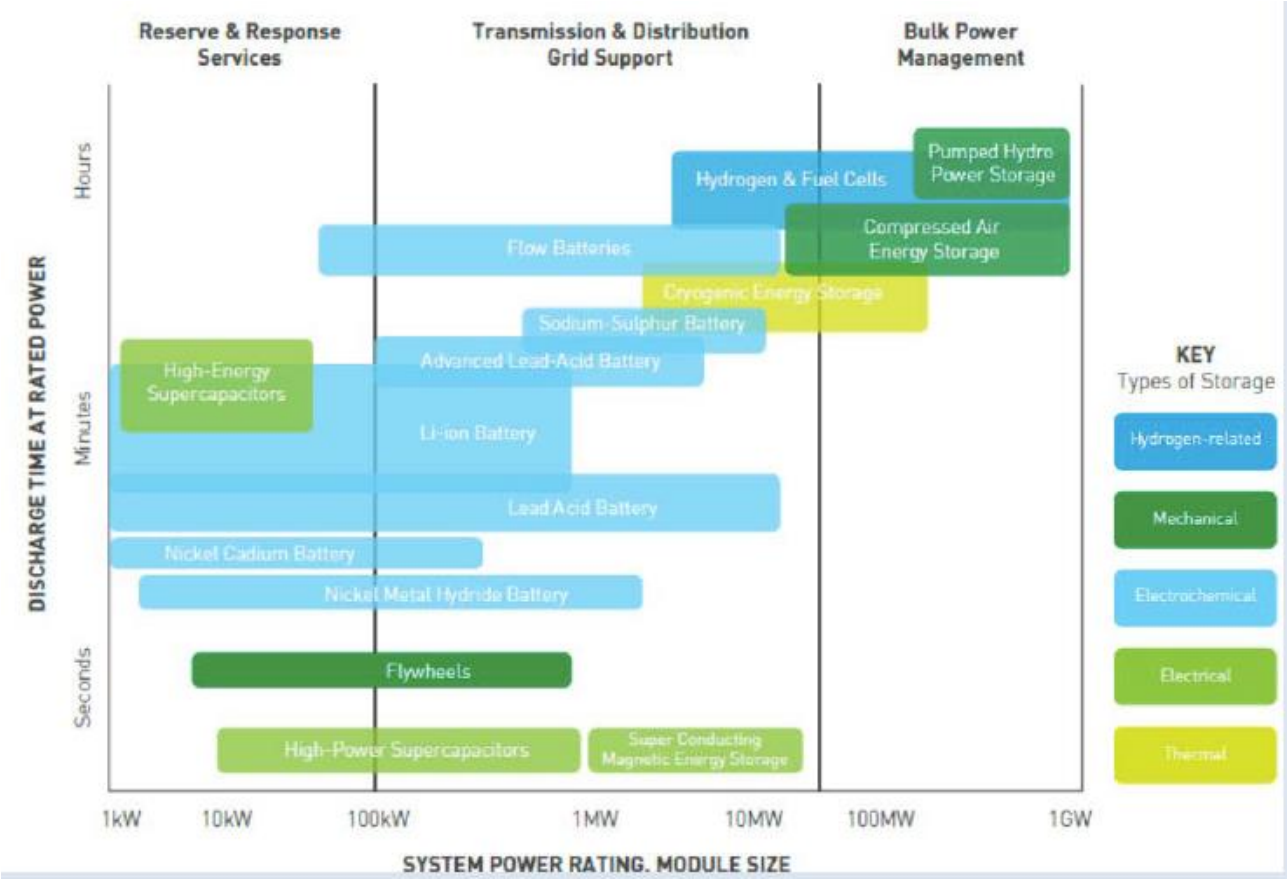
Energian varastointi

Energian varastointiin on viime vuosina kiinnitetty paljon huomiota. Energian varastoinnissa etenkin sähkön varastointi on noussut keskeiseen rooliin. Uusiutuvien sähköntuotantomuotojen lisääntyessä haasteiksi on noussut sähköverkon kannalta epätasainen säästä riippuva tuotanto. Sähkön kulutuksen ja tuotannon tasapainon hallinnasta eli ns. sähköverkon tasehallinnasta on tullut entistä haasteellisempaa. Uusien edullisien ja hyvällä hyötysuhteella toimivien varastointitekniikoiden löytäminen helpottaisi sähköjärjestelmien hallintaa. Sähkön varastointiratkaisujen yleistymisen haasteena on ollut varastointiratkaisujen korkea hinta. Varastoinnin taloudellinen perusta on ollut heikko erityisesti sellaisissa maissa, joissa ostettavan sähkön hinta on ollut edullinen ja toimitusvarmuus on ollut hyvä. Isossa mittakaavassa tasehallintaa on hoidettu Suomessa vesivoimalaitoksilla, mutta niiden kapasiteetin lisäys on ympäristöllisistä syistä entistä haasteellisempaa. Pienessä mittakaavassa sähkön varastointi on perustunut akkuteknologiaan.

Sähkön varastoteknologiat voidaan jakaa toimintaperiaatteensa mukaan mekaanisiin, sähkökemiallisiin, kemiallisiin ja sähköisiin varastoteknologioihin. Mekaanisia varastoja ovat pumppuvoimalaitos (PSH), paineilmavarasto (CAES) ja vauhtipyörä. Sähkökemiallisiin varastoihin voidaan lukea erilaiset akut. Kemiallisia varastoja edustavat vetyvarastot.

Suprajohtavan magneettisen energian varasto (SMES) ja superkondensaattorit ovat sähköisiä varastoteknologioita.

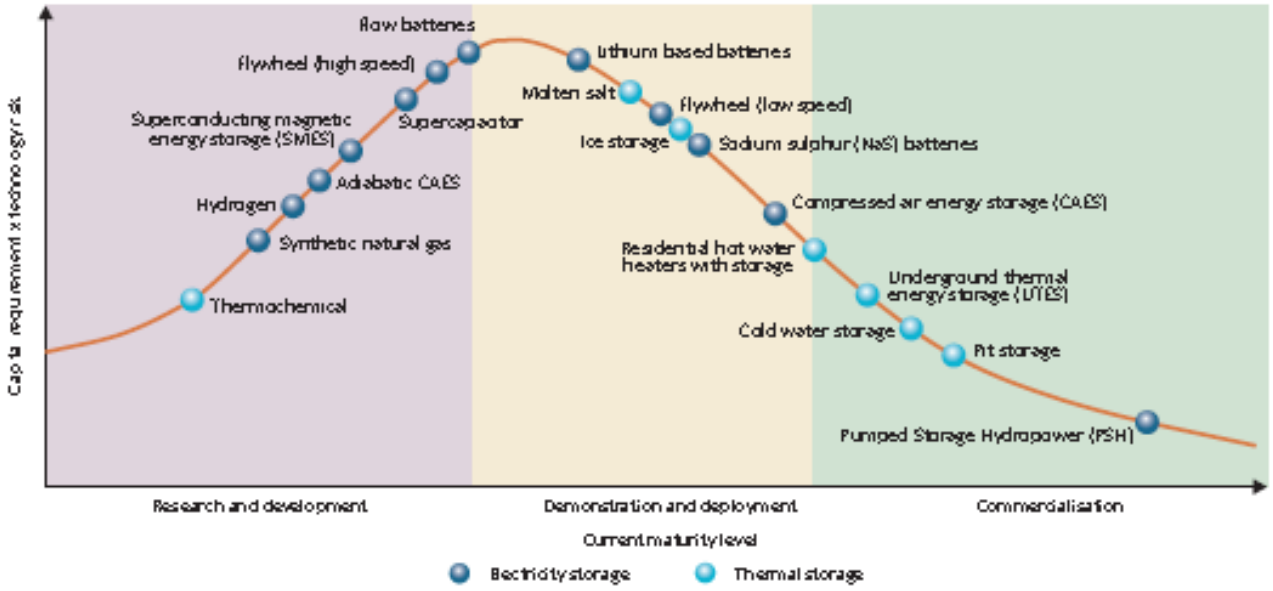
Eri varastoteknologiat soveltuvat erilaisiin tehtäviin energiajärjestelmässä. Sähkön varastointia voidaan käyttää esimerkiksi varmistamaan sähkön saatavuutta ja pienentämään hintavaihtelusta aiheutuvia kustannuksia, estämään lyhyiden sähkökatkosten aiheuttamia ongelmia laitteille, kulutushuippujen tasaamiseen, sähkön jännitteen ja taajuuden säätöön sekä pimeäkäynnistykseen.



Kuva X: Energian varastointiteknologioiden soveltuvuus eri tarpeisiin.
Lähde: International Trade Administration:2016 Top Markets Report Smart Grid Sector Snapshot, Energy Storage http://trade.gov/topmarkets/pdf/Smart_Grid_Energy_Storage.pdf

Tehtaan poikkeustilanteiden hallinnan kannalta energiavaraston tulee olla riittävän nopeasti sähköä luovuttava ratkaisu. Käytännössä tämän ehdon täyttää tehdasympäristössä erilaiset akut, superkondensaattorit ja vauhtipyörät. Käytännön ongelmana on näiden ratkaisujen varastointikapasiteetin kallis hinta. Sähkövaraston kapasiteetti tulee mitoittaa siten, että sen avulla ehditään käynnistämään esimerkiksi varavoimana oleva moottorivoimalaitos. Energiavarastot voivat olla hajautettuna käyttökohteen lähelle ja käsittää erilaisia varastointiratkaisuja kohteen tarpeiden mukaan.

Sähkö- ja lämpöenergian varastointitekniikoita on tarjolla useita. Alla olevassa kuvassa esitellään eri energian varastointitekniikoiden kypsyysasteita eli ovatko ne jo kaupallisessa vaiheessa vai vielä tutkimus- tai kokeiluvaiheessa.



Kuva X: Erilaisten energian varastointitekniikoiden valmius kaupalliseen käyttöön.
Lähde: Technology Roadmap Energy storage, International Energy Agency (IEA), 2014
https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapEnergystorage.pdf

Lämmön varastointiin käytetään yleisesti vettä, koska se on ympäristöystävällinen ja hinnaltaan edullinen aine, joka pystyy varaamaan lämpöenergiaa itseensä ison määrän tilavuuteen nähden. Vesivarasto voi olla sijoitettuna maan alle, jolloin se voidaan suojata hyvin lämpöhäviöiltä. Lämmön varastointiin voi käyttää myös muita menetelmiä kuten erilaisia faasimuutosmateriaaleja, mutta niillä toteutetut ratkaisut ovat kalliimpia ja haasteellisia skaalata isoon mittakaavaan. Näissä materiaaleissa tapahtuu käytössä myös vanhenemisilmiöitä, jolloin niiden lämmön varastointikapasiteetti heikkenee käytön mukaan.

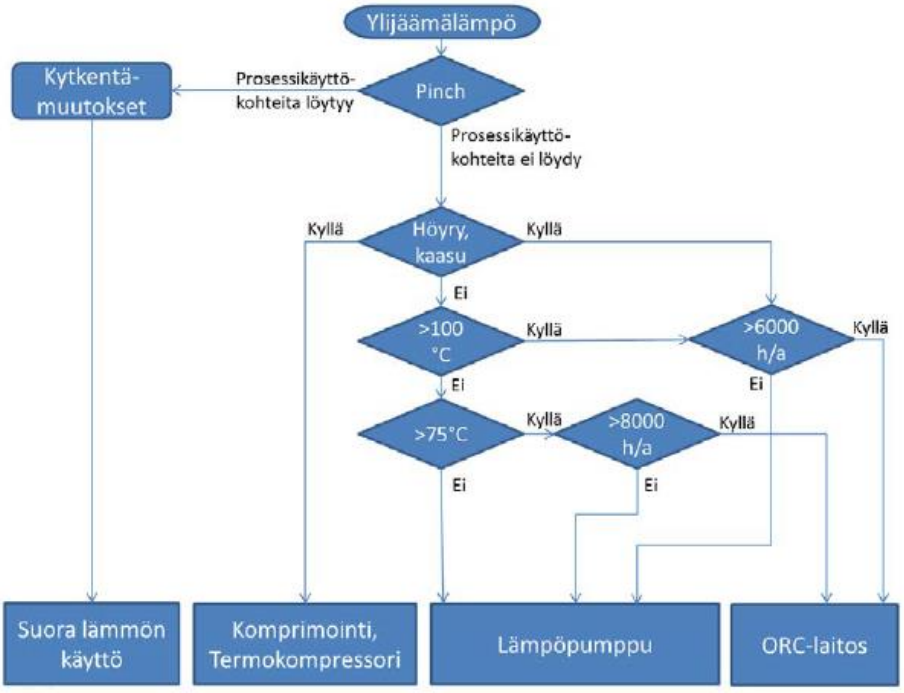
Jos tehtaan toiminnassa on mahdollista säätää energian kulutushetkiä tai sillä on käytössä merkittävää varastointikapasiteettiä, voidaan energia-kustannuksia pienentää kysyntäjoustolla. Kysyntäjoustolla tarkoitetaan sähkönkäytön siirtämistä korkean kulutuksen ja hinnan tunneilta edullisempaan ajankohtaan tai käytön hetkellistä muuttamista tehotasapainon hallinnan tarpeisiin. Sähkön pörssihinta vaihtelee tunneittain ja päivittäin. Kysyntäjoustolla pystytään hyödyntämään edullisia sähköpörssin hintoja. Kysyntäjoustoa pystyy hyödyntämään, jos tehtaan toiminta ei häiriinny vaikka sähkön syöttöä rajoitettaisiin lyhyehköiksi ajoiksi tai jos on käytettävissä omaa edullista sähköntuotantokapasiteettia ja sähkövarasto. Suomessa suurteollisuuden kuormat ovat toimineet tehotasapainon ylläpidossa käytettävinä reserveinä jo pitkään, keskittyen erityisesti paljon energiaa kuluttavaan suurteollisuuteen, kuten metsä-, metalli- ja kemianteollisuuteen.

