



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 järkiperaistä 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. Helsingin kaupungin teettämä hajautetun energiantuotannon selvitys julkaistiin aivan vastikään, joten sen tietoja ei ole mallissa mutta niitä on tiivistelmässä pohdittu, samoin kuin konsernijaoston päätöstä 9.11.

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. Erityisesti haluamme kiittää Uusi energiapolitiikka -ryhmää ja sen aktiivista jäsentä Juha Sunia, joka mm. osallistui raportin viimeistelyyn. Kaikki päätelmät ja suositukset ovat kirjoittajien omia, eivätkä ne välttämättä edusta sen enempää THL:n kuin keskusteluun osallistuneiden tahojenkaan näkemyksiä. Nämä ovat kuitenkin tuoneet raportin sisältöön korvaamattoman arvokkaan lisän.

Loka- ja marraskuussa 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). Työpäpaperi 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 [jaettavaa 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 tärkeää 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 voimat 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 suoraa 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.

Pöyry jätti oman, kiinteistökohtaisen hajautetun energian tuotantopotentiaaliin (aurinkosähkö, aurinkolämpö, maalämpö) keskittyvän raporttinsa 22.9.2015. Sen ja sen pohjalta tehdyn kaupungin julkaiseman raportin mukaan teknis-taloudellinen potentiaali tällaiseen lämmöntuotantoon on noin 1200 GWh/vuosi vuoteen 2030 mennessä eli noin viidesosa nykyisestä kulutuksesta. Sähkön vastaava potentiaali on huomattavasti pienempi, noin 250 GWh/vuosi. Lämmityspotentiaali kohdistuu öljy- ja sähkölämmitystaloihin eikä siis juuri vaikuta kaukolämmön kysyntään. Kaukolämmitystaloissa lämmönlähteen vaihtamisen sijasta kannattaa raportin mukaan tehdä energiakorjauksia. Sofia olettaa maalämmön osuudeksi 2035 noin 500 GWh/vuosi eli hieman vähemmän kuin Pöyry, mutta ero ei muuta päätelmiä.

Näiden kahden raportin, Helenin kehitysohjelmasuunnitelman ja Hanasaaren vaihtoehtoja tarkastelleen vaikutusarvioinnin perusteella konsernijaosto päätyi suosittelemaan 9.11.2015 kaupunginhallitukselle kehitysohjelman vaihtoehtoa 3, joka on Sofian tarkatelemista skenaarioista kutakuinkin sama kuin **Isot biolämpöpökeskukset**. Sofian mukaan vaihtoehto näyttää terveys- ja ilmastovaikutuksiltaan keskimääräistä paremmalta vaikkei ole kokonaishinnaltaan halvin. Se kuitenkin vähentää sähkömavaraisuutta. Tämä konsernijaostonkin päätöksessä mainitaan, mutta arvio on paljon pienempi (5 prosentin lasku) kuin Sofian mukaan.

Mallien päätelmät tietenkin riippuvat käytettävän datan hyvydestä. Sofian osalta epävarmuuksien täsmentämiseen olisi ollut vielä tarvetta vaikkei aikataulumme antanut siihen mahdollisuutta. Erityisesti polttoaineiden hinnat ovat vaikeasti ennustettavissa. Myös polttoaineverot ovat suuria joillakin polttoaineilla kun taas toisilla eivät. Verotuksen avulla yhteiskunta siis itse asiassa päättää, mitkä rakaisut kaupunkitasolla osoittautuvat järkeviksi. 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 .....	21
Päätelmät .....	23
Linkkejä malliajoihin .....	24
Vaikutusarviointi .....	24
Kysymys .....	24
Oletettu käyttö ja käyttäjät .....	25
Osallistujat .....	25
Rajaus .....	25
Vaihtoehdot .....	25
Aikataulu .....	28
Vastaus .....	28
Perustelut .....	28
Matemaattinen malli .....	28
Toimenpidevaihtoehdot .....	29
Tätä menoa .....	30
Päästöt .....	30
Kustannukset .....	31
Tuotanto .....	31
Vuosaari C .....	32
Kuvaus .....	33
Päästöt .....	33
Kustannukset .....	36
Tuotanto .....	36
Vaikutukset Natura 2000 -alueelle .....	36
Hansaaren purku .....	36
Päästöt .....	37
Kustannukset .....	37
Hyöty .....	37
Hansaari 40 bio .....	37
Päästöt .....	38
Kustannukset .....	38
Tuotanto .....	39
Salmisaari 40 bio .....	39
Päästöt .....	40
Tuotanto .....	40
Biolämpölaitokset .....	40
Loviisan ydinkaukolämpö .....	41
Nesteen hukkalämpö .....	42
Hajautettu energiantuotanto .....	43
Suuret lämpöpumput .....	43
Energiansäästö .....	44
WWF:n energiansäästöohjelma .....	45

Yhteenvetotaulukko päästöistä .....	46
Muita mahdollisia vaihtoehtoja.....	46
Kouvolan metsäteollisuus.....	46
Uudenmaan laajuinen lämpökenttäpalvelu.....	46
Uusi Päijänteen vesistöalueen metsäteollisuus .....	47
Energiapäätökseen liittyviä arvoja .....	47
Katso myös .....	48
Tietokide mallin perusyksikkönä .....	48
Rakennuskantamalli .....	50
Energiatasemalli .....	51
Kysymys .....	51
Vastaus.....	51
Terveysvaikutusmalli .....	51
Kysymys .....	51
Vastaus.....	52
Liite: Arviointimallin yksityiskohtia (englanniksi).....	54

# 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).<sup>[2]</sup>

## 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.

### Hiilineutraaliksi 2050 (Carbon neutral 2050)

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

### Yhdistettyä biolla (CHP bio)

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

### Hajautettu ja merilämpö (Distributed and sea)

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

**Isot biolämpökeskukset (Helen proposition)**

Helenin kesäkuussa 2015 julkistama ehdotus, jossa rakennetaan biopolttoaineilla toimivia lämpökeskuksia ja vähitellen luovutaan sähkön ja lämmön yhteistuotannosta. Tätä myös konsortiojaosto suosittelee kaupunginhallitukselle 9.11.2015. Englanninkielisestä nimestä huolimatta Helen ei itse asiassa ole suosittelemassa tätä vaan vain toteaa, että tämä on yksi mahdollisuus ja ehdotetuista ehkä vähiten ongelmallinen.

**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.

**Investointikielto (Zero investment)**

Toteutetaan mahdollisimman vähän uusia rakennushankkeita.

**Käyttäjä**

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.

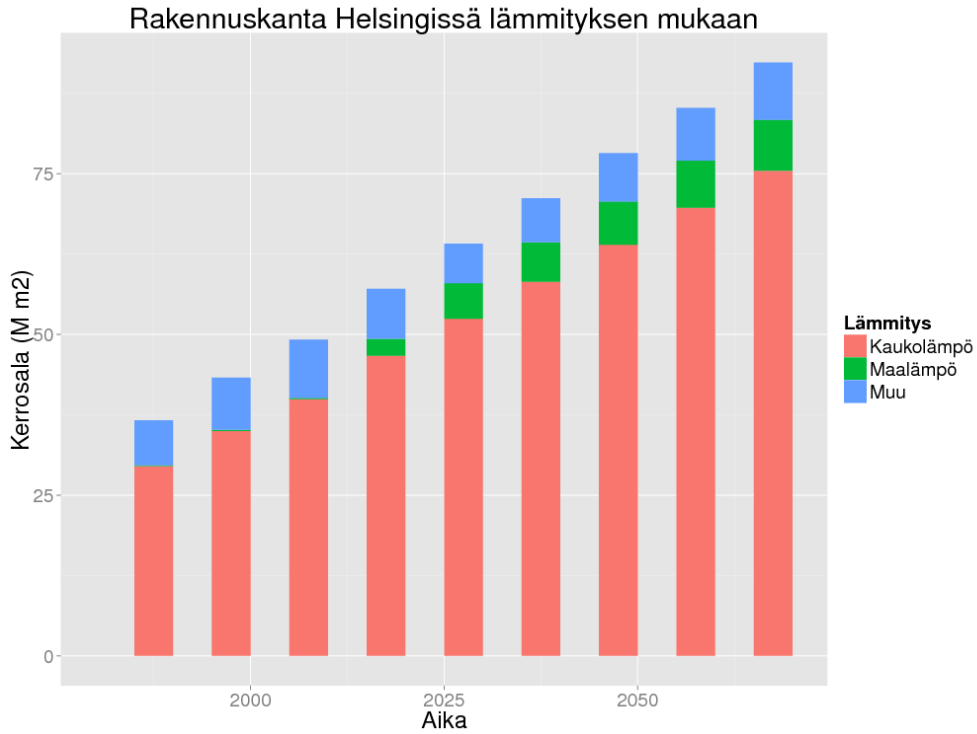
WWF päätyy omassa arvioissaan siihen, että jopa lähes puolet kaukolämmöntarpeesta voidaan säästää. Meidän mallimme ei ole niin optimistinen. Tärkeimpänä syynä on, että kuuman veden tarpeen oletetaan lisääntyvän suoraan suhteessa väestöön, joka kasvaa runsaasti tarkasteluajana. Toisaalta Olemme hieman 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 energijärjestyksestä 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.

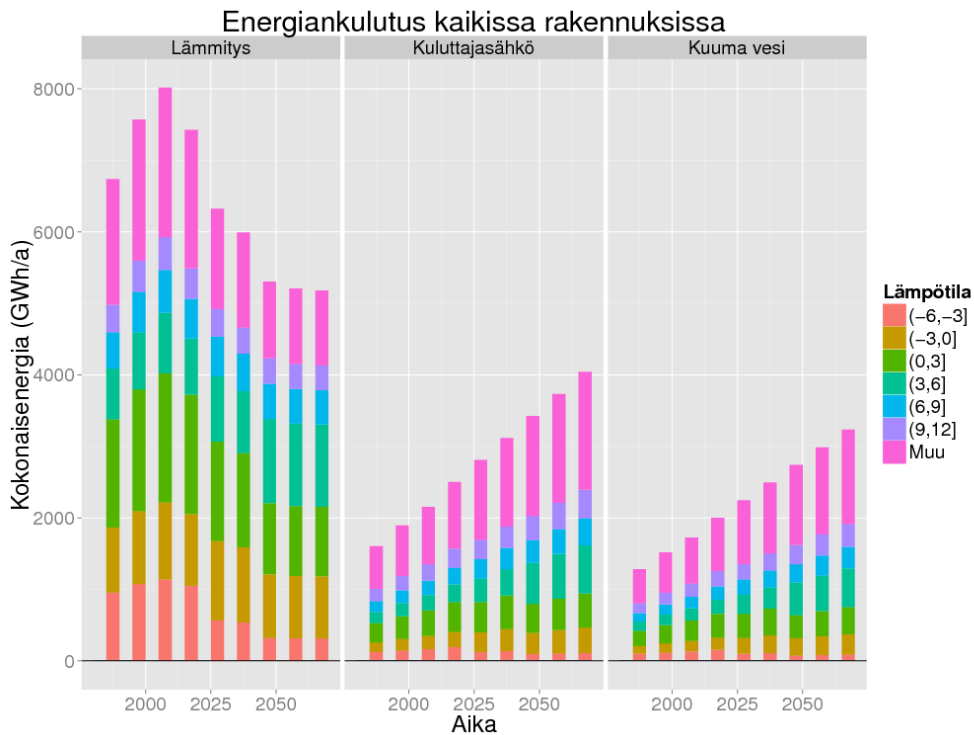
Polttoaineiden osalta on myös syytä huomata, että osa niistä on varsin raskaasti verotettuja eli itse asiaansa polttoaineen hinta onkin varsin paljon politiikkaa eikä pelkkää epävarmuutta. Tietenkin maailmanmark-



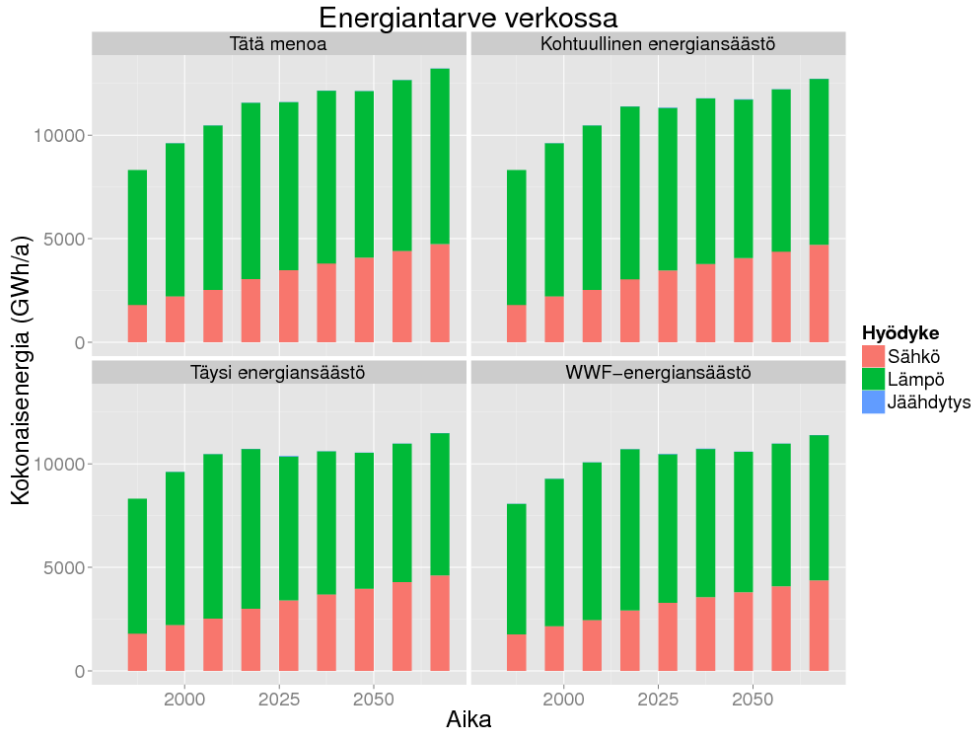
kinahinnat saattavat muuttua niin voimakkaasti, että verotusvaikutukset jäävät siinä toiseksi, mutta sellaisia isoja muutoksia emme mallissa oleta.



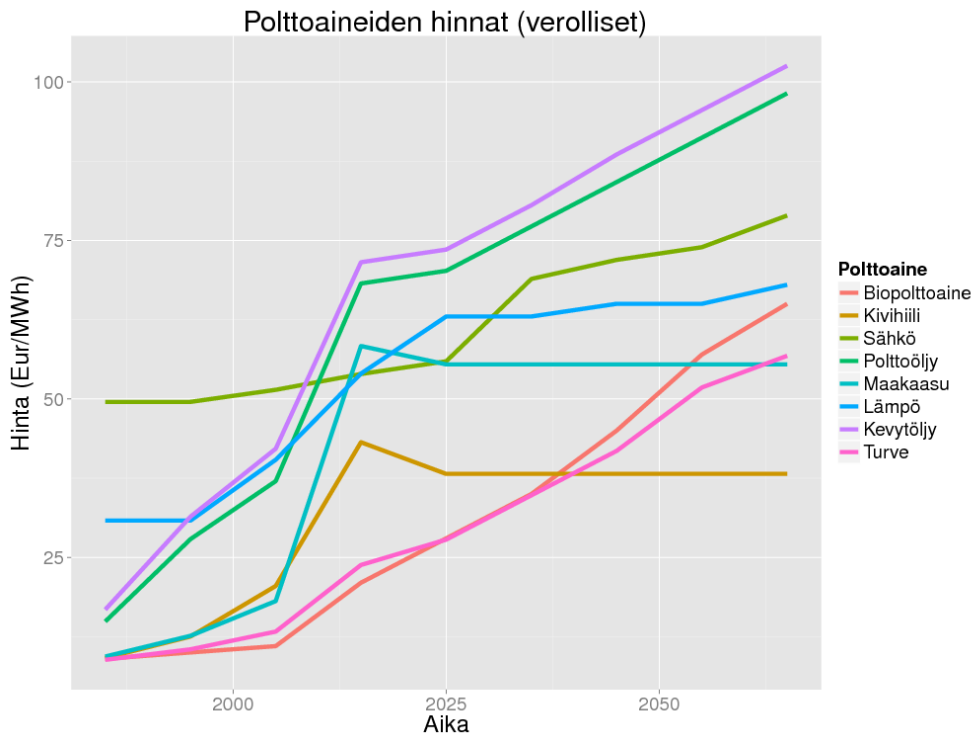
Kuva 1. Rakennuskannan koko Helsingissä 1985-2065 lämmitysmuodon mukaan.



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-, kaukokylmä- ja sähköverkossa Helsingissä. Ulos myytävä sähkö ei näy tässä.



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

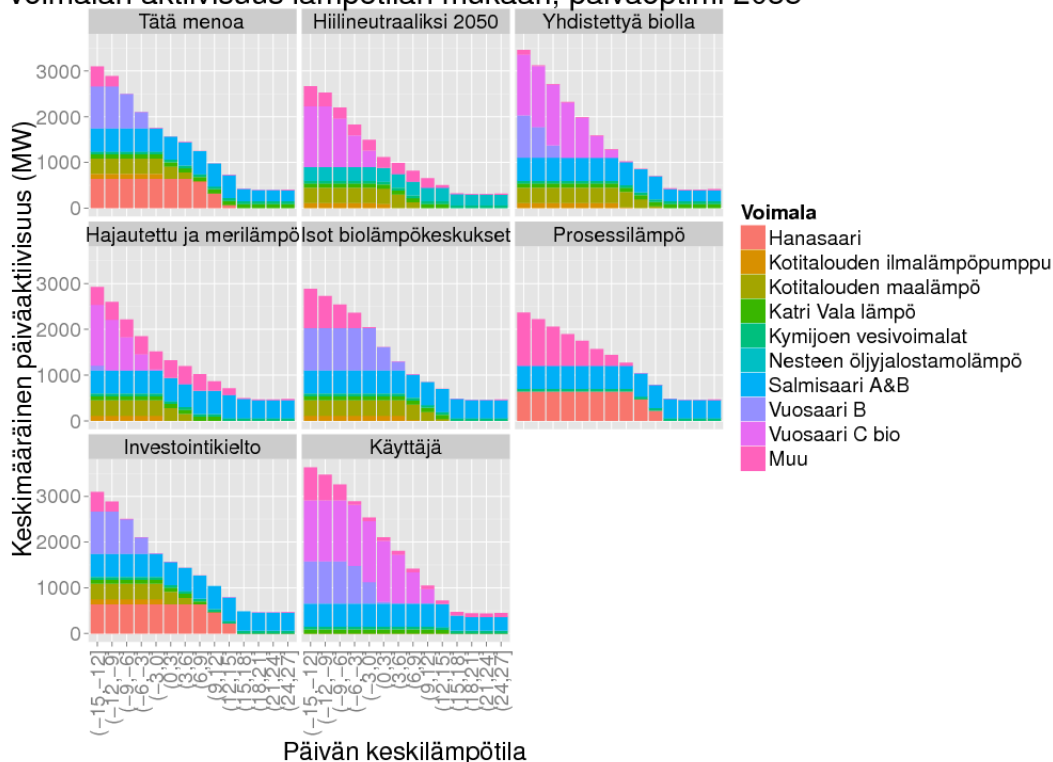
## Energiantuotanto

Sofia-mallin perustana on energiatase, joka lasketaan kaukolämmölle. Kaukolämmön tarjonnan on joka päivä vastattava senhetkistä kysyntää, olipa helle tai pakkasen. 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.

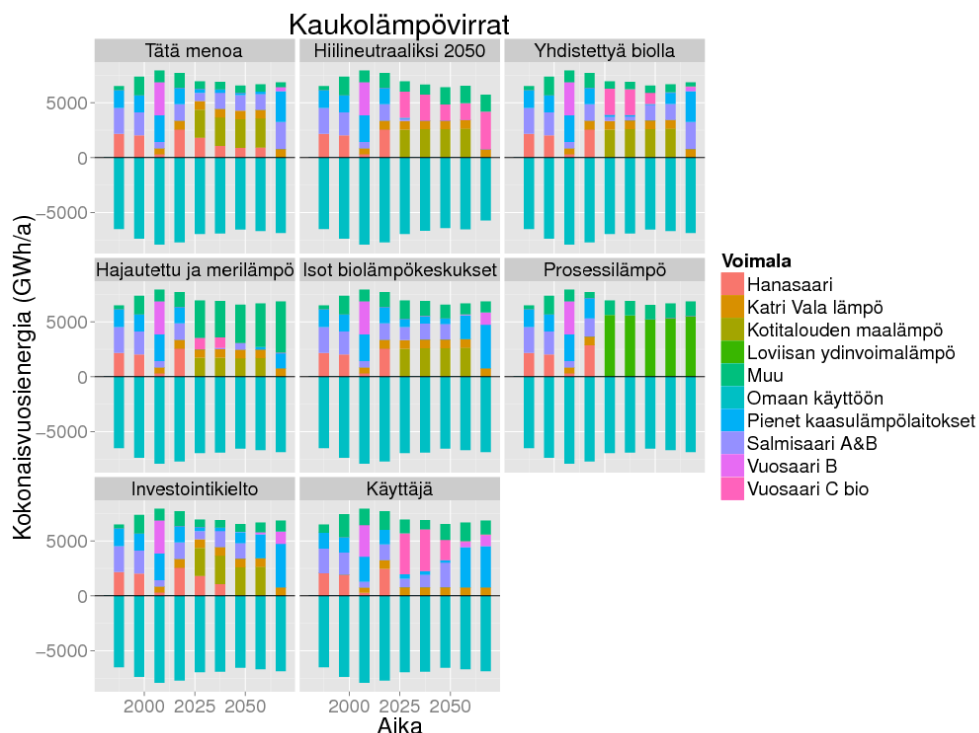
Sähköä tarkastellaan tässä arvioinnissa vain hyödyllisenä sivutuotteena, mutta silläkin on tärkeä rooli. Sofia siis olettaa, että sähköä on ostettavissa ja myytävissä valtakunnanverkosta rajattomasti vakiohinnalla. Meidän oli tarkoitus lisätä malliin osio, joka ottaa huomioon myös sähkön hinnan vaihtelut, 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.

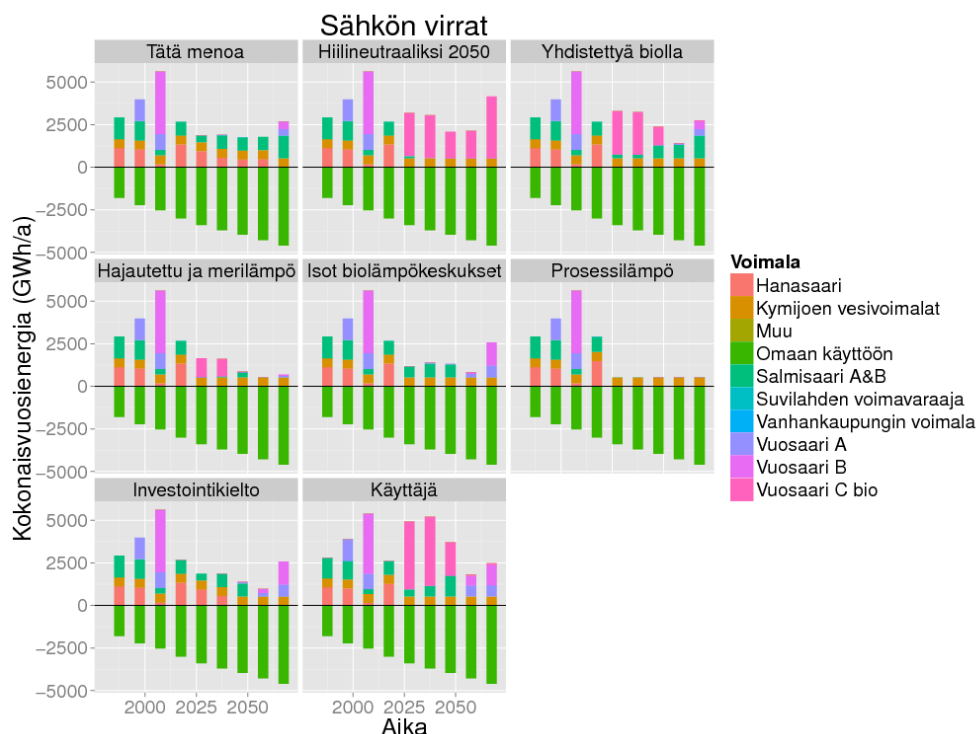
### Voimalan aktiivisuus lämpötilan mukaan, päiväoptimi 2035



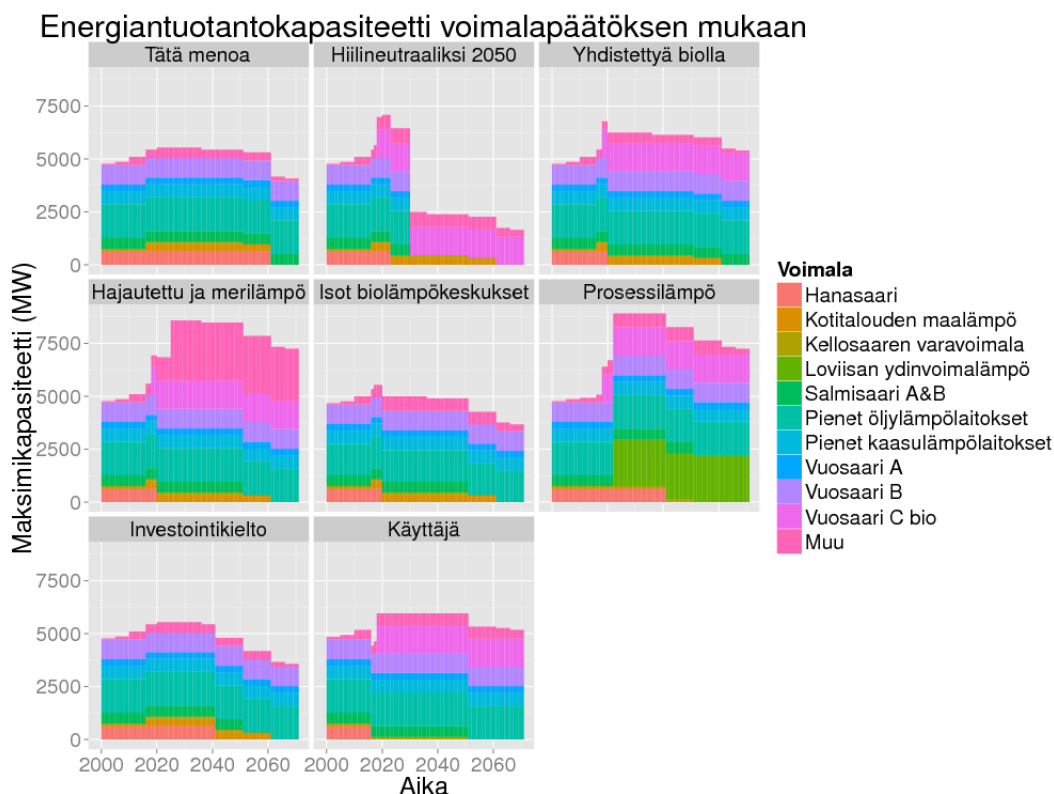
Kuva 5. Helsingin päivittäinen kaukolämpötase vuorokauden keskitenhona ilmoitettuna voimalaitoksittain. Tarve on eritelty päivän keskimääräisen ulkolämpötilan mukaan.



**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.**

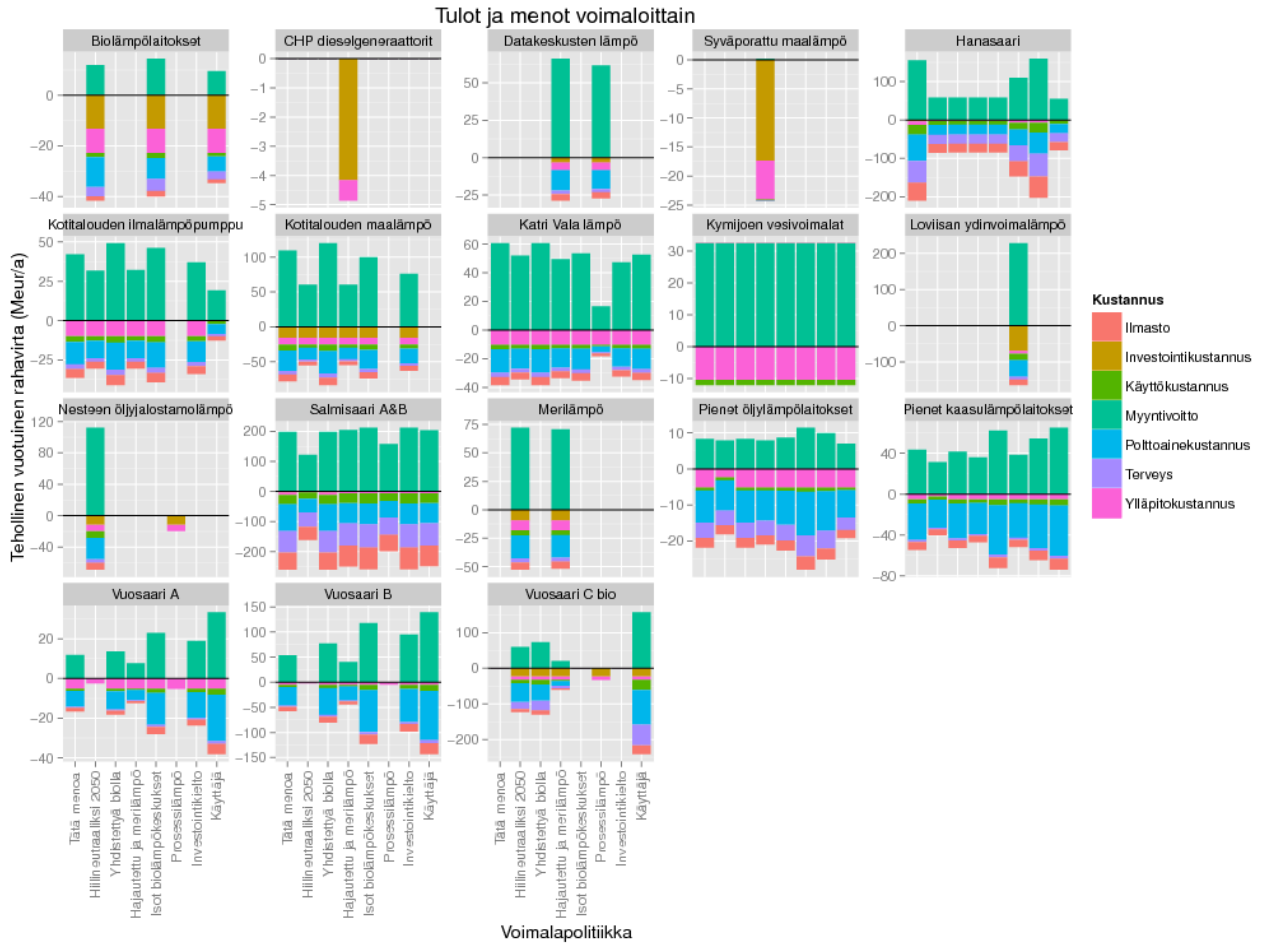
## Kustannukset

Sofia säättää 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 pienhiukkaspäästöt 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.

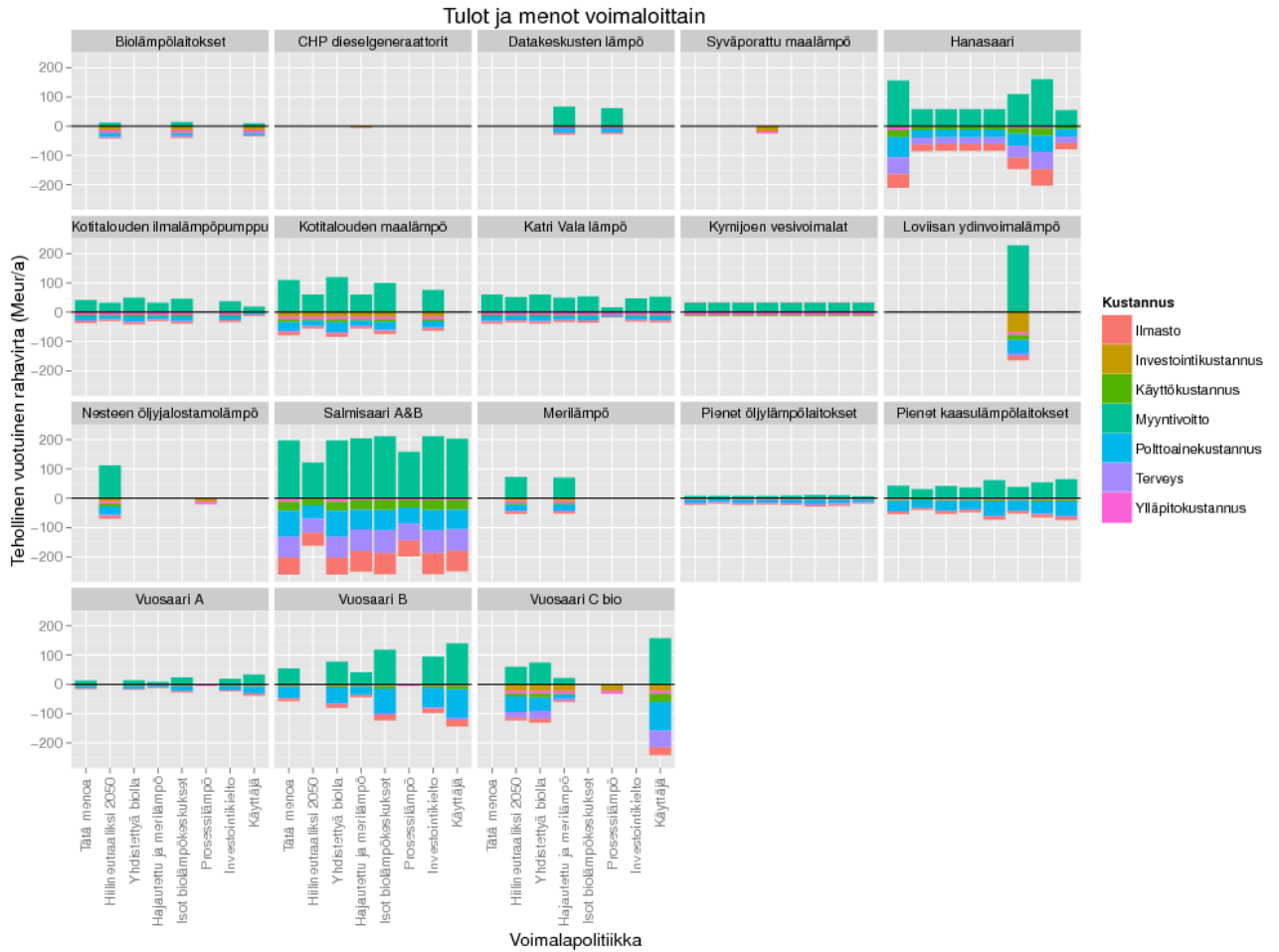
Kustannustehokkaita ratkaisuja näyttävät olevan mm. datakeskusten hukkalämpö, Katri Valan lämpöpumppulaitos (se on muita kustannustehokkaampi, koska se on jo olemassa), Nesteen prosessilämpö ja talokohtaiset lämpöpumput. Kustannustehokkuus näissä lämpöpumppuratkaisuissa perustuu siihen, että tarvittava 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 kustannusarvot ovat hyvin epävarmoja, ja ne pikemminkin kertovat, mitkä vaihtoehdot ovat kiinnostavia jatkoselvityksiä ajatellen. Suoraan näitä tuloksia ei pidä ottaa päätössuosituksina.

