



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

JUSSI HEIKKINEN
PAIKALLISTEN ENERGIARESURSSIEN OPTIMOINTI AVOIMELLA
DER-CAM-OHJELMISTOLLA

Kandidaatintyö

Tarkastaja: Professori Sami Repo
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
2. helmikuuta 2018

TIIVISTELMÄ

JUSSI HEIKKINEN: Paikallisten energiaresurssien optimointi avoimella DER-CAM-ohjelmistolla
Tampereen teknillinen yliopisto
Kandidaatintyö, 26 sivua, 11 liitesivua
Huhtikuu 2018
Sähkötekniikan kandidaatintutkinto-ohjelma
Pääaine: Sähkövoimatekniikka
Tarkastaja: professori Sami Repo

Avainsanat: DER-CAM, hajautettu energiantuotanto, mikroverkot

Tässä kandidaatintyössä käsitellään DER-CAM-ohjelmistoa ja ohjelmiston avulla suoritettua esimerkkitarkastelua.

Työssä esitellään DER-CAM-ohjelmisto sekä sen mahdollisia käyttökohteita. Ohjelmistoa käsitellään sen tarvitsemien alkutietojen, asetusten sekä sen laskemien tuloksien osalta. Työssä on myös esitetty käyttöliittymäkuvia ohjelmistosta, jotta työ havainnollistaisi ohjelmiston käyttämistä myös käytännön tasolla.

Esimerkkitarkastelun ympäristön esittelyn lisäksi sille suoritettujen optimointilaskelman tulokset esitellään kahdesta eri näkökulmasta: taloudellisesti painotettuna sekä ekologisesti painotettuna. Näitä tuloksia vertaillaan sekä keskenään että alkuperäiseen esimerkkitilanteeseen. Tulosten perusteella pohditaan laskennan onnistumista ja esitellään myös mahdollisia ongelmakohtia laskennassa.

ALKUSANAT

Tämä kandidaatintyö on tehty Tampereen teknillisen yliopiston Sähköenergiatekniikan laboratoriolle.

Kiitän kandidaatintyöni ohjaajaa ja tarkastajaa professori Sami Repoa arvokkaasta palautteesta ja neuvoista työn tekemisessä. Kiitän myös kandidaatintyöni opponentteja Aleksi Tyniä ja Ville Uusitaloa työn kirjoittamisen aikana saamastani palautteesta ja huomioista.

Tampereella, 30.4.2018

Jussi Heikkinen

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
2.	HAJAUTETTU ENERGIAN TUOTANTO JA DER-CAM-OHJELMISTO	3
2.1	Hajautettu energiantuotanto ja mikroverkot	3
2.2	DER-CAM-ohjelmisto	4
3.	OHJELMISTON KÄYTTÄMINEN JA TOIMINNOT	5
3.1	Ohjelmistolle annettavat alkutiedot	6
3.1.1	Säätiedot	7
3.1.2	Kuormitustiedot	9
3.1.3	Hintatiedot ja teknologiset rajoitteet	9
3.2	Ohjelmiston asetukset	10
3.3	Ohjelmiston laskemat tulokset	11
4.	ESIMERKKITARKASTELUN KOHDE	13
4.1	Laskennan alustava suoritus	14
5.	ESIMERKKITARKASTELUN TULOKSET	15
5.1	Taloudellinen painotus	15
5.2	Ekologinen painotus	19
6.	YHTEENVETO	24
	LÄHTEET	26

LIITE A: ESIMERKKITARKASTELUSSA KÄYTETYT PARAMETRIT JA ASETUKSET

KUVALUETTELO

Kuva 1.	<i>DER-CAM-ohjelmiston käyttöliittymän pääikkuna. (Kuvakaappaus)</i>	<i>6</i>
Kuva 2.	<i>DER-CAM-ohjelmiston käyttöliittymän projektinäkömä. (Kuvakaappaus).....</i>	<i>7</i>
Kuva 3.	<i>DER-CAM-ohjelmiston käyttöliittymän Site weather data -välilehti. (Kuvakaappaus).....</i>	<i>8</i>
Kuva 4.	<i>DER-CAM-ohjelmiston käyttöliittymän Load data -välilehti. (Kuvakaappaus).....</i>	<i>9</i>
Kuva 5.	<i>DER-CAM-ohjelmiston käyttöliittymän Utility-välilehti. (Kuvakaappaus).....</i>	<i>10</i>
Kuva 6.	<i>DER-CAM-ohjelmiston käyttöliittymän Global settings -välilehti. (Kuvakaappaus).....</i>	<i>11</i>
Kuva 7.	<i>DER-CAM-ohjelmiston käyttöliittymän Results-näkymä. (Kuvakaappaus).....</i>	<i>12</i>
Kuva 8.	<i>Investointikustannukset taloudellisen painotuksen tapauksessa.</i>	<i>16</i>
Kuva 9.	<i>Järjestelmän investointi- sekä ylläpitokustannukset taloudellisen painotuksen tapauksessa.</i>	<i>16</i>
Kuva 10.	<i>Vuosittain ostettu sähköenergia sekä hajautetulla tuotannolla tuotettu energia taloudellisella painotuksella.</i>	<i>17</i>
Kuva 11.	<i>Toukokuun aikana tuotettu ja kulutettu sähköenergia taloudellisen painotuksen tapauksessa.</i>	<i>18</i>
Kuva 12.	<i>Joulukuun aikana tuotettu ja kulutettu sähköenergia taloudellisen painotuksen tapauksessa.</i>	<i>18</i>
Kuva 13.	<i>Investointikustannukset ekologisen painotuksen tapauksessa.....</i>	<i>20</i>
Kuva 14.	<i>Järjestelmän investointi- sekä ylläpitokustannukset ekologisen painotuksen tapauksessa.</i>	<i>20</i>
Kuva 15.	<i>Vuosittain ostettu sähköenergia sekä hajautetulla tuotannolla tuotettu energia ekologisella painotuksella.....</i>	<i>21</i>
Kuva 16.	<i>Toukokuun aikana tuotettu ja kulutettu sähköenergia ekologisen painotuksen tapauksessa.</i>	<i>22</i>
Kuva 17.	<i>Joulukuun aikana tuotettu ja kulutettu sähköenergia ekologisen painotuksen tapauksessa.</i>	<i>22</i>

TAULUKKOLUETTELO

<i>Taulukko 1. Laskennan alustavan suorituksen tulokset.</i>	<i>14</i>
<i>Taulukko 2. Esimerkkitarkastelun tulokset taloudellisella painotuksella.</i>	<i>15</i>
<i>Taulukko 3. Esimerkkitarkastelun tulokset ekologisella painotuksella.</i>	<i>19</i>

LYHENTEET JA MERKINNÄT

DER-CAM	<i>Distributed Energy Resources - Customer Adaptation Model</i> , hajautetun energiantuotannon resurssien optimointiin tarkoitettu ohjelmisto
kg	kilogramma
kW	kilowatti
kWh	kilowattitunti
m ²	neliömetri
MILP	<i>Mixed Integer Linear Programming</i> , lineaarinen sekalukuooptimointi
PG&E	<i>Pacific Gas and Electric</i> , Kalifornian alueella toimiva kaasun- ja sähkönjakeluyritys
PV	<i>Photovoltaics</i> , aurinkopaneeleilla tuotettu sähköenergia
t	tonni
TTY	Tampereen teknillinen yliopisto
W	watti
\$	Yhdysvaltain dollari

1. JOHDANTO

Energiantuotanto on perinteisesti perustunut suuriin voimalaitoksiin, joista energiaa siirretään pitkiä matkoja kulutuspiisteisiin. 2000-luvun aikana perinteisen energiantuotannon rinnalle on kuitenkin tullut muitakin vaihtoehtoja, jotka perustuvat energian tuottamiseen hajautetusti kulutuspiisteiden lähellä. Hajautetussa energiantuotannossa hyödynnetään yleisesti fossiilisten polttoaineiden sijasta uusiutuvia energianlähteitä, kuten aurinkoenergiaa, tuulivoimaa tai biokaasua. Ilmastonmuutoksen rajoittaminen ja ympäristötietoisuuden lisääntyminen on lisännyt hajautetun energiantuotannon hyödyntämistä, koska etenkin kasvihuonekaasujen tuotanto on uusiutuvilla energianlähteillä valtavasti vähäisempää kuin fossiilisten polttoaineiden tapauksessa. [1] Hajautettu energiantuotanto ei myöskään rajoitu vain teollisuusyrityksiin ja muihin suuriin kuluttajiin, vaan myös kotitaloudet voivat hyödyntää esimerkiksi omakotitalon katolle asennettuja aurinkopaneeleita.

Sopivien ratkaisujen ja investointien valitseminen energiaratkaisujen optimoimiseksi voi kuitenkin olla hankalaa. Huomioitavia seikkoja on monia: esimerkiksi sääolosuhteet, kulutuksen vaihtelu, erilaisten polttoaineiden hinnat, hiilidioksidiverot ja laitteistojen ylläpitokustannukset vaikuttavat optimaalisen ratkaisun valintaan. Parhaan mahdollisen ratkaisun valitseminen edellyttää laajoja laskelmia, joissa huomioidaan kaikki haluttuun lopputulokseen vaikuttavat tekijät. Tällaisen laskelman laatiminen voi olla varsin monimutkaista, mutta tilanteen helpottamiseksi on kehitetty erilaisia laskentatyökaluja.

DER-CAM (*Distributed Energy Resources - Customer Adaptation Model*) on päätöksentekotyökalu, jonka tarkoituksena on optimoida paikallisia energiaresursseja siten, että käyttäjä löytää parhaan mahdollisen ratkaisun haluamallaan kriteereillä. Yleensä tavoitteena on kustannusten minimoiminen, mutta DER-CAM mahdollistaa myös muita päämääriä, kuten hiilidioksidipäästöjen minimoinnin tai yhdistelmän kahdesta edellä mainitusta. Tämän työn tavoitteena on esitellä DER-CAM-ohjelmistoa ja sen toimintoja sekä hyödyntää ohjelmistoa esimerkkitarkastelussa, jossa tilannetta tarkastellaan sekä taloudellisesta että ekologisesta näkökulmasta. Työssä selvitetään myös hieman tarkemmin hajautetun energiantuotannon ja mikroverkkojen käsitteitä.

Toisessa luvussa tarkastellaan DER-CAM-ohjelmistoa ja sen erilaisia käyttökohteita ja -tilanteita. Kolmannessa luvussa keskitytään ohjelmiston toimintoihin sekä tarkastellaan sen tarvitsemia alkutietoja, asetuksia sekä ohjelmiston tapaan antaa laskennan tulokset. Ohjelmiston monipuolisuuden takia aivan kaikkiin ominaisuuksiin ja parametreihin ei perehdytä, vaan tarkastelu rajoitetaan tärkeimpiin asioihin. Neljännessä ja viidennessä luvussa keskitytään DER-CAM:n avulla suoritettavaan esimerkkitarkasteluun esittelemällä

tutkimustilanne ja ohjelmiston laskemat ratkaisut. Kuudennessa luvussa esitetään yhteenveto työn tärkeimmistä havainnoista ja johtopäätöksistä.

2. HAJAUTETTU ENERGiantuotanto JA DER-CAM-OHJELMISTO

DER-CAM -ohjelmisto on päätöksentekotyökalu, jonka avulla on mahdollista optimoida jonkin kohteen energiankulutusta ja -tuotantoa, kun tiedossa on ohjelman suorittamiseksi tarvittavat alkutiedot. Ohjelmistoa voidaan soveltaa monenlaisiin ympäristöihin. Yleensä tarkastelun kohteena on yksittäinen rakennus tai mikroverkko. [2]

2.1 Hajautettu energiantuotanto ja mikroverkot

Hajautetulla energiantuotannolla tarkoitetaan paikallisesti harjoitettua energiantuotantoa lähellä kulutuspisteitä uusiutuvia energiamuotoja käyttäen. Tällaisia energiamuotoja ovat esimerkiksi tuulivoima, aurinkosähkö, biokaasu sekä polttokennot. Hajautettu energiantuotanto on tullut varteenotettavaksi vaihtoehdoksi perinteisen energiantuotannon rinnalle lähinnä ilmastonmuutoksen ehkäisemiseen ja energiantuotannon hyötysuhteen parantamiseen liittyvien tekijöiden takia. [1]

Etenkin ilmaston lämpenemistä aiheuttavia kasvihuonekaasuja, kuten hiilidioksidia, syntyy hajautetussa energiantuotannossa äärimmäisen vähän verrattuna fossiilisten polttoainneiden hyödyntämiseen. Hajautettu tuotanto myös mahdollistaa helpommin yhdistetyn sähkön- ja lämmöntuotannon, mikä parantaa energiantuotannon kokonaishyötysuhdetta. [1]

Mikroverkolla tarkoitetaan sellaista järjestelmää, jossa on sekä energiaa kuluttavia kuormia että energiantuotantoa hajautetun tuotannon keinoin. Mikroverkko voi toimia osana perinteistä sähköverkkoa, mutta se voi myös toimia irrallaan sähköverkosta. Tällaista tilannetta kutsutaan saarekekäytöksi. [3] Mikroverkko eroaa perinteisestä verkosta varsin merkittävästi. Generaattorien kapasiteetti on mikroverkossa yleensä huomattavasti pienempi, koska tehoa tuotetaan vain omaa kulutusta varten. Teho voidaan myös tuottaa suoraan jakelujännitetasolla. Mikroverkkojen merkittävänä etuna on myös pienet energiansiirtohäviöt. Koska energia tuotetaan usein hyvin lähellä kulutuspisteitä, siirtohäviöt ovat merkittävästi pienemmät kuin perinteisemmissä ratkaisuisa. [1]

Mikroverkkojen rakentamiseen liittyy kuitenkin myös haasteita. Uusiutuvien energianlähteiden hyödyntäminen on vielä monissa paikoissa kallista verrattuna perinteisiin ratkaisuihin. Etenkin investointikustannuksien suuruus on merkittävä mikroverkkojen rakentamista rajoittavat tekijä. Lisäksi mikroverkon ylläpitäminen edellyttää teknisesti haastavia ratkaisuja esimerkiksi tehoelektroniikan ja tietotekniikan osa-alueilla, mikä omalta osaltaan kasvattaa järjestelmän rakentamisen kustannuksia. [1] Eräs hajautettuun

energiantuotantoon ja mikroverkkoihin liittyvistä haasteista on myös sopivien investointi- ja käyttöratkaisujen valitseminen. Tämä ongelma voidaan yrittää ratkaista esimerkiksi DER-CAM-ohjelmistolla.

2.2 DER-CAM-ohjelmisto

DER-CAM on Lawrence Berkeley National Laboratoryn kehittämä työkalu, jonka pääasiallinen tavoite on auttaa tekemään päätöksiä optimaalisista energiainvestoinneista rakennuksille ja mikroverkoille sekä optimoida jo olemassa olevien energiaressurssien käyttöä. [4] DER-CAM -ohjelman *Web Interface* -versiota voi käyttää suoraan tietokoneen internetselaimella. Ohjelmistosta on olemassa myös tietokoneelle erillisenä ohjelmana ladattava *Desktop Interface* -versio, joka on selaimella käytettävää versiota hieman laajempi. [5]

Optimointiongelman ratkaisemiseen DER-CAM käyttää matemaattista MILP-menetelmää. (*Mixed Integer Linear Programming*). Tämä mahdollistaa sen, että ohjelmistolle voidaan antaa lähtötietoina sekä kokonaislukuja että jatkuva-aikaisia parametrejä. Malli huomioi laskennassa monia eri asioita, kuten hajautetun energiantuotannon, energian paikallisen varastoinnin esimerkiksi akkuihin, erilaiset kuormituksenhallintaratkaisut, kuten kuormitusten ajoittamisen optimaaliseen aikaan, sekä myös passiiviset teknologiat, kuten rakennusten lämpöeristyksen. [2]

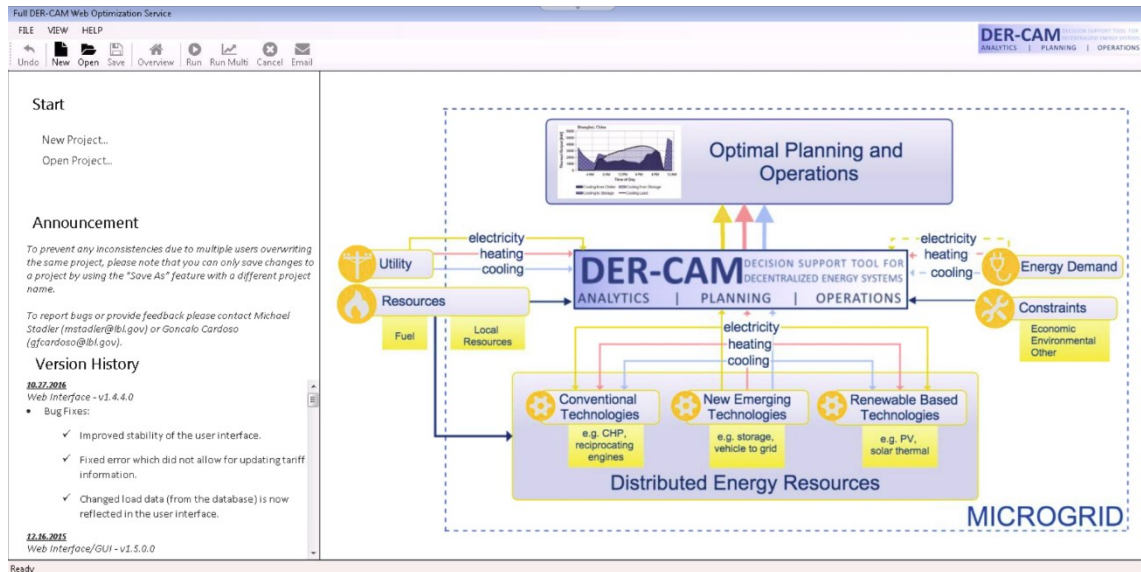
Ohjelmistolla suoritettavan optimoinnin lopullinen tavoite on lähes vapaasti muokattavissa. Se voi esimerkiksi olla mahdollisimman kustannustehokkaan ratkaisun löytäminen, hiilidioksidipäästöjen minimoiminen tai haluttu yhdistelmä molempia edellä mainittuja tavoitteita. [4]

3. OHJELMISTON KÄYTTÄMINEN JA TOIMINNOT

Jotta DER-CAM saisi suoritettua halutun optimoinnin, on sille annettava alkutietoina riittävä määrä tutkittavan ympäristön ominaisuuksia. Ohjelmisto mahdollistaa hyvin monimutkaistenkin ympäristöjen tutkimisen, mutta tässä tutkimuksessa tukeudutaan pitkälti valmiiksi DER-CAM:n tietokannasta löytyviin alkutietoihin ja asetuksiin, joita muokataan soveltumaan paremmin esimerkkitarkastelu-ympäristöön. Kun laskenta on suoritettu, DER-CAM antaa tulokset sekä graafisesti että taulukoihin sijoitettuina lukuarvoina.

