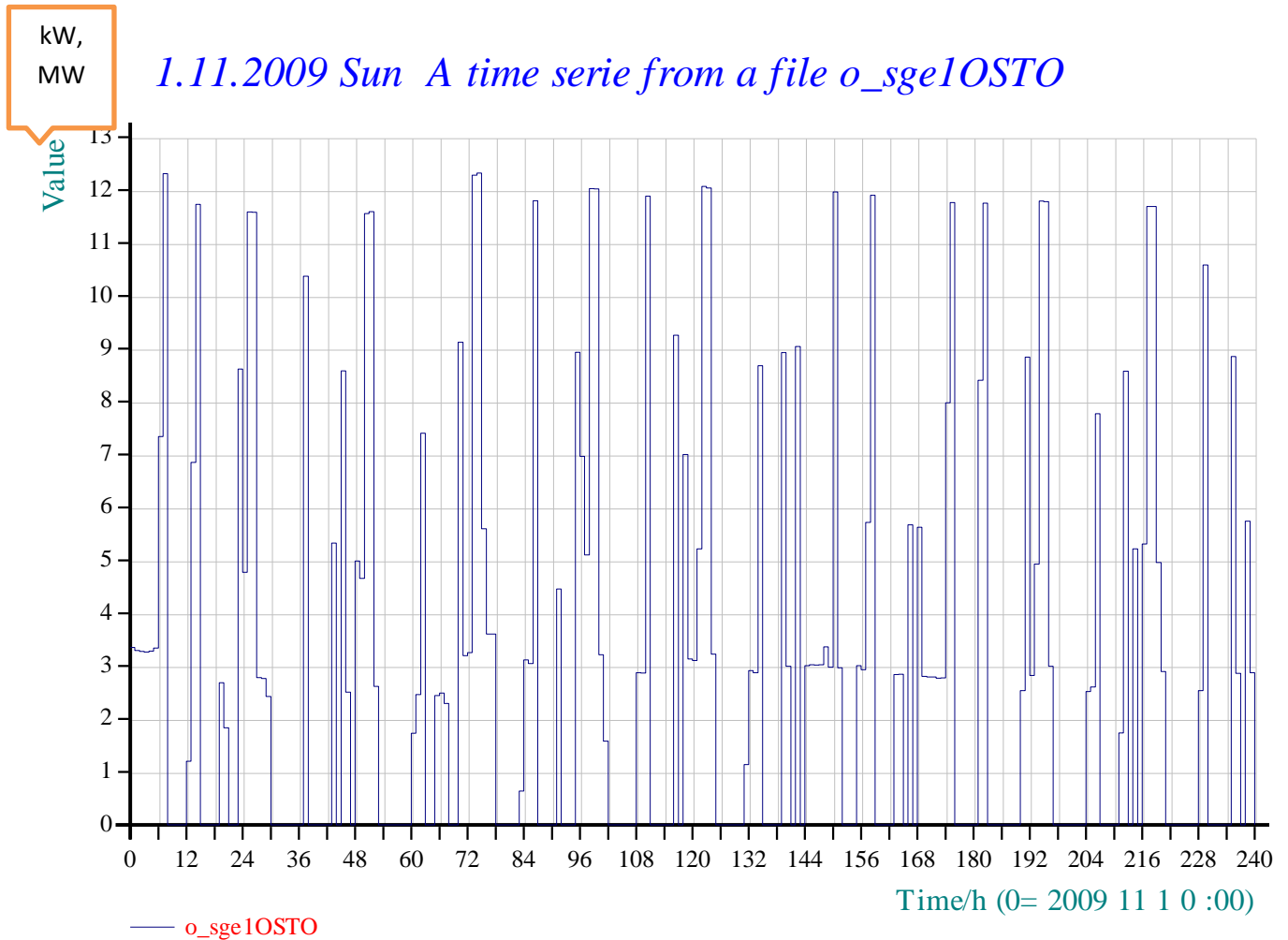


Sähkölämmityskulutuksen jousto KOPTI-mallissa



Veikko Kekkonen, VTT

Tiedoston nimi:

Y:\TK5056\Ohjelmistot\KOPTI_sgem_inca_mallit\Sähkölämmityskulutuksen jousto KOPTI.docx

27.11.2012

SGEM luokittelutiedot ST4.2.4/2012

Contents

| | |
|--|----|
| Tausta | 2 |
| Lähestymistapa..... | 2 |
| KOPTI varastorakenteet..... | 4 |
| Energiavarastot (Varaava, sge1.yle) | 5 |
| Varaaja (vara, LVA.RAK)..... | 6 |
| Jälkivarasto (jal1, LVA.RAK) | 9 |
| Suoran lämmityksen varastomallit (Lämpötila, sge2.yle) | 12 |
| Esivarasto (sisT) | 13 |
| Jälkivarasto (jal2) | 13 |
| Johtopäätöksiä..... | 16 |
| Liite 1 KOPTI ohjelmiston kuvaus | 17 |
| Liite 2 Varaava malli..... | 17 |
| Liite3. Lämpötila malli | 19 |

Tausta

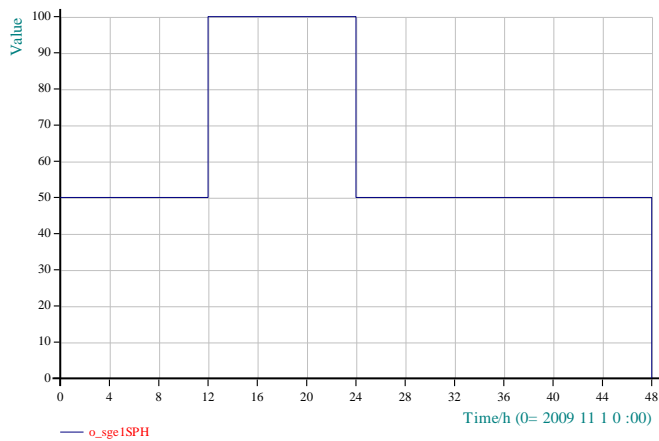
Sähkölämmitys on hyvä kohde, kun pyritään säästöihin ajoittamalla sähkön käyttöä. Kysymyksessä on suhteellisen suuret tehot, joita voidaan siirtää hieman eri ajankohtiin ilman, että haittavaikutus olisi merkittävä. Teknisiä ratkaisuja ohjauksen automaattiselle toteuttamiselle on olemassa. Järjestelmä ei vaadi käyttäjältä aktiivista osallistumista, ainoastaan sääntöjen laadinnan ohjausjärjestelmälle.

KOPTI-LinearProgramming ohjelmisto (ks. liite) sopii sellaisten SGEM tekniikoiden simulointiin, jotka perustuvat energian varastointiin. Aiemmin on raportoitu, miten KOPTI:lla on tutkittu toimenpiteiden vaikutusta eri osapuolille (VTT-R-05372 Hajautettujen resurssien arvon laskenta. INCA , 2010 (työmuistioineen) ja Sgem 5.2 Työt_VK, 2011. Näiden dokumenttien säilytyspaikka on KOPTI-systeemin päähakemiston alaisessa kansiossa). Kyseiset osaselvitykset jäivät sikäli puutteelliseksi, että niissä käytetyillä KOPTI-varastoilla ei saatu aikaan lämmityskuorman leikkauksen jälkeistä jälkihiippuefektiiä. Tässä selvityksessä otetaan käyttöön jälkihiipun tuottava varastokomponentti ja perehdytään lämmitysmallien parametointiin. KOPTI-ohjelmistossa on myös puutteita, jotka vaikeuttavat tehtävän mallintamista.

