WWF

RAPORTTI

SUOMI

2013

WWF:n Kaupunkienergiaraportti 2013

EROON FOSSIILISISTA

Uusiutuvan energian tulevaisuus suomalaisessa kaupungissa

Teksti:
Aino Kuitunen
Hanna-Liisa Kangas
Anna-Stiina Lundqvist
Teemu Niinimäki

Ulkoasu: Johanna Kulmalainen
Valokuvat: WWF
Kansikuvat: Aki-Pekka Sinikoski

WWF Suomi
Lintulahdenkatu 10
00500 Helsinki
09 7740100
wwf.fi

SISÄLTÖ

100 % uusiutuvaa energiaa on mahdollista! s. 4

Alkusanat s. 6

Raportin tavoite ja pääoletukset s. 8

Kaupunkien merkitys ilmastokriisissä s. 10

Nykyisen energiajärjestelmän kestämättömyys s. 14

Kohti puhdasta kaupunkia s. 18

Taloudelliset vaikutukset s. 25

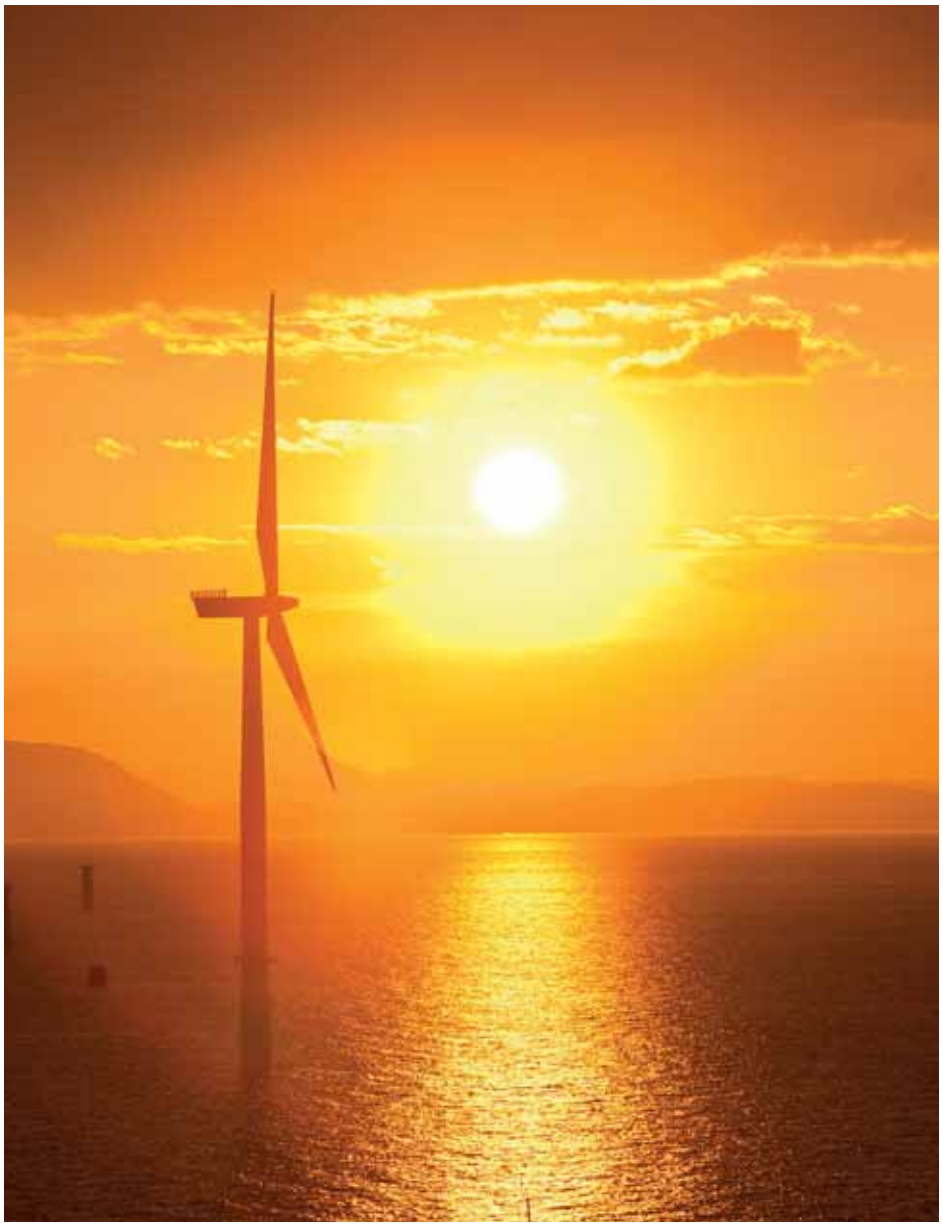
Johtopäätökset s. 28

Menetelmät ja aineisto s. 29

Lähteet s. 37

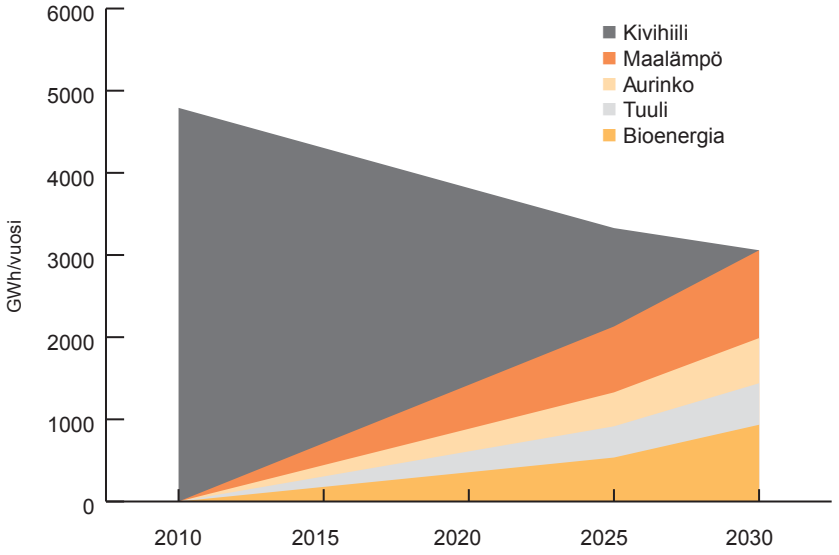
100 % UUSIUTUVAA ENERGIAA ON MAHDOLLISTA!

WWF:n *The Energy Report* osoitti, että maailma pystyy siirtymään täysin uusiutuvaan energiaan vuoteen 2050 mennessä. Myös suomalaisissa kaupungeissa voidaan lopettaa fossiilisten polttoaineiden käyttö. Energiatehokkuuden parantaminen on tärkeä osa ratkaisua.



© GLOBAL WARMING IMAGES / WWF-CANON

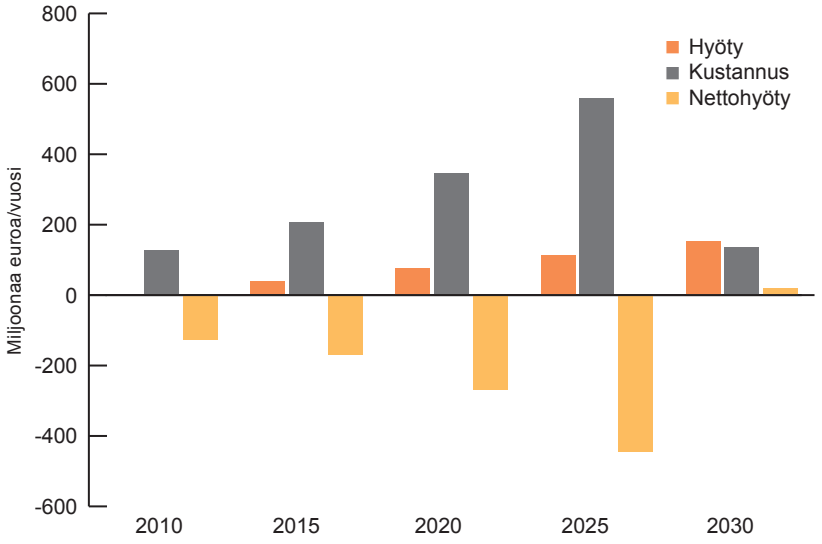
Paikallinen uusiutuva energia tarkoittaa pienempiä päästöjä, työpaikkoja ja parempaa energiaomavaraisuutta. Esimerkkikaupungissa Helsingissä kivihiili voidaan korvata kestävästi aurinko-, tuuli- ja bioenergialla sekä maalämmöllä oheisen kuvion mukaisesti.



Kivihiilen korvaaminen Helsingissä uusiutuvalla energialla vaatii hajautettua energiantuotantoa.

RAPORTIN TÄRKEIMMÄT TULOKSET

Uusiutuvaan energiaan siirtyminen ei ole ilmaista, mutta se maksaa itsensä takaisin säästettyinä polttoainekustannuksina. Helsingissä kustannukset muuttuvat hyödyiksi vuoteen 2030 mennessä, kun kivihiili korvataan hajautetulla uusiutuvalla energialla. Kalleimpina vuosina siirtymä kivihiilestä hajautettuun uusiutuvaan energiaan maksaa noin kaksi euroa päivässä yhtä helsinkilästä kohden. Globaalit ilmastoneuvottelut edistyvät tuskallisen hitaasti, mutta ilmastoratkaisut ovat jo paikallisesti käsiemme ulottuvilla hyvin konkreettisesti.



Kivihiilestä uusiutuvaan energiaan siirtymisen nettohyöty muuttuu Helsingissä positiiviseksi vuoteen 2030 mennessä.

© AKI-PEKKA SINIKOSKI / WWF

Muualla Euroopassa tuuli- ja aurinkoenergian käyttöönotto lisääntyy vauhdilla.

ALKUSANAT

Yhdeksän kymmenestä suomalaisesta haluaa lisää tuuli- ja aurinkoenergiaa. Tällä hetkellä näillä uusiutuvan energian muodoilla tuotetaan kuitenkin yhteensä alle 0,2 prosenttia Suomen energiatarpeesta. Muualla Euroopassa tuuli- ja aurinkoenergian käyttöönotto lisääntyy vauhdilla. Suomi on jäämässä jälkeen eurooppalaisesta kehityksestä.

Ilmastonmuutos on yksi aikamme pahimpia uhkia, jonka rinnalla nykyinen talouskriisi kalpenee. Esimerkiksi arktisen merijään sulaminen ennätysalhaisiin lukemiin on merkki kiihtyvästä ilmastokriisistä. Hiilidioksidia on ilmakehässä nyt enemmän kuin koskaan aiemmin ihmiskunnan historiassa.

YHDEKSÄN KYMMENESTÄ SUOMALAISESTA HALUAA LISÄÄ TUULI- JA AURINKO-ENERGIAA.

Etenkin fossiilisten polttoaineiden aiheuttamat päästöt on saatava pikaisesti kuriin, jottei ilmastonmuutos kaikkine seurauksineen karkaa hallitsemattomaksi. Tutkijoiden mukaan päästöjen tulee lähteä laskuun ennen vuotta 2015, jotta kriisi ei karkaa käsistä.

Uusiutuva energia ja energiansäästö ovat ilmastokriisin tärkeimmät ja kestävimmät ratkaisut. Muutokseen vaadittava tekniikka on jo olemassa, enää on kyse tahdosta.

Tällä raportilla haluamme osallistua ajankohtaiseen keskusteluun kaupunkien energiatarpeen tyydyttämisestä ekologisesti ja taloudellisesti kestävällä tavalla. Tarjoamme yhden vision siitä, kuinka Helsinki voisi siirtyä kivihiilen käytöstä uusiutuvaan energiaan. Perusratkaisut ovat samat muissakin kaupungeissa. Haluamme osoittaa, että suomalaiset kaupungit voivat siirtyä fossiilisten polttoaineiden käytöstä kohti tulevaisuutta, jossa kaikki energia tuotetaan kestävästi uusiutuvalla energialla.

Kiitämme Helsingin yliopiston Taloustieteen laitosta sekä Metsoa tämän raportin mahdollistamisesta. Raportti edustaa täysin WWF Suomen näkemystä.

HELSINGISSÄ 5.6.2013

Liisa Rohweder
WWF Suomen pääsihteeri

RAPORTIN TAVOITE JA PÄÄOLETUKSET

Tavoitteena löytää kivihiilelle kestävämpi, uusiutuviin energialähteisiin perustuva vaihtoehto Helsingissä

- Askel 1: pienennetään kysyntää
- Askel 2: korvataan jäljelle jäänyt tarve uusiutuvilla energialähteillä
- Kustannus-hyötyanalyysi: lasketaan toimien lisäkustannukset verrattuna perusuraan ja verrataan niitä saavutettuihin hyötyihin

Menetelmä

- Energiansäästömahdollisuudet sekä uusiutuvien energialähteiden potentiaali on arvioitu kirjallisuuslähteiden perusteella
- Nettohyödyt on analysoitu kustannus-hyötyanalyysin perusmenetelmien mukaisesti taulukkolaskentana

Raportti mukailee WWF:n maailmanlaajuisen The Energy Report -julkaisun oletuksia

- Energian tuotantorakenne monipuolistuu, tuotannon ja kysynnän vaihtelut on paremmin huomioitu ja kysyntää ohjataan entistä tehokkaammin
- Älykkäät sähköverkot ja varastointikapasiteetti yleistyvät yhteiskunnassa
- Bioenergian osuus pidettävä mahdollisimman pienenä kestävyyskriteereiden takia

Raportin muut perusoletukset

- Lämmön kysyntä vähenee vauhditetun korjausrakentamisen yhteydessä tehdyillä energiatehokkuuden parannuksilla
- Kivihiilituotanto ja kaukolämmön kysyntä pienenevät tasaisella vauhdilla, ja uusiutuvan energian on lisäännyttävä samaa tahtia
- Tuotanto mukautetaan vuodenaikaiseen kysyntään ja uusiutuvien energialähteiden kaudenmukaiseen tarjontaan
- Tuotantokapasiteetti mitoitetaan talven lämmön huippukysynnän mukaan
- Tuulivoimatuotanto on mitoitettu tuottamaan muilta tuotantomuodoilta jäljelle jäänyt sähkön tarve
- Kustannus-hyötyanalyysissa lasketaan toimien nettohyödyt vuosille 2010 – 2030

Raportin toteutus

- Kirjallisuuskatsauksen, vision ja kustannus-hyötyanalyysin on toteuttanut Aino Kuitunen osana pro gradu -työtään Helsingin yliopiston taloustieteen laitokselle. Työtä on ohjannut WWF:n ilmastovastaava, MMT (ympäristötaloustiede) Hanna-Liisa Kangas.

© AKI-PEKKA SINIKOSKI / WWF

KAUPUNKIEN MERKITYS ILMASTOKRIISISSÄ

Taustaa

Ilmastonmuutoksen ehkäisemiseksi globaaleja päästöjä tulee vähentää vähintään puoleen vuoteen 2050 mennessä (IEA 2012; IPCC 2007). Ratkaisu voi löytyä kaupungeista, joissa asuu jo puolet maailman väestöstä. Kaupungit vievät kaksi prosenttia maapinta-alasta, mutta niissä kulutetaan noin puolet energiasta ja tuotetaan jopa 70 prosenttia maailman päästöistä (UN-HABITAT 2011). Kaupungit ovat kohtaamisten ja innovaatioiden paikkoja, minkä vuoksi ne ovat avaintekijöitä energiaan ja ilmastokriisiin liittyvien haasteiden voittamisessa. Kaupunkirakenteen tehokkuus ja kaupunkilaisten elämäntapavalinnat ovat keskeisessä roolissa maailman energiankulutuksen ja päästöjen taustatekijöinä.

