

Satu Paiho, Mia Leskinen & Panu Mustakallio

# Automaatiojärjestelmän hyödyntäminen rakennusten energiatietoisien käytön apuvälineenä



# **Automaatiojärjestelmän hyödyntäminen rakennusten energiatietoisen käytön apuvälineenä**

Satu Paiho, Mia Leskinen & Panu Mustakallio  
VTT Rakennustekniikka



ISBN 951-38-5774-3 (nid.)

ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 951-38-5779-4 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

Copyright © Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) 2000

#### JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT), Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT  
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 4374

Statens tekniska forskningscentral (VTT), Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT  
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 4374

Technical Research Centre of Finland (VTT), Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland  
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 4374

VTT Rakennustekniikka, Rakennusfysiikka, talo- ja palotekniikka, Lämpömiehenkuja 3, PL 1804, 02044 VTT  
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 455 2408

VTT Byggnadsteknik, Byggnadsfysik, hus- och brandteknik, Värmemansgränden 3, PB 1804, 02044 VTT  
tel. växel (09) 4561, fax (09) 455 2408

VTT Building Technology, Building Physics, Building Services and Fire Technology,  
Lämpömiehenkuja 3, P.O.Box 1804, FIN-02044 VTT, Finland  
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 455 2408

Paiho, Satu, Leskinen, Mia & Mustakallio, Panu. Automaatiojärjestelmän hyödyntäminen rakennusten energiatietoisien käytön apuvälineenä [Utilising the automation system in energy aware building use]. Espoo 2000. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 2072. 63 s.

**Avainsanat** building automation systems, utilization, buildings, energy use, energy consumption, energy efficiency, indoor air, monitoring, control, heating, HVAC, fault detection, diagnosis, FDD

## Tiivistelmä

Nykyisin rakennusautomaatiojärjestelmää hyödynnetään harvoin täysimääräisesti. Toteutuneet sisäilmaolot tarkistetaan usein vain, jos rakennuksen käyttäjät valittavat. Sisäilmaoloja ja energiankulutuksia seurataan harvoin systemaattisesti. Siksi rakennusautomaatiojärjestelmän pitäisi automaattisesti havaita ja paikantaa energiankulutukseen liittyvät poikkeamat ja tiedottaa huoltohenkilöstöä ei-toivottavasta toiminnasta.

Rakennuksissa keskeisimmät energiaan liittyvät tekijät ovat energiankulutus, sisäilmaolot ja säätöpiirien toiminta. Kun lämmön-, sähkön- ja vedenkulutuksen tavoitearvot on asetettu oikein, tavoitearvon ja toteutuneen arvon poikkeama saattaa viitata vikoihin rakennuksen energiajärjestelmissä tai järjestelmien ei-toivottuun käyttötapaan. Sisäolojen seuranta yhdessä niihin vaikuttavien ohjausten kanssa voi myös paljastaa rakennuksen epänormaalin käytön. Lisäksi säädön huono toiminta voi johtaa merkittävään energiantuhlaukseen.

Tässä julkaisussa kuvaillaan seurantajärjestelmää rakennuksen vikojen havaitsemiseen ja paikantamiseen. Prototyypisovellus on asennettu Roihuvuoren ammattioppilaitokseen Helsinkiin. Järjestelmä hyödyntää rakennusautomaatiojärjestelmän keräämää mittaus- ym. tietoa energiankulutusten, sisäilmaolojen ja säätöpiirien toiminnan seurantaan. Kun poikkeamia havaitaan, niiden syitä paikannetaan vika-oirepuiden avulla. Järjestelmä ohjaa rakennuksen huoltohenkilöstöä käyttämään rakennuksen teknisiä järjestelmiä energiatehokkaasti avustamalla ei-toivotun toiminnan syiden selvittämisessä.

Paiho, Satu, Leskinen, Mia & Mustakallio, Panu. Automaatiojärjestelmän hyödyntäminen rakennusten energiatietoisen käytön apuvälineenä [Utilising the automation system in energy aware building use]. Espoo 2000. Technical Research Centre of Finland, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 2072. 63 p.

**Keywords** building automation systems, utilization, buildings, energy use, energy consumption, energy efficiency, indoor air, monitoring, control, heating, HVAC, fault detection, diagnosis, FDD

## Abstract

Today building automation systems are not fully utilized. Often the realized indoor conditions are checked only if building users complain. Systematic monitoring of indoor conditions and energy consumptions is rarely done. Therefore, the building automation system should automatically diagnose the energy related factors and inform the user if abnormalities occur.

In buildings, the most important energy related factors are energy consumptions, indoor conditions, and control loop performances. When target values for heating, cooling, and electrical energy consumptions, and water consumptions are correctly determined, deviations between target values and actual values may indicate faults in systems or a system misuse. Monitoring the indoor conditions in conjunction with the main control actions can also reveal abnormal building use. In addition, poor control quality may lead to considerable energy waste.

This report describes a monitoring system for fault detection and diagnosis (FDD) which was implemented to a big vocational school. The FDD system utilizes the data collected by the building automation system in monitoring the energy consumptions, indoor conditions, and control loop performances. When deviations are detected, they are diagnosed with fault-symptom trees. This FDD system guides the building operator in energy efficient building use by helping him locate the causes of undesirable operation.

# Alkusanat

Tämän tutkimuksen lähtökohtana oli käytännössä havaittu ongelma, että rakennusautomaatiojärjestelmän tuottamaa tietoa ei useinkaan jalosteta rakennuksen huoltohenkilöstön tarvitsemaan muotoon. Näin ollen rakennusautomaatiojärjestelmä ei tue rakennusten energiatietoista käyttöä, vaikka se tarjoaa tähän mahdollisuudet. Tässä tutkimuksessa kehitettiin Roihuvuoren ammattioppilaitokseen Helsinkiin rakennusautomaatiojärjestelmään liitetty vikadiagnostiikkasovellus, jolla voidaan pilotoida energiankäytössä, olojen seurannassa ja säätöpiirien toiminnassa havaittujen poikkeamien syiden selvittämistä.

Tutkimusta rahoittivat Teknologian kehittämiskeskus (Tekes), Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT), Helsingin kaupungin rakennusvirasto ja Computec Oy. Projektin johtoryhmä koottiin rahoittajien edustajista. Siihen kuuluivat Heikki Kotila (Tekes), Markku Virtanen (VTT Rakennustekniikka), Toivo Sahlstén (HKR-Rakennuttaja) ja Heikki Oksa (Computec Oy).

Tutkimuksen projektipäällikkönä toimi diplomi-insinööri Satu Paiho. Lisäksi tutkimuksen toteuttamiseen osallistuivat diplomi-insinöörit Mia Leskinen ja Panu Mustakallio. Järjestelmän tekniseen toteutukseen ja viimeistelyyn osallistuivat myös tekniikan yliopilas Raija Seppälä, insinööri Orvo Leskinen ja diplomi-insinööri Sami Karjalainen. Käyttäjän alkuhaastattelun Roihuvuoren ammattioppilaitoksessa teki diplomi-insinööri Maarit Haakana. Kylmiöiden vikapuun teki diplomi-insinööri Ari Laitinen. Julkaisun ”Internet-toteutuksen periaatteet”-luvun kirjoitti pääosin diplomi-insinööri Kalevi Piira. Lisäksi projektiryhmän työskentelyyn osallistuivat Arvi Leminen Roihuvuoren ammattioppilaitoksesta, Heikki Hietala Helsingin kaupungin opetusviraston palvelukeskuksesta, Peter Andersen Helsingin kaupungin rakennusvirastosta sekä Vesa Jermilä ja Ari Sinivaara Computecilta.

Kiitämme kaikkia tutkimukseen osallistuneita.

Espoossa marraskuussa 2000

Tekijät

# Sisällysluettelo

Tiivistelmä .....	3
Abstract .....	4
Alkusanat .....	5
1. Johdanto .....	9
2. Käyttäjän tarpeet ja vikadiagnostiikkamenetelmälle asetettavat vaatimukset.....	10
2.1 Koekohteen kuvaus.....	10
2.2 Käyttäjien ja asiakkaiden kuvaus.....	11
2.2.1 Käyttäjät .....	11
2.2.2 Organisaatio.....	12
2.2.3 Asiakkaat .....	12
2.2.4 Motivaatioasiat .....	13
2.3 Käyttäjien tarpeet.....	13
2.3.1 Nykyinen valvomojärjestelmä ja sen normaalikäyttö.....	13
2.3.2 Nykyiseen valvomojärjestelmään liittyvät puutteet.....	14
2.3.3 Vikadiagnostiikkamenetelmille asetettavat vaatimukset.....	14
3. Vian havaitsemis- ja paikantamismenetelmien kartoitus .....	19
3.1 Vian havaitsemismenetelmiä.....	19
3.2 Vian paikallistamismenetelmiä.....	23
4. Rakennuksen energiatietoisien käytön menetelmät.....	27
4.1 Energiankulutuksen seuranta .....	27
4.1.1 Energiankulutuksen tavoitearvot.....	27
4.1.2 Kulutuspoikkeamien havaitseminen .....	30
4.2 Olojen ja keskeisten ohjausten välisen riippuvuuden seuranta.....	32
4.2.1 Seurattavat olot ja niiden tavoitearvot.....	32
4.2.2 Huonelämpötiloihin vaikuttavat ohjaukset.....	34
4.2.3 Säätokäyrien muuttaminen .....	38
4.3 Säättöpiirien toiminta ja stabiilius .....	41
4.3.1 Säättöjärjestelmien toiminnalliset vaatimukset .....	41
4.3.2 Säättöpiirien toiminnan arviointikriteerit .....	41
4.3.3 Säättöpiirien toiminnan seuranta .....	43
4.4 Poikkeamien syiden paikallistaminen.....	44

5. Menetelmien hyödyntäminen automaatiolaitteissa .....	46
5.1 Käyttöliittymien suunnitteluperiaatteet.....	46
5.2 Vikadiagnostiikkaohjelmiston ominaisuudet.....	47
5.2.1 Energiankulutus.....	48
5.2.2 Olosuhdeseuranta .....	49
5.2.3 Säättöpiirien toiminta .....	51
5.2.4 Poikkeaman syyn paikallistaminen .....	53
5.3 Ohjelmiston liittäminen automaatiojärjestelmään .....	53
5.3.1 Toteutettu liityntä .....	54
5.3.2 Internet-toteutuksen periaatteet .....	54
6. Demonstrointi koekohteessa .....	57
6.1 Käyttäjäkokemukset.....	57
6.1.1 Kone-esimiehen ensikommentit esimerkkinäyttöön .....	57
6.1.2 Käyttäjän ensivaikutelma ohjelmasta .....	57
6.2 Jatkokehitystarpeet.....	58
7. Yhteenveto .....	59
Lähdeluettelo.....	60





# 1. Johdanto

Liike- ja toimistorakennuksissa tietokonepohjaiset valvontajärjestelmät ovat viime aikoina yleistyneet. Voidaan sanoa, että kaikki merkittävät rakennukset varustetaan tänä päivänä nykyaikaisilla säätö- ja valvontajärjestelmillä. Nämä järjestelmät mahdollistavat asetusarvojen ja toteutuneiden olojen seurannan sekä erilaisten ohjelmallisten hälytystoimintojen asettamisen. Periaattessa järjestelmissä olevan vapaaohjelmoitavuusominaisuuden avulla käyttäjä voi toteuttaa hyvinkin yksilöllisiä tarpeitaan. Lisäksi mm. järjestelmän tiedonkeruunominaisuuden avulla sähkö- ja lämmitysenergian sekä veden kulutuksen seuranta on mahdollista toteuttaa.

Automaatiojärjestelmien keskeinen ongelma on kuitenkin tänä päivänä se, että laitteita ei ole osattu hyödyntää täysimääräisesti. Usein laitteista luetaan toteutuneita oloja, kun valituksia niistä esiintyy. Systemaattista olojen ja energiankulutuksen seuranta ei juuri harjoiteta. Syynä tähän on ehkä se, ettei ole tiedostettu, mitä laitteilla ylipäätään tulisi tehdä. On tyydytty siihen, että kukin käyttäjä itse määrittelee omat tarpeensa. Kuitenkin, kun otetaan huomioon automaatiolaitteita käyttävien henkilöiden osaamis- ja koulutustaso, ei voida edellyttää heidän hallitsevan muiden töiden ohella myös laitteiden ohjelmointitekniikkaa.

Nykyisin talotekniikkajärjestelmien ongelmat havaitaan yleensä rakennuksen käyttäjien valituksista tai rakennusautomaatiojärjestelmän tuottamista hälytyksistä. Usein huoltohenkilöstö reagoi näihin sisälämpötiloja tarkistamalla tai asetusarvoja muuttamalla. Toimintahäiriöiden perimmäinen syy jää kuitenkin usein diagnosoimatta (Brambley *et al.* 1998), joten ongelmat toistuvat ja huoltohenkilöstö vastaa uusilla asetteluilla.

Järjestelmien toimintaa voitaisiin oleellisesti parantaa, mikäli laitteiston keräämän mitaustiedon käsittelyssä olisi kehittyneitä toimintarutiineja ja ohjelmistoja. Järjestelmän tulisi suorittaa energianhallintaa liittyvää diagnosointia automaattisesti ja hälyttää käyttäjän ymmärtämässä muodossa silloin, kun poikkeamia esiintyy. Mikäli vian paikantaminen sitä edellyttää, tulisi järjestelmässä olla varsin yksityiskohtainen vian paikantamisproseduuri, joka käynnistyisi automaattisesti.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli kehittää rakennusten automaatiojärjestelmien hyödyntämistä rakennusten energiatietoisien käytön apuvälineenä. Teknologisena tavoitteena oli kehittää menettelytapoja hyödyntää järjestelmien keräämää tietoa olojen ja energiankäytön tarkkailussa. Tutkimuksen osatavoitteena oli kehittää perusohjelmistojen prototyypit ja energianhallinnan toimintaproseduurit, joiden tulisi kuulua jokaiseen rakennusautomaatiojärjestelmään.

## 2. Käyttäjän tarpeet ja vikadiagnostiikkamenetelmälle asetettavat vaatimukset

### 2.1 Koekohteen kuvaus

Kehitettyjä menetelmiä ja vikadiagnosioivalluksia testattiin ja demonstroitettiin Roihuvuoren ammattioppilaitoksessa (kuva 1), joka on rakennettu 1978. Kohteen rakennustilavuus on 68 300 m<sup>3</sup>. Siellä opiskelee noin 700 opiskelijaa. Rakennuksessa työskentelee noin 70 opettajaa ja noin 30 muuhun henkilökuntaan kuuluvaa.



*Kuva 1. Roihuvuoren ammattioppilaitos.*

Ammattioppilaitoksen rakennusautomaatiojärjestelmään kuuluu yksi valvomo. Valvomoon on liitetty viisi alakeskusta, joista yksi sijaitsee lämmönjakohuoneessa ja muut neljä IV-konehuoneissa. Järjestelmään on kytketty yhteensä 575 I/O-pistettä, joista digitaalisia tuloja on 297 kappaletta, digitaalisia lähtöjä 83 kappaletta, analogisia tuloja 144 kappaletta ja analogisia lähtöjä 51 kappaletta.

Rakennuksessa on radiaattoriverkosto. Lämmönjakohuoneessa on neljä lämmönsiirrintä, joista kaksi lämmittää radiaattoriverkoston menovettä, yksi ilmastointikoneitten lämmi-

tyspattereiden menovettä ja yksi on tarkoitettu lämpimän käyttöveden lämmittämiseen. Rakennuksessa on 14 opetuskeittiötä, joihin liittyy yhteensä 60 kylmiötä. Kylmiöissä on kompressorijäähdytys.

Osa tilojen lämmitystehosta tuodaan ilmastoinnilla. Ilmastointikoneita on yhteensä 14, joista yksi on 2-nopeuksinen ja muut toimivat yhdellä puhaltimen pyörimisnopeudella. Ilmastointikoneissa on nestekiertoiset lämmöntalteenottopatterit. Ilmastointikoneet ovat pääsääntöisesti käynnissä arkisin klo 7 - 16. Tuloilman lämpötilan asetusarvo määräytyy poistoilman lämpötilan perusteella kompensointikäyrän avulla eikä se alita 16:ta °C.

Ammattioppilaitoksessa mitataan normaalin vesimittauksen lisäksi lämmin käyttövesi ja kaukolämmön vesimäärä. Energiamittaukset tehdään kaukolämmöstä ja sähköenergiasta. Keittiöiden sähkönkulutustietoja saadaan myös nousukeskuksittain. Sähkönkulutustieto ei tosin välity luotettavasti valvomoon, vaan se on käytävä tarkistamassa mittarista.

Tässä luvussa on kuvattu, millaisia käyttäjiä ja asiakkaita Roihuvuoren ammattioppilaitoksessa on (luku 2.2) ja millaisia tarpeita käyttäjillä oli automaatiojärjestelmän hyödyntämiseen liittyen (luku 2.3). Kuvaus perustuu koekohteen käyttäjän haastatteluun (Haakana 1998).

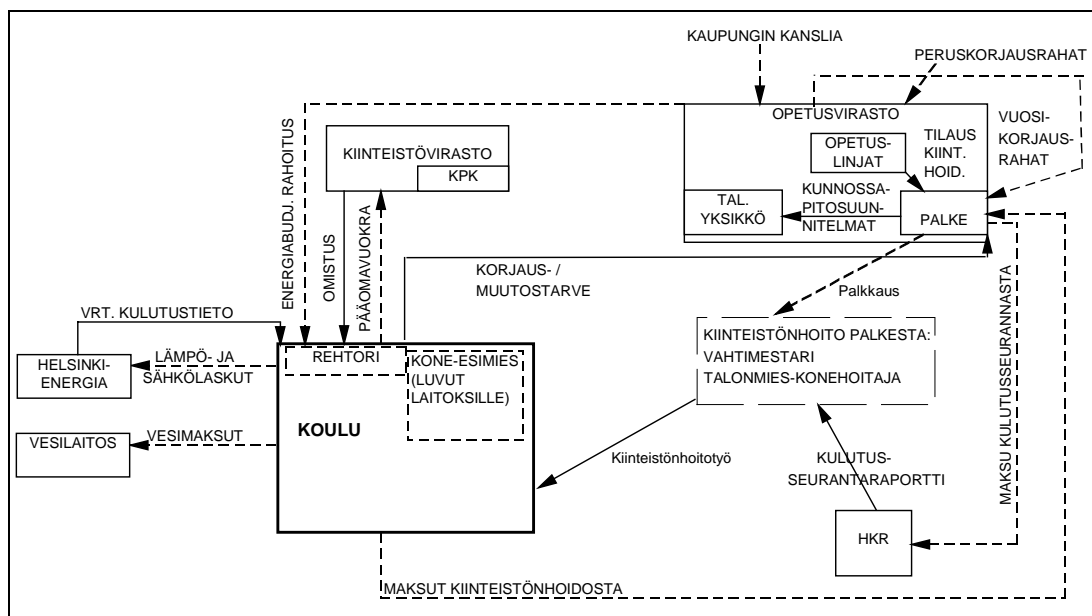
## **2.2 Käyttäjien ja asiakkaiden kuvaus**

### **2.2.1 Käyttäjät**

Roihuvuoren ammattioppilaitoksessa on vakituisesti kolme kiinteistönhoitohenkilöä (talonmies-konehoitaja, vahtimestari ja kone-esimies) ja lisäksi määräaikaisesti ompelukonemekaanikko. Talonmies-konehoitaja toimii palvelukeskuksen palveluryhmän palveluvastaavana. Hän asuu koululla ja sulkee ovet ja osallistuu jonkin verran myös tekniiseen huoltoon. Talonmies-konehoitajan vaimo toimii iltavahtimestarina ja valvoo iltakäyttöä. Vahtimestarin tehtäviin eivät kuulu tekniset tehtävät, vaan lähinnä vain kulunvalvonta-asiat. Kone-esimies vastaa koneitten ja laitteiden toiminnasta. Kone-esimiehen vastuualueeseen kuuluvat lvi-laitteet sekä opetuksessa käytettävät koneet (ompelukoneet, kylmälaitteet, keittiökoneet jne.). Kone-esimies on se työntekijä, johon yleensä otetaan yhteyttä, jos kiinteistössä jokin ei toimi. Opetuksessa käytettäviä koneita hoitaa kone-esimiehen avustajana määräaikainen työntekijä.

## 2.2.2 Organisaatio

Kiinteistöhoitohenkilöstöstä osa kuuluu opetusviraston palvelukeskuksen (PALKE) palkkaamaan henkilöstöön ja osa koulun palkkaamaan henkilöstöön. Koulu ostaa osan kiinteistöhoitopalveluista opetusviraston palvelukeskuksesta. Palvelukeskuksen henkilöstönä koululla toimii talonmies-konehoitaja ja vahtimestari sekä lisäksi siivoushenkilöstö. Talonmies-konehoitaja toimii palvelukeskuksen palveluryhmän palveluvastavana. Kone-esimies kuuluu koulun omaan henkilöstöön. Hänen esimiehensä on koulun taloudenhoitaja, mutta tehtäviä voi antaa koko opetushenkilöstö. Kuvassa 2 on esitetty, miten Helsingin kaupungin eri organisaatiot liittyvät Roihuvuoren ammattioppilaitoksen kiinteistöhoitoon sekä miten vastaavat rahavirrat liikkuvat.



Kuva 2. Roihuvuoren ammattioppilaitoksen kiinteistöhoiton liittynyt eri organisaatioihin ja vastaavien rahavirtojen suunnat. PALKE = Opetusviraston palvelukeskus, KPK = Kiinteistöviraston palvelukeskus, HKR = Helsingin kaupungin rakennusvirasto.