Lähestymistapa

Mallien virityksessä pidetään lämmitysteho vakiona (oletetaan esimerkiksi, että sisälämpötila on pysyvästi 20 °C ja ulkolämpötila 0 °C, vastaten vakio lämmitystehoa 3 kW), mutta energian hinta muuttuu askelmaisesti (50 -> 100 -> 50 €/MWh):

1.11.2009 Sun A time serie from a file o_sgeISPH

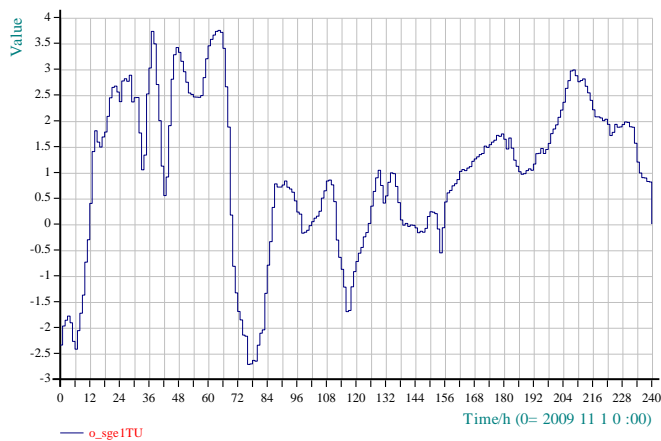


Kuva 1. Sähkön hinnan askelmuutos malleja viritettäessä. [Value] €/MWh

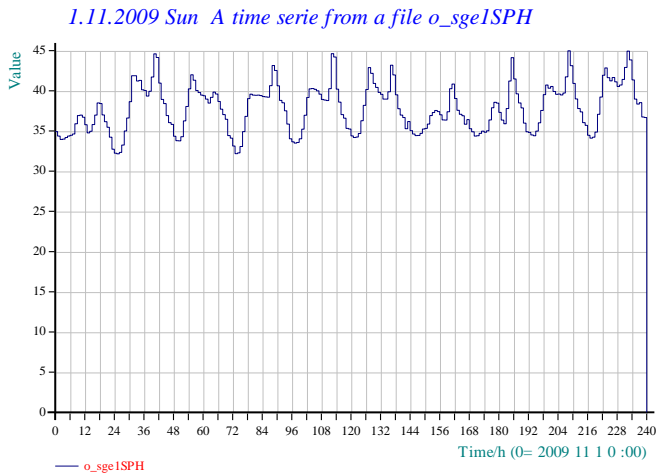
Malli skaalaa numeeriset tulokset 1000:sta samanlaisesta kohteesta, esimerkiksi 3 kW lämmitysteho näkyy tuloksissa 3 MW tehona, ja hinta annetaan €/MWh yksikössä. Objektifunktion arvo on summa 1000:sta samanlaisesta kohteesta.

Mallilla simuloitaessa annetaan ulkolämpötilan ja sähköenergian hinnan muuttua toteutuneen tilanteen (tai ennustetun) mukaisesti:

1.11.2009 Sun A time serie from a file o_sgeITU



Kuva 2. Ulkolämpötila simuloinnin lähtötietona. [Value]=°C



Kuva 3. Sähköenergian hinta simuloinnin lähtötietona. [Value]=€/MWh.

KOPTI on lineaarimalli, joka minimoi muuttuvia kustannuksia. Kohteena olevissa malleissa muuttuvat kustannukset koostuvat lähes yksinomaan lämmityssähköenergian ostosta tunneittain muuttuvaan markkinahintaan.

KOPTI varastorakenteet

Varastorakenne noudattaa dynaamista lineaariyhtälöä tilalle X

$$X_{t+1} = (1-suhlamhavo) X_t + LAT_t - PUR_t + tulovirt_t$$

missä

X on varaston tilamuuttuja

t on mallin aika-askelindeksi 0 ... T

suhlamhavo on varaston (lämpö)häviökerroin (skalaari)

LAT on varaston latausmuuttuja

PUR on varaston purkausmuuttuja

tulovirt on varaston vakio muutos

Muuttujien kustannusfunktio kertoimet:

X_t : tilakust, X_T : lopputilakust

LAT: muut_kust

PUR: muut_kust

Muuttujarajoitukset:

$$tilaalaraja(\text{skalaari}) \leq X_t \leq \text{tilaylaraja}(\text{skalaari})$$

$$X_0 = \text{alkutila}(\text{skalaari})$$

$$\text{minlatteho} \leq \text{LAT} \leq \text{maxlatteho}$$

$$\text{minpurteho} \leq \text{PUR} \leq \text{maxpurteho}$$

(Kaikki *vakiot* ovat aikasarjoja, ellei niitä ole merkitty skalaariksi.) Vakiot on nimetty datalist tunnisteiden mukaisesti.

KOPTI:ssa on kaksi masterlistaan liitettävää varastorakenneosaa, yleinen varasto LVA ("lämpövarasto") ja VES "vesiallasvarasto". Vesialtaassa ei ole latausmahdollisuutta lainkaan, mutta esim. pumppuvoimala on mallinnettavissa LVA-tyyppisenä.

Energiavarastot (Varaava, sge1.yle)

Näytemalli "Varaava" koostuu yleisosasta sge1.yle ja sen varastokomponenteista vara ja jal1

Energiavarasto toimii kuten vesikiertoisen varaavan sähkölämmitysjärjestelmän vesivaraaja. Se toimii kuitenkin suoraan lämmönlähteenä rakennukselle, toisin sanoen varaajan purkausmuuttuja kattaa rakennuksen hetkellisen lämmitystarpeen.

Mallissa lämmöntarvemuuttujan (LAM) arvo riippuu sisälämpötila T_s , ulkolämpötilasta T_u ja muunnoskertoimesta ker)

$$\text{LAM} = \text{ker} (T_s - T_u)$$

(jos esim. 20 °C lämpötilaerolla lämmitysteho staattisessa tilanteessa on 3 kW, $ker = 0.15$).

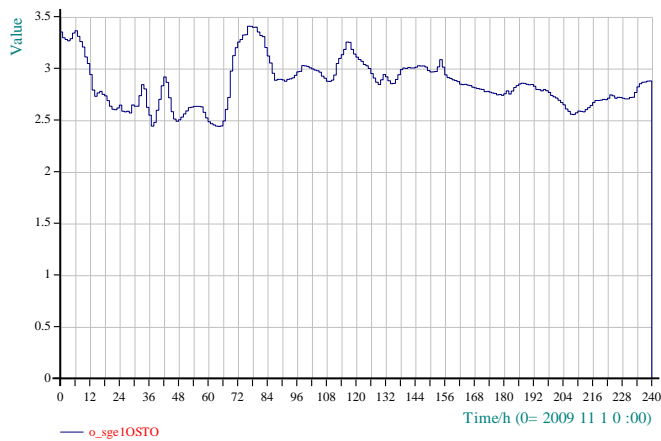
Lämmityssähkön ostoteho OSTO määräytyy lämmöntarpeen ja varaston käytön mukaan (muuttuja NEG selitetään jälkivaraston yhteydessä)

$$\text{OSTO} = \text{LAM} + \text{LAT} - \text{PUR} - \text{NEG}$$

Muuttujan OSTO kustannusfunktio kertomana on sähköenergian markkinahinta.

