

Ohjeistus alueen energiasimuloinnin toteuttamiseksi



Energiaviisaat
KAUPUNGIT

Projekti	Energian, kustannusten ja päästöjen alueellisen mallinnuksen ohjeistus
Valmistunut	21.07.2020
Vastaanottoja	Tampereen kaupunki, kaupunkiympäristön palvelualue
Toteuttaja	Ramboll Finland Oy
Toteutuksen vastuuhenkilöt	Santeri Siren, Aino Mensonen
Ohjausryhmä (Tampereen kaupunki)	Tuomas Vanhanen, Elina Seppänen, Juho Rinta-Rahko, Niko Suoniemi, Petri Mölsä

SISÄLLYS

1.	Tausta	1
2.	Simulointiprosessin rakenne	3
3.	Energiasimulointi	5
3.1	Rakennusten mallintaminen	5
3.1.1	Yleistä	5
3.1.2	Mallintamisen taso	6
3.1.3	Lähtöarvot	7
3.1.4	Rakennukset aktiivisena osana energiajärjestelmää	8
3.1.5	Tulokset	8
3.1.6	Muuta	8
3.2	Energiajärjestelmän mallintaminen	9
3.2.1	Yleistä	9
3.2.2	Mallintamisen taso	9
3.2.3	Lähtöarvot ja reunaehdot	10
3.2.4	Mallinnettavat teknologiat	10
3.2.5	Energiavarastot	11
3.2.6	Ohjaus ja säätö	11
3.2.7	Tulokset	12
4.	Ilmastopäästöjen laskenta	13
4.1.1	Yleistä	13
4.1.2	Huomioitavat asiat	13
4.1.3	Tulokset	15
4.1.4	Muuta	15
5.	Elinkaarikustannuslaskenta	16
5.1.1	Taustaa	16
5.1.2	Kustannus- ja tuottotekijät	16
5.1.3	Eriaikaisten meno- ja tuloerien diskonttaus	16
5.1.4	Laskennan tulokset	17
5.1.5	Kustannustietojen läpinäkyvyys	17
5.1.6	Muut ominaisuudet	17
6.	Tulosten raportointi ja visualisointi	19
6.1	Esimerkkejä alueellisen energiamallinnuksen tulosten esittämisestä	20
7.	Muuta	23
7.1	Skenaariotarkastelut	23
7.2	Vaiheittainen rakentuminen	23
7.3	Olemassa oleva rakennuskanta	23

1. TAUSTA

6Aika Energiaviisaat kaupungit -hankkeessa on kokeiltu erilaisia energiasimulointeja alueellisen rakentamisen ja siihen liittyvien alueellisten energiajärjestelmien suunnittelun apuna. Vastaavia mallinnuksia toteutetaan myös yleisesti osana kaupunkisuunnittelua. Keskeinen motivaatio mallintamiselle on tuottaa tietoa rakennetun ympäristön ilmastopäästöjen syntymisestä tietyllä alueella jo ennen esimerkiksi täydennysrakentamisen tarkemman suunnittelun aloittamista.

Simulointihankkeiden tulosten avulla kaupunki ja muut käyttäjäryhmät voivat saada selville rakennuksiin sekä niitä palvelemaan energiajärjestelmään kohdistuvien vaihtoehtoisten ohjaustoimenpiteiden sekä suunnitteluratkaisujen vaikutukset energiankäyttöön, investointi- ja elinkaarikustannuksiin sekä alueen elinkaaren hiilidioksidipäästöihin.

Simulointien lähtötietoina toimivat alueen luonnostason suunnitelmat, kuten yleis- ja asemakaavaan kaavoitetut rakennusmassat. Tarkoitus on mallintaa erilaisten energiankulutukseen ja -tuotantoon liittyvien ratkaisuiden vaikutuksia.

Simuloinnit toimivat tietopohjaisen päätöksenteon apuvälineenä. Mallinnusten tuottaman tiedon tukemana kaupunkiorganisaatiolla on edellytykset asettaa kustannustehokkaita ohjauskeinoja alueen kortteleiden ja energiajärjestelmän rakentamiselle.

Simulointeja on tarkoitus hyödyntää esimerkiksi Tampereelle rakentuvan uuden Hiedanrannan kaupunginosan vähähiilisyystavoitteiden vaatimien toimenpiteiden ja ratkaisujen suunnitteluun, sekä hyödyntää mallintamista Tammelan kaupunginosan täydennysrakentamisen yhteydessä. Samanlaisilla mallinnoilla voidaan tutkia geneerisesti muitakin kaupunkialueita.

Tässä dokumentissa määritellään yleisellä tasolla tämän tyyppisten simulointien sisältö, rakenne, rajaukset ja vaatimukset. Nämä määrittelyt voivat toimia simulointien toteutuksen lähtökohtana.

Määrittelytoimeksiannon osana järjestettiin joukko haastatteluja, joissa kerättiin näkemystä eri alojen avainhenkilöiltä aiheeseen liittyen. Seuraavassa listassa on lueteltu haastatellut henkilöt:

- **Tuomas Vanhanen**, Energiaviisaat kaupungit hankkeen projektipäällikkö
- **Niko Suoniemi**, Tampereen tilapalvelut, tilapäällikkö
- **Auli Heinävä**, Tampereen asumisen kehittäminen ja palvelutilaverkot, asunto- ja kehityspäällikkö
- **Elina Seppänen**, Tampereen kaupunki, energia -ja ilmastoasiantuntija
- **Jere Pirhonen**, SRV, Energia -ja elinkaari palvelut, johtaja
- **Toni Tuomola**, Skanska, Tampereen ja Jyväskylän asuntorakennuttaminen, yksikönjohtaja

- **Pekka Leinonen**, Tampereen Sähkölaitos Oy, päällikkö, yritysasiakkuudet
- **Pertti Vesterinen**, Asunto Oy Tampereen Pohjolankatu 18-20:n hallituksen puheenjohtaja

Näiden lisäksi järjestettiin useita hieman suppeampia haastatteluita eri alojen asiantuntijoiden kanssa. Haastattelujen lisäksi järjestettiin erillinen työpaja (27.1.2020), johon kutsuttiin laajemmalti eri alojen ja sidosryhmien edustajia keskustelemaan simulointien määrittelyyn liittyvistä asioista.

Haastatteluissa ja työpajassa kerättiin eri sidosryhmien näkemystä liittyen mm. simulointihankkeiden sisältöön, tavoitteisiin, reunaehtoihin, rajauksiin ja toimintaan. Näitä tietoja hyödynnettiin varsinaisten määrittelyjen laatimisessa ja määrittelytyksin kirjoittamisessa.

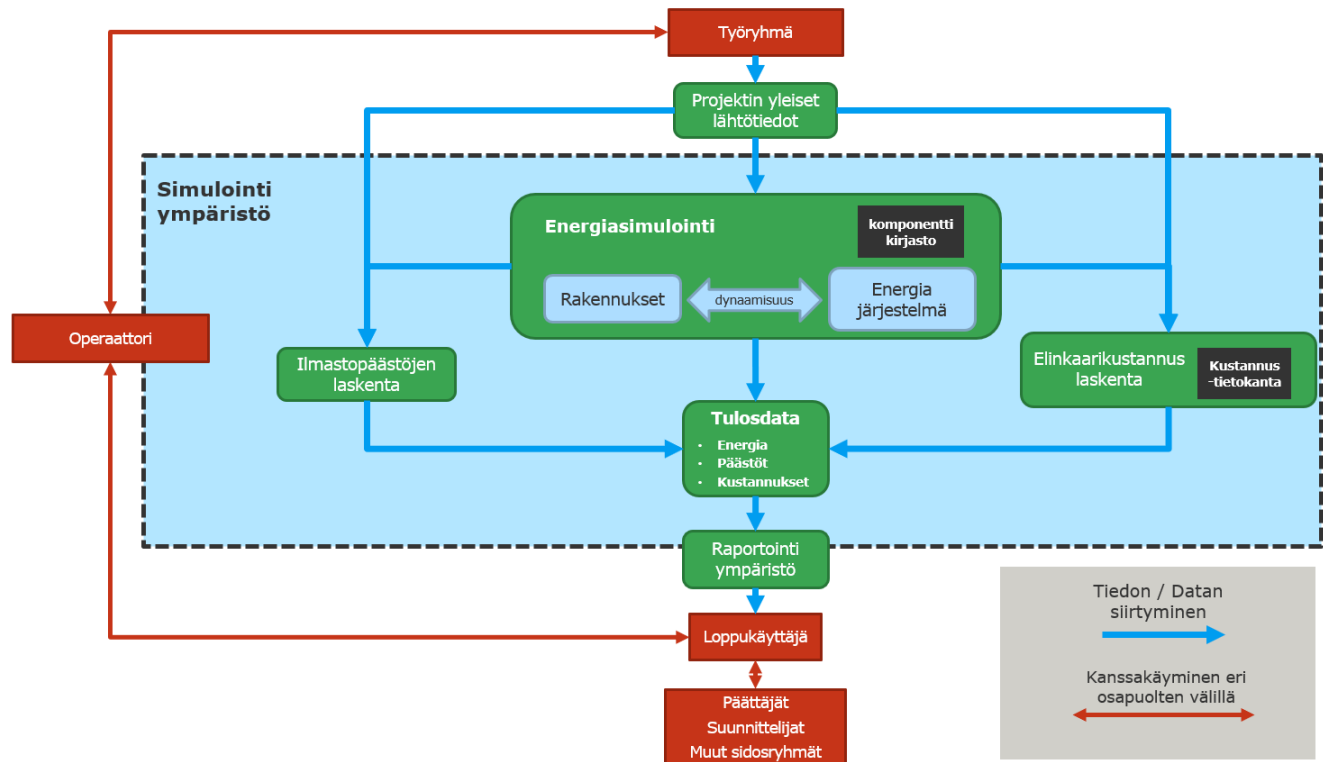
Määrittelyssä kuvattujen simulointien toteuttaminen vaatii laaja-alaista ja syvällistä teknistä osaamista erityisesti liittyen rakennusten energiankulutuksen laskentaan, rakennuksia palveleviin energijärjestelmäratkaisuihin ja näiden dynaamiseen mallintamiseen ja simulointiin. Simuloinnit tulevat kokonaisuutena sisältämään lukuisia laskentakomponentteja ja niiden toimintaan vaikuttavia teknisiä parametreja. Simuloinnit tulee suorittaa niin että mahdollistetaan joustava ja räätälöitävä energijärjestelmän arviointi, niin että sitä voidaan tekniseltä sisällöltään tarpeen mukaan muokata ja laajentaa. Tämän kokonaisuuden hallinta käytännön hankkeissa vaatii simulointien suorittajalta syvällisen ymmärryksen mallinnustyökaluista ja miten erilaiset muuttujat ja parametrit vaikuttavat yksittäisten komponenttien ja koko mallin käyttäytymiseen. Sen vuoksi lähtökohtana on, että asiaan perehtynyt tekninen asiantuntija tulee vastaamaan simulointien suorittamisesta, soveltaen yhdessä hankkeen osapuolten kanssa sovittuja lähtötietoja ja tavoitteita.