## 2.2.3 Asiakkaat

Tilojen käyttäjät voivat ilmoittaa kiinteistöhenkilökunnalle puhelimitse tai jättämällä valvomoon lapun, jos havaitsevat laitevikoja tai jos luokkien lämpötiloja pitää säätää tai lampuja vaihtaa. Yleensä vikailmoituksiin reagoidaan nopeasti, ja vian syytä aletaan heti selvittää.

## 2.2.4 Motivaatioasiat

Käyttäjän näkökulmasta motivaatiota energiansäästöön lisäisi se, jos LVIS-järjestelmät ja valvontajärjestelmät rakennettaisiin niin, että niissä olisi paremmat mahdollisuudet säästää energiaa. Esimerkiksi valaistuksesta käyttäjä totesi, että rakennuksessa on kymmenittäin pukusuoja ja muita tiloja, joissa valot palavat usein koko vuorokauden. Käytävien ja rappujen valaistus saadaan sammutettua valvontajärjestelmästä, mutta ei pukuhuoneiden. Järjestelmän rakentaminen niin, että valot saisi sytytettyä ja sammutettua vain kaukovalvonnasta, olisi käyttäjän mielestä toivottavaa.

Energiaa on pyritty säästämään siten, ettei ilmanvaihtoa pidetä yöllä päällä. Olisi mielekäästä, jos IV-koneet saisi pienelle teholle yöllä. Nyt vaihtoehtoina ovat täysi teho tai kokonaan pois päältä. Uusimpien keittiöiden IV-koneiden ilmavirtoja voi pienentää, mutta se on hankalaa.

Kukaan organisaatiossa ei ole ehdottanut käyttäjälle, että energiaa tulisi säästää. Käyttäjä ei myöskään saa palautetta energiankulutukseen liittyvistä asioista muutoin kuin kuukausittain tai viikoittain tulevien kulutusseurantareporttien muodossa. Tämän projektin käynnistyessä energiankulutuksen tavoitearvoja ei ollut asetettu tai ainakaan niitä ei ollut käyttäjälle esitetty.

## 2.3 Käyttäjien tarpeet

### 2.3.1 Nykyinen valvomojärjestelmä ja sen normaalikäyttö

Päivittäisestä kiinteistöhoitotyöstä melko pieni osa liittyy rakennusautomaatiojärjestelmän käyttöön. LVI-järjestelmään liittyen katsotaan aamuisin, ovatko ilmanvaihtokoneet lähteneet käyntiin. Kaikkien IV-koneiden käynnistyminen tarkistetaan joka aamu, vaikkei hälytyksiä olisikaan tulleet. Valvomojärjestelmän esittämän kuvan perusteella nähdään heti mahdolliset ongelmat. Koneitten läpikäynnissä kuluu aikaa noin 5 - 10 minuuttia. Kaikki yön aikana tulleet hälytykset käydään aamuisin läpi ja niihin reagoidaan tarpeen mukaan.

Rakennusautomaatiojärjestelmää käytetään laitteiden toiminnan seurantaan, jos laitteissa epäillään olevan jotain vikaa. Esimerkiksi vuorokausi- tai viikkoseuranta saatetaan käynnistää, jolloin havaitaan, missä vaiheessa ongelmat esiintyvät. Tällaisissa seurannoissa tarkkaillaan yleensä lämpötilojen muutoksia, tarkistetaan asetusarvot ja niiden pysyminen. Lisäksi saatetaan seurata esimerkiksi ilmanvaihtokoneen käynnistymistä ja lämpötilojen muutosta sen jälkeen. Joskus on myös seurattu sitä, kuinka nopeasti lämmönsiirtimeltä tulevan veden lämpötila aamulla muuttuu. Aikaisemmin kiinteistössä oli ongelmana se, ettei lämpö riittänyt toiseen päähän taloa. Nyt ongelma on

korjaantunut uusien pumppujen ja ilmastointiryhmään asennettujen isompien lämmönsiirtimien myötä.

Kulunvalvontajärjestelmän käyttö on ilmeisesti melko keskeinen osa valvomotyötä. Ovivalvonta, yövalvonta ja valvontatutkien aiheuttamat hälytykset hoidetaan valvomossa.

### **2.3.2 Nykyiseen valvomojärjestelmään liittyvät puutteet**

Rakennusautomaatiojärjestelmän nykyinen valvomo-ohjelmisto on melko monimutkainen käyttää. Yksittäisen kuvan etsiminen ja siihen haettavien tietojen etsiminen on työlästä. Järjestelmä ilmoittaa vain, mikä hälyttää, muttei mahdollista syytä. Toisaalta konenut käyttäjä yleensä tietää, mikä vika hälytyksen taustalla on.

Järjestelmä ei myöskään kerro laitteiden sijaintia. Silloin kun kiinteistöhoitotyö on sijaisten vastuulla, vikaantuneiden laitteiden etsimiseen menee aikaa tai voidaan joutua soittamaan lomalla olevalle vakiohenkilökunnalle neuvojen kysymiseksi.

Jotkin termit ovat puutteellisia, esimerkiksi kone ilmoittaa vain ristiriitahälytyksestä. Olisi hyvä, jos järjestelmä kertoisi vikanimekkeellä, mikä on ongelmana. Järjestelmässä on merkkivärit hälytykselle, normaalitoiminnalle ja lepotilalle, mutta missään ei opasteta, mitä värikoodit tarkoittavat. Sijaisille tästä voi koitua ongelmia.

Virtausvahdit toimivat epäluotettavasti tulokoneilla, eikä poistokoneilla ole virtausvahdteja lainkaan. Poistokoneille niitä kaivattaisiin ja niiden kaikkien tulisi toimia luotettavasti. Ongelmatilanteita voi tulla, jos esimerkiksi lämpösuojan sulake on palanut eikä lämpösuoja laukea, vaikka kone on pysähtynyt. Tilatieto tulee järjestelmään lämpösuojalta, mutta tällaisessa tilanteessa mitään vikailmoitusta ei tule. Näin on joskus käynyt suurkeittiön IV-koneen poistopuolelle.

### **2.3.3 Vikadiagnostiikkamenetelmille asetettavat vaatimukset**

#### **Valvomojärjestelmän antamat hälytykset**

Yleisimmät hälytykset liittyvät oviin ja tutkavalvontaan, mutta nämä hälytykset tulevat kulunvalvontajärjestelmästä. Seuraavaksi yleisimmät hälytykset liittyvät kylmiöihin. Kylmiöt ja keittiöt hälyttävät, jos kylmiön tai pakastushuoneen lämpötila nousee. Hälytyksen takana voi olla kompressorin rikkoutuminen tai freonivuoto, jolloin kone ei vielä ole ehtinyt rikkoontua. Nämä vaativat heti toimia, ja viikonloppuisin hälytys menee suoraan talonmiehille. Koulun käyttöaikana kylmiö- tai pakastushälytyksen saattaa aiheut-

taa tilojen väärä käyttö: ovien väliin laitetaan karryjä ja pidetään ovet pitkään auki, jolloin lämpötila nousee aiheuttaen hälytyksen.

LVI-järjestelmään liittyvät yleisimmät hälytykset ovat ilmastoinnin pumppujen pysähtymisestä ja lämpösuojan laukeamisesta aiheutuvat hälytykset. Kone-esimiehellä on kiinteistössä mukanaan taskuhälytin, jossa hälytykset näkyvät.

IV-koneiden lämpötiloihin liittyy hälytystoimintoja vain lämpötilojen laskiessa niin alas, että kone pysähtyy. Uusiin IV-koneisiin asennetut virtausvahdit aiheuttavat paljon vika-hälytyksiä. Ainoastaan kerran virtausvahdin antaman hälytyksen takana on ollut todellinen syy (hihna poikki), muutoin kaikki hälytykset ovat olleet turhia.

Lämmitysjärjestelmän hälytyksiä on verkostopaineen hälytys, joka ilmenee, jos putket rikkoutuvat tai jäätyvät. Ongelma ei ole kovin yleinen, mutta aiheuttaa kovan kiireen korjaustoimiin, jottei tule lisää jäätymisiä.

### Valvomojärjestelmässä yleisimmin tehtävät muutokset

Valvomojärjestelmissä muutetaan yleisimmin ovien aukioloaikoja ja ilmanvaihdon käyntiaikoja. Tilojen käyttäjät ilmoittavat muuttuvasta ilmanvaihdon käyttötarpeesta kirjallisesti valvomoon. Eniten muutetaan keittiöiden IV-koneiden käyntiaikoja. Uusiin IV-koneisiin liittyen on viiteen opetuskeittiöön asennettu laitteet, joilla käyttäjät saavat itse jatkettua ilmanvaihdon käyttöaikaa tunnin kerrallaan.

Ilmanvaihdon lämmitysverkoston automatiikassa muutetaan kompensointia ohjaavaa tuloilman lämpötilan asetusarvon alarajaa keväisin ja syksyisin. Sitä saatetaan muuttaa myös, jos talvella on erityisen kovia pakkasia. Säätäautomatiikka säätää tuloilman lämpötilaa poistoilman lämpötilan perusteella kompensatiokäyrän mukaan (Luku 0). Tuloilman lämpötilalla on erikseen aseteltavat ylä- ja alarajat, joiden lukuarvot on esitetty valvomossa sijaitsevassa opaskirjassa. Sisäänpuhalluslämpötiloja ei muuteta kovin usein, yleensä vain silloin, kun patteriverkostosta tuleva peruslämmitys ei riitä pitämään huoneiden lämpötilaa toivotuissa rajoissa. Tuloilman lämpötilan asetusarvon alarajana on yleensä 16 °C ja ylärajana 25 °C. Yleensä sisäänpuhalluslämpötila on noin 20 - 22 °C. Muutokseen on yleensä perusteena se, että luokissa valitetaan liikaa kylmyyttä.



## Yleisimmät ongelmat ja ongelmia aiheuttavat laitteet

Kylmiöiden yleisimmät ongelmat ovat kompressoriviat ja freonin karkaaminen kylmä-laitteista. Kylmiöt vaativat kone-esimiehen mielestä useammin korjaustoimia kuin IV-koneet. Kun ovia pidetään pitkään auki, saavat tilat liikaa lämpöä, minkä jälkeen kennot jäätyvät.

Iltanvaihdossa yleisimpiä häiriöitä ovat palopeltien ja moottoripeltien laukeamiset. Taustalla on erilaisia syitä. Eräs ongelmallinen selvitettävä syy moottoripeltien kiinni menoon oli muuntajan sulakkeen palaminen, mitä tapahtuu erittäin harvoin.

Iltanvaihdossa ongelmallisim IV-kone on vaatepuolen opetustiloja hoitava tuloilmakone. Yksi kone palvelee isoa toiminta-aluetta, jossa on huoneita etelä- ja pohjoissuuntaan. Keväällä eteläpuolen huoneissa saattaa olla 5 - 6 astetta lämpimämpää kuin pohjoispuolella. Automaattikka mittaa yhteensä viiden etelä- ja pohjoispuolella sijaitsevan huoneen lämpötilaa, joiden keskilämpötilan perusteella sisäänpuhallusilman lämpötilaa ohjataan.

Muita vikaantumisia ovat keittiökoneisiin ja valaistukseen liittyvät häiriöt, jotka tosin eivät näy valvomojärjestelmissä. Keittiökoneisiin liittyviä laitevikoja esiintyy päivittäin, esimerkiksi astianpesukoneisiin tulee usein välitöntä korjausta vaativia vikoja. Palaneista lamput opettajat ilmoittavat yleensä suoraan kone-esimiehelle puhelimitse tai jättävät valvomoon lapun.

## Kulutuksen, olojen ja säätöpiirien toiminnan seuraaminen

Kone-esimies lukee energia- ja vesimittarit ja lähettää energia- ja vesilaitoksille tiedot, joiden perusteella koulua laskutetaan. Talonmies-konehoitaja lähettää lukemat HKR:n energiayksikköön tilastointia varten. Vuosittain HKR lähettää talonmies-konehoitajalle katsauksen energian- ja vedenkulutuksesta. Tämä raportti tulee koulun valvomoon, jossa kone-esimies sen myös näkee.

Rakennusautomaatiojärjestelmästä saadaan kuukausittain ja haluttaessa viikoittainkin kulutusraportti, josta havaitaan suuret kulutuksen muutokset. Sähkönkulutuksen seuranta ei valvomojärjestelmässä toimi. Raportointi esitetään valvomo-ohjelmassa lukui-  
na. Käyttäjät eivät ole muuttaneet lukuja graafiseen muotoon, vaikka se olisi mahdollista. Vaikutti siltä, että valvomo-ohjelmassa eri esitysmuodon valinta oli aika hankalaa. Kone-esimies on seurannut kulutuksen muuttumista ja totesi, että kulutukset ovat kasvaneet koko ajan. Toisaalta myös kulutuskohteita tulee jatkuvasti lisää.

Koulun rehtori tai opetushenkilöstö ei ole ollut kiinnostunut koulun energiankulutuksesta, ainakaan se ei ole lähestynyt käyttöhenkilökuntaa tähän asiaan liittyen. Roihuvuoren ammattioppilaitoksen sähkö-, lämpö- ja vesilaskut sisältyvät koulun omaan budjettiin. Kiinteistöhoitohenkilöstö ei seuraa energia- tai vesikustannuksia, eikä niistä ole heille annettu palautetta.

Tilojen oloja tai säätöarvoja ei seurata päivittäin. Jos joku valittaa kylmästä, tarkistetaan valvomosta, mistä ongelma voi johtua. Rakennusautomaatiojärjestelmässä saatetaan laittaa jollekin IV-koneelle esimerkiksi vuorokausiseuranta, jos epäillään lämpötilan putoavan jossakin vaiheessa. Huonelämpötilamittauksia on vain niistä tiloista, joiden lämpötilat vaikuttavat IV-koneiden säätöön tai säädön asetusarvoihin.

### Käyttäjän toiveet uusille rakennusautomaatio-, vikadiagnostiikka- ja opastusjärjestelmille

Kylmiöt ovat niin keskeisiä laitteita kone-esimiehen työssä, että hän toivoi niitä mukaan seurantakokeiluun, jos mahdollista.

Vaatetusosaston IV-kone, jossa on kostutus, oli ensimmäinen valinta LVI-puolen laitteista projektin esimerkkikohteeksi. Seuraava toive oli suurkeittiön IV-kone, joka on yksi tärkeimmistä koneista. Suurkeittiössä tehdään oppilas- ja henkilökunnan ruoat, ja lämpökuormat ovat kiinteistön suurimmat. Jos ilmanvaihto on pienen hetken pois päältä, muodostuu heti suuria lämpö- ja kosteuskuormia. Kone-esimiehen vastuualueeseen kuuluvat myös keittölaitteet, joten hän toivoi myös suurkeittölaitteiden vikoihin liittyvää opastusta.

Kun ilmastointipumput tai suodatinvahdit hälyttävät, hälytykseen täytyisi liittyä osoitetieto laitteen löytämiseksi. Vastaavasti IV-koneista pitäisi saada koneen näytölle sijaintitieto, jotta tietäisi, missä konehuoneessa ja missä päin taloa ne sijaitsevat. Kiinteistössä on noin 10 IV-konehuonetta, mistä aiheutuu ongelmia erityisesti sijaisille. Palohälytyksistä on kartta hälytyksen sijaintipaikasta, mutta ilmanvaihdosta ei tällaisia karttoja ole.

Opastusjärjestelmä, joka kertoisi hälytyksen lisäksi todennäköisimmät häiriöiden syyt, olisi hyvä erityisesti sijaisille ja uusille kiinteistöhoitajille. Jos vika toistuu usein, totunut kiinteistöhoitaja yleensä tietää, mikä on vikana, kun hälytys tulee. Kiinteistöä pitkän aikaa hoitaneelle voisi olla tärkeämpää opastustieto harvinaisimmista vioista, joiden selvittäminen on työlästä.

Ennakoiva seuranta olisi erittäin hyvä asia. Esimerkiksi kun venttiili rupeaa toimimaan viallisesti, nykyisin hälytys tulee vasta, kun vahinko on jo tapahtunut. Jos hälytys tulisi aikaisemmin, asioihin voitaisiin puuttua ennen kuin mikään pääsee jäätymään.

Kiinteistöhoitajan mielestä huonelämpötiloja ja järjestelmien oikeaa ja tarkoituksenmukaista toimintaa ei nykyään mitenkään seurata. Voisi olla hyvä saada ohjeita siitä, mitä pitää tehdä, jos on ongelmia lämpötilan pysymisessä tai jos lämpötilat poikkeavat asetusarvosta. Tieto tulisi nopeammin, jos olisi vikadiagnostiikkajärjestelmä. Nyt voi mennä useita päiviä, ennen kuin joku tulee ilmoittamaan, että jossakin on kylmä.

## 3. Vian havaitsemis- ja paikantamismenetelmien kartoitus

Vikadiagnostiikkamenetelmät jakautuvat vian havaitsemismenetelmiin ja vian paikallistamismenetelmiin (eli varsinaiseen diagnoosiin). Vian havaitsemismenetelmillä voidaan todeta, että järjestelmässä on jokin vika, mutta ne eivät kerro, mikä vika on kyseessä ja missä kohdassa järjestelmää se sijaitsee. Yksinkertaisimmillaan jo lämpötilan seuranta voidaan pitää vian havaitsemismenetelmänä. Vian syyn ja paikan määrittämiseen käytetään vian paikallistamismenetelmiä (tai vikadiagnoosimenetelmiä). Tässä luvussa esitellään kirjallisuudessa kuvattuja menetelmiä, jotka soveltuvat rakennustason energiankäytön ja olosuhdeseurannan tarkkailuun ja vikadiagnostiikkaan.

### 3.1 Vian havaitsemismenetelmiä

#### Lämmitysjärjestelmän vian havaitseminen ja toiminnan optimointi

Knabe *et al.* (1996) totesivat lämmityksen kulutusta analysoimalla, että keskimääräisen päivittäisen ulkolämpötilan ja lämmitystehontarpeen välillä on lineaarinen riippuvuus. Lämmitysjärjestelmän (radiaattoriverkoston) toiminnallinen vika (esimerkiksi pumpun vika, säätöjärjestelmän vika tai venttiilivika) voidaan havaita vertaamalla lämmityksen kulutusta ulkolämpötilasta riippuvaan häiriörajaan. Tätä riippuvuutta voidaan hyödyntää myös radiaattoriverkoston menoveden säätökäyrän asettamisessa ja palautuslämmitysjärjestelmän optimoimisessa.

#### Lämmitysjärjestelmän energiankulutuksen seuranta

Sprecher (1996) esittää lämmitysenergiankulutuksen monitorointiin ensimmäisen kertaluvun mallin, joka sisältää keskeisimmät lämmönlähde- ja lämpöhäviötermiit. Jos mittauksia lämmitysjärjestelmän häiriöttömän toiminnan ajalta ei ole käytettävissä, mallin tarvitsemat parametrit voidaan estimoida. Artikkelissa käsitellään myös mallin yhteydessä käytettävän häiriörajan määrittämistä.

#### Vian havaitseminen koulurakennusten lämmitysjärjestelmistä

Vaézi-Néjad *et al.* (1998) ovat kehittäneet EMMA-ohjelman havaitsemaan tyypillisimmät viat koulurakennusten hydraulisista lämmitysjärjestelmistä. Sovellettava menetelmä käyttää kolmea lämpötilamittausta, joista yksi on ulkolämpötila ja kaksi muuta ovat lämmitysjärjestelmän veden lämpötiloja. Ohjelma on implementoitu valvomoon, josta valvotaan monen rakennuksen käyttöä ja hallintaa. Tarvittavat mittaukset saadaan automaattisesti rakennuksissa sijaitsevista rakennusautomaatiojärjestelmän ala-aseamista.

Käytettävä menetelmä on yksinkertainen ja ohjelma helppokäyttöinen. Silti ohjelman käyttäjän rooli on tärkeä.

### **Graafinen menetelmä energiatarpeeseen vaikuttavien seikkojen analysointiin**

Abel *et al.* (1990) kuvaavat ulkolämpötilan pysyvyyskäyrän käyttöä rakennuksen energiataseen analysoimisessa. Kyseessä ei ole varsinainen vikadiagnostiikkamenetelmä, mutta sitä voitaisiin ehkä hyödyntää myös energiankulutuspoikkeamien analysoinnissa. Menetelmässä arvioidaan pysyvyyskäyrään piirrettyjen alueiden perusteella, onko lämmitys- tai jäähdytystarvetta.

### **Puhallintehon käyttö vian havaitsemisessa ja ilmanvaihtojärjestelmien toiminnan seurannassa**

Norford & Little (1993) esittävät vaihtoehtoja ilmanvaihtojärjestelmän puhallintehon käyttöön vian havaitsemisessa ja toiminnan seurannassa. Puhallintehon arvioimiseksi on esitetty kolme menetelmää.

Kun puhallintehoa ennustetaan lämpökuormien ja sisäänpuhallusilman lämpötilan asetusarvon funktiona, tarvitaan toistettuja käyräsovituksia optimisäätöasetusten läheisyydessä. Lisäksi menetelmää rajaa rakennusdynamiikka, minkä seurauksena tehomittaukset jätättävät asetusarvojen muutoksista. Menetelmä tarvitsee myös sähköistä alamittarointia erottaakseen havaitut viat LI-järjestelmän sähkötehonluennasta.

Puhallintehon ennustamista ilmavirran funktiona ei voi käyttää optimointiin, mutta puhallinteho tarjoaa luotettavamman yhteyden vian havaitsemiseen ilman tarvetta ylimääräisiin käyräsovituksiin optimisäätöasetusten läheisyydessä. Menetelmää voidaan käyttää vian havaitsemiseen, kun optimiasetukset on saavutettu. Staattisen paineen muutokset rajoittavat menetelmää, jos puhallintehoa ei mallinneta sekä virtauksen että paineen funktiona. Menetelmällä ei voi havaita vikoja, jotka liittyvät sisäänpuhallusilman lämpötilaan.