Ilman varastoja lämmityssähkön osto käyttäytyy simuloinnissa seuraavan kuvan tavoin:

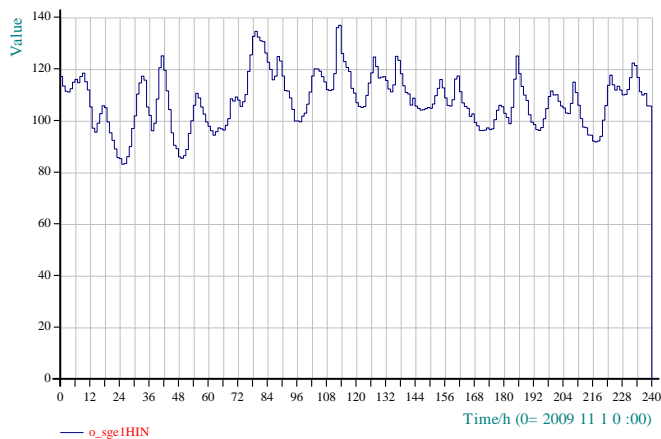
1.11.2009 Sun A time serie from a file o_sgeIOSTO



Kuva 4. Lämmitys­sähkö­n osto ilman ohjausta yhdessä kohteessa. [Value]=kW

Lämmitys­sähkö­ner­gian tuntikustannukset ovat:

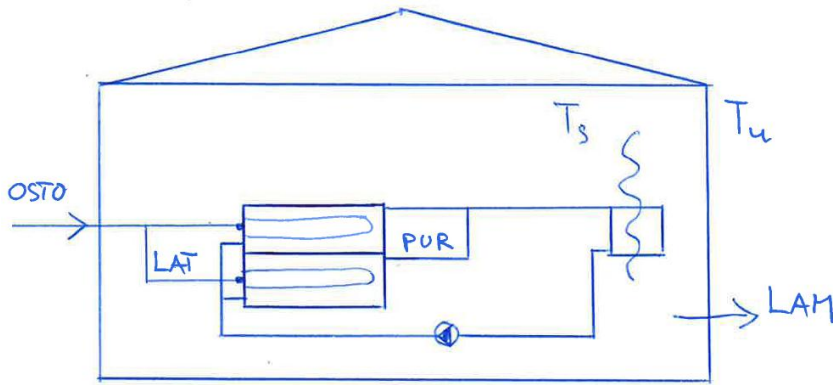
1.11.2009 Sun A time serie from a file o_sgeIHIN



Kuva 5. Lämmitys­sähkö­ner­gian tuntikustannukset ilman ohjausta 1000 samanlaisessa kohteessa. [Value]=€

Varaaja (vara, LVA.RAK)

Seuraava kuva esittää varaajan periaatekytkentää. Käytännössä varaajan ei tarvitsisi olla kaksiosainen, jossa toinen vastus lämmittää varaajaa ja toinen on suoraan kytketty lämmitys­jär­jestelmään, mutta näin piirrettynä KOPTI-mallin OSTO-tase selittynee parhaiten:



Kuva 6. Varaajan periaatekytkentä KOPTI-mallissa. OSTO ja LAT muuttujat ovat sähkötehoa, PUR ja LAM lämpötehoa.

Kaksiosainen varaaja kuvaa myös tilannetta, jossa lämmitystehoa voidaan tuottaa tarvittaessa myös suoraan eikä varaajan kautta. Antamalla lisärajoitus

$$\text{OSTO} \leq \text{maxlatteho}$$

muutetaan varaajaosa ainoaksi lämmönlähteeksi (toki sekin voi mallissa ikään kuin lämmitteä pelkästään suoraan pattereille menevää vettä, eikä nostaa varaajan lämpötilaa).

Käyttämällä varaajavarastolle seuraavia malliparametrien arvoja

$$\text{alkutila} = 0$$

$$\text{lopputilakust} = 0$$

$$\text{maxlatteho} = 9$$

$$\text{maxpurteho} = 9$$

$$\text{minlatteho} = 0$$

$$\text{minpurteho} = 0$$

$$\text{muut_kust} = 0.1$$

$$\text{suhlamhvio} = 0.01$$

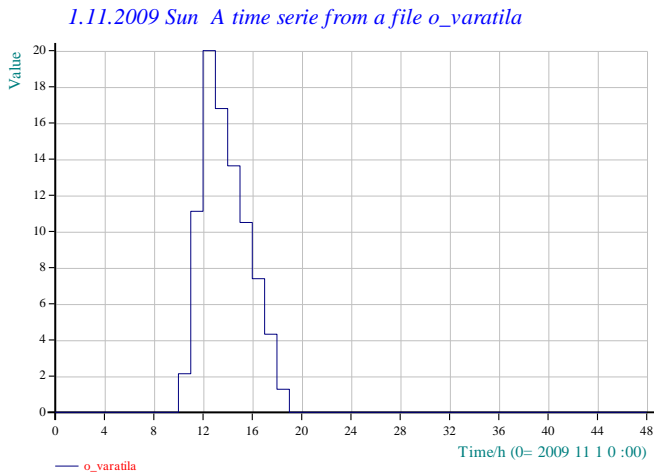
$$\text{tilaalaraja} = 0$$

$$\text{tilakust} = 0$$

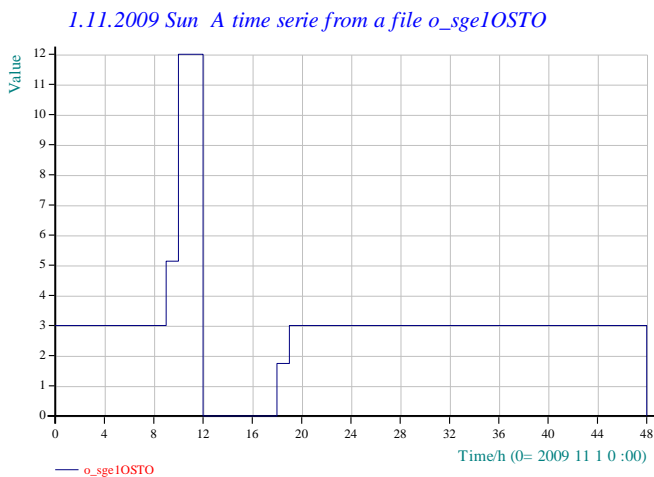
$$\text{tilaylaraja} = 20$$

$$\text{tulovirt} = 0$$

saadaan askelvasteiksi:



Kuva 7. Varaajan tila yhdessä kohteessa. [Value]=kWh.



Kuva 8. Ostoteho yhdessä kohteessa. [Value] = kW.

Ostoteho koostuu latausvaiheessa kahdesta osasta, 3 kW suoraa lämmitystehoa ja 9 kW varaajan latausta, yhteensä 12 kW.

