



Superverkossa liikkuisivat vety ja sähkö

Supergrid – vetytalouden voimansiirtoverkko

Alhaisessa lämpötilassa toimivasta suprajohtavasta kaapelista kaavaillaan korvaajaa nykyiselle sähkön kantaverkolle – ainakin visionäärien suunnitelmissa. Verkko siirtäisi samaan aikaan sekä sähköä että vetyä. Tekniikan Maailma antaa nyt puheenvuoron hankkeen takana oleville yhdysvaltalaisutkijoille.

**PAUL M. GRANT,
CHAUNCEY STARR ja
THOMAS J. OVERBYE /HT**
*Translated with permission.
Copyright © 2007 by Scientific
American, Inc. All rights reserved.*
**SUOMEN KUVAPALVELU, kuvat
VESA PYNNÖNIEMI, piirros**

Elokuun 14. päivänä vuonna 2003 sähkönjakelu New Yorkissa katkesi syösten Ison Omenan kahdeksan miljoonaa asukasta – ja 40 miljoonaa muutakin ihmistä Yhdysvaltain ja Kanadan länsirannikolla – täydelliseen pimeyteen.

Tapahtumaketju sai alkunsa Ohiossa, jossa yksi ainoa voimala kytkettiin pois kantaverkosta. Sen surauksena verkon johdot ylikuormittuivat ja lämpölaajetessaan osuivat puiden latvoihin aiheuttaen oikosulkuja. Se taas johdatti 265 muun voimalan hätäsulkuihin, ja lopulta 24 000 neliökilometrin alue jäi ilman sähkönjakelua.

Tämä ja kuukautta myöhemmin Sveitsissä ja Italiassa 56 miljoonan ihmisen sähköt katkaissut katkos toi selkeästi esiin yhteiskunnan elämänlankaa eli sähkönjakeluverkkoa vaivaavat ongelmat.

Esimerkiksi Pohjois-Amerikassa kantaverkkoa on rakennettu sadan vuoden ajan pala palalta, ja nykyisellään tämä miljoonista johtokilometreistä koostuva, jopa 765 000 voltin jännitteellä toimiva infrastruktuuri on jo tuhannen miljardin euron arvoinen. Siitä huolimatta mikään yksittäinen taho ei vastaa sen käytöstä, huollosta tai suojaamisesta. Ja tilanne on lähes vastaava myös Euroopassa.

Kantaverkoissa toimii samaan aikaan keskenään kilpailevia yrityksiä, jotka pyrkivät tuottamaan ja siirtämään joka sekunti juuri sen verran tehoa kuin käyttäjät tarvitsevat – eikä yhtään ylimääräistä. Vuoden 2003 katkokset saivat yhdysvaltalaiset sähköntuottajat muodostamaan yhteenliittymän, joka pyrkii jatkossa estämään vastaavan hallitsemattoman ketjureaktion.

Siitä huolimatta luotettavuus ei ole ainoa, eikä oikeastaan edes vaativin ongelma, joka siirtoverkkoa odottaa tulevana vuosikymmeninä.

Suuremman haasteen muodostaa kapasiteetti. Viime vuosisadan verkko ei kovin hyvin vastaa 2000-luvun vaatimuksia. Sähköenergian tarve kasvaa jatkuvasti ja pahenee vain, kun fossiilisista polttoaineista väistämättä siirrytään puhtaampiin energiamuotoihin. Sähköntuottajat eivät voi vain työntää lisää virtaa ja jännitettä kaapeleihin, sillä miljoona voltia on nykyisten eristeiden käytännön kestopaja – sen jälkeen ne hajoavat ja alkavat lyödä läpi. Ja suurempi virta taas kuumentaa kaapelit, jolloin ne venyvät ja alkavat roikkua lähellä puiden latvoja.

Ei ole ollenkaan selvää, miten nykyinen infrastruktuuri selviää, jos sähköä yöllä seinästä lataavien sähköhybridiajoneuvojen määrä lisääntyisi nopeasti. Ja koska sähkön tuotannon tulee joka hetki vastata kulutusta, ei kelien mukaan ailahtelevien tuuli-, aalto- tai aurinkovoimaloiden varaan voi rakentaa kovin paljoa.