Puhallintehon ennustaminen moottorin pyörimisnopeuden säätösignaalin funktiona määrittää kiinteän korrelaation, joka on suhteellisen immuuni painevaihteluille, mutta ei kykene havaitsemaan useimpia ilmanvaihtojärjestelmän vikoja. Kuitenkin tätä yhteyttä voidaan käyttää erillisen nopeuden säätösignaalin korrelaation kanssa poistamaan sähköisen alamittaroinnin tarve edellyttäen, että yksittäinen tai harvinainen teho-nopeuskorrelaatio voidaan määrittää aikoina, jolloin LI-järjestelmän teho muuttuu ainoastaan yksittäisen komponentin vaikutuksesta.

## Säätöpiirin toiminnan seuranta ja vian havaitseminen

Seem *et al.* (1998) ovat kehittäneet USA:ssa patentoidun menetelmän säädön toiminnan seurantaan. Menetelmässä seurataan kahta säädön hyvyysindeksiä. Toinen indeksi antaa arvion prosessivirheestä (tai erosuureesta), joka määritellään prosessin ulostulon asetusarvon ja prosessin ulostulon mittausarvon erotukseksi. Tämä indeksi ilmaisee, kuinka hyvin säädin säilyttää prosessin ulostulon asetusarvossaan. Lähellä nolaa olevat arvot indikoivat hyvää säätöä. Toinen indeksi arvioi toimimoottorin keskimääräistä käyttöjaksoa. Indeksien suuri arvo indikoi epästabiilia säätöä, joka voi aiheuttaa toimilaitteen ennenaikaisen loppuun kulumisen.

Virheen absoluuttisen arvon hyvyysindeksi määritellään

$$|\bar{e}_t| = |\bar{e}_{t-T}| + \lambda(|e_t| - |\bar{e}_{t-T}|) \quad (1)$$

jossa

$ \bar{e}_t $	virheen absoluuttisen arvon eksponentiaalisesti painotettu liukuva keskiarvo (EWMA) hetkellä $t$
$ \bar{e}_{t-T} $	virheen absoluuttisen arvon eksponentiaalisesti painotettu liukuva keskiarvo (EWMA) hetkellä $t-T$
$T$	digitaalisen säätimen näyteväli
$\lambda$	eksponentiaalinen tasoitusvakio
$e_t$	virhe hetkellä $t$

Edellinen kaava voidaan kirjoittaa muotoon

$$Y_{pred}(t+1) = Y_{pred}(t) + \left[ \lambda(Y(t) - Y_{pred}(t)) \right] \quad (2)$$

jossa on selvyuden vuoksi käytetty virhetermien ( $|\bar{e}_t|$ ) sijasta  $Y$ :tä ja jossa alaindeksi  $pred$  viittaa ennustettuun arvoon.

Käyttöjakson (tai toimintajakson) hyvyysindeksi määritellään

$$\bar{d}_t = \bar{d}_{t-T} + \lambda(d_t - \bar{d}_{t-T}) \quad (3)$$

jossa

$\bar{d}_t$	käyttöjakson eksponentiaalisesti painotettu liukuva keskiarvo hetkellä $t$
$\bar{d}_{t-T}$	käyttöjakson eksponentiaalisesti painotettu liukuva keskiarvo hetkellä $t-T$
$d_t$	käyttöjakso välillä $t$ ja $t-T$

Käyttöjakso hetkellä  $t$  on elektronisen toimimoottorin toiminta-aika ajanhetkien  $t$  ja  $t - T$  välillä. Käyttöjakson hyvyysindeksin suuri arvo viittaa siihen, että mekaaniset komponentit (kuten toimimoottorit, venttiilit tai pellit) liikkuvat ylenmääräisesti ja voivat kulua loppuun ennenaikaisesti.

Menetelmän suurin haaste on tasoitusvakion  $\lambda$  oikea määrittäminen. Jos  $\lambda$  on liian suuri, hyvyysindeksit saavat suuria arvoja kuormitus- tai asetusarvomuutoksen jälkeen. Jos  $\lambda$  on liian pieni, vian havaitsemiseen tarvittava aika on kohtuuton. Tasoitusvakion määrittämiseen voidaan käyttää seuraavaa ohjetta:

$$\frac{T}{20 t_s} < \lambda < \frac{T}{5 t_s} \quad (4)$$

jossa

$t_s$  säätöpiirin asettumisaika

### **Ominaiskäyrämenetelmä**

Ominaiskäyrät auttavat visualisoimaan fysikaalisten prosessien malleja (Madjidi 1996). Monet LVI-järjestelmien laitevalmistajat julkaisevat niitä kuvaamaan tuotteidensa ominaisuuksia. Visualisointivaatimus rajoittaa muuttujien määrää ominaiskäyrien matemaattisessa esitysmuodossa. Ominaiskäyriä käytetäänkin useimmiten kuvaamaan kahden muuttujan välistä riippuvuutta. Jos halutaan esittää kolmen muuttujan välisiä yhteyksiä, päädytään kaksiulotteisessa esitysmuodossa käyräparviin. Kolmea useamman muuttujan esittäminen graafisesti ei ole enää kovin havainnollista.

Käytettäessä ominaiskäyriä vian havaitsemisessa on ensin muodostettava referenssikäyrä, johon prosessin toimintaa verrataan (Hyvärinen 1993). Referenssikäyrä kuvaa prosessin toimintaa normaalitilassa. Se voi olla valmistajan toimittama tai muodostettu vastaanotto- tai käynnistysvaiheessa. Referenssikäyrä voi olla myös ominaiskäyrä, joka on muodostettu järjestelmän normaalin toiminnan aikana ja sitten valittu referenssikäyräksi. Tällöin se kuvaa jotakin referenssitoimintaa, jonka oletetaan olevan "oikeaa" toimintaa.

Vikojen paljastamiseksi voidaan käyttää esimerkiksi seuraavia menetelmiä:

- toimintapisteen arvoa verrataan referenssikäyrän vastaavaan arvoon
- verrataan keskenään muodostettua ominaiskäyrää ja referenssikäyrää
- verrataan muodostettavan ominaiskäyrän tilastollisia ominaisuuksia referenssikäyrän ominaisuuksiin.

Toimintapisteen arvon vertaaminen referenssikäyrään on käytännössä sama kuin mallin ulostulon vertaaminen mitattuun tai laskettuun arvoon. Ominaiskäyrää voidaan verrata referenssikäyrään esimerkiksi laskemalla käyrien väliin jäämä pinta-ala tai havainnollisella erot visuaalisesti. Pinta-ala laskettaessa on otettava huomioon, että ominaiskäyrässä saattaa olla pisteitä, joita ei ole päivitetty äskettäin.

Ainakin neljänlaisia testisuureita voidaan käyttää (Ruokonen 1986)

- tilastollisia ominaisuuksia (varianssi ja jakauma kaikissa toimintapisteissä)
- referenssikäyrän ja mitatun arvon ero
- referenssikäyrän ja ominaiskäyrän vertailu
- ominaiskäyrästä määritetyt parametriestimaatit ja jotakin fysikaalista ominaisuutta vastaavat parametriestimaatit.

## 3.2 Vian paikallistamismenetelmiä

### Vikapuu – havainnollinen vikadiagnoosimenetelmä

Prosessiin liittyvä vikatietämys voidaan jäsentää vikapuun avulla. Sen käyttö on havainnollinen tapa päätellä, missä järjestelmän kohdassa toiminta poikkeaa normaalista tai on viallinen, ja mihin kaikkeen järjestelmässä tämä vaikuttaa (Kärki 1998). Vikapuu on yleiskäyttöinen menetelmä, jota voidaan soveltaa kaikkiin teknisiin järjestelmiin.

Vikapuu tulisi muodostaa käyttövarmuusanalyysin pohjalta, jolloin vikapuussa esiintyvät järjestelmän todennäköisimmät ja merkittävimmät viat. Vikapuussa huipputapahtuma on vikapuun juurena ja huipputapahtuman syntymiseen vaikuttavat syyt puun oksina. Vikapuu muodostuu hierarkkisesta rakenteesta, jossa yhtä ylemmän tason vikaa voi selittää yksi tai useampi alemman tason vika.

Perinteisessä vikapuussa osoitetaan vain syyt tai syiden yhdistelmät, jotka voivat johtaa määrättyyn huipputapahtumaan. Kuitenkin vikapuun yhteydessä voidaan käyttää oirejoukkoja, jotka kuvaavat vikojen oireet ja niiden liittymiset vikoihin. Oirejoukkoja voidaan käyttää merkinä vian ilmaantumisesta. Sama oire voi olla merkittynä yhteen tai useampaan vikaan. Kärki & Hyvärinen (1997) ovat esittäneet esimerkkejä ilmastointikoneen vika-oirepuista.

### Vikapuusovellus ilmastointikoneelle

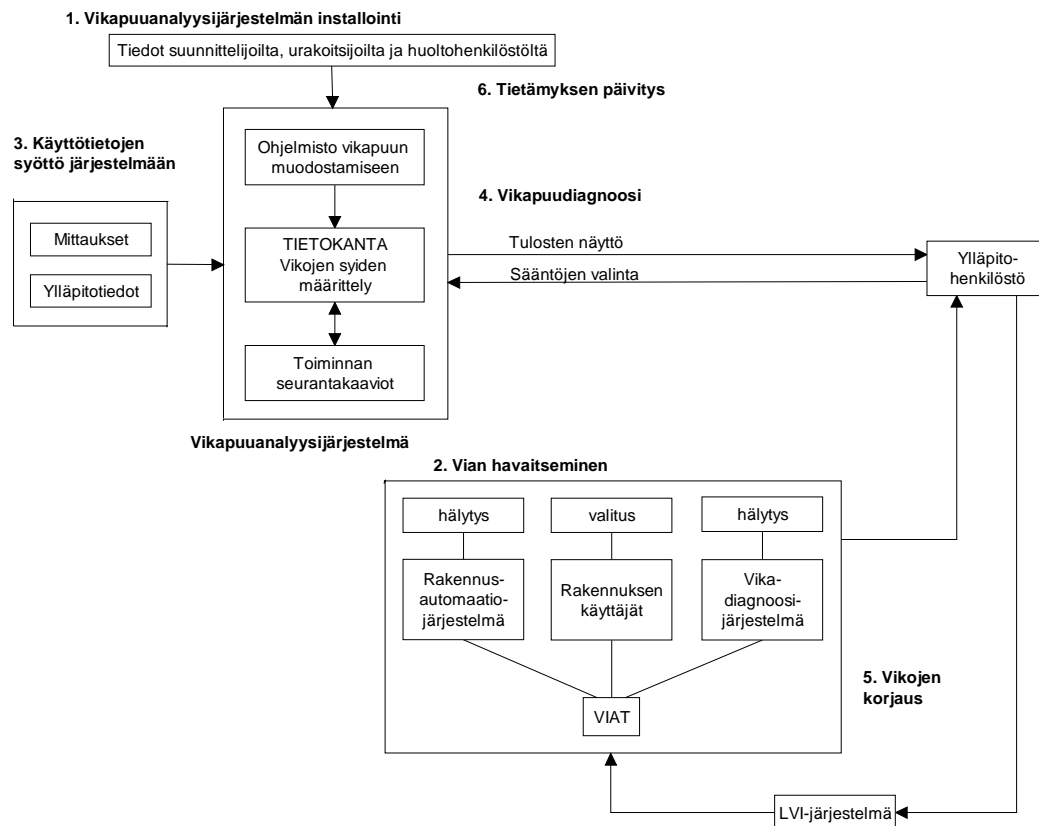
Japanilaisten (Yuzawa *et al.* 1996) vikadiagnoosijärjestelmä, jota kutsutaan vikapuuanalyysijärjestelmäksi (FTA system), soveltaa vikapuuta. Hyödynnetty vikapuu on tehty ilmastointikoneelle, joka koostuu sekoituksesta, jäädytyksestä ja puhaltimesta.



Järjestelmässä käytetään muuttuvaa ilmavirtaa (VAV-järjestelmä). Vikapuu ulottuu palveltavaan tilaan asti.

Vikapuuanalyysijärjestelmä käyttää seuraavia syöttötietoja:

- Mittaukset
  - huonelämpötila
  - sisäänpuhalluslämpötila
  - tuloilmapuhaltimen nopeus
  - tuloilmapuhaltimen staattinen paine
  - jäähdytyspatterin tulevan veden lämpötila
  - jäähdytyspatterista lähtevän veden lämpötila.
- Ohjaukset
  - VAV-pellin uudelleenasetusviesti
  - VAV-pellin avausviesti
- Asetusarvot
  - sisäänpuhalluslämpötila
  - tuloilmapuhaltimen staattinen paine
  - jäähdytyspatterille tulevan veden lämpötila
- Algoritmi
  - VAV:n säätöalgoritmi



Kuva 3. Japanilaisten vikapuuanalyysijärjestelmä.

Kuva 3 esittää japanilaisten järjestelmän periaatteen. Vikapuu muodostuu eri asiantuntijoilta saatavista tiedoista. Sen muodostamista voidaan jossain määrin automatisoida. Vikapuun sisältämä vikatietämys syötetään sääntöinä tietokantaan, joka saa tietoa myös toiminnan seuranta-kaavioista sekä mittauksista ja ylläpitotiedoista. Viat havaitaan rakennusautomaatio- tai vikadiagnosijärjestelmien antamien hälytysten tai käyttäjien tekemien valitusten perusteella. Järjestelmä kysyy käyttöhenkilöstöltä kysymyksiä ja antaa diagnooseja. Käyttöhenkilöstö arvioi, ovatko vikapuuanalyysin perusteella saadut diagnoosit mahdollisia ja tekee tarvittaessa LVI-järjestelmään korjaavat toiminnot. Prosessin jälkeen voidaan vikatietämystä päivittää.

### **Ilmanvaihdon toimintahäiriöiden diagnostisointi**

Brambley *et al.* (1998) esittelevät prototyypisovelluksen, joka automaattisesti havaitsee ja paikallistaa ilmanvaihdon vian tai toimintahäiriön. Ilmanvaihdon monitorointiin ja ongelmien havaitsemiseen käytetään niitä mittauksia, joita järjestelmästä tyypillisesti tehdään säätötarkoituksia varten.

Prototyyppi havaitsee noin 20 perustoimintahäiriötä, jotka liittyvät seuraaviin ongelmiin:

- riittämätön ulkoilmavirta täyttämään ilmanvaihtovaatimukset, josta mahdollisesti seuraa huono sisäilman laatu
- liian suuri ulkoilmavirta, josta seuraa lämmitys- tai jäähdytysenergian tuhlausta
- palautusilman käyttö väärässä tilanteessa tai liian suuri ulkoilmaosuus
- palautusilman käyttö väärässä tilanteessa tai liian pieni ulkoilmaosuus
- energianhallinta- tai anturiongelma, esimerkiksi palautusilman käyttö yhdessä mekaanisen jäähdytyksen kanssa, kun jäähdytystarve pystyttäisiin täyttämään pelkällä ulkoilmalla
- diagnostisointijärjestelmän väärä asennus.

Työkalu diagnosoi ilmastointikoneen toimintaolot käyttäen sääntöjä, jotka ovat peräisin ilmastointikoneen oikeaa ja väärää toimintaa kuvaavista malleista. Nämä säännöt on implementoitu ohjelmallisesti päätöksentekopuurakenteeseen, joka on asiantuntijajärjestelmän tyyppinen ratkaisu. Työkalu käyttää, esimerkiksi rakennusautomaatiojärjestelmän kautta, määräajoin kerättyä dataa päätöksentekopuun läpikäymiseen ja johtopäätösten tekemiseen ilmastointikoneen toimintatilasta. Kaikki kerätty tai syötetty data tallennetaan tietokantaan. Data suodatetaan, ennen kuin se välitetään varsinaiseen diagnosiosaan, jotta pienennetään väärrien hälytysten määrää. Prototyyppi on liitetty rakennusautomaatiojärjestelmään DDE-ominaisuuden kautta.

Työkalu esittää väreihin havaitut ongelmatilanteet. Se neuvoa syiden paikallistamisessa ja ongelmien korjauksessa. Sovellus antaa myös selityksen jokaiseen diagnoosiin. Joskus

prototyyppi voi erottaa yhden syyn ongelmaan, mutta joskus se tunnistaa useita mahdollisia syitä. Tällöin huolto- ja käyttöhenkilöstön täytyy erottaa oikea vika tarkastamalla eri vaihtoehtoja.

## 4. Rakennuksen energiatietoisen käytön menetelmät

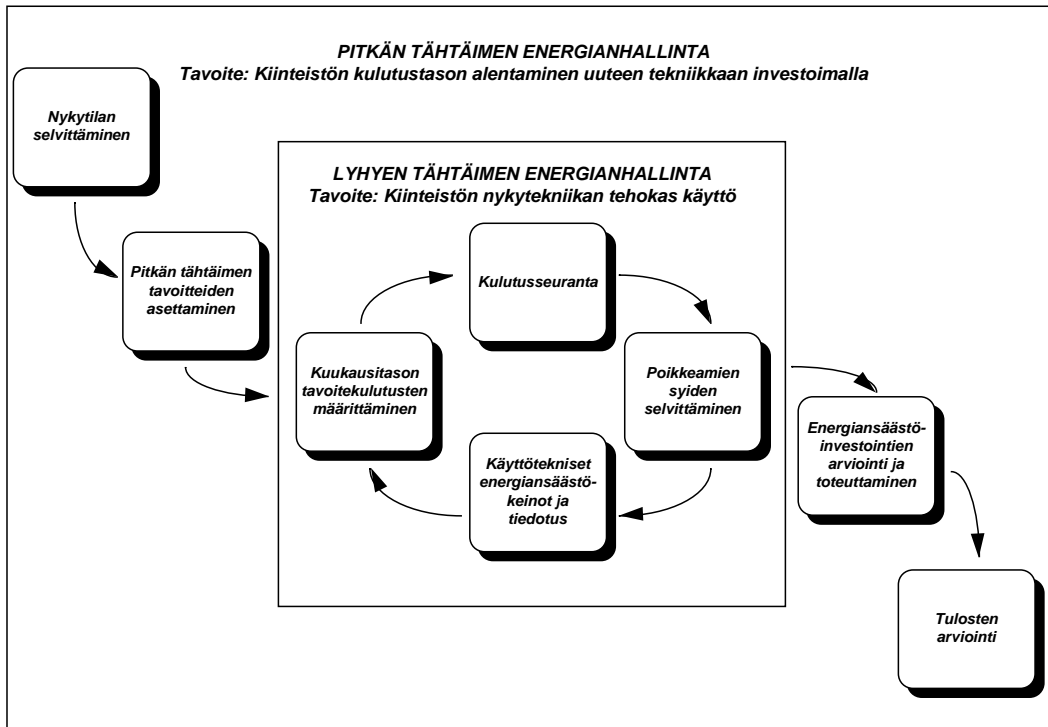
Rakennustason vikadiagnostiikan tehtävänä on varmistaa, että valitut olot säilyvät ja samalla energiankulutus pysyy tavoitearvoissaan. Energiankulutuksen seuranta, olojen ja keskeisten ohjausten välisen riippuvuuden seuranta sekä säätöpiirien toiminta ja stabiilius ovat kolme rakennustason vikadiagnostiikan keskeisintä elementtiä. Tässä luvussa tarkastellaan poikkeamien havaitsemista ja paikallistamista näissä perusasioissa.

### 4.1 Energiankulutuksen seuranta

#### 4.1.1 Energiankulutuksen tavoitearvot

Energiankulutuksen tavoitearvot määrittelevät sen kulutustason, jota kiinteistön ominaisuudet huomioonottaen voidaan pitää normaalina. Järjestelmällisellä kulutusseurannalla pyritään nopeasti havaitsemaan kulutuspoikkeamat, toisin sanoen epänormaalit erot tavoitekulutuksen ja toteutuneen kulutuksen välillä (Aho *et al.* 1996). Tämä kiinteistön energianhallinta voidaan jakaa pitkän ja lyhyen tähtäimen toimintoihin. Pitkän tähtäimen energianhallinnalla pyritään vaikuttamaan energiankäytön rakenteeseen esimerkiksi pitkävaikutteisten energiansäästöinvestointien tai käyttöhenkilöstön koulutuksen avulla. Lyhyen tähtäimen energianhallinnalla puolestaan pyritään havaitsemaan energiankulutukseen vaikuttavat käyttötekniset virheet sekä havaitsemaan, selvittämään ja mahdollisuuksien mukaan ennakoimaan laite- ja järjestelmäviat. Kulutusseuranta tuottaa lisäksi ajantasaista tietoa kiinteistön energiankulutuksesta vuosibudjetointia ja muita taloushallinnon tarpeita varten. Kuvassa 4 on esitetty kiinteistön energianhallinnan prosessi nykytilan selvittämisestä tulosten arviointiin.

Energiankulutuksen seurannassa kiinteistön lämmön, sähkön ja veden kulutusta seurataan ja verrataan kuukausitasolle määriteltyihin tavoitearvoihin. Vertaamalla toteutunutta kulutusta tavoitekulutukseen pyritään havaitsemaan ja diagnosoimaan kiinteistön käyttötavoista, laitetekniikasta tai rakenteellisista ominaisuuksista johtuvat kulutuspoikkeamat. Koska tavoitekulutuksia käytetään ensisijaisesti kulutuspoikkeamien havaitsemiseen, tulee tavoitteiden asettamisen perustua ko. kiinteistön fysikaalisiin ominaisuuksiin (Aho *et al.* 1996).



Kuva 4. Kiinteistön energianhallinnan prosessi (Aho et al. 1996).

