



TERVEYDEN JA
HYVINVOINNIN LAITOS

Jouni Tuomisto
Julia Rintala
Pauli Ordén
Matleena Tuomisto
Teemu Rintala

Helsingin energiapäätös 2015

Avoin arviointi terveys-, ilmasto- ja muista vaikutuksista

TYÖPAPERI

TYÖPAPERI 24/2015

Jouni Tuomisto, Julia Rintala, Pauli Ordén, Matleena Tuomisto ja Teemu Rintala

Helsingin energiapäätös 2015

Avoin arviointi terveys-, ilmasto- ja muista vaikutuksista



**TERVEYDEN JA
HYVINVOINNIN LAITOS**

© Kirjoittajat ja Terveiden ja hyvinvoinnin laitos

Työpaperi on julkaistu tekijänoikeuslisenssillä CC-BY 4.0 <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/> .

Saat vapaasti käyttää, kopioida ja muokata teosta kunhan viittaat lähteeseen asianmukaisesti. Suositeltu viittaus:

Jouni Tuomisto, Julia Rintala, Pauli Ordén, Matleena Tuomisto ja Teemu Rintala. Helsingin energiapäätös 2015. Avoin arviointi terveys-, ilmasto- ja muista vaikutuksista. Terveiden ja hyvinvoinnin laitoksen työpapereita 24/2015. Helsinki 2015.

Kannen kuva:

ISBN 978-952-302-544-8 (verkkojulkaisu)

ISSN 2323-363X

<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-302-544-8>

Esipuhe

Helsingin kaupunki on tekemässä isoja energiapäätöksiä lähiviikkoina, kun kaupunginvaltuuston päätettäväksi tulee kysymys uudesta Vuosaaren biopolttoainevoimalasta, vanhojen voimaloiden korjaamisesta tai hajautettujen biolämpökeskusten rakentamisesta. Päätös on erittäin monimutkainen ja haasteellinen ja tarvitsee tuekseen kaiken saatavilla olevan tietotuen.

Terveyden ja hyvinvoinnin laitoksen THL:n tehtävänä on tuottaa tietoa päätöksenteon tueksi terveyteen ja hyvinvointiin liittyvistä asioista. Yksi tärkeä osa-alue on ympäristöterveys eli ympäristössä olevien tekijöiden haitalliset ja hyödylliset vaikutukset ihmisen terveyteen. Suomessa ilmansaasteet ja erityisesti pienhiukkaset ovat suurin ympäristöterveysriski, ja ne aiheuttavat lähes parituhatta ennen aikaista kuolemantapausta eli yli 12000 menetettyä tervettä elinvuotta vuodessa. [\[1\]](#)

Koska energiantuotanto on yksi tärkeistä pienhiukkaslähteistä, on perusteltua tarkastella isoja energiapäätöksiä myös terveyden kannalta. Energiantuotannon toinen tärkeä terveyteen vaikuttava tekijä ovat kasvihuonekaasupäästöt, jotka vaikuttavat omalta osaltaan ilmastomuutokseen ja erittäin monimutkaisten syy-seurausketjujen kautta globaaliin terveyteen. Käytännössä kasvihuonekaasupäästöjen terveysvaikutuksia ei pystytä arvioimaan, mutta päästöjen arviointi puolestaan on varsin tarkkaa, ja niitä voidaankin käyttää myös terveyshaittojen epäsuorana mittarina.

Helsingin energiaratkaisuja on mietitty useita vuosia, ja matkan varrella on esitetty lukuisia erilaisia ratkaisuvaihtoehtoja. Näistä useimmat on hylätty jatkotarkasteluista, mutta systemaattista arviointia niiden hyödyistä ja haitoista ei ole julkaistu. Tämä estää järkipäistä keskustelua tärkeästä aiheesta, joka on vaikea muutenkin ja erityisesti ilman yhdenmukaista ja laajaa vaihtoehtojen arviointia.

Näistä syistä THL aloitti toukokuussa 2015 terveys-, ilmasto- ja muiden vaikutusten arvioinnin Opanet-verkkotyötilassa. Työ tehtiin alusta saakka avoimesti, ja kaikki tiedot, mallit ja tulokset koottiin kesän aikana arviointia varten rakennetulle sivustolle kaikkien nähtäväksi ja kommentoitavaksi. Arvioinnin etenemisestä pyrittiin myös aktiivisesti tiedottamaan energia-alan asiantuntijoita, Helsingin päättäjiä ja energia-asioista kiinnostuneita kansalaisia ja kansalaisjärjestöjä. 17.8. järjestettiin keskustelutilaisuus asiantuntijoille, ja arviointia kehitettiin edelleen saadun palautteen perusteella. Päättäjille ja yleisölle suunnattu keskustelu- ja tiedotustilaisuus järjestettiin 11.9., ja vielä sielläkin nousi tärkeitä näkökohtia, jotka pyrittiin ottamaan mukaan tähän loppuraporttiin. Samoin WWF:n 8.10. julkaiseman arvioinnin keskeiset osat on otettu osaksi THL:n vaikutusarviointimallia. Sen sijaan Helsingin kaupungin teettämää hajautetun energiantuotannon selvitystä ei ole julkaistu eikä luonnosta ole pyynnöistä huolimatta annettu nähtäväksi, joten sen selvityksen sisältöä ei tässä raportissa ole voitu tarkastella.

Arviointi perustuu energiatasemalliin, jossa rakennuskannan lämmityksen ja kulutussähkön tarve pyritään ennakoimaan vuoteen 2065 ja lämmitysenergia tuottamaan kaukolämmön avulla erilaisia, mahdollisimman kustannustehokkaita ratkaisuja käyttäen. Näiden ratkaisujen terveys-, ilmasto- ja kustannusvaikutuksia arvioidaan voimaloiden käyttöaktiivisuuden, ominaispäästöjen, polttoaineen hinnan ja muiden tietojen avulla.

Arvioinnin päätelmät perustuvat tämän mallin antamiin tuloksiin ja näistä tuloksista käytyihin keskusteluihin eri osapuolten kesken. Kaikki päätelmät ja suositukset ovat kirjoittajien omia, eivätkä ne välttämättä edusta sen enempää THL:n kuin keskusteluun osallistuneiden tahojenkaan näkemyksiä. Ne ovat kuitenkin tuoneet raportin sisältöön korvaamattoman arvokkaan lisän.

Lokakuussa 2015 Las Vegasissa, Tampereella, Espoossa, Turussa ja Kuopiossa
Kirjoittajat

Tiivistelmä

Jouni Tuomisto, Julia Rintala, Pauli Ordén, Matleena Tuomisto ja Teemu Rintala. Helsingin energiapäätös 2015. Avoin arviointi terveys-, ilmasto- ja muista vaikutuksista. Terveiden ja hyvinvoinnin laitos (THL). Työpäperi 24/2015. 51 sivua. Helsinki 2015. ISBN 978-952-302-544-8 (verkkojulkaisu)

Kysymys:

Helsinki tekee syksyllä 2015 voimalaitoksista ison energiapäätöksen, joka vaikuttaa energiantuotantoon vuosikymmeniä. Tärkeä päätös vaatii perusteellista taustatietoa. Kuinka varmistetaan jatkuva ja riittävä lämmön ja sähkön tarjonta Helsingissä vuoden ympäri kaikissa oloissa seuraavan viidenkymmenen vuoden ajan siten, että vaikutukset kustannuksiin, ilmastopäästöihin, terveyteen, toimitusvarmuuteen ja kestäväan kasvuun ovat mahdollisimman suotuisat? Kuinka hajautettu energiantuotanto ja energiatehokkuuskorjaukset voisivat parantaa tilannetta? Tämän jälkimmäisen kysymyksen esitti kaupunginvaltuusto keväällä 2015, ja toinen arviointi (Helsingin kaupungin ja Helen Oy:n koordinoimana) vastaa siihen syksyllä 2015.

Vastaus:

Terveiden ja hyvinvoinnin laitos (THL) teki [avoimen arvioinnin](#) Opasnet-verkkotyötilassa kesällä ja syksyllä 2015 tavoitellen [jaettava ymmärrystä](#). Hyödynsimme työssä tietokiteitä eli verkossa säännöllisesti päivittyviä tietopohjaisia vastauksia täsmälliseen kysymykseen. Niiden avulla kehitimme *Sofia*-mallin arvioimaan erilaisten ehdotettujen Helsingin energiavaihtoehtojen toteutettavuutta ja useita eri vaikutuksia.

Sofia osaa laskea rakennuskannan suuruuden ja energiankäytön perustuen keskimääräiseen energiatehokkuuteen, rakennuspinta-alaan ja ulkolämpötilaan. Sofia on energiatasemalli, joka optimoi energiantuotannon kustannuksia varmistaen kaukolämmön riittävyden ja kustannustehokkuuden helsinkiläisistä voimaloista jokaiselle päivälle. Tilannetta seurataan vuodesta 1985 vuoteen 2065. Sofia katsoo myös muuta lämmön ja sähkön kulutusta, mutta ei kuitenkaan teollisuutta ja liikennettä.

Tasapainotetun energiantuotannon perusteella Sofia laskee polttoaineiden ja muut kustannukset sekä kasvihuonekaasu- ja pienhiukkaspäästöt voimaloista ja muista energiaprosesseista. Malli voi tarkastella useita skenaarioita ja siten verrata erilaisten toimenpiteiden (kuten energiaremonttien tai uusien voimaloiden) vaikutuksia kokonaistilanteeseen.

Sofian keskeisenä päätelmänä on, että energiaratkaisut näyttävät jakautuvan kahteen luokkaan: sellaisiin jotka kaukolämmön sivutuotteena tuottavat sähköä, kuten Hanasaaren hiilivoimala ja ehdotettu Vuosaari C -biovoimala, ja sellaisiin, jotka kaukolämmön tuotannossa eivät tuota tai jopa kuluttavat sähköä huomattavia määriä, kuten hajautetut biolämpövoimalat ja merilämpöpumput. Keskustelussa olevien ratkaisujen valossa Helsingin sähkömavaraisuus on tulevaisuudessa katoamassa ja muuttumassa voimakkaaksi sähköriippuvuudeksi. Pohjoismaisten sähkömarkkinoiden kehittymisestä riippuu, onko tilanne ongelmallinen vai ei.

Valitettavasti sähkömarkkinat ovat voimakkaan muutoksen kourissa, ja esimerkiksi tuulivoimatariffit mutkistavat tilannetta entisestään vaikeuttaen tämän ratkaisevan kysymyksen ennakoimista. Paikallisten lämpöratkaisujen onnistumiseksi kansallinen sähkötilanne ja -politiikka pitäisi nopeasti saada selkeytettyä, kuvattua ja johdonmukaistettua. Muuten Suomessa aiemmin erittäin kustannus- ja energiatehokas kaukolämmön ja sähkön yhteistuotanto korvautuu jollain paljon tehottomammalla.

Jos unohtetaan kysymys sähkömavaraisuudesta ja tarkastellaan ainoastaan kaukolämmön tuotantoa, on useita kustannustehokkaita ratkaisuja tarjolla. Datakeskusten tai Nesteen jalostamon kaltaiset hukkalämpöä hyödyntävät prosessit näyttävät olevan kustannustehokkaampia kuin esimerkiksi Vuosaari C -biovoimala. Myös ympäristöstä lämpöä ottavat talokohtaiset tai isot lämpöpumput näyttävät kustannustehokkailta. Loviisan ydinkaukolämpö on laskelmissamme kannattava, mutta siinä ei ole kokonaisuudessaan pystytty huomioimaan rakentamiskustannusten epävarmuutta; ja on muistettava, ettei voimalan rakentamispäätös ole Helsingin kaupungin vallassa.

Kaikki nämä ratkaisut kuitenkin kuluttavat sähköä juuri silloin, kun sähkön kysyntä on suurimmillaan ja hinta korkeimmillaan, eikä sähkön hinnan vuodenaikais- tai vuorokaudenaikaisvaihtelu ole laskelmissa

huomioitu. Siksikin olisi tärkeä tehdä koko valtakunnan laajuinen energiatasemalli tuntikohtaisesti ja sisällyttää siihen myös sähkö, teollisuus ja liikenne.

Terveys- ja ilmastovaikutukset ovat kaikissa vaihtoehdoissa merkittävä osa kustannuksista vaihdellen viidenneksen ja neljänneksen välillä siten, että tästä on noin puolet kumpaakin. Yllättävää on, että eri vaihtoehtojen välillä erot sekä ilmasto- että terveysvaikutusten osalta vaihtelevat varsin vähän, vaikka vaihtoehtojen maine tässä suhteessa on hyvin erilainen. Tämä johtuu Sofian mukaan useasta tekijästä. Terveyden osalta kaikki suuret voimalat puhdistavat pienhiukkaspäästöt tehokkaasti, joten terveyseroja ei helposti synny; poikkeuksena on talokohtainen lämmitys puulla, joka on moninkertaisesti epäterveellisempää kuin mikään muu vaihtoehto. Sekä ilmaston että terveyden kannalta epäsuorat päästöt ovat myös merkittävät: vaikka lämpöpumpusta ei tule lainkaan suoria päästöjä, tarvittava sähköntuotanto aiheuttaa kuitenkin päästöjä. Päästökaupassa hiilineutraaliksi katsottu biopolttoaine aiheuttaa päästöjä elinkaarensa aikana, ja siksi myöskään yksinkertaiselta kuulostava polttoaineen vaihto ei tuota toivottuja tuloksia.

Mallin päätelmät tietenkin riippuvat käytettävän datan hyvydestä, ja epävarmuuksien täsmentämiseen olisi ollut vielä tarvetta vaikkei aikataulumme antanut siihen mahdollisuutta. Erityisesti polttoaineiden hinnat ovat vaikeasti ennustettavissa tulevaisuuteen. Myös polttoaineverot ovat suuria joillakin polttoaineilla kun taas toisilla eivät. Verotuksen avulla yhteiskunta siis itse asiassa päättää, mitkä rakaisut kaupunkitasolla osoittautuvat järkeviksi, ja tämä onkin kolmas syy, miksi Suomessa pitäisi olla kansallinen, pitkäjänteinen ja selkeä energiapolitiikka ja tätä tukeva veropolitiikka perustuen yksityiskohtaiseen, avoimeen energiatasemallinnukseen ja parhaaseen tietoon.

Avainsanat: Helsinki, energiantuotanto, ilmastonmuutos, terveysvaikutukset, pienhiukkaset, voimalaitos, biopolttoaine, kaukolämpö, energiansäästö

Abstract

Jouni Tuomisto, Julia Rintala, Pauli Ordén, Matleena Tuomisto ja Teemu Rintala. Helsingin energiapäätös 2015. Avoin arviointi terveyst-, ilmasto- ja muista vaikutuksista. [Helsinki energy decision 2015. An open assessment on health, climate, and other impacts]. National Institute for Health and Welfare (THL). Discussionpaper 24/2015. 51 pages. Helsinki, Finland 2015. ISBN 978-952-302-544-8 (online publication)

Question:

Helsinki will make a large energy decision during fall 2015. it will impact energy production for decades. An important decision requires systematic information. How do we guarantee a continuous and sufficient supply of district heat and electricity in Helsinki around the year for the next fifty years in such a way that the impacts on costs, health, climate change, and sustainable growth are as beneficial as possible? How can decentralised energy production and energy efficiency renovations improve the situation? The latter question was asked by the City Council, and another assessment (coordinated by the city of Helsinki and Helen energy company) will answer that soon.

Answer:

National Institute for Health and Welfare (THL) performed an open assessment on the Opasnet web-workspace during summer and fall 2015 aiming at shared understanding. We utilised knowledge crystals, i.e. regularly updated collaborative online answers to specific research questions. Based on them, we built a model called Sofia to assess impacts and implementability of several different energy options in Helsinki.

Sofia can estimate the building stock and energy consumption based on average energy efficiency, floor area, and ambient temperature. Sofia is an energy balance model that optimises costs of energy production while ensuring the supply of district heating in Helsinki for each day. The situation is followed from 1985 to 2065. Sofia looks also at other heat, fuel, and electric power consumption, but not those of industry and traffic.

Based on balanced energy production Sofia estimates the fuel and other costs and greenhouse gas and fine particle emissions from power plants and other energy processes. The model can assess several scenarios and thus compare the overall impacts of different actions, such as energy renovations or new power plants.

Sofia's main conclusion is that the energy solutions seem to fall into two categories: those that produce electric power as a side stream of district heat, like in Hanasaari coal plant and the suggested Vuosaari C biofuel plant; and those that do not produce or even consume a large amount of electricity, like decentralised biofuel heat plants or sea heat pumps. Based on current discussions, the self-sufficiency of electric power in Helsinki seems to be disappearing and probably changing into a deep dependency of outside electricity. The development of the Nordic electric market determines whether this will be a problem or not in the future.

Unfortunately, the electric market is under strong transition, and for example the wind power tariffs complicate the situation, making future predictions of this crucial issue even more difficult. Local heat production solutions are in a great need of a clear and systematic national electric policy. Otherwise, the previously very efficient combined heat and power production will be replaced with something much less efficient in Finland in the future.

If we forget the question about self-sufficiency of electric power and focus only on district heat, there are several cost-effective solutions available. Excess heat from different processes such as data centres or Neste oil refinery seem to be more cost-effective than e.g. Vuosaari C biofuel plant. Also small and large heat pumps that take heat from the environment are cost-effective. District heat from Loviisa 3 nuclear power plant is also cost-effective in our estimates, but we were not able to fully characterise uncertainties in

the investment cost; and we must remember that the decision to build or not to build the reactor is not in the hands of Helsinki.

A major problem with the process heat solutions is that they consume electric power exactly when the demand for power is the largest and price the highest. We were not able to assess the variability of the price of electricity in this assessment, but it is substantial and might change conclusions. Also for this reason, there is a need for a national energy balance model with hourly resolution including electricity, industry, and traffic.

Health and climate impacts are important in every single option we looked at, together ranging between a fifth and a fourth of all costs, health and climate comprising a half of that each. Surprisingly, differences between policy options in this respect were small even if the reputation of the climate-friendliness of the options was very different. According to Sofia, this is due to several reasons. All large power plants filter fine particles out very effectively, and therefore there are no large differences in health impacts; a clear exception is small-scale wood burning in houses, which has several times larger health problems than any other option despite its marginal role in energy production. Also, the life cycle emissions of fine particles and greenhouse gases is also important: even if the direct emissions from a heat pump are zero, the electric power imported has produced emissions somewhere. Biofuels are considered climate neutral in emission trade, but they still produce emissions during their life cycle. Therefore, even a fuel switch does not produce the expected results.

Of course, the conclusions based on the model depend on the goodness of the data used. There are several uncertainties that should have been clarified had there been more time to work on the topic. Especially the fuel prices are very difficult to predict into the future. Also the fuel taxes are very high for some fuels but not for others. Effectively, the society decides, using taxes, which solutions make sense on the city level. This is a third reason why there should be a national, long-term, and clear energy policy - and tax policy supporting it - based on detailed, open energy balance modelling the best available information.

Keywords: Helsinki, energy production, climate change, health effects, fine particles, power plants, biofuels, district heating, energy saving

Sisällys

Skenaariot ja tulokset	11
Tarkastellut skenaariot	11
Energiansäästöpolitiikka	11
Voimalaitospolitiikka	11
Rakennuskannan kehitys ja muut taustatiedot	12
Energiantuotanto	15
Kustannukset	17
Terveys- ja ilmastovaikutukset	20
Päätelmät	22
Linkkejä malliajoihin	23
Vaikutusarviointi	23
Kysymys	23
Oletettu käyttö ja käyttäjät	23
Osallistujat	24
Rajaus	24
Vaihtoehdot	24
Aikataulu	26
Vastaus	26
Perustelut	26
Matemaattinen malli	26
Toimenpidevaihtoehdot	28
Tätä menoa	28
Päästöt	29
Kustannukset	29
Tuotanto	30
Vuosaari C	30
Kuvaus	31
Päästöt	32
Kustannukset	34
Tuotanto	34
Vaikutukset Natura 2000 -alueelle	34
Hanasaaren purku	35
Päästöt	35
Kustannukset	35
Hyöty	35
Hanasaari 40 bio	35
Päästöt	36
Kustannukset	36
Tuotanto	37
Salmisaari 40 bio	37
Päästöt	38
Tuotanto	38
Biolämpölaitokset	38
Loviisan ydinkaukolämpö	39
Nesteen hukkalämpö	40
Hajautettu energiantuotanto	41
Suuret lämpöpumput	41
Energiansäästö	41
WWF:n energiansäästöohjelma	42

Yhteenvetotaulukko päästöistä	44
Muita mahdollisia vaihtoehtoja.....	44
Kouvolan metsäteollisuus.....	44
Uudenmaan laajuinen lämpökenttäpalvelu.....	44
Uusi Päijänteen vesistöalueen metsäteollisuus	44
Energiapäätökseen liittyviä arvoja	45
Katso myös	46
Tietokide mallin perusyksikkönä	46
Rakennuskantamalli	47
Energiatasemalli	49
Kysymys	49
Vastaus.....	49
Terveysvaikutusmalli	49
Liite: Arviointimallin yksityiskohtia (englanniksi).....	52

Skenaariot ja tulokset

Tarkastellut skenaariot

Arvioinnissa käytettävää energiatasemallia kutsutaan Sofiaksi. Mallissa tarkastellaan kahta eri päätöstä. Toisaalta voidaan tehdä energiansäästöä edistäviä päätöksiä kuten rakennuskannan energiaparannuksia. Toisaalta voidaan valita millä tavalla tarvittava energia tuotetaan. Ensimmäinen päätös on tärkeä taustatieto, mutta arvioinnin mielenkiinto kohdistuu nimenomaan voimalaratkaisuihin. Molemmat päätökset esitellään tässä vaihtoehdoineen.

Energiansäästöpolitiikka

Energiansäästöä tarkastellaan neljän eri vaihtoehdon avulla, joissa energiansäästöön tartutaan erilaisella tarmolla. Aivan työn loppuvaiheessa neljänneksi vaihtoehdoksi nostettiin WWF:n lokakuussa tekemä ehdotus.

Tätä menoa (business as usual, BAU)

Rakennuskannan energiatehokkuus paranee korjausrakentamisen sekä uusien rakennusten energiatehokkuuden paranemisen avulla. Kummassakin oletetaan trendi, joka vastaa viimeaikaista kehitystä.

Kohtuullinen energiansäästö

Korjausrakentamista tehdään yhden prosentin sijasta kahteen prosenttiin yli 30-vuotiaita taloja. Energiaremontit toteutetaan kuten nykyään.

Täysi energiansäästö

Energiaremonttien määrä nostetaan neljään prosenttiin vuodessa. Energiakorjauksia tehdessä oletetaan, että 35 prosentissa tapauksia tehdään tehokkaampi remontti kuin nykyään. Lisäksi uusista taloista 25 % on energiatehokkaampia kuin tätä menoa -vaihtoehdossa.