Yhdysvalloissa kasvava joukko eturivin fyysikoita ja insinöörejä (mukaan lukien tämän artikkelin kirjoittajat) on alkanut suunnitella uutta energiansiirtoverkkoa, jota kutsutaan nimellä supergrid eli superkantaverkko. Ajatuksissa on, että verkko kehittyisi nykyisen siirtoverkon rinnalla. Vuosikymmenien kuluessa supergridistä sitten kasvaisi väylä riittävän, luotettavan, edullisen ja puh-taan energian siirtämiseen. Eikä vain sähkön, vaan myös kulkuneuvoissa käytettävän vedyn siirtoon.

Kaavailujen superverkko ei kaipaa enää uusia keksintöjä, vaan olemassa oleva tekniikka riittää. Nykyiset atomi-, vety- ja suprajohdinteknologiat yhdessä uusiutuvien energiamuotojen kanssa muodostaisivat uuden verkon teknisen ytimen.

Rakennusvaiheen yhteiskunnallisen yhteisymmärryksen saavuttamisessa ja joidenkin rakenteellisten yksityiskohtien ratkaisemisessa ongelmat tulevat sen sijaan olemaan suuria. Mutta suuret tulevat olemaan myös superverkon hyödyt.

Suprajohteiden käyttö mahdollistaa lähes häviöttömän sähkönsiirron. Tuotanto voi, toisin kuin nyt, sijaita kaukana loppukäyttäjistä ja poissa asutuskeskusten liepeiltä – jopa toisella ilmastovyöhykkeellä.

Supergridissä tarvittaisiin nestemäistä vetyä (lämpötila -253°C), sillä suprajohtava kaapeli jäädytettäisiin sen avulla suprajohtavuuslämpötilaansa. Samalla voitaisiin kuitenkin myös siirtää vetyä. Se toimisi samalla



SUURTEN tehojen siirrossa joudutaan rakentamaan useita rinnakkaisia linjoja. Suprajohtava kaapeli korvaisi useita ilmajohtoja. Ilmajohtojen kuumeneminen ja lämpölaajeneminen saattaa aiheuttaa niiden laskeutumisen vaarallisen alas.

energiapuskurina, jota voitaisiin käyttää korkean kulutuksen aikana. Täten uusiutuvat energianmuodot saataisiin paremmin hyödynnettyä tuotantovaihteluista huolimatta. Vedyn hyvä saatavuus on myös perusedellytys, jos kasvihuonekaasuja synnyttävistä fossiilisista polttoaineista halutaan luopua.

Uuden aikakauden verkko

Superverkko saattaa kuulostaa futuristiselta, mutta ajatuksella on pitkä

historia. Jo vuonna 1967 IBM:n fyysikot **Richard L. Garwin** ja **Juri Matsoo** julkaisivat suunnitelmansa tuhatkilometrisestä niobium-tina-siirtokaapelista, joka siirtäisi suuria virtoja suprajohtavana.

Epätavallisen suurin määräiä tasavirtaa voidaan siirtää käyttäen tällaista suprajohtetta, kun metalli jäädytetään nesteheliumin avulla muutaman asteen päähän absoluuttisesta nolapistestä. Alkuperäisessä suunnitelmassa käytettiin

kahden kohtion tasavirtakaapelia, joka pystyisi siirtämään sata gigawattia tehoa eli noin 50 ydinvoimalan tuoton verran.

Garwin ja Matisoo tosin vain esitivät, mikä olisi mahdollista, ei välttämättä käytännöllistä. Verkon yhdessä kohdassa ei tarvitse olla niin paljon tehoa, ja nestemäinen helium on sitä paitsi melko hankala jäädytettävä.

Ajatus kuitenkin innoitti seuraajia; seuraavina vuosikymmeninä testat-

Suprajohtavuus

■ AINA vuoteen 1911 asti fyysikkopiireissä uskottiin, ettei luonnonilmiöissä ole faasitransitioita eli esimerkiksi veden jääytymistä lukuun ottamatta hypäkyksiä, vaan kaikki muuttuu tasaisen lineaarisesti lämpötilan muuttuessa.

Oli havaittu, että metallien sähkönvastus pieneni lämpötilan laskiessa. Teoretisoitiin, että niin kutsutussa absoluuttisessa nolapistessä eli -273,15 celsiusasteessa vastus häviäisi kokonaan. Näin ei tietenkään reaali maailmassa tapahtuisi, sillä ymmärrettiin, ettei absoluuttista nolapistettä voitaisi koskaan saavuttaa. Jokainen askel alaspäin pyrittäessä puolittui ja oli yhtä vaikea saavuttaa kuin edellisenkin, siis

aivan kuin matematiikan päättymätön sarja $1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \dots$, joka lähestyy rajattomasti lukua kaksi sitä kuitenkaan koskaan saavuttamatta.