Kuten luvussa 2 mainittiin, DER-CAM:n käyttäminen onnistuu sekä internetselaimella että erikseen tietokoneelle asennettavalla ohjelmalla. Eri versioiden välillä on pieniä eroja, mutta pääpiirteittäin ohjelmiston eri versiot toimivat samalla tavalla. Tässä tutkimuksessa tehdyt optimointilaskelmat on tehty ohjelmiston versiolla DER-CAM 4.4.1.4 Full, joka on internetselaimessa toimiva ohjelmiston versio. Ohjelmisto on käyttäjälle ilmainen, mutta vaatii rekisteröitymisen palveluun. Koska DER-CAM mahdollistaa hyvin monimutkaiset ja yksityiskohtaiset laskelmat, tässä tutkimuksessa esitellään vain tärkeimmät ohjelmiston parametrit ja asetukset. Liitteessä A on esitetty kaikki tärkeimmät esimerkkitarkastelussa käytetyt parametrit ja asetukset.

Kuvassa 1 on esitetty DER-CAM-ohjelmiston käyttöliittymän pääikkuna, joka tulee näkyviin ruudulle, kun ohjelma avataan. Pääikkunassa on myös eräänlainen kaavio, joka kuvastaa ohjelmiston toimintaa.

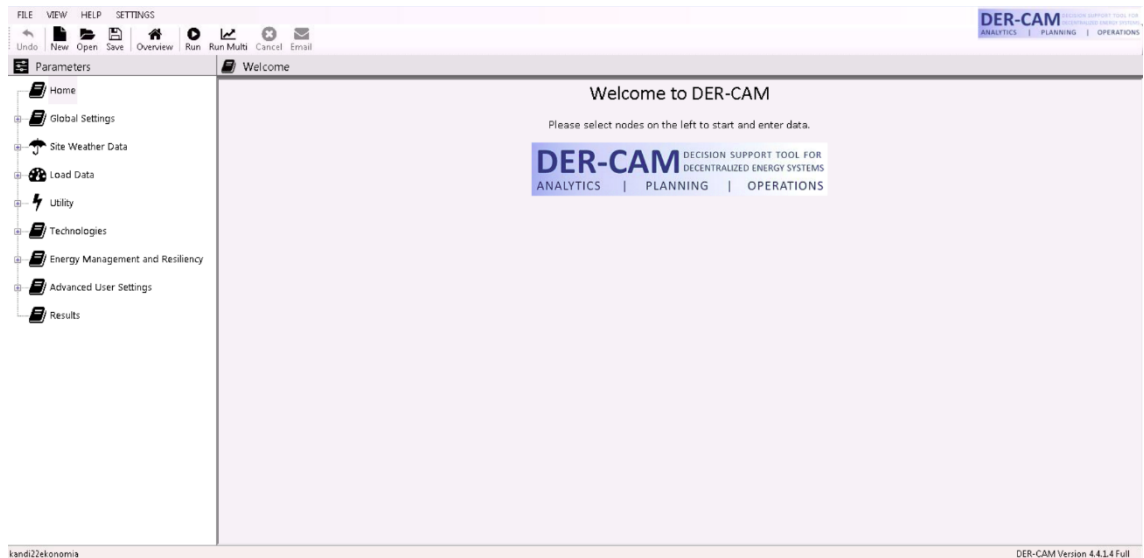


Kuva 1. DER-CAM-ohjelmiston käyttöliittymän pääikkuna. (Kuvakaappaus)

Kuvassa 1 näkyvä kaavio havainnollistaa, mitä alkutietoja ohjelmisto tarvitsee, mitä teknologioita se käyttää ja mihin ohjelman suorittamisella tähdätään. Vaikka kuva ei olekaan kovin yksityiskohtainen, antaa se silti jonkinlaisen käsityksen ohjelmiston toiminnasta.

3.1 Ohjelmistolle annettavat alkutiedot

DER-CAM-ohjelmistolle annettavat alkutiedot muodostavat perustan ohjelmiston tekemälle laskennalle, joten ne ovat erittäin tärkeä osa ohjelmiston käyttämisestä. Graafisessa käyttöliittymässä alkutietoja annetaan neljälle eri välilehdelle, joiden otsikot ovat *Site weather data*, *Load data*, *Utility* sekä *Technologies*. Kuvassa 2 on esitetty DER-CAM:n projektinäköymä, jonka vasemmassa reunassa näkyvät kyseiset välilehdet. Kuvasta huomataan, että välilehtiä on ohjelmiston tässä versiossa enemmänkin kuin vain edellä mainitut. Ne sisältävät hyvin yksityiskohtaisia asetuksia ja parametrejä, eikä niitä löydy ohjelmiston kaikista versioista, joten niitä ei tässä tutkimuksessa esitellä tarkemmin.



Kuva 2. DER-CAM-ohjelmiston käyttöliittymän projektinäkömä. (Kuvakaappaus)

Alkutietojen tarkoitus on mallintaa ympäristö, jonka energioresurssit halutaan optimoida. Käyttäjä voi syöttää järjestelmänsä tiedot ohjelmistolle mittaustensa tai arvioidensa perusteella, ja ohjelma suorittaa laskennan näitä arvoja käyttäen. Ohjelmistoon kuuluu tärkeänä osana myös tietokanta, jonka sisältämää dataa käyttäjä voi hyödyntää omiin tarkoituksiinsa. Tämä data perustuu kuitenkin Yhdysvalloissa suoritettuihin mittauksiin, joten kaikissa tutkimuksissa ei voida suoraan hyödyntää tietokantaa. Valmiit mallit antavat kuitenkin hyviä lähtökohtia, mikäli käyttäjällä ei ole tiedossaan aivan kaikkia järjestelmänsä ominaisuuksia. Tällainen tilanne voi esiintyä esimerkiksi suunniteltaessa hajautettua energiantuotantoa kohteeseen, jota ollaan vasta suunnittelemassa tai sen rakentaminen on kesken. Esimerkiksi tässä tutkimuksessa on hyödynnetty DER-CAM:n valmiita malleja soveltuvien osin.

3.1.1 Säätiiedot

Käyttöliittymän *site weather data* -välilehdeltä löytyvät tutkimuskohteen sääolosuhteita koskevat tiedot. Laskennan kannalta oleellisia tietoja ovat auringon säteilyn intensiteetti tutkimusympäristössä, ympäristön lämpötilatiedot sekä tuulitiedot. Säteilyn intensiteetti syötetään ohjelmaan desimaalilukuna välillä 0-1, jossa maksimiarvo vastaa intensiteettiä 1000 W/m^2 . Lämpötilatiedot syötetään Celsius-asteina tunnin keskiarvoina jokaiselle kuukaudelle erikseen. Kuvassa 3 on esitetty DER-CAM:n näkömä *Site weather data* -välilehdeltä, jossa näkyy lämpötilatietojen syöttöikkuna.

Tuulitietojen syöttäminen ohjelmaan on sen sijaan hieman monimutkaisempaa. Ohjelmalle annetaan sekä keskimääräinen tuulennopeus vuoden ajalta sekä tuuliturbiinin maksimiteho jokaisen kuukauden jokaisen päivätyypin jokaiselle tunnille yksikössä kW/turbiini. Näin menetellään, koska tuulivoimat kykenevät sähköntuotantoon vain tietyillä

tuulennopeuksilla, koska tuuliturbiineilla on niin sanotut *cut-in-* ja *cut-off-*nopeudet. *Cut-in-*nopeus on pienin mahdollinen tuulennopeus, jolla turbiini kykenee tuottamaan sähköenergiaa. *Cut-off-*nopeus on suurin tuulennopeus, jolla sähköenergiaa voidaan tuottaa ilman vaaraa turbiinin rikkoutumisesta. [6]

Jos tuulennopeus alittaa tai ylittää nämä rajat, DER-CAM saattaisi antaa virheellisiä tuloksia tuulivoiman tuotannon suhteen. Kun tuulitiedot syötetään ohjelmalle turbiinien maksimitehojen avulla, tältä ongelmalta vältytään. Vuoden keskimääräistä tuulennopeutta sen sijaan käytetään laskennassa aurinkopaneelien hyötysuhteen arvioimiseen. Tuuli vaikuttaa aurinkopaneelien hyötysuhteeseen lämpötilan kautta: tuuli ehkäisee aurinkopaneelien kuumenemista ja siten kasvattaa aurinkopaneelien tehoa.

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
January	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
February	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	2	3.3	3.5	3.7	2.8	2.6	1.2	0.5	0
March	0.8	1.4	2.4	2.4	2.3	2	1.7	1.5	2	2.4	3.4	5.5	6.8	6.4	6.4	7.1	6.3	5.7	4.5	3.7
April	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4	1.7	1.1	1.1	1.1	0	0	0
May	8.7	7.4	7.1	6.6	5.8	4.9	5.6	5.9	6.9	7.3	7.9	8.2	9.2	10	10.2	9.2	8.8	7.7	6.7	5
June	8.5	8.7	8.2	8.6	9.4	9.5	11.7	13.3	14.8	15.9	17.5	18.3	18.8	18.9	20	21	20.6	19.9	19.5	18.8
July	10.2	9.2	9.2	9.2	9.4	11.3	13.1	15.1	16.2	16.7	18.5	19.8	20.4	21	21.8	21.5	21.1	20.1	19.6	18.8
August	10.3	9.5	9.7	9.8	9.8	10.4	11.1	12.7	14.6	17	19	20	19.8	20.9	20.2	20.3	19.3	19.4	18.5	17.2
September	11.2	11.1	10.8	10.5	10.4	10	10.1	10.6	11.2	10.6	11.3	11.6	12.1	12.7	12.3	13.8	12.1	11.3	10.7	10.4
October	5.6	5.6	5.7	5.7	5.8	5.8	6	6	6.4	6.5	7.4	9.3	9.6	11.1	9.7	10.1	9.2	8.3	7.7	6.9
November	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6
December	0.9	1.1	1.5	1.7	2.0	2.4	2.8	3.1	3.4	3.7	4	4	4.1	3.9	3.5	3.3	2.7	2.4	2.3	2.4

Kuva 3. DER-CAM-ohjelmiston käyttöliittymän Site weather data -välilehti. (Kuvakaappaus)

Säätietojen avulla arvioidaan lämmityskuormien muutoksia sellaisissa tilanteissa, joissa itse rakennusta ja sen lämpöä eristävä ominaisuuksia muokataan esimerkiksi parantamalla ikkunoita. Ohjelmisto ottaa myös huomioon ilman lämpötilan vaikutuksen aurinkopaneelien tehokkuuteen.

Merkille pantavaa on etenkin se, että itse tilojen lämmittämiseen kuluvaan energiaan ohjelmalle syötetyt lämpötilatiedot eivät kuitenkaan vaikuta, jos rakennuksiin itsessään ei tehdä muutoksia. Lisäksi on huomattava, että DER-CAM ei tunne Celsius-asteikon negatiivisia lämpötilan arvoja, mikä voi olla joissakin tarkastelu ympäristöissä ongelma. Esimerkiksi Suomessa ulkolämpötilat putoavat talven aikana pakkaselle, joten aivan täydellistä tulosta ei tässä tapauksessa saada.

3.1.2 Kuormitustiedot

Kuormitustiedot löytyvät käyttöliittymästä välilehdeltä *Load data*. Kuormituksia käsittelevät tiedot voidaan syöttää ohjelmistoon hyvin yksityiskohtaisesti: energiankulutuksen voi syöttää erikseen sähköisille kuormille, rakennusten lämmittämiseksi, veden lämmittämiseksi, jäädytykselle sekä kaasua käyttäville laitteille jokaisen kuukauden jokaisen päivätyypin jokaiselle tunnille. Energiankulutus syötetään ohjelmaan yksikössä kW. Kuvassa 4 on esitetty näkymä DER-CAM:n *Load data* -välilehdeltä.

type	month	daytype	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
electricity-only	January	week	16.9545	18.519	17.7591	18.6425	17.9197	30.2313	36.3114	82.3134	220.7342	220.6305	220.7342	220.6305	220.7342	220.6305
electricity-only	February	week	19.0077	18.1182	19.6914	18.1506	19.7015	30.2753	36.8604	85.9568	230.8953	231.453	230.8953	231.453	230.8953	231.453
electricity-only	March	week	15.031	14.6555	16.1598	15.0971	24.4797	34.3484	69.2167	162.5825	244.4184	244.4184	244.4184	244.4184	244.4184	244.4184
electricity-only	April	week	13.7467	13.6527	14.3662	13.7107	27.9827	38.3043	89.8207	244.423	244.4719	244.5325	244.5674	244.501	244.7837	24
electricity-only	May	week	12.8825	12.9317	12.8825	12.9317	25.1209	37.0606	85.9814	233.423	233.2989	234.1396	233.6042	233.2627	234.9813	23
electricity-only	June	week	12.8825	12.8825	12.8825	12.8825	25.765	38.817	89.8877	246.9627	247.8867	248.2595	248.523	244.5998	249.6729	25
electricity-only	July	week	12.8825	12.8825	12.8825	12.8825	25.0493	37.4337	85.6207	234.1697	235.0005	236.4212	235.7712	234.5998	237.291	23
electricity-only	August	week	12.8825	12.8825	12.8825	12.8825	25.765	38.6871	89.8207	245.9503	246.4414	246.8312	247.105	246.0974	248.1673	24
electricity-only	September	week	12.8825	12.9372	12.8825	12.9372	25.0493	36.8973	85.9539	231.567	231.6751	231.8976	232.0629	231.6456	232.4868	23
electricity-only	October	week	13.6569	14.1921	14.2411	14.3374	26.5841	36.9611	85.6307	232.2323	232.2841	232.2323	232.2841	232.2323	232.3071	23
electricity-only	November	week	17.113	16.0479	18.89	16.4679	19.2968	28.1492	36.2077	82.4171	220.6305	220.7342	220.6305	220.7342	220.6305	22
electricity-only	December	week	16.7626	18.1746	17.3223	18.4747	17.45	31.6346	37.45	85.6621	232.1195	231.6635	232.1195	231.6635	232.1195	23
electricity-only	January	peak	21.2122	16.5904	21.2616	16.5904	21.2616	29.4729	38.2988	89.8287	244.4184	244.4184	244.4184	244.4184	244.4184	24
electricity-only	February	peak	13.509	20.51	13.532	20.6194	13.532	36.499	38.2988	89.8287	244.4184	244.4184	244.4184	244.4184	244.4184	24
electricity-only	March	peak	16.1076	16.0272	17.1037	16.5904	30.4188	38.2988	89.8287	244.4184	244.4184	244.4184	244.4184	244.4184	244.4206	24
electricity-only	April	peak	12.8825	12.8825	12.8825	12.8825	25.765	38.3333	89.8287	244.465	244.6159	244.9185	245.2381	244.8123	246.9711	24
electricity-only	May	peak	12.8825	12.8825	12.8825	12.8825	25.765	38.8116	89.8824	247.0786	247.9367	248.2484	248.4456	247.5366	250.4775	25
electricity-only	June	peak	12.8825	12.8825	12.8825	12.8825	25.765	39.217	90.1869	249.9416	251.4118	251.6986	252.1386	250.5225	253.9853	25
electricity-only	July	peak	12.8825	12.8825	12.8825	12.8825	25.765	39.1897	90.2729	250.1936	251.8284	251.9605	252.7985	251.1602	256.2986	25
electricity-only	August	peak	12.8825	12.8825	12.8825	12.8825	25.765	38.8825	89.8287	247.1933	248.7277	249.2032	250.3414	249.3424	253.6133	25
electricity-only	September	peak	12.8825	12.8825	12.8825	12.8825	25.765	38.3207	89.8287	244.4184	244.674	245.0068	245.2589	244.7943	246.2284	24
electricity-only	October	peak	12.8825	12.8825	12.8825	12.8825	25.765	38.2988	89.8287	244.4184	244.4184	244.4184	244.435	244.4309	244.9554	24
electricity-only	November	peak	19.3	16.8656	20.6194	17.2034	33.5019	38.2988	89.8287	244.4184	244.4184	244.4184	244.4184	244.4184	244.4184	24
electricity-only	December	peak	13.1501	23.8446	13.2036	24.3274	13.2036	37.2098	38.2988	89.8287	244.4184	244.4184	244.4184	244.4184	244.4184	24
electricity-only	January	week-end	14.7181	17.8088	15.7116	18.0356	15.8993	18.0356	25.7406	14.1498	28.0982	71.5449	73.9025	71.5449	73.9025	72
electricity-only	February	week-end	20.7002	18.348	16.996	19.0063	18.3234	19.0464	18.5649	28.7328	28.3716	80.2627	79.9015	80.2627	79.9015	80
electricity-only	March	week-end	16.4444	15.7231	17.4794	18.3801	17.6522	18.6653	22.625	28.4932	54.4978	80.0219	80.2627	80.0219	80.2627	80

Kuva 4. DER-CAM-ohjelmiston käyttöliittymän Load data -välilehti. (Kuvakaappaus)

Päivätyypillä tarkoitetaan tässä tapauksessa sitä, onko kyseessä tavallinen arkipäivä, viikonlopun päivä vai kuukauden kulutushuipun kohdalle osuva päivä. Näitä päivätyyppejä hyödynnetään laskennassa useassa kohtaa, ja myös osa tuloksista ilmoitetaan näiden päivätyyppien avulla.