Ylijäämälämpö

Ylijäämälämpö on prosessiteollisuuden, energiateollisuuden ja muiden tuotantolaitosten käyttämästä primäärienergiasta hyödyntämättä jäävä usein matalalämpöinen osuus, joka johdetaan ympäristöön useimmiten lämpimän veden tai ilman muodossa.

Euroopan parlamentti ja neuvosto antoi 25.10.2012 energiatehokkuusdirektiivin, joka astui voimaan 4.12.2012 ja tulee olla implementoitu osaksi kansallista lainsäädäntöä 4.6.2014. Direktiivi artikla 14 sisältää mm. kaukolämmön, -jäähdytyksen ja yhteistuotannon edistämisen. Artiklan mukaan jäsenvaltion on tehtävä kattava arvio kaukolämmityksen, -jäähdytyksen ja tehokkaan yhteistuotannon potentiaalista ja analyysin tueksi tulee tehdä kansallinen kustannus-hyötyanalyysi, jossa arvioidaan potentiaalien taloudellisia hyödyntämismahdollisuuksia. Mikäli arvio ja analyysi osoittavat potentiaalin olemassaolon, tulee jäsenvaltion ottaa käyttöön toimia, joilla kannustetaan tehokkaan kaukolämmityksen, -jäähdytyksen ja yhteistuotannon käyttöönottoon.

Analyysissä voidaan käyttää ns. Pinch-menetelmää, joka perustuu termodynamiikan 1. ja 2. pääsääntöön, mutta sisältää myös taloudellisen tarkastelun, verkoston vuorovaikutukset ja laitevalinnan ehdot. Menetelmän avulla voidaan määrittää prosessille taloudellisesti optimaalinen lämmönsiirtoverkosto siten, että lasketaan termodynamiikkaan ja taloudellisiin reunaehtoihin perustuva ulkoisen energian kulutustavoite.



Kuva X: Ylijäämälämmön mahdollisia hyödyntämistapoja.

Lähde: https://www.motiva.fi/files/10217/Ylijaamalammon_taloudellinen_hyodyntaminen_Lampopumppu-_ja_ORC-sovellukset.pdf

Ylijäämälämmön hyödyntämismahdollisuuksiin vaikuttaa käytettävissä olevan väliaineen lämpötila ja jatkuva saatavuus sekä tietenkin taloudellisesti perusteltu lämmön käyttö-kohde.

Jäähdytys

Tehtaan tuotantoprosessit tarvitsevat sähköenergiaa, joka muuttuu prosesseissa ainakin osittain lämpöenergiaksi ja ylijäämälämmöksi. Tietyt kemialliset prosessit kuten ns. eksotermiset reaktiot tuottavat myös itse lisälämpöä tuotantojärjestelmään. Ylijäämälämpöä syntyy tuotantoprosessin eri vaiheissa ja sitä joudutaan poistamaan lämpötilasta ja -määrästä riippuen erilaisilla tavoilla. Lämmönhallintaan tarvitaan erilaisia jäähdytysratkaisuja. Jäähdytys tarkoittaa lämpöenergian siirtämistä säteilyn, johtumisen, konvektion tai haihtumisen avulla.
Yksinkertaisimmillaan ulkoilmaa voidaan käyttää suoraan tai tuulettimien avulla rakennuksen tilojen ja prosessien jäähdytykseen, kun ulkoilma on jäähdytettävää kohdetta viileämpää. Isossa tehtaassa on tyypillisesti tarve soveltaa erilaisiin kohteisiin erilaisia lämmönhallinnan jäähdytystekniikoita.

Vesi on tyypillinen jäähdytykseen ja lämmön siirtoon käytetty myrkytön, edullinen ja ympäristöystävällinen väliaine. Vedellä on tilavuuteen nähden suhteellisen suuri energian varauskyky eri olomuodoissaan. Vesi pystyy kuljettamaan tai varastoimaan ison määrän energiaa lämpöjärjestelmissä tilavuusyksikköä kohden. Veden keskeisiä lämpöteknisiä ominaisuuksia ovat:

- ominaislämpökapasiteetti: kiinteä (jää 0°C) 2060 J/(K·kg)
- sulamislämpö: 333 kJ/kg (0°C)
- ominaislämpökapasiteetti: neste 4186 J/(K·kg)
- höyrystymislämpö: 2260 kJ/kg (100°C)
- vesihöyryn ominaislämpökapasiteetti vakiopaineessa 2,00 kJ/(K·kg)
- tiheys: 4°C lämpötilassa 1000 kg/m^3 = 1,000 kg/l = 1,000 g/cm^3, muissa lämpötiloissa veden tiheys on pienempi

Ominaislämpökapasiteetti kuvaa, kuinka paljon lämpöenergiaa materiaaliin sitoutuu lämpötilaeroa ja massaa kohti. Sulamislämpö on aineelle ominainen vakio, joka kertoo, kuinka paljon energiaa tarvitaan, kun aineen olomuoto muuttuu kiinteästä nesteeksi. Höyrystymislämpö on aineelle ominainen lämpömääränä, joka vaaditaan aineen höyrystymiseen. Edellä esitetyissä veteen liittyvissä vakioissa on käytetty lämpötilan yksikkönä absoluuttista lämpöasteikkoa eli kelvinasteikkoa (K), mutta esitetyissä laskuissa voi käyttää Kelvinin sijaan myös Celsius-asteikkoa (°C).

Nykyisten arvioiden mukaan tehdas tarvitsee toimintaansa makeaa raakavettä noin 400 m^3 tunnissa eli 0,11 m^3 sekunnissa. Tämä vesimäärä on massavirtana 110 kg/s. Se, miten veden käyttö jakautuu tehtaan prosessien kuten pesu ym. vesiin ja jäähdytykseen ei ole tietoa. Veden käyttöön vaikuttaa myös kuinka suljettuja kiertoja eri käyttökohteissa veden käytölle rakennetaan.

Tuotantoprosessissa käytettävä vesi täytyy suodattaa ja puhdistaa, sillä sen täytyy olla erityisen puhdasta. Suoraan joesta otettava raakavesi ei kelpaa sellaisenaan käytettäväksi.

Tehtaasta poistuvan jäähdytysveden lämpötilan on arvioitu olevan noin 37 – 39 °C.

Oletetaan, että edellä mainittu sisään otettava vesimäärä käytetään ainoastaan jäähdytykseen ja veden lämpötila olisi talvella noin 1°C. Tämä vesimäärä pystyy sitomaan lämpötehoa itseensä 39°C loppulämpötilassa seuraavasti:

110 kg/s*4186 J/(kg*K)*(39-1) K = 17 497 480 W eli noin 17,5 MW

Tämä lämpötehon määrä on vuorokautisena energiana 24h*17,5 MW = 420 MWh.

Kesällä sisään tulevan raakaveden lämpötila on lämpimillään yli 20°C ja siten samaan vesimäärään voidaan sitoa vähemmän energiaa. Jos ulos tulevan veden lämpötila on edelleen 39°C niin siihen voi sitoutunut lämpöenergiaa seuraavasti:

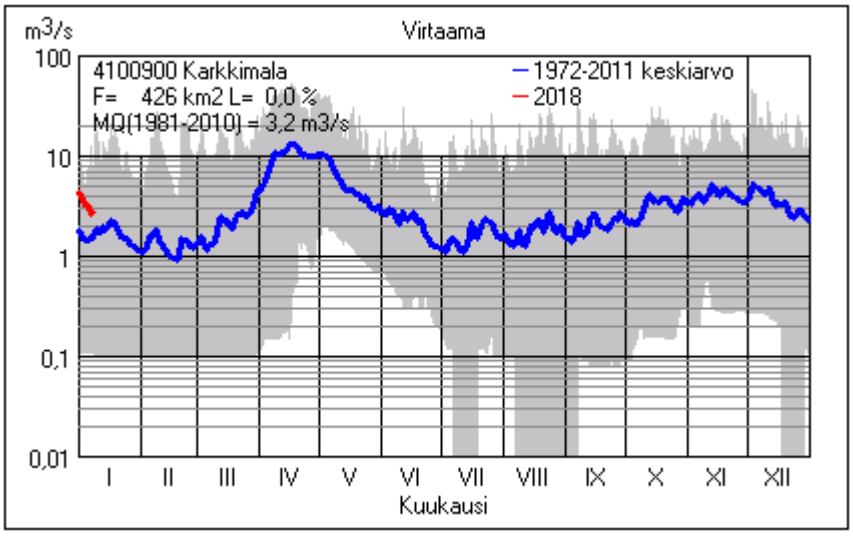
110 kg/s*4186 J/(kg*K)*(39-20)K= 8 748 740 W eli noin 8,7 MW.

Tämä energiamäärä on vuorokautisena tehona 24h*8,7 MW noin 209 MWh.

Kesällä tehtaan jäähdytystarve on todennäköisesti suurempi kuin talvella johtuen kesän korkeammasta ympäristön lämpötilasta ja vähemmästä omien tilojen lämmittämisestä. Jos kesällä halutaan jäähdyttää samalla teholla kuin talvella kylmemmän sisään tulevan veden aikaan tulee jäähdytysveden määrää kesällä kasvattaa merkittävästi tai ratkaista lisäjäähdytys muilla tavoilla. Jäähdytystehoon liittyviä laskelmia eri vesimäärillä ja lämpötiloilla voi tehdä Excel-tiedoston laskentapohjassa.

Jäähdytysveden käytön jälkeinen lämpötila vaikuttaa siihen, miten veteen sitoutunutta energiamäärää voidaan taloudellisesti hyödyntää jollain muulla tavalla. Akun valmistusprosesseja tarvitaan joissain vaiheissa korkeita lämpötiloja kuten esimerkiksi litioinnin uunituksissa. Näistä kohteista saatavan jäähdytysveden lämpötila on riittävän korkea hyödynnettäväksi suoraan kaukolämpöön, jos vain kohteista saatavan veden määrä riittää. Matalalämpöisemmän jäähdytysveden hyödyntäminen on mahdollista korottamalla veden lämpötilaa lämpöpumpuilla sellaiseksi, että se kelpaa kaukolämpöjärjestelmään. Kaukolämpöveden lämpötila vaihtelee tyypillisesti kovimpien pakkasten yli 100 ^{0}C:sta kesäajan noin 70 ^{0}C:seen.

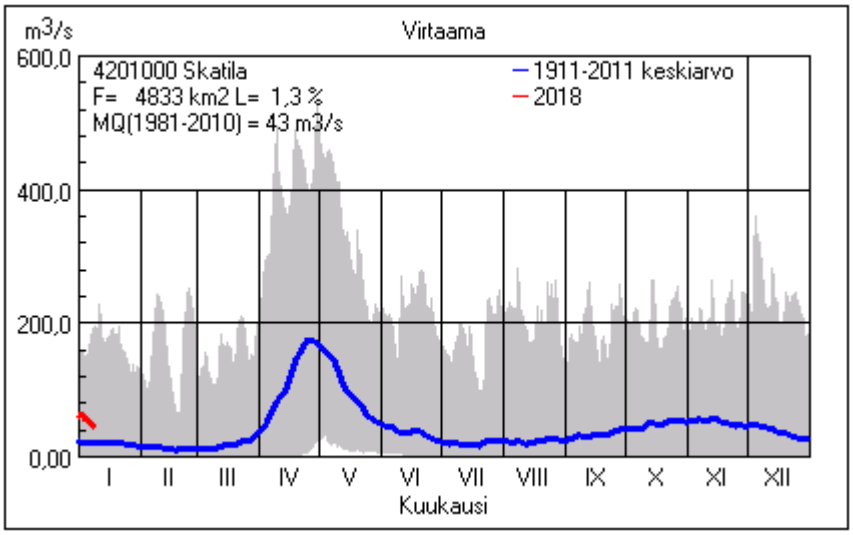
Jäähdytys- ja prosessivettä tarvitaan tehtaan tuotantoprosessin hallinnassa. Alla tehdasalueen lähellä kulkevan Laihianjoen ja hieman etäämmällä virtaavan Kyrönjoen vesien virtausmäärät vuoden eri kuukausina. Sininen käyrä kuvaa mittapisteen virtaaman [m^3/s] keskiarvoa vuoden eri aikoina vuosilta 1972 -2011. MQ (1981-2010) kertoo mittapisteen keskivirtaaman. Laihianjoen/Tuovilanjoen veden virtaama Karkkimalan mittapaikan kohdalla vaihtelee noin 0,01 m^3/s:sta hieman yli 10 m^3/s keskivirtaaman MQ (1981-2010) ollessa 3,2 m^3/s eli 11 520 m^3 tunnissa.



Kuva X: Laihianjoen/Tuovilanjoen veden virtaama eri kuukausina Karkkimalan mittauspisteessä. Lähde: http://wwwi3.ymparisto.fi/i3/tilanne/fin/virtaama/lsu.htm

Tuovilanjoen vesimäärä ei näyttäisi olevan riittävä tehtaan jatkuvaan tarpeeseen. Tämän vuoksi tehtaalle johdettava raakavesi tulisi ottaa Kyrönjoesta. Varastoaltailla voidaan tarvittaessa tietenkin tasata joesta otettavaa raakavesimäärää vähävetisinä aikoina. Huomattavan vesimäärän ottaminen Tuovilanjoesta saattaa aiheuttaa myös merkittäviä ongelmia ympäristön kannalta.