Tuona vuonna kuitenkin hollantilainen fyysikko **Heike Kamerlingh Onnes** jäädyttäessään jo kiinteää elohopeaa nestemäisellä heliumilla havaitsi yllätykseksensä sen sähkönvastuksen putoavan täsmälleen nolaaan jo 4,2 kelvinnasteessa eli noin -269 celsiusasteessa. Kyseessä oli faasitransitio, joka pudotti vastuksen kertaheitolla nolaaan. Tämä vallankumouksellinen havainto johti aikoinaan kokonaisen uuden tieteenhaaran eli suprajohtavuuden syntyyn ja vauhti uusia fysiikan teorioita selitykseksensä. Kamerlingh Onnes palkittiin löydöstään paria vuotta myöhemmin fysiikan Nobel-palkinnolla.



Tavallisessa sähköjohtossa virran aiheuttavat liikkuvat varaukset eli elektronit, kun johtimen päiden välissä on potentiaaliero. Suprajohteessa ilmiö on kvanttimekaaninen, ja elektronien niin kutsutut Cooperin parit liikkuvat vastuksettomasti supranesteen tavoin.

Suprajohtavuuden lämpötilaraja on noussut vuosi vuodelta, vaikka huoneenlämmössä toimivaa suprajohtetta ei vielä ole löydetty. Useat korkean

MAGNEETTINEN levitaatio on ehkä tunnetuin suprajohtavuutta demonstroivista ilmiöistä. Nestetyypen 77 kelvinnasteen lämpötilassa suprajohtaviksi tulevilla materiaaleilla se on helppo toteuttaa.

lämpötilan suprajohteet ovat keraameja, joista on haurauden takia vaikea valmistaa sähköjohtimia. Hyvin tärkeä tekninen läpimurto oli nestetyypen lämpötilassa eli 77 kelvinnasteen toimiva suprajohte, sillä nestemäisen tyypin sekä valmistus että käsittely on helppoa ja perin pohjin tunnettua halpaa tekniikkaa, verrattuna vaikkapa kalliiseen nesteheliumiin.

Hannu Tanskanen



SAMSUNG LE-R71W 19", 23" ja 32"

kuvittele televisio, joka saa kaipaamaan kotiin.

Sinä päätät, mitä haluat katsoa. Samsungin upeasti muotoiltu valkoinen LCD-televisio on helppo valinta – ja vastustamattoman kaunis katsoa. Lue lisää osoitteesta www.samsung.fi



TUULIVOIMALA tuottaa energiaa silloin, kun tuuliolot ovat sopivat, eikä näin välttämättä ole suurimman kysyntäpiikin aikana. Vetyputkistoon energiaa voisi varastoida odottamaan myöhempää käyttöä.

tiin lyhyitä, vaihtovirtaa kuljettavia suprajohteita muun muassa USA:n Brookhavenissa ja Itävallan Grazissa, joista jälkimmäinen oli vuosia kytettyinä valtakunnanverkkoon.

Kymmenen vuotta niin sanottujen korkean lämpötilan suprajohteiden keksimisen jälkeen sähkövoiman tutkimuslaitos EPRI laski, että nestetyöllä jäädytetty viiden gigawatin vaihtovirtaa siirtävä ”sähköputki” kilpailisi taloudellisesti kaasuputken ja voimavirtakaapelien kanssa yli 800 kilometrin siirtomatkoilla.

Kaksi tämän artikkelin kirjoittajista (Grant ja Starr) kehittivät ajatusta vielä pidemmälle ja esittelivät vetyjäädytteen putken idean, jossa jäädytettä voitaisiin käyttää siirrettävänä energiamuotona. Vety olisi siirrettävässä nesteenä tai superkriittisenä kaasuna.

Vuosina 2002 ja 2004 kolmannen kirjoittajan (Overbye) järjestämässä kymmenien asiantuntijoiden aivoriihissä tehtiin yksityiskohtainen suunnitelma 100-metrinen ja myöhemmin 50-kilometrisen koeputken rakentamisesta olemassa olevaan sähköverkkoon. On tärkeää, että prototyyppejä aletaan työstää mahdollisimman pian, sillä nykyinen siirtoverkko toimii jo kapasiteettinsa ylärajoilla – ja ajoittain sen yläpuolella, kuten sähkökatkoista on voitu havaita.