3.1.3 Hintatiedot ja teknologiset rajoitteet

Utility-otsikon alta käyttöliittymästä löytyvät markkinoilta ostettavan sähkön sekä muiden polttoaineiden hinnat, joita ohjelma käyttää energiantuotannon ja -hankkimisen aiheuttavien kulujen laskentaan. Investointikulut eri teknologioihin ohjelma sen sijaan laskee *Technologies*-välilehdelle syötettävillä tiedoilla. DER-CAM-ohjelmistoon on valmiiksi mallinnettu 47 erilaista hajautettuun energiantuotantoon käytettävää laitteistoa. Näihin malleihin sisältyy paljon tietoa, joista tärkeimpiä ovat kyseisen laitteiston kapasiteetti, investointikustannukset, laitteiston elinikä sekä hyötysuhde. Näitä valmiita malleja

voi myös muokata, jos mikään valmiista ratkaisuista ei tunnu sopivalta tarkastelu ympäristöön. Kuvassa 5 on esitetty näkymä DER-CAM-ohjelmiston *Utility*-välilehdeltä. Kuvassa näkyy myös ikkuna, johon syötetään polttoaineiden hintatiedot.

F1	NGbasic	NGtoDG	NGtoAbs	Diesel	Biodiesel	Other
1 January	0.0307	0.0307	0.0307	0.0854	0	0
2 February	0.033	0.033	0.033	0.0827	0	0
3 March	0.0348	0.0348	0.0348	0.0845	0	0
4 April	0.0285	0.0285	0.0285	0.08234	0	0
5 May	0.03	0.03	0.03	0.0865	0	0
6 June	0.0287	0.0287	0.0287	0.0849	0	0
7 July	0.0304	0.0304	0.0304	0.0828	0	0
8 August	0.0291	0.0291	0.0291	0.0849	0	0
9 September	0.0325	0.0325	0.0325	0.0855	0	0
10 October	0.0297	0.0297	0.0297	0.0855	0	0
11 November	0.0311	0.0311	0.0311	0.0847	0	0
12 December	0.0335	0.0335	0.0335	0.0844	0	0

Fuel Price - Help
Unit (\$/kWh)
This table allows entering the average fuel price, in \$ per kWh of primary energy content in each energy carrier.
Default Values
2014 gas tariff G-NR2 from PG&E and 2015 estimations for diesel price in California from EIA.

Kuva 5. DER-CAM-ohjelmiston käyttöliittymän Utility-välilehti. (Kuvakaappaus)

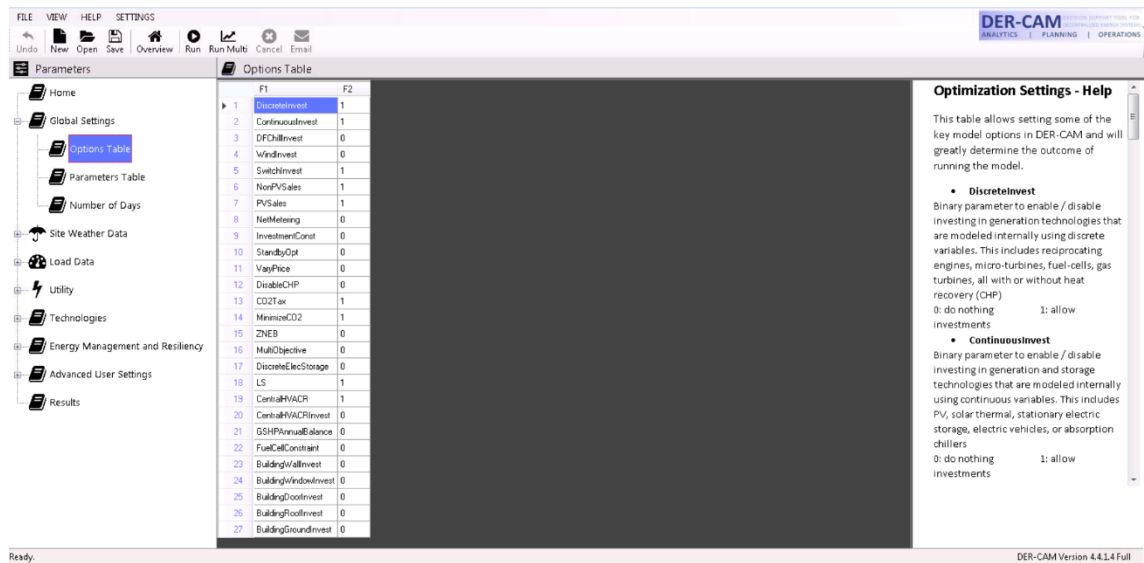
Technologies-välilehdeltä voi myös asettaa erilaisia rajoitteita siten, että DER-CAM huomioi esimerkiksi rajat tietyn polttoaineen käyttöön tai maksimiajan, jonka tietty generaattori voi olla käytössä. Näiden rajoitteiden avulla voidaan mallintaa hyvin monimutkaisiakin järjestelmiä, jos sellainen on tarpeen.

3.2 Ohjelmiston asetukset

Tarkastelu ympäristöä mallintavien alkutietojen lisäksi DER-CAM tarvitsee laskennan suorittamiseen muitakin asetuksia, jotka löytyvät käyttöliittymän *Global settings* -välilehdeltä. Tärkeimpiin asetuksiin kuuluvat esimerkiksi tiettyihin teknologioihin investoinnin salliminen, sähkön myynnin salliminen ja korkoprosentin määrittäminen. Asetuksista myös valitaan, mihin tavoitteeseen optimointi tähtää. Tavoitteena voi olla yksinkertaisesti energiakustannusten tai hiilidioksidipäästöjen minimointi. DER-CAM mahdollistaa kuitenkin myös näiden tavoitteiden yhdistämisen käyttäjän haluamaksi tavoitteeksi. Yhdistäminen toteutetaan antamalla ohjelmalle eräänlainen painotettu keskiarvo haluamistaan kriteereistä siten, että painokerroin on desimaaliluku välillä 0-1. Jos esimerkiksi kustannusten minimointi olisi käyttäjälle yhtä tärkeää kuin mahdollisimman pienet hiilidioksidipäästöt, molempien tavoitteiden painoarvoksi ohjelmaan syötettäisiin 0,5.

Asetukset täydentävät ohjelmalle annettavia alkutietoja siten, että ohjelmisto kykenee hyvin monenlaisten tilanteiden hallintaan. Käyttäjän kannalta tämä on tietenkin erinomainen

nen asia, koska mitä tarkemmin todellisen elämän tilanne saadaan ohjelmiston avulla esitettyä, sen paremmin optimointilaskennan tulokset toimivat oikeaan kohteeseen sovelletuna. DER-CAM:n joistakin versioista löytyy myös muita asetuksia ja parametrejä edellä mainittujen lisäksi, jotka vielä entisestään lisäävät ohjelmiston monipuolisuutta jo sovellettavuutta erilaisiin tilanteisiin. Edellä mainitut alkuarvot ja asetukset riittävät kuitenkin monessa tilanteessa jo varsin pitkälle. Kuvassa 6 on esitetty DER-CAM:n *Global settings* -välilehti.



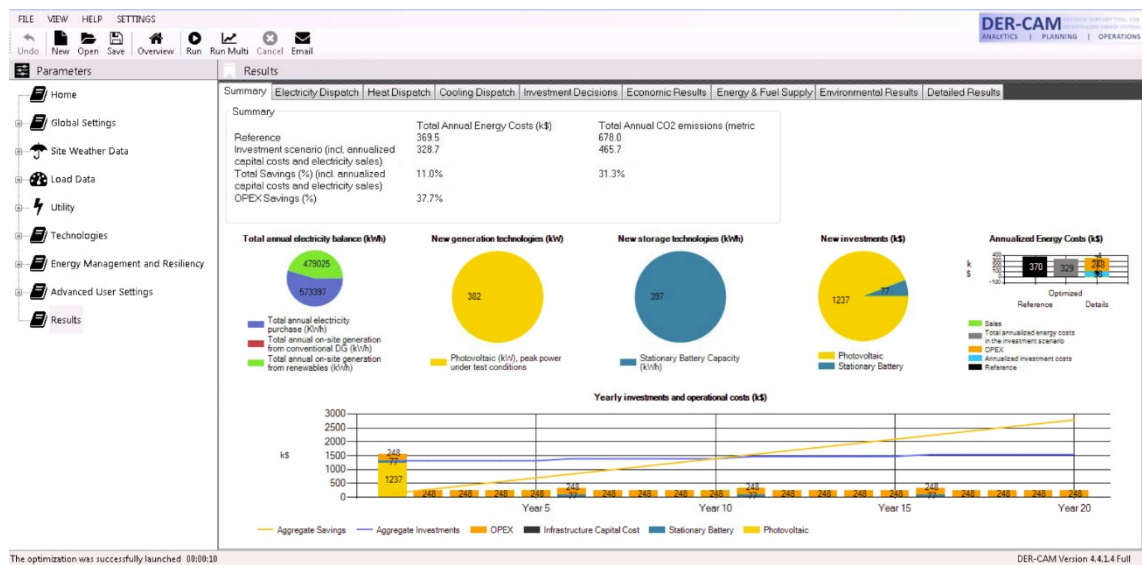
Kuva 6. DER-CAM-ohjelmiston käyttöliittymän Global settings -välilehti. (Kuvakaappaus)

Kuten kaikissa muissakin käyttöliittymäkuvissa, kuvassa 6 näkyy oikeassa reunassa kyseisen välilehden *Help*-ikkuna. Tässä ikkunassa on tarkemmin kerrottu kyseisen välilehden sisältö ja tapa, jolla tietoja tulee ohjelmistolle syöttää. Tämä helpottaa ohjelmiston käyttöä huomattavasti etenkin, jos ohjelmisto ei ole käyttäjälle ennestään kovin tuttu.

3.3 Ohjelmiston laskemat tulokset

Kun kaikki tarvittavat alkutiedot ja parametrit on syötetty ohjelmistoon, laskenta on suoritettava painamalla käyttöliittymän yläpalkissa olevaa *Run*-painiketta. Tärkeää on myös huomata alustavan laskennan tarve, jota käsitellään tarkemmin luvussa 4. Ohjelman suorituksen jälkeen DER-CAM antaa tulokset *Results*-välilehdellä, joka on esitetty kuvassa 7.

DER-CAM antaa suorittamansa optimointilaskelman tulokset kahdessa muodossa. Kaikki tiedot kootaan lukuina taulukoihin ikään kuin taulukkolaskentaohjelmassa. Tärkeimmät tiedot kootaan myös graafiseksi esityksiksi, joiden perusteella tulosten tulkinta on nopeampaa ja helpompaa. Tärkeimpiin tuloksiin kuuluvat muun muassa kustannukset ennen toimenpiteitä sekä niiden jälkeen, hiilidioksidipäästöjen suuruus ennen toimenpiteitä sekä niiden jälkeen, tehdyt investoinnit sekä niiden myötä saavutetut säästöt käyttökustannuksissa. Lisäksi ohjelmisto piirtää kuvaajat jokaiselle kuukaudelle arki-, viikonloppu- ja huippupäiville erikseen koskien sekä sähkön- että lämmönkäyttöä.



Kuva 7. DER-CAM-ohjelmiston käyttöliittymän Results-näkymä. (Kuvakaappaus)

Yksityiskohtaisemmista tuloksista voidaan tarkastella esimerkiksi sähkönkulutusta, eri polttoaineiden kulutusta ja hiilidioksidipäästöjä kuukausittain. *Detailed results* -osiosta löytyy suorastaan valtava määrä dataa ohjelman suorittamisesta, mutta muutkin tulossivut antavat varsin yksityiskohtaisen kuvan tilanteesta. Tässä tutkimuksessa ei ole käsitelty tuloksia *Detailed results* -sivulta, koska tämän tutkimuksen tarkoituksiin muidenkin sivujen tarkkuus on enemmän kuin riittävä.

4. ESIMERKKITARKASTELUN KOHDE

Toinen tämän tutkimuksen päätehtävistä on havainnollistaa DER-CAM:n käyttöä esimerkkitarkastelun muodossa. Kuten edellä on jo tullut ilmi, ohjelmisto mahdollistaa monenlaisten järjestelmien mallintamisen hyvin yksityiskohtaisesti. Tämän tutkimuksen esimerkkitarkastelun kohde perustuu hyvin pitkälti DER-CAM:n valmiiseen malliin, jota on muokattu soveltumaan paremmin Suomen ja erityisesti TTY:n olosuhteisiin.

Esimerkkitarkastelun pohjana on käytetty suurta toimistorakennusta Alaskan Fairbanksissa. Ilmastodata ei kuitenkaan ole peräisin DER-CAM:n tietokannasta, vaan TTY:n Sähkötekniikan laitoksen ylläpitämän sääaseman mittauspisteen datasta. Mittauspiste sijaitsee TTY:n kampuksella Sähkötalon katolla [7]. Tutkimuksessa on käytetty vuoden 2017 arvoja siten, että jokaiselle kuukaudelle on valittu silmämääräisesti keskimääräiseltä vaikuttava päivä, ja DER-CAM-ohjelmistoon on syötetty jokaisen tasatunnin säteilyintensiteetin ja lämpötilan arvo. Tämä ei tietenkään ole kovinkaan tarkka tapa antaa säteily- ja lämpötilatietoja, mutta tämän tutkimuksen tarkoituksiin menetelmä on kuitenkin riittävä, koska sääolosuhteilla on todellisessakin elämässä tapana vaihdella varsin merkittävästi. Tärkeämpää on, että eri tarkasteluissa käytetään samoja arvoja. DER-CAM ei myöskään hyväksy Celsius-asteikon negatiivisia lämpötilan arvoja, joten lämpötilan ollessa pakkasella on se mallinnettu nollassi.

Laskennan asetuksia on rajoitettu siten, että tuulivoiman hyödyntäminen ei ole mahdollista, koska suuren toimistorakennuksen läheisyyteen olisi käytännössä varsin hankalaa sijoittaa tuulivoimalaa. Kaikkiin muihin teknologioihin investoiminen on sen sijaan mahdollista. Myös kaikilla hajautetun energiantuotannon keinoilla tuotetun sähkön myyminen sähköverkkoon on mahdollista. Lisäksi hiilidioksidiveron arvoksi on sijoitettu $0,18 \frac{\$}{\text{kg} \cdot \text{CO}_2}$ [8] ja aurinkopaneelien käytössä olevaksi maksimitilaksi 2500 m^2 . Kaikki asetukset löytyvät liitteestä A.

Sähkön ja polttoaineiden hinnat sekä eri teknologioiden parametrit ovat tarkastelussa DER-CAM:n oletusarvoja. DER-CAM:n hintatiedot perustuvat pääosin PG&E:n tariffeihin. PG&E eli *Pacific Gas and Electric* on Kalifornian alueella toimiva kaasun- ja sähkönjakeluyritys [9]. Kuten asetuksetkin, myös kaikki alkutiedot ja parametrit löytyvät liitteestä A.