Mallin virittäminen perustuu varaajan tekniisiin suoritusarvoihin. *tilaylaraja* kuvaa varaajan energiakapasiteettia, kWh. *maxlatteho*, kW on varaajan teho ja *maxpurteho*, kW on lämmitysjärjestelmän lämmitystehokapasiteetti. *muut_kust*, €/MWh, poistaa kierron LAT ja PUR muuttujien väliltä.

Todellisen tapauksen simuloinnissa ilman lämpöhäviöitä ja tilakustannuksia (*suhlamhavo* ja *tilakust*) malli poimisi lataukseen halvimmat tunnit ja purkaisi varastoa vain kalleimpina tunteina. Kuvan mukaan pienikin lämpöhäviö ajoittaa varaamisen ja purkamisen välittömästi hintamuutoksen molemmiin puolin.

Varasto ei voi reagoida laskevaan hintaportaaseen. Varaajien käynnistyminen illalla yösätkön alkaessa ei johdu hinnan putoamisesta vaan varautumisesta aamulla tapahtuvaan hinnan nousuportaaseen. Päälle ohjaus on helpompaa toteuttaa illalla kuin arvioida oikea käynnistymisaika myöhemmin.

Jälkivarasto (jal1, LVA.RAK)

Huipun aikainen tehon leikkaus ja siitä seuraava jälkihuippu on kuitenkin mallinnettavissa ”negatiivisella varastolla”, jonka toiminta kerätään yleisosassa omaan taseeseen:

$$\text{NEG} = \text{LAT} - \text{PUR}$$

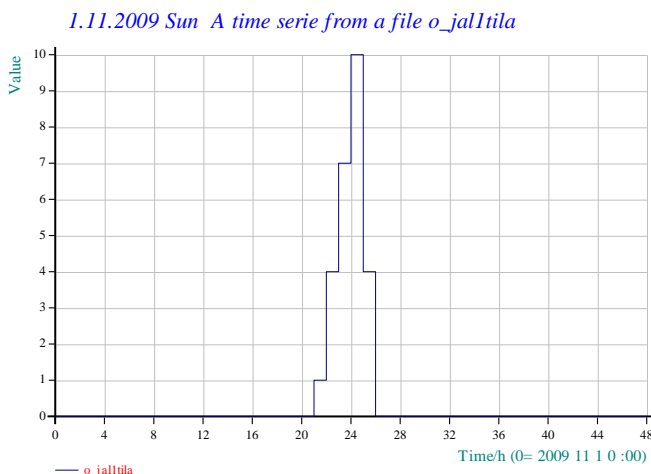
Tällöin sähkön ostoteho saadaan edellä esitetystä ostotehon yhtälöstä vähentämällä siitä NEG muuttujan arvo. Varaston lataamisella tarkoitetaan lämmityksen lopettamista, jolloin rakennukseen syntyy lämmitysvajaus. Varaston ylärajalla säädetään, kuinka suureksi vajaus sallitaan muodostuvan. Latausvaiheen maksimiarvo on syytä rajata vallitsevaan lämmitystehontarpeeseen, koska lineaarimalli voisi muuten mennä ”jäähdytyksen puolelle”. Purkauksella tarkoitetaan sähkölämmityksen uudelleen aloittamista vajauksen purkamiseksi. Sen tulee olla suurempi kuin normaali lämmitysteho, jotta vajaus purkaantuisi. Varaston omalla purkausmuuttujalla on rajoittava maksimiarvo, joten riittää, että NEG muuttujalle sallitaan negatiiviset arvot:

$$-\infty \leq \text{NEG} \leq \text{LAM}$$

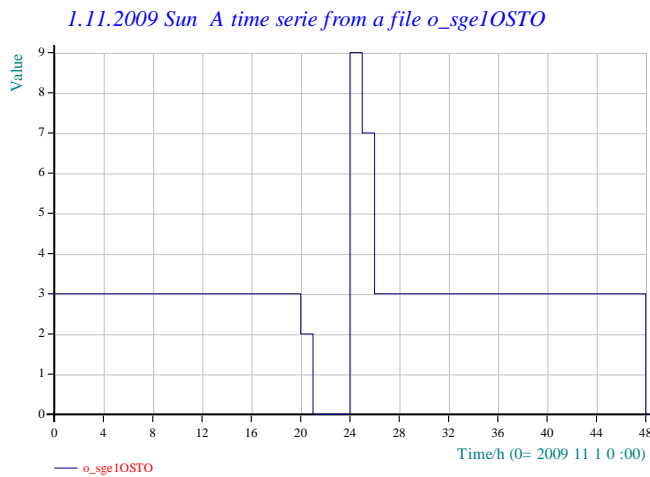
Käyttämällä jälkivarastolle seuraavia malliparametrien arvoja

alkutila = 0
lopputilakust = 100000
maxlatteho = 10
maxpurteho = 6
minlatteho = 0
minpurteho = 0
muut_kust = 0.01
suhlamhvio = 0
tilaalaraja = 0
tilakust = 1
tilaylaraja = 10
tulovirt = 0

saadaan askelvasteiksi:

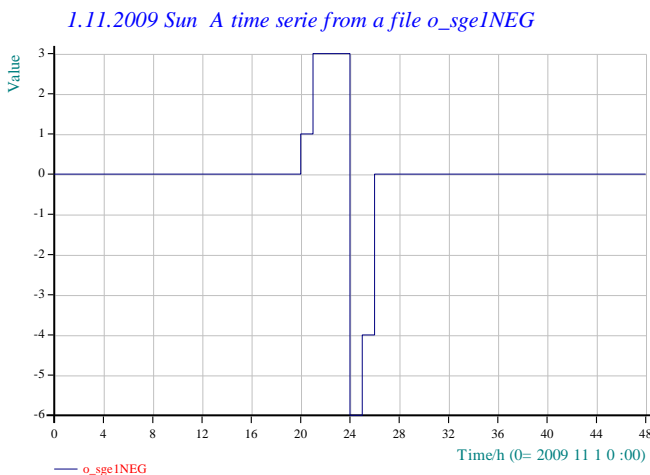


Kuva 9. Jälkivaraston tila yhdessä kohteessa. [Value] = kWh.



Kuva 10. Ostoteho yhdessä kohteessa, ns. jälkihuippu. [Value] = kW.

”Jälkivarastomalli” kuvaa lähinnä sitä, että hintapiikin loppuvaiheessa voidaan lämmitys lopettaa, jolloin sisälämpötila saattaa laskea. Vajaus on korvattava myöhemmin nostamalla lämmitystehoa hetkellisesti (jälkihuippu). NEG-muuttuja kuvaa sisälämpötilavajasta, ja kun vajaus täytetään tulee alla olevassa kuvaajassa pinta-alojen olla yhtä suuret:



Kuva 11. NEG-muuttujan arvo. [Value]=kW.

Ilman suurta lopputilakustannusta *lopputilakust* malli lataisi varaston täyteen jakson lopussa ja välttyisi ostamasta sähköä. Muiden parametrien arvot tulee valita sellaiseksi, että käyttäjä ei koe epäjatkuvaa lämmitystä häiritsevänä. Tilakustannuksen avulla ”haitta” saadaan mukaan vaikuttamaan optimoinnin tulokseen.