WWF-energiansäästö

WWF julkaisi 8.10.2015 oman ehdotuksensa Helsingin energiaratkaisuksi. Se perustuu tehokkaaseen energiansäästöön ja sen seurauksena hiilivoiman vähentämiseen. Säästö syntyy nopeutetuista energiaremonteista (2.5 % vuodessa), tehokkaammista remonteista 10 % tapauksista sekä vanhojen energiatehottomien talojen purkamisesta (1 % vuodessa).^[2]

Voimalaitospolitiikka

Helsingissä on kymmeniä erilaisia mahdollisia energiantuotantotapoja, ja näistä voidaan yhdistellä satoja erilaisia yhdistelmiä tai skenaarioita. Tässä arvioinnissa tarkastelemme kahdeksaa eri vaihtoehtoa. Ne ovat erilaisia ehdotettuja politiikkoja, joiden tarkasteleminen sellaisenaan on päätöksenteon kannalta kiinnostavaa.

Luvussa *Vaikutusarviointi* on taulukossa yksityiskohtaisesti esitetty eri vaihtoehtojen sisältämät voimat. Tässä niitä vain kuvaillaan lyhyesti.

Tätä menoa (BAU)

Olemassaolevia voimaloita kunnostetaan biopolttoaineille ja koetetaan käyttää niitä mahdollisimman pitkään.

Prosessilämpö (Process heat)

Hyödynnetään mahdollisimman paljon eri prosesseista syntyvää hukkalämpöä. Tärkeimmät lämmönlähteet ovat Nesteen Porvoon jalostamo sekä Loviisaan rakennettava ydinvoimala, joka tuottaa yhdistettyä sähköä ja kaukolämpöä. Sähkö tuotetaan valtakunnanverkkoon.

Helenin ehdotus (Helen proposition)

Helenin kesäkuussa 2015 julkistama ehdotus, jossa rakennetaan biopolttoaineilla toimivia lämpökeskuksia ja vähitellen luovutaan sähkön ja lämmön yhteistuotannosta. Vaikka vaih-

toehto on nimetty tällä tavalla, Helen ei itse asiassa ole suosittlemassa tätä vaan vain toteaa, että tämä on yksi mahdollisuus ja ehdotetuista ehkä vähiten ongelmallinen.

Minimi-investoinnit (Zero investment)

Toteutetaan mahdollisimman vähän uusia rakennushankkeita.

Hiilineutraali 2050 (Carbon neutral 2050)

Vuoteen 2050 mennessä luovutaan kaikesta fossiilisesta polttoaineesta ja korvataan se biopolttoaineilla ja prosessilämmöllä.

CHP bio

Tuotetaan sähköä ja lämpöä yhteistuotantona erityisesti Vuosaari C -bio-CHP-voimalassa.

Hajautettu ja meri (Distributed and sea)

Lämpö tuotetaan mahdollisimman pitkälle hajautetusti maalämmöllä, ilmalämpöpumpuilla ja isommissa merestä lämpönsä ottavissa lämpöpumppuvoimaloissa.

Käyttäjät

Nettimallissa käyttäjä voi itse valita ne voimalat, jotka ovat käytössä tässä vaihtoehdossa. Raportin tulokset on ajettu sellaisella yhdistelmällä, joka poikkeaa muista erityisesti siinä, että siihen on lisätty aktiivinen pientalojen lämmittäminen polttopuulla omien takkojen ja uunien avulla. Käytössä olevat voimalat ovat hajautetut biolämpökeskukset, Katri Valan lämpöpumput, Kellosaaren varavoimala, Salmisaari A ja B, pienet öljy- ja kaasulämpökeskukset sekä Vuosaari A, B ja C.

Rakennuskannan kehitys ja muut taustatiedot

Rakennusten määrän kasvu vastaa kutakuinkin yleiskaavassa olevaa arviota väestön ja rakennuskannan kasvuksi, eli 42 % lisäystä vuodesta 2010 vuoteen 2050. Kasvu näyttää kuvassa suuremmalta, koska jo puretut rakennukset ovat mallissa ikään kuin niitä ei olisi ikinä ollutkaan. Tämä saa historiallisen kasvun näyttämään todellista suuremmalta. Aikajakso myös jatkuu paljon pitemmälle kuin 2050 ja kasvun oletetaan jatkuvan tasaisena senkin jälkeen.

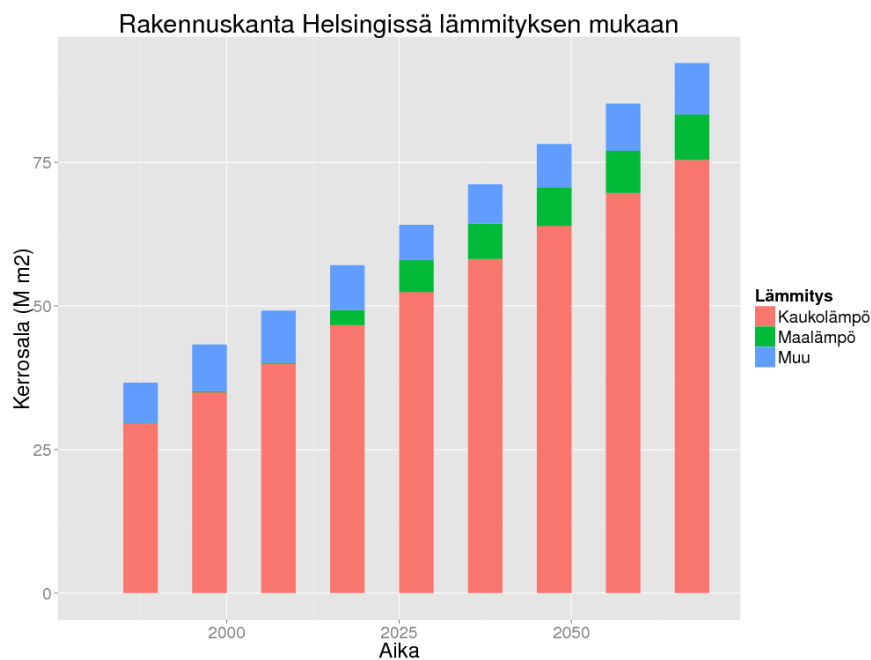
Rakennusten energiankulutus on suurin yksittäinen energiankuluttaja Helsingissä, ja siksi erityisesti sitä on syytä tarkastella. Rakennuskannan kasvu lisää energian tarvetta, mutta tarve ei mallin mukaan kasva tai jopa laskee viidenneksen. Tähän on kaksi pääasiallista syytä. Ensinnäkin uudet rakennukset oletetaan hyvin energiatehokkaiksi, joten uusi rakennuskanta lisää kokoaan vähemmän energiankulutusta. Toisaalta vanhaa kantaa remontoidaan, jolloin sen energiatehokkuus paranee ja nykyisen rakennuskannan energiankulutus pienenee. Kuitenkin täysi energiatehokkuuspolitiikka (Energy saving total) on varsin radikaali, joten mallin mukaista energiankulutusta pienempään kulutukseen on hyvin vaikea päästä. Oikeastaan ainoa merkittävä keino on alkaa purkaa nykyistä rakennuskantaa tehottomasta päästä ja rakentaa modernia tehokasta tilalle. Purkamista oletetaan vain WWF-energiansäästö-skenaariossa.

WWF päätyy omassa arvioissaan siihen, että jopa lähes puolet kaukolämmöntarpeesta voidaan säästää. Meidän mallimme ei ole niin optimistinen. Tärkeimpänä syynä on, että kuumen veden tarpeen oletetaan lisääntyvän suoraan suhteessa väestöön, joka kasvaa runsaasti tarkasteluajana. Toisaalta Olemme hieman varovaisempia energiakorjauksiin kohdistuvissa oletuksissamme. Tämän eriävän näkemyksen ratkaisemiseksi olisi keskusteluun syytä saada mukaan rakennusalan ammattilaisia, jotka voisivat kriittisesti arvioida eri oletuksia.

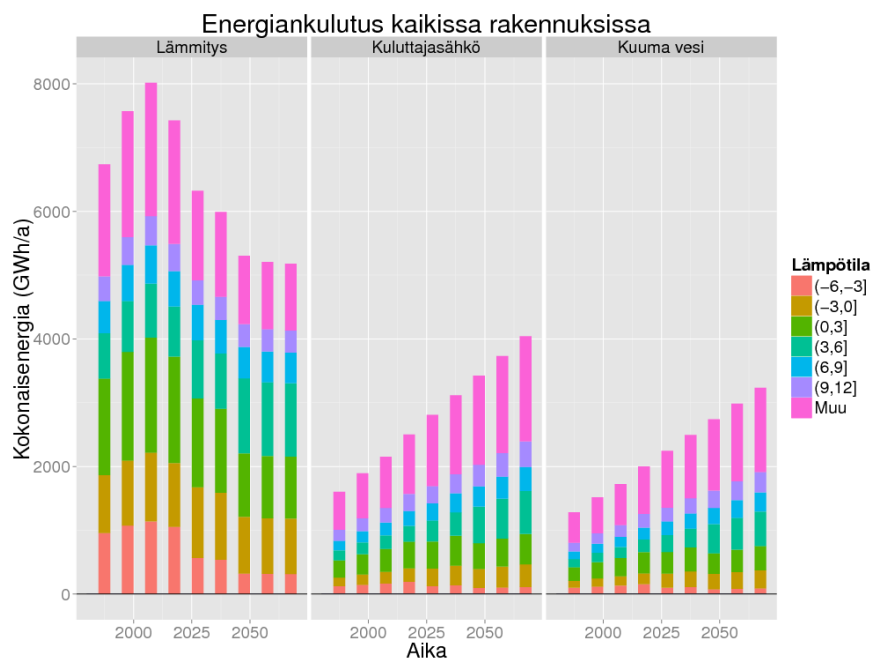
Polttoaineiden hinnat ovat ratkaisevan tärkeä lähtötieto, ja erityisesti niiden välinen hintaero usein ratkaisee sen, mitä voimaloita mallin mukaan kannattaa ajaa ja mitä ei. Energian hinnan ennustaminen viidenkymmenen vuoden päähän on erittäin vaikeaa, jos haluaa olla uskottava. Etsimme arvovaltaisia arvioita Yhdysvalloista ja YK:n Kansainvälisestä energijärjestöstä IEA:sta, mutta epävarmuus on silti suuri. Nämä arviot olettavat maakaasun hinnan nousevan selvästi muita nopeammin. Tämä johtaa siihen, että kaasuvoimalat eli Vuosaari A ja B sekä pienet kaasulämpökeskukset ovat mallin mukaan kustannustehottomia, eikä niitä pitäisi ajaa. Tämä on syytä pitää mielessä, kun tuloksia tulkitaan.

Polttoaineiden osalta on myös syytä huomata, että osa niistä on varsin raskaasti verotettuja eli itse asiaansa polttoaineen hinta onkin varsin paljon politiikkaa eikä pelkkää epävarmuutta. Tietenkin maailmanmark-

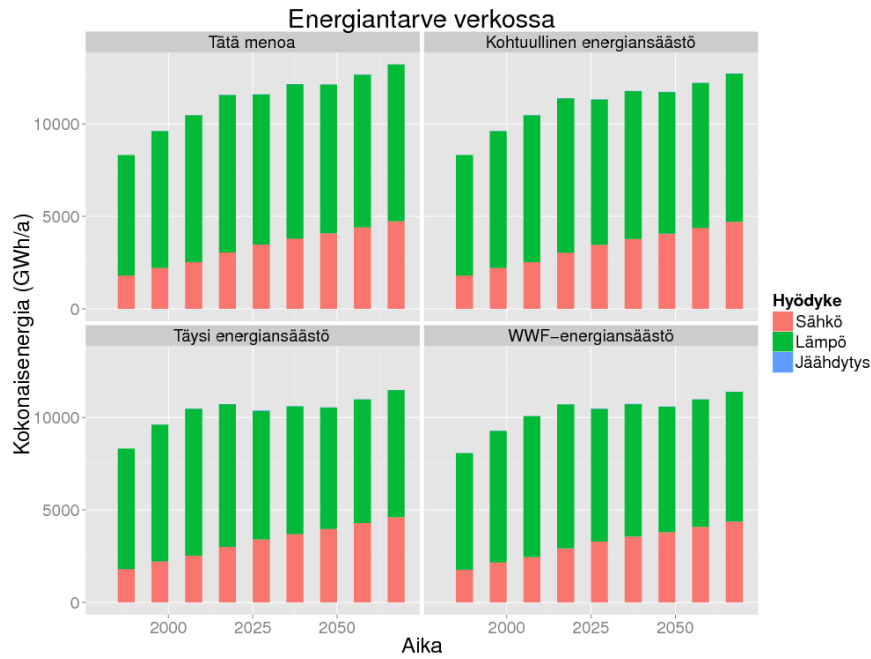
kinahinnat saattavat muuttua niin voimakkaasti, että verotusvaikutukset jäävät siinä toiseksi, mutta sellaisia isoja muutoksia emme mallissa oletta.



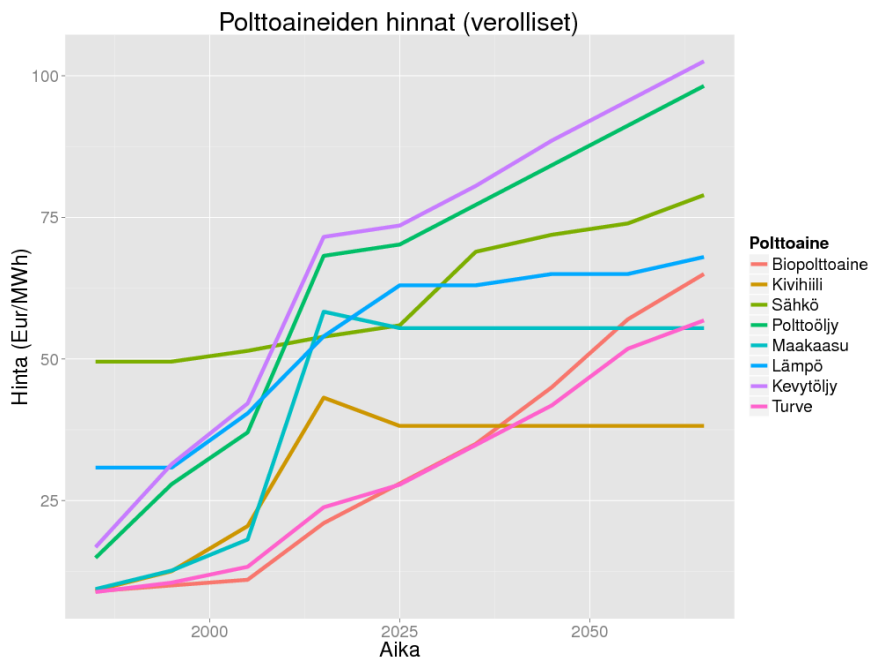
Kuva 1. Rakennuskannan koko Helsingissä 1985-2065 lämmitysmuodon mukaan.



Kuva 2. Helsingin vuotuinen energiantarve sisältäen sekä lämmityksen (myös muun kuin kaukolämmön) ja sähkötarpeen. Tulokset on jaoteltu Energiansäästöpolitiikan neljän vaihtoehdon mukaan.



Kuva 3. Energiankulutus kaukolämpö-, kaukokuylmä- ja sähköverkossa Helsingissä. Ulos myytävä sähkö ei näy tässä.



Kuva 4. Polttoaineiden verolliset hinnat olettaen, että verotus ei tulevaisuudessa muutu.

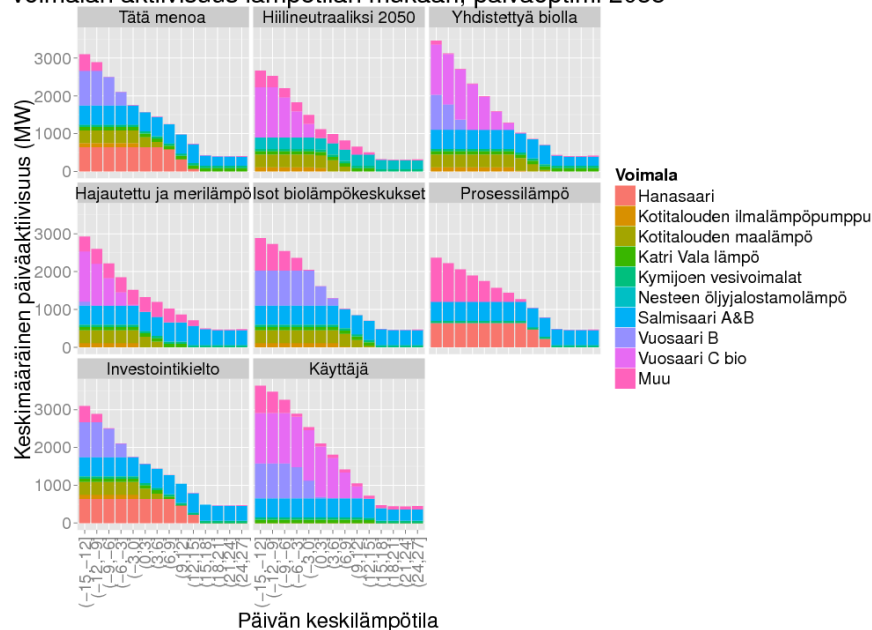
Energiantuotanto

Sofia-mallin perustana on energiatase, joka lasketaan kaukolämmölle. Kaukolämmön tarjonnan on joka päivä vastattava senhetkistä kysyntää, olipa helle tai pakkanen. Malli laskeekin energiantarpeen ja tuotannon eri päiville ulkolämpötilan mukaan ja etsii aina tilanteeseen sopivat voimalat. Joka voimalalla on oma maksimikapasiteettinsa, jota mallissa ei voi ylittää. Niinpä kun kustannustehokkain voimala puskee täydellä teholla, lisäenergia tuotetaan seuraavaksi halvimmalla ja niin edelleen. Nämä päiväkohtaiset tiedot summaataan koko vuoden ajalta yhteen, jotta tilannetta voidaan tarkastella yli vuosikymmenten. On hyvä huomata, että hyvin suuria tehotarpeita on melko harvoin, joten iso osa laitostakannasta seisoo pitkiä aikoja joutokäynnillä. Laitosten investointi- ja ylläpitokustannukset lasketaan mukaan vasta optimoinnin jälkeen, joten ne eivät vaikuta laitosten ajojärjestykseen.

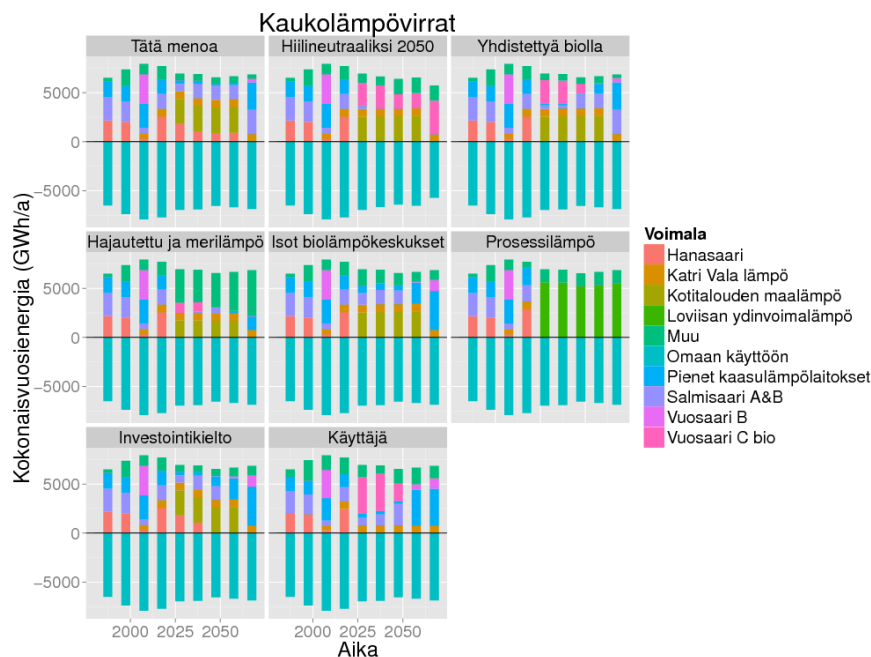
Sähköä tarkastellaan tässä arvioinnissa vain hyödyllisenä sivutuotteena, mutta silläkin on tärkeä rooli. Sofia siis olettaa, että sähköä on ostettavissa ja myytävissä valtakunnanverkosta rajattomasti vakiohinnalla. Meidän oli tarkoitus lisätä malliin osio, joka ottaa huomioon myös sähkön hinnan vaihtelut, mutta se ei ehtinyt valmiiksi. Joka tapauksessa on tärkeää tarkastella erilaisten vaihtoehtojen vaikutusta Helsingin sähköntarpeeseen. Takavuosina ja vielä tällä hetkellä Helsinki tuottaa sähköä enemmän kuin kuluttaa, ja sähkön myynti on itse asiassa kaupungille erinomainen bisnes. Tämä johtuu tehokkaasta CHP-tuotannosta eli sähkön ja lämmön yhteistuotannosta, johon suomalainen kaukolämpöbisnes on viime vuosikymmeninä perustunut.

Kuitenkin useimmat uudet, tarkastellut vaihtoehdot ovat sellaisia, etteivät ne tuota lainkaan sähköä ja saattavat jopa kuluttaa sitä varsin paljon. Niinpä jos nykyiset hiili- ja kaasuvoimalat ajetaan alas, Helsinkiin syntyy suuri sähkövaje, joka on tavalla tai toisella pystyttävä valtakunnanverkosta täyttämään. Käytännössä tämä tarkoittaa Nordpool-aluetta, johon kuuluvat myös Ruotsi, Norja ja Tanska. Kysynnänvaihteluihin pystyvät vastaamaan parhaiten Norja ja Ruotsi, joilla on paljon helposti säädettävää vesivoimaa.