Esimerkiksi Yhdysvaltain sähköntuotantokyky on viimeisen viiden vuoden aikana kasvanut lähes 25 prosenttia, kun siirtoverkko on kasvanut vain 3,3 prosenttia. Ja energian tarvekin kasvaa nopeasti. Arvioiden mukaan vuonna 2025 maan kulluttua 134 000 000 000 megajoulea eli neljänneksen enemmän energiaa kuin nykyään.

Kasvava tarve aiheuttaa kaksi ongelmaa: miten energiaa tuotetaan, ja miten sitä jaellaan. Fossiliiset polt-



toaineet ovat varmasti vielä seuraavat 20 vuotta merkittävä energianlähde. Mutta maailmanlaajuinen kilpailu rajallisista öljy- ja kaasuvaroista on kiivasta, ja pienetkin jakelukatkokset aiheuttavat hintapiikkejä, kuten on jo monesti huomattu. Ja kasvihuoneilmiö on vielä kokonaan oma lukunsa.

Superverkko tarjoaisi mahdollisuuden irtautua fossiilisesta energiasta, sillä sen avulla uusiutuvien energiamuotojen, tuulivoiman, aurinko-, biomassan ja etenkin uusien ydinvoimalasukupolvien edut saataisiin parhaiten hyödynnettyä. Näiden uusien miljardien kilowattituntien siirtämiseen kun tarvitaan tehokasta verkkoa.

Nykyistä kantaverkkoakin voidaan parantaa, mutta vain tiettyyn pisteeseen asti. Uudet hiilitäytteiset alumiinikaapelit kestävät kovempaa kirstystä kuin perinteiset kuparikaapelit, joten ne voivat kuljettaa ehkä kolme kertaa enemmän virtaa ennen kuin ne lämpölaajenevat vaarallisen pitkiksi.

Jännitteessä ei silti päästä korkeammalle, sillä olemme jo nyt lähellä miljoonan voltin rajaa, jota enempää eivät eristeet eivätkä vaihtovirtajärjestelmän puolijohdekomponentit kestä. Vaihtovirtajohdot ovat myös huono ratkaisu yli 1 200 kilometrin siirtomatkoilla, sillä ne alkavat säteillä vaihtovirran taajuutta valtavien antennien tavoin.

Kun satoja lisägigawatteja halutaan siis siirtää, on USA:n nykyistä verkkoa laajennettava uusien teknologioiden avulla.

Uuden sukupolven ydinvoima

Yksi superverkon suunnittelun lähtökohdista on ollut se, että sähköä voidaan syöttää kaikenkokoisista lähteistä, aina katolla olevasta aurinkopaneelista ja maatilalla tuulimyllystä lähtien.

Mutta verkko on kuitenkin mitoitettava sen suurimman yksittäisen sähköntuottajan mukaan. Koska uusiutuvat energianlähteet ovat vielä kehitysasteella, olemme mitoitaneet suunnitelmamme niin sanotun neljänneksen sukupolven ydinvoimaloiden mukaiseksi.

Neljäs, kaasujäädytteen sukupolvi on vasta suunnitteilla. Perinteiset voimalat käyttävät jäädytteen pääasiassa vettä, mistä syystä ne on usein rakennettu vesistöjen ja samalla asutuksen läheisyyteen. Uusi sukupolvi siirtää ylimääräisen lämmön veden sijaan maahan tai ilmaan.

Uusissa voimalamalleissa ydinreaktio hidastuu lämpötilan kasvaessa yli normaalin. Siten ne eivät ole alttiita Tšernobyli-tyyppiselle ylikuumenemiselle.

Kuitenkin myös tämä neljäs fissio-reaktorisukupolvi tuottaa säteilevää käytettyä polttoainetta. Sen käsittely- tai ainakin siirto-ongelmat kuitenkin vähenevät, kun voimaloita voidaan sijoittaa syrjäisille alueille suuriksi, kymmenen gigawatin rypäiksi. Tarvitaan kuitenkin juuri superkaapelien kaltainen teknologia tällaisen valtavan energiamäärän siirtämiseen.