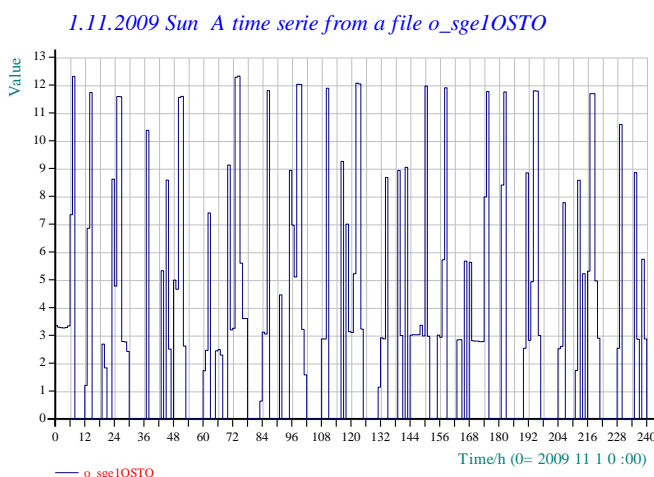
Yhteisvasteena, kun molemmat varastot ovat käytettävissä saadaan:



Kuva 12. Ostoteho yhdessä kohteessa kun mukana sekä esi- että jälkihuippu. [Value]=kW.

Mallissa jälkihuippu on rajoitettu matalammaksi kuin esihuippu. Kuvan tapauksessa varastot eivät aivan riittäneet kattamaan koko huippujaksoa.

Simulointi molemmilla varastoilla tuottaa ostotehoksi:



Kuva 13. Lämmitys­sähk­ön osto simuloidussa yhteisvarastomallissa. [Value]=kW yhtä kohdetta kohti, tai MW 1000 täsmälleen samanlaista kohdetta koskien.

Sähköenergiakustannuksia minimoitaessa varastoja käytetään lähes jatkuvasti on/off ohjauksella ja seurauksena on erittäin piikikäs kuormituskäyrä. Jos samalla tavalla ohjattavia kohteita on runsaasti samassa jakeluverkossa, näkyvät piikit myös jakeluverkkotasolla.

Ilman varaajia kohdefunktion arvo on 25858 € 1000 kohteen osalta 240 h tunnin aikaväliltä.

Varaajalla varustettuna, mutta jälkihuippu estettynä kohdefunktion arvo on 25061 €, eli säästöä kertyy 3 %

Ilman varaajaa, mutta jälkihuippu sallittuna kohdefunktion arvo on 25699 €, eli säästöä kertyy vajaa 1 %.

Molempien varastojen kanssa kohdefunktion arvo on 25003 €, eli säästöä n. 3 %.

Säästöt on laskettu optimoivalla ideaalimallilla. Todellisuudessa prosessi ei voi toimia näin tehokkaasti, vaan säästöt jäävät pienemmiksi. Säästöjä voi kasvattaa suuremmilla varaajatehoilla, jolloin investointi- ja muut kiinteät kustannukset kasvavat..

Suoran lämmityksen varastomallit (Lämpötila, sge2.yle)

Näytemalli "Lämpötila" koostuu yleisosasta sge2.yle ja sen varastokomponenteista sisT ja jal2

Hieman toisenlainen varaajamalli voidaan rakentaa suoran lämmityksen järjestelmää silmällä pitäen. Rakennuksen lämpödynamiikka sietää hieman tilapäistä lämmityksen katkontaa ja yllilämmittämistä. Energiatila/teho suureiden asemesta voidaan laatia malli lämpötilalle/lämpötilamuutokselle. Mallissa lämpötila ei ole niinkään fyysikaalinen suure vaan rakennuksen termodynaamista tilaa kuvaava indikaattori.

Kun sisä- ja ulkolämpötilojen erosta aiheutuva lämpöhäviö korvataan sähkölämmitysteholla, pätee

$$aT = bu$$

missä T ja u ovat muuttujia, a ja b vakioita:

T on sisä- ja ulkolämpötilojen välinen ero

u on sähköteho, joka staattisessa tilanteessa korvaa lämpöhäviön

a ja b ovat tapauskohtaisia vakioita

Edellisen esimerkin mukaisesti vakioille voidaan antaa tapauskohtaiset arvot seuraavasti:

Oletetaan, että sisälämpötila on 20 °C ja ulkolämpötila 0 °C. Oletetaan, että jos lämmitys katkaistaan, eli u = 0, sisälämpötila laskee 0,5 °C tunnissa. Oletetaan, että jos sisälämpötila pidetään tasan 20 °C:ssa, tarvitaan staattisessa tilanteessa lämmitystehoa 3 kW. Oletuksista seuraa:

$$a = (20 \text{ °C} - 19.5 \text{ °C} = 0,5 \text{ °C}) / 20 \text{ °C} = 0.025$$

$$b = aT / u = 0,5 \text{ °C} / 3 \text{ kW} = 0,167 \text{ °C/kW}$$

Dynaamisesti yhteys voidaan tulkita vaikkapa niin, että 3 kW sähkölämmitysteho tuottaa rakennukseen 0.5 °C/h sisälämpötilalisäyksen, ja lämpöhäviö vastaavasti hävittää 0.5 °C/h, sisälämpötila pysyy näissä staattisissa olosuhteissa vakiona.

KOPTI-mallin lämmitysosa voidaan kuvata sisälämpötilavarastona, josta poistuu lämpötilaa lämpöhäviönä ja tilalle ladataan sähkötehosta muunnettua lämpötilaa. Bonuksena sisälämpötilavarasto saadaan reagoimaan muuttuvaan ulkolämpötilaan tuomalla ulkolämpötilamuutoksen osuus sisälämpötilaan "vesivarastoanalogian" tulovirtaamana".

KOPTI-mallin jälkihuippusosa voidaan kuvata sisälämpötilavarastona, johon ladataan lämpötilavelkaa, kun lämmitys lopetetaan ja myöhemmin velka maksetaan takaisin ostamalla tarvittava määrä lisää sähköä. Nopeaan takaisinmaksuun malli pakotetaan rankaisemalla pienellä sakolla velkatilasta ja ennen kaikkea

asettamalla lopputilalle suuret kustannukset, jotta optimointijakson lopussa velka kannattaa olla kuitattuna.

Yleisosan sge2.yle taseet ovat seuraavat:

$$\text{OSTO} = \text{LAT} - \text{VEL}$$

$$0.167 \text{ LAT} = \text{sisTLAT}$$

$$0.167 \text{ VEL} = \text{jal2LAT} - \text{jal2PUR}$$

$$\text{VEL} \geq -\infty$$

Muuttujan OSTO kustannusfunktiokertoisena on sähköenergian markkinahinta.

Varastokomponentti sisT on olennainen osa mallia, se ei muuten toimi. Sisälämpötilan alaraja toimii "lämmöntarpeena".