Simulointihankkeen tavoitteet, laajuus ja yksityiskohdat ovat aina projektikohtaisia, ja tämän dokumentin ohjeistus on yleisen tason kuvaus ja suositus tällaisen hankkeen sisällöstä ja rakenteesta. Määrittelyissä ei oteta yksityiskohtaisesti kantaa teknisen toteutuksen tapaan, kuten simulointitekniikkiin ratkaisuihin ja menetelmiin, eikä vaadita käyttämään jotain tiettyä ohjelmistoa. Simulointien toteuttaja voi oman osaamisensa ja näkemyksensä pohjalta valita parhaiten soveltuvat ohjelmistot ja menetelmät, kunhan lopputulos vastaa hankekohtaisia tavoitteita ja yleisiä määrittelyitä.

Määrittelyteksti on kirjoitettu ensisijaisesti silmällä pitäen uudisrakentamista, mutta samoja periaatteita voidaan soveltaa olemassa olevan rakennuskannan mallintamisessa ja korjausrakentamistoimenpiteiden tutkimisessa.

2. SIMULOINTIPROSESSIN RAKENNE

Kuvassa 1 on esitetty kaaviolla simulointiprosessin perusrakenne, johon sisältyy sen keskeisimmät osa-alueet sekä projektiin liittyvät sidosryhmät ja niiden väliset suhteet.



Kuva 1. Simulointiprosessin rakenne, keskeiset osa-alueet ja toimijat

Simulointien keskeisten osa-alueiden tarkemmat määrittelyt löytyvät niitä käsittelevistä luvuista (luvut 3 - 6).

Simuloinnit voidaan toteuttaa hyödyntäen useita eri ohjelmistoja, joilla on omat funktionsa ja joiden välillä liikkuu dataa soveltuvien rajapintojen kautta. Esimerkiksi energiasimuloinnin tuloksia on tarpeen hyödyntää päästölaskennan ja kustannuslaskennan lähtötietoina. Vastaavia datavirtoja muodostuu monia. Jos datan siirtymistä ei toteuteta koneellisesti, vaan se joudutaan tekemään manuaalisesti joka vaiheessa, niin mallinnusprosessin tehokkuus heikkenee ja virheiden mahdollisuus kasvaa. Tästä syystä simulointiprosessissa tulee pyrkiä siihen, että tiedonsiirto eri vaiheiden välillä sisältää mahdollisimman vähän manuaalista tietojenkäsittelyä, mikä mahdollistaa tehokkaan prosessin sekä vähentää merkittävästi virheiden mahdollisuutta.

Työryhmään sisältyvät hankkeen keskeiset osapuolet, kuten mallinnustyön tilaajan avainhenkilöt, suunnittelijat ja muut hankkeessa mukana oleva sidosryhmät. Operaattori kuuluu myös työryhmään ja on tiiviissä vuorovaikutuksessa sen muiden osapuolten kanssa. Työryhmän roolina on mm. määritellä yhdessä simulointien tavoitteet, reunaehdot ja rajaukset, kerätä tarvittavat lähtötiedot mallinnettavasta alueesta sekä ohjata tarkasteluja.

Operaattori vastaa varsinaisten teknisten simulointien ja laskelmien suorittamisesta työryhmän kanssa yhdessä laadittujen määrittelyjen mukaisesti. Operaattorilta vaaditaan syvälinen ymmärrys simulointien toiminnasta ja yksityiskohdista. Sen vuoksi operaattori on lähtökohtaisesti tekninen asiantuntija.

Energiasimulointi käsittää dynaamisen energiamallin, joka sisältää tarkasteltavan kaupunkialueen rakennukset sekä niitä palvelevan energiantuotanto -ja jakelujärjestelmän. Komponenttikirjastoon sisältyy erilaisia mallinnuskomponentteja, joista energiamalli voidaan rakentaa. Energialaskennan tuloksena saadaan esimerkiksi rakennusten energiantarpeet ja alueellinen energiantuotannon ja tehontarpeiden jakauma tuntitasolla.

Elinkaarikustannuslaskenta käsittää tarkasteluun sisältyviin ratkaisuihin liittyvät kustannustarkastelut. Elinkaarikustannuslaskennan osana luodaan simulointiympäristöön kuuluva kustannustietokanta. Tuloksena saadaan elinkaarikustannukset ja niiden jakauma, jotka liittyvät tarkasteluun sisältyviin teknisiin ratkaisuihin.

Ilmastopäästöjen laskenta käsittää tarkasteluun sisältyviin ratkaisuihin liittyvien elinkaaren aikaisten CO₂-päästöjen laskennan. Päästölaskenta käyttää lähtötietona työryhmän määrittelemiä tietoja, sekä energiasimuloinnin tuloksia. Tuloksena saadaan tarkasteltavan elinkaaren aikaiset CO₂-päästöt.

Raportointiympäristö on visuaalinen ympäristö, jossa keskeiset simulointien tulokset esitetään ja jossa niitä voidaan tarkastella ja analysoida myös sellaisten käyttäjien toimesta, jotka eivät ole perillä tulosten taustalla olevasta teknisestä laskennasta. Esimerkiksi työryhmän jäsenet, kuten kaupungin energia-asiantuntija, voivat käyttöliittymän kautta tarkastella simulointien tuloksia, analysoida niitä ja luoda raportteja, joita voidaan esittää edelleen muille sidosryhmille. Operaattori auttaa tarvittaessa raportointiympäristön käyttöön liittyvissä ongelmissa.

3. ENERGIASIMULOINTI

Simulointeihin sisältyvät energiamallinnukset on määrittelyn selkeyttämiseksi jaettu kahden pääotsikon alle:

- Rakennusten mallintaminen
- Energiajärjestelmän mallintaminen

Rakennusten mallintamiseen sisältyy yleisesti ne tekijät, jotka määrittävät rakennusten energiantarpeet (lämpö, jäähdytys, sähkö). Rakennuksen energiantarve viittaa siihen kuinka paljon rakennus kuluttaa energiaa, ottamatta kantaa energiantuotantotapaan.

Energiajärjestelmän pääasiallinen tehtävä on tuottaa ja toimittaa rakennuksille niiden tarvitsema energia, joten siihen sisältyy yleisesti kaikki tähän liittyvät tekijät.

Jotkut tekijät ovat tämän määrittelyn suhteen harmaalla alueella niin ettei ole täysin yksiselitteistä kumpaan kategoriaan joku järjestelmä kuuluu (esim. jäteveden lämmöntalteenotto). Tämän määrittelyn ei kuitenkaan ole tarkoitus olla aukoton ja kategorisoida yksiselitteisesti kaikki mahdolliset tekijät jommankumman pääotsikon alle. Sen sijaan, määrittelyn tarkoitus on tuottaa lukijalle yleisen tason ymmärrys energiasimuloinnin rakenteesta, sisällöstä ja vaatimuksista.