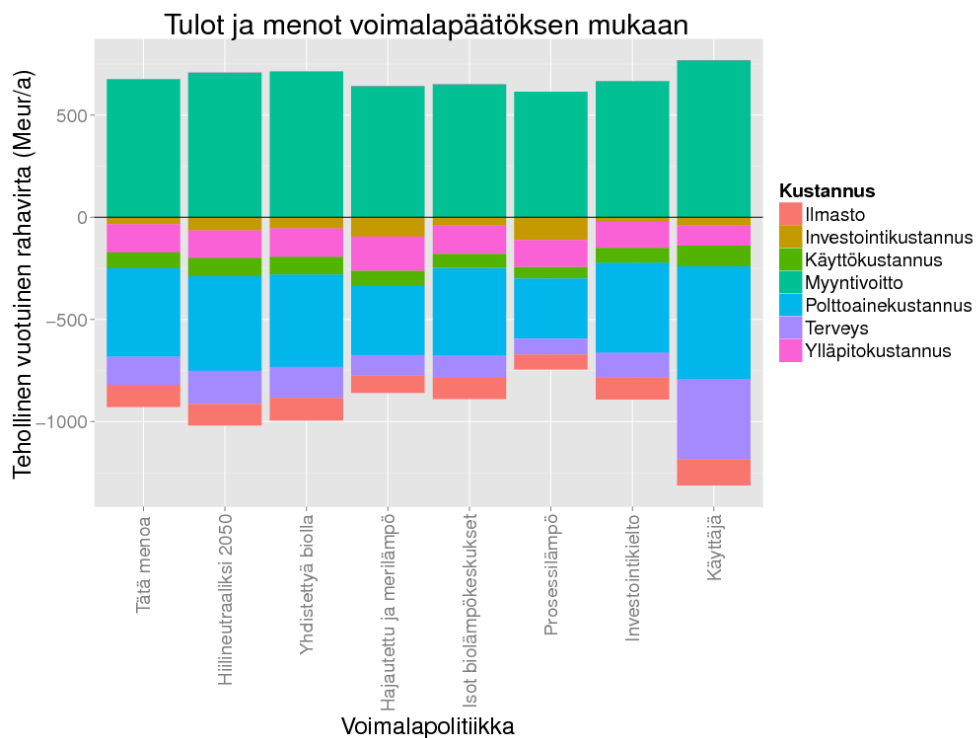


**Kuva 9. Helsingin voimalaitosten kustannustehokkuus. Kuvaajassa on jokainen voimalaitos omassa pikukupaneelissaan, ja jokainen voimalaitospolitiikka näkyy omalla pylväänään. Pystyakselilla on rahavirta tyypeittäin siten, että myyntivoitot menevät positiiviseen ja kustannukset negatiiviseen suuntaan. 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.**

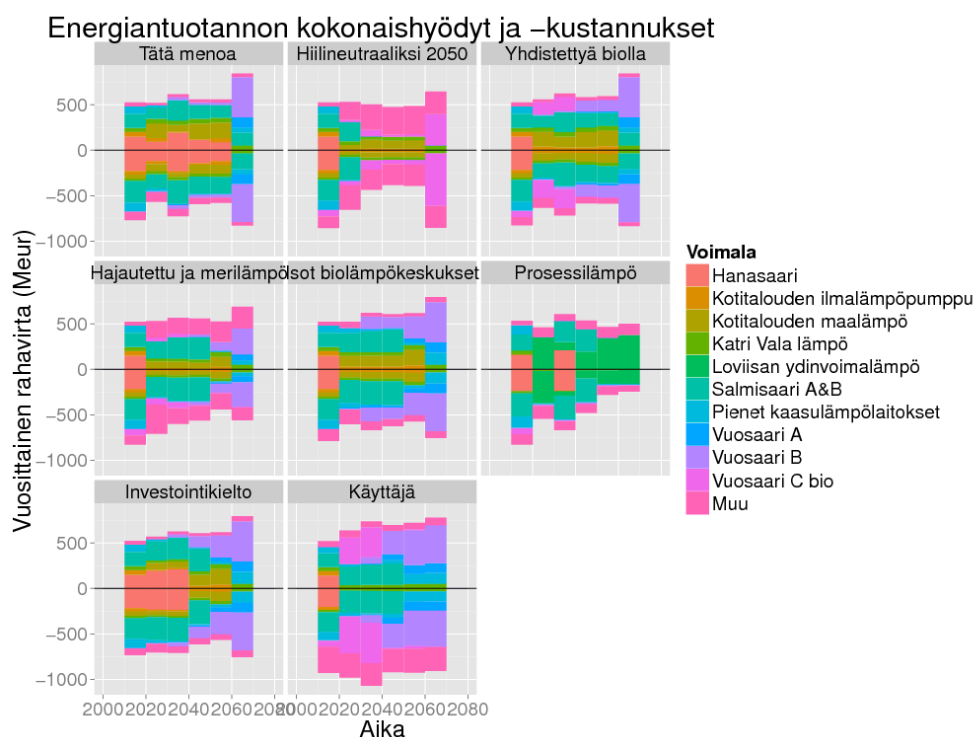




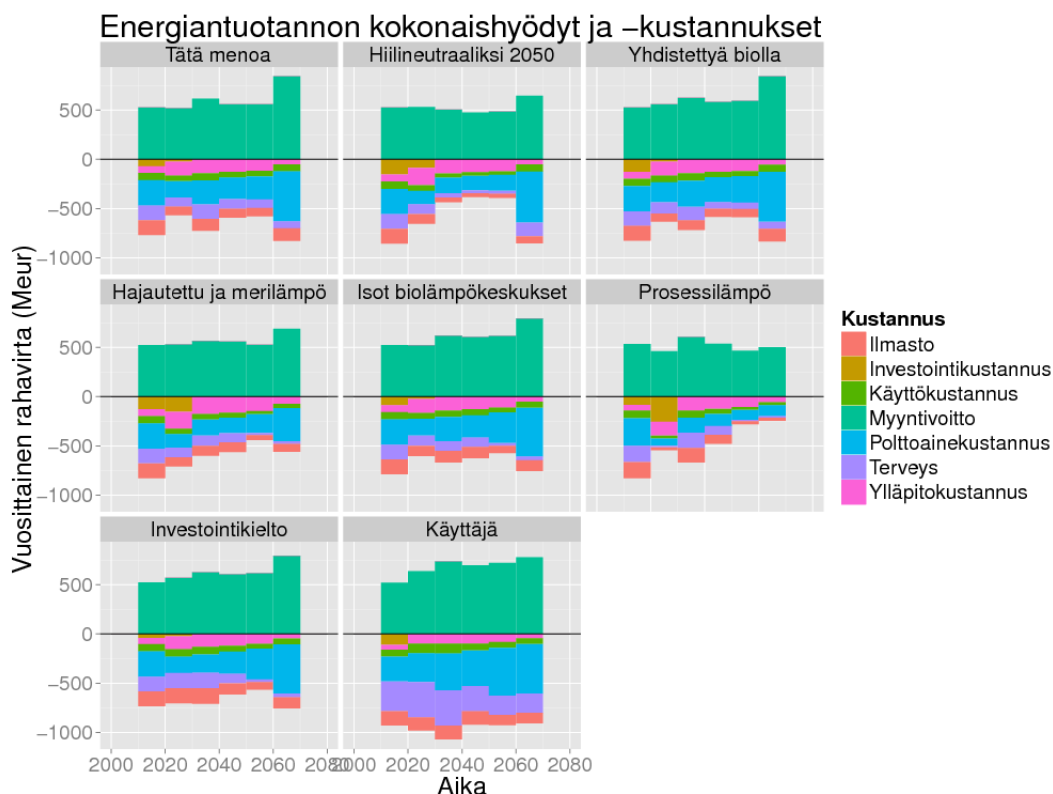
**Kuva 10. Helsingin voimalaitosten kustannustehokkuus. Kuvassa on sama sisältö kuin edellisessäkin, mutta tässä pystyakselien asteikko on kaikissa voimaloissa sama, jotta niiden keskinäinen vertailu on helpompaa.**



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



Kuva 12. Tulot ja menot energiantuotannosta ajan kuluessa voimaloittain.



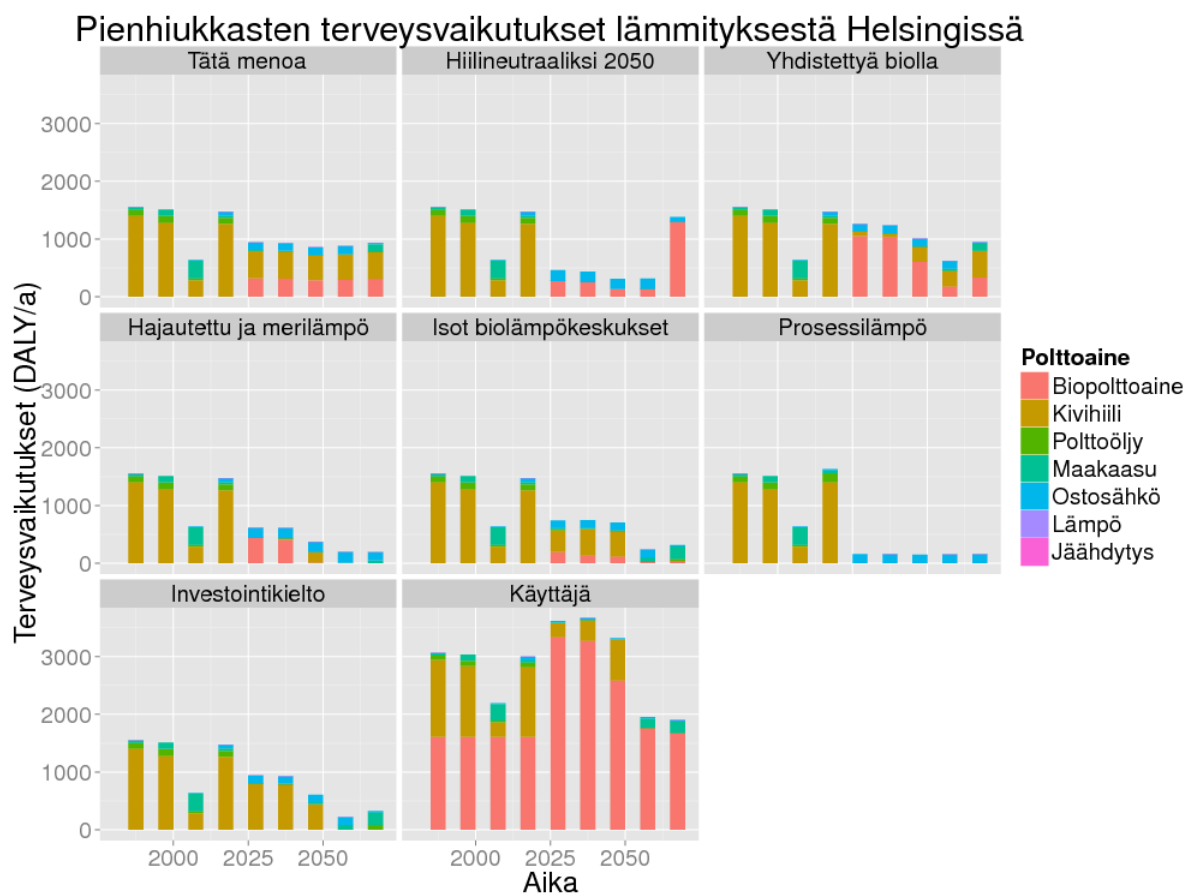
**Kuva 13. Tulot ja menot energiantuotannosta ajan kuluessa kustannuslajeittain. Isoja investointikustannuksia liittyy prosessilämpöön sekä Hajautettu ja merilämpö -vaihtoehtoon, kun taas isoja polttoainekustannuksia liittyy bioenergiaan nojaaviin vaihtoehtoihin.**

## Terveys- ja ilmastovaikutukset

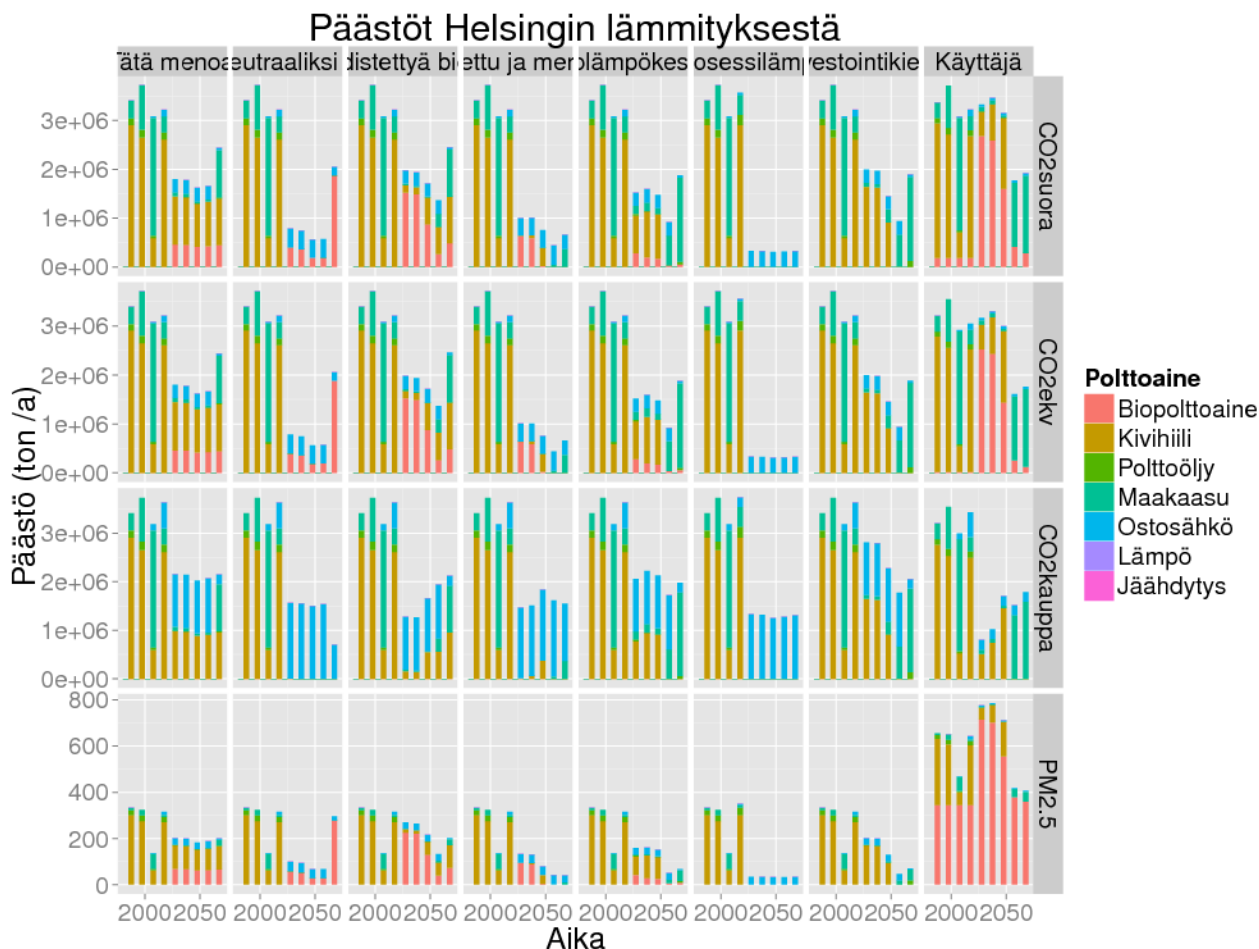
Terveyshaitat ovat kohtalainen menoerä, mutta se ei hallitse kokoatilannetta eikä se eroa kovin paljon eri ratkaisujen välillä. Sähköön nojaavat ratkaisut kuten prosessilämpö näyttävät tässä suhteessa paremmilta, mutta tämä perustuu oletukseen, että ostettu sähkö on tuotettu pienillä pienhiukkas päästöillä, 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 Käyttäjät-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. Otsikossa vain osittain näkyvät skenaariot ovat Tätä menoa, Hiilineutraaliksi 2050, Yhdistettyä biolla, Hajautettu ja merilämpö, Isot biolämpökeskukset, Prosessilämpö, Investointikielto ja Käyttäjä.

## 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.

Eriyisen 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.

## Linkkejä malliajoihin

- [25.10.2015 perusmalliajo, jossa on kaikki tulokset](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)

# 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 kaasun polttamista voimaloiden elinkaaren loppuun.
2. **Vuosaari C:** Vuosaareen 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 Salmisaareen ja Vuosaareen 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 porareistä ja tuottavat kaukolämpöä.
11. **Energiansäästö:** Energiansäästökampanja valtavalla skaalalla esimerkiksi rakennusten energiatehokkuutta parantaen. Tavoitteena energiankulutuksen voimakas vähentäminen.

Monet näistä vaihtoehdoista 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. Vaihtoehto Isot biolämpökeskukset vastaa kutakuinkin sitä, mitä konsernijaosto päätti suositella kaupunginvaltuustolle 9.11.2015.**

	Tätä menoa	Prosessilämpö	Isot biolämpökeskukset	Investointikielto	Hiilineutraaliksi 2050	Yhdistetty sähkö ja lämpö biovoimalla	Hajautettu 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 jäähditys	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Katri Valan lämmitys	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Kellosaaren varalauhdevoimala	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Kymijoen vesivoima	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä

**Taulukko 1. Mallissa tarkastellut poliittiset vaihtoehdot ja niiden sisältämät voimalaitosyhdistelmät. Vaihtoehto Isot biolämpökeskukset vastaa kutakuinkin sitä, mitä konsernijaosto päätti suositella kaupunginvaltuustolle 9.11.2015.**

	Tätä menoa	Prosessi-lämpö	Isot biolämpökeskukset	Investointikielto	Hiilineutraaliksi 2050	Yhdistetty sähkö ja lämpö biovoimalla	Hajautettu ja merilämpö
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 öljylämpökeskukset	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Ei	Kyllä	Kyllä
Puun pienpoltto	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei
Salmisaari A&B	kunnostetaan biopolto-aineille	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Ei	kunnostetaan biopoltoaineille	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 tietoaaineistoihin. Voit tutustua niihin näistä arvioinneista riippumatta ja rakentaa vaikka oman arviointisi niiden varaan.

## Perustelut

### Matemaattinen malli

Arvioinnin tueksi luotiin matemaattinen malli. Mallia kehitettiin avoimesti Opasnetissä, 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-energiänsäästöskenaariossa vanhoja rakennuksia puretaan 1 prosentti vuodessa, muissa skenaarioissa rakennuksia ei pureta.

Rakennuksiin arvioidaan tehtävän energiakorjausremontteja 1 - 4 prosenttia vuodessa skenaariosta riippuen. Useimmat remontit oletetaan pienehköiksi 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.

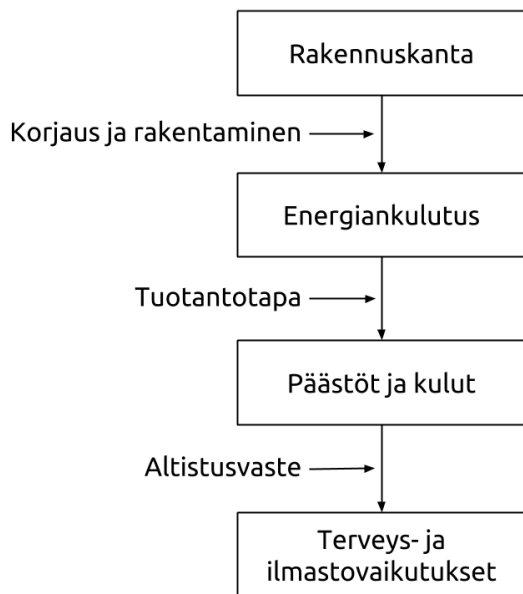
Päivittäinen energiankulutus syötetään energiatasemalliin, joka etsii mahdollisimman kustannustehokkaan tavan tuottaa tarvittava määrä kaukolämpöä skenaariossa käytössä olevien voimaloiden avulla. Jos sähköä tuotetaan liikaa tai liian vähän, erotus ostetaan valtakunnanverkosta olettaen, että sitä on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

**Päästöt ja kulut** lasketaan energiankulutuksesta optimoitujen tuotantotapojen määrien perusteella. Eri prosessien ominaispäästöt perustuvat pääasiassa suomalaiseen tutkimuskirjallisuuteen ja mm. SYKE:n 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 biopolttoaineille pienemmät päästöt kuin muut menetelmät. Hiilidoksidipäästön 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 päästöstä 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.



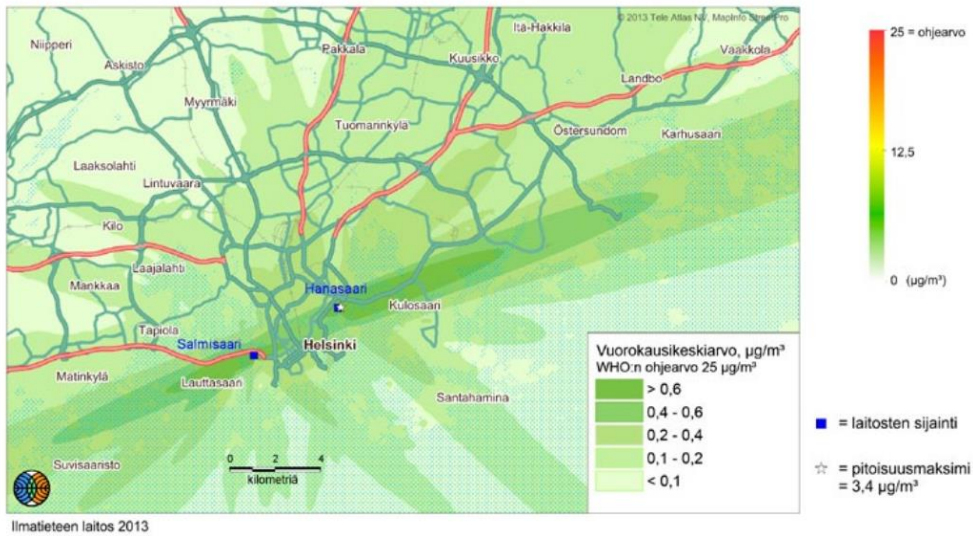
Kuva 16. Energiapäätös-arvioinnin taustalla oleva matemaattinen malli yksinkertaistettuna.

## 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 (PM<sub>10</sub>) 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 teollisuuspäästödirektiivin edellyttämät muutokset voimalaitoksissa toteutetaan. Teollisuuspäästödirektiivi määrittää Euroopan Unionissa sijaitseville voimalaitoksille uudet päästöraja-arvot 1.1.2016 alkaen. Näiden raja-arvojen saavuttaminen edellyttää sekä Hanasaaren että Salmisaaren voimalaitoksissa muutoksia.<sup>[3]</sup>

Hanasaarissa toteutettavat muutokset ovat:<sup>[3]</sup>

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

Salmisaaren toimenpiteet pitävät sisällään:<sup>[3]</sup>

- 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<sup>[3]</sup>**

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

**Taulukko 3. Hanasaaren ja Salmisaaren sivutuotteet<sup>[3]</sup>**

	Lentotuhka (t/a)	Pohjatuhka (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<sup>[3]</sup>**

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

## Kustannukset

Ei kiinteitä kustannuksia, koska mitään ei rakenneta tai uusita.

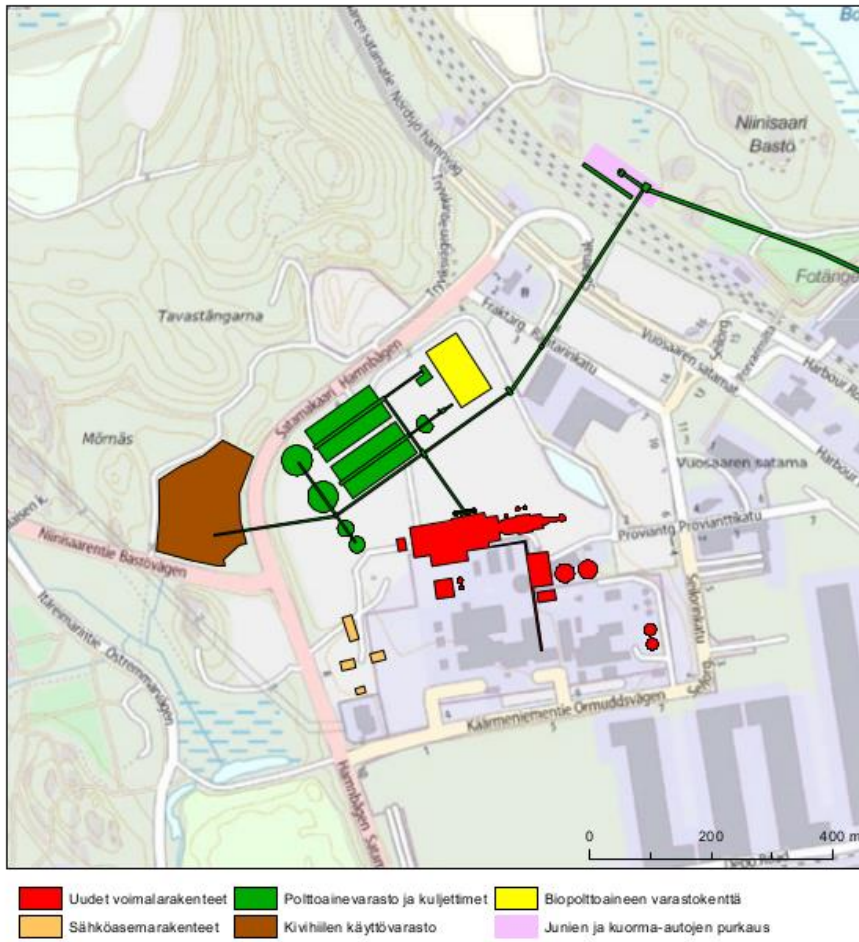
Polttoaineissa hiilen kustannukset vähenevät hieman, kun sen tilalla poltetaan pieniä määriä pellettejä ja sitä tarvitsee vähemmän. Pellettejä tuodaan Hanasaaren laitokselle korkeintaan 11 rekkalastillista päivässä ja Salmisaaren laitokselle korkeintaan 14.<sup>[3]</sup>

## Tuotanto

**Taulukko 5. Energiantuotanto Hanasaaren ja Salmisaaren voimaloissa.<sup>[4]</sup>**

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

Vuosaari C



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



Kuva 19. Vuosaaresta Hanasaareen suunniteltu energiatunneli. [\[3\]](#)

Vuosaaren rakennetaan uusi voimala. Uusi voimala (Vuosaari C) voi polttaa biopolttoaineita, lähinnä puuhaketta, ja hiiltä millä tahansa suhteella. Vuosaaresta rakennetaan energiatunneli Hanasaareen 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
- Päätöksentekjä: Helsingin kaupunki, Helen

#### Kuvaus

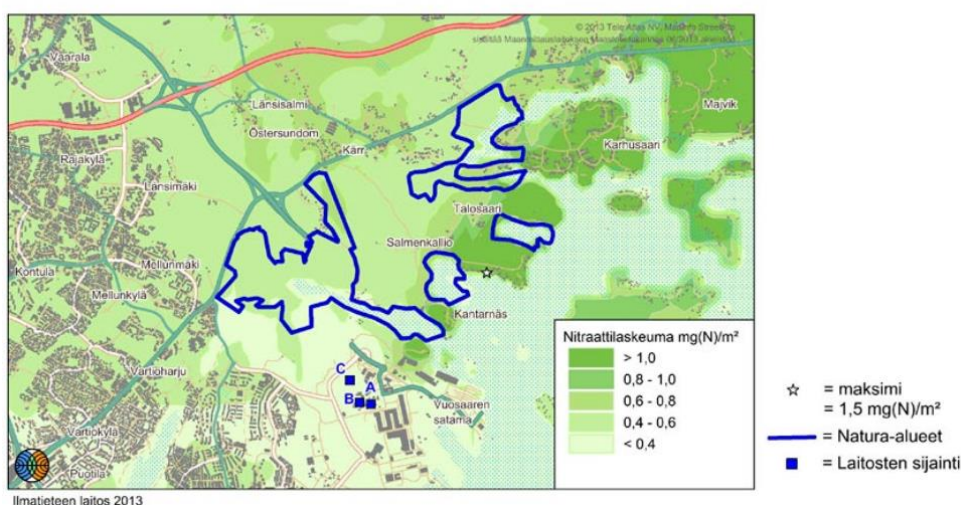
Vuosaaren rakennetaan uusi C-voimalaitos sekä kaukolämmön ja sähkön siirtoon tarkoitettu energiatunneli Vuosaaresta Hanasaareen. Vuosaaren C-voimalaitoksen suunnitelmien perustana on oletus, että laitoksessa käytetään pääosin biopolttoaineita (enintään 80%) sekä kivihiiltä (20%).<sup>[3]</sup> Käytettäviksi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

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.<sup>[3]</sup>

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.<sup>[3]</sup>

#### Päästöt

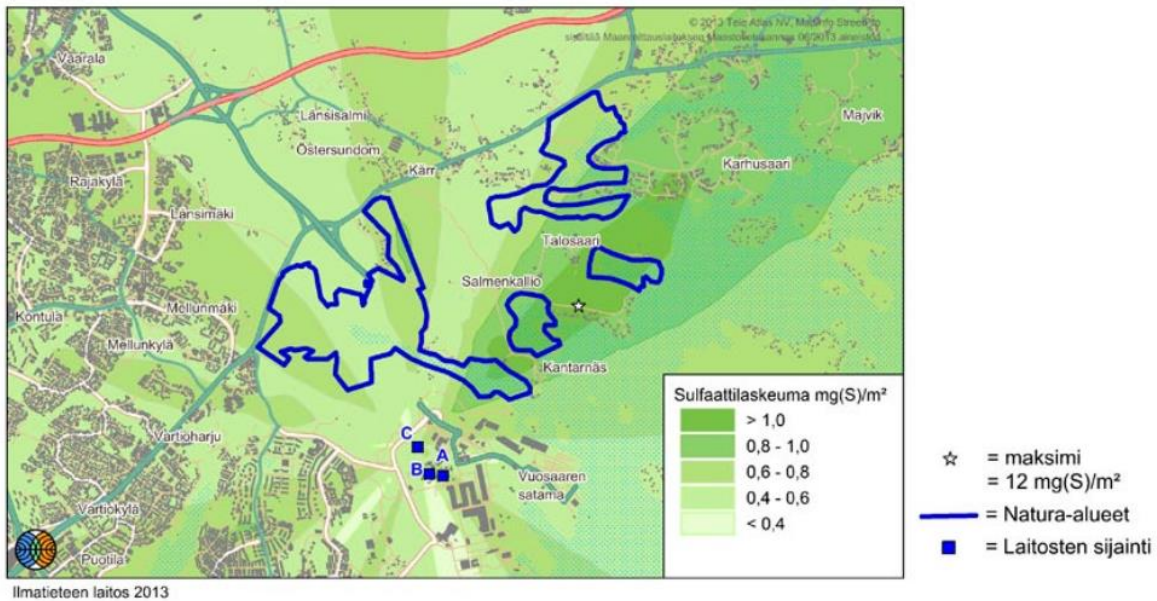
##### VE1 Vuosaari A, B ja C nitraattityppilaskeuma



Kuva 20. Vuosittainen nitraattityppilaskeuma Vuosaaren A, B ja C voimaloista yhteensä.<sup>[3]</sup>

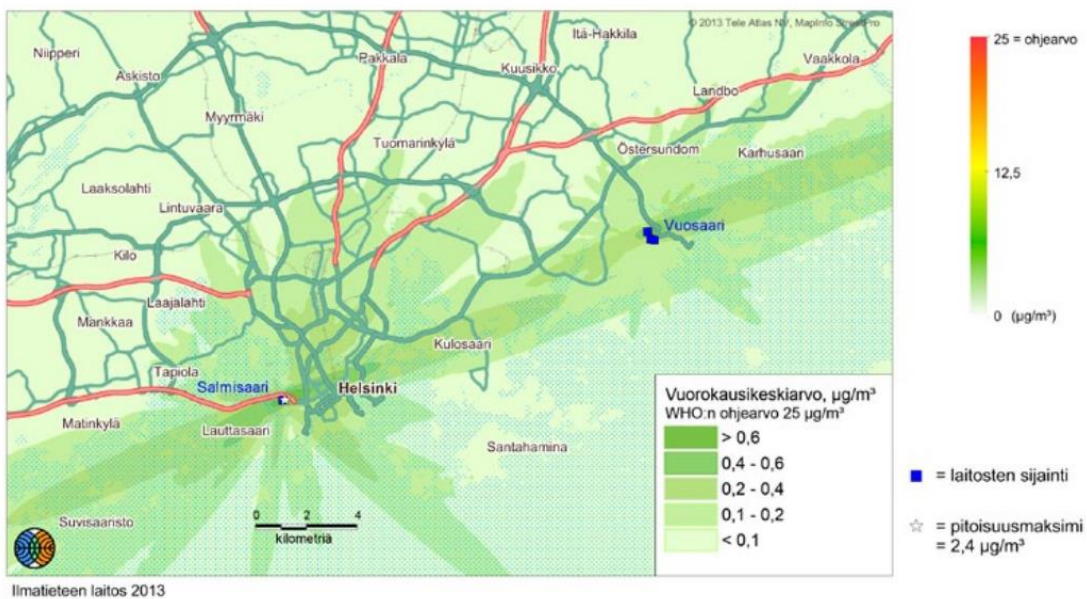


## VE1 Vuosaari A, B ja C rikkilaskeuma



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, juna 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 laimenemistä 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 epäpuhtauspitoisuustasoihin. Laskeumalla ei arvioida olevan haitallisia vaikutuksia Natura-alueiden kasvillisuuteen Östersundomin lintuvesien ja Mustavuoren lehdon Natura-alueella tai etäämpänä koillisen suunnassa sijaitsevalla Sipoonkorven Natura-alueella.<sup>[3]</sup>

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.<sup>[3]</sup>

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.**<sup>[3]</sup>

	CO <sub>2</sub> , kt/a	CO <sub>2</sub> -ekv, kt/a (sis. fossiilisten polttoaineiden khk-päästöt)	CO <sub>2</sub> -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.**<sup>[3]</sup>

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<sup>[3]</sup>

Voimalaitos	NO2 (t/a)	SO2 (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.<sup>[5]</sup> Vuonna 2011 tehdyn arvion mukaan itse voimala maksaa arviolta noin 650 miljoonaa euroa, energiatunneli 180 miljoonaa. Arvio kokonaiskustannuksista oli 1,2 miljardia euroa.<sup>[6]</sup>

### Käyttökustannukset

Vuotuinen polttoaineen kulutus tulee olemaan noin 4 TWh riippuen vuodesta sekä laitoksen ajotavasta.<sup>[3]</sup>

Mikäli Vuosaaren C-voimalaitos käyttäisi 100 %:sti 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 kivihiiltä.

Mikäli Vuosaaren C-voimalaitos käyttäisi pelkästään kivihiiltä, sitä tarvittaisiin vuodessa 660 000 tonnia.<sup>[3]</sup>

### Taulukko 9. Polttoaineen kulutus Vuosaari C:ssä C<sup>[3]</sup>

		Kivihiili	Metsähake	Puupelletti
Polttoaineen kulutus	t/h	0–108	0–334	0–178
Polttoaineen kulutus	m <sup>3</sup> /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.<sup>[7]</sup>

### 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.<sup>[3]</sup>

## 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.

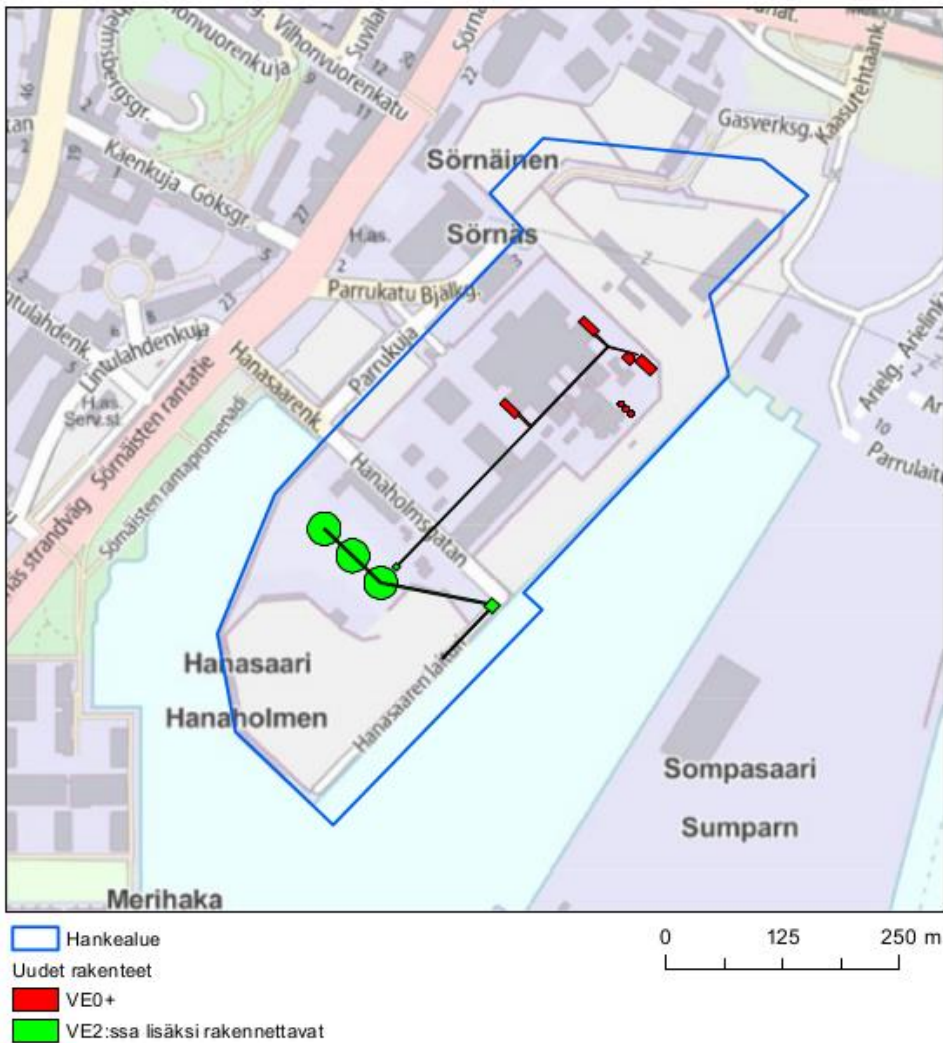
### Kustannukset

Purun kustannukset, asuinrakennusten rakennuskustannukset.

### Hyöty

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

### Hanasaari 40 bio



Kuva 23. Hanasaaren alue vaihtoehdossa Hanasaari 40 bio. <sup>[3]</sup>

Hanasaaren voimala remontoidaan polttamaan 40% biopolttoaineita hiilen seassa.