Arvio tavoitearvon suuruusluokasta voidaan saada esimerkiksi samantyyppisten rakennusten keskimääräisestä tilastollisesta kulutuksesta. Lämmitysenergian tavoitearvojen laskennassa lähdetään liikkeelle kiinteistön fysikaalisista tiedoista ja käyttötavoista (Aho et al. 1996). Keskeisimpinä lähtötietoina tarvitaan rakennuksen ulkovaipan lämmönläpäisykertoimia ja pinta-aloja sekä ikkunoiden tietoja. Ilmanvaihtokoneista tulee tietää tulo- ja poistoilmavirtoja, lämmöntalteenottohyötysuhteita ja käyntiaikoja. Sisäisten lämpökuormien huomioon ottamiseksi tulee olla käytettävissä arviot sähkölaitteiden sekä kiinteistön käyttäjien lämpökuormista. Lisäksi lämpimän käyttöveden lämmitysenergiankulutus määritetään lämpimän veden kulutuksesta ja kiertojohdon lämpöhäviöistä.

Tilojen lämmitysenergiankulutusseurannassa tehdään vielä sääkorjaus. Tällöin toteutunut lämmitysenergiankulutus normeerataan tilojen osalta normaalivuoteen käyttäen normaalivuoden ja kuluvan vuoden kuukausikohtaisia lämmitystarvelukuja. Veden kulutukseen ja kiinteistösähkön kulutukseen ei luonnollisestikaan tehdä astepäiväkorjausta, koska veden ja sähkön kulutus on pääosin luonteeltaan säätilasta riippumatonta. Kaavassa 5 on esitetty normitetun kulutuksen laskenta (MOTIVA 1998). Vaihtamalla normaalivuoden lämmitystarveluvun paikalle jonkin muun ajankohdan lämmitystarveluku saadaan lämmitysenergiankulutus normeerattua toiseen ajankohtaan.

$$Q_{normitettu} = \frac{1}{k_1} \cdot \frac{S_N}{S_{mitattu}} \cdot (Q_{kok.} - Q_{läm\ min\ käyttövesi}) + Q_{läm\ min\ käyttövesi} \quad (5)$$

jossa

$Q_{normitettu}$	normitettu lämmitysenergiankulutus (normaalivuoden 1961 - 1990)
$k_1$	korjauskerroin vertailupaikkakuntaan
$S_N$	vertailupaikkakunnan normaalivuoden tai -kuukauden lämmitystarveluku S17 (°Cd)
$S_{mitattu}$	lämmitystarveluku S17 (°Cd) vertailupaikkakunnassa tarkasteltavana vuotena tai kuukautena
$Q_{kok.}$	kokonaislämmönkulutus tarkasteltavana vuotena tai kuukautena
$Q_{lämmin\ käyttövesi}$	lämpimän käyttöveden lämmönkulutus tarkasteltavana vuotena tai kuukautena.

Kiinteistösähkön kulutuksen tavoitearvot voidaan määrittää laiteryhmittäin, kun tunnetaan laitteiden ominaisuudet ja suunnitellut käyttöajat. Veden kulutuksen "fysikaalista" tavoitearvoa voi olla vaikea määrittää. Monissa tapauksissa onkin perusteltua määrittää tavoitearvot ko. kiinteistön kulutushistorian perusteellakäyttäen aineistona jaksoja, joiden tiedetään olevan normaaleja. Sekä veden että sähkön tavoitekulutusarvot määritetään joka kuukaudelle erikseen, koska kiinteistön vuotuinen käyttörytmi sekä esimerkiksi valaistuksen yms. käytön vaihtelu vuodenajoittain vaikuttavat kulutustasoihin selvästi (Aho *et al.* 1996).

### Koekohteen tavoitearvot

Koekohteena olleen Roihuvuoren ammattioppilaitoksen tavoitearvojen määrittämisessä käytettiin tilojen lämmityksen osalta laskennallista menetelmää. Sähkön ja käyttöveden kulutustavoitteet määritettiin pääosin kiinteistön kulutushistorian perusteella, vaikka arvoja verrattiin myös samantyyppisten rakennusten keskimääräisiin tilastollisiin kulutuksiin.

Toteutetussa vikadiagnostiikkaohjelmassa tilojen lämmönkulutus lasketaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 (Ympäristöministeriö 1985) ja CEN-standardin prEN 832 1994 (sisäistä lämmönlähteistä saatavan ilmaislämmön hyödynnettävyys) mukaisesti. Lämmöntarve lasketaan kohteesta tehdyn stationäärin mallin avulla siten, että rakennusta tarkastellaan kokonaisuutena. Keskeisinä lähtötietoina ovat edellä mainitut kiinteistön fysikaaliset tiedot ja käyttötavat. Tavoitearvot lasketaan tarvittaessa uudestaan matemaattisesta mallista. Tällöin on periaatteessa mahdollista ottaa huomioon käytönaikaisten tietojen muutokset niin, että esimerkiksi ilmanvaihdossa tapahtuvat pysyvät muutokset tulevat automaattisesti mukaan tavoitearvojen laskentaan.

Verrattaessa lämmönkulutuksen tavoitearvoa toteutuneeseen kulutukseen on varmistettava, että kulutukset ovat keskenään vertailukelpoisia. Kun koekohteen lämmönkulutuksen tavoitearvot on laskettu käyttäen Helsinki–Kaisaniemen vuoden 1979 säätietoja, säädöskorjaus voidaan tehdä kahdella vaihtoehtoisella tavalla:

1. normeerataan sekä toteutunut lämmönkulutus että lämmönkulutuksen tavoitearvo normaalivuoteen
2. normeerataan tavoitekulutus kuluvaan vuoteen ja verrataan sitä suoraan kuluvaan vuoden toteutuneeseen arvoon.

Normeerauksessa käytetään Helsinki–Kaisaniemen lämmitystarvelukuja S17. Lasketut tavoitearvot siis normeerataan käyttäjän valinnan mukaan joko normaalivuoteen tai kuluvaan vuoteen. Normeerauksen korjauskertoimeksi valitaan 1, koska Roihuvuoren ammattioppilaitos sijaitsee Helsingissä (MOTIVA 1998). Käyttäjän tulee tämän takia syöttää ohjelmaan kerran kuukaudessa edellisen kuukauden lämmitystarveluku.

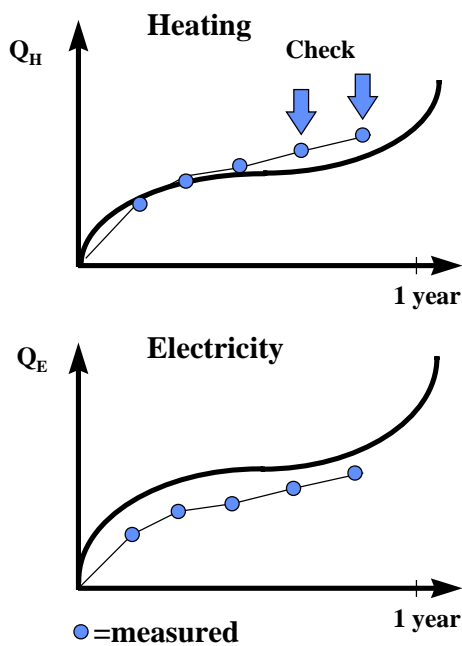
Käyttöveden kulutustavoitteet saadaan edellisvuosien arvojen perusteella. Lämpimän käyttöveden lämmönkulutuksen tavoitearvot lasketaan käyttöveden tavoitekulutuksien kautta, kun lämpimälle käyttövedelle on annettu kuukausikohtaiset tavoiteosuudet käyttövedenkulutuksesta. Kuluvaan vuoden toteutuneet lämpimän käyttöveden lämmönkulutukset voidaan laskea lämpimän käyttöveden määrämittauksen perusteella, mikäli mittaus tieto on mahdollista saada olemassa olevasta automaatiojärjestelmästä. Epätarkkana vaihtoehtona on laskea toteutunut lämpimän käyttöveden lämmönkulutus toteutuneen käyttövedenkulutuksen ja lämpimän käyttöveden tavoiteosuuden kautta tai VTT Yhdyskuntatekniikan Kulu-ohjelmassa (kulutuksen seurantajärjestelmä kiinteistöissä, teollisuudessa ja yrityksissä) käytettyjen kertoimien avulla. Kulu-ohjelman kertoimet määrittelevät kuukausikohtaiset osuudet lämpimän käyttöveden lämmönkulutukselle kokonaislämmöntarpeesta. Niitä käytetään yleisesti lämmönkulutuksen normeerauksessa.

Sähkön kiinteistökohtaiset kulutustavoitteet saadaan edellisvuosien arvojen perusteella. Kulutustavoitteet sähkökulutuksen alamittareiden kohdalla määritettiin tilastollisten tietojen avulla ja alamittareiden alueella olevien merkittävien sähkökuluttajien tietojen perusteella.

#### **4.1.2 Kulutuspoikkeamien havaitseminen**

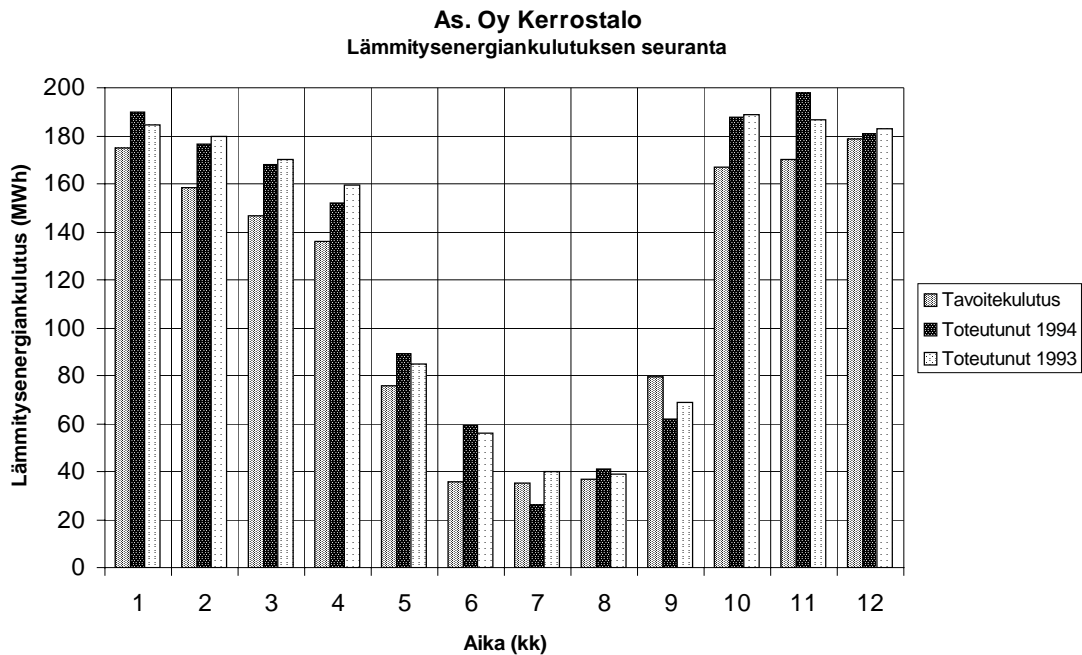
Kuukausittaisten energiankulutuksen tavoitearvojen avulla voidaan havaita kiinteistössä tapahtuvat laite- tai käyttötekniisten vikojen aiheuttamat satunnaiset kulutuspoikkeamat. Lisäksi voidaan nähdään systemaattiset kuukaudesta toiseen toistuvat poikkeamat (Aho *et al.* 1996).

Seurantakäyrät voivat kuvata vuoden aikana kumuloituvaa kulutusta, kuten kuvassa 5 on esitetty. Tällöin pystytään seuraamaan hyvin kokonaiskulutusta ja siinä tapahtuvia poikkeamia. Esittämällä kuvan 6 mukaisesti kunkin kuukauden energiankulutukset pylväsdiagrammeina tavoitekulutusten kanssa rinnakkain voidaan tarkastella helposti kuukausikohtaisia kulutuksia. Kulutuspoikkeamille on määritelty kuukausikohtaiset vaihtelurajat, jotka voivat olla jonkin kuukauden kohdalla esimerkiksi  $\pm 10\%$  (Haakana & Kosonen 1997). Vaihtelurajan alittumisesta tai ylittymisestä annetaan ilmoitus. Vaihtelurajat olisi syytä määritellä kullekin kuukaudelle erikseen, koska tavoitearvojen laskennassa on epätarkkuutta. Esimerkiksi kesäkuukausille on lähes mahdotonta määrittää suhteellisesti yhtä tarkkoja lämmönkulutuksen tavoitearvoja kuin muille kuukausille, koska tällöin lämpökuormat ovat suuria ja lämmöntarve pieni.



Kuva 5. Toteutuneet kulutustiedot merkitään kuukausittain kuvaan. Vertaamalla näin syntynyttä käyrää tavoitekulutuskäyrään voidaan havaita järjestelmän ei-toivottu toiminta.





Kuva 6. Esimerkki kuukausitason kulutusseurannassa havaittavasta systemaattisesta kulutuspoikkeamasta tavoitekulutuksen ja toteutuneen lämmitysenergiankulutuksen välillä (Aho et al. 1996).

## 4.2 Olojen ja keskeisten ohjausten välisen riippuvuuden seuranta

### 4.2.1 Seurattavat olot ja niiden tavoitearvot

Olojen seurannan tarkoituksena on varmistaa viihtyisien ja tavoitteiden mukaisten olojen toteutuminen. Koska kohteessa ei ollut valittuun alakeskukseen liittyviä kosteustai hiilidioksidipitoisuusmittauksia, ainoaksi seurattavaksi olosuhteeksi jäivät huonelämpötilat, joiden muuttumista keskeisten ohjausten mukaan tässä tarkastellaan.

Huonelämpötilan voidaan katsoa saavuttavan tavoitteen, jos se jatkuvassa seurannassa poikkeaa alle yhden asteen tavoitelämpötilasta (Haakana & Kosonen 1997). Kiinteistönhoidon ohjekortin KH 10-00171 (1992) mukaan oleskelutilojen tavoitelämpötila on  $20 \pm 2$  °C. Muiden tilojen lämpötiloille on annettu seuraavia ohjearvoja:

- kylpyhuoneet +22...24 °C
- käytävät ja porrashuoneet ≤ +18 °C
- säilytysvarastot ≤ +12 °C
- talouskellarit +4...6 °C
- uima-allastilat +24...29 °C.

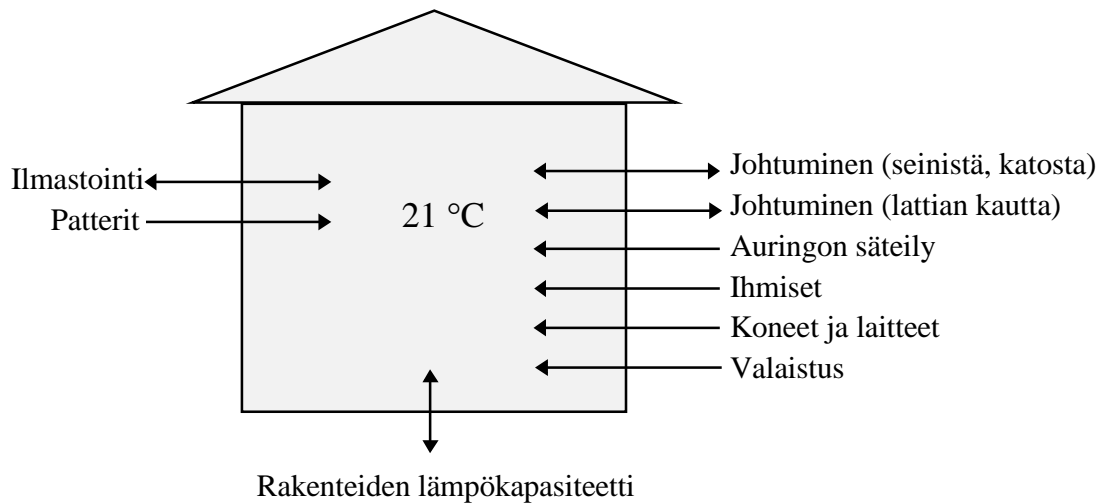
Koekohteessa mitattiin oleskelutilojen huonelämpötiloja aikaisemmin viidestä huoneesta (termoelementeillä TE 9.1 - TE 9.5), joista yksi eteläpuoleisista mittauksista (TE 9.2) poistettiin. Projektin aikana mittauksia oli 1 pohjoispuolella ja 3 eteläpuolella taloa (taulukko 1). Yksi mittauspisteistä on talon lounaiskulmassa sijaitsevassa huoneessa. Käyttäjän toiveena olisi ollut myös kylmiöiden lämpötilojen seuranta, mutta näissä tiloissa ei ole lämpötilanmittausta vaan ainoastaan termostaatit, jotka valvovat kylmiöiden lämpötilaa ja antavat hälytyksen, jos lämpötila kohoaa yli tietyn ennalta asetetun arvon.

*Taulukko 1. Huonelämpötilojen mittauspisteiden sijainti.*

Termoelementti	Huone	Huoneen kuvaus	Ulkoseinän suuntaus
TE 9.1	043	Pieni auditorio, 1. krs	Etelä
TE 9.3	272	Luokkahuone, 2. krs	Etelä ja länsi
TE 9.4	249	Opetuskeittiö, 2. krs	Pohjoinen
TE 9.5	250	Ruokailuhuone, 2. krs	Etelä

Käyttäjä voi itse syöttää vikadiagnostiikkaohjelmaan huonelämpötilan tavoitearvon ja hälytysrajan.

#### 4.2.2 Huonelämpötiloihin vaikuttavat ohjaukset



Kuva 7. Huoneen lämpötilatasapainoon vaikuttavat lämpövirrat.

Huoneen lämpötilaan vaikuttavat lämpövirrat on esitetty kuvassa 7. Näistä suureista säätöjärjestelmän kautta säädettäviä ovat patteriverkoston lämmitysteho ja sisäänpuhallusilman mukana tuleva lämpöteho. Näistä edellistä säädellään ohjaamalla patteriverkoston menoveden lämpötilaa ulkolämpötilan funktiona. Sisäänpuhallusilman mukana tuoma lämpöteho vaihtelee sisäänpuhallusilman lämpötilan mukana, jota ohjataan ulospuhallettavan ilman lämpötilan mukaan. Ihmiset, koneet ja ilmastointi saattavat vaikuttaa sekä kosteaan että kuivaan lämpötilatasapainoon. Auringonsäteily, ihmiset, koneet, laitteet ja valaistus tuottavat lämpöä ja vaikuttavat siis lämpötilaa nostavaan suuntaan, kun taas johtuminen ja lämmön varastoituminen saattavat vaikuttaa sekä lämpötilaa laskevasti että nostavasti.

Pattereiden ja ilmastoinnin kautta tapahtuva lämmönsiirto voidaan laskea seuraavasti:

$$\dot{Q}_{\text{patteri}} + \dot{Q}_{\text{ilmastointi}} = \dot{Q}_{\text{johtuminen}} + \dot{Q}_{\text{varasto}} + \dot{Q}_{\text{aurinko}} + \dot{Q}_{\text{valaistus}} + \dot{Q}_{\text{ihmiset ja laitteet}} \quad (6)$$

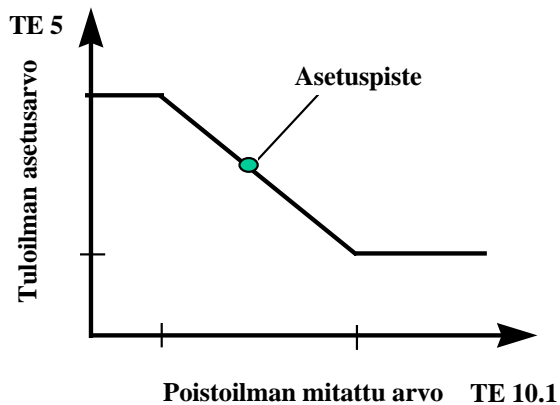
Jos lämpötehot ovat tasapainossa, huoneen lämpötila pysyy vakiona, kuten normaalissa päiväkäytössä on tarkoitus. Jos huoneen lämpötila on jatkuvasti epätoivotun korkea tai matala, säädetään lämpötehoja vastaavasti pienemmäksi tai suuremmaksi muuttamalla tuloilman kompensointikäyrää tai patterien menoveden säätökäyrää. Ihmisten, koneiden ja valaistuksen tuottamaan tehoon ei juuri voida säätötoimenpitein vaikuttaa muutoin kuin huolehtimalla siitä, että koneita ja valaistusta ei käytetä tarpeettomasti. Auringonsäteilyyn voidaan vaikuttaa rakennusautomaatiojärjestelmän kautta esim. asentamalla ikkunoiden eteen automaattisesti toimivat säteilysuojat. Rakennusmateriaaleihin varas-

toituvaan tai niiden luovuttamaan lämpöön vaikutetaan siinä vaiheessa, kun valitaan käytettävät materiaalit. Myös tätä voidaan käyttää hyödyksi lämmitys- ja jäähdytystarpeen tasoittamisessa.

Koekohteessa tuloilman sisäänpuhalluslämpötila vaikuttaa kaikkiin mitattaviin huonelämpötiloihin. Sen sijaan pohjoisen patteriryhmän menoveden lämpötila vaikuttaa vain huonelämpötilaan TE 9.4 ja eteläisen patteriryhmän menoveden lämpötila vaikuttaa lämpötiloihin TE 9.1, TE 9.3 ja TE 9.5.

### Tuloilman lämpötilan säätö kompensointikäyrän avulla

Koekohteessa osa tilojen lämmitystehosta tuodaan ilmastoinnin avulla. Aikaohjelma ohjaa tuloilmapuhaltimen TK 21 käyntiä. Tavallisesti ilmastointikone on käynnissä arkisin 7 - 16. TE 5 on tuloilman lämpötilaa mittaava termoelementti, jonka asetusarvolla on tietty arvo asetuspisteessä (kuva 8). TE 10.1 on poistoilman lämpötilaa mittaava termoelementti, jolla on myös tietty arvo asetuspisteessä. Huonelämpötila pyritään pitämään asetusarvossaan siten, että kun TE 10.1:n lämpötila muuttuu asetuspisteestä, myös TE 5:n lämpötilan asetusarvo muuttuu kompensointikäyrän mukaisesti. TE 5:n asetusarvolla on erikseen aseteltavat ylä- ja alarajat, jolloin TE 10.1:n ylä- ja alaraja määräytyy kompensointikäyrän mukaan.