3.1 Rakennusten mallintaminen

3.1.1 Yleistä

Rakennusten mallintamiseen sisältyy tässä määrittelyssä ne tekijät, jotka vaikuttavat rakennusten energiantarpeisiin. Energiantarpeilla tarkoitetaan lämmityksen, jäähdytyksen -ja sähkönkulutuksen tarpeita, jotka ovat varsinaisista energiantuotantomuodoista riippumattomia. Esimerkiksi talotekniikan osalta voidaan siten yleisluonteisesti määritellä, että rakennusten mallinnukseen sisältyy tyypillisesti ne järjestelmät, jotka sijaitsevat lämmönjakohuoneen ulkopuolella, kuten ilmanvaihtojärjestelmä, lämmön- ja kylmänjakeluverkostot päätelaitteineen, valaistus, huonelaitteet jne. Myös ulkovaipan ominaisuudet, ikkunat, sisäiset lämpökuormat, yms. vaikuttavat energiantarpeisiin ja siten sisältyvät rakennusten mallintamiseen.

Rakennusten mallintamisen keskeisenä tuloksena ovat rakennusten energiantarpeet tunnin aikaresoluutiolla tai tarkemmalla. Myös huipputehontarpeet sekä mitoitusvahvuudet ovat oleellinen osa tuloksia. Rakennusten mallit tulee integroida dynaamiseksi osaksi alueellisen energiajärjestelmän simulointimallia. Dynamiikka rakennusten ja järjestelmän välillä mahdollistaa esim. kysyntäjouston, kaksisuuntaisen energiakaupan ja muiden näiden kaltaisten toimintojen mallintamisen.

Erityyppisillä -ja ikäisillä rakennuksilla on erilaiset tekniset ominaisuudet ja siten erityyppiset energiankulutusprofiilit. Tämän vuoksi on tärkeää, että simuloinneilla on

mahdollista mallintaa joustavasti erityyppisiä -ja ikäisiä rakennuksia. Kaavavaiheessa ei yleensä ole saatavilla tarkkoja yksityiskohtia rakennuksista, joten mallinnuksessa voidaan hyödyntää ns. tyyppisimulointimalleja.

Tyyppisimulointimallilla tarkoitetaan simulointimallia, joka kuvaa yleispätevästi tietyn tyyppistä rakennusta ominaispiirteineen, olematta kuitenkaan sidoksissa mihinkään tiettyyn yksittäiseen kohteeseen.

3.1.2 Mallintamisen taso

Mallinnuksen tarkkuustaso suunnitellaan lähtökohtaisesti siihen, että tarkasteluja voidaan suorittaa uudisrakennusten osalta esim. kaavavaiheessa, jolloin tarkkoja ja yksityiskohtaisia tietoja rakennuksista ei ole vielä saatavilla. On kuitenkin hyvä mahdollistaa tarkkuustason skaalautuvuus siten että kun suunnitelmat tarkentuvat, voidaan rakennusten mallejakin tarvittaessa tarkentaa.

Koska simulointien fokuksena on suorittaa alueellisia tarkasteluja laajemmille rakennusmassoille ilman yksityiskohtaisia lähtötietoja, ei ole välttämätöntä mallintaa jokaista yksittäistä rakennusta erikseen, vaan niitä voidaan tarpeenmukaisesti yhdistää simuloinnin keventämiseksi. Esimerkiksi asuinkerrostalokortteli voidaan tarvittaessa kuvata yhtenä simulointiteknisenä, energiaa kuluttavana, yksikkönä. Pääasia on, että yksinkertaistukset eivät merkittävästi heikennä simuloinnin tarkkuutta koko alueellisen energijärjestelmän toiminnan ja dynamiikan näkökannalta. Käytettyjen yleistyksien aiheuttamat epävarmuustekijät tulee tunnistaa ja olennaisilta osin kuvata tulosten yhteydessä.

Rakennukset voidaan sisällyttää tarkasteluun käyttämällä rakennusten dynaamisia energiamalleja osana simuloitavaa kokonaisuutta. Tämän menetelmän haasteena saattaa olla se, että rakennusten mallit tekevät simuloinnista raskaamman kuin esim. valmiiksi määritettyjen tuntisarjojen käyttäminen. Hyvänä puolena voidaan saavuttaa korkea dynamiikan aste.

Rakennukset voidaan huomioida mallissa myös perustuen tuntipohjaisiin kulutussarjoihin [W/m^2] jotka määritetään erityyppisille rakennuksille tai tiloille. Tuntisarjat voivat perustua todelliseen kulutusdataan tai simulointeihin. On huomattava, että myös tuntisarjoja käytettäessä tulee huomioida esitetyt vaatimukset rakennusten aktiivisesta roolista energijärjestelmän osana. Tämän huomiointi vaatii tähän soveltuvan simulointitekniikan ratkaisun soveltamista.

On myös mahdollista soveltaa jotain kahden edellä mainitun mallinnustavan yhdistelmää tai muuta soveltuvaa menetelmää. Työsuunnitelmassa tulee tuoda selkeästi ilmi, millä tavalla rakennusten ja energijärjestelmän dynaaminen tarkastelu tullaan toteuttamaan.

3.1.3 Lähtöarvot

Rakennusten mallintamisen keskeiset lähtöarvot ovat rakennusten energian -ja tehontarpeisiin oleellisesti vaikuttavat tekijät, kuten:

- Rakennusten massat ja laajuustiedot
- Rakennusten käyttötarkoitukset
- Sääolosuhteet
- Sisäiset lämpökuormat
- Vaipparakenteiden eristävyys ja tiiveys
- Ikkuna-aukotus ja lasituksen ominaisuudet
- Talotekniikkajärjestelmien vaikutukset
- Tekniset asetusarvot
- Ilmamäärät
- Taloautomaatiojärjestelmän ohjaukset ja säädöt
- Muut vastaavat oleelliset tekijät

Simulointien lähtöarvot tulee aina valita parhaan saatavilla olevan tiedon mukaan. Varsinaisia suunnitteluarvoja ei välttämättä ole varhaisen vaiheen simulointihankkeissa käytettävissä, joten lähtötiedot voidaan perustaa soveltuvilta osin esim. rakentamismääräyskokoelman dokumentteihin tai muihin soveltuviin lähteisiin. Seuraavassa listassa on lueteltu joitain esimerkkidokumentteja simulointien lähtötietojen lähteiksi:

ESIMERKKEJÄ ENERGIAMALLINNUKSEN LÄHDETIEDOISTA

Suomen Rakentamismääräyskokoelma, Ympäristöministeriön julkaisut rakennusten energiatehokkuudesta ja terveellisyydestä
<https://www.ym.fi/rakentamismaaraykset>

Sisäilmaluokitus 2018, RT 07-11297
<https://www.sisailmayhdistys.fi/>

Rakennusten energialaskennan ilmastolliset testivuodet
<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/rakennusten-energiialaskennan-testivuosi>

Rakennustieto, LVI -kortisto ja muut kortistot <https://www.rakennustieto.fi/lvi>

ASHRAE Handbook: (<https://www.ashrae.org/technical-resources/ashrae-handbook/ashrae-handbook-online>)

3.1.4 Rakennukset aktiivisena osana energiajärjestelmää

Rakennukset ovat energiamallissa pääasiallinen energiankuluttaja, mutta niiden tulee voida toimia myös aktiivisena ja dynaamisena osana alueellista energiajärjestelmää.

Rakennusten aktiivinen rooli sisältää ainakin seuraavat asiat:

- Paikallinen energiantuotto ja kaksisuuntainen lämpö -ja sähkökauppa
- Lämmön ja sähkön kysyntäjousto ja huipputehojen leikkaus
- Rakennusten termisen massan ja rakennuksiin sijoitettujen energiavarastojen hyödyntäminen osana alueellista energiajärjestelmää
- Edellä mainitun tyyppisten ominaisuuksien vaatimat ohjaus -ja säätöratkaisut

3.1.5 Tulokset

Rakennusten mallinnus on tehtävä siten että tuloksena saatavat energiantarpeet voidaan erotella kulutuslajeittain, vähintään seuraavalla tarkkuustasolla:

- Tilalämmitys
- Ilmanvaihdon lämmitys
- Käyttöveden lämmitys
- Tilajäähdytys
- Ilmanvaihdon jäähdytys
- Kiinteistösähkö
- Vuokralais- / asukassähkö
- Muut merkittävät lämpö / jäähdytys / sähköenergiaa kuluttavat järjestelmät

Energiantarpeiden lisäksi tuloksissa tulee näkyä myös vastaavat huipputehontarpeet sekä eri järjestelmien mitoitustehot. Mitoitustehoilla on oleellinen vaikutus energiajärjestelmään liittyvien komponenttien mitoitukseen ja sitä kautta esim. kustannuksiin.

Energiankulutusdata tulee olla saatavilla vähintään tunnin tarkkuudella.

Mainitut energia -ja tehotiedot tulee olla helposti vietävissä taulukkomuotoisena ulos simulointiympäristöstä (esim. xlsx, csv, tms.).

3.1.6 Muuta

Tampereen kaupunki on teettänyt alkuvuodesta 2020 valmistuneen selvityksen "*Hiedanrannan dynaaminen energiamallinnus*", jonka tuloksena on saatavilla energiankulutuksen tuntisarjat ja rakennusten simulointimallit Tampereen hiedanrantaan suunnitteilla oleviin tyyppikortteleihin, jotka sisältävät mm. asuinkerrostalo -ja liiketila osuuksia. Tämän selvityksen aineisto on vapaasti hyödynnettävissä simulointiympäristön toteutuksen osana.