4.1 Laskennan alustava suoritus

Vaikka DER-CAM-ohjelmistoon syötetään paljon alkutietoja ja parametrejä, ennen varsinaisen optimointilaskennan suorittamista ohjelma on ajettava kerran *BaseCaseCost*- ja *BaseCaseCO2*-parametrien selvittämiseksi. Kyseiset parametrit kuvaavat järjestelmän tilannetta ennen kuin mitään investointeja on tehty. Tämän laskennan tuloksena saadaan vuotuiset energiakustannukset sekä vuotuiset hiilidioksidipäästöt, jotka sijoitetaan *Global settings* -välilehdelle *BaseCaseCost*- ja *BaseCaseCO2*-parametreiksi ennen varsinaisen laskennan suorittamista. Nämä ovat tarpeen, jotta DER-CAM-ohjelmisto osaa verrata optimointilaskentansa tuloksia vertailukohtaan ja laskea investoinneilla saavutetun taloudellisen hyödyn sekä muutokset hiilidioksidintuotannossa. Taulukossa 1 on esitetty alustavan laskennan tuloksena saadut arvot vuotuisille energiakustannuksille ja hiilidioksidipäästöille. DER-CAM käyttää *Marginal CO2 emissions* -kenttään syötettyjä arvoja arvioidessaan verkosta ostetun sähkön aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä. Kyseiset arvot löytyvät liitteestä A.

Taulukko 1. Laskennan alustavan suorituksen tulokset.

Vuotuiset energiakustannukset (k\$)	Vuotuiset hiilidioksidipäästöt (t)
369,5	678,0

Laskennan alustavan suorituksen onnistumisen kannalta on erittäin tärkeää, että ohjelman asetuksista on estetty investoinnit kaikkiin teknologioihin. Tällöin DER-CAM laskee kustannukset ja hiilidioksidipäästöt vain verkosta ostetulle sähkölle sekä lämmitykseen käytetylle luonnonkaasulle. On myös suositeltavaa lisätä 0,5-1 % vuotuisten energiakustannusten arvoon ennen sen sijoittamista *BaseCaseCost*-parametriksi. Tämän tutkimuksen tapauksessa arvoon on lisätty 1 %, joten parametrin arvoksi tulee 373 195 \$/vuosi.

Alustavasta laskennan suorituksesta voi myös huomioida muita tuloksia, joista käyttäjä on kiinnostunut. Tässä tutkimuksessa merkille pantavaa on verkosta ostetun sähköenergian määrä. Ilman hajautetun energiantuotannon hyödyntämistä vuotuisen sähköverkosta ostetun sähköenergian määrä tässä tarkastelu ympäristössä on 990 758 kWh.

5. ESIMERKKITARKASTELUN TULOKSET

Esimerkkitarkastelu on suoritettu kahdesta eri näkökulmasta: taloudellisesta näkökulmasta, jossa tavoitteena on minimoida energiakustannukset, sekä ekologisesta näkökulmasta, jossa tavoitteena on minimoida hiilidioksidipäästöt. Koska tarkasteluympäristöstä on rajattu pois mahdollisuus hyödyntää tuulivoimaa, tulokset ovat hyvin samankaltaisia molemmissa tapauksissa.

Kaikki tässä luvussa olevat kuvaajat vastaavat täysin ohjelmiston *Results*-osion välilehdiltä löytyviä kuvaajia, mutta ne on selvyuden vuoksi piirretty uudelleen taulukkolaskentaohjelmalla.

5.1 Taloudellinen painotus

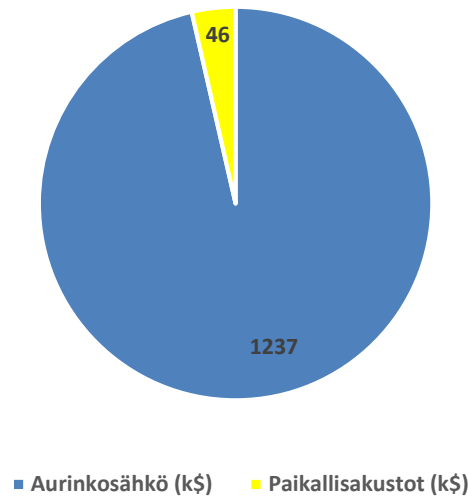
DER-CAM painottaa optimointilaskelmansa oletusarvoisesti siten, että vuotuiset energiakustannukset ovat mahdollisimman pienet. Näin ollen oletusasetusta ei tarvitse muuttaa tutkimustavoitteen osalta. Taulukkoon 2 on koottu tärkeimmät tulokset: vuotuiset energiakustannukset ja vuotuiset hiilidioksidipäästöt sekä vertailutilanteessa ennen investointeja että niiden jälkeen.

Taulukko 2. *Esimerkkitarkastelun tulokset taloudellisella painotuksella.*

	Vuotuiset energiakustannukset (k\$)	Vuotuiset hiilidioksidipäästöt (t)
Ennen investointeja	373,2	678,0
Investointien jälkeen	311,2	469,4
Muutos investointien jälkeen	16,6 %	30,8 %

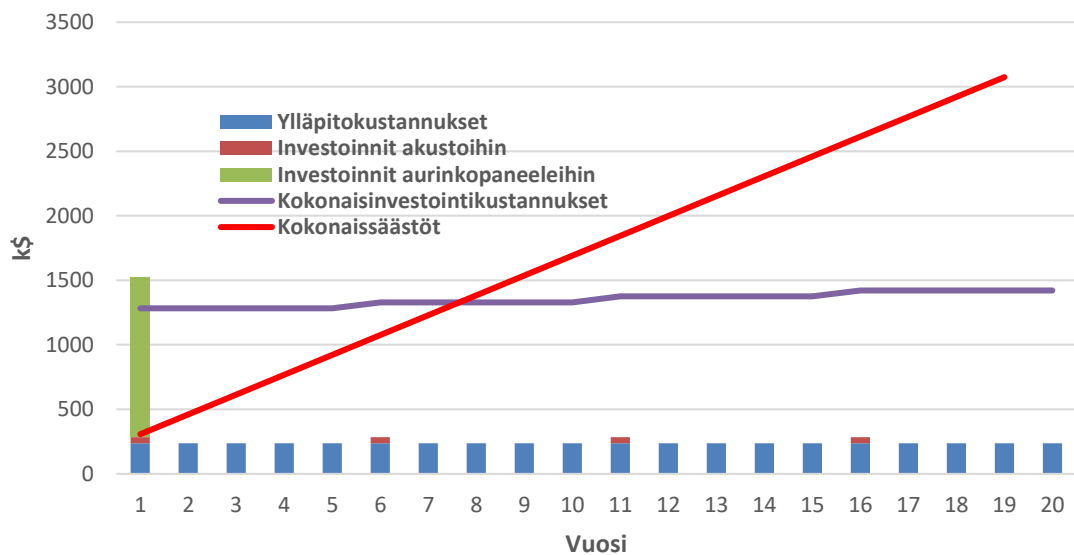
Kuten taulukon 2 arvoista nähdään, optimointilaskelman mukaan vuotuisia energiakustannuksia voidaan pienentää lähes 17 %. Tämä on esimerkkiympäristössämme erittäin huomattava säästö: yli 60 000 \$.

Säästöt saavutetaan asentamalla esimerkkiympäristöömme järjestelmä, johon kuuluu aurinkovoimala, jonka huipputeho testiolosuhteissa on 382 kW, sekä 240 kWh:n paikallisakusto. Kuvassa 8 on esitetty aurinkovoimalan ja akuston hankkimisen synnyttämät investointikustannukset. On huomionarvoista, että kuvassa näkyvät vain ensimmäisen vuoden investointikustannukset. Kuvassa ei huomioida sitä, että paikallisakustot on uusittava viiden vuoden välein.



Kuva 8. Investointikustannukset taloudellisen painotuksen tapauksessa.

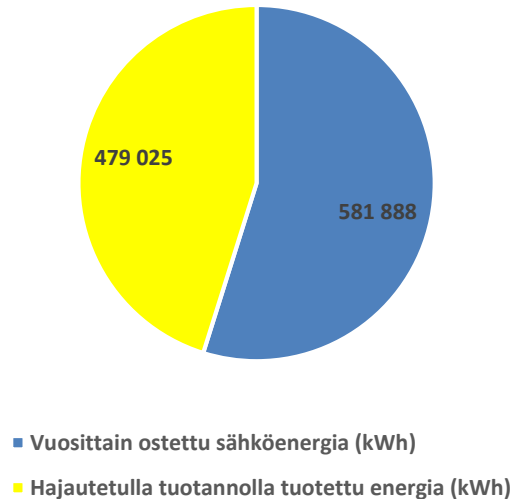
Aurinkopaneelien korkeat investointikustannukset näkyvät hyvin kuvassa 8. Yli miljoonan dollarin investointikustannukset olisivat varmasti joissakin tapauksissa järjestelmän hankkimista hankaloittava tekijä. Siksi onkin syytä miettiä, missä ajassa investointi maksaisi itsensä takaisin. DER-CAM-ohjelmisto hallitsee myös tällaisen laskennan. Kuvassa 9 on esitetty investointi- sekä ylläpitokustannukset 20 vuoden ajalle taloudellisen painotuksen tapauksessa.



Kuva 9. Järjestelmän investointi- sekä ylläpitokustannukset taloudellisen painotuksen tapauksessa.

Kuvassa 9 on myös kokonaissäästöjä kuvaava käyrä, josta huomataan säästöjen olevan varsin nopeasti investointikustannuksia suuremmat. Investoinnit maksavat itsensä takaisin noin kahdeksassa vuodessa.

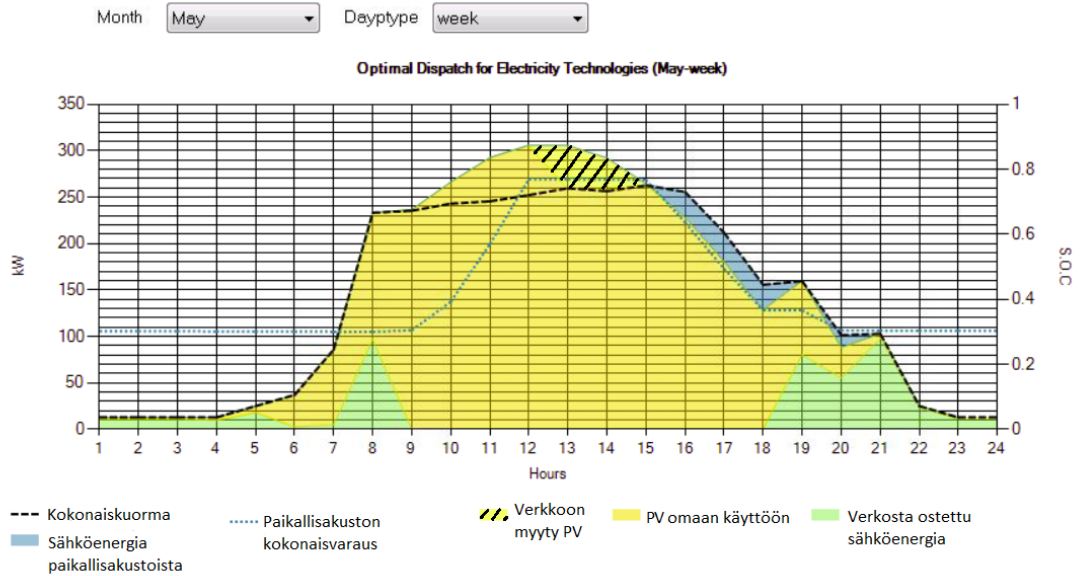
Oman hajautetun energiantuotannon lisääminen vähentää luonnollisesti tarvetta ostaa sähköenergiaa verkosta. Kuvassa 10 on esitetty vuosittainen hajautetulla energiantuotannolla tuotettu energia sekä verkosta ostettu sähköenergia taloudellisen painotuksen tapauksessa. Kuten kuvasta huomataan, lähes puolet vuotuisesta energiantarpeesta voidaan täyttää omalla hajautetulla energiantuotannolla.



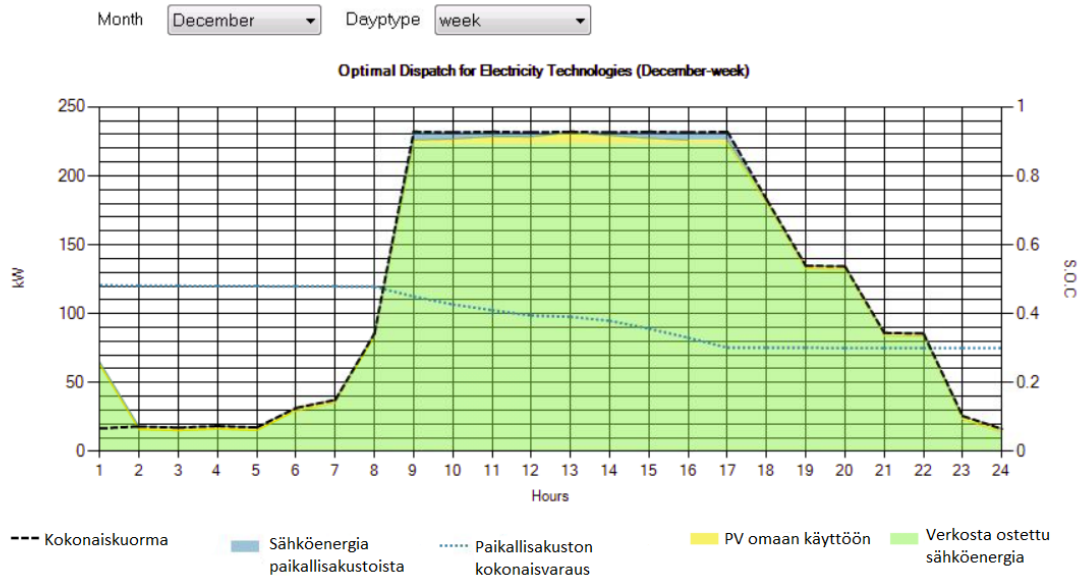
Kuva 10. Vuosittain ostettu sähköenergia sekä hajautetulla tuotannolla tuotettu energia taloudellisella painotuksella.

Kun kuvan 10 lukuarvoja verrataan alaluvun 4.1 lopussa olleeseen verkosta ostetun sähköenergian määrään, huomataan että vuosittain tuotetun hajautetun energian ja verkosta ostetun sähköenergian summa on suurempi kuin vertailutilanteen vuosittain ostetun sähköenergian määrä. Tämä selittyy sillä, että kesän aikana aurinkovoimalan ollessa tehokkaimmillaan hajautettu energiantuotanto riittää kattamaan kaiken oman kulutuksen ja jopa ylittää sen, jolloin ylijäävää energiaa myydään verkkoon. Talvella sen sijaan verkosta joudutaan ostamaan sähköenergiaa.

Tämä voidaan myös havaita kuvista 11 ja 12, joissa kuvataan toukokuun ja joulukuun tavallisen viikonpäivän aikana tuotettua ja kulutettua sähköenergiaa. Kuvasta 11 havaitaan, että huhtikuun aikana sähköenergiaa tuotetaan enemmän kuin kulutetaan, ja ylijäämä myydään verkkoon. Joulukuussa sen sijaan joudutaan ostamaan huomattavasti enemmän sähköenergiaa verkosta. Selitteen merkintä PV tulee sanasta *photovoltaics*, ja tarkoittaa aurinkopaneelilla tuotettua sähköenergiaa. Molemmat kuvat 11 ja 12 ovat ruutukaappauksia DER-CAM:n käyttöliittymästä, mutta selitteet on käännetty suomenkieliseksi.



Kuva 11. Toukokuun aikana tuotettu ja kulutettu sähköenergia taloudellisen painotuksen tapauksessa.



Kuva 12. Joulukuun aikana tuotettu ja kulutettu sähköenergia taloudellisen painotuksen tapauksessa.

Kuvista voidaan selvästi havaita aurinkosähkön ongelmakohta Suomen ympäristössä. Joulukuun tavallisen päivän aikana aurinkopaneelilla tuotettu sähköenergia on äärimmäisen vähäistä. Tästä huolimatta paneelien asennus kannattaa, koska kevät- ja kesäkuukausien aikana lähes kaikki tarvittava energia voidaan tuottaa aurinkopaneelien avulla.

5.2 Ekologinen painotus

Jos optimointilaskennan lopputulos halutaan painottaa siten, että hiilidioksidipäästöt olisivat mahdollisimman pienet, tulee käyttöliittymän *Global settings* -välilehdeltä vaihtaa asetuksen *MinimizeCO2* arvo vaihtaa arvosta 0 arvoon 1. Tämän jälkeen laskenta suoritetaan aivan kuin muissakin tapauksissa. Taulukossa 3 on esitetty tämän laskennan tärkeimmät tulokset.

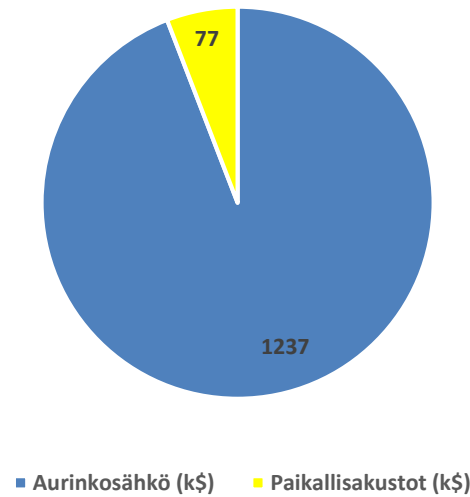
Taulukko 3. Esimerkkitarjottimen tulokset ekologisella painotuksella.