Fossiiliset polttoaineet tarjoavat näennäisesti helpon vastauksen energian kysyntään, vaikka niiden avulla hankittu energia ei olisikaan kestävällä pohjalla. Kasvihuonekaasupäästöjen aiheuttama ilmastonmuutos tuo mukanaan arvaamattomia vaikutuksia maailmanlaajuisesti, mutta myös polttoaineiden saatavuuteen liittyy riskejä. Yhteiskunnan perustan luominen ehtyvien luonnonvarojen varaan tarkoittaa, että pohja tulee ennen pitkää vastaan. Tuontienergiaan nojaaminen globaalin kysynnän jatkuvasti kasvaessa altistaa hintojen vaihtelulle ja konfliktien aiheuttamille tarjonnan heilahteluille. Tälle vaihtoehtona on laajamittainen uusiutuviin energialähteisiin perustuva energiantuotanto, joka korvaa fossiiliset energianlähteet ja vähentää samalla päästöjä (Lund 2012). Samalla kun riippuvuus fossiilisista vähenee, paranee myös energiaomavaraisuus.

Yksinkertaista ratkaisua fossiilisten polttoaineiden korvaamiseksi uusiutuvalla energialla ei ole olemassa. Tämän vuoksi on turvauduttava useisiin eri energialähteisiin eli niin sanottuun hajautettuun energiantuotantoon. Hajautettu energiantuotanto on käytännössä vastakohta nykyisenlaiselle keskitetylle järjestelmälle: energiaa tuotetaan paikallisista lähteistä nykyistä järjestelmää monimuotoisemmin, ja energian kuluttajat voivat toimia myös osittain tuottajina (Airaksinen ym. 2013). Energiajärjestelmät tulevat todennäköisesti muuttumaan jatkuvasti hajautetumpaan suuntaan, vaikka tietyt keskitetyt tuotantomuodot kuten nykyiset vesivoimalat säilynevät vielä vuosikymmeniä. On selvää, että järjestelmän uudistaminen vaatii suuria investointeja ja vahvaa poliittista tahtoa. Toisaalta vaihtoehtoiset kustannukset ja riskit ovat niin suuret, että uusiutuviin energialähteisiin perustuva järjestelmä on hyvin kilpailukykyinen vaihtoehto.

Tahtoa muuttaa energiankulutuksen rakennetta löytyy: Energiateollisuuden (2012a) kuluttajatutkimuksen mukaan suomalaiset haluaisivat lisätä selvästi uusiutuvilla luonnonvaroilla tuotetun energian määrää. Noin 90 prosenttia kyselyyn vastanneista halusi lisätä aurinkoenergian ja tuulivoiman osuutta tuotannossa. Myös biopolttoaineiden käytön lisäämistä kannatti valtaosa, kun taas esimerkiksi kivihiilen käytön tyrmäsi selvä enemmistö.

Suomessa kaupungeissa ja kaupunkimaisissa kunnissa asuu lähes 70 prosenttia väestöstä (Tilastokeskus 2013). Usein kaupunki omistaa paikalliset energiantuotantolaitokset, mikä tekee mahdolliseksi vaikuttaa energiantuotannon rakenteeseen demokraattisesti. Edellytyksinä uusien rakenteiden saavuttamiseksi ovat energiantuotannon läpinäkyvyys ja kommunikointi toimijoiden välillä.

KAUPUNGIT VOIVAT PÄÄSTÄ KESTÄVÄLLÄ TAVALLA IRTI FOSSIILISTEN POLTTOAINEIDEN KÄYTÖSTÄ JA LISÄTÄ UUSIUTUVAA ENERGIAA.

Tämän raportin tavoitteena on osoittaa keinoja, joilla kaupungit voivat päästä kestävällä tavalla irti fossiilisten polttoaineiden käytöstä ja lisätä uusiutuvaa energiaa.

Esimerkkitapauksena on Helsinki, jolle raportti esittää uusiutuvan energian vision kivihiilituotannon korvaamiseksi. Helsinki valittiin, koska fossiilisten polttoaineiden ja erityisesti kivihiilen osuus energiantuotannossa on tavoitteista huolimatta edelleen korkealla. Raportissa tarkastellaan energiatehokkuuden parannusta sekä erilaisten uusiutuvan energian tekniikoiden soveltuvuutta Helsinkiin. Näistä tekijöistä raportti rakentaa vision vuoteen 2030. Raportin lopussa oleva kustannus-hyötyanalyysi kertoo, että nykyiseen kehitykseen verrattuna uuden järjestelmän nettohyödyt ovat yhteiskunnan kannalta positiivisia vuoteen 2030 mennessä.

Tämä raportti käsittelee Helsingin kivihiilituotannon korvaamista uusiutuvalla energialla. Raportin pääoletukset perustuvat WWF:n globaaliin energiaraporttiin *The Energy Report* (Deng, Cornelissen & Klaus 2011). Koska tämä raportti käsittelee vain kivihiileen perustuvan energiantuotannon korvaamista, ydinvoimaa tai muita fossiilisia polttoaineita ei oteta esille. Myös liikenteen polttoaineet on rajattu pois, vaikka niillä onkin suuri merkitys siirryttäessä kohti kestävämpää energiataloutta. Perusvuodeksi on valittu vuosi 2010, jonka pohjalta kysynnän ja tarjonnan lukuja arvioidaan. Koska kyse on monimutkaisesta kokonaisuudesta, joudutaan paikoitellen tekemään yksinkertaistavia oletuksia. Esimerkiksi energian kysynnän pienenemisen lasketaan tapahtuvan pelkästään lämmön kysynnän vähennyksenä nykyisessä rakennuskannassa, vaikka todellista potentiaalia olisi muuallakin.

Kivihiili ja hiilikupla

Kivihiili on fossiilisista polttoaineista pahimpia päästölähteitä, mutta sen varma saatavuus, varastoitavuus ja halpa hinta pitävät sen vahvasti mukana tuotannossa (Energiateollisuus 2012a). Kivihiilen käyttö on kasvanut maailmalla yhä viime vuosinakin. Suomeen kivihiili tuodaan pääosin Venäjältä ja Puolasta, joten sen käyttö pienentää Suomen kauppatasetta (Helsingin Energia 2013, 3). Kivihiilen käytön kannattavuuteen vaikuttaa päästöluvan hinta, joka ilmaisee samalla puhtaan ilmakehän yhteiskunnallista arvostusta.

Maailman valtiot ovat sitoutuneet ilmastonmuutoksen hillitsemiseen alle kahden asteen esiteolliseen aikaan verrattuna. Tämä tarkoittaa, että 60–80 prosenttia nykyisin tunnetuista hiili-, kaasu- ja öljyvarannoista olisi jätettävä käyttämättä. Samalla maailman 200 suurimman fossiilienergiayrityksen yhteenlasketusta 4 miljardin dollarin markkina-arvosta uhkaa hävitä 40–60 prosenttia. Tämä aiheuttaa merkittävän riskin rahoitusmarkkinoille. (Carbon Tracker 2013)

WWF:n energiavisio

Tämän raportin näkemys ja pääoletukset perustuvat WWF:n globaaliin energiaraporttiin The Energy Report. Raportissa esitellään WWF:n energiavisio, jonka mukaan maailman energiankysyntä on mahdollista kattaa lähes kokonaan uusiutuvilla energialähteillä vuoteen 2050 mennessä. Vision teknisen taustaraportin on laatinut konsulttiyhtiö Ecofys (Deng, Cornelissen & Klaus 2011).

The Energy Reportin mukaan yhteiskunnan energiahuolto tulisi muuttaa kestävämmäksi seuraavien kolmen askeleen avulla:

1) kysynnän minimointi arvioimalla uudelleen nykyisten toimintojen tarpeellisuutta ja parantamalla energiankäytön tehokkuutta
2) tarpeen tyydytys uusiutuvilla ja paikallisilla energialähteillä ottaen huomioon kestävyysvaatimukset etenkin biopolttoaineiden kohdalla
3) turvautuminen perinteisiin energialähteisiin vasta viime kädessä ja mahdollisimman tehokkaasti

SIIRTYMINEN UUSIUTUVIIN ENERGIANLÄHTEISIIN HOITUISI INVESTOINNEILLA, JOTKA VASTAAVAT 1-2 PROSENTTIA GLOBAALISTA BRUTTOKANSANTUOTTEESTA.

Jotta päästövähennykset tapahtuvat yhteiskunnallista kehitystä vaarantamatta, on ymmärrettävä, että energiaa tarvitaan eri muodoissa eli sähkönä, lämpönä ja polttoaineena. Näitä kaikkia täytyy pystyä tuottamaan myös uusiutuviin energiamuotoihin pohjaavassa järjestelmässä, mutta määrät ja hyödynnyssuhteet saattavat poiketa nykytilanteesta. *The Energy Reportin* mukaan monissa yhteiskunnan toiminnoissa olisi järkevä siirtyä sähkön käyttöön, sillä sen tuottaminen onnistuu lukuisin eri tavoin uusiutuvalla energialla. Täydellinen polttoaineiden ja lämmön korvaaminen sähköllä ei ole kuitenkaan kovin tehokasta tai usein edes mahdollista (Deng ym. 2011). The Energy Report tunnistaa meri- ja lentoliikenteen sekä raskaan maantieliikenteen sektoreiksi, joilla polttoaineita tuskin pystytään korvaamaan lähivuosina sähköisillä ratkaisuilla. Myös eräät korkean lämpötilan teolliset prosessit ovat kuuluneet samaan ryhmään. Muilla sektoreilla yhteiskunnan sähköistäminen palvelee kuitenkin energiatehokkuutta ja uusiutuvan energian järjestelmiä.

Kun ymmärretään tarpeet, voidaan kysyntää ja tarjontaa tasapainottaa entistä paremmin edistämällä kuluttajien ja tuottajien välistä kommunikointia esimerkiksi älykkäiden sähköverkkojen ja sähkölaitteiden sekä oikeiden hintasignaalien avulla. *The Energy Reportin* ja tämän raportin visioissa energianhankinnan perusosan muodostaa tarjontajohteinen tuotanto, kuten tuuli- ja aurinkovoima. Näitä voidaan hyödyntää ilman jatkuvaa polttoainekäyttöä eli ne ovat asennuksen ja huollon jälkeen rajakustannuksiltaan ”ilmaista” energiaa. Kysyntäpiikkeihin vastaamaan käytetään kysyntäjohteisia energianlähteitä, joiden käyttöä voidaan mukauttaa tarpeen mukaan. Tällaista on esimerkiksi vesivoiman ja biomassan käyttö. Lisäksi kysyntähuippuihin voidaan vastata erilaisilla energian varastoimismahdollisuuksilla.

The Energy Reportin tulosten mukaan kokonaisvaltainen siirtyminen uusiutuviin energianlähteisiin pohjaavaan järjestelmään hoituisi investoinneilla, jotka vastaavat 1-2 prosenttia globaalista bruttokansantuotteesta. Aikavälillä nykyhetkestä vuoteen 2050 investointien nettovaikutus on positiivinen, eli hyötyjä syntyy enemmän kuin kustannuksia. Pääajureita uuden järjestelmän saavuttamiseksi ovat yhteiskunnan sähköistäminen, liikenteen uusiutuvat polttoaineet sekä uusien teknologioiden nopea käyttöönotto.

The Energy Report tarjoaa hyvät lähtökohdat maailmanlaajuiseen energiajärjestelmän muutokseen. On selvää, että paikalliset olosuhteet vaihtelevat huomattavasti,

minkä takia on tarvetta tehdä myös paikallisempia raportteja. Näitä ovat muun muassa EU:n energiaraportti *Renewable energy: a 2030 Scenario for the EU* (Heller, Deng & van Breevoort 2013) sekä IVL:n (Svenska Miljöinstitut) yhdessä WWF:n kanssa laatima *Energy Scenario for Sweden 2050* (Gustavsson, Särnholm, Stigson & Zetterberg, 2011). Kaikissa edellä mainituissa raporteissa on käytetty samoja perusoletuksia kuin tässä raportissa. Tämä raportti menee vielä lähemmäs yksittäistä kuluttajaa, kun uusiutuvaa energiaa tarkastellaan kaupungin tasolla.

© BRUNO ARNOLD / WWF

Maailman energiankysyntä on mahdollista kattaa lähes kokonaan uusiutuvilla energialähteillä vuoteen 2050 mennessä.

NYKYISEN ENERGIAJÄRJESTELMÄN KESTÄMÄTTÖMYYS

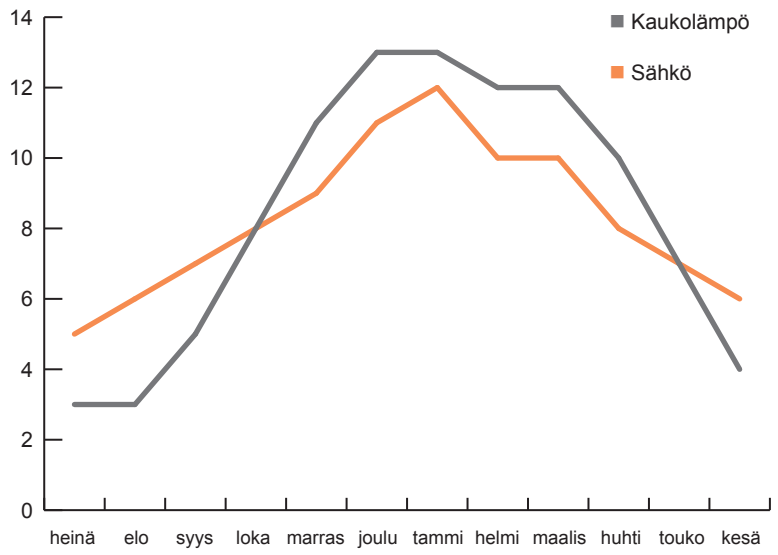
Suomen energiantuotanto

Vuonna 2010 Suomen energiasektorilla syntyi noin 80 miljoonaa tonnia CO_2-ekv. päästöjä (Tilastokeskus 2013). Päästöjen vähentämiseksi uusiutuvan energian osuutta tulee nostaa huomattavasti. Toistaiseksi energiantuotantoa hallitsevat uusiutumattomat energialähteet.