Tämä selvitys ja muu hyödynnettävissä oleva aineisto löytyy osoitteesta: .

3.2 Energiajärjestelmän mallintaminen

3.2.1 Yleistä

Energiajärjestelmällä tarkoitetaan tässä rakennuksia palvelevaa järjestelmää, johon sisältyy lämmön-, jäähdytyksen- ja sähköntuotanto, varastointi sekä jakelu. Rakennusten sisällä tähän kuuluu tyypillisesti lämmönjakohuoneessa sijaitsevat laitteet, mutta esimerkiksi ilmanvaihtokoneet, patteriverkosto ja muut vastaavat eivät sisälly tässä määriteltyyn energiajärjestelmään vaan ne kuuluvat rakennuksen energiantarpeen mallinnukseen, joka käsitelty luvussa **3.1**.

Energiajärjestelmän pääasiallinen tehtävä on tyydyttää rakennusten energiantarpeet. Energiajärjestelmä voi kokonaisuutena sisältää lukuisia erilaisia teknologioita, niiden yhdistelmiä, sekä hajautettua ja keskitettyä tuotantoa. **Energiajärjestelmän malli tulisi rakentaa siten, että sen osatekijät muodostavat yhtenäisen dynaamisen kokonaisuuden**, johon integroituvat mukaan myös järjestelmän piirissä olevat rakennukset. Työkalun tarkoituksena on keskittyä mallintamaan tiettyä rajattua kaupunkialuetta (esim. Tampereen Hiedanranta tai sen osa) ja sitä palvelevaa energiajärjestelmää.

Energialaskennan osalta oleellista on mallintaa alueellisen energiajärjestelmän toiminta ja dynamiikka, niin että simuloineilla voidaan tutkia erilaisten tuotanto-, varastointi-, jakelu- ja ohjausvaihtoehtojen vaikutuksia järjestelmän dynamiikkaan sekä energia -ja tehotaseisiin.

3.2.2 Mallintamisen taso

Ei ole välttämättä tarpeellista mallintaa yksityiskohtaisella tasolla yksittäisten teknologiakomponenttien sisäisiä prosesseja, vaan ne voidaan yksinkertaistaa sopivalla tavalla, mikäli komponentin vaikutukset tarkasteltavan energiajärjestelmän kokonaisdynamiikkaan sekä energia -ja tehotaseisiin saadaan esille ja voidaan perustella, että yksinkertaistukset eivät aiheuta merkittävässä määrin virhettä simuloinnin lopputulokseen. Sopivassa määrin tehtävät yksinkertaistukset voivat nopeuttaa simulointiaikaa vaikuttamatta merkittävästi lopputulokseen. Seuraavaksi kaksi esimerkkiä tämän periaatteen soveltamisesta:

Esimerkki 1. Lämpöpumpun sisäinen kylmäprosessi ja kylmäaineen käyttäytyminen vaikuttavat oleellisesti laitteen toimintaan, mutta tarkasteltavan alueellisen energiajärjestelmän näkökulmasta ei ole merkittävää perustuuko lämpöpumpun simulointimalli yksityiskohtaiseen kylmäprosessin mallintamiseen vai esim. lämpöpumpun suorituskykydatan pohjalta laadittuihin sovitteisiin.

Esimerkki 2. Alueellisen lämmönjakeluverkon toimintaan vaikuttaa verkon topologia putkihaaroineen, putkimateriaalit, dimensiot, pinnankarheus, eristyspaksuudet jne. Alueellisen energiajärjestelmän dynamiikan näkökannalta ei ole kuitenkaan

välttämätöntä rakentaa putkiverkon virtauslaskentaan perustuvaa yksityiskohtaista lämpöverkkoa kuvaavaa mallia. Verkosto voidaan huomioida yksinkertaisemmin, jos voidaan perustella, että yksinkertaistettu menetelmä ei aiheuta merkittävässä määrin laskennallista vaikutusta simuloinnin lopputulokseen, kokonaisuuden kannalta.

3.2.3 Lähtöarvot ja reunaehdot

Energiajärjestelmän keskeinen lähtöarvo on rakennusten energiantarve, joka integroituu osaksi simulointiprosessia. Tämän lisäksi on monia muita lähtöarvoja, jotka vaikuttavat komponenttien toimintaan, kuten tuotantoyksiköiden tekniset ominaisuudet. Käytettävä säädata on myös lähtöarvo, joka vaikuttaa rakennusten lämmöntarpeen lisäksi esimerkiksi aurinkopaneelien toimintaan. Koska mallintamisessa käytetään lähtökohtaisesti tunnin aikaresoluutiota (tai lyhyempää), niin lähtöarvotkin ovat tarvittavilta osin tuntitason data sarjoja.

Eri tyyppisten energiantuotantoratkaisuiden paikalliseen hyödynnettävyyteen vaikuttavat oleelliset tekijät ja reunaehdot on voitava ottaa huomioon. Tällaisia tekijöitä ovat esimerkiksi:

- Maalämpökaivojen poraamiseen vaikuttavat tekijät, kuten tonttien pinta-alat, maanalainen kaava, pohjavesialueet sekä maa- ja kallioperän ominaisuudet
- Aurinkopaneelien asennukseen käytettävissä olevat pinnat ja alueet
- Muut vastaavat oleelliset reunaehdot

3.2.4 Mallinnettavat teknologiat

Erityyppisiä energiajärjestelmään liittyviä teknologioita on hyvin paljon, niiden ominaisuudet kehittyvät jatkuvasti ja myös kokonaan uusia teknologioita voi kehittyä tulevaisuudessa lisää. Tämän takia simuloinneilla tulee voida joustavasti mallintaa erityyppisiä teknologioita siten että tarpeen mukaan rakennetaan uusia laskentakomponentteja sekä päivitetään vanhoja. Lisäksi simuloinnissa on yhä enemmän tarpeen mallintaa joustavasti hajautettuja ja keskitettyjä energiantuotantojärjestelmiä ja näiden kombinaatioita. Hajautetuilla järjestelmillä tarkoitetaan esim. yksittäistä rakennusta palvelevaa tuotantoyksikköä. Keskitetyllä järjestelmällä tarkoitetaan skaalautuvasti useamman rakennuksen joukkoa palvelevaa tuotantoyksikköä. Tuotantoyksiköiden osalta on oleellista voida tarkastella myös niiden mitoituksen vaikutusta kokonaisuuteen.

Seuraavassa listassa on lueteltu energiajärjestelmään liittyviä tyypillisiä teknologioita, joiden joukosta simuloitavat teknologiat voidaan lähtökohtaisesti valita siten, että olennaiset alueeseen liittyvät energiantuotantomahdollisuudet tulevat katetuiksi. On myös huomioitava, että jokaisen teknologian osalta tulee olla selvitettyä myös tarvittavat kustannustiedot, kuten luvussa 5 on kuvattu.

- Kaukolämpö
- Alueelliset matalalämpötilaverkostot
- Kaukojäähdytys
- Kaasulämmitys
- Perinteinen maalämpö (kaivosyvyys n. 100-300 m)
- Keskisyvät kaivot (kaivosyvyys n. 1500 - 3000 m)
- Maajäähdytys
- Ilmalauhdutteiset vedenjäähdytyskoneet
- Vesi-ilma lämpöpumput
- Jäteveden lämmöntalteenotto
- Aurinkosähkö
- Aurinkolämpö
- Sähköakut
- Lämpövarastot (lämmivesivarastot sekä esimerkiksi maaperän ja kiinteän olomuodon lämpövarastot)
- Sähköautot kuluttajina / varastoina
- Tarpeen mukaan muut teknologiat, joita kyseisessä hankkeessa halutaan tarkastella.

Näitä teknologioita kuvaavien laskentamallien keskeiset tuloksiin vaikuttavat rajoitteet (esim. lähtötietojen epätarkkuudet) ja muut merkittävät epävarmuudet tulee kuvata osana tulosten raportointia.

3.2.5 Energiavarastot

Energiavarastot ovat yksi keskeinen osa-alue, jota simuloimalla voidaan tarkastella. Energiavarastot kattavat sähkön ja lämpöenergian varastointiin liittyvät teknologiset ratkaisut. Simuloinneilla tulee voida tarkastella erilaisten energiavarastointiteknologioiden toimintaa ja käyttäytymistä alueellisen energijärjestelmän osana. Energiavarastoja tulee voida tarkastella keskitettyinä sekä hajautettuina ratkaisuin ja niiden kombinaatioina. Energiavarastoja kuvaavissa laskentakomponenteissa on voitava huomioida esim. varaston kapasiteetti, purku -ja latausnopeudet sekä muut niiden ja alueellisen energijärjestelmän toimintaan oleellisesti vaikuttavat tekijät.

3.2.6 Ohjaus ja säätö

Simuloinnilla on kyettävä mallintamaan energijärjestelmän ohjaamiseen ja säätämiseen liittyviä ratkaisuja. Ohjausratkaisut liittyvät esimerkiksi siihen missä tilanteessa hyödynnetään mitäkin tuotantoyksikköä, milloin akkua ladataan ja milloin puretaan jne.

Myös lämmön sekä sähkön kysyntäjoustop mallintaminen vaatii siihen soveltuvien ohjaus -ja säätökomponenttien rakentamisen.