#### Vaikutukset:

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

#### Päästöt

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

**Taulukko 10. Kasviuonekaasupäästöt Hanasaaresta ja Salmisaaresta yhteensä, jos molemmat polttavat 40% biopolttoaineita<sup>[3]</sup>**

	CO <sub>2</sub> , kt/a	CO <sub>2</sub> -ekv, kt/a (sis. fossiilisten polttoaineiden khk-päästöt)	CO <sub>2</sub> -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<sup>[3]</sup>**

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

**Taulukko 12. Sivutuotemäärät Hanasaaresta<sup>[3]</sup>**

Lentotuhka (t/a)	Pohjatuuhka (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.<sup>[6]</sup>



## 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.<sup>[3]</sup>

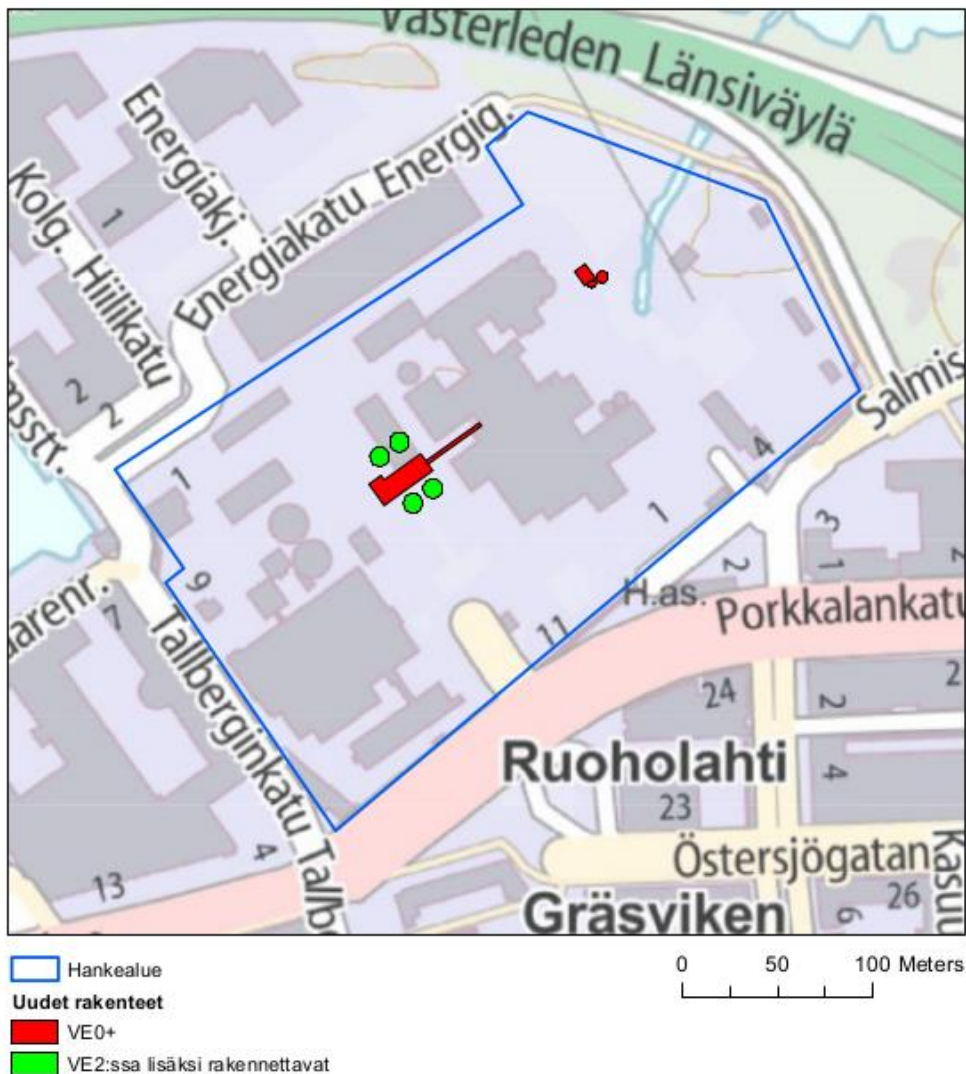
## Tuotanto

Tuotanto Hanasaassa ei muutu, vaikka polttoaine muuttuisikin.

Taulukko 13. Energiantuotanto Hanasaassa.<sup>[8]</sup>

Sähkö MW	Lämpö MW	Polttoaine
220	420	hiili, pelletit

## Salmisaari 40 bio



Kuva 24. Salmisaaren alue vaihtoehdossa Salmisaari 40 bio<sup>[3]</sup>

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.** <sup>[3]</sup>

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

**Taulukko 15. Salmisaaren voimalaitoksilla vuodessa syntyvät sivutuotemäärät 40% biopolttoaineosuudella** <sup>[3]</sup>

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

Salmisaaressa 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 Salmisaaressa käytettäviä pellettejä tuotaisiin myös Hanasaaren sataman kautta. Jos kaikki Salmisaaressa käytettävät pelletit kuljetettaisiin Hanasaaren kautta, sen satamaan kulkisi vuosittain noin 90 pelletti- ja kivihiilialusta tuomaan polttoainetta Salmisaareen. <sup>[3]</sup>

**Tuotanto**

Tuotanto Salmisaaren laitoksella pysyy samana, vaikka polttoaine muuttuisikin.

**Taulukko 16. Tuotanto Salmisaaren voimalaitoksella.** <sup>[4]</sup>

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. <sup>[9]</sup>

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**

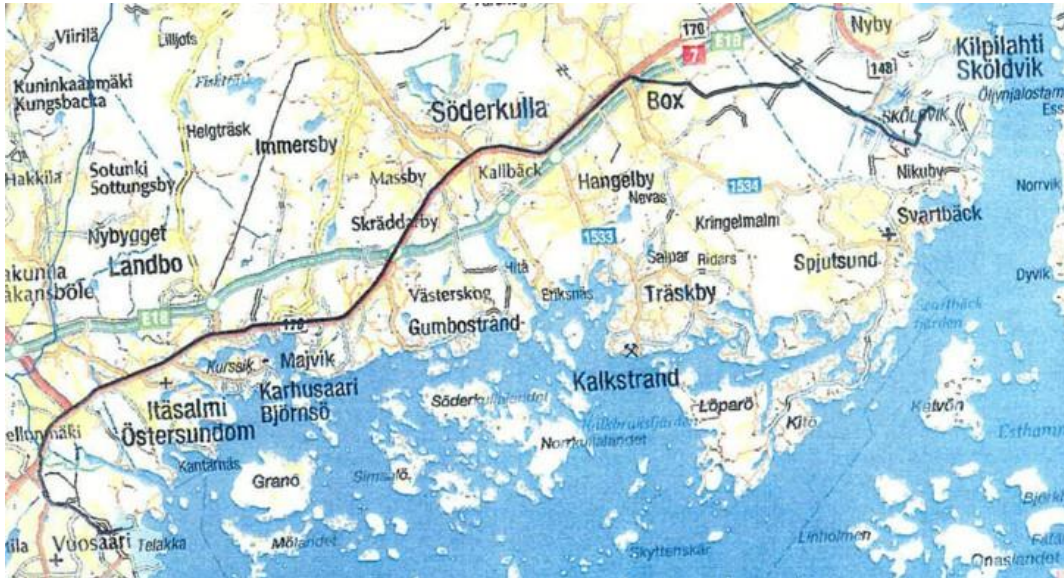
Uudessa Loviisan laitossyöksikössä olisi lämpöteholtaan enintään 4 600 megawatin kevytvesireaktori ja yksikön nettosähköteho olisi 1 000 - 1 800 megawattia. Mikäli laitossyöksikkö tuottaisi myös kaukolämpöä, sen sähköteho olisi 800 - 1 600 megawattia ja kaukolämpöteho olisi noin 1 000 megawattia. <sup>[10]</sup>

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 ydin-

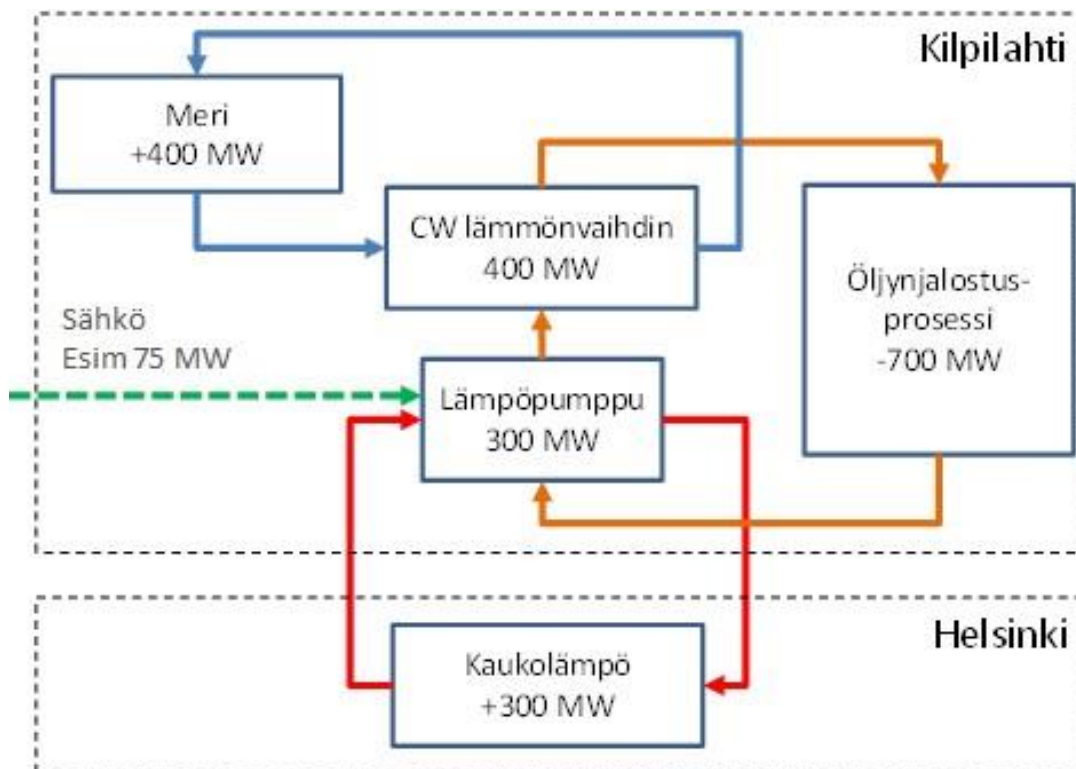
voimalan sähköteho hieman laskisi, mutta kokonaisuutena ydinkaukolämmön omakustannushinta olisi 16 euroa per megawattitunti [\[11\]](#)

Ydinkaukolämpö tulisi Pöyryn selvityksen pohjalta siinä tarkastelluista vaihtoehdoista taloudellisesti raskaimmaksi. 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 Vuosaaren



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 CO<sub>2</sub>-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 ME.

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. <sup>[13]</sup>

**Suuret lämpöpumput**

Rakennetaan suuria lämpöpumppuja, jotka ottavat lämpöä Itämerestä (kuten Tukholmassa) tai erittäin syvistä porareivistä 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 CO<sub>2</sub> 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 ktCO<sub>2</sub>). 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 ktCO<sub>2</sub>), mutta sen näkyvyys voisi olla merkittävä samoin kuin toimivuus yksityisten taloyhtiöiden motivointi- ja herättelykeinona.
- **R6 Energiarenessansi – matalaenergiasaneerauksien yhteishankkeet:** Parannetaan olemassaolevan rakennuskannan energiatehokkuutta peruskorjauksien yhteydessä. Toimenpiteen vaikuttavuus on merkittävä (120 GWh, 24 ktCO<sub>2</sub>), 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 ktCO<sub>2</sub>), 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 ktCO<sub>2</sub>), 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 ktCO<sub>2</sub>) 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 ktCO<sub>2</sub>), mutta se edellyttää myös suurehkoja investointeja (5 milj. euroa).<sup>[14]</sup>

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. Kysyntäjouston lisääntyminen vähentää huippu-, säätö-, ja reservivoiman tarvetta ja alentaa näin energiakustannuksia. <sup>[13]</sup>

### 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. <sup>[4]</sup> <sup>[15]</sup>

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 m<sup>2</sup>/hlö ja työpaikkaväljyys 52,0 m<sup>2</sup>/työpaikka. Oletettu keskimääräinen asuinikerroskorkeus 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 korjauksien seurauksena saavutettavat energiatehokkuussäästöt suhteessa lähtötilanteeseen WWF:n mukaan.** <sup>[15]</sup>

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

Huomautus: Yllä olevan, WWF:n raportista saadun taulukon lukuja ei käytetä, koska ne lienevät liian suuria: jos 33 % parannus on 124-168 kWh/m<sup>2</sup>/a, niin lähtötaso 372-504 kWh/m<sup>2</sup> on epäuskottavan korkea. Taulukko on kuitenkin laitettu tähän tiedoksi ja pohdittavaksi.

**Taulukko 18. Uudisrakentamisen energiankulutus (kWh/m<sup>2</sup>/a).**<sup>[15]</sup> Tässä oletetaan huomattavaa tehostumista, koska vanhemmissa rakennuksissa arvot ovat tyypillisesti 150 kWh/m<sup>2</sup>/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. <sup>[16]</sup>

### 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 laajuisessa 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 m<sup>3</sup> vuodessa Lahteen ja 200-300 000 m<sup>3</sup> vuodessa Keravalle tai Vuosaaren rautateitse. Ellei Uusimaa huoli kotimaista biopoltoainetta, se voidaan kuljettaa rautateitse Naantalin 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 satamakautunginosasta kantakaupungille ja siitä edelleen lämmön ja höyryn toimituksista teollisuuteen ylös jokivartta. 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 materiaali ei mahdollista järjestelmällistä yhteenvetoa vallitsevista arvoista.

- Osa vastustaa sähkön hinnan nousua vahvastikin. <sup>[17][18]</sup> Matala sähkön hinta nähdään hyvänä asiana kilpailukyvyyn ja matalatuloisten toimeentulon takia.
- Sähkön tuntihinnoittelu nähdään pääasiassa hyvänä asiana, kulutushuippujen tasaamisen tuoma säästö (sekä energiavisiaille kansalaisille että valtiolle vähentyneen varavoimalatarpeen takia) ja kansalaisten energiantuotannon ymmärryksen lisääminen mainitaan. <sup>[19][20]</sup>
- Hajautetun energiantuotannon tukeminen herättää kannatusta esim. pienimuotoisen (alle 5 kW) energiatuotannon verovapautena, byrokratian väheneminen mainitaan. Toisaalta taas monimutkaiset verohelpotusten ja tukien tilkkutäkkiä halutaan välttää. Osa vastustaa hajautusta koska keskitetty energiantuotanto nähdään tehokkaampana ja halvempaan. <sup>[21][20]</sup>
- Aurinkopaneelien velvoitus uusiin rakennuksiin jakaa mielipiteet kahtia. Kannattajat haluavat lisätä uusiutuvaa energiantuotantoa ja tukea suomalaisia aurinkopaneelien valmistajia. Vastustajista osa argumentoi velvoittamista vastaan (uskotaan, että aurinkopaneelit voivat kohta kilpailla hintansa ja tehokkuutensa puolesta) ja osa itse aurinkovoimaa vastaan (nähdään aurinkopaneelit lähtökohtaisesti tehottomana tapana tuottaa energiaa, suositaan mieluummin joko maalämpöä tai keskitetympää energiantuotantoa). <sup>[22][20]</sup>

### Facebookin Uusi energiapolitiikka -ryhmästä

- Japanilaiset ovat kehittäneet kätevän 3 sentin paksuisen polttokennon, josta saa 700W tehon. Hyötykäyttöön saatavaa kilowattituntia kohden kaasun hinta on pientaloihin lämmityskäyttöön kaikkinen kuluineen toimitettuna noin 10 senttiä. Kesällä energian voisi saada auringosta ja tallentaa akkuihin yötä varten, ja talvella sähkön voisi saada polttokennoilla kaasusta ja lämmön lämpöpumpuilla 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 biopoltoaineet, mutta niitä ei saa mistään. Rypsiöljyyn ja biojätejakeista valmistettuun lämmitysöljyyn vaihtaminen olisi sinänsä investointia pieni, sillä vain polttimo ja kattila pitäisi vaihtaa, mutta rypsin saatavuus on suureen muutokseen liian huono.
  - Rypsiöljy ei sovellu kestävyyskriteerien takia talojen lämmittämiseen muutenkaan. Porolyysiöljy voisi toimia paremmin.

### Katso myös

- Mykkänen, Kai. HS 1.8.2015: [Energia tuotannon 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

**Muuttajat** tai täsmällisemmin sanottuna **avoimet muuttajat** eli **tietokiteet** antavat senhetkisen parhaan vastauksen johonkin täsmälliseen tutkimuskysymykseen perustuen olemassaolevan tiedon joukkoistettuun tulkintaan. Tietokiteet ovat [arviointien](#) peruselementtejä. Ne kuvaavat aina jotakin reaali maailman 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 lisääntymässä. 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 tieteenteon 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 joukkoistetuksi 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	<a href="#">Helsingin energiapäätös 2015</a>   <a href="#">Helsingin energiapäätöksen vaihtoehdot 2015</a>   <a href="#">Helsingin energiapäätökseen liittyviä arvoja</a>   <a href="#">Rakennuskantamalli</a>   <a href="#">Otakantaa-keskustelu</a>    <a href="#">Helsingin energiapäätös 2015</a>    <a href="#">Helsingin energiapäätös 2015 -evaluaatio</a>
<a href="#">Englanniksi</a>	
Arviointi	<a href="#">Main page</a>   <a href="#">Helsinki energy decision options 2015</a>
Helsingin data	<a href="#">Climate change policies in Helsinki</a>   <a href="#">Building stock in Helsinki</a>   <a href="#">Energy balance in Helsinki</a>   <a href="#">Helsinki energy production</a>   <a href="#">Helsinki energy consumption</a>   <a href="#">Energy use of buildings</a>   <a href="#">Emission factors for burning processes</a>   <a href="#">Prices of fuels in heat production</a>
Mallit	<a href="#">Building model</a>   <a href="#">Energy balance</a>   <a href="#">Health impact assessment</a>
Aiheeseen liittyviä arviointeja	<a href="#">Climate change policies in Helsinki</a>   <a href="#">Climate change policies and health in Kuopio</a>

# Rakennuskantamalli

Rakennuskantamalli seuraa tietyn kaupungin tai alueen rakennuskannan kehittymistä ajan kuluessa. Malli toimii osana Opasnetin mallinnusympäristöä ja se on toteutettu R-kielellä. 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 välttämätön, 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:

$$B_{t,h,e,r} = \int \int (B_{s_b,t,a} H s_h E s_e + B_{c_b,h,e,t,a}) R r_a R s_r, t) db da$$

- B = arvioitu rakennuskannan suuruus tehollisena pinta-alana.
- B<sub>s</sub> = tehollinen pinta-ala nykyisissä rakennuksissa.
- B<sub>c</sub> = tehollinen pinta-ala rakennuksissa, jotka on jo purettu tai joita ei ole vielä rakennettu mutta jotka ovat olemassa tarkasteluajan puitteissa.
- H<sub>s</sub> = lämmitysmuotojen osuudet joukossa rakennuksia (osuudet summautuvat aina ykköseen jokaisessa osajoukossa).
- E<sub>s</sub> = energiatehokkuusluokkien osuudet joukossa rakennuksia.
- R<sub>r</sub> = korjausrakentamisen nopeus eli osuus rakennuksista jotka energiaremontoidaan yhden vuoden aikana.
- R<sub>s</sub> = energiaremonttityyppien osuudet joukossa rakennuksia. Esimerkiksi korjataanko vain ikkunat vai parannetaanko 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

- o e = rakennuksen energiatehokkuusluokka rakentamisaikana
- o 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 energiataase ja miten se mallinnetaan?

### Vastaus

Laskemalla yhteen tietyn ajanjakson sisällä tuotettu energia ja vähentämällä siitä samassa ajassa kulutettu energia saadaan energiataase. Koska sähkö- ja kaukolämpöverkossa ei ole merkittäviä energian varastointimekanismeja, täytyy taseen olla lyhyellä aikavälillä käytännössä nolla. Kun tarkastellaan alueellista energiataasetta, 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 energiataasemallimme käyttää lineaariohjelmointityökaluja optimaalisen aktiviteettitasen löytämiseen joukolle tuotantoyksiköitä päämallin simuloimissa tilanteissa. Päämalli on vastuussa päätöksenteoon liittyvistä asioista, kun taas energiataaseen optimointi ainoastaan mallintaa markkinoiden toimintaa.

Lineaarinen ohjelmointiongelma muodostuu seuraavasti. Jokaiselle tuotantoyksikölle: olkoon  $x_i$  voimalan aktiviteetti. Otetaan muuttuja  $y_j$  merkitsemään kunkin energiataasyyppin 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 täyttämättömästä 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 µg/m <sup>3</sup> 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

1. Asikainen ym. Ympäristöaltisteisiin liittyvä tautitaakka Suomessa. Ympäristö ja Terveys 5/2013. [http://fi.opasnet.org/fi/Tautitaakka\\_Suomessa](http://fi.opasnet.org/fi/Tautitaakka_Suomessa)
2. WWF. Helsingin energiapäätös. Energiansäästö on polttoainevaihtoehtoista paras. WWF, 8.10.2015 <http://wwf.fi/mediabank/7784.pdf>
3. [Helsingin Energian biopolttoaineiden käytön lisääminen, Helsinki YVA 2013](http://www.ymparisto.fi/helenbioYVA)  
<http://www.ymparisto.fi/helenbioYVA>
4. [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/>
5. Helsingin Sanomat: [Helsingin vaihtoehdot: Kallis voimala luonnonsuojelualueen viereen tai Hanasaari ilman asuntoja](http://www.hs.fi/kaupunki/a1395126812045) <http://www.hs.fi/kaupunki/a1395126812045>
6. 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>
7. [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/>
8. [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/>
9. 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/>
10. [Loviisa 3 periaatepäätös](https://www.tem.fi/files/26809/PAP_FPH_LO3.pdf) 13.5.2010  
[https://www.tem.fi/files/26809/PAP\\_FPH\\_LO3.pdf](https://www.tem.fi/files/26809/PAP_FPH_LO3.pdf)
11. 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>
12. [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](http://www.hel.fi/static/helsinki/paatosasiakirjat/Kvsto2010/Esityslista21/liitteet/Helsingin_Energian_kehitysohjelma_kohti_hiilineutraalia_tulevaisuutta_19.1.2010.pdf)
13. [Halme et al. 2014 Kasvua ja työllisyyttä uudella energiapolitiikalla](http://um.fi/URN:NBN:fi:jyu-201402281297) <http://um.fi/URN:NBN:fi:jyu-201402281297>
14. [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/>
15. 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>
16. Juha Suni, Facebook-keskustelu 9.9.2015. [3] <https://www.facebook.com/events/1674722242760160/1680909515474766/>
17. [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>
18. [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>
19. <https://www.facebook.com/groups/740342559331216/permalink/994901907208612>
20. <https://www.otakantaa.fi/energiapaatos>
21. <https://www.facebook.com/groups/740342559331216/permalink/997164116982391>
22. <https://www.facebook.com/groups/740342559331216/permalink/997803066918496>

# Liite: Arviointimallin yksityiskohtia (englanniksi)

Tästä liitteestä löydät englanninkielisen kuvauksen varsineisesta laskentamallista ja sen toiminnasta. Jokainen osio on avoimesti saatavilla Opasnetin verkkotyötilassa omana sivunaan. Joka sivu vastaa yhtä tietokidettä, eli yhtä täsmällisen kysymyksen ympärille rakennettua, kokonaisuuteen ja tulokseen vaikuttavaa asiaa. Näille sivuille on kerätty asiakokonaisuuksien mukaan mallissa käytetty data ja kirjoitettu malliin kuuluvat laskentakoodit, joilla lopulliset tulokset ja niiden jokainen osio on saatu. Malli ja kuvaukset on kirjoitettu englanniksi, koska vain sillä tavalla tieto on mahdollisimman gloaalisti kaikkien saatavilla ja arvioitavissa.

Raportin taulukot on tallennettu Opasnetin tietokantaan, josta tiedot ovat suoraan haettavissa ja käytävissä malleihin. Myös koodit voi ajaa suoraan Opasnet-työtilan sivulta ja tällä tavalla tarkistaa tulosten laskelmat. Malli on kirjoitettu R-ohjelmointikielellä (<https://www.r-project.org/>).

Yleensä yhteen tietokiteeseen liittyy monta koodia. Rationale-kappaleessa olevat koodit luovat mallia varten tieto-olioita, joissa on sisällä laskentaan tarpeellinen tieto ja joiden avulla varsinainen malli toteutetaan. Joskus yhtä tietokidettä varten luodaan useita tieto-olioita, ja siten myös koodeja voi olla useita. Answer-osiossa oleva koodi puolestaan on sellainen, joka hakee tietokiteessä luodut tieto-oliot ja näyttää jotain hyödyllistä niiden sisällöstä. Niinpä kannattaa lukea Answer-koodeja, jos haluaa hyödyntää valmiita tieto-olioita omissa malleissaan, ja Rationale-koodeja puolestaan silloin, jos haluaa ymmärtää miten mallin yksityiskohdat toimivat.

Helsingin energiapäätös 2015 -mallissa käytettyjä tietokiteitä:

- Helsinki energy decision 2015: [http://en.opasnet.org/w/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)
- Building model: [http://en.opasnet.org/w/Building\\_model](http://en.opasnet.org/w/Building_model)
- Energy use of buildings: [http://en.opasnet.org/w/Energy\\_use\\_of\\_buildings](http://en.opasnet.org/w/Energy_use_of_buildings)
- Helsinki energy consumption: [http://en.opasnet.org/w/Helsinki\\_energy\\_consumption](http://en.opasnet.org/w/Helsinki_energy_consumption)
- Helsinki energy production: [http://en.opasnet.org/w/Helsinki\\_energy\\_production](http://en.opasnet.org/w/Helsinki_energy_production)
- 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)
- Energy balance: [http://en.opasnet.org/w/Energy\\_balance](http://en.opasnet.org/w/Energy_balance)
- 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)
- Intake fractions of fine particles [http://en.opasnet.org/w/Intake\\_fractions\\_of\\_PM](http://en.opasnet.org/w/Intake_fractions_of_PM)
- Exposure-response functions of environmental pollutants [http://en.opasnet.org/w/ERFs\\_of\\_environmental\\_pollutants](http://en.opasnet.org/w/ERFs_of_environmental_pollutants)
- External cost: [http://en.opasnet.org/w/External\\_cost](http://en.opasnet.org/w/External_cost)



## Contents

Helsinki energy decision 2015 model .....	55
Building stock in Helsinki.....	57
Question.....	57
Answer.....	57
Rationale.....	58
Building stock.....	58
Construction and demolition .....	59
Heating type conversion .....	60
Renovations.....	62
Building model.....	64
Question.....	64
Answer.....	64
Rationale.....	65
Inputs and calculations .....	65
Energy use of buildings.....	70
Question.....	70
Answer.....	70
Rationale.....	71
Inputs .....	71
Temperature-dependent calculations.....	71
Baseline energy consumption.....	73
Energy efficiency in heating.....	74
Impact of renovations .....	76
Helsinki energy consumption.....	77
Question.....	77
Answer.....	77
Rationale.....	78
U values based on overall data .....	78
Energy consumption statistics .....	78
Helsinki energy production .....	79
Question.....	79
Answer.....	79
Rationale.....	80
Energy processes .....	80
Plant specifications.....	83
Fuel availability .....	85
Fuel use by heating type .....	87
Emission locations.....	87
Prices of fuels in heat production .....	89
Question.....	89
Answer.....	89
Rationale.....	89
Prices of fuels without tax .....	90
Taxes for different fuels .....	91
Energy balance.....	95
Question.....	95
Answer.....	95
Rationale.....	97
Energy balance with linear programming.....	97

Fuel use and fuel shares in generic processes.....	104
Emission factors for burning processes.....	106
Question.....	106
Answer.....	106
Rationale.....	107
Inputs and calculations.....	107
Emission factors for heating.....	108
Intake fractions of fine particles.....	111
Question.....	111
Answer.....	111
Rationale.....	112
Inputs and calculations.....	112
Data.....	113
Exposure-response functions of environmental pollutants.....	114
Question.....	114
Answer.....	114
Rationale.....	114
Data.....	114
External cost.....	117
Question.....	117
Answer.....	117
Rationale.....	117
Details of scenarios.....	118
Model code.....	124
Part 1: Setting up the model and intermediate results.....	124
Part 2: User interface and result graphs.....	129

# Helsinki energy decision 2015 model

The Helsinki energy decision assessment was performed online, and all the data and model code, as well as their descriptions and references, can be found openly online. This appendix is merely a collection of the data tables and code that were used in the model. Not everything is shown, though. For example, the building data that we obtained from the city of Helsinki contain detailed information about every building in Helsinki and have almost 50000 rows.

Choose power plants you want to build (or keep running if they already exist) (the default selection is Helen's bio). This will become PlantPolicy: Custom.:

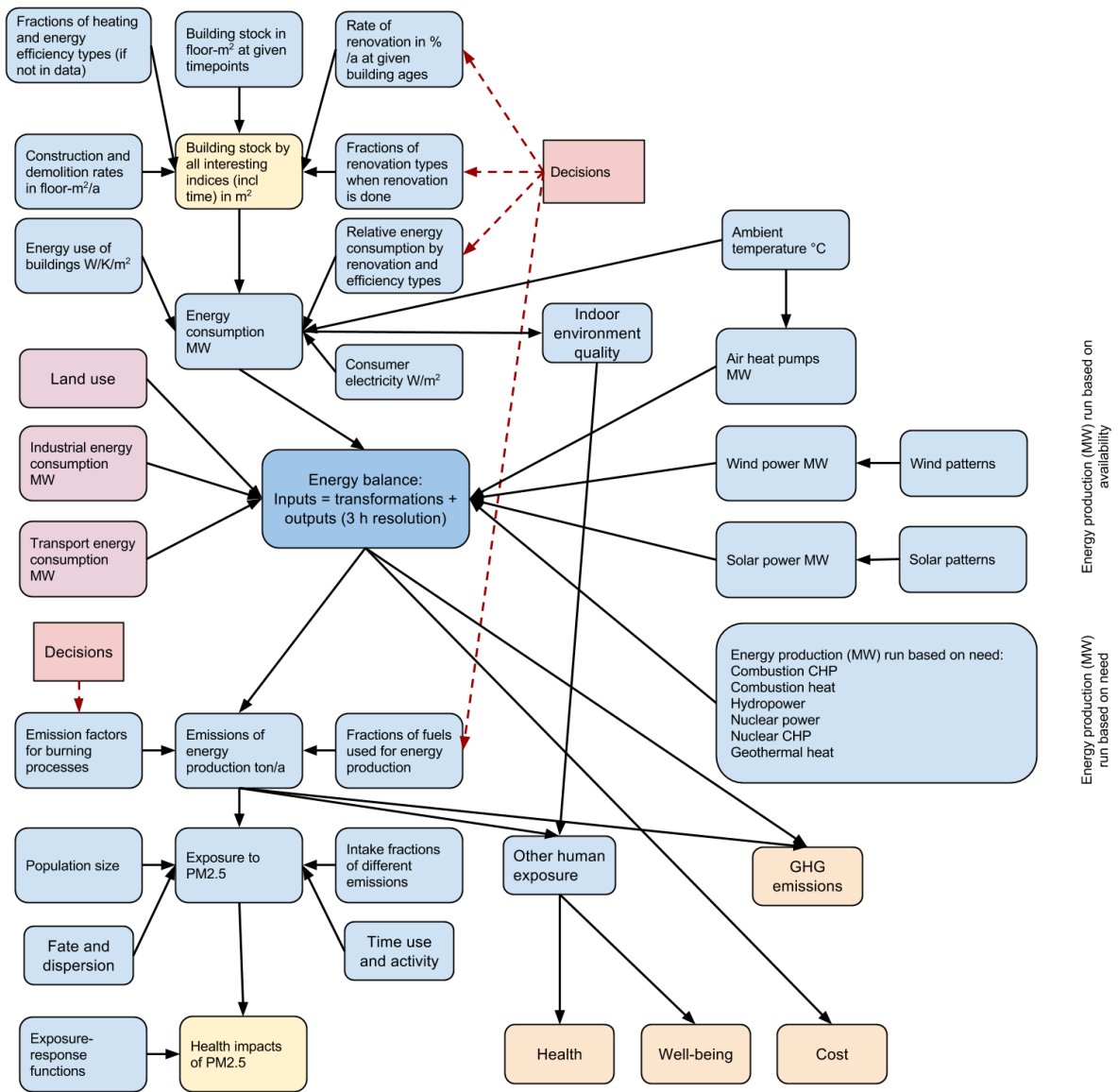
- Biofuel heat plants
- CHP diesel generators
- Data center heat
- Deep-drill heat
- Hanasaari
- Household air heat pumps
- Household air conditioning
- Household geothermal heat
- Katri Vala cooling
- Katri Vala heat
- Kellosoari back-up plant
- Loviisa nuclear heat
- Neste oil refinery heat
- Salmisaari A&B
- Salmisaari biofuel renovation
- Sea heat pump
- Sea heat pump for cooling
- Small gas heat plants
- Small fuel oil heat plants
- Small-scale wood burning
- Vuosaari A
- Vuosaari B
- Vuosaari C biofuel

Choose power plants to be renovated (PlantPolicy: Custom):

- Hanasaari biofuel renovation

[+ Show code](#)

**Figure 1. User interface of the Helsinki energy assessment model. The user can choose which power plants are included in the “Custom” scenario.**



**Figure 2. Causal diagram for the assessment. Each node in the graph is a module in the model, and consists of one (or sometimes more) information objects called ovariabes. The purple nodes on the left (land use, industry, and traffic) were not included in this model. However, as mentioned in the conclusions, there is a need for a national energy balance model that should also look at these aspects. Also, indoor environmental quality and well-being were omitted after all.**

# Building stock in Helsinki

## Question

What is the building stock in Helsinki and its projected future?

## Answer

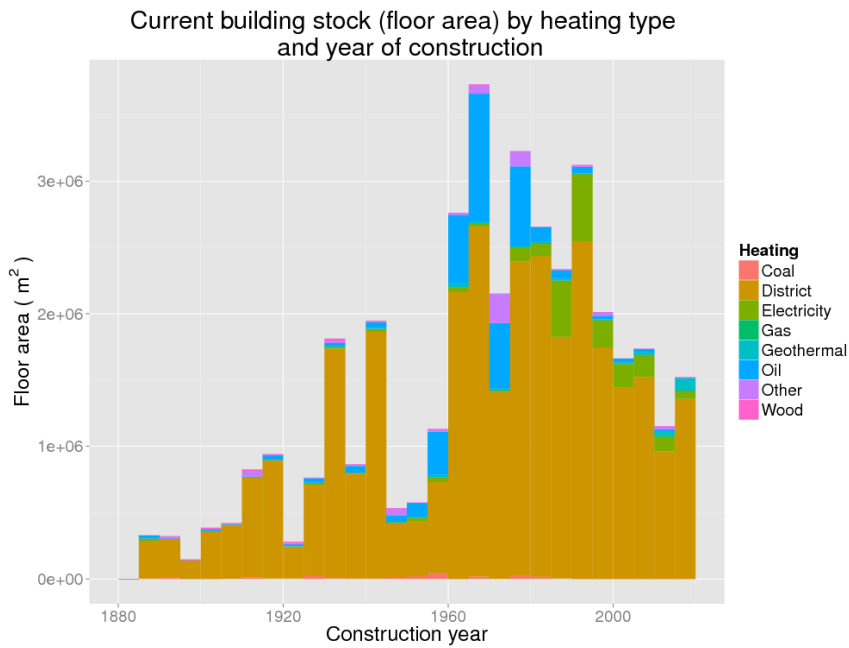


Figure 3. Current building stock in Helsinki by heating type.

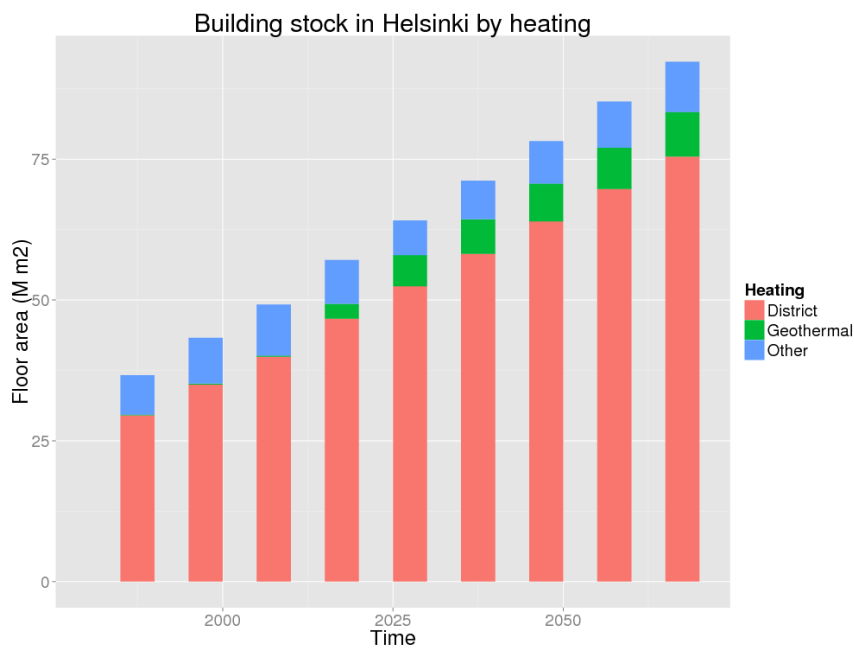


Figure 4. Projected building stock based on 2015 data and urban plans.

```
## This code is Op_en7115/ on page [[Building stock in Helsinki]].

library(OpasnetUtils)
library(ggplot2)

objects.latest("Op_en7115", code_name = "stockBuildings")

stockBuildings <- EvalOutput(stockBuildings)

ggplot(stockBuildings@output, aes(x = Time, weight = stockBuildingsResult, fill = Heating)) +
  geom_bar(binwidth = 5) + theme_gray(base_size = 24) +
  labs(
    title = "Current building stock (floor area) by heating type \n and year of
construction",
    x = "Construction year",
    y = expression("Floor area ( \"*m^2*\" )"))

ggplot(stockBuildings@output, aes(x = Time, weight = stockBuildingsResult, fill = Building)) +
  geom_bar(binwidth = 5) + theme_gray(base_size = 24) +
  labs(
    title = "Current building stock (floor area) by building type \n and year of
construction",
    x = "Construction year",
    y = expression("Floor area ( \"*m^2*\" )"))
```

## Rationale

This part contains the data needed for calculations about the building stock in Helsinki. It shows the different building and heating types in Helsinki, and how much and what kind of renovations are done for the existing building stock in a year, including how much and how old building stock is demolished. This data is used in further calculations in the model.