Suomen virallisena tavoitteena on nostaa uusiutuvan energian osuus EU:n jäsenvaltiokohtaisten taakanjakopäätösten mukaisesti 38 prosenttiin vuoteen 2020 mennessä (Motiva 2013). Uusiutuvan energian osuus on noussut 2000-luvun alun 25 prosentista noin 33 prosenttiin. Valtaosa tästä on puupohjaista bioenergiaa, jonka käytön huomattavaan lisäämiseen liittyy riskejä koskien metsäluonnon monimuotoisuutta sekä metsien hiilivarastoja. Bioenergiaan tulisi WWF:n vision mukaan turvautua vasta, kun kestävämmät vaihtoehdot on hyödynnetty. Vesivoiman osuus kokonaisenergiantuotannosta on noin 11 prosenttia, ja sen potentiaali on jo valjastettu olemassa olevien voimalaitosten tehonnostoja lukuun ottamatta. Lämpöpumpputekniikkaa hyödyntävien uusiutuvien energianlähteiden, kuten maalämmön käyttö on myös kasvanut viime vuosina. Muita uusiutuvan energian lähteitä ei Suomessa juurikaan hyödynnetä. (Tilastokeskus 2013). Muista Pohjoismaista esimerkiksi Tanska on lisännyt tuulivoiman käyttöä niin, että se kattaa nykyään 15 prosenttia maan sähkön tarpeesta. Tanska käyttää edelleen huomattavia määriä fossiilisia polttoaineita, kuten kivihiiltä. Tanska on kuitenkin sitoutunut lopettamaan kokonaan fossiilisten polttoaineiden käytön vuoteen 2050 mennessä (Lund & Mathiesen 2009). Ruotsissakin uusiutuvan energian osuus kasvaa voimakkaasti ollen tällä hetkellä 41 prosenttia. (Heller ym 2013, 8).

Suomessa energiaa tuotetaan pääosin keskitetysti ja pääomaintensiivisesti: perusvoima tuotetaan ydin- ja vesivoimalla, ja kysynnän kasvaessa otetaan portaittain käyttöön rajakustannuksiltaan kalliimpia vaihtoehtoja. Kylmimpinä kausina päälle menevät huonon hyötysuhteen hiililauhdevoimalat, jonka jälkeen tarvittava energia tuodaan ulkomailta. Vesivoimaa käytetään tasaamaan kysynnän eroja, mutta kapasiteetti on rajallinen. (Ruska ja Pirilä 2004, 185 – 186).

Uusiutuvan energian lisääminen merkitsee suurta muutosta nykyiseen järjestelmään. Ilmastokriisin ratkaisemiseksi ei ole kuitenkaan muita kestäviä vaihtoehtoja. Suomalaiset olosuhteet – erityisesti pitkä talvi – luovat omanlaisiaan haasteita. Vuodenaikojen vaihtelu on suurta ja tuotannon on pystyttävä tyydyttämään huippukysynnän tarve talvella (ks. Kuvio 1). Lämmön kysynnän huippukausi asettuu välille marras-huhtikuu, jolloin käytetään noin 70 prosenttia vuoden lämmönkulutuksesta. Sähkön kulutus ei vaihtele yhtä jyrkästi, vaan talvikaudella kuluu noin 60 ja kesällä 40 prosenttia sähköstä. (Energiateollisuus ry 2012e).



Kuvio 1. Sähkön ja lämmön kuukausitason kysyntä (prosenttiosuus vuoden kulutuksesta).

Uusiutuvaa energiaa kannattaa kuluttaa silloin, kun sitä on parhaiten ja halvimmillaan saatavilla, joten kysyntää ja tarjontaa tulisi tasapainottaa nykyistä paremmin. Apuna toimivat älyverkot, jotka käyttävät hyväkseen informaatio- ja kommunikaatioteknologioita mahdollistamaan vuoropuhelun kuluttajien ja tuottajien välillä (Sarvaranta 2010). Tällaisessa järjestelmässä pientuottajat voivat välillä toimia energian ostajina ja välillä myyjinä. Myös hintaohjauksella käyttäjiä saadaan ohjattua esimerkiksi välttämään turhaa kulutusta huippukysynnän aikaan.

ÄLYVERKOT LISÄÄVÄT VUOROPUHELUA SÄHKÖN KULUTTAJIEN JA TUOTTAJIEN VÄLILLÄ.

Sähköä voidaan myös varastoida. Lyhyen aikavälin varastoinnissa voidaan hyödyntää akkuteknologiaa tai pumppuvoimaloita. Tulevaisuudessa myös esimerkiksi sähköautojen akkuja voidaan hyödyntää sähkön kysyntähuippuihin vastaamiseen. Lupaavimmalta pidemmän aikavälin varastointikeinolta vaikuttaa vetyteknologia. Kaupungeissa tiivis asuminen rajoittaa paikallisten energialähteiden osuutta (Lund 2012). Myös tuotannon vaihtelut tuovat ongelmia, kun verkon jännitteen ja kuorman on oltava hallittavissa. Mittavilla infrastruktuurin muutoksilla on purettava pullonkauloja, lisättävä siirtokapasiteettia ja mahdollistettava energian varastointi ennen kuin laajamittaista pientuotantoa voidaan harjoittaa (Deng at al. 2011, 209-210). Suomessa tuuli- ja aurinkoenergian osuus on vielä niin pieni, että säätövoiman ja varastointimenetelmien tarve ei tule ainakaan tämän vuosikymmenen aikana vastaan. Tulevaisuuteen kannattaa kuitenkin valmistautua jo nyt.

Hyvin tärkeää on myös energian kysynnän pienentäminen. Jotta tähän voidaan vaikuttaa, on ymmärrettävä monia tekijöitä, jotka vaikuttavat kysyntään pitkällä ja lyhyellä aikavälillä. Peruskysyntään vaikuttavat muun muassa väestön koko ja asumisväljyys sekä rakennusten energiatehokkuus. Suurta vaihtelua kulutukseen tuovat epävarmat tekijät kuten sää, talouden tila sekä kuluttajien käyttäytyminen. Sähkön kulutus riippuu energiatehokkuuden lisäksi muun muassa käytössä olevien sähkölaitteiden määrästä. Tämä puolestaan riippuu muun muassa talouden kehityksestä, kulutustrendeistä ja yritysten käytännöistä. (Helsingin kaupunki 2011, 18.)

Lämmitettävien rakennusten kokonaispinta-alalla on suora vaikutus lämmöntarpeeseen, ja asuinneliöiden määrä on toistaiseksi lisääntynyt sekä väestön kasvaessa että elintapojen muuttuessa. Kotitalouksien vaurastuminen on toistaiseksi lisännyt etenkin sähkön kysyntää, kun on hankittu uusia laitteita ja palveluiden käyttö on lisääntynyt (Helsingin kaupunki 2011, 19). Ilmastonmuutoksen vaikutuksesta lämpötila tulee nousemaan, mikä vähentää lämmön kulutusta kylminä kausina, kun taas kesäisin viilennyksen tarve lisääntyy. Tämän seurauksena kokonaisenergiankulutus vähenee arvioiden mukaan 4-7 prosenttia vuoteen 2030 mennessä. (Jylhä ym. 2011.)

Helsingin energiaprofiili

Helsinki on väkiluvultaan Suomen suurin kaupunki sekä suurin sähkön ja kaukolämmön kuluttaja. Vuonna 2010 kokonaisenergiankulutus oli noin 12 000 GWh (Helsingin kaupungin ympäristökeskus 2012). Suurin osa energiasta kuluu lämpönä rakennuksissa (Helsingin kaupunki 2012a). Yhteensä 73 prosenttia sähköstä ja käytännössä kaikki kaukolämpö tuotettiin kaupungissa sijaitsevilla laitoksilla ja valtaosa fossiilisilla polttoaineilla (Helsingin Energia 2011; Helsingin kaupungin ympäristökeskus 2012).

UUSIUTUVIEN ENERGIALÄHTEIDEN OSUUS OLI VUONNA 2010 HELSINGISSÄ VAIN NOIN VIISI PROSENTTIA.

Helsingin kivihiilivoimaloissa tuotettiin vuonna 2010 energiaa yhteensä 4791 GWh. Tuotanto jakaantui lämpöön (3 140 GWh) ja sähköön (1651 GWh). (Helsingin Energia 2011.)

Sähkön tuonti ja voimalaitososuudet tuovat helsinkiläisten energianlähteiksi myös ydinvoiman ja uusiutuvan energian, joka muodostuu pääosaksi vesivoimasta. (Helsingin Energia 2011.) Uusiutuvien energialähteiden osuus oli vuonna 2010 vain noin viisi prosenttia, kun tavoitteena on nostaa niiden osuus kahteenkymmeneen prosenttiin vuoteen 2020 mennessä (Helsingin kaupunki 2012b). Paikallisesti Helsingissä hyödynnetään tällä hetkellä pieni määrä maalämpöä, vesivoimaa ja biokaasua (Helsingin kaupungin ympäristökeskus 2012; HSY 2013). Uusilla asuinalueilla lähienergian hyödyntämismahdollisuus pyritään ottamaan suunnitteluvaiheessa huomioon, mutta uudet rakennukset ovat pieni osa kaupungin kokonaiskulutuksesta (Östersundom-klinikka 2013).

Kaupungin kokonaisenergiankulutuksen ennustetaan laskevan vuodesta 2020 ekotehokkuusnormien kiristymisen, laitteiden energiatehokkuuden parannuksien sekä ajoneuvojen kehityksen takia. Sähkön kulutuksen oletetaan kuitenkin kasvavan etenkin palveluiden sähköistymisen vuoksi. (Helsingin kaupunki 2011). WWF:n vision mukainen kehitys on esitelty seuraavassa luvussa.

Helsingin rakennuskanta on keskimäärin melko vanhaa ja energian ominaiskulutus vaihtelee paljon rakennuksen rakennusvuodesta riippuen. Uudisrakennusten energiatehokkuuden kehitys on ollut nopeaa tiukentuneiden normien takia (Helsingin kaupunki 2012a, 31). Tiukat energiatehokkuusnormit eivät kuitenkaan vielä koske nykyistä rakennuskantaa, joten energiankulutukseen olisi mahdollista saada tehokkaita lisäsäästöjä nimenomaan sitä korjaamalla (Helsingin kaupunki 2011, 4-5).

© GLOBAL WARMING IMAGES / WWF-CANON

Uusiutuvan energian lisääminen merkitsee suurta muutosta nykyiseen järjestelmään. Ilmastokriisin ratkaisemiseksi ei ole kuitenkaan muita kestäviä vaihtoehtoja.

© NATIONAL GEOGRAPHIC STOCK, TYRONE TURNER / WWF

Lämmitettävien neliöiden määrällä on suora vaikutus lämmöntarpeeseen, ja neliöiden määrä lisääntyy sekä väestön kasvaessa että elintapojen muuttuessa.

KOHTI PUHDASTA KAUPUNKIA

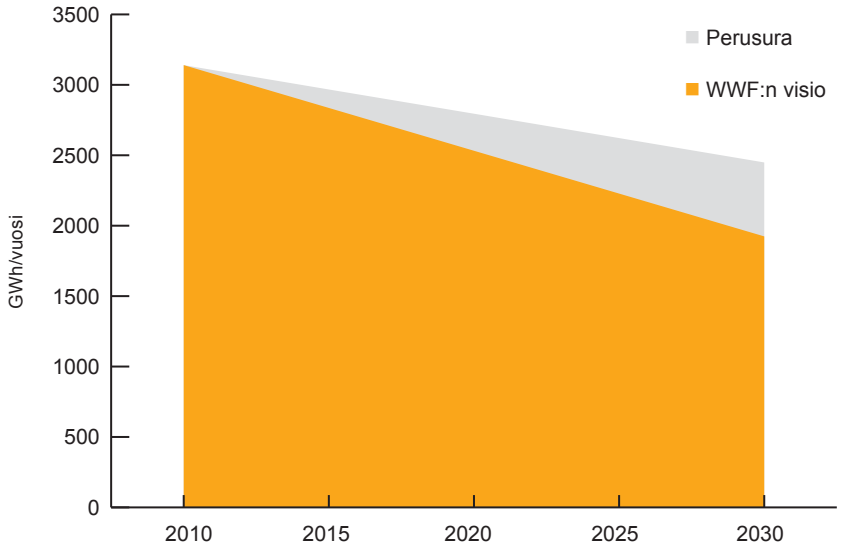
Ensimmäinen askel: Rakennusten energiatehokkuus

Energiavision ensimmäinen askel on vähentää energian kysyntää. Helsingissä suurin osa energiasta kuluu lämpönä rakennuksissa, ja tätä kulutusta on mahdollista pienentää jopa puolella (Lahti, Nieminen ja Virtanen 2008). Uusia rakennuksia koskevat jo kohtuullisen tiukat ja yhä tiukkenevat energiatehokkuusmääräykset, joten parhaiten lisäsäästöjä syntyy parantamalla olemassa olevan rakennuskannan energiatehokkuutta (Helsingin kaupunki 2011). Tähän päästään muun muassa parantamalla nykyisen rakennuskannan kattojen, seinien ja pohjakerrosten eristystä sekä kehittyneemmillä ikkunoilla ja ilmanvaihtojärjestelmien muutoksilla (Deng ym. 2011, 129).

PARHAITEN LISÄSÄÄSTÖJÄ SYNTYY PARANTAMALLA OLEMASSA OLEVAN RAKENNUSKANNAN ENERGIATEHOKKUUTTA.

Erityisen suuri säästöpotentiaali olisi 1960- ja 70-luvuilla rakennetuissa lähiökerrostaloissa, joista suurin osa on energiatehokkuudeltaan joko huonoja tai erittäin huonoja. Koska tämän ikäkauden rakennuksia on Helsingissä erityisen paljon, voitaisiin korjausrakentamisessa saavuttaa pääkaupungissa skaalaetuja. (Helsingin kaupunki 2011).

Helsingin nykyisen rakennuskannan yhteenlaskettu kerrosala on noin 45,5 miljoonaa neliömetriä (Tilastokeskus 2012). Vuonna 2010 asunnon keskikoko oli Helsingissä suomalaisittain melko tiivis 64 neliömetriä (Tiihonen 2011). Suomessa tehdään nykyään korjausrakentamista vuosittain noin 1,25 prosentissa rakennuskannasta (Airaksinen ym. 2013, 10). Helsingissä peruskorjataan siis vuosittain nykyisin noin 600 000 neliömetriä. Nostamalla korjausrakentamisen osuus Helsingissä 2,5 prosenttiin, vuosittain korjausrakennettujen neliöiden määrä kaksinkertaistuu 1,2 miljoonaan neliömetriin. Kun samalla tehdään energiatehokkuuden parannuksia, vähenee energiankulutus laskelmien perusteella 29 prosenttia vuoteen 2030 mennessä. Perusuralla, jossa korjausrakentamisen tahti pysyy ennallaan, pudotus olisi 22 prosenttia.



Kuvio 2: Kivihiilellä tuotetun lämmön kysynnän kehitys Helsingissä.

© PÄIVI ROSQVIST / WWF

Vuonna 2030 kivihiiltä ei käytetä enää ollenkaan.

Kuvio 2 esittää, kuinka paljon nykyään kivihiilellä tuotetun lämmön kysyntä tulisi vähenemään perusuralla ja miten suuri muutos olisi nopeutetulla korjausrakentamisella. Perusuralla kysyntä laskee Airaksisen ja Vainion (2012) mukaisesti 22 prosenttia eli noin 700 GWh. Visiossa kysyntä putoaa 39 prosenttia eli noin 1 200 GWh.

Sähkön kulutuksen kehityksen arvioiminen on vaikeaa, ja sen kysyntään on myös vaikeampi vaikuttaa yksinkertaisilla toimenpiteillä. Tämän vuoksi sähkön kulutuksen oletetaan pysyvän nykytasolla lukuun ottamatta lämpöpumppujen lisäämää sähköntarvetta.