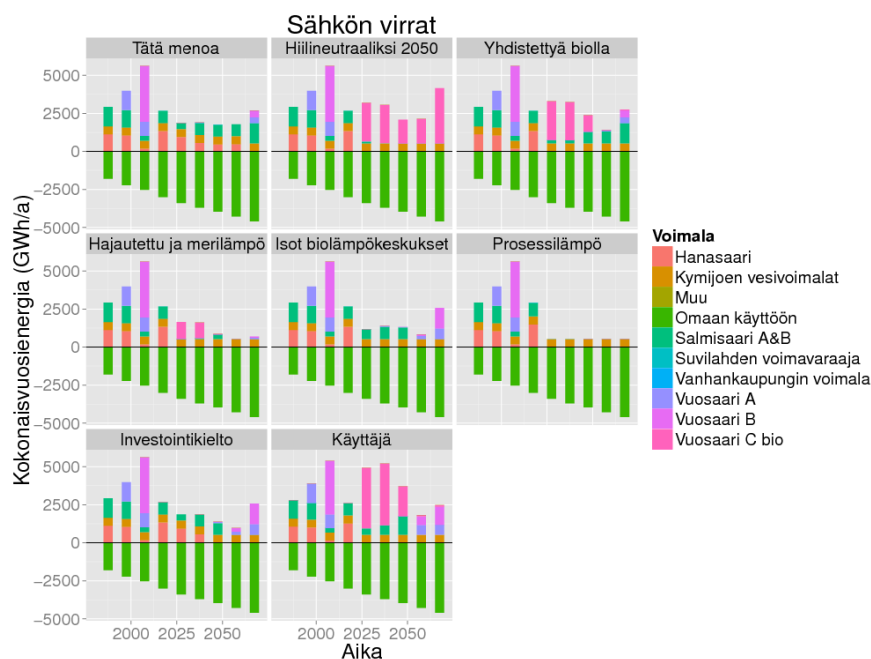
Voimalan aktiivisuus lämpötilan mukaan, päiväoptimi 2035



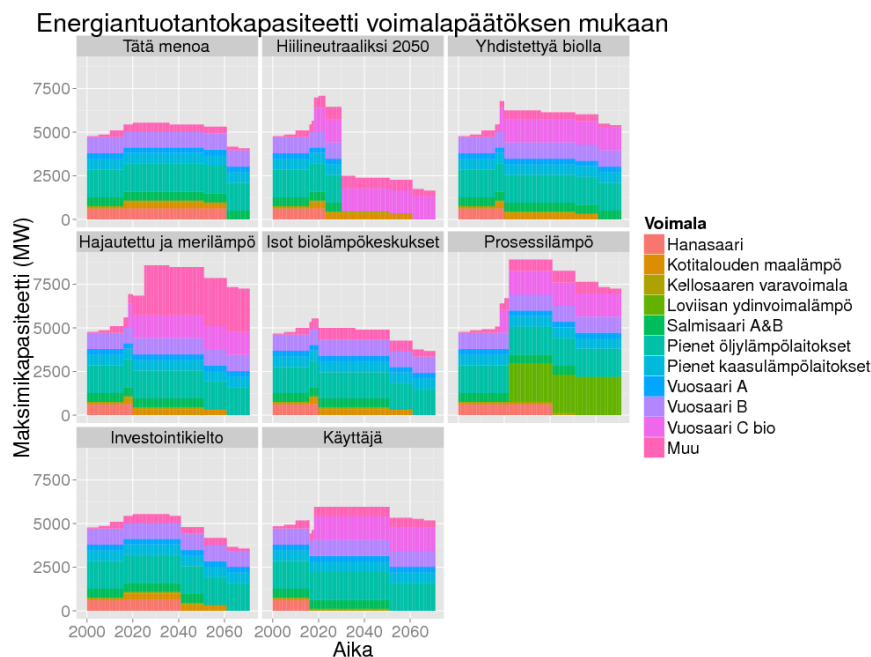
Kuva 5. Helsingin päivittäinen kaukolämpötase vuorokauden keskitenhona ilmoitettuna voimalaitoksittain. Tarve on eritelty päivän keskimääräisen ulkolämpötilan mukaan.



Kuva 6. Helsingin vuotuinen kaukolämpötase voimalaitoksittain. Negatiiviselle puolelle menee kulutus, positiiviselle puolelle vuosituotanto. Tuotannon pitää aina vastata kysyntää kaukolämpöverkon piirissä eli Helsingin alueella.



Kuva 7. Helsingin vuotuinen sähkötase voimalaitoksittain. Helsingin alueella sähkön tuotannon ja kulutuksen eron on mahdollista olla huomattavan suuri, toisin kuin kaukolämmön tapauksessa.



Kuva 8. Energiantuotantokapasiteetin kehitys Helsingissä.

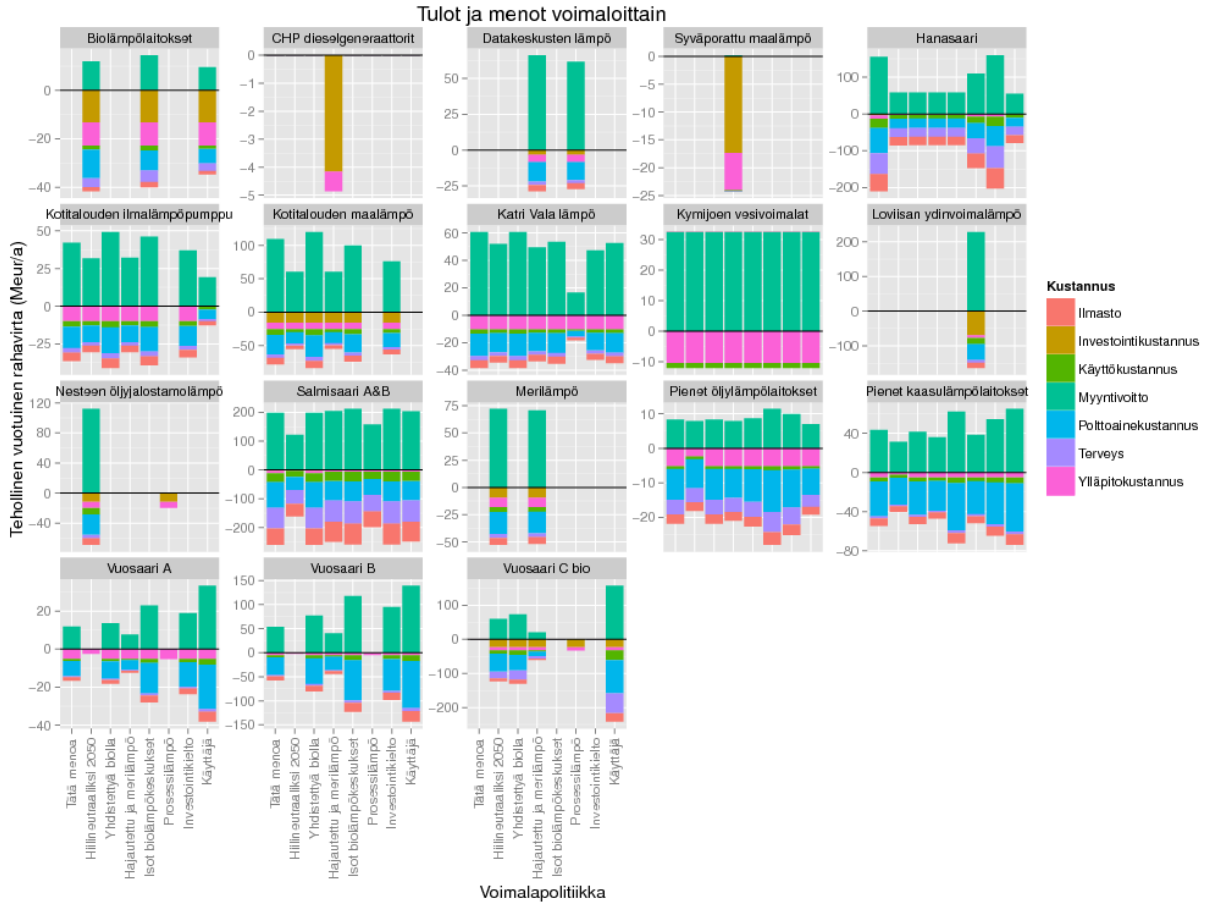
Kustannukset

Sofia säätelee voimaloiden käyttöastetta sen mukaan, minkä voimalan käyttö- ja polttoainekustannukset ovat halvimmat. Kuitenkin on muitakin kustannuksia, joita ei tässä vaiheessa huomioida mutta joita ei saa unohtaa. Voimalasta koituu investointi- ja ylläpitokustannuksia, ja lisäksi syntyy ulkoisia kustannuksia, jotka eivät suoraan näy voimalan ylläpitäjän kukkarossa. Hiilidioksidipäästöt aiheuttavat ilmastohaittaa, ja pienihiukaspäästöt aiheuttavat terveyshaittaa. Myös nämä kustannukset arvioidaan ja lisätään voimalan kokonaiskustannuksiin.

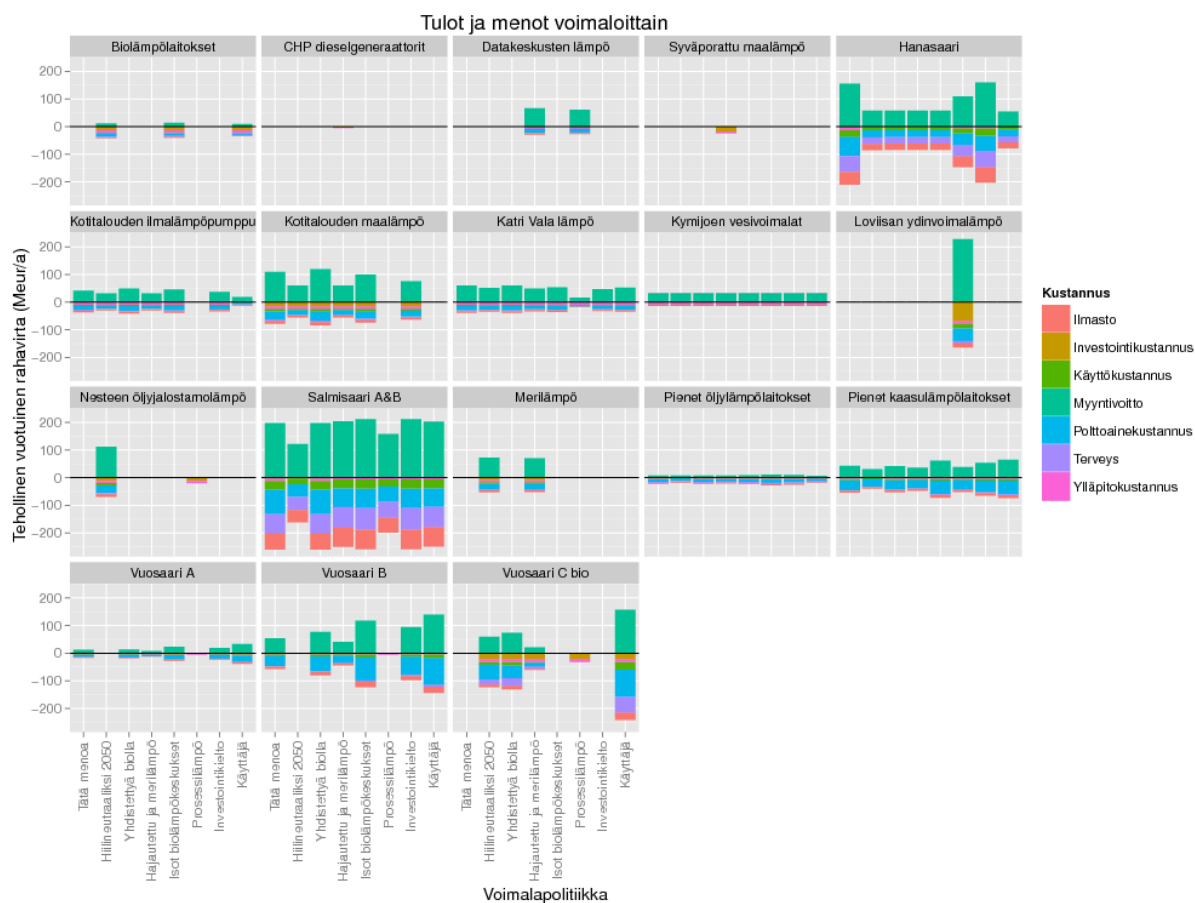
Kokonaiskustannukset lasketaan voimalan koko elinkaaren ajalle ja suhteutetaan niin, että voidaan puhua laskennallisista vuosikustannuksista, vaikka jonkin ratkaisun kustannukset tulevat alkuinvestoinnista ja toisen isoista käyttökuluista. Näitä laskennallisia vuosikustannuksia verrattiin voimalan elinkaarensa aikana tuottamaan energiamäärään, ja näin voitiin verrata eri voimaloiden kustannustehokkuutta.

Kustannustehokkaita ratkaisuja näyttävät olevan mm. datakeskusten hukkalämpö, Katri Valan lämpöpumppulaitos (se on muita kustannustehokkaampi, koska se on jo olemassa), Nesteen prosessilämpö ja talokohtaiset lämpöpumput. Kustannustehokkuus näissä lämpöpumppuratkaisuissa perustuu siihen, että tarvittava sähkö voidaan ostaa keskimääräisellä hinnalla. Kuitenkin sähkön hinta vaihtelee rajusti kysynnän ja tarjonnan mukaan, ja sähkö on keskimääräistä kalliimpaa kun lämmöntarve on suuri. Sähkön hintavaihtelut pitäisi siis ottaa malliin mukaan, mutta siihen meillä ei tässä arvioinnissa ollut mahdollisuutta.

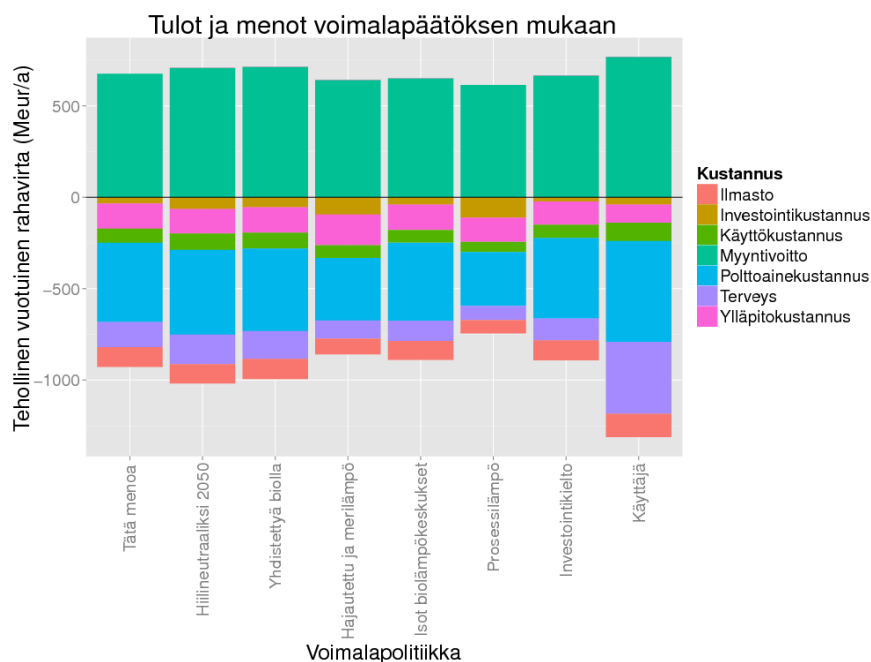
Nykyiset Hanasaaren, Salmisaaren ja Vuosaaren voimalat eivät tässä tarkastelussa ole kannattavia mallissa oletetuilla polttoaineen hinnoilla. Myöskään suunniteltu Vuosaari C -biovoimala ei näytä kannattavalta. Tämä johtuu pitkälti siitä, että maakaasun ja biopolttoaineiden hinnan oletetaan tulevina vuosina nousevan rutkasti siitä, mitä se on nyt ja varsinkin mitä se oli aiemmin. Kannattaa kuitenkin muistaa, että kustannusarviot ovat hyvin epävarmoja, ja ne pikemminkin kertovat, mitkä vaihtoehdot ovat kiinnostavia jatkoselvityksiä ajatellen. Suoraan näitä tuloksia ei pidä ottaa päätösuosituksina.



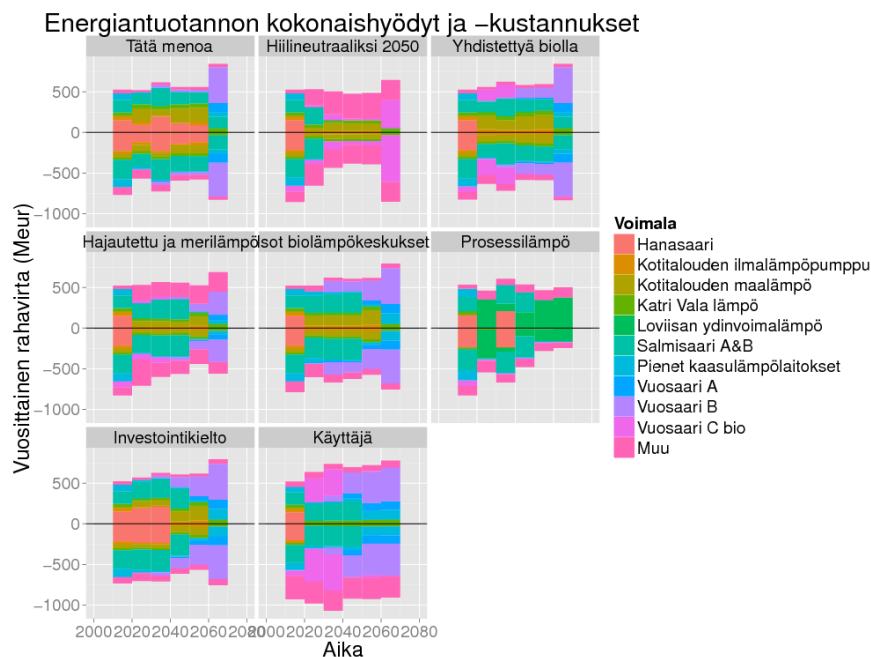
Kuva 9. Helsingin voimalaitosten kustannustehokkuus. Kuvaajassa on jokainen voimalaitos omassa pikupaneelissaan, ja jokainen voimalaitospolitiikka näkyy omalla pylväänään. pysty akselilla on rahavirta tyypeittäin siten, että myyntivoitot menevät positiiviseen ja kustannukset negatiiviseen suuntaan. Voimalan tuotanto on elinkaarensa aikana voitollista, jos alas menevä pylväs on ylös menevää lyhempi. Kuitenkin huoltovarmuuden takia saatetaan tarvita myös voimaloita, jotka yksittäisinä investointeina eivät olisi taloudellisesti kannattavia.



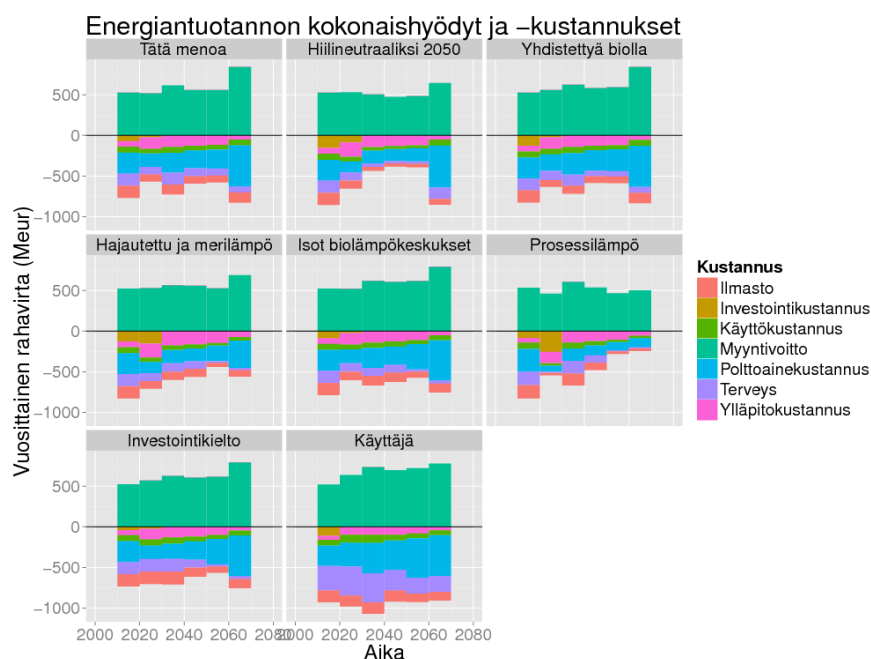
Kuva 10. Helsingin voimalaitosten kustannustehokkuus. Kuvassa on sama sisältö kuin edellisessäkin, mutta tässä pystyakselien asteikko on kaikissa voimaloissa sama, jotta niiden keskinäinen vertailu on helpompaa.



Kuva 11. Laskennalliset vuositulot ja -menot energiantuotannosta Helsingissä kustannuslajeittain.



Kuva 12. Tulot ja menot energiantuotannosta ajan kuluessa voimaloittain.



Kuva 13. Tulot ja menot energiantuotannosta ajan kuluessa kustannuslajeittain. Isoja investointikustannuksia liittyy prosessilämpöön sekä Hajautettu ja merilämpö -vaihtoehtoon, kun taas isoja polttoainekustannuksia liittyy bioenergiaan nojaaviin vaihtoehtoihin.