There is also some other important data that wasn't used in the model's calculations. These include more accurate renovation statistics for residential buildings, U-value changes for renovations and thermal transmittance of different parts of residential buildings. This data is found under [Data not used](#).

## Building stock

**These tables are based on FACTA database classifications and their interpretation for assessments.** This data is used for modelling. The data is large and can be seen from [the Opasnet Base](#). Technical parts on this page are hidden for readability. Building types should match [Energy use of buildings#Baseline energy consumption](#).

```
library(OpasnetUtils)
library(ggplot2)

# [[Building stock in Helsinki]], building stock, locations by city area (in A Finnish
coordinate system)
#stockBuildings <- Ovariable("stockBuildings", ddata = "Op en7115.stock details")
#colnames(stockBuildings@data)[colnames(stockBuildings@data) == "Built"] <- "Time"
#colnames(stockBuildings@data)[colnames(stockBuildings@data) == "Postal code"] <- "City_area"

# [[Building stock in Helsinki]]
dat <- opbase.data("Op en7115.stock details")[ , c(
# "Rakennus ID",
# "Sijainti",
# "Valmistumisaika",
# "Julkisivumateriaali",
# "Käyttötarkoitus",
# "Lämmitystapa",
# "Polttoaine",
# "Rakennusaine",
```

```

# "Varusteena koneellinen ilmanvaihto",
# "Perusparannus",
# "Kunta rakennuttajana",
# "Energiatehokkuusluokka",
# "Varusteena aurinkopaneeli",
  "Tilavuus",
  "Kokonaisala",
  "Result" # Kerrosala m2
)]

colnames(dat) <- c("City area", "Time", "Building types in Facta", "Heating types in Facta",
"Tilavuus", "Kokonaisala", "Kerrosala")
dat$Time <- as.numeric(substring(dat$Time, nchar(as.character(dat$Time)) - 3))

#dat <- dat[dat$Time != 2015 , ] # This is used to compare numbers to 2014 statistics.

dat$Time <- as.numeric(as.character((cut(dat$Time, breaks = c(0, 1885 + 0:26*5), labels =
as.character(1885 + 0:26*5))))))
dat$Tilavuus <- as.numeric(as.character(dat$Tilavuus))
dat$Kokonaisala <- as.numeric(as.character(dat$Kokonaisala))
dat$Kerrosala <- as.numeric(as.character(dat$Kerrosala))

build <- tidy(opbase.data("Op en7115.building types"))
colnames(build)[colnames(build) == "Result"] <- "Building"

heat <- tidy(opbase.data("Op en7115.heating types"))
colnames(heat)[colnames(heat) == "Result"] <- "Heating"

#####
# Korjaus
#####
temp <- as.character(heat$Heating)
temp[temp == "District heating"] <- "District"
temp[temp == "Light oil"] <- "Oil"
temp[temp == "Fuel oil"] <- "Oil"

heat$Heating <- temp
#####

dat <- merge(merge(dat, build), heat)#[c("City_area", "Time", "Building", "Heating",
"stockBuildingsResult")]

dat$Kerrosala[is.na(dat$Kerrosala)] <- dat$Kokonaisala[is.na(dat$Kerrosala)] * 0.8 # If floor
area is missing, estimate from total area.

cat("Kerrosala ilman 2015 (m^2)\n")
oprint(aggregate(dat["Kerrosala"], by = dat["Building"], FUN = sum, na.rm = TRUE))
cat("Kokonaisala ilman 2015 (m^2)\n")
oprint(aggregate(dat["Kokonaisala"], by = dat["Building"], FUN = sum, na.rm = TRUE))
cat("Tilavuus ilman 2015 (m^3)\n")
oprint(aggregate(dat["Tilavuus"], by = dat["Building"], FUN = sum, na.rm = TRUE))

temp <- aggregate(dat["Kerrosala"], by = dat[c("Time", "Building", "Heating")], FUN =sum,
na.rm = TRUE)
colnames(temp)[colnames(temp) == "Kerrosala"] <- "stockBuildingsResult"

stockBuildings <- Ovariable("stockBuildings", data = temp)

objects.store(stockBuildings)
cat("Ovariable stockBuildings stored.\n")

```

## Construction and demolition

It is assumed that construction occurs at a constant rate so that there is an increase of 42% in 2050 compared to 2013. Energy efficiency comes from [Energy use of buildings](#).

```

# This code is Op en7115/changeBuildings on page [[Building stock in Helsinki]]
library(OpasnetUtils)

changeBuildings <- Ovariable("changeBuildings",
  dependencies = data.frame(
    Name = c(
      "stockBuildings",

```

```

      "efficiencyShares"
    ),
    Ident = c(
      "Op_en7115/stockBuildings", # [[Building stock in Helsinki]]
      "Op_en5488/efficiencyShares" # [[Energy use of buildings]]
    )
  ),
  formula = function(...) {

    out <- oapply(stockBuildings, cols = c("Time", "Constructed"), FUN = sum)
    out <- out * 0.013125 * 5 * efficiencyShares # linear increase 42% from 2013 to 2050
    out@output <- out@output[as.numeric(as.character(out@output$Time)) >= 2015 , ]

    return(out)
  }
)

objects.store(changeBuildings)
cat("Ovariable changeBuildings stored.\n")

```

Fraction of houses demolished per year.

**Table 1. [Demolition rate\(%/a\)](#)**

Age	Rate
0	0
50	1
1000	1

```

# This code is Op_en7115/demolitionRate on page [[Building stock in Helsinki]]
library(OpasnetUtils)

demolitionRate <- Ovariable('demolitionRate',
  dependencies = data.frame(Name = "dummy"),
  formula = function(...) {
    temp <- tidy(opbase.data('Op_en7115', subset = 'Demolition rate'))
    temp$Age <- round(as.numeric(as.character(temp$Age)))
    out <- as.data.frame(approx(
      temp$Age,
      temp$Result,
      n = (max(temp$Age) - min(temp$Age) + 1),
      method = "constant"
    ))
    colnames(out) <- c("Age", "demolitionRateResult")
    out$demolitionRateResult <- out$demolitionRateResult / 100 * 10 # For ten-year
intervals
    out <- Ovariable("demolitionRate", output = out, marginal = c(TRUE, FALSE))
    return(out)
  }
)

objects.store(demolitionRate)
cat("Object demolitionRate stored.\n")

```

## Heating type conversion

The fraction of heating types in the building stock reflects the situation at the moment of construction and not currently. The heating type conversion corrects this by changing a fraction of heating methods to a different one at different timepoints. Cumulative fraction, other timepoints will be interpolated.



**Table 2. [Yearly heating converted factor\(m2/m2\)](#)**

Heating_from	Heating_to	Time	Result
Oil	Geothermal	2005	0
Oil	Geothermal	2015	0.5
Oil	Geothermal	2025	1

```

library(OpasnetUtils)

heatTypeConversion <- Ovariable("heatTypeConversion",
  dependencies = data.frame(
    Name = c(
      "buil", # stock at different timepoints
      "obstime"
    )
  ),
  formula = function(...) {
    dat <- opbase.data("Op_en7115", subset = "Yearly_heating_converted_factor")
    colnames(dat)[colnames(dat) == "Time"] <- "Obsyear"

    dat$Obs <- NULL

    out <- data.frame()
    temp <- unique(dat[c("Heating_from", "Heating_to")])
    for (i in 1:nrow(temp)) {
      onetype <- merge(temp[i,], dat)
      tempout <- merge(obstime@output, onetype, all.x = TRUE)[c("Obsyear", "Result")]
      tempout <- merge(tempout, temp[i,])

      for (j in (1:nrow(tempout))[is.na(tempout$Result)]) {
        a <- onetype$Obsyear[which.min(abs(as.numeric(as.character(onetype$Obsyear)) -
as.numeric(as.character(obstime$Obsyear[j]))))]
        tempout$Result[j] <- onetype$Result[a]
      }
      out <- rbind(out, tempout)
    }

    out <- Ovariable(output = out, marginal = colnames(out) != "Result")

    colnames(out@output)[colnames(out@output) == "Heating_from"] <- "Heating"

    out <- buil * out

    out1 <- out
    out1$Result <- - out1$Result
    out1$Heating_to <- NULL

    out$Heating <- out$Heating_to
    out$Heating to <- NULL

    out@output <- rbind(out1@output, out@output)

    #sum(out$Result)
    #nrow(out1@output)*2 - nrow(out@output)

    return(out)
  }
)
objects.store(heatTypeConversion)
cat("Ovariable heatTypeConversionstored.\n")

```

## Renovations

**Table 3. [Fraction of houses renovated per year\(%\)](#)**

Age	Result	Description
0	0	Estimates from Laura Perez and Stephan Trüeb
20	0	Assumption Result applies to buildings older than the value in the Age column.
25	1	
30	1	
50	1	
100	1	
1000	1	

```
library(OpasnetUtils)

renovationRate <- Ovariable('renovationRate',
  dependencies = data.frame(Name = "dummy"),
  formula = function(...) {
    temp <- tidy(opbase.data('Op_en7115', subset = 'Fraction of houses renovated per
year'))
    temp$Age <- round(as.numeric(as.character(temp$Age)))
    out <- as.data.frame(approx(
      temp$Age,
      temp$Result,
      n = (max(temp$Age) - min(temp$Age) + 1),
      method = "constant"
    ))
    colnames(out) <- c("Age", "renovationRateResult")
    out$renovationRateResult <- out$renovationRateResult / 100
    out <- Ovariable("renovationRate", output = out, marginal = c(TRUE, FALSE))
    return(out)
  }
)

objects.store(renovationRate)
cat("Object renovationRate stored.\n")
```

**Table 4. [Popularity of renovation types\(%\)](#)**

Renovation	Fraction	Description
None	0	
Windows	65	
Technical systems	30	
Sheath reform	5	
General	0	

```

library(OpasnetUtils)

renovationShares <- Ovariable("renovationShares",
  dependencies = data.frame(Name = "dummy"),
  formula = function(...) {
    out <- Ovariable("raw", ddata = 'Op_en7115', subset = 'Popularity of renovation types')
    out <- findrest(out, cols = "Renovation", total = 100) / 100

    renovationyear <- Ovariable("renovationyear", data = data.frame(
      Obsyear = factor(c(2015, 2025, 2035, 2045, 2055, 2065)),
      Result = 1
    ))

    out <- out * renovationyear # renovation shares repeated for every potential renovation
    year.

    out@output$Renovation <- factor(out@output$Renovation, levels = c(
      "None",
      "General",
      "Windows",
      "Technical systems",
      "Sheath reform"
    ), ordered = TRUE)

    return(out)
  }
)

objects.store(
  renovationShares # Fraction of renovation type when renovation is done.
)

cat("Objects renovationShares stored.\n")

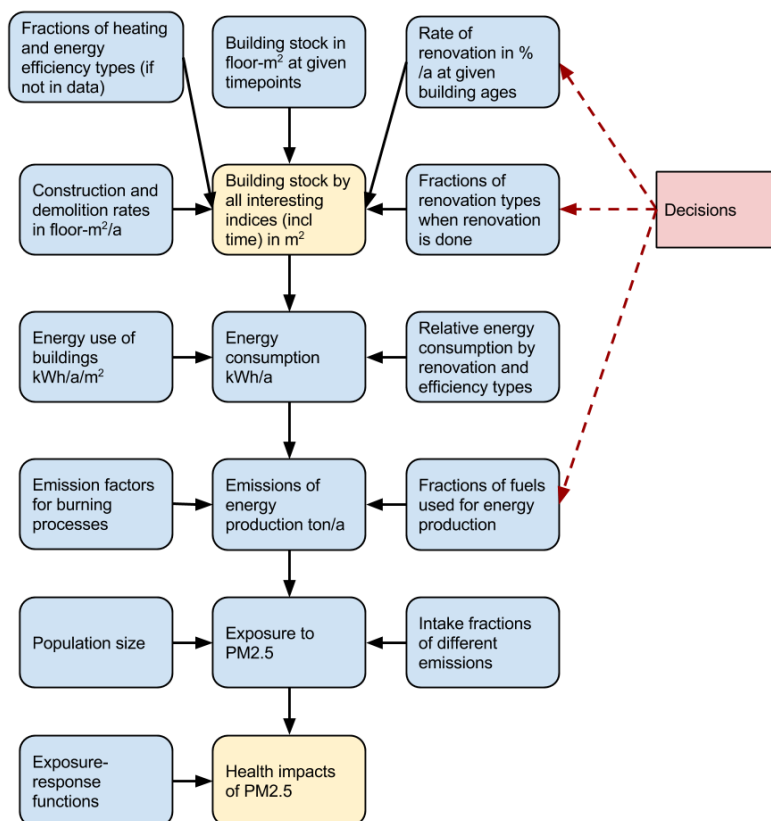
```

# Building model

## Question

How to estimate the size of the building stock of a city, including heating properties, renovations etc? The situation is followed over time, and different policies can be implemented.

## Answer



**Figure 5. Causal diagram of the [building model](#). The actual model is up to the yellow node Building stock, and the rest is an example how the result can be used in models downstream.**

The building model follows the development of a city's or area's building stock over time. The model functions as part of Opasnet's modeling environment and it is coded using R.

The model is given data about the building stock of a certain city or area during a certain period of time. The data can be described with very different levels of precision depending on the situation and what kind of information is needed. Some kind of data on the energy efficiency and heating type is necessary, but even rough estimates suffice. Then again, if there is sufficient data, the model can analyse even individual buildings.

In addition to that the model can describe changes in the building stock, i.e. construction of new buildings and demolishing of old ones. Data on the heating- and energy efficiencies of new and demolished buildings is required at the same level of precision as that of other buildings. This data is used to calculate how construction and demolishing change the building stock's size and heating types.

The model takes into account the energy renovation of existing buildings. They are analysed using two variables: firstly, what fraction of the building stock is energy renovated yearly and secondly, what type of renovation it is. This information, too, can be rough or precise and detailed. It can describe the whole

building stock with a single number or be specific data on the time, the building's age, use or other background information.

For examples of model use, see [Helsinki energy decision 2015](#), [Building stock in Kuopio](#) and [Climate change policies and health in Kuopio](#).

The overall equation in the model is this:

$$B_{t,h,e,r} = \int \int (B_{s_{c,t,a}} H_{s_h} E_{s_e} + B_{c_{c,h,e,t,a}}) R_{r_a} R_{s_r,t} O) dc da$$

B = buildings, floor area of buildings in specified groups

Bs = stockBuildings, floor area of the current buildings

Bc = changeBuildings, floor area of constructed and demolished (as negative areas) buildings

Hs = heatingShares, fractions of different heating types in a group of buildings

Es = efficiencyShares, fractions of different efficiency classes in a group of buildings

Rr = renovationRate, fraction of buildings renovated per year

Rs = renovationShares, fractions of different renovation types performed when buildings are renovated

O = obstime, timepoints for which the building stock is calculated.

Indices required (also other indices are possible)

t = Obsyear, time of observation. This is renamed Time on the output data.

c = Construction year (the index is named 'Time' in the input data), time when the building was built.

a = Age, age of building at a timepoint. This is calculated as a = t - b.

h = Heating, primary heating type of a building

e = Efficiency, efficiency class of building when built

r = Renovation, type of renovation done to a non-renovated building (currently, you can only renovate a building once)

The model is iterative across the Obsyear index so that renovations performed at one timepoint are inherited to the next timepoint, and that situation is the starting point for renovations in that timepoint.

## Rationale

### Inputs and calculations

**Table 5. Variables in the building model**

Variable	Measure	Indices	Missing data
stockBuildings (case-specific data from the user) e.g. <a href="#">Building stock in Kuopio</a>	Amount of building stock (typically in floor-m2) at given timepoints.	Required indices: Time (time the building was built. If not known, present year can be used for all buildings.) Typical indices: City_area, Building (building type)	You must give either stockBuildings, heatingShares, and efficiencyShares or changeBuildings or both. For missing data, use 0.
heatingShares (case-specific data from the user)	Fractions of heating types. Should sum up to 1 within each group defined by optional indices.	Required indices: Heating. Typical indices: Time, Building	If no data, use 1 as a placeholder.
efficiencyShares (case-specific data from the user)	Fraction of energy efficiency types. Should sum up to 1 for each group defined by	Required indices: Efficiency. Typical indices: Time, Building.	If no data, use 1 as default.

**Table 5. Variables in the building model**

Variable	Measure	Indices	Missing data
	other indices.		
changeBuildings (case-specific data from the user)	Construction or demolition rate as floor-m2 at given timepoints.	Required indices: Obsyear, Time, Efficiency, Heating. If both stockBuildings and changeBuildings are used, changeBuildings should have all indices in stockBuildings, heatingShares, and efficiencyShares. Typical indices: Building, City_area.	If the data is only in stockBuildings, use 0 here.
renovationShares (case-specific data from the user)	Fraction of renovation types when renovation is done. Should sum to 1 for each group defined by other indices.	Required indices: Renovation, Obsyear. Obsyear is the time when the renovation is done	If no data, use 1 as default.
renovationRate (case-specific data from user. You can also use fairly generic data from <a href="#">Building stock in Kuopio.</a> )	Rate of renovation (fraction per time unit).	Required indices: Age (the time difference between construction and renovation, i.e. Obsyear - Time for each building).	If no data, use 0.
obstime (assessment-specific years of interest)	The years to be used in output. The only index Obsyear contains the years to look at; Result is 1.	Required indices: Obsyear. Typical indices: other indices are not allowed.	-

```
### This code is Op en6289/buildingstest on page [[Building model]].

library(OpasnetUtils)

##### Calculate all building events (constructions, demolitions, renovations)

buildings <- Ovariable("buildings",
  dependencies = data.frame(Name = c(
    "stockBuildings",
    "changeBuildings",
    "heatingShares", # This can be indexed by building year (Time) or Observation year
    (Obsyear)
    "efficiencyShares", # Same here
    "renovationShares",
    "renovationRate", # Fraction of buildings renovated between timepoints
    "demolitionRate", # Fraction of buildings demolished between timepoints
    #"heatTypeConversion", # Is dependent on buil, which defined in the formula (must handle
    within formula). Fraction of heating types converted to other
    "obstime" # In the new version obstime is ovariable with column Obsyear.
  )),
  formula = function(...) {

    stock <- stockBuildings * obstime
    if( ! "Efficiency" %in% colnames(stock@output)) { # Add those shares that are missing
      stock <- stock * efficiencyShares
    }
    if( ! "Heating" %in% colnames(stock@output)) {
```

```

    stock <- stock * heatingShares
  }

  stock2 <- changeBuildings * obstime
  if( ! "Efficiency" %in% colnames(stock2@output)) { # Add those shares that are missing
    stock2 <- stock2 * efficiencyShares
  }
  if( ! "Heating" %in% colnames(stock2@output)) {
    stock2 <- stock2 * heatingShares
  }

  stock2@output$Time <- as.factor(stock2@output$Time) # Also stock@output$Time is factor
  buil <- combine(stock, stock2) # Buildings in the whole timeline
  buil <- unkeep(buil, sources = TRUE)
  buil@output$Age <- as.numeric(as.character(buil@output$Obsyear)) -
as.numeric(as.character(buil@output$Time))
  buil@marginal <- c(buil@marginal, TRUE)
  buil@output <- buil@output[buil@output$Age >= 0 , ]

  # Note that if stockBuildings and changeBuildings have different marginals (typically
policies),
  # there will be NA in these indices. This will be corrected below.
  for(i in colnames(buil@output)[buil@marginal]) {
    if(any(is.na(buil@output[[i]]))) {
      buil@output <- fillna(buil@output, i)
      print(paste("Column", i, "treated with fillna (difference between stockBuildings
and changeBuildings)."))
    }
  }

  # heatTypeConversion dependent on buil, which defined above, and hence must be handled
here.
  # Scope is messed up due to the dependency and the following produces error when run
within EvalOutput of buildings
#objects.latest("Op_en7115", code_name = "heatTypeConversion")
#heatTypeConversion <- EvalOutput(heatTypeConversion)
heatTypeConversion <- function(){
  dat <- opbase.data("Op en7115", subset = "Yearly heating converted factor")
  colnames(dat)[colnames(dat) == "Time"] <- "Obsyear"

  dat$Obs <- NULL

  out <- data.frame()
  temp <- unique(dat[c("Heating from", "Heating to")])
  for (i in 1:nrow(temp)) {
    onetype <- merge(temp[i,], dat)
    tempout <- merge(obstime@output, onetype, all.x = TRUE)[c("Obsyear", "Result")]
    tempout <- merge(tempout, temp[i,])

    for (j in (1:nrow(tempout))[is.na(tempout$Result)]) {
      a <- onetype$Obsyear[which.min(abs(as.numeric(as.character(onetype$Obsyear)) -
as.numeric(as.character(obstime$Obsyear[j]))))]
      tempout$Result[j] <- onetype$Result[a]
    }
    out <- rbind(out, tempout)
  }

  out <- Ovariable(output = out, marginal = colnames(out) != "Result")

  colnames(out@output)[colnames(out@output) == "Heating_from"] <- "Heating"

  out <- buil * out

  out1 <- out
  out1$Result <- - out1$Result
  out1$Heating_to <- NULL

  out$Heating <- out$Heating to
  out$Heating_to <- NULL

  out@output <- rbind(out1@output, out@output)
  heatTypeConversion <- out
  return(out)
}
buil <- combine(buil, heatTypeConversion())

```

```

    temp1 <- merge(renovationRate, unique(buil@output["Age"])) # Avoid redundant
calculations
    temp1@name <- renovationRate@name
    temp2 <- renovationShares
    temp2@output <- temp2@output[temp2@output$Renovation == "None" , ]
    renovate <- (1 - temp1) * (1 - temp2) # Assumes that data has row for Renovation: None =
0
    renovate <- combine(renovate, temp1 * renovationShares)

    out <- data.frame()
    prevreno <- unkeep(buil * renovate * 0, sources = TRUE) # Previously renovated buildings
for the first time point
    prevreno@output <- prevreno@output[prevreno@output$Renovation != "None" , ][1,] # Just
take one renovated example row
    marginals <- colnames(prevreno@output)[prevreno@marginal]
    demolitionRate <- unkeep(demolitionRate, sources = TRUE) # Would otherwise cause trouble
in rbind.

    for(i in obstime@output$Obsyear) { # Accumulate the building stock
        # Take the building stock
        temp <- buil
        temp@output <- temp@output[temp@output$Obsyear == i , ] # Take buildings of year i
        prevreno@output$Obsyear <- i # update the observation year of the previous renovation

        # Remove from the stock buildings that are demolished
        temp <- temp * (1 - demolitionRate)

        # Subtract from the building stock buildings that are already renovated.
        temp <- combine(temp, -1 * oapply(prevreno, cols = "Renovation", FUN = sum)) #
Subtract previously renovated
        reno <- unkeep(temp * renovate, sources = TRUE) # Renovate the current non-renovated
stock
        # If renovate does not match with this timepoint, mark all buildings here as
unrenovated.
        # Is there new renovation in this time point?
        if(sum(result(reno)) == 0) {
            reno <- temp * Ovariable(
                output = data.frame(Renovation = "None", Result = 1),
                marginal = c(TRUE, FALSE)
            )
        }
        newreno <- combine(prevreno, reno) # Renovated buildings in this time point.
        # Take the previous timepoints, and previously renovated and now possibly renovated
together.
        out <- rbind(newreno@output, out) # Add previously and now renovated together
        prevreno <- unkeep(newreno, sources = TRUE)
        prevreno@output <- prevreno@output[prevreno@output$Renovation != "None" , ]
    }
    out <- Ovariable(output = out, marginal = colnames(out) %in% marginals)

    # Note that if buil and renovate have different marginals (typically policies),
    # there will be NA in these indices. This will be corrected below.
    for(i in colnames(out@output)[out@marginal]) {
        if(any(is.na(out@output[[i]]))) {
            out@output <- fillna(out@output, i)
            print(paste("Column", i, "treated with fillna (difference between buil and
renovate)."))
        }
    }

    out <- oapply(unkeep(out, sources = TRUE), cols = c("Age", "Time"), FUN = sum)
    colnames(out@output)[colnames(out@output) == "Obsyear"] <- "Time" # From now on, Time
means the time of observation
    out@output$Time <- as.numeric(as.character(out@output$Time))

    return(out)
}
)

objects.store(buildings)
cat("Saved ovariable buildings\n")

```



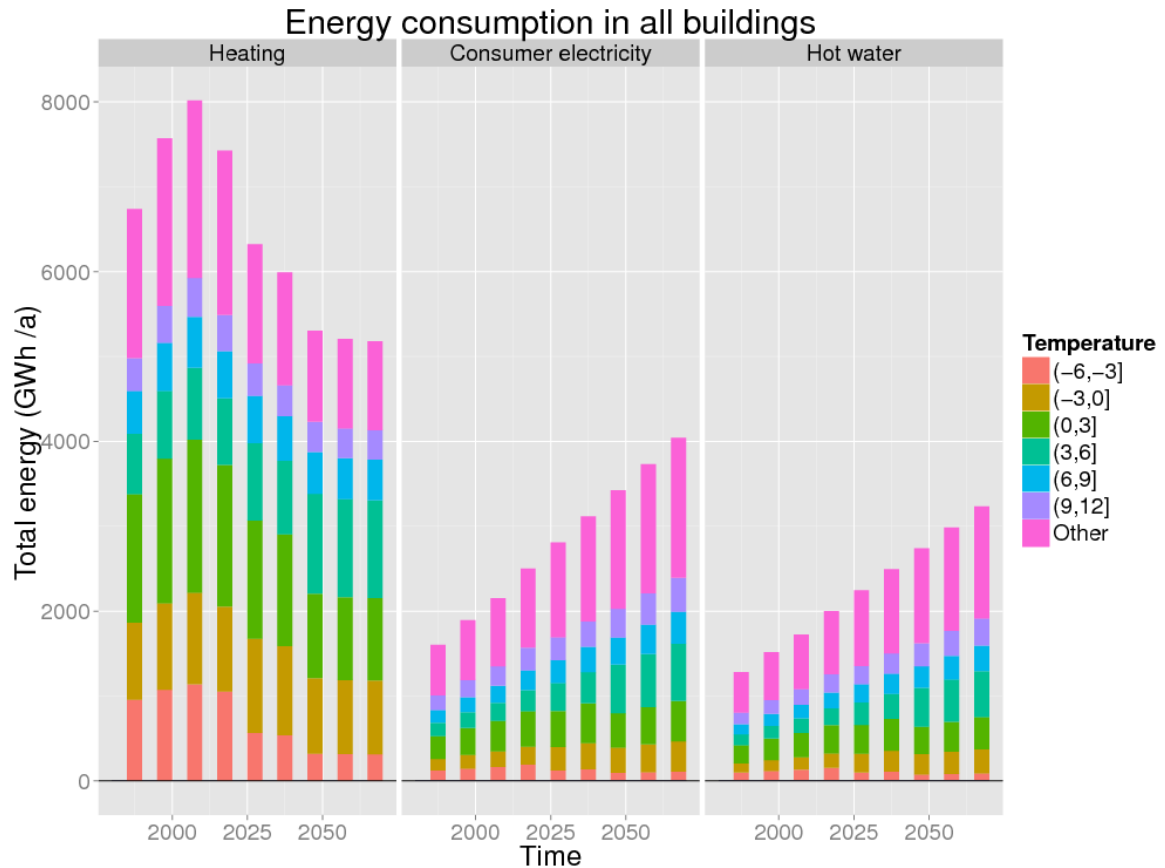
## References

# Energy use of buildings

## Question

How to model the use of energy of buildings based on either annual consumption per floor area, or energy efficiency per floor area per indoor-outdoor temperature difference?

## Answer



**Figure 6. Example of consumer energy demand calculations: energy need in Helsinki from the assessment [Helsinki energy decision 2015](#).**

An example code for fetching and using the variables.

```
## This code is Op_en5488/ on page [[Energy use of buildings]]
library(OpasnetUtils)
objects.latest("Op_en5488", code_name = "EnergyConsumerDemand") # [[Energy use in buildings]]
cat("These ovariables must be obtained from somewhere to use this method:\n")
oprint(EnergyConsumerDemand@dependencies)
```

## Rationale

### Inputs

**Table 6. Variables needed to calculate the EnergyConsumerDemand. Note that there are several different methods available, and temperature data is not needed in an annual energy version.**

Dependencies	Measure	Indices	Missing data
buildings (from the model).	Floor area of the building stock to be heated	Typical indices: Building, Heating, Efficiency, Renovation	You can use value 1 to calculate energy need per 1 m <sup>2</sup> floor area.
temperene (fairly generic data for a given cultural and climatic area, e.g. from <a href="#">Energy use of buildings</a> )	Energy need per floor area and indoor-outdoor temperature difference (W /m <sup>2</sup> /K)	Required indices: Consumable, Fuel (Commodity). Typical indices: Building, Heating.	if this data is missing, you can only calculate building stock but nothing further.
nontemperene (fairly generic data for a given cultural and climatic area, e.g. from <a href="#">Energy use of buildings</a> )	Energy need for hot water and other non-temperature-dependent activities	Required indices: Consumable, Fuel (Commodity).	Use 0 to calculate energy demand excluding non-heating energy use.
temperatures (location-specific data)	Average outdoor temperatures for particular temperature bins.	Reiured indices: Temperature.	If missing, use the annual energy version.
temperdays (location-specific data)	Number of days per year for particular temperature bins.	Required indices: Temperature.	If missing, use the annual energy version.
efficiencyRatio (fairly generic data for a cultural and climatic area, e.g. from <a href="#">Energy use of buildings</a> )	Relative energy consumption compared with the efficiency group Old.	Required indices: Efficiency. Typical indices: Time, Building.	If no data, use 1 as default.
renovationRatio (fairly generic data for a cultural and climatic area, e.g. from <a href="#">Energy use of buildings</a> )	Relative energy consumption compared with the Renovation location None.	Required indices: Renovation. Typical indices: Building.	If no data, use 1 as default.

### Temperature-dependent calculations

The code below assumes energy consumption factors relative to floor area (W /m<sup>2</sup> /K). Local temperature data must be given in either individual or aggregated way. Individual way has temperature data for all timepoints (e.g. days or hours) of the given year, and heatingTime = 1. Aggregated way has a specific Temperature index (e.g. very cold, cold, cool etc) in both ovariables temperature and heatingTime. The ovariable temperature tells what is the actual temperature when it is "very cold", and heatingTime tells how many hours it is "very cold" during the year.

$$Q_{e,r,t} = \sum_b (B_{b,e,r} U_b (17 - T_t) E_e R_r + W_b) t_t,$$

where

Q = Energy used for heating and cooling (kWh /a)

B = floor area of a building stock indexed by renovation and efficiency (m<sup>2</sup>)

U = energy consumption factor per floor area for a building type (W /m<sup>2</sup> /K)

T = temperature outside (assumes that no heating is needed if outside temperature is 17 degrees Celsius)

E = relative efficiency of a building stock based on energy class when built (no unit)  
 R = relative efficiency of a building stock based on energy class after renovated (no unit)  
 W = heating need of hot water (W)  
 t = time spent in a particular outdoor temperature (h /a)  
 indices used:  
 b = building type  
 e = efficiency class of building  
 r = renovation class of building  
 t = ambient temperature class

```
### This code is Op_en5488/EnergyConsumerDemand on page [[Energy use of buildings]].

library(OpasnetUtils)

### EnergyUse of a given building stock when U values are available.

EnergyConsumerDemand <- Ovariable("EnergyConsumerDemand",
  dependencies = data.frame(
    Name = c(
      "temperene",
      "efficiencyRatio",
      "renovationRatio",
      "nontemperene",
      "buildings",
      "temperatures",
      "temperdays" # fetched here but it is only calculated after energyBalance
    ),
    Ident = c(
      "Op_en5488/temperene",
      "Op_en5488/efficiencyRatio",
      "Op_en5488/renovationRatio",
      "Op_en5488/nontemperene",
      NA,
      NA,
      NA
    )
  ),
  formula = function(...) {

    #NOTE! IF OTHER INPUTS ARE INDEXED BY Building, THIS MUST BE CHANGED!
    #NOTE2! buildings must have index Heating.
    #NOTE3! Heating, cooling and Other should probably be in different ovariables
    instead of being here:
    # multiple variables necessitates explicit handling in other dependent variables,
    which is bad.
    buil <- oapply(buildings, cols = "Building", FUN = sum)

    # Remove Fuel column as unnecessary and disruptive
    temperene <- temperene[,!colnames(temperene@output) %in% "Fuel"]
    nontemperene <- nontemperene[,!colnames(nontemperene@output) %in% "Fuel"]

    # We assume that energy efficiency of building structures also reduces cooling need.
    tempe <- temperene * efficiencyRatio * renovationRatio

    # We assume that 17 °C is thermoneutral with no heating.
    heat <- buil * (17 - temperatures) * tempe[tempe$Consumable == "Heating",
]#!colnames(tempe@output) %in% "Fuel"]

    # Only positive heating is considered (i.e., cooling is not here)
    result(heat) <- pmax(0, result(heat))
    #heat@output <- heat@output[heat@output$Consumable == "Heating" , ]

    # We assume that 24 °C is thermoneutral with no cooling.
    cool <- buil * (temperatures - 24) * tempe[tempe$Consumable %in% c("Cooling",
"District cooling", "Electric cooling"),]
    # Only positive cooling is considered (i.e., heating is not here)
```

```

    result(cool) <- pmax(0, result(cool))
    #cool@output <- cool@output[cool@output$Consumable %in% c("Cooling", "District
cooling", "Electric cooling") , ]
    #cool@output$Heating <- "Not heating"

    other <- buil * nontemperene
    #other@output$Heating <- "Not heating"

    out <- combine(heat, cool, other)
    out <- unkeep(out, prevresults = TRUE, sources = TRUE)
    out@output <- fillna(out@output, marginals = "Temperature")

    #out[1:10]@output
    #nrow(out@output)

    return(out)
  }
)

objects.store(EnergyConsumerDemand)
cat("Ovariable EnergyConsumerDemand stored.\n")

```

### Baseline energy consumption

Heat reflects the energy need for heating in situations where the outdoor temperature is below 17 °C. Cooling reflects the cooling need (measured as thermal energy, not electricity!) in situations where the outdoor temperature is above 24 °C. This is not a U value, because it is about energy use per floor area, not about heat loss through building structures per m<sup>2</sup>. For estimating temperene, we take the total energy consumption in Helsinki and divide that with the total floor area and average temperature difference, see [Helsinki energy consumption#U values based on overall data](#).

**Table 7. [Energy use per area and temperature difference\(W /K /m2\)](#)**

Consumable	Fuel	Energy flow	Description
Heating	Heat	1.66	See Helsinki energy consumption: $6921.65/24/365/38990000/(17-4.8)*1E+9$
District cooling	Cooling	0.3	Guesswork. This uses centralised system.
Electric cooling	Electricity	0.3	Guesswork. This uses apartment-specific appliances.

```

## This is code Op_en5488/temperene on page [[Energy use of buildings]]
library(OpasnetUtils)

temperene <- Ovariable("temperene", ddata = "Op en5488", subset = "Energy use per area and
temperature difference")

objects.store(temperene)
cat("Ovariable temperene stored.\n")

```

Temperature-independent energy consumption per floor area.

**Table 8. [Temperature-independent energy use per area\(W /m2\)](#)**

Consumable	Fuel	Energy intensity	Description
Consumer electricity	Electricity	5	Assumes 50 kWh /m2 /a (see below)
Hot water	Heat	4	Assumes that hot water is ca. 20 % of energy need of heating: $6921.65/24/365/38990000*1E+9*0.2$

```
## This is code Op_en5488/nontemperene on page [[Energy use of buildings]]
library(OpasnetUtils)

nontemperene <- Ovariable("nontemperene", ddata = "Op en5488", subset = "Temperature-
independent energy use per area")

objects.store(nontemperene)
cat("Ovariable nontemperene stored.\n")
```

## Energy efficiency in heating

What is the relative energy consumption of different efficiency classes compared with Old? This table tells that with some background information about heat (in kWh/m<sup>2</sup>/a), electricity, and water consumption.