Energiatehokkuuden lisääntymisen myötä vuonna 2030 lämmön kysyntä on visiossa 1900 GWh ja sähkön peruskysyntä 650 GWh vuodessa, minkä lisäksi tarvitaan maalämpöpumppujen vaatima sähkö. Kysyntä jakaantuu vuodenaikojen mukaan niin, että talvella kysyntä on suurempaa kuin kesällä. Koska myös tuuli- ja aurinkoenergian hyödynnettävyys vaihtelee vuodenaikojen mukaan, visiossa esitetään vaihtoehto sekä kesälle että talvelle.

Toinen askel: Uusiutuvat energialähteet

VUONNA 2030 KIVIHIILTÄ EI KÄYTETÄ ENÄÄ OLLENKAAN.

Energiavision seuraava askel on rakentaa mahdollisimman paikallisista energialähteistä vuoden 2030 kysynnän tyydyttävä uusiutuvan energian paletti. Jotkut energianlähteet tarjoavat perusvoiman (jatkuvasti tuotettava energia), ja toiset puolestaan toimivat säätövoimana (edellisen tuotannon tai kulutuksen heilahteluita tasaava energia). Uusiutuvan energian kapasiteettia lisätään kullakin periodilla niin, että laskevan kysynnän ja poistuvan kivihiilituotannon välinen erotus korvataan uusiutuvalla energialla. Vuonna 2030 kivihiiltä ei käytetä enää ollenkaan.

Energia tuotetaan mahdollisimman pitkälti paikallisilla energialähteillä, mutta paikallisuus ei ole itseisarvo ja aina kunnan rajat eivät ole looginen rajaus. Esimerkiksi merituulivoiman kohdalla ei ole järkevää pitäytyä pelkästään Helsingin merialueissa, mikäli tehokkaampi tuotantoalue löytyy pienen matkan päästä. Metsäbiopolttoaineet taas tuodaan väistämättä kaupungin ulkopuolelta, sillä Helsingistä puuttuvat laajat metsätalousalueet. Sähkön tuonti onnistuu pitkiäkin matkoja, mutta lämpö on suuren hävikin vuoksi kannattavampaa tuottaa lähellä – tällöin polttoaine on tuotava jostain muualta. Toisaalta suurempien ja harvemmassa sijaitsevien tuotantolaitosten etuna on parempi energiantuotannon hyötysuhde.

PAIKALLISESTI HYÖDYNNETTÄVIÄ ENERGIALÄHTEITÄ OVAT TUULIVOIMA, AURINKO-LÄMPÖ JA -SÄHKÖ SEKÄ LÄMPÖPUMPUT.

Helsingissä paikallisesti hyödynnettäviä energialähteitä ovat tuulivoima, aurinkolämpö ja -sähkö sekä lämpöpumput, jotka kaikki hyödyntävät alun perin auringosta peräisin olevaa energiaa. Aurinko- ja tuulivoiman hyödyntäminen ei vaadi yksikköpanoksia, kun taas lämpöpumput tarvitsevat pumppaukseen sähköä ulkopuolisesta lähteestä. Tämä lisää sähkön tarvetta varsinkin talvikaudella.

Metsäbiomassoilla eri muodoissaan on tärkeä osa Suomen ja myös Helsingin ilmastostrategioissa. WWF:n (Deng ym. 2011) maailmanlaajuisen vision mukaan olisi kuitenkin hyödynnettävä ensisijaisesti ehtymättömiä energianlähteitä. Biomassaa hyödynnetään näiden jälkeen, jos sen kestävyyskriteerit on täytetty. Suomessa esimerkiksi hakkuutähteiden ja metsähakkeen hyödyntäminen energiakäyttöön lisää painetta metsien käyttöön. Jo nykyisellä käytöllä metsäluonnon monimuotoisuus heikkenee. Myös käytön vaikutukset metsien hiilivarastoihin on huomioitava. Toisaalta jossain määrin metsätähteitä ja -haketta voitaneen käyttää energiantuotantoon kestävästi, mutta tällaisen tason tieteellinen määrittely on haastavaa. Varovaisuusperiaatteen mukaisesti biomassan käytön lisäämiseen on siten suhtauduttava varauksellisesti. Selvää on, että hiilivarastojen ja luonnon monimuotoisuuden säilyttämisen näkökulmasta kantojen energiakäytöstä on luovuttava. Uusiutuvan energian Helsingissä biomassalla tuotettua lämpöä tullaan tarvitsemaan etenkin talvikuukausina, kun lämmön tarve on suurinta. Lisäksi biomassan merkitys säätövoimana on suuri, sillä sen käyttöä voidaan muuttaa tarpeen mukaan.

Tuulivoiman linnustovaikutukset

Tuulivoima on tärkeä osa tulevaisuuden energiaratkaisua. Siksi sen suunnittelussa tulee ottaa huomioon mahdolliset linnustovaikutukset. Linnuston kannalta epäedulliseen paikkaan sijoitettu tuulivoimapuisto tai yksittäinen tuulimylly voi aiheuttaa vahinkoa sekä paikallisille että läpimuuttaville linnuille. Linnustovaikutukset jaetaan yleensä kolmeen osa-alueeseen: häiriö- ja estevaikutukset, elinympäristömuutokset ja törmäysvaikutukset.

Vaikutuksia on yleensä pidetty melko vähäisinä, mutta ne voivat olla merkittäviä kohdistuessaan pitkäikäisiin, hitaasti lisääntyviin ja harvalukuisiin lajeihin. Erityisesti petolintujen kyky väistää myllyjä on todettu huonoksi. Ulkomailla tehtyjen tutkimusten mukaan tuulivoimapuiston sijoittaminen alueelle, jolla on vahva petolintukanta, on riski. Riskiä kohottavia tekijöitä voivat olla suuren lintutiheyden lisäksi linnun lajikohtainen käyttäytyminen, yksittäisten myllyjen ja myllyryhmien sijoittaminen vakiintuneille lentoreiteille, vuodenaika, sääolosuhteet sekä turbiinimalli.

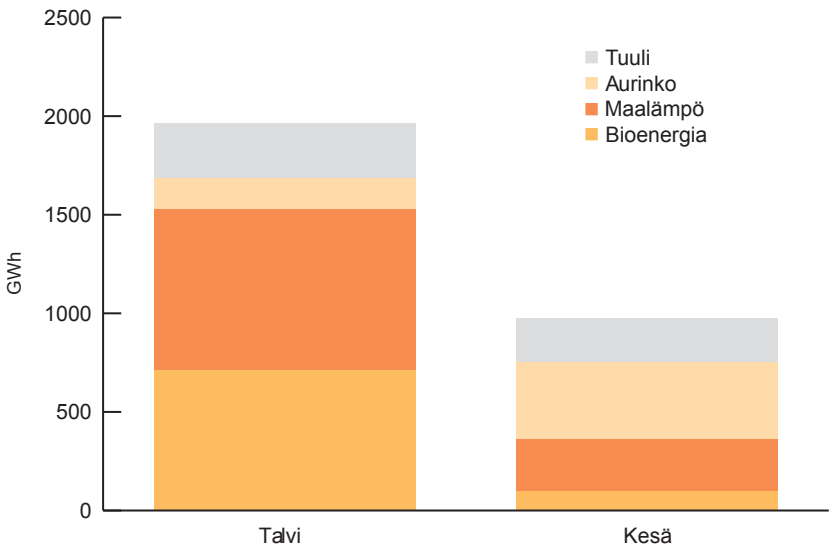
Suomessa merikotka on yksi todennäköisimmin tuulivoimaloista kärsivistä lintulajeista, mutta tutkimustietoa asiasta ei juuri ole. Satelliittiseurantatutkimus merikotkien liikkeistä on käynnissä ja yhdeksän nuorta kotkaa on valjastettu lähettimillä. Tuulivoimavaikutusten tutkimisen kannalta merkittäviä ovat etenkin aikuiset, tuulivoimalan läheisyydessä reviiriä pitävät yksilöt. Seurannassa olevat kotkat eivät ole vielä pesimäiässä, mutta ensimmäisten, kesällä 2009 lähettimellä valjastettujen poikasten odotetaan asettuvan pesimäreviirille keväällä 2014.

On yhteisen edun mukaista, että uhkat linnustolle huomioidaan tuulivoimapuistojen suunnittelussa. Useissa tutkimuksissa on havaittu, että suuri osa petolintujen törmäyksistä tapahtuu pieneen joukkoon tuulimyllyjä tietyissä paikoissa. Vakiintuneiden lentoreittien ja muiden korkean törmäysriskin alueiden rajaaminen pois tuulivoimarakentamisen piiristä voi vähentää lintuvahinkoja huomattavasti.

		Aurinko		Tuuli		Biomassa		Maalämpö
Energialähde		Auringon säteily		Tuulen liike-energia		Bio-SNG (biosynteettinen maakaasu)	Metsähake ja -tähde	Geolämpö kalliosta
Potentiaali Helsingissä		Keskimääräinen säteily 940 kWh/ m^2 /v. Kattopinta-alaan suhteutettuna kokonaispotentiaali on 10 000 – 15 000 GWh/vuosi		Hyvät (Suomenlahden rannikko- ja merialueet)		Ei merkittäviä paikallisia lähteitä: tuotava muualta maasta.		Vaikea määrittää/ alihyödynnetty
Tekniikka		Aurinkopaneelit	Aurinko-keräimet	Tuuliturbiini		Kaasukombivoimala	Kerrosleijupoltto	Lämpöpumppu + lämpökaivo
Tuotettava energiamuoto		Sähkö	Lämpö	Sähkö		Sähkö + lämpö	Sähkö + lämpö	Lämpö
Vaatimukset		Riittävä säteilyn määrä ja lämpötila, ei varjostusta, oikea kallistuskulma		Riittävä tuulisuus		Metsähake kaasutetaan ja kuljetetaan putkella Helsinkiin hyödyntäen nykyistä maakaasuverkkoa.	Hakkeen saatavuus ja kuljetusmahdollisuus sekä riittävä tila säilytykseen	1/3 sähköä tuotettua lämpöyksikköä kohti. Kenttien mitoitukset optimoitava tarkasti.
		Sähkön varastointikapasiteetin kasvu. Kulutuksen mukautuminen tuotantohuippuihin älyverkkojen avulla.						
Rajoitukset		Oletettu hyötysuhde 14 %	Oletettu hyötysuhde 47 %	Tuotannon vaihtelut suuria		Kaasutustekniikan käytön lisääntyminen muualla maassa	Voitava polttaa useita erilaisia biopolttoaineita	Rajoitteena etenkin kantakaupungissa kallioperän korkea rakennusaste
		Kaupungissa korkeiden talojen varjostus haittaa hyödynnystä						
Hyödyntäminen	**Milloin?**	Huipputuotanto keskikesällä. Pimeimpinä noin kolmena kuukautena ei juurikaan tuotantoa		Ympäri vuoden	Ympäri vuoden	Kylmimpinä kuukausina tarpeen mukaan		Peruslämpö ympäri vuoden
	Missä?	Katot. Mahdollisia myös seinät, moottoriteiden varret ja muut avoimet tilat.		Maalla	Merellä	Kaasukombivoimaloissa	Ympäri kaupunkia	Ympäri kaupunkia

Taulukko 1: Uusiutuvat energialähteet.

Vuoden 2030 energiapaletti rakentuu kuukausikysynnän mukaan niin, että eri vuodenaikoina käytetään kunakin ajankohtana parhaiten hyödynnettävissä olevia energialähteitä. Tämän vuoksi kesä- ja talvikauden energialähteet poikkeavat huomattavasti toisistaan.



Kuvio 3: Kivihiilen korvaavat energialähteet vuonna 2030.

Maalämpöä voidaan hyödyntää tasaisesti ympäri vuoden kallioperään porattavista kaivoista. Sillä tuotetaan peruslämmöntarve. Lämpöpumppujen käyttö lisää kuitenkin sähkön tarvetta. Pumppujen käyttöä voidaan rajoittaa kesäkaudella, kun aurinkolämpöä on saatavilla enemmän.

Talvikaudella lämmön tarve dominoi energiankysyntää, minkä vuoksi bioenergian käyttö on kesäkautta suurempaa. Biopolttoaineina toimivat metsähake sekä metsähakkeesta kaasuttamalla valmistettu synteettinen maakaasu. Kaasua varten rakennetaan yksi 300 MW:n kaasuvoimala, ja haketta varten kuusi pienemmän mittakaavan voimalaitosta. Kaasu- ja hakevoimaloissa syntyy sekä sähköä että lämpöä. Hakevoimalat toimivat säätövoimana, joten niiden koko kapasiteetti ei ole käytössä kuin tiettyinä huippukysynnän hetkinä. Biovoimaloiden käyttöä kesäkaudella vältetään.

Tuulisähkön kapasiteetti vastaa talvikauden kysyntää ottaen huomioon bioenergialla tuotettu yhteistuotantosähkö ja lämpöpumppujen vaatima sähkö. Noin 75 kappaletta kolmen MW:n voimalaa riittää tyydyttämään tämän tarpeen. Voimalat voidaan pystyttää joko maalle, rannikolle tai merelle. Tässä tapauksessa 15 voimaloista pystytetään maalle ja 60 merelle. Helsingissä maatuulta voidaan pystyttää esimerkiksi teollisuusalueille, jolloin maisemahaitta vähenee.

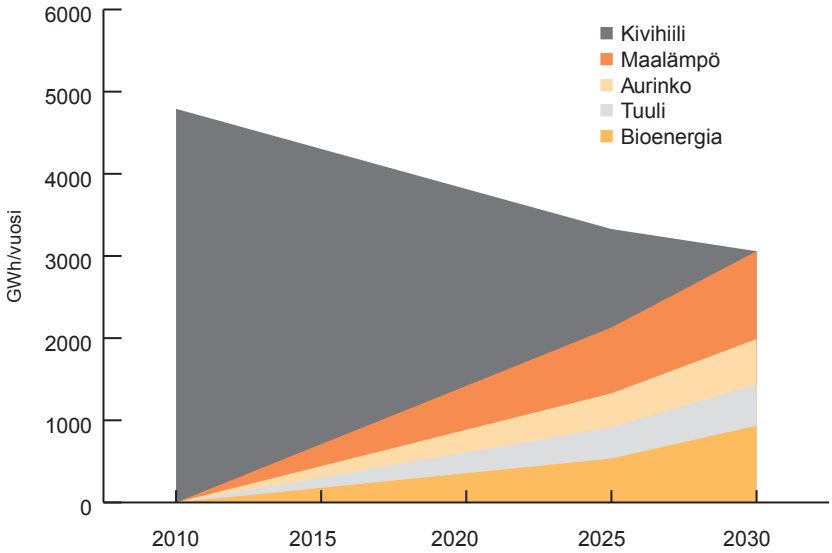
Bioenergiaa vai muita uusiutuvia?