	Vuotuiset energiakustannukset (k\$)	Vuotuiset hiilidioksidipäästöt (t)
Ennen investointeja	373,2	678,0
Investointien jälkeen	332,4	465,7
Muutos investointien jälkeen	10,9 %	31,3 %

Kun taulukon 3 arvoja verrataan taulukon 2 arvoihin, huomataan erojen olevan varsin pieniä. Hiilidioksidintuotanto on pienentynyt vain noin 4 tonnia, mikä ei ole kovin suuri muutos. Jos ekologisella painotuksella laskettuja lukuja verrataan alkuperäiseen järjestelmään, on havaittavissa myös taloudellista säästöä. Voidaankin todeta, että ympäristöystävällinen energiantuotanto ei automaattisesti tarkoita suurempia kustannuksia.

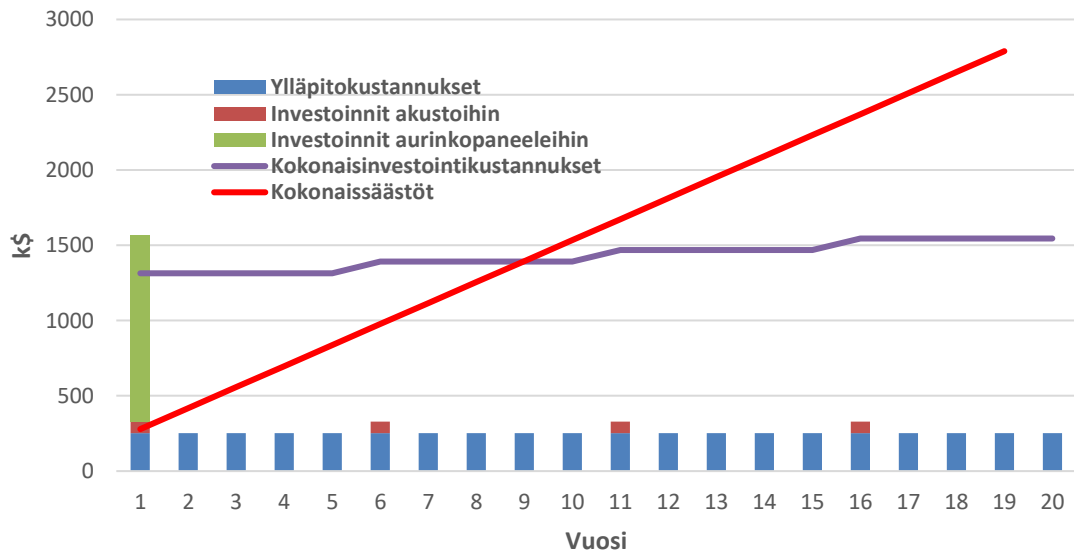
Hiilidioksidipäästöt on minimoitu investoimalla samanlaiseen, 382 kW:n huipputehon tuottavaan aurinkovoimalaan kuin taloudelliseen optimointiin tähtäävässä laskennassakin. Paikallisakuston kapasiteetti on kuitenkin suurempi: 397 kWh. Tämä luonnollisesti nostaa investointikustannuksia jonkin verran, mikä osaltaan näkyy pienempänä taloudellisena hyötynä kuin alaluvun 5.1 tarkastelussa. Suurempi paikallisakusto on merkittävin tekijä hiilidioksidipäästöjen pienentymiseen taloudellisen painotuksen tapaukseen verrattuna. Kun omiin akkuihin mahtuu enemmän aurinkopaneeleilla tuotettua energiaa, verkosta ei tarvitse ostaa niin paljon sähköenergiaa, mikä välillisesti vaikuttaa hiilidioksidipäästöjen suuruuteen. Ero on kuitenkin varsin pieni, joten todellisessa elämässä ympäristötietoisinkaan suunnittelutiimi ei luultavasti päätyisi tähän ratkaisuun.

Kuvassa 13 on esitetty investointikustannukset aurinkovoimalan ja akuston hankintaan. Kuten edellisessäkin luvussa, akustot on uusittava viiden vuoden välein, mikä ei näy kuvaajassa, koska siinä huomioidaan vain ensimmäisen vuoden investointikustannukset.



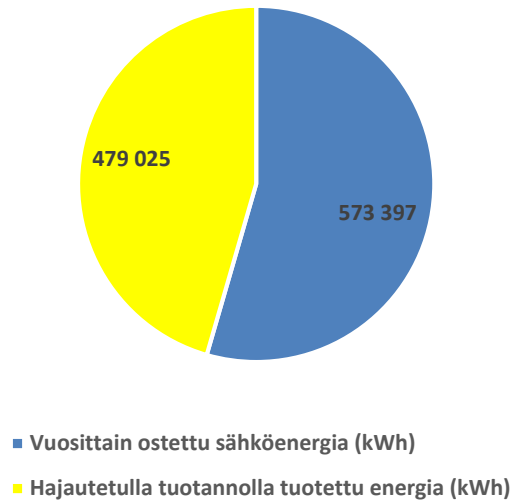
Kuva 13. Investointikustannukset ekologisen painotuksen tapauksessa.

Kuvassa 13 on esitetty investointi- sekä ylläpitokustannukset 20 vuoden ajalle ekologisen painotuksen tapauksessa. Erojen vähäisyyden vuoksi kuvaaja muistuttaa hyvin paljon kuvaa 13. Ainoat erot ovat hieman korkeammat investointikustannukset paikalliskustojen osalta, ja sen seurauksena hieman pienemmät saavutetut säästöt.



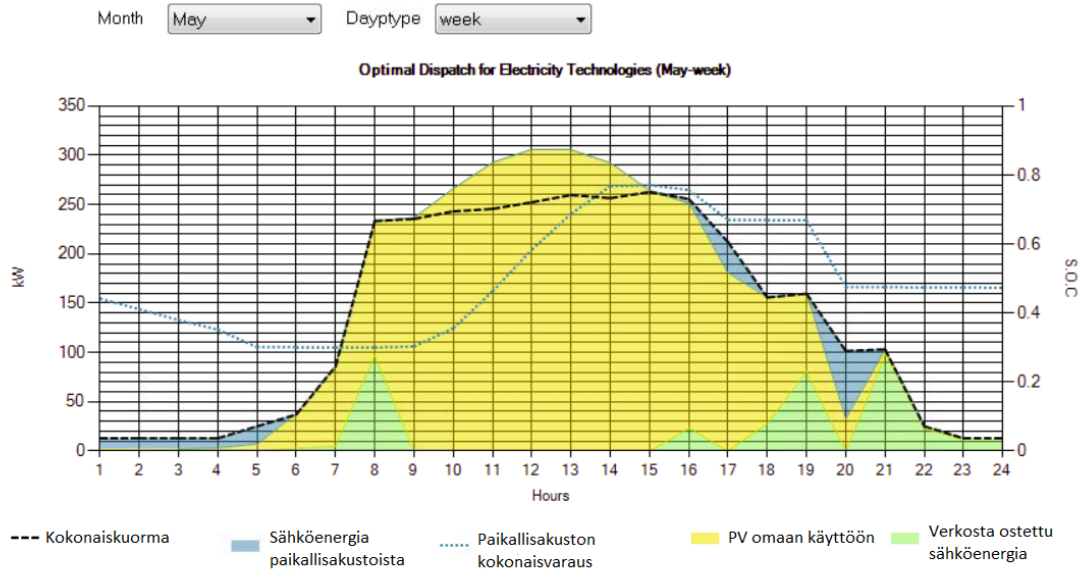
Kuva 14. Järjestelmän investointi- sekä ylläpitokustannukset ekologisen painotuksen tapauksessa.

Kuten edellä jo mainittiin, akustokapasiteetin kasvattaminen vähentää tarvetta ostaa sähköenergiaa verkosta. Tämä voidaan havaita myös kuvasta 15, jossa on esitetty vuosittainen hajautetulla energiantuotannolla tuotettu energia sekä verkosta ostettu sähköenergia ekologisen painotuksen tapauksessa.

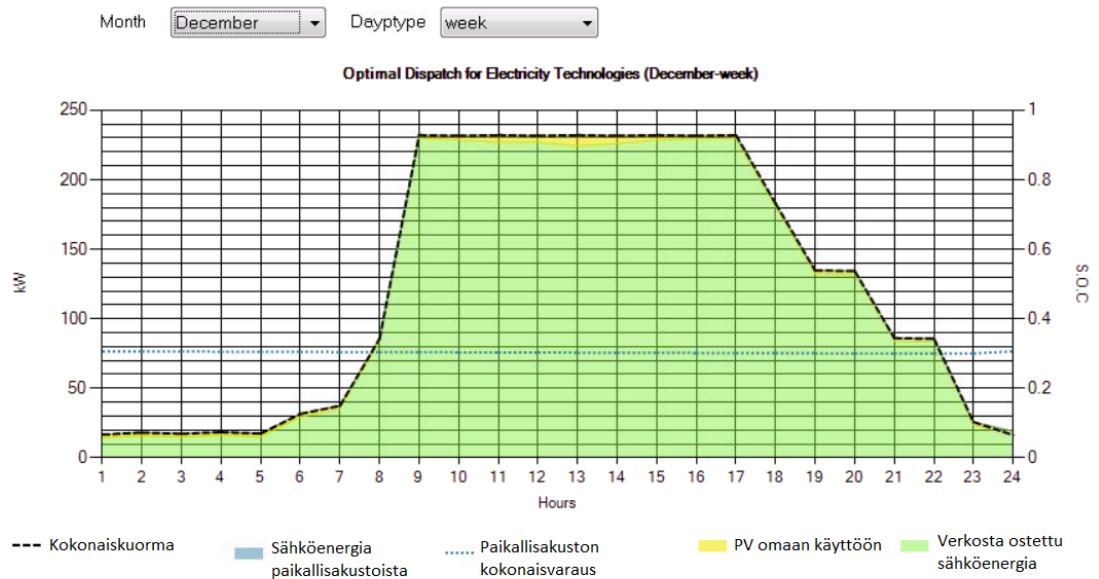


Kuva 15. Vuosittain ostettu sähköenergia sekä hajautetulla tuotannolla tuotettu energia ekologisella painotuksella.

Myös ekologisen painotuksen tapauksessa osa kesän aikana tuotetusta hajautetusta energiasta myydään verkkoon. Nyt sen määrä on kuitenkin pienempi kuin taloudellisen painotuksen tapauksessa suuremman akustokapasiteetin takia. Tämän voi myös havaita kuvista 16 ja 17, joissa on esitetty toukokuun ja joulukuun tavallisena viikonpäivänä tuotettua ja kulutettua sähköenergiaa ekologisella painotuksella samalla tavalla kuin aikaisemmin taloudellisen painotuksen tapauksessa.



Kuva 16. Toukokuun aikana tuotettu ja kulutettu sähköenergia ekologisen painotuksen tapauksessa.



Kuva 17. Joulukuun aikana tuotettu ja kulutettu sähköenergia ekologisen painotuksen tapauksessa.

Ekologisesti painotetuilla laskelmilla kasvanut akkukapasiteetti verrattuna taloudellisen painotuksen laskelmiin näkyy kuvista siten, että toukokuun aikana ei myydä aurinkopaneeleilla tuotettua sähköenergiaa verkkoon, koska se voidaan varastoida akustoihin. Tämä myös osaltaan pienentää taloudellista hyötyä kyseisellä järjestelmällä.

Tämä esimerkkitarkastelu ei parhaalla mahdollisella havainnollista mahdollisuuksia käyttää erilaisia painotuksia DER-CAM-ohjelmistolla suoritettavissa optimointilaskelmissa,

koska tulokset ovat turhan samankaltaisia keskenään. Tämä johtuu lähinnä valitun esimerkkiympäristön ominaisuuksista. Monimutkaisemman järjestelmän tapauksessa tulokset kuitenkin eroaisivat toisistaan huomattavasti enemmän, joten mahdollisuus painottaa laskelmia haluamallaan tavalla on käyttäjälle erittäin hyödyllinen ominaisuus.

6. YHTEENVETO

Tässä kandidaatintyössä käsiteltiin Lawrence Berkeley National Laboratoryn kehittämää DER-CAM-ohjelmistoa, jonka avulla voidaan optimoida paikallisten energiaressurssien käyttöä erilaisissa tarkasteluympäristöissä. Tarkasteluympäristönä voi olla esimerkiksi yksittäinen rakennus tai kokonainen mikroverkko, jossa on sekä hajautettua energiantuotantoa sekä kulutuspesteitä. Ohjelmiston avulla käyttäjä voi valita omaan tilanteeseensa optimaalisen energiaratkaisun esimerkiksi painottamalla optimointilaskelmia haluamallaan tavalla. Painotus voi olla esimerkiksi energiakustannusten minimoimisessa tai mahdollisimman ympäristöystävällisen energiaratkaisun löytämisessä.

Työssä esiteltiin ohjelmiston tarvitsemat alkutiedot, ohjelmiston asetukset, sekä tapa, jolla ohjelmisto antaa optimointilaskennan tulokset. Työssä esiteltiin myös ohjelmistoa käytännönläheisemmällä tasolla käyttöliittymäkuvien muodossa. Tärkeimmät asetukset ja parametrit ovat ohjelmiston käyttöliittymän välilehdillä *Site weather data*, *Load data*, *Utility* sekä *Technologies*.

Työn toisena tärkeänä osana oli DER-CAM-ohjelmistolla suoritettava esimerkkitarkastelu. Tähän esimerkkitarkasteluun tarvittiin esimerkkiympäristö. Esimerkkiympäristö perustui DER-CAM:n valmiiseen malliin Alaskan Fairbanksissa sijaitsevasta suuresta toimistorakennuksesta. Sää tiedot eivät kuitenkaan olleet ohjelmiston tietokannasta, vaan TTY:n Sähkötalon katolla sijaitsevan sääaseman mittaustuloksista. Esimerkkkitarkastelua myös rajoitettiin siten, että tuulivoiman hyödyntäminen ei ole mahdollista, koska tuulivoimalan sijoittaminen suuren toimistorakennuksen välittömään läheisyyteen ei ole kovin realistinen vaihtoehto. Sää tietojen syöttämisessä huomattiin myös mahdollinen ongelma esimerkiksi Suomen ympäristössä: ohjelmisto ei osaa käsitellä negatiivisia Celsius-asteikon negatiivisia arvoja, mikä vaikuttaa lopputuloksiin talviaikana.

Ennen esimerkkitarkastelua esiteltiin myös alustavan laskennan tarve. Alustava laskenta on välttämätön, jotta ohjelmistolla on jokin vertailukohta, jonka perusteella lasketaan esimerkiksi saavutetut taloudelliset säästöt sekä muutos hiilidioksidintuotannossa. Alustavan laskennan tulokset sijoitettiin ohjelmiston parametreiksi varsinaista optimointilaskelmaa varten.

Esimerkkkitarkastelu suoritettiin kahdesta näkökulmasta. Ensimmäisessä tarkastelussa tavoitteena oli minimoida vuotuiset energiakustannukset. Tuloksena saavutettiin lähes 17 %:n säästöt ja samalla hiilidioksidipäästötkin pienenevät noin 30 %. Kyseiset tulokset saavutettiin asentamalla huipputeholtaan 382 kW:n aurinkovoimala sekä 240 kWh:n paikallisakusto.

Ekologisen tarkastelun tavoitteena oli minimoida vuotuiset hiilidioksidipäästöt. Tavoitteen saavuttamiseksi ympäristöön asennettiin 382 kW:n aurinkovoimala ja 397 kWh:n paikallisakusto. Koska järjestelmät olivat hyvin samanlaiset molemmilla painotuksilla, tulokset olivat hyvin samankaltaiset. Ekologisella painotuksella hiilidioksidipäästöt pienivät hieman yli 30 %. Myös ekologisella painotuksella saavutettiin taloudellista hyötyä alkutilanteeseen verrattuna: noin 10 %. Tämän perusteella voitiinkin todeta, että ympäristöystävällinen energiaratkaisu ei automaattisesti ole kalliimpi kuin perinteinen, suuriin voimalaitoksiin ja pitkiin energiansiirtomatkoihin perustuva ratkaisu.

Tutkimuksessa havaittiin DER-CAM-ohjelmiston hyödyllisyys tilanteissa, joissa pohditaan hajautetun energiantuotannon ratkaisuja ja toimintamalleja. Vaikka esimerkkitarke-
telun ympäristö ei ollutkaan paras mahdollinen havainnollistamaan eri painotusten vaikutusta lopputuloksiin, myös DER-CAM:n mahdollisuus painottaa optimointilaskelmia haluamallaan tavalla havaittiin käyttäjälle erinomaiseksi ominaisuudeksi.