**Table 9. [Energy use by energy class of building\(ratio\)](#)**

Efficiency	Ratio	Heat	User electricity	Water	Description
Traditional	1.2-1.4	200			Guesstimate
Old	1	150		30	Pöyry 2011 s.28
New	0.4-0.5	70	50	40	Pöyry 2011 s.32 (2010 SRMK)
Low-energy	0.2-0.25	35	50	40	Personal communication
Passive	0.1-0.16	17.5 - 25	50	40	Pöyry 2011 s.33; Personal communication

```
# This code is Op_en5488/efficiencyRatio on page [[Energy use of buildings]]
library(OpasnetUtils)

efficiencyRatio <- Ovariable(
  name = 'efficiencyRatio',
  ddata = 'Op_en5488',
  subset = 'Energy use by energy class of building'
)

objects.store(efficiencyRatio)
cat("Object efficiencyRatio initiated!\n")
```

**Table 10. [Energy efficiency of buildings when they are built\(%\)](#)**

Efficiency	Constructed	Fraction	Description
Traditional	1800-1944	100	
Old	1945-1994	100	
New	1995-2019	100	
New	2020-2029	10-20	
Low-energy	2020-2029		The rest of energy class
Passive	2020-2029	25-35	
New	2030-2039	5-10	
Low-energy	2030-2039	20-50	
Passive	2030-2039		The rest of energy class

**Table 10. [Energy efficiency of buildings when they are built\(%\)](#)**

Efficiency	Constructed	Fraction	Description
New	2040-2070	0-5	
Low-energy	2040-2070	10-30	
Passive	2040-2070		The rest of energy class

Old: old buildings to be renovated (or in need of renovation)

New: normal new buildings (no current need of renovation)

Low-energy: buildings consuming about half of the energy of a new building

Passive: buildings consuming a quarter or less of the energy of a new building

Chinese green building system: [\[1\]](#) [\[2\]](#)

```
#This code is Op en5488/efficiencyShares from page [[Energy use of buildings]].
library(OpasnetUtils)

efficiencyShares <- Ovariable("efficiencyShares",
  dependencies = data.frame(
    Name = c("dummy")
  ),
  formula = function(...) {
    es <- Ovariable(
      name = 'es',
      ddata = 'Op_en5488',
      subset = 'Energy efficiency of buildings when they are built'
    )
    es <- findrest(es, cols = "Efficiency", total = 100) / 100

    constructed <- unique(es@data$Constructed)
    temp <- ((strsplit(as.character(constructed), split = "-")))

    y <- data.frame()
    for(i in 1:length(constructed)) {
      y <- rbind(
        y,
        data.frame(
          Constructed = constructed[i],
          Time = seq(from = as.numeric(temp[[i]][1]), to = as.numeric(temp[[i]][2]), by =
5),
          Result = 1
        )
      )
    }
    y <- Ovariable(output = y, marginal = c(TRUE, TRUE, FALSE))

    out <- unkeep(es * y, cols = "Constructed", prevresults = TRUE, sources = TRUE)

    out@output$Efficiency <- factor(
      out@output$Efficiency,
      levels = c("Traditional", "Old", "New", "Low-energy", "Passive"),
      ordered = TRUE
    )
    return(out)
  }
)

dummy <- 1

objects.store(efficiencyShares, dummy)
cat("Objects efficiencyShares, dummy initiated!\n")
```

## Impact of renovations

**Table 11. [Energy saving potential of different renovations\(ratio,kWh/m2/a\)](#)**

Renovation	Relative	Absolute	Renovation details	Description
Windows	0.85	25	New windows and doors	Pöyry 2011
Technical systems	0.50	75	New windows, sealing of building's sheath, improvement of building's technical systems	Pöyry 2011
Sheath reform	0.35	100	New windows, sealing of building's sheath, improvement of building's technical systems, significant reform of building's sheath	Pöyry 2011
General	0.85	-	General renovation	Pöyry 2011
None	1	0	Renovation not done	

```
# This code is Op_en5488/renovationRatio on page [[Energy use of buildings]]
library(OpasnetUtils)

renovationRatio <- Ovariable(
  name = 'renovationRatio',
  ddata = 'Op_en5488',
  subset = 'Energy saving potential of different renovations'
)
renovationRatio@data$Renovation <- factor(
  renovationRatio@data$Renovation,
  levels = c("None", "General", "Windows", "Technical systems", "Sheath reform"),
  ordered = TRUE
)

objects.store(renovationRatio)
cat("Object renovationRatio initiated!\n")
```

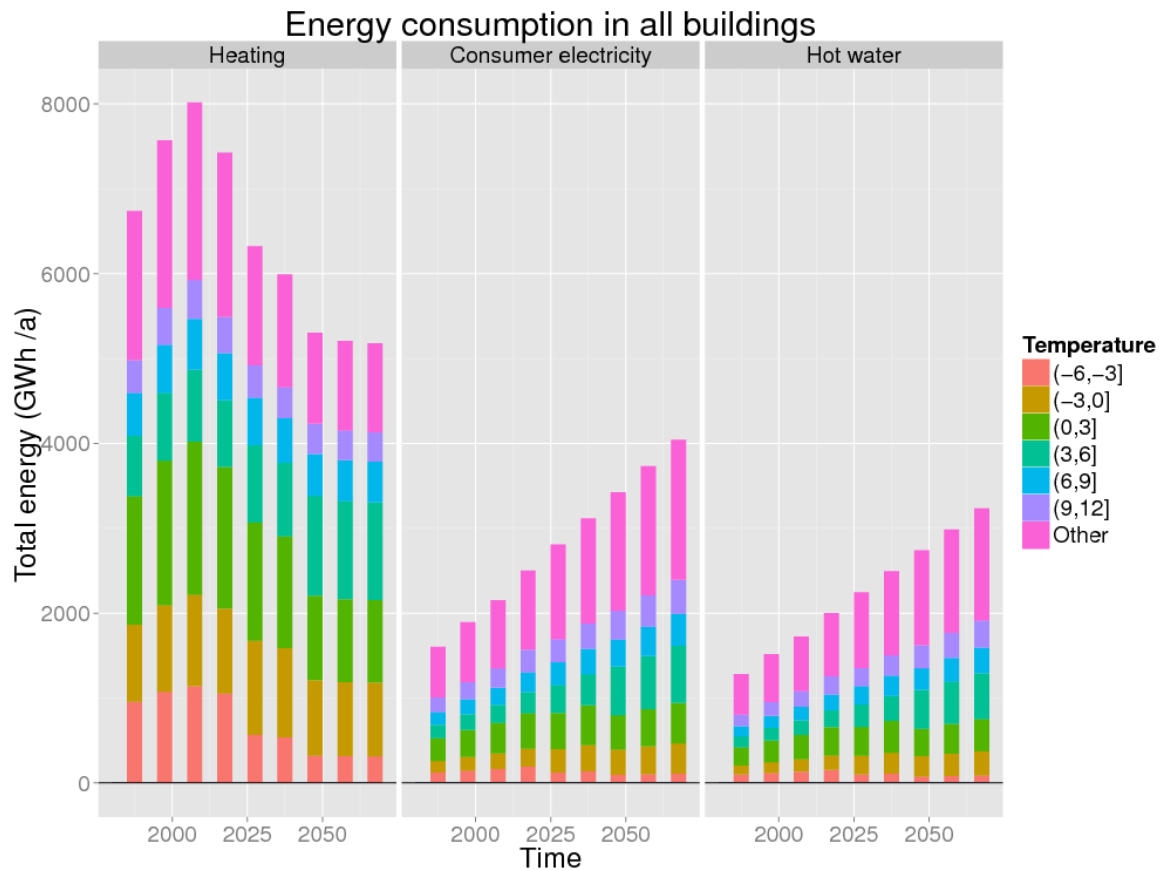


# Helsinki energy consumption

## Question

How much energy is consumed and to what purposes in Helsinki?

## Answer



**Figure 7. Energy consumed for heating, cooling, hot water, and consumer electricity in Helsinki. Note: the future consumption is based on *Energy saving total* scenario from the assessment [Helsinki energy decision 2015](#), not business-as-usual.**

There is no answer code here, because the U value  $1.661 \text{ W/m}^2/\text{K}$  is directly used in [Energy use of buildings#Baseline energy consumption](#).

## Rationale

### U values based on overall data

The total heat consumption by district-heated buildings is 6921.65 GWh in 2013 (see below). We can derive the total energy efficiency value expressed as  $W/m^2/K$  for floor area and temperature difference between indoors and outdoors. The typical energy efficiency calculations (using the so called U value) assume that outdoor 17 °C is thermoneutral and lower values require heating. The total floor area of district-heated buildings is 38990000  $m^2$  in 2015 according to the [Helsinki energy decision 2015 model](#). The annual average temperature in Helsinki is 4.8 °C [3] and during heating season Sep-May 1.4 C ([Opasnet data](#)). Therefore the energy efficiency value (approximate U value) is

$$U = \frac{6921.65 \text{GWh}/a / (24h/d \times 365d/a)}{38990000 m^2 (17K - 4.8K)} = 1.661 \frac{W}{m^2 K}$$

### Energy consumption statistics

**Table 12. Total energy consumption in Helsinki in 2013 (GWh)** <sup>[1]</sup>

	Adjusted for temperature	Not adjusted for temperature
District heating	6921.65	6461.00
Separate heating	303.89	284.01
Electric heating	339.23	316.65
Consumer electricity	3988.10	3988.10
Private cars	1294.06	1294.06
Other road traffic	794.33	794.33
Trains	111.16	111.16
Ships	432.12	432.12
Industry and machinery	147.60	147.60
Total	14332.14	13829.03

# Helsinki energy production

## Question

What is the amount of energy produced (including distributed production) in Helsinki? Where is it produced (-> emissions)? Which processes are used in its production?

## Answer

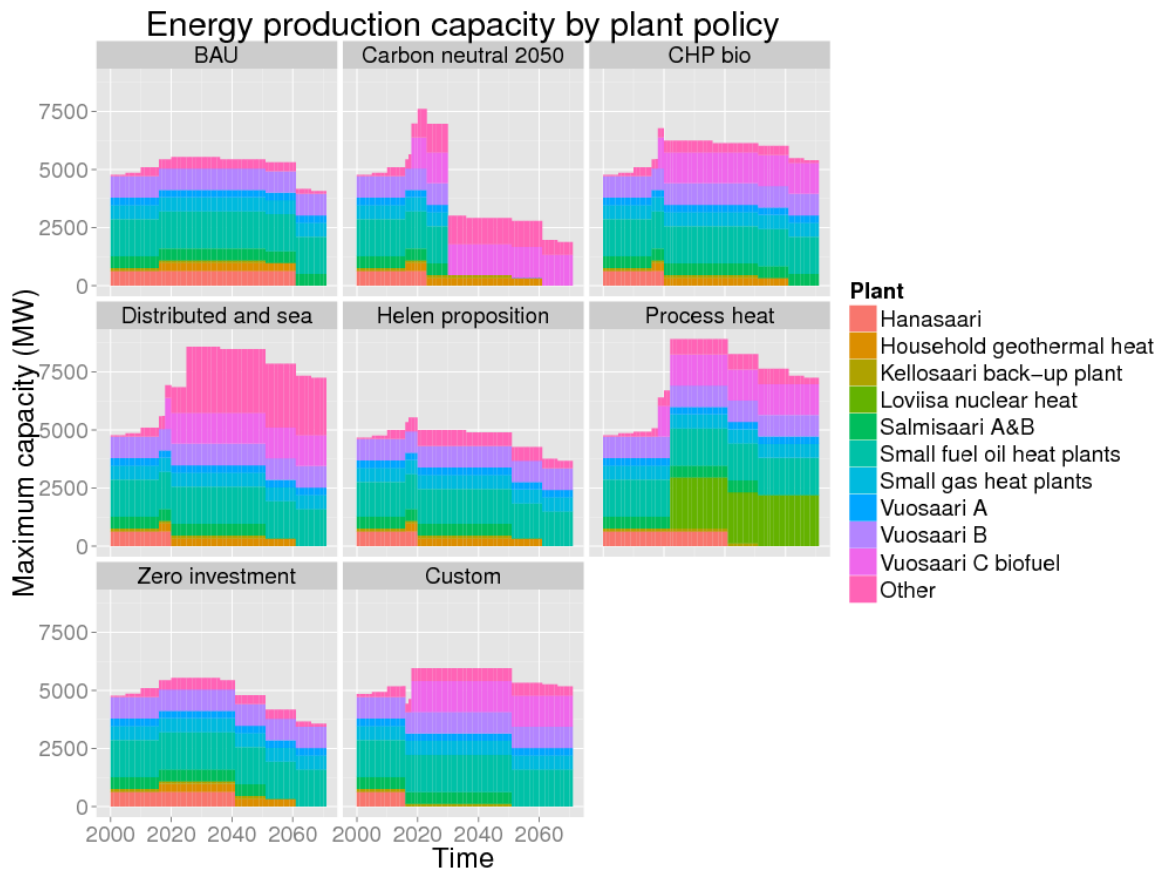


Figure 8. Energy production capacity in Helsinki. The different scenarios are based on [Helsinki energy decision 2015](#).

This code is used to fetch the ovariables on this page for modelling.

```
## This is code Op_en7311/answer on page [[Helsinki energy production]]

library(OpasnetUtils)

objects.latest("Op_en7311", code_name = "energyProcess") # [[Helsinki energy production]]
objects.latest("Op_en7311", code_name = "plantParameters") # [[Helsinki energy production]]
objects.latest("Op_en7311", code_name = "nondynsupply") # [[Helsinki energy production]]
objects.latest("Op_en7311", code_name = "fuelShares") # [[Helsinki energy production]]
objects.latest("Op_en7311", code_name = "emissionLocationsPerPlant") # [[Helsinki energy production]]

#oprint(head(EvalOutput(energyProcess)@output))
#oprint(head(EvalOutput(plantParameters)@output))
#oprint(head(EvalOutput(nondynsupply)@output))
```

```
#oprint(head(EvalOutput(fuelShares)@output))
#oprint(head(EvalOutput(emissionLocationsPerPlant)@output))

cat("ovariables energyProcess, plantParameters, nondynsupply, fuelShares, and
emissionLocationsPerPlant successfully fetched.\n")
```

## Rationale

This page contains data about the heat plants in Helsinki. It tells, how much and what type of energy a plant produces per unit of fuel, how much the plants cost and the locations of the power plant emissions. This data is then further used in the model.

Amount produced is determined largely by the [energy balance in Helsinki](#) and [Helsinki energy consumption](#). The maximum energy produced and fuels used by of all Helen's power plants can be found here: <https://www.helen.fi/kotitalouksille/neuvoa-ja-tietoa/tietoa-meista/energiantuotanto/voimalaitokset/>

## Energy processes

**Table 13. [Heat, power and cooling processes\(MJ /MJ\)](#)**

Plant	Burner	Electricity	Electricity taxed	Heat	Cooling	Coal	Gas	Fuel oil	Bio-fuel	Description
Biofuel heat plants	Large fluidized bed	0	0	0.85-0.91	0	0	0	0	-1	
CHP diesel generators	Diesel engine	0.3	0	0.3-0.5	0	0	0	-1	0	Efficiency not known well in practice
Data center heat	None	0	-0.27 -- 0.23	1	0	0	0	0	0	Same as Neste without transport of heat
Deep-drill heat	None	0	-0.4 -- 0.1	1	0	0	0	0	0	Experimental technology
Hanasaari	Large fluidized bed	0.31	0	0.60	0	-1	0	0	0	Assume 91 % efficiency. Capacity: electricity 220 MW heat 420 MW Loss 64 MW
Household air heat pumps	None	0	-0.7 -- 0.2	1	0	0	0	0	0	The efficiency of heat pumps is largely dependent on outside air temperature, it's feasible for a household air heat pump to reach COP 5 at 10 °C and COP 1.5 at -25 °C.
Household air conditioning	None	0	-0.7 -- 0.2	0	1	0	0	0	0	
Household geothermal heat	None	0	-0.36 -- 0.31	1	0	0	0	0	0	Motiva 2014
Katri Vala cooling	None	0	-0.36 -- 0.31	0	1	0	0	0	0	District cooling produced by absorption (?) heat pumps. Same as heat pumps for heating, Motiva 2014.

Plant	Burner	Electricity	Electricity taxed	Heat	Cooling	Coal	Gas	Fuel oil	Bio-fuel	Description
Katri Vala heat	None	0	-0.36 -- 0.31	1	0	0	0	0	0	Heat from cleaned waste water and district heating network's returning water. Motiva 2014
Kellosaari back-up plant	Large fluidized bed	0.3 - 0.5	0	0	0	0	0	-1	0	Only produces electric power
Kymijoki River's plants	None	1	0	0	0	0	0	0	0	Hydropower
Loviisa nuclear heat	None	0	-0.4 -- 0.1	1	0	0	0	0	0	Assumes that for each MWh heat produced, 0.1-0.2 MWh electricity is lost in either production or when heat is pumped to Helsinki.
Neste oil refinery heat	None	0	-0.31 -- 0.27	1	0	0	0	0	0	Motiva 2014
Salmisaari A&B	Large fluidized bed	0.32	0	0.59	0	-1	0	0	0	Capacity: electricity 160 MW heat 300 MW loss 46 MW
Sea heat pump	None	0	-0.36 -- 0.31	1	0	0	0	0	0	Motiva 2014
Sea heat pump for cooling	None	0	-0.36 -- 0.31	0	1	0	0	0	0	Assuming the same as for heating
Small-scale wood burning	Household	0	0	0.5 - 0.9	0	0	0	0	-1	
Small gas heat plants	Large fluidized bed	0	0	0.91	0	0	-1	0	0	
Small fuel oil heat plants	Large fluidized bed	0	0	0.91	0	0	0	-1	0	
Suvilahti power storage	None	1	0	0	0	0	0	0	0	
Suvilahti solar	None	1	0	0	0	0	0	0	0	
Vanhakaupunki museum	None	1	0	0	0	0	0	0	0	Hydropower
Vuosaari A	Large fluidized bed	0.455	0	0.455	0	0	-1	0	0	Capacity: electricity 160 MW heat 160 MW loss 30 MW
Vuosaari B	Large fluidized bed	0.5	0	0.41	0	0	-1	0	0	Capacity: electricity 500 MW heat 424 MW loss 90 MW
Vuosaari C biofuel	Large fluidized	0.47	0	0.44	0	0	0	0	-1	

Plant	Burner	Electricity	Electricity taxed	Heat	Cooling	Coal	Gas	Fuel oil	Bio-fuel	Description
	bed									
Wind mills	None	1	0	0	0	0	0	0	0	

Notes about the data in the table:

Household air **heat pumps** data from heat pump comparison<sup>[2]</sup>

Household **geothermal heat** data from Energy Department of the United States: Geothermal Heat Pumps<sup>[3]</sup>

**Small-scale wood burning** data from Energy Department of the United States: Wood and Pellet Heating<sup>[4]</sup>

**Loss of thermal energy** through distribution is around 10 %. From Norwegian Water Resources and Energy Directorate: Energy in Norway.<sup>[5]</sup>

Sustainable Energy Technology at Work: Use of **waste heat** from refining industry, Sweden.<sup>[6]</sup>

Chalmers University of Technology: Towards a Sustainable **Oil Refinery**, Pre-study for larger co-operation projects<sup>[7]</sup>

**CHP** diesel generators are regular diesel generators, but they are located in apartment houses and operated centrally. This way, it is possible to produce electricity when needed and use the excess heat, instead of district heat, to warm up the hot water of the house.

Motiva estimates for **heat pumps** processes and costs *for heating*:<sup>[8]</sup>

Mechanical heat pumps usually have COP (coefficient of performance, thermal output energy per electric input energy needed) is 2.5 - 7.5.

In district heating, mechanical heat pumps have typically COP around 3.

Absorption heat pumps have COP typically 1.5 - 1.8. They do not use much electricity but they need either hot water or steam to operate. Therefore, they are not suitable for producing district heat from warm water with temperatures in the range of 25 - 30 °C (Neste) or 10-15 °C (sea heat).

The report uses these values for energy prices (€/MWh): bought electricity 50, process steam 25, wood chip 20, district heating 40, own excess heat 0.

The investment cost of a heat pump system (ominaiskustannus) in the cases described in this report were 0.47-0.73 M€/MW<sub>th</sub> for mechanical heat pumps and 0.072 - 0.102 M€/MW<sub>th</sub> for absorption heat pumps. These values do not include the pipelines needed, which may vary a lot; in these cases the pipeline costs were 0.1 - 2.5 times the cost of the heat pump.

The energy efficiency is theoretically  $COP = T_{out} / (T_{out} - T_{in})$ , and the actual COP values are typically 65 - 75 % of that. If we assume that we want 95 °C district heat out, we get

for sea heat pumps:  $COP = 368 \text{ K} / (368 \text{ K} - 283 \text{ K}) = 4.3$  ideally and in practice 2.8 - 3.2. Electricity needed per 1 MWh output: 0.31 - 0.36 MWh.

Neste process heat:  $COP = 368 \text{ K} / (368 \text{ K} - 303 \text{ K}) = 5.7$  ideally and in practice 3.7 - 4.2. Electricity needed per 1 MWh output: 0.23 - 0.27 MWh (plus what is needed for pumping the heat for 25 km, say + 0.04 MWh)

```
## This code is Op_en7311/energyProcess on page [[Helsinki energy production]]
library(OpasnetUtils)

energyProcess <- Ovariable("energyProcess", ddata = "Op en7311", subset = "Heat, power and
cooling processes")

# Add Time index so we can make Time dependant decisions

energyProcess@data <- merge(energyProcess@data, data.frame(Time = 1880:2080))

objects.store(energyProcess)
cat("Ovariable energyProcess stored.\n")
```

## Plant specifications

These equations below aim to reflect the energy production facilities and capabilities. The min and max values tell about the range of energy production of the plant, and the cost values tell the costs of building and running the powerplant.

Note! Maintenance cost only contains costs that do not depend on activity. Operational cost contains costs that depend on activity but NOT fuel price; those are calculated separately based on energy produced.

**Table 14. [Plant parameters\(MW,MW,M€,M€/a,€/MWh\)](#)**

Years active	Plant	Min	Max	Investment cost	Management cost	Operation cost	Description
2017-2070	Biofuel heat plants	0	100-300	360	10	4-12	biofuels (pellets, wood chips and possibly biochar)
2025-2070	CHP diesel generators	0	1441	144	1	1	Assuming all of Helsinki's apartment houses were fitted with 100 kW generators.
2025-2080	Deep-drill heat	0	300	300-900	9.6	40	Investment cost from ETSAP
1965-2040	Hanasaari	0	640	0	9.6	8	95% coal, 5% pellets. Assume cost of running and maintenance in coal plants 15€/kW (Sähköenergian kustannusrakenne)
2010-2060	Household air heat pumps	0	112	200-300	10	5	Assuming all of Helsinki's detached and row houses were fitted with air heat pumps
2010-2060	Household air conditioning	0	67	150-200	10	5	
2016-2060	Household geothermal heat	0	335	380-450	10	5	Assuming all of Helsinki's detached and row houses were fitted with geothermal heat pumps
2020-2035	Household solar	0	105	220-250	5	5	Assuming 700000 m2 suitable for solar panels.
2010-2070	Katri Vala cooling	0	60	0	10	3	waste water. Max from Helen
2005-2065	Katri Vala heat	0	90	0	10	3	waste water. Max from Helen
1980-2050	Kellosaari back-up plant	0	120	0	10	20	oil
1980-2070	Kymijoki River's plants	0	60	0	10	1-4	hydropower
2022-2080	Loviisa nuclear heat	0	1800-2600	400-4000	10	5	Investment cost includes energy tunnel (double of Neste) but NOT building cost of plant. Some estimate for typical district heat pipes on ground is 2 M€/km; this is clearly a minimum for this project.
2020-2060	Neste oil refinery heat	0	300	200-500	10	5	
1975-2050	Salmisaari A&B	0	506	0	7.6	8	95% coal, 5% pellets

Years active	Plant	Min	Max	Investment cost	Management cost	Operation cost	Description
2020-2070	Sea heat pump	0	225	280	10	4	
2020-2070	Sea heat pump for cooling	0	225	280	10	4	
1980-2070	Small-scale wood burning	78	78	0	1	0	Assuming 70% of Helsinki's detached and row houses have a working fireplace. Operation costs for consumer assumed to be 0.
1980-2070	Small gas heat plants	0	600	0	5	5	
1980-2070	Small fuel oil heat plants	0	1600	0	5	5	
2015-2040	Suvilahti power storage	-1.2	1.2	100	10	5	electricity storage 0.6 MWh
2013-2070	Suvilahti solar	0	0.34	0	10	5	
1880-2070	Vanhakaupunki museum	0	0.2	0	10	0	water
1991-2070	Vuosaari A	0	320	0	5	5	natural gas
1998-2070	Vuosaari B	0	924	0	5	5	natural gas
2018-2070	Vuosaari C biofuel	0	1331	650	10	9	80-100% biofuels, rest coal
2017-2060	Wind mills	0	10	12	0.07-0.15	7-13	upper limit from EWEA-report: The economics of wind energy
2016-2070	Data center heat	0	150	70.5-109.5	5	0	Investment cost 0.47-0.73 M€/MWh based on Motiva 2014. Cooling is needed anyway, so assumes operation costs to be 0.

Notes:

[Neste excess heat](#) in Opasnet

Helens's windpower <sup>[9]</sup>

Suvilahti solar <sup>[10]</sup>

Loviisan sanomat: Loviisan ydinvoimalan tehoja aiotaan nostaa 52 megawattia. <sup>[11]</sup>

Loviisa 3 periaatepäätös <sup>[12]</sup>

Sähköenergian kustannusrakenne <sup>[13]</sup>

European Wind Energy Association (EWEA): The economics of wind energy <sup>[14]</sup>

Operation costs (€/MWh) of nuclear, wind, coal, and wood based biomass <sup>[15]</sup>

Sea heat capacity and cost estimated using case Drammen. <sup>[16] [17][18]</sup>

Cost of household solar estimated using <sup>[4]</sup> and <sup>[5]</sup>

Deep drill heat

Energy Technology Systems Analysis Programme (ETSAP) <sup>[19]</sup>

Small heat plants' capacities <sup>[20]</sup>



```

### This code is Op_en7311/plantParameters on page [[Helsinki energy production]]
library(OpasnetUtils)

# [[Helsinki energy production]]
plantParameters <- Ovariable("plantParameters", ddata = "Op en7311", subset = "Plant
parameters")

a <- unique(plantParameters@data[c("Plant", "Years_active")])

b <- strsplit(as.character(a$Years_active), split = "-")
out <- data.frame()
for(i in 1:nrow(a)) {
  out <- rbind(out, data.frame(
    a[i, "Plant", drop = FALSE],
    Time = as.numeric(b[[i]][1]):as.numeric(b[[i]][2]),
    Matched = 1
  )
)
}

require(plyr)
plantParameters@data <- merge(plantParameters@data, data.frame(Time =
1880:2080) #min(out$Time):max(out$Time))
plantParameters@data <- join(plantParameters@data, out, type = "left")
plantParameters@data$Years_active <- NULL

plantParameters@data$plantParametersResult[
  is.na(plantParameters@data$Matched) &
  (
    plantParameters@data$Parameter == "Max" |
    plantParameters@data$Parameter == "Min"
  )
] <- 0
plantParameters@data$Matched <- NULL

objects.store(plantParameters)
cat("Ovariable plantParameters stored.\n")

```

**Table 15. Non-adjustable energy production (MW)**

Plant	Burner	Fuel	2015	2025	2035	2045	2055	2065
Suvilahti solar	None	Electricity	5	5	10	10	10	10
Wind mills	None	Electricity	5	5	10	10	10	10

```

### This code is Op_en7311/nondynsupply on page [[Helsinki energy production]].
### nondynsupply is about non-dynamic energy supply. In other words, it cannot be optimised
based on need.
library(OpasnetUtils)

# [[Helsinki energy supply]]
nondynsupply <- Ovariable("nondynsupply", ddata = "Op_en7311", subset = "Non-adjustable
energy production")

objects.store(nondynsupply)
cat("Ovariable nondynsupply stored.\n")

```

## Fuel availability

### Wood

The byproducts of forest industry make up the bulk of fuel wood, and its quantity is almost completely dependent of the production of the forest industry's main products. Therefore it makes sense to calculate the amount of fuel wood usable in the future using the predictions about the volume of forest industry's production in coming years.

For example, the maximum potential production of woodchips is calibrated so, that it will reach 25 TWh in year 2020, and it is expected slowly increase to 33 TWh by year 2050. The production potential for firewood (for small scale heating) is expected to remain about the same at just under 60 PJ. The import of wood fuels is estimated to be 3 TWh at most. [\[21\]](#)

## Fuel use by heating type

**Table 16. Helsinki-specific data about connections between Heating and fuel usage. Generic data should be taken from [Energy balance](#). Because all Helsinki-specific data is given in the energyProcess table, this only contains dummy data.**

Heating	Burner	Fuel	Fraction	Description
Dummy	None	Coal	0	

This R code creates an ovariable for calculating the shares of different fuels used in heating processes.

```
## This code is Op en7311/fuelShares on page [[Helsinki energy production]]
library(OpasnetUtils)

fuelShares <- Ovariable("fuelShares",
  dependencies = data.frame(
    Name = "fuelSharesgeneric",
    Ident = "Op en5141/fuelSharesgeneric" # [[Energy balance]]
  ),
  formula = function(...) {
    dat <- EvalOutput(Ovariable("dat", ddata = "Op en7311.fuel use by heating type")) #
[[Helsinki energy production]]
    colnames(dat@output) <- gsub("[ \\\\.]", " ", colnames(dat@output))

    out <- combine(fuelSharesgeneric, dat, name = "fuelShares")
    out <- out * Ovariable(output = data.frame(Time = 1900:2080, Result = 1), marginal =
c(TRUE, FALSE))
    out <- unkeep(out, prevresults = TRUE, sources = TRUE)

    return(out)
  }
)

objects.store(fuelShares)
cat("Object fuelShares stored.\n")
```

## Emission locations

**Table 17. Emission locations per plant. The values of emission sites are based on [locations of city areas](#).**

Plant	Emission site	Emission height	Description
Biofuel heat plants	010	Low	
CHP diesel generators	010	Ground	
Deep-drill heat	010		
Hanasaari	010	High	
Household air heat pumps	010		
Household air conditioning	010		
Household geothermal heat	010		
Household solar	010		
Katri Vala cooling	010		

Plant	Emission site	Emission height	Description
Katri Vala heat	010		
Kellosaari back-up plant	010	High	
Kymijoki River's plants	010		
Loviisa nuclear heat	010		
Neste oil refinery heat	010	High	
Salmisaari A&B	010	High	
Sea heat pump	010		
Sea heat pump for cooling	010		
Small-scale wood burning	010	Ground	
Small gas heat plants	010	Low	
Small fuel oil heat plants	010	Low	
Suvilahti power storage	010		
Suvilahti solar	010		
Vanhakaupunki museum	010	High	
Vuosaari A	010	High	
Vuosaari B	010	High	
Vuosaari C biofuel	010	High	
Wind mills	010		
Data center heat	010		
Unidentified	At site of consumption	Ground	

This R code creates an ovariable for emission locations per plant.

```
##### This code is Op_en7311/emissionLocationsPerPlant [[Helsinki energy production]]
library(OpasnetUtils)

emissionLocations <- Ovariable("emissionLocations", ddata = "Op_en7311", subset = "Emission
locations per plant")
colnames(emissionLocations@data) <- gsub("[ \\\.]", "_", colnames(emissionLocations@data))
colnames(emissionLocations@data)[colnames(emissionLocations@data) ==
"emissionLocationsResult"] <- "Emission height"
emissionLocations@data$emissionLocationsResult <- 1

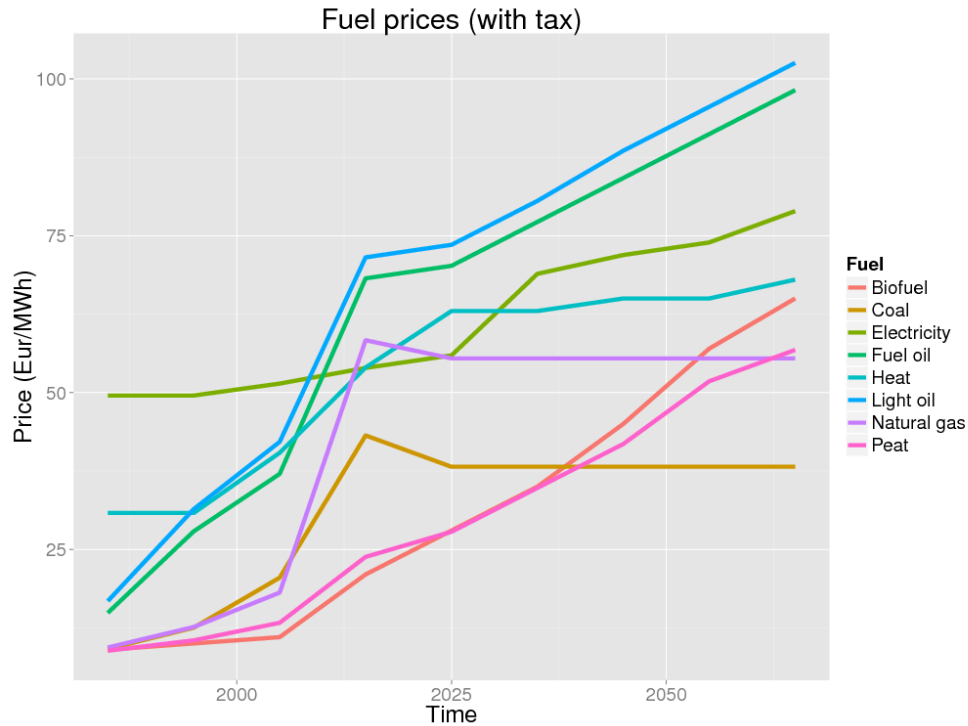
objects.store(emissionLocations)
cat("Ovariable emissionLocations stored.\n")
```

# Prices of fuels in heat production

## Question

What are prices of fuel used in heat production in own heating systems in apartments and in plants in Finland?

## Answer



**Figure 9. Prices of fuels in heat production without tax.**

An example code for fetching and running the ovariable.

```
## This code is Op_en4151/ on page [[Prices of fuels in heat production]].
library(OpasnetUtils)
objects.latest("Op_en4151", code_name="fuelPrice")
oprint(EvalOutput(fuelPrice))
```

## Rationale

This page contains prices for electricity, district heating, liquid fuels and consumer prices of hard coal, natural gas and domestic fuels in heat production in Finland. all data is based on knowledge of [Statistics Finland](#) In the end of data section there will be also data for maintenance and investment costs!!

This code calculates the price of fuels including tax.

```
library(OpasnetUtils)
```

```

fuelPrice <- Ovariable(
  "fuelPrice",
  dependencies = data.frame(
    Name = c("fuelPriceRaw", "fuelTax"),
    Ident = c("Op_en4151/fuelPriceRaw", "Op_en4151/fuelTax")
  ),
  formula = function(...){
    out <- fuelPriceRaw
    out$Result <- 0 #result(out)
    out <- merge(out, Ovariable(output = data.frame(Tax = unique(fuelTax$Tax)), marginal =
TRUE))
    time <- as.POSIXct(strptime(paste("1.1.", as.character(out$Time), sep = ""), format =
"%d.%m.%Y"))
    for (i in 1:nrow(out@output)) {
      temp <- merge(out[i,colnames(out@output) != "Time"], fuelTax)
      if (nrow(temp@output) > 0) out$Result[i] <-
temp$fuelTaxResult[which.min(abs(temp$Time - time[i]))]
    }
    out <- oapply(out, NULL, sum, "Tax")

    out <- out + fuelPriceRaw

    levels(out$Fuel)[levels(out$Fuel) == "Electricity"] <- "Electricity_taxed"
    out@output <- orbind(out, fuelPriceRaw[fuelPriceRaw$Fuel == "Electricity",])
    result(out)[is.na(result(out))] <- out$fuelPriceRawResult[is.na(result(out))]
    return(out)
  }
)
objects.store(fuelPrice)

```

### Prices of fuels without tax

A previous version was based on several info sources [6]. However, this resulted in inconsistent prices between fuels. Now the table is simplified and made more robust using IEA estimates [VTT-R-03704-14 YDINPAP \(1\)](#) page 8, with the cost of accuracy. There should be an expert panel discussing the interdependencies of fuel prices to get the correct order.

**Table 18. [Fuel prices\(€ /MWh\)](#)**

Fuel	1985	1995	2005	2015	2025	2035	2045	2055	2065	Description
Coal	8.5	9.41	13.78	20	15	15	15	15	15	
Gas	9.1	11.6	16.2	42.9	40	40	40	40	40	
Natural gas	9.1	11.6	16.2	42.9	40	40	40	40	40	Same as gas.
Oil	14.3	25	32	52	54	61	68	75	82	
Crude oil	14.3	25	32	52	54	61	68	75	82	Same as oil.
Fuel oil	14.3	25	32	52	54	61	68	75	82	Same as oil.
Heavy oil	14.3	25	32	52	54	61	68	75	82	Same as oil.
Light oil	16	28	35	55	57	64	72	79	86	Slightly higher than oil.
Bio	9	10	11	21	28	35	45	57	76	
Biofuel	9	10	11	21	28	35	45	57	65	Same as bio.
Peat	6.6	8	9.8	17	21	28	35	45	50	
Electricity	40	40	40	40	42	55	58	60	65	
Heat	30.8	30.8	40.4	53.99	63	63	65	65	68	

**Table 18. Fuel prices(€ /MWh)**


Fuel	1985	1995	2005	2015	2025	2035	2045	2055	2065	Description
Cooling	30.8	30.8	40.4	53.99	63	63	65	65	68	Same as heat

All prices are in 2015 euros.

Coal, Gas/Natural Gas, Light oil and Bio/Biofuel and Peat data from Statistics Finland<sup>[22]</sup>. Bio/Biofuel stands for wood chips.

Oil prices from U.S. Energy Information Administration<sup>[23]</sup>. All values converted first to 2015 dollars (inflation correction) and then to 2015 euros using the current (21.7.2015) exchange ratio of 1 \$ = 0.923 €. Price per barrel then converted to price per MWh presuming that the energy released by burning one barrel is about  $5.8 \times 10^6$  BTU = 1.7 MWh, U.S. Internal Revenue Service<sup>[24]</sup>.

Compound Annual Growth Rates (CAGR) for Coal, Gas/Natural Gas, Oil, Crude oil, Fuel oil, Heavy oil and Light oil from U.S. Energy Information Administration's "Annual Energy Outlook 2015 with projections to 2040"<sup>[25]</sup>. CAGR for Bio/Biofuel and Peat estimated to be 2 %, based on the price history.

Price of electricity [\[7\]](#). 

District heating data is based on the price for an apartment building (volume 10 000 m<sup>3</sup>, energy need 450 MWh/a). Data from Statistics Finland [\[8\]](#). We assume that the price of district cooling is the same (although district cooling has been available only for a few years).