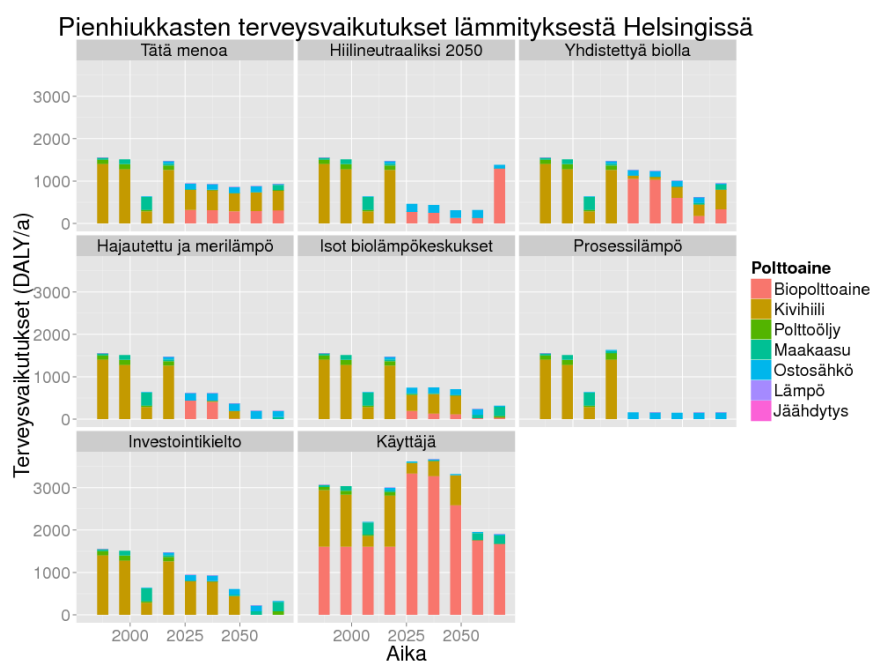
Terveys- ja ilmastovaikutukset

Terveyshaitat ovat kohtalainen menoerä, mutta se ei hallitse kokoatilannetta eikä se eroa kovin paljon eri ratkaisujen välillä. Sähköön nojaavat ratkaisut kuten prosessilämpö näyttävät tässä suhteessa paremmilta, mutta tämä perustuu oletukseen, että ostettu sähkö on tuotettu pienillä pienhiukkaspäästöillä, eikä asia ole Helsingin hallinnassa. Terveyshaittojen osalta on kuitenkin yksi selkeä poikkeus, nimittäin omakotitalojen

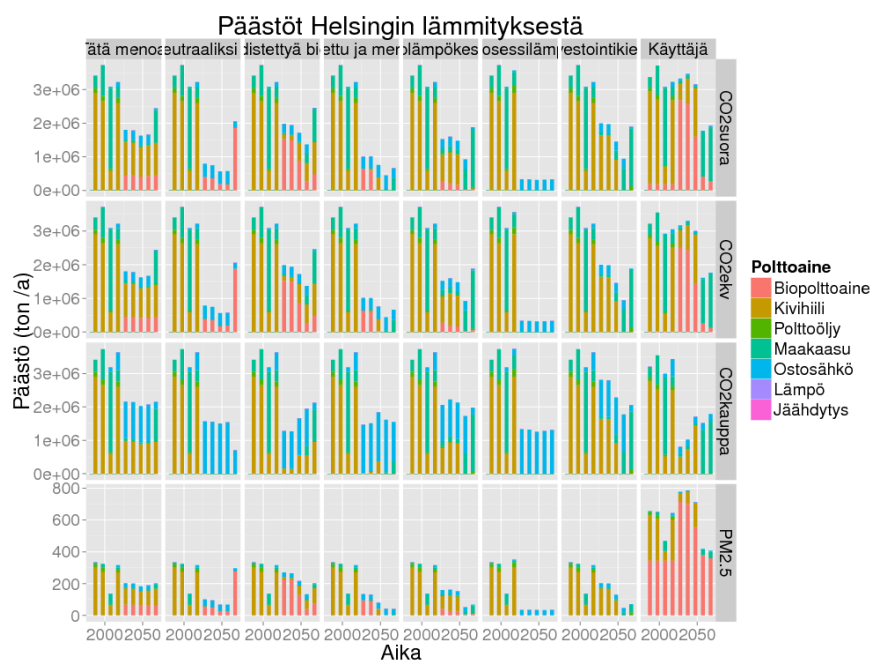
laajamittainen lämmitys omilla takoilla ja leivinuuneilla. Sen terveyshaitat voivat olla suuria, kustannuksina mitattuna useita satoja miljoonia euroja vuodessa. Silti se parhaimmillaankin voi kattaa vain alle prosentin Helsingin lämmitystarpeesta.

Ilmastovaikutuksille lasketaan nykyistä päästökauppaa kovempi hinta eli 45 €/ton hiilidioksidipäästöä (jonkin verran sisällytetään epävarmuutta siihen, miten hiilidioksidipäästöt oikein pitäisi laskea). Nykyäänhän päästökaupassa hiilidioksiditonin hinta pyörii reilusti alle kymmenessä dollarissa, joskin useimmat lienevät yhtä mieltä siitä, että ongelma on päästökauppasäännöissä eikä nykyhinta kuvaa todellisia ulkoisia kustannuksia.

Ilmastovaikutukset ovat Sofian mukaan hieman pienemmät kuin terveysvaikutukset mutta silti merkittävät. Kuitenkin eri voimalaitosvaihtoehtojen väliset erot näyttävät yllättävän pieniltä, vaikka hiilellä on erittäin huono ja biopolttoaineilla hyvä ilmastomaine. Tämä johtuu siitä, että Sofian mukaan biopolttoaineet eivät elinkaarensa aikana ole hiilineutraaleja ja toisaalta jos polttamista korvataan prosessilämmöllä, joudutaan lisäämään sähköntuontia. Jos tuo ostosähkö on tuotettu fossiilisesti tai muuten hiilipäästöjä tuottaen jossain muualla, on ainoastaan siirretty ongelmaa paikasta toiseen. Helppoja ilmastoratkaisuja ei siis ole olemassa.



Kuva 14. Helsingin energiantuotannon terveysvaikutukset haittapainotettuina elinvuosina (disability-adjusted life year, DALY) eliterveiden elinvuosien menetyksenä. Biopolttoaine sisältää puun pienpolton, joka aktiivisena lämmitystoimenpiteenä on mukana ainoastaan Käyttäjä-vaihtoehdossa.



Kuva 15. Helsingin energiantuotannon hiilidioksidi- ja pienhiukkaspäästöt. Hiilidioksidipäästön laskemiselle ei ole yhtä kiistatonta tapaa, ja siksi tässä esitetään kolme erilaista. CO₂suora on välitön, piipun päästä tuleva päästö. CO₂ekv on elinkaaren aikainen päästö, jossa on pyritty huomioimaan myös polttoaineen tuotanto. CO₂kauppa on se päästö, joka lasketaan mukaan EU:n päästökauppajärjestelmään ja biopolttoaineille tämä on nolla.

Päätelmät

Helsingin energiapäätös on todella monimutkainen ja haasteellinen päätös. Siihen liittyy isoja ja pitkäaikaisia epävarmuuksia, joista toisia on onnistuttu jotenkin saamaan hallintaan tässä arvioinnissa mutta toisia ei. Erityisen ongelmallinen on kysymys sähköntuotannon tulevaisuudesta Suomessa (ja Nordpool-alueella yleisemminkin).

Energiansäästöä lukuunottamatta kaikki varsinaiset kaukolämpöä tuottavat voimalaitosvaihtoehdot voidaan jakaa kahteen päätyyppiin: a) sähköä tuottavat prosessit, jotka ovat yleensä hiilidioksidipäästöjä tuottavia polttoprosesseja ja b) sähköä tuottamattomat tai sitä kuluttavat prosessit, jotka joko tuottavat vain lämpöä polttamalla tai kuluttavat sähköä laadunsa haaleita lämmönlähteitä. Jaottelu on tärkeä sikäli, että aiemmin Suomen erittäin tehokas kaukolämpöjärjestelmä on perustunut siihen, että sähköä syntyy ikään kuin sivutuotteena erityisesti kylmillä ilmoilla, jolloin sähkönkin kysyntä on suurimmillaan ja hinta kalleimmillaan. Sähköä kuluttavat prosessit puolestaan lisäävät sähkön kysyntää juuri silloin, ja sähkö pitää tuottaa muilla keinoilla. Niitä on toistaiseksi niukasti tarjolla.

Sinänsä hukkalämpöä käyttävät ratkaisut kuten Katri Valan laitokset, merikaukolämpö tai Nesteen tai Loviisan prosessien hyödyntäminen näyttävät varsin kustannustehokkailta. Arvioinnin puutteena kuitenkin on, että sähkön hinta vaihtelee runsaasti kysynnästä riippuen, ja tätä ei ole mallissa huomioitu. Luultavasti todellinen hinta on arvioitua suurempi.

Helsingin kaukolämpöratkaisu kytkeytyy siis tiiviisti Pohjoismaisiin sähköratkaisuihin ja eri vaihtoehtojen keskinäinen paremmuus riippuu niistä. Sähkömarkkinat kuitenkin ovat murroksessa ja on epäselvää, mihin suuntaan ne kehittyvät. Sähkön hinnan ennustaminen on erityisen

vaikeaa, koska tuulivoimalla on syöttötariffi. Sen takia tuulivoimaa on pakko ostaa vakiohinnalla kysynnästä riippumatta, ja tämä voi joskus painaa sähkön hinnan kannattamattoman alas muille tuottajille silloin, kun on tuulista. Kuitenkin tyyninä ja kylminä talvipäivinä pitää olla riittävästi sähkön- ja lämmöntuotantokapasiteettia tarpeen tyydyttämiseen. Sähköä kuluttavat kaukolämpöprosessit voivat tällöin tulla kalliiksi. Mutta myös yhdistetty sähkön ja lämmön tuotanto voi tulla kalliiksi, jos polttopäästöjen verotusta tai päästökauppaa kiristetään tai laajennetaan elinkaari päästöihin, jolloin bioenergia ei enää näytäkään ilmastomyönteiseltä.

Erityisen kiinnostavaa on, että nämä epävarmuudet ovat luonteeltaan lähinnä poliittisia ja riippuvat erilaisista vero- ja muista päätöksistä. Nyt olisi siis erityisen tärkeää, että Suomella ja mielellään koko Nordpool-alueella olisi jokin johdonmukainen energia- ja sähköpolitiikka, joka tekisi paikallisten toimijoiden toiminnan ennustettavaksi ja yhteistä tavoitetta tukevaksi. Tämä kuitenkin vaatii kansallisia toimia.

Ensimmäinen askel tähän suuntaan voisi olla avoin vaikutusarviointi, jossa tarkasteltaisiin koko Nordpool-alueen sähkön- ja lämmöntuotantoa kokonaisuutena mutta yksityiskohtaisesti, jotta erilaisten ratkaisujen keskinäiset tukevut ja estävät vaikutukset tulisivat ymmärrettäviksi ja selkeän suunnittelun kohteeksi.

Linkejä malliajoihin

- [25.10.2015 perusmalliajo, jossa on kaikki tuloskuvat](http://en.opasnet.org/en-opwiki/index.php?title=Special:RTools&id=nZL5q8sr2yvOi2xN)
http://en.opasnet.org/en-opwiki/index.php?title=Special:RTools&id=nZL5q8sr2yvOi2xN
- [22.10.2015 arkistoitu malliajo, josta mallin ja tulokset voi ladata omalle koneelle](http://en.opasnet.org/en-opwiki/index.php?title=Special:RTools&id=NN5k0XgmmQBsjWb3)
http://en.opasnet.org/en-opwiki/index.php?title=Special:RTools&id=NN5k0XgmmQBsjWb3

Vaikutusarviointi

Kysymys

Helsingin täytyy pystyä tuottamaan asukkailleen luotettavaa, ilmastoystävällistä ja kustannustehokasta kaukolämpöä ja sähköä joka päivä vuoden ympäri useita vuosikymmeniä. Kun tätä kysynnän ja tarjonnan energiatasetta tarkastellaan, mitä energiantuotannon vaihtoehtoja Helsingin kaupungilla on ja kuinka hyviä eri vaihtoehdot ovat seuraavien kriteerien suhteen?

- ilmastonmuutoksen hillitseminen,
- tuotannon vakaus,
- kustannukset kaupungille ja kansalaisille,
- ympäristövaikutukset,
- terveysvaikutukset,
- biopolttoaineiden määrä,
- energiaomavaraisuus,
- kotimaisuus.

Oletettu käyttö ja käyttäjät

Helsingin kaupunginvaltuusto tekee syksyllä 2015 päätöksen koskien kaupungin energiapolitiikkaa. Tämä arviointi tuo tuohon keskusteluun määrällisiä, punnittuja näkökulmia ja toimenpidesuosituksia. Tarkasteltavina vaihtoehtoina ovat vanhojen voimalaitoksien remontointi, uuden voimalaitoksen rakentaminen Vuosaareen sekä muut, sekalaiset vaihtoehdot, jotka ehkä poistavat uuden voimalaitoksen tarpeen.

Osallistujat

[THL](#) vastasi arvioinnista ja työn koordinoinnista. Kyseessä ei ollut tilaustutkimus, vaan se on osa THL:n tehtävää tuottaa omalta alaltaan tietoa yhteiskunnallisen päätöksenteon tueksi.

Jotta saisimme kerättyä kaiken tarpeellisen tiedon, toivomme saavamme ainakin nämä tahot osallistumaan ja tuottamaan tietoa ja kuvaamaan arvoja vaikutusarviointiin:

- THL,
- Helsingin kaupunki,
- Helen,
- Uusi energiapolitiikka -ryhmä
- Energiaremontti 2015
- Energia-alan asiantuntijat
- Kansalaiset

Rajaus

- Aika: vuodet 1985-2065.
- Energiantarve arvioitu Helsingin kaupungille.
- Päähuomio paikallisessa kaukolämmön ja sähkön tarpeessa.
- Terveysvaikutukset arvioidaan pienhiukkasten leviämisalueella (muutaman sadan km säteellä).
- Erikseen arvioitu vaikutus kansalaiselle, kaupungille, Helenille ja Suomelle.
- Kuljetuksen aiheuttamia vaikutuksia ja kuluja ei oteta huomioon.

Vaihtoehdot

Virallinen päätösvalmistelu tarkastelee pääasiassa kahta vaihtoehtoa: A) Vuosaari C + Hanasaaren purku tai B) Hanasaari 40 bio + Salmisaari 40 bio. Kuitenkin päätöstilanne voidaan ajatella koostuvaksi useammasta osapäätöksestä, joita voi yhdistellä myös eri tavoilla. Lisäksi valmistelun aikana on esitetty erilaisia ratkaisuja, jotka ovat jääneet selvityksissä vähälle huomiolle. Tässä arvioinnissa pyrittiin katsomaan useita erilaisia vaihtoehtoja ja niiden yhdistelmiä kattavasti ja sulkemaan pois vaihtoehtoja vain ääneen lausuttujen, vaikutusarviointiin perustuvien syiden takia. Vaihtoehdot on tarkemmin kuvattu kohdassa [Toimenpidevaihtoehdot](#).

1. **Tätä menoa:** Tehdään vain välttämättömät korjaukset nykyvoimaloihin ja jatketaan hiilen ja kaasu-polttamista voimaloiden elinkaaren loppuun.
2. **Vuosaari C:** Vuosaaren rakennetaan uusi voimalaitos, joka voi käyttää 100% puuperäistä polttoainetta.
3. **Hanasaaren purku:** Hanasaaren voimalaitos puretaan ja alueelle rakennetaan asuintaloja.
4. **Hanasaari 40 bio:** Hanasaaren voimalaitos uudistetaan niin, että se voi käyttää 40% puuperäistä polttoainetta.
5. **Salmisaari 40 bio:** Salmisaaren voimalaitos uudistetaan niin, että se voi käyttää 40% puuperäistä polttoainetta.
6. **Biolämpölaitokset:** Salmisaaren öljylämpölaitos suljetaan ja Salmisaaren ja Vuosaaren rakennetaan uudet biolämpölaitokset.
7. **Loviisan ydinkaukolämpö:** Kaukolämpöä uudesta Loviisa 3 -ydinvoimalasta.
8. **Nesteen hukkalämpö:** Nesteen Porvoon-jalostamon hukkalämpöä tuodaan Helsinkiin, jossa siitä tehdään kaukolämpöä.
9. **Hajautettu energiantuotanto:** Lisätään hajautettua energiantuotantoa niin paljon kuin mahdollista. Käytännössä tämä tarkoittaa aurinkopaneelien, maalämmön, puun pienpolton ja ehkä myös tuulimyllyjen rakentamista.
10. **Suuret lämpöpumput:** Rakennetaan suuria lämpöpumppuja, jotka ottavat lämpönsä merivedestä tai erittäin syvistä porareijistä ja tuottavat kaukolämpöä.
11. **Energiansäästö:** Energiansäästökampanja valtavalla skaalalla esimerkiksi rakennusten energiatehokkuutta parantaen. Tavoitteena energiankulutuksen voimakas vähentäminen.

Monet näistä vaihtoehtoista kuitenkin ovat mahdollisia yhtä aikaa, ja siksi niitä voi yhdistellä sadoilla eri tavoilla. Kaikkien vaihtoehtojen tutkiminen on käytännössä mahdotonta, ja siksi päädyimme tarkastelemaan asiaa toisin. Alle olevassa taulukossa on listattu kaikki mallissa olevat voimalaitokset. Niiden käyttöönotto-yhdistelmiä malliin rakennettiin seitsemän, ja niistä jokainen tarkastelee jotain tiettyä poliittisesti johdonmukaista ratkaisua. Ratkaisut ovat lyhyesti kuvattuna:

- **Tätä menoa:** Tehdään mahdollisimman vähän muutoksia nykytilanteeseen paitsi jo päätettyjen asioiden osalta.
- **Prosessilämpö:** otetaan ensisijaisesti käyttöön erilaisten prosessien hukkalämpöä ja korvataan sillä fossiilisia polttoaineita.
- **Hajautettu lämmöntuotanto:** Rakennetaan lisää keskikokoisia bioenergialla toimivia lämpökeskuksia. Yksi Helenin kesäkuussa 2015 mainitsema vaihtoehto.
- **Ei investointeja:** Ei investoida uusiin laitoksiin vaan koetetaan pärjätä sillä mikä jo on.
- **Hiilineutraaliksi 2050:** Luovutaan kaikesta fossiilisesta polttoaineesta vuoteen 2050 mennessä.
- **Yhdistetty sähkö ja lämpö biovoimalla:** Rakennetaan lisää CHP-laitoksia ja korjataan vanhoja toimimaan bioenergialla. Maksimoidaan biopolttoaineiden osuus.
- **Hajautetut ja merilämpö:** rakennetaan mahdollisimman paljon rakennuskohtaista energiantuotantoa ja täydennetään tätä merestä lämpönsä ottavilla lämpöpumpuilla.

Taulukko 1. Mallissa tarkastellut poliittiset vaihtoehdot ja niiden sisältämät voimalaitosyhdistelmät.

	Tätä menoa	Prosessi-lämpö	Hajautettu lämmöntuotanto	Ei investointeja	Hiilineutraaliksi 2050	Yhdistetty sähkö ja lämpö biovoimalla	Hajautetut ja merilämpö
Bioenergia-lämpövoimalat	Ei	Ei	Kyllä	Ei	Kyllä	Ei	Ei
Datakeskusten lämpö	Ei	Kyllä	Ei	Ei	Ei	Ei	Kyllä
Hanasaari	kunnostetaan biopolttoaineille	Kyllä	Ei	Kyllä	Ei	Ei	Ei
Katri Valan jäähdytys	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Katri Valan lämmitys	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Kellosaaren vara-lauhdevoimala	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Kymijoen vesivoima	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Loviisan ydinvoima	Ei	Kyllä	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei
Merilämpöpumppu	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Kyllä
Merilämpöpumppu jäähdytykseen	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Kyllä
Nesteen öljynjalostamon hukkalämpö	Ei	Kyllä	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei
Pienet kaasulämpökeskukset	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Ei	Kyllä	Kyllä
Pienet öljylämpö-	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Ei	Kyllä	Kyllä

keskukset							
Puun pienpoltto	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei
Salmisaari A&B	kunnostetaan biopoltto-aineille	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Ei	kunnostetaan biopolttoaineille	Kyllä
Suvilahen sähkövarasto	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Syväkairauslämpö	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Kyllä
Talokohtainen aurinkosähkö	Kyllä	Ei	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Talokohtaiset ilmalämpöpumput	Kyllä	Ei	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Talokohtainen ilmastointi	Kyllä	Ei	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Talokohtainen maalämpö	Kyllä	Ei	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Tuulimyllyt	Ei	Ei	Ei	Ei	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Vanhankaupungin museo	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Vuosaari A	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Ei	Kyllä	Kyllä
Vuosaari B	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Ei	Kyllä	Kyllä
Vuosaari C bioenergia	Ei	Ei	Ei	Ei	Kyllä	Kyllä	Ei
Yhdistetyt CHP-dieselgeneraattorit	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Kyllä

Aikataulu

Arviointi alkoi toukokuussa 2015. Ensimmäiset, alustavat tulokset saatiin ennen juhannusta ja lopulliset tulokset ovat valmiina 15.10.2015 mennessä. Lähes lopullisia tuloksia esiteltiin ja niiden merkityksestä keskusteltiin THL:ssä Helsingissä 11.9.2015.

Vastaus

Arvioinnin varsinaiset tulokset löytyvät kohdasta **Skenaariot ja tulokset**.

Aiempiä, vuositasotarkastelun tuloksia on esitetty suppeammassa arvioinnissa [Climate change policies in Helsinki](#). Yksityiskohtaisempia tietoja arviointimallista löytyy sivulla [Helsinki energy decision 2015](#). Arviointisivuilta on linkkejä useisiin rakennuskantaa, energiankulutusta, päästöjä ja terveysvaikutuksia kuvaileviin sivuihin ja tietoaisteistoihin. Voit tutustua niihin näistä arvioinneista riippumatta ja rakentaa vaikka oman arviointisi niiden varaan.

Perustelut

Matemaattinen malli

Arvioinnin tueksi luotiin matemaattinen malli. Mallia kehitettiin avoimesti Opatnetissä, ja sen on tarkoitus olla työkalu, jolla voi helposti tarkastella erilaisten energiapäätösten pitkäaikaisia vaikutuksia. Malli on kuvattuna yksinkertaistettuna viereisessä kaaviossa.

Rakennuskanta tarkoittaa tietokantaa kaikista Helsingin rakennuksista. Käytännössä kyseessä on valtava taulukko, josta ilmenee mm. rakennuksen käyttötarkoitus, pinta-ala, energiatehokkuus ja lämmitystapa. Tätä dataa käytetään laskelmien lähtökohtana. Nykyinen rakennuskantatieto saatiin Helsingin kaupungilta. Se sisältää tiedot rakennusten rakennusalaista, lämmitysmuodosta ja rakentamisvuodesta. Uusien rakennusten rakentamisvauhti arvioidaan Helsingin kaupungin yleiskaavan perusteella, jonka mukaan rakennusala kasvaa 42 % vuosien 2010 ja 2050 välillä. Suurin osa rakennuksista oletetaan kaukolämpöön, ja öljylämmityksen oletetaan korvautuvan talokohtaisella maalämmöllä tarkastelujakson aikana. WWF-energiansäästöskenaariossa vanhoja rakennuksia puretaan 1 prosentti vuodessa, muissa skenaarioissa rakennuksia ei pureta.

Rakennuksiin arvioidaan tehtävän energiakorjausremontteja 1 - 4 prosenttia vuodessa skenaariosta riippuen. Useimmat remontit oletetaan pienemmiksi esimerkiksi ikkunoiden vaihtamiseksi, jolloin energiansäästö on 15 prosenttia. Jonkin verran oletetaan myös laajempia remontteja, joissa tehdään useita toimia kuten lisätään ulkoseinien eristävyttä ja jotka parantavat energiatehokkuutta jopa 65 prosenttia. Erilaisten remonttien suosio vaihtelee skenaariosta toiseen.