Esivarasto (sisT)

Esivarastolle käytetään seuraavia malliparametrien arvoja

alkutila = 0

lopputilakust = 0

maxlatteho = 2

maxpurteho = 0

minlatteho = 0

minpurteho = 0

muut_kust = 0

suhlamhvio = 0.025

tilaalaraja = 20

tilakust = 0

tilaylaraja = 25

tulovirt = tulovirtaama-aikasarja

Tulovirtaama-aikasarja saadaan ulkolämpötila-aikasarjasta [°C] kertomalla tässä mallikokeilussa lukema 1/20 llä eli 0.05:llä. Tarkoituksena on vain demonstroida reagoitua ulkolämpötilaan. Todellisuudessa muunnos on epälineaarinen, kerroin 1/20 pätee vain 0 °C:ssa. Myös lämpöhäviö riippuu todellisesta lämpötilaerosta, joten senkin tulisi olla aikasarja, jota ulkolämpötila modifioi. Nykyiseen KOPTI-mallin ei kuitenkaan voi syöttää aikasarjamuotoista häviötä.

Jälkivarasto (jal2)

Jälkivarastolle käytetään seuraavia malliparametrien arvoja

alkutila = 0

$lopputilakust = 1000$
 $maxlatteho = 0.5$
 $maxpurteho = 1$
 $minlatteho = 0$
 $minpurteho = 0$
 $muut_kust = 0.01$
 $suhlamhvio = 0$
 $tilaalaraja = 0$
 $tilakust = 0.01$
 $tilaylaraja = 3$
 $tulovirt = 0$

lopputilakust suuri arvo pakottaa nostamaan lämpötila laskennan lopussa normaalitasolle

maxlatteho ei voi olla suurempi kuin normaali lämpöhäviön aiheuttama lämpötilan lasku. Kokeilun aikana lataus näytti siitä huolimatta rajoittuvan.

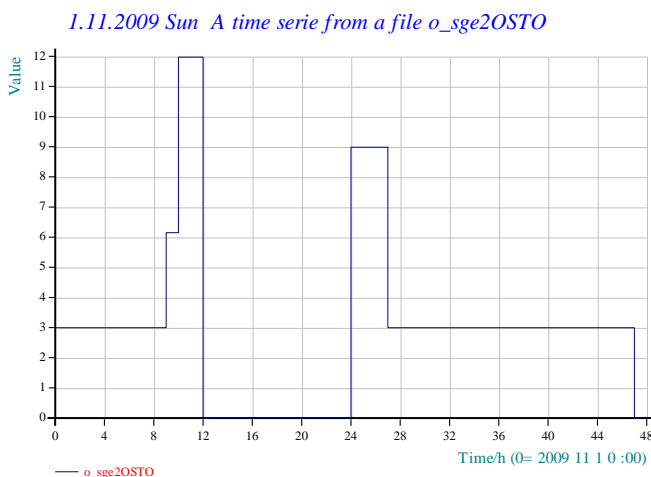
maxpurteho säättää jälkilämmityksen ottamaa sähkötehoa, koska se määrittelee lämpötilannoston [$^{\circ}\text{C}/\text{h}$] maksimiarvon.

muut_kust pieni arvo estää kierron

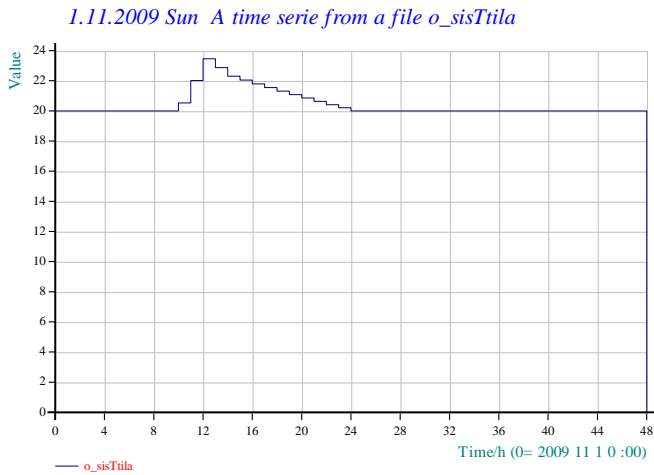
tilakust pieni arvo pakottaa nopeampaan lämpötilanostoon

tilaylaraja asettaa suurimman sallitun lämpötilapudotuksen, tässä 3°C , eli siis sisälämpötila $\geq 17^{\circ}\text{C}$.

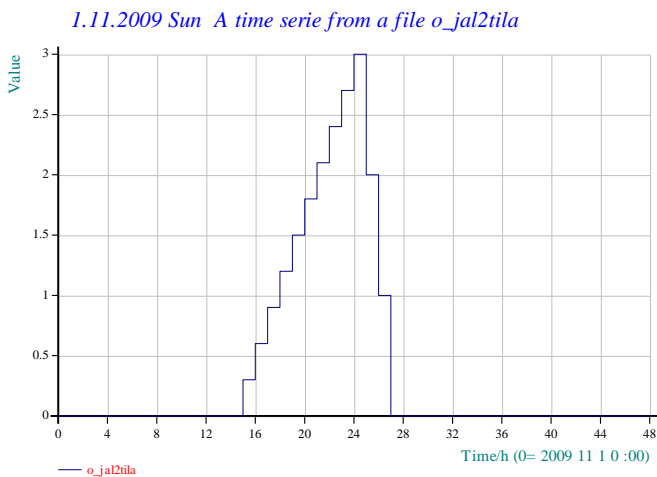
Testiajo osoitti, että toisistaan riippumattomat varastot toimivat päällekkäin:



Kuva 14. Sähkön käytön askelvaste yhdistelmävarastotapauksessa. [Value]=kWh.



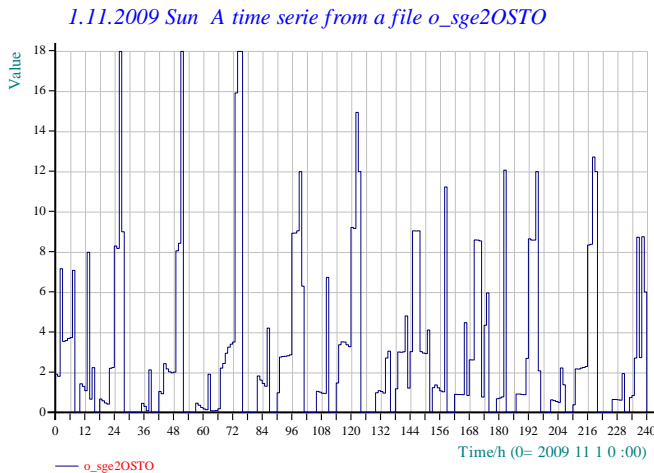
Kuva 15. Sisälämpötila esivarastoinnissa. [Value]=°C.



Kuva 16. Sisälämpötilan lasku jälkivarastoinnissa. [Value]=°C. Tulos on epäfysikaalinen, lämpötila on sekä yli että alle 20 °C samanaikaisesti.

Näinollen malli antaa ylioptimaalisen tuloksen.

Myös todellisessa tilanteessa optimoinnin tulos poikkeaa ”Varaava” mallin tuloksista:



Kuva 17. Lämmityssähkön osto "Lämpötila" mallissa. [Value]=kW yhtä kohdetta kohti tai MW 1000 täösmälleen samanlaista kohdetta koskien.