Mallinnuksen on siksi sisällettävä tarvittavat säätö -ja ohjauskomponentit, joiden avulla voidaan simuloida ohjausjärjestelmää, joka määrittää kyseessä olevan

energiajärjestelmän eri komponenttien toiminnan eri tilanteissa. Myös ohjausjärjestelmän on oltava joustavasti räätälöitävissä, jotta sillä voidaan tutkia erityyppisiä ohjaus, säätö -ja ajostrategioita.

3.2.7 Tulokset

Jotta simuloinnin tulosjoukosta voidaan joustavasti poimia ja esittää eri sidosryhmille olennaista tietoa, simuloinnin tulee tallentaa simuloinnin aikana haluttuja arvoja ja antaa niistä tulosten tuntitasolla tulosten analysointia ja jatkokäsittelyä varten. Yleisesti ottaen tulosten konfigurointi tulee olla tehtävissä joustavasti niin että tapauskohtaisesti saadaan halutut suureet esille ja siirrettyä ne jälkiprosessointiin.

Energiasimuloinneista saatavia keskeisiä tuloksia ovat esimerkiksi:

- Rakennusten energiantarpeet (lämmitys, jäähdytys, sähkö)
- Energian tuotantojakauma eri tuotantoyksiköiden välillä (lämmitys, jäähdytys, sähkö)
- Energian ja polttoaineiden hankinta (esim. verkkosähkö, kaukoenergia, kaasu, biomassa jne.)
- Energian varastoinnin tehokkuus (esim. vuosihyötysuhde)
- Uusiutuvan energian osuus kokonaistuotannosta
- Kaikkien komponenttien käytönaikaiset minimi- ja enimmäistehot ja mitoitustehot
- Muut vastaavantyyppiset tulokset tarpeen mukaan

Mainitut energia -ja tehotiedot tulee olla helposti vietävissä taulukkomuotoisena ulos simulointiympäristöstä tuntikohtaisina vuoden yli (esim. xls, csv, tms.).

4. ILMASTOPÄÄSTÖJEN LASKENTA

4.1.1 Yleistä

Simulointien yksi keskeinen käyttötarkoitus on tarkasteluun sisältyvään energijärjestelmään liittyvän energiantuotannon ilmastopäästöjen arviointi. Ilmastopäästöinä tarkastellaan hiilidioksidipäästöjä.

Simuloinnin energiamallinnusosuuden tuloksena saadaan tarkasteluun sisältyvät energiamäärät energialajeittain eroteltuina, joiden pohjalta päästölaskenta voidaan suorittaa. Käytännössä CO₂ -päästö lasketaan kertomalla tuotetun energian määrä [MWh] vastaavalla energiantuotannon päästökertoimella [kg, CO₂ / MWh]. Mikäli päästökerroin on kyseiselle energiamuodolle käytettävissä tuntitasoisena, käytetään tuntikohtaisia energiamääriä ja päästökertoimia. Lisäksi tulee olennaisilta osin pyrkiä tarkastelemaan simuloitavien komponenttien valmistamisen ja rakentamisen aikaisia päästöjä.

4.1.2 Huomioitavat asiat

Energiantuotannon ominaispäästöjen odotetaan vähenevän tulevaisuudessa, johtuen esimerkiksi uusiutuvien energiamuotojen hyödyntämisestä, fossiilisten polttoaineiden korvaamisesta biopohjaisilla polttoaineilla yms. Päästökertoimet eivät siten pysy vuodesta toiseen samana, vaan niiden odotetaan pienentyvän jatkuvasti, erilaisten ennusteiden mukaisesti.

Lisäksi päästökertoimen suuruuteen vaikuttaa oleellisesti se, miten päästökerroin on määritelty. Esimerkiksi:

- Nähdäänkö biopohjaisten polttoaineiden polttaminen päästöttömänä vai päästöllisenä?
- Sisältyykö sähkön päästökertoimeen Suomen ulkopuolella tuotetun osuuden päästöt?
- Onko päästökertoimeen sisällytetty polttoaineen kuljetus, käsittely tai muut vastaavat tekijät?
- Onko kyse hiilidioksidi vai hiilidioksidiekvivalenteista päästöistä?
- Jne.

Muun muassa edellä mainittujen syitten takia päästökerrointen määrittely ei ole yksiselitteistä, minkä vuoksi simulointi tulee toteuttaa niin, että siinä voidaan joustavasti muokata ja vaihdella eri päästökertoimien arvoja ja niiden kehitystä kuvaavia arvioita. Päästökerrointen kehityksen vaikutukset elinkaaren aikana on huomioitava laskennassa. Lähtökohtaisesti päästökertoimet pohjautuvat simulointiympäristön ulkopuolisiin lähteisiin, joista hankitut tiedot luetaan laskennan lähtöarvoiksi.

Päästökerrointen määrittämisessä suositellaan, että pyritään käyttämään mahdollisimman yksilöityjä kertoimia, laajojen keskiarvoaineistojen sijaan. Tämä

mahdollistaa tarkemman lopputuloksen simulointien päästövaikutusten arvioinnin osalta.

Kaukolämmön ja kaukokylmän osalta päästökerrointen määrittelyssä on hyvä suosia paikallisten energiantuottajien yksilöllisiä päästökertoimia. Nämä ovat usein saatavilla energiayhtiöiden kotisivuilta tai kysymällä energiayhtiön edustajalta. Sähkön päästökertoimet voidaan perustaa valtakunnallisiin keskiarvoihin.

ESIMERKKEJÄ PÄÄSTÖKERTOIMIEN MÄÄRITYKSEEN

Tampereen sähkölaitos julkaisee kaukolämmön tuotannon päästökerrointietoja <https://www.sahkolaitos.fi/>

Fingrid julkaisee 3 minuutin tarkkuudella arviot Suomen sähköntuotannon päästökertoimista <https://www.fingrid.fi/>

Energiateollisuus julkaisee Suomen sähköntuotannon kuukausitason päästötietoja <https://energia.fi/>

Eri polttoaineiden yksilölliset päästökertoimet ovat saatavilla tilastokeskuksen julkaisemasta Polttoaineluokituksesta <https://www.stat.fi/>

Ympäristöministeriö kehittää rakennusten vähähiilisuuden arviointimenetelmää, jonka ohjeistuksen yhteydessä tullaan julkaisemaan energiantuotannon hiilidioksidipäästökertoimet.

Päästölaskennassa tulee voida huomioida tilanteet, joissa hankitaan päästösertifioitua energiaa, kuten vihreää kaukolämpöä tai vihreää sähköä.

Päästölaskennassa tulee voida huomioida päästökompensointi, jossa tietty osa syntyneistä päästöistä hyvitetään ostamalla päästökompensaatiotuotteita.

Energiantuotannon päästökertoimet saattavat vaihdella riippuen vuodenajasta, kuukaudesta tai jopa tuntitasolla. Päästökertoimiin liittyvä laskenta on siksi rakennettava niin että tällainen päästökertoimien vaihtelu voidaan huomioida (tarvittaessa tunnin tarkkuudella).

Lisäksi edellä mainittujen päästöihin vaikuttavien tekijöiden osalta tulee voida suorittaa skenaariotarkasteluja, joilla haarukoidaan päästökertoimien, päästöennusteiden ja muiden tekijöiden vaikutuksia alueen elinkaaren aikaisiin päästöihin.

4.1.3 Tulokset

Päästölaskennan tuloksena on mallinnukseen sisältyvän alueellisen energijärjestelmän toimintaan liittyvät energiantuotannon CO₂-päästöt tarkasteltavan elinkaaren ajalta. Päästöt on oltava eroteltuna energialajeittain, kuten:

- kaukolämmön päästöt
- kaukojäähdytyksen päästöt
- sähkön tuotannon päästöt
- muut polttoaineet
- muut vastaavat oleelliset tekijät

Lisäksi on oltava eroteltavissa päästöjen jakautuminen alueen rakennusten tai korttelien osalta, sekä rakennustyypeittäin, sen tarkkuustason puitteissa, jolla nämä ovat mallinnettuna.

Sen lisäksi että tuloksena saadaan koko elinkaaren kumuloituvat päästöt, on saatava näkyville myös päästöjen vuosittainen jakautuminen elinkaaren ajalta.

4.1.4 Muuta

Vaikka päästölaskennan ohjeistus on tässä kirjoitettu vahvasti energiantuotannon päästöihin keskittyen, on simulointi toteutettava niin että tarkasteluun voidaan liittää mukaan myös muun tyyppisiä merkittäviä päästötekijöitä, jotka liittyvät alueen energijärjestelmään. Tällainen päästötekijä voisi olla esimerkiksi suuren kokoluokan sähköakun valmistamisesta syntyneet päästöt tai muut energiantuotantoyksiköiden rakentamisen päästöt. Myös olemassa olevan rakennuskannan energiantuotannon päästöt tulisi olla luettavissa mukaan tarkasteluun vertailua varten. Näitä ei kuitenkaan tarvitse lähtökohtaisesti mallintaa, vaan ne voidaan lukea sisään tarkasteluun esimerkiksi valmiiksi muussa yhteydessä laskettuina tai mitattuina tuntitason datasarjoina.