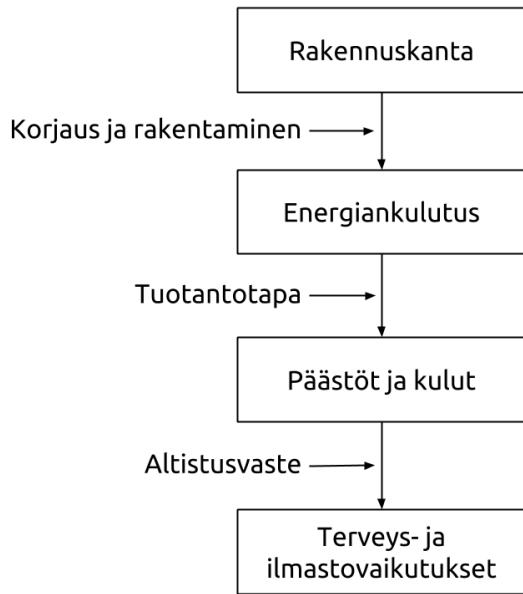
Energiankulutus lasketaan päivitetyn rakennuskannan, lämmitysmuodon, energiatehokkuuden ja rakennukseen tehtyjen energiakorjausten perusteella. Energiatehokkuus arvioidaan rakennusvuoden perusteella, ja tulevaisuuden talojen oletetaan lisääntyvässä määrin olevan passiivienergiataloja. Näiden tietojen avulla arvioidaan rakennuskannan energiankulutus yhden asteen lämpötilaeroa kohti sisällä ja ulkona. Kun tähän yhdistetään päivittäiset keskilämpötilat Helsingissä, saadaan lämmitysenergiankulutus päivittäin koko kaupungissa. Lopuksi lisätään kulutussähkön ja kuuman veden lämmitysenergia, jolloin saadaan kaupungin kokonaisenergiankulutus päivittäin. Liikenne ja teollisuus eivät kuitenkaan ole laskuissa mukana.

Päivittäinen energiankulutus syötetään energiatasemalliin, joka etsii mahdollisimman kustannustehokkaan tavan tuottaa tarvittava määrä kaukolämpöä skenaariossa käytössä olevien voimaloiden avulla. Jos sähköä tuotetaan liikaa tai liian vähän, erotus ostetaan valtakunnanverkosta olettaen, että sitä on saatavilla keskihinnalla rajattomasti.

Päästöt ja kulut lasketaan energiankulutuksesta optimoitujen tuotantotapojen määrien perusteella. Eri prosessien ominaispäästöt perustuvat pääasiassa suomalaiseen tutkimuskirjallisuuteen ja mm. SYKEN tutkimuksiin. Polttoaineiden hinnat perustuvat arvioituihin maailmanmarkkinahintoihin, joihin on lisätty Suomessa käytössä olevat verot. Tulevaisuuden polttoainehinnat noudattelevat karkeasti Kansainvälisen energiajärjestön IEA:n arvioita.

Ilmastovaikutukset lasketaan hiilidioksidin päästöistä kolmella eri painokertoimella: suorien piippupäästöjen mukaan, elinkaarivaikutusten mukaan ja päästökaupassa käytettyjen kertoimien mukaan. Nämä laskentatavat tuottavat hieman erilaisia tuloksia. Suurin ero on siinä, että päästökauppa antaa biopoltoaineille pienemmät päästöt kuin muut menetelmät. Hiilidioksidipäästön hinta arvioitiin noin 45 euroksi tonnilla, millä tasolla monien mielestä päästökaupankin pitäisi olla toimiakseen kunnolla.

Terveysvaikutukset arvioitiin laskemalla ensin altistuminen pienhiukkasille saantiosuuden avulla. Saantiosuus kertoo, kuinka suuri osuus päästöistä päätyy lopulta jonkun hengittämäksi pienhiukkasten leviämisaueella eli useiden satojen kilometrien säteellä päästölähteestä. Terveysvaikutukset eivät siis kaikki ilmaannu Helsingissä tai päästön välittömässä läheisyydessä. Vaikutuksista tarkastellaan lähinnä ennenaikaista kuolleisuutta, joka on pienhiukkasten tärkein terveysvaikutus. Altistus-vastesuhteet saadaan kansainvälisestä tieteellisestä kirjallisuudesta. Ennenaikaiset kuolemat muutetaan haittapainotetuiksi elinvuosiksi, jotka mittaavat montako tervettä elinvuotta väestössä menetetään yhteensä. Tämä muutetaan kustannukseksi olettamalla, että menetetty elinvuosi on noin 100000 euron suuruinen kustannus.



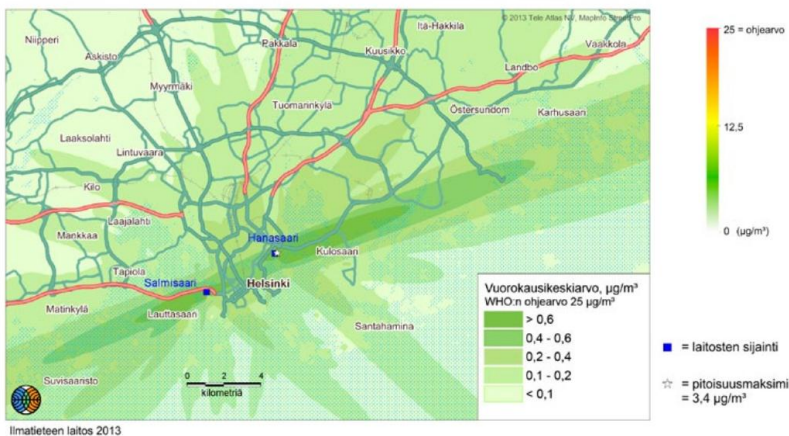
Kuva 16. Energiapäätös-arvioinnin taustalla oleva matemaattinen malli yksinkertaistettuna.

Toimenpidevaihtoehdot

Tässä osiossa esitellään tarkemmin jokainen arvioinnissa mukana olleesta yhdestätoista vaihtoehdosta. Osa näistä vaihtoehdoista on päätöksen virallisia vaihtoehtoja, joista on jo tehty vaikutusarviointia ja hinta-arvioita. Toiset ovat tämän arvioinnin aikana esiin nousseita ratkaisuvaihtoehtoja, joista aikaisempaa tietoa ei juuri löytynyt. Tämän takia tiedon määrä ja tarkkuus näissä esittelyissä vaihtelee suuresti. Vaikka tällä sivulla jostain vaihtoehdosta ei kerrottaisikaan paljoa, kaikista vaihtoehdoista on kerätty arviot arvioinnin kannalta olennaisista tekijöistä kyseisille sivuille.

Tätä menoa

VE0+ Hanasaari ja Salmisaari



Kuva 17. Esimerkki leviämismallinnuksen tuloksista kartalla. Pienhiukkasten (PM10) pitoisuus on esitetty suhteessa WHO:N vuorokausiohjearvoon.

Tätä menoa -vaihtoehdossa Hanasaaren B- ja Salmisaaren B-voimalaitosten pääasiallisena polttoaineena pysyy kivihiili, mutta biopolttoaineet otetaan käyttöön 5–10 %:n osuudella ja teollisuuspäästädirektiivin edellyttämät muutokset voimalaitoksissa toteutetaan. Teollisuuspäästädirektiivi määrittää Euroopan Unionissa sijaitseville voimalaitoksille uudet päästöraja-arvot 1.1.2016 alkaen. Näiden raja-arvojen saavuttaminen edellyttää sekä Hanasaaren että Salmisaaren voimalaitoksissa muutoksia.^[3]

Hanasaareissa toteutettavat muutokset ovat:^[3]

- rikinpoiston tehostaminen
- katalyyttinen typpipäästön vähentäminen (SCR) tai ei-katalyyttinen typpipäästön vähentäminen (SNCR), tai polttotekniset ratkaisut
- sähkösuodattimien toiminnan tehostaminen tai uusiminen

Salmisaaren toimenpiteet pitävät sisällään:^[3]

- rikinpoiston tehostamisen
- katalyyttinen typpipäästön vähentäminen tai polttotekniset ratkaisut
- sähkösuodattimien toiminnan tehostaminen tai uusiminen

Päästöt

Tässä on tarkasteltu lähinnä Hanasaaren ja Salmisaaren voimalaitosten päästöjä, koska ne ovat voimalaitokset, joihin muutoksia tehdään, vaikka ne ovatkin pieniä. Totta kai myös muut Helsingin voimalaitokset tuottavat tässä vaihtoehdossa samanlaisia päästöjä, kuin aina ennenkin.

Taulukko 2. Hanasaaren ja Salmisaaren päästöjä^[3]

Päästölähde	CO ₂ kt/a	CO ₂ -ekv kt/a (sis. fossiilisten polttoaineiden khk-päästöt)	CO ₂ -ekv kt/a (sis. fossiilisten ja biopolttoaineiden päästöt)
Voimalapäästöt	2 524	2 533	2 687
Polttoainekuljetusten päästöt	8		
Total		2 540	2 700

Taulukko 3. Hanasaaren ja Salmisaaren sivutuotteet^[3]

	Lentotuhka (t/a)	Pohjatuuhka (t/a)	Rikinpoiston lipputuotteet (t/a)	Yhteensä (t/a)
Hanasaari, biopolttoaineita 10 %	59 000	12 000	8 000	79 000
Salmisaari, biopolttoaineita 10 %	45 000	11 000	9 000	65 000
Yhteensä	104 000	23 000	17 000	144 000

Taulukko 4. Salmisaaren muut päästöt^[3]

	NO ₂ (t/a)	SO ₂ (t/a)	Hiukkaset (t/a)
Salmisaari A ja B	946	996	92

Kustannukset

Ei kiinteitä kustannuksia, koska mitään ei rakenneta tai uusita.

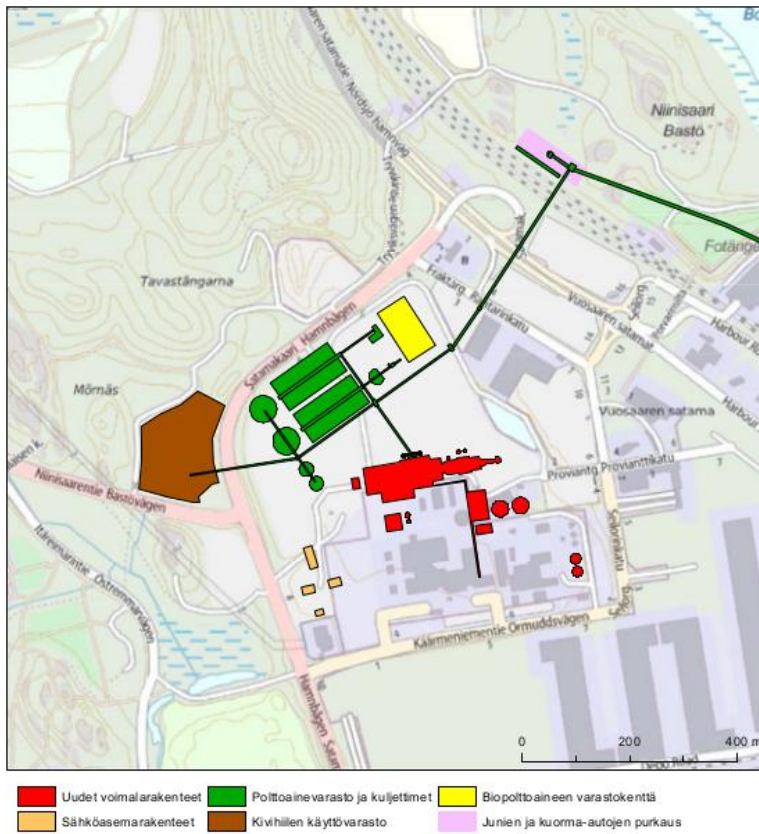
Polttoaineissa hiilen kustannukset vähenevät hieman, kun sen tilalla poltetaan pieniä määriä pellettejä ja sitä tarvitsee vähemmän. Pellettejä tuodaan Hanasaaren laitokselle korkeintaan 11 rekkalastillista päivässä ja Salmisaaren laitokselle korkeintaan 14.^[3]

Tuotanto

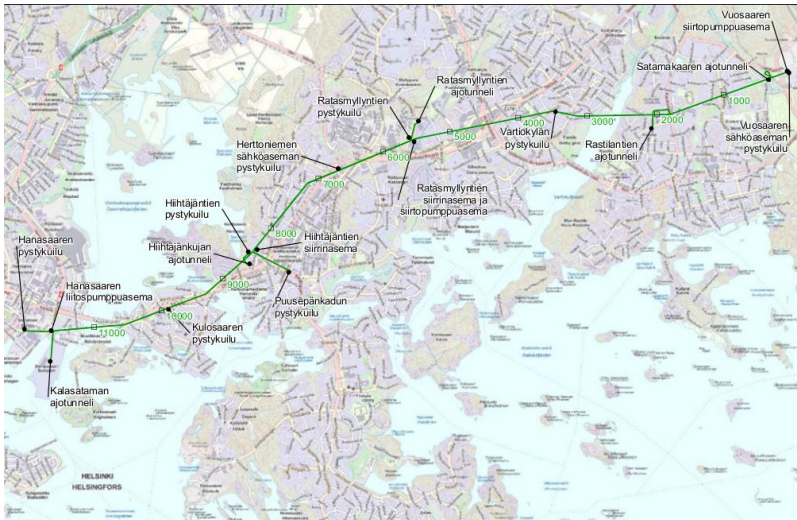
Taulukko 5. Energiantuotanto Hanasaaren ja Salmisaaren voimaloissa.^[4]

	Sähkö MW	Lämpö MW	Polttoaine
Hanasaari	220	420	kivihiihi, pelletit
Salmisaari	160	300	kivihiihi, pelletit
Yhteensä	380	720	

Vuosaari C



Kuva 18. Kartta Vuosaaren voimala-alueesta. Hiilivarasto (ruskea) saatetaan sijoittaa myös junaradan koillispuolelle.^[3]



Kuva 19. Vuosaaresta Hanasaaren suunniteltu energiatunneli. ^[3]

Vuosaaren rakennetaan uusi voimala. Uusi voimala (Vuosaari C) voi polttaa biopolttoaineita, lähinnä puuhaketta, ja hiiltä millä tahansa suhteella. Vuosaaresta rakennetaan energiatunneli Hanasaaren sähkön ja kaukolämmön siirtämiseksi Helsingin keskustaan.

Vaikutukset:

- Päästöt
- Kustannukset
- Liikenne
- Melu (Natura 2000 -alue vieressä)
- Ilmanlaatu
- Metsät lähialueilla ja kauempana Suomessa
- Hiilineutraalius-tavoitteen saavuttaminen
- Tuotantoteho
- Rakennusalan työpaikat
- Päätöksentekijä: Helsingin kaupunki, Helen

Kuvaus

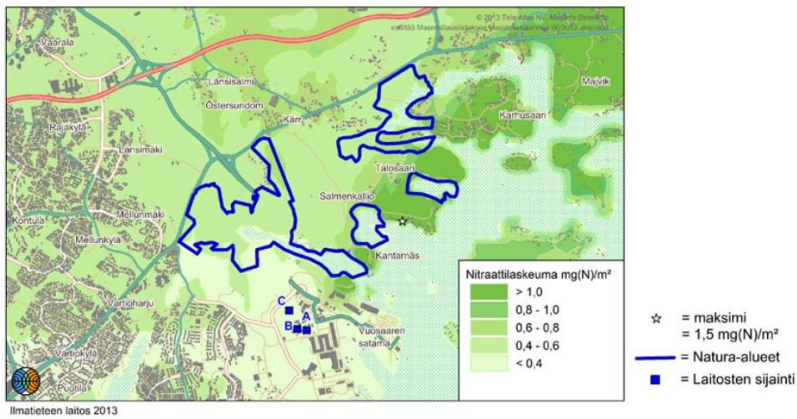
Vuosaaren rakennetaan uusi C-voimalaitos sekä kaukolämmön ja sähkön siirtoon tarkoitettu energiatunneli Vuosaaresta Hanasaaren. Vuosaaren C-voimalaitoksen suunnitelmien perustana on oletus, että laitoksessa käytetään pääosin biopolttoaineita (enintään 80%) sekä kivihiiltä (20%). ^[3] Käytettäviksi biopolttoaineiksi on suunniteltu metsähaketta ja pellettejä sekä pieniä määriä peltobiomassoja. Myös biohiilen käyttö on mahdollista. Biopolttoaineesta noin 60 prosenttia olisi tarkoitus löytää kotimaasta. ^[5]

Laitos on suunniteltu varustettavaksi biopolttoaineiden polttoon kehitetyllä kiertoleijupetikattilalla. Kaukolämmön tuotantovarmuuden takaamiseksi laitos suunnitellaan niin, että polttoaineena voidaan käyttää myös pelkkää kivihiiltä, mutta tarvittaessa voimalaitos voidaan suunnitella myös 100 % biopolttoaineiden käyttöön. Jo tehdyssä YVA:ssa käytettiin vertailuvaihtoehtoina 100 % biopolttoaineita sekä ääritilanteena 100 % kivihiiltä. ^[3]

Samalla Vuosaaren ja Hanasaaren välille rakennetaan 12 kilometriä pitkä kallioon louhittava energiatunneli kaukolämmön ja mahdollisesti sähkön siirtämiseksi koko kaupungin tarpeisiin. Voimalaitoksen viereen rakennetaan polttoaineiden varastot, juna- ja rekkapurkupaikka, kuljetin ja mahdollinen tieyhteys radan yli. ^[3]

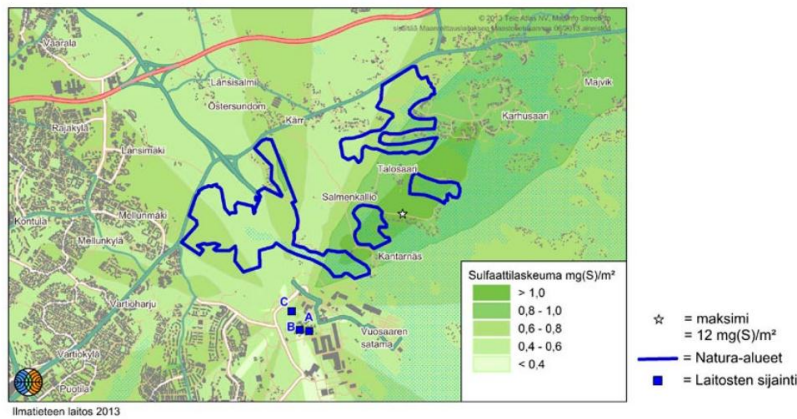
Päästöt

VE1 Vuosaari A, B ja C nitraattityppilaskeuma



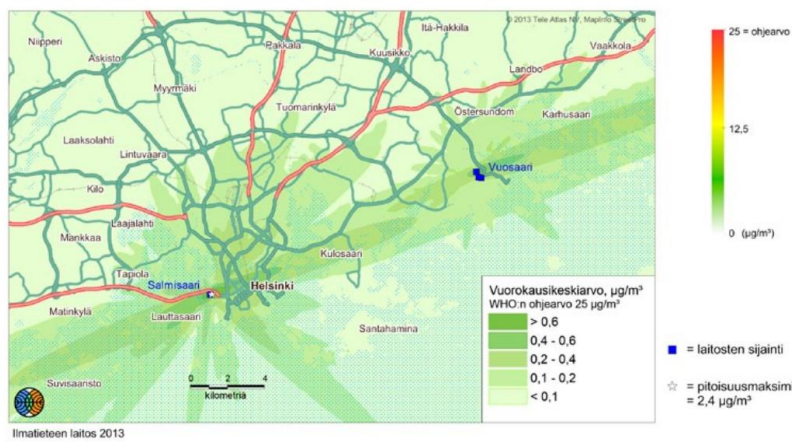
Kuva 20. Vuosittainen nitraattilaskeuma Vuosaaren A, B ja C voimaloista yhteensä. [3]

VE1 Vuosaari A, B ja C rikkilaskeuma



Kuva 21. Vuosittainen rikkilaskeuma Vuosaaren A, B ja C voimaloista yhteensä. [3]

VE1 Vuosaari C ja Salmisaari



Kuva 22. Esimerkki leviämismallinnuksen tuloksista kartalla. Pienhiukkasten (PM10) korkein WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus Vuosaaren vaihtoehdossa. [3]

Uuden voimalaitoksen päästöt tulisivat pääasiassa kahdesta lähteestä: biopolttoaineiden ja kivihiilen poltosta sekä polttoaineiden kuljetuksesta Vuosaareen.

Polttoaine tuodaan voimalaitokselle laivalla, proomulla, junalla ja kuorma-autoilla. Koska Vuosaaren C-voimalaitoksessa tarvittavat polttoainemäärät ovat suuria, on voimalaitoksen polttoainehuolto suunniteltu toteutettavaksi pääosin merikuljetuksin. Juna ja kuorma-autot ovat täydentäviä kuljetustapoja. Laivakuljetuksia tullaan käyttämään biopolttoaineille, hiilelle ja öljylle.^[3] Juna- ja kuorma-autokuljetuksia käytetään pääasiassa biopolttoaineiden, junaan myös kivihiilen kuljetuksiin. Kuljetuksia voidaan suorittaa seitsemänä päivänä viikossa 24 tuntia päivässä.

Voimalan poltosta syntyvät savukaasut johdetaan savukaasun puhdistukseen, jossa mukana seuranneet hiukkaset poistetaan, minkä jälkeen savukaasut johdetaan savukaasupuhaltimien kautta savupiippuun. Polttoaineen tuhka poistetaan pohjatuhkana tulipesästä ja lentotuhkana savukaasun puhdistuksesta. Savukaasut puhdistetaan tehokkaasti, joten haitat lähiympäristön kasvillisuudelle pysyvät vähäisinä. Piipun korkea päästökorkeus edesauttaa päästöjen tehokasta laimenemista ulkoilmaan, joten vaikutukset yksittäisen alueen pitoisuuksiin minimoituvat. Asiasta tehdyn YVA-raportin leviämismallilaskelmien tulosten perusteella voidaan arvioida, että uusi C-voimalaitosyksikkö aiheuttaa vain pienen lisän koko pääkaupunkiseudun ilman epäpuhtauspitoisuuksiin. Laskeumalla ei arvioida olevan haitallisia vaikutuksia Natura-alueiden kasvillisuuteen Östersundomin lintuvesien ja Mustavuoren lehdon Natura-alueella tai etäämpänä koillisen suunnassa sijaitsevalla Sipoonkorven Natura-alueella.^[3]

Leviämismallilaskelmien tulosten perusteella voidaan arvioida, että Helsingin Energian voimalaitosten normaalitoiminnan typenoksidi-, rikkidioksidi- tai pienhiukkaspäästöt eivät aiheuta terveydellistä riskiä lähialueen asukkaille, sillä terveyden suojelemiseksi annetut ilmanlaadun ohje- ja raja-arvot alittuvat kaikissa tarkasteluvaihtoehdoissa. Leviämislaskelmien tuloksia arvioitaessa on otettava huomioon, että YVA-raportissa ei ole tarkastelu laitosten mahdollisia päästöjä häiriötilanteessa eikä voimalaitosten ja alueen muiden päästölähteiden yhteisvaikutusta alueen ilmanlaatuun.^[3]

Vuosaaren uuden voimalaitoksen polttosuhteista on esitetty kolme vaihtoehtoa:

- **V1:** 80% biopolttoaineita, 20% hiiltä
- **V2:** 100% biopolttoaineita
- **V3:** 100% hiiltä

Taulukko 6. Vuosaari C:n kasvihuonekaasupäästöt eri polttosuhteille.^[3]

	CO ₂ , kt/a	CO ₂ -ekv, kt/a (sis. fossiilisten polttoaineiden khk-päästöt)	CO ₂ -ekv, kt/a (sis. fossiilisten ja biopolttoaineiden khk-päästöt)
V1 voimalapäästöt	1 468	1 402	3 061
V2 voimalapäästöt	1 073	1 114	3 090
V3 voimalapäästöt	2 722	2 882	2 947
V1 polttoainekuljetuksen päästöt	15		
V2 polttoainekuljetuksen päästöt	23		
V3 polttoainekuljetuksen päästöt	6		
V1 yhteensä		1 480	3 080
V2 yhteensä		1 140	3 110
V3 yhteensä		2 890	2 950

Taulukko 7. Laskennalliset sivutuotteiden määrät Vuosaari C:stä eri polttosuhteilla^[3]

Alavaihtoehto	Lentotuhka (t)	Pohjatuhka (t)	Rikinpoiston lopputuote (t)	Yhteensä (t)
V1	59 000	10 000	-	69 000
V2	52 000	9 800	-	62 000
V3	82 000	52 000	-	134 000

Taulukko 8. Vuosaaren voimaloiden muut päästöt^[3]

Voimalaitos	NO ₂ (t/a)	SO ₂ (t/a)	Hiukkaset (t/a)
Vuosaari C	853	853	57
Vuosaari A and B	550	-	-
Yhteensä	2 349	1 849	149

Kustannukset

Rakennuskustannukset

Uusi voimala olisi luultavasti tuplasti kalliimpi investointi kuin vanhojen voimaloiden muutostyöt.^[5] Vuonna 2011 tehdyn arvion mukaan itse voimala maksaa arviolta noin 650 miljoonaa euroa, energiatunneli 180 miljoonaa. Arvio kokonaiskustannuksista oli 1,2 miljardia euroa.^[6]

Käyttökustannukset

Vuotuinen polttoaineen kulutus tulee olemaan noin 4 TWh riippuen vuodesta sekä laitoksen ajotavasta.^[3]

Mikäli Vuosaaren C-voimalaitos käyttäisi 100 %:sesti biopolttoaineita (suhde 90 % metsähaketta, 10 % pellettiä), se tarkoittaa polttoainemääränä vuodessa 1,8 miljoonaa tonnia haketta ja 103 000 tonnia pellettiä.