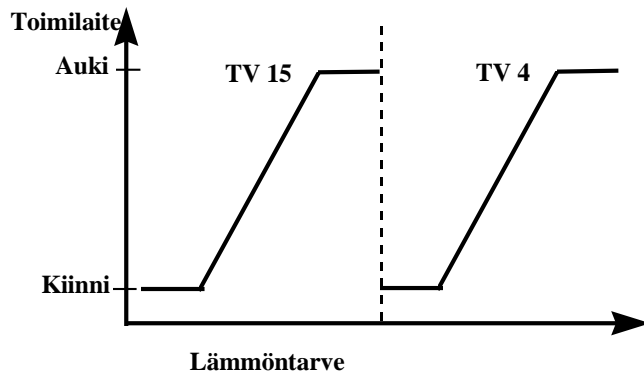


Kuva 8. Tuloilman lämpötilan kompensointikäyrä.

TE 5:n asetusarvo saadaan mitatusta TE 10.1:n lämpötilasta seuraavasti:

$$TE 5_{\text{asetusarvo}} = TE 5_{\text{asetuspiste}} + \frac{dTE 5}{dTE 10.1} (TE 10.1_{\text{asetuspiste}} - TE 10.1_{\text{mitattu arvo}}) \quad (7)$$

Mainitut arvot ovat koekohteessa seuraavat:  $TE_{5\text{asetuspiste}} = 19\text{ °C}$ ,  $TE_{10.1\text{asetuspiste}} = 22\text{ °C}$ ,  $dTE_{5/dTE_{10.1}} = 1\text{ °C/°C}$ . Näitä voidaan asettaa käyttäjän haluamalla tavalla rakennusautomaatiojärjestelmästä käsin. Säättöohjelma pitää tuloilman lämpötilan asetusarvossaan ohjaamalla suhteellisesti sarjassa lämmöntalteenottopatterin venttiiliä TV 15 ja lämmityspatterin venttiiliä TV 4. Kun lämmöntarve kasvaa, avautuu venttiili TV 15 ensin (kuva 9).



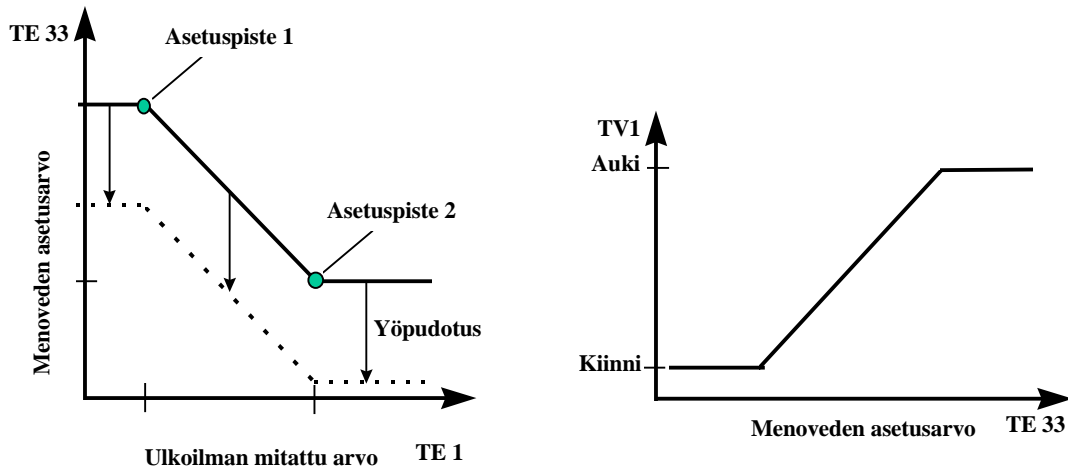
Kuva 9. Venttiileitä TV 15 ja TV 4 ohjataan lämmöntarpeen mukaan suhteellisesti sarjassa.

### Patteriverkoston lämpötilan säätö

Koekohteessa patteriryhmien menoveden lämpötilaa ohjataan normaalisti ulkolämpötilan mukaan. Asetusarvo riippuu ulkolämpötilasta (101 TE 1 tai 102 TE 1) kahden asetuspisteen avulla ilmaistavan säätökäyrän mukaisesti (kuva 10). Asetusarvo saadaan asetuspisteiden avulla seuraavasti:

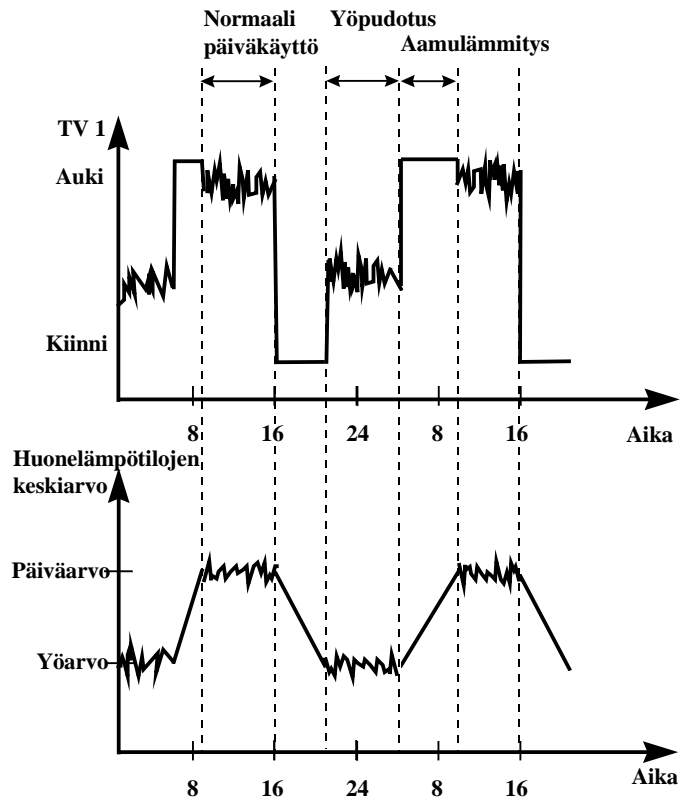
$$TE_{33\text{asetus}} = T_{m1} - (T_{u1} - T_u) \frac{T_{m1} - T_{m2}}{T_{u1} - T_{u2}} \quad (8)$$

jossa  $T_{mi}$  on menoveden lämpötila asetuspisteessä  $i$  ja  $T_{ui}$  on ulkolämpötila asetuspisteessä  $i$ .  $T_u$  on mitattu ulkolämpötila. Asetuspiste 1 on säätökäyrän yläpää ja asetuspiste 2 on säätökäyrän alapää. Käyrän ulkopuolella menoveden lämpötila on sama kuin lähimmässä asetuspisteessä. Säättöohjelma pitää menoveden lämpötilan (101 TE 33 tai 102 TE 33) asetusarvossaan ohjaamalla suhteellisesti venttiilejä 101 TV 1 ja 102 TV 1 (kuva 10).



Kuva 10. Menoveden säätökäyrä ja yöpudotus sekä venttiilin TV1 ohjaus.

Päiväkäyttöajan lopussa optimointiohjelma ohjaa moottoriventtiilit 101 TV 1 tai 102 TV 1 kiinni. Kun joku optimointiohjelman käyttämistä huonelämpötiloista on laskenut yöarvoon (15 °C), menoveden lämpötilaa ohjataan yöpudotuksen (–15 °C) verran alemman säätökäyrän mukaan (kuva 11). Ennen päiväkäyttöajan alkua käynnistyy aamulämmitys, jolloin moottoriventtiilit 101 TV 1 ja 102 TV 1 ohjataan auki. Aamulämmitys päättyy, kun huonelämpötilojen keskiarvo on noussut päiväarvoon (22 °C), ja säätöohjelma ohjaa menoveden lämpötilaa normalisäätökäyrän mukaan. Eteläisen patteriryhmän optimointiohjelma käyttää huonelämpötiloja TE 9.1 ja TE 9.3, pohjoisen patteriryhmän optimointiohjelma huonelämpötiloja TE 9.4 ja TE 9.5. Jos ulkolämpötila on niin matala, ettei huonelämpötila ehdi nousta päiväarvoon seuraavaan päivään mennessä, yöpudotusta ei käytetä. Tällöin menoveden lämpötilaa säädetään normaalikäyrän mukaan.



Kuva 11. Optimointiohjelman toimintaperiaate.

### 4.2.3 Säätekäyrien muuttaminen

Jos huonelämpötila eroaa jatkuvasti  $\pm 1$  °C tavoitearvostaan, eikä vikaa löydy itse huonetilasta (vika tai väärä asetus patterin termostaatissa, esteitä patterin edessä, ikkuna auki tms.) tarkistetaan tuloilman sisäänpuhalluslämpötilan ja patteriverkoston menoveden lämpötilan pysyminen asetusarvossaan. Jos ne ovat asetusarvojen mukaiset, voidaan asetusarvoja muuttaa. Sisäänpuhalluksen asetusarvoa voidaan nostaa tai laskea asteen verran kerrallaan. Tavallisesti sisäänpuhallusilman asetusarvona käytetään 20 - 21 °C:ta. Sisäänpuhallusilman asetusarvoa muutetaan samaan suuntaan kuin huonelämpötilaa halutaan muuttaa. Jos sisälämpötilaa halutaan muuttaa 1 °C, menoveden lämpötilaa muutetaan 2 - 3 °C (KH-ohje). Säätekäyrän muuttamisen vaikutusta tulisi seurata vähintään vuorokausi, ennen kuin tehdään uusi muutos. Asetusarvot on syytä kirjata ylös.

Esimerkiksi hyvin tuuliset tai kosteat sääolot saattavat aiheuttaa sen, että huonelämpötila ei pysy tavoitearvossaan normaalia säätekäyriä käytettäessä. Tällöin säätekäyrä asetellaan uudelleen, ja muutetaan takaisin entiselleen, kun sääolot ovat normalisoituneet. Yleensä radiaattoriverkoston säätekäyriä kannattaa syksyisin muuttaa suuntaisierolla korkeammalle tasolle, koska kosteuden takia huonelämpötila koetaan tavallista kylmemmäksi.

Koska mittauspisteitä on sekä pohjois- että eteläpuolella taloa, voidaan mittausten perusteella päätellä, mitä säätökäyristä tulisi muuttaa, tai onko säätökäyrän muuttamisesta apua.

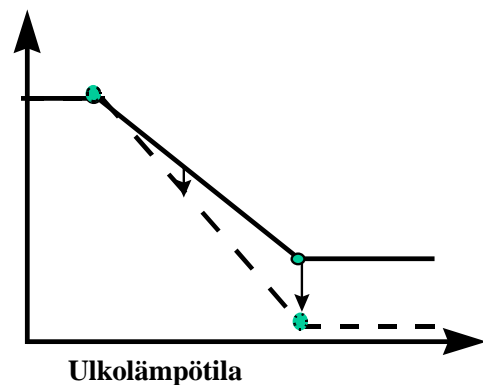
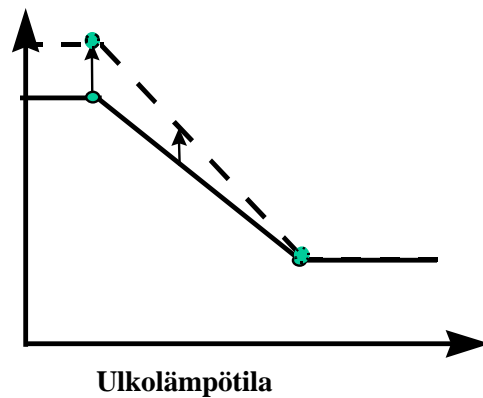
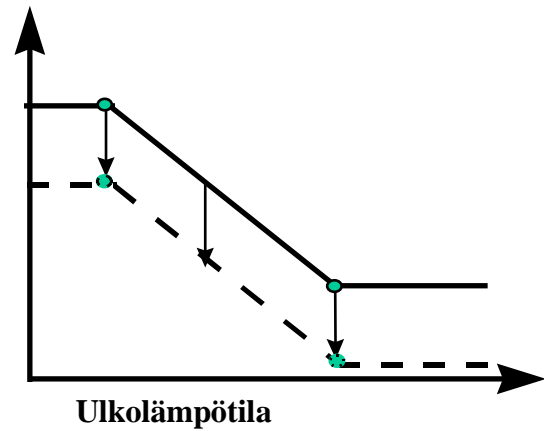
- Jos vain yhdessä etelänpuoleisista huoneista lämpötila poikkeaa jatkuvasti tavoitearvostaan, vika on todennäköisesti huonetilassa, jolloin säätökäyrien muuttaminen aiheuttaa sen, että lämpötila muissa huoneissa ei pysy tavoitearvossa.
- Jos lämpötila poikkeaa tavoitearvosta johdonmukaisesti kaikissa huoneissa, on syytä säätää tuloilman sisäänpuhalluslämpötilan asetusarvoa. Mikäli tämä asetusarvo on jo valmiiksi poikkeuksellisen korkea tai matala, täytyy muuttaa sen sijaan molempia patteriverkoston säätökäyriä, yhtä paljon kumpaakin.
- Jos lämpötila pysyy tavoitearvossaan pohjoispuolen huoneessa, mutta poikkeaa jatkuvasti tavoitearvosta etelänpuoleisissa huoneissa, muutetaan etelänpuoleisen patteriryhmän säätökäyrää.
- Jos lämpötila pysyy tavoitearvossa etelänpuoleisissa huoneissa, mutta ei pohjoispuolen huoneessa, eikä vikaa löydy huonetilasta, muutetaan pohjoisen patteriryhmän säätökäyrää.

Ennen säätökäyrän muuttamista on tarkistettava, että säätö toimii odotetulla tavalla ja että patterien menoveden ja tuloilman lämpötilan toteutuneet arvot eivät poikkea liikaa asetusarvoistaan. Tämä tarkistus tehdään automaattisesti vikadiagnostiikkaohjelman osassa 'Säätöpiirien toiminta', joten tässä vaiheessa käyttäjän pitäisi jo tietää, jos em. asioissa on korjattavaa.



Kiinteistöhoidon ohjekortista KH 23-00142 (1990) löytyy seuraavia ohjeita siitä, mihin suuntaan käyrää olisi muutettava:

- Jos ulkoilman lämpötilan vaihdellaessa sisäilman lämpötila pysyy tasaisena, mutta liian alhaisena, käyrää pitää nostaa suuntaisiiirroilla, eli kaltevuus säilyttäen. Vastaavasti jos lämpötila pysyy tasaisesti liian korkeana, säätökäyrää täytyy laskea suuntaisiiirroilla. Suuntaisiiirroissa sekä käyrän ala- että yläpäättä (asetuspistettä) siirretään samaan suuntaan yhtä monta astetta.
- Jos sisälämpötila on liian alhainen tai korkea vain kovilla pakkasilla, täytyy käyrän kaltevuutta muuttaa siirtämällä käyrän yläpäättä vastaavasti korkeammalle tai matalammalle tasolle samalla, kun alapäää pidetään entisessä paikassaan.
- Jos huonelämpötila on liian korkea tai matala vain yli 0 °C:n ulkolämpötiloilla, muutetaan käyrän kaltevuutta siirtämällä käyrän alapäättä matalammalle tai korkeammalle tasolle.



## 4.3 Säätöpiirien toiminta ja stabiilius

### 4.3.1 Säätöjärjestelmien toiminnalliset vaatimukset

Yleisiä säädölle asetettuja vaatimuksia ovat

- Säädön tulee olla riittävän nopea.
- Säädettävän suureen arvon tulee pysyä ennalta määrätyissä rajoissa.
- Säätöpiiri ei saa värähdellä.

SFS 5768 esittää ilmastoinnin säädön toiminnalle asetettavat vähimmäisvaatimukset, jotka on laadittu siten, että niitä noudattava ilmastointilaitos toimii kaikissa oloissa vähintään tyydyttävästi. Vaatimukset on jaettu keskusilmastointikoneen toimintaa, vyöhykekohtaista säätöä ja tilakohtaista säätöä koskeviksi. Suurin osa vaatimuksista koskee sallittuja poikkeamia ja asettumisaikoja eri toimintatilanteissa.

Standardi SFS 5769 muodostaa kiinteän kokonaisuuden standardin SFS 5768 kanssa ja esittää menetelmät, joilla todennetaan ilmastoinnin säädölle asetettujen vaatimusten toteutuminen käytännössä. Standardia noudattamalla ovat mittauslaitteistoon, mittausmenetelmiin sekä laitoksen toimintatilaan liittyvät perusedellytykset olemassa mittausaikana. Mittauslaitteistolle asetettavien vaatimusten avulla ovat mittalaitteiden epä-tarkkuus ja dynamiikka tarkoituksenmukaisessa suhteessa prosessivaatimusten kanssa.

Rakennuksen kaukolämmitykselle on olemassa määräykset ja ohjeet, jotka astuivat voimaan keväällä 1993 (Lämpölaitosyhdistys 1992). Lämpölaitosyhdistyksen määräyksissä ja ohjeissa säätöjärjestelmille asetetut laite- ja toimintavaatimukset on määritelty vähimmäisvaatimuksena siten, että tyydyttävän säätötuloksen aikaansaaminen on mahdollista. Määräysten mukaan säätöjärjestelmän tulee täyttää vaatimukset kaikissa käyttöoloissa.

### 4.3.2 Säätöpiirien toiminnan arviointikriteerit

Kun tunnetaan säädettävän prosessin viive, säätöpiirin toimintaa voidaan verrata minimivarianssisäädön suorituskykyyn pelkästään erosuureen aikasarjan perusteella. Tähän perustuen on kehitetty paperikoneen säätöpiireihin sovellettuja arviointimenetelmiä (Moisio *et al.* 1997). Käytetyt menetelmät olivat normalisoitu suorituskykyindeksi, erosuureen variaatiokerroin, värähtelevyyssindeksi, hitausindeksi ja erosuureen askelindeksi. Menetelmillä saatiin suhteellisen hyviä tuloksia, mutta koska algoritmit vaativat tehokkaan laskentaympäristön, ne eivät sovellu rakennusten säätöpiirien toiminnan arvioimiseen.

Suljetun säätöpiirin tunnusluvut kertovat kokonaissysteemin dynaamisesta käyttäytymisestä muutettaessa asetusrvoa ja tehtäessä askelmainen häiriö. Vakiintuneita suljetun säätöpiirin dynamiikkaa kuvaavia tunnuslukuja ovat nousuaika, ylitys, vaimennussuhde, damping, värähtelyjakso ja asettumisaika (Kuismin 1993). Näitä tunnuslukuja voidaan käyttää säädön hyvyyden arvioimiseen edellä mainittujen muutostilanteiden jälkeen.

Säädön hyvyyttä voidaan arvioida myös käyttämällä erilaisia virhekriteerejä halutulta ajanjaksolta (Rantama & Sirén 1986). Tällöin siis tutkitaan järjestelmän toimivuutta eräänlaisen pysyvyyskäyrän perusteella. Taulukossa 2 on esitetty erilaisia virhekriteerejä. Niiden periaatteena on minimoida kyseinen integraali. Vaimennuksen merkitys korostuu sellaisissa virhekriteereissä, joissa on mukana aikatekijä. Tällaiset kriteerit soveltuvat tilanteisiin, joissa yksittäinen ja vain kerran esiintyvä häiriö pääsee prosessiin. Näin ollen ne soveltuvat parhaiten virittämiseen.

*Taulukko 2. Eri virhekriteerejä (Kippo 1983). Taulukossa  $t$  on aika ja  $e(t)$  on erosuure (eli asetusrvo - mittausarvo) hetkellä  $t$ .*

<b>Kriteeri</b>	<b>Yhtälö</b>
IAE (Integral Absolute Error)	$\int_0^t  e(t)  dt$
ITAE (Integral Time Absolute Error)	$\int_0^t t  e(t)  dt$
ISE (Integral Squared Error)	$\int_0^t e^2(t) dt$
ITSE (Integral Time Squared Error)	$\int_0^t t e^2(t) dt$
ISTAE (Integral Squared Time Absolute Error)	$\int_0^t t^2  e(t)  dt$
ISTSE (Integral Squared Time Squared Error)	$\int_0^t t^2 e^2(t) dt$

IAE-kriteerissä eli virheen itseisarvon aikaintegraalissa summataan poikkeamia asetusrvosta, mutta poikkeaman tapahtumishetkellä ei sinänsä ole merkitystä. ISE-kriteeri eli virheen neliön aikaintegraali on vaativampi kuin IAE-kriteeri. Molemmissa kriteereissä asetusrvon alitus ja ylitys katsotaan samanarvoisiksi, mikä ei aina ole realistinen oletus.

### 4.3.3 Säätöpiirien toiminnan seuranta

Dynaamisella trendseurannalla varmistetaan, että ilmastointikoneiden, lämmitysjärjestelmän ja lämpimän käyttöveden säätöpiirit eivät värähtele ja toteuttavat halutun ohjauspyynnön. Automaatiojärjestelmä voi toteuttaa dynaamisen trendseurannan tietyin aikaväleihin, esimerkiksi kerran kuussa. Ilmastointikoneiden ja patteriverkoston mittausten väli on esimerkiksi 20 - 30 sekuntia ja mittausten kesto noin 30 minuuttia, kun taas lämpimän käyttöveden toiminnan seurannassa mittaussvälin tulisi olla alle 10 sekuntia (Haakana & Kosonen 1997).