Bioenergia luokitellaan Euroopan unionin päästökaupassa hiilineutraaliksi, mutta tosiasiassa biomassan energiakäyttö aiheuttaa aina jonkin verran hiilidioksidipäästöjä. Viime aikoina onkin virinnyt huoli siitä, että Suomen ja EU:n ilmastotavoitteet kariutuvat, jos bioenergiaa hyödynnetään kovin voimallisesti verrattuna muuhun uusiutuvaan energiaan. Metsäenergian hiilitase vaihtelee suuresti sen mukaan, mitä osaa puusta tai minkä kokoista puuta energiaksi käytetään. Ilmastonmuutoksen hillitsemisen kannalta erityisen ongelmallista on kantojen käyttö. Koska kantojen poisto vaikuttaa lisäksi haitallisesti luonnon monimuotoisuuteen, on kantojen energiakäyttöä alettu kyseenalaistaa. Kantojen nosto onkin Ruotsissa käytännössä loppunut – vapaaehtoisin toimin. Myös Suomessa asiasta keskustellaan paljon, mutta todellisuuteen nämä keskustelut eivät vielä heijastu: kantojen energiakäyttö on päinvastoin lisääntynyt hyvin voimakkaasti. Metsäntutkimuslaitoksen arvion mukaan kannonnostoala kasvoi vuosina 2000–2010 noin sadasta hehtaarista 20 000 hehtaariin.

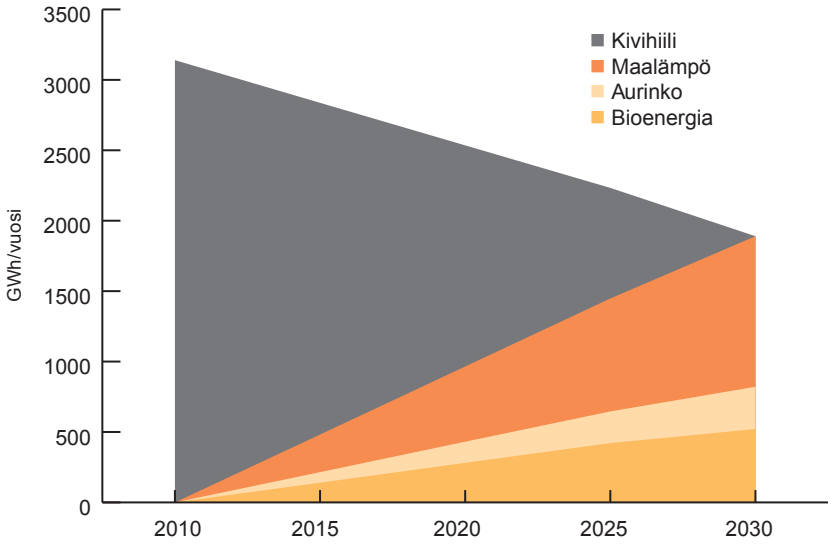
Suomi pyrkii kohti hiilineutraaliutta. Koska metsähakkeen laaja energiakäyttö lisää väistämättä ilmakehän hiilikuormaa, huonosti toteutettuna se ei ole kestävä pitkän aikavälin energiantuotantoratkaisu. Metsähakkeen maltillisesta käytöstä voi sen sijaan olla hyötyä lähitulevaisuutta ajatellen, jos sen avulla pystytään vähentämään turpeen ja kivihiilen energiakäyttöä – ja jos haketta valmistetaan muusta kuin puunkannoista. Käytön liian voimakas lisääminen ei silti ole edes lyhyellä aikavälillä järkevää, koska seuraavat vuosikymmenet ovat ilmastonmuutoksen hillinnässä olennaisia.

Uusiutuvien energiamuotojen joukossa on myös aidosti hiilineutraaleja energianlähteitä, esimerkiksi tuulivoima ja aurinkoenergia. Näiden ei-biomassapohjaisten energiantuotantotapojen kustannukset laskevat nyt voimakkaasti tekniikan kehittyessä. Varsinkin aurinkoenergian tuotantokustannukset ovat suorastaan romahtaneet viime vuosina. Tekninen kehitys ja tuotteiden kaupallistaminen vaativat silti vielä taloudellista tukea.

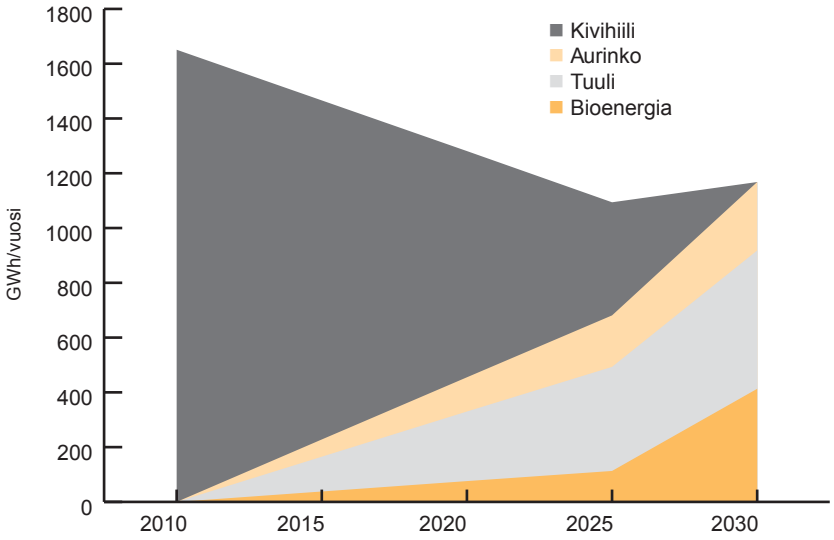
Visiossa peruskysyntä tyydytetään kesällä aurinkoenergialla, tuulivoimalla ja maalämmöllä. Aurinkolämmön kapasiteetti on mitoitettu tuottamaan tarvittava lämpö pienimmän kysynnän kuukauden tarpeeseen. Tällöin kaupungin kattoja tarvitsee varata aurinkolämmön tuotantoon yksi neliökilometri, mikä vastaa noin kuutta prosenttia kaupungin kattopinta-alasta. Sähköntarpeen tyydyttää tuulivoima, jonka avulla voidaan tuottaa puolet kesän sähkön tarpeesta. Aurinkosähkölle jää tuotettavaksi 40 prosenttia kesäajan sähkönkysynnästä – nämä aurinkopaneelit vievät noin 11 prosenttia Helsingin kattopinta-alasta. Uusiutuvan energian kapasiteetin oletetaan visiossa kasvavan tasaisesti sitä mukaa, kun kivihiili poistuu käytöstä. Kuvioissa 4-6 näkyvät eri energialähteiden osuudet tuotannosta kunakin vuonna.



Kuvio 4: Kivihiilenergian korvaavat uusiutuvat energialähteet 2010 – 2030.



Kuvio 5: Kivihiilen korvaavat lämmöntuotannon energialähteet 2010 – 2030.



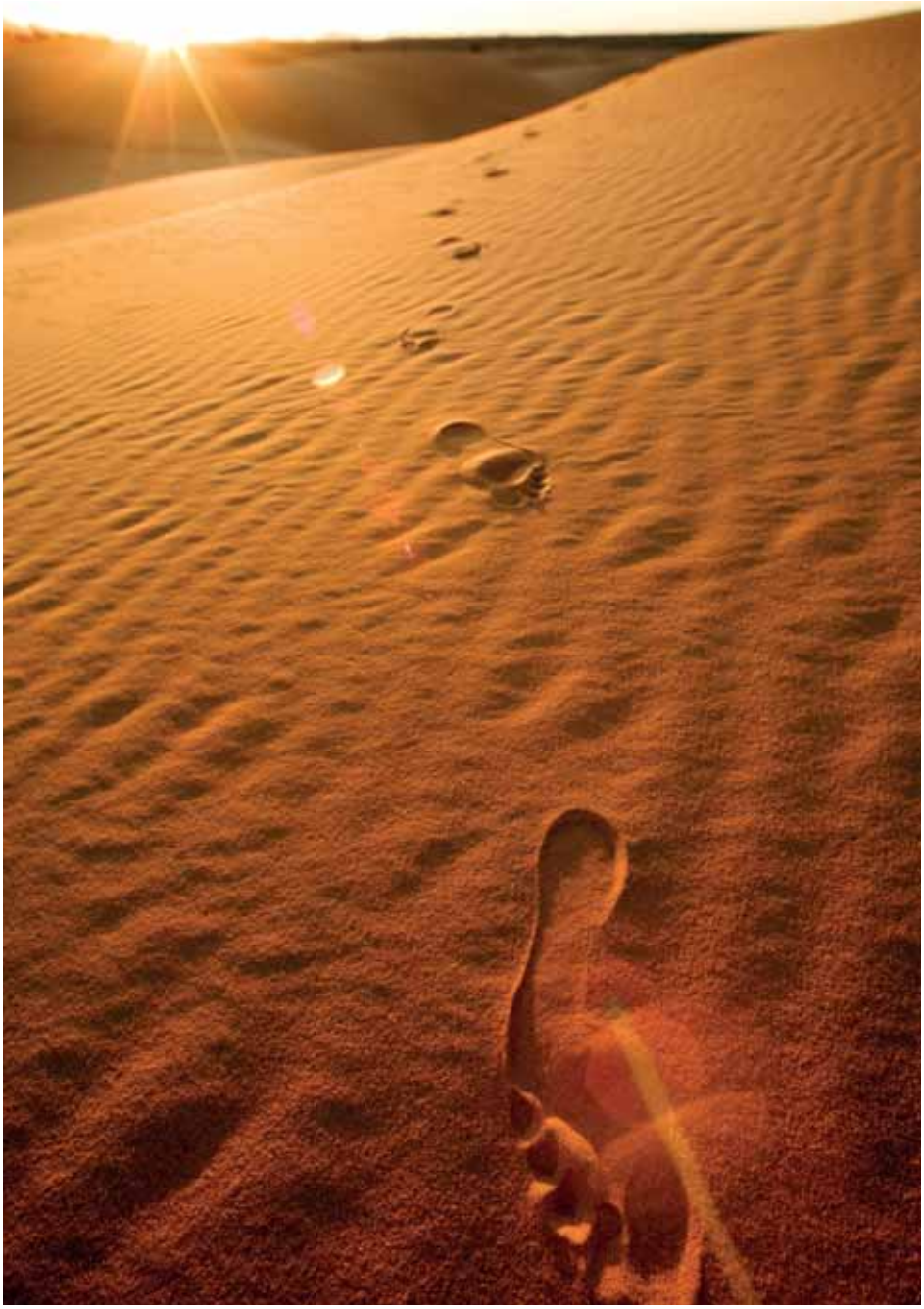
Kuvio 6: Kivihiilen korvaavat sähköntuotannon energialähteet 2010 – 2030.

Taulukko 2. Uusiutuvilla energianlähteillä ja kivihiilellä tuotettu energia (GWh).

Sähkö ja lämpö	2010	2015	2020	2025	2030
Bioenergia	0	178	356	535	934
Tuuli	0	127	254	380	505
Aurinko	0	138	275	413	550
Maalämpö	0	267	534	802	1069
Kivihiili	4791	3593	2396	1198	0
Sähkö ja lämpö yhteensä	**4791**	**4303**	**3815**	**3328**	**3058**
Lämpö					
Bioenergia	0	140	281	421	521
Aurinko	0	75	150	225	300
Maalämpö	0	267	534	801	1068
Kivihiili	3140	2355	1570	785	0
Lämpö yhteensä	**3140**	**2837**	**2535**	**2232**	**1889**
Sähkö					
Bioenergia	0	38	76	113	413
Tuuli	0	127	254	380	505
Aurinko	0	63	125	188	250
Kivihiili	1651	1238	826	413	0
Sähkö yhteensä	**1651**	**1466**	**1281**	**1094**	**1168**

TALOUDELLISET VAIKUTUKSET

Uusiutuvan energian lisääminen vaatii kustannuksia samalla kun kivihiilivoiman päästöjen loppuminen tuo hyötyjä. Kustannukset ja hyödyt realisoituvat kauden lopussa, eli viiden vuoden välein vuodesta 2010 lähtien. Kauden alussa tarvittava energian määrä on voitava tuottaa edellisen kauden lopussa olemassa olevalla kapasiteetilla.



© MARTIN HARVEY / WWF-CANON

Vuonna 2030 kivihiilestä luopumisen vuotuiset hyödyt ylittävät kustannukset.

Kustannuksia tuovat investoinnit energiakorjausrakentamiseen ja uusiutuvan energian teknologioihin, sekä niiden tarvitsema vuosittainen panoskäyttö ja ylläpito. Hyötyjä puolestaan syntyy, kun kivihiilituotannon aiheuttamat päästöt sekä kivihiilivoimalan vaatima panoskäyttö ja ylläpitokustannukset vähenevät. Sähkön ylituotannon poistumisen myötä menetetään sähkön myynnistä saatu tulo, mikä pienentää hyötyjä. Analyysissa otetaan huomioon vain lisäkustannukset ja -hyödyt perusuraan nähden.

	Fyysinen vaikutus	Taloudellinen vaikutus
Energia-tehokkuus	korjausrakentamisen yhteydessä tehdyt energiatehokkuusparannukset	Kustannus €/m^2
	energiatehokkuusparannuksista johtuva energian kysynnän väheneminen (GWh)	Säästö energian hankinnassa (kivihiilituotannon hiipuminen)
Kivihiilestä luopuminen	kivihiilellä tuotetun energian väheneminen (GWh)	Säästö: Kivihiilituotannon kustannusten poistuminen €/GWh
	kivihiilen poltosta johtuvien päästöjen ($t_{CO2\text{-}ekv}$) loppuminen	Säästö: päästöluvan hinta €/t CO_{2ekv}
Uusiutuva energia	uusiutuvan energian lisääntyminen (MW)	Kustannus: investoinnit €/MW
	Uusiutuvan energian käytön kasvu (GWh)	Kustannus: €/GWh
	biopolttoaineiden käytön lisääntyminen	Kustannus panoskäytöstä €/GWh

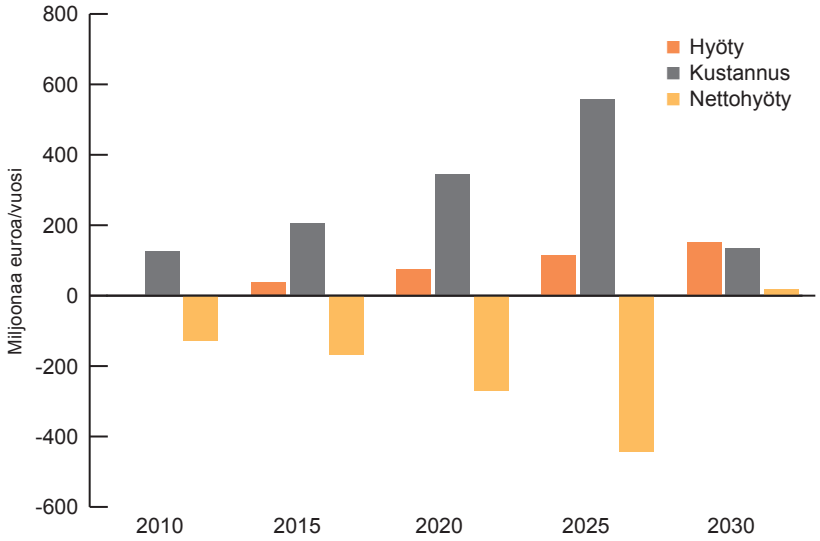
Taulukko 3: Energiavision fyysiset ja taloudelliset vaikutukset.