Mikäli biopolttoaineen osuus olisi 80 % (suhde 90 % metsähaketta, 10 % pellettiä), tarkoittaisi se polttoainemääränä vuodessa 1,46 miljoonaa tonnia haketta, 82 000 tonnia pellettejä ja 140 000 tonnia kivihiltä.

Mikäli Vuosaaren C-voimalaitos käyttäisi pelkästään kivihiltä, sitä tarvittaisiin vuodessa 660 000 tonnia.^[3]

Taulukko 9. Polttoaineen kulutus Vuosaari C:ssä C^[3]

		Kivihilli	Metsähake	Puupelletti
Polttoaineen kulutus	t/h	0–108	0–334	0–178
Polttoaineen kulutus	m ³ /h	0–135	0–1 113	0–255

Näiden polttoaineiden kustannukset on laskettu tarkemmin mallissa.

Tuotanto

Uuden voimalaitoksen kaukolämpöteho olisi noin 350 MW ja sähköteho noin 200 MW.^[7]

Vaikutukset Natura 2000 -alueelle

Vuosaaren laitosalueen vieressä on Porvarinlahden Natura 2000 -alue. Vallitseva tuulensuunta alueella on lounaasta. Sataman melumuuri ja ennen kaikkea Niinisaaren metsäinen vyöhyke rajoittavat päästöjen leviämistä koilliseen ja Natura-alueelle. Kasvillisuus sitoo pölyä erityisesti kesäaikaan.^[3]

Hanasaaren purku

Hanasaaren voimalaitos puretaan ja sen tilalle rakennetaan asuinrakennuksia.

Vaikutukset:

- Päästöt
- Kustannukset
- Maankäyttö lähellä Helsingin keskustaa
- Asuntojen hinnat Helsingissä
- Keskustaympäristön miellyttävyys
- Tuotantoteho
- Rakennusalan työpaikat
- Päätöksentekijä: Helsingin kaupunki, Helen

Päästöt

Hanasaaren voimalasta ei sen sulkemisen jälkeen tule päästöjä.

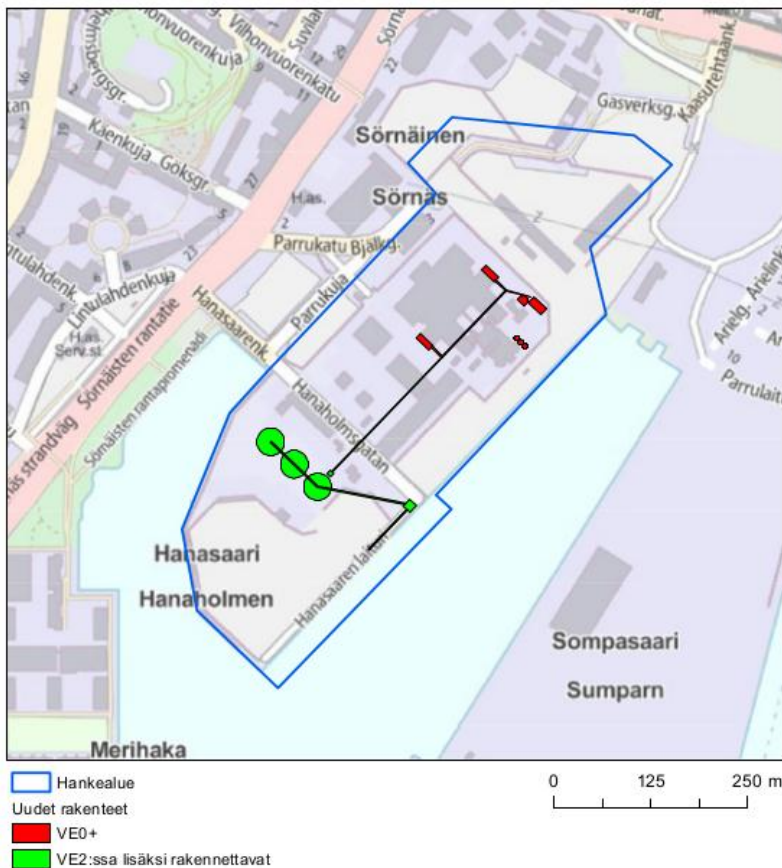
Kustannukset

Purun kustannukset, asuinrakennusten rakennuskustannukset.

Hyöty

Kun Hanasaaren laitos puretaan, hyvä paikka keskustassa vapautuu asuinrakennusten käyttöön. Purkamisen vaikuttaa myös merkittävästi Helsingin keskustan maisemaan, kun laitoksen varastohiilikasoja ei enää ole.

Hanasaari 40 bio



Kuva 23. Hanasaaren alue vaihtoehdossa Hanasaari 40 bio. ^[3]

Hanasaaren voimala remontoidaan polttamaan 40% biopolttoaineita hiilen seassa.

Vaikutukset:

- Päästöt
- Kustannukset
- Metsät ympäri Suomea
- Tuotantoteho
- Biopolttoaineita myyvien kaupunkien talous
- Rakennusalan työpaikat
- Päätöksentekijä: Helsingin kaupunki, Helen

Päästöt

Hanasaaren voimalaitokselle pelletti tuodaan pääasiassa laivoilla. Hanasaareen tulisi arvion mukaan vuorokaudessa noin 18 autokuljetusta pellettiä ja vuodessa yhteensä noin 100 alusta, joka sisältää sekä pellettiä kivihiilikuljetukset. ^[3]

Taulukko 10. Kasviuonekaasupäästöt Hanasaaresta ja Salmisaaresta yhteensä, jos molemmat polttavat 40% biopolttoaineita ^[3]

	CO ₂ , kt/a	CO ₂ -ekv, kt/a (sis. fossiilisten polttoaineiden khk-päästöt)	CO ₂ -ekv, kt/a (sis. fossiilisten ja biopolttoaineiden khk-päästöt)
Voimalan päästöt	1 594	1 606	2 837
Polttoainekuljetuksen päästöt	11		
Yhteensä		1 620	2 850

Taulukko 11. Savukaasupäästöt Hanasaaresta ^[3]

NO ₂ (t/a)	SO ₂ (t/a)	Hiukkaset (t/a)
1 224	1 224	122

Taulukko 12. Sivutuotemäärät Hanasaaresta ^[3]

Lentotuhka (t/a)	Pohjatuhka (t/a)	Rikinpoiston lopputuote (t/a)	Yhteensä (t/a)
40 000	9 000	6 000	54 000

Kustannukset**Rakennuskustannukset**

Vuonna 2011 tehdyn arvion mukaan pelkkä voimalaitos maksaa noin 100 miljoonaa. Kokonaisvaikutus Helsingin Energian investointikustannuksiin on 500 miljoonaa. ^[6]

Käyttökustannukset

Hanasaassa käytetään noin 390 000 tonnia kivihiiltä vuodessa ja pellettiä noin 380 000 tonnia. Tuki- ja varapolttoaineena käytetään öljyä arviolta 11 500 tonnia vuodessa.^[3]

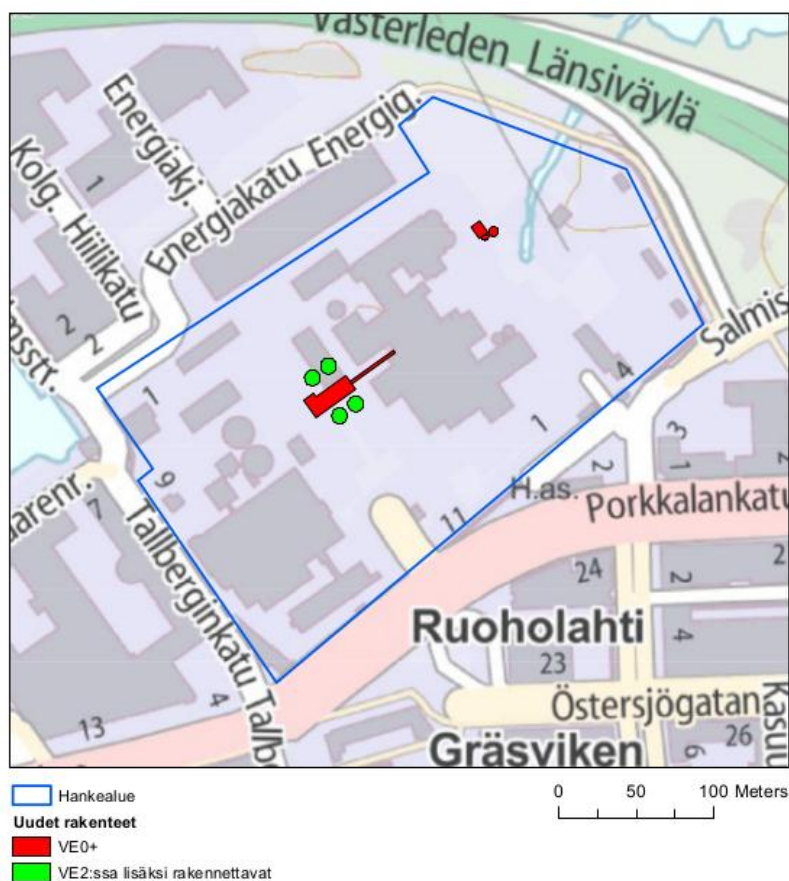
Tuotanto

Tuotanto Hanasaassa ei muutu, vaikka polttoaine muuttuisikin.

Taulukko 13. Energiantuotanto Hanasaassa. ^[8]

Sähkö MW	Lämpö MW	Polttoaine
220	420	hiili, pelletit

Salmisaari 40 bio



Kuva 24. Salmisaaren alue vaihtoehdossa Salmisaari 40 bio ^[3]

Salmisaaren voimala remontoidaan polttamaan 40% biopolttoaineita hiilen seassa.

Vaikutukset:

- Päästöt
- Kustannukset
- Metsät ympäri Suomea

- Tuotantoteho
- Biopolttoaineita myyvien kaupunkien talous
- Rakennusalan työpaikat
- Päätöksentekijä: Helsingin kaupunki, Helen

Päästöt

Kasvihuonekaasupäästöt Salmisaaresta sen polttaessa 40% biopolttoaineita näkyvät Hanasaaren kanssa yhdessä Hanasaari 40 -vaihtoehdon esittelyn päästötaulukossa.

Taulukko 14. Savukaasupäästöt Salmisaaresta, kun se polttaa 40% biopolttoaineita. ^[3]

NO2 (t/a)	SO2 (t/a)	Hiukkaset (t/a)
946	996	92

Taulukko 15. Salmisaaren voimalaitoksilla vuodessa syntyvät sivutuotemäärät 40% biopolttoaineosuudella ^[3]

Lentotuhka (t/a)	Pohjatuhka (t/a)	Rikinpoiston lopputuote (t/a)	Yhteensä (t/a)
30 000	8 000	6 000	44 000

Salmisaareissa käytetään kivihiiltä noin 290 000 tonnia vuodessa ja pellettiä noin 280 000 tonnia. Tuki- ja varapolttoaineena öljyä käytetään arviolta 11 500 tonnia vuodessa. Salmisaaren voimalaitokselle pelletit tulevat autokuljetuksilla. YVA-raportissa on arvioitu, että Salmisaareen tulisi noin 53 autokuljetusta pellettiä vuorokaudessa. Helsingin Energia selvittää myös kuljetusvaihtoehtoa, jossa Salmisaareissa käytettäviä pellettejä tuotaisiin myös Hanasaaren sataman kautta. Jos kaikki Salmisaareissa käytettävät pelletit kuljetettaisiin Hanasaaren kautta, sen satamaan kulkisi vuosittain noin 90 pelletti- ja kivihiilialusta tuomaan polttoainetta Salmisaareen. ^[3]

Tuotanto

Tuotanto Salmisaaren laitoksella pysyy samana, vaikka polttoaine muuttuisikin.

Taulukko 16. Tuotanto Salmisaaren voimalaitoksella. ^[4]

Sähkö MW	Lämpö MW	Polttoaine
160	300	hiili, pelletit

Biolämpölaitokset

Salmisaaren öljylämpölaitos suljetaan ja Salmisaareen ja Vuosaareen rakennetaan uudet biolämpölaitokset.

Vaikutukset:

- Päästöt
- Kustannukset
- Metsät ympäri Suomea
- Tuotantoteho
- Biopolttoaineita myyvien kaupunkien talous

- Rakennusalan työpaikat
- Päätöksentekijä: Helsingin kaupunki, Helen

Kuvaus

Salmisaaren öljylämpökeskus korvataan uudella pellettilämpölaitoksella, joka voidaan ottaa käyttöön jo vuonna 2017. Laitoksen teho on noin 100 MW. Samalla rakennetaan Vuosaaren voimalaitosalueelle ja mahdollisesti myös muulle laitospaikalle uusi biolämpölaitos. Biolämpölaitosten polttoaineina käytetään pellettiä ja/tai haketta. Myös biohiilen käyttö on mahdollista. Vaihtoehdossa säilytetään mahdollisuus rakentaa Vuosaaren alueelle tulevaisuudessa yhteistuotantovoimalaitos. Kun biolämpölaitokset on otettu käyttöön ja riittävä lämmöntuotantokapasiteetti on pystytty varmistamaan 2020-luvun alkupuolella, Hanasaaren yhteistuotantovoimalaitoksen toiminnasta on mahdollista luopua. Tällöin valtaosa voimalaitosalueesta vapautuu muuhun käyttöön. Myös siltayhteys Sompasaaren ja Kruununhaan välillä on mahdollista toteuttaa. Ympäristövaikutusten arvioinnin perusteella vaihtoehto on mahdollista toteuttaa. Helenin mukaan tämä vaihtoehto jättää tilaa erilaisille energiatehokkuusratkaisuille sekä uudet lämmöntuotantoratkaisuille, joita toteutetaan vaiheittain niiden toteuttamisedellytysten täytyessä. Näitä ratkaisuja voivat olla toteuttamassa sekä Helen että muut toimijat.

Vaihtoehdon toteutuksen edellyttämät investoinnit ovat noin 360 miljoonaa euroa. Helenin selvitysten mukaan tämä vaihtoehto on kokonaiskustannuksiltaan edullisempi, kuin Hanasaaren ja Salmisaaren remontoiminen polttamaan 40% biopolttoainetta tai Hanasaaren purkaminen ja Vuosaaren voimalaitoksen rakentaminen. ^[9]

Lisätietoa [Helenin blogissa](#) ja [HS:n uutisessa](#).

Loviisan ydinkaukolämpö

Loviisaan rakennetaan uusi ydinvoimala, josta kuljetetaan kaukolämpöä Helsinkiin.

Vaikutukset:

- Päästöt
- Kustannukset
- Ydinjäte
- Turvallisuudentunne
- Tuotantoteho
- Rakennusalan työt
- Päätöksentekijä: Helsingin kaupunki, Fortum, Loviisan kaupunki

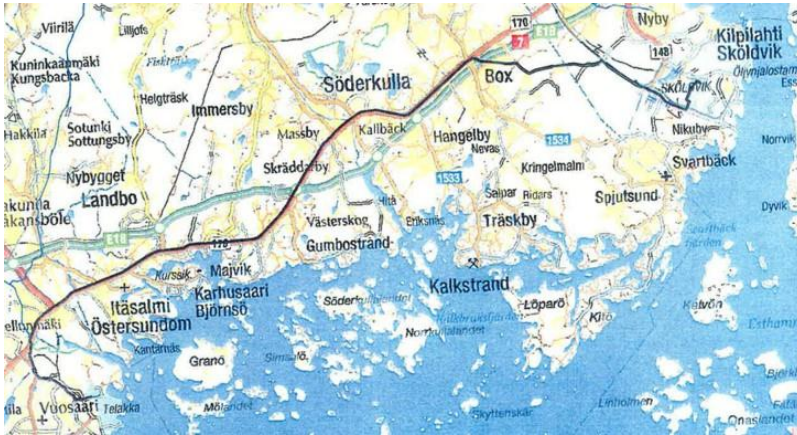
Kuvaus

Uudessa Loviisan laitossyksikössä olisi lämpöteholtaan enintään 4 600 megawatin kevytvesireaktori ja yksikön nettosähköteho olisi 1 000 - 1 800 megawattia. Mikäli laitossyksikkö tuottaisi myös kaukolämpöä, sen sähköteho olisi 800 - 1 600 megawattia ja kaukolämpöteho olisi noin 1 000 megawattia. ^[10]

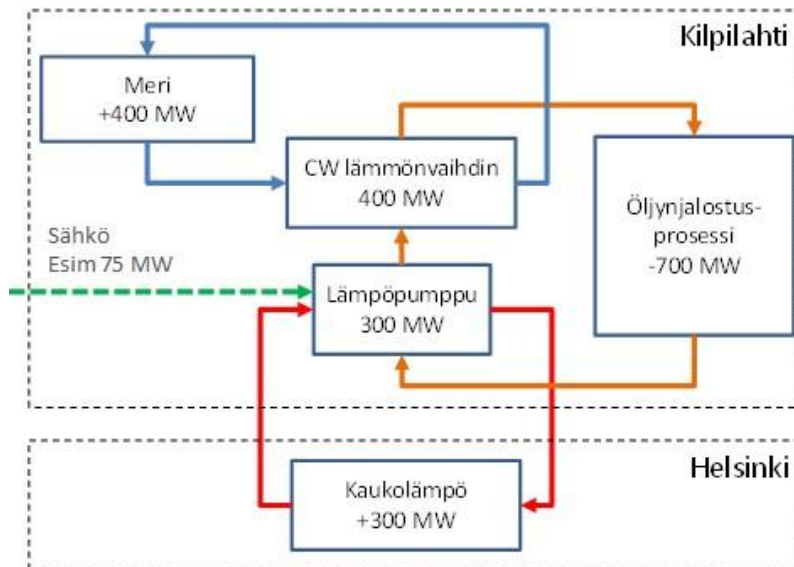
Loviisasta rakennetaan kaukolämpötunneli Helsinkiin kaukolämmön siirtämiseksi. Kaukolämpötunnelin rakentaminen maksaisi noin 700 miljoonaa euroa ja kaukolämmön talteenoton mahdollistavan laitoksen rakentaminen noin 500 miljoonaa euroa enemmän, kuin vain sähköä tuottavan ydinvoimalan. Voimalan kokonaiskustannusarvio on noin 4 miljardin euron luokkaa. Kaukolämmön tuotannon seurauksena ydinvoimalan sähköteho hieman laskisi, mutta kokonaisuutena ydinkaukolämmön omakustannushinta olisi 16 euroa per megawattitunti ^[11]

Ydinkaukolämpö tulisi Pöyryn selvityksen pohjalta siinä tarkastelluista vaihtoehdoista taloudellisesti raskeimmaksi. Selvityksessä tarkastellut vaihtoehdot olivat Hanasaaren ja Salmisaaren remontointi, Hanasaaren purku ja Vuosaaren rakennus ja hajautettu uusiutuva energia. Selvitysten pohjalta siihen myös liittyisi suurimmat toteutukselliset ja taloudelliset riskit. ^[12]

Nesteen hukkalämpö



Kuva 25. Kartta lämpöputken mahdollisesta reitistä Kilpilahdesta Vuosaareen



Kuva 26. Lämmön siirtäminen Nesteen Kilpilahden öljynjalostamossa ja sieltä Helsinkiin

Hukkalämpö Nesteen öljynjalostamolta Porvoosta käytetään Helsingissä kaukolämpönä.

Vaikutukset:

- Kustannukset
- Tuotantoteho
- Rakennusalan työpaikat
- Päätöksentekijä: Helsingin kaupunki, Neste

Kuvaus

Nesteen öljynjalostamolla syntyy paljon hukkalämpöä, joka siirtyy nykyisin jäähdytysvesiverkon kautta mereen. Jäähdytysveden lämpötila on alueella 20-35 C ja siirtyvä teho noin 700 MW tasolla. Käytännössä maksimimäärä, jonka teknisesti voisi suunnitella siirrettäväksi, on noin 300 MW. Tämä teho on mahdollista toimittaa ympärivuotisesti tasaisena perustehona. Lämmön hankinta Nesteeltä ei suoraan lisää CO₂-päästöjä. Sen lämpötilan nosto hyödynnettävälle alueelle vaatii kuitenkin sähköä, jonka ostaminen lisää mahdollisesti välillisiä päästöjä.

Ratkaistavia haasteita tässä vaihtoehdossa ovat muunmuassa investointikustannus ja lämpöpumppujen teknologia, koska siirrettävä lämpöteho on suuri ja käytettävän teknologian täytyy sopia jalostamoympäristöön. Tarvittavat investoinnit sisältävät lämpöpumput, sähköverkon vahvistamisen Kilpilahdessa, varsinaisen siirtoputken Kilpilahden ja Vuosaaren välille sekä kaukolämpöverkon vahvistamisen Vuosaaren ja Helsingin keskustan välille. Investointien kokonaissumma on 250-500 M€.