LÄHTEET

- [1] Chowdhury, S., Crossley, P. Microgrids and Active Distribution Networks, Institution of Engineering and Technology, Institution of Engineering and Technology, 2009, pp. 1-13, 279 p.
- [2] DER-CAM Presentation, Lawrence Berkeley National Laboratory, PDF-tiedosto, Saatavissa (viitattu 25.3.2018): <https://building-microgrid.lbl.gov/sites/default/files/projects/DER-CAM%20Presentation%2012%20May%202016.pdf>
- [3] Jung, J., Villaran, M. Optimal Planning and Design of Hybrid Renewable Energy Systems for Microgrids, Pergamon-Elsevier Science Ltd, Vol. 75, 2016, pp. 180-191.
- [4] Distributed Energy Resources - Customer Adaptation Model, Lawrence Berkeley National Laboratory, verkkosivu, Saatavissa (viitattu 25.3.2018): <https://building-microgrid.lbl.gov/projects/der-cam>
- [5] How to Access DER-CAM, Lawrence Berkeley National Laboratory, verkkosivu, Saatavissa (viitattu 25.3.2018): <https://building-microgrid.lbl.gov/projects/how-access-der-cam>
- [6] FAQ-Technology, National Wind Watch, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 29.4.2018): <https://www.wind-watch.org/faq-technology.php>
- [7] DEE Photovoltaic Power Plant Weather Station Data, Department of Electrical Engineering, Tampere University of Technology, verkkosivu, Saatavissa (viitattu 25.3.2018): <http://www.tut.fi/solar/>
- [8] Laki sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverosta, L 30.12.1996/1260, 1996, Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1996/19961260>
- [9] PG&E, Pacific Gas and Electric, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 30.4.1018): <https://www.pge.com/>

LIITE A: ESIMERKKITARKASTELUSSA KÄYTETYT PARAMET- RIT JA ASETUKSET

Tässä liitteessä on esitelty esimerkkitarkastelussa käytetyt asetukset ja parametrit tärkeimmiltä osiltaan. Liitteestä on jätetty pois välilehtiä, joilla on pelkkiä arvoja 0, sekä osa hyvin yksityiskohtaisista asetuksista ja parametreista, joita ei ole muutettu oletusarvoista ja joilla ei ole vaikutusta laskentaan tässä esimerkkiympäristössä. Kuvat ovat kuvakaappauksia DER-CAM:n käyttöliittymästä.

- *Global settings*
 - *Options table*

	F1	F2
▶ 1	DiscreteInvest	1
2	ContinuousInvest	1
3	DFChillInvest	1
4	WindInvest	0
5	SwitchInvest	1
6	NonPVSales	1
7	PVSales	1
8	NetMetering	0
9	InvestmentConst	0
10	StandbyOpt	0
11	VaryPrice	0
12	DisableCHP	0
13	CO2Tax	1
14	MinimizeCO2	0
15	ZNEB	0
16	MultiObjective	0
17	DiscreteElecStorage	0
18	LS	1
19	CentralHVACR	1
20	CentralHVACRInvest	0
21	GSHPAAnnualBalance	0
22	FuelCellConstraint	0
23	BuildingWallInvest	0
24	BuildingWindowInvest	0
25	BuildingDoorInvest	0
26	BuildingRoofInvest	0
27	BuildingGroundInvest	0

○ *Parameters table*

	F1	F2
▶ 1	IntRate	0.05
2	Standby	0
3	Contrct	0
4	turnvar	0
5	CO2Tax	0.18
6	macroeff	0.34
7	cooleff	0
8	BaseCaseCost	373195
9	BaseCaseCO2	678000
10	MaxPaybackPeriod	10
11	FractionBaseLoad	0.5
12	FractionPeakLoad	0.1
13	ReliabilityDER	0.9
14	MaxSpaceAvailablePVSolar	2500
15	PeakPVEfficiency	0.1529
16	MultiObjectiveMaxCosts	9999999
17	MultiObjectiveMaxCO2	9999999
18	MultiObjectiveWCosts	0.5
19	MultiObjectiveWCO2	0.5
20	ZNEBsolarAreaMultiplier	9.999
21	ZNEBCostsMultiplier	9.999
22	BldgShellLifetime	99
23	MinAnnDERGen	0
24	MinAnnRENGen	0
25	MaxAnnDERGen	9.99
26	EpsilonBaseCaseCost	-9999999
27	EpsilonMaxCO2	-9999999
28	EpsilonMaxPayBack	-99

○ *Number of days*

	F1	peak	week	weekend	emergency-week	emergency-peak	emergency-weekend
▶ 1	January	1	22	8	0	0	0
2	February	1	19	8	0	0	0
3	March	1	20	10	0	0	0
4	April	1	21	8	0	0	0
5	May	1	22	8	0	0	0
6	June	1	19	10	0	0	0
7	July	1	22	8	0	0	0
8	August	1	21	9	0	0	0
9	September	1	20	9	0	0	0
10	October	1	22	8	0	0	0
11	November	1	20	9	0	0	0
12	December	1	21	9	0	0	0

- **Site weather data**
 - *Solar insolation*

	month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
▶ 1	january	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.0095	0.0188	0.0276	0.0319	0.0285	0.0166	0.0077	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
2	february	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.0078	0.0489	0.1324	0.1986	0.2148	0.2575	0.2472	0.1396	0.0812	0.0203	0.0434	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
3	march	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.0105	0.0646	0.1931	0.1264	0.3206	0.4438	0.3044	0.4717	0.164	0.2816	0.113	0.0357	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
4	april	0.004	0.004	0.004	0.004	0.006	0.0309	0.185	0.2712	0.3721	0.5708	0.7161	0.2387	0.5585	0.6753	0.572	0.4198	0.3637	0.0691	0.0267	0.007	0.004	0.004	0.004	0.004
5	may	0.005	0.005	0.005	0.008	0.0187	0.0894	0.2123	0.3565	0.6196	0.6978	0.7666	0.8004	0.8	0.765	0.6916	0.5955	0.4742	0.3359	0.2074	0.0853	0.0126	0.005	0.004	0.004
6	june	0.006	0.006	0.007	0.0335	0.0781	0.1804	0.3689	0.4855	0.6124	0.7117	0.5081	0.6206	0.6952	0.8079	0.7358	0.5494	0.4791	0.3942	0.2684	0.1522	0.0336	0.013	0.006	0.005
7	july	0.006	0.006	0.007	0.0167	0.0322	0.199	0.3279	0.4441	0.6309	0.668	0.7649	0.7791	0.5059	0.8191	0.7221	0.6324	0.5142	0.374	0.2502	0.1308	0.0258	0.0098	0.006	0.006
8	august	0.007	0.007	0.007	0.007	0.0203	0.0762	0.1412	0.2254	0.325	0.5068	0.6989	0.6292	0.7072	0.7044	0.1916	0.281	0.1469	0.1841	0.1269	0.0292	0.006	0.006	0.006	0.006
9	september	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.009	0.0395	0.0489	0.1267	0.0867	0.1151	0.1315	0.1836	0.2812	0.1752	0.3573	0.0938	0.0537	0.0096	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007
10	october	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.0166	0.0402	0.0437	0.0966	0.1936	0.1697	0.3617	0.0491	0.1116	0.0196	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007
11	november	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.007	0.009	0.0178	0.033	0.0341	0.0368	0.0372	0.0156	0.007	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
12	december	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.008	0.0129	0.0121	0.0202	0.0145	0.0094	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006

- *Ambient hourly temperature*

	F1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
▶ 1	January	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	February	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	2	3.3	3.5	3.7	2.8	2.6	1.2	0.5	0	0	0	0	0	0
3	March	0.8	1.4	2.4	2.4	2.3	2	1.7	1.5	2	2.4	3.4	5.5	6.8	6.4	6.4	7.1	6.3	5.7	4.5	3.7	3.3	3.3	3.2	2.7
4	April	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4	1.7	1.1	1.1	0	0	0	0	0	0	0
5	May	8.7	7.4	7.1	6.6	5.8	4.9	5.6	5.9	6.9	7.3	7.9	8.2	9.2	10	10.2	9.2	8.8	7.7	6.7	5	3.6	2.6	1.7	1.2
6	June	8.5	8.7	8.2	8.6	9.4	9.5	11.7	13.3	14.8	15.9	17.5	18.3	18.8	18.9	20	21	20.6	19.9	19.5	18.8	17.7	15.8	14.2	12.9
7	July	10.2	9.2	9.2	9.2	9.4	11.3	13.1	15.1	16.2	16.7	18.5	19.8	20.4	21	21.8	21.5	21.1	20.1	19.6	18.8	17.7	16.2	14.6	13.8
8	August	10.3	9.5	9.7	9.8	9.8	10.4	11.1	12.7	14.6	17	19	20	19.8	20.9	20.2	20.3	19.3	19.4	18.5	17.2	15.8	14.6	13.7	12.7
9	September	11.2	11.1	10.8	10.5	10.4	10	10.1	10.6	11.2	10.6	11.3	11.6	12.1	12.7	12.3	13.8	12.1	11.3	10.7	10.4	9.7	9.2	9.4	8.6
10	October	5.6	5.6	5.7	5.7	5.8	5.8	6	6	6.4	6.5	7.4	9.3	9.6	11.1	9.7	10.1	9.2	8.3	7.7	6.9	6.7	6.3	6.6	6.3
11	November	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	1	0.6	0.4
12	December	0.9	1.1	1.5	1.7	2.8	2.4	2.8	3.1	3.4	3.7	4	4	4.1	3.9	3.5	3.3	2.7	2.4	2.3	2.4	2.1	1.6	1.3	0.6

- *Other location data*

	F1	F2
▶ 1	WindSpeed	5

- **Load data** (selkeyden vuoksi kuvia on jaettu usealle riville)

○ Load – electricity only

	type	month	daytype	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	electricity-only	January	week	16.9549	18.519	17.7591	18.6425	17.8197	30.2313	36.3114	82.3134	220.7342	220.6305	220.7342
2	electricity-only	February	week	19.0077	18.1182	19.6914	18.1506	19.7015	30.2753	36.8604	85.9568	230.8553	231.453	230.8553
3	electricity-only	March	week	15.831	14.6565	16.1598	15.0971	24.4797	34.3494	69.2167	182.5825	244.4184	244.4184	244.4184
4	electricity-only	April	week	13.7467	13.6527	14.3662	13.7107	27.8827	38.3043	89.8287	244.423	244.4719	244.5329	244.5674
5	electricity-only	May	week	12.8825	12.9317	12.8825	12.9317	25.1208	37.0606	85.9814	233.423	233.2989	234.1396	233.8042
6	electricity-only	June	week	12.8825	12.8825	12.8825	12.8825	25.765	38.817	89.8877	246.9827	247.8867	248.2555	248.5723
7	electricity-only	July	week	12.8825	12.8825	12.8825	12.8825	25.0493	37.4337	85.6207	234.1697	235.0005	235.4212	235.7712
8	electricity-only	August	week	12.8825	12.8825	12.8825	12.8825	25.765	38.6871	89.8287	245.9903	246.4414	246.8312	247.105
9	electricity-only	September	week	12.8825	12.9372	12.8825	12.9372	25.0493	36.8973	85.5539	231.567	231.6751	231.8976	232.0629
10	electricity-only	October	week	13.6569	14.1921	14.2411	14.3374	26.5841	36.9611	85.8307	232.2323	232.2841	232.2323	232.2841
11	electricity-only	November	week	17.113	16.0479	18.89	16.4679	19.2968	28.1492	36.2077	82.4171	220.6305	220.7342	220.6305
12	electricity-only	December	week	16.7626	18.1746	17.3223	18.4747	17.45	31.6346	37.45	85.6621	232.1185	231.6635	232.1185
13	electricity-only	January	peak	21.2122	16.5904	21.2616	16.5904	21.2616	29.4729	38.2988	89.8287	244.4184	244.4184	244.4184
14	electricity-only	February	peak	13.509	20.51	13.532	20.6194	13.532	36.459	38.2988	89.8287	244.4184	244.4184	244.4184
15	electricity-only	March	peak	16.1076	16.0272	17.1037	16.5904	30.4188	38.2988	89.8287	244.4184	244.4184	244.4184	244.4184
16	electricity-only	April	peak	12.8825	12.8825	12.8825	12.8825	25.765	38.3333	89.8287	244.465	244.6159	244.9185	245.2381
17	electricity-only	May	peak	12.8825	12.8825	12.8825	12.8825	25.765	38.8116	89.8824	247.0786	247.9367	248.2484	248.4496
18	electricity-only	June	peak	12.8825	12.8825	12.8825	12.8825	25.765	39.217	90.1809	249.9416	251.4118	251.6986	252.1386
19	electricity-only	July	peak	12.8825	12.8825	12.8825	12.8825	25.765	39.1897	90.2729	250.1936	251.8284	251.9805	252.7585
20	electricity-only	August	peak	12.8825	12.8825	12.8825	12.8825	25.765	38.8825	89.8287	247.1933	248.7277	249.2032	250.3414
21	electricity-only	September	peak	12.8825	12.8825	12.8825	12.8825	25.765	38.3207	89.8287	244.4184	244.674	245.0068	245.2589
22	electricity-only	October	peak	12.8825	12.8825	12.8825	12.8825	25.765	38.2988	89.8287	244.4184	244.4184	244.4184	244.435
23	electricity-only	November	peak	19.3	16.8656	20.6194	17.2034	33.5019	38.2988	89.8287	244.4184	244.4184	244.4184	244.4184
24	electricity-only	December	peak	13.1501	23.8446	13.2036	24.3274	13.2036	37.2098	38.2988	89.8287	244.4184	244.4184	244.4184
25	electricity-only	January	weekend	14.7181	17.9808	15.7116	18.0356	15.8993	18.0356	25.7406	14.1498	28.0982	71.5449	73.9025
26	electricity-only	February	weekend	20.7002	18.348	16.996	19.0063	18.3234	19.0464	18.5648	28.7328	28.3716	80.2627	79.9015
27	electricity-only	March	weekend	18.4444	15.7231	17.4794	18.3801	17.6522	18.6653	22.625	28.492	54.4978	80.0219	80.2627
28	electricity-only	April	weekend	18.8056	13.7564	13.9949	14.0934	14.1974	14.1722	26.9505	26.7993	78.5263	78.3292	78.5263
29	electricity-only	May	weekend	15.1136	12.8825	12.8825	12.8825	12.8825	12.8825	25.6304	25.5906	78.2066	77.1562	78.0784
30	electricity-only	June	weekend	12.8825	12.8825	12.8825	12.8825	12.8825	25.6905	26.2956	77.5538	79.417	77.5804	77.2283
31	electricity-only	July	weekend	12.8825	12.8825	12.8825	12.8825	12.8825	25.889	25.5906	78.1734	77.3493	78.2006	77.262
32	electricity-only	August	weekend	12.8825	12.8825	12.8825	12.8825	12.8825	25.7329	25.5906	77.1205	77.1206	77.1205	77.1205
33	electricity-only	September	weekend	12.8825	12.8825	12.8825	12.8825	12.8825	27.0026	27.0026	84.2581	84.2581	84.2581	84.2581
34	electricity-only	October	weekend	13.8589	14.1966	14.1185	14.3921	14.2726	25.6335	25.5216	71.4379	71.326	71.4379	71.326
35	electricity-only	November	weekend	18.0207	16.0944	18.6752	17.2911	18.6852	20.4682	29.7593	40.1071	81.2892	78.8531	81.2892
36	electricity-only	December	weekend	17.2253	19.0893	17.4261	19.1231	18.3133	19.2098	27.9015	29.3153	79.4394	80.8452	79.4394