Kyrönjoen veden keskivirtaama Skatilan mittapisteen kohdalla MQ (1981-2010) = 43 m^3/s eli 2580 m^3 tunnissa. http://wwwi3.ymparisto.fi/i3/tilanne/FIN/virtaama/LSU.htm

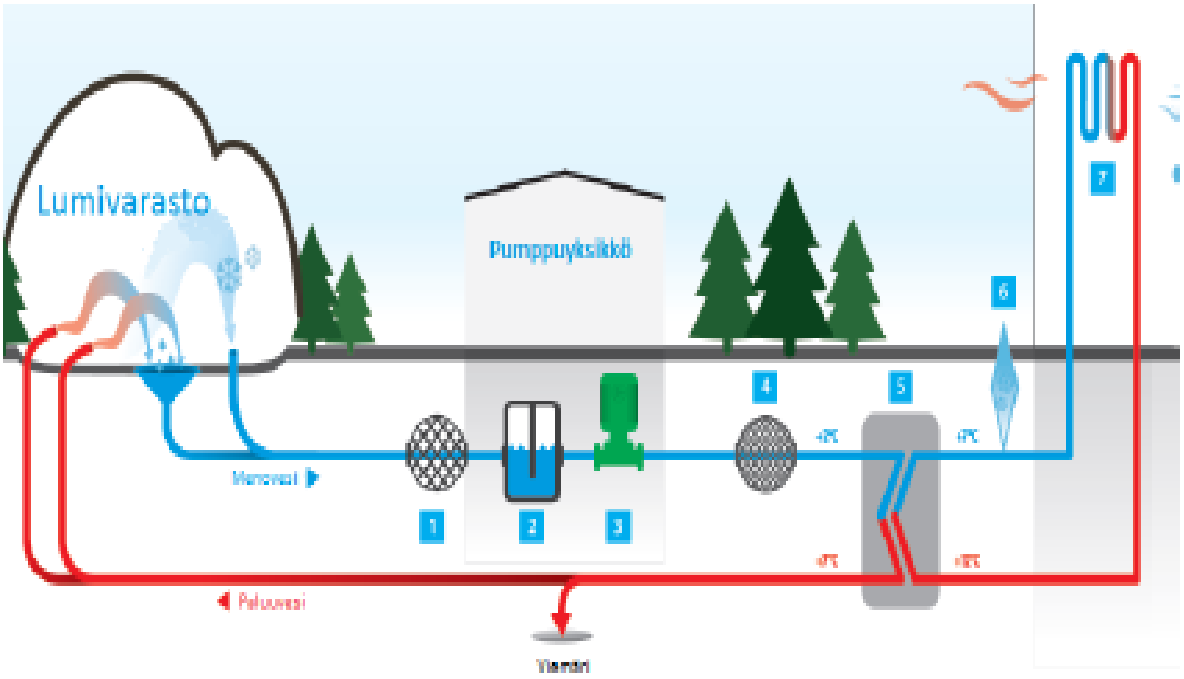


Kuva X: Kyrönjoen veden virtaama eri kuukausina Skatilan mittauspisteessä. Lähde: http://wwwi3.ymparisto.fi/i3/tilanne/fin/virtaama/lsu.htm

Joessa virtaavan veden määrän vaihtelu erityisesti kuivina vähävetisinä kesinä saattaa olla tehtaan vedentarpeen kannalta haaste. Virtausmäärän vaihtelun tasaamisessa olisi tarve rakentaa riittävä raakavesivarasto tehdasalueen ja joen väliin vedenpuhdistamon yhteyteen. Pilvilammen vesivaraston hyödyntäminen ei ilmeisesti ole ratkaisu tähän ongelmaan. Erillistä vesivarastoa voitaisiin hyödyntää myös jäähdytysaltaana, jos tehtaan

käyttämälle jäähdytysvedelle olisi toteutettu suljettuja kiertoja. Suljetulla veden kierrolla saataisiin vähennettyä joesta otettavan uuden veden määrää.

Jäähdytykseen on mahdollista käyttää myös talven aikana varastoitua jäätä/lunta, kuten Ruotsissa Sundsvallin sairaalassa on tehty.



Kuva X Lumi/jäävaraston käyttö jäähdytyksessä.

Lähde: Jukka Heino: Lumen varastointi ja hyödyntäminen tilojen jäähdytykseen, Case: Kone Oyj Diplomityö, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, 2015
http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/103389/Lumen%20varastointi%20ja%20hy%C3%B6dynt%C3%A4minen%20tilojen%20j%C3%A4%C3%A4hdytykseen%2C%20Case%20Kone%20Oyj.pdf?sequence=3

Esimerkkilaskelma jäävaraston jäähdytyspotentiaalista.

Jos talven aikana varastoitua jäätä käytetään jäähdytykseen niin esimerkiksi 1000 kg lämpötilaltaan -5°C jäätä sitoo energiaa lämmitäkseen 39°C asteiseksi vedeksi seuraavasti:

Jään lämpeneminen (-5 - 0)°C:

1000 kg*2060 J/(K·kg)*5 K = 10 300 000 J

Jään sulaminen 0 °C (latenttilämpö):

1000 kg*333000 J/kg = 333 000 000 J

Veden lämpeneminen (0 – 39)°C:

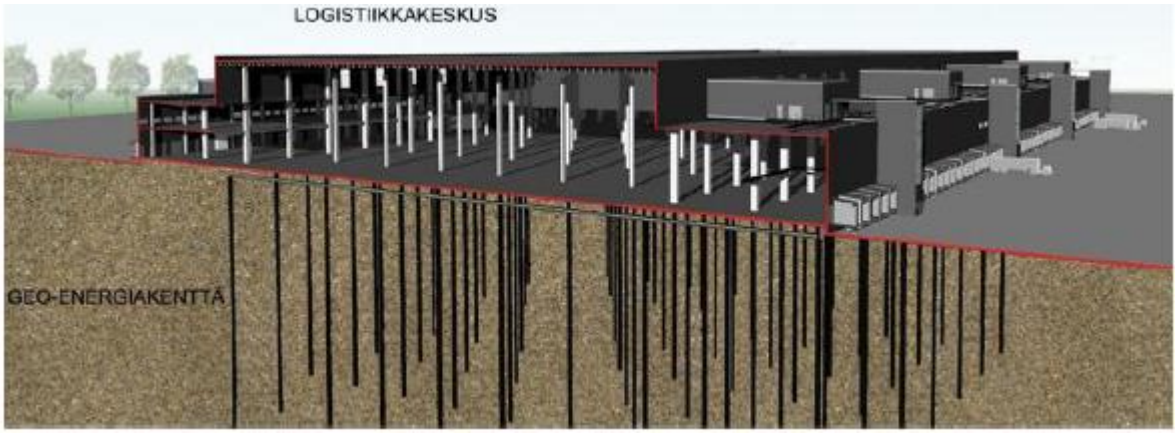
1000 kg*4186 J/(K·kg)*39 K = 163 254 000 J

Energia yhteensä: 506 554 000 J eli noin 140,7 kWh.

Jään sijasta jäähdytykseen voidaan käyttää luntakin, mutta se ei jäähdytysmielessä sido yhtä paljon energiaa jäähdytyskäytössä tilavuuteen nähden kuin jää. Lumen tiheys vaihtelee huomattavasti tilanteesta riippuen, sillä juuri sataneen pakkaslumen tyypillinen

tiheys on 70 kg/m^3, kun taas sulaneen ja jääksi muuttuneen lumen tiheys voi olla 910 kg/m^3. https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK110303.pdf

Maaperää voi käyttää myös jäähdytykseen kuten SOK:n Sipoon logistiikkakeskuksessa on tehty. Sipoossa energiakaivoista on muodostettu laaja porakaivokenttä, jota pystytään käyttämään kiinteistön jäähdytystarpeisiin. Porakaivokenttä sisältää yhteensä 150 energiakaivoa kukin syvyydeltään noin 300 m. Energiakaivojen suunniteltu jäähdytyskapasiteetti on 3,2 GWh, josta kaivon pituusmetriä kohti laskettuna saadaan jäähdytysenergiaksi runsaat 70 kWh/kaivometri. Porakaivokentän laajuus noin 100 000 m^2. Kaivoja voi käyttää tarvittaessa myös lämmitykseen maalämpöpumppujen avulla. Lämmityskäytöllä pystytään parantamaan kaivojen tehoa jäähdytyskäytössä. [42]



Kuva X: Periaatekuva SOK:n Sipoon logistiikkakeskuksen energiakaivokentästä. []

Maaperän energiaa voi hyödyntää myös energiapaaluteknologialla. Energiapaalu muodostuu teräsputkipaalusta ja lämmönkeruuputkistosta. Energiapaalut soveltuvat erityisesti kohteisiin, joissa tarvitaan sekä lämmitystä että jäähdytystä vuodenajasta riippuen. Energiapaaluja voi hyödyntää erityisesti rakennuskohteissa, joissa maaperä vaatii joka tapauksessa paalutuksen.

Jos ylijäämälämmölle ei keksitä järkevää ja taloudellista hyötykäyttöä, niin sitä voidaan poistaa esimerkiksi lämmönvaihtimien kautta jokiveteen tai juoksuttaa putkea pitkin mereen. Näissä ratkaisussa on tietenkin huomioitava mahdolliset ympäristövaikutukset. Kun ylijäämälämmölle löydetään myöhemmin hyötykäyttöä, voitaisiin näiden jäähdytystapojen käyttöä helposti vähentää.

Jäähdytysenergia kaukolämpönä

Edellä esitetyissä laskelmissa tehtaan jäähdytysveden loppulämpötila oli vain 39-°C. Se ei kuitenkaan riitä sellaisena kaukolämpöverkkoon, vaan verkostoon johdettavan veden lämpötila tulisi nostaa kesälläkin noin 70-80 °C:n ja talvella noin 110 °C:n. Jäähdytysveden lämpötilan nostoon voidaan käyttää tarvittaessa lämpöpumpputeknologiaa.

Akkutehtaan tuotantoprosessissa on kuitenkin useampia vaiheita, joissa valmistettavan akun aihiota käsitellään uuneissa korkeassa lämpötilassa. Elektrolyytin sekoituksessa syntyy myös kemiallisessa reaktiossa lisälämpöä, joka tulee jäähdyttää. Kemiallisen

reaktion lämmöntuotosta ei ole tietoa, joten sitä ei ole huomioitu ylijäämälämmön tuotontolaskelmissa. Esimerkiksi litiointiprosessissa on käytössä uuneja, joiden toimintalämpötila on 700-800 °C. Näistä kohteista saatavaa ylijäämälämpöä olisi edullista käyttää suoraan kaukolämpöverkkoon, jolloin mahdollisesti vältyttäisiin lämpöpumpuilla tehtävästä veden lämpötilan korotuksesta. Jos riittävän kuumaa vettä on ylimäärin tarjolla, voitaisiin sitä käyttää jopa sähkön tuotantoon ORC-prosessissa tai Stirling-moottoreissa.

Kesäaika tulee olemaan tehtaan ylijäämälämmön hyötykäytön kannalta erityisen haasteellista. Kesällä ympäristön lämpötila on korkeampi ja myös jäähdytystä tarvitaan enemmän. Kesällä ei kuitenkaan voida tehtaan ylijäämälämpöä syöttää kaupungin kaukolämpöverkkoon, koska kaukolämmön tarve on vähäistä ja tarvittava lämpömäärä saadaan jätteenpolttolaitoksen prosesseista. Jätteenpolttolaitoksen täytyy toimia läpi vuoden ja sen tuottama lämpö tulee siten käyttää ensisijaisena lämmöntuotantotapana kaukolämpöverkossa.

Ylijäämälämmön pitkä siirtomatka tehdasalueelta käyttäjille aiheuttaa kaukolämpöveden energiasisältöön lämpöhäviötä ja siten asiakkaalle myytävä lämpöenergian määrä pienenee.

Jäähdytysveden kaupallinen hyödyntäminen akkutehtaan lähialueella on ainakin toistaiseksi vaikeaa, koska alueelle ei ole vielä muotoutunut merkittävää rakennuskantaa, joka voisi hyödyntää käytettävissä olevaa lämpöenergiaa. Todennäköisesti tehtaan lähialueelle tulee tulevaisuudessa lämpöenergian tarvitsijoita uusien yritysten ja asutuksen myötä.

Lähialueella on Vaasan lentokenttä, jonka kiitoratoja voitaisiin periaatteessa pitää sulana ja lumettomana ylijäämälämmöllä. Tämän ratkaisun taloudellista kannattavuutta on kuitenkin vaikea arvioida. Runsorin alueella on kaukolämpöön kytkettyjä rakennuksia, joiden lämmitykseen voitaisiin käyttää akkutehtaan ylijäämälämpöä.

Lämpöpumput

Lämpöpumppu koostuu kompressorista, lauhduttimesta, paineenalennusventtiilistä ja höyrystimestä sekä näitä yhdistävästä putkistosta. Lämpöpumppu siirtää lämpöenergiaa paikasta toiseen väliaineen eli ns. kylmäaineen avulla. Kompressori pitää lämpöä siirtävää kylmäainekiertoa yllä. Lämpöpumppujen toiminta perustuu laitteessa kiertävän kylmäaineen faasimuutoksiin eli höyrystymiseen ja lauhtumiseen. Höyrystyessään kylmäaine sitoo itseensä lämpöä ympäristöstä ja lauhtuessaan vapauttaa lämmön haluttuun kohteeseen.