Neste on kiinnostunut selvittämään mahdollisuuksia yhteistyöhön Helsingin kanssa, vaikkei tämä vaihtoehto toteutuisikaan.

Hajautettu energiantuotanto

Hajautetun energian osuutta Helsingissä lisätään esimerkiksi lämpöpumpuilla, maalämmöllä, tuulimyllyillä, puun pienpoltolla ja aurinkopaneeleilla, joilla tuotetaan sähköä tai lämpöä yksittäisille rakennuksille.

Vaikutukset:

- Päästöt
- Kustannukset
- Tuotantoteho
- Turismi ja Suomen imago
- Rakennusalan työt
- Työt tutkimuksessa?
- Päätöksentekijä: Helsingin kaupunki, kaupungin asukkaat

Kuvaus

Uusiutuvilla energialähteillä voitaisiin nykyisen uusiutuvan tuotannon lisäksi tuottaa vuonna 2020 sähköä 18 TWh (21% vuoden 2012 kulutuksesta) ja primäärienergiaa 40 TWh (11% vuoden 2012 kulutuksesta) kustannuksella 35€/MWh sähkölle ja 27€/MWh lämpölle. Nopeasti käyttöön otettavat resurssit koostuvat pääasiassa puu- ja maatalouspohjaisesta bioenergiasta, tuulienergiasta ja lämpöpumpuista sekä pidemmällä aikavälillä myös aurinkoenergiasta. ^[13]

Suuret lämpöpumput

Rakennetaan suuria lämpöpumppuja, jotka ottavat lämpöä Itämerestä (kuten Tukholmassa) tai erittäin syvistä porareijistä ja tuottavat kaukolämpöä.

Vaikutukset:

- Päästöt
- Kustannukset
- Itämeri
- Tuotantoteho
- Ympäristöön ja politiikkaan liittyvät huolet
- Turismi ja Suomen imago
- Rakennusalan työpaikat
- Päätöksentekijä: Helsingin kaupunki

Energiansäästö

Helsingin rakennuksia remontoidaan, isoilla kampanjoilla vaikutetaan ihmisten asenteisiin ja nollaenergiataloja rakennetaan, jotta energiankulutusta vähennetään huomattavasti.

Vaikutukset

- Päästöt
- Kustannukset
- Turismi ja Suomen imago
- Tuotantoteho

- Rakennusalan työt
- Päätöksentekijä: Helsingin kaupunki, kaupungin asukkaat

Kuvaus

Energiansäästöneuvottelukunnan lausunnossa on nostettu esiin seitsemän hanketta, joiden arvioitu yhteenlaskettu energiansäästö on 325 GWh, 65 kt CO₂ ja kustannukset ovat 9,4 miljoonaa euroa. Toimenpiteet ovat:

- **R1 Energiakaavoitus:** Kaavoitetaan alueen mahdollisimman energiatehokkaiksi. Energiakaavoituksella voidaan Helsingissä järjestelmällisesti tarkastella rakennusten sijoittelua, alueellisia energiaratkaisuja sekä aluerakentamisen tehokkuutta. Toimenpiteen arvioitu energiansäästö- ja hiilidioksidipäästövähennysvaikutus on neljän suurimman joukossa (120 GWh/a, 24 ktCO₂). Se ei edellytä merkittäviä investointeja (1 milj. euroa).
- **R5 Rakennuskannan lämpökamerakuvaus ilmasta:** Lämpökamerakuvataan rakennuskantaa, jotta energiatehottomat talot ja alueet löydetään ja niiden energiatehokkuutta voidaan parantaa. Toimenpiteen vaikuttavuus on arvioitu aika pieneksi (5 GWh, 1 ktCO₂), mutta sen näkyvyys voisi olla merkittävä samoin kuin toimivuus yksityisten taloyhtiöiden motivointi- ja herättelykeinona.
- **R6 Energiarenessanssi – matalaenergiasaneerauksien yhteishankkeet:** Parannetaan olemassaolevan rakennuskannan energiatehokkuutta peruskorjauksien yhteydessä. Toimenpiteen vaikuttavuus on merkittävä (120 GWh, 24 ktCO₂), mutta myös sen aiheuttamat kustannukset ovat suuremmat (2,9 milj. euroa) kuin monissa muissa toimenpide-ehdotuksissa.
- **P3 Ekotukitoiminnan levittäminen yrityksiin:** Koulutetaan ekotukihenkilöitä, jotka neuvovat työtovereitaan laajalti ympäristöasioissa, mm. lajittelussa, jätteen synnyn ehkäisyssä, paperinkulutuksen vähentämisessä, hankintojen teossa, energiansäästöissä ja kestävässä liikkumismuodoissa. Toimenpiteen vaikuttavuus on arvioitu kohtuulliseksi (20 GWh, 4 ktCO₂), ja sen edellyttämät investoinnit melko vähäisiksi (0,2 milj. euroa).
- **P4 Energiatehokkuuden integrointi opetukseen:** Otetaan Vihreä lippu -ohjelma käyttöön kouluissa ja päiväkodeissa ja siten kasvatetaan lapsista ympäristöystävällisiä aikuisia. Toimenpiteen vaikutus on arvioitu melko pieneksi (5 GWh, 1 ktCO₂), mutta sen kerrannaisvaikutukset voivat olla merkittävät, ja sen kustannukset on arvioitu melko pieniksi (0,1 M€).
- **P6 Energiatehokkaat julkiset hankinnat:** Siirrytään kaupungin omissa ja julkisissa hankinnoissa energiatehokkaampaan suuntaan. Toimenpiteen vaikuttavuus on arvioitu melko pieneksi (15 GWh, 3 ktCO₂) ja myös sen edellyttämät investoinnit ovat vähäiset (0,2 milj. euroa).
- **L5 Kaupunkilogistiikan kehittäminen:** Tehostetaan kaupunkilogistiikan energiatehokkuutta perustamalla logistiikkakeskus ja kannustamalla kuljetusyrityksiä energiatehokkuuteen. Toimenpideehdotuksen vaikuttavuus on arvioitu kohtuulliseksi (40 GWh, 8 ktCO₂), mutta se edellyttää myös suurehkoja investointeja (5 milj. euroa).^[14]

Vuonna 2007 on osoitettu, että vuoteen 2020 mennessä sähkön käytön tehokkuutta olisi mahdollista parantaa 15 TWh/a (18% vuoden 2012 kulutuksesta) ja primäärienergian käyttöä 52 TWh/a (14% vuoden 2012 kulutuksesta). Kustannukset olisivat 18 €/MWh sähkö ja 23 €/MWh lämpö. Säästö olisi saavutettavissa remonteilla ja uuden teknologian käyttöönotolla kiinteistöissä ja teollisuudessa. Suomessa on 570000 sähkölämmitteistä rakennusta, jotka voidaan saada yksinkertaisten älykkäiden järjestelmien avulla tasaamaan sähkönkulutusta reaaliaikaisesti. Kysyntäjouaston lisääntyminen vähentää huippu-, säätö-, ja reservivoiman tarvetta ja alentaa näin energiakustannuksia.^[13]

WWF:n energiansäästöohjelma

WWF julkaisi 8.10.2015 arvionsa rakennuskannan energiansäästön mahdollisuuksista mietittäessä energiantuotannon vaihtoehtoja. Heidän päätelmänsä oli, että nykyinen hiilivoima voitaisiin lopettaa kokonaan vuoteen 2050 mennessä, jos vain aktiivisesti tehostettaisiin rakennuskannan energiatehokkuutta. Säästöä siis syntyisi yhtä paljon kuin nykyään tuotetaan hiilellä kaukolämpöä. [4] ^[15]

Nämä WWF:n oletukset on otettu mukaan Helsingin rakennuskantamalliin, jotta voidaan tarkastella niitä osana energiakysymyksen kokonaisuutta. Eihän ole selvää, että säästetty energia kannattaa kompensoida nimenomaan vähentämällä hiilen käyttöä, vaan muitakin vaihtoehtoja tulee tarkastella.

Rakennuskannan kehityksen osalta on perusurassa oletettu, että

- 1,0 % yli 50 vuotiaista asuinrakennuksista puretaan vuosittain
- 2,0 % yli 50 vuotiaista muista rakennuksista puretaan vuosittain
- 2,5 % yli 30 vuotiaista rakennuksista korjataan vuosittain, jolloin niiden energiankulutus laskee keskimäärin 20 %.
- Uutta rakennuskantaa rakennetaan väestön ja työpaikkojen lisääntymistä vastaava määrä olettaen, että lämmitetyt kerrosneliöt asukasta ja työpaikkaa kohden säilyvät nykyisellä tasolla. Oletettu asumisväljyys on 45,7 m²/hlö ja työpaikkaväljyys 52,0 m²/työpaikka. Oletettu keskimääräinen asuinkerroskorkeus on 3,2 m ja vastaavasti työpaikoille 4,9 m. Uusista asuintaloista 92 % liittyy kaukolämpöverkkoon. Muiden rakennusten osalta oletettu luku on 95 %.

WWF:llä on perusuran lisäksi kaksi skenaariota, joista tässä tarkastellaan kunnianhimoisempaa skenaariota 2. Siinä oletetaan, että kaupunki koordinoi mittavan lähiöiden energiakorjaushankkeen, jonka seurauksena noin 40 000 kerrostaloasuntoa korjataan nopeutetusti energiatehokkaiksi vuoteen 2030 mennessä. Lisäksi oletetaan, että energiatehokkaan korjausrakentamisen informointi moninkertaistetaan ja energiatehokkaan korjaamisen rahoitus turvataan. Nämä muut toimet hyödyttävät skenaariossa myös muun korjausrakentamisen energiatehokkuutta. Skenaariossa 2 oletetaan, että energiatehokkuus parantuu peruskorjausten yhteydessä rakennuksissa keskimäärin 33 %.

Taulukko 17. Energiatehokkuusskenaariot, lisäinvestointikustannukset sekä korjausten seurauksena saavutettavat energiatehokkuussäästöt suhteessa lähtötilanteeseen WWF:n mukaan. ^[15]

Skenaario	Toimenpidekokonaisuus	Lisäkustannukset	Kaukolämmön säästö
1	Energiatehokkaat ikkunat, julkisivun paikkaus ja poistoilmalämpöpumpun asennus	93–111 €/m ²	105–125 kWh/m ²
2	Energiatehokkaat ikkunat, ulkovaipan ja yläpohjan lisäeristys sekä poistoilmalämpöpumpun asennus	173–218 €/m ²	124–168 kWh/m ²

Huomautus: Yllä olevan, WWF:n raportista saadun taulukon lukuja ei käytetä, koska ne lienevät liian suuria: jos 33 % parannus on 124–168 kWh/m²/a, niin lähtötaso 372–504 kWh/m² on epäuskottavan korkea. Taulukko on kuitenkin laitettu tähän tiedoksi ja pohdittavaksi.

Taulukko 18. Uudisrakentamisen energiankulutus (kWh/m²/a). ^[15] Tässä oletetaan huomattavaa tehostumista, koska vanhemmissa rakennuksissa arvot ovat tyypillisesti 150 kWh/m²/a tai enemmän (ks. [Energy use of buildings](#)).

Vuosikymmen	Asuinrakennukset	Muut rakennukset
2010	76.8	83.3
2020	48	52.43
2030	48	52.43
2040	32	34.79
2050	32	34.79

Yhteenvetotaulukko päästöistä

Taulukko 19. Päästöt eri voimaloista

Voimala	CO2 (kt/a)	SO2 (t/a)	Lentotuhka (t/a)	Pohjatuuhka (t/a)	Rikinpoiston lopputuotteet (t/a)	NO2	Hiukkaset (t/a)
Hanasaari, bio 10 %	yht. 2524		59 000	12 000	8 000		
Salmisaari, bio 10 %		996	45 000	11 000	9 000	946	92
Hanasaari, bio 40%	yht. 1594	1224	40 000	9 000	6 000	1224	122
Salmisaari, bio 40%		966	30 000	8 000	6 000	946	92
Vuosaari C (80- 20)	1 468	853	59 000	10 000	-	853	57
Vuosaari A and B		550				-	-

Muita mahdollisia vaihtoehtoja

Tässä listataan lyhyesti erilaisia vaihtoehtoja, jotka ovat nousseet esiin erilaisissa keskusteluissa. Niitä ei ole kuitenkaan (toistaiseksi) otettu mukaan arviointimalliin. [\[16\]](#)

Kouvolan metsäteollisuus

Kouvolan metsäteollisuuden tarjoama lämpö oli YVA-prosessissa esillä silloin, kun sinne suunniteltiin uutta täyden jalostusketjun biodieseltehdasta kuten Raumallekin. Lopulta rakennettiin osittainen, valmiin mäntyöljyn jatkojalostukseen ja vedyttämiseen perustuva linja Lappeenrantaan. Investoinnit ovat edelleen mahdollisia Kouvolassa. Nyt siellä on menossa sellutehtaan tuotannon lisäinvestoinnit.

Uudenmaan laajuinen lämpökenttäpalvelu

Turussa käytetään tällaista uudessa kaupunginosassa. Jos tavanomainen kaukolämpöverkko laajennetaan neliputkiseksi, voidaan käydä osto- ja myyntikauppaa pumppulämmön raakaenergiaksi sopivalla noin 20-asteisella vedellä. Arvelen, että Nesteeltä on saatavissa lämmintä ilmaa ja vettä, joka on paljon arvokkaampaa kuin noissa a-kohdan oletuksissa mainitaan. Nesteen ja koko Uudenmaan teollisuuden ja kaupan sekä varastojen uudistuksissa lämpökenttäpalvelun olemassa olo mahdollistaisi arvokkaiden hukkalämpöjen hyödyntämisen esim. koko maakunnan laajuudessa verkostossa.

Uusi Päijänteen vesistöalueen metsäteollisuus

Mahdollisuus tuoda alueelle lämpöä Keravan ja Lahden voimaloista täydennystehona: Jos Uudellamaalla olisi maakuntahallinnon, metropolihallinnon, yhteistyövaltuuskunnan, valtion tms. ylikunnallisen toimijan aikaansaama laaja ja monikäyttöinen lämpöverkko, siihen olisi helppoa kytkeä lisää lämpötehoa ulkopuolelta. Yksi edullinen lämmön lähde olisi vuonna 2017 alkavan, entistä vähemmän lämpöä kuluttavan Äänekosken biojalostamon eli pitkälle kehitetyn sellutehtaan ylijäämäkuori. Sitä olisi luvassa vaikka vesitiekuljetuksena 400-500 000 m³ vuodessa Lahteen ja 200-300 000 m³ vuodessa Keravalle tai Vuosaaren rautateitse. Ellei Uusimaa huoli kotimaista biopolttoainetta, se voidaan kuljettaa rautateitse Naantalista uuteen

voimalaan. Lahdessa poltettavan kuoren osuus ei kuormittaisi maakuljetusyhteyksiä muutoin kuin sataman ja voimalan välillä Lahden kaupungissa.

Satakunnassa, etenkin Porin Energia Oy:ssä on kokemusta noin 40 km kaukolämpövedoista satamakau-punginosasta kantakaupungille ja siitä edelleen lämmön ja höyryn toimituksista teollisuuteen ylös jokivart-ta. Linjakustannukset näillä lähes kivettömällä mailla ovat noin 2 miljoonaa €/km.

Nämä ideat ovat nousseet esiin puolentoista vuoden ryhmäkirjoittamisessa "Uusi energiapolitiikka"-ryhmässä, Turun kaupunkiseudun kehittämistyössä ja Äänekosken teollisuuden uudistamisen sekä UPM:n biodieselprojektien yhteydessä viime vuosina. Kaikki lähteet ovat julkisia, tosin UE-ryhmään pitää pyytää jäsenyyttä Facebookissa.

Energiapäätökseen liittyviä arvoja

Tavoitteestamme huolimatta emme saaneet Otakantaa-sivuston ja muiden osallistavien välineiden avulla luotua kovin laajaa keskustelua energiakysymyksiin liittyvistä arvoista. Monia asioita nousi esiin muissa yhteyksissä, kuten Facebookin Uusi energiapolitiikka -ryhmässä. Näitä on koottu tähän. Kuitenkaan mate-riaali ei mahdollista järjestelmällistä yhteenvetoa vallitsevista arvoista.

- Osa vastustaa sähkön hinnan nousua vahvastikin.^{[17][18]} Matala sähkön hinta nähdään hyvänä asia-na kilpailukyvyn ja matalatuloisten toimeentulon takia.
- Sähkön tuntihinnoittelu nähdään pääasiassa hyvänä asiana, kulutushuippujen tasaamisen tuoma säästö (sekä energiaviisaille kansalaisille että valtiolle vähentyneen varavoimatarpeen takia) ja kansalaisten energiantuotannon ymmärryksen lisääminen mainitaan.^{[19][20]}
- Hajautetun energiantuotannon tukeminen herättää kannatusta esim. pienimuotoisen (alle 5 kW) energiatuotannon verovapautena, byrokratian väheneminen mainitaan. Toisaalta taas monimutkais-ta verohelpotusten ja tukien tilkkutäkkiä halutaan välttää. Osa vastustaa hajautusta koska keskitetty energiantuotanto nähdään tehokkaampana ja halvempänä.^{[21][20]}
- Aurinkopaneelien velvoitus uusiin rakennuksiin jakaa mielipiteet kahtia. Kannattajat haluavat lisä-tä uusiutuvaa energiantuotantoa ja tukea suomalaisia aurinkopaneelien valmistajia. Vastustajista osa argumentoi velvoittamista vastaan (uskotaan, että aurinkopaneelit voivat kohta kilpailla hintan-sa ja tehokkuutensa puolesta) ja osa itse aurinkovoimaa vastaan (nähdään aurinkopaneelit lähtö-kohtaisesti tehottomana tapana tuottaa energiaa, suositaan mieluummin joko maalämpöä tai keski-tetympää energiantuotantoa).^{[22][20]}

Facebookin Uusi energiapolitiikka -ryhmästä

- Japanilaiset ovat kehittäneet kätevän 3 sentin paksuisen polttokennon, josta saa 700W tehon. Hyö-tykäyttöön saatavaa kilowattituntia kohden kaasun hinta on pientaloihin lämmityskäyttöön kaikki-ne kuuluineen toimitettuna noin 10 senttiä. Kesällä energian voisi saada auringosta ja tallentaa ak-kuihin yötä varten, ja talvella sähkön voisi saada polttokennoilla kaasusta ja lämmön lämpöpum-puilla ja lämpövarastoilla. Polttokennojen tehokkuudessa on päästy metaanista sähköön ja lämpöön jo 85% hyötysuhteeseen, josta sähkön osuus on noin 60% yksikköä ja 25% sitten lämpöä.
- Tieteen Kuvalehden mukaan torium maksaa kuudestuhannesosan siitä mitä uraani energiamäärää kohden.
- Öljylämmityksen korvaamisen ongelmana on, että öljylämmitykseen soveltuisi kyllä biopolttoai-neet, mutta niitä ei saa mistään. Rypsiöljyyn ja biojätejakeista valmistettuun lämmitysöljyyn vaih-taminen olisi sinänsä investointia pieni, sillä vain polttimo ja kattila pitäisi vaihtaa, mutta rypsin saatavuus on suureen muutokseen liian huono.

- o Rypsiöljy ei sovellu kestävyyskriteerien takia talojen lämmittämiseen muutenkaan. Poro-lyysiöljy voisi toimia paremmin.

Katso myös

- Mykkänen, Kai. HS 1.8.2015: [Energiatuotannon hajautus auttaa eroon kivihiiilestä](#)
- Korpela, Timmo. HS 5.8.2015: [Yhteistuotannon veronalennusta ei pidä poistaa](#)
- Ilkka Savolainen, Sanna Syri. HS 5.8.2015: [Hiilestä luopuminen vain siirtää päästöoikeuksia](#)
- [Helkama, Klaus](#): Suomalaisten arvot. Mikä meille on oikeasti tärkeää? Suomalaisen Kirjallisuuden Seura 2015.

Tietokide mallin perusyksikkönä

Muuttujat tai täsmällisemmin sanottuna **avoimet muuttujat** eli **tietokiteet** antavat senhetkisen parhaan vastauksen johonkin täsmälliseen tutkimuskysymykseen perustuen olemassaolevan tiedon joukkoistettuun tulkintaan. Tietokiteet ovat [arviointien](#) peruselementtejä. Ne kuvaavat aina jotakin reaalimaailman ilmiötä. Tällaisia voivat olla esimerkiksi fyysisten ilmiöiden kuvaukset kuten altistus jollekin kemikaalille, mutta myös väestön mielipidejakauma maahanmuuton suhteen. Tietokiteiden perusluonteeseen kuuluu, etteivät ne koskaan ole lopullisia, vaan niiden sisältö kehittyy tiedon ja niiden parantamiseen käytetyn työn lisäyttyessä. Tietokiteet eivät myöskään ole sidottuja mihinkään tiettyyn arviointiin, vaan niitä voi käyttää useiden arviointien osana. On syytä huomata, että alussa käytettyä sanaa muuttuja käytetään myös monissa muissa merkityksissä, mutta tässä yhteydessä tarkoitetaan nimenomaan vaikutusarvioinneissa käytettävää tietokidettä.

Tietokiteet sisältävät tieteellistä tietoa, mutta ne poikkeavat perinteisistä tutkimustyön tietotuotteista. Seuraavassa on lyhyt esittely ja vertailu.

Tieteellinen artikkeli on nykyisen tieteen perusyksikkö. Sitä varten tutkija tai tutkimusryhmä tekee tutkimuksen, jossa kertyy havaintoaineistoa. Aineistoa analysoidaan, ja lopuksi tehdään tulkintoja ja päätelmiä omien tulosten ja aiempien tieteellisten artikkelien perusteella. Tavoitteena on julkaista artikkelit vertaisarvioituissa lehdissä eli siten, että muutama muu alan tutkija on perehtynyt käsikirjoitukseen ja puoltanut sitä ennen sen julkaisemista. Tämän vertaisarviointikäytännön tarkoituksena on parantaa käsikirjoitusten laatua ja karsia pois huonoja tutkimuksia. Kummankin tarkoituksen osalta varsin yleisesti myönnetään, että järjestelmä ei ole erityisen tehokas, mutta parempaakaan ei ole saatu aikaiseksi.

Asiantuntijaraportit ovat asiaa hyvin tuntevan asiantuntijan kokoamia katsauksia yleensä jonkin käytännöllisen kysymyksen, kuten tulevan päätöksen, aihepiiriin. Ne eivät yleensä tuota uutta alkuperäisaineistoa tai ole vertaisarvioituja, ja siksi niiden arvostus tutkijoiden ja tutkimusrahoittajien silmissä on valitettavan huono. Niiden sovellettavuus on kuitenkin paljon artikkelia parempi päätösvalmistelussa, koska ne vastaavat juuri niihin kysymyksiin, jotka ovat merkittäviä kyseiselle päätökselle.