Johtopäätöksiä

Tutkituissa sekä varaavissa että suorissa malleissa ulkolämpötila vaikuttaa välittömästi lämpötehon tarpeeseen. Todellisuudessa vaikutus on viiveellinen ja riippuu monista rakennuskohtaisista tekijöistä. Optimoinnin kannalta kysymys on kuitenkin lähtötietona syötettävästä "tunnetusta" aikasarjasta. Ulkolämpötilatieto tai ennuste on periaatteessa esikäsiteltävissä oikeamman vasteen antavaan muotoon.

Todellisissa ratkaisuisissa tulee sekä energiavarastomalleja että suoria lämmitysmalleja sekoittaa keskenään sopivassa suhteessa aidomman kokonaisvasteen saamiseksi. Tutkituista KOPTI-malleista yksinkertaisempi varaava malli antoi parempia tuloksia kuin suora lämpötilamalli. Varaava malli on kyllä parametroitavissa tuottamaan sopivan suhteen suoran ja varaavan lämmitystavan välillä. Tässä ratkaistavaan tehtävään lineaarimalli osoittautui turhan karkeaksi, ja mallinnusvirhe saattaa kasvaa haitallisen suureksi. Ilmeisesti virhe on luonteeltaan ylioptimoivaa, käytännössä monet mallin ulkopuoliset tekijät huonontaisivat suoritusarvoja.

Käytännössä KOTI-mallien parametointi on hankalaa, mikä osittain johtuu KOPTI-järjestelmän kömpelöstä rakenteesta. Ohjelmistoa pitäisi muuttaa sallimaan komponenttien kaikkien muuttujien näkyvyys yleisosassa mukaan lukien varaston tilat, ja lataus ja purkaus pitäisi voida linkittää kumpikin omalle rivilleen, jolloin uusi ohjelmistoversio myös vaatisi vanhoissa malleissa masterlistaan pikku muutoksen. Tässä selvityksessä demonstroituja periaatteita voi toki soveltaa missä tahansa (LP)mallinnusympäristöissä.

Näytteenomaisessa simuloinnissa saavutettiin tavanomaisena talvipäivänä enintään 3 % säästö sähköenergian ostossa tunneittain muuttuvaan markkinahintaan. Säästön edellytyksenä on erittäin piikikäs suuritehoinen katkokäyttö. Lämmityskauden ulkopuolella säästöä ei ole odotettavissa, joten vuosisäästö jää pienehköksi. Säästö ei varsinaisesti riipu hintapiikkien absoluuttisesta korkeudesta, vaan läheisten tuntien hintaeroista. Malleissa tehopiikit ovat vapaasti muotoiltavissa sopivin parametrivalinnoin.

Vaikka rahalla mitattu säästövaikutus jää pieneksi, sähkölämmitys on kuitenkin hyvä SGEM-kohde säästömahdollisuuksien, yleisyyden ja suurten yksikkötehojen vuoksi. Säästöjen pienuuden vuoksi suurempiin investointeihin tai muihin ylimääräisiin kuluihin ei ole varaa.

Liittet

Liite 1 KOPTI ohjelmiston kuvaus

VTT:n kehittämä KOPTI-ohjelmisto on lineaarisen ohjelmoinnin (LP) mallinnusjärjestelmä. Sen avulla on tarkoitus minimoida energian hankinnan välittömiä muuttuvia käyttökustannuksia. Ohjelmisto on suunniteltu sähköä ja kaukolämpöä tuottavan yhtiön voimalaitosten käytön optimointiin. Yleisestä LP-lähestymistavasta johtuen se tosin taipuu varsin monentyyppisiin tehtäviin.

KOPTI-malli on modulaarinen hankintalähteiden osalta, mikä tarkoittaa, että siihen on helppo lisätä valmiiksi määriteltyjä LP-rakenteita kuvaamaan yksittäisiä voimalaitoksia ja muita hankintalähteitä. Yksittäinen LP-moduuli kuvaa komponentin toimintaa yhden tunnin osalta. Ajotehtävä koostuu perättäisistä tunneista (24 h ... vuosia), jolloin tietojärjestelmä huolehtii tuntien monistamisesta ratkaistavaan LP-malliin, ja samalla sovelletaan yhtä dynaamista varastokomponenttia kahden perättäisen tunnin välillä. Ajon tulokset käsitellään aikasarjamuotoisiksi.

LP-malli ratkaistaan julkisen GPL-lisenssin GLPK solverilla. Datahallinta toteutetaan SQLSERVER Express tietokannalla. Laskentaohjelmisto on ohjelmoitu staattisilla fortan ja c-kielillä. Käyttöliittymä ja tietokantarajapinta on ohjelmoitu tulokkaavalla APL-kielillä.

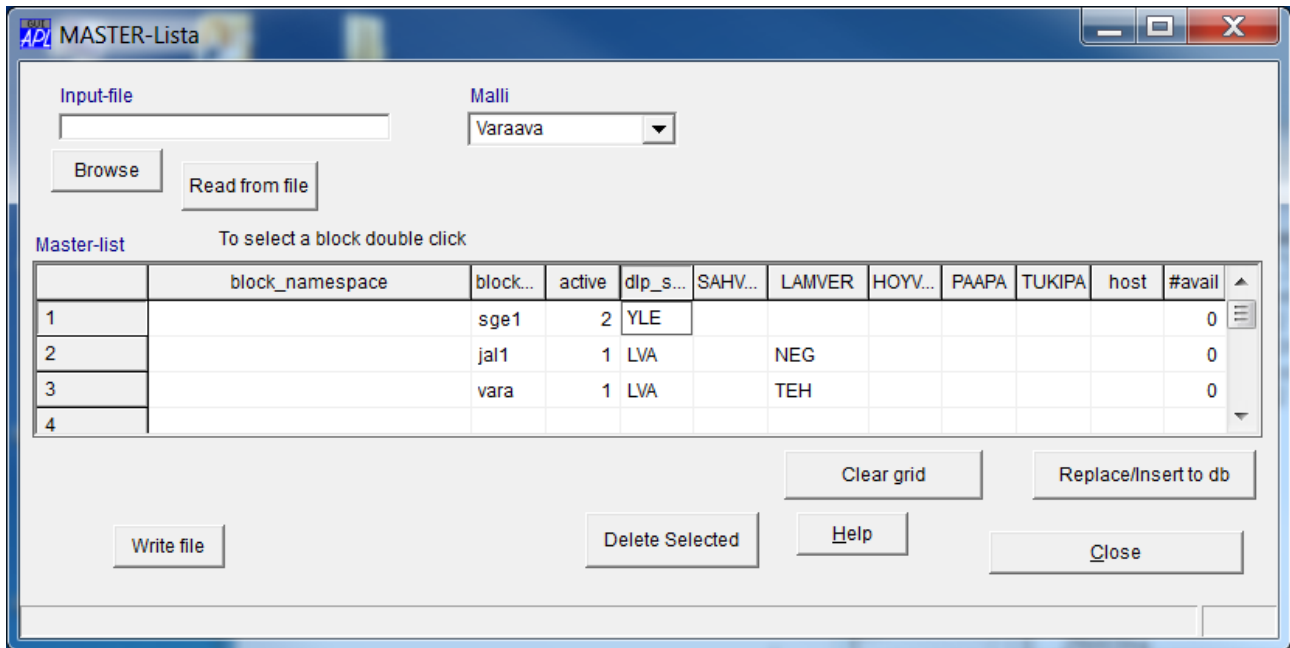
Ohjelmisto otettiin käyttöön 1990-luvun alussa COPLA-nimisenä VAX-työasemaversiona, myöhemmin se muutettiin x86 PC versioksi DEM nimisenä, josta uusin kehitysversio tunnetaan KOPTI-nimellä. ABB Focus on eräs DEM-versiotasoinen kaupallinen toteutus.

