

VIHREÄN SIIRTYMÄN TUOTEKEHITYS

- Sähköenergian varastointitavat



Sähköenergian varastointitavat

Itsestäänselvä tapa varastoida sähköenergiaa on varastoida alkuperäistä energianlähdettä ennen kuin se muutetaan sähköksi: antamalla vesivoimalan tekojärven täyttyä tai varastoida kivihiihtä kasaksi tai öljyä säiliöihin. Vihreää sähköenergiaa, kuten tuuli- ja aurinkoenergiaa ei voi varastoida tällä tavalla, koska energia tuotetaan olosuhteiden (tuulen ja auringonpaisteen) tahdissa. Energia on siis sähköenergiana, joka sitten pitää varastoida sopivasti. Sähköenergiaa voidaan varastoida esimerkiksi:

- massan potentiaalienergiaksi
- massan pyörimisenergiaksi
- veden potentiaalienergiaksi pumppuvoimalassa
- akkuihin
- tuottamalla sähköenergian avulla vetyä tai sähköpolttoaineita, ja tuottamalla niistä myöhemmin sähköä

Energian varastointi massan potentiaalienergiaan

Yksinkertainen esimerkki energian varastoimiseksi massan potentiaalienergiaksi on seinä- tai kaappikello, jossa on punnukset. Punnukset nostetaan ylös ja ne laskeutuvat pikku hiljaa alaspäin. Tyypillisesti toinen punnus käyttää aikakoneistoa ja toinen lyömäkoneistoa.

Tietylle korkeudelle nostetun massan potentiaalienergia E_p saadaan kertomalla massa m (kg) ja korkeusero h (m) painovoiman putoamiskiihtyvyydellä (likiarvo $9,81 \text{ m/s}^2$) eli

$$E_p = mgh$$

Esimerkiksi jos punnuksen massa on 1 kg ja se nostetaan kahden metrin korkeuteen, potentiaalienergia on $1 \text{ kg} \times 2 \text{ m} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \approx 20 \text{ J}$. Koska $1 \text{ J} = 1 \text{ Ws}$ (wattisekunti), on energiamäärä erittäin pieni, kun sitä vertaa vaikkapa kännykän akkuun: $20 \text{ J} = 20 \text{ Ws} \approx 0,006 \text{ Wh}$, ja kännykän akkujen kapasiteetti on $10...20 \text{ Wh}$ suuruusluokkaa. Ero on siis yli 10000-kertainen ja onkin helppo ymmärtää, että ihan paristokäyttöinen kello voi toimia vuosikausia verrattuna mekaaniseen.

Toimisiko tällainen ratkaisu sähköenergian varastoimisessa, jos sitä skaalaisi suuremmaksi? Otetaan 100 tonnin massa (100000 kg) ja rakennetaan koneisto, jossa sitä lasketaan sitä ylös ja alas kilometrin syvyyseen reikään. Tällöin energiaa voitaisiin varastoida $100000 \text{ kg} \times 1000 \text{ m} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \approx 981 \text{ MJ} \approx 271 \text{ kWh}$, mikä on vähemmän energiaa kuin kolmen suuriakkuisen sähköauton (hintaluokka 80000-100000 € per auto) akuissa.

Tällaisen massa-punnusjärjestelmän tarkkoja kustannuksia on vaikea arvioida tarkasti, mutta reiän poraamiskustannukset ja massan liikuttamiseen tarvittavan koneiston (vaijeri- tai hammaskoneisto) nostaa kustannukset seitsennumeroiseksi summaksi.

Kuulun ei tarvitsisi olla pystysuora: vastaavanlaisen järjestelmän voisi toteuttaa esimerkiksi jyrkälle vuoren rinteelle junamaisesti. On kuitenkin selvää, että rakentamiskustannukset eivät voi kilpailla akkujen hinnan kanssa.

Energian varastointi massan pyörimisenergiaan

Liikuteltava massa vaatii paljon tilaa liikkeelleen – entä jos energiaa varastoisi pyörimisenergiaan? Sitähän tavallaan tehdäänkin: kuten 1-kierroksella mainittiin sähköverkon sähkökoneiden pyörivät massat auttavat pitämään verkon taajuuden vakiona: jos verkon kuormitus kasvaa äkisti, jännite ei notkahda vaan koneiden pyörimisnopeus alkaa hiipua hitaasti.

Mutta toimisiko tämä itsenäisenä energiavarastona? Massan pyörimisenergia E_k lasketaan kaavasta

$$E_k = \frac{1}{2}J\omega^2,$$

jossa J on massan hitausmomentti pyörimisakselin suhteen ja ω on pyörimisen kulmanopeus.

Jos 100 tonnin punnuksen sijasta pyöritettäisiinkin 100 tonnin massaista lieriötä jonka säde on 3 metriä, esimerkiksi 5000 kierrosta minuutissa, saadaan pyörimisenergia seuraavasti: lieriön hitausmomentti on eli $0.5 \times 100000 \text{ kg} \times 3 \text{ m}^2 = 150000 \text{ kgm}^2$. 5000 kierrosta minuutissa on kulmanopeutena (radiaania sekunnissa)

$$\omega = 2\pi \cdot \frac{1}{60} 5000 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \approx 524 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Pyörimisenergiaksi saadaan siis

$$E_k = \frac{1}{2}J\omega^2 = \frac{1}{2} 150000 \text{ kgm}^2 \left(524 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right)^2 \approx 21 \text{ GJ}$$

21 gigajoulea on 5,8 MWh, eli järjestelmä alkaa kuulostaa jo energiavarastolta. Pyörivän massan hallitsemiseen liittyy kuitenkin useita mekaaniseen kestävyys- ja turvallisuuteen liittyviä tekijöitä, mikä tekee rakentamisesta kallista.