Avoim data on yleensä mittausaineistoa, joka on julkaistu sellaisenaan muiden käytettäväksi. Tapauksesta riippuen se voi olla hyvinkin pitkälle jalostettua ja laatuvarmennettua, mutta usein ei. Avoimen datan käytännöt ovat vasta viime vuosina alkaneet muotoutua, koska tutkijoilla ei aiemmin ollut tapana julkaista alkuperäisaineistoja. Päätöstuen kannalta ongelmana on, että se ei sisällä tulkintoja ja päätelmiä lainkaan, saati juuri niistä tärkeistä aiheista. Avoin data on siis mainiota raaka-ainetta sille, jolla on osaamista ja aikaa analysoida ja tulkita sitä, mutta varsin hyödytöntä muille.



Tietokiteen idea yrittää yhdistää päätösvalmistelun kannalta hyvät puolet kaikista mainituista tietotuotteista ja välttää huonot. Idea on rakentaa tietotuote täsmällisen tutkimuskysymyksen ympärille. Kysymys voi olla puhtaasti tieteellinen, mutta päätöstuen tapauksessa se voidaan muotoilla nimenomaan tulevaa päätöstä palvelevaksi. Kysymykseen vastaamiseksi asiantuntijat keräävät kaikkea mahdollista aineistoa,

joka auttaa vastaamaan kysymykseen. Tämä sisältää niin tutkimusartikkelit, asiantuntijaraportit kuin avoimen datankin ja asiantuntijan hiljaisen tiedon, jota ei löydy kirjoitetussa muodossa. Tietokidettä työstetään alusta saakka joukkoistetusti avoimessa verkkotyötilassa, ja sen sisältämät tiedot ovat avoimesti käytettävissä. Aineisto jäsennetään, arvioidaan ja tulkitaan. Lopputuloksena on vastaus, joka on läpäissyt kaiken työn aikana esitetyn kritiikin. Vastaus on siis paras senhetkinen tulkinta siitä, miten kysymyksessä esitetty asia todellisuudessa on. Tietokiteen avoin kritisointi varmistetaan työn aikana tieteen ideaalin mukaisesti, jotta lopputulos olisi tieteellisesti hyvin perusteltu. Tietokiteen vastaus on yleensä sekä koneluettavassa muodossa vaikutusarviointimalleja varten että ihmiselle helppolukuisessa muodossa teksteineen ja kuvineen. Tietokiteen etuna siis on, että se käyttää kaiken soveltuvan tiedon (ei vain omaa dataa niin kuin artikkelissa), se myös tulkitsee dataa (toisin kuin avoin data), ja se on tuotettu noudattaen avoimuuden ja kritiikin periaatteita (toisin kuin raportti).

Arviointimalli rakennettiin siten, että jokainen sen osa on itsenäinen sivunsa Opasnet-verkkotyötilassa ja muodostaa tietokiteen. Tietokide vastaa aina yhteen täsmälliseen tutkimuskysymykseen, ja vastaukset näihin kysymyksiin muodostavat avointimallin rungon.

Tässä mallissa käytetyt tietokiteet on lueteltu taulukossa.

Taulukko 20. [Helsingin energiapäätöksen tietokiteet](#)

Suomeksi	
Yhteenveto	Helsingin energiapäätös 2015 Helsingin energiapäätöksen vaihtoehdot 2015 Helsingin energiapäätökseen liittyviä arvoja Rakennuskantamalli Otakantaa-keskustelu  Helsingin energiapäätös 2015  Helsingin energiapäätös 2015 -evaluaatio
Englanniksi	
Arviointi	Main page Helsinki energy decision options 2015
Helsingin data	Climate change policies in Helsinki Building stock in Helsinki Energy balance in Helsinki Helsinki energy production Helsinki energy consumption Energy use of buildings Emission factors for burning processes Prices of fuels in heat production
Mallit	Building model Energy balance Health impact assessment
Aiheeseen liittyviä arvioiteja	Climate change policies in Helsinki Climate change policies and health in Kuopio

Rakennuskantamalli

Rakennuskantamalli seuraa tietyn kaupungin tai alueen rakennuskannan kehittymistä ajan kuluessa. Malli toimii osana Opasnetin mallinnusympäristöä ja se on toteutettu R-kielillä. Mallin tarkka kuvaus löytyy englanniksi sivulta [Building model](#). Tässä esitetään vain mallin toimintaperiaate. Esimerkkejä rakennuskantamallin käytöstä löytyy sivuilta [Helsingin energiapäätös 2015](#) ([Helsinki energy decision 2015](#)), [Building stock in Kuopio](#) ja [Climate change policies and health in Kuopio](#).

Mallin toimintaidea on, että sille annetaan tietoja rakennuskannasta tietyssä kaupungissa tai alueella tietyssä ajanhetkenä. Tiedot voidaan kuvata hyvin erilaisilla tarkkuustasoilla tilanteesta ja tietotarpeista riippuen. Jonkinlainen tieto kaupungin rakennusten energiatehokkuudesta ja lämmitysmuodoista on välttä-

mätön, mutta karkeakin tieto riittää. Toisaalta jos lähtötietoa on riittävästi, mallissa voidaan tarkastella vaikka yksittäisiä rakennuksia.

Tämän lisäksi rakennuskannasta voidaan kuvata sen muutoksia eli uusien rakennusten rakentamista ja vanhojen purkamista. Näistä rakennuksista tarvitaan lämmitys- ja energiatehokkuustiedot samalla tarkkuudella kuin muistakin. Näiden tietojen avulla lasketaan, miten rakennuskannan koko ja lämmitysmuodot muuttuvat rakentamisen ja purkamisen takia.

Mallissa tarkastellaan myös olemassaolevien rakennusten energiaremontteja. Niitä kuvataan kahden muuttujan avulla: ensinnäkin kuinka suuri osa rakennuskannasta energiakorjataan vuosittain ja toisaalta, minkätyyppisiä remontit ovat. Nämäkin tiedot voivat olla karkeita tai yksityiskohtaisia ja kuvata koko rakennuskantaa yhdellä luvulla tai olla spesifistä tietoa ajankohdan, rakennuksen iän, käyttötarkoituksen tai muun taustatiedon suhteen.

Yleispiirteiltään malli noudattaa seuraavanlaista yhtälöä:

$$B_{t,h,e,r} = \int \int (B_{S_{b,t,a}} H_{S_h} E_{S_e} + B_{C_{b,h,e,t,a}}) R_{r_a} R_{s_r,t} dbda$$

- B = arvioitu rakennuskannan suuruus tehollisena pinta-alana.
- Bs = tehollinen pinta-ala nykyisissä rakennuksissa.
- Bc = tehollinen pinta-ala rakennuksissa, jotka on jo purettu tai joita ei ole vielä rakennettu mutta jotka ovat olemassa tarkasteluajan puitteissa.
- Hs = lämmitysmuotojen osuudet joukossa rakennuksia (osuudet summautuvat aina ykköseen jokaisessa osajoukossa).
- Es = energiatehokkuusluokkien osuudet joukossa rakennuksia.
- Rr = korjausrakentamisen nopeus eli osuus rakennuksista jotka energiaremontoidaan yhden vuoden aikana.
- Rs = energiaremonttityyppien osuudet joukossa rakennuksia. Esimerkiksi korjataan vain ikkunat vai parannetaan myös ilmanvaihtotekniikkaa?
- t = seuranta-aika eli ajankohdat, joihin rakennuskannan suuruus lasketaan.
- Muuttujat on indekoitu ainakin näillä indekseillä eli selittävillä tiedoilla. Myös muut indeksit ovat mahdollisia.
 - t = seuranta-aika
 - b = rakentamisaika
 - a = rakennuksen ikä seuranta-ajankohtana (lasketaan a = t - b).
 - h = pääasiallinen lämmitysmuoto rakennuksessa
 - e = rakennuksen energiatehokkuusluokka rakentamisaikana
 - r = energiaremontin tyyppi remontoitavassa rakennuksessa (tällä hetkellä kukin rakennus voidaan remontoida vain kerran tarkastelujakson aikana)

Malli on iteratiivinen seuranta-ajan suhteen eli yhden ajankohdan tilanne periytyy seuraavan ajankohdan lähtökohdaksi, johon sitten voidaan kohdistaa toimenpiteitä (korjaamista, rakentamista, päätöksiä).

Energiatasemalli

Kysymys

Mikä on energiatase ja miten se mallinnetaan?

Vastaus

Laskemalla yhteen tietyn ajanjakson sisällä tuotettu energia ja vähentämällä siitä samassa ajassa kulutettu energia saadaan energiatase. Koska sähkö- ja kaukolämpöverkossa ei ole merkittäviä energian varastointimekanismeja, täytyy taseen olla lyhyellä aikavälillä käytännössä nolla. Kun tarkastellaan alueellista energiatasetta, voidaan olettaa että sähköä voidaan viedä ja tuoda kansainvälisillä markkinoilla. Tästä poiketen kaukolämpö täytyy tuottaa paikallisesti. Ongelmaksi muodostuu se, kuinka tuotanto optimoidaan niin että merkittäviä vajeita ei synny ja tappiot minimoidaan sekä voitot maksimoidaan. Reaalimaailmassa sen ratkaisevat pääasiassa markkinavoimat.

Viimeisin energiatasemallimme käyttää lineaariohjelmointityökaluja optimaalisen aktiviteettitasen löytämiseen joukolle tuotantoyksiköitä päämallin simuloimissa tilanteissa. Päämalli on vastuussa päätöksentekoon liittyvistä asioista, kun taas energiataseen optimointi ainoastaan mallintaa markkinoiden toimintaa.

Lineaarinen ohjelmointiongelma muodostuu seuraavasti. Jokaiselle tuotantoyksikölle: olkoon x_i voimalan aktiviteetti. Otetaan muuttuja y_j merkitsemään kunkin energiatyyppin ali- ja ylijäämiä. Kohdefunktio (se mitä optimoidaan) muodostuu laskemalla ensin kullekin tuotantoyksikölle yksikkötuotot a_i aktiviteettia kohti. Ne määräytyvät polttoaineiden ja niistä saatavien hyödykkeiden suhteista sekä niiden hinnoista. Lisäksi haluamme varmistaa, että kaukolämmön kysyntä täytetään aina kun mahdollista, joten mallissa täytämättömästä kaukolämmön kysynnästä maksetaan sakkoa (1M€/MW tässä mallissa). Pitää myös huomioida, että ylijäämä kaukolämpö menee hukkaan, joten se lasketaan tappiona. Merkitään vajeesta ja ylijäämästä johtuvia tappioita merkinnällä b_j . Lopullinen kohdefunktio on: $\sum(x_i a_i) + \sum(y_j b_j)$. Muuttujien x_i ja y_j arvoja rajoittavat erilaiset yhtälöt ja epäyhtälöt: hyödykkeen tuotannon summa on yhtä suuri kuin sen kysyntä - alijäämä + ylijäämä, aktiviteettia rajoittaa yksikön kapasiteetti, kaikki muuttujat ovat myös ei-negatiivisia määritelmän mukaan. Tietokoneohjelma ratkaisee tämän ongelman tehokkaasti kullekin simulaatiolle. Yksinkertaisuuden vuoksi tuotannon oletetaan olevan ajasta riippumaton, eli se voidaan ajaa hetkessä ylös tai alas. Tästä seuraa myös että vesivoiman kapasiteettia ei voida mallintaa täysin, koska malli ei tiedä paljonko sitä on tähän mennessä jo käytetty.

Terveysvaikutusmalli

Kysymys

Miten lasketaan terveysvaikutukset tietyille altisteille tunnetussa väestössä?

Vastaus

Taulukko 21. Tarvittavat tiedot annosvasteesta.

Tekijä	Selitys
Altiste	Aineen tai muun altisteen nimi. Tämän avulla altistumistieto ja annosvastetieto yhdistetään mallissa.
Vaste	Vaikutuksen nimi. Yhdellä altisteella saattaa olla useita erilaisia vaikutuksia. Toisaalta monet altisteet voivat aiheuttaa samaa tautia tai muuta vaikutusta.
Altistus	Altistuksen kuvaus esimerkiksi altistusreitistä (hengitettynä, suun kautta, iholle) ja muista olennaisista asioista.
Altistusyksikkö	Mittayksikkö, jossa altistusta mitataan. Tyypillisesti mg/d suun kautta saatuna tai $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pitkäaikaisena hengitysaltistuksena.
Annosvastefunktio	Minkä muotoinen annosvastefunktio on? Tyypillisiä vaihtoehtoja RR (suhteellinen riski altistusyksikköä kohti on vakio), ERS (absoluuttinen riskinmuutos altistusyksikköä kohti on vakio), TDI (kynnysarvo, jonka alapuolella ei synny haittaa).
Skaalaus	Skaalataanko altistus ruumiinpainon suhteessa vai ei?
Kynnysarvo	Raja, jota pienemmällä altistuksella ei tule vaikutusta (oletusarviona 0).
Arvo	Annosvasteen suuruutta kuvaava parametri lukuna.
Kuvaus	Lisätietoja ja selityksiä.

Tyypillinen tapaus on, että terveysvaikutus lasketaan käyttämällä suhteellista riskiä, joka kuvaa altistuneen suhteellista riskiä saada tarkasteltava terveysvaikutus altistumattomaan verrattuna. Näin on esimerkiksi pienhiukkasten osalta. Tällöin käytetään yhtälöä ja yksiköitä:

$$C = R * P * e^{\log RR(D-T)},$$

missä

- C = terveysvaikutuksen saaneiden tapausten määrä (kpl),
- R = taustariski saada terveysvaikutus (tapausta/100000 henkilövuotta),
- P = väestön koko (kpl),
- RR = suhteellinen riski yhden yksikön suuruista altistumisen lisääntymistä kohti ($1 / (\mu\text{g}/\text{m}^3)$),
- E = altistumisen suuruus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$),
- T = kynnysarvo eli altistustaso, jonka alapuolella ei tule vaikutusta ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Lähteet

- Asikainen ym. Ympäristöaltisteisiin liittyvä tautitaakka Suomessa. Ympäristö ja Terveys 5/2013. http://fi.opasnet.org/fi/Tautitaakka_Suomessa
- WWF. Helsingin energiapäätös. Energiansäästö on polttoainevaihtoehtoista paras. WWF, 8.10.2015 <http://wwf.fi/mediabank/7784.pdf>
- [Helsingin Energian biopolttoaineiden käytön lisääminen, Helsinki YVA 2013](http://www.ymparisto.fi/helenbioYVA) <http://www.ymparisto.fi/helenbioYVA>
- [Helen: Voimalaitokset](https://www.helen.fi/kotitalouksille/neuvoa-ja-tietoa/tietoa-meista/energiantuotanto/voimalaitokset/) <https://www.helen.fi/kotitalouksille/neuvoa-ja-tietoa/tietoa-meista/energiantuotanto/voimalaitokset/>
- Helsingin Sanomat: [Helsingin vaihtoehdot: Kallis voimala luonnonsuojelualueen viereen tai Hanasaari ilman asuntoja](http://www.hs.fi/kaupunki/a1395126812045) <http://www.hs.fi/kaupunki/a1395126812045>
- Helsingin Sanomat: [Näistä isoista investoinneista päätetään](http://www.hs.fi/kaupunki/a1395126752422?ref=hs-art-lue-seuraavaksi-2) <http://www.hs.fi/kaupunki/a1395126752422?ref=hs-art-lue-seuraavaksi-2>
- [Helsingin Energia](https://www.helen.fi/kotitalouksille/neuvoa-ja-tietoa/vastuullisuus/hiilineutraali-tulevaisuus/puupolttoaineet/) <https://www.helen.fi/kotitalouksille/neuvoa-ja-tietoa/vastuullisuus/hiilineutraali-tulevaisuus/puupolttoaineet/>
- [Helen: Hanasaaren voimala](https://www.helen.fi/kotitalouksille/neuvoa-ja-tietoa/tietoa-meista/energiantuotanto/voimalaitokset/hanasaari/) <https://www.helen.fi/kotitalouksille/neuvoa-ja-tietoa/tietoa-meista/energiantuotanto/voimalaitokset/hanasaari/>
- Helen 17.06.2015 [Uusi hajautettu malli hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen](https://www.helen.fi/uutiset/2015/uusi-hajautettu-malli-hiilidioksidipaastojen-vahentamiseen/) <https://www.helen.fi/uutiset/2015/uusi-hajautettu-malli-hiilidioksidipaastojen-vahentamiseen/>
- [Loviisa 3 periaatepäätös 13.5.2010](https://www.tem.fi/files/26809/PAP_FPH_LO3.pdf) https://www.tem.fi/files/26809/PAP_FPH_LO3.pdf
- Loviisan Sanomat 19.10.2007 [Loviisan uuden ydinvoimalan hukkalämmöllä lämmittäisi koko Helsingin](http://www.loviisanomat.net/paauutiset.php?id=2553) <http://www.loviisanomat.net/paauutiset.php?id=2553>
- [Helsingin Energian kehitysohjelma kohti hiilineutraalia tulevaisuutta 2010](http://www.hel.fi/static/helsinki/paatosasiakirjat/Kvsto2010/Esityslista21/liitteet/Helsingin_Energian_kehitysohjelma_kohti_hiilineutraalia_tulevaisuutta_19.1.2010.pdf) http://www.hel.fi/static/helsinki/paatosasiakirjat/Kvsto2010/Esityslista21/liitteet/Helsingin_Energian_kehitysohjelma_kohti_hiilineutraalia_tulevaisuutta_19.1.2010.pdf
- [Halme et al. 2014 Kasvua ja työllisyyttä uudella energiapolitiikalla](http://urn.fi/URN:NBN:fi:jyu-201402281297) <http://urn.fi/URN:NBN:fi:jyu-201402281297>
- [Helsingin parhaat energiatehokkuuskäytännöt - työryhmän loppuraportti 2011](http://dev.hel.fi/paatokset/asia/hel-2011-005185/khs-2013-14/) <http://dev.hel.fi/paatokset/asia/hel-2011-005185/khs-2013-14/>
- WWF. Helsingin energiapäätös. Energiansäästö on polttoainevaihtoehtoista paras. WWF, Helsinki, 8.10.2015. <http://wwf.fi/wwf-suomi/viestinta/uutiset-ja-tiedotteet/WWF--Hajautettu-malli-energiatehokkuuden-lisayksella-vahvistettuna-on-paras-ratkaisu-Helsingille-2584.a> <http://wwf.fi/mediabank/7784.pdf>
- Juha Suni, Facebook-keskustelu 9.9.2015. [3] <https://www.facebook.com/events/1674722242760160/1680909515474766/>
- [HS 23.3.2015: Helsingissä alkaa poliittinen sota hiilikasoista – kyseessä miljardin euron kiista.](http://www.hs.fi/kaupunki/a1426913827224) <http://www.hs.fi/kaupunki/a1426913827224>
- [HS 17.6.2015: Helsingin kivihiihikasat jäävät historiaan – Hanasaaren uusi asuinalue jo 2020-luvulla.](http://www.hs.fi/kaupunki/a1305963824515) <http://www.hs.fi/kaupunki/a1305963824515>
- <https://www.facebook.com/groups/740342559331216/permalink/994901907208612>
- <https://www.otakantaa.fi/energiapaatos>
- <https://www.facebook.com/groups/740342559331216/permalink/997164116982391>
- <https://www.facebook.com/groups/740342559331216/permalink/997803066918496>

Liite: Arviointimallin yksityiskohtia (englanniksi)

Työpaperin pidemmässä versiossa tässä on kopiot englanninkielisistä Opasnetin arviointiin liittyvistä sivuista. Tässä lyhyemmässä versiossa on vain linkit kyseisille sivuille..

- Helsinki energy decision 2015 http://en.opasnet.org/w/Helsinki_energy_decision_2015
- [Building stock in Helsinki](http://en.opasnet.org/w/Building_stock_in_Helsinki) http://en.opasnet.org/w/Building_stock_in_Helsinki
- [Helsinki energy production](http://en.opasnet.org/w/Helsinki_energy_production) http://en.opasnet.org/w/Helsinki_energy_production
- [Helsinki energy consumption](http://en.opasnet.org/w/Helsinki_energy_consumption) http://en.opasnet.org/w/Helsinki_energy_consumption
- [Energy use of buildings](http://en.opasnet.org/w/Energy_use_of_buildings) http://en.opasnet.org/w/Energy_use_of_buildings
- [Emission factors for burning processes](http://en.opasnet.org/w/Emission_factors_for_burning_processes) http://en.opasnet.org/w/Emission_factors_for_burning_processes
- [Prices of fuels in heat production](http://en.opasnet.org/w/Prices_of_fuels_in_heat_production) http://en.opasnet.org/w/Prices_of_fuels_in_heat_production
- [External cost](http://en.opasnet.org/w/External_cost) http://en.opasnet.org/w/External_cost
- [Building model](http://en.opasnet.org/w/Building_model) http://en.opasnet.org/w/Building_model
- [Energy balance](http://en.opasnet.org/w/Energy_balance) http://en.opasnet.org/w/Energy_balance

Jouni Tuomisto
 Julia Rintala
 Pauli Ordén
 Matleena Tuomisto Teemu Rintala

Helsingin energiapäätös 2015

Avoin arviointi terveys-, ilmasto- ja muista vaikutuksista

Helsingin kaupunki tekee isoja energiapäätöksiä loppuvuodesta 2015. Päätös on erittäin monimutkainen ja haasteellinen ja tarvitsee tuekseen kaiken saatavilla olevan tietotuen. THL:n tehtävänä on tuottaa tietoa päätöksenteon tueksi terveyteen ja hyvinvointiin liittyvistä asioista. Suomessa ilmansaasteet ja erityisesti pienhiukkaset ovat suurin ympäristöterveysriski. Myös ilmastonmuutoksella on vakavia terveyshaittoja, vaikka ne tulevat viipeellä ja niiden suuruutta on hyvin vaikea arvioida.

Helsingin energiaratkaisua valmisteltaessa on esitetty useita erilaisia vaihtoehtoja, mutta niiden vaikutuksia ei ole systemaattisesti tarkasteltu. Siksi THL aloitti toukokuussa 2015 terveys-, ilmasto- ja muiden vaikutusten arvioinnin ja mallinnuksen Opasnet-verkkotyötilassa. Työ tehtiin alusta saakka avoimesti, ja kaikki yksityiskohdat ovat olleet ja ovat kaikkien nähtävillä ja kritisoitavissa.

Arviointi perustuu energiatasemalliin, jossa rakennuskannan lämmityksen ja kulutussähkön tarve pyritään ennakoimaan vuoteen 2065 ja lämmitysenergia tuottamaan kaukolämmön avulla erilaisia, mahdollisimman kustanustehokkaita ratkaisuja käyttäen. Keskeiset tulokset esitetään tässä työpaperissa.



TERVEYDEN JA
HYVINVOINNIN LAITOS