Lämpöpumpuilla voidaan hyödyntää matalalämpöistä ylijäämälämpöä, nostamalla sen lämpötila tasolle, jolla lämpöenergiaa voidaan käyttää hyödyksi teollisissa prosesseissa, kaukolämpöverkoissa tai muissa vastaavissa kohteissa. Lämpöpumpuilla pystytään tuottamaan käyttökelpoista lämpöä suhteellisen kylmästä ylijäämälämpövirrasta kohtuullisilla käyttöenergian kulutuksella. Tyypillisissä sovelluksissa ylijäämälämmön lämpötila on alle 55 °C ja tuotettu lämpö syötetään esimerkiksi kaukolämpöverkkoon. 80 - 95 °C lämpötilassa. Lämpöpumppulaitteiston toteutettavuuden perusedellytyksiä ovat, että käytettävissä oleva ylijäämälämpövirta on riittävän suuri ja stabiili sekä tietenkin tuotetulle lämmölle löytyy sopiva vakaa käyttökohde. Lämpöpumpulla tuotettaessa lämpöä tuotetaan samalla myös jäähdytystä. Jäähdytyksen hyötykäyttö parantaa laitteiston hankinta- ja käyttöedellytyksiä. Käytetty kylmäaine vaikuttaa lämpöpumpun ominaisuuksiin. [37]

Esimerkki ison mittakaavan lämpöpumppusovelluksesta löytyy Helsingin Energialta eli Heleniltä Sörnäisistä, jossa on ollut käytössä vuodesta 2006 lähtien Katri Valan lämpöpumppulaitos. Laitos koostuu viidestä erillisestä lämpöpumpusta, joita voidaan ajaa varsin itsenäisesti. Laitos on maailman suurin maanalainen lämpöpumppulaitos, sekä maailman suurin lämmön ja jäähdytyksen tuotantoa yhdistävä lämpöpumppulaitos. Lämpöpumppulaitos ottaa talteen puhdistetun jäteveden ylijäämälämmön sekä erityisesti kesäaikaan myös kaukojäähdytyksen paluuveden ylijäämälämmön. Ylijäämälämmön lämpötila nostetaan lämpöpumpun avulla lähelle 90 °C:ta. Kun kaukojäähdytyksen paluuvedestä otetaan ylijäämälämpö pois, se jäähtyy noin 4 °C:seen ja lähtee uudelle kierrokselle kaukojäähdytysputkiin. Laitos tuottaa kaukolämpöä 90 MW ja kaukokylmää 60 MW.

ORC-laitos

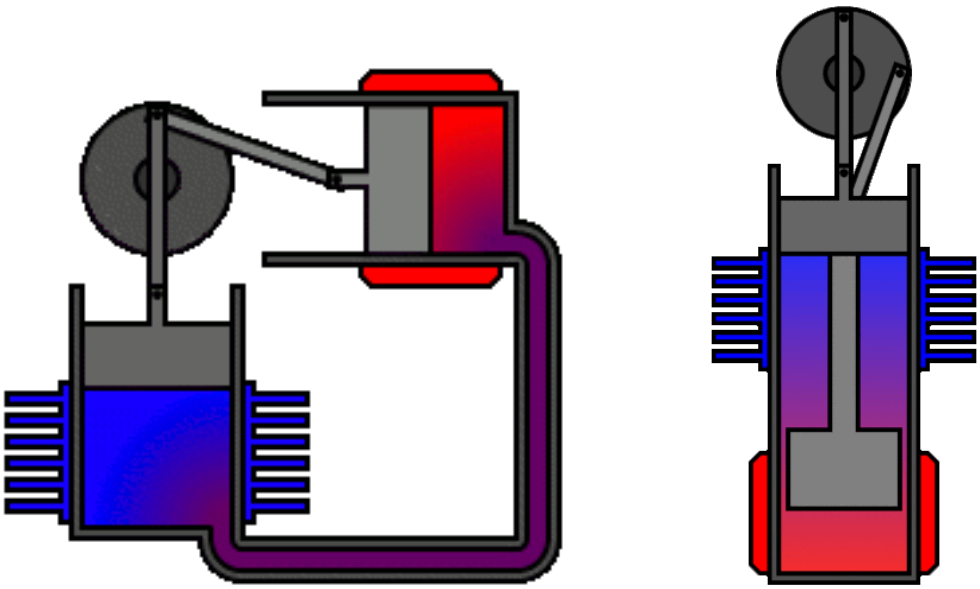
ORC-tekniikka (*Organic Rankine Cycles*) mahdollistaa suhteellisen matalassa lämpötilassa olevan lämpöenergian hyödyntämisen sähköntuotannossa. Tällaista energiaa on saatavilla monista uusituvan energian lämmönlähteistä kuten geotermisestä energiasta, biomassasta, aurinkoenergiasta, teollisuus- ja lämpövoimaloiden hukkalämmöstä sekä muusta ylijäämälämmöstä. Lämpöpumppujen tekniikkaa voidaan hyödyntää matalalämpöisen ylijäämälämmön lämpötilan nostamisessa tasolle, jolla lämpöenergiaa voidaan käyttää ORC-laitoksessa. ORC-laitos soveltuu parhaiten kohteisiin, jossa on käytettävissä jatkuvasti yli 100-asteista ylijäämälämpöä. Viileämpää lämpöenergiaa on mahdollista hyödyntää, mutta laitoksen hyötysuhde laskee.

ORC-tekniikalla toteutettu voimalaitos on yleisperiaatteeltaan ja toiminnoiltaan samanlainen kuin vettä väliaineena käyttävä perinteinen höyryturbiinilaitos. Teknologian perustana on perinteisen höyryturbiinin toiminta, jossa korkeapaineisen vesihöyryn entalpia muutetaan mekaaniseksi voimaksi, joka turbiinin avulla pyörittää sähkögeneraattoria. ORC-tekniikassa väliaineena käytetään veden sijaan jotain orgaanista ainetta (esim. tolueeni, isobutaani, isopentaani tai erilaisia silikoniöljyjä), jonka höyrystymislämpötila on vettä alhaisempi. ORC-tekniikalla muutetaan siten lämpöenergiaa sähköenergiaksi. ORC-prosessi ei tarvitse lisäpolttoainetta toimiakseen, joten sen tuottama sähkö ei lisää hiilidioksidipäästöjä. Tuotetun sähkön voi käyttää joko itse tuotannossaan tai myydä sähköverkkoon.

Stirling

Stirling-moottori on lämpövoimakone, jonka käyttöaineena on kaasu eikä se tarvitse toimiakseen sähköä. Stirling-moottoreista on olemassa kolme hieman erilaista (alfa, beta, gamma) rakenneratkaisua. Stirling-moottori tuottaa mekaanista energiaa lämpötilaerojen avulla. Stirling-moottorissa olevaa kaasua vuoroin jäähdytetään ja lämmitetään, mikä saa kaasun paineen vaihtelemaan. Tämä paineen vaihtelu muutetaan männän avulla voimaksi ja liikkeeksi, jonka avulla voidaan tuottaa sähkögeneraattorin avulla sähköä. Stirling-moottorin toimintaan vaikuttaa siis kylmän ja kuuman lämpötilan suhde.

Stirling koneilla olisi periaatteessa mahdollista tuottaa soveltuvin osin tehtaan ylijäämälämmön avulla päästöttömästi sähköä. Jos tuotettu sähkö halutaan syöttää tehtaan sähköverkkoon, tarvitaan lisäksi ainakin taajuusmuuttaja ja mahdollisesti myös muuntaja sovittamaan tuotettu sähkö verkon vaatimuksiin. Taloudellista kannattavuutta on tässä vaiheessa vaikea arvioida, koska tehtaan ylijäämälämpötiloista ja -määristä ei ole tietoa.



Kuva X: Alfa- (vasemmalla) ja beta-tyypin (oikealla) Stirling-moottoreiden rakenne. Punainen kuvaa kuumaa kaasua ja sininen viileämpää kaasua.
Lähde: https://fi.wikipedia.org/wiki/Stirlingmoottori

Vaasan kaukolämpöverkko

Vaasassa on laaja 238 km pitkä kaukolämpöverkko asuinalueilla ja sillä katetaan lähes 90 % lämmitystarpeesta. Vaasan kaukolämmön myynti oli vuonna 2016 yhteensä 685 GWh ja huipputeho 280 MW sekä asiakasmäärä 3213 asiakasta. Vaasan kaukolämmöstä valtaosa (vuonna 2016: 98 %) tuotetaan ympäristöystävällisesti yhteistuotannolla Vaskiluodon Voiman voimalaitoksella ja Westenergyn vuonna 2012 valmistuneella modernilla jätteenpolttolaitoksella. Vaasan Suvilahdessa tuotetaan pieni määrä kaukolämpöä sähkön lisäksi mikroturbiinilaitoksella, joka käyttää polttoaineena vanhalta kaatopaikalta vapautuvaa kaasua. Vaskiluodon voimalaitoksen polttoaineteho on 140 megawattia. Westenergyn polttoaineteho on 61 MW ja kaukolämpöteho 40 MW_t. Kun kaukolämpöä tuotetaan osittain jätteenpolttolaitoksella, se voi rajoittaa muiden lämmön-tuotantotapojen käyttöä. Jätteenpoltto on keino hävittää jätteitä ja sitä ajetaan tyypillisesti pohjalla eli ensisijaisena lämmöntuotantomuotona.

Kuva X: Vaasan kaukolämmön tuotanto laitoksittain.

Lähde: https://www.vaasansahko.fi/FI/Sisalto/Pages/Tuotanto.aspx

Lähtevän kaukolämpöveden lämpötila vaihtelee sään mukaan 65 ... 115 ºC välillä. Asiakkailta palaavan veden lämpötila vaihtelee 25 ... 50 ºC välillä. Alimmillaan lämmön tarve on kesällä, jolloin lämpöä tarvitaan vain käyttöveden lämmittämiseen. Vuoden sisällä eri kuukausina lämpöenergian tarve vaihtelee merkittävästi.

https://www.vaasansahko.fi/FI/Sisalto/Documents/A05.01%20rakentajalle_kaukol%C3%A4mp%C3%B6_k%C3%A4yt%C3%A4%20kaukol%C3%A4mp%C3%B6%C3%A4%20oikein_suomi.pdf

Vaasan kaukolämpöverkkoa ei toistaiseksi ole rakennettu suunnitellulle Laajametsän suurteollisuusalueelle. Kaukolämpöverkkoa voisi laajentaa Laajametsän suurteollisuus-alueelle, jolloin tehtaan ylijäämälämpöä voitaisiin hyödyntää myös kaupungilla sijaitsevien kaukolämpökohteiden lämmityksessä. Suunnitellulla suurteollisuusalueella ei toistaiseksi ole riittävästi toimijoita, joiden tarpeisiin voitaisiin lähialueella käyttää suuren tehtaan tuottamaa ylijäämälämpöä. Laajametsän suurteollisuusalue on melko etäällä asuinalueista, joissa voitaisiin hyödyntää kaukolämpöä rakennusten lämmittämiseen. Tehtaan ylijäämälämmön hyödyntäminen kaukolämpöverkossa vaatisi merkittäviä investointeja verkostoon. Tehtaan tuottama ylijäämälämpömäärä on kuitenkin hyvin suuri ja lämmölle pitäisi löytää uusia käyttökohteita. Tehtaan tarvitsema jatkuva sähköteho on 300 MW ollen vuositasolla energiana 2 628 GWh. Tämä energiamäärä on noin 3,8 kertainen Vaasan kaukolämmön vuonna 2016 toimittamaan vuotuiseen lämpöenergiaan suhteutettuna. Koko energiamäärä ei tietenkään ole hyödynnettävissä kaukolämpönä,

mutta noin neljäsosa tehtaan kokonaisenergiamäärästä riittäisi kattamaan yksistään koko Vaasan kaukolämmön vuosimyynnin.

Tehdasalueella ei toistaiseksi ole lähellä merkittävää määrää lämpöenergiaa tarvitsevia toimijoita. Kun alueen rakenne kehittyy tulevina vuosina myös lämmön tarve lähialueella kasvaa. Ylijäämälämmön hyödyntämistapa pitäisi olla siksi skaalautuva, että se soveltuisi mahdollisimman hyvin ja kustannustehokkaasti myös tulevien vuosien lähialueen lämmöntarpeisiin.
Tehtaan ylijäämälämmön kytkeminen Vaasan kaukolämpöverkkoon vaatisi uuden kaukolämpöputken rakentamista arvion mukaan ainakin 7-8 kilometriä. Tämän kokoluokan kaukolämpöputken (DN500-DN600) rakentaminen maksaisi asiantuntija-arvion mukaan noin 1000 EUR/metri. Lisäkustannuksena olisi vielä tarvittavat laitteistot. Laitteisto ja sen hinta riippuu osittain tehtaan tuottaman ylijäämälämmön lämpötilasta ja määrästä. Nämä seikat vaikuttavat myös valittavaan teknologiaan. Kaukolämpöjärjestelmään kohdistuvia muita muutostarpeita on vaikea arvioida, mutta merkittävä lämpimän veden ja lämpöenergian lisäys järjestelmään aiheuttaa todennäköisesti myös muita muutostarpeita ja lisäkustannuksia. Investoinnin taloudellista kannattavuutta ja takaisinmakuaikaa on vaikea arvioida näillä tiedoilla.
Rakennettavan uuden 8 kilometrin kaukolämpöputken metrihinnaksi on arvioitu noin 1000 EUR/m, jonka mukaan putken hinnaksi tulisi 8 miljoonaa euroa. Putken rakenteeseen ja hintaan vaikuttaa miten jäähtynyt vesi käsitellään. Lisänä kokonaiskustannuksiin tulee mahdolliset lämpöpumppuinvestoinnit. Ison absorptiolämpöpumpun hinnaksi on arvioitu 5 MEUR. Näillä hinnoilla uuden järjestelmän investointikustannus olisi noin 13 MEUR. Tässä laskelmassa oletetaan, että olemassa oleva kaukolämpöverkko pystyy vastaanottamaan tehtaalta tulevan vesi- ja energiamäärän ilman merkittäviä lisäinvestointeja.
Tammikuussa 2018 Vaasan Sähkön myymän kaukolämmön lämpöenergian kuluttajahinta on 54,00 EUR/MWh eli arvonlisäveroton myyntihinta on noin 43 EUR/MWh.