Uncertainties are assumed in the same way for all fuels: a certain percentage up and down from the best estimate, varying by year. The following uncertainties were used: 2025 5 %, 2035 10 %, 2045 15 %, 2055 20 %, 2065 30 %. It should be noted that uncertainties are different for different fuels, but we were unable to estimate fuel-specific uncertainties.

```
## This is code Op en4151/fuelPriceRaw on page Prices of fuels in heat production
library(OpasnetUtils)

fuelPriceRaw <- Ovariable("fuelPriceRaw", ddata = "Op_en4151", subset = "Fuel prices")

objects.store(fuelPriceRaw)
cat("Ovariable fuelPriceRaw stored.\n")
```

## Taxes for different fuels

**Table 19. Taxes and fees for fuel and energy production<sup>[26]</sup>**

Taxes and fees from	Petrol (snt/l)	Diesel (snt/l)	Light fuel oil (snt/l)	Heavy fuel oil (snt/kg)	Coal (€/t)	Natural gas (€/MWh)	Peat (€/MWh)
1.1.1990	21,53	16,82	0,34	0,34	2,69	0,17	0,34
1.1.1991	26,57	17,49	0,35	0,35	2,83	0,18	0,35
1.1.1992	28,26	17,49	0,35	0,35	2,83	0,18	0,35
1.8.1992	31,62	17,49	0,35	0,35	2,83	0,18	0,35
1.1.1993	39,52	19,17	1,41	1,12	5,61	0,35	0,70
1.7.1993	39,52	16,65	1,41	1,12	5,61	0,35	0,70
1.1.1994	40,05	17,29	2,05	1,98	11,30	1,09	0,35
1.1.1995	45,12	27,50	3,02	3,12	19,53	0,94	0,59

Table 19. Taxes and fees for fuel and energy production <sup>[26]</sup>

Taxes and fees from	Petrol (snt/l)	Diesel (snt/l)	Light fuel oil (snt/l)	Heavy fuel oil (snt/kg)	Coal (€/t)	Natural gas (€/MWh)	Peat (€/MWh)
1.1.1996	51,85	27,50	3,02	3,12	19,53	0,94	0,59
1.1.1997	51,85	27,50	4,88	3,72	28,42	1,19	0,71
1.4.1997	51,85	27,50	4,88	3,72	28,42	1,19	0,71
1.1.1998	55,22	30,02	5,50	4,34	33,40	1,40	0,82
1.9.1998	55,22	30,02	6,37	5,40	41,37	1,73	1,51
1.1.2003	58,08	31,59	6,71	5,68	43,52	1,82	1,59
1.7.2005	58,08	31,59	6,71	5,68	43,52	1,82	-
1.1.2007	58,08	31,59	6,71	5,68	43,52	1,82	-
1.1.2008	62,02	36,05	8,35	6,42	49,32	2,016	-
1.1.2011	62,02	36,05	15,70	18,51	126,91	8,94	1,90
1.1.2012	64,36	46,60	15,70	18,51	126,91	8,940	1,90
1.1.2013	64,36	46,60	15,99	18,93	131,53	11,38	4,90
1.1.2014	66,61	49,31	15,99	18,93	131,53	11,38	4,90
1.1.2015	66,61	49,31	15,99	18,93	153,24	15,36	3,40
Energy content tax							
1.1.2011	50,36	-	7,70	8,79	54,54	3,00	-
1.1.2012	50,36	30,70	7,70	8,79	54,54	3,00	-
1.1.2013	50,36	30,70	6,65	7,59	47,10	4,45	-
1.1.2015	50,36	30,70	6,65	7,59	47,10	6,65	-
Carbondioxide tax							
1.1.2011	11,66	-	8,00	9,72	72,37	5,94	-
1.1.2012	14,00	15,90	8,00	9,72	72,37	5,94	-
1.1.2013	14,00	15,90	9,34	11,34	84,43	6,93	-
1.1.2014	16,25	18,61	9,34	11,34	84,43	6,93	-
1.1.2015	16,25	18,61	9,34	11,34	106,14	8,71	-
Energy tax							
1.1.2011	-	-	-	-	-	-	1,90
1.1.2013	-	-	-	-	-	-	4,90
1.1.2014	-	-	-	-	-	-	4,90
1.1.2015	-	-	-	-	-	-	3,40
Maintenance and supply security fees							
1.7.1984	0,72	0,39	0,39	0,32	1,48	-	-
1.1.1997	0,68	0,35	0,35	0,28	1,18	0,084	-



**Table 19. Taxes and fees for fuel and energy production** <sup>[26]</sup>

Taxes and fees from	Petrol (snt/l)	Diesel (snt/l)	Light fuel oil (snt/l)	Heavy fuel oil (snt/kg)	Coal (€/t)	Natural gas (€/MWh)	Peat (€/MWh)
Oil pollution fees							
1.1.1990	0,28	0,031	0,031	0,037	-	-	-
1.1.2005	0,038	0,042	0,042	0,050	-	-	-
1.1.2010	0,113	0,126	0,126	0,150	-	-	-

```

library(OpasnetUtils)

fuelTaxRaw <- Ovariable("fuelTaxRaw", ddata = "Op_en4151.taxes_of_fuels")

fuelTax <- Ovariable(
  "fuelTax",
  dependencies = data.frame(Name = "fuelTaxRaw"), #, Ident = "Op_en4151/fuelTaxRaw"),
  formula = function(...) {
    #taxes <- fuelTaxRaw
    #taxes$Result <- as.numeric(as.character(taxes$Result))

    #units <- c("c€/l", "c€/l", "c€/l", "c€/kg", "€/t", "€/MWh", "c€/kWh")
    #taxes$Units <- units

    # convert units into €/MWh
    # energy densities/specific energies from
    # http://webserver.dmt.upm.es/~isidoro/bk3/c15/Fuel%20properties.pdf
    # and https://en.wikipedia.org/wiki/Energy_density
    conversion <- c(
      1/32.4*60*60/100,
      1/35.8*60*60/100,
      1/35.8*60*60/100,
      1/43*60*60/100,
      1/24/1000*60*60,
      1,
      1,
      1,
      10
    )
    fuels <- c("Petrol", "Diesel", "Light fuel oil", "Heavy fuel oil", "Coal", "Natural
gas", "Peat", "Biofuel", "Electricity")
    conversion <- Ovariable(
      output = data.frame(
        Fuel = fuels,
        Result = conversion
      )
    )
    #taxes$Result <- taxes$Result * conversion
    taxes <- fuelTaxRaw * conversion

    alias <- Ovariable(output = data.frame(
      Fuel = rep(fuels, c(0,0,1,4,0,2,0,2,0)),
      Fuel2 = c("Light oil", "Oil", "Crude oil", "Fuel oil", "Heavy oil", "Natural gas",
"Gas", "Biofuel", "Bio")
    ))
    taxes <- merge(taxes, alias, all.x = TRUE)
    temp <- as.character(taxes$Fuel2)
    temp[is.na(temp)] <- as.character(taxes$Fuel[is.na(temp)])
    taxes$Fuel <- temp
    taxes$Fuel2 <- NULL

    taxes <- taxes[!is.na(result(taxes)),]
    taxes <- taxes[!taxes$Tax %in% c("Energy content tax", "Carbon dioxide tax"),]
    #taxes <- oapply(taxes, NULL, sum, "Tax")

```

```
taxes$Time <- as.POSIXct(strptime(as.character(taxes$Time), format = "%d.%m.%Y"))
  return(taxes)
}
)
objects.store(fuelTaxRaw, fuelTax)
```

# Energy balance

## Question

What is energy balance and how is it modelled?

## Answer

Summing up the amount of energy produced and subtracting the amount of energy consumed within a time period gives the energy balance. Since the electricity grid and district heat network lack significant storage mechanics, the balance has to be virtually zero over short periods. When considering the balance of a particular area (e.g. Helsinki), we can make the assumption that electricity can be imported and exported in international markets. The energy in the district heat network, however, has to be produced locally. This sets up the non-trivial problem of optimising production so that there are no significant deficits as well as minimising losses and maximising profits. This problem is solved (to some extent) by market forces in the real world.

In Opasnet, there are two different ways to calculate energy balance. Our most recent energy balance model uses linear programming tools to solve an optimum for the activity of a given set of production units in simulated instances created by the main model. The main model is responsible for the decision making aspects, while the energy balance optimisation only functions as an approximation of real world market mechanics. This version was used in [Helsinki energy decision 2015](#).

The previous version was based on setting up a set of linear equations describing the inputs, outputs, and shares of different energy and plant processes. This approach is less flexible, because it does not use an optimising function and everything must be described as linear (or piecewise linear). However, this approach was successfully used in [Energy balance in Kuopio](#) and [Energy balance in Suzhou](#).

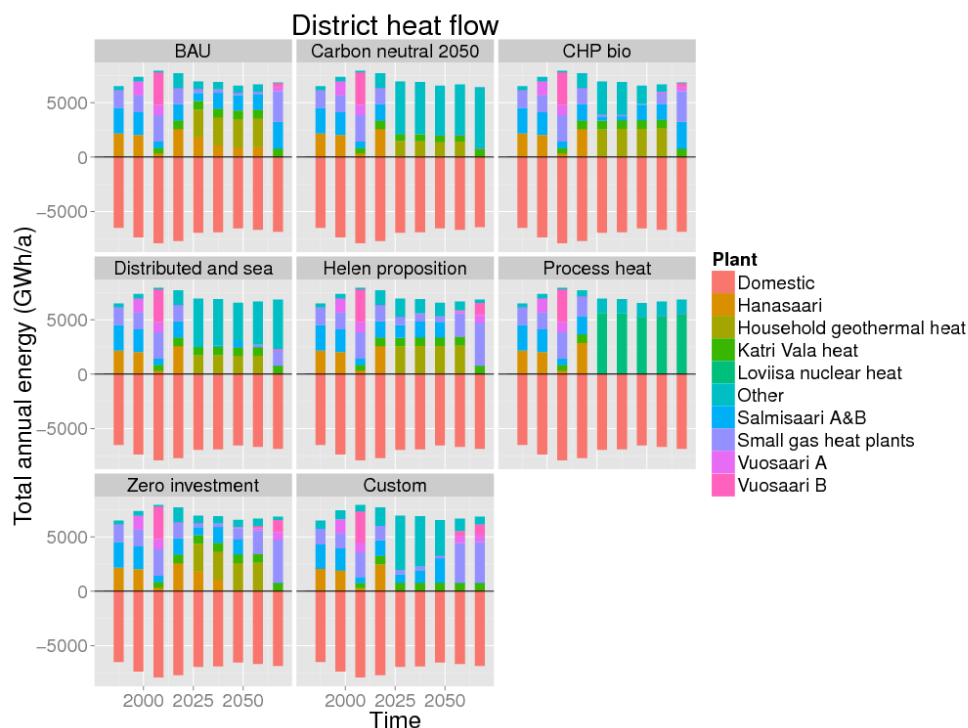


Figure 10. Example of energy balance model: District heat flow in Helsinki. The scenarios are from the assessment [Helsinki energy decision 2015](#).

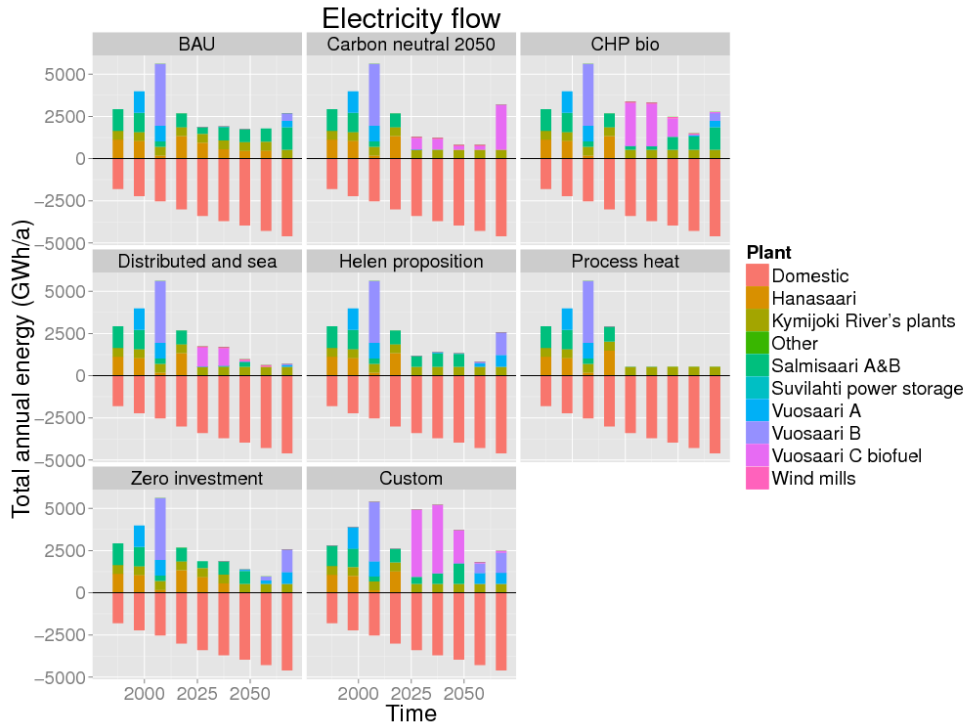


Figure 11. Example of energy balance model: Electric power heat flow in Helsinki. The scenarios are from the assessment [Helsinki energy decision 2015](#).

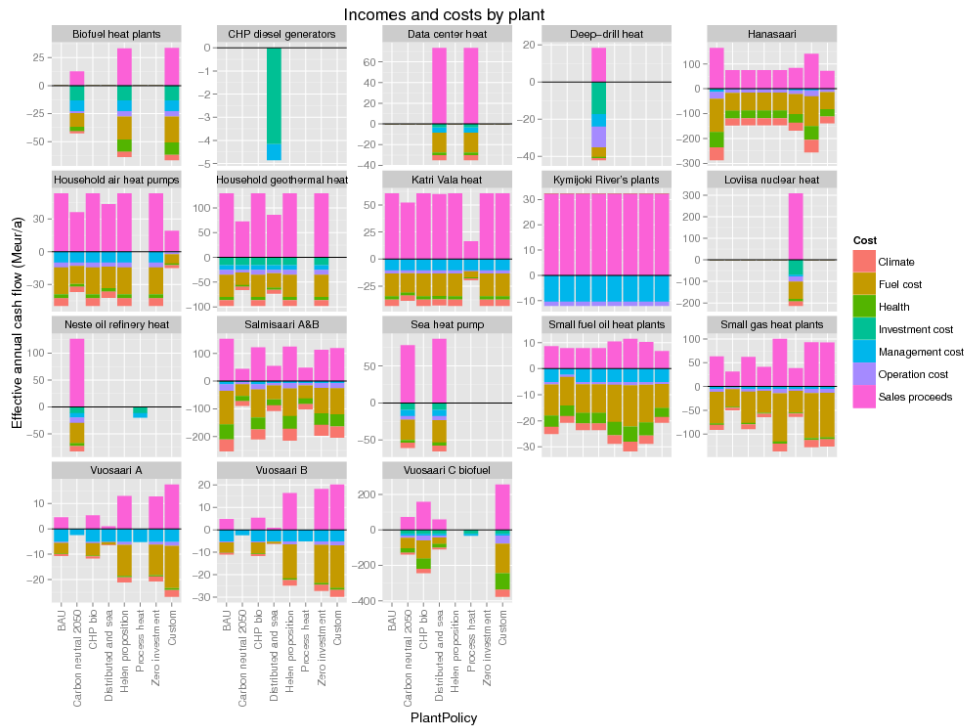


Figure 12. Example of energy balance model: Incomes and costs of energy production in Helsinki. The scenarios are from the assessment [Helsinki energy decision 2015](#).

This code is an example how the energy balance model is used in a city case. The data comes from [Helsinki energy decision 2015](#).

```
library(OpasnetUtils)
library(ggplot2)

openv.setN(0) # use medians instead of whole sampled distributions

# Download case-specific data, in this case from Helsinki.
objects.latest("Op_en7237", code_name = "intermediates") # [[Helsinki energy decision 2015]]

# Download energy balance model and its parts:
# EnergyConsumerDemandTotal
# EnergyFlowHeat
# EnergyFlowOther
# EnergyNetworkDemand
# EnergyNetworkOptim
# fuelUse
# EnergyNetworkCost
objects.latest("Op_en5141", code_name = "EnergyNetworkOptim") # [[Energy balance]]

oprint(summary(EvalOutput(EnergyNetworkOptim)))
```

## Rationale

### Energy balance with linear programming

The linear programming problem is set up as follows.

For each production unit: let  $x_i$  be activity of the plant. Lets also have variables  $y_j$  for deficits and excesses for each type of energy produced.

The objective function is the function we are optimising. Each production unit has a unit profit per activity denoted by  $a_i$  which is determined by the amount of different input commodities (e.g. coal) per amount of different output commodities (i.e. electricity and heat) and their market prices. Also, lets say we want to make sure that district heat demand is always met when possible and have a large penalty factor for each unit of heat demand not met (1 M€ in the model). In addition, it must be noted that excess district heat becomes wasted so it counts as loss. Let these deficit and excess related losses be denoted by  $b_j$ . The whole objective function then becomes:  $\sum(x_i a_i) + \sum(y_j b_j)$ .

The values of variables are constrained by equalities and inequalities: the sum of production of a commodity is equal to its demand minus deficit plus excess, activity is constrained by the maximum capacity and all variables are non-negative by definition. This can be efficiently solved by computers for each given instance. Production wind-up and wind-down is ignored, since time continuity is not considered. As a consequence fuel limits (e.g. diminishing hydropower capacity) are not modelled completely either.

*Ovariables like EnergyNetworkOptim below are used in [Helsinki energy decision 2015](#). [Prices of fuels in heat production](#) are used as direct inputs in the optimising.*

```
## This code is Op_en5141/EnergyNetworkOptim [[Energy balance]].
library(OpasnetUtils)

EnergyConsumerDemandTotal <- Ovariable("EnergyConsumerDemandTotal",
  dependencies = data.frame(
    Name = c(
      "EnergyConsumerDemand"
    )
  ),
  formula = function(...) {
    energy <- oapply(EnergyConsumerDemand, NULL, sum, c("Renovation", "Efficiency"))
    energy <- energy * 1e-6 # W to MW
    return(energy)
  }
)

EnergyFlowHeat <- Ovariable("EnergyFlowHeat",
```

```

dependencies = data.frame(
  Name = c(
    "EnergyConsumerDemandTotal",
    "fuelShares"
  )
),
formula = function(...) {
  EnergyFlowHeat <- EnergyConsumerDemandTotal[EnergyConsumerDemandTotal$Consumable %in%
c("Heating", "Hot water"),] * fuelShares
  return(EnergyFlowHeat)
}
)

EnergyFlowOther <- Ovariable("EnergyFlowOther",
dependencies = data.frame(
  Name = c(
    "EnergyConsumerDemandTotal",
    "temperene",
    "nontemperene"
  )
),
formula = function(...) {
  EnergyFlowOther <- merge(
    EnergyConsumerDemandTotal[!EnergyConsumerDemandTotal$Consumable %in% c("Heating",
"Hot water"),],
    unique(combine(temperene, nontemperene)[,c("Consumable", "Fuel")])
  )
  EnergyFlowOther@name <- EnergyConsumerDemandTotal@name
  return(EnergyFlowOther)
}
)

EnergyNetworkDemand <- Ovariable("EnergyNetworkDemand",
dependencies = data.frame(
  Name = c(
    "EnergyFlowHeat",
    "EnergyFlowOther",
    "EnergyConsumerDemandTotal"
  )
),
formula = function(...) {
  demand <- combine(
    EnergyFlowHeat[EnergyFlowHeat$Fuel %in% c("Heat", "Electricity"),
colnames(EnergyFlowHeat@output) != "Burner"],
    EnergyFlowOther[EnergyFlowOther$Fuel %in% c("Cooling", "Electricity"),]
  )

  # EnergyFlowOther should not have other flows
  #assign("EnergyFlowOther", NULL, .GlobalEnv)

  #assign("EnergyFlowHeat", EnergyFlowHeat[!EnergyFlowHeat$Fuel %in% c("Heat",
"Electricity"),], .GlobalEnv)

  # Total consumer demand also unnecessary?
  #assign("EnergyConsumerDemandTotal", NULL, .GlobalEnv)

  NAindex <- sapply(lapply(lapply(demand@output, unique), is.na), sum)
  NAindex <- names(NAindex)[NAindex != 0]

  demand@output <- fillna(demand@output , NAindex)
  demand <- oapply(demand, NULL, sum, c("Heating", "Consumable"))#, "Renovation",
"Efficiency") # Assumes no NA

  return(demand)
}
)

EnergyNetworkOptim <- Ovariable("EnergyNetworkOptim",
dependencies = data.frame(
  Name = c(
    #"energy", # Energy supply and demand in the system
    #"nondynsupply", # Energy supply that is not optimised.
    #"requiredName", # Fuel name for the energy type that is balanced for inputs and
outputs.
    #"fuelShares", # Shares of fuels for different heating types.

```

```

    "energyProcess", # Matrix showing inputs and outputs of the process of each plant.
    "fuelPrice", # Prices of fuels (by Time)
    #"timelylimit", # Maximum energy supply in the given conditions at a particular time
point
    "plantParameters", # Capacities and costs of running each plant
    #"temperene",
    #"nontemperene",
    "EnergyNetworkDemand"
  ),
  Ident = c(
    #NA,
    #NA,
    #NA,
    #NA,
    NA,
    "Op_en4151/fuelPrice",
    #NA,
    NA,
    #"Op_en5488/temperene",
    #"Op_en5488/nontemperene",
    NA
  )
),
formula = function(...) {

  require(lpSolve)
  require(plyr)
  require(reshape2)

  # Prices are given as €/MWh while plant activity is given as MW while optimisation is
done
  # with time resolution = 1 day
  optim_time_period_adj <- 24

  # List non-interating indices

  exclude <- c("Fuel", "Plant", "Parameter", "Heating", "Consumable", "Burner")

  # Calculate unitprofit for plant activity energy flows

  unitp <- fuelPrice * energyProcess * optim_time_period_adj
  unitp <- oapply(unitp, NULL, sum, c("Fuel", "Burner"))
  colnames(unitp@output)[colnames(unitp@output) == "Result"] <- "UnitPrice"

  # Reshape crucial variables to reduce merging difficulty

  ePmargs <- colnames(energyProcess@output)[energyProcess@marginal]
  energyProcess@output <- dcast(
    energyProcess@output,
    as.formula(paste(paste(ePmargs[ePmargs != "Fuel"], collapse = "+"), "~ Fuel")),
    value.var = paste(energyProcess@name, "Result", sep = ""),
    fill = NA
  )
  energyProcess@marginal <- colnames(energyProcess@output) %in% ePmargs

  pPmargs <- colnames(plantParameters@output)[plantParameters@marginal]
  plantParameters@output <- dcast(
    plantParameters@output,
    as.formula(paste(paste(pPmargs[pPmargs != "Parameter"], collapse = "+"), "~
Parameter")),
    value.var = paste(plantParameters@name, "Result", sep = ""),
    fill = NA
  )
  plantParameters@marginal <- colnames(plantParameters@output) %in% pPmargs

  EnergyNetworkDemand$Fuel <- paste(EnergyNetworkDemand$Fuel, "Demand", sep = "")
  ENDMargs <- colnames(EnergyNetworkDemand@output)[EnergyNetworkDemand@marginal]
  EnergyNetworkDemand@output <- dcast(
    EnergyNetworkDemand@output,
    as.formula(paste(paste(ENDMargs[ENDMargs != "Fuel"], collapse = "+"), "~ Fuel")),
    value.var = paste(EnergyNetworkDemand@name, "Result", sep = ""),
    fill = NA
  )
  EnergyNetworkDemand@marginal <- colnames(EnergyNetworkDemand@output) %in% ENDMargs

```

```

fuelPrice$Fuel <- paste(fuelPrice$Fuel, "Price", sep = "")
fPmargs <- colnames(fuelPrice@output)[fuelPrice@marginal]
fuelPrice@output <- dcast(
  fuelPrice@output,
  as.formula(paste(paste(fPmargs[fPmargs != "Fuel"], collapse = "+"), "~ Fuel")),
  value.var = paste(fuelPrice@name, "Result", sep = ""),
  fill = 0
)
fuelPrice@marginal <- colnames(fuelPrice@output) %in% fPmargs

# Duplicates a couple of values, but provides better performance
vars <- merge(EnergyNetworkDemand, plantParameters)
vars <- merge(vars, energyProcess)
vars <- merge(vars, fuelPrice)
vars <- merge(vars, unitp)

# Split into iterations
#vars <- dplyr(vars@output, colnames(vars@output)[vars@marginal &
!colnames(vars@output) %in% exclude], I)

#out <- data.frame()

include <- union(ePmargs, pPmargs)
include <- union(include, ENDmargs)
include <- union(include, fPmargs)
include <- include[!include %in% exclude]

# Optimisation iteration function
optf <- function(varsi) {

  # Acquire relevant sections of variables with respect to index iteration

  demandi <- unlist(varsi[1,grepl("Demand$", colnames(varsi))])
  names(demandi) <- gsub("Demand$", "", names(demandi))

  fuelPricei <- unlist(varsi[1,grepl("Price$", colnames(varsi))])
  names(fuelPricei) <- gsub("Price$", "", names(fuelPricei))
  fuelPricei <- fuelPricei[names(fuelPricei) != "Unit"]

  plants <- as.character(unique(varsi[["Plant"]])) # Used for ordering parameters
  if (nrow(varsi) != length(plants)) stop("Wrong subset given to energy production
optimizer! Each row not unique with respect to Plant.")

  lower <- varsi[["Min"]]

  upper <- varsi[["Max"]]

  opcost <- varsi[["Operation cost"]]

  unitpi <- varsi[["UnitPrice"]]

  #commodities <- as.character(unique(energyProcessi$Fuel)) # Used for ordering
parameters

  # Constraint matrix

  # Total number of variables:
  # * plant activity for each plant
  # * (commodity flow total)
  # * commodity deficit and excess with respect to demand
  # * opeartion costs
  nvars <- length(plants) + length(demandi) * 2 + 1

  # Rows:
  # * demand rows and their constraints
  # * (commodity flow rows)
  # * plant activity constraints
  # * operation costs row
  nrows <- 3 * length(demandi) + 2 * length(plants) + 1
  M <- matrix(
    0,
    nrows,
    nvars
  )
}

```



```

sign <- rep(">=", nrows)
constant <- rep(0, nrows)

for (j in 1:length(demandi)) {
  # Total flow (production - consumption between all processes) + deficit = demand
+ excess
  # which translates to:
  # total commodity flow + deficit - excess == constant ("static" demand)

  M[j, length(plants) + j*2 + 1:2 - 2] <- c(1, -1)
  sign[j] <- "=="
  constant[j] <- demandi[j]

  # Plant flows by activity
  M[j, 1:length(plants)] <- varsi[[names(demandi)[j]]]
}

rowi <- length(demandi)
diag(M[
  (rowi + 1):(rowi + length(plants)),
  1:length(plants)
]) <- 1
diag(M[
  (rowi + length(plants) + 1):(rowi + 2 * length(plants)),
  1:length(plants)
]) <- 1
constant[rowi + 1:length(plants)] <- lower
constant[rowi + length(plants) + 1:length(plants)] <- upper
sign[rowi + length(plants) + 1:length(plants)] <- "<="

rowi <- rowi + 2 * length(plants)
# Excess and deficit must both be positive
diag(M[
  rowi + 1:(2 * length(demandi)),
  length(plants) + #length(commodities) +
  1:(2 * length(demandi))
]) <- 1

# Operating cost
M[nrows, 1:length(plants)] <- opcost * optim_time_period_adj
M[nrows, nvars] <- -1
sign[nrows] <- "=="

# Objective function (profits - penalty)
objective <- rep(0, nvars)
# Commodity prices
#objective[length(plants) + (1:length(commodities)) [!is.na(fuelPricej)]] <-
result(fuelPriceci) [fuelPricej [!is.na(fuelPricej)]]
# Penalize heat deficit heavily,
# electricity deficit has no impact on profit assuming company sells to customers at
the purchase price
# cooling deficit has no effect
if ("Heat" %in% names(demandi)) {
  objective[length(plants) + match("Heat", names(demandi)) * 2 - 1] <- -1e6
}

# Electricity excess can be sold in the markets,
# heat and cooling (and other?) excess, however, cannot, hence they need to be
deducted from profits
objective[
  length(plants) + which(names(demandi) != "Electricity") * 2
] <- - fuelPriceci[match(names(demandi) [names(demandi) != "Electricity"],
names(fuelPriceci))] * optim_time_period_adj

# Operation cost
objective[nvars] <- -1

# Unit profit
objective[1:length(plants)] <- unitpi

# Do actual linear programming
temp <- lp(
  "max",

```

```

    objective,
    M,
    sign,
    constant
  )

  # Format results
  outi <- varsi[rep(1, nvars + 1), include, drop = FALSE]
  outi[["Process variable type"]] <- rep(
    c("Activity", "Flow", "Misc"),
    c(length(plants), nvars - length(plants) - 1, 2)
  )
  outi[["Process_variable_name"]] <- c(
    as.character(plants),
    paste(rep(names(demandi), each = 2), c("Deficit", "Excess"), sep = ""),
    "Operation cost",
    "Profit"
  )
  outi[["Result"]] <- c(temp$solution, temp$objval)

  return(outi)
}
#total time <- Sys.time() - total time
#aggregate(out$Result[out$Process_variable_name == "Profit"],
out[out$Process_variable_name == "Profit", colnames(out) %in% c("Time", "Temperature") |
grepl("Policy", colnames(out))], mean)
#aggregate(out$Result[out$Process_variable_name == "HeatDeficit"],
out[out$Process_variable_name == "HeatDeficit", colnames(out) %in% c("Time", "Temperature") |
grepl("Policy", colnames(out))], mean)
#aggregate(out$Result[out$Process_variable_name == "Hanasaari"],
out[out$Process_variable_name == "Hanasaari", colnames(out) %in% c("Time", "Temperature") |
grepl("Policy", colnames(out))], mean)

# Error handling
optfsecure <- function(varsi) {
  ret <- tryCatch(
    optf(varsi),
    error = function(e) return(NULL)
  )
  if (!is.null(ret)) {
    return(ret)
  } else {
    warning(paste("EnergyNetworkOptim failed optimising a permutation with error:",
geterrmessage()))
    return(data.frame())
  }
}

out <- ddply(vars@output, colnames(vars@output)[vars@marginal & !colnames(vars@output)
%in% exclude], optfsecure)

out <- Ovariable(output = out, marginal = !grepl("Result$", colnames(out)))

return(out)
}
)

fuelUse <- Ovariable("fuelUse",
dependencies = data.frame(
  Name = c(
    "EnergyNetworkOptim",
    "EnergyNetworkDemand",
    "energyProcess",
    "EnergyFlowHeat",
    "temperdays"
  )
),
formula = function(...){

  # Calculate flows resulting from plant activity
  EnergyFlow <- EnergyNetworkOptim[EnergyNetworkOptim$Process_variable_type ==
"Activity", colnames(EnergyNetworkOptim@output) != "Process_variable_type"]
  colnames(EnergyFlow@output)[colnames(EnergyFlow@output) == "Process variable name"] <-
"Plant"

```

```

EnergyFlow <- EnergyFlow * energyProcess

# Realised consumption of centrally produced commodities (demand - deficit or prod -
excess)
# NOTE: centralized flows which consume electricity for example should be separated
# from consumer demand and consumption, so prod - excess is not accurate
deficit <- EnergyNetworkOptim[
  grepl("Deficit$", EnergyNetworkOptim$Process_variable_name),
  colnames(EnergyNetworkOptim@output) != "Process variable type"
]
colnames(deficit@output)[colnames(deficit@output) == "Process variable name"] <- "Fuel"
deficit$Fuel <- gsub("Deficit$", "", deficit$Fuel)
# Assume that the power company purchases any electricity deficit from the markets in
order to satisfy demand
result(deficit)[deficit$Fuel == "Electricity"] <- 0

#excess <- EnergyNetworkOptim[
#   grepl("Excess$", EnergyNetworkOptim$Process_variable_name),
#   colnames(EnergyNetworkOptim@output) != "Process_variable_type"
#]
#colnames(excess@output)[colnames(excess@output) == "Process variable name"] <- "Fuel"
#excess$Fuel <- gsub("Excess$", "", excess$Fuel)

#temp <- oapply(EnergyFlow, NULL, sum, c("Plant", "Burner"))

#real <- oapply(EnergyFlow[EnergyFlow$Fuel %in% unique(excess$Fuel)], NULL, sum,
c("Plant", "Burner"))
#real <- real - excess

real <- EnergyNetworkDemand - deficit

# Combine
real$Burner <- "None"
real$Plant <- "Domestic"

heating <- EnergyFlowHeat[!EnergyFlowHeat$Fuel %in% unique(deficit$Fuel),]
heating <- oapply(heating, NULL, sum, "Consumable")
heating$Plant <- "Domestic"
heating$Heating <- NULL

EnergyFlow <- combine(0 - EnergyFlow, real, heating)
EnergyFlow <- unkeep(EnergyFlow, sources = TRUE, prevresults = TRUE)
#EnergyFlowTest <- oapply(EnergyFlow, c("Time", "Temperature", "Fuel"), sum)
#ggplot(EnergyFlowTest@output, aes(x = Temperature, y = Result, group = Fuel, color =
Fuel)) + geom_line() + facet_wrap(~ Time)

EnergyFlow <- EnergyFlow * temperdays * 3600 * 24
EnergyFlow <- oapply(EnergyFlow, cols = c("Temperature"), FUN = sum)
return(EnergyFlow)
}
)

EnergyNetworkCost <- Ovariable("EnergyNetworkCost",
dependencies =
  data.frame(
    Name = c(
      "plantParameters",
      "EnergyNetworkOptim",
      "temperdays"
    ),
    Ident = c(
      NA,
      "Op_en5141/EnergyNetworkOptim", # [[Energy balance]]
      NA
    )
  ),
formula = function(...) {

  oper <- plantParameters[plantParameters@output$Parameter == "Max" ,
colnames(plantParameters@output) != "Parameter"]
  result(oper)[result(oper) != 0] <- 1

  oper <- plantParameters * oper

  # Take the first year when a plant is operated and put all investment cost there.

```

```

investment <- oper[oper@output$Parameter == "Investment cost" , colnames(oper@output)
!= "Parameter"]
investment <- investment[result(investment) > 0 , ]
investment <- investment[order(investment@output$Time) , ]
investment <- investment[!duplicated(investment@output[investment@marginal &
colnames(investment@output) != "Time"]) , ]
investment <- unkeep(investment, sources = TRUE)
#investment <- oapply(investment, cols = "Plant", FUN = sum)

maintenance <- oper[oper@output$Parameter == "Management cost" , colnames(oper@output)
!= "Parameter"]
maintenance <- unkeep(maintenance, sources = TRUE)
#maintenance <- oapply(maintenance, cols = c("Plant"), FUN = sum)

operation <- EnergyNetworkOptim[EnergyNetworkOptim@output$Process variable name ==
"Operation cost" , ]
operation <- operation * temperdays * 10 * 1E-6 # For 10-year periods, € -> MC
operation <- oapply(operation, cols = c("Temperature"), FUN = sum)
operation <- unkeep(operation, cols = c("Process_variable_name",
"Process_variable_type"), sources = TRUE, prevresults = TRUE)
operation <- operation * Ovariable(output = data.frame(Plant = "Operation", Result =
1), marginal = c(TRUE, FALSE))
cost <- combine(investment, maintenance, operation)
marginals <- character()
for(i in colnames(cost@output)[cost@marginal]) {
  if(any(is.na(cost@output[[i]]))) marginals <- c(marginals, i)
}
if(length(marginals) > 0) {
  cost@output <- fillna(cost@output, marginals)
  warning(paste("In combine had to fillna marginals", marginals, "\n"))
}

return(cost)
}
)

objects.store(EnergyConsumerDemandTotal, EnergyFlowHeat, EnergyFlowOther,
EnergyNetworkDemand, EnergyNetworkOptim, fuelUse, EnergyNetworkCost)
cat("Ovariables EnergyConsumerDemandTotal, EnergyFlowHeat, EnergyFlowOther,
EnergyNetworkDemand, EnergyNetworkOptim, EnergyNetworkCost and fuelUse stored.\n")

```

### Fuel use and fuel shares in generic processes

There is an alternative way for calculating fuel use. It is based on the idea that for each heating type, there is a constant share of fuels used. For some heating types, this is generic and is shown on this page. For some others, the constant is case-specific and is determined on a case-specific page.

The table below contains connections of heating types and fuel usage in generic situations. There may be case-specific differences, which must be handled separately.