Ilmastointikoneen mittausten yhteydessä kerätään dynaamisessa trendissä (Haakana & Kosonen 1997)

- kaikki ilmastointikoneesta mitattavat lämpötilat
- venttiilien asennot
- ohjaustiedot
- ulkolämpötila
- säädettävien lämpötilojen asetusarvot ja
- kaukolämpökeskuksesta lähtevän veden lämpötila.

Lämmitysjärjestelmän (yleensä kaukolämmitys) mittausten yhteydessä kerätään dynaamisessa trendissä (Haakana & Kosonen 1997)

- ulkolämpötila
- patteriverkoston menoveden lämpötila
- säätöventtiilien asennot ja
- ilmanvaihtoverkoston menoveden lämpötila (jos on erillinen) ja säädettävien suureiden asetusarvot.

Lämpimän käyttöveden mittausten yhteydessä kerätään dynaamisessa trendissä (Haakana & Kosonen 1997)

- ulkolämpötila
- käyttövesiverkoston menoveden lämpötila
- säätöventtiilin asento ja
- lämpötilan asetusarvo.

Leivo (1990) on esittänyt, miten ilmastointijärjestelmän säätötekniistä toimintaa voitaisiin selvittää mittauksin. Mittauksia tehdään neljässä ilmastointijärjestelmän toimintatilassa: laitoksen seisonta-aikana, käynnistys- ja käyttötilanteessa sekä asetusarvon muutoksen yhteydessä. Mittauksilla käyttötilanteessa selvitetään, saavuttaako järjestelmä asetusarvon sekä onko säätöpiiri stabiili. Askelmuutoksella testataan säätöpiirin kykyä reagoida säädettävän suureen muutokseen sekä säätöpiirin stabiilisuutta.

Kosonen *et al.* (1995) kehittivät ilmastonin ja lämmityksen säätöjärjestelmien toiminnan tarkistusmenettelyä, joka on yhdenmukainen olemassa oleviin standardeihin ja suosituksiin. Tarkistusmenettely on luokiteltu perustasoon ja korkeaan tasoon. Perustason testaus voidaan tehdä kiinteistön omalla valvontajärjestelmällä. Testausmenettelyn sisältö eri toimintatilanteissa on kuvattu yksityiskohtaisesti, kun säädettävänä suureena on keskusilmastointikoneen jälkeisen ilman lämpötila ja kaukolämpökeskukselta lähtevän lämmitys-, käyttövesi- ja mahdollisen ilmanvaihtoverkoston menoveden lämpötila.

Mainittujen testausmenettelyjen (Kosonen *et al.* 1995 ; Leivo 1990) periaatteita voidaan soveltaa myös dynaamiseen trendiseurantaan varsinkin käynnistymistilanteissa ja käyntiaikana. Sen sijaan testaus asetusrvon muutoksen yhteydessä edellyttää erillistä mittausuunnitelmaa ja on täten perusteltu lähinnä silloin, kun asetusrvoa muutetaan muutenkin tai kun säätöjärjestelmän toiminnan epäillä olevan ei-toivottavaa.

Säädön toiminnallisina vaatimuksina käytetään luvussa 4.3.1 mainituissa standardeissa (esim. SFS 5768) ja ohjeissa esitettyjä vaatimuksia säädön tarkkuudelle ja asettumisajoille. Lisäksi käyntiaikana seurataan kaavan 9 perusteella laskettua IAE-kriteeriä, jonka suurimmat sallitut arvot kullekin säätöpiirille määritetään suurimman sallitun poikkeaman sekä trendiseurannan kestoajan ja näytevälin perusteella.

$$IAE = \int_0^n |e(t)| dt \approx \sum_{i=0}^n |e_i(t)| T \quad (9)$$

e(t)	erosuure (asetusrvo - mittausarvo) hetkellä t
t	aika tarkastelun alusta, s
T	digitaalisen säätimen näyteväli, s

#### 4.4 Poikkeamien syiden paikallistaminen

Havaittujen vikojen paikallistamiseen käytetään vika-oirepuita (vrt. luku 3.2), jotka laadittiin tarkasteltavalle koekohteelle (luku 2.1). Vika-oirepuut muodostettiin seuraaville huipputapahtumille:

- liian suuri lämmönkulutus
- liian pieni lämmönkulutus
- liian suuri sähkönkulutus
- liian pieni sähkönkulutus
- liian suuri kylmiöiden sähkönkulutus
- liian suuri vedenkulutus
- säätöpiirien toiminta ei ole hyväksyttävää.

"Liian suuri/pieni lämmönkulutus" -puut sisältävät myös alavikapuut "huonelämpötila liian korkea/matala". Koska käyttäjien alkuhaastattelussa koekohteen kylmiöiden toiminta koettiin erityisen ongelmalliseksi, laadittiin niille oma vikapuu erillisenä muusta sähkökulutuksesta.

## 5. Menetelmien hyödyntäminen automaatiolaitteissa

Kehitetyt menetelmät ohjelmoitiin ohjelmistopaketti, joka on tarkoitettu liitettäväksi automaatiojärjestelmään sen valvomotasolla. Täten ohjelmistopaketti on itsenäinen kokonaisuus, mutta se hyödyntää automaatiojärjestelmän keräämiä mittaustietoja ja sen antamia ohjaustietoja.

### 5.1 Käyttöliittymien suunnitteluperiaatteet

Tietojärjestelmien suunnittelua ja käyttöä on tarkasteltava tekniikan ja inhimillisen toiminnan vuorovaikutteisena kokonaisuutena (Laitila 1992). Tietojärjestelmät tulisi siten nähdä osana organisaation toimintaa ja niiden suunnittelun sijasta olisi puhuttava koko organisaation tai työn suunnittelusta ja sen ehdoista tietotekniikkaa hyväksi käyttäen.

Rakennusautomaatiojärjestelmän käyttöliittymä mahdollistaa käyttäjän ja käytettävien järjestelmien sekä rakennuksen välisen kommunikoinnin. Hyvän käyttöliittymän suunnittelu edellyttää sen tarkastelua usealla eri abstraktiotasolla (Laitila 1992). Käyttäjävälisyyden tarviin toimivan ja ergonomisen laitteiston lisäksi suunnitteluprosessin, työnjaon ja koulutuksen sopivuutta ja onnistuneisuutta. Käyttäjien osallistuminen suunnitteluun ja käytön aikainen kehittäminen ovat tärkeitä.

Laitila & Antikainen (1992) testasivat haastattelututkimuksin ja käyttökokein rakennusautomaatiojärjestelmän käyttöliittymäprototyyppejä. Merkittävää osaa näistä tuloksista voidaan soveltaa myös vikadiagnostiikkaohjelmiston käyttöliittymien suunnittelussa. Koska käyttäjä kommunikoi järjestelmän kanssa lähinnä käyttöliittymän välityksellä, järjestelmän ominaisuudet määräävät, millaiseksi käyttäjä kokee järjestelmän käytön ja kuinka hyvin hän pystyy hyödyntämään järjestelmän tarjoamia ominaisuuksia.

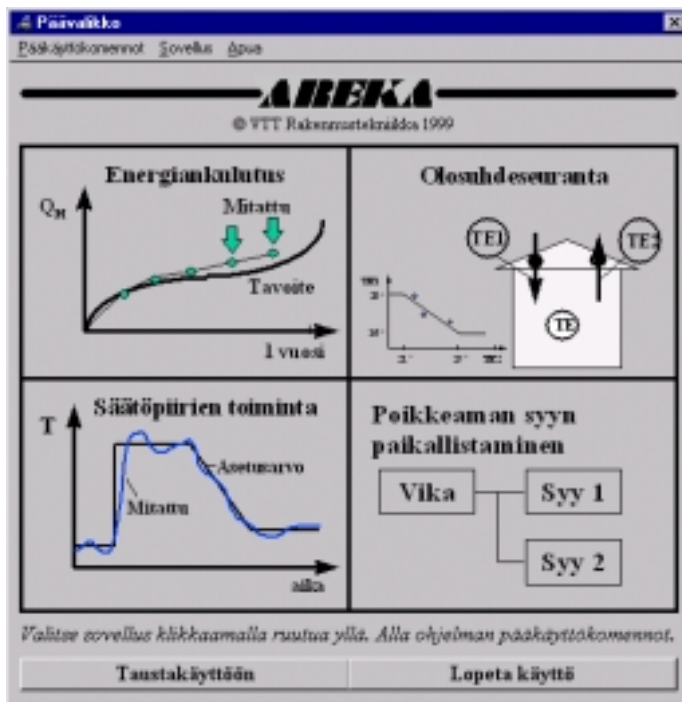
Haastattelujen perusteella järjestelmiltä vaadittavaksi tärkeimmäksi ominaisuudeksi osoittautui järjestelmän luotettavuus (Laitila & Antikainen 1992). Käyttöliittymän tulee olla myös selkeä, käyttäjää opastava ja helppokäyttöinen. Käyttäjien pitäisi pystyä kommunikoimaan järjestelmän kanssa suomen kielellä. Lyhenteet tulisi esittää selkeästi ja johdonmukaisesti, ja mittauspisteiden paikallistamisen pitäisi olla yksinkertaista. Hälytystilanteiden toimintaohjeiden pitäisi olla selkeitä. Nämä seikat parantavat järjestelmän havainnollisuutta. Käyttöliittymäohjelmiston tulee olla toteutettu johdonmukaisesti ja selkeästi siten, että esim. ylemmälle hierarkiatasolle siirtyminen tapahtuu aina saman toimenpiteen seurauksena.

CEN TC247/WG3 (1998) käsittelee rakennusautomaatiojärjestelmien ja -tuotteiden laitteisto- ja toiminnallisia vaatimuksia sekä järjestelmäintegrointia muiden järjestelmien kanssa. Kyseessä on rakennusautomaation eurooppalaiseen standardointiin liittyvä työryhmä. Rakennusautomaatiojärjestelmien käyttöliittymävaatimuksia työryhmä on toistaiseksi käsitellyt melko yleisellä tasolla. Käyttöliittymän perustoimintoja ovat järjestelmän, tapahtumien ja tilanteiden seuranta, parametrien asettaminen sekä järjestelmän hallinta. Työryhmä antaa esimerkkejä mahdollisista käyttäjistä, heidän tehtävistään ja kullekin käyttäjäryhmälle suositelluista käyttöliittymälaitteista. Graafisen käyttöliittymän toiminnallisiksi vaatimuksiksi esitetään tukea värinäytölle, symbolien käyttöä, vieritys- ja zoomausominaisuuksia, hälytysten näyttöä sekä komentojen vahvistamista.

Tullis (1988) esittää käytännön ohjeita näyttöjen suunnitteluun perustaen ohjeensa tutkimuksiin peruspsykologiasta ja inhimillisten tekijöiden vaikutuksista, suunnittelijoiden ja käyttäjien kokemuksista sekä graafisen suunnittelun kokemuksista. Käsiteltäviä asioita ovat esitettävän informaation määrä, informaation ryhmittely, informaation korostaminen, informaation sijoittaminen ja järjestäminen, näytöllä esitettävien osien väliset suhteet, tekstin esittäminen ja grafiikan käyttö.

## 5.2 Vikadiagnostiikkaohjelmiston ominaisuudet

AREKA-ohjelmisto muodostuu neljästä kokonaisuudesta (kuva 12): energiankulutus, olosuhdeseuranta, säätöpiirien toiminta ja poikkeaman syyn paikallistaminen.

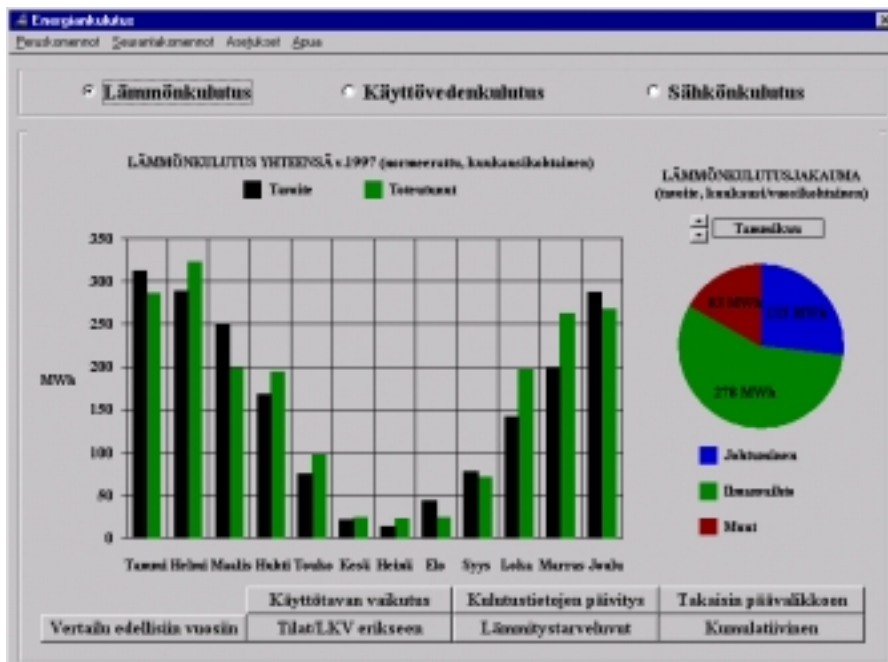


Kuva 12. AREKA-ohjelmiston pääikkuna.



## 5.2.1 Energiankulutus

Energiankulutusosassa verrataan lämmön-, käyttöveden- ja sähkönkulutusta kulutusten tavoitearvoihin. Lämmönkulutuksia voidaan tarkastella joko normaalivuoteen normeerattuna tai todellisina (normeerattomina) kulutuksina. Kulutuksia voidaan vertailla myös edellisiin vuosiin ja tarkastella lämmön kokonaiskulutusta tai lämmönkulutusta jaoteltuna tilojen lämmönkulutukseen ja lämpimän käyttöveden energiankulutukseen. Lämmönkulutukset voidaan esittää joko kuukausittaisesti pylväsdiagrammina (kuva 13) tai kumulatiivisesti. Lämmönkulutusosuudessa voidaan tarkastella myös tavoitekulutuksen vuosittaista ja kuukausittaista kulutusjakaumaa jaoteltuna lämmön johtumisesta, ilmanvaihdosta ja muusta syystä aiheutuvaan lämmöntarpeeseen.



Kuva 13. Energiankulutuksen monitorointi.

Käyttövedenkulutus- ja sähkönkulutusosuudet ovat samantyyppisiä kuin edellä kuvattu lämmönkulutusosuus. Vedenkulutusjakaumassa esitetään kylmä ja lämmin käyttövesi ja sähkönkulutusjakaumassa tavoitekulutuksen jakautuminen kylmiöiden, valaistuksen, pumppujen ja puhaltimien sekä muun sähkönkulutuksen kesken.

Käyttötapaohjelma

### Rakennuksen käyttötavan vaikutus lämmönkulutukseen

	Nykyinen arvo	Muutettu arvo
Sisälämpötila:	21 °C	20 °C
<b>IV-kone 1</b>		
Ilmavirta:	3,01 m <sup>3</sup> /s	3,01 m <sup>3</sup> /s
Käyntiaika:	12 h/vrk	12 h/vrk
Käyntipäivik:	5 vrk/vko	5 vrk/vko
Jälkilämmitys:	Ei	Ei
Sisälämpöhalluslämpötila:	- °C	- °C
	↑ ↑	↓ ↓
Lämmönkulutus yhteensä:	1945 MWh/v	1830 MWh/v
Energian hinta:	175 mk/MWh	20097 mk väästö vuodessa!
Laske muutosten vaikutus		Poistu

Kuva 14. Käyttötavan kustannusvaikutuksen arviointi.

Energiankulutusosuus sisältää myös yksinkertaisen työkalun (kuva 14), jolla voidaan arvioida erilaisten käyttötekniisten keinojen vaikutusta lämmönkulutuksen tavoitearvoon. Työkalulla voidaan arvioida vuositasolla, kuinka paljon sisälämpötilan tai ilmastointikoneiden käyttötavan muutokset vaikuttavat energiakustannukseen.

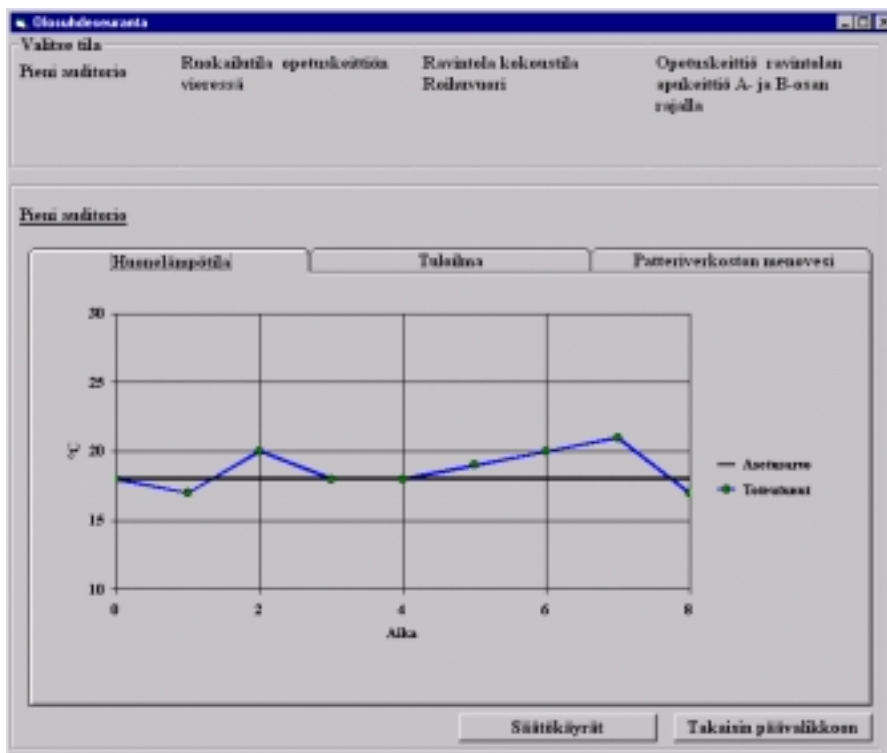
### Hälytysrajat

Kulutuspoikkeamille määriteltiin kuukausikohtaiset hälytysrajat, jotka voivat olla jonkin kuukauden kohdalla esimerkiksi  $\pm 10\%$ . Lämmönkulutuksen hälytysrajat ovat kesäkuukausina yleensä suuremmat kuin muulloin. Hälytysrajat ovat käyttäjän muokattavissa, ja alustavia arvoja lukuun ottamatta niiden täsmentäminen jää käytön/testauksen aikaiseksi tehtäväksi. Tämän tavoitteena on saada aiheettomat, laskentatarkkuudesta ja satunnaisista vaihteluista johtuvat, kulutuspoikkeamailmoitukset mahdollisimman vähäisiksi.

### 5.2.2 Olosuhdeseuranta

Huonelämpötiloja TE 9.1 - TE 9.5 seurataan trendiseurannalla kahtena päivänä viikossa (esim. tiistai ja torstai). Mittaustietoja kerätään tunnin välein normaaleina käyttöaikoina (esim. 8 - 16). Jos mitattu huonelämpötila poikkeaa saman seurantajakson aikana tavoitearvostaan hälytysrajan verran samaan suuntaan viisi kertaa peräkkäin, järjestelmä antaa vikailmoituksen. Vikailmoitusruudusta käyttäjä pääsee halutessaan vikadiagnostiikkaikkunaan.

Käyttäjä voi valita olosuhdeseurannan päänäkymään joko yksittäisen huoneen *tai samaan kuvaan kaikki seurattavat huonelämpötilat* (kuva 15). Näkymässä esitetään huonelämpötilan asetusarvo viivana ja mitatut lämpötilat pisteinä, jotka on yhdistetty viivalla. Vianetsinnän tueksi esitetään myös tuloilman lämpötilan asetusarvo ja mitatut arvot tunnin välein samoin kuin patteriverkoston menoveden mitatut ja asetusarvot. Halutessaan käyttäjä voi valita myös apuikkunan, jossa esitetään tuloilman ja patteriverkoston menoveden lämpötilojen säätökäyrät ja viiden viimeisen mittauspisteen sijoittuminen säätökäyriin nähden. Näiden tietojen ja vikadiagnostiikkaohjelman avulla käyttäjä voi päätellä, onko väärän huonelämpötilan syynä säätökäyrien väärä asento. Olosuhdeseurannan Apua-valikosta löytyy ohjeita siitä, mitä säätökäyristä tulisi korjata ja mihin suuntaan säätökäyriä pitäisi muuttaa.



Kuva 15. Olosuhdeseurannan päänäyttö.