5. ELINKAARIKUSTANNUSLASKENTA

5.1.1 Taustaa

Ratkaisujen teknisen toiminnan, energiavaikutusten ja ilmastovaikutusten lisäksi mallinnuksella halutaan tarkastella taloudellista näkökulmaa. Tarkastelussa on keskeistä pystyä etsimään esimerkiksi ratkaisuja, joilla voidaan saavuttaa pienimmällä mahdollisella elinkaarikustannuksella pienimmät mahdolliset CO₂-päästöt. Elinkaarikustannuslaskenta (LCC) on siten mallinnuksen keskeinen ominaisuus. Kaikkien tarkasteltavissa olevien teknisten ratkaisujen osalta tulee laskea myös niihin liittyvät elinkaarikustannukset. Elinkaarikustannuksiin sisältyy kaikki merkittävät tarkasteltaviin ratkaisuihin sidoksissa olevat kustannustekijät, jotka realisoituvat elinkaaren aikana.

5.1.2 Kustannus- ja tuottotekijät

Elinkaaren aikaiset kustannustekijät voidaan karkeasti jaotella kolmeen kategoriaan:

- Investoinnit
- Toistuvat kustannukset
- PTS kustannukset (pitkän tähtäimen suunnitelma)
- Tuottotekijät

Investointikustannukset sisältävät esimerkiksi kaikki hankintoihin liittyvät alkuinvestoinnit.

Toistuviin kustannuksiin sisältyy kaikki oleelliset luonteeltaan jatkuvasti säännöllisin väliajoin toistuvat kustannukset. Tällaisia ovat esim.

- Energianhankintaan liittyvät kustannukset ja maksut
- Järjestelmien huolto ja ylläpitokustannukset
- Erilaiset sopimusmaksut, perusmaksut yms.

PTS kustannuksiin sisältyy tarkasteltavan elinkaaren aikana vaadittavat kertaluontoiset kustannukset, kuten laitteiden ja järjestelmien uusimiskustannukset.

Tuottotekijät kuvaavat positiivisia kassavirtoja. Vaikka tarkastelu painottuu elinkaaren aikaisiin kustannuksiin, on hyvä, että mahdollistetaan tuottotekijöiden huomiointi laskennassa, mikäli sellaisia jossain skenaarioissa tarvitaan.

5.1.3 Eriaikaisten meno- ja tuloerien diskonttaus

LCC laskennassa eri ajankohtina realisoituvat meno- ja tuloerät tulee diskontata nykyarvomenetelmän mukaisesti. Diskonttauksessa huomioidaan oleellisten korkotekijöiden vaikutukset. Oleellisia korkotekijöitä ovat esimerkiksi:

- Yleinen inflaatio
- Laskentakorko
- Eskalaatiot

Eskalaatio kuvaa sellaisten kustannustekijöiden hinnan kehitystä, jotka ovat kustannuslajista riippuvia, eivätkä suoraan noudata yleistä inflaatiota. Eskalaatiotekijöihin sisältyy esim. energiakustannuksiin vaikuttavien hintatekijöiden kehitys elinkaaren aikana. Korkotekijät tulee voida syöttää tarkastelun lähtötietona.

Koska hintojen kehityksen ennustaminen on vaikeaa, on suositeltavaa suorittaa herkkyystarkasteluja erilaisilla hintakehityksen skenaarioilla. Herkkyystarkasteluilla voidaan haarukoida erilaisia hintakehityksen arvioita, ja tuoda esiin niiden vaikutukset lopputulokseen ja investointien kannattavuuden herkkyyteen eri hintatekijöiden muutoksille.

5.1.4 Laskennan tulokset

LCC laskentaan tulee sisällyttää ainakin seuraavat asiat (tapauksesta riippuen, näitä kaikkia ei aina pysty laskemaan).

- Kumuloituvat elinkaarikustannukset nykyarvomenetelmällä
- Investoinnin takaisinmaksuaika
- Tuotetun energian hinta [€/MWh]
- Tuotetun hiilidioksidin hinta [€/kg CO₂]

Tuloksissa tulee esittää kustannusten erittely, jossa näkyy järkevällä tasolla eriteltynä kaikki laskentaan sisältyvät investoinnit, toistuvat kustannukset, PTS-kustannukset ja tuottotekijät.

5.1.5 Kustannustietojen läpinäkyvyys

Kaikille simulointiin sisällytettävälle teknisille ratkaisuille tulee määrittää niihin sidoksissa olevat edellä listatut kustannustekijät. Keskeiset kustannuksiin liittyvät lähtötiedot on esitettävä hankkeen tulosten yhteydessä tai liitteenä, siltä osin kuin tiedot eivät ole salassa pidettäviä. Kustannustietojen tulee sisältää myös energiayhtiöiden hinnastoihin pohjautuvat energianhankinnan hintatekijät. **Esitettävien kustannustietojen osalta tulisi kirjata lähteet, jotta voidaan tarvittaessa osoittaa mihin käytetyt kustannustiedot pohjautuvat.** Kustannustietojen julkaiseminen varmistaa analyysin toistettavuuden ja mahdollistaa tulosten kriittisen arvioinnin.

5.1.6 Muut ominaisuudet

Simulointi on tarkoitettu alueelliseen tarkasteluun ja sen skaalautuvuus ja vertailtavuus eri alueille tehtävien simulointien tulosten välillä on tärkeää. Tämän takia kustannukset voidaan monelta osin perustaa tyyppiarvoihin, jota kautta saavutetaan hyvä skaalautuvuus sopivalla tarkkuustasolla. Tyyppiarvot voivat olla esim. neliöpohjaisia [€/m²] tai tehopohjaisia [€/kW] ominaiskustannuksia. Usein energijärjestelmän ominaiskustannus (esim. €/kW) on voimakkaasti riippuvainen järjestelmän tehokapasiteetista. Tämän tyyppiset lopputulokseen merkittävästi vaikuttavat

epälineaarisesti käyttäytyvät ominaiskustannukset on pyrittävä huomioimaan kustannustietokannassa ja mahdollisuuksien mukaan olennaisilta osin esitettävä tuloksiin vaikuttavana tekijänä.

Energiakustannusten osalta (esim. sähkö ja kaukolämpö) laskennan tulee kyetä huomioimaan erityyppiset tariffit, kuten kuukausi ja tuntiperusteinen energian hinnoittelu tai tehoon perustuva hinnoittelu.

Energian hankinta voi pohjautua moniin erilaisiin hinnoittelumalleihin ja näitä malleja voi tulla myös uudentyyppisiä tulevaisuudessa. Tämän vuoksi kustannuslaskenta on rakennettava joustavaksi niin että eri tyyppiset muutokset esimerkiksi energian hinnoitteluperiaatteissa voidaan helposti ottaa huomioon laskennassa. Esim. kaukolämmön hinnoittelu on tällä hetkellä pitkälti kuukausipohjaista, mutta tulevaisuudessa se voi muuttua tuntipohjaiseksi. Samoin aurinkoenergiajärjestelmä voidaan hankkia joko perustuen perinteiseen investointiin tai PPA -tyyppiseen sopimukseen.

Elinkaarikustannuslaskennan hyviä yleisperiaatteita on käsitelty mm. standardissa **ISO 15686-5**.

6. TULOSTEN RAPORTOINTI JA VISUALISOINTI

Mallinnukset ja laskelmat tuottavat tuloksena energiaan, kustannuksiin ja päästöihin liittyvää dataa. Simuloinnin osana tulee toteuttaa tulosten raportointiin ja analysointiin tarkoitettu visuaalinen ympäristö. Raportointiympäristön funktiona on lukea sisään kaikki olennainen tulosdata, ja esittää se loppukäyttäjälle helposti ymmärrettävässä muodossa, jonka pohjalta voidaan suorittaa tarvittava analyysi ja johtopäätökset.

Raportointiympäristöä suunniteltaessa tulee huomioida kohderyhmä, jolle sen käyttö on tarkoitettu. Pääasiallisena kohderyhmänä on henkilö, jolla on teknistä ymmärrystä rakennusten energiasuunnittelusta, energiajärjestelmistä ja ilmastopäästöjen muodostumisesta. Tyypillinen käyttäjä voi siten olla esimerkiksi kaupungin energia-asiantuntija, rakennusyhtiön edustaja tai energia-alan konsultti. Muita keskeisiä kohderyhmiä ovat energia- sekä rakennusalan investoija sekä alueen asukkaat, mutta erityisesti asukkaalle tuotettavan datan muotoilu on oma erillistä asiantuntemusta vaativa osa-alueensa ja on rajattu tämän määrittelyn ulkopuolelle.

Keskeisiä tuloksia, joita raportointiympäristössä on tarkoitus esittää, on käsitelty energian, kustannusten -ja päästöjen osalta tarkemmin niitä käsittelevissä luvuissa (luvut 3 – 5).