Lähde: https://www.vaasansahko.fi/kaukolampo/kaukolammon-hinnat/

Jos tehtaan ylijäämälämpöä pystyttäisiin hyödyntämään koko Vaasan kaukolämpöjärjestelmässä Vaskiluodon voimalaitoksen tuottamalla vuotuisella lämpömäärällä 431 550 MWh olisi arvonlisäveroton myyntitulo tuosta lämpömäärästä vuodessa (43 EUR/MWh* 431 550 MWh) noin 18,5 MEUR. Tämä lämpömäärä edustaisi (100* (431 550 MWh/2 628 000 MWh)) noin 16,4 % tehtaan sisään ottamasta jatkuvasta 300 MW:n energiamäärästä.
Tehtaan tuottamaa kokonaislämpömäärää lisää valmistuksen kemiallisten prosessien tuottama lämpö. Todellista tehtaalta järkevästi hyödynnettävissä olevaa ylijäämälämmön määrää on vaikea arvioida nykyisillä tiedoilla, sillä ylijäämälämmön määrä riippuu tehtaalla käytettävistä prosesseista ja teknologiasta sekä omakäytön määrästä. Tehtaan tilojen lämmitykseen ja toimitettavien akkujen varaukseen kuluu osa sisään otettavasta energiamäärästä.

Ohjelmistoja energiatehokkuussimulointiin

Tietokoneiden nopeuden ja kapasiteetin lisäys on mahdollistanut uusien digitaalisten suunnittelutyökalujen hyödyntämisen rakennusten suunnittelussa. Simulointi- ja optimointityökalut helpottavat rakennusten suunnittelua, visualisointia ja energia- ja kustannusoptimointia ehdottamalla nopeasti mihin erilaiset rakenne- ja materiaaliratkaisut johtavat. Esimerkkeinä tällaisista ohjelmistoista ovat MOBO ja IDA ICE.

VTT ja Aalto-yliopisto ovat kehittäneet yhteistyössä MOBO (*Multi-Objective Building Performance Optimization*) nimisen rakennusten monimuuttuja optimointiohjelmiston. MOBO-työkalun avulla on mahdollista minimoida hankkeen investointi- ja elinkaarikustannuksia sekä energian-kulutusta. MOBO-työkalu perustuu matemaattisella optimointialgoritmilla toteutettavaan monitavoiteoptimointiin. Lähde: http://www.granlund.fi/palvelut/energiatehokkuus/optimointi/mobo-optimointi/

MOBO-optimointitarkastelua voidaan hyödyntää uudisrakentamisessa kustannusoptimaalisen lähes nollaenergiarakennuksen suunnitteluratkaisujen valinnan haussa sekä myös korjausrakentamisessa kustannusoptimaalisten korjauskonseptien valinnassa. Työkalun avulla voidaan esimerkiksi maksimoida sijoitetun pääoman tuottoa tai minimoida investointikustannuksia. Lisäksi työkalua voidaan käyttää niiden ratkaisujen kartoittamiseen, jotka on mahdollista toteuttaa käytettävissä olevalla budjetilla. Optimointityökalu kykenee laskemaan, vertailemaan ja visualisoimaan tehokkaasti erilaisia rakennushankkeisiin vaikuttavia muuttujia, vaikkapa energiatehokkaiden rakennusratkaisujen vaikutuksia sisäilmaan. Työkalulla on mahdollista laatia jopa 100-1000 vaihtoehtoa muutamassa tunnissa.

IDA ICE on dynaaminen simulointiohjelmisto monivyöhykemallinnukseen, jolla voidaan tutkia rakennuksen lämpötasetta sekä koko rakennuksen energiankulutusta. IDA ICE:n fysikaaliset mallit pohjautuvat viimeisimpään tutkimustietoon ja parhaimpiin saatavilla oleviin malleihin. Laskelmien tulokset ovat olleet yhtäpitäviä mittausten kanssa. Maailmanlaajuiseen levitykseen tarkoitettuna IDA ICE:sta on saatavilla eri kielisiä versioita. Kunkin maan tarpeita vastaamaan on erilaisia säätiedostoja, standardeja, erikoisraportteja, sekä tuote- ja materiaalitiedostoja. Ohjelmiston on kehittänyt ruotsalainen Equa Simulation Ab. Lähde: https://www.equa.se/fi/ida-ice

Yhteenveto

Edellä olevan tarkastelun pohjalta lähialueella tuotetun uusiutuvan tuuli- ja aurinkoenergian määrä ei riitä yksin ison energiaintensiivisen tehtaan jatkuvaan vuorokautiseen ja vuotuiseen energian tarpeeseen. Valtakunnallisesti tuulisähkön nykyinen vuosittainen tuotantokapasiteetti riittäisi jo isonkin tehtaan vuosikapasiteetin tarpeeseen, mutta tuotannon sääriippuvuus aiheuttaa ongelman. Sähkön varastointi on toistaiseksi vielä niin kallista, että siitä ei ole ratkaisuksi tuuli- ja aurinkoenergian tuotannon epäjatkuvuusongelmaan. Uusiutuvista ja päästöttömistä energiantuotantomuodoista vesivoima pystyy yksin ja yhdessä tuuli- ja aurinkoenergian kanssa takaamaan varmimmin jatkuvan tehon tehtaan tarpeisiin läpi vuoden kaikkina ajanhetkinä. Ympäristömyötäisesti tuotettua sähköä voi myös tarvittaessa ostaa ainakin Ruotsista.

Tehtaan lämmöntuotannossa ympäristömyötäisin ja päästöttömin tuotantotapa on hyödyntää geotermistä energiaa riittävällä määrällä ja syvyydellä varustettujen lämpökaivojen avulla. Lämpökaivoja voi hyödyntää tarvittaessa myös jäähdytykseen. Tehtaan prosessien ylijäämälämpöä kannattaa tietenkin hyödyntää omaan käyttöön mahdollisuuksien mukaan. Aurinkolämpöä voi hyödyntää täydentävänä lämmön tuotantomuotona, jos erityisesti kesällä tarvitaan lämpöä tai lämmintä vettä kiinteistöön.

Jos tehdas tuottaa runsaasti ylijäämälämpöä sen hyödyntäminen esimerkiksi kaukolämpönä, olisi ympäristön kannalta hyödyllistä päästöjen vähennyksen kannalta. Akkutehtaan tapauksessa ylijäämälämpö näyttäisi riittävän kattamaan Vaasan kaukoläm-pötarpeen talvellakin, vaikka Vaskiluodon voimala suljettaisiin. Kaukolämpöjärjestelmän laajennus Länsimetsän teollisuusalueelle vaatii huomattavia investointeja verkostoon. Jos tehtaalta kaukolämpöverkkoon syötettävä vesi ei ole tarpeeksi kuumaa asiakkaille toimitettavaksi, joudutaan veden lämpötilaa nostamaan lämpöpumpuilla kaukolämpöverkkoon soveltuvaksi. Tästä syntyy luonnollisesti myös investointi- ja käyttökustannuksia.

Suurin osan kaupungin kaukolämpötuotannosta olisi suuren yksittäisen kaupungista riippumattoman toimijan varassa, mikä on sinänsä aina riski, joka tulee huomioida. Taloudellisen kannattavuuden suhteen on tarve tehdä vielä lisää kustannusanalyysejä, kun tarkempaa faktapohjaista tietoa tehtaan ylijäämälämmön määrästä ja laadusta sekä hinnasta on saatavilla. Tarkemman tiedon pohjalta pystytään arvioimaan myös hyödynnettävä teknologia ja investointien tarve. Laskelmien valossa näyttäisi olevan haasteena löytää järkevä tapa hallita tehtaan valtava ylijäämälämmön määrä, varsinkin kun tehtaan lähialueella ei toistaiseksi ole isoja lämmön tarvitsijoita. Sinänsä runsas lämmön saatavuus luo hyvän myyntivaltin markkinoida aluetta uusille lämpöä tarvitseville toimijoille.

Tehtaan sähköllä tuotetun hukkalämmön hyödyntäminen kaukolämpönä vähentäisi Vaasan hiilidioksidi- ja hiukkaspäästöjä ja tukisi kaupungin ilmastotavoitteita hiilineutraaliudesta.

LÄHTEITÄ:

1): Juha Seppänen: Sähköenergian varastointitekniikat älykkäässä sähköverkossa, Metropolia Ammattikorkeakoulu, Sähkötekniikan koulutusohjelma, Insinöörityö, 4.5.2014
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/74282/Seppanen_Juha.pdf?sequence=1

2): Raili Alanen, Tiina Koljonen, Sirpa Hukari & Pekka Saari: Energian varastoinnin nykytila, VTT 2003.
http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2003/T2199.pdf

3): Jyri Salpakari: Demand side flexibility for solar and wind power integration, Aalto University, Doctoral dissertation 12.5.2017
https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/25037/isbn9789526073255.pdf?sequence=1&isAllowed=y

4): International Energy Agency (IEA): Technology Roadmap, Energy Storage, 2014
https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapEnergystorage.pdf

5): IEC: Electrical Energy Storage, White Paper, 2011
http://www.iec.ch/whitepaper/pdf/iecWP-energystorage-LR-en.pdf

6): Simo Kuusela: Kulutuselektroniikan akkujen tekniset ominaisuudet ja markkinaosuudet 2015, Kandidaatintyö, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, 4.5.2016
https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/123449/Kandidaatintyo_Simo_Kuusela.pdf?sequence=2

7): Jaakko Paavola: Akut sähköautojen energiavarastona, Kandidaatintyö, Tampereen teknillinen yliopisto, Toukokuu 2008
https://www.tut.fi/smg/tp/kandidaatintyot/kevat2008/jaakko_paavola.pdf

8): Prices and Costs of EU Energy, Final report
By: Katharina Grave, Barbara Breitschopf, Jose Ordonez, Jakob Wachsmuth, Sil Boeve, Matthew Smith, Torben Schubert, Nele Friedrichsen, Andrea Herbst, Katharina Eckartz, Martin Pudlik, Marian Bons, Mario Ragwitz, Joachim Schleich Date: 29 April 2016
https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/report_ecofys2016.pdf

9): Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes): Tuotantolaitosten sijoittaminen opas
http://www.tukes.fi/Tiedostot/kemikaalit_kaasu/Tuotantolaitosten_sijoittaminen_2015.pdf

10): Kari Sipilä, Francesco Reda, Riku Pasonen & Atte Löf: Solar heating and cooling in Northern and Central Europe, Pilot plants in Finland and Germany, VTT Technology 287
http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2017/T287.pdf

11): Aurinkolämpöjärjestelmien perusteet, mitoitus ja käyttö, EU-projekti: Extend Accredited Renewables Training for Heating (EARTH), SOLPROS Ay**,** Joulukuu 2006 http://www.kolumbus.fi/solpros/reports/OPAS.pdf

12): Karoliina Auvinen, Raimo Lovio, Mikko Jalas, Jouni Juntunen, Lotta Liuksiala, Heli Nissilä, Julia Müller: FinSolar: Aurinkoenergian markkinat kasvuun Suomessa, Liiketoimintaympäristö | Investointien kannattavuus | Rahoitus- ja hankintamallit | Politiikkasuositukset, Aalto-yliopiston julkaisusarja KAUPPA + TALOUS 1/2016. https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/20264/isbn9789526067674.pdf?sequence=1&isAllowed=y

13): Nico Niemelä: Laskentamallin luonti rakennuksen energiaoptimointiin, Metropolia Ammattikorkeakoulu, Insinöörityö, 7.4.2017 https://theseus.fi/bitstream/handle/10024/124646/Niemela_Nico.pdf?sequence=1

14): Petri Lähde, Suvi Karirinne, Saku Rantamäki ja Antti Teräsvirta: Aurinkoenergiajärjestelmien integrointi rakennuksiin ja kiinteistöautomaatioon, Satakunnan ammattikorkeakoulu, 24.02.2012 http://www.prizz.fi/sites/default/files/asiakaskuvat/Siirretyt%20Prizztech/Rakenneintegroitu%20aurinkoenergia-%20ja%20ohjausautomaatioselvitys_liite2.pdf

15): Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (VDMA) Roadmap Battery Production Equipment 2030 https://battprod.vdma.org/documents/7411591/15357859/VDMA+Battery+Production_Roadmap_2016_update_English.pdf/cb2fd37b-348f-467d-a39e-2a3180bb8b5e

16): International Trade Administration:2016 Top Markets Report Smart Grid Sector Snapshot, Energy Storage http://trade.gov/topmarkets/pdf/Smart_Grid_Energy_Storage.pdf

17): Photovoltaics report, Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, ISE with support of PSE AG, Freiburg, 12 July 2017 https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf

18): Tuuliatlas - tuulitiedot Suomen kartalla http://www.tuuliatlas.fi/fi/index.html

19): Esko Ala-Myllymäki, Aurinkodemo-hankkeen loppuraportti, Oy Merinova Ab, 2016 http://www.merinova.fi/wp-content/uploads/2016/09/aurinkodemo_loppuraportti.pdf .