Superkaapelit

Mitä sähkönsiirtoon tulee, ovat superkaapelit erinomainen ratkaisu, sillä ne siirtävät kymmeniä gigawatteja satojen kilometrien matkalla ilman siirtohäviöitä.

Vaikka matalissa lämpötiloissa toimivat suprajohteet löydettiin jo

töä alueella, johon kaapeli on laskettu.

Sähkönsiirrotutkimusten tuomina Suomessa on Tampereen teknillisessä yliopistossa sekä Teknillisessä korkeakoulun sähköverkko- ja suurjännitetekniikan laboratorioissa. Suprajohtavuuden potentiaalisesti tuomiksi säästöiksi Suomen sähköverkoissa on arvioitu 1,2 % eli euroina noin 500 miljoonaa.

Enemmän sähköstä Suomessa TM:n numerossa 1/07 s.116–127.

Hannu Tanskanen

Suomen sähköverkko

■ SUOMEN päävoimansiirtoverkosta vastaa Fingrid Oyj, joka on valtakunnallinen kantaverkkoyhtiö. Suomi, Ruotsi, Norja ja Tanska muodostavat yhdessä pohjoismaiset sähkömarkkinat, jossa avoimessa sähköpörssissä, Nord Pools Spot AS:ssa, noteerataan seuraavan päivän sähkön hinta tunnin tarkkuudella.

Fingrid omistaa 20 % sähköpörssin osakkeista. Sähköpörssin osuus Pohjoismaissa kulutetusta sähköstä on lähes kaksi kolmasosaa. Loppu tapahtuu kahdenvälisinä kauppoina.

Huippukulutus Suomessa on 15 000 MW ja minimi (juhannuksen aikoihin) 6 000 MW. Tarvittaessa tuontisähköä saadaan Ruotsista 2 000 MW, Venäjältä 1 500 MW, Virosta 350 MW ja Norjasta 100 MW. Fingridin hallitsemaan Suomen kantaverkkoon kuuluu noin 4 000 km 400 kilovoltin, 2 400 km 220 kilo-

voltin ja 7 600 km 110 kilovoltin siirtolinjoja (1 kilovoltti = 1 000 voltia) sekä 104 sähköasemaa.

Pitkillä etäisyyksillä käytetään 400 000 voltin jännitettä, eikä tätä korkeammalla siirtojännitteellä Suomessa nähdä tarvetta. Suomen sähköverkko on rakennettu pääasiassa ilmaeristetyinä, eli johdot ovat avojohtoja ja sähköasemat ulos asennettuja. Maakaapeleita käytetään vähän, koska ne ovat kohtuuttoman kalliita pitkillä siirtoetäisyyksillämme ja rajoittavat maankäyt-



VETYÄ käyttävien autojen suurin ongelma on tankkauspisteiden vähyys. Jos vetyä kulkisi uudessa energiaverkossa, olisi se myös helpommin tankattavissa.

1911 ja niistä on siitä lähtien rakennettu erilaisia koelaitteistoja, ovat ultrakylmää tuottavat laitteet kehittyneet teollisuuskäyttöön soveltuviksi vasta viime vuosina. Vasta nyt suprajohdeita saadaan erikoissovelluksista kuten magneettikuvauksesta ja hiukkaskiihdyttimistä tavalliseen kaupalliseen käyttöön.

Useat valtiolliset tahot, kuten Yhdysvallat, Euroopan unioni, Japani, Kiina ja Etelä-Korea ovat alkaneet tukea suprajohdekomponenttien – esimerkiksi muuntajien, moottorien, generaattorien, vikavirtasuojien ja johtimien – kehitystyötä.

Muun muassa Long Islandilla ja Ohiossa kokeillaan parhaillaan suprajohdettavaa kaapelia. Se pohjautuu kuparioksidin ja jähdytetään nestetyyppellä 77 kelviniin (-196 celsiusasteeseen). Nestevedyn käyttäminen jähdytykseen laskisi lämpötilan 20 kelviniin, eli uusien suprajohdeiden kuten magnesiumdiboridin toiminta-alueelle.

Kaikki nämä demonstraatiokaapelit ovat kuitenkin käyttäneet vaihtovirtaa, vaikka vain tasavirta kulkee suprajohdeissa vailla resistanssia eli sähkövastusta. Vaihtovirrallaakin suprajohdeiden resistanssi tosin laskee vain 0,5 prosenttiin verrattuna vastaavassa lämpötilassa olevaan kupariin.