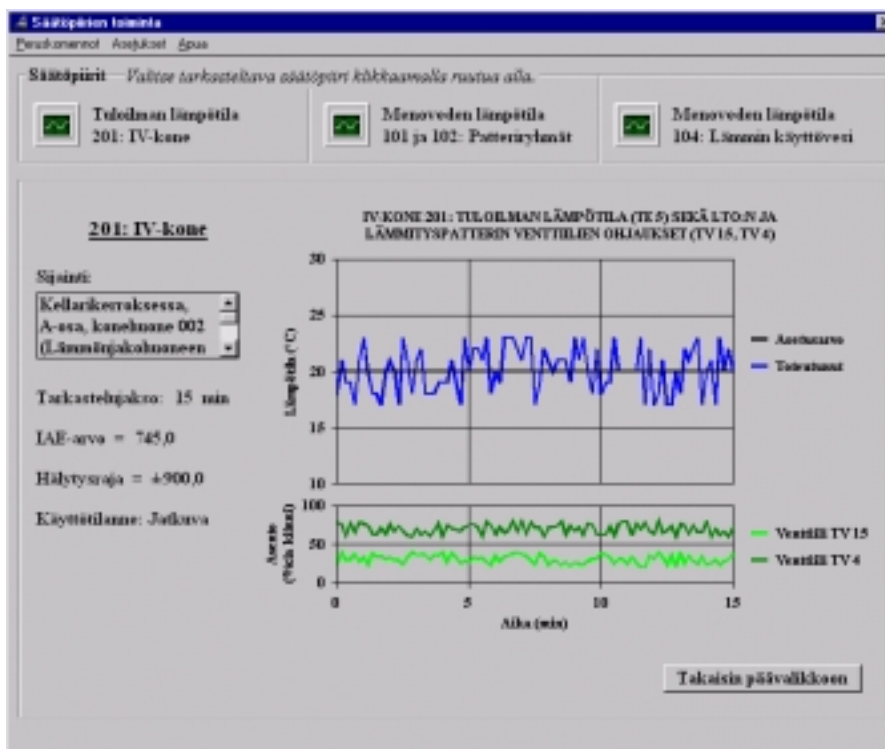
## Hälytysrajat

Kiinteistönhoidon ohjeissa KH 10-00171 (1992) suositellaan, että huonelämpötila ei saisi jatkuvasti poiketa tavoitearvostaan enempää kuin  $\pm 1,5$  °C. Alustavasti 'jatkuvan' aikajakson rajaksi on asetettu 5 tuntia, mutta käyttäjä voi halutessaan määritellä uuden rajan. Aikajakson rajausta tulisi tehdä niin, että se sisältää tunteja sekä aamu- että iltapäivältä, jolloin turhat liiallisen auringonpaisteen aiheuttamat vikailmoitukset jäävät pois.

Liian pitkä aikaraja taas aiheuttaa sen, että tilojen käyttäjät ehtivät valittaa epämukavasta lämpötilasta jo ennen kuin ohjelma antaa vikailmoituksen. Sallittu poikkeama tavoitearvosta on supistettu  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ :ksi Haakana & Kososen (1997) suositusta vastaavaksi. Käyttäjä voi halutessaan muuttaa myös sallittua poikkeamaa.

### 5.2.3 Säätiöpiirien toiminta

Säätiöpiirien toimintaa seurataan luvussa 4.3.3 esitettyjen periaatteiden mukaisesti, tosin hieman yksinkertaistaen. Koska koekohteen (luku 2.1) valvomojärjestelmä sisältää automaattisen trendseurantamahdollisuuden, säätiöpiirien toimintaa tarkastellaan ensisijaisesti IAE-kriteerin perusteella ja mittaus- ja ohjaustietoja esitetään vain vian havaitsemisen tueksi (kuva 16). Vaatimuksista toteutettiin vain pysyvien poikkeamien havainnointi seurantajaksoina, joten vaatimusten ylittyessä hetkellisesti voidaan saada vääriä vikailmoituksia.



Kuva 16. Säätiöpiirien toimintaosuus.

### Ilmastointikoneiden säätiöpiirien toiminta

Koska toteutettavaa sovellusta oli hankkeessa rajattava, ilmastointikoneiden säätiöpiirien toimintaa seurataan esimerkinomaisesti vain yhdestä koekohteen ilmastointikoneesta.

Ilmastointikoneen trendseurannassa esitetään tuloilman lämpötila (TE 5) ja sen asetusarvo sekä tuloilman lämpötilaan vaikuttavat ohjaustiedot (lämmöntalteenottopatterin venttiili TV 15 ja lämmityspatterin venttiili TV 4). Tähän seurantaan olisi tarvittaessa mahdollista liittää myös ilmanvaihtoverkoston menoveden lämpötila ja sen asetusarvo.

Standardia SFS 5768 sovelletaan keskusilmastointikoneen jälkeisen ilman lämpötilan seurantaan siten, että tuloilman lämpötilaa verrataan asetusarvoon (ei lopulliseen arvoon tai keskiarvoon kuten standardissa). Ilmastointikoneen säätöä tarkastellaan 15 minuutin jaksoissa käynnistyshetkestä. Tässä ajassa tuloilman lämpötilan on saavutettava asetusarvonsa  $\pm 1$  °C:n tarkkuudella käynnistystilanteessa. Käyntiaikana mittausarvo saa poiketa asetusarvosta enintään  $\pm 0,5$  °C.

### **Patteriverkostojen säätöpiirien toiminta**

Koekohteen (luku 2.1) lämmönjakokeskuksessa on kaksi lämmönvaihdinta patteriryhmien lämpötilansäätöön. Toinen lämmönvaihtimista palvelee eteläistä ja toinen pohjoista patteriryhmää. Näitä molempia seurataan erikseen trendseurannassa siten, että kuvassa esitetään menoveden lämpötila ja sen asetusarvo sekä moottoriventtiilin ohjaus. Tarvittaessa seurantaan voidaan liittää myös ulkolämpötila. Seurantajakson pituus on 30 minuuttia, jolloin sallitaan korkeintaan  $\pm 2$  °C:n poikkeama asetusarvosta.

### **Lämpimän käyttöveden lämpötilan säädön seuranta**

Lämpimän käyttöveden trendseurannassa tarkastellaan menoveden lämpötilaa, sen asetusarvoja ja ohjauksista moottoriventtiilien (TV 1.1 ja TV 1.2) asentoja. Tarvittaessa seurantaan voidaan liittää myös ulkolämpötila. Seurantajakson pituus on 30 minuuttia, jolloin sallitaan korkeintaan  $\pm 2$  °C:n poikkeama asetusarvosta.

### **Hälytysrajat**

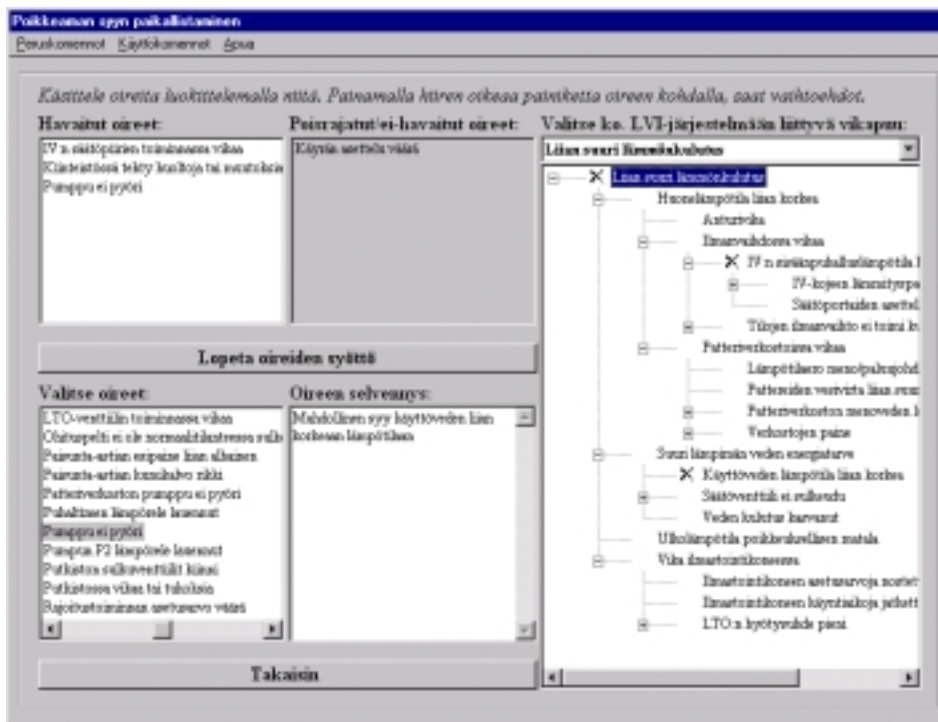
IAE-kriteerien hälytysrajat riippuvat sallitusta erosuureesta, seurantajakson pituudesta ja säätimen näytevälistä. Kun erosuureen itseisarvon suurin sallittu,  $e_i(t)_{sallittu}$ , arvo vakioidaan kullekin tapaukselle, voidaan IAE-kriteerin hälytysraja määrittää kaavan 10 perusteella ja siinä oleva vakio  $n$  kaavan 11 perusteella.

$$IAE_{raja} = nT |e_i(t)_{sallittu}| \quad (10)$$

$$n = \frac{\text{seurantajakso}}{\text{säätimen näyteväli}} \quad (11)$$

### 5.2.4 Poikkeaman syyn paikallistaminen

Jos energiankulutuksissa, olosuhdeseurannassa tai säätöpiirien toiminnassa havaitaan poikkeamia, niiden syyt pyritään selvittämään vika-oirepuiden avulla. Tällöin käyttäjä valitsee havaitsemansa oireet kaikkien oireiden joukosta, jolloin mahdollinen vika esitetään vikapuussa (kuva 17). AREKA-ohjelmiston vian paikallistamisosa sisältää paljon muitakin mahdollisia vikoja ja syitä ei-toivottuun toimintaan kuin automaattisesti havaittavat toimintahäiriöt. Näin ollen tätä osuutta voidaan käyttää myös täysin itsenäisesti erilaisten vikojen ja toimintahäiriöiden vaikutusten selvittämiseen.



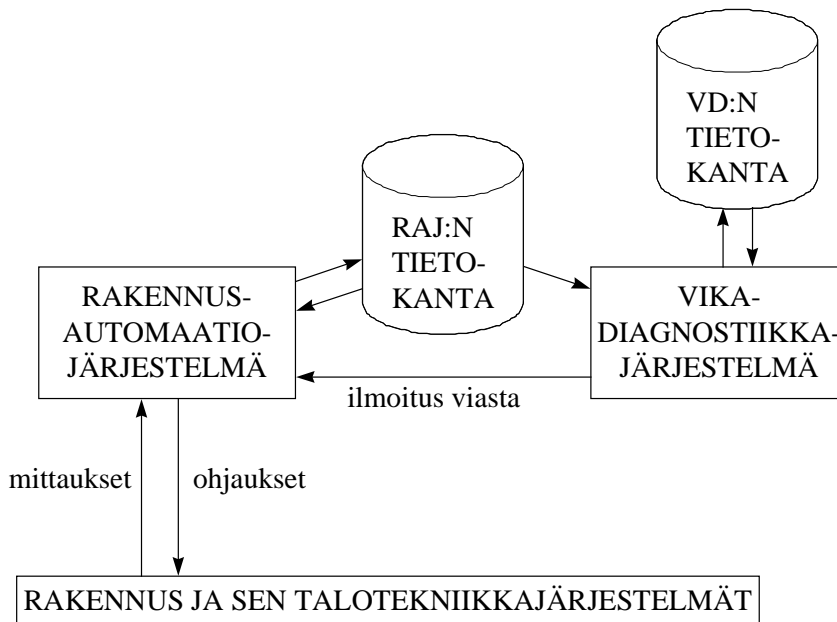
Kuva 17. Vian paikantaminen havaittujen oireiden perusteella.

## 5.3 Ohjelmiston liittäminen automaatiojärjestelmään

Kun todelliseen rakennukseen liitetään reaaliaikainen vikadiagnostiikkajärjestelmä, sen tulee pääsääntöisesti hyödyntää niitä mittauksia, joita rakennuksesta ja sen järjestelmistä tehdään muutenkin (Kärki 1997). Jos hyödynnettävät vikadiagnostiikkamenetelmät tarvitsevat ylimääräisiä mittauksia tai muita tietoja, ne tulisi korvata esimerkiksi oletusarvoilla. Vikadiagnostiikkajärjestelmän ei myöskään tulisi lisätä tietokonelaitteistoilta tai -ohjelmistoilta vaadittavia ominaisuuksia.

### 5.3.1 Toteutettu liityntä

Kuvassa 18 esitetään periaate, jolla reaaliaikainen vikadiagnostiikkajärjestelmä liittyy rakennusautomaatiojärjestelmään. Siinä VD-järjestelmä hyödyntää rakennusautomaatiojärjestelmän keräämiä mittaustietoja ja sen LVI-järjestelmille antamia ohjaustietoja. Rakennusautomaatiojärjestelmä kirjoittaa nämä tiedot omaan tietokantaansa, josta vikadiagnostiikkajärjestelmä ne lukee. Vikadiagnostiikkajärjestelmällä on oma tietokantansa, joka sisältää vikatietämystä. Vikadiagnostiikkajärjestelmä havaitsee ja paikallistaa vikoja käyttäen rakennusautomaatiojärjestelmän tietokannasta ja omasta tietokannastaan saamia tietoja sekä käyttäjältä saatavaa informaatiota. Diagnoosin jälkeen päivitetään vikadiagnostiikkajärjestelmän tietokantaa sekä informoidaan käyttäjää rakennusautomaatiojärjestelmän valvomon kautta. Tämän tyyppinen VD-järjestelmän toteutus ei viasta tiedottamista lukuun ottamatta edellytä muutoksia rakennusautomaatiojärjestelmään.



Kuva 18. Rakennuksen reaaliaikaisen vikadiagnostiikkajärjestelmän liityntä rakennusautomaatiojärjestelmään.

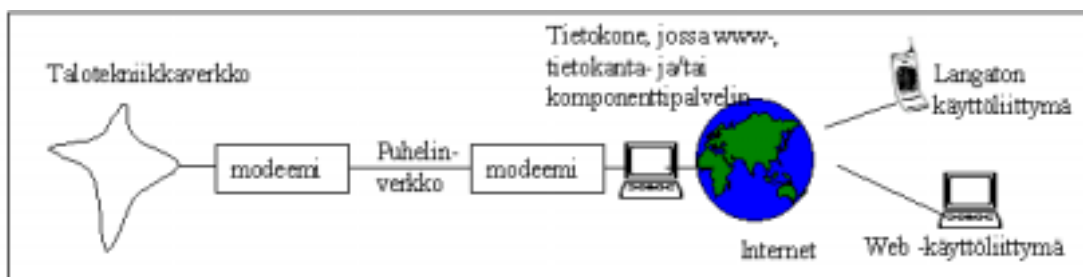
### 5.3.2 Internet-toteutuksen periaatteet

Pietarinen & Ahonen (1998) toteuttivat kaksi kaukolämmön kulutustietojen kaukoluen-  
nan demonstrointiin tarkoitettua pilottijärjestelmää. Molemmissa on perusajatuksena  
ylläpitää asiakkaan kiinteistössä olevasta mittausjärjestelmästä määrävälein luettuja ku-  
lutustietoja palvelinkoneella olevassa tietokannassa siten, että kulutustietojen luenta  
tapahtuu Internet-verkon kautta www-pohjaisella käyttöliittymällä. Vastaaventyypistä

toteutusta voitaisiin soveltaa myös rakennusten energiantietoiseen käyttöön, kun seuraava tapahtuu fyysisesti eri paikassa.

Pakanen *et al.* (1996) toteuttivat esimerkinomaisesti vikadiagnosijärjestelmän www-ympäristössä. Sovellus tehtiin öljypolttimen vikadiagnosin vikapuurakenteesta, mutta toteutus on sellainen, että se pystyy käyttämään vikapuuta vain yhteen suuntaan. Samoja periaatteita voidaan kuitenkin hyödyntää monipuolisemmassakin toteutuksessa.

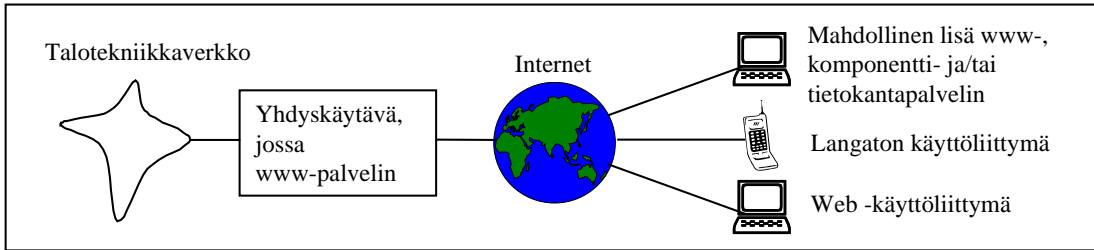
Rakennuksen talotekniset järjestelmät (laitteet) voidaan liittää Internetiin useammalla tavalla. Yhden vaihtoehdon muodostavat yksittäisten yritysten räätälöidyt tuoteratkaisut. Toisena vaihtoehtona on käyttää puhelinverkkoa ja perinteisiä modeemeja (kuva 19). Tällöin talopään kenttäväylä ja siihen liitetyt talotekniset laitteet tai järjestelmät liitetään puhelinverkkoon perinteisen modeemin avulla. Toisessa päässä tarvitaan modeemin lisäksi Internetiin liitetty ja esim. www- ja komponenttipalvelimella varustettu tietokone.



Kuva 19. Talotekniikkaverkon Internet-liittymä. Toteutus on tehty perinteisten modeemien, puhelinverkon ja erillisen tietokannoilla sekä www- ja komponenttipalvelimella varustetun mikrotietokoneen avulla.

Kuvassa 20 on esitetty taloteknistien järjestelmien Internet-liittymä tapauksessa, jossa rakennus on liitetty Internetiin kiinteällä yhteydellä. Toteutus perustuu kenttäväylä-Internet-yhdyskäytävään, joka voi sisältää myös www-palvelimen. Esimerkkinä ko. ratkaisusta on Echelonin i.Lon. Ratkaisu mahdollistaa sen, että LonWorks-kenttäväylään liitetyt laitteet voidaan monitoroida ja ohjata web-selaimella. Muita vastaavia ratkaisuja on tulossa mm. OSGi-ryhmittymältä ([www.osgi.org](http://www.osgi.org)). Myös VTT:llä on käynnissä hankkeita, jotka liittyvät kuvan 20 mukaisen ratkaisun hyödyntämiseen.

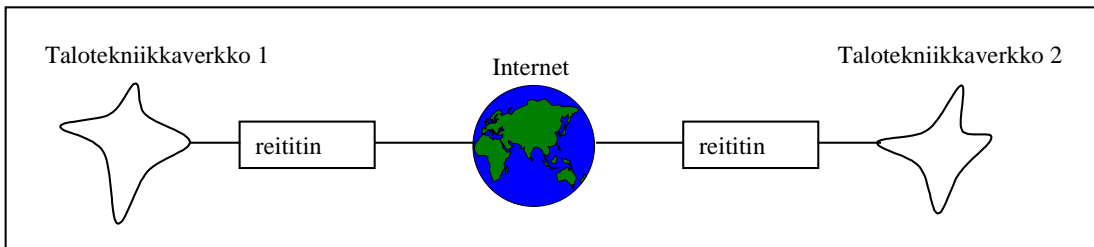




Kuva 20. Talotekniikkaverkon Internet-liityntä. Toteutus on tehty www-palvelimella varustetun Internet-yhdyskäytävän avulla.

Esimerkkinä Internet-pohjaisesta www-sovelluksesta on mm. tatem-järjestelmä (www.tatem.org). Tatemissa rakennuksen web-pohjaisten AutoCAD-pohjapiirrosten avulla on mahdollista selata mm. kiinteistön FM-tietokannan (Viatek Oy) tietoja. Samalla web-pohjaisella cad-käyttöliittymällä on mahdollista myös LonWorks-kenttäväylään liitettujen taloteknisten laitteiden ja järjestelmien monitorointi ja ohjaus.

Periaatteessa Internetiä on mahdollista käyttää myös kahden kaukana toisistaan sijaitsevan kenttäväylän yhdistämiseen (kuva 21). Tällöin kenttäväylän molempiin päihin laitetaan ko. kenttäväylää tukevat Internet-yhdyskäytävät (esim. LonWorks-kenttäväylän yhteydessä CTIn NCB -reitittimet).



Kuva 21. Kahden talotekniikkaverkon yhdistäminen Internetin avulla.

## 6. Demonstrointi koekohteessa

### 6.1 Käyttäjäkokemukset

#### 6.1.1 Kone-esimiehen ensikommentit esimerkkinäyttöön

Projektin alkuvaiheessa kone-esimiehelle esitettiin suunniteltavana olevan vikadiagnostiikkaohjelman kaavailtua päänäyttöä ja pyydettiin mielipidettä sen hyödyllisyydestä käyttäjän työn tukena.

Energiaseurantaa ei ole nykyisessä järjestelmässä esitetystä muodosta eikä se herättänyt erityisiä kommentteja.

Asetusarvoja voidaan kone-esimiehen mukaan seurata jo nykyisessä järjestelmässä, mutta hälytystä ei tule, jos asetusarvo alkaa muuttua. Olisi hyvä, jos järjestelmä hälyttäisi silloin, kun asetusarvo alkaa muuttua. Voisi olla jokin ylä- ja alaraja muutokselle, jonka jälkeen hälytys tulisi. Nykyisin pystytään vain seuraamaan ja etsimään vikaa, esimerkiksi jos joku moottoriventtiili ei toimi kunnolla. Usein IV-koneissa moottoriventtiili ei kunnolla aukea, jolloin mittaus poikkeaa asetusarvosta. Auttaisi paljon, jos heti asetusarvon poiketessa tulisi ilmoitus, että kyseessä on venttiilivika. Muutenkin voisi tulla ennakkoon ilmoituksia, jos joku venttiili ei toimi. Joka IV-koneella voisi olla seuranta moottoriventtiilin toiminnasta.

Käyttäjän yleismielipiteenä esimerkkinäyttö vaikutti hyvältä eikä mitenkään hankalalta.

#### 6.1.2 Käyttäjän ensivaikutelma ohjelmasta

Ohjelman pääasiallisen käyttäjän, kone-esimiehen, mielestä ohjelma vaikutti hyvältä, ja hän uskoi, että siitä saattaa jatkossa olla apua energiansäästöissä, kun esimerkiksi säätöpiirien toimintaa seurataan nyt koko ajan. Erityisesti käyttäjä oli tyytyväinen siihen, että ohjelma hälyttää ajoissa, jos jossakin on ongelmia. Käyttäjä piti tärkeänä, että hälytys ei olosuhdeseuranta-tapauksessa tule kuitenkaan heti kun hälytysraja on ylitetty, vaan vasta, kun se on ylitetty useamman kerran.