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
220.6305	220.7342	220.6305	220.7342	220.6305	220.7342	174.5248	128.5228	128.4191	82.4171	82.3134	26.0852	16.7722
231.453	230.8553	231.453	230.8553	231.453	230.8553	182.9542	133.8578	134.4555	85.3591	85.9698	25.5602	16.3497
244.4184	244.4184	244.4184	244.4184	244.4184	244.4184	213.5004	161.9705	141.3586	110.4406	89.8287	51.3904	13.5582
244.501	244.7837	244.8635	244.9085	244.9211	193.0476	141.3663	141.3586	89.8287	89.8287	25.765	12.8825	12.9288
233.2627	234.9813	234.8052	235.2973	234.9215	185.4153	135.0308	135.6353	85.9951	86.587	25.1208	12.8825	12.8825
247.2855	249.6729	250.2258	250.2795	250.4454	196.6627	142.6138	142.4431	90.2566	90.1687	25.765	12.8825	12.8825
234.5598	237.291	237.7937	237.8821	238.1832	187.1934	135.7538	135.3844	85.8562	85.741	25.0493	12.8825	12.8825
246.0974	248.1673	248.706	248.7991	248.6915	195.3863	142.0157	141.7657	89.8813	89.8365	25.765	12.8825	12.8825
231.6456	232.4868	232.6133	232.758	232.8855	183.3971	134.2252	134.221	85.5539	85.5539	25.0493	12.8825	12.8825
232.2323	232.3071	232.2817	232.331	232.2696	183.4663	134.5967	134.6485	85.7789	85.8307	25.0869	12.9343	13.0432
220.7342	220.6305	220.6835	220.6305	220.6835	220.6305	174.5778	128.4191	128.4721	82.3134	82.3664	24.9932	14.3883
231.6635	232.1185	231.6635	232.1185	231.6635	232.1185	182.9964	134.7843	134.3293	86.1171	85.6621	25.7772	16.3698
244.4184	244.4184	244.4184	244.4184	244.4184	244.4184	192.8885	141.3586	141.3586	89.8287	89.8287	29.1371	15.8687
244.4184	244.4184	244.4184	244.4184	244.4184	244.4184	192.8885	141.3586	141.3586	89.8287	89.8287	28.6133	16.2984
244.4184	244.4206	244.5559	244.5346	244.4184	192.8885	141.3586	141.3586	89.8287	89.8287	25.765	13.1014	13.1561
244.8123	246.9711	247.7225	247.4651	246.9294	193.9688	141.3997	141.3586	89.8287	89.8287	25.765	12.8825	12.8825
247.5366	250.4775	251.1768	250.9242	250.4108	196.748	142.5754	142.1017	89.8287	89.8287	25.765	12.8825	12.8825
250.5225	253.9853	254.836	255.5552	256.1881	201.767	145.5941	144.9226	91.2257	90.9939	25.765	12.8825	12.8825
251.1602	255.2986	256.1597	255.6115	256.5125	201.5784	145.3157	144.313	90.6981	90.37	25.765	12.8825	12.8825
249.3424	253.6133	254.4837	254.432	254.0172	199.4907	143.8443	143.0834	90.0494	89.8318	25.765	12.8825	12.8825
244.7943	246.2284	247.0873	247.6112	247.2217	194.123	141.5097	141.3586	89.8287	89.8287	25.765	12.8825	12.8825
244.4308	244.9554	245.1483	245.2512	245.1364	192.8994	141.3586	141.3586	89.8287	89.8287	25.765	12.8825	12.8825
244.4184	244.4184	244.4184	244.4184	244.4184	192.8885	141.3586	141.3586	89.8287	89.8287	25.765	13.7191	19.0999
244.4184	244.4184	244.4184	244.4184	244.4184	192.8885	141.3586	141.3586	89.8287	89.8287	25.765	15.8516	
71.5449	73.9025	72.5588	73.9025	32.5926	33.8237	32.5926	22.3726	15.6648	18.1419	15.768	20.092	15.7899
80.2627	79.9015	80.2627	79.9015	35.174	34.8128	35.174	21.9303	17.1831	16.7622	17.7383	18.2332	17.881
80.0219	80.2627	80.0219	57.7184	34.9332	34.9332	28.492	18.9173	15.9822	16.8398	17.2815	18.5934	17.4179
78.2329	78.3314	78.2343	34.0032	33.1442	33.1442	20.2618	13.9949	13.9949	14.1612	14.1344	14.1919	14.3602
77.1205	77.1205	77.6275	32.0921	32.0319	32.0319	20.3058	12.9954	14.2702	13.0056	12.8825	12.8825	12.8825
78.4522	77.5667	33.6238	32.2122	32.0331	20.0962	14.6624	14.5692	15.5547	14.4405	14.1498	12.8825	12.8825
78.2006	77.5738	35.4002	32.2532	33.1837	20.3467	14.9076	16.4322	14.1579	13.4908	12.8825	12.8825	12.8825
77.1866	77.2956	33.2904	32.1673	32.0511	20.4476	14.0352	12.8825	14.3934	12.8825	12.8825	12.8825	12.8825
84.2891	84.4239	34.2939	34.2438	34.1617	19.8457	12.8825	12.8825	12.8825	12.8825	12.9919	12.8825	12.9919
71.3284	71.326	31.2496	31.1401	31.2496	19.7985	14.3171	14.2279	14.4992	14.3185	14.5539	14.335	14.5539
78.875	81.2892	67.6028	36.2005	33.7863	32.9799	19.3371	18.1094	14.8876	18.534	15.0036	18.5648	16.1442
80.8452	79.4394	80.8452	34.3508	35.7565	34.3508	22.874	15.2909	17.9872	17.0588	19.7189	17.4064	20.2354

○ Load - space-heating

	type	month	daytype	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
109	space-heat...	January	week	40.0524	29.1371	56.1988	37.3548	58.0671	42.496	259.1...	600.0196	470.9186	409.1771	392.0274
110	space-heat...	February	week	7.6858	17.0344	18.4085	28.0545	23.0223	34.7741	254.1...	654.1586	475.1498	402.6116	351.821
111	space-heat...	March	week	3.4874	3.8104	8.4801	5.1034	12.5406	102.259	370.8...	382.3132	287.5931	231.4527	185.7068
112	space-heat...	April	week	0.1578	0.0951	0.379	0.2076	1.1401	72.5229	168.4...	115.3759	92.2399	69.662	54.4313
113	space-heat...	May	week	0	0	0	0	0	21.7223	24.4103	5.9755	2.9686	1.5653	0.9685
114	space-heat...	June	week	0	0	0	0	0	2.1007	0.8037	0.0607	0.0166	0.0369	0.0347
115	space-heat...	July	week	0	0	0	0	0	1.416	0.3903	0.007	0	0	0
116	space-heat...	August	week	0	0	0	0	0	8.0381	6.5226	1.1694	0.4358	0.2514	0.1363
117	space-heat...	September	week	0	0	0	0	0	45.7678	64.2101	32.284	20.6274	14.3216	9.7151
118	space-heat...	October	week	1.401	0.3633	2.059	0.7737	2.7087	104.4...	215.5...	161.9014	147.3237	117.301	101.5601
119	space-heat...	November	week	4.0956	9.7505	7.0672	13.6361	11.1587	41.8555	251.7...	438.4576	334.5288	304.6404	275.3384
120	space-heat...	December	week	6.5945	15.2554	12.1042	24.0973	16.7635	29.6919	187.8...	529.539	409.6867	360.4096	322.7679
121	space-heat...	January	peak	151.9...	51.4163	156.0...	57.3346	162.5...	62.7939	574.7...	1127.6...	774.0144	652.1384	581.2438
122	space-heat...	February	peak	59.0974	62.8341	65.8343	75.2797	69.9669	80.9733	392.6...	925.0043	674.0239	572.0123	489.3091
123	space-heat...	March	peak	63.8491	27.6978	71.1571	33.4186	82.9885	403.5...	967.4...	616.2358	471.0082	330.4899	257.0737
124	space-heat...	April	peak	17.9621	17.9377	23.7037	22.2202	30.1364	286.5...	782.0...	461.5459	338.1241	245.3378	193.2347
125	space-heat...	May	peak	0	0.6668	0	0.7592	0	52.0474	67.5439	23.1339	10.6578	3.544	2.0176
126	space-heat...	June	peak	0	0	0	0	0	20.1721	19.1127	4.0822	1.3901	0.4324	0.1754
127	space-heat...	July	peak	0	0	0	0	0	12.3005	8.4506	1.5006	0.8557	0.3495	0.3585
128	space-heat...	August	peak	0	0	0	0	0	44.6634	57.0751	22.2238	8.4679	4.2116	2.8004
129	space-heat...	September	peak	0	0.9727	0	1.5707	0	117.8...	244.0...	162.0871	133.4614	101.3792	69.9664
130	space-heat...	October	peak	13.8735	40.3602	12.6576	45.2024	12.4777	338.1...	760.0...	467.699	403.3725	301.9263	275.7627
131	space-heat...	November	peak	75.2232	28.9901	73.0423	29.2332	77.2111	32.8407	444.7...	982.8232	634.9797	493.4503	415.0955
132	space-heat...	December	peak	39.9793	60.9528	40.5913	65.1675	43.1654	74.5052	507.9...	1064.9...	675.3752	549.6382	486.3161
133	space-heat...	January	weekend	44.4943	16.0008	49.072	20.0751	52.8965	25.4443	126.6...	213.6169	200.9695	166.9748	178.7226
134	space-heat...	February	weekend	31.5166	16.1768	62.8868	24.7286	51.6535	33.5462	132.7...	352.0086	294.4073	243.5018	219.9099
135	space-heat...	March	weekend	6.5784	11.312	12.9021	18.4542	19.6092	64.413	175.7...	242.7138	207.5301	181.4585	152.3106
136	space-heat...	April	weekend	1.0105	1.8538	2.2086	3.044	3.9563	49.7675	157.1...	117.3938	94.0505	75.2436	62.8664
137	space-heat...	May	weekend	0	0	0	0	0	13.3016	19.7069	13.525	10.6175	6.5429	5.59
138	space-heat...	June	weekend	0	0	0	0	0	3.9047	4.8183	3.5939	2.1158	1.9584	1.2389
139	space-heat...	July	weekend	0	0	0	0	0	0.3726	0.0798	0.0342	0.1258	0.1907	0.1769
140	space-heat...	August	weekend	0	0	0	0	0	5.0452	4.1495	2.1695	1.3834	1.0644	0.7814
141	space-heat...	September	weekend	0	0	0	0	0	31.635	69.723	50.0405	39.3685	26.6017	16.4529
142	space-heat...	October	weekend	0.7875	3.9019	1.8574	5.9225	3.3037	48.0603	85.1966	80.322	71.18	72.2023	58.7021
143	space-heat...	November	weekend	11.7585	6.3591	16.89	12.1846	22.9319	39.9225	167.2...	285.8269	245.8625	211.4525	209.1651
144	space-heat...	December	weekend	10.4814	17.5221	16.261	26.3503	21.3395	31.5423	117.4...	329.6945	261.0908	248.6505	230.8391

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
359.5329	353.5311	320.5203	319.285	303.0914	310.8554	305.8615	325.7467	317.2907	341.6...	336.5...	22.1429	9.995
311.5547	282.4083	252.3625	224.2091	237.8862	249.7003	271.667	313.6255	342.3883	360.509	372.2...	1.0074	6.2741
155.7318	137.6445	122.4515	116.5734	116.3916	125.9262	139.4394	157.9008	202.0431	212.7...	90.7341	0.2341	0.2799
46.9605	37.9007	32.4158	28.3044	26.8385	27.9167	30.6127	36.872	47.2436	59.1997	0	0	0
1.1277	0.3861	0.2416	0.1067	0.2152	0.4508	0.7404	0.925	2.9846	5.1801	0	0	0
0.0784	0.0048	0.0003	0	0	0	0.0323	0.0748	0.2019	0.7081	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0.0004	0.0045	0	0	0
0.1193	0.0343	0.0284	0.0226	0.0165	0.0338	0.0731	0.1535	1.0463	1.8086	0	0	0
9.1823	6.78	5.4017	3.3938	2.4557	3.5298	6.9894	9.883	16.3579	21.2854	0	0	0
85.6983	71.8683	67.3502	66.0782	64.5871	77.7782	89.9205	97.1774	110.0759	123.0...	0	0.5866	0.1082
257.9239	232.2359	217.4779	198.1537	224.2375	235.0838	254.1054	257.5404	263.6778	264.1...	220.8...	1.6012	6.7193
323.6107	315.7529	303.3288	294.0903	300.6143	307.1028	312.5601	314.1154	340.6953	352.017	356.7...	4.9379	7.2008
531.356	503.05	468.9079	444.8198	435.2149	434.8207	448.9475	476.2415	493.1986	515.3...	527.9...	6.8642	5.226
452.4009	431.8255	391.0179	340.6091	344.0798	355.2512	378.143	412.5619	426.7714	443.7...	455.8...	3.0077	2.9166
223.3535	195.2204	185.8834	176.205	172.1424	179.5375	200.3736	222.0091	277.0124	327.1...	0	2.5247	0.589
159.2493	134.745	117.4185	101.7159	103.3883	109.4323	119.1042	143.4199	178.3805	212.1...	0	0	0.2509
2.3757	1.4344	0.5749	0.2852	0.1832	0.3059	1.3161	2.5479	4.587	9.0162	0	0	0
0.1725	0.0245	0	0.043	0.0454	0.1389	0.8862	1.7388	3.962	3.3026	0	0	0
0.4616	0.2681	0.0816	0.0268	0.0054	0.0516	0.2074	0.2609	0.7669	1.359	0	0	0
3.6128	1.4567	1.1366	0.7306	0.5715	1.4969	3.7621	3.2099	6.2424	8.2955	0	0	0
47.3157	33.1423	23.4095	14.7499	10.9736	18.3813	33.787	50.0891	70.0521	76.7138	0	0	0
208.9255	183.4326	168.7555	169.0794	174.8038	193.1897	237.9906	244.9211	290.5741	265.0...	0	0	1.1447
365.9169	338.5591	276.2936	237.9864	281.202	321.8837	321.5058	317.8026	302.0172	290.9...	320.5...	0	0.8137
446.0113	425.707	399.5932	387.5846	383.1939	381.4572	388.8307	406.7883	415.2986	430.2...	438.9...	0.8103	5.312
149.2544	166.8704	143.8928	171.6724	156.774	185.9121	169.8268	55.0989	37.1527	59.3152	44.0519	63.7105	52.9075
195.0555	191.8686	173.8625	181.988	180.2978	204.3094	211.3061	31.7693	22.4812	36.4175	27.6847	46.2286	36.3012
136.7149	118.4449	106.9171	112.8183	129.1532	134.7733	85.1422	11.7748	13.2158	15.5203	16.7962	25.4574	21.9428
54.0654	49.3667	47.9555	44.9533	46.2635	49.5825	1.669	1.6586	2.3838	2.7063	3.9077	4.3717	5.547
3.4588	2.3838	4.4043	3.6733	4.3007	5.8456	0	0	0	0	0	0	0
0.8534	0.6476	1.566	1.7273	1.159	1.6008	0	0	0	0	0	0	0
0.1016	0.0997	0.6319	0.8404	0.41	0.5565	0	0	0	0	0	0	0
0.2712	0.3386	1.0042	1.2485	1.3794	1.9128	0	0	0	0	0	0	0
12.4153	9.5808	11.2418	10.098	9.6069	11.8317	0	0	0	0	0.1942	0	0.2609
59.5451	49.6486	55.3157	50.8302	65.3046	79.4434	8.5928	4.0128	9.8159	5.3948	11.7771	6.7473	14.1341
180.7044	176.3111	156.6044	167.4209	157.8376	172.2021	110.4022	25.3406	11.6936	30.5548	13.6789	36.0744	16.0514
227.7097	197.1099	200.6191	199.7285	207.0011	208.5625	231.0312	16.8344	27.419	20.2273	33.3205	23.264	36.9397