20): Seppo Hyttinen: Aurinko- ja tuulienergia sekä niiden yhteiskäyttö kohdekohtaisessa sähkön pientuotannossa, opinnäytetyö, Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, 2017 https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/124695/Seppo_Hyttinen.pdf?sequence=1

21): Building Integrated Photovoltaics Guide to BIPV, Polysolar Limited 2015 http://www.polysolar.co.uk/documents/2017%20Guide%20to%20BIPV.pdf

22): Electricity storage and renewables costs and markets to 2030, The International Renewable Energy Agency (IRENA), October 2017 http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_Electricity_Storage_Costs_2017.pdf

23): Technology Roadmap Energy storage, International Energy Agency (IEA), 2014
https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapEnergystorage.pdf

24): Adam Dickens, Charanjit Singh, Pierre Bosset, Verity Mitchell, Pablo Cuadrado, Jenny Cosgrove and Sean McLoughlin: Energy Storage, Power to the People, HSBC Global Research, Septemper 2014
http://www.qualenergia.it/sites/default/files/articolo-doc/Energy%20Storage.pdf

25): The Power of Transformation, Wind, Sun and the Economics of Flexible Power Systems, International Energy Agency (IEA), 2014
https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/The_power_of_Transformation.pdf

26): Anu-Maria Olli: Sähkön varastointi, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Kandidaatintyö, 2015
https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/105117/Sahkon_varastointi_KANDI_AMO.pdf?sequence=2

27): Kari Lappalainen: Output Power Variation and Mismatch Losses of Photovoltaic Power Generators Caused by Moving Clouds, Väitöskirja, Tampereen teknillinen yliopisto, Tampere 2017
https://tutcris.tut.fi/portal/files/13304405/lappalainen_1506.pdf

28): Renewable Power Generation Costs in 2014: International Renewable Energy Agency (IRENA)
http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_RE_Power_Costs_2014_report.pdf

29): Jukka Heino: Lumen varastointi ja hyödyntäminen tilojen jäähdytykseen, Case: Kone Oyj Diplomityö, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, 2015
http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/103389/Lumen%20varastointi%20ja%20hy%C3%B6dynt%C3%A4minen%20tilojen%20j%C3%A4%C3%A4hdytykseen%2C%20Case%20Kone%20Oyj.pdf?sequence=3

30): Markus Hiitola: Biokaasun käyttö polttomoottorissa, Oulun yliopisto, Kandidaatintyö 2016.
http://jultika.oulu.fi/files/nbnfioulu-201604281574.pdf

31): Jari Shemeikka, Kimmo Lylykangas, Jaakko Ketomäki, Ismo Heimonen, Sakari Pulakka, Petri Pylsy: SunZEB – Plusenergiaa kaupungissa, Uusiutuvaa energiaa asumiseen ja toimistoon, VTT Technology 219, 2015
http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2015/T219.pdf

32): Nopeussäädettyjen käyttöjen opas, Tekninen opas nro 4, ABB
https://library.e.abb.com/public/32f0404329db7689c1256d2800411f0a/Tekninen_opas_nro4.pdf

33): Massachusetts Institute of Technology (MIT): The Future of Solar Energy, an Interdisciplinary MIT Study, 2015
http://energy.mit.edu/wp-content/uploads/2015/05/MITEI-The-Future-of-Solar-Energy.pdf

34): Koponen, Timo: Mikro-ORC-energianmuuntimen suorituskyvyn todentaminen ja kaupallistaminen, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Diplomityö, 2015
http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/117395/Diplomity%C3%B6_Koponen_Timo.pdf?sequence=2&isAllowed=y

35): Mikko Purhonen: ORC-prosessin käyttö sähköntuotannossa, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Kandidaatintyö, 7.12.2010
http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/66734/nbnfi-fe201101071019.pdf?sequence

36): Ilkka Maaskola, Matti Kataikko: Ylijäämälämmön taloudellinen hyödyntäminen, Lämpöpumppu- ja ORC-sovellukset, Motiva, Helsinki, tammikuu 2014.
https://www.motiva.fi/files/10217/Ylijaamalammon_taloudellinen_hyodyntaminen_Lampopumppu-_ja_ORC-sovellukset.pdf

37): Tuotannon hukkalämpö hyödyksi, Motiva, 2014.
https://www.motiva.fi/files/8501/Tuotannon_hukkalampo_hyodyksi.pdf

38): Energiateollisuus, Suuret lämpöpumput kaukolämpöjärjestelmässä, loppuraportti 29.8.2016.https://energia.fi/files/993/Suuret_lampopumput_kaukolampojarjestelmassa_Loppuraportti_290816_paivitetty.pdf

39): Jamal Nouman: Comparative studies and analyses of working fluids for Organic Rankine Cycles – ORC, Master of Science Thesis, KTH School of Industrial Engineering and Management, 2012, Stockholm, Sweden http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:555314/FULLTEXT01.pdf

40): Energiatehokkuusdirektiivi http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:315:0001:0056:FI:PDF

41): Energiateollisuus ry: Maanalaisten kiinnivaahdotettujen kaukolämpöjohtojen rakentamis-kustannukset 2016
https://energia.fi/files/1825/Maanalaisten_kiinnivaahdotettujen_kaukolampolaitteiden_rakentamiskustannukset_2016.pdf

42): Vaasan ja Mustasaaren akkutehtaiden ympäristövaikutusten arviointiohjelma, YVA-ohjelma, Gaia Consulting Oy, 11.1.2018 http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BF61F8006-F253-4BA1-9ADA-635ECF041A28%7D/134093

43): Ari Laitinen, Miika Rämä, Miimu Airaksinen: Jäähdytyksen teknologiset ratkaisut, VTT 16.12.2016 https://energia.fi/files/1359/Jaahdytysteknologiaselvitys_VTT_221216.pdf

44): Janne Juvonen Toivo Lapinlampi: Energiakaivo, Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa, Ympäristöopas 2013, Ympäristöministeriö, Helsinki
https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40953/YO_2013.pdf?sequence=4

45): Veli-Matti Mäkelä, Jarmo Tuunanen: Suomalainen kaukolämmitys, Oulun ammattikorkeakoulu ja Mikkelin ammattikorkeakoulu, oppimateriaalia, 2015
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/97138/URNISBN9789515885074.pdf

46): International Renewable Energy Agency (IRENA): Renewable Power Generation Costs in 2017, IRENA 2018
http://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Jan/IRENA_2017_Power_Costs_2018.pdf

47): Energiateollisuus ry, Sähkönkäyttö kunnittain 2007-2016
https://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki/sahkonkaytto_kunnittain_2007-2016.html

48): Vaasan kaupunki Energia- ja ilmasto-ohjelma Energialla menestykseen, 1.2.2016
https://www.vaasa.fi/sites/default/files/energia-_ja_ilmasto-ohjelma_2.pdf

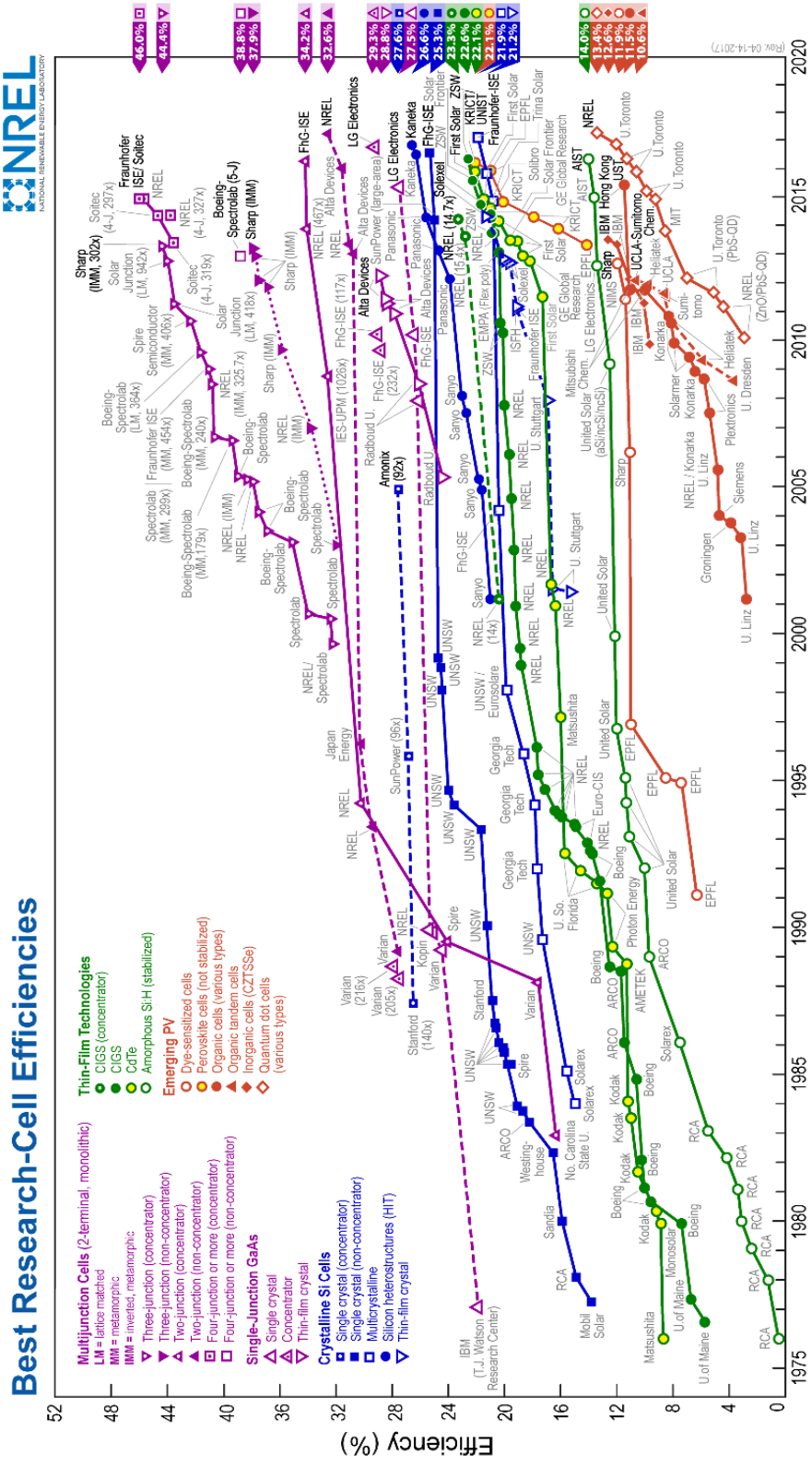
49): Huusko Asmo, Lahtinen Hannu, Martinkauppi Annu, Putkinen Niko, Putkinen Satu, Wik Henrik: Keski-Suomen geoenergiapotentiaali, Geologinen tutkimuslaitos, 17.6.2015
https://www.keskisuomi.fi/filebank/24387-Keski-Suomen_geoenergiapotentiaali_4162018_loppuraportti.pdf

50): Lauri Laaksonen: Tuulivoiman tuotantokustannukset, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Energiatekniikan kandidaatintyö, 24.8.2017.
https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/143735/kandidaatintyo_laaksonen_lauri.pdf?sequence=2

LIITTEET:

Liite 1: Parhaiden tutkimusasteella olevien aurinkokennojen hyötysuhteita (1975 – 2017)

Lähde: National Renewable Energy Laboratory (NREL) https://www.nrel.gov/pv/assets/images/efficiency-chart.png Tilanne 1.8.2017