Kuviosta 7 nähdään, kuinka kustannukset nousevat tasaisesti vuoteen 2025. Tämän periodin jälkeen kaikki tarvittavat investoinnit on tehty, uusiutuvan energian kapasiteetti on korvannut kivihiilen ja kustannuksia syntyy enää uusiutuvan energian panoskäytössä ja ylläpitokustannuksissa. Vuonna 2030 kivihiilestä luopumisen vuotuiset hyödyt ylittävät kustannukset. Kalleimpina vuosina siirtymä kivihiilestä hajautettuun uusiutuvaan energiaan maksaa noin kaksi euroa päivässä yhtä helsinkilästä kohden.

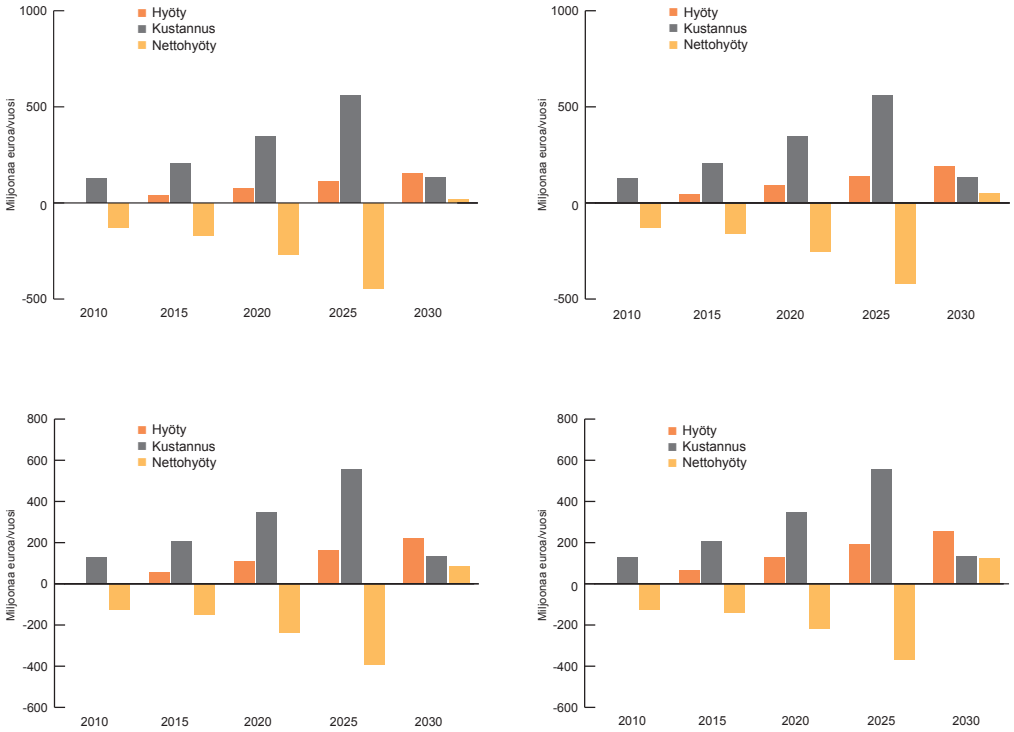
HELSINGIN KOKOISEN KAUPUNGIN KYSYNNÄN KASVAESSA ON ERITTÄIN TODENNÄKÖISTÄ, ETTÄ MARKKINAHINNAT TULEVAT LASKEMAAN.

Nettohyödyn suuruuteen vaikuttavat lukuisat tekijät, joihin liittyy paljon epävarmuuksia. Kuviossa esitetyt uusiutuvan energian ja energiatehokkuuden kustannukset ovat todennäköisesti liian korkeita, sillä uusien teknologioiden hintojen voidaan ajatella laskevan kysynnän kasvun vuoksi. Uusiutuvan energian markkinoiden kehitys on ollut Suomessa melko hidasta, minkä vuoksi hinnat ovat monessa tapauksessa maailmanmarkkinahintaa korkeammalla. Helsingin kokoisen kaupungin kysynnän kasvaessa on erittäin todennäköistä, että markkinahinnat tulevat laskemaan. Myös yleinen tekninen kehitys laskee hintoja. Kustannusten on oletettu laskevan vain aurinkosähköpaneelien kohdalla niiden maailmanlaajuisen hintakehityksen mukaisesti.

Kuviossa 7 esitelty kustannushyötyanalyysi on laskettu päästöluvan hinnalla nolla. Päästökaupan kiristyminen ja päästöluvan hinnan nousu tulee lisäämään uusiutuvaan energiaan siirtymisen nettohyötyjä (Kuviot 8a-d).



Kuvio 7: Kivihiilestä uusiutuvaan energiaan siirtymisen taloudelliset vaikutukset.



Kuviot 8a-d

JOHTOPÄÄTÖKSET

Suomalaisten kaupunkien keskitetty energiantuotanto, alhaiset energian hinnat, jotka jättävät fossiilisen energiantuotannon ilmasto-, terveys- ja muut ulkoisvaikutukset huomiotta, sekä monimutkaiset sähkösopimukset ovat piilottaneet kaupunkilaisilta totuuden energiantuotannosta. Nykyjärjestelmässä energiansäästöön ei tarvitse kiinnittää huomiota, kun ainoa kulutuksesta muistuttava tekijä on sekava lasku kuukausien viiveellä.

Kaupungeissa on mahdollisuus ratkaista energiahaaste ja välttää ilmastokriisi. Huoleton energiankäyttö ei ole enää mahdollista, vaan kaupunkien ja kaupunkilaisten on ryhdyttävä toimiin.

OIKEUS ASUA POHJOISILLA LEVEYSASTEILLA EI SAA OIKEUTTAA KORKEAMPIIN PÄÄSTÖIHIN.

Siirtyminen hiilen varjosta kohti uusiutuvan energian kaupunkia on suuri askel ja vaatii yhteiskunnalta aktiivisia toimia: on lisättävä kapasiteettia ja vuorovaikutteisuutta sekä opeteltava uusia toimintatapoja. Helsingissä kaksi ja puoli neliökilometriä aurinkovoimaa, 75 tuulivoimalaa ja parikymmentätuhatta maalämpökaivoa tulevat olemaan aivan uudella tavalla osa ihmisten arkea. Hajautettu tekniikka muuttaa kaupunkikuvaa korkeiden piippujen ja mustien kivihiilikasojen varjosta kohti aurinkoisempia ratkaisuja.

Muutos uusiutuvan energian järjestelmään ei ole helppo tai ilmainen. Ilmastonmuutoksen ehkäisyn kannalta ponnistus on kuitenkin välttämätön. Oikeus asua pohjoisilla leveysasteilla ei saa oikeuttaa korkeampiin päästöihin, sillä ne muuttavat muuta maailmaa pikkuhiljaa asuinkelvottomaksi. Uusiutuvan energian järjestelmä on myös pitkällä aikavälillä taloudellisesti kannattavampi kuin riippuvuus ehtyvistä ja kallistuvista polttoaineista.

© CHRIS MARTIN BAHR / WWF-CANON

Hajautettu tekniikka muuttaa kaupunkikuvaa, mikä muistuttaa energian tuotannosta.

MENETELMÄT JA AINEISTO

Menetelmät

Nykytila

Nykytila hahmotettiin nykyisen energian tuotannon, kulutuksen ja hankinnan perusteella. Luvut on kerätty vuodelta 2010.

Kaukolämmön kysynnän väheneminen energiatehokkuustoimenpiteillä

Raportissa käytetyissä laskelmissa on mukana vain ennen vuotta 2012 olemassa oleva rakennuskanta. Väestön ja rakennuskannan kasvua ei ole huomioitu. Kysyntää vähentää se, että uusille asuinalueille tullaan rakentamaan nollaenergiataloja.

Perusuralla korjausrakentamisen tahti on 1,25 prosenttia, ja puolissa korjausrakentamisneliöissä tehdään energiatehokkuusparannuksia. Perusuran mukaan kivihiililämmön kulutus laskee 22 prosenttia vuoteen 2030 mennessä. Visiossa puolestaan korjausrakentamisen tahti kaksinkertaistuu 2,5 prosenttiin ja samassa yhteydessä kaikissa korjausrakentamiskohteissa tehdään energiatehokkuustoimenpiteitä. Vision toteutuessa kulutus laskee koko kaupungissa 29 prosenttia, ja lisävähennykset perusuraan nähden vähennetään kivihiilituotannon tarpeesta. Tällöin kivihiililämmön kysyntä laskee 39 prosenttia.

Kustannus-hyötyanalyysissa on huomioitu vain lisäkustannus eli perusuran ja vision kustannusten erotus. Kustannus per neliömetri on analyysissa 70 euroa (laskettu lähteestä: Airaksinen ja Vainio 2012).

Sähkön kysyntä

Sähkön kysynnän ei oleteta laskevan, mutta lämpöpumppujen lisääntyminen nostaa kysyntää. Helsinki on tällä hetkellä sähkön nettoviejä, mutta visiossa oletetaan että Helsingissä kulutetaan ja tuotetaan vuositasolla yhtä paljon sähköä. Sähkön kysynnän ja tarjonnan lukuja vertaamalla voidaan huomata, että vuositasolla Helsingissä tuotetaan nykyään noin 1000 GWh ja hankitaan noin 3000 GWh enemmän sähköä kuin kulutetaan. Kun kivihiilituotannosta luovutaan, ei uusiutuvan energian sähkökapasiteetilla tarvitse korvata poistuvaa kapasiteettia kokonaan. Raportissa nykyisestä sähkön kivihiilituotannosta (1650 GWh) on vähennetty tuotannon ja kulutuksen erotus (1000 GWh).

Kivihiilituotannon loppuminen

Perusurassa energiaa tuotetaan edelleen kivihiilellä, mutta energian kysyntä vähenee energiatehokkuuden parantuessa. Tämä vähentää kivihiilituotannon tarvetta 22 prosenttia nykytilasta. Perusurassa kivihiiltä ei korvata uusiutuvalla energialla. Visiossa kivihiilituotannon oletetaan laskevan nollaan vuoteen 2030 mennessä. Samalla kun tuotantoa vähennetään, lisätään uusiutuvien energialähteiden käyttöä. Tuotannon lasku tapahtuu siten, että käyttötuntien määrä vähenee tasaisesti.

Nettokustannus nykyisten voimaloiden sulkemisesta arvioitiin laskemalla perusuran ja vision kustannusten erotus. Kivihiilienergian osalta huomioon otettiin polttoainetarve, käyttökustannus ja päästöluvan hinta polttoaineen käytön perusteella. Tuotetusta energiasta otettiin huomioon pelkästään sähkön ylituotanto, sillä uusiutuva energia korvaa visiossa kivihiilen. Ylituotanto laski, minkä seurauksena myyntitulot laskivat. Tämä oli ainoa kivihiilituotannon loppumisen nettokustannus. Myös energiavisiossa syntyi ylijäämäsähköä siirtymäperiodeilla, kun uusiutuvan sähkön määrä lisääntyi lineaarisesti, mutta kivihiiltä poltettiin edelleen lämmön tarpeen vuoksi.

Oletuksena on, että kivihiilivoimaloiden lämmön nykyinen tuotantoteho vastaa tämän hetkistä huippukysyntää.

Uusiutuva energia

Visiossa pyritään hyödyntämään parhaita mahdollisia tekniikoita (BAT). Sopivan energiapaletin muodostaminen vaatii siis paikallisten olosuhteiden ja kysynnän tuntemisen lisäksi paljon teknistä taustatietoa. Luotu visio on väistämättä karkea, sillä todellisen uusiutuvan energian potentiaalin tutkiminen vaatisi tarkkoja paikallisia mittauksia ja käytettävät tekniikat vaihtelisivat huomattavasti enemmän, kuin mitä tässä on oletettu. Kivihiilen korvaamiseksi ei käytetä lainkaan uusiutumattomia luonnonvaroja, mikä rajaa pois käytöstä fossiiliset polttoaineet, turpeen ja ydinvoiman.

Visiossa käytetyt uusiutuvan energian lähteet valittiin vuodenajoittaisen uusiutuvan energian tarjonnan ja energian kysynnän mukaan. Kysynnän rakenne on laskettu yhteistuotannolla tuotetun kaukolämmön kuukausitilastojen avulla (Energiateollisuus ry 2012d). Kunkin kuukauden prosenttiosuus vuoden tuotannosta laskettiin vuosilta 1992 – 2012, ja näiden keskiarvoista muodostettiin vuosittaisen kysynnän rakenne.

Varastointi ja energian tuonti

Uusiutuvista energialähteistä aurinko- ja tuulivoima ovat vuodenaikariippuvaisia. Aurinkoenergian kuukausittainen saatavuus (kWh/m^2) saatiin teoksesta Auringosta sähköä ja lämpöä (Motiva 2012). Tuulivoiman kuukausituotanto laskettiin keskiarvona vuosien 2006 – 2011 tilastoista (VTT 2013). Aurinko- ja tuulienergian kohdalla on tärkeä ottaa huomioon säätövoiman ja energian varastoinnin tarve, sillä tuotannon vaihtelut ovat etenkin tuulivoiman kohdalla suuria. Tässä raportissa ei mennä varastoinnin ja verkon muutosten osalta yksityiskohtiin, mutta niiden tarve on hyvä pitää mielessä. Etenkin talvikuukausina sähkön tarve on suurta, mutta päivittäinen tuulivoiman saatavuus on epävarmaa. Tässä visiossa ajoittaiset tarjonnan heilahtelut korvataan tuontisähköllä, jonka on oltava myös uusiutuvalla energialla tuotettua. Käytännössä tämä tarkoittaa lähinnä yhteispohjoismaisilta sähkömarkkinoilta ostettua vesivoimaa sekä bioenergiaa. Laskennallisesti Helsingin tuottama energia on vuositasolla tasapainossa, eli myydyn ja ostetun sähkön määrä on yhtä suuri. Tuonti- tai vientisähköä ei siis oteta laskelmissa huomioon.

Lämpöpumput

Lämpöpumppujen avulla voidaan hyödyntää monenlaista lämpöä, mutta tässä visiossa keskitytään pelkästään kallioperästä saatavan maalämmön pumppaukseen. Kaupungissa myös poistoilman talteenottoon tarkoitetut pumput olisivat ihanteellisia, ja pumppujen toimintaperiaate on sama.

Maalämmön eli geoenergian potentiaalin tarkka määrittäminen vaatisi tarkkoja laskelmia, joten tässä on jouduttu turvautumaan tietoihin nykyisistä projekteista. Maalämmön hyödyntämistä rajoittavat tunnelit ja muut vastaavat maanalaiset rakennelmat. Kaupungin pinta-alalla maalämmön lisääminen onnistuu hyvin, eivätkä tässä ehdotetut maalämpökaivot tarvitse kuin hieman yli kahden neliökilometrin tilan, mikä muodostaa alle prosentin kaupungin pinta-alasta.