Suunnitelman mukainen supergrid-verkko koostuisi kahdesta tasavirtakohtiosta, joista toisen jännite olisi + 50 000 volttia ja toisen - 50 000 volttia. Kumpikin siirtäisi 50 000 ampeeria virtaa – eli paljon enemmän kuin perinteinen kaapeli kestää. Nykyään noin 10 prosenttia sähköenergiasta kuluu siirtohäviöihin, joten häviötön verkko olisi merkittävä etu.

Viiden gigawatin superkaapeli olisi täysin mahdollista rakentaa. Ja jos neljä kaapeliparia pystyisi kuljettamaan Kiinan valtavan Kolmen rotikon padon kaikkien 26 generaattorin tuottaman tehon.

Superkaapeli siirtäisi energiaa paitsi sähkön myös vedyn muodossa, ja tästä kaksijakoisuudesta on merkittävää etua. Neljännän sukupolven ydinvoimat kun voivat tuottaa vetyä lähes samalla termisellä hyötysuhteella kuin sähköä. Voimalaryhmässä tuotettavan sähkön ja vedyn keskinäistä suhdetta voitaisiin siis koko ajan säätää vastaa-

maan sähköntarvetta mutta myös huolehtimaan kaapelin riittävästä jähdytyksestä.

Sähköenergiaa ja vetyenergiaa

Mahdollisuus tuottaa energiaa kahdessa rinnakkaisessa muodossa avaa paljon uusia mahdollisuuksia. Se voisi myös laskea sekä vedyn että sähkön hintoja.

Nykyiset hybridiajoneuvot kulkevat bensiini- tai dieselmoottorin voimin, mutta tallettavat muuten hukkaan menevää jarrutusenergiaa akkuihinsa. Viime vuonna markkinoille tuli myös pistokkeesta ladattava sähköhybridimalli. Toisaalta esimerkiksi BMW (ks. TM 1/07) ja Mazda ovat esitelleet vetypolttomootorimallit, jotka polttavat vetyä, kun sitä on saatavana, ja muulloin bensiiniä. Polttokennoautot taas muuntavat vetyä kenoissaan sähköksi sähkömoottoreilleen.

Parhaimmatkin nykyiset automallit muuntavat vain 30–35 prosenttia polttoaineen energiasta liike-energiakseen. Polttokennoautoilla tämä luku on helposti 50 prosenttia ja nostettavissa 60–65 prosenttiin.

Vaikka vain pieni osa maailman fossiilisista liikennepolttoaineista korvattaisiin muilla puhtailla muodoilla, tarvittaisiin valtavasti sähköä ja vetyä sekä lisäksi toimiva jakeluverkko. Supergrid on yksi ratkaisu ongelmaan. Voimaloistahan osa voisi tuottaa vetyä ja osa sähköä.

Kun sähkö ja vety siirretään yhdessä, toimii ”sähköputki” paitsi energian siirtäjänä myös sen varastona. Esimerkiksi 70 kilometriä superkaapelin 40-senttisestä vetyputkesta sisältää 32 gigawattituntia energiaa eli saman verran kuin Yhdysvaltain suurin patoallas.

Kun sähköenergia saadaan muunnetuksi tarvittaessa pitempään säilyväksi energiamuodoksi, esimerkiksi vedyksi, sähkömarkkinat voisivat nykyistä helpommin reagoida kysynnän heilahduksiin.

Kun energiaa saadaan siirrettyä pitkiä matkoja ilman häviötä, voidaan kaukana toisistaan olevien kaupunkien kulutushuippuja taasoittaa keskenään. Esimerkiksi Yhdysvalloissa Kalifornian osavaltio kärsii sähkön vajeesta kuumina iltapäivinä, vaikka New Yorkissa olisi tarjolla paljon ylimääräistä tuotantokapasiteettia. Jos energiaa saataisiin siirrettyä helposti, vähentäisi pelkästään tämä tasaus uusien voimaloiden tarvetta.

Supergrid poistaisi myös nykyään uusiutuvia energiamuotoja vaikean sääolojen ennustamattomuuden ongelman. Kun voimat tuottaisivat vain vetyä, sitä voitaisiin pumpata verkkoon silloin, kun sitä on saatavilla ja käyttää vasta myöhemmin. Tai vaihtoehtoisesti pienvoimat voisivat tuottaa pelkkää sähköä, jolloin suuret voimat voisivat muuntaa ylimääräisen kapasiteettinsa vedyksi.