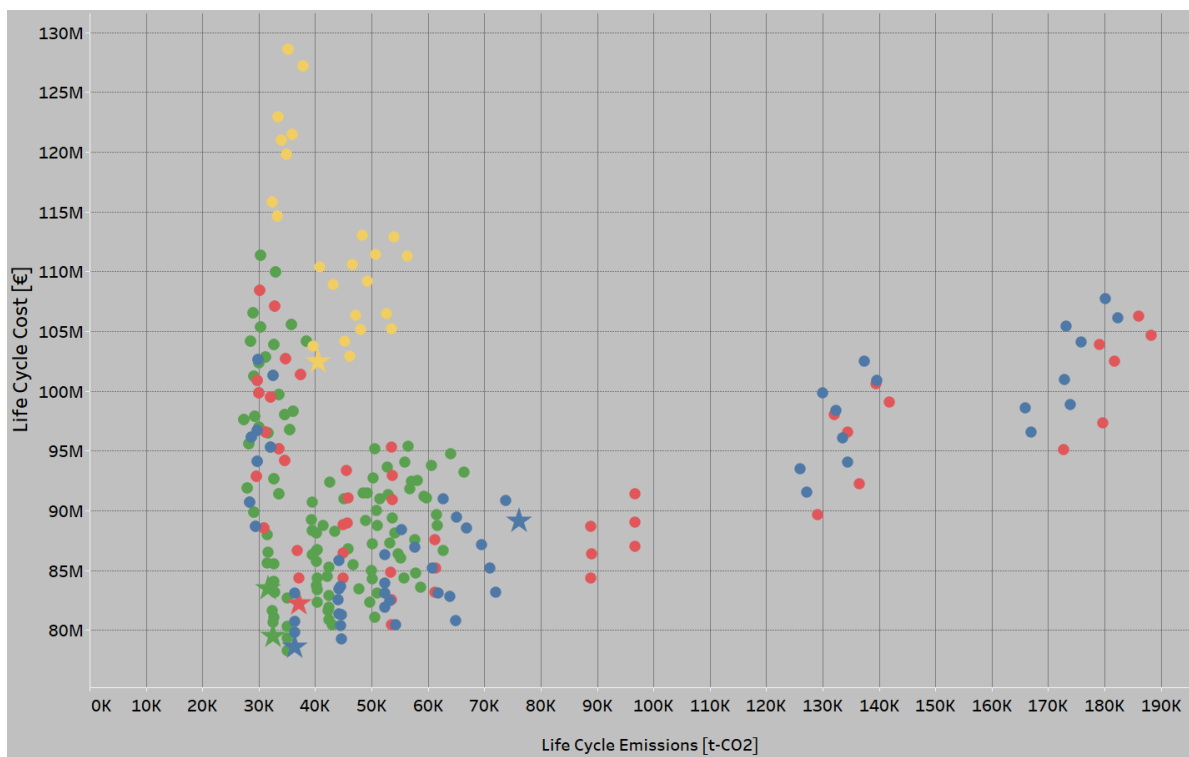
Sen lisäksi että laskennan keskeisimmät tulokset ovat helposti nähtävillä, on raportointiympäristöä tarkoitus käyttää myös tulosten analysointiin ja tarkempaan tutkimiseen. Tämän vuoksi koko alueen tuloksia kuvaavien arvojen lisäksi on oltava saatavilla tarkemmat erittelyt. Esimerkiksi yksi keskeinen tulos voi olla koko alueen rakennusten lämmitysenergiantarve, mutta sen lisäksi on päästävä myös tutkimaan, miten se jakautuu alueen eri rakennusten tai korttelien välillä (lähtötietojen tarkkuustaso huomioiden), sekä kuinka suuri osa siitä on tilalämmitystä, ilmanvaihtolämmitystä ja käyttöveden lämmitystä. Sama erittelyyn liittyvä periaate pätee myös kustannusten ja päästöjen tuloksiin. Lisäksi laskennan ja simulointien keskeiset lähtöarvot tulee esittää raportointiympäristössä.

Koska skenaariotarkastelut (vaihtoehtotarkastelut) ovat olennainen osa simulointiympäristöllä suoritettavia laskelmia, on raportointiympäristö rakennettava siten, että sen avulla voidaan helposti vertailla keskenään tarkasteltuja skenaarioita ja tuoda esiin niiden väliset keskeiset erot sekä auttaa ymmärtämään syyt, joista erot johtuvat.

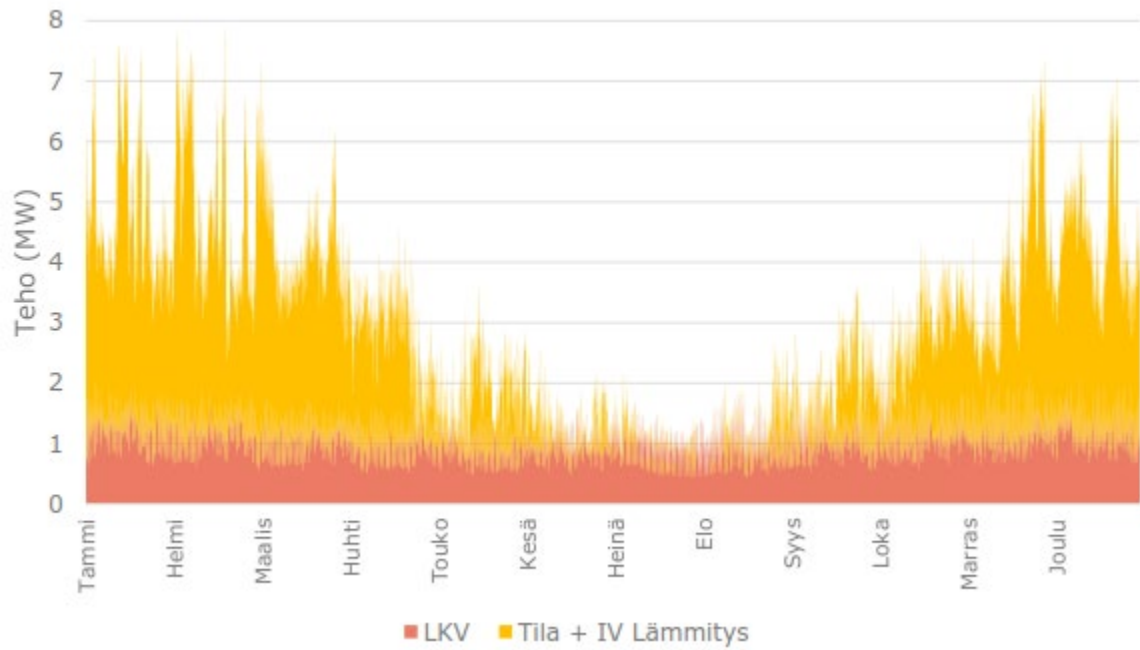
Raportointiympäristöstä tulee voida ladata taulukkomuotoisesti tulosdataa, esim. xlsx tai csv -tiedostomuodossa.

Raportointiympäristön on oltava visuaalinen, mikä tarkoittaa, että lukuarvojen ja taulukoiden lisäksi on hyödynnettävä erilaisia kuvaajia, graafeja ja mahdollisesti karttanäkymiä yms. Tulokset ovat suositeltavaa esittää ns. tulostauluilla (dashboard) joihin on kerätty laskennan tuloksista keskeisiä lukuarvoja ja kuvaajia. Raportointiympäristön rakenne, toiminnot ja visuaalinen ilme tulee suunnitella tarkemmin yhdessä tilaajan kanssa halutun lopputuloksen varmistamiseksi.

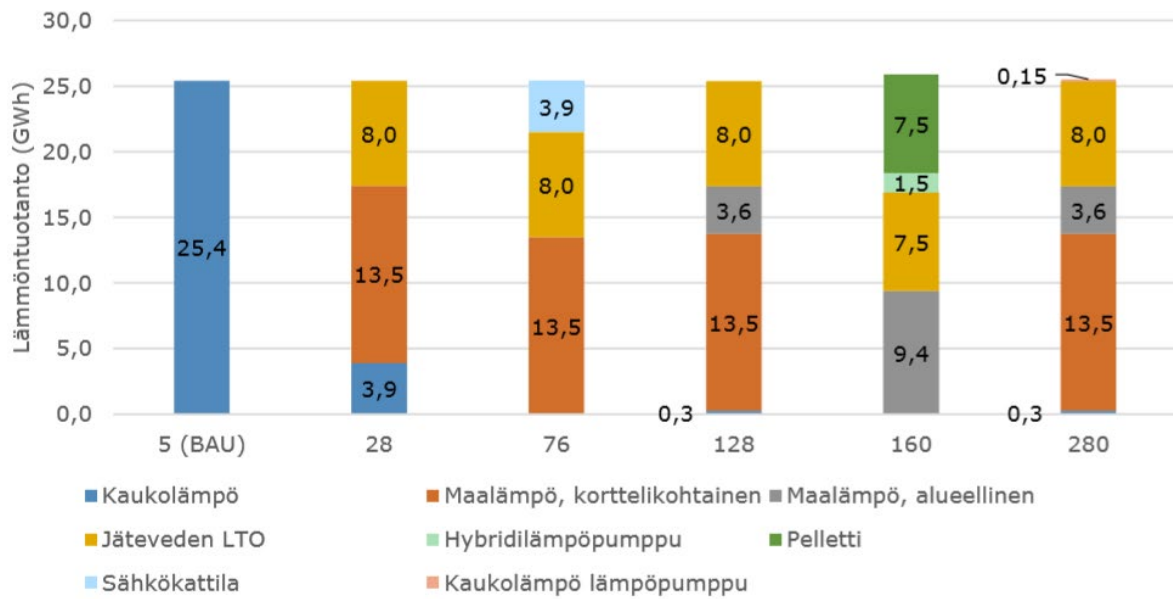
6.1 Esimerkkejä alueellisen energiamallinnuksen tulosten esittämisestä