SGEM-ympäristössä KOPTI voisi olla sellaisenaan käytettävissä aggregaattoritasolla. Pienkäyttäjän automaatioon se on sulautettavissa laskentaversiona, josta voidaan jättää pois tietokanta ja käyttöliittymä.

Liite 2 Varaava malli

Molemmat tässä selvityksessä kuvatut mallit ovat VTT:n käytössä KOPTI-serverissä SQL-server tietokannassa DEM. Yleisosat sge1.yle ja sge2.yle ovat niinkään siellä c:\dem_opt\gen1\ hakemistossa, josta ne kannattaa käytön helpottamiseksi siirtää omalle KOPTI-työasemalle. Malliluettelossa partneriksi on määritelty VTT. Siksi datalistassa on myös käytettävä valintaa partner VTT.

Masterlist:



Staattiset rajoitusyhtälöt:

```

yhtalo.dat - Notepad
File Edit Format View Help
Rajoitusyhtälöt:
-----
( 1) LAM      : ==      0.000000
+ 0.150 * mTu      ( 1) -0.150 * mTs      ( 2) + 1.000 * mLAM      ( 6)

( 2) TEH      : ==      0.000000
+ 1.000 * MOSTO   ( 3) -1.000 * mLAM      ( 6) + 1.000 * mNEG      ( 7)
-1.000 * mvaraLat( 10) + 1.000 * mvaraPur( 11)

( 3) HIN      : ==      0.000000
-34.920 * MOSTO   ( 3) + 1.000 * mHIN      ( 5)

( 4) NEG      : ==      0.000000
+ 1.000 * mNEG      ( 7) -1.000 * mjal1Lat( 8) + 1.000 * mjal1Pur( 9)

( 5) Tue      : ==     -2.339986      rajoitus muuttujalle: mTu      ( 1)

( 6) Tse      : ==     20.000000      rajoitus muuttujalle: mTs      ( 2)

( 7) SPHe     : ==     34.919998      rajoitus muuttujalle: mSPH      ( 4)

( 8) NEgn     : >=    -100.000000     rajoitus muuttujalle: mNEG      ( 7)

( 9) OSTOX    : <=     100.000000     rajoitus muuttujalle: MOSTO      ( 3)

(10) jal1Latx : <=     10.000000     rajoitus muuttujalle: mjal1Lat( 8)

(11) jal1Latn : >=      0.000000     rajoitus muuttujalle: mjal1Lat( 8)

(12) jal1Purx : <=      6.000000     rajoitus muuttujalle: mjal1Pur( 9)

(13) jal1Purn : >=      0.000000     rajoitus muuttujalle: mjal1Pur( 9)

(14) jal1yla  : <=     10.000000
+ 1.000 * mjal1Lat( 8) -1.000 * mjal1Pur( 9)

(15) jal1Ala  : >=      0.000000
+ 1.000 * mjal1Lat( 8) -1.000 * mjal1Pur( 9)

(16) varaLatx : <=      9.000000      rajoitus muuttujalle: mvaraLat( 10)

(17) varaLatn : >=      0.000000      rajoitus muuttujalle: mvaraLat( 10)

(18) varaPurx : <=      9.000000      rajoitus muuttujalle: mvaraPur( 11)

(19) varaPurn : >=      0.000000      rajoitus muuttujalle: mvaraPur( 11)

(20) varayla  : <=     20.000000
+ 1.000 * mvaraLat( 10) -1.000 * mvaraPur( 11)

(21) varaAla  : >=      0.000000
+ 1.000 * mvaraLat( 10) -1.000 * mvaraPur( 11)

```

Liite3. Lämpötila malli

Masterlist:

MASTER-Lista

Input-file:

Malli:

Browse Read from file Get from db

Master-list To select a block double click

| | block_namespace | block... | active | dip_... | SAH... | LAMV... | HOY... | PAAPA | TUKI... | host | #avail |
|---|-----------------|----------|--------|---------|--------|---------|--------|-------|---------|------|--------|
| 1 | | sge2 | 2 | YLE | | | | | | | 0 |
| 2 | | jal2 | 1 | LVA | | VEL | | | | | 0 |
| 3 | | sisT | 1 | LVA | | LAT | | | | | 0 |
| 4 | | | | | | | | | | | |

Clear grid Replace/Insert to db

Write file Delete Selected Help Close

Staattiset rajoitusyhtälöt:

```

yhtalo.dat - Notepad
File Edit Format View Help

Rajoitusyhtälöt:
-----
( 1) OSTO      : ==      0.000000
+ 1.000 * mOSTO ( 1) -1.000 * mLAT ( 2) + 1.000 * mVEL ( 3)
( 2) LAT       : ==      0.000000
+ 0.167 * mLAT ( 2) -1.000 * msisTlat( 8) + 1.000 * msisTPur( 9)
( 3) VEL       : ==      0.000000
+ 0.167 * mVEL ( 3) -1.000 * mjal2Lat( 6) + 1.000 * mjal2Pur( 7)
( 4) LATX      : <=     40.000000      rajoitus muuttujalle: mLAT ( 2)
( 5) VELn      : >=    -1000.000000     rajoitus muuttujalle: mVEL ( 3)
( 6) SPHe      : ==     34.919998      rajoitus muuttujalle: mSPH ( 4)
( 7) Tue       : ==     -2.339986      rajoitus muuttujalle: mTu ( 5)
( 8) jal2Latx  : <=      0.300000      rajoitus muuttujalle: mjal2Lat( 6)
( 9) jal2Latn  : >=      0.000000      rajoitus muuttujalle: mjal2Lat( 6)
(10) jal2Purx  : <=      1.000000      rajoitus muuttujalle: mjal2Pur( 7)
(11) jal2Purn  : >=      0.000000      rajoitus muuttujalle: mjal2Pur( 7)
(12) jal2Yla  : <=      3.000000
+ 1.000 * mjal2Lat( 6) -1.000 * mjal2Pur( 7)
(13) jal2Ala  : >=      0.000000
+ 1.000 * mjal2Lat( 6) -1.000 * mjal2Pur( 7)
(14) sistLatx : <=      2.000000      rajoitus muuttujalle: msisTlat( 8)
(15) sistLatn : >=      0.000000      rajoitus muuttujalle: msisTlat( 8)
(16) sistPurx : <=      0.000000      rajoitus muuttujalle: msisTPur( 9)
(17) sistPurn : >=      0.000000      rajoitus muuttujalle: msisTPur( 9)
(18) sistYla  : <=     25.116999
+ 1.000 * msisTlat( 8) -1.000 * msisTPur( 9)
(19) sistAla  : >=     20.116999
+ 1.000 * msisTlat( 8) -1.000 * msisTPur( 9)

outputyhtälöt:

```