Aurinkoenergia

Aurinkolämmön vuotuinen säteilymäärä on Helsingissä 940 kWh per neliömetri (Erat ym. 2008). Hyödynnettävyys vaihtelee kuukausittain muun muassa auringon tulokulman ja sään takia, mutta paikallisesti myös esimerkiksi varjostuksella tai katon kulmalla on suuri merkitys. Helsingin katot vastaanottavat arviolta 10 000 – 15 000 GWh auringon säteilyä vuodessa. Tuotanto painottuu selvästi kesään, ja marraskuusta tammikuuhun aurinkoenergian tuotto on käytännössä nollassa. Aurinkoenergian kokonaispotentiaali määritettiin suhteuttamalla Espoon kattojen aurinkoenergian potentiaalia (Raunio 2012) Helsingin kattopinta-alaan. Jos Espoon potentiaali suhteutettaisiin suoraan Helsingin kattopinta-alaan, joka on noin 17,6 km^2 (laskettu GIS-ohjelmistolla lähteestä MML 2013), kokonaispotentiaali olisi noin 10 000 GWh vuodessa. Koska Helsingin rakennuskanta poikkeaa huomattavasti Espoosta, oletetaan, että Helsingin katoista huomattavasti alle puolet on hyödynnettävissä aurinkoenergian tarpeisiin. Espoon katoista aurinkoenergian hyödyntämisen kannalta ihanteellisiksi on arvioitu 60 prosenttia.

Aurinkolämmön ja -sähkön hyödynnystekniikat eroavat toisistaan huomattavasti. Aurinkolämpöä saadaan talteen erilaisilla keräimillä, joiden avulla säteilyenergiasta voidaan saada talteen noin puolet. Aurinkosähkön hyötysuhteeksi on oletettu 14 prosenttia.

Aurinkolämpö

Aurinkoenergian määrä mitoitettiin tuottamaan heinäkuun lämmöntarve vuoteen 2030 mennessä. Heinäkuun kysynnän perusteella voitiin laskea koko vuoden tarjonta kuukausitarjonnan perusteella. Koko vuoden tuotto optimaalisesti asetetulla keräimellä olisi noin 440 kWh per neliömetri (Motiva 2012). Tähän tarvittu pinta-ala laskettiin jakamalla vuosittainen tarve yhden neliömetrin vuodessa tuottamalla energialla hyötysuhteella 47 prosenttia. Keräimen pinta-ala on laskettu keräimiä myyvän yrityksen tietojen avulla (GreenEs, 2013). Kapasiteetin muuttaminen tehoiksi (MW) ei onnistunut, sillä aurinkolämpökeräinmarkkinoilla ei puhuta tehoista.

Aurinkolämpöä tuotetaan 300 GWh vuodessa vuonna 2030. Tarvittavan energian tuottamiseksi tarvittaisiin 700 000 neliömetriä absorptiopinta-alaa, mikä on koko keräimen pinta-alan kanssa yhteensä noin miljoona neliömetriä. Tämä vastaa noin kuutta prosenttia koko kaupungin kattopinta-alasta.

Aurinkokeräinten hinnat vaihtelevat huomattavasti, eikä myytyjen keräinten hyötysuhteita useinkaan ilmoiteta yksiselitteisesti. Tämän vuoksi kustannuksista joudutaan tekemään yksinkertaistavia oletuksia markkinoilla olevien aurinkolämpökeräinten perusteella. Alin löydetty aurinkolämpöjärjestelmän kustannus Suomessa on 250 euroa per neliömetri apertuuripinta-alaa (laskettu lähteestä GreenEs, 2013).

Aurinkosähkö

Aurinkosähköllä tuotetaan vuonna 2030 250 GWh vuodessa. Aurinkosähköpaneeleiden tarve arvioitiin laskemalla riittävä nimellisteho tuottamaan sähköä 14 prosentin hyötysuhteella. Tarvittava pinta-ala laskettiin kertomalla nimellistehon tarve hyötysuhteella ja vuoden tuntien määrällä. Nimellistehon tarpeeksi arvioitiin 204 MW ja pinta-alan tarpeeksi 1,5 km^2.

Aurinkosähköpaneelien hintakehitys arvioitiin maailmanmarkkinahintojen tähän mennessä toteutuneen laskun perusteella, mutta huomattavasti konservatiivisemmin. Suomen paneelien hinnoista arvioitiin katteeton nykyhinta, joka pudotettiin kohti nykyistä maailmanmarkkinahintaa, mutta niin, että hintojen väliin jäi erotus. Todellisuudessa maailmanmarkkinahinnat ovat tippuneet huomattavasti nopeammin, kuin raportissa oletetaan.

Bioenergia

Biomassan kohdalla vaihtoehtoisia polttoaineita ja hyödynnystekniikoita on lukuisia. Tässä raportissa keskitytään metsäbiomassojen hyödyntämiseen olettaen, että kestävyyskriteerit on täytetty. Biomassana esitetään lähinnä hakkeen käyttöä eri muodoissa, ja sen oletetaan olevan kestävällä pohjalla. Biomassalla pyritään tuottamaan vain välttämätön jäännöserä, millä tarkoitetaan sitä energian tarvetta, joka jää ehtymättömien lähteiden hyödyntämisen jälkeen tyydyttämättä.

Hyödyntämisen kannattavuuteen vaikuttaa raaka-aineen hinnan lisäksi etäisyys voimalaan ja kuljetuskustannukset. Ensimmäisen sukupolven polttoaineet, kuten puun, hakkuujätteiden tai pellettien suora poltto, vaativat usein runsaasti maa-alaa säilytykseen ja polttoainetta kuljetukseen, mikä vähentää niiden kannattavuutta ja lisää hiilidioksidipäästöjä. Toisen sukupolven biopolttoaineiden lämpöarvoa on usein nostettu näiden ongelmien välttämiseksi, mutta samalla käsittely nostaa polttoaineen hintaa.

Biokaasuvoimala

Erilaisia metsäpolttoaineita (tässä: haketta) kaasuttamalla voidaan saada aikaan maakaasun korviketta (bio-SNG), jota voidaan polttaa kaasuturbiinissa maakaasun lailla. Kaasutuksessa jopa 70 prosenttia metsäbiomassan energiasisällöstä saadaan muutettua kaasuksi. (Hacatoglu, McLellan & Layzell 2010).

Kaasua ei välttämättä kannata tuottaa paikallisesti Helsingissä, vaan se kannattaa ostaa alueelta, jossa puusta ei ole yhtä suurta niukkuutta, ja jossa kaasutuslaitosinvestointi on taloudellisesti kannattavaa tehdä. Kaasua voidaan kuljettaa nykyisessä maakaasuverkossa, mikä säästää energian kuljetuskustannuksia hakkeeseen verrattuna. Kaasua voidaan myös tuottaa biojalostamoissa, jolloin kaasu voidaan joko myydä Helsinkiin tai nesteyttää biopolttoaineeksi. Tämä mahdollistaa energiajärjestelmään joustoa.

Jotta kivihiilikapasiteetti saadaan korvattua, täytyy tilalle rakentaa lisää biokaasukapasiteettia. Laitoksen kooksi on oletettu 300 MW, jolla tuotetaan 180 MW:n teholla lämpöä ja 90 MW:lla sähköä.

Tarjanne ja Kivistö (2008) ovat arvioineet kombi -kaasuvoimalan investointikustannukseksi 700 euroa per kW. Voimala maksaisi 210 miljoonaa euroa. Juoksevat kustannukset ovat viisi euroa tuotettua megawattituntia kohden.

Bio-SNG:n hinnan selvittäminen ei ole yksinkertaista, sillä sitä ei vielä ole olemassa suuressa mittakaavassa. Suomessa Bio-SNG - voimaloita ei ole lainkaan. Kaasun hinnasta voidaan saada viitteitä tutkimalla maakaasun tai tuotantoon tarvittavan hakkeen hintaa. Maakaasun hinta on lähes nelinkertaistunut 2000-luvulla (Tilastokeskus 2013b). Metsähakkeen hinta on noussut vuoden 2007 13 eurosta nykyiseen 19 euroon per MW (Tilastokeskus 2013c). 1 MWh:n kaasutukseen tarvittavan hakkeen hinta on 38 euroa (Tilastokeskus 2012). Maakaasun hinta on kasvanut huomattavasti, ja sen hinta oli 2012 joulukuussa 46 euroa per MWh. Bio-SNG:n hinnaksi on oletettu 50 euroa megawattitunnilta.

Hakevoimalat

Bio-SNG-voimalan lisäksi huippukulutuskaudelle tarvitaan muita lämmöntuotantolähteitä. Kerrosleijutekniikka mahdollistaa useiden eri polttoaineiden, kuten myös lämpöarvoltaan huonon metsähakkeen polton (Koornneef, Junginger & Faaij 2007).

Esimerkkilaitoksen polttoaineteho on 38 MW, jolla syntyy 26 MW lämpöä ja 7 MW sähköä. Kerrosleijuvoimaloita otetaan käyttöön yhteensä kuusi ja niitä käytetään kolmena huippukysynnän kuukautena. Yhden tämän kokoisen laitoksen investointikustannus on 25 miljoonaa euroa (Metso Oyj, 2013). Polttoainekustannukset on laskettu olettamalla pääpolttoaineeksi hake. Kuljetuskustannus on laskettu käyttämällä hakkeen kysytystä määrästä riippuvaista kerrointa (Kangas 2011).

Tuulivoima

Tuulivoiman tarpeen arvioinnissa lähdettiin liikkeelle jäljelle jääneen sähköenergian korvaamisesta huippukulutuskaudella. Tämä tarve olisi noin 500 GWh vuodessa. Nimellistehon tarve arvioitiin Lundin (2013) laskelmien perusteella, joiden mukaan 489 MW tuulivoimaloita riittäisi tuottamaan 27 prosenttia Helsingin vuosittaisesta energiantarpeesta. Tällöin tarvittavan sähkön tuottamiseen tarvittaisiin hieman alle 200 MW voimaloita.

Suomessa uudet käyttöönotetut voimalat ovat viime vuosina olleet keskimäärin 3 MW:n tehoisia (Turkia & Holttinen 2013, 30). Tämänkokoisia voimaloita tarvittaisiin noin 65 kappaletta, joista 60 pystytettäisiin merelle ja 15 maalle. Voimaloiden tuotanto ei kuitenkaan vastaa nimellistehoa, vaan vaihtelee huomattavasti tuuliolosuhteiden mukaan etenkin talvella (Holttinen, Peltola & Koreneff 1996).

Kustannukset

Rajauksena pidetään helsinkiläisten toimijoiden nettohyötyjä, vaikka on selvää, että osa hyödyistä ja kustannuksista tuntuu kaupungin rajojen ulkopuolella. Kivihiilituotanto aiheuttaa globaaleja haittoja kiihdyttämällä ilmastonmuutosta, kun taas hyödyt ovat paikallisia. Uusiutuvan energian lisääminen puolestaan vaikuttaa koko maan talouteen lisäämällä kotimaisten polttoaineiden kysyntää, stimuloimalla uusiutuvan energian teknologioihin liittyviä markkinoita ja luomalla uusia työpaikkoja. Lisäksi toimenpiteet saattavat vaikuttaa sähkön hintaan pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla. Näiden kustannusten ja hyötyjen ottaminen huomioon vaatisi kuitenkin laajempaa kokonaistaloudellista mallia, joten ne on jätetty tarkastelun ulkopuolelle.

Aineisto

Nykytila

Energian hankinta	GWh	Lähde
Energian kokonaishankinta	17170	Helsingin kaupungin ympäristökeskus 2012
Energian nettotuotanto Helsingissä	16343	Nettoyhteistuotanto + Lämmön erillistuotanto
Nettoyhteistuotanto	15067	Energiateollisuus 2011
Sähkö		
Sähkön hankinta	7863	Helsingin Energia 2011
Sähkön tuotanto Helsingissä	5740	Sähkön hankinta * 0,73 (Helsingin Energia 2011)
Sähkö yhteistuotannolla	5596	Energiateollisuus 2011
Sähkön tuonti	2123	Sähkön hankinta – tuotanto Helsingissä
Lämpö		
Kaukolämmön hankinta	7771	Energiateollisuus 2011
Kaukolämmön tuotannosta yhteis-tuotannolla	6599	Energiateollisuus 2011
Lämmön erillistuotanto	1276	Energiateollisuus 2011

Taulukko 4. Energian hankintaa koskevia lukuja.

Käyttökohde	GWh	Lähde
Kivihiiltä nettotuotannossa	5280	Energiateollisuus 2011
Kaukolämmön tuotanto kivihiilellä	3140	Johdettu Helsingin Energia (2011) (40% kaukolämmöstä kivihiilellä)
Sähkön tuotanto kivihiilellä	1651	Helsingin kaupungin ympäristökeskus 2012

Taulukko 5. Kivihiili Helsingin energiantuotannossa

Korvattava energia

Helsingissä kivihiilellä tuotettu energia vastaa nykyään noin kolmasosaa kaupungissa kulutetusta energiasta (Helsingin Kaupungin ympäristökeskus 2012). Kivihiilienergiaa syntyy kahdessa yhteistuotantolaitoksessa: Hanasaaressa ja Salmisaaressa. Voimaloiden tehot on esitelty taulukossa 4. Voimaloissa tuotetaan sähköä noin kolmasosa ja loput tuotetusta energiasta on lämpöä, mikä vuonna 2010 tarkoitti 3 140 GWh lämpöä ja 1650 GWh sähköä. Kivihiilituotannon päästöt olivat noin 1 800 tuhatta tonnia, mikä vastaa noin puolta kaupungin päästöistä – kivihiilipäästöjen osuus on siis suurempi kuin sen osuus tuotannossa (laskettu lähteestä Tilastokeskus 2013a).

Kivihiilivoimalat	sähköteho (MW)	lämpöteho (MW)
Hanasaari B	220	445
Salmisaari B	170	300
Salmisaari A	-	180
yhteensä	390	925

Taulukko 6. Helsingin kivihiilivoimaloiden tehot (Lähde: Helsingin Energia 2012a ja 2012b)

Kivihiilivoimaloiden tuottama energia pyritään korvaamaan kysynnän mukaan. Lämmön kysyntä laskee energiatehokkuusparannusten lisääntymisen takia noin 2000 GWh:iin vuodessa. Samalla myös lämpötehon tarve tippuu nykyisten kivihiilivoimaloiden 925 MW:sta 560 MW:iin. Sähkön hankinta on tällä hetkellä ylimitoitettu kaupungin tarpeisiin. Kun ylijäämätuotanto poistetaan, korvattavaa sähköä jää noin 650 GWh vuodessa.

Hiilivoimaloiden kuvaus

Tehokkaampi Salmisaaren voimala koostuu kahdesta hiilivoimayksiköstä sekä yhdestä varavoimalana toimivasta raskaan polttoöljyn yksiköstä (Helsingin Energia 2012a). Vanhempi A-voimala tuottaa pelkästään lämpöä ja 1980-luvulla rakennettu B-voimala yhteistuotannolla sähköä ja lämpöä. Hanasaaren A-voimala purettiin muutama vuosi sitten, ja jäljelle jääneen B-voimalan sulkemisesta on tehty periaatepäätös (Helsingin kaupunki, Kaupunginhallitus 2012).

1 TJ kivihiiltä = 93,3 tonnia CO_2-päästöjä (Tilastokeskus, 2013a). Tästä voidaan laskea, että 1 MWh on 336 tonnia päästöjä.

Energiatehokkuustoimenpiteet

Energiatehokkuustoimenpiteiden vaikutukset arvioitiin Airaksinen ja Vainio (2012) mukaan.

	yksikkö	Perusura	WWF:n visio
Tahti	osuus	0,0125	0,025
Energiakorjaukset	osuus	0,5	1

Taulukko 7. Korjausrakentamisen ja energiatehokkuusparannusten tahti.