Käyttäjän mielestä ohjelma näytti melko helppokäyttöiseltä ja selkeältä. Hän uskoi pystyvänsä käyttämään sitä VTT:n kirjoittamien käyttöohjeiden tuella vaivattomasti.

Käyttäjä mainitsi vain kaksi asiaa, kun kysyttiin, mitä ohjelmassa voisi jatkossa korjata: Käyttäjän mielestä hälyttävä vika voisi olla Vikapuut-osiossa isommalla tai helpommin erottavana. Vikapuut-osion teksti on yleisesti ottaen aika pientä ja vanhemman henkilön voi olla vaikea erottaa tekstiä.

## 6.2 Jatkokehitystarpeet

Energiankulutusosuuden pääsivulla voitaisiin esittää rakennustason kulutukset ja alasi-  
vuilla kulutukset prosesseittain. Jokaiseen prosessiin liittyisi apusivu, jossa esitettäisiin  
laskennassa tarvittavia tietoja (ilmamäärät, vaikutusalueet, tunnittaiset sähkötehot jne.).  
Asetusarvojen ja käyttöaikojen muutoksen jälkeen energiankulutusennusteet voisivat  
muuttua automaattisesti.

Toteutetussa ohjelmistossa sähkönkulutusta tarkastellaan kokonaiskulutuksena ja yh-  
deksältä alakeskukselta mitattavina kulutuksina. Tässä tarkastelussa on ongelmana se,  
ettei pystytä erottamaan, mikä osuus todellisista kulutuksista aiheutuu eri järjestelmistä  
tai laiteryhmistä (esim. kylmiöistä, pumpuista, valaistuksesta jne.). Näin ollen olisikin  
parempi tarkastella sähkölaitteiden kulutusta laitekohtaisten käyttötuntitietojen perus-  
teella, jotka saadaan automaattisesti.

Tuloilmakoneiden käyntiaikaraportteja voitaisiin suoraan hyödyntää virheellisen toi-  
minnan havaitsemisessa, koska koneiden käyttötapa vaikuttaa merkittävästi rakennuksen  
energiankulutukseen. Toimintoon voitaisiin liittää myös ohjeistus, miten käyntiaikoja  
pitäisi tarvittaessa muuttaa.

Kaikkia energiankulutusosuuksia voitaisiin tarkastella myös kuukautta lyhemmällä tar-  
kasteluvälillä, jotta suuret muutokset havaittaisiin nopeasti.

Käyttötavan vaikutusten arviointia tulisi muuttaa siten, että siinä näkyisivät laskennan  
alkuarvot nykyistä selkeämmin.

Ohjelmiston tiedonsiirtorajapintaa tulisi työstää mahdollisimman yleiskäyttöiseksi. Ny-  
kyinen rajapinta on sovellus yksittäiseen kohteeseen. Ohjelmistoa voitaisiin muutenkin  
muokata sellaiseksi, että se koostuisi yleiskäyttöisistä moduuleista, jotka eivät ole yhtä  
riippuvaisia käytetystä ohjelmointympäristöstä kuin nykyinen toteutus.

Nykyisessä versiossa hälytys tulee vasta, kun käyttäjä avaa kyseisen osion. Käyttäjän  
kannalta olisi ehkä käytännöllisempää, jos hälytys tulisi näyttöön heti, kun on aiheutta.

Saattaisi olla hyvä, jos käyttäjä voisi lisätä tietoja vikapuuhun, esimerkiksi ohjeita vi-  
kujen korjaamiseen tms. Tästä olisi apua erityisesti sijaisille. Vikapuu-osion käyttöliit-  
tymää voisi vastedes edelleen selkeyttää.

## 7. Yhteenveto

Merkittävä osa liike-, toimisto- ja palvelurakennusten huolto-, korjaus- ja ylläpitotoimenpiteistä aiheutuu rakennusautomaatiojärjestelmän antamista hälytys- ym. tiedoista. Vaikka nykyaikaiset rakennusautomaatiojärjestelmät ovat todella monipuolisia, niiden käytettävyydessä on vielä paljon parantamisen varaa. Suuresta tietomassasta on liian usein vaikea löytää keskeisiä asioita. Tämä julkaisu kuvaa projektia, jonka keskeisenä tavoitteena oli hyödyntää rakennusautomaatiojärjestelmän keräämää tietoa rakennuksen energiatietoisien käytön tukena.

Kehitystyön lähtökohtana käytettiin tarvekartoitusta, joka tehtiin projektin alkuvaiheessa suunnitellun koekohteen käyttäjiä haastatteleamalla. Samassa yhteydessä selvitettiin käyttäjien keskeiset tehtävät, organisaation rakenne ja muut energiansäästön motivaatioon liittyvät seikat.

Ennen varsinaista kehitystyötä kartoitettiin myös olemassa olevia vian havaitsemis- ja paikantamismenetelmiä. Tämä kartoitus rajattiin sellaisiin menetelmiin, joista arvioitiin olevan eniten hyötyä projektin jatkoa ajatellen.

Rakennuksen energiatietoisien käytön tueksi kehitettiin menetelmät energiankulutuksen, olojen ja keskeisten ohjausten välisen riippuvuuden sekä säätöpiirien toiminnan seurantaan. Seurannassa havaittujen poikkeamien syiden paikallistamisessa käytettiin vika-oirepuita, jotka laadittiin koekohteeseen.

Kehitetyt menetelmät ohjelmoitiin AREKA-ohjelmistoksi, joka asennettiin Roihuvuoren ammattioppilaitoksen valvomoon. Rakennusautomaatiojärjestelmä kirjoittaa suurimman osan AREKA-ohjelmiston tarvitsemista tiedoista tietokantaan, josta ne luetaan määrävälein.

AREKA-ohjelmiston energiankulutusosuus eli lämmön-, käyttöveden- ja sähkönkulutuksen kuukausiseuranta sekä poikkeaman syyn paikallistaminen toteutettiin koko rakennusta silmällä pitäen. Sen sijaan olosuhdeseuranta ja säätöpiirien toiminnan seuranta jouduttiin rajaamaan muutamaa keskeiseen tilaan ja prosessiin. Toteutussakin laajuudessa ohjelmiston hyödynnettävyyttä pystyttiin kuitenkin demonstroimaan koekohteessa.

Käyttäjäkokemuksia ohjelmistosta on vasta lyheltä jaksolta, joten järjestelmän todellista vaikutusta energiankulutukseen, vikojen havaitsemiseen, huoltotyön jaksottamiseen jne. on vaikea arvioida. Joka tapauksessa käyttäjiltä saatu palaute on ollut sangen positiivista. Koska kyseessä on kuitenkin prototyypiohjelmisto, selkeitä jatkokehitystarpeita on jo havaittu.

## Lähdeluettelo

Abel, E., Aronsson, S., Jilar, T. & Nilsson, P.-E. 1990. Learning from experiences with new technologies for heating and cooling supply in office buildings. Sittard, ? Alankomaat: Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies. 178 s. (CADDET Analyses Series No. 3.) ISBN 90-72647-13-0

Aho, I., Kosonen, R., Hoving, P., Marttila, M., Pirinen, A., Speeti, T. & Haajanen, J. 1996. Asuinkerrostalojen ja toimistorakennusten energianhallinta. Opas isännöitsijöille ja kiinteistöhoitajille. Espoo: VTT Rakennustekniikka, Rakennusfysiikka, talo- ja palotekniikka. 52 s. + liitt. 8 s. (VTT Tiedotteita 1737.) ISBN 951-38-4891-4

Asuinkerrostalon hoito- ja huoltosuunnitelma; KH 10-00171. 1992.

Brambley, M., Pratt, R., Chassin, D., Katipamula, S. & Hatley, D. 1998. Diagnostics for Outdoor Air Ventilation and Economizers. ASHRAE Journal, October 1998, s. 49 - 55.

CEN TC247/WG3. 1998. Building management products and systems for HVAC applications. Part 2: Equipment Functionality. Brussels: European Committee for Standardisation. 86 s.

Haakana, M. 1998. Yhteenveto Roihuvuoren ammattioppilaitoksen kone-esimiehen haastattelusta. Espoo: VTT Rakennustekniikka. 6 s. (Julkaisematon työraportti.)

Haakana, M. & Kosonen, R. 1997. JATKUVA-seurantamenetelmien kehittäminen rakennusten energiatietoisemmän käytön apuvälineeksi. Espoo: VTT Rakennustekniikka. 23 s. (Projektin sisäinen raportti.)

Hyvärinen, J. 1993. Static models and characteristic curves. Teoksessa: Hyvärinen, J. & Kohonen, R. (toim.). Building Optimization and Fault Diagnosis system concept. Helsinki: Painatuskeskus Oy. S. 96 - 103. ISBN 952-9601-16-6

Kippo, A. 1983. Säättöpiirin analysointi ja viritys. Helsinki: INSKO. 44 s. (Julkaisu 78-83, Säättötekniikan uudet menetelmät.)

Knabe, G., Kremonke, A. & Wagner, H.-J. 1996. Fault detection and optimization for a heating system. Teoksessa: Hyvärinen, J. (toim.). Real Time Simulation of HVAC Systems for Building Optimization, Fault Detection and Diagnosis. Technical Papers of IEA Annex 25. Helsinki: Oy Edita Ab. S. 57 - 73. ISBN 952-5004-11-2

Kosonen, R., Laitila, P., Bitter, R., Laine, T. & Lahdenperä, R. 1995. LVI-järjestelmien säädön toiminnan tarkistaminen. Espoo: VTT Rakennustekniikka, Rakennusfysiikka, talo- ja palotekniikka. 42 s. + liitt. 13 s. (VTT Tiedotteita 1629.) ISBN 951-38-4744-6

Kuismin, J.-P. 1993. LVI-yksikköprosessien säätö. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, LVI-tekniikan laboratorio. 91 s. (LVIS-2000 -tutkimusohjelma/Raportti 22.) ISBN 952-9601-11-5

Kärki, S. 1997. Suorituskykytekijät ilmastointikoneen vikadiagnostiikan lähtökohtina. Teoksessa: RAKET. Tutkimusseminaari 5.12.1997. Espoo: VTT Rakennustekniikka. S. 55 - 61.

Kärki, S. 1998. Vikapuut helpottavat ilmastointikoneen vikojen paikallistamista. Talo-tekniikka, 1998, Nro 2, s. 65 - 67. ISSN 12365173

Kärki, S. & Hyvärinen, J. 1997. Ilmastointikoneen suorituskyvyn seuranta. Espoo: VTT Rakennustekniikka, Rakennusfysiikka, talo- ja palotekniikka. 44 s. (VTT Tiedotteita 1832.) ISBN 951-38-5110-9

Laitila, P. (toim.). 1992. Toiminta, kvalifikaatio ja automaatio – näkökulmia käyttöliittymän suunnitteluun. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, LVI-tekniikan laboratorio. 81 s. (LVIS-2000-tutkimusohjelma/Raportti 13.) ISBN 952-9601-02-6

Laitila, P. & Antikainen, J. 1992. Rakennusautomaatiojärjestelmän käyttöliittymäprototyypin testaus. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, LVI-tekniikan laboratorio. 72 s. (LVIS-2000-tutkimusohjelma/Raportti 18.) ISBN 952-9601-07-7

Leivo, A. 1990. Ilmastointijärjestelmien säätöön liittyvät viat ja virhetoiminnat. Espoo: Teknillinen korkeakoulu, Koneinsinööriosasto. 110 s. + liitt. (Diplomityö.)

LVI-laitoksen tarkkailuohje; KH 23-00142; LVI 19-10176. 1990. Insinööritoimisto Olof Granlund Ky.

Lämpölaitosyhdistys ry. 1992. Rakennusten kaukolämmitys. Määräykset ja ohjeet. K1/1992. 107 s.

Madjidi, M. 1996. Characteristic curves. Teoksessa: Hyvärinen, J. & Kärki, S. (toim.). Building Optimization and Fault Diagnosis Source Book. Helsinki: Oy Edita Ab. S. 163 - 174. ISBN 952-5004-10-4

Moisio, M., Piipponen, J. & Ritala, R. 1997. Säättöjen suorituskyvyn arviointi. Teoksessa: Holmberg, K. (toim.). Käyttövarmuus kilpailutekijänä. Espoo: VTT Valmistustekniikka, Käyttötekniikka. S. 53 - 64. (VTT Symposium 175.) ISBN 951-38-4566-4

MOTIVA, Ilmatieteen laitos, Suomen Kuntaliitto, Suomen Talokeskus Oy, Valtion kiinteistölaite. 1998. Astepäiväluku on nyt lämmitystarveluku. Espoo: Meridian X. 2 s. (Esite).

Norford, L. K. & Little, R. D. 1993. Fault Detection and Load Monitoring in Ventilation Systems. ASHRAE Transactions. Vol. 99, Part 1.

Pakanen, J., Kärki, S. & Möttönen, V. 1996. Kehitysympäristö LVI-prosessien vika-diagnoosimenetelmille. Espoo: VTT Rakennustekniikka, Rakennusfysiikka, talo- ja palotekniikka. 44 s. (VTT Tiedotteita 1773.) ISBN 951-38-4968-6

Pietarinen, P. & Ahonen, M. 1998. Asiakkaan ja energialaitoksen välinen tiedonsiirtotapa. Espoo: VTT Rakennustekniikka, Rakennusfysiikka, talo- ja palotekniikka. 28 s. + liitt. 16 s. (VTT Tiedotteita 1884.) ISBN 951-38-5185-0

prEN 832. 1994. Thermal performance of Buildings – Calculation of Energy Use for Heating – Residential Buildings. February 1994. 43 s.

Rantama, I. & Sirén, K. 1986. Selvitys ilmastointikojeen säätötulokseen vaikuttavista tekijöistä. Espoo: Teknillinen korkeakoulu, LVI-laboratorio. 122 s. (Raportti B8.) ISBN 951-753-766-2

Ruokonen, T. 1986. Ominaiskäyrien käyttö kunnonvalvonnassa. Espoo: Teknillinen Korkeakoulu, Säättötekniikan laboratorio. 36 s. (Laboratorioraportti 66.)

Seem, J. E., House, J. M. & Monroe, R. H. 1998. On-Line Monitoring and Fault Detection of Control System Performance. 10 s. (Annex 34 -työraportti.)

SFS 5768. 1993. Ilmastointijärjestelmien säädön toiminnalle asetettavat vaatimukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. 6 s.

SFS 5769. 1993. Ilmastointijärjestelmien säädön toiminnalle asetettavat vaatimukset. Mittaukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. 16 s.

Sprecher, P. 1996. Monitoring energy consumption in heating systems. Teoksessa: Hyvärinen, J. (toim.). Real Time Simulation of HVAC Systems for Building Optimization, Fault Detection and Diagnosis. Technical Papers of IEA Annex 25. Helsinki: Oy Edita Ab. S. 459 - 474. ISBN 952-5004-11-2

Tullis, T. S. 1988. Screen Design. Teoksessa: Helander, M. (toim.). Handbook of Human-Computer Interaction. Amsterdam: North-Holland. S. 377 - 411.

Vaézi-Néjad, H., Corrales, P. & Visier, J.-C. 1998. EMMA-98. A user oriented interface for EMMA software. 5 s. (IEA Annex 34 -työraportti.)

Ympäristöministeriö. 1985. Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D5. Rakennusten lämmityksen tehon ja energiantarpeen laskenta. Ohjeet 1985. 14 s.

Yuzawa, H., Suzuki, M., Takei, H. & Yoshida, H. 1996. The FTA System For Application To HVAC Systems. Teoksessa: Hyvärinen, J. (toim.). Real Time Simulation of HVAC Systems for Building Optimization, Fault Detection and Diagnosis. Technical Papers of IEA Annex 25. Helsinki: Oy Edita Ab. S. 129 - 144. ISBN 952-5004-11-2





Tekijä(t) Paiho, Satu, Leskinen, Mia & Mustakallio, Panu			
Nimeke <b>Automaatiojärjestelmän hyödyntäminen rakennusten energiatietoisien käytön apuvälineenä</b>			
Tiivistelmä <p>Nykyisin rakennusautomaatiojärjestelmää hyödynnetään harvoin täysimääräisesti. Toteutuneet sisäilmaolot tarkistetaan usein vain, jos rakennuksen käyttäjät valittavat. Sisäilmaoloja ja energiankulutuksia seurataan harvoin systemaattisesti. Siksi rakennusautomaatiojärjestelmän pitäisi automaattisesti havaita ja paikantaa energiankulutukseen liittyvät poikkeamat ja tiedottaa huoltohenkilöstöä ei-toivottavasta toiminnasta.</p> <p>Rakennuksissa keskeisimmät energiaan liittyvät tekijät ovat energiankulutus, sisäilmaolot ja säätöpiirien toiminta. Kun lämmön-, sähkön- ja vedenkulutuksen tavoitearvot on asetettu oikein, tavoitearvon ja toteutuneen arvon poikkeama saattaa viitata vikoihin rakennuksen energijärjestelmissä tai järjestelmien ei-toivottuun käyttötapaan. Sisäolojen seuranta yhdessä niihin vaikuttavien ohjausten kanssa voi myös paljastaa rakennuksen epänormaalin käytön. Lisäksi säädön huono toiminta voi johtaa merkittävään energiantuhlaukseen.</p> <p>Tässä julkaisussa kuvaillaan seurantajärjestelmää rakennuksen vikojen havaitsemiseen ja paikantamiseen. Prototyypisovellus on asennettu Roihuvuoren ammattioppilaitokseen Helsinkiin. Järjestelmä hyödyntää rakennusautomaatiojärjestelmän keräämää mittaus- ym. tietoa energiankulutusten, sisäilmaolojen ja säätöpiirien toiminnan seurantaan. Kun poikkeamia havaitaan, niiden syitä paikannetaan vika-oirepuiden avulla. Järjestelmä ohjaa rakennuksen huoltohenkilöstöä käyttämään rakennuksen teknisiä järjestelmiä energiatehokkaasti avustamalla ei-toivotun toiminnan syiden selvittämisessä.</p>			
Avainsanat building automation systems, utilization, buildings, energy use, energy consumption, energy efficiency, indoor air, monitoring, control, heating, HVAC, fault detection, diagnosis, FDD			
Toimintayksikkö VTT Rakennustekniikka, Rakennusfysiikka, talo- ja palotekniikka, Lämpömiehenkuja 3, PL 1804, 02044 VTT			
ISBN 951-38-5774-3 (nid.) 951-38-5779-4 (URL: <a href="http://www.inf.vtt.fi/pdf/">http://www.inf.vtt.fi/pdf/</a> )		Projektinumero R8SU00602	
Julkaisuaika Joulukuu 2000	Kieli suomi, engl. abstr.	Sivuja 63 s.	Hinta B
Projektin nimi Automaatiojärjestelmän hyödyntäminen rakennusten energiatietoisemmän käytön apuvälineenä		Toimeksiantaja(t) Teknologian kehittämiskeskus (Tekes), Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT), Helsingin kaupungin rakennusvirasto (HKR), Computec Oy	
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1235-0605 (nid.) 1455-0865 (URL: <a href="http://www.inf.vtt.fi/pdf/">http://www.inf.vtt.fi/pdf/</a> )		Myynti: VTT Tietopalvelu PL 2000, 02044 VTT Puh. (09) 456 4404 Faksi (09) 456 4374	



Author(s) Paiho, Satu, Leskinen, Mia & Mustakallio, Panu			
Title <b>Utilising the automation system in energy awared building use</b>			
Abstract <p>Today building automation systems are not fully utilized. Often the realized indoor conditions are checked only if building users complain. Systematic monitoring of indoor conditions and energy consumptions is rarely done. Therefore, the building automation system should automatically diagnose the energy related factors and inform the user if abnormalities occur.</p> <p>In buildings, the most important energy related factors are energy consumptions, indoor conditions, and control loop performances. When target values for heating, cooling, and electrical energy consumptions, and water consumptions are correctly determined, deviations between target values and actual values may indicate faults in systems or a system misuse. Monitoring the indoor conditions in conjunction with the main control actions can also reveal abnormal building use. In addition, poor control quality may lead to considerable energy waste.</p> <p>This report describes a monitoring system for fault detection and diagnosis (FDD) which was implemented to a big vocational school. The FDD system utilizes the data collected by the building automation system in monitoring the energy consumptions, indoor conditions, and control loop performances. When deviations are detected, they are diagnosed with fault-symptom trees. This FDD system guides the bulding operator in energy efficient building use by helping him locate the causes of undesirable operation.</p>			
Keywords building automation systems, utilization, buildings, energy use, energy consumption, energy efficiency, indoor air, monitoring, control, heating, HVAC, fault detection, diagnosis, FDD			
Activity unit VTT Building Technology, Building Physics, Building Services and Fire Technology, Lämpömiehenkuja 3, P.O.Box 1804, FIN-02044 VTT, Finland			
ISBN 951-38-5774-3 (soft back ed.) 951-38-5779-4 (URL: <a href="http://www.inf.vtt.fi/pdf/">http://www.inf.vtt.fi/pdf/</a> )		Project number R8SU00602	
Date December 2000	Language Finnish, Engl. abstr.	Pages 63 p.	Price B
Name of project Automaatiojärjestelmän hyödyntäminen rakennusten energiatietoisemmän käytön apuvälineenä		Commissioned by The National Technology Agency (Tekes), Technical Research Centre of Finland (VTT), Helsingin kaupungin rakennusvirasto (HKR), Computeec Oy	
Series title and ISSN VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1235-0605 (soft back ed.) 1455-0865 (URL: <a href="http://www.inf.vtt.fi/pdf/">http://www.inf.vtt.fi/pdf/</a> )		Sold by VTT Information Service P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 9 456 4404 Fax +358 9 456 4374	