Hitausmomenttia voi kasvattaa rakentamalla pyörivän massan niin, että mahdollisimman paljon massaa on lieriön reunoilla. Tehokkain tapa kasvattaa pyörimisenergiaa on kasvattaa pyörimisnopeutta: onhan kulmanopeudessa se toinen potenssi eli kaksinkertaistamalla pyörimisnopeuden, energia nelinkertaistuu.

Pumppuvoimala energiavarastona

Pumppuvoimala perustuu tavallaan samaan ideaan kuin massan potentiaalienergiaan perustuva varastointi, mutta massana käytetään veden massaa. Yleensä pumppuvoimala rakennetaan olemassaolevan vesivoimalan yhteyteen niin, että voimalan alajuoksulta pumpataankin padon taakse vettä.

Pumppuvoimalaa voidaan käyttää hyvin suurten energiamäärien varastointiin, koska varastoitavan energian määrää rajoittaa käytännössä vain altaan koko ja padon korkeus. Mikäli pumppuvoimala rakennetaan olemassa olevan vesivoimalan yhteyteen, kustannuksia syntyy lähinnä pumpusta vesikanavineen.

Esimerkiksi jos voimalan altaan pinta-ala on yksi neliökilometri, tarkoittaa yhden metrin pinnankorotus miljoonaa kuutiometriä eli miljoonaa tonnia vettä. Esimerkiksi 20 metrin putouskorkeudella tämä tarkoittaa energiana $1000000000 \text{ kg} \times 20 \text{ m} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \approx 196 \text{ GJ} \approx 55 \text{ MWh}$.

Jos altaan koko ja putouskorkeus / veden korkeus kasvattavat energiakapasiteettia lineaarisesti. Maailman suurimmat pumppuvoimalat, Kiinan Fengning ja Yhdysvaltojen Bath County, voivat varastoida kymmeniä gigawattitunteja energiaa ja antotehot ovat kolmen gigawatin luokkaa.

Suomessa on yksi pumppuvoimala, Jumiskon vesivoimalaitos. Pyhäsalmen kaivokseen on suunniteltu pumppuvoimalaitosta, mutta korkotason nousu on tehnyt investoinnista ainakin toistaiseksi kannattamattoman (HS 3.11.2023, <https://www.hs.fi/talous/art-2000009967666.html>).

Akut energiavarastona

Litiumioniakkujen hinnan lasku 2010-luvulla on lisännyt suurten akkujärjestelmien houkuttelevuutta energiavarastokäytössä. Suomessa suuria akkujärjestelmiä on arviolta toistakymmentä, esimerkiksi:

- Lakiakangas 10 MWh (<https://www.helen.fi/uutiset/2021/helen-investoi-suurimpaan-sahkovarastoonsa>)
- Suvilahti 600 kWh (<https://www.helen.fi/uutiset/2021/helen-investoi-suurimpaan-sahkovarastoonsa>)
- Yllikkälä 30 MWh (<https://www.fingridlehti.fi/pohjoismaiden-suurin-akkuvarasto-nousee-yllikkalaan/>)

Akut ovat kalliita ja vaativat tuekseen kallista tehoelektroniikkaa sekä lataukseen että sähkön syöttöön verkkoon päin. Vaikka akkukapasiteetin tukkuhinta liikkuu 100–200 €/kWh:n haarukassa, verkkoon kytketyn järjestelmän hinta on noin kolminkertainen (suuruusluokkaa 500 €/kWh, ks. esim. NREL:n raportti, <https://www.nrel.gov/docs/fy23osti/85332.pdf>).

Akkujärjestelmät ovat kuitenkin täysin eri fyysistä kokoluokkaa kuin pumppuvoimalat, eivätkä ne vaadi kalliita maanrakennustöitä eivätkä raskasta ympäristöluvitusta.

Hyötysuhde eri järjestelmissä

Suurten sähkökoneiden (generaattorien ja moottorien) hyötysuhde on reilusti yli 90 % – voimalaitoksen generaattori voidaan optimoida jopa yli 99 % hyötysuhteiseksi hyödyntämällä kalliita menetelmiä, kuten vetyjäähdytystä. Tämän takia mekaniikkaan perustuvissa energiavarastoissa hyötysuhde saadaan helposti yli 90 %:iin. Pumppuvoimalassa mukaan tulevat pumppaushäviöt, jolloin kokonaishyötysuhde pyörii 80 % tuntumassa.

Akkujärjestelmissä päästään noin 80-90 % hyötysuhteeseen: häviöitä tapahtuu latauksen tehoelektroniikassa, verkkosyötön tehoelektroniikassa sekä akkua varattaessa ja purettaessa.

VIHREÄN
SIIRTYMÄN
TUOTEKEHITYS