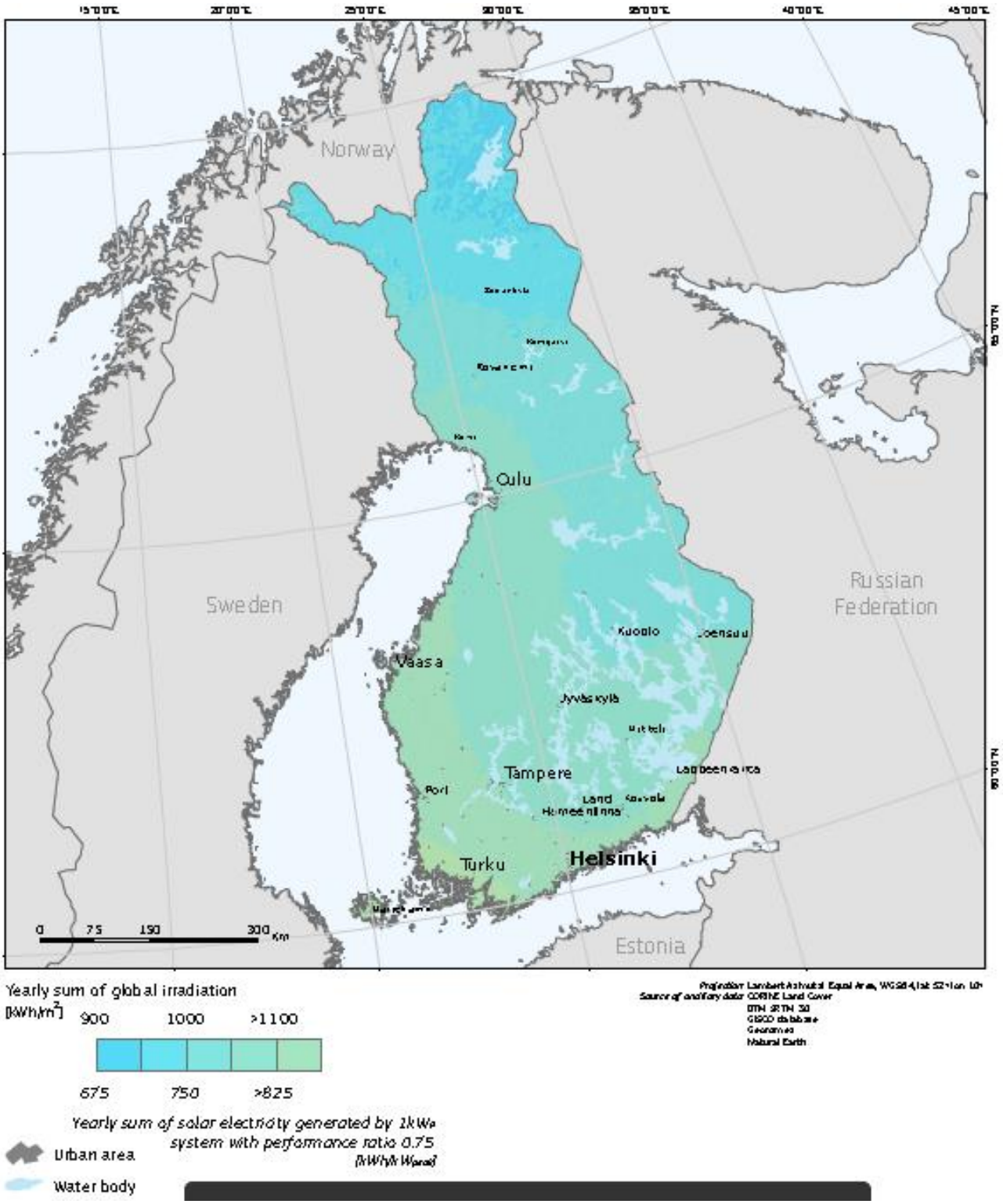
Liite 2: Markkinoilla olevien eri valmistajien aurinkopaneelien hyötysuhteita

Lähde: http://news.energysage.com/what-are-the-most-efficient-solar-panels-on-the-market/

Solar Panel Manufacturer	Minimum Efficiency (%)	Maximum Efficiency (%)	Average Efficiency (%)
Amerisolar	14.75	17.01	15.97
Axitec	15.37	16.9	16.1
Canadian Solar	15.88	17.72	16.58
CentroSolar	15.3	17.8	16.21
China Sunergy	14.98	16.53	15.78
ET Solar	15.37	17.52	16.51
Grape Solar	16.21	17.64	16.75
Green Brilliance	14.24	15.58	15.03
Hanwha Q CELLS	15.9	18.3	16.97
Hanwha SolarOne	14.7	16.2	15.45
Heliene Inc.	15.6	19.3	17.31
Hyundai	14.2	16.5	15.37
Itek Energy	16.49	18.94	17.71
JinkoSolar	15.57	18.57	16.95
Kyocera	14.75	16.11	15.42
LG	16.8	19.5	18.28
Mission Solar	15.98	18.36	17.18
Mitsubishi Electric	16.3	16.9	16.6
Panasonic	19	21.6	20.3
REC Solar	14.5	17	15.62
ReneSola	14.9	16.9	15.91
Renogy Solar	15.3	18.5	17.3
Seraphim	15.67	17.52	16.55
Silevo	16.9	18.5	17.7

Silfab	15.3	18.4	16.75
Solaria	18.7	19.3	19
SolarWorld	14.91	17.59	16.64
Stion	12.4	14	13.2
SunEdison	15.5	16.8	16.12
Suniva Inc	16.66	17.65	17.14
SunPower	19.1	22.2	20.58
SunSpark Technology	15.2	16.1	15.65
Trina Solar Energy	15.2	17.8	16.3

Liite 3: Auringon säteilyn määrä Suomessa



Lähde: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmaps/eu_cmsaf_opt/G_opt_FI.pdf

Liite 4: Vaasan kuukausittaisia auringonsäteilymääriä

Lähde: European Commission Joint Research Centre http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#

Incident global irradiation for the chosen location

Location: 63°2'52" North, 21°46'44" East, Elevation: 8 m a.s.l.,
Optimal inclination angle is: 45 degrees
Annual irradiation deficit due to shadowing (horizontal): 0.0 %

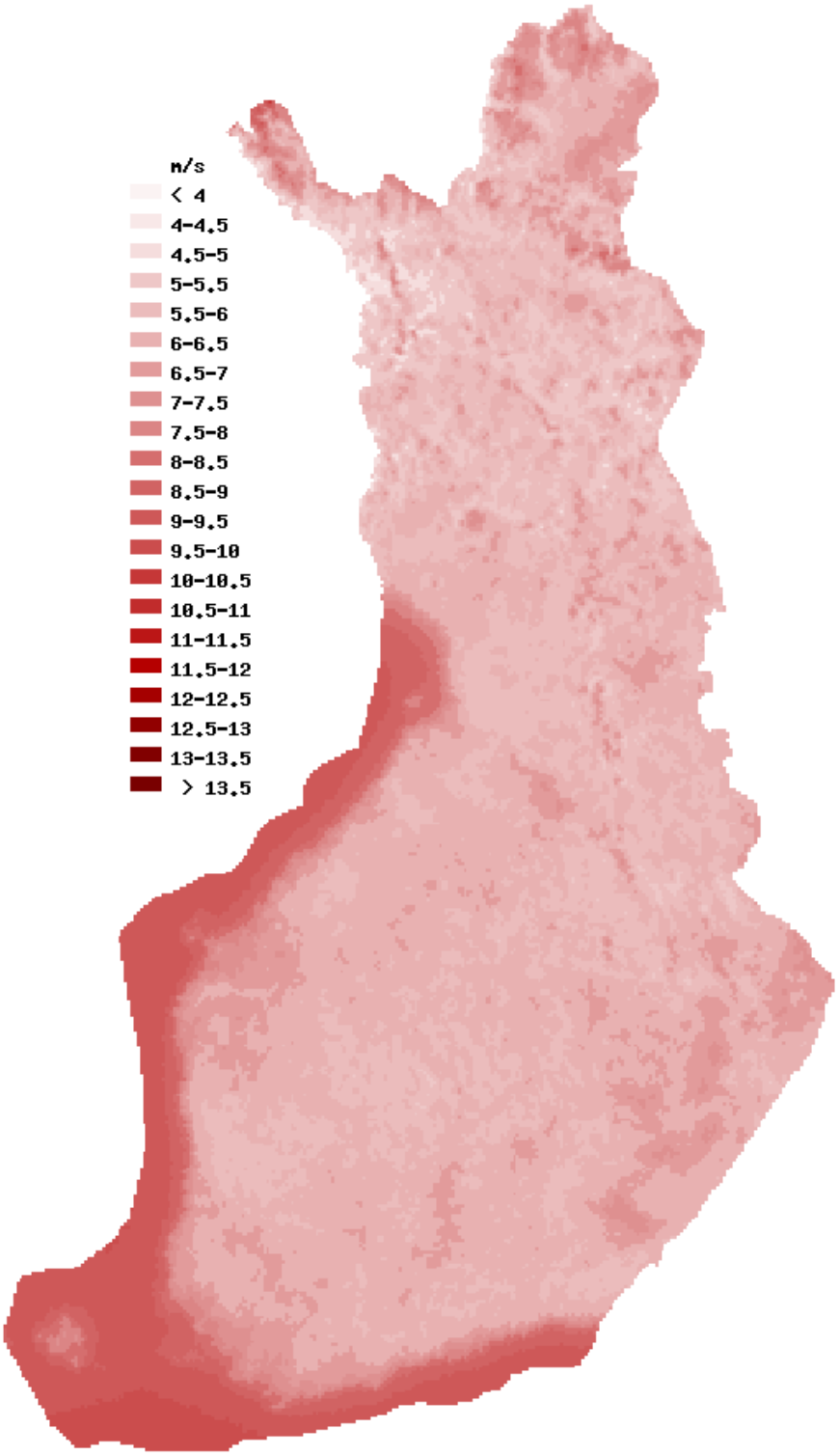
Month	Hh	Hopt	H(90)	Iopt	TL	D/G	TD	T24h	NDD
Jan	180	694	850	82	2.8	0.68	-6.6	-7.0	710
Feb	761	1980	2190	75	1.8	0.56	-4.9	-5.9	681
Mar	1790	2940	2710	61	2.0	0.57	-0.7	-2.1	591
Apr	3600	4670	3610	46	2.3	0.48	4.5	3.0	429
May	5060	5510	3660	32	3.1	0.46	10.8	9.8	274
Jun	5550	5570	3450	24	3.4	0.48	14.1	13.4	116
Jul	5150	5340	3410	27	3.4	0.49	18.3	17.5	39
Aug	3560	4080	2910	37	3.2	0.57	16.7	15.6	99
Sep	2030	2870	2430	53	3.4	0.59	12.5	11.2	290
Oct	874	1620	1610	67	2.4	0.65	6.2	5.2	460
Nov	257	692	790	78	1.8	0.73	2.1	1.6	582
Dec	79.1	354	446	84	2.0	0.76	-2.9	-3.1	700
Year	2420	3030	2340	45	2.7	0.51	5.9	4.9	4971

Hh: Irradiation on horizontal plane (Wh/m^2/day)
Hopt: Irradiation on optimally inclined plane (Wh/m^2/day)
H(90): Irradiation on plane at angle: 90deg. (Wh/m^2/day)
DNI: Direct normal irradiation (Wh/m^2/day)
Iopt: Optimal inclination (deg.)
TL: Linke turbidity (-)
D/G: Ratio of diffuse to global irradiation (-)
TD: Average daytime temperature (°C)
T24h: 24 hour average of temperature (°C)
NDD: Number of heating degree-days (-)

Liite 5: Tuulen vuoden keskinopeuskartta 100 metrin korkeudelta

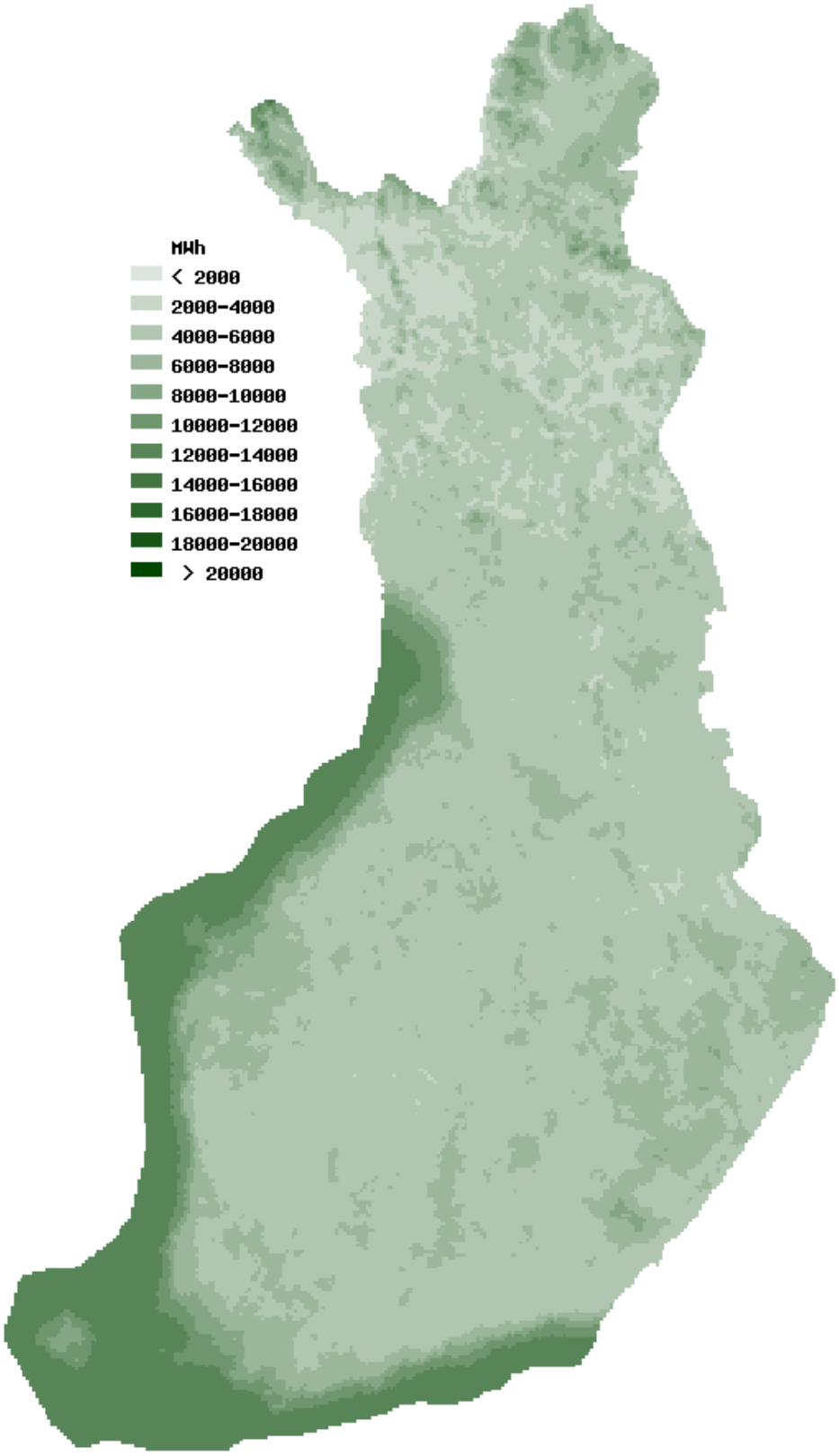
Lähde: http://www.tuuliatlas.fi/nopeus/index.html?Month=13&Level=100

Tuulen keskinopeuden (m/s) jakauma 100 metrin korkeudella 2,5 x 2,5 neliökilometrin tarkkuudella.