**Table 20. Fuel use in different heating types(-)**

Heating	Burner	Fuel	Fraction	Description
Wood	Household	Wood	1	
Oil	Household	Light oil	1	
Gas	Household	Gas	1	
Heating oil	Household	Light oil	1	
Coal	Household	Coal	1	
Other sources	Household	Other sources	1	
No energy source	Household	Other sources	1	
Geothermal	Grid	Electricity	0.3	Geothermal does not sum up to 1 because more heat is produced than electricity consumed.
Centrifuge, hydro-extractor	Grid	Electricity	0.3	Not quite clear what this is but presumably a heat pump.
Solar heater/ collector	Grid	Electricity	0.1	Use only; life-cycle impacts omitted.
Electricity	Grid	Electricity	1	
District	Undefined	Heat	1	

```
# This is code Op_en5141/fuelSharesgeneric (only generic) on page [[Energy balance]].
library(OpasnetUtils)

fuelSharesgeneric <- Ovariable("fuelSharesgeneric", ddata = "Op en5141", subset = "Fuel use
in different heating types") # [[Energy balance]]
colnames(fuelSharesgeneric@data) <- gsub("[ \\\.]", "_", colnames(fuelSharesgeneric@data))
#fuelSharesgeneric@data <- merge(fuelSharesgeneric@data, data.frame(Time = 1900:2080))

objects.store(fuelSharesgeneric)
cat("Object fuelSharesgeneric initiated!\n")
```

```
## This is code Op_en5141/fuelUse on page [[Energy balance]].
library(OpasnetUtils)

fuelUse <- Ovariable("fuelUse",
  dependencies = data.frame(
    Name = c("energyUse", "fuelShares")
  ),
  formula = function(...) {
    out <- energyUse * fuelShares
    return(out)
  }
)

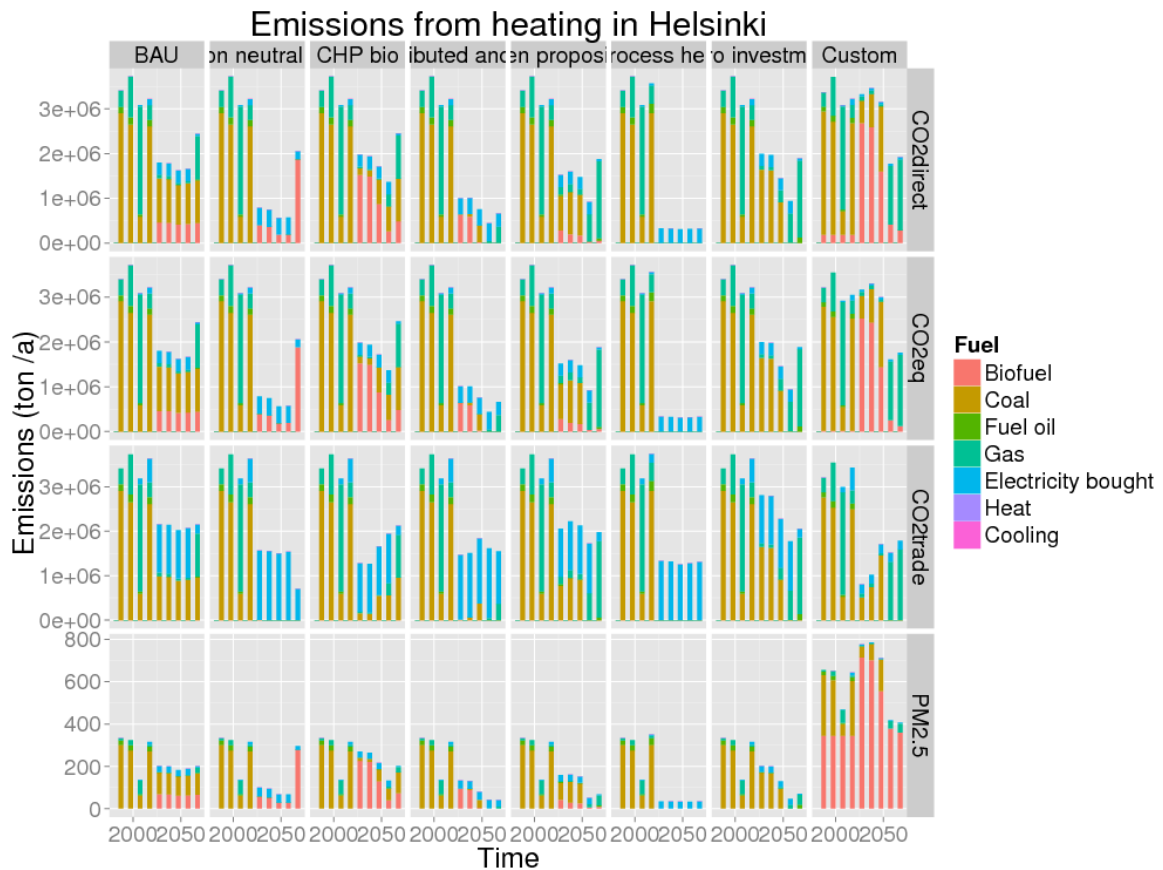
objects.store(fuelUse)
cat("Ovariable fuelUse stored.\n")
```

# Emission factors for burning processes

## Question

What are the emission factors for burning processes and how to estimate emissions based on them? The focus is on the situation in Finland.

## Answer



**Figure 13. Example of the use of emission factors: CO<sub>2</sub> and fine particle emissions in Helsinki. Scenarios are based on [Helsinki energy decision 2015](#).**

An example code for downloading and using the variable.

```
## This code is Op_en2719/ on page [[Emission factors for burning processes]].

library(OpasnetUtils)
library(ggplot2)

objects.latest("Op_en2791", code_name = "emissionstest")
objects.latest("Op_en2791", code_name = "emissionFactors")

oprint(summary(EvalOutput(emissionFactors)))
```

## Rationale

### Inputs and calculations

**Table 21. Variables needed for calculating emissions.**

Dependencies	Measure	Indices
fuelUse (from <a href="#">Energy balance</a> or other relevant source)	Amount of fuel used per timepoint.	Required indices: Fuel. Typical indices: Plant
emissionsLocations (case-specific knowledge from e.g. <a href="#">Helsinki energy production</a> )	Tells how where emissions occur and from how high a stack.	Required indices: - . Typical indices: Plant
emissionFactors (generic information, but may be cultural differences. E.g. <a href="#">Emission factors for burning processes</a> ##)	emissions per unit of energy produced (g / J or similar unit)	Required indices: Pollutant, Fuel. Typical indices: Burner.

```
###This code is Op_en2791/emissionstest on page [[Emission factors for burning processes]].
library(OpasnetUtils)
##### Calculate emissions
emissions <- Ovariable("emissions",
  dependencies = data.frame(
    Name = c(
      "fuelUse", # Use of fuels (in MJ)
      "emissionFactors", # Emissions of different pollutants per energy (mg /MJ)
      "emissionLocations" # Locations where the emissions are emitted, indexed by
      City_area or Plant
    ),
    Ident = c(
      NA, # typically from [[Energy balance]] but there are other ways to calculate
      "Op_en2791/emissionFactors", # [[Emission factors for burning processes]]
      NA # Case-specific data on locations of emissions.
    )
  ),
  formula = function(...) {
    # convert from mg to ton emitted.
    out <- fuelUse * emissionFactors * 1E-9

    if(!"City area" %in% colnames(out@output)) {
      out <- out * Ovariable(
        output = data.frame(City area = "Not known", Result = 1),
        marginal = c(TRUE, FALSE)
      )
    }
    out <- unkeep(out * emissionLocations, sources = TRUE, prevresults = TRUE)

    out@output$Emission site <- as.factor(ifelse(
      out@output$Emission_site == "At site of consumption",
      as.character(out@output$City_area),
      as.character(out@output$Emission_site)
    ))

    out <- oapply(
      out,
      cols = c("Burner", "City_area"),
      FUN = sum
    )
    return(out)
  }
)

objects.store(emissions)
cat("Ovariable emissions stored.\n")
```

## Emission factors for heating

Table 22. [Emission factors of energy production\(mg /MJ\)](#)

Burner	Fuel	PM2.5	CO2direct	CO2trade	CO2eq	Description
Household	Wood	140 (65.8-263)	74200	0	8333	Other stoves and ovens. Karvosenoja et al. 2008
Household	Biofuel	140 (65.8-263)	74200	0	8333	Other stoves and ovens. Karvosenoja et al. 2008
Household	Light oil	0-10	74200-87222	74200	87222	Light oil <5 MW Emission factors for burning processes. Light oil 267 kg /MWh
Household	Oil	0-10	74200-87222	74200	87222	Light oil <5 MW Emission factors for burning processes. Light oil 267 kg /MWh
Household	Other sources	0-10	74200	74200	74200	Same as oil.
Household	Coal	0-10	74200-87222	74200	87222	
Household	Geothermal	0-10	74200-87222	74200	87222	
Household	Gas	0-3	55650	55650	55650	For PM2.5: one third of that of oil. For CO2: 3/4 of that of oil.
Household	Fuel oil	0-10	74200-87222	74200	87222	Light oil <5 MW Emission factors for burning processes. Light oil 267 kg /MWh
Domestic	Wood	140 (65.8-263)	74200	0	8333	Other stoves and ovens. Karvosenoja et al. 2008 Just repeat the previous rows to match different wording of burners.
Domestic	Biofuel	140 (65.8-263)	74200	0	8333	Other stoves and ovens. Karvosenoja et al. 2008
Domestic	Light oil	0-10	74200-87222	74200	87222	Light oil <5 MW Emission factors for burning processes. Light oil 267 kg /MWh
Domestic	Oil	0-10	74200-87222	74200	87222	Light oil <5 MW Emission factors for burning processes. Light oil 267 kg /MWh
Domestic	Other sources	0-10	74200	74200	74200	Same as oil.
Domestic	Coal	0-10	74200-87222	74200	87222	
Domestic	Geothermal	0-10	74200-87222	74200	87222	
Domestic	Gas	0-3	55650	55650	55650	For PM2.5: one third of that of oil. For CO2: 3/4 of that of oil.
Domestic	Fuel oil	0-10	74200-	74200	87222	Light oil <5 MW Emission factors for burning



**Table 22. Emission factors of energy production(mg /MJ)**

Burner	Fuel	PM2.5	CO2direct	CO2trade	CO2eq	Description
			87222			processes. Light oil 267 kg /MWh
Diesel engine	Fuel oil	0-10	74200-87222	74200	87222	Light oil <5 MW Emission factors for burning processes. Light oil 267 kg /MWh
Diesel engine	Light oil	0-10	74200-87222	74200	87222	
Diesel engine	Biofuel	0-10	74200-87222	74200	87222	
Large fluidized bed	Gas	0-3	55650	55650	55650	For PM2.5: one third of that of oil. For CO2: 3/4 of that of oil.
Large fluidized bed	Coal	2-20	106000	106000	106000	Same as peat.
Large fluidized bed	Wood	2-20	74200	0	74200	Leijupoltto 100-300 MW Emission factors for burning processes. Karvosenoja et al., 2008
Large fluidized bed	Biofuel	2-20	74200	0	74200	Leijupoltto 100-300 MW Emission factors for burning processes. Karvosenoja et al., 2008
Large fluidized bed	Waste	2-20	74200	0	-50000	CO2trade same as wood. CO2eq is guesswork but it is negative because without burning it would produce methane in landfill
Large fluidized bed	Peat	2-20	106000	106000	107500	Leijupoltto 100-300 MW Emission factors for burning processes. Peat 382 kg /MWh
Large fluidized bed	Heavy oil	8-22	91111-106000	106000	91111	Leijupoltto 100-300 MW Emission factors for burning processes. Peat 382 kg /MWh
Large fluidized bed	Fuel oil	8-22	91111-106000	106000	91111	Leijupoltto 100-300 MW Emission factors for burning processes. Peat 382 kg /MWh
Grid	Electricity	1-10	53000	212000	53000	50 % of large-scale burning (because of nuclear and hydro). Heavy oil 279 kg /MWh. Officially, electricity is not CHP but requires a double amount of coal to produce it.
None	Electricity_taxed	1-10	53000	212000	53000	50 % of large-scale burning (because of nuclear and hydro). Heavy oil 279 kg /MWh. Officially, electricity is not CHP but requires a double amount of coal to produce it. These emissions are assumed when power plants buy electricity from the grid.

**Table 22. [Emission factors of energy production\(mg /MJ\)](#)**

Burner	Fuel	PM2.5	CO2direct	CO2trade	CO2eq	Description
None	Electricity	0	0	0	0	We might want to keep these locations in the model, but we assume that emissions are zero.
None	Heat	0	0	0	0	We might want to keep these locations in the model, but we assume that emissions are zero.
None	Cooling	0	0	0	0	We might want to keep these locations in the model, but we assume that emissions are zero.

Large fluidized bed (Peat) CO<sub>2</sub>-eq value from Väisänen, Sanni: Greenhouse gas emissions from peat and biomass-derived fuels, electricity and heat — Estimation of various production chains by using LCA methodology<sup>[27]</sup>

Other CO<sub>2</sub>-eq values from [EKOREM](#): Sähkölämmitys ja lämpöpumput sähkökäyttäjänä ja päästöjen aiheuttajina Suomessa.

Classes of climate emissions:

- **CO2direct:** Direct CO<sub>2</sub> emissions from the stack
- **CO2trade:** CO<sub>2</sub> emissions as they are defined in the emission trade. Non-trade sectors have emission 0.
- **CO2eq:** CO<sub>2</sub> emissions as equivalents (i.e. includes methane, N<sub>2</sub>O and other climate emissions based on life cycle impacts).

In Finland there are about 700 kettles that have under 5MW fuel power. Same amount is between 5 to 50 MW kettles and over 50 MW kettles there are 200 in Finland. One heating power plant can have several kettles. Many 5-50 MW power plants have also less than 5 MW a kettle. <sup>[28]</sup>

*See further discussions about emission factors of wood burning and other topics on the discussion page.* [D](#)

```
# This is code Op en2791/emissionFactors on page [[Emission factors for burning processes]].
library(OpasnetUtils)

emissionFactors <- Ovariable(
  name = 'emissionFactors',
  ddata = 'Op en2791', # [[Emission factors for burning processes]]
  subset = 'Emission factors of energy production'
)

objects.store(emissionFactors)
cat("Objects emissionFactors initiated!\n")
```

# Intake fractions of fine particles

## Question

How to calculate exposure based on intake fractions of airborne particulate matter for different emission sources and locations?

## Answer

[Intake fraction](#) (iF) is the fraction of an emission that is ultimately breathed by someone in the target population. With fine particles, it is often in the range of one in a million, but variation is large. It can be used as a shortcut for calculating exposures in a situation where actual atmospheric fate and transport modelling is not feasible. For fine particles, there is fairly good understanding of the magnitudes of intake fractions in different situations. [\[29\]](#) Therefore, they have been successfully used in many assessments.

Intake fraction is defined as

$$iF = \frac{c * P * BR}{E},$$

where

- iF = intake fraction (unitless after proper unit conversions)
- c = exposure concentration of the population ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
- P = population size
- BR = breathing rate, usually a nominal value  $20 \text{ m}^3/\text{d}$  is used
- E = emission of fine particles (g/s)

In an assessment, exposure concentration c is solved from the equation and used as exposure in health impact modelling.

```
library(OpasnetUtils)
library(ggplot2)

objects.latest("Op en5813", code name="exposure")

emissions <- 1
population <- 500000
exposure <- EvalOutput(exposure)

cat("Intake fractions as parts per million.\n")
oprint(summary(EvalOutput(iF) * 1E+6))

#ggplot(iF, x = "Area", fill = "Pollutant") + facet_wrap(~ Emission_height)
```

## Rationale

### Inputs and calculations

**Table 23. Variables used to calculate exposure in an assessment model (in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  in ambient air average concentration).**

Variable	Measure	Indices
emissions (from the model) is in ton /a		Required indices: - . Typical indices: Time, City_area, Exposure_agent, Emission_height.
iF (generic data but depends on population density, emission height etc)	$\text{conc (g /m3) * pop (\#) * BR (m3 /s) / emis (g /s)}$ $\Leftrightarrow \text{conc} = \text{emis} * \text{iF} / \text{BR} / \text{pop}$ # conc is the exposure concentration	Required indices: - . Typical indices: Emission_height, Area
population	Amount of population exposed.	Required indices: - . Typical indices: Time, Area

```
###This code is Op en5813/exposure on page [[Intake fractions of PM]].

library(OpasnetUtils)

exposure <- Ovariable("exposure",
  dependencies = data.frame(
    Name = c(
      "emissions", # is in ton /a
      "iF", # conc (g /m3) * pop (#) * BR (m3 /s) / emis (g /s) <=> conc = emis * iF / BR
      / pop # conc is the exposure concentration
      "population"
    ),
    Ident = c(
      NA,
      "Op_en5813/iFHumbert", # [[Intake fractions of PM]]
      NA
    )
  ),
  formula = function(...) {
    BR <- 20 # Nominal breathing rate (m^3 /d)
    BR <- BR / 24 / 3600 # m^3 /s
    out <- 1E+12 / 365 / 24 / 3600 # Emission scaling from ton /a to ug /s.
    out <- (emissions * out) * iF / BR / population # the actual equation
    out <- unkeep(out, prevresults = TRUE, sources = TRUE)
    out@output <- out@output[!out@output$Pollutant %in% c("CO2", "CO2official"), ]
    colnames(out@output)[colnames(out@output) == "Pollutant"] <- "Exposure_agent"
    out <- oapply(out, cols = c("Renovation"), FUN = sum)

    return(out)
  }
)

objects.store(exposure)
cat("Ovariable exposure stored.\n")
```

## Data

These data come from [\[29\]](#)

Pollutants:

- PM10-2.5: Primary PM10 - primary PM2.5
- PM2.5: Primary PM2.5
- SO2: Secondary PM2.5 derived from SO2 (in practice, SO\_4)
- NOx: Secondary PM2.5 derived from NOx (in practice, NO\_3)
- NH3: Secondary PM2.5 derived from NH3 (in practice, NH4)

**Table 24. [Intake fractions of PM\(ppm\)](#)**

Pollutant	Emission height	Urban	Rural	Remote	Average	Description
PM10-2.5	High	8.8	0.7	0.04	5.0	
PM10-2.5	Low	13	1.1	0.04	7.5	
PM10-2.5	Ground	40	3.7	0.04	23	
PM10-2.5	Average	37	3.4	0.04	21	
PM2.5	High	11	1.6	0.1	6.8	
PM2.5	Low	15	2.0	0.1	6.8	
PM2.5	Ground	44	3.8	0.1	25	
PM2.5	Average	26	2.6	0.1	15	
SO2		0.99	0.79	0.05	0.89	
NOx		0.2	0.17	0.01	0.18	
NH3		1.7	1.7	0.1	1.7	

```
## This is code Op_en5813/iFHumbert on page [[Intake fractions of PM]].
library(OpasnetUtils)
iF <- Ovariable("iF", ddata = "Op_en5813", subset = "Intake fractions of PM")
# [[Intake fractions of PM]] Humbert et al 2011 data
colnames(iF@data) <- gsub("[\\.]", " ", colnames(iF@data))
iF@data$iFResult <- iF@data$iFResult * 1E-6
objects.store(iF)
cat("Ovariable iF (Humbert et al 2011) stored.\n")
```

# Exposure-response functions of environmental pollutants

## Question

What are the exposure-response functions ([ERF](#)) of environmental pollutants that do not have own pages in Opasnet?

## Answer

Exposure-response function (ERF) is a mathematical quantitative description of the relationship between an exposure to an agent and the health responses it causes in the human body. How to actually estimate the responses based on ERF is described in detail on page [Health impact assessment](#). Relevant example results can be found from [here](#) (in Finnish).

```
## This is code Op_en5827/ on page [[ERFs of environmental pollutants]]
library(OpasnetUtils)
objects.latest("Op_en5827", "initiate")
cat("Exposure-response functions of environmental pollutants.\n")
oprint(summary(EvalOutput(ERF env)))
```

## Rationale

## Data

Table 25. [Helsinki energy decision 2015 methods\(-\)](#)

Exposure agent	Response	Age	Exposure	ER function	Scaling	Exposure unit	Threshold	ERF	Description
Indoor radon	Lung cancer morbidity		Annual average indoor air concentration	RR	None	Bq /m3	0	1.0016 (1.0005-1.0031)	
PM2.5	Lung cancer mortality		Annual average outdoor air concentration	RR	None	µg /m3	0	1.014 (1.004-1.023)	Outdoor air, Pope et al. 2002
PM2.5	Cardiopulmonary mortality		Annual average outdoor concentration	RR	None	µg /m3	0	1.009 (1.003-1.016)	Outdoor air, Pope et al. 2002
PM2.5	Total mortality		Annual average outdoor air	RR	None	µg /m3	0	1.0062 (1.0014-1.011)	Outdoor air

Table 25. [Helsinki energy decision 2015 methods\(-\)](#)

Exposure agent	Response	Age	Exposure	ER function	Scaling	Exposure unit	Threshold	ERF	Description
			concentration						
Chlorination byproducts	Bladder cancer morbidity		Concentration in ingested water	RR	None	µg /l	0	1.0039 (1.00053-1.00722)	
Chlorination byproducts	Bladder cancer morbidity		Concentration in ingested water	RR	None	netrev /l	0	1.000029 (1-1.000072)	
Arsenic	Bladder cancer morbidity		Concentration in ingested water	RR	None	µg /l	0	1.002 (0.999-1.006)	
Formaldehyde	Asthma morbidity	<14	Annual average indoor concentration	RR	None	µg /m3	0	1.0140743178	
Formaldehyde	Asthma morbidity	>=14	Annual average indoor concentration	RR	None	µg /m3	0	1	
Dampness damage	Asthma morbidity		Yes/no moisture damage	RR	None	%	0	1.37 (1.23-1.53)	
Dampness damage	Lower respiratory symptoms morbidity		Yes/no moisture damage	RR	None	%	0	1.5 (1.38-1.86)	
Dampness damage	Upper respiratory symptoms morbidity		Yes/no moisture damage	RR	None	%	0	1.7 (1.44-2)	
Fluoride	Fluorosis	<14	Concentration in ingested water	UR	None		0	0.125	
Fluoride	Fluorosis	>= 14	Concentration in ingested water	UR	None		0	0	
Outdoor ozone	Total mortality		Annual average outdoor air concentration	RR	None	µg /m3	0	1.000299596 (1.000099955-1.000399282)	
Lead	Decrease of IQ below 70 points		Intake level from food	UR	None	?	0	0.025	
Lead	Increased blood pressure		Intake level from food	UR	None	?	0	0.025	

Table 25. [Helsinki energy decision 2015 methods\(-\)](#)

Exposure agent	Response	Age	Exposure	ER function	Scaling	Exposure unit	Threshold	ERF	Description
Formaldehyde	Nasal cancer morbidity		Annual average indoor concentration	UR	None	µg /m3	0	0.000013	
Benzene	Leukemia morbidity		Annual average indoor concentration	UR	None	µg /m3	0	0.000005	
Quatzdust	Silicosis morbidity		Indoor air concentration	UR	None	mg /m3	0	0.125; 0.125; 0.25	
Asbestos at work	Lung cancer and mesothelioma morbidity		Indoor air concentration	UR	None		0	0.05 (0.01-0.1)	
Noise at work	Hearing damage		Noise level	UR	None		0	570	Medium noise (80-85 dB)
Noise at work	Hearing damage		Noise level	UR	None		0	1320	Loud noise (>85 dB)
Outdoor ozone	Mild decreasing on general functioning		Annual average outdoor air concentration	UR	None	µg /m3	0	0.115 (0.044-0.186)	

```

library(OpasnetUtils)

d <- opbase.data("Op_en5827")
d$Obs <- NULL
colnames(d) <- gsub(" ", " ", colnames(d))
d$Result <- ifelse(d$Result == "", "0", as.character(d$Result))

ERF env <- Ovariable("ERF env", data = d[d$Observation == "ERF", colnames(d) !=
"Observation"])

threshold_env <- Ovariable("Threshold_env", data = d[d$Observation == "Threshold",
colnames(d) != "Observation"])

objects.store(ERF env, threshold env)
cat("Ovariables ERF env, threshold env stored. Page: Op en5827, code: initiate.\n")

```



# External cost

**External costs** are costs that are not included in the price of a product but still cause negative (or sometimes positive) impacts to the society or stakeholders. The market theory says that if external costs cannot be included in prices e.g. using taxation, the market process will lead to outcomes that deviate from the societal optimum.

## Question

What are important external costs in environmental health?

## Answer

Health impacts and climate impacts are often not considered in pricing, so they remain as external costs. The code below is used to fetch the variable for models.

```
## This is code Op_en7379/ on page [[External cost]]

library(OpasnetUtils)

objects.latest("Op_en7379", code_name = "externalities") # [[External cost]] ovariables
DALYprice, co2price

cat("Price of a DALY (€)\n")
oprint(summary(EvalOutput(DALYprice)))

cat("Price of a ton of CO2 (€)\n")
oprint(summary(EvalOutput(co2price)))
```

## Rationale

**Table 26. [External costs in environmental health\(€/DALY,€/ton\)](#)**

Cost	Result	Description
Health	50000-150000	Euros lost per DALY (disability-adjusted life year)
Climate	15-75	Euros lost per ton of CO2(equivalent) emitted

Numbers are rough estimates based on typical health impact assessments and common target prices of carbon trade.

```
# This code is Op en7379/externalities [[External cost]]
library(OpasnetUtils)

DALYprice <- Ovariable("DALYprice", ddata = "Op en7379", subset = "External costs in
environmental health")
DALYprice@data <- DALYprice@data[DALYprice@data$Cost == "Health" , ]

co2price <- Ovariable("co2price", ddata = "Op en7379", subset = "External costs in
environmental health")
co2price@data <- co2price@data[co2price@data$Cost == "Climate" , ]

objects.store(DALYprice, co2price)
cat("Objects DALYprice, co2price stored.\n")
```

## Details of scenarios

From page Helsinki energy decision 2015 [http://en.opasnet.org/w/Helsinki\\_energy\\_decision\\_2015](http://en.opasnet.org/w/Helsinki_energy_decision_2015)

**Table 27. Scenario changes compared with the basic model**

Decision_maker	Decision	Option	Variable	Cell	Change	Unit	Amount	Description
Builders	EnergySavingPolicy	BAU	efficiencyShares		Identity		0	
Builders	EnergySavingPolicy	Energy saving moderate	efficiencyShares		Identity		0	
Builders	EnergySavingPolicy	Energy saving total	efficiencyShares	Efficiency:Passive;Time:2025,2035	Add	fraction	0.25	
Builders	EnergySavingPolicy	Energy saving total	efficiencyShares	Efficiency:Passive;Time:2045,2055,2065	Add	fraction	0.1	
Builders	EnergySavingPolicy	Energy saving total	efficiencyShares	Efficiency:Low-energy;Time:2025,2035	Add	fraction	-0.25	
Builders	EnergySavingPolicy	Energy saving total	efficiencyShares	Efficiency:Low-energy;Time:2045,2055,2065	Add	fraction	-0.1	
Building owner	EnergySavingPolicy	WWF energy saving	efficiencyShares		Identity	fraction	0	Energy efficiency in future

## References

								buildings is so close to BAU that it is not changed.
Building owner	EnergySavingPolicy	BAU	renovationRate		Multiply	1 /a	1	Assumes BAU renovation rate = 1%/a for buildings >30 a old
Building owner	EnergySavingPolicy	Energy saving moderate	renovationRate		Multiply	1 /a	2	
Building owner	EnergySavingPolicy	Energy saving total	renovationRate		Multiply	1 /a	4	
Building owner	EnergySavingPolicy	WWF energy saving	renovationRate		Multiply	1 /a	2.5	
Building owner	EnergySavingPolicy	BAU	demolitionRate		Replace	1 /a	0	
Building owner	EnergySavingPolicy	Energy saving moderate	demolitionRate		Replace	1 /a	0	
Building owner	EnergySavingPolicy	Energy saving total	demolitionRate		Replace	1 /a	0	
Building owner	EnergySavingPolicy	WWF energy saving	demolitionRate		Identity	1 /a	0	

## References

Building owner	EnergySavingPolicy	BAU	renovationShares		Add	fraction	0	
Building owner	EnergySavingPolicy	Energy saving moderate	renovationShares		Add	fraction	0	
Building owner	EnergySavingPolicy	Energy saving total	renovationShares	Renovation:Windows	Add	fraction	-0.25	
Building owner	EnergySavingPolicy	Energy saving total	renovationShares	Renovation:Sheath reform	Add	fraction	0.25	
Building owner	EnergySavingPolicy	WWF energy saving	renovationShares	Renovation:Sheath reform	Add	fraction	0.1	
Building owner	EnergySavingPolicy	WWF energy saving	renovationShares	Renovation:Windows	Add	fraction	-0.1	
Helen	PlantPolicy	BAU	plantParameters	Plant:Biofuel heat plants,CHP diesel generators,Data center heat,Deep-drill heat,Loviisa nuclear heat,Neste oil refinery heat,Sea heat pump,Sea heat pump for cooling,Small-scale wood burning,Vuosaari C biofuel,Wind mills;Parameter:Min,Max,Investment cost,Management cost	Replace	MW,MW,M€,M€/a	0	
Helen	PlantPolicy	BAU	energyProcess	Plant:Hanasaari;Fuel:Biofuel;Time:>=2018	Add	MJ/MJ	-0.4	
Helen	PlantPolicy	BAU	energyProcess	Plant:Hanasaari;Fuel:Coal;Time:>=2018	Add	MJ/MJ	0.4	
Helen	PlantPolicy	BAU	plantParameters	Plant:Hanasaari;Time:>=2018;Time:<=2060;Parameter:Max	Replace	MW	640	
Helen	PlantPolicy	BAU	plantParameters	Plant:Hanasaari;Time:>=2018;Parameter:Investment cost	Replace	M€	100	
Helen	PlantPolicy	BAU	energyProcess	Plant:Salmisaari A&B;Fuel:Biofuel;Time:>=2018	Add	MJ/MJ	-0.4	
Helen	PlantPolicy	BAU	energyProcess	Plant:Salmisaari A&B;Fuel:Coal;Time:>=2018	Add	MJ/MJ	0.4	
Helen	PlantPolicy	BAU	plantParameters	Plant:Salmisaari A&B;Time:>=2018;Time:<=2070;Parameter:Max	Replace	MW	506	

## References

Helen	PlantPolicy	BAU	plantParameters	Plant:Salmisaari A&B;Time:>=2018;Parameter:Investment cost	Replace	M€	100	
Helen	PlantPolicy	Process heat	energyProcess		Identity	MJ/MJ	0	
Helen	PlantPolicy	Process heat	plantParameters	Plant:Biofuel heat plants,CHP diesel generators,Deep-drill heat,Household air heat pumps,Household air conditioning,Household geothermal heat,Household solar,Sea heat pump,Sea heat pump for cooling,Small-scale wood burning,Wind mills;Parameter:Min,Max,Investment cost,Management cost	Replace	MW,MW,M€,M€/a	0	
Helen	PlantPolicy	Helen proposition	energyProcess		Identity	MJ/MJ	0	
Helen	PlantPolicy	Helen proposition	plantParameters	Plant:CHP diesel generators,Data center heat,Deep-drill heat,Loviisa nuclear heat,Neste oil refinery heat,Sea heat pump,Sea heat pump for cooling,Small-scale wood burning,Vuosaari C biofuel,Wind mills;Parameter:Min,Max,Investment cost,Management cost	Replace	MW,MW,M€,M€/a	0	
Helen	PlantPolicy	Helen proposition	plantParameters	Plant:Small fuel oil heat plants;Parameter:Max	Add	MJ/MJ	-300-100	
Helen	PlantPolicy	Helen proposition	plantParameters	Plant:Hanasaari;Time:>=2020;Parameter:Min,Max,Investment cost,Management cost	Replace	MW,MW,M€,M€/a	0	
Helen	PlantPolicy	Zero investment	energyProcess		Identity	MJ/MJ	0	
Helen	PlantPolicy	Zero investment	plantParameters	Plant:Biofuel heat plants,CHP diesel generators,Data center heat,Deep-drill heat,Sea heat pump,Sea heat pump for cooling,Small-scale wood burning,Suvilahti power storage,Loviisa nuclear heat,Neste oil refinery heat,Vuosaari C biofuel,Wind mills;Parameter:Min,Max,Investment cost,Management cost	Replace	MW,MW,M€,M€/a	0	
Helen	PlantPolicy	Carbon neutral 2050	energyProcess		Identity	MJ/MJ	0	

## References

Helen	PlantPolicy	Carbon neutral 2050	plantParameters	Plant:CHP diesel generators,Data center heat,Deep-drill heat,Loviisa nuclear heat,Sea heat pump for cooling,Small-scale wood burning;Parameter:Min,Max,Investment cost,Management cost	Replace	MW,MW,M€,M€/a	0	
Helen	PlantPolicy	Carbon neutral 2050	plantParameters	Plant:Salmisaari A&B,Small gas heat plants,Small fuel oil heat plants,Vuosaari A,Vuosaari B;Time:>=2030;Parameter:Min,Max,Investment cost,Management cost	Replace	MW,MW,M€,M€/a	0	Fossil fuel plants
Helen	PlantPolicy	Carbon neutral 2050	plantParameters	Plant:Hanasaari;Time:>=2023;Parameter:Max	Replace	MW	0	As described in Helen Vuosaari C proposition
Helen	PlantPolicy	CHP bio	plantParameters	Plant:Biofuel heat plants,CHP diesel generators,Data center heat,Deep-drill heat,Loviisa nuclear heat,Neste oil refinery heat,Sea heat pump,Sea heat pump for cooling,Small-scale wood burning;Parameter:Min,Max,Investment cost,Management cost	Replace	MW,MW,M€,M€/a	0	
Helen	PlantPolicy	CHP bio	plantParameters	Plant:Hanasaari;Time:>=2020;Parameter:Min,Max,Investment cost,Management cost	Replace	MW,MW,M€,M€/a	0	
Helen	PlantPolicy	CHP bio	energyProcess	Plant:Salmisaari A&B;Fuel:Biofuel;Time:>=2018	Add	MJ/MJ	-0.4	
Helen	PlantPolicy	CHP bio	energyProcess	Plant:Salmisaari A&B;Fuel:Coal;Time:>=2018	Add	MJ/MJ	0.4	
Helen	PlantPolicy	CHP bio	plantParameters	Plant:Salmisaari A&B;Time:>=2018;Time:<=2070;Parameter:Max	Replace	MW	506	
Helen	PlantPolicy	CHP bio	plantParameters	Plant:Salmisaari A&B;Time:>=2018;Parameter:Investment cost	Replace	M€	100	
Helen	PlantPolicy	Distributed and sea	energyProcess		Identity	MJ/MJ	0	
Helen	PlantPolicy	Distributed and sea	plantParameters	Plant:Biofuel heat plants,Loviisa nuclear heat,Neste oil refinery heat,Small-scale wood burning,Vuosaari C;Parameter:Min,Max,Investment cost,Management cost	Replace	MW,MW,M€,M€/a	0	
Helen	PlantPolicy	Distributed and sea	plantParameters	Plant:Hanasaari;Time:>=2020;Parameter:Min,Max,Investment cost,Management cost	Replace	MW,MW,M€,M€/a	0	

There are two policies that are currently implemented in the model. Each has several options:

- Energy saving policy: take several actions that reduce the energy demand of the building stock.
  - BAU: business as usual, e.g. renovate 1 % of buildings per year if age > 30 a.
  - Energy saving moderate: renovate 2 %/a
  - Energy saving total: renovate 4 %/a, in addition increase the share of passive buildings up by 25 %-units since 2025, and add the share of sheath re-form renovations up by 25 %-units.
- Plant policy: Choose an optimal selection of power plant infrastructure
  - BAU: Old plants remain as planned but Vuosaari C biofuel, Loviisa nuclear heat, and Neste oil refinery heat are not built.
  - Biofuels and process heat: Old plants remain as planned. In addition, Vuosaari C biofuel, Loviisa nuclear heat, and Neste oil refinery heat are built.

# Model code

The assessment model is built from two parts. The first part fetches all modules and data needed to run the model. It calculates the results of the upstream modules that are not influenced by the plant policy and are therefore the same in all plant policy scenarios. Then these modules and intermediate results are all stored as a single file.

The second part has eight plant policy scenarios, one of which is defined by the user with a user interface on the assessment main page (Figure 1.). The second part calculates the energy balances for all these eight scenarios, and also all other modules. The majority of the code is about printing result graphs and tables from different variables. All result figures in this report are direct products of this code.