NYKYÄÄN rakennettavat ydinvoimat ovat niin sanottua kolmatta sukupolvea. Nyt suunnitteilla oleva neljäs sukupolvi sopii vetytalouden tarpeisiin vielä paremmin.



TEKOALTAAN idea on kerätä vettä padon yläpuolelle, josta sen potentiaalienergia voidaan käyttää, kun lisäenergiälle on tarvetta. Noin 70 kilometriä supergridin vetyputkea sisältää saman verran energiaa kuin Yhdysvaltain suurin, yli kahden neliökilometrin kokoinen tekoallas.

Miten eteenpäin?

Kuten sanottu, superkaapeli ei tarvitse toteutuakseen kuin olemassa olevaa tekniikkaa. Sähköntuottajat ovat olleet kiinnostuneista suunnitelmasta ja rahoittaneet EPRI:n tutkimusta, joka selvittää superverkon ja nykyisen kantaverkon yhdistämisen lukuisia ongelmia. Suurin ongelma on, mitä tehdään superkaapelin vioituksessa.

Nykyinen kantaverkko kestää, vaikka sen yksi osio, esimerkiksi yksi korkeajännitekaapeli, lakkaisi toimimasta. Jos kaapeli esimerkiksi osuu puunlatvaan, erottimet kytkevät vioituuneen osuuden välittömästi pois verkosta, ja virta kulkee toista reittiä.

Superkaapeliin ei sen sijaan vielä ole olemassa tällaista suurista virtoja kestävää erotintekniikkaa – sellainen pitää kehittää. Ja millaisia menetelmiä käytetään silloin, kun superkaapelista ei saadakaan virtaa ja energiaa pitää siirtää vanhaa kantaverkkoa pitkin? Superkaapelin virran katkeaminen myös romahduttaisi ympäröivän magneettikentän, joka puolestaan kehittäisi suuren jännitepiikin. Kaapelin eristeiden on kestävä tämä piikki rikkoutumatta.

Myös suurten vetymäärien siirtämisen superkaapelissa on haaste. Petrokemianteollisuus ja avaruushajmat ovat tosin jo kehittäneet menetelmiä nestemäisen ja kaasumaisen vedyn siirtämiseksi kilometrien mittaisissa putkistoissa. Ja maakaasun lisääntyvä käyttö on vain lisännyt alan osaamista.

Vedyn "räjähdäpotentiaali" eli massayksikön sisältämä energiamäärä on kaksinkertainen maakaasun metaaniin nähden. Ja vety vuotaa helpommin ja myös syttyy pie-

nemässä happimäärässä, joten vedyn siirtoverkon tulee olla täysin ilmatiivis. Ajoneuvojen vetytankkeja varten on kuitenkin jo kehitetty yli 700 baarin paineita kestäviä erikoispinnoitteita, jotka soveltuvat myös superkaapelin vetyputkeen.

Ehkä paras sijoituspaikka superkaapelille olisi maanalainen tunneli. Tunnelointi vähentäisi varmasti myös uuden linjan rakentamisesta aiheutuvaa vastustusta.

Tunnelien rakennuskulut ovat vielä suuret, mutta halpenevat ko-

ko ajan, kun erikokoisia kuljetus- ja siirtotunneleita rakennetaan ympäri maailmaa ja kustannukset kilometriä kohti pienenevät. Fermilabin tuoreen arvion mukaan 800-kilometrisen, kolme metriä leveän ja 150 metriä maan alle rakennettavan tunnelin hinnaksi tulisi alle tuhat euroa metriä kohti.

Ja koska uusi superkaapeli kykenisi siirtämään aikaisempaa suuremman määrän energiaa, olisivat suuremmat rakennuskustannuksetkin perusteltuja. Tunnelisijoituksen taloudellisia rajoitteita ja uusi mahdollisuuksia pitää kuitenkin vielä tutkia lisää.