○ Load – water-heating

	type	month	daytype	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
145	water-heating	January	week	0.5996	0.5002	0.6393	0.5598	0.54	0.8394	0.7792	1.9457	3.3988	3.6156	3.8241
146	water-heating	February	week	0.6295	0.4878	0.6697	0.5142	0.6031	0.8488	0.7372	2.0177	3.55	3.828	4.0113
147	water-heating	March	week	0.5886	0.5509	0.5886	0.5509	0.7594	0.873	1.5614	3.0107	3.9488	4.1562	4.6953
148	water-heating	April	week	0.5364	0.6474	0.492	0.6474	0.8709	0.7594	2.085	3.7539	4.0546	4.2155	5.0131
149	water-heating	May	week	0.4941	0.6263	0.5661	0.5732	0.8731	0.7405	2.0198	3.5748	3.8699	4.0263	4.8181
150	water-heating	June	week	0.5103	0.6289	0.5001	0.6193	0.8989	0.7593	1.9656	3.6954	3.9764	4.0984	4.923
151	water-heating	July	week	0.5485	0.5486	0.5066	0.5531	0.8388	0.7382	1.8619	3.3057	3.6309	3.6544	4.4271
152	water-heating	August	week	0.5506	0.5506	0.4751	0.5317	0.816	0.7377	1.8398	3.4054	3.6507	3.7855	4.5566
153	water-heating	September	week	0.5065	0.5695	0.4437	0.5066	0.8223	0.6541	1.7923	3.1816	3.5416	3.5033	4.31
154	water-heating	October	week	0.5	0.5993	0.4603	0.5596	0.8191	0.7194	1.824	3.2851	3.4838	3.6452	4.4101
155	water-heating	November	week	0.5399	0.5399	0.5001	0.5796	0.5997	0.8193	0.9203	2.0386	3.347	3.4988	3.7739
156	water-heating	December	week	0.6117	0.5278	0.6117	0.5488	0.5698	0.8649	0.7804	1.9901	3.5663	3.8082	3.98
157	water-heating	January	peak	0.381	0.7586	0.381	0.7586	0.5069	1.012	0.7594	1.9059	3.8447	4.2355	3.8528
158	water-heating	February	peak	0.381	0.7586	0.381	0.7586	0.381	1.1381	0.7594	1.9059	3.8444	4.2357	3.8529
159	water-heating	March	peak	0.7586	0.381	0.7586	0.6327	0.8859	0.7594	1.906	3.8444	4.2358	3.8527	5.0326
160	water-heating	April	peak	0.7585	0.3809	0.7585	0.3809	1.1379	0.7594	1.9055	3.8446	4.2358	3.8523	5.0325
161	water-heating	May	peak	0.7585	0.3809	0.7585	0.5067	1.0117	0.7594	1.9056	3.8444	4.2364	3.853	5.0324
162	water-heating	June	peak	0.6327	0.5067	0.6327	0.6325	0.8855	0.7594	1.9059	3.8442	4.2353	3.8524	5.0316
163	water-heating	July	peak	0.3808	0.7583	0.3807	0.7582	0.7594	0.7593	1.905	3.4565	3.8469	4.1056	4.638
164	water-heating	August	peak	0.3808	0.5066	0.6324	0.5066	0.7592	0.7591	1.7771	3.4532	3.7148	3.8444	4.2461
165	water-heating	September	peak	0.6323	0.3807	0.5066	0.6324	0.7593	0.7591	1.9036	3.1971	3.7142	3.8436	4.2446
166	water-heating	October	peak	0.3809	0.7584	0.3809	0.5068	1.0116	0.6333	1.9043	3.4552	3.8453	3.8464	4.636
167	water-heating	November	peak	0.381	0.7585	0.381	0.7585	0.381	1.1379	0.7594	1.9054	3.7145	3.9152	4.169
168	water-heating	December	peak	0.381	0.7585	0.381	0.7586	0.5069	1.012	0.7595	1.9059	3.8443	4.1646	3.924
169	water-heating	January	weekend	0.5486	0.5487	0.4648	0.4648	0.6744	0.8436	0.5491	0.7181	0.888	1.4389	1.2279
170	water-heating	February	weekend	0.5696	0.5697	0.3809	0.5697	0.5224	0.996	0.5701	0.7603	0.9514	1.5239	1.3338
171	water-heating	March	weekend	0.5696	0.5697	0.3809	0.5697	0.6176	0.9008	0.7599	0.8558	1.1431	1.428	1.4306
172	water-heating	April	weekend	0.5695	0.5696	0.4563	0.4941	0.7596	0.7588	0.9497	0.9512	1.3348	1.3319	1.5273
173	water-heating	May	weekend	0.6638	0.428	0.5694	0.3808	0.854	0.8061	0.8075	0.9512	1.382	1.2847	1.6218
174	water-heating	June	weekend	0.7111	0.428	0.5233	0.427	0.854	0.7116	0.9021	0.9511	1.2871	1.2854	1.5733
175	water-heating	July	weekend	0.4562	0.5317	0.4185	0.494	0.797	0.6454	0.7977	0.9508	1.2576	1.1803	1.4871
176	water-heating	August	weekend	0.5222	0.5222	0.3807	0.4751	0.8536	0.5226	0.7597	0.9033	1.3332	1.0947	1.4219
177	water-heating	September	weekend	0.5065	0.4646	0.4646	0.5065	0.7591	0.6328	0.8017	0.9296	1.3548	1.2268	1.4816
178	water-heating	October	weekend	0.5065	0.4227	0.4227	0.4646	0.8012	0.5908	0.7596	0.929	1.1432	1.0431	1.4537
179	water-heating	November	weekend	0.5224	0.5224	0.4281	0.5696	0.5227	0.7594	0.6647	0.9023	1.0943	1.2241	1.3473
180	water-heating	December	weekend	0.6073	0.4942	0.5319	0.4564	0.6829	0.7974	0.5701	0.7603	1.0651	1.4098	1.3338

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
4.5821	5.4925	5.2302	3.3765	3.1925	4.2296	2.5768	2.0881	1.5565	1.6681	0.879	0.5598	0.5598
4.7804	5.7145	5.4715	3.4701	3.3754	4.3864	2.7049	2.1498	1.611	1.7337	0.9286	0.5143	0.6031
5.6333	5.8546	4.5589	3.5142	4.2609	3.538	2.502	1.9237	1.7508	1.236	0.7214	0.5509	0.5886
6.0327	5.7702	3.6385	3.5463	4.6594	2.8153	2.2418	1.7007	1.8143	0.9376	0.4921	0.6474	0.5364
5.7802	5.4984	3.5005	3.409	4.4442	2.7184	2.1663	1.5678	1.8081	0.8923	0.5652	0.5553	0.5885
5.897	5.6624	3.5778	3.4749	4.5742	2.7963	2.1686	1.6016	1.8434	0.859	0.5399	0.5995	0.5398
5.3869	5.1112	3.2334	3.1533	4.1356	2.5051	2.033	1.4576	1.6491	0.8644	0.4648	0.5695	0.5485
5.4333	5.23	3.2592	3.2247	4.2541	2.5021	2.0771	1.4447	1.6741	0.8161	0.513	0.5507	0.494
5.1717	4.9177	3.141	2.959	4.0251	2.3898	1.9559	1.4152	1.6274	0.7784	0.4875	0.5485	0.5276
5.25	5.0788	3.1489	3.1277	4.1192	2.3929	2.0461	1.4407	1.5622	0.8986	0.4604	0.5199	0.5596
4.473	5.2067	4.7808	3.1162	3.3151	3.7329	2.3331	1.886	1.5215	1.482	0.7792	0.5399	0.5598
4.794	5.7198	5.4923	3.4788	3.327	4.4217	2.7201	2.1617	1.6059	1.7556	0.8436	0.5698	0.5488
5.0325	6.2309	5.8299	3.4573	3.5847	4.8949	2.677	2.289	1.5218	1.904	0.7596	0.7586	0.5069
5.0322	6.2304	5.8299	3.4575	3.4658	5.0149	2.6772	2.2889	1.5217	1.904	0.7596	0.7586	0.381
6.2307	5.83	3.4575	3.84	4.6352	2.6778	2.2891	1.522	1.9039	0.7597	0.7586	0.6326	0.5069
6.2306	5.8303	3.4577	3.4566	5.0235	2.6778	2.2889	1.5218	1.9037	0.7596	0.7586	0.3809	0.7585
6.2307	5.8299	3.4572	3.7437	4.7331	2.6777	2.2892	1.522	1.9038	0.7596	0.7586	0.5067	0.6327
6.2293	5.8285	3.4575	3.4561	4.7653	2.8051	2.2892	1.6486	1.7769	0.8856	0.6327	0.5067	0.6326
5.8302	5.4317	3.4545	3.4523	4.3729	2.6756	2.1608	1.521	1.7761	0.7594	0.6326	0.5067	0.6325
5.7352	5.1236	3.3234	3.1943	4.2263	2.4326	2.1598	1.394	1.7753	0.7593	0.5067	0.5067	0.5066
5.4331	5.4238	3.0672	3.3219	4.1052	2.5522	1.9055	1.5208	1.9019	0.759	0.3809	0.5066	0.6325
5.8272	5.0396	3.4545	3.4519	4.2425	2.6752	2.1601	1.5209	1.6491	0.8854	0.5068	0.5067	0.6325
4.6941	6.1717	5.4359	3.7126	3.4536	4.6329	2.6767	2.2879	1.521	1.7764	0.8855	0.381	0.7585
5.0332	6.2308	5.8301	3.4574	3.7126	4.7648	2.6775	2.288	1.5218	1.9039	0.7596	0.7586	0.5068
1.44	1.2795	1.4288	1.267	0.7185	0.8878	0.8427	0.6331	0.549	0.5491	0.8018	0.7164	0.3809
1.5252	1.3347	1.5222	1.3305	0.7607	0.9511	0.7588	0.7119	0.6173	0.5701	0.7598	0.7583	0.3809
1.429	1.6183	1.2838	1.0932	0.8558	0.7605	0.7588	0.5701	0.6646	0.8069	0.523	0.7583	0.3809
1.3329	1.7128	1.1403	0.9505	0.9508	0.57	0.7588	0.5701	0.57	0.9489	0.3808	0.7583	0.3808
1.3611	1.5898	1.1404	0.9505	0.9509	0.57	0.7588	0.5701	0.57	0.9489	0.428	0.7111	0.428
1.3803	1.57	1.0933	0.9973	0.9034	0.6171	0.6172	0.6172	0.6172	0.9489	0.4751	0.5696	0.428
1.3705	1.4081	1.1398	0.8364	0.9126	0.6453	0.6454	0.5699	0.6076	0.7594	0.5317	0.4563	0.5317
1.3389	1.3315	1.0451	0.8551	0.8556	0.617	0.5699	0.617	0.5697	0.7831	0.4987	0.5222	0.4278
1.3963	1.3946	1.0561	0.9708	0.9291	0.5908	0.5909	0.5908	0.5489	0.8014	0.4646	0.5485	0.3807
1.1425	1.4366	0.9295	0.928	0.845	0.5488	0.5069	0.5069	0.5908	0.8015	0.5485	0.5065	0.5066
1.3349	1.4751	1.4739	0.951	1.0444	0.8554	0.5227	0.57	0.6172	0.7118	0.8068	0.4752	0.4752
1.5252	1.393	1.4637	1.2925	0.7987	0.9511	0.8721	0.6079	0.5701	0.5701	0.7977	0.7206	0.4187

- *Utility* (selkeyden vuoksi kuvia on jaettu usealle riville)
 - *Global settings*
 - *Marginal CO2 emissions*

	F1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
▶ 1	January	0.481746583	0.480936526	0.494054128	0.486273062	0.485150078	0.509145785	0.525330791	0.516663906	0.507155512	0.497523708	0.504104566
2	February	0.504965908	0.521956621	0.507946724	0.53068471	0.516157864	0.506402525	0.507069358	0.5293347	0.509769645	0.503835412	0.492813116
3	March	0.5053582	0.556058867	0.557902993	0.547899422	0.529392109	0.520293926	0.500453832	0.501196474	0.486287422	0.484293627	0.474786678
4	April	0.524414291	0.546542175	0.616499733	0.604602223	0.559804894	0.502737779	0.532098798	0.509197359	0.50796506	0.501644473	0.502819122
5	May	0.531052814	0.564394651	0.580164246	0.565106113	0.544601901	0.495560258	0.522344909	0.51348947	0.499671515	0.485817883	0.483296476
6	June	0.500379835	0.485026777	0.539777959	0.538613995	0.428604814	0.49317292	0.513156044	0.509790898	0.460039986	0.483845887	0.496333347
7	July	0.482737281	0.496777447	0.48369147	0.490346581	0.504696274	0.492577859	0.492545235	0.511379084	0.517888908	0.517763346	0.516429018
8	August	0.519714278	0.511717295	0.52002478	0.518496413	0.534491071	0.518157568	0.51258708	0.491244194	0.505201984	0.519342537	0.535581403
9	September	0.511319061	0.480955649	0.492512363	0.511786053	0.485706068	0.532907631	0.50653321	0.516833168	0.5269343	0.518591994	0.517868893
10	October	0.489221462	0.495747928	0.50143607	0.506515208	0.516648487	0.502418965	0.529823131	0.529581737	0.513463098	0.504507803	0.51513967
11	November	0.503811212	0.493479136	0.503063669	0.514076295	0.501754091	0.492877271	0.520685843	0.502337031	0.523283088	0.508793314	0.510443889
12	December	0.486977303	0.50697829	0.505844562	0.502001081	0.51666905	0.501390618	0.523289251	0.508057703	0.517834019	0.503992296	0.497395331

	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	0.503535631	0.508636132	0.492484539	0.51061657	0.52512943	0.520751755	0.512332234	0.506786653	0.488385143	0.519013373	0.509525247	0.49779788	0.4736548
	0.486018443	0.489844955	0.50105223	0.496736778	0.496172794	0.527699663	0.539537123	0.515270076	0.506900737	0.495170836	0.498236731	0.49162239	0.488536277
	0.482221377	0.482418787	0.486844493	0.49357254	0.495440217	0.487876409	0.498711987	0.491089313	0.483829801	0.484754768	0.487540816	0.491126213	0.513775955
	0.506566405	0.498736634	0.505787333	0.507096546	0.47976234	0.517789125	0.51745784	0.487059887	0.580973896	0.541363252	0.507696174	0.516368172	0.506394334
	0.491006655	0.48057768	0.481858705	0.496508359	0.518177756	0.533902773	0.483607966	0.492716847	0.526674433	0.496700878	0.482293432	0.499074396	0.511605014
	0.469993837	0.502262812	0.514911172	0.514323199	0.519923212	0.556999724	0.507665457	0.494186101	0.467815537	0.501936022	0.50137208	0.467074771	0.477093349
	0.53896249	0.556764008	0.51482879	0.48155186	0.453167394	0.525339169	0.530317752	0.529394542	0.533351049	0.52251434	0.511569534	0.488972303	0.478241591
	0.540975659	0.532140653	0.544072205	0.510542486	0.542147949	0.51624128	0.528391058	0.545484781	0.563651832	0.531649848	0.510696889	0.511494442	0.527223514
	0.540586242	0.541014058	0.511214335	0.543120744	0.490953192	0.527608904	0.544533074	0.549210015	0.542517392	0.540444325	0.535969879	0.501807315	0.513738185
	0.510499716	0.523030811	0.508510248	0.509772396	0.512870721	0.528474178	0.521526414	0.523091542	0.519102938	0.499143006	0.488738925	0.494584203	0.491702767
	0.503323776	0.515631365	0.511405326	0.516234281	0.512005592	0.523321493	0.518881813	0.504159909	0.504846578	0.511652307	0.50399947	0.492158646	0.489155284
	0.505513615	0.521762796	0.510844657	0.510961287	0.526539345	0.531712554	0.526834337	0.517609932	0.505767436	0.503938689	0.495273795	0.507042574	0.486324336

- *Fuel CO2 emissions rate*

	F1	F2
▶ 1	NGbasic	0.18108
2	NGforDG	0.18108
3	NGforAbs	0.18108
4	Diesel	0.24964
5	BioDiesel	0.0757
6	Other	0

- *Monthly access fee*

	F1	F2
▶ 1	UtilElectric	140.29
2	UtilNGbasic	151.13299
3	UtilNGforDG	0
4	UtilNGforABS	0
5	UtilDiesel	0

- *Month and season*

	F1	Summer	Winter
▶ 1	January	0	1
2	February	0	1
3	March	0	1
4	April	0	1
5	May	1	0
6	June	1	0
7	July	1	0
8	August	1	0
9	September	1	0
10	October	1	0
11	November	0	1
12	December	0	1

- *Electricity rates*

- *List of hours*

	F1	F2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
▶ 1	Summer	peak	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3
2	Summer	week	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3
3	Summer	weekend	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	Winter	peak	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3
5	Winter	week	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3
6	Winter	weekend	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

- *Electricity rates*

	F1	On	Mid	Off
▶ 1	January	0	0.10185	0.07797
2	February	0	0.10185	0.07797
3	March	0	0.10185	0.07797
4	April	0	0.10185	0.07797
5	May	0.16233	0.10219	0.07397
6	June	0.16233	0.10219	0.07397
7	July	0.16233	0.10219	0.07397
8	August	0.16233	0.10219	0.07397
9	September	0.16233	0.10219	0.07397
10	October	0.16233	0.10219	0.07397
11	November	0	0.10185	0.07797
12	December	0	0.10185	0.07797

- *Monthly demand rates*

	F1	coincident	noncoincident	onpeak	midpeak	offpeak
▶ 1	January	0	15.07	0	0.24	0
2	February	0	15.07	0	0.24	0
3	March	0	15.07	0	0.24	0
4	April	0	15.07	0	4.42	0
5	May	0	15.07	19.04	4.42	0
6	June	0	15.07	19.04	4.42	0
7	July	0	15.07	19.04	4.42	0
8	August	0	15.07	19.04	4.42	0
9	September	0	15.07	19.04	4.42	0
10	October	0	15.07	19.04	4.42	0
11	November	0	15.07	0	0.24	0
12	December	0	15.07	0	0.24	0

- *Coincident hour*

	F1	F2
▶ 1	January	18
2	February	18
3	March	18
4	April	18
5	May	18
6	June	18
7	July	18
8	August	18
9	September	18
10	October	18
11	November	18
12	December	18

- *Fuel rates*

- *Fuel price*

	F1	NGbasic	NGforDG	NGforAbs	Diesel	BioDiesel	Other
▶ 1	January	0.0307	0.0307	0.0307	0.0854	0	0
2	February	0.033	0.033	0.033	0.0827	0	0
3	March	0.0348	0.0348	0.0348	0.0846	0	0
4	April	0.0286	0.0286	0.0286	0.08234	0	0
5	May	0.03	0.03	0.03	0.0865	0	0
6	June	0.0287	0.0287	0.0287	0.0849	0	0
7	July	0.0304	0.0304	0.0304	0.0828	0	0
8	August	0.0291	0.0291	0.0291	0.0849	0	0
9	September	0.0326	0.0326	0.0326	0.0855	0	0
10	October	0.0297	0.0297	0.0297	0.0856	0	0
11	November	0.0311	0.0311	0.0311	0.0847	0	0
12	December	0.0335	0.0335	0.0335	0.0844	0	0

- *Technologies*
 - *Global tech definitions*
 - *Constraints*

	F1	F2
▶ 1	OperatingReserve	0
2	OpResPeak-YN	0
3	OpResCap-YN	0
4	MaxIdenticalUnits	5
5	MaxOverSize	1.2

- *Fuel limits*

	F1	F2
▶ 1	NGforDG	-999
2	Diesel	-999
3	BioDiesel	-999
4	Other	-999

- *Infrastructure*

	F1	F2
▶ 1	CapitalCost	0
2	AnnualMaintenance	0
3	LifeTime	5