## Part 1: Setting up the model and intermediate results

- [Model run 25.10.2015](#). Archived version with several updates

```
## This code is Op en7237/intermediates on page [[Helsinki energy decision 2015]]
library(OpasnetUtils)
library(ggplot2)
library(rgdal)
library(maptools)
library(RColorBrewer)
library(classInt)
library(RgoogleMaps)

### Technical parameters

openv.setN(0) # use medians instead of whole sampled distributions
BS <- 24 # base size = font size in graphs
figstofile <- FALSE
saveobjects <- FALSE

##### Case-specific data and submodels

### Decisions
decisions <- opbase.data("Op en7237", subset = "Decisions") # [[Helsinki energy decision
2015]]

oprint(decisions)

### Energy production in Helsinki

objects.latest("Op_en6007", code_name = "answer") # [[OpasnetUtils/Drafts]] findrest
objects.latest("Op_en7311", code_name = "energyProcess") # [[Helsinki energy production]]
objects.latest("Op_en7311", code_name = "plantParameters") # [[Helsinki energy production]]
objects.latest("Op_en4151", code_name = "fuelPrice") # [[Prices of fuels in heat production]]

objects.latest("Op_en5141", code_name = "EnergyNetworkOptim") # [[Energy balance]] incl
EnergyNetworkCost

### Building data in Helsinki

# Observation years must be defined for an assessment.
obstime <- Ovariable("obstime", data = data.frame(Obsyear = factor(seq(1985, 2065, 10),
ordered = TRUE), Result = 1))
heatingShares <- 1 # Shares of different heating types in the building stock (already in the
building data)
heating before <- FALSE # Should heatingShares be calculated before renovate and timepoints
(or after)?
efficiency before <- TRUE # Should efficiencyShares be calculated before renovate and
timepoints (or after)?

objects.latest("Op_en7115", code_name = "stockBuildings") # [[Building stock in Helsinki]]
objects.latest("Op_en7115", code_name = "changeBuildings") # [[Building stock in Helsinki]]
objects.latest("Op_en7115", code_name = "demolitionRate") # [[Building stock in Helsinki]]
```



```

objects.latest("Op_en7115", code_name = "renovationRate") # [[Building stock in Helsinki]]
objects.latest("Op_en7115", code_name = "renovationShares") # [[Building stock in Helsinki]]
objects.latest("Op_en5488", code_name = "efficiencyShares") # [[Energy use of buildings]]

objects.latest("Op_en6289", code_name = "buildingstest") # [[Building model]] # Generic
building model.

## Energy use
#objects.latest("Op_en5488", code_name = "energyUseTemperature") # [[Energy use of
buildings]] temperature version of energyUse
objects.latest("Op_en5488", code_name = "temperene") # [[Energy use of buildings]]
temperature version of energyUse
objects.latest("Op_en5488", code_name = "nontemperene") # [[Energy use of buildings]]
temperature version of energyUse
objects.latest("Op_en2959", code_name = "temperatures") # [[Outdoor air temperature in
Finland]]
#objects.latest("Op_en5488", code_name = "energyUseTemperature") # [[Energy use of
buildings]]
objects.latest("Op_en5488", code_name = "EnergyConsumerDemand") # [[Energy use of buildings]]

requiredName <- "Heat" # Name of the fuel type that must match for input and output

### Energy and emissions
objects.latest("Op_en7311", code_name = "emissionLocationsPerPlant") # [[Helsinki energy
production]] also heatingShares
objects.latest("Op_en2791", code_name = "emissionFactors") # [[Emission factors for burning
processes]]
objects.latest("Op_en2791", code_name = "emissionstest") # [[Emission factors for burning
processes]]
objects.latest("Op_en7311", code_name = "fuelShares") # [[Helsinki energy production]]
objects.latest("Op_en7311", code_name = "nondynsupply") # [[Helsinki energy production]]
timelylimit <- 10000 # The largest production (MW) available at each plant (used to describe
time-varying limits).

## Exposure

objects.latest("Op_en5813", code_name = "exposure") # [[Intake fractions of PM]] uses Humbert
iF as default.

## Health assessment

objects.latest('Op_en2261', code_name = 'totcases') # [[Health impact assessment]] totcases
and dependencies.
objects.latest('Op_en5461', code_name = 'DALYs') # [[Climate change policies and health in
Kuopio]] DALYs, DW, L

population <- 623732 # Contains only the Helsinki city, i.e. assumes no exposure outside
city. (Wikipedia)
# Note: the population size does NOT affect the health impact if the exposure-response
function is linear.
# However, it DOES affect exposure estimates.

# DALYshortcut is for a quicker health impact calculations, as it directly uses the Helsinki
conditions.

objects.latest("Op_en7237", code_name = "DALYshortcut") # [[Helsinki energy decision 2015]]

objects.latest("Op_en7379", code_name = "externalities") # [[External cost]]
objects.latest("Op_en3283", code_name = "totalCost") # [[Economic impacts]]
objects.latest("Op_en3283", code_name = "EAC") # [[Economic impacts]]

##### Actual model and some intermediate processing.

DecisionTableParser(decisions)

# Remove previous decisions, if any.

forgetDecisions()

renovationRate <- EvalOutput(renovationRate) * 10 # Rates for 10-year periods

buildings <- EvalOutput(buildings)

buildings$EnergySavingPolicy <- factor(

```

```

    buildings$EnergySavingPolicy,
    levels = c("BAU", "Energy saving moderate", "Energy saving total", "WWF energy
saving"),
    ordered = TRUE
)

EnergyConsumerDemand <- EvalOutput(EnergyConsumerDemand)

EnergyNetworkDemand <- EvalOutput(EnergyNetworkDemand)

EnergyNetworkDemand@output <- rbind(
  EnergyNetworkDemand@output,
  data.frame(
    Time = rep(c(2025, 2035, 2045, 2055, 2065), each = 4),
    EnergySavingPolicy = rep(c("BAU", "Energy saving moderate", "Energy saving total", "WWF
energy saving"), times = 5),
    Temperature = "(-18,-15]",
    EnergyConsumerDemandSource = "Formula",
    EnergyConsumerDemandTotalSource = "Formula",
    Fuel = "Cooling",
    fuelSharesSource = "Formula",
    EnergyNetworkDemandResult = 0,
    EnergyNetworkDemandSource = "Formula"
  )
)

##### SAVE OBJECTS

if(saveobjects) {

  # Clean decisions and previous results not wanted/needed by the half-model

  energyProcess@output <- data.frame()
  plantParameters@output <- data.frame()
  EnergyNetworkOptim@output <- data.frame()
  #EnergyConsumerDemand@output <- data.frame()

  totcases@output <- data.frame()
  DALYs@output <- data.frame()
  exposure@output <- data.frame()
  rm(saveobjects, dictionary) # Remove technical objects that may be updated independently
of the model

  objects.store(list = ls()) # Save all objects of the global environment.
  cat("All objects stored for later use:\n", paste(ls(), collapse = ", "), "\n")
}

##### Output tables and graphs

fuelUse <- EvalOutput(fuelUse)

fuelUse$Fuel <- factor(
  fuelUse$Fuel, levels = c(
    "Biofuel",
    "Coal",
    "Fuel oil",
    "Gas",
    "Light oil",
    "Wood",
    "Electricity",
    "Electricity taxed",
    "Heat",
    "Cooling"
  ), ordered = TRUE
)

# Calculate exposure based on average iF.
exposure <- EvalOutput(exposure)
exposure <- exposure[exposure$Area == "Average" , ]
exposure <- oapply(exposure, cols = c("Plant", "Emission_site", "Emission_height", "Area"),
FUN = sum)
totcases <- EvalOutput(totcases)
DALYs <- EvalOutput(DALYs)
EnergyNetworkCost <- EvalOutput(EnergyNetworkCost)

```

```

cat("Total DALYs/a by different combinations of policy options.\n")

temp <- DALYs[as.character(DALYs$Time) %in% c("2015", "2035", "2065") & DALYs$Response ==
"Total mortality" , ]

oprint(
  oapply(temp, INDEX = c("Time", "EnergySavingPolicy", "PlantPolicy"), FUN = sum),
  caption = "Table 1: Total DALYs/a by different combinations of policy options.",
  caption.placement = "top",
  include.rownames = FALSE
)

##### Post-processing and graphs

bui <- oapply(buildings * 1E-6, cols = c("City area", "buildingsSource"), FUN = sum)
bui <- truncateIndex(bui, cols = "Heating", bins = 4)

ogplot(bui[bui$EnergySavingPolicy == "BAU" , ], x = "Time", fill = "Heating", binwidth = 5)
+
  labs(
    title = "Building stock in Helsinki by heating",
    y = "Floor area (M m2)"
  )

ogplot(bui, x = "Time", fill = "Efficiency", binwidth = 5) +
  facet_grid(. ~ EnergySavingPolicy) +
  labs(
    title = "Building stock in Helsinki by efficiency policy",
    y = "Floor area (M m2)"
  )

ogplot(bui, x = "Time", fill = "Renovation", binwidth = 5) +
  facet_grid(. ~ EnergySavingPolicy) +
  labs(
    title = "Building stock in Helsinki by renovation policy",
    y = "Floor area (M m2)"
  )

ogplot(bui[bui$EnergySavingPolicy == "BAU" , ], x = "Time", fill = "Building", binwidth = 5)
+
  labs(
    title = "Building stock in Helsinki",
    y = "Floor area (M m2)"
  )

ogplot(buildings, x = "Time", fill = "Efficiency", binwidth = 5)+
  facet_grid(EnergySavingPolicy ~ Renovation) +
  labs(
    title = "Renovation of buildings by policy and efficiency",
    y = "Floor area (M m2)"
  )

emissions$Time <- as.numeric(as.character(emissions$Time))

# Plot energy need and emissions

hea <- EnergyConsumerDemand * temperdays * 24 * 1E-9 # From W -> GWh /a.
hea <- hea[hea$Consumable == "Heating" , ]
hea <- oapply(hea, cols = c("City area", "buildingsSource"), FUN = sum)
hea <- truncateIndex(hea, cols = "Heating", bins = 4)

ogplot(hea, x = "Time", fill = "Renovation", binwidth = 5) +
  facet_wrap(. ~ EnergySavingPolicy) +
  labs(
    title = "Energy used in heating in Helsinki",
    x = "Time",
    y = "Heating energy (GWh /a)"
  )

eb <-EnergyNetworkOptim[EnergyNetworkOptim$Process_variable_type == "Activity",]
colnames(eb@output)[colnames(eb@output) == "Process variable name"] <- "Plant"
eb$Process variable type <- NULL

```

```

ebtemp <- eb[eb$Time %in% c("2035") & eb$EnergySavingPolicy == "BAU" & eb$PlantPolicy ==
"BAU" , ]
ebtemp <- truncateIndex(ebtemp, cols = "Plant", bins = 7)

ogplot(ebtemp, x = "Plant", fill = "Plant") + facet wrap( ~ Temperature) +
  theme(axis.text.x = element_blank()) + # Turn text and adjust to right
  labs(
    title = "Power plant activity by temperature daily optim \nPlant policy = BAU,
Year = 2035",
    y = "Power output daily average (MW)"
  )

fu <- fuelUse
fu$Burner <- NULL
fu <- fu / 3.6E+6 # From MJ/a -> GWh/a
fu$Time <- as.numeric(as.character(fu$Time))

futemp <- fu[fu$Time %in% c("2015", "2035", "2065") & fu$PlantPolicy == "BAU" , ]
futemp <- truncateIndex(futemp, cols = "Plant", bins = 7) * -1
ogplot(futemp, x = "Fuel", fill = "Plant", turnx = TRUE) + facet grid(Time ~
EnergySavingPolicy) +
  labs(
    title = "Energy commodity flows \n Plant policy = BAU",
    y = "Total annual energy (GWh/a)"
  )

futemp <- fu[fu$Fuel %in% c("Heat") , ]
futemp <- truncateIndex(futemp, cols = "Plant", bins = 10) * -1
ogplot(futemp, x = "Time", fill = "Plant", binwidth = 5) + facet_grid(EnergySavingPolicy ~
PlantPolicy) +
  labs(
    title = "District heat flow",
    y = "Total annual energy (GWh/a)"
  )

futemp <- fu[fu$Fuel %in% c("Electricity") , ]
futemp <- truncateIndex(futemp, cols = "Plant", bins = 10) * -1
ogplot(futemp, x = "Time", fill = "Plant", binwidth = 5) + facet_grid(EnergySavingPolicy ~
PlantPolicy) +
  labs(
    title = "Electricity flow",
    y = "Total annual energy (GWh/a)"
  )

ogplot(emissions[emissions$EnergySavingPolicy == "BAU" , ], x = "Time", fill = "Fuel",
binwidth = 5) +
  facet_grid(Pollutant ~ PlantPolicy, scale = "free_y") +
  labs(
    title = "Emissions from heating in Helsinki",
    x = "Time (Energy saving policy = BAU)",
    y = "Emissions (ton /a)"
  )

ogplot(exposure[exposure$Exposure agent == "PM2.5" , ], x = "Time", fill = "Fuel", binwidth
= 5) +
  facet_grid(EnergySavingPolicy ~ PlantPolicy) +
  labs(
    title = "Exposure to PM2.5 from heating in Helsinki",
    x = "Time",
    y = "Average PM2.5 (µg/m3)"
  )

ogplot(DALYs, x = "Time", fill = "Fuel", binwidth = 5) + facet_grid(EnergySavingPolicy ~
PlantPolicy) +
  labs(
    title = "Health effects in DALYs of PM2.5 from heating in Helsinki",
    y = "Health effects (DALY /a)"
  )

```

## Part 2: User interface and result graphs

The user interface is shown in Figure 1. The final results results can be found from [model run 1.11.2015](#). It is the final archived version in English. Objects were stored, so you can download the whole assessment to R in your own computer.

- [Model run 26.10.2015](#) with graphs in Finnish
- Intermediate results are available at section [#See also](#).

```
# This code is Op_en7237/finalresults on page [[Helsinki energy decision 2015]]
library(OpasnetUtils)
library(ggplot2)

openv.setN(0) # use medians instead of whole sampled distributions

# Download all pre-calculated inputs, e.g. building stock.
objects.latest("Op_en7237", code_name = "intermediates") # [[Helsinki energy decision 2015]]
objects.latest("Op_en6007", code_name = "answer") # [[OpasnetUtils/Drafts]] oggplot
objects.latest("Op_en7392", code_name = "translate") # [[OpasnetUtils/Translate]] translate
objects.latest("Op_en7392", code_name = "dictionary") # [[OpasnetUtils/Translate]] dictionary
BS <- 24 # base_size for graph fonts
saveobjects <- TRUE
language <- "English"
fi <- language == "Finnish"

allplants <- c(
  'Biofuel heat plants',
  'CHP diesel generators',
  'Data center heat',
  'Deep-drill heat',
  'Hanasaari',
  'Household air conditioning',
  'Household air heat pumps',
  'Household geothermal heat',
  'Household solar',
  'Katri Vala cooling',
  'Katri Vala heat',
  'Kellosaari back-up plant',
  'Loviisa nuclear heat',
  'Neste oil refinery heat',
  'Salmisaari A&B',
  'Salmisaari biofuel renovation',
  'Sea heat pump',
  'Sea heat pump for cooling',
  'Small fuel oil heat plants',
  'Small gas heat plants',
  'Small-scale wood burning',
  'SuviLahti power storage',
  'SuviLahti solar',
  'Vanhakaupunki museum',
  'Vuosaari A',
  'Vuosaari B',
  'Vuosaari C biofuel',
  'Wind mills'
)

shutdown <- allplants[!allplants %in% noshutdown]
shutdown <- c(shutdown, "None")

customdecisions <- data.frame(
  Obs = NA,
  Decision_maker = "Helen",
  Decision = "PlantPolicy",
  Option = "Custom",
  Variable = c("plantParameters", "energyProcess"),
  Cell = c(
    paste("Plant:", paste(shutdown, collapse = ","), ";Parameter:Max,Min,Investment
cost;Time:>2015", sep = ""),
    ""
  ),
  Change = c("Replace", "Identity"),
  Unit = NA,
  Result = 0
)
```

```

decisions <- rbind(decisions, customdecisions)

if ("Hanasaari" %in% renovation) {
  customdecisions <- data.frame(
    Obs = NA,
    Decision_maker = "Helen",
    Decision = "PlantPolicy",
    Option = "Custom",
    Variable = rep(c("plantParameters", "energyProcess"), each = 2),
    Cell = c(
      "Plant:Hanasaari;Time:>=2018;Time:<=2060;Parameter:Max",
      "Plant:Hanasaari;Time:>=2018;Parameter:Investment cost",
      "Plant:Hanasaari;Fuel:Biofuel;Time:>=2018",
      "Plant:Hanasaari;Fuel:Coal;Time:>=2018"
    ),
    Change = rep(c("Replace", "Add"), each = 2),
    Unit = NA,
    Result = c(640, 100, -0.40, 0.40)
  )
  decisions <- rbind(decisions, customdecisions)
}

DecisionTableParser(decisions)

oprint(data.frame(
  Running = c(
    "These plants will be running in the custom plant policy:",
    paste(allplants[!allplants %in% shutdown], collapse = ", ")
  ),
  Shutdown = c(
    "Plants that will be shut down in the custom plant policy:",
    paste(shutdown, collapse = ", ")
  )
))

EnergyNetworkDemand <- EvalOutput(EnergyNetworkDemand)

EnergyNetworkDemand@output <- rbind(
  EnergyNetworkDemand@output,
  data.frame(
    Time = rep(c(2025, 2035, 2045, 2055, 2065), each = 4),
    EnergySavingPolicy = rep(c("BAU", "Energy saving moderate", "Energy saving total", "WWF
energy saving"), times = 5),
    Temperature = "(-18,-15]",
    EnergyConsumerDemandSource = "Formula",
    EnergyConsumerDemandTotalSource = "Formula",
    Fuel = "Cooling",
    fuelSharesSource = "Formula",
    EnergyNetworkDemandResult = 0,
    EnergyNetworkDemandSource = "Formula"
  )
)

#cat("All energy taxes are assumed zero.\n")
#objects.latest("Op en4151", code name = "fuelTax")
#fuelTax <- EvalOutput(fuelTax)
#result(fuelTax) <- 0

fuelUse <- EvalOutput(fuelUse)

fuelUse$Fuel <- factor(
  fuelUse$Fuel, levels = c(
    "Biofuel",
    "Coal",
    "Fuel oil",
    "Gas",
    "Light oil",
    "Wood",
    "Electricity",
    "Electricity taxed",
    "Heat",
    "Cooling"
  ), ordered = TRUE
)

```

```

)

DALY <- EvalOutput(DALYs)
DALYs <- unkeep(DALY, cols = c("Age", "Sex", "Population"))
DALYs <- oapply(DALYs, cols = c("Emission site", "Emission height", "Area"), FUN = sum)
DALYs <- DALYs[DALYs$Response == "Total mortality" , ]

EnergyNetworkCost <- EvalOutput(EnergyNetworkCost)

EnergyNetworkCost$Time <- as.numeric(as.character(EnergyNetworkCost$Time))

totalCost <- EvalOutput(totalCost)
totalCost@output$Time <- as.numeric(as.character(totalCost@output$Time))
totalCost <- unkeep(totalCost[totalCost$Time >= 2015 & totalCost$Time <=2065 , ], sources = TRUE)

# Net present value and effective annual cost

discount <- 0.03
times <- c(2015, 2065)
EAC <- EvalOutput(EAC)

if(saveobjects) {
  objects.store(list = ls())
  cat("All objects stored for later use:\n", paste(ls(), collapse = ", "), "\n")
}

##### POST PROCESSING AND GRAPHS, VERSION FROM PERPERENCE ANALYSIS

cat(translate("NOTE! In all graphs and tables, the Total energy saving policy is assumed
unless otherwise noted\n"))
cat(translate("Total DALYs/a by different combinations of policy options.\n"))

temp <- DALYs[as.character(DALYs$Time) %in% c("2015", "2035") & DALYs$Response == "Total
mortality" , ]

oprint(
  translate(oapply(temp, INDEX = c("Time", "EnergySavingPolicy", "PlantPolicy"), FUN = sum)),
  caption = translate("Table 1: Total DALYs/a by different combinations of policy options."),
  caption.placement = "top",
  include.rownames = FALSE
)

bui <- oapply(buildings * 1E-6, cols = c("City area", "buildingsSource"), FUN = sum)
bui <- truncateIndex(bui, cols = "Heating", bins = 4)

ogggplot(bui[bui$EnergySavingPolicy == "BAU" , ], x = "Time", fill = "Heating", binwidth = 5) +
  labs(
    title = translate("Building stock in Helsinki by heating"),
    y = translate("Floor area (M m2)")
  )

ogggplot(bui, x = "Time", fill = "Efficiency", binwidth = 5) +
  {if(fi) facet_wrap(~ Energiansäästöpolitiikka) else facet_wrap(~ EnergySavingPolicy)} +
  labs(
    title = translate("Building stock in Helsinki by efficiency policy"),
    y = translate("Floor area (M m2)")
  )

ogggplot(bui, x = "Time", fill = "Renovation", binwidth = 5) +
  {if(fi) facet_wrap(~ Energiansäästöpolitiikka) else facet_wrap(~ EnergySavingPolicy)} +
  labs(
    title = translate("Building stock in Helsinki by renovation policy"),
    y = translate("Floor area (M m2)")
  )

ogggplot(bui[bui$EnergySavingPolicy == "BAU" , ], x = "Time", fill = "Building", binwidth = 5) +
  labs(
    title = translate("Building stock in Helsinki"),
    y = translate("Floor area (M m2)")
  )

ogggplot(buildings, x = "Time", fill = "Efficiency", binwidth = 5)+

```

```

{if(fi) facet_grid(Energiansäästöpolitiikka ~ Korjaukset) else
facet_grid(EnergySavingPolicy ~ Renovation)} +
  labs(
    title = translate("Renovation of buildings by policy and efficiency"),
    y = translate("Floor area (M m2)")
  )
)

# Contains also other buildings than district heating and other energy than heating
hea <- EnergyConsumerDemandTotal * temperdays * 24 * 1E-3 # MW -> GWh
hea <- hea[hea$EnergySavingPolicy == "Energy saving total" & !hea$Consumable %in% c("District
cooling", "Electric cooling") , ]
hea$Time <- as.numeric(as.character(hea$Time))

oggplot(truncateIndex(hea, cols = "Temperature", bins = 7), x = "Time", fill = "Temperature",
binwidth = 5) +
{if(fi) facet_wrap(~ Hyödyke) else facet_wrap(~ Consumable)} +
labs(
  title = translate("Energy consumption in all buildings"),
  y = translate("Total energy (GWh /a)")
)

hea2 <- EnergyNetworkDemand * temperdays * 24 / 1000 # MW -> GWh
hea2$Time <- as.numeric(as.character(hea2$Time))

oggplot(hea2, x = "Time", fill = "Fuel", binwidth = 5) +
{if(fi) facet_wrap(~ Energiansäästöpolitiikka) else facet_wrap(~ EnergySavingPolicy)} +
labs(
  title = translate("Energy demand in the network"),
  fill = translate("Consumable"),
  y = translate("Total energy (GWh /a)")
)

eb <-EnergyNetworkOptim[EnergyNetworkOptim$Process variable type == "Activity",]
eb <- eb[eb$EnergySavingPolicy == "Energy saving total" , ]
colnames(eb@output)[colnames(eb@output) == "Process_variable_name"] <- "Plant"
eb$Process_variable_type <- NULL

ebtemp <- eb[eb$Time %in% c("2035") & eb$PlantPolicy == "BAU" & eb$Temperature != "(-18,-15]"
, ]
ebtemp <- truncateIndex(ebtemp, cols = "Plant", bins = 7)

oggplot(ebtemp, x = "Temperature", fill = "Plant", turnx = TRUE) +
  labs(
    title = translate("Power plant activity by temperature daily optim \nPlant policy = BAU,
Year = 2035"),
    x = translate("Temperature of the day"),
    y = translate("Average daily activity (MW)")
  )

ebtemp <- eb[eb$Time %in% c("2035") & eb$Temperature != "(-18,-15]" , ]
ebtemp <- truncateIndex(ebtemp, cols = "Plant", bins = 10)
oggplot(ebtemp, x = "Temperature", fill = "Plant", turnx = TRUE) +
  {if(fi) facet_wrap(~ Voimalapolitiikka) else facet_wrap(~ PlantPolicy)} +
  labs(
    title = translate("Power plant activity by temperature daily optim in 2035"),
    x = translate("Temperature of the day"),
    y = translate("Average daily activity (MW)")
  )

ebtemp <- eb[eb$Time %in% c("2005") & eb$PlantPolicy == "BAU" & eb$Temperature == "(0,3]" , ]
ebtemp <- truncateIndex(ebtemp, cols = "Plant", bins = 10)

oggplot(ebtemp, x = "Plant", fill = "Plant", turnx = TRUE) +
  {if(fi) facet_wrap(~ Lämpötila) else facet_wrap(~ Temperature)} +
  theme(axis.text.x = element_blank()) + # Turn text and adjust to right
  labs(
    title = translate("Power plant activity by temperature daily optim \nPlant policy = BAU,
Year = 2005"),
    y = translate("Average daily activity (MW)")
  )

fu <- fuelUse / 3.6E+6 # From MJ/a -> GWh/a
fu <- fu[fu$EnergySavingPolicy == "Energy saving total" , ]
fu$Burner <- NULL

```



```

fu$Time <- as.numeric(as.character(fu$Time))

futemp <- fu[fu$Time %in% c("2015", "2035", "2065") & fu$PlantPolicy == "BAU" , ]
futemp <- truncateIndex(futemp, cols = "Plant", bins = 7) * -1

oggplot(futemp, x = "Fuel", fill = "Plant", turnx = TRUE) +
  {if(fi) facet_grid(Aika ~ Energiansäästöpolitiikka) else facet_grid(Time ~
EnergySavingPolicy)} +
  labs(
    title = translate("Energy commodity flows \n Plant policy = BAU"),
    y = translate("Total annual energy (GWh/a)")
  )

futemp <- fu[fu$Time %in% c("2005") & fu$PlantPolicy == "BAU" , ]
futemp <- truncateIndex(futemp, cols = "Plant", bins = 7) * -1

oggplot(futemp, x = "Fuel", fill = "Plant", turnx = TRUE) +
  labs(
    title = translate("Energy commodity flows in 2005 \n Plant policy = BAU"),
    y = translate("Total annual energy (GWh/a)")
  )

futemp <- fu[fu$Fuel %in% c("Heat") , ]
futemp <- truncateIndex(futemp, cols = "Plant", bins = 10) * -1

oggplot(futemp,
  x = "Time", fill = "Plant", binwidth = 5) +
  {if(fi) facet_wrap(~ Voimalapolitiikka) else facet_wrap(~ PlantPolicy)} +
  labs(
    title = translate("District heat flow"),
    y = translate("Total annual energy (GWh/a)")
  )

futemp <- fu[fu$Fuel %in% c("Electricity") , ]
futemp <- truncateIndex(futemp, cols = "Plant", bins = 10) * -1

oggplot(futemp, x = "Time", fill = "Plant", binwidth = 5) +
  {if(fi) facet_wrap(~ Voimalapolitiikka) else facet_wrap(~ PlantPolicy)} +
  labs(
    title = translate("Electricity flow"),
    y = translate("Total annual energy (GWh/a)")
  )

emis <- truncateIndex(emissions, cols = "Emission site", bins = 5)
emis <- emis[emis$EnergySavingPolicy == "Energy saving total" & emis$Fuel != "Electricity" , ]
levels(emis$Fuel)[levels(emis$Fuel) == "Electricity_taxed"] <- "Electricity bought"
emis$Time <- as.numeric(as.character(emis$Time))
oggplot(emis, x = "Time", fill = "Fuel", binwidth = 5) +
  {if(fi) facet_grid(Saaste ~ Voimalapolitiikka, scale = "free y") else facet_grid(Pollutant
~ PlantPolicy, scale = "free y")} +
  labs(
    title = translate("Emissions from heating in Helsinki"),
    y = translate("Emissions (ton /a)")
  ) +
  scale_x_continuous(breaks = c(2000, 2050))

da <- DALYs[DALYs$EnergySavingPolicy == "Energy saving total" & DALYs$Fuel != "Electricity" ,
]
levels(da$Fuel)[levels(da$Fuel) == "Electricity_taxed"] <- "Electricity bought"
da$Time <- as.numeric(as.character(da$Time))
oggplot(da, x = "Time", fill = "Fuel", binwidth = 5) +
  {if(fi) facet_wrap(~ Voimalapolitiikka) else facet_wrap(~ PlantPolicy)} +
  labs(
    title = translate("Health effects of PM2.5 from heating in Helsinki"),
    y = translate("Health effects (DALY /a)")
  )

fp <- fuelPrice[fuelPrice$Fuel %in% c(
  "Biofuel",
  "Coal",
  "Electricity taxed",
  "Fuel oil",
  "Heat",
  "Light oil",

```

```

    "Natural gas",
    "Peat"
  ) , ]
fp$Time <- as.numeric(as.character(fp$Time))
levels(fp$Fuel)[levels(fp$Fuel) == "Electricity taxed"] <- "Electricity"

ggplot(translate(fp@output), if(fi) {
  aes(x = Aika, y = fuelPriceResult, colour = Polttoaine, group = Polttoaine)
} else {
  aes(x = Time, y = fuelPriceResult, colour = Fuel, group = Fuel)
}) +
  geom_line(size = 2)+theme_gray(base_size = BS) +
  labs(
    title = translate("Fuel prices (with tax)",
    y = translate("Price (Eur/MWh)")
  )

tc <- truncateIndex(totalCost, cols = "Plant", bins = 11) / 10 * -1 # Yearly benefits (costs
are negative)
tc <- tc[tc$EnergySavingPolicy == "Energy saving total" , ]

ogggplot(tc, x = "Time", fill = "Cost", binwidth = 10) +
  {if(fi) facet_wrap(~ Voimalapolitiikka) else facet_wrap( ~ PlantPolicy)} +
  labs(
    y = translate("Yearly cash flow (Meur)",
    title = translate("Total benefits and costs of energy production")
  )

ogggplot(tc, x = "Time", fill = "Plant", binwidth = 10) +
  {if(fi) facet_wrap(~ Voimalapolitiikka) else facet_wrap(~ PlantPolicy)} +
  labs(
    y = translate("Yearly cash flow (Meur)",
    title = translate("Total benefits and costs of energy production")
  )

eac <- EAC[EAC$EnergySavingPolicy == "Energy saving total" , ] * -1

BS <- 14 # Plot the next two graphs with smaller font because they are busy graphs.

eac2 <- eac[!eac$Plant %in% c(
  'Household air conditioning',
  'Household solar',
  'Katri Vala cooling',
  'Kellosaari back-up plant',
  'Sea heat pump for cooling',
  'Small-scale wood burning',
  'Suvilahhti power storage',
  'Suvilahhti solar',
  'Vanhakaupunki museum',
  'Wind mills'
) , ]

ogggplot(eac2, x = "PlantPolicy", fill = "Cost", turnx = TRUE) +
  {if(fi) facet_wrap(~ Voimala, scale = "free_y") else facet_wrap(~ Plant, scale = "free_y")}
+
  labs(
    title = translate("Incomes and costs by plant",
    y = translate("Effective annual cash flow (Meur/a)")
  )

ogggplot(eac2, x = "PlantPolicy", fill = "Cost", turnx = TRUE)+
  {if(fi) facet wrap(~ Voimala) else facet wrap(~ Plant)} +
  labs(
    title = translate("Incomes and costs by plant",
    y = translate("Effective annual cash flow (Meur/a)")
  )

BS <- 24
eac <- truncateIndex(eac, cols = "Plant", bins = 11)

ogggplot(eac, x = "PlantPolicy", fill = "Plant", turnx = TRUE)+
  labs(
    title = translate("Incomes and costs by plant policy",
    y = translate("Effective annual cash flow (Meur/a)")
  )

```

```

)
ogggplot(eac, x = "PlantPolicy", fill = "Cost", turnx = TRUE)+
  labs(
    title = translate("Incomes and costs by plant policy"),
    y = translate("Effective annual cash flow (Meur/a)")
  )

temp <- truncateIndex(plantParameters[plantParameters$Parameter == "Max" , ], cols = "Plant",
bins = 11)
temp <- temp[temp$Time >= 2000 & temp$Time <=2070 , ]
ogggplot(temp, x = "Time", fill = "Plant", binwidth = 1) +
  {if(fi) facet_wrap(~ Voimalapolitiikka) else facet_wrap(~ PlantPolicy)} +
  labs(
    title = translate("Energy production capacity by plant policy"),
    y = translate("Maximum capacity (MW)")
  )

odag() #Plots a directed acyclic graph of ovariables used in the model.
# This causes an internal error, so it must be the last row of the model

```

## References

- Helsingin ympäristötilasto. Helsingin kaupungin ympäristökeskus.  
<http://www.helsinginymparistotilasto.fi/>
- Scanoffice.fi: VTT:n testiraportit - Ilmalämpöpumppuvertailu.  
<http://www.scanoffice.fi/fi/tuotteet/tuoteryhmat/ilmalampopumpput/raportit-ja-sertifikaatit/vtt-testiraportit>
- Energy.gov: Geothermal heat pumps. U.S. department of energy. <http://energy.gov/energysaver/geothermal-heat-pumps>
- Energy.gov: Wood and pellet heating. U.S. department of energy <http://energy.gov/energysaver/wood-and-pellet-heating>
- Norwegian Water Resources and Energy Directorate: Energy in Norway, an brief annual presentation, 2009.  
<http://www.nve.no/global/energi/analyser/energi%20i%20onorge%20folder/energy%20in%20norway%202009%20edition.pdf>
- Sustainable Energy Technology at Work -project: Use of waste heat from refining industry, Sweden. Preem AB, H Samuelsson.  
<http://www.setatwork.eu/database/products/R179.htm>
- Berntsson T, Persson Elmeroth L, Alghed J, Hektor E, Franck PÅ, Åsblad A, Johnsson F, Lyngfelt A, Gevert B, Richards T: Towards a Sustainable Oil Refinery - Pre-study for larger co-operation projects. Chalmers Energy Centre (CEC) Report 2008:1. Chalmers University of Technology.  
<http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/69752.pdf>
- Ilkka Maaskola, Matti Kataikko: Ylijäämälämmön taloudellinen hyödyntäminen. Lämpöpumppu- ja ORC-sovellukset. Motiva, Helsinki, 2014.  
[http://www.motiva.fi/files/10217/Ylijaamalammon\\_taloudellinen\\_hyodyntaminen\\_Lampopumppu-ja\\_ORC-sovellukset.pdf](http://www.motiva.fi/files/10217/Ylijaamalammon_taloudellinen_hyodyntaminen_Lampopumppu-ja_ORC-sovellukset.pdf)
- Helen: Lisäämme tuulivoimalla tuotetun energian määrää. <https://www.helen.fi/kotitalouksille/neuvoja-jatietoa/vastuullisuus/hiilineutraali-tulevaisuus/lisaa-tuulivoimaa/>
- Helen: Aurinkovoiman tuotanto on käynnistynyt Suvilahdessa. 10.3.2015  
<https://www.helen.fi/uutiset/2015/aurinkovoiman-tuotanto-on-kaynnistynyt-helsingin-suvilahdessa/>
- Loviisan sanomat: Loviisan ydinvoimalan tehoja aiotaan nostaa 52 megawattia. 13.1.2012  
<http://www.loviisanomat.net/lue.php?id=5361>
- Valtioneuvoston periaatepäätös Loviisa 3 - ydinvoimalasta. 6.5.2010  
[https://www.tem.fi/files/26809/PAP\\_FPH\\_LO3.pdf](https://www.tem.fi/files/26809/PAP_FPH_LO3.pdf)
- Lähdeaho Marika, Meskanen Jukka, Yrjänäinen Heli: Sähköenergian kustannusrakenne: vertailuna vesivoima, hiilivoima ja ydinvoima. Seminaarityö. Tampere university of technology.  
[http://www.tut.fi/smg/tp/kurssit/SMG-4050/seminaarit07/sahkoenergian\\_kustannusrakenne.pdf](http://www.tut.fi/smg/tp/kurssit/SMG-4050/seminaarit07/sahkoenergian_kustannusrakenne.pdf)
- Krohn S (editor), Morthorst PE, Awerbuch S: The Economics of Wind Energy. European Wind Energy Association (EWEA). March 2009  
[http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/reports/Economics\\_of\\_Wind\\_Energy.pdf](http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/reports/Economics_of_Wind_Energy.pdf)
- Vainio Tuukka: Sähkön tuotantokustannusvertailu. Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu, energiatekniikan laitos. 2011  
<https://aaltoodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/4969/isbn9789526041353.pdf?sequence=1>
- Hawkings, Will: An affordable district heating system in Norway. Heat Pumps Today. 10.3.2014  
<http://www.heatpumps.media/features/an-affordable-district-heating-system-in-norway>
- Kenneth Hoffmann MSc, David Forbes Pearson MInstR: Ammonia Heat Pumps for District Heating in Norway – a case study. The Institute of Refrigeration (IOR). 2011  
<http://www.ammonia21.com/web/assets/link/Hoffman7thApril2011London%20colour.pdf>
- European Heat Pump Association: The World's Largest “Natural” District Heat Pump. 6.3.2015  
<http://www.ehpa.org/about/news/article/the-worlds-largest-natural-district-heat-pump/>
- Lako, Paul: Geothermal heat and power. Energy technology systems analysis programme, IEA. 2010.  
[http://www.etsap.org/E-techDS/PDF/E06-geoth\\_energy-GS-gct.pdf](http://www.etsap.org/E-techDS/PDF/E06-geoth_energy-GS-gct.pdf)
- Helen Oy: Lämpölaitosten turvallisuustiedote. 17.6.2015  
<https://www.helen.fi/globalassets/ymparisto/turvallisuustiedote-lampolaitokset.pdf>
- Lehtilä A, Koljonen T, Airaksinen M, Tuominen P, Järvi T, Laurikko J, Similä L, Grandell L: Energiajärjestelmien kehityspotit kohti vähähiilistä yhteiskuntaa. Low Carbon Finland 2050 -platform. VTT. 2014.  
[http://en.opasnet.org/en-opwiki/images/d/d1/Low\\_Carbon\\_Finland\\_Platform.pdf](http://en.opasnet.org/en-opwiki/images/d/d1/Low_Carbon_Finland_Platform.pdf)
- Tilastokeskus (Statistics Finland). List of tables under the topic "Price of energy".  
<http://pxweb2.stat.fi/database/statfin/ene/ehi/ehi.fi.asp>
- U.S. Energy Information Administration: Spot prices for crude oil and petroleum products.  
[http://www.eia.gov/dnav/pet/PET\\_PRI\\_SPT\\_S1\\_A.htm](http://www.eia.gov/dnav/pet/PET_PRI_SPT_S1_A.htm)
- Internal revenue service: Nonconventional Source Fuel Credit, Inflation Adjustment Factor, and Reference Price  
<http://www.irs.gov/pub/irs-drop/n-99-18.pdf>

25. U.S. Energy Information Administration: Annual Energy Outlook 2015 - With Projections to 2040. 2015. [http://www.eia.gov/forecasts/aeo/pdf/0383\(2015\).pdf](http://www.eia.gov/forecasts/aeo/pdf/0383(2015).pdf)
26. Tilastokeskus (Statistics Finland): Energian hinnat 2015, 1. vuosineljännes. (Energy prices 2015, 1. quarter) <http://tilastokeskus.fi/til/ehi/2015/01/>
27. Väisänen S: Greenhouse gas emissions from peat and biomass-derived fuels, electricity and heat - Estimation of various production chains by using LCA methodology. Lappeenranta University of Technology. 2014. <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/94404/isbn9789522655578.pdf?sequence=2>
28. <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=3706>
29. Sebastien Humbert, Julian D. Marshall, Shanna Shaked, Joseph V. Spadaro, Yurika Nishioka, Philipp Preiss, Thomas E. McKone, Arpad Horvath, and Olivier Jolliet. Intake Fraction for Particulate Matter: Recommendations for Life Cycle Impact Assessment (2011). Environmental Science and Technology, 45, 4808-4816.





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.