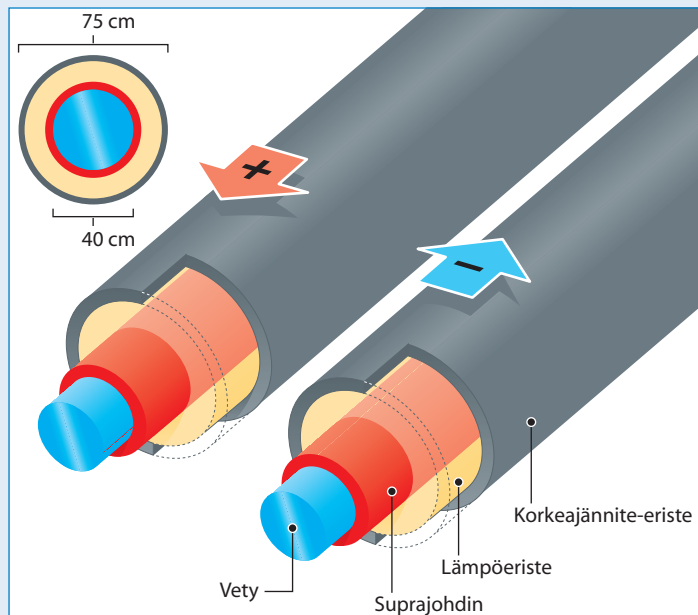
Jotta supergrid-hanke saataisiin käyntiin, vuoden 2004 aivoriihen osallistajat ehdottivat koekaapelia, jolla aluksi siirrettäisiin joitain satoja megawatteja nestetypellä jäähdytettynä lähinnä suprajohtavien komponenttien ominaisuuksien selvittämiseksi. Hankkeen taakse ehdotettiin Yhdysvaltain energiaministeriötä. Koekaapeli rakennettaisiin tutkimusalueelle, ja hanketta valvoisivat energiantuottajat. Onnistuneen kokeen jälkeen voitaisiin rakentaa kymmeniä kilometrejä pitkä toinen koekaapeli, jolla helpotettaisiin pahimmin tukkeutuneita kohtia nykyisessä kantaverkossa.

■ **KAIKISTA** muista eduista huolimatta hinta ratkaisee, alkavatko maailman maat rakentaa uutta energianjakelujärjestelmää. Sijoitus on eittämättä valtava, jopa nykyisen infrastruktuurin hintainen. Sijoituksen tuottokin tulee niin hitaasti, ettei se houkuttele yksityisiä sijoittajia.

On vaikea arvioida monen vuosikymmenen ja monen rakennusvaiheen hankkeen lopullista hintaa. Mutta lopulliset hyödyt on helppo nähdä: hiilettömä ja ekologinen energainfrastruktuuri, joka loisi taloudellista varmuutta ja varmaa energiansaantia.

Superkaapeli

■ EHDOTETTU superkaapeli voi siirtää energiaa sekä sähköä että kemiallisessa muodossa vetyä. Sähkö kulkee lähes vastuksettomasti suprajohtavasta materiaalista valmistettuja putkia pitkin (punainen osa). Nestemäiseksi viilennetty vety (sininen) kulkisi putkimaisen sähköjohtimen sisällä ja pitäisi johdinten lämpötilan lähellä absoluuttista nollopistettä. Kahden, halkaisijaltaan noin metrin levyisen kohtion superkaapeli siirtäisi viisi gigawattia sähköä ja kymmenen gigawatin verran vetyä.



	Jännite/lämpötila	Virta	Siirretty teho
Tasavirtasähkö	+50 000 V ja -50 000 V	50 000 A	5 000 MW
Nestemäinen vety	20 K (n. -253 °C)	1,2 m ³ /s (72 000 l/min)	10 000 MW

Kirjoittajat

Paul M. Grant aloitti uransa IBM:llä – yhtiön keilahallin apupoikana. Tohtorinväitöksen jälkeen hän työskenteli San Jose Research Laboratoryssa, jossa osallistui korkean lämpötilan suprajohteiden keksimiseen. Vuosina 1993–2004 hän työskenteli Electric Power Research Institute ERPI:ssä.

Chauncey Starr perusti ERPI:n vuonna 1973. Vuonna 1990 hänelle myönnettiin U.S. National Medal of Technology -tunnustus. Hän on kryogeniikan uranuurtaja ja on sittemmin työskennellyt energia-alan johtotehtävissä.

Thomas J. Overbye työskentelee University of Illinoisissa sähkö- ja tietotekniikan professorina ja kuului vuoden 2003 sähkökatkosten viralliseen tutkimuslautakuntaan.