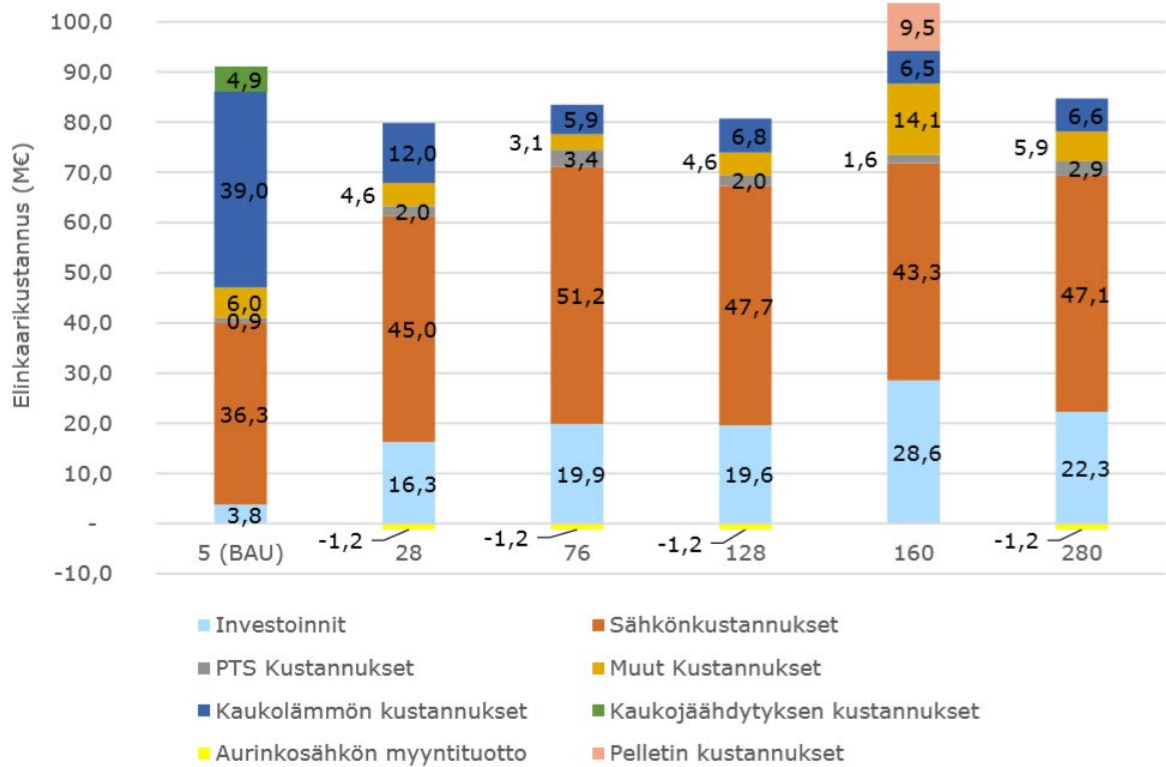
Kuva 2. Alueellisten energia, kustannus -ja päästösimulointien tulokset esitettynä elinkaarikustannus vs. elinkaari päästöt -koordinaatistossa. Kuvassa yhteensä 284 vaihtoehdoista skenaariota.



Kuva 3. Kaupunkialueen rakennusten lämmitysenergiantarve tuntitasolla



Kuva 4. Kuuden vaihtoehdoisen simulointiskenaarion tulokset alueellisen lämmöntuotannon energiantuotantomuotojen jakauman osalta.



Kuva 5. Kuuden vaihtoehdoisen simulointiskenaarion tulokset energijärjestelmän elinkaarikustannusten yleisjakauman osalta

7. MUUTA

7.1 Skenaariotarkastelut

Simuloinnilla tulee voida tutkia erilaisia vaihtoehtoja ja vertailla niitä keskenään. On tärkeää, että simulointi toteutetaan niin että useiden rinnakkaisten skenaarioiden huomiointi onnistuu kohtuullisella työmäärällä. Tämä vaatii vaihtoehtotarkastelulta tietyn asteista automatisointia. Skenaariotarkasteluihin sisältyvät vaihtoehdot voivat liittyä esim. seuraaviin tekijöihin:

- Alueen energiantuotantoratkaisut
- Rakennusten laajuudet ja rakennustyytit
- Energian hintakehitys elinkaaren aikana
- Erityyppiset päästökertoimet ja päästöennusteet sekä päästöjen hinnan muutos
- Energian varastoinnin ja muiden ratkaisujen hinnan kehittyminen
- Jne.

Raportointiympäristössä skenaariotarkastelujen tulokset tulee voida esittää siten, että eri vaihtoehtoja voidaan helposti vertailla keskenään ja pureutua niiden välisiin eroihin ja erojen syihin.

7.2 Vaiheittainen rakentuminen

Uudet kaupunkialueet rakentuvat tyypillisesti pitkän aikajänteen kuluessa, jolloin rakennukset ja myös aluetta palveleva energiajärjestelmä voivat rakentua jaksottaisesti. Tämän vuoksi alueen energiankäytön dynamiikka saattaa vaihdella hyvinkin paljon riippuen aluerakentamisen vaiheesta. Tavoitteena on, että simulointiympäristöllä on mahdollista arvioida vaiheittaisen rakentamisen vaikutuksia tuloksiin.

Vaiheittaisen rakentumisen huomiointi voidaan simulointiteknisesti toteuttaa esimerkiksi siten, että tunnistetaan rakennusten ja energiajärjestelmän näkökannalta keskeiset aikajaksot ja järjestelmän tila jokaisen tällaisen jakson aikana. Tämän pohjalta muodostetaan jokaista jaksoa kuvaava erillinen simulointiskenaario, jonka tulokset kuvaavat tilannetta kyseisen jakson osalta. Tulokset pitää lopuksi yhdistää niin, että lopputuloksena saadaan ymmärrettävässä muodossa kokonaiskuva tarkasteltavan elinkaaren osalta.

7.3 Olemassa oleva rakennuskanta

Hankkeissa, joissa tarkastellaan vanhempien ikäluokkien rakennuksia (olemassa oleva rakennuskanta) voidaan soveltaa hyvin pitkälle tässä dokumentissa kuvattuja peruseriaatteita simulointihankkeen rakennetta. Olemassa olevien rakennusalueiden osalta on oleellista, että voidaan mallintaa erityyppisten saneeraus - ja

korjausrakentamistoimenpiteiden vaikutuksia rakennusten energiantarpeisiin ja ostoenergian määriin. Tämän tyyppisiä simuloitteja voidaan hyödyntää esim., kun suunnitellaan vanhempien kaupunkialueiden osalta korjausrakentamisen strategiaa ja toimenpiteitä. Saneeraustoimenpiteille tulee määrittää myös niihin liittyvät kustannukset, jotta voidaan suorittaa tarvittavat elinkaarikustannuslaskelmat niiden osalta. Tarkasteltavia saneeraustoimenpiteitä voivat olla esim.

- Ikkunoiden uusinta
- Vaipan eristävyuden parantaminen (esim. julkisivuremontin yhteydessä)
- Poistoilmalämpöpumpun asentaminen (jos rakennuksessa vain koneellinen poisto)
- Energiamuodon vaihtaminen (esim. maalämpöön)
- Vanhojen ilmanvaihtokoneiden uusiminen
- Aurinkoenergiajärjestelmän hankinta
- yms.

Olemassa olevan rakennuskannan osalta haasteeksi voi osoittautua tarkasteltavien rakennusten nykytilaa kuvaavien teknisten ratkaisuiden ja lähtötietojen hankinta luotettavalla tasolla. Lähtötietojen hankinnassa voidaan hyödyntää esim. kaupunkien hallinnoimia rakennusrekisteritietoja, mutta niiden ajantasaisuuden kanssa on oltava tarkkana.

Olemassa olevan rakennuskannan osalta on erityisen suositeltavaa pyrkiä hyödyntämään todellista kulutusdataa, siinä määrin kuin sellaista on saatavilla, koska näin voi olla mahdollista saavuttaa realistisempi arvio energiantarpeiden osalta. Erityisesti mikäli lähtötietojen hankkiminen rakennusten simulointimalleja varten osoittautuu ongelmalliseksi.

Tampereen kaupunki teettää vuoden 2020 aikana Tammelan kaupunginosaan liittyvän selvitystyön, jonka tuloksena on tarkoitus tuottaa eri ikäluokkien asuinkerrostalorakennusten energiankulutustietoa tuntitasolla, sekä erilaisten saneeraustoimenpiteiden vaikutukset niiden energiankäyttöön ja kustannuksiin. Tämän hankkeen tuloksia voidaan mahdollisesti hyödyntää olemassa olevan rakennuskannan tarkasteluun liittyvissä hankkeissa. Tähän liittyvät materiaalit julkaistaan osoitteessa <http://energiaviisaat.fi/>.