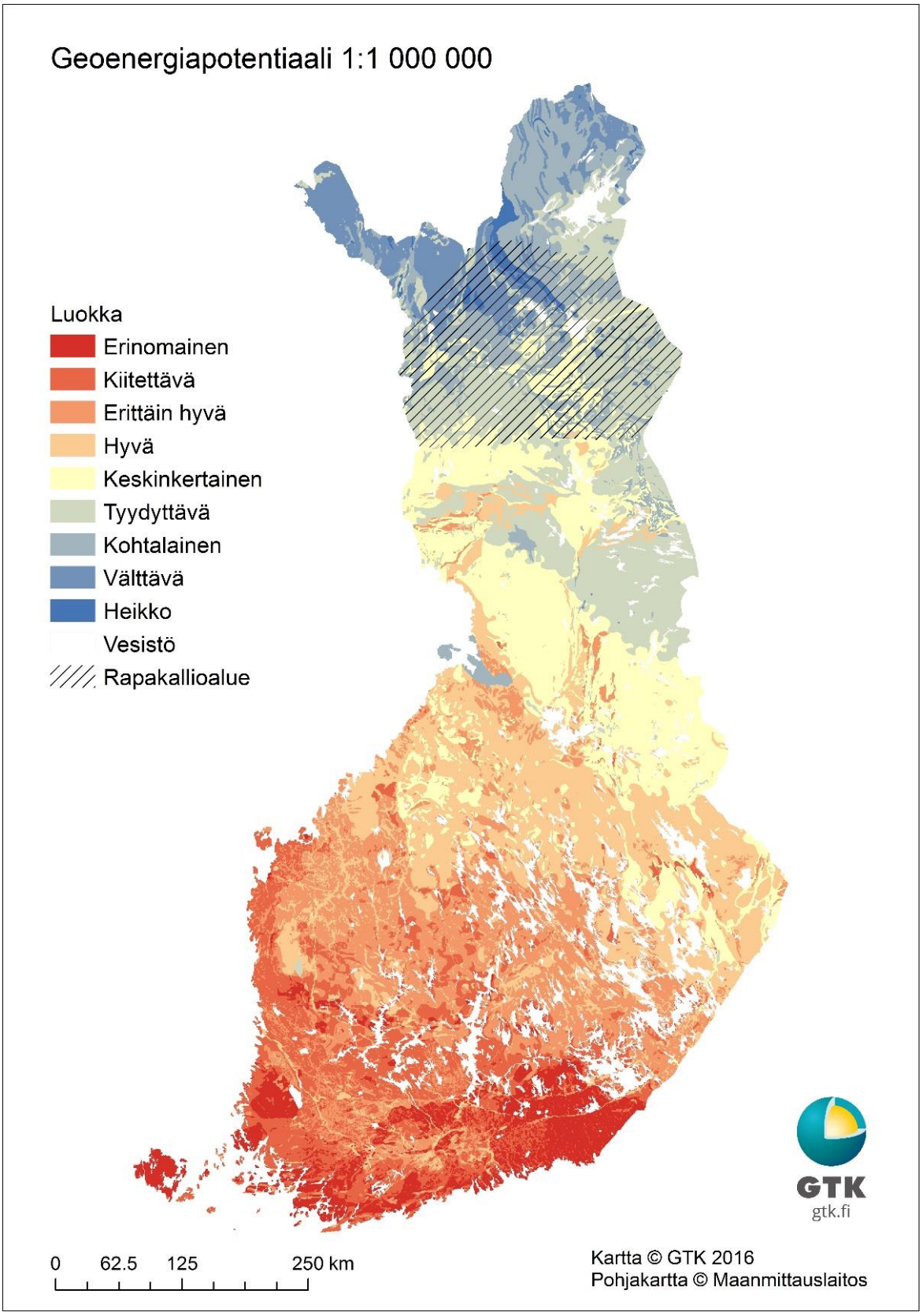


Liite 6: Tuulivoimalan vuoden tuotantokartta 100 metrin korkeudelta

Lähde: http://www.tuuliatlas.fi/teho/index.html?Month=13&Level=100



Liite 7: Suomen geoenergiapotentiaali
Lähde: http://uusi.gtk.fi/export/sites/fi/_system/PressReleases/kuvat/2016/Geoenergiakartta.jpg



Liite 8: Erilaisten lamppujen keskimääräisiä ominaisuuksia

Lähde: https://severi.sahkoinfo.fi/Content/Index/0?newsid=197

Lampputyyppi	Värilämpötila K	Värintoistoindeksi R_a	Valotehokkuus lm/W	Polttoikä[3] h	Himmennys
Hehkulamppu	2700	100	10–12	1 000	x
Halogeenilamppu 230 V	2800–3000	100	15	2 000	x
Halogeenilamppu 12 V	2800–3000	100	18	4 000	x
Yksikantaloistelamppu, kierrekanta	2700–6500	85	50–60	6 000–20 000	x[1]
Yksikantaloistelamppu + kuristin	2700–6500	85	70	10 000–15 000	
Yksikantaloistelmappu + elektroninen	2700–6500	85	90	12 000–22 000	x
T8-loistelamppu + kuristin	2700–6500	80–95	90	12 000	
T8-loistelamppu + elektroninen	2700–6500	80–95	90	20 000	x
T8-loistelamppu, long life	2700–6500	80–95	90	35 000–75 000	x
T5-loistelamppu	2700–6500	80–95	90	24 000	x
T5-loistelamppu, long life	2700–6500	80–95	90	48 000	x
Elohopealamppu	3000–4000	50	40–50	16 000	
Suurpainenatriumlamppu	2000	30	100–140	16 000–24 000	x[1]
Suurpainenatriumlamppu värikorjattu	2500	80	40–50	12 000	
Pienpainenatriumlamppu	x	x	120–160	10 000	
Monimetalli-kvartsi + kuristin	3000–6000	70–90	90	7 500	
Monimetalli-kvartsi + elektroninen	3000–6000	70–90	100	10 000–12 000	x[2]
Monimetalli-keraaminen + kuristin	3000–6000	90	90	9 000	
Monimetalli-keraaminen + elektroninen	3000–6000	90	100	12 000	x[2]
Induktiolamppu	3000	80	80	60 000	
Ledilamppu, kierrekanta	2700–6500	80	80–125	15 000	x[1]
Lediputki	3000–6500	80	90–150	50 000–60 000	x[1]
Ledimoduuli	2000–6500	80–95	130–150	30 000–100 000	x[4]

1) vain tietyt mallit
2) ei yleensä himmennetä, elinikä lyhenee, värimuutoksia
3) purkauslampuille ilmoitettu hyötypolttoikä, muille keskimääräinen polttoikä
4) riippuu käytettävän lediohjaimen tyypistä

Luonnos

Liite 9: Sähkön hintoja Euroopassa

Lähde: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:Electricity_prices,_first_half_of_year,_2015-2017.png

	Electricity prices (per kWh)					
	Households (1)			Non-Household (2)		
	2015s1	2016s1	2017s1	2015s1	2016s1	2017s1
EU-28	0.209	0.205	0.204	0.121	0.116	0.114
Euro area	0.220	0.218	0.220	0.126	0.122	0.121
Belgium	0.213	0.254	0.280	0.110	0.112	0.113
Bulgaria	0.094	0.096	0.096	0.069	0.100	0.076
Czech Republic	0.139	0.142	0.144	0.077	0.073	0.069
Denmark	0.307	0.309	0.305	0.090	0.095	0.082
Germany	0.295	0.297	0.305	0.151	0.151	0.152
Estonia	0.130	0.121	0.121	0.089	0.088	0.087
Ireland	0.243	0.232	0.231	0.142	0.133	0.124
Greece	0.177	0.172	0.194	0.129	0.117	0.107
Spain	0.231	0.219	0.230	0.117	0.111	0.106
France	0.168	0.169	0.169	0.103	0.096	0.099
Croatia	0.132	0.131	0.120	0.092	0.090	0.087
Italy	0.245	0.241	0.214	0.161	0.153	0.148
Cyprus	0.196	0.153	0.186	0.139	0.105	0.141
Latvia	0.164	0.163	0.159	0.118	0.117	0.118
Lithuania	0.126	0.123	0.112	0.099	0.094	0.084
Luxembourg	0.177	0.170	0.162	0.093	0.087	0.078
Hungary	0.113	0.111	0.113	0.087	0.081	0.074
Malta	0.126	0.126	0.128	0.160	0.142	0.141
Netherlands	0.199	0.162	0.156	0.090	0.086	0.082
Austria	0.201	0.203	0.195	0.104	0.103	0.093
Poland	0.144	0.133	0.146	0.088	0.091	0.088
Portugal	0.228	0.235	0.228	0.114	0.113	0.115
Romania	0.130	0.126	0.120	0.083	0.076	0.077
Slovenia	0.159	0.162	0.161	0.083	0.085	0.078
Slovakia	0.151	0.142	0.144	0.113	0.109	0.115
Finland	0.155	0.154	0.158	0.071	0.069	0.067
Sweden	0.185	0.189	0.194	0.062	0.062	0.065
United Kingdom	0.213	0.195	0.177	0.149	0.138	0.127
Iceland	0.120	0.131	0.160	:	0.074	0.080
Liechtenstein	0.184	0.166	0.172	0.164	0.146	0.130
Norway	0.161	0.152	0.164	0.077	0.074	0.071
Montenegro	0.098	0.096	0.097	0.077	0.079	0.077
Former Yugoslav Republic of Macedonia	0.083	0.082	0.082	0.084	0.082	0.056
Albania	0.081	0.082	0.084	:	:	:
Serbia	0.058	0.064	0.066	0.060	0.067	0.064
Turkey	0.136	0.127	0.105	0.082	0.074	0.063
Bosnia and Herzegovina	0.081	0.083	0.086	0.063	0.061	0.059
Kosovo*	0.063	0.059	0.066	0.076	0.075	0.080
Moldova	0.082	0.096	0.098	0.071	0.083	0.083
Ukraine	:	0.025	0.039	:	:	:

*This designation is without prejudice to positions on status, and is in line with UNSCR 1244 and the ICJ Opinion on the Kosovo Declaration of Independence.

: not available

(1) Annual consumption: 2 500 kWh < consumption < 5 000 kWh.
(2) Annual consumption: 500 MWh < consumption < 2 000 MWh.

Source: Eurostat (online data code: nrg_pc_204 and nrg_pc_205)

Liite 10: Lämpöpumpputyyppien ominaisuuksia

Lähde:
https://www.motiva.fi/files/10217/Ylijaamalammon_taloudellinen_hyodyntaminen_Lampopumppu-_ja_ORC-sovellukset.pdf

	Mekaaninen lämpöpumppu	Absorptio-lämpöpumppu	Absorptio-lt:n muunnin	Höyryn komprimointi	Termo-kompressori
Käyttöenergia	sähkö	kuuma vesi tai höyry	lämpö	sähkö	höyry
Max. luovutus-lt.	95 (120) °C	95 °C	150 °C	200 °C	180 °C
Lämpötilan nosto	20–90 °C	30–65 °C	30–50 °C	5–30 °C	5–20 °C
Max. teho	Lähes rajoittamaton sarjaan kytketyillä järjestelmillä	Lähes rajoittamaton	Lähes rajoittamaton	Lähes rajoittamaton	Lähes rajoittamaton
COP	2,6–7,5	1,5–1,7	0,4–0,5	3–30	1,5–5
Kiertoaine	halogenoidut hiilivedyt, ammoniakki, hiilivedyt, CO_2	vesi/litium-bromidi, ammoniakki/vesi	vesi/litium-bromidi	vesihöyry, hiilivetyhöyry	vesihöyry
Osakuorma-ominaisuudet	+	++	++	+	+/-
Investointi	-	-	-	+/-	+
Sisäinen korroosioherkk.	ei esiinny	seurattava	seurattava	seurattava	seurattava
Sisäinen likaantuminen	ei esiinny	ei esiinny	seurattava	seurattava	seurattava
Melu	+/-	++	++	+/-	--
Edut	• luotettava	• luotettava, yksinkertainen • vähän ylläpitoa • säädettävyys • 0-100 % • kestävyys	• yksinkertainen • vähän ylläpitoa • säädettävyys • kestävyys	• pieni lämmönsiirto-pinta-ala	• yksinkertainen • edullinen • ei liikkuvia osia • ei likaantumis-ongelmia
Haitat	• ei sovi korkeille lämpötiloille • nopea käynnistys • 0→100 % ~ 2 min • säädettävyys haastavissa mitoitus-olosuhteissa	• suuri sis. lämmön-siirto-pinta-ala • suhteellisen hidas käynnistys • 0 →100 % ~ 10 min • tyhjön varmistus • tarvitaan kerran viikossa	• suuri sis. läm-mönsiirto-pinta-ala • hidas käynnistys • suuri tarvittava ylijäämä-lämpövirtaus	• pieni dT • sopii vain tietyille höyryille	• pieni dT • vain tietyille höy-ryille • melu
Yleisimmät sovellukset	lämmitys kuivaus	lämmön talteenotto	erikoiskohteet	höyrystys tislaus	höyrystys tislaus

Vipuvoimaa EU:lta 2014–2020

Österbottens förbund
Pohjanmaan liitto

MERINOVA
INNOVATION WITH ENERGY