Näiden avulla laskettiin merkitys Helsingin rakennuskannalle. Rakennuskannan koko vuonna 2010 oli 45 439 380 m².

	m²	asuntoja	rakennuksia
perusura (1,25%)	567 992	8 875	503
WWF:n visio (2,5%)	1 135 985	17 750	1 006

Taulukko 8. Korjausrakentamisen tahdin nostamisen vaikutukset (korjausrakennettua neliömetriä / asuntoa / rakennusta vuodessa).

Taulukko 8 kuvaa tahdin vaikutuksia korjausrakentamiseen Helsingin rakennuskannassa keskimääräisiä asuntojen ja rakennusten kokoja käyttäen. Oletamme yksinkertaistetusti rakennuskannan pysyvän samankokoisena ja korjausrakentamisen kohdistuvan koko rakennuskantaan tasaisesti (rakennettu ennen vuotta 2010).

		2010	2015	2020	2025	2030
perusura	**GWh**	3 140	2 967	2 795	2 622	2 449
WWF:n visio	**GWh**	3 140	2 912	2 685	2 457	1 924

Taulukko 9. Energiatehokkuusparannusten aikaansaama lämmön kysynnän kehitys Helsingissä vuoteen 2030 asti.

Airaksisen ja Vainion (2012, 18 – 19) tutkimuksessa on laskettu julkisivukorjausten, ikkunoiden uusimisen, paineen alennuksen ja veden säästön sekä ilmanvaihdon uudistamisen lisäkustannukset. Jos nämä kaikki toimet tehtäisiin, vaihtelisi neliökustannus 70 ja 105 euron välillä. Airaksisen ja Vainion tutkimus ei sisällä poistoilman talteenottoa. Oletamme tässä kustannukseksi 70 euroa neliöltä, sillä skaalaedut pitävät hinnat alhaalla.

Muuttuja	Yksikkö	Määrä
Päästöluvan hinta	€ / t CO_2	0
Kivihiilen hinta	€ / MWh	30
Kivihiilen käyttökustannus	€ / MWh	8
Sähkön hinta	€ / kWh	0,07
Energiakorjauskustannus	€ / m^2	70
Maalämpöpumpun kustannus	€ / kW	255
Tulistusvaraaja 1500dm3	€ / kpl 60 kW	2675,4
Liitoksia 3 kpl	€ / kpl 60 kW	2340
Aurinkokeräimen hinta	€ / m^2	167
Aurinkopaneelin hinta	€ / kWp /periodi	2,2 / 1,9 / 1,6 / 1,3
Merituulivoimalan hinta	€ / 3 MW	7 500 000
Merituulivoimalan käyttökustannus	% / a	3
Maatuulivoimalan hinta	€ / 3 MW	4 200 000
Maatuulivoimalan käyttökustannus	% / a	2
Kaasuvoimalan investointikustannus	€ / kW	700
Kaasuvoimalan käyttökustannus	€ / MWh	5
BIO-SNG:n hinta (hakkeesta)	€ / MWh	50
Hakevoimalan investointikustannus	€	25 000 000
Hakevoimalan käyttökustannus	% / a	5
Hakkeen hinta	€ / MWh	19
Hakkeen kuljetuskustannus	€ / $MWh^{-3/2}$	1,2

Taulukko 10. Kustannus-hyötyanalyysissa käytetyt oletukset.

LÄHTEET

Ahrenfeldt, J.; Thomsen, T.; Henriksen, U.; Clausen, L. 2012. Biomass gasification cogeneration – A review of state of the art technology and near future perspectives. Applied Thermal Engineering 50 (2013), 1407-1417

Airaksinen, M., Seppälä, J., Vainio, T., Tuominen, P., Regina, P K., Peltonen-Sainio, P., Luostarinen, S., Sipilä, K., Kiviluoma, J. Tuomaala, Savolainen, I., Kopsakangas-Savolainen, M. 2013. Rakennetun ympäristön hajautetut energiajärjestelmät. Suomen Ilmastopaneeli. Raportti 4/2013

Airaksinen, M.; Vainio, T. 2012. Rakennuskannan korjaamisen ja kunnossapidon energiatehokkuustoimenpiteiden vaikuttavuuden arviointi energiasäästön, CO_2 ekv päästöjen, kustannuksien ja kannattavuuden näkökulmista. VTT 14.5.2012

Boardman, A.; Greenberg, D.; Vining, D.; Weimer, D. 2006. Cost-Benefit Analysis. Concepts and Practice. Third Edition.

Carbon Tracker 2013. Unburnable Carbon 2013. Ladattavissa osoitteessa: http://carbontracker.live.kiln.it/Unburnable-Carbon-2-Web-Version.pdf

Deng, Y.; Cornelissen, S.; Klaus, S. 2011 The Ecofys Energy Scenario. Julkaistu WWF:n raportissa The Energy Report. Ladattavissa osoitteesta: http://wwf.panda.org/what_we_do/footprint/climate_carbon_energy/energy_solutions/renewable_energy/sustainable_energy_report/

Energiamarkkinavirasto 2012. Sähköverkkoliiketoiminnan kehitys ja valvonnan vaikuttavuus. Valvontatiedot 2005-2010

Energiateollisuus ry 2011. Kaukolämpötilasto 2010. Energiateollisuus ry.

Energiateollisuus ry 2012a. Kivihiili. Viitattu: 18.12.12 http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/energialahteet/kivihiili

Energiateollisuus ry 2012b. Suomalaisten Energia-asenteet 2012.

Energiateollisuus ry 2012c. Kunnittainen sähkönkäyttö 2007 - 2011. http://energia.fi/sites/default/files/dokumentit/tilastot-ja-julkaisut/sahkon_kulutus_kunnittain_2007-2011_excel_nettiin.xls

Energiateollisuus ry 2012d. Electricity net-production, imports and exports (GWh) in Finland.

Energiateollisuus ry 2012e. Sähkönkulutuksen kuukausitilasto - monthly statistics of energy consumption.

Energiateollisuus ry 2013. Tuulivoima. Viitattu 20.2.13. http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/energialahteet/tuulivoima)

Energiateollisuus ry 2013a. Vesivoima Viitattu 20.2.13. http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/energialahteet/vesivoima

Energiateollisuus ry 2013b. Vetytalous. Viitattu: 20.2.13. http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/energialahteet/vetytalous

Erat, B.; Erkkilä, V.; Nyman, C.; Peippo, K.; Peltola, S.; Suokivi, H. 2008. Aurinko-opas. Aurinkoenergiaa rakennuksiin. Aurinkoteknillinen yhdistys ry.

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/31/EU. Euroopan unionin virallinen lehti 18.06.2010

Eurostat 2013. Renewable energy primary production: biomass, hydro, geothermal, wind and solar energy.

Falk, G.; Herrmann, F.; Bruno Schmid G. 1982. Energy forms or energy carriers? Am. J. Phys. 51 (12), December 1983

Gustavsson, M.; Särnholm, E.; Stigson, P.; Zetterberg, L. 2011. Energy Scenario for Sweden. The IVL Scenario.

Göös, Olli. 2013. Puhelinkeskustelu. Lämpöykkönen. 14.3.2013

Hacatoglu, K.; McLellan, P. J.; Layzell, D. B. 2010. Production of Bio-Synthetic Natural Gas in Canada. Environmental Science & Technology (2010), 44, 2183-2188

Heller, R.; Deng, Y.; van Breevoort, P. 2013 Renewable Energy: a 2030 Scenario for the EU. Ecofys 2013 by order of WWF – EPO.

Helsingin Energia 2010. Helsingin Energian kehitysohjelma kohti hiilineutraalia tulevaisuutta, 12.01.2010 http://www.helen.fi/pdf/

Helen_2020_kehitysohjelma.pdf

Helsingin Energia 2011. Helen-konsernin vuosikertomus 2011 ja Yhteiskuntavastuun raportti 2010

Helsingin Energia 2012. Tuotamme energiaa. Viitattu 18.12.2012 http://helen.fi/ymparisto/energiantuotanto.html

Helsingin Energia 2012a. Turvallisuustiedote Helsingin Energian Salmisaaren voimalaitosten ympäristön asukkaille. Helmikuu 2012. http://www.helen.fi/pdf/salmisaari_turvallisuustiedote.pdf

Helsingin Energia 2012b. Hanasaaren voimalaitos tuottaa sähköä ja lämpöä. Viitattu 21.12.12. http://www.helen.fi/ymparisto/hanasaari.html

Helsingin Energia 2013. Biopolttoaineiden käytön lisääminen Helsingin energiantuotannossa. Ympäristövaikutusten arviointiohjelma. Ramboll.

Helsingin kaupungin tietokeskus, 2012. Helsingin väestöennuste 2013-2050.

Helsingin kaupungin ympäristökeskus 2012. Helsingin ympäristötilasto.

Helsingin kaupunki 2010. Kestävän energiankäytön toimenpideohjelma. Kaupunginjohtajien energia- ja ilmastosopimus. Energiansäästöneuvottelukunta 1.12.2010

Helsingin kaupunki 2011. Parhaat energiatehokkuuskäytännöt. Rakennusvirasto. PEK-selvitys.

Helsingin kaupunki 2012a. Helsingin kaupungin ympäristöraportti 2011.

Helsingin kaupunki 2012b. V Päivitetty Helsingin Energian kehitysohjelma kohti hiilineutraalia tulevaisuutta. Kaupunginhallitus. Pöytäkirja 09.01.2012

Helsingin kaupunki, Kaupunkisuunnitteluvirasto, 2012. HELSINGIN YLEISKAAVA. Helsingin yleiskaavan lähtökohdat ja työohjelma. Helsingin kaupunkisuunnitteluvirastonyleissuunnitteluosaston selvityksiä 2012:2. 13.11.2012

Helsingin kaupunki 2012a. Energian kulutus on kasvanut Helsingissä. Helsingin kaupunki. Viitattu 22.11.2012. http://www.energiatehokashelsinki.fi/energiankulutus-ja-paastot

Helsingin kaupunki 2012b. HELSINGIN JA HELSINGIN SEUDUN VÄESTÖENNUSTE 2013–2050. Ennuste alueittain 2013–2022.

Helsingin seudun ympäristöpalvelut (HSY) 2012. Pääkaupunkiseudun ilmastoraportti. Päästöjen kehitys 2011.

Holttinen, H. 2008. Tuulivoiman säätö- ja varavoimatarpeesta Suomessa. VTT 7.3.2008

IEA, International Energy Agency 2012. Key World Energy Statistics 2012

IEA, International Energy Agency 2012. World Energy Outlook 2012.

Ilmatieteen laitos 2012. Vuoden 2010 säät. Viitattu 20.12.12 http://ilmatieteenlaitos.fi/vuosi-2010

Jylhä, K.; Kalamees, T.; Tietäväinen, H.; Ruosteenoja, K.; Jokisalo, J.; Hyvönen, R.; Ilomets, S.; Saku, S.; Hutila, A. 2011. Rakennusten energialaskennan testivuosi 2012 ja arviot ilmastonmuutoksen vaikutuksista. Ilmatieteenlaitoksen raportteja 2011:6 Kangas, Hanna-Liisa. 20xx.

Kallio, J., 2013. GTK 12.3.2013

Koornneef, J.; Junginger, M.; Faai, A. 2007. Development of fluidized bed combustion—An overview of trends, performance and cost. Progress in Energy and Combustion Science 33 (2007) 19–55

Lahti, P.; Nieminen, J.; Virtanen, M. 2008. Ekotehokkuuden arviointi ja lisääminen Helsingissä. Helsingin kaupunkisuunnittelu-virasto ja VTT, 2008.

Lund, H.; Mathiesen, B.V. 2009. Energy system analysis of 100% renewable energy systems—The case of Denmark in years 2030 and 2050. Energy. Volume 34, Issue 5, May 2009, Pages 524–531

Lund, P. 2012. Large-scale urban renewable energy schemes – Integration and interfacing aspects. Energy Conversion and Management 63 (2012) 162-172

Metso Oyj 2013. Metso toimittaa biomassavoimalaitoksen vihreän energian tuotantoon Vimmerby Energi & Miljölle Ruotsiin. Viitattu 24.4.13 klo 16:30 http://www.mwpower.fi/mwpower/fi/mwpower_news_fi.nsf/WebWID/WTB-130221-22576-2D79D?OpenDocument

Motiva 2012. Auringosta sähköä ja lämpöä.

http://www.motiva.fi/julkaisut/uusiutuva_energia/auringosta_lampoa_ja_sahkoa.1027.shtml

Motiva 2013. Uusiutuvan energian käyttö Suomessa. Päivitetty: 9.4.2013 http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/uusiutuvan_energian_kaytto_suomessa

Raunio, O. 2012. SEES Espoo. Solar Energy from Existing Structures in Espoo Report.

Ruska, M. & Pirilä, P. Energiamarkkinat. Teoksessa: Energia Suomessa. Tekniikka, talous ja ympäristövaikutukset. VTT Prosessit 2004.

Sarvaranta, Anni 2010. Älykkäät sähköverkot ja niiden kehitys Euroopan unionissa ja Suomessa. Harjoitustyö. Aalto-yliopisto, Energiatekniikan laitos.

Suomen Lämpöpumppuyhdistys (Sulpu) ry. 2013. Lämpöpumput. Viitattu 18.3.2013 klo 12:15 http://www.sulpu.fi/lampopumput

Tarjanne, R.; Kivistö, A. 2008. Comparison of electry generation costs. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Teknillinen tiedekunta. Energia- ja ympäristötekniikan osasto. Tutkimusraportti EN A-56.

Tiihonen, Arja 2011. Asumisväljyys lisääntyy hitaasti. Tilastokeskus 2011. Viitattu 12.2.2013 http://www.stat.fi/tup/vl2010/art_2011-10-18_001.html

Tilastokeskus 2012. Helsingin rakennukset 2011.

Tilastokeskus 2013. Energian kokonaiskulutus energialähteittäin.

Tilastokeskus 2013a. Polttoaineluokitus 2013.

Tilastokeskus 2013b. Kivihiilen ja maakaasun käyttäjähinnat lämmöntuotannossa (ei sis. alv:a)

Tilastokeskus 2013c. Kotimaisten polttoaineiden käyttäjähinnat lämmöntuotannossa (ei sis. alv:a)

Turkia, V.; Holttinen, H. 2013. Tuulivoiman tuotantotilastot – Vuosiraportti 2011. VTT Technology.

UN-HABITAT 2011. Cities and Climate Change: Global Report on Human Settlements 2011.

Ympäristöministeriö 2012. Lakiesitys korjausrakentamisen energiatehokkuusmääräyksistä lausunnoille. ympäristö.fi 04.06.2012

http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=412713&lan=fi

YLE 20120. Hanasaaren B-voimalan lähtölaskenta alkoi. 10.1.2012, päivitetty 9.6.2012. Viitattu 21.12.2012 klo 11:45 http://yle.fi/uutiset/hanasaaren_b-voimalan_lahtolaskenta_alkoi/5057738

Östersundom-klinikka 2013. Östersundom-klinikan tulosraportti. Yhteenveto työpajojen ja seminaarien aineistoista. Helmikuu 2013.

© AKI-PEKKA SINIKOSKI / WWF